

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

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

令和4年度 総括・分担研究報告書

(21KD2002)

研究代表者 酒井 信夫

令和5（2023）年 3月

# 目 次

## I. 総括研究報告

- 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 ----- 1  
酒井 信夫 (国立医薬品食品衛生研究所)

## II. 分担研究報告

1. 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発 ----- 18  
室内におけるエタノール濃度が室内空气中揮発性有機化合物の測定に及ぼす影響について  
酒井 信夫 (国立医薬品食品衛生研究所)
2. 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究 ----- 59  
神野 透人 (名城大学)
3. 空气中揮発性有機化合物 (VOC)・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価 ----- 79  
田原 麻衣子 (国立医薬品食品衛生研究所)
4. 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化 ----- 118  
香川 (田中) 聡子 (横浜薬科大学)
5. 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化 ----- 126  
田辺 新一 (早稲田大学)
6. 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価 ----- 134  
金 炫兌 (山口大学)
7. 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測 ----- 150  
伊藤 一秀 (九州大学)
8. ハザード情報収集・評価および国際的な規制動向の調査 ----- 156  
東 賢一 (近畿大学)

- III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 253

令和4年度 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）  
総括研究報告書

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 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長

室内濃度指針値既設13物質の代替化学物質による室内空気環境汚染が数多く報告されるようになり、厚生労働省 医薬・生活衛生局 医薬品審査管理課 化学物質安全対策室を事務局とするシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会（以下、シックハウス検討会）では、室内濃度指針値指針値の採用を新たに検討すべき化学物質が提案されている。

室内濃度指針値を策定する際には、対象化学物質の詳細な曝露評価を行うために、妥当性の評価・確認された標準試験法を通知（提示）する必要がある。現在、シックハウス検討会が示す室内空気中化学物質の採取方法と測定方法（室内空気中化学物質の測定マニュアル）は、2001年に通知（医薬発第828号 平成13年7月25日付 厚生労働省医薬局長通知）された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じた測定方法のリバイスが急務である。また、シックハウス検討会では、室内空気環境汚染実態調査等の結果に基づいて、室内濃度指針値の採用を新たに検討すべき化学物質が継続的に示されることになっており、これら化学物質の標準試験法についても行政対応していく必要がある。

本指定研究課題では、

① 汎用性の高い室内濃度指針値既設・代替化学物質の標準試験法を開発し、多機関バリデーション試験によりそれらの妥当性を検証する。

② ①で開発した標準試験法について、国内規格化および国際規格化を推進する。

③ 室内環境汚染化学物質の曝露濃度評価の為の*in silico*予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と*in silico*予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量的に予測する技術を確立すること。また、諸外国における室内空気汚染化学物質に関する最新の規制状況等を調査する。

合計8課題の分担研究の成果の詳細については、令和4年度 分担研究報告書において報告する。

**研究分担者（分担研究課題番号）**

- |            |              |           |              |
|------------|--------------|-----------|--------------|
| (1) 酒井 信夫  | 国立医薬品食品衛生研究所 | (5) 田辺 新一 | 早稲田大学創造理工学部  |
| (2) 神野 透人  | 名城大学薬学部      | (6) 金 炫兌  | 山口大学工学部      |
| (3) 田原 麻衣子 | 国立医薬品食品衛生研究所 | (7) 伊藤 一秀 | 九州大学総合理工学研究院 |
| (4) 香川 聡子  | 横浜薬科大学薬学部    | (8) 東 賢一  | 近畿大学医学部      |

## 研究協力者（分担研究課題番号）

(1) 田原 麻衣子	国立医薬品食品衛生研究所
(1/3) 田中 礼子	横浜市衛生研究所
(1/3) 村木 沙織	横浜市衛生研究所
(1/3) 大嶋 直浩	国立医薬品食品衛生研究所
(1) 高木規峰野	国立医薬品食品衛生研究所
(2) 香川 聡子	横浜薬科大学薬学部
(2) 酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所
(2) 森 葉子	名城大学薬学部
(2) 湯浅 竜斗	名城大学薬学部
(2) 水田 佑香	名城大学薬学部
(2) 青木 望実	名城大学薬学部
(2) 東 珠希	名城大学薬学部
(2) 青木 明	名城大学薬学部
(2) 岡本 誉士典	名城大学薬学部
(3) 千葉 真弘	北海道立衛生研究所
(3) 大泉 詩織	北海道立衛生研究所
(3) 大貫 文	東京都健康安全研究センター
(3) 角田 徳子	東京都健康安全研究センター
(3) 西 以和貴	神奈川県衛生研究所
(3) 吉富 太一	神奈川県衛生研究所
(4) 神野透人	名城大学薬学部
(4) 小池 加那子	横浜薬科大学薬学部
(4) 高橋 直也	横浜薬科大学薬学部
(4) 中嶋 康一郎	横浜薬科大学薬学部
(4) 堤 亜里紗	横浜薬科大学薬学部
(4) 小林 叶奈	横浜薬科大学薬学部
(4) 浦島 桃香	横浜薬科大学薬学部
(4) 中向井 璃奈	横浜薬科大学薬学部

## A. 研究目的

### A1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

新型コロナウイルス感染症対策として手指消毒用アルコールの使用が励行されており、感染症蔓延以前と比較して室内空気中のエタノール濃度が増加している。本研究は、室内濃度指針値代替化学物質の測定において、室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼすかどうか詳細な検討を行った。

### A2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

我が国では、室内空気質の総合的な指標として、TVOCに400 µg/m<sup>3</sup>の暫定目標値が設けられている。この暫定目標値は、室内のVOC実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定した値として2000年に設定されたものであり、20年以上が経過した現在、室内環境で使用される化学物質の変遷を踏まえて目標値の妥当性をあらためて検証する必要がある。また、個別に指針値が設定されている化学物質以外のVOCsによる室内空気汚染に対しても柔軟かつ包括的に対応できる優れた一面がある一方で、測定値の毒性学的な意義については当初より議論が成されてきた。本分担研究では、国立医薬品食品衛生研究所が実施した全国実態調査のデータを基に、デコンボリューション解析による未同定VOCsの探索を行い、いわゆる「必須VOCリスト」の候補化合物を選定した。

### A3: 室内空气中揮発性有機化合物 (VOC) ・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価

シックハウス検討会が示す室内空气中化学物質の採取方法と測定方法(室内空气中化学物質の測定マニュアル)は、2001年に通知された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じた測定方法のリバイスが急務である。本分担研究では、室内濃度指針値が設定された化学物質の標準試験法を改良し、標準試験法として確立することを目的としている。

今年度は、フタル酸エステル類について① 固相吸着-加熱脱離GC/MS法の測定マニュアルの改訂、② 固相吸着-溶媒抽出GC/MS法におけるカーボン系捕集管の適用、③ LC/MS法について検討した。

### A4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

一般居住環境の室内空気が室内濃度指針値あるいは暫定目標値を満たしているか否かを評価する

ためには、標準化された室内空気の測定法、すなわち採取方法ならびにその分析方法によって得られた結果に基づいて判断することが必要である。本研究では、最新の分析技術を基に開発された汎用性の高い標準試験法の国内規格化を目的としている。

#### **A5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化**

本研究課題において開発した室内空気中フタル酸エステル類の標準試験法は、日本薬学会編 衛生試験法・注解2015：追補2019に公表され、国内規格化されている。本分担研究では、本標準試験法を国際規格化するために、ISO/TC 146 (大気の質) /SC 6 (室内空気) 国際会議においてISO 16000-33: Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)の定期見直し(システムテックレビュー)を行っており、その進捗情報について報告する。

#### **A6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価**

室内におけるSVOCは揮発性が低いため、気中よりハウスダストや室内の表面に付着し、呼吸・経口摂取・経皮吸収等の経路によって体内に吸収されることが報告されている。

JIS A 1904で標準化されたマイクロチャンバー法は建材から放散するSVOCの測定が可能であるが、実空間における仕上げ材等からの放散速度測定が困難であるため、我々はオンサイト測定方法を開発した。今年度は、一般居住住宅における床材と壁材の温度変化がSVOC放散速度に及ぼす影響を明らかにするため、夏期・冬期における床材・壁材からのSVOC放散速度を測定した。

#### **A7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測**

室内環境汚染化学物質の曝露評価の為に *in silico* 予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と *in silico* 予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量

的に予測する技術を確立する。今年度は、室内に形成される不均一濃度分布と経気道曝露濃度までを定量的に評価する計算流体力学と統合した *in silico* 人体モデルを開発した。

#### **A8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集**

本分担研究では、室内空気汚染問題に対する国際機関や諸外国における指針値作成や規制動向等の情報を収集し、日本における取り組みの参考情報とする。また、室内空気汚染化学物質に関して有害性情報を網羅的に収集し、シックハウス検討会におけるリスク評価や既存の室内濃度指針値見直しにおいて鍵となる重要なハザード情報をとりまとめることを目的としている。

### **B. 研究方法**

#### **B1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発**

Tenax®TA捕集管を用いた加熱脱離法および単層型カーボンビーズアクティブ捕集管を用いた溶媒抽出法により、室内濃度指針値代替物質等の添加回収試験を冬季と夏季に2回実施した。測定室内の机上に消毒用エタノールを複数回噴霧して室内濃度指針値代替物質等の室内濃度を比較した。

#### **B2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究**

国立医薬品食品衛生研究所より提供された2015年度(100軒)、2016年度(112軒)および2020年度(90軒)の室内空気環境汚染化学物質調査(全国実態調査)データについて、AnalyzerPro ver. 6.0.0.246 (SpectralWorks社)を用いてデコンボリューション解析を行った。

#### **B3: 室内空気中揮発性有機化合物 (VOC) ・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価**

##### 1) 測定対象物質

室内濃度指針値が設定されているフタル酸ジ-n-

ブチル (DnBP) およびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) に、フタル酸ジエチル (DEP)、フタル酸ジ-n-プロピル (DPrP)、フタル酸ジイソブチル (DiBP)、フタル酸-n-ブチルベンジル (BBP)、フタル酸ジペンチル (DPP)、フタル酸ジシクロヘキシル (DCHP) およびフタル酸ジ-n-ヘキシル (DnHP) を加えた9物質とした。

## 2) LC/MS分析条件の検討

LC/MS は ACQUITY UPLC H-Class/SQ Detector (Waters社製) を用い、長さ50 mmまたは100 mmのACQUITY UPLC BEH C18カラム (内径: 2.1 mm, 粒子径: 1.7 μm) を用い、MeOHまたはMeCN/10 mMギ酸アンモニウム溶液の移動相により、エレクトロスプレーイオン化で条件検討した。

## 3) 検量線

検量線溶液は9種混合標準液および混合内部標準液から、各測定対象物質濃度が0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 μg/mL、各内部標準物質濃度が各0.2 μg/mLとなるようMeCNで調製し、検量線の濃度範囲および補正に用いる内部標準物質を検討した。絶対検量線および内部標準物質との強度比で補正した検量線 (内部標準検量線) を作成し、妥当性評価ガイドラインに従いキャリーオーバー、検量線の真度および精度を確認した。

## 4) 検出下限値および定量下限値

ブランク試料および定量下限値付近に調製した検量線溶液を5回測定し、検出下限値は標準偏差の3倍、定量下限値は10倍として算出した。

## B4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

室内濃度指針値策定物質DnBPおよびDEHPについて2019年に改定された指針値に対応した固相吸着-加熱脱離GC/MS法による標準試験法を日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2024にて公表すべく準備を進めた。

## B5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

本研究課題において開発された固相吸着-溶媒抽出GC/MS法によるフタル酸エステル類の標準試験法は日本薬学会編 衛生試験法・注解2020に公表されている。この規格を国際標準化するために、我々は、ISO/TC146/SC6国際会議に参加し、ISO 16000-33: Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry のシステムレビューを行っている。今年度は2022年9月に開催された国際会議に参加し、国際規格化に関する審議を行った。

## B6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

### 1) マイクロチャンバー法(JIS A 1904)

測定前にマイクロチャンバー (容積630 mL) を解体・洗浄した後、チャンバー内に残存している化学物質を揮発させるために、1時間 220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、チャンバーを常温まで冷却させ、試験片端部および裏面をアルミ箔でシールをし、蓋と試験片が直接接触しないようにした。試験片をチャンバーに挿入し、建材表面から放散するSVOCの測定を行った。放散試験は28°Cの恒温槽で24時間行い、試験に供した試料を取り外した後、チャンバーを加熱脱着装置に設置し、チャンバー内表面に付着したSVOCを220°C 1時間で加熱脱着させ、Tenax® TA捕集管に回収した。

### 2) オンサイト測定方法

オンサイト測定機には2つのポンプが設置されており、1つは30 mL/minの空気を供給、もう1つのポンプは15 mL/minを吸引するように調整した。測定前にチャンバー内に付着しているSVOCを脱着するため、加熱装置を用いて1時間 220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、ステンレス製の専用箱にチャンバーを入れて測定現場まで運搬した。測定場所を選定し、測定面をエタノールで拭取後、測定

表面を乾燥させ、直径82 mmの正円形に切り取ったアルミホイルを敷設した上にチャンバーを設置した。床面からの放散試験を24時間行った後、チャンバーを測定面から取り外し、ステンレス製専用箱に格納して実験室に持ち帰り、加熱脱着装置でチャンバー内表面に付着したSVOC物質を回収した。

### 3) 壁面のマイクロチャンバー固定装置

壁材から放散するSVOCの測定にあたり、マイクロチャンバーを壁面に固定するための装置を新たに開発した。約12 kgのステンレス板のベースに長さ30 cmのアルミ丸棒をナットで取り付け、アルミ丸棒とチャンバーの間にばねを用いて壁面に固定した。チャンバー内に室内空気の流入を防止するため、固定に使用したばねを106 mmから95 mmまで縮めることで、2 kg以上の荷重をかけられることを確認した。

### 4) 測定対象物質

測定対象SVOCは、2E1H、2-エチルヘキシルアクリレート、ブチル化ヒドロキシトルエン、フタル酸ジエチル、リン酸トリブチル、リン酸トリス、アジピン酸ジブチル、DnBP、リン酸トリフェニル、アジピン酸ジオクチル、DEHP、テキサノール、TXIB、フタル酸ジ-n-オクチル、フタル酸ジイソノニル、フタル酸ジイソデシル、テレフタル酸ジオクチル、ノニルフェノール、UV-320、UV-326、UV-327、UV-328の22物質とした。

### 5) 測定対象住宅

オンサイト測定方法により一般居住住宅の床面と壁面に使用されている建材からのSVOC放散速度を測定した。今年度の測定対象住宅は4軒である。

## **B7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測**

室内空気中の有害物質の曝露濃度基準は、本来、動物試験における経気道曝露時の無毒性量であるにも係わらず、実際には環境空気中の有害物質濃度の基準（閾値）として採用される場合が多い。空気

環境設計上、室の代表濃度をこれらの閾値で代表することは第一次近似として一定の妥当性があると思われるが、室内環境中での実質的な経気道曝露を考慮すれば、室の平均濃度と呼吸濃度には大きな乖離が存在する可能性がある。この経気道曝露濃度の正確な予測評価に向けて、非定常呼吸を再現した数値人体モデルと数値気道モデル、室内濃度場解析を統合解析することで、曝露経路と曝露濃度の正確な予測を行い、その上で健康リスク評価を行う一連の数値解析手法を開発する。室内空間から人体呼吸域、さらに鼻腔、口腔を介して気道内まで連続した解析領域を再現することで、室内汚染物質濃度分布と呼吸によって形成される気道内汚染物質濃度分布までを高精度に予測することが可能となる。加えて、気道内壁面境界条件として生理的薬物動態（Physiologically Based Pharmacokinetic; PBPK）モデルを統合することで、気道粘膜上皮組織に沈着後の汚染物質の体内動態と人体影響を定量的に評価することも可能となる。

本研究で作成した気道統合型数値人体モデル（*in silico*人体モデル）は、標準人体の幾何形状を数値流体力学（Computational Fluid Dynamics; CFD）解析への適用を前提としてグリッドデータ化（表面積1.7 m<sup>2</sup>、身長1.736 m）したものである。再現性や精度について十分な事前検討を実施している。数値気道モデルは、非喫煙の日本人男性のCTデータをもとに形状作成したもので、鼻腔・口腔から咽頭、喉頭、気管を経て気管支の第四分岐部までの上気道の実形状を正確に再現している。鼻孔を介して室内空間から気道内部への流れと汚染物質濃度場を連続して予測するために、数値人体モデルと数値気道モデルをなめらかに統合し、室内環境から気道内までを一連の解析空間として再現している。

本研究では気道粘膜上皮界面での汚染物質吸収と体内動態を予測するため、*in silico*人体モデルの気道内壁面境界条件としてPBPK-CFDモデルを適用した。経気道曝露予測においては、ガス状汚染物質の気道粘膜上皮表面への沈着、拡散輸送、代謝クリアランス、血流による上皮組織外への輸送を数

理的に再現するため、3層からなる生理的薬物動態PBPKモデルを導入している。

本年度は、この*in silico*人体モデルを実大居室スケール実験室内に設置した条件で、アンモニアを対象とした室内拡散と経気道曝露予測に適用した。本解析では、開発した*in silico*人体モデルと室内環境解析の統合解析の検証を主たる目的とすることから、化学物質発生に関しては簡易的な境界条件と想定し、液体アンモニアが漏洩した条件を設定した。

## **B8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集**

### 1) ハザード情報

室内空気汚染化学物質に関して、刺激性や感作性、一般毒性、神経毒性、免疫毒性、生殖発生毒性、発がん性等に関する有害性情報およびこれらの有害性に関する量反応関係に関する科学的知見が記載された国際機関や諸外国の評価文書等を網羅的に収集するとともに、PubmedやTOXLINE等のデータベース検索を行い、各物質の有害性情報をとりまとめている。特に、各物質の評価値の導出に必要なエンドポイントおよびNOELやLOAEL等の情報収集を行った。

### 2) 国際的な規制動向の調査

国際機関や国内外の室内空気質規制に関する報告書、関連学会の資料、関連論文をインターネットおよび文献データベースで調査した。近年、主だった活動が見受けられた世界保健機関本部、世界保健機関欧州地域事務局、ドイツ、フランス、カナダを主な調査対象国としている。また、諸外国の研究者と関連情報の情報交換を行った。

### **(倫理面への配慮)**

本研究は、公表されている既存資料を中心とした情報収集を行った後、それらの整理を客観的に行うものであり、特定の個人のプライバシーに係わるような情報を取り扱うものではない。資料の収集・整理にあたっては、公平な立場をとり、事実のみに基

づいて行う。本研究は、動物実験および個人情報扱うものではなく、研究倫理委員会などに諮る必要のある案件ではないと判断している。

## **C. 研究結果および考察**

### **C1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発**

加熱脱離法および溶媒抽出法を用い、添加回収試験を冬季と夏季に2回実施した。加熱脱離法では室内空気中のエタノール濃度の違いによる回収率の差異は認められず、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が及ぼす影響は小さいと考えられた。溶媒抽出法ではエタノール高濃度条件下、夏季における2E1HとTPMIの回収率が高くなり、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼす可能性が考えられた。他方、溶媒抽出法に使用されるカーボンビーズアクティブ捕集管は、高湿度下におけるアルコール類の回収率が低下すること報告されており、室内におけるエタノール濃度以外にも湿度が測定に影響を及ぼす可能性が考えられた。

### **C2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究**

デコンボリューション解析により暫定的に同定された一群のVOCsについて、それぞれの住居のTVOCの50%を占める最小数のVOCsをリスト化した。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の特徴付けを行った。TVOC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、室内濃度指針値策定化合物の他に、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。

### **C3: 室内空気中揮発性有機化合物 (VOC) ・準揮発**

## 性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価

### 1) 分析条件の検討

#### 分析条件 1 (50 mmカラム, MeOH系移動相)

9 種混合標準液の  $m/z$  149 におけるクロマトグラムでは、5つのピークが分離し、4つのピークが分離しなかった。MeOH 比率を下げることで分離する可能性はあるが、分析時間が長くなることが想定されるため、質量電荷比を用いた分離を検討することとした。その結果、9種のフタル酸エステル類および4種内部標準物質は良好に分離した。

#### 分析条件 2 (50 mm カラム, MeCN 系移動相)

BBP と DnBP は分離度 1.87 ( $m/z$  205) で分離したが、新たに DiBP と DnBP のピークが重なった。DnBP は質量電荷比でも DiBP と分離できないため LC 条件を検討する必要があるが、カラムを変えずグラジエントを緩やかにすることで分離の改善を図ると、既報の分析時間以上になる可能性がある。よって、長さ 100 mm カラムを用いた分析条件の検討を優先した。

#### 分析条件 3 (100 mm カラム, MeCN 系移動相)

分析条件 1 と同様、質量電荷比での分離を検討し、9種のフタル酸エステル類および4種内部標準物質は良好に分離した。以後の実験は、分析条件 1 と分析条件 3 を用いて比較した。

### 2) 検量線

検量線溶液の濃度が高くなるに従って面積値が小さくなる内部標準物質もあり、室内空気を測定した際、マトリックスの影響により挙動に差がでる可能性があるため、補正に用いる内部標準検量線を作成することとした。0.02-1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  の濃度範囲において、直線回帰モデルを用い、濃度の逆数で重みづけを行って検量線を作成した結果、キャリーオーバーは全ての検量線において検量線の濃度範囲の下限值である 0.02  $\mu\text{g}/\text{mL}$  を下回った。全ての測定対象物質の検量点 0.02-1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  において、ガイドラインの示す真度および精度の目標値に適合した。ただし、

分析条件 1 は分析条件 3 に比べ測定対象物質の面積値が物質により 1.5~3 倍大きかったことから、イオン化の飽和が生じやすいと考えられた。

### 3) 検出下限値および定量下限値

試験溶液 5 mL, 積算捕集量 4,320 L (流量 3 L/min で 24 時間) の条件において、検量線の濃度範囲の下限值 (0.02  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 相当量は 0.023  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  である。分析条件 1 において、絶対検量線を用いた場合の検出下限値は 0.0047  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 定量下限値は 0.023  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 内部標準検量線を用いた場合の検出下限値は 0.0077  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 定量下限値は 0.026  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。分析条件 3 において、絶対検量線を用いた場合の検出下限値は 0.0076  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 定量下限値は 0.025  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 内部標準検量線を用いた場合の検出下限値は 0.0050  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 定量下限値は 0.023  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。今回設定したサンプリング条件において、分析条件 1 および分析条件 3 はともに室内濃度指針値の 1/100 以下まで測定できると考えられた。

## C4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

2019年に改定されたDnBPおよびDEHPの室内濃度指針値に対応した固相吸着-加熱脱離GC/MS法による標準試験法を策定し、日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2024にて国内規格化する予定である。室内濃度指針値策定物質を対象とする標準試験法が策定されることにより、曝露評価を円滑に実施することが可能になる。

## C5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

ISO/TC146/SC6 WG 20がWeb開催され、日本代表団は田辺新一 (早稲田大学), 酒井信夫 (国立医薬品食品衛生研究所), 伊藤一秀 (九州大学), 金炫兌 (山口大学) が参加した (2022年9月6日, 日本時間18:00~20:00)。WG 20では、ISO16000-33のシステムテックレビューについて議論が行われ、わが国が提案した「ODS固相ディスクまたはSDB共

重合体カートリッジによるサンプリング方法と溶媒抽出・分析方法」がISO-16000-33のAnnex Bに追加されることが承認され、2022年末までにDIS原案を提出することになった。

国際会議後に作成されたISO/TC 146/SC 6/WG 20 N 59 Recommendationsを列記する。

#### Recommendation 38

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 adopts the agenda (Doc. N 55) and the minutes of the last meeting (Doc. N 53).

#### Recommendation 39

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 appoints Elisabeth Hösen as member of the recommendations' drafting committee.

#### Recommendation 40

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 finalizes the draft of ISO 16000-33 and agrees to submit the document for DIS Ballot by end of 2022.

#### Recommendation 41

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 will meet again in September 2023 and considers to have an intermediate meeting, if necessary.

### C6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

オンサイト測定の結果、仕上げ材からのSVOCの放散は夏期に比べ、冬期に減少する傾向が見られ、仕上げ材表面温度によるSVOC放散速度の違いが確認出来た。仕上げ材の表面温度が低下すると、建材に含有している可塑剤の内部拡散が遅くなることと、建材の表面に可塑剤が染み出てもガス状にならず建材表面に凝縮する可能性が考えられた。また、家電製品表面からのSVOCの放散が確認された。

### C7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

流れ場解析にはSST  $k-\omega$  モデルを適用し、CFDによる定常流れ場解析後にアンモニア液面位置に飽和気相濃度を与えて、非定常濃度場解析を行った。実大スケール実験室モデルの給気口からの流入空気のアンモニア濃度は0とした。液体アンモニアの蒸発に伴う液面の温度変化（蒸発潜熱）は無視し、一定温度を仮定して解析を実施した。アンモニア液面から人体周囲へ向かう輸送経路中に、室に流入した清浄空気によってアンモニア濃度は十分に希釈され、室内に不均一な濃度分布が形成されていることを確認した。アンモニア水溶液の蒸発開始から30秒後に鼻孔開口部における濃度の増加を確認した。本解析ではアンモニア水溶液の蒸発開始後、30秒後に完全に蒸発する条件とした。また、鼻孔開口部におけるアンモニア濃度は、室全体の平均濃度と比べて時間経過と共に大きく変動する様子を確認した。これは室内濃度分布の不均一性と呼吸活動および発生ガスの非定常性に因るものであり、高濃度短期暴露の場合には、室内の不均一濃度分布を考慮した人体の経気道暴露濃度を予測することが重要となることを示している。

時間経過に伴い呼吸によって気道内に取り込まれるガス濃度上昇に応じて、気道内表面における汚染物質濃度も上昇する様子を確認した。アンモニアの場合、粘膜上皮・上皮組織での代謝クリアランスが無視できるほど小さく、これらの組織内をほぼ拡散移動する。アンモニア水溶液が漏洩してから蒸発して消失するという一連の解析において、経気道曝露（鼻孔開口部）濃度は漏洩開始から30秒後に変化が確認され、57秒後に179 ppmまで上昇した。これは、室の平均濃度と比べて10倍以上大きい値であり、室の平均濃度と呼吸濃度には大きな乖離が存在することが*in silico*解析によって明らかとなった。

3人の被験者データが作成した3種類の数値気道モデルを対象とした既往研究では、特に上気道曝露量予測において最大20%程度の個体差があることを報告している。また、RMITのTaoらの研究グループは人体形状やサイズが異なる場合の個体差について小型のマネキンを用いた風洞実験結果を

報告しており、体型や姿勢が人体周辺微気象形成に一定程度影響を与えることを報告している。

本年度の *in silico* 人体モデルを用いた解析では、室の代表濃度とは異なる経気道曝露濃度を予測することが可能となることを例証的に示す事には成功したと云えるが、室内環境から人体、さらには気道内の曝露予測を一連の解析として実施した場合の全体的な予測精度に関しては、定量的な検証が出来ていない。人体幾何形状から気道幾何形状を含めた個体差の影響に関する検討は今後の課題である。

## **C8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集**

### 1) ハザード情報

2022 年度は、メチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、ヘキサナール、デカナール、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,2-ジクロロエタン、アクロレインについて、健康リスク評価値および有害性等の情報を収集してとりまとめた。

### 2) 国際的な規制動向の調査

#### ① 諸外国の室内空気質ガイドライン

世界保健機関、ドイツ連邦環境庁、フランス環境労働衛生安全庁、カナダ保健省の室内空気質ガイドライン等に関する情報を収集した。WHO からは、新たな室内空気質ガイドラインの公表はなかったが、健康と環境に関する WHO およびその他の国連機関からこれまで公表されてきたガイダンスを体系的にまとめた compendium を公表した (2022 年 4 月アップデート)。

令和 4 年度以降に公表された室内空気質ガイドラインとしては、ドイツ連邦環境庁がメタノール、アセトフェノン、1-プロパノールの室内空気質ガイドラインを公表した。フランス環境労働衛生安全庁ではアンモニア、カナダ保健省ではキシレンの室内空気質ガイドラインが公表された。

#### ② 室内空気汚染物質に関連する発がん性分類の

### アップデート

WHO の国際がん研究機関による発がん性分類のアップデートのうち、令和 4 年度以降における室内環境汚染関連物質のアップデートをレビューした。室内ダスト中で検出されるコバルト金属が 2B から 2A に格上げとなっている。なお、可溶性と不溶性のコバルト二価化合物では発がん性が異なっており、可溶性のコバルト二価化合物で 2A となっているが、不溶性の二酸化コバルトは 2B で、その他のコバルト化合物は 3 となっている。PET 樹脂の触媒などに使用され、室内ダスト中からも検出される三酸化アンチモンが 2B から 2A に格上げとなっている。また、次年度以降のワーキンググループでは、室内ダストに含まれる可能性のある物質 (PFOA や PFOS) の検討が予定されている。

## **D. 結論**

### **D1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発**

Tenax<sup>®</sup> TA 捕集管を用いた加熱脱離法は、室内におけるエタノール濃度が室内濃度指針値代替化学物質の測定に及ぼす影響が小さかった。他方、単層型カーボンビーズアクティブ捕集管を用いた溶媒抽出法では、エタノール高濃度条件下、夏季における 2E1H と TPMI の回収率が高くなり、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼす可能性が考えられた。

### **D2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究**

全国実態調査結果のデコンボリューション解析に基づいて必須 TVOC リストを作成した。研究課題最終年度に向け、本リスト化合物を標準物質とした TVOC 標準試験法を作成することにより、暫定目標値設定項目としての TVOC の精度や再現性を向上させることが可能になると考えられる。

### **D3: 室内空气中揮発性有機化合物 (VOC) ・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価**

LC/MS を用いたフタル酸エステル類の分析法を検討した結果、2つの分析条件で十分な分離が得られた。検量線は0.02-1 µg/mLの濃度範囲で良好な妥当性が確認され、DnBPおよびDEHPについて、室内濃度指針値の1/100以下の定量下限値が確認された。これらの結果から、LC/MSを用いた室内空气中フタル酸エステル類の試験法について基礎的な分析条件を確立することができた。本法は、昨今のヘリウムガス供給不足に対応する有用な測定方法になりうる。

#### **D4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化**

2019年に改定されたDnBPおよびDEHPの室内濃度指針値に対応した固相吸着-加熱脱離GC/MSを用いたフタル酸エステル類の標準試験法について国内規格化を推進した。

#### **D5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化**

本研究課題で開発したGC/MSを用いたフタル酸エステル類の測定法を国際規格化するために、ISO国際会議に参加した。ISO 16000-33: Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometryのシステムレビューにおいて、本法をAnnex Bに追加収載することが合意された。今後の予定として、ISO DIS原案を提出することになっている。

#### **D6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価**

オンサイト測定方法の確立により、実空間における仕上げ材等からのSVOC放散速度の測定が可能になることから、室内空気質の管理が期待できる。

#### **D7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測**

室内に形成される不均一濃度分布と経気道曝露濃度までを定量的に評価する計算流体力学と統合した*in silico*人体モデルを開発した。特に、気道モ

デルに流体解析と連成解析可能な生理的薬物動態モデル(PBPK-CFDモデル)を適用することで、室内の濃度分布情報に加えて不均一濃度分布を考慮した経気道曝露濃度の評価が可能となることをガス状アンモニアの室内拡散を想定した例証的な解析事例として示すことができた。

#### **D8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集**

諸外国における取り組みは、室内空気質ガイドラインの作成に重点が置かれている。目標となる気中濃度を設定し、それを目指した発生源対策等を行うアプローチである。とりわけドイツ連邦環境庁は、継続的に室内濃度指針値を設定しており、今年度は、メタノール、アセトフェノン、1-プロパノールの指針値が新たに設定された。また、フランスのANSESではアンモニア、カナダ保健省ではキシレンに対する室内空気質ガイドラインが新たに設定された。発がん性に関してIARCは、コバルト、アンチモン、兵器用タンゲステンの発がん性分類を公表した。また、本分担研究では、室内濃度指針値の新規策定や既存策定物質の改定に資する有害性情報を収集しており、計画どおり進捗している。これらの調査結果は、最終的にとりまとめる室内空気汚染物質の室内濃度指針値策定における科学的エビデンスとして反映させる。

#### **E. 研究発表**

##### **1. 論文発表**

- 1) 酒井 信夫:用語解説 ベンゼン, 室内環境, 25, 324 (2022)
- 2) 酒井 信夫:用語解説 ナфтаレン, 室内環境, 25, 324 (2022)
- 3) 酒井 信夫:解説 ISO 16000-33: GC/MSを用いたフタル酸エステル類の定量の改訂, クリーンテクノロジー, 32, 60-63 (2022)
- 4) Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y: Survey of phthalates, glycols, and several volatile organic compounds in domestic hand-

- pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality, *Journal of Environmental Chemistry*, 32, 84-94 (2022)
- 5) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Nationwide survey of the candidate substances in guideline values for indoor air concentrations, *Bulletin of National Institute of Health Sciences*, 140, 40-47 (2022)
  - 6) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: A nationwide survey on indoor air concentrations of benzene and naphthalene in general residential housings, *Indoor Environment*, 25, 177-184 (2022)
  - 7) Sakai S, Tahara M, Kubota R, Kawakami T, Inoue K, Ikarashi Y: Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Volatile organic compounds, *Science of the Total Environment*, 838, 156400 (2022)
  - 8) Oshima N, Takagi M, Sakai S, Ikarashi Y: Comparison of the helium-alternative carrier gases for the gas chromatography/mass spectrometry of standard test methods for indoor air quality guidelines in Japan, *BPB Reports*, 5, 84-87 (2022)
  - 9) 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, *Journal of Toxicological Sciences*, 48, 37-45 (2023)
  - 10) 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, *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 45, 1839-1846 (2022)
  - 11) Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Mori Y, Ikushiro S, Jinno H, Ohkawara S, Isobe T: Regioselective glucuronidation of flavones at C5, C7, and C4' positions in human liver and intestinal microsomes: Comparison among apigenin, acacetin, and genkwanin, *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 45, 1116-1123 (2022)
  - 12) Hanioka N, Isobe T, Tanaka-Kagawa T, Jinno H, Ohkawara S: In vitro glucuronidation of bisphenol A in liver and intestinal microsomes: interspecies differences in humans and laboratory animals, *Drug and Chemical Toxicology*, 45, 1565-1569 (2022)
  - 13) 杉田 隆, 香川 (田中) 聡子: 環境・衛生部会衛生試験法シンポジウム: 微生物検査による食品・環境衛生管理の新展開, *薬学雑誌*, 142, 9-10 (2022)
  - 14) 稲坂 まりな, 赤松 奈美, 菅野 颯馬, 池内 宏維, 高橋 秀介, 田崎 未空, 金 炫兌, 田辺 新一: 異なる木材表面へのアルコール塗布が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響, *日本建築学会環境系論文集*, 87, 846-854 (2022)
  - 15) 赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第一報: 実験概要と化学物質分析の測定結果, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 2022, 1595-1596 (2022)
  - 16) 池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第二報: 被験者実験による臭気評価結果, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 2022, 1597-1598 (2022)
  - 17) 赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧が VOC 放散量および知覚空気

- 質に与える影響 (第1報) アルコールの1回塗布によるチャンバー実験結果, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 46, 9-12 (2022)
- 18) 池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 (第2報) アルコールの繰り返し噴霧によるチャンバー実験結果, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 2022, 13-16 (2022)
  - 19) 田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田辺 新一: 一般住宅における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2022, 1589-1590 (2022)
  - 20) 益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田辺 新一: 実空間モデルにおける可塑剤からの SVOC 放散挙動に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 2022, 129-132 (2022)
  - 21) 田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 田邊 慶宗, 益崎 慶人, 田辺 新一: 現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定-家電製品表面からの SVOC 放散速度測定, 日本建築学会中国支部研究報告集, 46, 407-410 (2023)
  - 22) 田邊 慶宗, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 益崎 慶人, 田辺 新一: 現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定 夏期・冬期における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定, 日本建築学会中国支部研究報告集, 46, 403-406 (2023)
  - 23) 益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 田辺 新一: 建材からの SVOC 放散速度と気中濃度との相関性に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 46, 399-402 (2023)
  - 24) 細田 実里, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田崎 健悟: 住宅及び大学施設における空気中の準揮発性有機化合物(SVOC)濃度の測定, 日本建築学会中国支部研究報告集, 46, 395-398 (2023)
  - 25) Fernandez KB, Ikegaya N, Ito K, Chen Q: Age of air, purging flow rate, and net escape velocity in a cross-ventilation model sheltered by urban-like blocks using LES, *Building and Environment*, 226, 109759 (2022)
  - 26) Khoa ND, Phuong NL, Tani K, Inthavong K, Ito K: In silico decongested trial effects on the impaired breathing function of a bulldog suffering from severe brachycephalic obstructive airway syndrome, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 228, 107243 (2023)
  - 27) Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K: Internal diffusion and re-emission of leaked liquid ethyl acetate from mortar materials, *Japan Architectural Review*, 5, 672-681 (2022)
  - 28) Lim E, Tanaka H, Ni Y, Bai Y, Ito K: Microplastics/microfibers in settled indoor house dust- Exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan, *Japan Architectural Review*, 5, 682-690 (2022)
  - 29) Yamasawa H, Hirayama T, Kuga K, Muta R, Kobayashi T, Ito K: Influence of inlet turbulent condition on the formation mechanism of local scalar concentrations, *Japan Architectural Review*, 5, 691-701 (2022)
  - 30) Muta R, Ito K: Impact of heat generation and use of experimental instruments in a fume hood on pollutant capture efficiency, *Japan Architectural Review*, 5, 702-713 (2022)
  - 31) Yoo SJ, Ito K: Validation, verification, and quality control of computational fluid dynamics analysis for indoor environments using a computer-simulated person with respiratory tract, *Japan Architectural Review*, 5, 714-727 (2022)
  - 32) Salati H, Fletcher DF, Khamooshi M, Dong J, Ito K, Vahaji S, Inthavong K: Exhaled aerosol and jet flow characterization during nasal

- sneezing, *Aerosol and Air Quality Research*, 22, 210338 (2022)
- 33) Li H, Kuga K, Ito K: SARS-CoV-2 dynamics in the mucus layer of the human upper respiratory tract based on host-cell dynamics, *Sustainability*, 14, 3896 (2022)
- 34) Muta R, Yoo SJ, Kim H, Matsumoto T, Ito K: Multiscale analysis of material flow and computational fluid dynamics for predicting individual DEHP exposure concentration in indoors, *Indoor and Built Environment*, 31, 2291-2311 (2022)
- 35) Ikegaya N, Ito K, Sandberg M: Rigorous mathematical formulation of net escape velocity and net escape probability determining a macroscopic concentration, *Indoor Air*, 32, e13072 (2022)
- 36) Kuga K, Sakamoto M, Wargocki P, Ito K: Prediction of exhaled carbon dioxide concentration using a computer-simulated person that included alveolar gas exchange, *Indoor Air*, 32, e13079 (2022)
- 37) Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K: Numerical models for seamlessly predicting internal diffusion and re-emission of leaked liquid toluene from indoor mortar materials, *Journal of Building Engineering*, 57, 104976 (2022)
- 38) Khoa ND, Phuong NL, Takahashi K, Ito K: Transport and deposition of inhaled man-made vitreous and asbestos fibers in realistic human respiratory tract models: An in-silico study, *Japan Architectural Review*, 5, 592–608 (2022)
- 39) Wang Y, Shen X, Yoo SJ, Long Z, Ito K: Error analysis of human inhalation exposure simulation in industrial workshop, *Building and Environment*, 224, 109573 (2022)
- 40) Muta R, Chung J, Li C, Yoo SJ, Ito K: Pollutant capture efficiencies in and around the opening-surface of a fume hood under realistic conditions, *Indoor and Built Environment*, 31, 1636-1653 (2022)
- 41) Kuga K, Wargocki P, Ito K: Breathing zone and exhaled air re-inhalation rate under transient conditions assessed with a computer-simulated person, *Indoor Air*, 32, e13003 (2022)
- 42) Fan X, Shao H, Sakamoto M, Kuga K, Lan L, Wyon DP, Ito K, Bivolarova MP, Liao C, Wargocki P: The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: pilot measurements in a climate chamber, *Building and Environment*, 209, 108666 (2022)
- 43) Karagas, MR, Wang A, Dorman DC, Hall AL, Pi J, Sergi CM, Symanski E, Ward EM, Arrandale VH, Azuma K, Brambila E, Calaf GM, Fritz JM, Fukushima S, Gaitens JM, Grimsrud TK, Guo L, Lynge E, Marinho-Reis AP, McDiarmid MA, Middleton DRS, Ong TP, Polya DA, Quintanilla-Vega B, Roberts GK, Santonen T, Sauni R, Silva MJ, Wild P, Zhang CW, Zhang Q, Grosse Y, Benbrahim-Tallaa L, de Conti A, DeBono NL, Ghissassi FE, Madia F, Reisfeld B, Stayner LT, Suonio E, Viegas S, Wedekind R, Ahmadi S, Mattock H, Gwinn WM, Schubauer-Berigan MK: Carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy, *THE LANCET Oncology*, 23, 577–578 (2022)
- 44) 東 賢一： 燃焼で排出される室内空気汚染物質の健康影響, *室内環境*, 25, 307–315 (2022)

## 2. 書籍

- 1) Tham KW, Wargocki P, Tanabe S. (2022). Postulated pathways between environmental exposures and cognitive performance. Zhang Y, Hopke PK, Mandin C. (eds) *Handbook of Indoor Air Quality*. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5155->

5\_62-1

- 2) 東 賢一:今日の治療指針 2023 年版 私はこう治療している:シックハウス症候群/化学物質過敏症, 医学書院, 東京 (2023)

3)

### 3. 学会発表

- 1) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: マイクロチャンバー及び加熱脱離 GC/MS による穀物由来揮発性有機化合物のメタボローム解析, 日本食品化学学会第 28 回学術大会 (2022.5)
- 2) 酒井 信夫: 質量分析法を用いた標準試験法の必要条件: レギュラトリーサイエンス研究に基づく信頼性と汎用性とサステナビリティ, 第 70 回質量分析総合討論会 (2022.6)
- 3) 森 葉子, 井上 凌子, 青木 明, 岡本 誉士典, 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: TVOC のデコンボリューション解析による室内空気汚染化学物質の探索, 第 68 回日本薬学会東海支部総会・大会 (2022.7)
- 4) 大嶋 直浩, 河上 強志, 高橋 夏子, 高木 規峰野, 小濱 とも子, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: マスクの規格改定を指向した揮発性有機化合物の実態調査, 第 8 回次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム (2022.8)
- 5) 大嶋 直浩, 高橋 夏子, 高木 規峰野, 小濱 とも子, 河上 強志, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: 家庭用マスクから放散される揮発性有機化合物, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー (2022.8)
- 6) 香川 (田中) 聡子, 酒井 信夫, 神野 透人: 室内空気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 (2022.9)
- 7) Azuma K, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Sakai S: Hazard and risk assessment for indoor air

pollutants: dimethylsiloxanes, glycols, butanediol, hydrocarbons, trimethylbenzenes, benzene, naphthalene, and ethyltoluene, 34th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (2022.9)

- 8) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 高橋 夏子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明, 千葉 真弘, 柴田 学, 岩館 樹里, 後藤 吉乃, 佐藤 智子, 田中 智子, 大竹 正芳, 角田 徳子, 上村 仁, 田中 礼子, 高居 久義, 中村 雄介, 堀井 裕子, 望月 映希, 伊藤 彰, 山本 優子, 大野 浩之, 藤本 恭史, 吉田 俊明, 古市 裕子, 八木 正博, 伊達 英代, 谷脇 妙, 松本 弘子, 吉村 裕紀, 前田 美奈子: 令和 3 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会 (2022.10)
- 9) 酒井信夫: ヘリウムガス供給不足に対する国立衛研の対応, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会 (2022.10)
- 10) 千葉 真弘, 兼俊 明夫, 大泉 詩織, 田原 麻衣子, 大嶋 直浩, 酒井 信夫: 室内空気中の揮発性有機化合物 (VOCs) 分析における除湿管の影響, 2022 年室内環境学会学術大会 (2022.12)
- 11) 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: 一般居住住宅における室内空気質に関する全国実態調査, 2022 年室内環境学会学術大会 (2022.12)
- 12) 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 (2022.12)
- 13) 高木 規峰野, 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: GC-MS/MS を用いた室内空気中殺虫剤の分析, 日本薬学会第 143 年会 (2023.3)
- 14) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐

- 良明：機能性繊維製品から放散する揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガスの比較，日本薬学会第 143 年会 (2023.3)
- 15) 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 (2022.9)
- 16) 吉富 太一，西 以和貴，田原 麻衣子，仲野 富美：室内空気におけるフェノール系内分泌かく乱物質の一斉分析法について，日本薬学会第 143 年会 (2023.3)
- 17) 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 (2022.6)
- 18) 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 (2022.9)
- 19) 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 (2022.9)
- 20) 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 (2022.9)
- 21) 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 (2022.9)
- 22) 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 (2022.9)
- 23) 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 (2023.3)
- 24) 赤松 奈美，池内 宏維，稲坂 まりな，小野田 亮介，松尾 和弥，田崎 未空，菅野 颯馬，金 炫兌，田辺新一：木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第一報 実験概要と化学物質分析の測定結果，2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9)
- 25) 池内 宏維，赤松 奈美，稲坂 まりな，小野田 亮介，松尾 和弥，田崎 未空，菅野 颯馬，金 炫兌，田辺新一：木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第二報 被験者実験による臭気評価，2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9)
- 26) 田崎 健悟，金 炫兌，小金井 真，益崎 慶人，田辺 新一：一般住宅における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定，2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9)
- 27) 益崎 慶人，田辺 新一，小金井 真，金 炫兌：実空間モデル内における可塑剤からの SVOC 放散挙動に関する実験，令和 4 年度空気調和・衛生工学会大会 (2022.9)
- 28) Kizuka R, Kuga K, Ito K: Regional deposition of inhaled nano-to-microscale particle in realistic upper respiratory tract under steady and

- transient breathing conditions, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 29) Li H, Kuga K, Ito K: SARS-CoV-2 infection dynamics integrated with mucociliary transport in human upper airway, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 30) Khoa ND, Ito K: Regional deposition characteristics of fibrous particles compared to spherical particles in human upper airway – in silico case study, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 31) Kuga K, Ito K: Integrated Modeling of CO<sub>2</sub> Transport from Indoor to Alveolar Region for Elucidating Human CO<sub>2</sub> Emission Mechanism, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 32) Nishihara T, Kuga K, Ito K: Numerical investigation of cough droplets dispersion dynamics in indoor environment: Effect of oral cavity shape, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 33) Hoshiyama S, Kuga K, Ito K: Formation of Acetone concentration distribution around breathing zone and transport efficiency to olfactory epithelium cells, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7)
- 34) Muta R, Ito K: Numerical investigation of pollutant capture and ventilation efficiencies in laboratory fume hood, Indoor Air 2022 (2022.6)
- 35) Kuga K, Wargocki P, Ito K: Impact of room temperature on human carbon dioxide emission rates at different physical activity levels, Indoor Air 2022 (2022.6)
- 36) Wargocki P, Sakamoto M, Fan X, Kuga K, Ito K, Williams J, Beko G, CO<sub>2</sub> emission rates from humans when sleeping and awake. Impact of environmental factors and age, Indoor Air 2022 (2022.6)
- 37) Lim E, Tanaka H, Ito K: Preliminary Investigation of Indoor Microplastic Concentrations in house dust in Japanese Residential Houses, Indoor Air 2022 (2022.6)
- 38) Li H, Kuga K, Ito K: Infection dynamics of SARS-CoV-2 in musus later of the human nasal cavity-nasopharynx, Roomvent 2022 (2022.9)
- 39) Hyodo S, Murota K, Yoo SJ, Ito K: Development of three-dimensional clothing model for computer simulated person integrated with thermoregulation model, Roomvent 2022 (2022.9)
- 40) Khoa ND, Ito K: Computational analysis of ultrafine and fine particle deposition mechanisms in human lower airway, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10)
- 41) Fernandez KB, Ikegaya N, Ito K: Large Eddy Simulation of Flow and Concentration Distributions in an Indoor Space Surrounded by Urban-like Block Arrays, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10)
- 42) Muraga A, Ito K, Tsubokura M: Using CFD to develop a virtual human manikin for infection risk assessment, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10)
- 43) Park HG, Yoo SJ, Sumiyoshi E, Harashima H, Ito K: Indoor Thermal Comfort Assessment Using CFD-CSP Hybrid Analysis, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10)
- 44) Hyodo S, Yoo SJ, Ito K: Three-Dimensional Modeling and Computational Fluid Dynamics Analysis for Ventilation in Clothing, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics

Conference (2022.10)

- 45) Khoa ND, Phuong NL, Ito K: Numerical Investigation of Fine particle Transportation and Deposition in the Human Lower Airway: Impact of airflow and particle size on deposition efficiency, The 8th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (2022.10)
- 46) Azuma K: Indoor air quality and health effects in modern office buildings, 16th international conference on indoor air quality and climate (2022.6)
- 47) 東 賢一：室内空気環境対策総論－室内環境における健康リスク要因とその対策について－，第 32 回日本産業衛生学会全国協議会シンポジウム：新型コロナウイルス感染症と室内空気環境対策 (2022.9)

## F. 知的財産権の取得状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

令和4年度 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）  
分担研究報告書

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

室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

室内におけるエタノール濃度が室内空气中揮発性有機化合物の測定に及ぼす影響について

研究分担者 酒井 信夫 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長  
研究協力者 田原麻衣子 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官  
研究協力者 田中 礼子 横浜市衛生研究所 理化学検査研究課 医務職員  
研究協力者 村木 沙織 横浜市衛生研究所 理化学検査研究課 技術職員  
研究協力者 大嶋 直浩 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官  
研究協力者 高木規峰野 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 研究補助員

新型コロナウイルス感染症対策として手指消毒用アルコールの使用が励行されており、感染症蔓延以前と比較して室内空气中のエタノール濃度が増加していることは想像に難くない。本研究は、室内濃度指針値策定（候補）化合物である2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート（TPMI）、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（TPDI）の測定において、室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼすかどうか詳細な検討を行った。

加熱脱離法および溶媒抽出法を用い、添加回収試験を冬季と夏季に2回実施した。加熱脱離法では室内空气中のエタノール濃度の違いによる回収率の差異は認められず、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が及ぼす影響は小さいと考えられた。溶媒抽出法ではエタノール高濃度条件下、夏季における2E1HとTPMIの回収率が高くなり、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼす可能性が考えられた。他方、溶媒抽出法に使用されるカーボンビーズアクティブ捕集管は、高温度下におけるアルコール類の回収率が低下することが報告されており、室内におけるエタノール濃度以外にも湿度が測定に影響を及ぼす可能性が考えられた。本研究では、室内濃度指針値が既に設定されている揮発性有機化合物等についても同様の検討を行ったので併せて報告する。

## A. 目的

新型コロナウイルス感染症の蔓延以来、感染防止対策として手指や什器などのアルコール消毒が励行されるようになった。これに伴い、室内空気

中のエタノール濃度は新型コロナウイルス感染症蔓延以前よりも増加していることは想像に難くない。本研究は、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、テトラデカン

の室内濃度指針値策定物質および 2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H), 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオールモノイソブチレート (TPMI), 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオールジイソブチレート (TPDI) の室内濃度指針値策定 (候補) 化合物の測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼすかどうかを調べるために添加回収試験を行った。

## B. 方法

### 1. 室内空気中のエタノールの分析

室内空気中のエタノールは Carbotrap™-217 捕集管 (Or217 捕集管) を用いた加熱脱離法で測定し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づく検量線の評価<sup>1)</sup>を行い、定量下限値と検出限界値を算出した。

### 2. 加熱脱離法および溶媒抽出法を用いた VOC 類の検量線の評価

室内空気中の VOC 類は、TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法およびカーボンビーズアクティブ捕集管を用いた溶媒抽出法で測定し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づく検量線の評価<sup>1)</sup>を行い、定量下限値と検出限界値を算出した。

### 3. 室内空気中のエタノール濃度の違いによる VOC 類の回収率の比較

冬季と夏季の 2 回にわたり、それぞれ連続した 2 日間に VOC 類の添加回収試験を実施した。添加回収試験は加熱脱離法および溶媒抽出法を同時併行で行い、横浜市内の会議室において室内空気を捕集する条件下で実施した。冬季・夏季とも 1 日目は通常状態における VOC 類の回収率を測定した。2 日目は会議室内の机上に 80% (v/v) エタノール水溶液 (自己調製) を数回噴霧することにより室内空気中にエタノールが揮散した状態を作り出した上で、1 日目と同様に VOC 類の回収率を測定した。添加回収試験の際には室内空気中のエタノール濃度の測定を同時に行い、その結果と VOC

類の回収率とを比較することで、室内におけるエタノール濃度が VOC 類の測定に影響を及ぼすかどうか検討した。

## C. 方法

### 1. 室内空気中のエタノールの分析

#### 1.1 試薬および試料

エタノールの標準品は富士フィルム和光純薬製エタノール (HPLC 用, 99.5), 内部標準物質は住友精化製内部標準ガス ( $C_7H_8-d_8 \cdot C_6H_5F \cdot C_6H_5Cl-d_5$  各 1 ppm/N<sub>2</sub>, 加熱脱離装置による自動添加), 希釈溶媒には関東化学製メタノール (残留農薬・PCB 測定用 5000 倍濃縮検定品) を用いた。エタノールの捕集にはシグマアルドリッチ製 Or217 捕集管 (Glass-Fritted, Carboxen® 1000) を用いた。

#### 1.2 検量線の作成

エタノールの検量線は、低濃度域 (5 ng–50 ng) および高濃度域 (50 ng–1,500 ng) の 2 種類を作成した。

検量線用試料は、まず、標準原液としてエタノールが 20% (w/v) になるようにメタノールを用いて調製した後、氷冷下メタノールで段階的に希釈し、5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 1,500 µg/mL のエタノール標準系列を調製した。続いて、検量線作成ツール (ジーエルサイエンス製) を用い、窒素通気下 (50 mL/分) 予めクリーンアップした Or217 捕集管にマイクロシリンジでエタノール標準系列を 1 µL 添加し、窒素を 2 分間通気後、加熱脱離分析用の DiffLok™ キャップで密栓した。各検量線用試料に添加されるエタノール量は 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 1,500 ng となる。

加熱脱離ガスクロマトグラフ質量分析計 (TD-GC/MS) システムを用いてエタノールを測定した。測定で得られたエタノールと内部標準物質 (Toluene- $d_8$ ) のピーク面積値を求め、これらの面積比と検量線用試料に含まれるエタノールの重量

から検量線を作成した。

### 1.3 室内空気試料の分析

TD-GC/MS システムを用いて室内空気試料の測定を行った。測定で得られたエタノールと内部標準物質 (Toluene- $d_8$ ) のピーク面積比から室内空気試料に含まれるエタノール重量を算出した。

### 1.4 分析装置および条件

#### 1.4.1 TD 条件 (Or217 捕集管の分析条件)

- ・TD 装置：TD100-xr (Markes International 製)
- ・捕集管加熱温度：340° C
- ・捕集管パージ時間：10 分
- ・捕集管パージ流量：50 mL/分
- ・キャリアガス：He
- ・トラップ管：General Purpose Carbon Cold Trap (Markes International 製)
- ・トラップ冷却温度：-20° C
- ・トラップ加熱温度：320° C
- ・ライン温度：250° C
- ・TD スプリット比：10

#### 1.4.2 GC/MS 条件

- ・GC/MS 装置：JMS-Q1500GC (GC 部：Agilent Technologies 製, MS 部：日本電子製)
- ・カラム：Agilent Technologies 製 VF-1ms (60 m × 0.25 mm × 1.0 μm)
- ・昇温条件：35° C (6 分) → 3° C/分 → 100° C (0 分) → 8° C/分 → 250° C (3 分) → 20° C/分 → 300° C (0 分)
- ・注入モード：全量注入
- ・カラムコントロール：Constant Flow
- ・注入量：2 mL/分
- ・イオン源温度：250° C
- ・インターフェイス温度：250° C
- ・測定モード：Scan 測定

## 2. 加熱脱離法および溶媒抽出法を用いた VOC 類の検量線の妥当性評価

## 2.1 加熱脱離法を用いた VOC 類の分析

### 2.1.1 試薬および試料

加熱脱離法の VOC 類の標準品はシグマアルドリッチ製 Indoor Air Standard (50 components, 各 100 μg/mL メタノール溶液；VOC 50 mix), 室内濃度指針値策定 (候補) 化合物の標準品は関東化学製 2E1H (鹿 1 級), 富士フィルム和光純薬製 TPMI, 東京化成製 TPDI を用いた (VOC 3 mix). 内部標準物質は住友精化製内部標準ガス (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>- $d_8$  · C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>F · C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl- $d_5$  各 1 ppm/N<sub>2</sub>, 加熱脱離装置による自動添加), 希釈溶媒には関東化学製メタノール (残留農薬・PCB 測定用 5000 倍濃縮検定品) を用いた。加熱脱離法の VOC 類の捕集には CAMSCO 製 TenaxTA 捕集管 (60/80 mesh, 200 mg 充填, Inert-SUS Tube) を用いた。

### 2.1.2 加熱脱離法の検量線作成

#### 2.1.2.1 VOC 50 mix 検量線

氷冷下, VOC 50 mix をメタノールで段階的に希釈し, 2, 5, 10, 20, 50 μg/mL の 50 mix 標準系列を調製した。続いて, 検量線作成ツールを用いて TenaxTA 捕集管に VOC 50 mix 標準系列を 1 μL 添加し, 窒素を 2 分間通気後, 加熱脱離分析用の DiffLok™ キャップで密栓した。各検量線用試料に添加される 50mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。

TD-GC/MS システムを用いて VOC 50 mix 検量線用試料を測定し, 得られた測定対象物質と内部標準物質 (Toluene- $d_8$ ) のピーク面積比と測定対象物質の重量から検量線を作成した。

#### 2.1.2.2 VOC 3mix 検量線

メスフラスコに 2E1H を 1.0 g 量り取り, メタノールを加えて 100 mL に定容し, 10 mg/mL の 2E1H 標準原液を調製した。同様に TPMI および TPDI についても 1.0 g ずつ別々のメスフラスコに量り取り, 10 mg/mL の TPMI 標準原液と 10 mg/mL の TPDI 標準原液をメタノールで調製した。さらに, これら 3 種の標準原液から 2E1H,

TPMI, TPDI を各 100 µg/mL 含有する混合標準液 (VOC 3 mix 混合標準液) をメタノールで調製した。

氷冷下, VOC 3 mix 混合標準液をメタノールで段階的に希釈し, 2, 5, 10, 20, 50 µg/mL の VOC 3 mix 標準系列を調製した。続いて, 検量線作成ツールを用いて TenaxTA 捕集管に VOC 3 mix 標準系列を 1 µL 添加し, 窒素を 2 分間通気後, 加熱脱離分析用の DiffLok™ キャップで密栓した。各検量線用試料に添加される VOC 3 mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。

TD-GC/MS システムを用いて VOC 3 mix 検量線用試料を測定し, 得られた測定対象物質と内部標準物質 (Toluene-*d*<sub>8</sub>) のピーク面積比と測定対象物質の重量から検量線を作成した。なお, TPMI については各異性体のピーク面積を合算して同様に検量線を作成した。

### 2.1.3 室内空気試料の分析

TD-GC/MS システムを用いて室内空気試料の測定を行った。得られた測定対象物質と内部標準物質 (Toluene-*d*<sub>8</sub>) のピーク面積比と VOC 50 mix 検量線および VOC 3 mix 検量線から室内空気試料に含まれる測定対象物質の重量を算出した。

### 2.1.4 分析装置および条件

#### 2.1.4.1 TD 条件 (TenaxTA 捕集管の分析条件)

- ・TD 装置: TD100-xr (Markes International 製)
- ・捕集管加熱温度: 280° C
- ・捕集管パージ時間: 10 分
- ・捕集管パージ流量: 50 mL/分
- ・キャリアーガス: He
- ・トラップ管: General Purpose Carbon Cold Trap (Markes International 製)
- ・トラップ冷却温度: -20° C
- ・トラップ加熱温度: 320° C
- ・ライン温度: 250° C
- ・TD スプリット比: 10

### 2.1.4.2 GC/MS 条件

1.4.2 と同じ

## 2.2 溶媒抽出法を用いた VOC 類の分析

### 2.2.1 試薬および試料

溶媒抽出法の VOC 類の標準品は関東化学製室内環境測定用 VOCs 混合標準原液(45 compounds, 各 0.1%二硫化炭素溶液; VOC 45 mix), 室内濃度指針値策定 (候補) 化合物の標準品は関東化学製 2E1H(鹿 1 級), 富士フィルム和光純薬製 TPMI, 東京化成製 TPDI を用いた (VOC 3 mix)。内部標準物質は関東化学製トルエン-*d*<sub>8</sub>標準原液 (室内環境測定用, 1 mg/mL メタノール溶液), 希釈溶媒には富士フィルム和光純薬製二硫化炭素 (作業環境測定用) を用いた。溶媒抽出法の VOC 類の捕集には柴田科学製カーボンビーズアクティブ捕集管 (単層型, CBA 捕集管) を用いた。

### 2.2.2 溶媒抽出法の検量線作成

#### 2.2.2.1 VOC 45 mix 検量線

氷冷下, VOC 45 mix とトルエン-*d*<sub>8</sub>標準原液を二硫化炭素で希釈し, VOC 45 mix を 0.2, 0.5, 1, 2, 5 µg/mL およびトルエン-*d*<sub>8</sub>をそれぞれ 2 µg/mL ずつ含有する標準系列 (VOC 45 mix 標準系列) を調製した。

GC/MS を用いて 45 mix 標準系列を測定し, 各測定対象物質と内部標準物質 (トルエン-*d*<sub>8</sub>) のピーク面積比と各測定対象物質の重量により VOC 45 mix 検量線を作成した。なお, *m, p*-Xylene については各異性体のピーク面積を合算して同様に検量線を作成した。

#### 2.2.2.2 VOC 3 mix 検量線

メスフラスコに 2E1H を 1.0 g 量り取り, 二硫化炭素を加えて 100 mL に定容し, 10 mg/mL の 2E1H 標準原液を調製した。同様に TPMI および TPDI についても 1.0 g ずつ別々のメスフラスコに量り取り, 10 mg/mL の TPMI 標準原液と TPDI 標準原液を二硫化炭素で調製した。さらに, これ

ら3種の標準原液から2E1H, TPMI, TPDIを各10 µg/mL含有する混合標準液(VOC 3 mix 混合標準液)を二硫化炭素で調製した。

氷冷下, VOC 3 mix 混合標準液とトルエン- $d_8$  標準原液を二硫化炭素で希釈し, VOC 3 mix を0.2, 0.5, 1, 2, 5 µg/mL およびトルエン- $d_8$  をそれぞれ2 µg/mL ずつ含有する VOC 3 mix 標準系列を調製した。

GC/MS を用いて VOC 3 mix 標準系列を測定し, 各測定対象物質と内部標準物質(トルエン- $d_8$ ) のピーク面積比と各測定対象物質の重量により VOC 3 mix 検量線を作成した。なお, TPMI については各異性体のピーク面積を合算して同様に検量線を作成した。

### 2.2.3 室内空気試料の分析

室内空気を捕集後の CBA 捕集管から捕集剤とウールを取り出してリアクティブバイアルに入れてセプタム付きキャップで密栓し, 内標入り二硫化炭素(トルエン- $d_8$  0.02 mg/mL) をバイアル内に2 mL 添加した後, 時々攪拌しながら1時間静置した。この上清を1 mL バイアルに分取し, これらを試料溶液として GC/MS を用いて室内空気試料溶液の測定を行った。各測定対象物質と内部標準物質(トルエン- $d_8$ ) のピーク面積比と VOC 45 mix 検量線および VOC 3 mix 検量線から各測定対象物質の濃度を算出した。

### 2.2.4 分析装置および条件

- ・ GC/MS 装置: Agilent 7890/5975
- ・ カラム: Agilent Technologies 製 (VF-1ms 60 m × 0.25 mm × 1.0 µm)
- ・ 昇温条件: 35° C (4分) → 1.5° C/分 → 70° C (0分) → 3° C/分 → 100° C (0分) → 8° C/分 → 315° C (1分)
- ・ 注入モード: スプリット注入(スプリット比 20:1)
- ・ カラムコントロール: Constant Flow
- ・ 注入量: 1 µL

- ・ イオン源温度: 230° C
- ・ 四重極温度: 150° C
- ・ インターフェイス温度: 315° C
- ・ 測定モード: SIM

## 3. 室内空気中のエタノール濃度の違いによる VOC 類の回収率の比較

### 3.1 試薬および試料, 試料の分析, 分析装置および条件

エタノールの分析については 1, 加熱脱離法による VOC 類の分析については 2.1, 溶媒抽出法による VOC 類の分析については 2.2 のとおり。

### 3.2 添加回収試験の詳細

#### 3.2.1 実施場所と実施時期

神奈川県横浜市内の会議室(体積約 140 m<sup>3</sup>)において, 冬季は 2022 年 2 月 16 日-17 日, 夏季は 2022 年 7 月 6 日-7 日に VOC 類の添加回収試験を実施した。

#### 3.2.2 室内空気捕集条件

試験には SP208-20 Dual II (ジーエルサイエンス製; 加熱脱離法) および GSP-400FT (ガステック製; 溶媒抽出法) のサンプリングポンプと TenaxTA 捕集管(加熱脱離法) および CBA 捕集管(溶媒抽出法)を用いた。

加熱脱離法・溶媒抽出法ともに, それぞれ前段と後段の2連続した捕集管のうち前段にのみ標準品を添加した。加熱脱離法は前段の大気側に拡散防止キャップ(チューブ長さ 60 mm × 内径 0.5 mm, パーキンエルマー製)を装着した上で室内空気を流速 8 mL/min で約 6 時間捕集する条件で, 冬季には二併行, 夏季には三併行で実施した。溶媒抽出法は拡散防止キャップを装着せず, 室内空気を流速 200 mL/min で約 6 時間捕集する条件で冬季・夏季ともに三併行で実施した。また, 加熱脱離法・溶媒抽出法ともに, 添加回収試験の比較対照として標準品を添加しない捕集管を用いて同様の操作を三併行で行い, 通気ブランク試料とした。

### 3.2.3 添加回収試験におけるエタノール噴霧

冬季・夏季ともに連続した2日間の添加回収試験のうち、2日目に会議室内の机上に80% (v/v) エタノール水溶液を数回噴霧することにより室内空气中にエタノールが揮散した状態を作り出し、エタノールを噴霧しない1日目と同様に室内空気通気条件下での添加回収試験を行った。

### 3.2.4 エタノール濃度の測定

添加回収試験の際にはOr217捕集管を用いた室内空气中のエタノール濃度の測定を同時に行った。エタノールの捕集はOr217捕集管の大気側に拡散防止キャップを装着し、SP208-20 Dual IIを用いて室内空気を流速2 mL/minで捕集した。その際、Or217捕集管を2連続した状態で約6時間、室内空気を捕集した。エタノールの噴霧を行った2日目には、検量線を超過することを想定し、捕集体積が0.01 Lもしくは0.1 Lとなる短時間での捕集(Or217捕集管は1連)を約6時間にわたり繰り返し行った。

### 3.2.5 温度・湿度、気圧の測定

データロガーThemo Recorder TR-73U (T&D社製)を用いて添加回収試験実施時の温度、相対湿度、気圧を10分毎に測定した。

## D. 結果および考察

### 1. 室内空气中のエタノールの分析

#### 1.1 エタノールの検量線の妥当性評価

Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの検量線には、低濃度域(5 ng-50 ng)および高濃度域(50 ng-1,500 ng)の2種類を作成し、それぞれ検量線に重み付けを行ったものを行わなかったものに関し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づき、検量線の真度、精度、キャリアオーバーを評価した。

##### 1.1.1 真度および精度

検量線用試料の測定を行い、1.1に示した各検量線を3回ずつ作成し、真度および精度を評価した。エタノールの検量線を図1、各検量線の真度および精度を表1および表2に示す。

水道水質検査方法の妥当性評価の目標値は、各検量点の真度が調製濃度の80~120%以内であること、精度が相対標準偏差20%以内であることとされている<sup>1)</sup>。いずれの検量線の真度、精度はこれらを満たしたが、重み付けを行ったものの方がより良好な結果であった。

##### 1.1.2 キャリーオーバー

キャリアオーバーの確認は、1.1に示した各検量線の最大濃度以上の標準品試料の測定直後にブランク試料の測定を行い、これを3回実施した後、ピーク面積値を用いて評価した。結果を表3に示す。水道水質検査方法の妥当性評価では、キャリアオーバーの目標として検量線濃度範囲の下限値を下回る(下限値の100%未満)こととされている<sup>1)</sup>。低濃度域(5 ng-50 ng)および高濃度域(50 ng-1,500 ng)のいずれの検量線においてもキャリアオーバーは目標値を満たした。

## 1.2 定量下限値と検出限界値

1.1で妥当性評価を行った低濃度域検量線のうち、より良好な結果が得られた「重み付けあり」の検量線を用い、検量線最下点である5 ngの標準試料の測定を5併行で行った。この結果から算出された定量下限値は7.0 μg/m<sup>3</sup>、検出限界値は1.7 μg/m<sup>3</sup>であった。算出方法の詳細を表4に示す。

## 2. 加熱脱離法および溶媒抽出法を用いたVOC類の検量線の検証

### 2.1 加熱脱離法によるVOC類の検量線の妥当性評価

TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類の検量線として、5 ng-50 ngの4点検量線(定量範囲5 ng-50 ng)、2 ng-50 ngの5点検量線(定量範囲2 ng-50 ng)、2 ng-50 ngの5

点検量線（定量範囲 5 ng–50 ng）の 3 種類について、それぞれ検量線に重み付けを行ったものを行わなかったものに関し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づき、検量線の真度と精度、キャリアオーバーを評価した。

### 2.1.1 真度および精度

2.1 に示した各検量線を 3 回ずつ作成し、真度および精度を評価した。結果を表 5-1 から表 8-2 に示す。妥当性評価の目標値を満たさなかった物質には表中に色を付けて示した。測定に用いた TenaxTA は沸点 100~400° C、n-C<sub>6</sub>~n-C<sub>26</sub> を使用推奨範囲とされている捕集剤である<sup>2)</sup>。表 5-1 から表 8-2 は TPMI を除き GC/MS のリテンションタイム順（沸点順）に記載してあるが、Hexane よりも沸点が低い物質については Ethanol, Acetone, Methylene chloride（ジクロロメタン）など、真度もしくは精度の目標値を満たさない物質がいずれの検量線においても散見された。なかでも Methylene chloride は今回検討したいずれの検量線においても精度が 20%を超過したことから、TenaxTA を用いた加熱脱離法によるこの濃度域での測定は困難と考えられた。

一方、Hexane よりも沸点が高い物質に関して、真度あるいは精度の目標値を満たさない物質があった検量線は、定量範囲を 2 ng–50 ng とした「重み付けなし」の 5 点検量線だけであった（表 8-1 および表 8-2）。その他の検量線の真度および精度はいずれの物質も目標値を満たす良好な結果であった。特に、定量範囲を 5 ng–50 ng とした「重み付けあり」の 4 点検量線は、Hexane よりも沸点が高い物質の真度 90~110%以内、かつ精度 10%以内と、最も良好な値を示した（表 5-1 および表 5-2）。

### 2.1.2 キャリーオーバー

2.1 に示した各検量線の定量範囲の最大値である 50 ng の検量線用試料の測定直後にブランク試料の測定を行った。これを 3 回実施してキャリア

オーバーを評価した結果を表 9 に示す。

ブランク試料のピーク面積値を、それぞれの検量線における定量範囲の下限として設定した 2 ng および 5 ng の検量線用試料のピーク面積値と比較したところ、Ethanol および Acetone についてはどちらもキャリアオーバーの目標値を満たさなかったが、その他の物質は目標値を満たした。Ethanol および Acetone については TenaxTA を用いた加熱脱離法によるこの濃度域での測定は困難と考えられた。

### 2.1.3 加熱脱離法による VOC 類の定量下限値と検出限界値

2.1 で妥当性を評価した検量線のうち、Hexane よりも沸点が高い物質において最も良好な結果が得られた定量範囲 5 ng–50 ng の 4 点検量線「重み付けあり」を用い、定量範囲の下限である 5 ng の標準試料の測定を五併行で行った。これらの結果から算出された定量下限値および検出限界値、算出方法の詳細を表 10 に示す。今回検討した VOC 類には室内濃度指針値策定物質や室内濃度指針値策定（候補）化合物が含まれるが、算出された定量下限値はいずれもこれらの室内濃度指針値等の 1/10 を十分に下回った。

## 2.2 溶媒抽出法による VOC 類の検量線の妥当性評価

溶媒抽出法による VOC 類の検量線として、0.2–5 µg/mL の検量線「重み付けあり」に関し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づき、検量線の真度と精度、キャリアオーバーを評価した。

### 2.2.1 真度および精度

2.2 に示した検量線を 3 回作成し、真度および精度を評価した。検量線の真度および精度を表 11-1 および表 11-2 に示す。ほとんどの物質は妥当性評価の目標値を満たしたが、表中に色を付けて示した Nonanal と Decanal は目標値を満たさなかった。

この2物質の検量線は相関係数が0.9を下回ったケースもあり、検量点の真度が全て設定値の80～120%を超過した。

### 2.2.2 キャリーオーバー

検量線の最大濃度である5 µg/mLの標準系列の測定直後にブランク試料の測定を行い、これを3回実施してキャリーオーバーを評価した。結果を表12に示す。全ての物質に関してキャリーオーバーは目標値を満たした。

### 2.2.3 溶媒抽出法によるVOC類の定量下限値

積算捕集量の設定値を72 L (200 mL/分×6時間)とし、2.2で妥当性を評価した検量線の定量範囲の最下点濃度である0.2 µg/mLから、溶媒抽出法の定量下限値(室内濃度値)を5.6 µg/m<sup>3</sup>と算出した。

## 3. 室内空気中のエタノール濃度の違いによるVOC類の回収率の比較

### 3.1 添加回収試験時の温度、相対湿度とエタノール濃度

添加回収試験時の温度、相対湿度、気圧、エタノール室内濃度を表13に示す。また、80% (v/v)エタノール水溶液を室内に噴霧した2日目については、エタノールの噴霧時刻および噴霧量と、各時刻の室内におけるエタノール濃度などに関する詳細情報を表14に示す。併せて、添加回収時の室内の様子を写真1に示す。

添加回収試験時の相対湿度については、冬季は1日目が37%、2日目が24%と低湿度であったのに対し、夏季は1日目が70%、2日目が51%と高～中湿度であった。また、室内空気中のエタノールの濃度については、冬季および夏季ともに1日目、すなわちエタノールの噴霧を行わなかった日は13 µg/m<sup>3</sup>および14 µg/m<sup>3</sup>であったが、エタノールの噴霧を行った2日目は冬季が840 µg/m<sup>3</sup>、夏季が13,000 µg/m<sup>3</sup>であった。金らは、新型コロナウイルス感染症流行時のオフィスのビルにおける

空気中エタノールの室内濃度は、平均1,934 µg/m<sup>3</sup>、中央値1,093 µg/m<sup>3</sup>、最大値17,711 µg/m<sup>3</sup>と報告している<sup>3)</sup>。今回エタノール噴霧を実施した際の室内空気中のエタノール濃度は既報の範囲内であり、噴霧量は妥当と考えられた。

### 3.2 Or217 捕集管におけるエタノールの破過

冬季と夏季の2回、それぞれ連続した2日間の添加回収試験の各日において捕集体積が最も多い約6時間のサンプリングを行った試料については、Or217捕集管を2連結してエタノールを捕集した。これら室内空気試料におけるエタノールの捕集量および後段への破過率(前後段の合算値に対する後段値の割合(%))を、測定日のエタノールの平均室内濃度とともに表15に示す。

エタノールの平均室内濃度が最も高かった夏季2日目の試料はエタノールの捕集量も最大だったが、このケースであっても後段への破過率は2.4%程度にとどまり、その他の3試料については後段にエタノールが検出されなかったことから、Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの測定において破過は認められなかった。

### 3.3 VOC類の回収率

#### 3.3.1 通常状態(エタノール噴霧なし)における添加回収試験

##### 3.3.1.1 TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法の試験

TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法における前段の測定結果から冬季および夏季の通常状態における添加回収試験の結果を表16および表17に示す。また、前後段の測定結果の合算値を後段への破過率と併せて表18に示す。なお、検量線の妥当性評価で目標値を満たさなかったEthanol, Acetone, Methylene chlorideについては表から除外した。冬季の添加回収試験は二併行で実施したため表16には回収率(真度)のみを記載し、精度は記載しなかった。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインでは、添加試料の目標値として回

収率（真度）は添加濃度の70～130%以内、併行精度は相対標準偏差（RSD%）20%以内とされている<sup>1)</sup>。今回は二併行もしくは三併行ではあるがこれに基づいて添加試料を評価し、目標値を満たさなかった物質には表16と表17に色を付けて示した。表18には前後段の合算値が添加量の70～130%以内に収まらなかった物質と、破過率が20%以上となった物質について色を付けて示した。

冬季および夏季ともに添加回収試験の目標値に満たなかった物質は2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanalの5物質で、いずれも回収率が70%未満であった。また、冬季にはこれらに加えてChloroform, Nonanalの回収率が70%未満であった。他方、冬季のn-Nonaneは回収率が130%を超過した。目標値を満たさなかった物質は回収率が低いものがほとんどであったが、これらは前後段を合算しても目標値の70%に満たないか、破過率が20%を超過しているかのどちらか、あるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性については問題がなかったことから、通気の影響で回収率が低下した可能性が考えられた。

### 3.3.1.2 CBA 捕集管を用いた溶媒抽出法の試験

CBA 捕集管を用いた溶媒抽出法における前段の測定結果から通常状態における通気時の添加回収試験結果を算出したものを表19および表20に示す。また、前後段の測定結果の合算値を後段への破過率と併せて表21に示す。なお、検量線の妥当性評価で目標値を満たさなかったNonanalおよびDecanal、エタノール噴霧により評価不能となるEthanolについては表から除外した。加えて、2-Butanoneについては一部の試料で測定が不能（ピークとセグメント開始が重なったため）だったことから表から除外した。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づいて添加試料の評価を行い、目標値を満たさなかった物質には表19と表20に色を付けて示した。表21には前後段の

合算値が添加濃度の70～130%以内に収まらなかった物質と、破過率が20%以上となった物質について色を付けて示した。

冬季および夏季とも添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質はAcetone, Methylene chloride, n-Butanol, Styreneの4物質であった。冬季は4物質とも回収率（真度）は70%未満であったが、夏季はAcetoneおよびn-Butanolは回収率（真度）が130%超過し、Methylene chlorideおよびStyreneは70%未満であった。加えて、Methylene chlorideの併行精度は目標値である20%以内を超過した。これらの4物質の回収率は、前後段を合算しても目標値を満たさないか、破過率が20%を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価については問題がなかったことから、通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられた。また、Styreneは重合による回収率の低下を補正するために重水素体にて補正を行う方法が知られている<sup>4)</sup>が、今回はその補正を行っていないことも回収率低下の一因と考えられた。

### 3.3.2 エタノール存在下における添加回収試験

#### 3.3.2.1 TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法の試験

エタノール存在下におけるTenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法での前段の測定結果から通気時の添加回収試験結果を表22および表23に示す。また、前後段の測定結果の合算値を後段への破過率と併せて表24に示す。なお、検量線の妥当性評価で目標値を満たさなかったEthanol, Acetone, Methylenechlorideについては表から除外した。さらに、今回、冬季の添加回収試験は二併行で行ったため表22には回収率（真度）のみを記載した。水道水質検査方法の妥当性評価に基づいて添加試料の評価を行い、目標値を満たさなかった物質には表22と表23に色を付けて示した。表24については前後段の合算値が添加量の70～130%以内

に収まらなかった物質と、破過率が20%以上となった物質に色をつけて示した。

冬季および夏季ともに添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質は、2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanal の5物質で、いずれも回収率（真度）が70%未満であった。また、冬季にはこれらに加えて Chloroform, Nonanal の2物質も回収率（真度）が70%未満であった。物質ごとの傾向は3.3.1.1に示した通常状態の添加回収試験の結果と類似しており、通常状態と同様に、前後段を合算しても目標値の70%に満たないか、破過率が20%を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価で目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価には問題がなかったことから、これらの7物質については通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられた。

### 3.3.2.2 室内空気中エタノールの影響（TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法）

室内空気中のエタノール濃度の影響について、3.3.1.1に示した通常状態の添加回収試験と回収率を比較し表25に示した。

冬季・夏季とも、1日目の通常状態（エタノール噴霧なし）と2日目のエタノール噴霧時における回収率の差が20%以上となった物質は認められなかったことから、TenaxTA 捕集管を用いた加熱脱離法において、室内空気中のエタノール濃度がVOC 類の測定に及ぼす影響は小さいと考えられた。

### 3.3.2.3 CBA 捕集管を用いた溶媒抽出法の試験

エタノール存在下における CBA 捕集管を用いた溶媒抽出法での前段の測定結果から通気時の添加回収試験結果を表26および表27に示す。また、前後段の測定結果の合算値を後段への破過率と併せて表28に示す。なお、検量線の妥当性評価で目標値を満たさなかった Nonanal および Decanal, エタノール噴霧作業により評価不能となる

Ethanol については表から除外した。加えて、2-Butanone については一部の試料で測定が不能だったことから表から除外した。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づいて添加試料の評価を行い、目標値を満たさなかった物質には表26と表27に色を付けて示した。表28については前後段の合算値が添加濃度の70~130%以内に収まらなかった物質と、破過率が20%以上となった物質について色をつけて示した。

冬季および夏季とも添加試料の評価が目標値を満たさなかった物質は Methylene chloride, Styrene の2物質で、いずれも回収率（真度）が70%未満だった。また、夏季にはこれらに加えて Acetone の回収率（真度）が70%未満であった。これらは前後段を合算しても添加試料の評価の目標値の70%に満たないか、破過率が20%を超えているかのどちらかあるいはその両方に該当した。添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質であっても検量線の妥当性評価に問題がなかったことから、通気の影響で回収率が下がった可能性が考えられるが、Styrene については3.3.1.2 同様に重合による回収率低下も一因となった可能性が考えられた。

### 3.3.2.4 室内空気中エタノールの影響（CBA 捕集管を用いた溶媒抽出法）

室内空気中のエタノールの影響について、3.3.1.2に示した通常状態の添加回収試験結果と回収率を比較し、表29に示した。

1日目の通常状態（エタノール噴霧なし）と2日目のエタノール噴霧時における回収率の差が20%以上となった物質は、表に色をつけて示した n-Butanol (冬季および夏季), 2E1H (夏季), TPMI (夏季)の3物質であった。特に、夏季の n-Butanol および 2E1H については回収率の差が30%以上であった。n-Butanol については、冬季は2日目の回収率の方が低かったが、夏季は逆に2日目の回収率の方が高かった。また、夏季の 2E1H および TPMI についてはいずれも2日目の回収率の方が

高かった。これら3物質はいずれもアルコール類であり、CBA捕集管は高湿度下における回収率が低下するとの報告がある<sup>5)</sup>。夏季については1日目の湿度は70%と高湿度であったが、2日目は51%と中湿度であった。これら3物質の2日目の回収率が1日目よりも高くなった要因としては2日目に湿度が下がった影響である可能性が考えられた。また、冬季については1日目の湿度は37%、2日目は24%であり、どちらの日も低湿度であったが、夏季同様に1日目よりも2日目の方が低湿度であった。これにもかかわらず冬季のn-Butanol回収率は2日目の方が低かった要因としては、2日目に噴霧した室内空気中のエタノール濃度の影響が関係している可能性が考えられた。

#### E. まとめ

Or217捕集管を用いた加熱脱離法による室内空気中のエタノールの分析について、定量範囲の異なる2種類の検量線の妥当性を評価した結果、いずれの検量線についても良好な結果であったが、重み付けを行ったものの方がより良好であり、エタノールの定量下限値は $7.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出限界値は $1.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ と算出された。

TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類の分析について、定量範囲が異なる3種類の検量線の重み付けあり・なしの場合について検量線の妥当性を評価した。Methylene chloride (ジクロロメタン) についてはいずれの検量線において精度の目標値を満たさなかったことからTenaxTAを用いた加熱脱離法によるこの濃度域における測定は困難であった。一方、Hexaneよりも沸点の高い物質の真度・精度に関しては概ね良好な結果が得られた。特に、定量範囲を $5\ \text{ng} - 50\ \text{ng}$ とした「重み付けあり」の4点検量線は真度・精度が最も良好な値を示した。ほとんどの物質のキャリアオーバーは目標値を満たしていたが、EthanolおよびAcetoneについては目標値を満たさなかったことからTenaxTAを用いた加熱脱離法によるこの濃度域での測定は困難であった。今

回検討を行ったVOC類には室内濃度指針値策定物質や室内濃度指針値策定(候補)化合物が含まれるが、定量下限値等の算出を行ったところ室内濃度指針値等の1/10を十分に下回った。

溶媒抽出法によるVOC類の分析について、検量線の妥当性を評価したところ、ほとんどの物質の真度・精度は良好であったが、NonanalとDecanalについては目標値を満たさなかった。キャリアオーバーについては全て目標値を満たす良好な結果が得られた。

冬季と夏季の2回にわたり、それぞれ連続した2日間のVOC類の添加回収試験を実施した。添加回収試験は上述で検討した検量線による加熱脱離法および溶媒抽出法を同時併行で実施し、会議室内の空気を捕集する条件下で実施した。

通常状態(エタノール噴霧なし)における加熱脱離法(TenaxTA捕集管)による添加回収試験で、冬季および夏季ともに添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質は、2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanalの5物質、冬季のみ満たさなかった物質はChloroform, Nonanalおよびn-Nonaneであった。また、溶媒抽出法(CBA捕集管)による添加回収試験で、冬季および夏季とも添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はAcetone, Methylene chloride, n-Butanol, Styreneの4物質であった。回収率の低下は通気の影響によるものと考えられるが、溶媒抽出法のStyreneについては重合による回収率低下の可能性がある。今回、重水素体による補正を行っていないことが一因と考えられた。

会議室内の机の上に80% (v/v) エタノール水溶液を噴霧することにより室内空気中にエタノールが揮散した状態を作り出した上で、VOC類の添加回収試験を実施した。加熱脱離法(TenaxTA捕集管)による添加回収試験で、冬季および夏季ともに添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質は、2-Propanol, 1-Propanol, 2,4-Dimethylpentane, Iso-octane, Decanalの5物質、冬季のみ添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質はChloroform,

Nonanal の 2 物質であった。これらの傾向は冬季の n-Nonane を除き通常状態（エタノール噴霧なし）における結果と類似していた。室内空気中のエタノール濃度の影響について検討した結果、加熱脱離法（TenaxTA 捕集管）ではエタノールの有無で回収率の差が 20%以上となった物質はなく、室内空気中のエタノール濃度が VOC 類の測定に及ぼす影響は小さいと考えられた。

溶媒抽出法（CBA 捕集管）では、冬季および夏季とも添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質は Methylene chloride, Styrene の 2 物質、夏季のみ添加試料の評価の目標値を満たさなかった物質は Acetone であった。回収率の低下は通気の影響によるものと考えられるが、溶媒抽出法の Styrene については前述のとおり重合による回収率の低下が考えられた。室内空気中のエタノール濃度の影響について検討した結果、溶媒抽出法（CBA 捕集管）はエタノールの有無で回収率の差が 20%以上となった物質は、n-Butanol（冬季および夏季）、2E1H（夏季）、TPMI（夏季）の 3 物質であった。特に、夏季の n-Butanol および 2E1H については回収率の差が 30%以上であった。夏季においてこれら 3 物質の 2 日目の回収率は 1 日目よりも高くなったが、これは 2 日目に湿度が下がった影響である可能性が考えられた。また、2 日間ともに低湿度であった冬季において n-Butanol 回収率は 2 日目の方が低かった結果については、室内に噴霧したエタノールの影響が関係している可能性が考えられた。

#### 【参考文献】

- 1) 厚生労働省健康局水道課：水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン, 平成 24 年 9 月 6 日付健水発 0906 第 1 号別添（最終改正：厚生労働省医薬・生活衛生局水道課, 平成 29 年 10 月 18 日付薬生水発 1018 第 1 号）
- 2) JIS A 1966 : 2015, 室内空気中の揮発性有機化合物 (VOC) の 吸着捕集・加熱脱離・キャピラリー ガスクロマトグラフィーによるサン

プリング及び分析—ポンプサンプリング, 附属書 D (参考) 吸着剤選択の手引き

- 3) 金勲, 他, 新型コロナ流行時のオフィスビルにおける空気中エタノール濃度の実態調査, 2022 年室内環境学会学術大会講演要旨集
- 4) 環境省:炭化水素類の測定マニュアル, 別表 10 (令和 2 年 1 月 23 日告示改正, 2 月 1 日施行)
- 5) 大貫文, 他, 溶媒抽出法を用いた TVOC 測定法の検討, 平成 29 年室内環境学会学術大会講演要旨集

#### E. 健康危機情報

なし

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 酒井 信夫:用語解説 ベンゼン, 室内環境, 25, 324 (2022)
- 2) 酒井 信夫:用語解説 ナフタレン, 室内環境, 25, 324 (2022)
- 3) 酒井 信夫:解説 ISO 16000-33: GC/MS を用いたフタル酸エステル類の定量の改訂, クリーンテクノロジー, 32, 60-63 (2022)
- 4) Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y: Survey of phthalates, glycols, and several volatile organic compounds in domestic hand-pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality, Journal of Environmental Chemistry, 32, 84-94 (2022)
- 5) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Nationwide survey of the candidate substances in guideline values for indoor air concentrations, Bulletin of National Institute of Health Sciences, 140, 40-47 (2022)
- 6) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: A nationwide survey on indoor air concentrations of benzene and naphthalene in general residential housings, Indoor Environment,

- 25,177-184 (2022)
- 7) Sakai S, Tahara M, Kubota R, Kawakami T, Inoue K, Ikarashi Y: Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Volatile organic compounds, *Science of the Total Environment*, 838, 156400 (2022)
  - 8) Oshima N, Takagi M, Sakai S, Ikarashi Y: Comparison of the helium-alternative carrier gases for the gas chromatography/mass spectrometry of standard test methods for indoor air quality guidelines in Japan, *BPB Reports*, 5, 84-87 (2022)
  - 9) 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, *Journal of Toxicological Sciences*, 48, 37-45 (2023)
- ## 2. 学会発表
- 1) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: マイクロチャンバー及び加熱脱離GC/MSによる穀物由来揮発性有機化合物のメタボローム解析, 日本食品化学学会第 28 回学術大会, 東京, 2022 年 5 月
  - 2) 酒井信夫: 質量分析法を用いた標準試験法の必要条件: レギュラトリーサイエンス研究に基づく信頼性と汎用性とサステナビリティ, 第 70 回質量分析総合討論会, 福岡, 2022 年 6 月
  - 3) 森葉子, 井上凌子, 青木明, 岡本誉士典, 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 香川(田中)聡子, 神野透人: TVOC のデコンボリューション解析による室内空気汚染化学物質の探索, 第 68 回日本薬学会東海支部総会・大会, 名古屋, 2022 年 7 月
  - 4) 大嶋直浩, 河上強志, 高橋夏子, 高木規峰野, 小濱とも子, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: マスクの規格改定を指向した揮発性有機化合物の実態調査, 第 8 回次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム, 東京, 2022 年 8 月
  - 5) 大嶋直浩, 高橋夏子, 高木規峰野, 小濱とも子, 河上強志, 酒井信夫, 五十嵐良明: 家庭用マスクから放散される揮発性有機化合物, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー, 熊本, 2022 年 8 月
  - 6) 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, 大阪, 2022 年 9 月
  - 7) Kenichi AZUMA, Hideto JINNO, Toshiko TANAKA-KAGAWA, Shinobu SAKAI: Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: dimethylsiloxanes, glycols, butanediol, hydrocarbons, trimethylbenzenes, benzene, naphthalene, and ethyltoluene, 34th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE 2022), Athens, September 18-21 (2022)
  - 8) 大嶋直浩, 高木規峰野, 高橋夏子, 酒井信夫, 五十嵐良明, 千葉真弘, 柴田学, 岩館樹里, 後藤吉乃, 佐藤智子, 田中智子, 大竹正芳, 角田徳子, 上村仁, 田中礼子, 高居久義, 中村雄介, 堀井裕子, 望月映希, 伊藤彰, 山本優子, 大野浩之, 藤本恭史, 吉田俊明, 古市裕子, 八木正博, 伊達英代, 谷脇妙, 松本弘子, 吉村裕紀, 前田美奈子: 令和 3 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会, 川崎, 2022 年 10 月
  - 9) 酒井信夫: ヘリウムガス供給不足に対する国立衛研の対応, 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会, 川崎, 2022 年 10 月
  - 10) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 酒井信夫: 室内空气中の揮発性有機化合物(VOCs)分析における除湿管の影響, 2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月

- 11) 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: 一般居住住宅における室内空気質に関する全国実態調査, 2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月
- 12) 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
- 13) 高木規峰野, 大嶋直浩, 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明: GC-MS/MS を用いた室内空気中殺虫剤の分析, 日本薬学会第 143 年会, 札幌, 2023 年 3 月
- 14) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良

明: 機能性繊維製品から放散する揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガスの比較, 日本薬学会第 143 年会, 札幌, 2023 年 3 月

## G. 知的所有権の取得状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

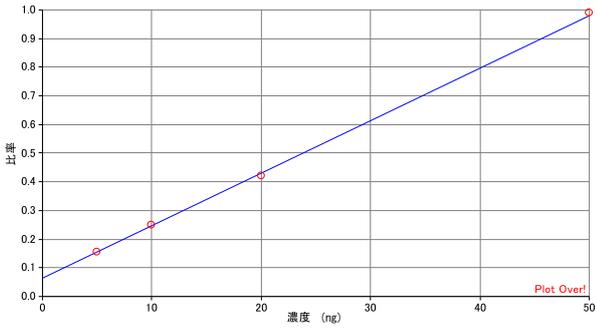
なし

### 3. その他

なし

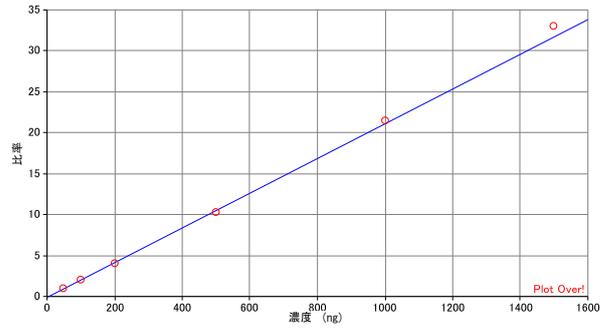
検量線:重み付き直線  
 面積(比率)=0.018263\*Q+0.065255  
 相関係数=0.9998219  
 決定係数=0.9996437

低濃度域、重み付けあり



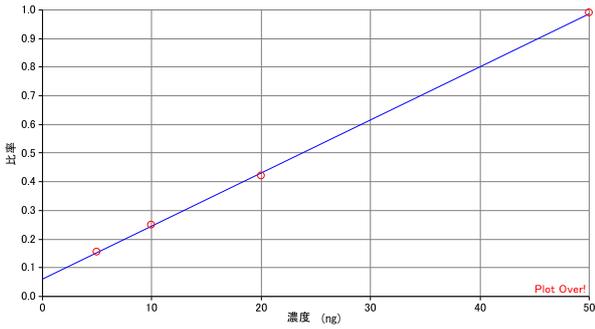
検量線:重み付き直線  
 面積(比率)=0.021227\*Q-0.084449  
 相関係数=0.9997839  
 決定係数=0.9996679

高濃度域、重み付けあり



検量線:直線  
 面積(比率)=0.018534\*Q+0.060768  
 相関係数=0.9998219  
 決定係数=0.9996437

低濃度域、重み付けなし



検量線:直線  
 面積(比率)=0.022044\*Q-0.34742  
 相関係数=0.9997839  
 決定係数=0.9996679

高濃度域、重み付けなし

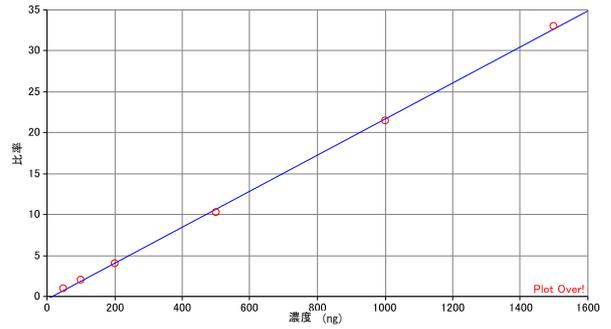


図1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの検量線



写真1 添加回収試験の様子

表1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの検量線(低濃度域)の真度と併行精度

化合物名		真度(%)								真度	
		含有量(ng)	STD1 5	STD2 10	STD3 20	STD4 50	真度範囲		判定		
Ethanol	重み付けあり		99	104	97	100	97	~	104	○	○: 90~110%以内 △: 80~120%以内 ×: 80~120%を超過
	重み付けなし		99	104	97	100	97	~	104	○	

化合物名		併行精度(%)								併行精度	
		含有量(ng)	STD1 5	STD2 10	STD3 20	STD4 50	併行精度範囲		判定		
Ethanol	重み付けあり		0.9	2.1	1.0	1.1	0.9	~	2.1	○	○: 0~10%以内 △: 10~20%以内 ×: 20%を超過
	重み付けなし		3.6	1.8	1.1	0.1	0.1	~	3.6	○	

表2 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの検量線(高濃度域)の真度と併行精度

化合物名		真度(%)								真度			
		含有量(ng)	STD1 50	STD2 100	STD3 200	STD4 500	STD5 1000	STD6 1500	真度範囲		判定		
Ethanol	重み付けあり		101	98	98	98	101	103	98	~	103	○	○: 90~110%以内 △: 80~120%以内 ×: 80~120%を超過
	重み付けなし		116	105	100	97	99	101	97	~	116	△	

化合物名		併行精度(%)								併行精度			
		含有量(ng)	STD1 50	STD2 100	STD3 200	STD4 500	STD5 1000	STD6 1500	併行精度範囲		判定		
Ethanol	重み付けあり		2.1	3.3	3.0	1.8	2.0	3.2	1.8	~	3.3	○	○: 0~10%以内 △: 10~20%以内 ×: 20%を超過
	重み付けなし		16.2	4.2	1.3	3.1	0.4	0.5	0.4	~	16.2	△	

表3 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの検量線のキャリアオーバー

化合物名	低濃度域検量線(5 - 50 ng)			高濃度域検量線(50 - 1,500 ng)			キャリアオーバー		
	検量点5ngと比較した キャリアオーバー(%)の範囲		判定	検量点50ngと比較した キャリアオーバー(%)の範囲		判定			
Ethanol	14.74	~	17.13	○	27.27	~	37.64	○	○: 100%未満 ×: 100%以上

表4 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるエタノールの分析における定量下限値と検出限界値

	定量下限値			検出限界値
	検量線の最下点濃度の 標準試料(5 ng)を5回測 定したときの10σ値	検量線の最下点濃度の 設定値	採用値 <sup>※3</sup>	検量線の最下点濃度の 標準試料(5 ng)を5回測 定したときの3σ値
EthanolのTD-GCMS測定値 <sup>※1</sup> (ng)	4.2	5.0	5.0	1.3
Ethanolの室内濃度換算値 <sup>※2</sup> (μg/m <sup>3</sup> )	5.8	6.9	7.0	1.7

※1 低濃度域(5 - 50 ng)の重み付け検量線を使用

※2 積算捕集量を0.72Lとして算出(流量 2 mL/分での6時間サンプリングを想定)

※3 10σ値と検量線最下点濃度の設定値を比較し、大きい方の数値を切り上げたもの

表5-1 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の真度：5ng-50ngの4点検査線（定量範囲5ng-50ng）、重み付けあり

化合物名	真度(%)						判定※
	STD1	STD2	STD3	STD4	真度範囲		
	含有量(ng)	5	10	20	50		
Ethanol	102.6	92.3	104.7	100.4	92.3	~ 104.7	○
Acetone	96.4	108.3	99.3	95.9	95.9	~ 108.3	○
2-Propanol	101.5	95.5	103.2	99.8	95.5	~ 103.2	○
Methylene chloride	95.1	114.4	91.1	99.4	91.1	~ 114.4	△
1-Propanol	100.9	97.7	100.9	100.6	97.7	~ 100.9	○
2-Butanone	101.7	95.7	101.1	101.5	95.7	~ 101.7	○
Hexane	100.1	98.6	103.3	98.0	98.0	~ 103.3	○
Ethyl Acetate	101.0	97.2	101.6	100.2	97.2	~ 101.6	○
Chloroform	100.3	98.2	102.7	98.7	98.2	~ 102.7	○
2,4-Dimethylpentane	98.8	101.1	104.4	95.7	95.7	~ 104.4	○
1,2-Dichloroethane	100.6	97.7	102.5	99.2	97.7	~ 102.5	○
Benzene	99.8	99.9	101.6	98.7	98.7	~ 101.6	○
n-Butanol	102.6	94.1	99.8	103.4	94.1	~ 103.4	○
1,2-Dichloropropane	100.5	97.9	102.4	99.1	97.9	~ 102.4	○
Iso-octane	99.1	100.2	104.8	95.9	95.9	~ 104.8	○
Trichloroethylene	100.5	97.9	102.4	99.2	97.9	~ 102.4	○
Bromodichloromethane	101.0	97.0	102.1	99.9	97.0	~ 102.1	○
n-Heptane	100.8	97.1	102.7	99.4	97.1	~ 102.7	○
4-Methyl-2-pentanone	101.6	95.9	101.4	101.1	95.9	~ 101.6	○
Toluene	101.2	96.6	101.9	100.3	96.6	~ 101.9	○
Dibromochloromethane	101.2	96.7	101.8	100.4	96.7	~ 101.8	○
n-Octane	100.9	97.3	102.0	99.9	97.3	~ 102.0	○
n-Butyl Acetate	100.8	97.3	102.1	99.7	97.3	~ 102.1	○
Tetrachloroethene	100.8	97.4	102.2	99.6	97.4	~ 102.2	○
Ethylbenzene	101.1	96.8	102.1	100.1	96.8	~ 102.1	○
m-Xylene	101.2	96.1	103.0	99.6	96.1	~ 103.0	○
p-Xylene	100.2	98.5	102.6	98.7	98.5	~ 102.6	○
Styrene	101.7	95.6	101.5	101.2	95.6	~ 101.7	○
o-Xylene	100.9	97.0	102.4	99.7	97.0	~ 102.4	○
n-Nonane	100.7	97.4	102.5	99.3	97.4	~ 102.5	○
α-pinene	101.4	95.9	102.5	100.2	95.9	~ 102.5	○
3-Ethyltoluene	101.0	96.9	102.0	100.1	96.9	~ 102.0	○
4-Ethyltoluene	100.8	97.3	102.3	99.6	97.3	~ 102.3	○
1,3,5-Trimethylbenzene	100.8	97.4	102.3	99.6	97.4	~ 102.3	○
2-Ethyltoluene	100.9	97.1	102.4	99.6	97.1	~ 102.4	○
β-Pinene	102.0	94.8	101.8	101.5	94.8	~ 102.0	○
1,2,4-Trimethylbenzene	100.9	97.2	102.1	99.8	97.2	~ 102.1	○
n-Decane	100.3	98.2	102.8	98.7	98.2	~ 102.8	○
1,4-Dichlorobenzene	100.9	97.1	102.3	99.7	97.1	~ 102.3	○
2-Ethyl-1-hexanol	103.4	93.8	95.9	106.8	93.8	~ 106.8	○
1,2,3-Trimethylbenzene	100.9	97.1	102.5	99.5	97.1	~ 102.5	○
Limonene	101.7	95.6	101.5	101.2	95.6	~ 101.7	○
Nonanal	102.5	93.6	102.2	101.7	93.6	~ 102.5	○
n-Undecane	100.3	98.2	103.3	98.3	98.2	~ 103.3	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	100.6	97.5	102.8	99.0	97.5	~ 102.8	○
Decanal	103.0	92.6	101.6	102.8	92.6	~ 103.0	○
n-Dodecane	100.4	97.5	104.1	97.9	97.5	~ 104.1	○
n-Tridecane	100.8	96.8	103.9	98.5	96.8	~ 103.9	○
n-Tetradecane	101.4	95.5	103.6	99.5	95.5	~ 103.6	○
n-Pentadecane	101.4	95.4	103.7	99.5	95.4	~ 103.7	○
n-Hexadecane	101.8	95.1	102.4	100.7	95.1	~ 102.4	○
TPDI	101.3	98.0	97.6	103.1	97.6	~ 103.1	○
TPMI	102.1	97.4	94.1	106.3	94.1	~ 106.3	○

※真度 ○：90～110%以内、△：80～120%以内、×：80～120%を超過

表5-2 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の併行精度：5ng-50ngの4点検査線（定量範囲5ng-50ng）、重み付けあり

化合物名	併行精度(%)								判定※
	STD1	STD2	STD3	STD4	併行精度範囲				
	含有量(ng)	5	10	20	50				
Ethanol	7.1	16.1	5.1	12.1	5.1	~ 16.1		△	
Acetone	5.7	13.5	8.6	5.5	5.5	~ 13.5		△	
2-Propanol	0.6	1.1	1.1	1.4	0.6	~ 1.4		○	
Methylene chloride	5.3	12.8	23.7	14.4	5.3	~ 23.7		×	
1-Propanol	2.5	4.9	2.2	4.5	2.2	~ 4.9		○	
2-Butanone	0.3	1.4	1.8	0.7	0.3	~ 1.8		○	
Hexane	0.6	1.4	0.9	0.9	0.6	~ 1.4		○	
Ethyl Acetate	0.3	1.2	1.7	1.1	0.3	~ 1.7		○	
Chloroform	0.8	1.5	1.4	1.7	0.8	~ 1.7		○	
2,4-Dimethylpentane	1.7	3.1	1.9	3.5	1.7	~ 3.5		○	
1,2-Dichloroethane	0.8	1.4	1.5	1.9	0.8	~ 1.9		○	
Benzene	0.7	1.8	2.0	1.3	0.7	~ 2.0		○	
n-Butanol	0.5	1.4	2.1	1.4	0.5	~ 2.1		○	
1,2-Dichloropropane	0.6	1.1	1.2	1.4	0.6	~ 1.4		○	
Iso-octane	2.0	3.5	2.5	4.3	2.0	~ 4.3		○	
Trichloroethylene	0.7	1.8	1.4	1.2	0.7	~ 1.8		○	
Bromodichloromethane	0.7	1.2	1.4	1.6	0.7	~ 1.6		○	
n-Heptane	0.6	1.4	1.8	1.5	0.6	~ 1.8		○	
4-Methyl-2-pentanone	0.5	0.6	1.4	1.4	0.5	~ 1.4		○	
Toluene	0.5	1.5	1.2	0.6	0.5	~ 1.5		○	
Dibromochloromethane	0.5	1.0	1.4	1.4	0.5	~ 1.4		○	
n-Octane	0.4	0.7	1.6	1.4	0.4	~ 1.6		○	
n-Butyl Acetate	0.6	1.2	1.3	1.3	0.6	~ 1.3		○	
Tetrachloroethene	0.6	0.9	1.9	1.8	0.6	~ 1.9		○	
Ethylbenzene	0.5	1.2	1.7	1.3	0.5	~ 1.7		○	
m-Xylene	1.1	2.7	2.2	1.9	1.1	~ 2.7		○	
p-Xylene	1.0	2.2	0.6	1.5	0.6	~ 2.2		○	
Styrene	0.4	0.5	1.7	1.5	0.4	~ 1.7		○	
o-Xylene	0.6	1.5	1.5	1.4	0.6	~ 1.5		○	
n-Nonane	0.3	0.4	1.3	1.3	0.3	~ 1.3		○	
α-pinene	0.4	0.7	2.1	1.8	0.4	~ 2.1		○	
3-Ethyltoluene	0.5	0.8	1.6	1.6	0.5	~ 1.6		○	
4-Ethyltoluene	0.5	0.7	2.0	1.9	0.5	~ 2.0		○	
1,3,5-Trimethylbenzene	0.6	0.9	1.9	1.9	0.6	~ 1.9		○	
2-Ethyltoluene	0.7	1.1	1.6	1.8	0.7	~ 1.8		○	
β-Pinene	0.6	0.9	1.7	1.9	0.6	~ 1.9		○	
1,2,4-Trimethylbenzene	0.5	0.7	1.5	1.5	0.5	~ 1.5		○	
n-Decane	0.5	0.7	1.3	1.5	0.5	~ 1.5		○	
1,4-Dichlorobenzene	0.6	1.4	1.6	1.5	0.6	~ 1.6		○	
2-Ethyl-1-hexanol	1.5	3.6	1.3	2.0	1.3	~ 3.6		○	
1,2,3-Trimethylbenzene	0.7	1.0	1.6	1.8	0.7	~ 1.8		○	
Limonene	0.6	1.0	1.4	1.7	0.6	~ 1.7		○	
Nonanal	1.2	1.9	3.7	3.7	1.2	~ 3.7		○	
n-Undecane	0.9	1.5	1.3	1.9	0.9	~ 1.9		○	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.9	1.5	1.4	2.0	0.9	~ 2.0		○	
Decanal	0.8	1.0	2.7	2.7	0.8	~ 2.7		○	
n-Dodecane	1.4	2.7	1.3	2.6	1.3	~ 2.7		○	
n-Tridecane	1.6	3.2	1.5	2.8	1.5	~ 3.2		○	
n-Tetradecane	1.5	3.0	1.4	2.8	1.4	~ 3.0		○	
n-Pentadecane	1.5	3.1	1.4	2.8	1.4	~ 3.1		○	
n-Hexadecane	1.3	3.5	0.8	1.2	0.8	~ 3.5		○	
TPDI	1.5	3.0	2.1	3.0	1.5	~ 3.0		○	
TPMI	1.7	3.5	4.7	3.9	1.7	~ 4.7		○	

※併行精度 ○：0～10%以内、△：10～20%以内、×：20%を超過

表6-1 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の真度：5ng-50ngの4点検査線（定量範囲5ng-50ng）、重み付けなし

化合物名	真度(%)						判定*
	STD1	STD2	STD3	STD4	真度範囲		
	含有量(ng)	5	10	20	50		
Ethanol	99.5	92.7	105.0	99.5	92.7	~ 105.0	○
Acetone	85.1	106.7	101.1	99.7	85.1	~ 106.7	△
2-Propanol	100.7	95.1	103.0	99.7	95.1	~ 103.0	○
Methylene chloride	89.6	113.7	94.8	100.4	89.6	~ 113.7	△
1-Propanol	101.6	98.0	100.7	100.0	98.0	~ 101.6	○
2-Butanone	105.0	96.5	100.5	100.0	96.5	~ 105.0	○
Hexane	94.9	97.1	103.9	99.6	94.9	~ 103.9	○
Ethyl Acetate	101.3	97.2	101.4	99.9	97.2	~ 101.4	○
Chloroform	96.9	97.3	103.0	99.7	96.9	~ 103.0	○
2,4-Dimethylpentane	86.9	98.3	106.1	99.2	86.9	~ 106.1	△
1,2-Dichloroethane	98.4	97.0	102.6	99.7	97.0	~ 102.6	○
Benzene	96.4	99.0	102.0	99.8	96.4	~ 102.0	○
n-Butanol	110.3	96.2	98.7	100.3	96.2	~ 110.3	△
1,2-Dichloropropane	98.1	97.2	102.6	99.7	97.2	~ 102.6	○
Iso-octane	87.8	97.4	106.3	99.2	87.8	~ 106.3	△
Trichloroethylene	98.3	97.2	102.5	99.7	97.2	~ 102.5	○
Bromodichloromethane	100.5	96.8	101.9	99.8	96.8	~ 101.9	○
n-Heptane	99.0	96.4	102.8	99.7	96.4	~ 102.8	○
4-Methyl-2-pentanone	103.9	96.4	100.9	100.0	96.4	~ 103.9	○
Toluene	101.8	96.6	101.6	99.9	96.6	~ 101.8	○
Dibromochloromethane	101.8	96.8	101.5	99.9	96.8	~ 101.8	○
n-Octane	100.3	97.0	101.9	99.8	97.0	~ 101.9	○
n-Butyl Acetate	99.9	97.0	102.1	99.8	97.0	~ 102.1	○
Tetrachloroethene	99.6	96.9	102.2	99.8	96.9	~ 102.2	○
Ethylbenzene	101.0	96.6	101.9	99.8	96.6	~ 101.9	○
m-Xylene	99.9	95.6	103.0	99.7	95.6	~ 103.0	○
p-Xylene	96.7	97.5	102.9	99.7	96.7	~ 102.9	○
Styrene	104.2	96.2	100.9	100.0	96.2	~ 104.2	○
o-Xylene	100.0	96.6	102.3	99.8	96.6	~ 102.3	○
n-Nonane	98.8	96.8	102.6	99.7	96.8	~ 102.6	○
α-pinene	101.5	95.8	102.2	99.8	95.8	~ 102.2	○
3-Ethyltoluene	100.9	96.8	101.8	99.8	96.8	~ 101.8	○
4-Ethyltoluene	99.5	96.8	102.3	99.8	96.8	~ 102.3	○
1,3,5-Trimethylbenzene	98.4	96.4	102.1	99.8	96.4	~ 102.1	○
2-Ethyltoluene	99.7	96.6	102.3	99.8	96.6	~ 102.3	○
β-Pinene	105.2	95.5	101.1	100.0	95.5	~ 105.2	○
1,2,4-Trimethylbenzene	100.1	96.9	102.1	99.8	96.9	~ 102.1	○
n-Decane	96.7	97.2	103.1	99.6	96.7	~ 103.1	○
1,4-Dichlorobenzene	99.9	96.7	102.3	99.8	96.7	~ 102.3	○
2-Ethyl-1-hexanol	118.5	98.2	94.3	100.8	94.3	~ 118.5	△
1,2,3-Trimethylbenzene	99.4	96.6	102.5	99.7	96.6	~ 102.5	○
Limonene	104.4	96.2	100.9	100.0	96.2	~ 104.4	○
Nonanal	105.9	94.5	101.5	99.9	94.5	~ 105.9	○
n-Undecane	95.6	96.9	103.7	99.6	95.6	~ 103.7	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	97.9	96.7	103.0	99.7	96.7	~ 103.0	○
Decanal	109.0	94.2	100.5	100.1	94.2	~ 109.0	○
n-Dodecane	94.8	95.9	104.7	99.5	94.8	~ 104.7	○
n-Tridecane	96.6	95.6	104.2	99.5	95.6	~ 104.2	○
n-Tetradecane	99.5	94.9	103.6	99.6	94.9	~ 103.6	○
n-Pentadecane	99.7	94.8	103.6	99.6	94.8	~ 103.6	○
n-Hexadecane	103.2	95.4	101.9	99.9	95.4	~ 103.2	○
TPDI	108.5	99.9	96.8	100.4	96.8	~ 108.5	○
TPMI	116.3	101.4	93.0	100.9	93.0	~ 116.3	△

※真度 ○：90~110%以内、△：80~120%以内、×：80~120%を超過

表6-2 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の併行精度：5ng-50ngの4点検査線（定量範囲5ng-50ng）、重み付けなし

化合物名	併行精度(%)								判定*
	STD1	STD2	STD3	STD4	併行精度範囲				
	含有量(ng)	5	10	20	50				
Ethanol	35.5	6.9	9.3	1.4	1.4	~ 35.5	×		
Acetone	21.5	13.9	9.0	1.0	1.0	~ 21.5	×		
2-Propanol	3.9	0.8	1.6	0.2	0.2	~ 3.9	○		
Methylene chloride	47.4	18.0	28.2	3.2	3.2	~ 47.4	×		
1-Propanol	13.1	2.0	3.6	0.5	0.5	~ 13.1	△		
2-Butanone	1.5	2.0	1.9	0.2	0.2	~ 2.0	○		
Hexane	2.8	1.4	1.1	0.1	0.1	~ 2.8	○		
Ethyl Acetate	2.7	1.8	2.0	0.2	0.2	~ 2.7	○		
Chloroform	5.1	1.1	1.9	0.3	0.3	~ 5.1	○		
2,4-Dimethylpentane	13.1	1.3	3.4	0.5	0.5	~ 13.1	△		
1,2-Dichloroethane	5.8	0.7	2.2	0.3	0.3	~ 5.8	○		
Benzene	3.8	2.2	2.3	0.3	0.3	~ 3.8	○		
n-Butanol	3.3	1.9	2.3	0.3	0.3	~ 3.3	○		
1,2-Dichloropropane	4.2	0.8	1.6	0.2	0.2	~ 4.2	○		
Iso-octane	15.5	1.0	4.2	0.6	0.6	~ 15.5	△		
Trichloroethylene	3.5	1.8	1.7	0.2	0.2	~ 3.5	○		
Bromodichloromethane	4.7	0.8	1.9	0.2	0.2	~ 4.7	○		
n-Heptane	4.3	1.7	2.2	0.3	0.3	~ 4.3	○		
4-Methyl-2-pentanone	3.8	0.6	1.8	0.2	0.2	~ 3.8	○		
Toluene	1.5	1.6	1.2	0.1	0.1	~ 1.6	○		
Dibromochloromethane	4.0	0.8	1.8	0.2	0.2	~ 4.0	○		
n-Octane	3.8	1.1	2.0	0.2	0.2	~ 3.8	○		
n-Butyl Acetate	3.8	1.1	1.6	0.2	0.2	~ 3.8	○		
Tetrachloroethene	5.0	1.2	2.4	0.3	0.3	~ 5.0	○		
Ethylbenzene	3.6	1.6	2.1	0.3	0.3	~ 3.6	○		
m-Xylene	5.6	2.6	2.6	0.3	0.3	~ 5.6	○		
p-Xylene	4.8	1.5	1.0	0.2	0.2	~ 4.8	○		
Styrene	3.8	1.1	2.1	0.3	0.3	~ 3.8	○		
o-Xylene	4.0	1.4	1.8	0.2	0.2	~ 4.0	○		
n-Nonane	3.7	0.7	1.8	0.2	0.2	~ 3.7	○		
α-pinene	4.8	1.4	2.6	0.3	0.3	~ 4.8	○		
3-Ethyltoluene	4.3	1.0	2.1	0.3	0.3	~ 4.3	○		
4-Ethyltoluene	5.4	1.1	2.6	0.3	0.3	~ 5.4	○		
1,3,5-Trimethylbenzene	4.6	1.3	2.6	0.4	0.4	~ 4.6	○		
2-Ethyltoluene	5.2	0.8	2.2	0.3	0.3	~ 5.2	○		
β-Pinene	4.9	0.5	2.2	0.3	0.3	~ 4.9	○		
1,2,4-Trimethylbenzene	4.1	0.8	1.9	0.2	0.2	~ 4.1	○		
n-Decane	4.6	0.3	1.8	0.2	0.2	~ 4.6	○		
1,4-Dichlorobenzene	4.3	1.4	2.0	0.3	0.3	~ 4.3	○		
2-Ethyl-1-hexanol	4.7	2.2	1.5	0.2	0.2	~ 4.7	○		
1,2,3-Trimethylbenzene	5.3	0.5	2.2	0.3	0.3	~ 5.3	○		
Limonene	4.5	0.4	1.9	0.3	0.3	~ 4.5	○		
Nonanal	9.5	2.1	4.8	0.6	0.6	~ 9.5	○		
n-Undecane	6.0	0.5	2.0	0.3	0.3	~ 6.0	○		
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	6.0	0.3	2.1	0.3	0.3	~ 6.0	○		
Decanal	6.8	1.1	3.4	0.4	0.4	~ 6.8	○		
n-Dodecane	8.4	1.1	2.2	0.3	0.3	~ 8.4	○		
n-Tridecane	9.0	1.7	2.4	0.4	0.4	~ 9.0	○		
n-Tetradecane	8.5	1.1	2.4	0.4	0.4	~ 8.5	○		
n-Pentadecane	8.6	1.3	2.5	0.4	0.4	~ 8.6	○		
n-Hexadecane	4.0	2.7	0.3	0.0	0.0	~ 4.0	○		
TPDI	7.8	1.4	2.8	0.4	0.4	~ 7.8	○		
TPMI	9.0	3.0	5.2	0.6	0.6	~ 9.0	○		

※併行精度 ○：0~10%以内、△：10~20%以内、×：20%を超過

表7-1 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の真度：2ng-50ngの5点検査線(定量範囲2ng-50ngおよび5ng-50ng)、重み付けあり

化合物名	真度(%)										
	STD					真度(%)					
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	定量範囲 2ng-50ng		定量範囲 5ng-50ng			
含有量 (ng)	2	5	10	20	50	真度範囲	判定*	真度範囲	判定*		
Ethanol	103.4	94.0	90.4	107.4	104.8	90.4	~ 107.4	○	90.4	~ 107.4	○
Acetone	112.9	62.1	104.2	109.5	111.3	62.1	~ 112.9	×	62.1	~ 111.3	×
2-Propanol	100.9	99.1	95.0	103.9	101.1	95.0	~ 103.9	○	95.0	~ 103.9	○
Methylene chloride	91.3	118.6	114.8	87.8	87.4	87.4	~ 118.6	△	87.4	~ 118.6	△
1-Propanol	101.4	97.2	97.2	101.9	102.4	97.2	~ 102.4	○	97.2	~ 102.4	○
2-Butanone	102.8	94.4	94.3	103.1	105.3	94.3	~ 105.3	○	94.3	~ 105.3	○
Hexane	99.3	101.8	98.9	102.8	97.1	97.1	~ 102.8	○	97.1	~ 102.8	○
Ethyl Acetate	101.9	96.0	96.3	103.0	102.8	96.0	~ 103.0	○	96.0	~ 103.0	○
Chloroform	99.9	100.6	98.3	102.6	98.6	98.3	~ 102.6	○	98.3	~ 102.6	○
2,4-Dimethylpentane	101.6	94.5	100.5	105.7	97.7	94.5	~ 105.7	○	94.5	~ 105.7	○
1,2-Dichloroethane	100.2	100.2	97.6	102.6	99.5	97.6	~ 102.6	○	97.6	~ 102.6	○
Benzene	102.5	93.3	98.9	103.4	102.0	93.3	~ 103.4	○	93.3	~ 103.4	○
n-Butanol	102.4	96.5	92.9	101.4	106.8	92.9	~ 106.8	○	92.9	~ 106.8	○
1,2-Dichloropropane	100.3	99.7	97.8	102.7	99.5	97.8	~ 102.7	○	97.8	~ 102.7	○
Iso-octane	100.7	97.2	99.9	105.3	96.9	96.9	~ 105.3	○	96.9	~ 105.3	○
Trichloroethylene	100.4	99.5	97.7	102.6	99.7	97.7	~ 102.6	○	97.7	~ 102.6	○
Bromodichloromethane	100.2	100.5	97.0	102.2	100.2	97.0	~ 102.2	○	97.0	~ 102.2	○
n-Heptane	100.5	99.7	96.9	103.1	100.0	96.9	~ 103.1	○	96.9	~ 103.1	○
4-Methyl-2-pentanone	101.4	98.1	95.2	102.4	102.9	95.2	~ 102.9	○	95.2	~ 102.9	○
Toluene	100.7	99.3	96.3	102.4	101.3	96.3	~ 102.4	○	96.3	~ 102.4	○
Dibromochloromethane	101.0	98.7	96.3	102.4	101.7	96.3	~ 102.4	○	96.3	~ 102.4	○
n-Octane	100.9	98.6	96.9	102.6	101.1	96.9	~ 102.6	○	96.9	~ 102.6	○
n-Butyl Acetate	103.1	92.8	95.9	104.3	103.9	92.8	~ 104.3	○	92.8	~ 104.3	○
Tetrachloroethene	100.5	99.6	97.1	102.5	100.3	97.1	~ 102.5	○	97.1	~ 102.5	○
Ethylbenzene	100.7	99.2	96.5	102.6	101.1	96.5	~ 102.6	○	96.5	~ 102.6	○
m-Xylene	101.7	96.7	95.3	104.3	101.9	95.3	~ 104.3	○	95.3	~ 104.3	○
p-Xylene	99.6	101.2	98.7	102.3	98.2	98.2	~ 102.3	○	98.2	~ 102.3	○
Styrene	101.8	97.1	94.8	102.7	103.6	94.8	~ 103.6	○	94.8	~ 103.6	○
o-Xylene	100.7	99.1	96.6	102.8	100.7	96.6	~ 102.8	○	96.6	~ 102.8	○
n-Nonane	100.7	98.9	97.1	103.0	100.3	97.1	~ 103.0	○	97.1	~ 103.0	○
α-pinene	100.8	99.3	95.5	103.1	101.3	95.5	~ 103.1	○	95.5	~ 103.1	○
3-Ethyltoluene	101.1	98.3	96.4	102.7	101.5	96.4	~ 102.7	○	96.4	~ 102.7	○
4-Ethyltoluene	100.6	99.3	97.0	102.7	100.4	97.0	~ 102.7	○	97.0	~ 102.7	○
1,3,5-Trimethylbenzene	100.8	98.8	97.0	102.8	100.6	97.0	~ 102.8	○	97.0	~ 102.8	○
2-Ethyltoluene	100.8	98.8	96.7	102.9	100.7	96.7	~ 102.9	○	96.7	~ 102.9	○
β-Pinene	102.4	95.9	93.6	103.4	104.7	93.6	~ 104.7	○	93.6	~ 104.7	○
1,2,4-Trimethylbenzene	100.9	98.7	96.8	102.7	100.9	96.8	~ 102.7	○	96.8	~ 102.7	○
n-Decane	100.2	99.8	98.1	102.9	98.9	98.1	~ 102.9	○	98.1	~ 102.9	○
1,4-Dichlorobenzene	100.8	98.8	96.7	102.9	100.8	96.7	~ 102.9	○	96.7	~ 102.9	○
2-Ethyl-1-hexanol	104.1	93.1	91.8	98.4	112.7	91.8	~ 112.7	△	91.8	~ 112.7	△
1,2,3-Trimethylbenzene	100.7	99.2	96.7	103.0	100.4	96.7	~ 103.0	○	96.7	~ 103.0	○
Limonene	102.0	96.5	94.6	102.9	104.0	94.6	~ 104.0	○	94.6	~ 104.0	○
Nonanal	102.9	95.0	92.1	104.2	105.8	92.1	~ 105.8	○	92.1	~ 105.8	○
n-Undecane	100.3	99.5	98.0	103.5	98.7	98.0	~ 103.5	○	98.0	~ 103.5	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	100.4	99.6	97.3	103.1	99.6	97.3	~ 103.1	○	97.3	~ 103.1	○
Decanal	102.5	96.7	91.2	103.4	106.2	91.2	~ 106.2	○	91.2	~ 106.2	○
n-Dodecane	100.1	100.2	97.5	104.1	98.1	97.5	~ 104.1	○	97.5	~ 104.1	○
n-Tridecane	100.9	98.5	96.4	104.6	99.7	96.4	~ 104.6	○	96.4	~ 104.6	○
n-Tetradecane	101.4	97.7	94.8	104.7	101.4	94.8	~ 104.7	○	94.8	~ 104.7	○
n-Pentadecane	101.2	98.4	94.8	104.5	101.1	94.8	~ 104.5	○	94.8	~ 104.5	○
n-Hexadecane	101.5	98.1	94.4	103.4	102.7	94.4	~ 103.4	○	94.4	~ 103.4	○
TPDI	103.5	92.4	96.4	99.8	108.0	92.4	~ 108.0	○	92.4	~ 108.0	○
TPMI	105.6	87.8	94.9	97.4	114.3	87.8	~ 114.3	△	87.8	~ 114.3	△

※真度 ○：90~110%以内、△：80~120%以内、×：80~120%を超過

表7-2 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の併行精度：2ng-50ngの5点検査線(定量範囲2ng-50ngおよび5ng-50ng)、重み付けあり

化合物名	併行精度(%)										
	STD					併行精度(%)					
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	定量範囲 2ng-50ng		定量範囲 5ng-50ng			
含有量 (ng)	2	5	10	20	50	併行精度範囲	判定*	併行精度範囲	判定*		
Ethanol	4.1	14.8	17.8	7.5	12.6	4.1	~ 17.8	△	7.5	~ 17.8	△
Acetone	17.0	83.0	16.2	20.3	16.9	16.2	~ 83.0	×	16.2	~ 83.0	×
2-Propanol	0.6	1.4	1.2	0.8	2.0	0.6	~ 2.0	○	0.8	~ 2.0	○
Methylene chloride	6.1	11.1	10.9	24.6	12.4	6.1	~ 24.6	×	10.9	~ 24.6	×
1-Propanol	1.9	7.6	4.2	3.4	2.4	1.9	~ 7.6	○	2.4	~ 7.6	○
2-Butanone	1.9	5.6	0.7	0.8	3.2	0.7	~ 5.6	○	0.7	~ 5.6	○
Hexane	1.0	2.8	1.2	0.2	1.9	0.2	~ 2.8	○	0.2	~ 2.8	○
Ethyl Acetate	1.5	3.9	2.0	2.8	1.3	1.3	~ 3.9	○	1.3	~ 3.9	○
Chloroform	0.9	1.6	1.8	0.9	2.8	0.9	~ 2.8	○	0.9	~ 2.8	○
2,4-Dimethylpentane	2.5	6.7	3.8	2.6	5.4	2.5	~ 6.7	○	2.6	~ 6.7	○
1,2-Dichloroethane	1.0	1.7	1.9	1.2	3.1	1.0	~ 3.1	○	1.2	~ 3.1	○
Benzene	1.2	4.1	1.6	2.2	1.3	1.2	~ 4.1	○	1.3	~ 4.1	○
n-Butanol	0.2	1.0	1.4	2.1	1.5	0.2	~ 2.1	○	1.0	~ 2.1	○
1,2-Dichloropropane	0.7	1.1	1.4	0.9	2.2	0.7	~ 2.2	○	0.9	~ 2.2	○
Iso-octane	0.6	1.1	3.7	2.1	4.9	0.6	~ 4.9	○	1.1	~ 4.9	○
Trichloroethylene	0.8	1.3	2.1	1.6	2.1	0.8	~ 2.1	○	1.3	~ 2.1	○
Bromodichloromethane	0.5	0.7	1.5	1.2	2.3	0.5	~ 2.3	○	0.7	~ 2.3	○
n-Heptane	0.7	1.7	1.4	1.3	2.4	0.7	~ 2.4	○	1.3	~ 2.4	○
4-Methyl-2-pentanone	1.0	2.2	1.1	1.0	2.6	1.0	~ 2.6	○	1.0	~ 2.6	○
Toluene	1.4	3.8	1.2	0.3	2.3	0.3	~ 3.8	○	0.3	~ 3.8	○
Dibromochloromethane	0.5	0.9	1.2	1.2	2.0	0.5	~ 2.0	○	0.9	~ 2.0	○
n-Octane	1.0	2.3	1.0	0.9	2.7	0.9	~ 2.7	○	0.9	~ 2.7	○
n-Butyl Acetate	1.1	2.4	1.7	0.8	2.7	0.8	~ 2.7	○	0.8	~ 2.7	○
Tetrachloroethene	0.7	1.4	1.2	1.6	2.6	0.7	~ 2.6	○	1.2	~ 2.6	○
Ethylbenzene	1.0	2.5	1.3	1.1	2.7	1.0	~ 2.7	○	1.1	~ 2.7	○
m-Xylene	0.9	1.6	3.3	2.7	2.3	0.9	~ 3.3	○	1.6	~ 3.3	○
p-Xylene	1.0	3.3	1.9	0.6	1.6	0.6	~ 3.3	○	0.6	~ 3.3	○
Styrene	0.6	1.4	0.8	1.6	2.1	0.6	~ 2.1	○	0.8	~ 2.1	○
o-Xylene	0.9	1.8	1.8	1.1	2.6	0.9	~ 2.6	○	1.1	~ 2.6	○
n-Nonane	1.1	2.5	0.8	0.6	2.7	0.6	~ 2.7	○	0.6	~ 2.7	○
α-pinene	0.6	1.2	0.9	1.7	2.6	0.6	~ 2.6	○	0.9	~ 2.6	○
3-Ethyltoluene	0.7	1.2	1.2	1.3	2.4	0.7	~ 2.4	○	1.2	~ 2.4	○
4-Ethyltoluene	1.0	2.1	1.2	1.4	3.2	1.0	~ 3.2	○	1.2	~ 3.2	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.9	1.8	1.3	1.5	3.1	0.9	~ 3.1	○	1.3	~ 3.1	○
2-Ethyltoluene	0.9	1.6	1.5	1.1	2.9	0.9	~ 2.9	○	1.1	~ 2.9	○
β-Pinene	1.2	2.9	1.4	1.4	3.1	1.2	~ 3.1	○	1.4	~ 3.1	○
1,2,4-Trimethylbenzene	1.0	2.0	1.2	1.1	2.6	1.0	~ 2.6	○	1.1	~ 2.6	○
n-Decane	1.0	2.3	1.1	1.2	2.4	1.0	~ 2.4	○	1.1	~ 2.4	○
1,4-Dichlorobenzene	0.9	1.8	1.8	1.3	2.7	0.9	~ 2.7	○	1.3	~ 2.7	○
2-Ethyl-1-hexanol	1.6	5.9	3.2	1.2	2.1	1.2	~ 5.9	○	1.2	~ 5.9	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.9	1.9	1.5	1.2	2.9	0.9	~ 2.9	○	1.2	~ 2.9	○
Limonene	0.8	1.9	1.4	1.4	2.4	0.8	~ 2.4	○	1.4	~ 2.4	○
Nonanal	1.2	2.5	2.4	2.9	5.2	1.2	~ 5.2	○	2.4	~ 5.2	○
n-Undecane	1.1	2.2	2.0	1.1	3.2	1.1	~ 3.2	○	1.1	~ 3.2	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	1.1	2.3	1.9	1.2	3.1	1.1	~ 3.1	○	1.2	~ 3.1	○
Decanal	1.2	2.9	1.6	2.3	4.0	1.2	~ 4.0	○	1.6	~ 4.0	○
n-Dodecane	0.8	0.6	3.0	0.8	3.6	0.6	~ 3.6	○	0.6	~ 3.6	○
n-Tridecane	0.8	1.4	3.5	0.9	3.7	0.8	~ 3.7	○	0.9	~ 3.7	○
n-Tetradecane	0.7	1.3	3.4	1.2	3.5	0.7	~ 3.5	○	1.2	~ 3.5	○
n-Pentadecane	0.5	1.5	3.4	1.5	3.2	0.5	~ 3.4	○	1.5	~ 3.4	○
n-Hexadecane	1.1	3.5	3.5	0.9	1.8	0.9	~ 3.5	○	0.9	~ 3.5	○
TPDI	0.2	2.2	3.2	2.3	2.8	0.2	~ 3.2	○	2.2	~ 3.2	○
TPMI	1.9	7.4	3.8	6							

表8-1 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の真度：2ng-50ngの5点検査線(定量範囲2ng-50ngおよび5ng-50ng)、重み付けなし

化合物名	真度(%)										
	STD					定量範囲					
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	2ng-50ng		5ng-50ng			
含有量 (ng)	2	5	10	20	50	真度範囲	判定*	真度範囲	判定*		
Ethanol	116.6	96.5	91.2	104.5	99.6	91.2	~ 116.6	△	91.2	~ 104.5	○
Acetone	138.4	77.1	103.4	100.2	100.0	77.1	~ 138.4	×	77.1	~ 103.4	×
2-Propanol	104.8	99.7	94.7	102.9	99.7	94.7	~ 104.8	○	94.7	~ 102.9	○
Methylene chloride	34.4	106.4	120.1	96.8	99.8	34.4	~ 120.1	×	96.8	~ 120.1	×
1-Propanol	111.2	99.4	97.1	100.4	100.0	97.1	~ 111.2	△	97.1	~ 100.4	○
2-Butanone	124.4	100.1	94.4	99.8	100.2	94.4	~ 124.4	×	94.4	~ 100.2	○
Hexane	84.8	98.0	98.4	104.2	99.4	84.8	~ 104.2	△	98.0	~ 104.2	○
Ethyl Acetate	113.0	98.7	96.1	101.0	100.0	96.1	~ 113.0	△	96.1	~ 101.0	○
Chloroform	92.3	98.5	97.9	103.2	99.6	92.3	~ 103.2	○	97.9	~ 103.2	○
2,4-Dimethylpentane	86.2	89.8	99.4	106.4	99.1	86.2	~ 106.4	△	89.8	~ 106.4	△
1,2-Dichloroethane	96.6	99.1	97.3	102.7	99.7	96.6	~ 102.7	○	97.3	~ 102.7	○
Benzene	108.9	94.6	98.3	101.8	99.8	94.6	~ 108.9	○	94.6	~ 101.8	○
n-Butanol	131.4	104.1	93.5	97.8	100.5	93.5	~ 131.4	×	93.5	~ 104.1	○
1,2-Dichloropropane	97.2	98.6	97.4	102.7	99.7	97.2	~ 102.7	○	97.4	~ 102.7	○
Iso-octane	81.9	91.6	98.9	106.7	99.1	81.9	~ 106.7	△	91.6	~ 106.7	○
Trichloroethylene	98.0	98.7	97.4	102.5	99.7	97.4	~ 102.5	○	97.4	~ 102.5	○
Bromodichloromethane	100.5	100.4	96.8	101.9	99.8	96.8	~ 101.9	○	96.8	~ 101.9	○
n-Heptane	99.3	99.1	96.5	102.8	99.7	96.5	~ 102.8	○	96.5	~ 102.8	○
4-Metyl-2-pentanone	113.8	101.2	95.2	100.5	100.1	95.2	~ 113.8	△	95.2	~ 101.2	○
Toluene	106.1	100.6	96.1	101.4	99.9	96.1	~ 106.1	○	96.1	~ 101.4	○
Dibromochloromethane	107.8	100.2	96.1	101.3	99.9	96.1	~ 107.8	○	96.1	~ 101.3	○
n-Octane	104.7	99.4	96.6	101.7	99.9	96.6	~ 104.7	○	96.6	~ 101.7	○
n-Butyl Acetate	117.6	96.3	95.5	101.6	99.9	95.5	~ 117.6	△	95.5	~ 101.6	○
Tetrachloroethene	101.0	99.5	96.8	102.2	99.8	96.8	~ 102.2	○	96.8	~ 102.2	○
Ethylbenzene	104.7	100.0	96.2	101.7	99.9	96.2	~ 104.7	○	96.2	~ 101.7	○
m-Xylene	108.7	98.2	94.9	102.7	99.8	94.9	~ 108.7	○	94.9	~ 102.7	○
p-Xylene	90.3	98.7	98.4	103.1	99.6	90.3	~ 103.1	○	98.4	~ 103.1	○
Styrene	116.8	100.9	94.7	100.5	100.1	94.7	~ 116.8	△	94.7	~ 100.9	○
o-Xylene	102.7	99.4	96.4	102.2	99.8	96.4	~ 102.7	○	96.4	~ 102.2	○
n-Nonane	100.7	98.6	96.8	102.6	99.7	96.8	~ 102.6	○	96.8	~ 102.6	○
α-pinene	105.9	100.4	95.3	102.1	99.8	95.3	~ 105.9	○	95.3	~ 102.1	○
3-Ethyltoluene	106.7	99.6	96.2	101.6	99.9	96.2	~ 106.7	○	96.2	~ 101.6	○
4-Ethyltoluene	101.1	99.2	96.7	102.3	99.8	96.7	~ 102.3	○	96.7	~ 102.3	○
1,3,5-Trimethylbenzene	102.3	99.0	96.7	102.2	99.8	96.7	~ 102.3	○	96.7	~ 102.2	○
2-Ethyltoluene	102.9	99.1	96.4	102.3	99.8	96.4	~ 102.9	○	96.4	~ 102.3	○
β-Pinene	121.7	100.8	93.6	100.5	100.1	93.6	~ 121.7	×	93.6	~ 100.8	○
1,2,4-Trimethylbenzene	103.9	99.3	96.5	102.0	99.8	96.5	~ 103.9	○	96.5	~ 102.0	○
n-Decane	94.1	98.0	97.7	103.3	99.6	94.1	~ 103.3	○	97.7	~ 103.3	○
1,4-Dichlorobenzene	103.4	99.2	96.4	102.2	99.8	96.4	~ 103.4	○	96.4	~ 102.2	○
2-Ethyl-1-hexanol	155.9	107.5	93.3	92.7	101.3	92.7	~ 155.9	×	92.7	~ 107.5	○
1,2,3-Trimethylbenzene	101.4	99.1	96.4	102.5	99.8	96.4	~ 102.5	○	96.4	~ 102.5	○
Limonene	118.6	100.6	94.6	100.4	100.1	94.6	~ 118.6	△	94.6	~ 100.6	○
Nonanal	125.6	100.8	92.2	100.8	100.1	92.2	~ 125.6	×	92.2	~ 100.8	○
n-Undecane	92.5	97.2	97.5	103.9	99.5	92.5	~ 103.9	○	97.2	~ 103.9	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	97.0	98.5	97.0	103.1	99.6	97.0	~ 103.1	○	97.0	~ 103.1	○
Decanal	128.3	103.4	91.7	99.8	100.3	91.7	~ 128.3	×	91.7	~ 103.4	○
n-Dodecane	89.1	97.0	96.9	104.9	99.4	89.1	~ 104.9	△	96.9	~ 104.9	○
n-Tridecane	97.4	97.1	95.8	104.3	99.5	95.8	~ 104.3	○	95.8	~ 104.3	○
n-Tetradecane	105.7	98.4	94.4	103.4	99.7	94.4	~ 105.7	○	94.4	~ 103.4	○
n-Pentadecane	104.4	98.8	94.4	103.5	99.7	94.4	~ 104.4	○	94.4	~ 103.5	○
n-Hexadecane	112.4	100.7	94.3	101.6	100.0	94.3	~ 112.4	△	94.3	~ 101.6	○
TPDI	136.4	101.3	96.8	95.8	100.7	95.8	~ 136.4	×	95.8	~ 101.3	○
TPMI	162.0	104.1	96.1	91.2	101.4	91.2	~ 162.0	×	91.2	~ 104.1	○

※真度 ○：90~110%以内、△：80~120%以内、×：80~120%を超過

表8-2 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検査線の併行精度：2ng-50ngの5点検査線(定量範囲2ng-50ngおよび5ng-50ng)、重み付けなし

化合物名	併行精度(%)										
	STD					定量範囲					
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	2ng-50ng		5ng-50ng			
含有量 (ng)	2	5	10	20	50	併行精度範囲		判定*	併行精度範囲		判定*
Ethanol	49.0	26.7	12.6	10.6	1.8	1.8	~ 49.0	×	1.8	~ 26.7	×
Acetone	50.1	35.2	18.7	7.4	0.5	0.5	~ 50.1	×	0.5	~ 35.2	×
2-Propanol	9.5	2.1	0.9	1.8	0.3	0.3	~ 9.5	○	0.3	~ 2.1	○
Methylene chloride	173.2	28.1	16.5	27.9	3.5	3.5	~ 173.2	×	3.5	~ 28.1	×
1-Propanol	11.5	11.1	3.1	4.0	0.6	0.6	~ 11.5	△	0.6	~ 11.1	△
2-Butanone	12.3	1.5	0.8	2.3	0.3	0.3	~ 12.3	△	0.3	~ 2.3	○
Hexane	11.3	2.0	1.1	1.3	0.2	0.2	~ 11.3	△	0.2	~ 2.0	○
Ethyl Acetate	5.1	3.3	2.3	1.9	0.2	0.2	~ 5.1	○	0.2	~ 3.3	○
Chloroform	15.7	2.0	1.6	2.3	0.4	0.4	~ 15.7	△	0.4	~ 2.3	○
2,4-Dimethylpentane	32.1	8.1	3.7	3.9	0.7	0.7	~ 32.1	×	0.7	~ 8.1	○
1,2-Dichloroethane	16.6	2.6	1.7	2.5	0.4	0.4	~ 16.6	△	0.4	~ 2.6	○
Benzene	5.9	3.8	1.7	2.4	0.3	0.3	~ 5.9	○	0.3	~ 3.8	○
n-Butanol	5.4	2.2	1.5	2.6	0.3	0.3	~ 5.4	○	0.3	~ 2.6	○
1,2-Dichloropropane	11.7	1.8	1.3	1.9	0.3	0.3	~ 11.7	△	0.3	~ 1.9	○
Iso-octane	32.9	8.7	3.3	4.8	0.8	0.8	~ 32.9	×	0.8	~ 8.7	○
Trichloroethylene	10.6	1.5	2.2	1.9	0.3	0.3	~ 10.6	△	0.3	~ 2.2	○
Bromodichloromethane	11.5	2.4	1.3	2.1	0.3	0.3	~ 11.5	△	0.3	~ 2.4	○
n-Heptane	12.4	2.0	1.3	2.5	0.4	0.4	~ 12.4	△	0.4	~ 2.5	○
4-Metyl-2-pentanone	10.9	1.7	0.9	2.1	0.3	0.3	~ 10.9	△	0.3	~ 2.1	○
Toluene	10.6	1.6	1.1	1.5	0.2	0.2	~ 10.6	△	0.2	~ 1.6	○
Dibromochloromethane	9.3	2.1	1.1	2.0	0.3	0.3	~ 9.3	○	0.3	~ 2.1	○
n-Octane	12.9	1.1	0.8	2.3	0.4	0.4	~ 12.9	△	0.4	~ 2.3	○
n-Butyl Acetate	11.1	1.3	1.5	2.0	0.3	0.3	~ 11.1	△	0.3	~ 2.0	○
Tetrachloroethene	13.3	2.4	1.1	2.7	0.4	0.4	~ 13.3	△	0.4	~ 2.7	○
Ethylbenzene	12.9	1.1	1.2	2.4	0.4	0.4	~ 12.9	△	0.4	~ 2.4	○
m-Xylene	10.3	3.7	3.2	2.8	0.4	0.4	~ 10.3	△	0.4	~ 3.7	○
p-Xylene	9.3	3.9	1.7	1.2	0.2	0.2	~ 9.3	○	0.2	~ 3.9	○
Styrene	8.9	2.1	0.8	2.4	0.3	0.3	~ 8.9	○	0.3	~ 2.4	○
o-Xylene	12.6	1.4	1.7	2.1	0.3	0.3	~ 12.6	△	0.3	~ 2.1	○
n-Nonane	13.7	0.8	0.7	2.1	0.3	0.3	~ 13.7	△	0.3	~ 2.1	○
α-pinene	12.3	2.2	0.8	2.9	0.4	0.4	~ 12.3	△	0.4	~ 2.9	○
3-Ethyltoluene	11.2	2.0	1.0	2.4	0.4	0.4	~ 11.2	△	0.4	~ 2.4	○
4-Ethyltoluene	16.1	2.1	1.0	3.0	0.5	0.5	~ 16.1	△	0.5	~ 3.0	○
1,3,5-Trimethylbenzene	15.2	2.4	1.1	2.9	0.4	0.4	~ 15.2	△	0.4	~ 2.9	○
2-Ethyltoluene	14.4	2.2	1.2	2.6	0.4	0.4	~ 14.4	△	0.4	~ 2.6	○
β-Pinene	12.0	2.7	0.9	2.6	0.4	0.4	~ 12.0	△	0.4	~ 2.7	○
1,2,4-Trimethylbenzene	12.7	1.6	1.0	2.2	0.3	0.3	~ 12.7	△	0.3	~ 2.2	○
n-Decane	12.9	2.6	0.9	2.1	0.3	0.3	~ 12.9	△	0.3	~ 2.6	○
1,4-Dichlorobenzene	12.9	1.6	1.7	2.3	0.4	0.4	~ 12.9	△	0.4	~ 2.3	○
2-Ethyl-1-hexanol	5.9	4.8	2.3	1.8	0.3	0.3	~ 5.9	○	0.3	~ 4.8	○
1,2,3-Trimethylbenzene	14.8	2.4	1.2	2.5	0.4	0.4	~ 14.8	△	0.4	~ 2.5	○
Limonene	9.5	2.8	1.0	2.2	0.3	0.3	~ 9.5	○	0.3	~ 2.8	○
Nonanal	20.4	5.1	1.5	5.5	0.8	0.8	~ 20.4	×	0.8	~ 5.5	○
n-Undecane	17.5	2.8	1.7	2.4	0.4	0.4	~ 17.5	△	0.4	~ 2.8	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	16.3	3.1	1.6	2.4	0.4	0.4	~ 16.3	△	0.4	~ 3.1	○
Decanal	14.7	3.9	0.7	4.0	0.6	0.6	~ 14.7	△	0.6	~ 4.0	○
n-Dodecane	20.8	4.3	2.7	2.7	0.5	0.5	~ 20.8	×	0.5	~ 4.3	○
n-Tridecane	19.7	5.0	3.1	2.9	0.5	0.5	~ 19.7	△	0.5	~ 5.0	○
n-Tetradecane	16.6	5.1	2.8	2.8	0.5	0.5	~ 16.6	△	0.5	~ 5.1	○
n-Pentadecane	15.5	5.5	2.8	2.9	0.5	0.5	~ 15.5	△	0.5	~ 5.5	○
n-Hexadecane	7.7	3.4	3.3	0.4	0.1	0.1	~ 7.7	○	0.1	~ 3.4	○
TPDI	9.8	5.8	2.4	3.3	0.5	0.5	~ 9.8	○	0.5		

表9 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線のキャリーオーバー

化合物名	キャリーオーバー(%)の範囲 検量点2ngと比較				判定※	キャリーオーバー(%)の範囲 検量点5ngと比較				判定※
	75.5	～	126.7	×		61.5	～	103.2	×	
Ethanol	75.5	～	126.7	×		61.5	～	103.2	×	
Acetone	91.4	～	183.7	×		105.9	～	212.9	×	
2-Propanol	19.5	～	41.8	○		7.8	～	16.7	○	
Methylene chloride	14.0	～	16.1	○		5.6	～	6.5	○	
1-Propanol	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
2-Butanone	22.8	～	58.6	○		13.5	～	34.9	○	
Hexane	13.5	～	27.4	○		5.8	～	11.7	○	
Ethyl Acetate	17.8	～	21.7	○		5.7	～	6.9	○	
Chloroform	13.0	～	18.7	○		5.0	～	7.2	○	
2,4-Dimethylpentane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
1,2-Dichloroethane	9.5	～	13.8	○		3.5	～	5.2	○	
Benzene	50.0	～	78.2	○		30.0	～	47.0	○	
<i>n</i> -Butanol	0.0	～	44.2	○		0.0	～	17.2	○	
1,2-Dichloropropane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Iso-octane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Trichloroethylene	0.0	～	12.7	○		0.0	～	4.9	○	
Bromodichloromethane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Heptane	6.4	～	13.7	○		2.5	～	5.5	○	
4-Metyl-2-pentanone	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Toluene	10.9	～	23.2	○		4.5	～	9.6	○	
Dibromochloromethane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Octane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Butyl Acetate	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Tetrachloroethene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Ethylbenzene	0.0	～	5.4	○		0.0	～	2.1	○	
<i>m</i> -Xylene	1.8	～	4.9	○		0.7	～	1.9	○	
<i>p</i> -Xylene	1.7	～	2.3	○		0.6	～	0.9	○	
Styrene	0.0	～	9.1	○		0.0	～	3.4	○	
<i>o</i> -Xylene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Nonane	4.6	～	7.0	○		1.8	～	2.8	○	
$\alpha$ -pinene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
3-Ethyltoluene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
4-Ethyltoluene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
1,3,5-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
2-Ethyltoluene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
$\beta$ -Pinene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
1,2,4-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Decane	3.6	～	5.9	○		1.4	～	2.3	○	
1,4-Dichlorobenzene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
2-Ethyl-1-hexanol	13.3	～	15.8	○		5.9	～	7.0	○	
1,2,3-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Limonene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Nonanal	0.0	～	29.0	○		0.0	～	11.6	○	
<i>n</i> -Undecane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
Decanal	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Dodecane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Tridecane	0.0	～	9.7	○		0.0	～	3.5	○	
<i>n</i> -Tetradecane	0.0	～	8.9	○		0.0	～	3.2	○	
<i>n</i> -Pentadecane	0.0	～	0.0	○		0.0	～	0.0	○	
<i>n</i> -Hexadecane	0.0	～	6.8	○		0.0	～	2.5	○	
TPDI	4.4	～	6.8	○		1.8	～	2.8	○	
TPMI	5.1	～	7.4	○		2.0	～	3.0	○	

※キャリーオーバー ○ : 100%未満、 × : 100%以上

表10 TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類の分析における定量下限値と検出限界値

化合物名	TD-GCMS測定値 <sup>※1</sup> (ng)				室内濃度換算値 <sup>※5</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	定量下限値		検出限界値		定量下限値		検出限界値	
	10 $\sigma$ 値 <sup>※2</sup>	定量範囲 下限となる 設定値	採用値 <sup>※3</sup>	3 $\sigma$ 値 <sup>※4</sup>	10 $\sigma$ 値	定量範囲 下限となる 設定値	採用値 <sup>※3</sup>	3 $\sigma$ 値
Ethanol	19.8	5.00	20	5.9	6.88	1.74	6.9	2.1
Acetone	17.7	5.00	18	5.3	6.16	1.74	6.2	1.8
2-Propanol	1.20	5.00	5.0	0.36	0.418	1.74	1.8	0.13
Methylene chloride	3.13	5.00	5.0	0.94	1.09	1.74	1.8	0.33
1-Propanol	3.17	5.00	5.0	0.95	1.10	1.74	1.8	0.33
2-Butanone	2.97	5.00	5.0	0.89	1.03	1.74	1.8	0.31
Hexane	4.35	5.00	5.0	1.3	1.51	1.74	1.8	0.45
Ethyl Acetate	2.05	5.00	5.0	0.62	0.712	1.74	1.8	0.21
Chloroform	1.18	5.00	5.0	0.35	0.410	1.74	1.8	0.12
2,4-Dimethylpentane	2.47	5.00	5.0	0.74	0.856	1.74	1.8	0.26
1,2-Dichloroethane	1.36	5.00	5.0	0.41	0.472	1.74	1.8	0.14
Benzene	3.36	5.00	5.0	1.0	1.17	1.74	1.8	0.35
<i>n</i> -Butanol	1.49	5.00	5.0	0.45	0.517	1.74	1.8	0.16
1,2-Dichloropropane	1.47	5.00	5.0	0.44	0.511	1.74	1.8	0.15
Iso-octane	0.970	5.00	5.0	0.29	0.337	1.74	1.8	0.10
Trichloroethylene	1.45	5.00	5.0	0.44	0.504	1.74	1.8	0.15
Bromodichloromethane	1.35	5.00	5.0	0.41	0.469	1.74	1.8	0.14
<i>n</i> -Heptane	1.39	5.00	5.0	0.42	0.482	1.74	1.8	0.14
4-Methyl-2-pentanone	1.03	5.00	5.0	0.31	0.358	1.74	1.8	0.11
Toluene	3.79	5.00	5.0	1.1	1.32	1.74	1.8	0.39
Dibromochloromethane	1.33	5.00	5.0	0.40	0.463	1.74	1.8	0.14
<i>n</i> -Octane	1.40	5.00	5.0	0.42	0.487	1.74	1.8	0.15
<i>n</i> -Butyl Acetate	1.84	5.00	5.0	0.55	0.639	1.74	1.8	0.19
Tetrachloroethene	1.44	5.00	5.0	0.43	0.501	1.74	1.8	0.15
Ethylbenzene	2.37	5.00	5.0	0.71	0.822	1.74	1.8	0.25
<i>m</i> -Xylene	0.941	5.00	5.0	0.28	0.327	1.74	1.8	0.10
<i>p</i> -Xylene	1.65	5.00	5.0	0.49	0.572	1.74	1.8	0.17
Styrene	1.33	5.00	5.0	0.40	0.462	1.74	1.8	0.14
<i>o</i> -Xylene	1.37	5.00	5.0	0.41	0.475	1.74	1.8	0.14
<i>n</i> -Nonane	1.65	5.00	5.0	0.50	0.574	1.74	1.8	0.17
$\alpha$ -pinene	1.42	5.00	5.0	0.43	0.492	1.74	1.8	0.15
3-Ethyltoluene	1.19	5.00	5.0	0.36	0.412	1.74	1.8	0.12
4-Ethyltoluene	1.65	5.00	5.0	0.49	0.571	1.74	1.8	0.17
1,3,5-Trimethylbenzene	1.43	5.00	5.0	0.43	0.496	1.74	1.8	0.15
2-Ethyltoluene	1.39	5.00	5.0	0.42	0.482	1.74	1.8	0.14
$\beta$ -Pinene	2.12	5.00	5.0	0.64	0.736	1.74	1.8	0.22
1,2,4-Trimethylbenzene	1.39	5.00	5.0	0.42	0.483	1.74	1.8	0.15
<i>n</i> -Decane	1.52	5.00	5.0	0.45	0.526	1.74	1.8	0.16
1,4-Dichlorobenzene	1.44	5.00	5.0	0.43	0.500	1.74	1.8	0.15
2-Ethyl-1-hexanol	2.17	5.00	5.0	0.65	0.753	1.74	1.8	0.23
1,2,3-Trimethylbenzene	1.52	5.00	5.0	0.46	0.528	1.74	1.8	0.16
Limonene	1.48	5.00	5.0	0.44	0.512	1.74	1.8	0.15
Nonanal	2.31	5.00	5.0	0.69	0.804	1.74	1.8	0.24
<i>n</i> -Undecane	1.53	5.00	5.0	0.46	0.532	1.74	1.8	0.16
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	1.54	5.00	5.0	0.46	0.534	1.74	1.8	0.16
Decanal	2.24	5.00	5.0	0.67	0.779	1.74	1.8	0.23
<i>n</i> -Dodecane	1.82	5.00	5.0	0.54	0.631	1.74	1.8	0.19
<i>n</i> -Tridecane	1.96	5.00	5.0	0.59	0.680	1.74	1.8	0.20
<i>n</i> -Tetradecane	2.10	5.00	5.0	0.63	0.731	1.74	1.8	0.22
<i>n</i> -Pentadecane	2.68	5.00	5.0	0.80	0.931	1.74	1.8	0.28
<i>n</i> -Hexadecane	3.01	5.00	5.0	0.90	1.05	1.74	1.8	0.31
TPDI	1.19	5.00	5.0	0.36	0.414	1.74	1.8	0.12
TPMI	1.29	5.00	5.0	0.39	0.449	1.74	1.8	0.13

※1 定量範囲を5 - 50 ng とした重み付けありの4点検量線を使用して算出

※2 定量範囲下限の標準試料(5 ng)を5回測定したときの標準偏差の10倍値

※3 10 $\sigma$ 値と検量線最下点濃度の設定値を比較し、大きい方の数値を切り上げたもの

※4 定量範囲下限の標準試料(5 ng)を5回測定したときの標準偏差の3倍値

※5 積算捕集量を2.88Lとして算出(8 mL/min  $\times$  6hまたは2 mL/min  $\times$  24hのサンプリングを想定)

表11-1 CBA捕集管を用いた溶媒抽出法によるVOC類検査線の真度：0.2 µg/mL-5.0 µg/mLの5点検査線、重み付けあり

化合物名	真度(%)					真度範囲	判定※
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5		
	濃度(µg/mL)	0.2	0.5	1	2		
Ethanol	102.9	99.8	97.0	99.7	100.6	97.0 ~ 102.9	○
Acetone	101.0	95.6	103.3	100.5	99.5	95.6 ~ 103.3	○
Methylene chloride	99.6	99.9	100.0	100.7	99.7	99.6 ~ 100.7	○
2-Butanone	103.0	96.9	100.3	99.3	100.4	96.9 ~ 103.0	○
Hexane	101.2	98.8	100.0	100.0	100.1	98.8 ~ 101.2	○
Ethyl Acetate	104.4	98.0	97.9	98.7	100.9	97.9 ~ 104.4	○
Chloroform	101.1	98.4	100.3	100.3	99.9	98.4 ~ 101.1	○
2,4-Dimethylpentane	101.2	98.5	100.1	100.3	100.0	98.5 ~ 101.2	○
1,2-Dichloroethane	101.3	98.0	100.4	100.4	99.9	98.0 ~ 101.3	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	101.4	97.9	100.6	100.2	99.9	97.9 ~ 101.4	○
n-Butanol	118.7	90.1	93.8	93.1	104.2	90.1 ~ 118.7	△
Benzene	101.4	98.3	100.1	100.2	100.0	98.3 ~ 101.4	○
Tetrachloromethane	102.2	97.8	100.0	99.8	100.2	97.8 ~ 102.2	○
1,2-Dichloropropane	102.3	97.5	100.1	100.0	100.1	97.5 ~ 102.3	○
Iso-octane	102.4	97.8	99.7	99.9	100.2	97.8 ~ 102.4	○
Trichloroethylene	101.7	98.1	100.0	100.1	100.1	98.1 ~ 101.7	○
n-Heptane	102.4	97.9	99.4	100.1	100.2	97.9 ~ 102.4	○
4-Metyl-2-pentanone	108.0	96.3	96.6	97.2	101.8	96.3 ~ 108.0	○
Toluene	103.0	97.6	99.5	99.5	100.4	97.6 ~ 103.0	○
Dibromochloromethane	103.3	98.0	98.7	99.4	100.5	98.0 ~ 103.3	○
n-Butyl Acetate	109.4	96.0	96.0	96.2	102.3	96.0 ~ 109.4	○
n-Octane	104.2	97.6	98.7	98.5	100.9	97.6 ~ 104.2	○
Tetrachloroethene	102.8	97.8	99.4	99.6	100.4	97.8 ~ 102.8	○
Ethylbenzene	104.2	97.6	98.8	98.5	100.9	97.6 ~ 104.2	○
Styrene	110.4	94.6	96.7	95.9	102.4	94.6 ~ 110.4	△
o-Xylene	104.8	97.6	98.3	98.2	101.1	97.6 ~ 104.8	○
n-Nonane	105.1	97.4	98.9	97.3	101.4	97.3 ~ 105.1	○
α-Pinene	108.3	94.7	98.6	96.6	101.9	94.7 ~ 108.3	○
1,3,5-Trimethylbenzene	105.9	97.3	97.8	97.7	101.4	97.3 ~ 105.9	○
1,2,4-Trimethylbenzene	106.5	96.7	97.7	97.7	101.5	96.7 ~ 106.5	○
n-Decane	106.2	97.2	98.3	96.7	101.7	96.7 ~ 106.2	○
1,4-Dichlorobenzene	104.4	97.0	98.9	98.9	100.8	97.0 ~ 104.4	○
1,2,3-Trimethylbenzene	106.4	97.0	97.5	97.6	101.5	97.0 ~ 106.4	○
Limonene	112.6	93.5	97.0	93.6	103.3	93.5 ~ 112.6	△
Nonanal	-203.0	266.5	332.6	24.8	79.0	-203.0 ~ 332.6	×
n-Undecane	106.9	97.4	98.0	95.6	102.2	95.6 ~ 106.9	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	108.3	96.2	96.4	97.1	101.9	96.2 ~ 108.3	○
Decanal	-7.9	12.3	349.0	72.2	74.4	-7.9 ~ 349.0	×
n-Dodecane	109.5	96.3	96.2	95.3	102.6	95.3 ~ 109.5	○
n-Tridecane	113.2	96.0	93.8	93.3	103.8	93.3 ~ 113.2	△
n-Tetradecane	115.8	96.1	92.0	91.3	104.8	91.3 ~ 115.8	△
n-Pentadecane	118.2	94.9	90.7	91.0	105.2	90.7 ~ 118.2	△
n-Hexadecane	118.6	95.0	90.5	90.3	105.5	90.3 ~ 118.6	△
m,p-Xylene	104.1	97.6	99.0	98.5	100.9	97.6 ~ 104.1	○
2-Ethyl-1-hexanol	110.0	98.1	91.2	98.6	102.1	91.2 ~ 110.0	○
TPDI	107.7	99.3	93.4	97.4	102.1	93.4 ~ 107.7	○
TPMI	110.0	97.8	92.2	97.6	102.3	92.2 ~ 110.0	○

※真度 ○：90～110%以内、△：80～120%以内、×：80～120%を超過

表11-2 CBA捕集管を用いた溶媒抽出法によるVOC類検査線の併行精度：0.2 µg/mL-5.0 µg/mLの5点検査線、重み付けあり

化合物名	併行精度(%)					併行精度範囲	判定※
	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5		
	濃度(µg/mL)	0.2	0.5	1	2		
Ethanol	7.0	4.1	4.9	0.7	1.2	0.7 ~ 7.0	○
Acetone	3.0	1.8	7.5	3.3	0.5	0.5 ~ 7.5	○
Methylene chloride	1.3	2.1	1.2	0.2	0.1	0.1 ~ 2.1	○
2-Butanone	0.5	0.5	1.5	1.2	0.3	0.3 ~ 1.5	○
Hexane	0.6	2.5	2.3	0.2	0.1	0.1 ~ 2.5	○
Ethyl Acetate	0.8	1.1	1.2	0.8	0.3	0.3 ~ 1.2	○
Chloroform	0.3	1.8	1.9	0.3	0.1	0.1 ~ 1.9	○
2,4-Dimethylpentane	1.1	1.8	1.8	0.3	0.2	0.2 ~ 1.8	○
1,2-Dichloroethane	0.0	1.7	1.8	0.3	0.2	0.0 ~ 1.8	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.6	2.0	1.8	0.4	0.1	0.1 ~ 2.0	○
n-Butanol	3.2	1.5	2.7	2.0	0.9	0.9 ~ 3.2	○
Benzene	0.3	1.4	1.6	0.4	0.1	0.1 ~ 1.6	○
Tetrachloromethane	0.2	1.4	1.9	0.6	0.2	0.2 ~ 1.9	○
1,2-Dichloropropane	0.5	1.9	1.7	0.2	0.1	0.1 ~ 1.9	○
Iso-octane	1.0	1.2	1.9	0.5	0.1	0.1 ~ 1.9	○
Trichloroethylene	0.7	1.2	1.3	0.7	0.1	0.1 ~ 1.3	○
n-Heptane	1.5	2.1	1.6	0.1	0.2	0.1 ~ 2.1	○
4-Metyl-2-pentanone	0.7	0.9	1.5	0.6	0.0	0.0 ~ 1.5	○
Toluene	0.8	1.6	1.7	0.3	0.1	0.1 ~ 1.7	○
Dibromochloromethane	0.5	1.3	1.7	0.4	0.3	0.3 ~ 1.7	○
n-Butyl Acetate	0.8	0.6	1.5	1.1	0.4	0.4 ~ 1.5	○
n-Octane	1.5	0.8	2.0	0.6	0.4	0.4 ~ 2.0	○
Tetrachloroethene	0.5	1.1	1.0	0.6	0.1	0.1 ~ 1.1	○
Ethylbenzene	0.7	1.0	1.8	1.0	0.4	0.4 ~ 1.8	○
Styrene	1.0	0.7	1.4	0.6	0.2	0.2 ~ 1.4	○
o-Xylene	0.4	0.9	1.7	0.9	0.3	0.3 ~ 1.7	○
n-Nonane	1.8	0.9	2.3	2.5	0.9	0.9 ~ 2.5	○
α-Pinene	1.7	1.1	1.1	0.8	0.3	0.3 ~ 1.7	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.6	0.9	1.5	0.5	0.2	0.2 ~ 1.5	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.9	0.8	1.9	0.9	0.3	0.3 ~ 1.9	○
n-Decane	1.3	1.4	2.7	3.1	1.0	1.0 ~ 3.1	○
1,4-Dichlorobenzene	0.5	1.0	1.7	0.5	0.0	0.0 ~ 1.7	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.7	1.1	1.9	0.8	0.4	0.4 ~ 1.9	○
Limonene	3.1	2.8	1.7	2.2	0.7	0.7 ~ 3.1	○
Nonanal	-210.6	117.8	78.6	591.3	36.5	-210.6 ~ 591.3	×
n-Undecane	2.5	1.3	2.6	3.7	1.2	1.2 ~ 3.7	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	1.2	1.2	1.6	0.3	0.1	0.1 ~ 1.6	○
Decanal	-1581.7	980.2	71.4	152.2	47.7	-1581.7 ~ 980.2	×
n-Dodecane	2.5	2.2	2.5	1.4	0.7	0.7 ~ 2.5	○
n-Tridecane	1.2	1.6	2.1	2.8	1.0	1.0 ~ 2.8	○
n-Tetradecane	1.6	2.2	2.0	4.8	1.5	1.5 ~ 4.8	○
n-Pentadecane	1.3	1.5	2.0	2.6	0.9	0.9 ~ 2.6	○
n-Hexadecane	1.3	0.8	1.2	3.6	1.1	0.8 ~ 3.6	○
m,p-Xylene	0.8	0.9	1.9	0.7	0.4	0.4 ~ 1.9	○
2-Ethyl-1-hexanol	8.2	3.8	6.6	1.1	1.5	1.1 ~ 8.2	○
TPDI	3.9	0.8	4.6	1.0	0.9	0.8 ~ 4.6	○
TPMI	6.8	2.0	6.7	0.8	1.4	0.8 ~ 6.8	○

※併行精度 ○：0～10%以内、△：10～20%以内、×：20%を超過

表12 溶媒抽出法によるVOC類検量線のキャリーオーバー

化合物名	キャリーオーバー(%)の範囲 検量点0.2 $\mu$ g/mLと比較			判定※
	0.0	～	30.0	
Ethanol	0.0	～	30.0	○
Acetone	0.0	～	0.0	○
Methylene chloride	0.0	～	0.0	○
2-Butanone	0.0	～	0.5	○
Hexane	0.0	～	1.9	○
Ethyl Acetate	0.0	～	0.0	○
Chloroform	0.0	～	0.0	○
2,4-Dimethylpentane	0.0	～	0.0	○
1,2-Dichloroethane	0.0	～	0.0	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Butanol	0.0	～	0.0	○
Benzene	0.0	～	2.6	○
Tetrachloromethane	0.0	～	0.0	○
1,2-Dichloropropane	0.0	～	0.0	○
Iso-octane	0.0	～	0.0	○
Trichloroethylene	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Heptane	0.0	～	0.0	○
4-Metyl-2-pentanone	0.0	～	0.0	○
Toluene	0.0	～	0.3	○
Dibromochloromethane	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Butyl Acetate	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Octane	0.0	～	0.0	○
Tetrachloroethene	0.0	～	0.0	○
Ethylbenzene	0.0	～	0.0	○
Styrene	0.0	～	0.0	○
<i>o</i> -Xylene	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Nonane	0.0	～	0.0	○
$\alpha$ -Pinene	0.0	～	0.0	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Decane	0.0	～	0.0	○
1,4-Dichlorobenzene	0.0	～	0.0	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.0	～	0.0	○
Limonene	0.0	～	0.0	○
Nonanal	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Undecane	0.0	～	0.0	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.0	～	0.0	○
Decanal	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Dodecane	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Tridecane	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Tetradecane	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Pentadecane	0.0	～	0.0	○
<i>n</i> -Hexadecane	0.0	～	0.0	○
<i>m,p</i> -Xylene	0.0	～	0.0	○
2-Ethyl-1-hexanol	0.0	～	0.0	○
TPDI	0.0	～	0.0	○
TPMI	0.0	～	0.0	○

※キャリーオーバー ○：100%未満、×：100%以上

表13 添加回収試験実施場所(横浜市内会議室)の温湿度、気圧、エタノール室内濃度

冬 季									
1日目(2022年2月16日) エタノール噴霧なし 天気:晴れ、暖房設定温度22℃、換気停止					2日目(2022年2月17日) エタノール噴霧あり 天気:晴れ、暖房設定温度22℃、換気停止				
	室温 (℃)	相対湿度 (%)	気圧 (hPa)	エタノール 室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		室温 (℃)	相対湿度 (%)	気圧 (hPa)	エタノール 室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
平均	24.2	37	1003	13	平均	25.9	24	1006	840
最大	25.5	40	1006	—	最大	28	27	1007	—
最小	21.5	35	1002	—	最小	22.1	18	1005	—
夏 季									
1日目(2022年7月6日) エタノール噴霧なし 天気:曇時々雨、冷房設定温度22℃、換気停止					2日目(2022年7月7日) エタノール噴霧あり 天気:曇のち晴れ、冷房設定温度22℃、換気停止				
	室温 (℃)	相対湿度 (%)	気圧 (hPa)	エタノール 室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		室温 (℃)	相対湿度 (%)	気圧 (hPa)	エタノール 室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
平均	22.3	70	1003	14	平均	21.8	51	1007	13,000
最大	23	79	1003	—	最大	22.7	56	1009	—
最小	21.6	66	1002	—	最小	21.1	49	1007	—

表14 エタノール噴霧時のサンプリング詳細

冬季 2日目 (2022年2月17日)														
サンプリングNo.	添加回収 実施前	1												
エタノール室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		840												
捕集体積(L)		0.628												
サンプリング 開始時刻		10:09												
サンプリング 終了時刻		16:10												
エタノール噴霧作業 *実施時刻	9:20									13:12				
エタノール使用量(g)	1.5									1.4				
備考	※ エタノール噴霧作業 会議室内の事務机1台にスプレー容器に入れたエタノール溶液 (MQ水にてエタノールを80%v/vに希釈したもの)を噴霧 事務机 (天板サイズ:180×90cm)1台につき、2回噴霧した (机1台で計2回噴霧)													

夏季 2日目 (2022年7月7日)																
サンプリングNo.	添加回収 実施前	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計	平均*2	
エタノール室内濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		22,000	11,000	8,100	9,900	47,000	15,000	9,200	8,100	6,300	16,000	21,000	15,000		13,000	
エタノール 捕集量(ng)		220	1,100	81	990	470	1,500	92	810	63	1,600	210	1,500	8,600		
捕集体積(L)		0.01	0.1	0.01	0.1	0.01	0.1	0.01	0.1	0.01	0.1	0.01	0.1	0.66		
サンプリング 開始時刻		9:57	10:06	10:58	11:06	11:59	12:07	12:59	13:07	14:00	14:08	15:00	15:08			
サンプリング 終了時刻		10:03	10:57	11:06	11:58	12:05	12:58	13:06	13:58	14:06	14:59	15:07	15:59			
エタノール噴霧作業 *1実施時刻	9:37				11:50						14:28					
エタノール使用量(g)	10.4				10.0						9.9					
備考	※1 エタノール噴霧作業 会議室内の事務机5台にスプレー容器に入れたエタノール溶液 (MQ水にてエタノールを80%v/vに希釈したもの)を噴霧 事務机 (天板サイズ:180×90cm)1台につき、3回噴霧した (机5台で計15回噴霧)  ※2 平均 エタノール捕集量の合計値を捕集体積の合計値で除して算出した															

表15 Or-217捕集管におけるエタノールの後段への破過

冬季				
約6時間通気試料-1日目 エタノール噴霧なし			約6時間通気試料-2日目 エタノール噴霧あり	
エタノールの平均室内 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	13		840	
エタノールの捕集量 および破過率	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)
	9.4	0.0	530	0.0
夏季				
約6時間通気試料-1日目 エタノール噴霧なし			約6時間通気試料-2日目 エタノール噴霧あり	
エタノールの平均室内 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	14		13,000	
エタノールの捕集量 および破過率	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)
	10	0.0	6,000 ※1	2.4 ※2

※1 前段については検量線超過につき外挿値

※2 外挿値から算出した概算値

表16 冬季の室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	STD(20ng)添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 2併行(n=2)					
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	平均 (ng)	添加濃度 (ng)	回収率 (真度) (%)	判定 <sup>※1</sup>
2-Propanol	0.4	0.2	0.3	20	1.57	×
1-Propanol	1.6	1.7	1.7	20	8.27	×
2-Butanone	22.8	19.9	21.4	20	106.79	○
Hexane	18.4	14.9	16.7	20	83.27	△
Ethyl Acetate	23.2	20.6	21.9	20	109.42	○
Chloroform	10.9	9.3	10.1	20	50.51	×
2,4-Dimethylpentane	11.9	8.8	10.3	20	51.71	×
1,2-Dichloroethane	20.5	18.6	19.5	20	97.72	○
Benzene	21.4	21.4	21.4	20	106.91	○
<i>n</i> -Butanol	19.0	18.6	18.8	20	94.13	○
1,2-Dichloropropane	19.8	19.2	19.5	20	97.67	○
Iso-octane	5.2	4.0	4.6	20	23.00	×
Trichloroethylene	20.1	19.4	19.8	20	98.77	○
Bromodichloromethane	20.0	19.1	19.5	20	97.71	○
<i>n</i> -Heptane	20.2	20.0	20.1	20	100.50	○
4-Methyl-2-pentanone	19.6	18.9	19.2	20	96.05	○
Toluene	22.4	20.4	21.4	20	106.88	○
Dibromochloromethane	19.7	18.9	19.3	20	96.38	○
<i>n</i> -Octane	23.2	23.4	23.3	20	116.57	△
<i>n</i> -Butyl Acetate	18.6	17.5	18.1	20	90.39	○
Tetrachloroethene	19.7	18.9	19.3	20	96.37	○
Ethylbenzene	20.3	19.1	19.7	20	98.52	○
<i>m</i> -Xylene	20.3	19.7	20.0	20	99.97	○
<i>p</i> -Xylene	19.8	18.7	19.2	20	96.22	○
Styrene	18.3	17.7	18.0	20	89.998	△
<i>o</i> -Xylene	20.0	19.2	19.6	20	98.00	○
<i>n</i> -Nonane	26.4	26.5	26.4	20	132.15	×
$\alpha$ -pinene	18.8	18.1	18.5	20	92.27	○
3-Ethyltoluene	19.4	18.5	18.9	20	94.67	○
4-Ethyltoluene	18.9	17.9	18.4	20	92.19	○
1,3,5-Trimethylbenzene	19.8	18.9	19.4	20	96.77	○
2-Ethyltoluene	19.5	18.7	19.1	20	95.52	○
$\beta$ -Pinene	16.3	16.2	16.2	20	81.12	△
1,2,4-Trimethylbenzene	20.3	19.3	19.8	20	99.11	○
<i>n</i> -Decane	20.9	20.1	20.5	20	102.49	○
1,4-Dichlorobenzene	20.1	19.2	19.7	20	98.27	○
2-Ethyl-1-hexanol	20.3	18.0	19.1	20	95.62	○
1,2,3-Trimethylbenzene	20.2	19.1	19.7	20	98.36	○
Limonene	15.2	14.2	14.7	20	73.61	△
Nonanal	8.8	7.4	8.1	20	40.46	×
<i>n</i> -Undecane	20.5	19.5	20.0	20	99.98	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	19.4	18.4	18.9	20	94.42	○
Decanal	7.7	5.5	6.6	20	32.87	×
<i>n</i> -Dodecane	19.9	18.7	19.3	20	96.37	○
<i>n</i> -Tridecane	19.9	19.2	19.5	20	97.74	○
<i>n</i> -Tetradecane	20.2	18.9	19.5	20	97.68	○
<i>n</i> -Pentadecane	20.2	19.0	19.6	20	97.97	○
<i>n</i> -Hexadecane	20.3	19.0	19.7	20	98.26	○
TPDI	18.0	19.0	18.5	20	92.45	○
TPMI	17.6	18.2	17.9	20	89.40	△

注：2併行のため、表には真度のみを記載

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○：90～110%以内、△：70～130%以内、×：70～130%を超過

表17 夏季の室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	STD(20ng)添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 (ng)	添加濃度 (ng)	回収率 (真度) (%)	判定※1	併行精度 (%)	判定※2
2-Propanol	0.4	0.4	0.4	0.4	20	2.07	×	11.50	△
1-Propanol	2.2	2.7	2.2	2.4	20	11.83	×	13.57	△
2-Butanone	20.4	19.2	20.2	19.9	20	99.63	○	3.03	○
Hexane	19.0	17.8	20.1	19.0	20	94.95	○	5.93	○
Ethyl Acetate	19.4	19.7	19.8	19.6	20	98.03	○	0.97	○
Chloroform	14.7	13.3	14.7	14.2	20	71.16	△	5.81	○
2,4-Dimethylpentane	15.1	12.3	14.2	13.9	20	69.44	×	10.21	△
1,2-Dichloroethane	19.9	19.3	19.6	19.6	20	98.13	○	1.43	○
Benzene	16.9	17.9	17.6	17.5	20	87.45	△	2.94	○
n-Butanol	18.0	18.0	18.4	18.1	20	90.55	○	1.27	○
1,2-Dichloropropane	19.6	20.1	19.9	19.9	20	99.51	○	1.29	○
Iso-octane	7.6	6.3	7.1	7.0	20	34.91	×	9.48	○
Trichloroethylene	20.2	20.1	20.0	20.1	20	100.49	○	0.52	○
Bromodichloromethane	19.8	19.9	19.7	19.8	20	98.95	○	0.62	○
n-Heptane	20.0	20.5	20.1	20.2	20	101.08	○	1.26	○
4-Metyl-2-pentanone	19.7	19.4	19.4	19.5	20	97.59	○	1.04	○
Toluene	19.7	20.3	20.7	20.2	20	101.20	○	2.30	○
Dibromochloromethane	20.2	20.2	19.9	20.1	20	100.47	○	0.99	○
n-Octane	21.2	21.6	20.9	21.2	20	106.05	○	1.72	○
n-Butyl Acetate	18.3	18.3	18.2	18.3	20	91.31	○	0.31	○
Tetrachloroethene	18.9	19.3	19.3	19.1	20	95.74	○	1.33	○
Ethylbenzene	19.4	19.6	19.5	19.5	20	97.45	○	0.63	○
m-Xylene	19.7	20.3	19.9	20.0	20	99.80	○	1.52	○
p-Xylene	20.5	19.9	20.1	20.2	20	100.80	○	1.66	○
Styrene	16.8	17.1	15.4	16.4	20	82.206	△	5.53	○
o-Xylene	19.5	19.5	19.5	19.5	20	97.48	○	0.19	○
n-Nonane	23.8	23.7	22.5	23.3	20	116.63	△	2.99	○
α-pinene	18.8	19.0	18.6	18.8	20	94.07	○	0.97	○
3-Ethyltoluene	19.7	19.4	19.4	19.5	20	97.56	○	0.84	○
4-Ethyltoluene	19.8	19.4	19.3	19.5	20	97.46	○	1.48	○
1,3,5-Trimethylbenzene	19.9	19.6	19.6	19.7	20	98.53	○	0.94	○
2-Ethyltoluene	19.9	19.7	19.6	19.7	20	98.67	○	0.93	○
β-Pinene	19.0	18.9	18.4	18.8	20	93.77	○	1.88	○
1,2,4-Trimethylbenzene	20.0	19.7	19.7	19.8	20	99.13	○	0.86	○
n-Decane	20.9	20.5	20.4	20.6	20	102.94	○	1.22	○
1,4-Dichlorobenzene	19.9	19.8	19.9	19.8	20	99.24	○	0.25	○
2-Ethyl-1-hexanol	20.5	21.5	21.3	21.1	20	105.34	○	2.54	○
1,2,3-Trimethylbenzene	20.2	19.8	19.8	19.9	20	99.70	○	1.14	○
Limonene	14.9	15.5	12.3	14.3	20	71.27	△	11.86	△
Nonanal	15.4	14.5	15.5	15.1	20	75.59	△	3.83	○
n-Undecane	19.9	19.7	19.9	19.8	20	98.93	○	0.59	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	20.3	19.7	19.8	19.9	20	99.64	○	1.45	○
Decanal	13.3	12.7	13.8	13.3	20	66.39	×	4.32	○
n-Dodecane	19.9	19.5	19.7	19.7	20	98.58	○	1.15	○
n-Tridecane	19.9	19.5	19.8	19.7	20	98.57	○	1.02	○
n-Tetradecane	19.8	19.4	19.7	19.6	20	98.10	○	1.00	○
n-Pentadecane	20.4	20.1	20.3	20.2	20	101.13	○	0.76	○
n-Hexadecane	21.2	20.7	20.9	20.9	20	104.67	○	1.22	○
TPDI	18.4	19.0	19.4	18.9	20	94.70	○	2.56	○
TPMI	18.0	19.6	18.9	18.8	20	94.25	○	4.43	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○ : 90~110%以内、△ : 70~130%以内、× : 70~130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○ : 0~10%以内、△ : 10~20%以内、× : 20%を超過

表18 室内空気の通気条件下におけるVOC類の後段への破過率(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	2連に接続したTenaxTA捕集管の前段にSTDを20ng添加後、室内通気を通気			
	冬季平均値(n=2)		夏季平均値(n=3)	
	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)
2-Propanol	1.1	73	1.9	78
1-Propanol	11.7	86	17.1	86
2-Butanone	21.9	2.5	20.5	3.0
Hexane	18.3	9.0	21.0	9.3
Ethyl Acetate	22.1	0.89	20.0	2.1
Chloroform	19.9	49	19.1	25
2,4-Dimethylpentane	14.9	31	18.7	26
1,2-Dichloroethane	19.9	2.0	20.1	2.3
Benzene	21.4	0	17.6	0.67
<i>n</i> -Butanol	18.9	0.23	18.2	0.29
1,2-Dichloropropane	19.5	0	19.9	0
Iso-octane	8.9	48	13.0	46
Trichloroethylene	19.8	0.070	20.3	0.82
Bromodichloromethane	19.5	0	19.8	0
<i>n</i> -Heptane	20.1	0	20.4	1.1
4-Methyl-2-pentanone	19.6	2.0	20.2	3.4
Toluene	21.4	0	20.7	2.1
Dibromochloromethane	19.3	0	20.1	0
<i>n</i> -Octane	23.3	0	21.2	0
<i>n</i> -Butyl Acetate	18.1	0	18.3	0
Tetrachloroethene	19.3	0	19.1	0
Ethylbenzene	19.9	0.81	19.7	1.1
<i>m</i> -Xylene	20.0	0	20.1	0.49
<i>p</i> -Xylene	19.3	0.42	20.2	0.24
Styrene	18.0	0.15	16.5	0.08
<i>o</i> -Xylene	19.6	0	19.8	1.7
<i>n</i> -Nonane	26.4	0	23.4	0.32
$\alpha$ -pinene	18.5	0.37	18.8	0
3-Ethyltoluene	18.9	0	20.0	2.5
4-Ethyltoluene	18.5	0.45	19.8	1.6
1,3,5-Trimethylbenzene	19.4	0	19.7	0
2-Ethyltoluene	19.1	0	19.7	0
$\beta$ -Pinene	16.2	0	18.8	0
1,2,4-Trimethylbenzene	19.9	0.37	20.3	2.4
<i>n</i> -Decane	20.5	0	20.7	0.40
1,4-Dichlorobenzene	19.7	0.013	19.9	0.43
2-Ethyl-1-hexanol	20.0	4.6	21.1	0.086
1,2,3-Trimethylbenzene	19.7	0	19.9	0
Limonene	14.7	0	14.3	0
Nonanal	8.2	1.8	15.3	1.4
<i>n</i> -Undecane	20.0	0	19.8	0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	18.9	0	19.9	0
Decanal	6.8	3.6	13.4	0.66
<i>n</i> -Dodecane	19.3	0	19.7	0
<i>n</i> -Tridecane	19.5	0	20.3	2.9
<i>n</i> -Tetradecane	19.6	0.39	19.6	0.12
<i>n</i> -Pentadecane	19.6	0	20.2	0
<i>n</i> -Hexadecane	19.7	0.39	20.9	0.040
TPDI	18.5	0.081	18.9	0.053
TPMI	17.9	0	18.8	0

表19 冬季の室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	STD(0.5 $\mu$ g/mL) 添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 ( $\mu$ g/mL)	添加濃度 ( $\mu$ g/mL)	回収率 (真度) (%)	判定※1	併行精度 (%)	判定※2
Acetone	0.66	0.71	0.69	0.68	0.5	136.84	×	3.02	○
Methylene chloride	0.02	0.02	0.02	0.02	0.5	4.01	×	15.62	△
Hexane	0.49	0.54	0.53	0.52	0.5	103.70	○	3.98	○
Ethyl Acetate	0.52	0.55	0.55	0.54	0.5	108.41	○	2.51	○
Chloroform	0.48	0.53	0.52	0.51	0.5	101.87	○	4.04	○
2,4-Dimethylpentane	0.50	0.56	0.54	0.53	0.5	106.81	○	4.03	○
1,2-Dichloroethane	0.48	0.53	0.52	0.51	0.5	102.56	○	3.92	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.48	0.53	0.52	0.51	0.5	102.20	○	4.12	○
n-Butanol	0.66	0.70	0.68	0.68	0.5	136.23	×	2.64	○
Benzene	0.48	0.53	0.51	0.51	0.5	101.16	○	4.40	○
Tetrachloromethane	0.48	0.54	0.52	0.51	0.5	101.95	○	4.72	○
1,2-Dichloropropane	0.49	0.54	0.52	0.52	0.5	103.45	○	4.28	○
Iso-octane	0.50	0.55	0.54	0.53	0.5	105.98	○	4.42	○
Trichloroethylene	0.47	0.53	0.52	0.50	0.5	100.95	○	4.84	○
n-Heptane	0.49	0.54	0.53	0.52	0.5	103.74	○	4.31	○
4-Metyl-2-pentanone	0.49	0.53	0.51	0.51	0.5	101.42	○	3.33	○
Toluene	0.48	0.52	0.51	0.50	0.5	100.48	○	3.57	○
Dibromochloromethane	0.45	0.52	0.49	0.49	0.5	97.41	○	5.37	○
n-Butyl Acetate	0.50	0.54	0.52	0.52	0.5	104.25	○	3.28	○
n-Octane	0.50	0.55	0.53	0.53	0.5	105.77	○	4.19	○
Tetrachloroethene	0.46	0.51	0.51	0.49	0.5	98.22	○	4.59	○
Ethylbenzene	0.48	0.52	0.52	0.51	0.5	101.19	○	3.98	○
Styrene	0.32	0.32	0.33	0.32	0.5	64.88	×	0.21	○
o-Xylene	0.45	0.50	0.49	0.48	0.5	96.31	○	4.33	○
n-Nonane	0.51	0.57	0.54	0.54	0.5	108.07	○	4.21	○
$\alpha$ -Pinene	0.50	0.55	0.53	0.52	0.5	104.94	○	4.11	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.46	0.51	0.50	0.49	0.5	97.630	○	3.75	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.45	0.49	0.48	0.47	0.5	94.73	○	3.95	○
n-Decane	0.52	0.57	0.54	0.54	0.5	107.90	○	3.76	○
1,4-Dichlorobenzene	0.42	0.47	0.45	0.45	0.5	89.29	△	4.04	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.43	0.47	0.46	0.46	0.5	91.01	○	3.98	○
Limonene	0.51	0.56	0.54	0.54	0.5	107.16	○	3.44	○
n-Undecane	0.51	0.56	0.54	0.53	0.5	106.97	○	3.65	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.43	0.47	0.46	0.45	0.5	90.00	○	3.90	○
n-Dodecane	0.48	0.51	0.49	0.49	0.5	98.71	○	2.58	○
n-Tridecane	0.48	0.51	0.50	0.49	0.5	98.81	○	2.75	○
n-Tetradecane	0.47	0.52	0.49	0.49	0.5	98.60	○	3.53	○
n-Pentadecane	0.46	0.50	0.48	0.48	0.5	95.96	○	3.20	○
n-Hexadecane	0.46	0.50	0.47	0.48	0.5	95.40	○	2.87	○
m,p-Xylene	0.47	0.52	0.50	0.50	0.5	99.28	○	4.02	○
2-Ethyl-1-hexanol	0.50	0.54	0.51	0.52	0.5	103.78	○	2.96	○
TPDI	0.46	0.48	0.45	0.46	0.5	92.44	○	2.77	○
TPMI	0.51	0.53	0.49	0.51	0.5	101.83	○	2.96	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○：90～110%以内、△：70～130%以内、×：70～130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○：0～10%以内、△：10～20%以内、×：20%を超過

表20 夏季の室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	STD(0.5 $\mu$ g/mL) 添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 ( $\mu$ g/mL)	添加濃度 ( $\mu$ g/mL)	回収率 (真度) (%)	判定※1	併行精度 (%)	判定※2
Acetone	0.33	0.31	0.31	0.31	0.5	62.89	×	2.77	○
Methylene chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.00	×	28.42	×
Hexane	0.56	0.55	0.53	0.55	0.5	109.29	○	2.41	○
Ethyl Acetate	0.51	0.53	0.50	0.51	0.5	102.37	○	2.66	○
Chloroform	0.52	0.51	0.50	0.51	0.5	101.36	○	1.50	○
2,4-Dimethylpentane	0.56	0.56	0.53	0.55	0.5	109.37	○	2.26	○
1,2-Dichloroethane	0.54	0.53	0.51	0.53	0.5	105.20	○	2.40	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.55	0.56	0.54	0.55	0.5	110.02	△	1.55	○
<i>n</i> -Butanol	0.34	0.33	0.30	0.32	0.5	64.42	×	4.51	○
Benzene	0.55	0.55	0.52	0.54	0.5	108.05	○	2.09	○
Tetrachloromethane	0.55	0.55	0.53	0.55	0.5	109.14	○	1.70	○
1,2-Dichloropropane	0.54	0.54	0.52	0.53	0.5	106.91	○	1.78	○
Iso-octane	0.56	0.56	0.53	0.55	0.5	109.65	○	2.04	○
Trichloroethylene	0.56	0.56	0.54	0.55	0.5	110.20	△	1.91	○
<i>n</i> -Heptane	0.53	0.54	0.51	0.53	0.5	105.36	○	2.41	○
4-Metyl-2-pentanone	0.49	0.48	0.46	0.47	0.5	94.83	○	2.83	○
Toluene	0.54	0.54	0.52	0.53	0.5	106.90	○	1.89	○
Dibromochloromethane	0.53	0.52	0.50	0.52	0.5	103.56	○	2.60	○
<i>n</i> -Butyl Acetate	0.50	0.49	0.48	0.49	0.5	97.67	○	1.94	○
<i>n</i> -Octane	0.53	0.53	0.51	0.52	0.5	104.53	○	2.31	○
Tetrachloroethene	0.56	0.56	0.54	0.56	0.5	111.14	△	1.50	○
Ethylbenzene	0.54	0.54	0.52	0.54	0.5	107.35	○	1.96	○
Styrene	0.22	0.19	0.17	0.19	0.5	38.53	×	11.68	△
<i>o</i> -Xylene	0.52	0.52	0.50	0.51	0.5	102.54	○	1.53	○
<i>n</i> -Nonane	0.53	0.53	0.51	0.52	0.5	104.11	○	2.10	○
$\alpha$ -Pinene	0.49	0.48	0.45	0.47	0.5	94.97	○	3.53	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.52	0.53	0.51	0.52	0.5	104.051	○	1.69	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.51	0.51	0.49	0.51	0.5	101.32	○	1.70	○
<i>n</i> -Decane	0.52	0.52	0.49	0.51	0.5	101.96	○	2.45	○
1,4-Dichlorobenzene	0.50	0.50	0.49	0.50	0.5	99.41	○	1.51	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.49	0.49	0.48	0.49	0.5	97.27	○	1.60	○
Limonene	0.46	0.46	0.43	0.45	0.5	90.48	○	2.93	○
<i>n</i> -Undecane	0.50	0.50	0.48	0.49	0.5	98.35	○	2.35	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.48	0.49	0.47	0.48	0.5	96.48	○	2.04	○
<i>n</i> -Dodecane	0.49	0.49	0.47	0.49	0.5	97.07	○	1.78	○
<i>n</i> -Tridecane	0.48	0.48	0.46	0.47	0.5	94.80	○	1.80	○
<i>n</i> -Tetradecane	0.47	0.47	0.45	0.47	0.5	93.37	○	1.91	○
<i>n</i> -Pentadecane	0.48	0.48	0.46	0.48	0.5	95.12	○	2.42	○
<i>n</i> -Hexadecane	0.50	0.49	0.48	0.49	0.5	97.92	○	2.07	○
<i>m,p</i> -Xylene	0.53	0.53	0.51	0.52	0.5	104.72	○	1.98	○
2-Ethyl-1-hexanol	0.38	0.36	0.36	0.37	0.5	73.85	△	2.72	○
TPDI	0.53	0.51	0.52	0.52	0.5	103.84	○	1.52	○
TPMI	0.50	0.46	0.45	0.47	0.5	93.68	○	4.34	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○ : 90~110%以内、△ : 70~130%以内、× : 70~130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○ : 0~10%以内、△ : 10~20%以内、× : 20%を超過

表21 室内空気の通気条件下におけるVOC類の後段への破過率(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	2連に接続したCBA捕集管の前段にSTD(0.5 $\mu$ g/mL)添加後、室内通気を通気			
	冬季平均値(n=3)		夏季平均値(n=3)	
	前段+後段 ( $\mu$ g/mL)	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 ( $\mu$ g/mL)	後段/(前段+後段) (%)
Acetone	0.76	9.8	0.32	1.1
Methylene chloride	0.52	96	0.12	102
Hexane	0.52	0	0.54	0
Ethyl Acetate	0.54	0	0.51	0
Chloroform	0.51	0	0.52	3.0
2,4-Dimethylpentane	0.53	0	0.55	0
1,2-Dichloroethane	0.51	0	0.53	0
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.51	0	0.55	0.057
<i>n</i> -Butanol	0.68	0	0.32	0
Benzene	0.51	0.73	0.52	0
Tetrachloromethane	0.51	0	0.55	0.41
1,2-Dichloropropane	0.52	0	0.53	0
Iso-octane	0.53	0	0.55	0
Trichloroethylene	0.50	0	0.55	0
<i>n</i> -Heptane	0.52	0	0.53	0
4-Metyl-2-pentanone	0.51	0	0.47	0
Toluene	0.51	1.4	0.54	0.66
Dibromochloromethane	0.49	0	0.52	0
<i>n</i> -Butyl Acetate	0.52	0	0.49	0
<i>n</i> -Octane	0.53	1.1	0.52	0
Tetrachloroethene	0.49	0	0.56	0
Ethylbenzene	0.52	1.9	0.55	1.7
Styrene	0.32	0	0.20	4.5
<i>o</i> -Xylene	0.48	0	0.51	0
<i>n</i> -Nonane	0.54	0	0.52	0
$\alpha$ -Pinene	0.52	0	0.47	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0.49	0	0.52	0
1,2,4-Trimethylbenzene	0.48	1.4	0.51	0
<i>n</i> -Decane	0.57	5.2	0.55	6.9
1,4-Dichlorobenzene	0.45	0	0.50	0
1,2,3-Trimethylbenzene	0.46	0	0.49	0
Limonene	0.54	0	0.45	0
<i>n</i> -Undecane	0.53	0	0.49	0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.45	0	0.48	0
<i>n</i> -Dodecane	0.49	0	0.49	0
<i>n</i> -Tridecane	0.49	0	0.47	0
<i>n</i> -Tetradecane	0.49	0	0.47	0
<i>n</i> -Pentadecane	0.48	0	0.48	0
<i>n</i> -Hexadecane	0.48	0	0.52	5.6
<i>m,p</i> -Xylene	0.50	0	0.53	0.90
2-Ethyl-1-hexanol	0.60	13	0.42	11
TPDI	0.46	0	0.53	1.6
TPMI	0.51	0	0.47	0

表22 冬季のエタノール噴霧を実施した室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	STD(20ng)添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 2併行(n=2)					
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	平均 (ng)	添加濃度 (ng)	回収率 (真度) (%)	判定 <sup>※1</sup>
2-Propanol	0.4	0.4	0.4	20	2.10	×
1-Propanol	1.2	1.2	1.2	20	6.04	×
2-Butanone	17.1	18.4	17.8	20	88.78	△
Hexane	14.7	16.5	15.6	20	78.00	△
Ethyl Acetate	20.4	21.4	20.9	20	104.53	○
Chloroform	7.1	7.3	7.2	20	36.09	×
2,4-Dimethylpentane	10.0	12.0	11.0	20	54.87	×
1,2-Dichloroethane	18.4	19.7	19.0	20	95.09	○
Benzene	21.5	21.9	21.7	20	108.52	○
<i>n</i> -Butanol	19.6	20.3	20.0	20	99.88	○
1,2-Dichloropropane	20.6	20.8	20.7	20	103.38	○
Iso-octane	4.6	5.3	4.9	20	24.63	×
Trichloroethylene	20.5	20.6	20.5	20	102.60	○
Bromodichloromethane	20.4	20.7	20.5	20	102.74	○
<i>n</i> -Heptane	21.3	21.3	21.3	20	106.39	○
4-Methyl-2-pentanone	20.3	20.5	20.4	20	101.83	○
Toluene	22.1	21.5	21.8	20	108.99	○
Dibromochloromethane	20.5	20.9	20.7	20	103.35	○
<i>n</i> -Octane	22.8	22.8	22.8	20	114.00	△
<i>n</i> -Butyl Acetate	19.5	19.6	19.5	20	97.69	○
Tetrachloroethene	20.5	20.8	20.6	20	103.13	○
Ethylbenzene	20.6	20.4	20.5	20	102.57	○
<i>m</i> -Xylene	19.7	19.5	19.6	20	98.15	○
<i>p</i> -Xylene	21.5	21.6	21.6	20	107.76	○
Styrene	19.2	19.1	19.1	20	95.630	○
<i>o</i> -Xylene	20.8	20.7	20.8	20	103.78	○
<i>n</i> -Nonane	25.3	24.9	25.1	20	125.51	△
$\alpha$ -pinene	19.1	19.5	19.3	20	96.53	○
3-Ethyltoluene	19.9	19.8	19.9	20	99.34	○
4-Ethyltoluene	19.2	19.1	19.2	20	95.97	○
1,3,5-Trimethylbenzene	20.5	20.3	20.4	20	102.06	○
2-Ethyltoluene	20.0	19.9	20.0	20	99.89	○
$\beta$ -Pinene	18.7	19.3	19.0	20	95.11	○
1,2,4-Trimethylbenzene	20.6	20.3	20.4	20	102.18	○
<i>n</i> -Decane	21.4	21.1	21.3	20	106.25	○
1,4-Dichlorobenzene	20.7	20.8	20.8	20	103.79	○
2-Ethyl-1-hexanol	18.3	18.4	18.4	20	91.75	○
1,2,3-Trimethylbenzene	20.6	20.5	20.5	20	102.64	○
Limonene	15.5	15.2	15.3	20	76.56	△
Nonanal	9.2	8.4	8.8	20	43.83	×
<i>n</i> -Undecane	20.8	20.6	20.7	20	103.65	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	20.0	19.8	19.9	20	99.52	○
Decanal	9.3	7.8	8.6	20	42.76	×
<i>n</i> -Dodecane	20.2	20.0	20.1	20	100.31	○
<i>n</i> -Tridecane	20.6	20.6	20.6	20	102.91	○
<i>n</i> -Tetradecane	20.5	20.4	20.4	20	102.22	○
<i>n</i> -Pentadecane	20.7	20.5	20.6	20	102.85	○
<i>n</i> -Hexadecane	20.6	20.1	20.4	20	101.88	○
TPDI	19.0	19.6	19.3	20	96.54	○
TPMI	19.3	18.8	19.0	20	95.20	○

注：2併行のため、表には真度のみを記載

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○：90～110%以内、△：70～130%以内、×：70～130%を超過

表23 夏季のエタノール噴霧を実施した室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	STD (20ng) 添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 (ng)	添加濃度 (ng)	回収率 (真度) (%)	判定 <sup>※1</sup>	併行精度 (%)	判定 <sup>※2</sup>
2-Propanol	0.6	0.5	0.4	0.5	20	2.57	×	14.52	△
1-Propanol	0.8	2.2	1.0	1.3	20	6.69	×	55.75	×
2-Butanone	19.6	19.4	19.2	19.4	20	96.98	○	1.04	○
Hexane	19.6	19.4	19.2	19.4	20	97.11	○	0.99	○
Ethyl Acetate	21.2	21.3	21.4	21.3	20	106.47	○	0.44	○
Chloroform	15.0	15.5	14.4	15.0	20	74.86	△	3.75	○
2,4-Dimethylpentane	12.3	14.3	14.6	13.7	20	68.62	×	9.14	○
1,2-Dichloroethane	20.3	20.0	20.3	20.2	20	101.00	○	0.75	○
Benzene	18.6	18.3	18.7	18.5	20	92.74	○	1.10	○
n-Butanol	19.6	19.6	19.3	19.5	20	97.51	○	0.83	○
1,2-Dichloropropane	20.3	20.6	20.7	20.5	20	102.66	○	0.99	○
Iso-octane	7.2	8.5	7.9	7.9	20	39.27	×	8.07	○
Trichloroethylene	20.1	20.3	20.4	20.3	20	101.38	○	0.75	○
Bromodichloromethane	20.3	20.5	20.4	20.4	20	102.02	○	0.46	○
n-Heptane	20.0	20.2	20.1	20.1	20	100.51	○	0.38	○
4-Metyl-2-pentanone	18.7	18.8	19.0	18.8	20	94.11	○	0.98	○
Toluene	20.2	20.0	21.0	20.4	20	101.96	○	2.71	○
Dibromochloromethane	20.1	20.1	20.1	20.1	20	100.51	○	0.17	○
n-Octane	21.3	22.8	21.6	21.9	20	109.39	○	3.82	○
n-Butyl Acetate	18.8	19.6	20.2	19.6	20	97.81	○	3.57	○
Tetrachloroethene	20.2	20.7	20.8	20.6	20	102.76	○	1.35	○
Ethylbenzene	19.9	20.1	20.4	20.1	20	100.66	○	1.21	○
m-Xylene	21.7	22.5	22.1	22.1	20	110.56	△	1.63	○
p-Xylene	19.9	20.2	20.7	20.3	20	101.42	○	1.92	○
Styrene	18.9	19.3	19.2	19.1	20	95.589	○	0.98	○
o-Xylene	19.8	20.2	20.2	20.1	20	100.37	○	0.98	○
n-Nonane	22.6	24.0	22.6	23.1	20	115.32	△	3.54	○
α-pinene	19.6	19.7	19.8	19.7	20	98.42	○	0.71	○
3-Ethyltoluene	19.5	19.7	19.7	19.6	20	98.19	○	0.56	○
4-Ethyltoluene	19.9	20.1	20.0	20.0	20	99.98	○	0.55	○
1,3,5-Trimethylbenzene	19.9	20.2	20.1	20.1	20	100.32	○	0.56	○
2-Ethyltoluene	19.8	20.0	19.9	19.9	20	99.61	○	0.57	○
β-Pinene	20.2	20.3	20.3	20.3	20	101.44	○	0.38	○
1,2,4-Trimethylbenzene	20.0	20.2	20.1	20.1	20	100.43	○	0.52	○
n-Decane	20.2	20.2	20.2	20.2	20	100.97	○	0.24	○
1,4-Dichlorobenzene	20.3	20.5	20.6	20.5	20	102.38	○	0.84	○
2-Ethyl-1-hexanol	21.2	20.2	19.4	20.3	20	101.32	○	4.44	○
1,2,3-Trimethylbenzene	20.0	20.2	20.1	20.1	20	100.49	○	0.43	○
Limonene	18.2	18.0	18.3	18.2	20	90.89	○	0.78	○
Nonanal	16.5	14.8	16.1	15.8	20	78.86	△	5.43	○
n-Undecane	20.0	20.2	20.4	20.2	20	100.91	○	1.04	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	20.1	20.0	20.1	20.1	20	100.27	○	0.19	○
Decanal	13.3	12.1	13.5	13.0	20	64.80	×	5.59	○
n-Dodecane	20.2	20.0	20.3	20.2	20	100.87	○	0.94	○
n-Tridecane	20.8	20.4	20.8	20.7	20	103.36	○	1.07	○
n-Tetradecane	21.3	20.6	21.0	21.0	20	105.00	○	1.59	○
n-Pentadecane	21.6	20.8	21.0	21.1	20	105.75	○	1.83	○
n-Hexadecane	22.5	21.7	21.7	22.0	20	109.90	○	2.10	○
TPDI	19.0	19.6	18.8	19.1	20	95.75	○	2.13	○
TPMI	19.3	20.0	19.0	19.4	20	97.10	○	2.61	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○ : 90~110%以内、△ : 70~130%以内、× : 70~130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○ : 0~10%以内、△ : 10~20%以内、× : 20%を超過

表24 エタノール噴霧を実施した室内空気の通気条件下におけるVOC類の後段への破過率(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

2連に接続したTenaxTA捕集管の前段にSTDを20ng添加後、室内通気を通気				
化合物名	冬季平均値(n=2)		夏季平均値(n=3)	
	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 (ng)	後段/(前段+後段) (%)
2-Propanol	0.6	29	1.8	70
1-Propanol	6.0	80	16.4	92
2-Butanone	20.6	14	19.4	0
Hexane	18.7	17	20.0	3.0
Ethyl Acetate	21.5	2.6	21.3	0
Chloroform	20.2	64	18.7	19.8
2,4-Dimethylpentane	15.9	31	18.2	25
1,2-Dichloroethane	20.8	8.7	20.5	1.7
Benzene	21.7	0	18.5	0
n-Butanol	20.2	1.1	19.5	0
1,2-Dichloropropane	20.7	0	20.5	0
Iso-octane	9.1	46	14.3	45
Trichloroethylene	20.6	0.42	20.3	0
Bromodichloromethane	20.7	0.71	20.7	1.3
n-Heptane	21.3	0	20.1	0
4-Methyl-2-pentanone	20.4	0	18.8	0
Toluene	21.8	0	20.4	0
Dibromochloromethane	20.7	0	20.1	0
n-Octane	22.8	0	21.9	0
n-Butyl Acetate	19.5	0	19.6	0
Tetrachloroethene	20.6	0	20.6	0
Ethylbenzene	20.5	0	20.1	0.031
m-Xylene	19.6	0	22.1	0.011
p-Xylene	21.6	0.044	20.3	0.032
Styrene	19.1	0.047	19.1	0
o-Xylene	20.8	0	20.1	0
n-Nonane	25.1	0	23.1	0
$\alpha$ -pinene	19.5	1.2	19.7	0
3-Ethyltoluene	19.9	0	19.6	0
4-Ethyltoluene	19.2	0.18	20.0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	20.4	0	20.1	0
2-Ethyltoluene	20.0	0	19.9	0
$\beta$ -Pinene	19.0	0	20.3	0
1,2,4-Trimethylbenzene	20.4	0	20.5	2.2
n-Decane	21.3	0	20.2	0
1,4-Dichlorobenzene	20.8	0	20.5	0
2-Ethyl-1-hexanol	18.8	2.4	20.5	1.0
1,2,3-Trimethylbenzene	20.5	0	20.1	0
Limonene	15.3	0	18.2	0
Nonanal	8.9	1.3	15.8	0.34
n-Undecane	20.7	0	20.2	0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	19.9	0	20.1	0
Decanal	8.7	2.1	13.0	0
n-Dodecane	20.1	0	20.2	0
n-Tridecane	20.6	0	20.7	0
n-Tetradecane	20.4	0	21.0	0.04
n-Pentadecane	20.6	0	21.1	0
n-Hexadecane	20.4	0.11	22.0	0
TPDI	19.4	0.52	19.2	0.25
TPMI	19.0	0	19.4	0.024

表25 エタノール濃度の違いによるVOC類回収率の比較(TenaxTA捕集管を用いた加熱脱離法)

化合物名	回収率(真度)(%)の差 (エタノール噴霧有-エタノール噴霧無)	
	冬季	夏季
2-Propanol	0.5	0.5
1-Propanol	-2.2	-5.1
2-Butanone	-18.0	-2.7
Hexane	-5.3	2.2
Ethyl Acetate	-4.9	8.4
Chloroform	-14.4	3.7
2,4-Dimethylpentane	3.2	-0.8
1,2-Dichloroethane	-2.6	2.9
Benzene	1.6	5.3
<i>n</i> -Butanol	5.7	7.0
1,2-Dichloropropane	5.7	3.1
Iso-octane	1.6	4.4
Trichloroethylene	3.8	0.9
Bromodichloromethane	5.0	3.1
<i>n</i> -Heptane	5.9	-0.6
4-Methyl-2-pentanone	5.8	-3.5
Toluene	2.1	0.8
Dibromochloromethane	7.0	0.0
<i>n</i> -Octane	-2.6	3.3
<i>n</i> -Butyl Acetate	7.3	6.5
Tetrachloroethene	6.8	7.0
Ethylbenzene	4.0	3.2
<i>m</i> -Xylene	-1.8	10.8
<i>p</i> -Xylene	11.5	0.6
Styrene	5.6	13.4
<i>o</i> -Xylene	5.8	2.9
<i>n</i> -Nonane	-6.6	-1.3
$\alpha$ -pinene	4.3	4.3
3-Ethyltoluene	4.7	0.6
4-Ethyltoluene	3.8	2.5
1,3,5-Trimethylbenzene	5.3	1.8
2-Ethyltoluene	4.4	0.9
$\beta$ -Pinene	14.0	7.7
1,2,4-Trimethylbenzene	3.1	1.3
<i>n</i> -Decane	3.8	-2.0
1,4-Dichlorobenzene	5.5	3.1
2-Ethyl-1-hexanol	-3.9	-4.0
1,2,3-Trimethylbenzene	4.3	0.8
Limonene	3.0	19.6
Nonanal	3.4	3.3
<i>n</i> -Undecane	3.7	2.0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	5.1	0.6
Decanal	9.9	-1.6
<i>n</i> -Dodecane	3.9	2.3
<i>n</i> -Tridecane	5.2	4.8
<i>n</i> -Tetradecane	4.5	6.9
<i>n</i> -Pentadecane	4.9	4.6
<i>n</i> -Hexadecane	3.6	5.2
TPDI	4.1	1.1
TPMI	5.8	2.9
相対湿度	1日目(エタノール噴霧無) 37%	1日目(エタノール噴霧無) 70%
	2日目(エタノール噴霧有) 24%	2日目(エタノール噴霧有) 51%
2日目(エタノール噴霧有) におけるエタノールの 平均室内濃度	840 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表26 冬季のエタノール噴霧を実施した室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	STD (0.5 $\mu$ g/mL) 添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 ( $\mu$ g/mL)	添加濃度 ( $\mu$ g/mL)	回収率 (真度) (%)	判定 <sup>※1</sup>	併行精度 (%)	判定 <sup>※2</sup>
Acetone	0.56	0.64	0.55	0.58	0.5	116.91	△	6.31	○
Methylene chloride	0.01	0.01	0.01	0.01	0.5	1.88	×	30.20	△
Hexane	0.53	0.60	0.55	0.56	0.5	111.60	△	4.84	○
Ethyl Acetate	0.49	0.55	0.49	0.51	0.5	101.98	○	5.75	○
Chloroform	0.51	0.57	0.52	0.53	0.5	106.04	○	4.73	○
2,4-Dimethylpentane	0.57	0.64	0.58	0.60	0.5	119.06	△	5.54	○
1,2-Dichloroethane	0.54	0.60	0.55	0.56	0.5	112.81	△	5.02	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.51	0.58	0.52	0.54	0.5	107.17	○	5.72	○
n-Butanol	0.54	0.58	0.55	0.56	0.5	111.13	△	2.91	○
Benzene	0.51	0.57	0.52	0.53	0.5	106.44	○	5.39	○
Tetrachloromethane	0.50	0.56	0.51	0.52	0.5	103.98	○	5.22	○
1,2-Dichloropropane	0.54	0.61	0.55	0.56	0.5	112.70	△	5.33	○
Iso-octane	0.55	0.62	0.56	0.57	0.5	114.89	△	5.27	○
Trichloroethylene	0.48	0.54	0.49	0.50	0.5	100.67	○	5.18	○
n-Heptane	0.56	0.64	0.58	0.60	0.5	119.00	△	5.33	○
4-Methyl-2-pentanone	0.51	0.59	0.52	0.54	0.5	108.31	○	5.99	○
Toluene	0.49	0.55	0.50	0.52	0.5	103.30	○	5.09	○
Dibromochloromethane	0.44	0.50	0.46	0.46	0.5	92.76	○	5.46	○
n-Butyl Acetate	0.52	0.59	0.54	0.55	0.5	109.90	○	4.93	○
n-Octane	0.57	0.64	0.58	0.59	0.5	118.95	△	5.15	○
Tetrachloroethene	0.46	0.52	0.48	0.49	0.5	97.31	○	5.39	○
Ethylbenzene	0.50	0.56	0.51	0.52	0.5	104.01	○	5.07	○
Styrene	0.26	0.26	0.29	0.27	0.5	53.81	×	4.58	○
o-Xylene	0.47	0.52	0.48	0.49	0.5	98.76	○	4.42	○
n-Nonane	0.54	0.60	0.56	0.57	0.5	113.44	△	4.65	○
$\alpha$ -Pinene	0.48	0.53	0.49	0.50	0.5	99.79	○	4.35	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.46	0.52	0.48	0.49	0.5	97.091	○	4.77	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.45	0.50	0.47	0.47	0.5	94.88	○	4.72	○
n-Decane	0.51	0.58	0.53	0.54	0.5	108.29	○	5.32	○
1,4-Dichlorobenzene	0.43	0.48	0.44	0.45	0.5	89.67	△	4.97	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.43	0.48	0.45	0.45	0.5	90.87	○	4.57	○
Limonene	0.49	0.53	0.49	0.50	0.5	100.95	○	3.44	○
n-Undecane	0.51	0.57	0.52	0.54	0.5	107.09	○	5.10	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.43	0.47	0.44	0.45	0.5	89.50	△	4.04	○
n-Dodecane	0.46	0.51	0.47	0.48	0.5	96.71	○	4.20	○
n-Tridecane	0.45	0.50	0.46	0.47	0.5	93.85	○	4.41	○
n-Tetradecane	0.45	0.50	0.47	0.47	0.5	94.65	○	4.53	○
n-Pentadecane	0.43	0.48	0.45	0.46	0.5	91.07	○	4.22	○
n-Hexadecane	0.44	0.48	0.44	0.45	0.5	90.89	○	4.00	○
m,p-Xylene	0.48	0.54	0.49	0.50	0.5	100.88	○	4.75	○
2-Ethyl-1-hexanol	0.52	0.54	0.47	0.51	0.5	102.19	○	5.34	○
TPDI	0.52	0.51	0.48	0.50	0.5	100.82	○	3.29	○
TPMI	0.55	0.57	0.53	0.55	0.5	110.10	△	2.90	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○ : 90~110%以内、 △ : 70~130%以内、 × : 70~130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○ : 0~10%以内、 △ : 10~20%以内、 × : 20%を超過

表27 夏季のエタノール噴霧を実施した室内における通気条件下でのVOC類添加回収試験結果(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	STD(0.5 $\mu$ g/mL)添加後に室内空気を通気した試料から 通気ブランク試料の平均値を差し引いた値 3併行(n=3)								
	Sample1 前段 (ng)	Sample2 前段 (ng)	Sample3 前段 (ng)	平均 ( $\mu$ g/mL)	添加濃度 ( $\mu$ g/mL)	回収率 (真度) (%)	判定 <sup>※1</sup>	併行精度 (%)	判定 <sup>※2</sup>
Acetone	0.34	0.35	0.36	0.35	0.5	69.92	×	2.39	○
Methylene chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.61	×	15.76	△
Hexane	0.55	0.58	0.56	0.56	0.5	111.87	△	2.26	○
Ethyl Acetate	0.54	0.56	0.55	0.55	0.5	109.98	○	0.83	○
Chloroform	0.55	0.58	0.56	0.56	0.5	112.27	△	2.35	○
2,4-Dimethylpentane	0.56	0.59	0.57	0.57	0.5	114.31	△	2.35	○
1,2-Dichloroethane	0.56	0.59	0.57	0.57	0.5	114.69	△	2.04	○
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.56	0.59	0.57	0.58	0.5	115.31	△	2.27	○
n-Butanol	0.53	0.55	0.53	0.54	0.5	107.93	○	1.72	○
Benzene	0.53	0.56	0.54	0.54	0.5	108.72	○	2.09	○
Tetrachloromethane	0.56	0.59	0.57	0.57	0.5	114.14	△	2.25	○
1,2-Dichloropropane	0.54	0.57	0.55	0.55	0.5	111.00	△	2.29	○
Iso-octane	0.55	0.58	0.56	0.56	0.5	112.87	△	2.30	○
Trichloroethylene	0.53	0.57	0.54	0.55	0.5	109.37	○	2.54	○
n-Heptane	0.54	0.57	0.55	0.55	0.5	110.71	△	2.28	○
4-Metyl-2-pentanone	0.49	0.52	0.51	0.51	0.5	101.69	○	2.27	○
Toluene	0.52	0.54	0.53	0.53	0.5	105.94	○	2.10	○
Dibromochloromethane	0.51	0.53	0.52	0.52	0.5	103.77	○	1.59	○
n-Butyl Acetate	0.52	0.55	0.53	0.53	0.5	106.81	○	2.13	○
n-Octane	0.53	0.56	0.54	0.55	0.5	109.10	○	2.28	○
Tetrachloroethene	0.51	0.54	0.52	0.52	0.5	104.34	○	2.43	○
Ethylbenzene	0.53	0.55	0.53	0.54	0.5	107.36	○	2.08	○
Styrene	0.27	0.26	0.29	0.28	0.5	55.30	×	4.09	○
o-Xylene	0.50	0.53	0.51	0.51	0.5	102.57	○	2.48	○
n-Nonane	0.53	0.56	0.54	0.54	0.5	108.86	○	1.99	○
$\alpha$ -Pinene	0.53	0.56	0.54	0.54	0.5	108.07	○	2.36	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.51	0.54	0.52	0.52	0.5	103.94	○	2.24	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.49	0.52	0.50	0.50	0.5	100.32	○	2.11	○
n-Decane	0.54	0.54	0.51	0.53	0.5	106.01	○	2.81	○
1,4-Dichlorobenzene	0.46	0.49	0.47	0.48	0.5	95.13	○	2.30	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.47	0.50	0.49	0.49	0.5	97.35	○	2.47	○
Limonene	0.51	0.54	0.52	0.52	0.5	104.98	○	2.24	○
n-Undecane	0.52	0.55	0.53	0.53	0.5	106.36	○	2.07	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.47	0.49	0.47	0.48	0.5	95.59	○	2.14	○
n-Dodecane	0.51	0.53	0.50	0.51	0.5	102.58	○	2.84	○
n-Tridecane	0.48	0.51	0.49	0.50	0.5	99.38	○	2.51	○
n-Tetradecane	0.48	0.52	0.50	0.50	0.5	100.49	○	3.24	○
n-Pentadecane	0.48	0.51	0.49	0.49	0.5	98.79	○	2.72	○
n-Hexadecane	0.50	0.54	0.52	0.52	0.5	103.89	○	2.75	○
m,p-Xylene	0.51	0.54	0.52	0.53	0.5	105.44	○	2.47	○
2-Ethyl-1-hexanol	0.54	0.49	0.54	0.53	0.5	105.20	○	4.53	○
TPDI	0.56	0.53	0.59	0.56	0.5	111.93	△	4.28	○
TPMI	0.58	0.54	0.59	0.57	0.5	113.95	△	3.27	○

※1 添加試料の回収率(真度)判定 ○: 90~110%以内、△: 70~130%以内、×: 70~130%を超過

※2 添加試料の併行精度判定 ○: 0~10%以内、△: 10~20%以内、×: 20%を超過

表28 エタノール噴霧を実施した室内空気の通気条件下におけるVOC類の後段への破過率(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	2連に接続したCBA捕集管の前段にSTD(0.5 $\mu\text{g/mL}$ ) 添加後、室内通気を通気			
	冬季平均値(n=3)		夏季平均値(n=3)	
	前段+後段 ( $\mu\text{g/mL}$ )	後段/(前段+後段) (%)	前段+後段 ( $\mu\text{g/mL}$ )	後段/(前段+後段) (%)
Acetone	0.57	0	0.35	0
Methylene chloride	0.52	98	0.54	99
Hexane	0.56	0	0.55	0
Ethyl Acetate	0.51	0	0.55	0
Chloroform	0.53	0	0.56	0
2,4-Dimethylpentane	0.60	0	0.57	0
1,2-Dichloroethane	0.56	0	0.57	0
Ethane,1,1,1-trichloro-	0.54	0	0.58	0
<i>n</i> -Butanol	0.56	0	0.54	0
Benzene	0.53	0.46	0.53	0
Tetrachloromethane	0.52	0	0.57	0
1,2-Dichloropropane	0.56	0	0.55	0
Iso-octane	0.57	0	0.56	0
Trichloroethylene	0.50	0	0.55	0
<i>n</i> -Heptane	0.60	0	0.55	0
4-Metyl-2-pentanone	0.54	0	0.51	0
Toluene	0.52	0.55	0.52	0
Dibromochloromethane	0.46	0	0.52	0
<i>n</i> -Butyl Acetate	0.55	0	0.53	0
<i>n</i> -Octane	0.59	0	0.55	1.0
Tetrachloroethene	0.49	0	0.52	0
Ethylbenzene	0.52	0	0.54	0
Styrene	0.27	0	0.28	0
<i>o</i> -Xylene	0.49	0	0.51	0
<i>n</i> -Nonane	0.57	0	0.54	0
$\alpha$ -Pinene	0.50	0	0.54	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0.49	0	0.52	0
1,2,4-Trimethylbenzene	0.47	0	0.51	0.84
<i>n</i> -Decane	0.54	0	0.54	2.1
1,4-Dichlorobenzene	0.45	0	0.48	0
1,2,3-Trimethylbenzene	0.45	0	0.49	0
Limonene	0.50	0	0.52	0
<i>n</i> -Undecane	0.54	0	0.54	1.6
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.45	0	0.48	0
<i>n</i> -Dodecane	0.48	0	0.55	6.2
<i>n</i> -Tridecane	0.47	0	0.50	0
<i>n</i> -Tetradecane	0.47	0	0.54	7.5
<i>n</i> -Pentadecane	0.46	0	0.49	0
<i>n</i> -Hexadecane	0.45	0	0.58	11
<i>m,p</i> -Xylene	0.50	0	0.53	0.062
2-Ethyl-1-hexanol	0.58	11	0.59	11
TPDI	0.50	0	0.60	6.5
TPMI	0.55	0	0.57	0

表29 エタノール濃度の違いによるVOC類回収率の比較(CBA捕集管を用いた溶媒抽出法)

化合物名	回収率(真度) (%) の差 (エタノール噴霧有 - エタノール噴霧無)	
	冬季	夏季
Acetone	-19.9	7.0
Methylene chloride	-2.1	0.6
Hexane	7.9	2.6
Ethyl Acetate	-6.4	7.6
Chloroform	4.2	10.9
2,4-Dimethylpentane	12.2	4.9
1,2-Dichloroethane	10.2	9.5
Ethane,1,1,1-trichloro-	5.0	5.3
<i>n</i> -Butanol	-25.1	43.5
Benzene	5.3	0.7
Tetrachloromethane	2.0	5.0
1,2-Dichloropropane	9.2	4.1
Iso-octane	8.9	3.2
Trichloroethylene	-0.3	-0.8
<i>n</i> -Heptane	15.3	5.3
4-Methyl-2-pentanone	6.9	6.9
Toluene	2.8	-1.0
Dibromochloromethane	-4.7	0.2
<i>n</i> -Butyl Acetate	5.6	9.1
<i>n</i> -Octane	13.2	4.6
Tetrachloroethene	-0.9	-6.8
Ethylbenzene	2.8	0.0
Styrene	-11.1	16.8
<i>o</i> -Xylene	2.5	0.0
<i>n</i> -Nonane	5.4	4.8
$\alpha$ -Pinene	-5.1	13.1
1,3,5-Trimethylbenzene	-0.5	-0.1
1,2,4-Trimethylbenzene	0.2	-1.0
<i>n</i> -Decane	0.4	4.0
1,4-Dichlorobenzene	0.4	-4.3
1,2,3-Trimethylbenzene	-0.1	0.1
Limonene	-6.2	14.5
<i>n</i> -Undecane	0.1	8.0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	-0.5	-0.9
<i>n</i> -Dodecane	-2.0	5.5
<i>n</i> -Tridecane	-5.0	4.6
<i>n</i> -Tetradecane	-4.0	7.1
<i>n</i> -Pentadecane	-4.9	3.7
<i>n</i> -Hexadecane	-4.5	6.0
<i>m,p</i> -Xylene	1.6	0.7
2-Ethyl-1-hexanol	-1.6	31.3
TPDI	8.4	8.1
TPMI	8.3	20.3
相対湿度	1日目(エタノール噴霧無) 37%	1日目(エタノール噴霧無) 70%
	2日目(エタノール噴霧有) 24%	2日目(エタノール噴霧有) 51%
2日目(エタノール噴霧有) におけるエタノールの 平均室内濃度	840 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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)  
分担研究報告書

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**：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。

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)、森 葉子(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)、青木 明(名城大学薬学部)、岡本 誉士典(名城大学薬学部)

#### A. 目的

総揮発性有機化合物 (TVOC, Total Volatile Organic Compounds) 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、空気質の総合的な指標として用いられている。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2000年に室内空気中のTVOCの暫定目標値として  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  が設けられている。この値は、毒性学的知見から決定されたものではなく、当時の室内空気中VOCsの実態調査結果に基づいて合理的に達成可能な範囲で最も低い濃度として導かれた値である。すなわち、TVOCは室内空気質の目安としての利用を期待して設けられたものであり、TVOCを構成するそれぞれのVOCに対して直ちに健康影響が懸念されるわけではない。

分析方法に関しては、「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。そこで、本研究では、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ボ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。

## B. 実験方法

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。

## C. 結果と考察

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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均値は 321  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値は 1960  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、暫定目標値 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均値は 331  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値 4270  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  および 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、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、デコンボ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)** :  $\alpha$ -Pinene, Menthol, D-Limonene

**Cyclic Siloxanes (2)** : Octamethylcyclotetrasiloxane, Decamethylcyclopentasiloxane

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

**Others (1)** : Ethyl Acetate,

厚生労働省のホームページに示されている現行の TVOC 測定方法では、出来る限り個別物質の同定および定量を行うことが推奨されている。同定すべき個別の VOCs については暫定的なリストが掲載されている

が、近年の検出動向に合わせてリストを更新することによって、TVOC の定性/定量精度の向上に資することが期待される。

#### D. 結論

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、近年の室内空気中で検出される 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。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno K. Species Differences in Activation of TRPA1 by Resin Additive-related Chemicals Relevant to Indoor Air Quality. *J Toxicol Sci.* 2023, **48**: 37-45.
  - 2) 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) 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
  - 2) 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
  - 3) 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
  - 4) 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
  - 5) 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
  - 6) 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
  - 7) 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
  - 8) 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
  - 9) 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
  - 10) 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

G. 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

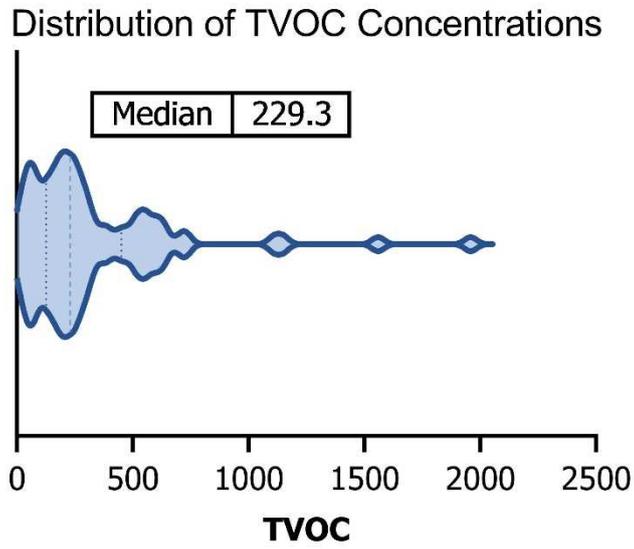


図1 居住住宅のTVOC濃度分布（2020年度全国調査）

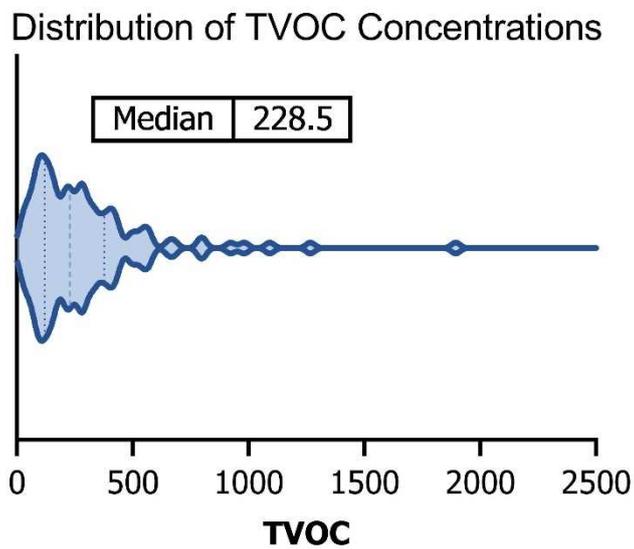


図2 居住住宅のTVOC濃度分布（2016年度全国調査）

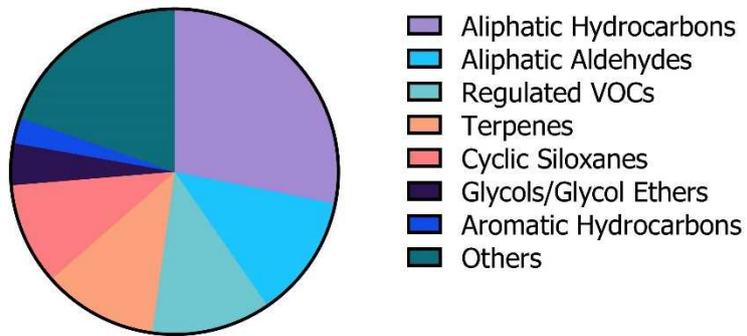


図3 TVOC 構成成分の割合  
(各住居の TVOC 値の 50%を占める主要な VOCs)

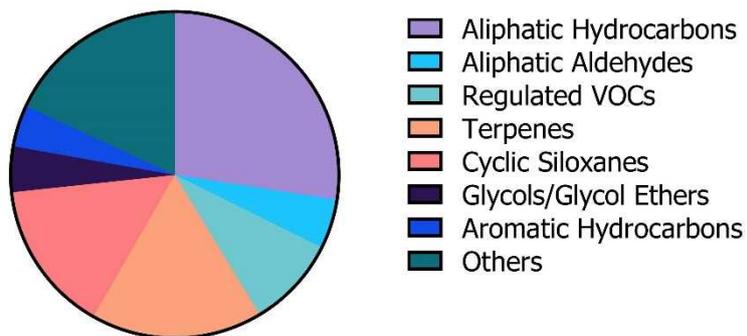


図4 TVOC 構成成分の割合  
(40 µg/m<sup>3</sup>以上の濃度で検出された VOCs)

表1 各住居のTVOC値の50%を占める主要なVOCsの一覧

A-31	1	4.687	6105830	Acetic acid	168.2	
	55	17.617	1852464	2,5,9-Trimethyldecane	51.0	脂肪族炭化水素
	76	22.723	1702670	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	46.9	環状シロキサン
	32	14.163	1390290	Nonane	38.3	脂肪族炭化水素
	60	18.603	1134537	D-Limonene	31.3	テルペン・香料
	2	5.260	1084237	Ethyl Acetate	29.9	
	15	10.020	1066353	Hexanal	29.4	脂肪族アルデヒド
	72	20.457	774313	Nonanal	21.3	脂肪族アルデヒド
A-32	45	22.683	13372279	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	507.6	環状シロキサン
	1	4.647	3537051	Acetic acid	134.3	
A-34	98	17.670	101644537	2,5,9-Trimethyldecane	1308.9	脂肪族炭化水素
	188	22.817	33290384	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	428.7	環状シロキサン
	156	21.003	19904589	Undecane	256.3	脂肪族炭化水素
	48	14.203	16802462	Nonane	216.4	脂肪族炭化水素
	91	17.257	15845924	1,2,4-Trimethylbenzene	204.1	芳香族炭化水素
	194	23.137	11120856	p-Menthan-1-ol	143.2	テルペン・香料
	112	18.510	10116839	2,3,6-Trimethyloctane	130.3	脂肪族炭化水素
	81	16.723	9566248	3-methylnonane	123.2	脂肪族炭化水素
78	16.483	8007724	2-Methylnonane	103.1	脂肪族炭化水素	
A-35	72	17.337	20509478	1-(2-Methoxypropoxy)-2-propanol	214.4	グリコールエーテル類
	67	16.977	8491761	1-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-2-propanol	88.8	グリコールエーテル類
	66	16.870	7728989	1-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-2-propanol	80.8	グリコールエーテル類
	82	18.630	5275012	D-Limonene	55.1	テルペン・香料
	26	10.713	5204068	Octane	54.4	脂肪族炭化水素
	74	17.643	3204353	Decane	33.5	脂肪族炭化水素
	98	20.497	3197406	Nonanal	33.4	脂肪族アルデヒド
SA-32	59	22.830	3161340	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	42.9	環状シロキサン
	56	20.537	1566906	Nonanal	21.3	
	43	17.697	1394648	2,5,9-Trimethyldecane	18.9	脂肪族炭化水素
	1	4.580	1167873	Acetic acid	15.9	
	9	9.393	1122926	<b>Toluene</b>	15.2	指針値化合物
	61	23.790	822342	Decanal	11.2	脂肪族アルデヒド
	26	14.217	806496	Nonane	11.0	脂肪族炭化水素
	2	5.193	597913	Ethyl Acetate	8.1	
AO-31	35	16.483	4747193	2,2,6-Trimethyloctane	57.3	脂肪族炭化水素
	77	22.790	4449180	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	53.7	環状シロキサン
	92	28.243	3737053	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	45.1	脂肪族炭化水素
	6	6.487	2392173	1-Methoxy-2-propanol	28.9	グリコールエーテル類
	55	18.617	2325944	2,2-Dimethyldecane	28.1	脂肪族炭化水素
	69	20.497	2131140	Nonanal	25.7	脂肪族アルデヒド
	60	19.123	1354214	6-Ethyl-2-methyloctane	16.4	脂肪族炭化水素
	67	19.977	1271610	Methyltris(trimethylsiloxy)silane	15.4	
	38	16.950	995014	2,5,6-Trimethyloctane	12.0	脂肪族炭化水素
Y-31	51	22.830	6472846	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	83.9	環状シロキサン
	1	4.647	2450350	Acetic acid	31.8	
	64	28.083	2353596	<b>Dodecamethylcyclohexasiloxane</b>	30.5	環状シロキサン
	56	24.163	2085982	Dodecane	27.0	脂肪族炭化水素
	32	17.697	2083977	2,5,9-Trimethyldecane	27.0	脂肪族炭化水素
	54	23.790	1824920	Decanal	23.7	脂肪族アルデヒド
63	27.977	1390611	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, acetate	18.0	グリコールエーテル類	
Y-34	45	17.697	2992676	Undecane	34.4	脂肪族炭化水素
	80	24.163	2211063	Dodecane	25.4	脂肪族炭化水素
	22	14.230	2025492	Nonane	23.3	脂肪族炭化水素
	96	29.897	1780349	Tetradecane	20.5	脂肪族炭化水素

	67	21.030	1336916	Undecane	15.4	脂肪族炭化水素
	89	27.123	1197427	Tridecane	13.8	脂肪族炭化水素
	102	32.510	1159512	Pentadecane	13.3	脂肪族炭化水素
	66	20.550	929380	Nonanal	10.7	脂肪族アルデヒド
	11	10.767	777396	Octane	8.9	脂肪族炭化水素
	107	34.977	680611	Hexadecane	7.8	脂肪族炭化水素
B-31	1	4.713	11880644	Acetic acid	326.1	
	57	14.150	2874623	Nonane	78.9	脂肪族炭化水素
	96	18.577	2495651	D-Limonene	68.5	テルペン・香料
	93	18.043	1939107	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	53.2	指針値策定候補化合物
	90	17.603	1923968	Nonane	52.8	脂肪族炭化水素
	81	16.737	1579075	2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	43.3	グリコールエーテル類
	24	9.993	1532622	Hexanal	42.1	脂肪族アルデヒド
	29	10.713	1469297	Octane	40.3	脂肪族炭化水素
	115	20.910	1255497	Undecane	34.5	脂肪族炭化水素
	127	24.030	1089937	Dodecane	29.9	脂肪族炭化水素
	7	6.553	1021863	1-Methoxy-2-propanol	28.0	グリコールエーテル類
B-33	23	14.150	866682	Nonane	66.0	脂肪族炭化水素
	37	17.603	857314	Decane	65.3	脂肪族炭化水素
	48	20.910	599791	Undecane	45.7	脂肪族炭化水素
	51	24.043	415566	Dodecane	31.6	脂肪族炭化水素
	13	10.713	388472	Octane	29.6	脂肪族炭化水素
	5	7.647	297141	3-Methylhexane	22.6	脂肪族炭化水素
	35	17.190	271299	Mesitylene	20.7	芳香族炭化水素
	18	12.820	239123	1,3-Dimethylbenzene	18.2	芳香族炭化水素
	9	9.393	234982	<b>Toluene</b>	17.9	指針値化合物
B-34	59	18.657	3163900	D-Limonene	37.6	テルペン・香料
	28	14.190	2145424	Nonane	25.5	脂肪族炭化水素
	56	18.123	1838852	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	21.8	指針値策定候補化合物
	54	17.670	1613212	Decane	19.2	脂肪族炭化水素
	71	20.510	1457697	Nonanal	17.3	脂肪族アルデヒド
	88	26.830	1336636	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	15.9	
	5	7.847	978047	Propylene Glycol	11.6	グリコール類
	9	9.380	966346	<b>Toluene</b>	11.5	指針値策定化合物
	74	20.990	765987	Undecane	9.1	脂肪族炭化水素
	84	24.137	586891	Dodecane	7.0	脂肪族炭化水素
	13	10.740	575228	Octane	6.8	脂肪族炭化水素
C-31	59	24.163	3640153	Dodecane	48.5	脂肪族炭化水素
	80	29.897	3190258	Tetradecane	42.5	脂肪族炭化水素
	88	32.510	2828981	Pentadecane	37.7	脂肪族炭化水素
	72	27.110	1832980	Tridecane	24.4	脂肪族炭化水素
	29	17.697	1792557	Nonane	23.9	脂肪族炭化水素
	1	4.647	1635843	Acetic acid	21.8	
	97	34.977	1602003	Hexadecane	21.3	脂肪族炭化水素
	19	15.590	1544630	Myrtenal	20.6	テルペン・香料
	43	20.537	1211220	Nonanal	16.1	脂肪族アルデヒド
C-32	38	29.777	6102414	Tetradecane	333.5	脂肪族炭化水素
	1	4.687	3751920	Acetic acid	205.1	
	41	32.377	1926166	Pentadecane	105.3	脂肪族炭化水素
C-34	142	27.097	114337600	Tridecane	1149.8	脂肪族炭化水素
	170	29.870	59845548	Tetradecane	601.8	脂肪族炭化水素
C-35	67	22.803	10174562	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	103.0	環状シロキサン
	47	17.697	4291539	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	43.5	指針値化合物
	52	18.657	2720255	D-Limonene	27.5	テルペン・香料
	61	20.510	2685206	Nonanal	27.2	脂肪族アルデヒド

	82	28.057	2439024	<b>Dodecamethylcyclohexasiloxane</b>	24.7	環状シロキサン
	49	18.123	2259589	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	22.9	指針値策定候補化合物
	46	17.670	2121194	2,2-Dimethyldecane	21.5	脂肪族炭化水素
	15	9.393	2064568	<b>Toluene</b>	20.9	指針値化合物
D-31	1	5.247	2405262	Ethyl Acetate	73.4	
	39	17.603	1782412	2,5,9-Trimethyldecane	54.4	脂肪族炭化水素
	19	14.150	1637799	Nonane	50.0	脂肪族炭化水素
	53	20.923	1109459	Undecane	33.8	脂肪族炭化水素
	67	28.150	790624	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	24.1	脂肪族炭化水素
	62	24.043	668770	Dodecane	20.4	脂肪族炭化水素
	52	20.443	648852	Nonanal	19.8	脂肪族アルデヒド
D-32	4	6.673	3738100	Cyclohexane	36.8	
	28	18.123	3704659	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	36.5	指針値策定候補化合物
	32	20.510	1262562	Nonanal	12.4	脂肪族アルデヒド
E-31	1	5.247	502216	Ethyl Acetate	48.1	
	7	9.380	448856	<b>Toluene</b>	43.0	指針値化合物
F-31	88	22.843	16205303	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	199.2	環状シロキサン
	100	25.550	8330362	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	102.4	環状シロキサン
	17	12.593	4796340	<b>Ethylbenzene</b>	59.0	指針値化合物
	54	17.723	4743384	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	58.3	指針値化合物
	56	18.163	4287482	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	52.7	指針値策定候補化合物
	18	12.887	3329541	1,3-Dimethylbenzene	40.9	芳香族炭化水素
	52	17.697	3280843	2,5-Dimethylheptane	40.3	芳香族炭化水素
	1	5.193	2810825	Ethyl Acetate	34.6	
F-32	77	22.843	4698863	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	59.9	環状シロキサン
	111	34.750	3380543	<b>2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutylal</b>	43.1	指針値策定候補化合物
	2	4.767	2582325	Cyclopentane	32.9	
	79	23.163	2313940	Menthol	29.5	テルペン・香料
	64	20.550	1831912	Nonanal	23.4	脂肪族アルデヒド
	3	5.273	1750224	Ethyl Acetate	22.3	
	53	18.150	1634283	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	20.8	指針値策定候補化合物
	50	17.697	1599686	Decane	20.4	脂肪族炭化水素
	84	24.163	1330168	Dodecane	17.0	脂肪族炭化水素
	13	9.447	1297528	<b>Toluene</b>	16.5	指針値化合物
	1	4.647	1158243	Acetic acid	14.8	
	82	23.790	1111393	Decanal	14.2	脂肪族アルデヒド
F-33	40	22.737	14745461	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	414.3	環状シロキサン
F-34	39	15.577	35614124	Myrtenal	356.8	テルペン・香料
	58	18.137	18537216	1,1-Dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)cycloprop	185.7	
	61	18.683	12070594	Phellandrene	120.9	テルペン・香料
	121	24.150	10875183	Dodecane	108.9	脂肪族炭化水素
	161	27.110	9159755	Tridecane	91.8	脂肪族炭化水素
	1	4.647	9043249	Acetic acid	90.6	
	103	22.830	6565292	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	65.8	環状シロキサン
	16	10.033	5960699	Hexanal	59.7	脂肪族アルデヒド
G-31	69	22.843	10675217	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	133.3	
G-31	27	15.590	5511164	Myrtenal	68.8	テルペン・香料
G-31	78	27.123	4686800	Tridecane	58.5	脂肪族炭化水素
G-31	85	29.897	4634482	Tetradecane	57.9	脂肪族炭化水素
G-31	74	24.163	3513971	Dodecane	43.9	脂肪族炭化水素
G-33	15	15.510	2854782	$\alpha$ -Pinene	80.3	テルペン・香料
G-33	1	4.633	1223532	Acetic acid	34.4	
G-33	55	33.137	1001427	trans-Calamenene	28.2	テルペン・香料
G-33	53	32.683	744810	$\alpha$ -Muurolene	20.9	テルペン・香料
G-33	28	18.590	712607	D-Limonene	20.0	テルペン・香料

H-31	62	18.083	2848968	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	82.4	指針値策定候補化合物
	31	14.177	1613070	Nonane	46.7	脂肪族炭化水素
	60	17.630	1490170	Undecane	43.1	脂肪族炭化水素
	66	18.617	1086125	D-Limonene	31.4	テルペン・香料
	1	4.647	1075088	Acetic acid	31.1	
	5	6.580	828508	1-Methoxy-2-propanol	24.0	グリコールエーテル類
	77	20.470	753460	Nonanal	21.8	脂肪族アルデヒド
	26	13.497	704019	<b>Styrene</b>	20.4	指針値化合物
	79	20.950	564658	Undecane	16.3	脂肪族炭化水素
	10	9.420	557207	<b>Toluene</b>	16.1	指針値化合物
	2	5.273	551104	Ethyl Acetate	15.9	
	3	6.300	497781	2,3,4-Trimethyloxetane	14.4	脂肪族炭化水素
	85	23.710	470842	Decanal	13.6	脂肪族アルデヒド
H-32	1	4.607	1152199	Acetic acid	39.6	
	33	20.417	642352	Nonanal	22.1	脂肪族アルデヒド
	11	9.367	363132	<b>Toluene</b>	12.5	指針値化合物
	29	17.577	358437	2,5,9-Trimethyldecane	12.3	脂肪族炭化水素
	31	18.030	342664	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	11.8	指針値策定候補化合物
	42	23.643	304144	Decanal	10.5	脂肪族アルデヒド
	36	21.443	240327	7-Methyl-1-octene	8.3	脂肪族炭化水素
	32	18.563	227410	D-Limonene	7.8	テルペン・香料
	3	5.233	216578	Ethyl Acetate	7.4	
H-33	45	20.510	1587774	Nonanal	16.0	脂肪族アルデヒド
	40	18.643	1554014	D-Limonene	15.6	テルペン・香料
	16	9.393	1031711	<b>Toluene</b>	10.4	指針値化合物
	1	4.567	1020241	Acetic acid	10.3	
	3	5.207	1010710	Ethyl Acetate	10.2	
	64	34.710	842023	<b>2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutylal</b>	8.5	指針値策定候補化合物
	49	22.163	767840	Camphor	7.7	テルペン・香料
¥	6.527	480218	1-Methoxy-2-propanol	4.8	グリコールエーテル類	
H-34	3	5.220	772107	Ethyl Acetate	10.2	
	11	9.407	727122	<b>Toluene</b>	9.6	指針値化合物
	29	17.683	439864	2,5,6-Trimethyloctane	5.8	脂肪族炭化水素
	2	4.833	373264	2-Butanone	4.9	
	38	27.097	336266	Tridecane	4.4	脂肪族炭化水素
	33	20.523	255233	Nonanal	3.4	脂肪族アルデヒド
	19	14.203	243939	Nonane	3.2	脂肪族炭化水素
H-35	4	5.180	3770550	Ethyl Acetate	47.8	
	19	9.380	2794399	2-Propenylidenecyclobutene	35.5	
	47	17.657	861121	2,4,6-Trimethyloctane	10.9	脂肪族炭化水素
	2	4.807	757103	2-Butanone	9.6	
	26	12.553	745812	<b>Ethylbenzene</b>	9.5	指針値化合物
	27	12.847	691708	1,3-Dimethylbenzene	8.8	
	45	17.230	490542	Mesitylene	6.2	
KA-31	6	27.003	220070	Tridecane	6.5	
I-31	91	22.830	11682304	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	128.8	環状シロキサソ
	120	28.910	4426604	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	48.8	
	60	18.683	4215665	D-Limonene	46.5	テルペン・香料
	115	28.083	3229605	<b>Dodecamethylcyclohexasiloxane</b>	35.6	環状シロキサソ
	110	26.870	2919543	p-Menth-8-en-1-ol acetate	32.2	テルペン・香料
	130	30.283	2788235	<u>Unidentified</u>	30.7	
	75	20.537	2417704	Nonanal	26.7	脂肪族アルデヒド
	1	4.580	1797629	Acetic acid	19.8	
	119	28.617	1727724	2-Methylundecanal	19.1	脂肪族アルデヒド
	113	27.883	1329587	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	14.7	

	3	5.193	1293800	Ethyl Acetate	14.3	
	15	10.593	1267931	Acetic acid, butyl ester	14.0	
	70	19.830	1238977	4-Ethyl-2,2,6,6-tetramethylheptane	13.7	脂肪族炭化水素
	164	39.763	1236085	Isopropyl myristate	13.6	
J-31	39	14.203	7247293	Nonane	86.6	脂肪族炭化水素
	78	17.670	5036115	Decane	60.2	脂肪族炭化水素
	90	18.657	4429403	D-Limonene	52.9	テルペン・香料
	130	22.817	2754249	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	32.9	環状シロキサン
	116	21.003	2432703	Undecane	29.1	脂肪族炭化水素
	72	17.257	1522379	Mesitylene	18.2	
	14	10.740	1473637	Octane	17.6	脂肪族炭化水素
	30	13.257	1453251	3-Methyloctane	17.4	脂肪族炭化水素
	51	15.457	1301701	2,6-Dimethyloctane	15.6	脂肪族炭化水素
	138	24.150	1218047	Dodecane	14.6	脂肪族炭化水素
	53	15.563	1185535	$\alpha$ -Pinene	14.2	テルペン・香料
	28	12.993	1127678	3,4-Dimethyloctane	13.5	脂肪族炭化水素
	27	12.860	1093142	1,3-Dimethylbenzene	13.1	脂肪族炭化水素
J-32	146	22.817	95340121	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	1110.6	環状シロキサン
	75	17.670	13908060	Decane	162.0	脂肪族炭化水素
	117	21.003	12591052	Undecane	146.7	脂肪族炭化水素
	85	18.657	10984098	D-Limonene	128.0	テルペン・香料
	171	24.150	10978273	Dodecane	127.9	脂肪族炭化水素
K-31	133	29.870	17044683	Tetradecane	170.2	脂肪族炭化水素
	71	18.657	16568624	D-Limonene	165.4	テルペン・香料
	101	22.817	12445863	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	124.3	環状シロキサン
	120	26.843	11062537	ortho tert-Butyl cyclohexyl acetate	110.4	
	103	23.137	9410087	1-Methyl-4-(1-methylethyl)-cyclohexanol	93.9	
	8	6.527	9036253	1-Methoxy-2-propanol	90.2	グリコールエーテル類
	62	17.443	7413703	Acetic acid hexyl ester	74.0	
	2	5.207	6151815	Ethyl Acetate	61.4	
	86	20.523	5626199	Nonanal	56.2	脂肪族アルデヒド
K-32	1	4.580	1353057	Acetic acid	13.8	
	3	5.193	800205	Ethyl Acetate	8.2	
	10	9.380	735924	<b>Toluene</b>	7.5	指針値化合物
	30	20.510	504007	Nonanal	5.2	脂肪族アルデヒド
	28	18.643	493110	D-Limonene	5.0	テルペン・香料
K-33	82	17.697	10574246	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	105.9	指針値化合物
	123	23.523	4801239	Naphthalene	48.1	
	49	14.203	3318055	Nonane	33.2	脂肪族炭化水素
	81	17.670	2534639	2,2-Dimethylbutane	25.4	脂肪族炭化水素
	24	10.740	2198633	Octane	22.0	脂肪族炭化水素
	17	9.367	1707849	<b>Toluene</b>	17.1	指針値化合物
	90	18.657	1514124	D-Limonene	15.2	テルペン・香料
	39	12.860	1376266	<b>p-Xylene</b>	13.8	指針値化合物
	108	20.523	1297368	Nonanal	13.0	脂肪族アルデヒド
	110	21.003	1279559	Undecane	12.8	脂肪族炭化水素
	12	7.607	1212194	3-Methylhexane	12.1	脂肪族炭化水素
L-31	59	17.723	18526475	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	235.1	指針値化合物
	58	17.697	5726031	2,5-Dimethylheptane	72.7	脂肪族炭化水素
	126	24.177	4419103	Dodecane	56.1	脂肪族炭化水素
	92	21.030	3572427	Undecane	45.3	脂肪族炭化水素
	28	14.230	2758250	Nonane	35.0	脂肪族炭化水素
L-32	36	22.710	3500887	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	97.4	環状シロキサン
	1	4.660	2599670	Acetic acid	72.3	
	5	6.567	1670497	1-Methoxy-2-propanol	46.5	グリコールエーテル類

	30	18.590	1232452	D-Limonene	34.3	テルペン・香料
L-33	40	22.710	17532453	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	914.1	環状シロキサン
L-34	41	17.697	68674189	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	798.5	指針値化合物
	27	15.563	35101673	$\alpha$ -Pinene	408.1	テルペン・香料
L-35	45	23.123	1376978	Menthol	17.4	テルペン・香料
	34	18.643	1206370	D-Limonene	15.2	テルペン・香料
	54	27.083	1165713	Tridecane	14.7	脂肪族炭化水素
	48	23.750	876921	Decanal	11.1	脂肪族アルデヒド
	37	20.510	781531	Nonanal	9.9	脂肪族アルデヒド
	55	28.257	664331	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	8.4	脂肪族炭化水素
	12	9.367	658012	<b>Toluene</b>	8.3	指針値化合物
	44	22.803	445646	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	5.6	環状シロキサン
M-31	3	5.273	13447246	Ethyl Acetate	168.3	
	45	15.590	8903199	$\alpha$ -Pinene	111.4	テルペン・香料
	69	18.683	7329125	D-Limonene	91.7	テルペン・香料
	19	10.047	6101213	Hexanal	76.3	脂肪族アルデヒド
	67	18.150	5821676	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadi	72.8	
	1	4.687	5582315	Acetic acid	69.8	
	111	25.537	4057749	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	50.8	環状シロキサン
	96	22.830	3365372	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	42.1	環状シロキサン
	83	20.537	3198616	Nonanal	40.0	脂肪族アルデヒド
M-32	54	17.750	161741985	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	2088.0	指針値策定候補化合物
	96	23.163	31231083	Menthol	403.2	テルペン・香料
M-34	1	4.633	768002	Acetic acid	22.3	
	33	22.723	590103	<b>Ddecamethylcyclopentasiloxane</b>	17.2	環状シロキサン
	2	5.260	506688	Ethyl Acetate	14.7	
	28	20.457	481471	Nonanal	14.0	脂肪族アルデヒド
	25	18.070	396250	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	11.5	指針値策定候補化合物
	7	9.407	357761	<b>Toluene</b>	10.4	指針値化合物
M-35	18	15.483	15142035	$\alpha$ -Pinene	674.8	テルペン・香料
	29	18.030	3767276	3-Carene	167.9	テルペン・香料
NA-31	41	17.683	1444449	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	42.0	指針値化合物
	40	17.643	1265578	2,5,6-Trimethyloctane	36.8	脂肪族炭化水素
	3	5.273	1081672	Ethyl Acetate	31.4	
	57	24.083	860568	Dodecane	25.0	脂肪族炭化水素
	59	27.030	833310	Dodecane	24.2	脂肪族炭化水素
	23	14.190	811445	Nonane	23.6	脂肪族炭化水素
	10	9.433	616203	<b>Toluene</b>	17.9	指針値化合物
NA-32	84	34.590	4649416	<b>2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutylra</b>	134.6	指針値策定候補化合物
	1	4.660	2828071	Acetic acid	81.9	
	2	5.260	1476932	Ethyl Acetate	42.7	
	17	10.567	1267749	Acetic acid, butyl ester	36.7	
	6	6.567	1042859	1-Methoxy-2-propanol	30.2	グリコールエーテル類
	16	10.020	909367	Hexanal	26.3	脂肪族アルデヒド
NA-33	1	4.660	13326552	Acetic acid	145.5	
	47	17.723	3990826	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	43.6	指針値化合物
	83	28.083	2663984	<b>Dodecamethylcyclohexasiloxane</b>	29.1	環状シロキサン
	59	20.550	2622942	Nonanal	28.6	脂肪族アルデヒド
	13	9.407	2088313	<b>Toluene</b>	22.8	指針値化合物
	8	7.633	1970816	3-Methylhexane	21.5	
	51	18.683	1873115	D-Limonene	20.4	テルペン・香料
NA-34	55	22.803	46161650	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	459.8	環状シロキサン
P-31	1	4.647	3693563	Acetic acid	477.0	
	4	6.540	2622709	1-Methoxy-2-propanol	338.7	グリコールエーテル類
	29	18.563	1032998	D-Limonene	133.4	テルペン・香料

P-32	74	22.817	85970722	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	773.1	環状シロキサン
Z-31	2	5.180	8479658	Ethyl Acetate	84.8	
	49	20.510	7769786	Nonanal	77.7	脂肪族アルデヒド
	1	4.580	3181233	Acetic acid	31.8	
	40	17.657	1415970	Decane	14.2	脂肪族炭化水素
Z-32	53	22.817	27005422	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	763.5	環状シロキサン
	42	18.657	9063929	D-Limonene	256.3	テルペン・香料
Q-31	74	29.910	9993665	Tetradecane	126.8	脂肪族炭化水素
	77	32.523	4052473	Pentadecane	51.4	脂肪族炭化水素
	53	20.550	3307599	Nonanal	42.0	脂肪族アルデヒド
	67	24.177	2430928	Dodecane	30.8	脂肪族炭化水素
	63	23.163	2331143	Menthol	29.6	テルペン・香料
	22	12.900	2314564	1,3-Dimethylbenzene	29.4	芳香族炭化水素
	1	4.660	2001646	Acetic acid	25.4	
Q-32	68	22.830	93874364	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	1108.8	環状シロキサン
Q-33	57	29.723	15924516	Tetradecane	689.3	脂肪族炭化水素
	27	17.617	8701574	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	376.6	指針値化合物
R-31	1	4.620	382183	Acetic acid	11.3	
	15	20.443	254249	Nonanal	7.5	脂肪族アルデヒド
	20	24.057	168498	2,5,9-Trimethyldecane	5.0	脂肪族炭化水素
	4	9.393	112006	<b>Toluene</b>	3.3	指針値化合物
	19	23.683	103326	Decanal	3.1	脂肪族アルデヒド
R-32	12	20.443	275260	Nonanal	9.3	脂肪族アルデヒド
	13	21.870	100813	Benzoic acid	3.4	
	5	15.430	97050	Benzaldehyde	3.3	
	14	22.723	84005	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	2.8	環状シロキサン
	10	18.070	80262	3-Ethyl-2,2-dimethylpentane	2.7	脂肪族炭化水素
R-34	60	22.817	32082950	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	316.6	環状シロキサン
	43	18.123	10219227	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	100.8	指針値策定候補化合物
	52	20.523	7765552	Nonanal	76.6	脂肪族アルデヒド
R-35	27	17.710	8449339	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	100.1	指針値化合物
	34	20.537	1801032	Nonanal	21.3	脂肪族アルデヒド
S-31	27	15.577	18029364	Myrtenal	192.8	テルペン・香料
	1	4.633	6183899	Acetic acid	66.1	
	42	18.137	4327134	3-Carene	46.3	テルペン・香料
T-31	60	22.843	14124206	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	158.4	環状シロキサン
	42	18.163	11185679	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	125.5	指針値策定候補化合物
	50	20.550	4241119	Nonanal	47.6	脂肪族アルデヒド
	1	4.633	4066085	Acetic acid	45.6	
T-32	71	22.817	20873268	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	197.1	環状シロキサン
	6	7.620	12153801	3-Methylhexane	114.8	
	59	20.510	5434642	Nonanal	51.3	脂肪族アルデヒド
T-33	45	18.670	5521428	D-Limonene	56.2	テルペン・香料
	1	4.607	3201888	Acetic acid	32.6	
	53	20.523	2933965	Nonanal	29.9	脂肪族アルデヒド
	60	22.817	2403952	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	24.5	環状シロキサン
	18	11.767	1830438	1,3-Butanediol	18.6	グリコール類
	79	29.883	1260433	Tetradecane	12.8	脂肪族炭化水素
	15	9.407	1114427	<b>Toluene</b>	11.3	指針値化合物
	43	18.137	1055315	<b>2-Ethyl-1-Hexanol</b>	10.7	指針値策定候補化合物
T-35	9	18.057	636947	<b>2-Ethyl-1-Hexanol</b>	53.0	指針値策定候補化合物
	12	22.710	427129	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	35.5	環状シロキサン
	11	20.430	340447	Nonanal	28.3	脂肪族アルデヒド
T-36	5	6.047	79021060	1,1,1-Trichloroethane	971.3	
T-37	4	5.207	8307184	Ethyl Acetate	99.9	

	18	9.407	5448341	<b>Toluene</b>	65.5	指針値化合物
	1	4.620	5178177	Acetic acid	62.3	
	52	22.817	3619843	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	43.5	環状シロキサン
	12	7.527	3524820	n-Propyl acetate	42.4	
	62	28.270	3344111	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	40.2	脂肪族炭化水素
T-38	73	19.990	12519282	Methyltris(trimethylsiloxy)silane	147.6	
	41	14.057	5421374	3-Methoxy-3-methylbutanol	63.9	
	82	22.817	4911696	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	57.9	環状シロキサン
	5	5.207	4268312	Ethyl Acetate	50.3	
	75	20.523	3954529	Nonanal	46.6	脂肪族アルデヒド
	22	10.593	3305049	Acetic acid butyl ester	39.0	
	1	4.607	3221792	Acetic acid	38.0	
	28	11.753	2733282	1,3-Butanediol	32.2	グリコール類
V-31	2	4.700	1753756	Cyclopentane	20.7	
	21	10.020	1723201	Hexanal	20.3	脂肪族アルデヒド
	19	18.137	3401174	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	44.3	指針値策定候補化合物
V-32	28	23.777	743747	Decanal	9.7	脂肪族アルデヒド
	47	22.817	14720336	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	74.0	環状シロキサン
	56	29.883	2527716	Tetradecane	12.7	脂肪族炭化水素
V-33	44	20.523	1978713	Nonanal	9.9	脂肪族アルデヒド
	71	22.830	47113021	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	569.6	環状シロキサン
	47	18.670	5186678	D-Limonene	62.7	テルペン・香料
V-34	40	17.683	4269162	2,5,9-Trimethyldecane	51.6	
	25	9.407	22906649	2-Propenylidenecyclobutene	275.5	
	70	17.390	14985337	Dipropylene glycol	180.2	
	75	18.083	7827579	2-(2-Hydroxypropoxy)-1-propanol	94.1	グリコールエーテル類
	74	17.977	7637743	2,2'-Oxybis(propan-1-ol)	91.9	
	44	12.873	6661990	1,3-Dimethylbenzene	80.1	芳香族炭化水素
	69	17.270	5303664	1,2,4-Trimethylbenzene	63.8	芳香族炭化水素
W-31	1	4.740	5117072	2-Methylpentane	61.5	脂肪族炭化水素
	72	17.683	3542994	2,2-Dimethyldecane	42.6	脂肪族炭化水素
	33	20.523	1493106	Nonanal	19.6	脂肪族アルデヒド
	8	9.380	910305	<b>Toluene</b>	12.0	指針値化合物
	1	5.167	844283	Ethyl Acetate	11.1	
	38	23.777	645725	Decanal	8.5	脂肪族アルデヒド
	9	10.007	611548	Hexanal	8.0	脂肪族アルデヒド
	36	22.817	339297	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	4.5	環状シロキサン
W-32	37	23.137	339100	p-Menthan-1-ol	4.5	テルペン・香料
	27	17.670	325403	2,5,6-Trimethyloctane	4.3	脂肪族炭化水素
	19	15.563	300416	$\alpha$ -Pinene	4.0	テルペン・香料
	47	22.817	12175469	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	156.2	環状シロキサン
	34	18.670	4041921	D-Limonene	51.9	テルペン・香料
W-33	35	22.697	3765952	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	214.8	環状シロキサン
	1	4.633	1913494	Acetic acid	109.1	
	27	17.590	1578650	2,2-Dimethyldecane	90.0	脂肪族炭化水素
	30	18.577	1322305	D-Limonene	75.4	テルペン・香料
W-34	43	18.643	15313858	D-Limonene	190.7	テルペン・香料
	23	14.030	3805366	3-Methoxy-3-methylbutanol	47.4	
	16	11.740	3730052	1,3-Butanediol	46.4	グリコール類

表2 40 µg/m<sup>3</sup>以上の濃度で検出されたVOCsの一覧

A-31	1	4.687	6105830	Acetic acid	168.2	
	55	17.617	1852464	2,5,9-Trimethyldecane	51.0	脂肪族炭化水素
	76	22.723	1702670	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	46.9	環状シロキサン
A-32	45	22.683	13372279	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	507.6	環状シロキサン
	1	4.647	3537051	Acetic acid	134.3	
	38	18.563	1081785	D-Limonene	41.1	テルペン
A-34	98	17.670	101644537	2,5,9-Trimethyldecane	1308.9	脂肪族炭化水素
	188	22.817	33290384	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	428.7	環状シロキサン
	156	21.003	19904589	Undecane	256.3	脂肪族炭化水素
	48	14.203	16802462	Nonane	216.4	脂肪族炭化水素
	91	17.257	15845924	1,2,4-Trimethylbenzene	204.1	芳香族炭化水素
	194	23.137	11120856	p-Menthan-1-ol	143.2	テルペン・香料
	112	18.510	10116839	2,3,6-Trimethyloctane	130.3	脂肪族炭化水素
	81	16.723	9566248	3-methylnonane	123.2	脂肪族炭化水素
	78	16.483	8007724	2-Methylnonane	103.1	脂肪族炭化水素
	114	18.657	7927915	D-Limonene	102.1	テルペン・香料
	121	18.937	7023323	2,2,4,4-Tetramethyloctane	90.4	脂肪族炭化水素
	61	15.457	6020876	3,6-Dimethyloctane	77.5	脂肪族炭化水素
	109	18.243	5868537	1-Ethyl-3-methylbenzene	75.6	芳香族炭化水素
	3	5.207	5389015	Ethyl Acetate	69.4	
	136	19.857	5339412	2-Methyldecane	68.8	脂肪族炭化水素
	97	17.510	5054315	<b>Octamethylcyclotetrasiloxane</b>	65.1	
	76	16.390	4616291	2,3,5-Trimethylheptane	59.4	脂肪族炭化水素
	82	16.737	4583675	1-Ethyl-2-methylbenzene	59.0	芳香族炭化水素
	140	20.083	4555913	3-Methyldecane	58.7	脂肪族炭化水素
	75	16.363	4192252	1,2,4-Trimethylbenzene	54.0	芳香族炭化水素
	71	16.097	4105530	1-Ethyl-3-methylbenzene	52.9	芳香族炭化水素
	1	4.620	3917770	Acetic acid	50.5	
	205	24.150	3742480	Dodecane	48.2	脂肪族炭化水素
133	19.643	3539839	2,5-Dimethylnonane	45.6	脂肪族炭化水素	
73	16.190	3486834	1-Methyl-2-propyldodecane	44.9	脂肪族炭化水素	
135	19.750	3476617	1-Methyl-2-propylbenzene	44.8	芳香族炭化水素	
37	12.873	3431991	1,3-Dimethylbenzene	44.2	芳香族炭化水素	
A-35	72	17.337	20509478	1-(2-Methoxypropoxy)-2-propanol	214.4	グリコールエーテル類
	67	16.977	8491761	1-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-2-propanol	88.8	グリコールエーテル類
	66	16.870	7728989	1-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-2-propanol	80.8	グリコールエーテル類
	82	18.630	5275012	D-Limonene	55.1	テルペン・香料
	26	10.713	5204068	Octane	54.4	脂肪族炭化水素
SA-32	59	22.830	3161340	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	42.9	環状シロキサン
AO-31	35	16.483	4747193	2,2,6-Trimethyloctane	57.3	脂肪族炭化水素
	77	22.790	4449180	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	53.7	環状シロキサン
	92	28.243	3737053	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	45.1	脂肪族炭化水素
Y-31	51	22.830	6472846	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	83.9	環状シロキサン
Y-34						
B-31	1	4.713	11880644	Acetic acid	326.1	
	57	14.150	2874623	Nonane	78.9	脂肪族炭化水素
	96	18.577	2495651	D-Limonene	68.5	テルペン・香料
	93	18.043	1939107	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	53.2	指針値策定候補化合物
	90	17.603	1923968	Nonane	52.8	脂肪族炭化水素
	81	16.737	1579075	2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	43.3	グリコールエーテル類
	24	9.993	1532622	Hexanal	42.1	脂肪族アルデヒド
29	10.713	1469297	Octane	40.3	脂肪族炭化水素	
B-33	23	14.150	866682	Nonane	66.0	脂肪族炭化水素
	37	17.603	857314	Decane	65.3	脂肪族炭化水素
	48	20.910	599791	Undecane	45.7	脂肪族炭化水素

B-34						
C-31	59	24.163	3640153	Dodecane	48.5	脂肪族炭化水素
	80	29.897	3190258	Tetradecane	42.5	脂肪族炭化水素
C-32	38	29.777	6102414	Tetradecane	333.5	脂肪族炭化水素
	1	4.687	3751920	Acetic acid	205.1	
	41	32.377	1926166	Pentadecane	105.3	脂肪族炭化水素
	19	15.537	1570480	$\alpha$ -Pinene	85.8	テルペン・香料
C-34	142	27.097	114337600	Tridecane	1149.8	脂肪族炭化水素
	170	29.870	59845548	Tetradecane	601.8	脂肪族炭化水素
	115	24.150	41793741	Dodecane	420.3	脂肪族炭化水素
	59	18.657	8827829	D-Limonene	88.8	テルペン・香料
	4	5.247	8308867	n-Hexane	83.6	脂肪族炭化水素
	34	15.563	4202114	$\alpha$ -Pinene	42.3	テルペン・香料
C-35	67	22.803	10174562	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	103.0	環状シロキサン
	47	17.697	4291539	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	43.5	指針値化合物
D-31	1	5.247	2405262	Ethyl Acetate	73.4	
	39	17.603	1782412	2,5,9-Trimethyldecane	54.4	脂肪族炭化水素
	19	14.150	1637799	Nonane	50.0	脂肪族炭化水素
D-32						
E-31	1	5.247	502216	Ethyl Acetate	48.1	
F-31	88	22.843	16205303	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	199.2	環状シロキサン
	100	25.550	8330362	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	102.4	環状シロキサン
	17	12.593	4796340	<b>Ethylbenzene</b>	59.0	指針値化合物
	54	17.723	4743384	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	58.3	指針値化合物
	56	18.163	4287482	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	52.7	指針値策定候補化合物
	18	12.887	3329541	1,3-Dimethylbenzene	40.9	芳香族炭化水素
	52	17.697	3280843	2,5-Dimethylheptane	40.3	脂肪族炭化水素
F-32	77	22.843	4698863	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	59.9	環状シロキサン
	111	34.750	3380543	<b>2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrat</b>	43.1	指針値策定候補化合物
F-33	40	22.737	14745461	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	414.3	環状シロキサン
	1	4.660	2554665	Acetic acid	71.8	
	31	17.657	1851788	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	52.0	指針値化合物
F-34	39	15.577	35614124	$\alpha$ -Pinene	356.8	テルペン・香料
	58	18.137	18537216	1,1-Dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)cycloprop	185.7	
	61	18.683	12070594	Phellandrene	120.9	テルペン・香料
	121	24.150	10875183	Dodecane	108.9	脂肪族炭化水素
	161	27.110	9159755	Tridecane	91.8	脂肪族炭化水素
	1	4.647	9043249	Acetic acid	90.6	
	103	22.830	6565292	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	65.8	環状シロキサン
	16	10.033	5960699	Hexanal	59.7	脂肪族アルデヒド
	46	17.030	4056734	$\beta$ -Pinene	40.6	テルペン・香料
3	5.220	4037436	Ethyl Acetate	40.4		
G-31	69	22.843	10675217	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	133.3	
	27	15.590	5511164	$\alpha$ -Pinene	68.8	テルペン・香料
	78	27.123	4686800	Tridecane	58.5	脂肪族炭化水素
	85	29.897	4634482	Tetradecane	57.9	脂肪族炭化水素
	74	24.163	3513971	Dodecane	43.9	脂肪族炭化水素
G-33	15	15.510	2854782	$\alpha$ -Pinene	80.3	テルペン・香料
H-31	62	18.083	2848968	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	82.4	指針値策定候補化合物
	31	14.177	1613070	Nonane	46.7	脂肪族炭化水素
	60	17.630	1490170	Undecane	43.1	脂肪族炭化水素
H-32						
H-33						
H-35						
KA-31						
I-31	91	22.830	11682304	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	128.8	環状シロキサン

	120	28.910	4426604	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	48.8	
	60	18.683	4215665	D-Limonene	46.5	テルペン・香料
J-31	39	14.203	7247293	Nonane	86.6	脂肪族炭化水素
	78	17.670	5036115	Decane	60.2	脂肪族炭化水素
	90	18.657	4429403	D-Limonene	52.9	テルペン・香料
J-32	146	22.817	95340121	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	1110.6	環状シロキサン
	75	17.670	13908060	Decane	162.0	脂肪族炭化水素
	117	21.003	12591052	Undecane	146.7	脂肪族炭化水素
	85	18.657	10984098	D-Limonene	128.0	テルペン
	171	24.150	10978273	Dodecane	127.9	脂肪族炭化水素
	40	14.203	10410442	Nonane	121.3	脂肪族炭化水素
	203	27.097	6866176	Tridecane	80.0	脂肪族炭化水素
	1	4.607	5360341	Acetic acid	62.4	
	23	11.740	3670112	1,3-Butanediol	42.8	グリコール類
	70	17.257	3640302	1,2,4-Trimethylbenzene	42.4	芳香族炭化水素
K-31	133	29.870	17044683	Tetradecane	170.2	脂肪族炭化水素
	71	18.657	16568624	D-Limonene	165.4	テルペン・香料
	101	22.817	12445863	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	124.3	環状シロキサン
	120	26.843	11062537	ortho tert-Butyl cyclohexyl acetate	110.4	
	103	23.137	9410087	p-Mentan-1-ol	93.9	テルペン・香料
	8	6.527	9036253	1-Methoxy-2-propanol	90.2	グリコールエーテル類
	62	17.443	7413703	Acetic acid hexyl ester	74.0	
	2	5.207	6151815	Ethyl Acetate	61.4	
	86	20.523	5626199	Nonanal	56.2	脂肪族アルデヒド
	47	15.563	5105397	$\alpha$ -Pinene	51.0	テルペン・香料
	146	32.483	4564226	Pentadecane	45.6	脂肪族炭化水素
	106	23.563	4383573	Methyl Salicylate	43.8	
K-32						
K-33	82	17.697	10574246	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	105.9	指針値化合物
	123	23.523	4801239	Naphthalene	48.1	
L-31	59	17.723	18526475	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	235.1	指針値化合物
	58	17.697	5726031	2,5-Dimethylheptane	72.7	脂肪族炭化水素
	126	24.177	4419103	Dodecane	56.1	脂肪族炭化水素
	92	21.030	3572427	Undecane	45.3	脂肪族炭化水素
L-32	36	22.710	3500887	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	97.4	環状シロキサン
	1	4.660	2599670	Acetic acid	72.3	
	5	6.567	1670497	1-Methoxy-2-propanol	46.5	グリコールエーテル類
L-33	40	22.710	17532453	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	914.1	環状シロキサン
	17	14.003	3912590	3-Methoxy-3-methylbutanol	204.0	
	30	18.590	3858412	D-Limonene	201.2	テルペン・香料
	48	28.150	1078027	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	56.2	脂肪族炭化水素
	36	20.443	784712	Nonanal	40.9	脂肪族アルデヒド
	2	5.260	783030	Ethyl Acetate	40.8	
L-34	41	17.697	68674189	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	798.5	指針値化合物
	27	15.563	35101673	$\alpha$ -Pinene	408.1	テルペン・香料
	46	18.657	8400867	D-Limonene	97.7	テルペン・香料
L-35						
M-31	3	5.273	13447246	Ethyl Acetate	168.3	
	45	15.590	8903199	$\alpha$ -Pinene	111.4	テルペン・香料
	69	18.683	7329125	D-Limonene	91.7	テルペン・香料
	19	10.047	6101213	Hexanal	76.3	脂肪族アルデヒド
	67	18.150	5821676	1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)cycloprop	72.8	
	1	4.687	5582315	Acetic acid	69.8	
	111	25.537	4057749	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	50.8	環状シロキサン
	96	22.830	3365372	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	42.1	環状シロキサン
	83	20.537	3198616	Nonanal	40.0	脂肪族アルデヒド

M-32	54	17.750	161741985	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	2088.0	指針値策定候補化合物
	96	23.163	31231083	Menthol	403.2	テルペン・香料
	57	18.150	19905579	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	257.0	指針値昨対候補化合物
	59	18.683	16816826	D-Limonene	217.1	テルペン・香料
	73	20.590	10342611	Linalool	133.5	テルペン・香料
	92	22.830	8058696	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	104.0	環状シロキサン
	122	28.283	6825891	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	88.1	脂肪族炭化水素
	108	25.390	4558625	Linalyl acetate	58.8	テルペン・香料
	109	25.537	3991222	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	51.5	環状シロキサン
M-34						
M-35	18	15.483	15142035	$\alpha$ -Pinene	674.8	テルペン・香料
	29	18.030	3767276	3-Carene	167.9	テルペン・香料
	1	4.620	1265269	Acetic acid	56.4	
	60	32.643	1208473	$\alpha$ -Muurolene	53.9	テルペン・香料
	40	22.683	967279	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	43.1	環状シロキサン
	63	33.150	945663	$\delta$ -Cadinene	42.1	テルペン・香料
	62	33.110	898898	Calamenene	40.1	テルペン・香料
NA-31	41	17.683	1444449	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	42.0	指針値化合物
NA-32	84	34.590	4649416	<b>2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol diisobutyrat</b>	134.6	指針値策定候補化合物
	1	4.660	2828071	Acetic acid	81.9	
	2	5.260	1476932	Ethyl Acetate	42.7	
NA-33	1	4.660	13326552	Acetic acid	145.5	
	47	17.723	3990826	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	43.6	指針値化合物
NA-34	55	22.803	46161650	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	459.8	環状シロキサン
	1	4.607	8318895	Acetoin	82.9	
P-31	1	4.647	3693563	Acetic acid	178.3	
	4	6.540	2622709	1-Methoxy-2-propanol	126.6	グリコールエーテル類
	29	18.563	1032998	D-Limonene	49.9	テルペン・香料
	32	20.403	959299	Nonanal	46.3	脂肪族アルデヒド
	34	22.683	833631	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	40.2	環状シロキサン
P-32	74	22.817	85970722	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	773.1	環状シロキサン
Z-31	2	5.180	8479658	Ethyl Acetate	84.8	
	49	20.510	7769786	Nonanal	77.7	脂肪族アルデヒド
Z-32	53	22.817	27005422	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	763.5	環状シロキサン
	42	18.657	9063929	D-Limonene	256.3	テルペン・香料
Q-31	74	29.910	9993665	Tetradecane	126.8	脂肪族炭化水素
	77	32.523	4052473	Pentadecane	51.4	脂肪族炭化水素
	53	20.550	3307599	Nonanal	42.0	脂肪族アルデヒド
Q-32	68	22.830	93874364	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	1108.8	環状シロキサン
	34	15.590	16451236	$\alpha$ -Pinene	194.3	テルペン・香料
	1	4.647	7218706	Acetic acid	85.3	
	48	18.137	4565863	3-Carene	53.9	テルペン・香料
Q-33	57	29.723	15924516	Tetradecane	689.3	脂肪族炭化水素
	27	17.617	8701574	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	376.6	指針値化合物
	59	32.323	4803190	Pentadecane	207.9	脂肪族炭化水素
	34	19.043	2115597	2,7,10-Trimethyldodecane	91.6	脂肪族炭化水素
	39	19.697	1789424	4-Eethyl-2,2,6,6-tetramethylheptane	77.5	脂肪族炭化水素
	31	18.537	1663405	2,2-Dimethyldecane	72.0	脂肪族炭化水素
	40	19.883	1483731	4-Eethyl-2,2,6,6-tetramethylheptane	64.2	脂肪族炭化水素
R-31						
R-32						
R-34	60	22.817	32082950	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	316.6	環状シロキサン
	43	18.123	10219227	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	100.8	指針値策定候補化合物
	52	20.523	7765552	Nonanal	76.6	脂肪族アルデヒド
	17	11.767	6976783	1,3-Butanediol	68.8	グリコール類
R-35	27	17.710	8449339	<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	100.1	指針値化合物

S-31	27	15.577	18029364	$\alpha$ -Pinene	192.8	テルペン・香料
	1	4.633	6183899	Acetic acid	66.1	
	42	18.137	4327134	3-Carene	46.3	テルペン・香料
T-31	60	22.843	14124206	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	158.4	環状シロキサン
	42	18.163	11185679	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	125.5	指針値策定候補化合物
	50	20.550	4241119	Nonanal	47.6	脂肪族アルデヒド
	1	4.633	4066085	Acetic acid	45.6	
T-32	71	22.817	20873268	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	197.1	環状シロキサン
	6	7.620	12153801	3-Methylhexane	114.8	脂肪族炭化水素
	59	20.510	5434642	Nonanal	51.3	脂肪族アルデヒド
T-33	45	18.670	5521428	D-Limonene	56.2	テルペン・香料
T-35	9	18.057	636947	<b>2-Ethyl-1-Hexanol</b>	53.0	指針値策定候補化合物
T-36	5	6.047	79021060	1,1,1-Trichloroethane	971.3	
	69	22.790	12525325	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	154.0	環状シロキサン
	51	18.643	4524292	D-Limonene	55.6	テルペン・香料
	75	25.497	4073074	<b>Dodecamethylpentasiloxane</b>	50.1	環状シロキサン
	49	18.110	3467897	<b>2-Ethyl-1-Hexanol</b>	42.6	指針値策定候補化合物
T-37	4	5.207	8307184	Ethyl Acetate	99.9	
	18	9.407	5448341	<b>Toluene</b>	65.5	指針値化合物
	1	4.620	5178177	Acetic acid	62.3	
	52	22.817	3619843	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	43.5	環状シロキサン
	12	7.527	3524820	n-Propyl acetate	42.4	
	62	28.270	3344111	2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane	40.2	脂肪族炭化水素
T-38	73	19.990	12519282	Methyltris(trimethylsiloxy)silane	147.6	
	41	14.057	5421374	3-Methoxy-3-methylbutanol	63.9	
	82	22.817	4911696	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	57.9	環状シロキサン
	5	5.207	4268312	Ethyl Acetate	50.3	
	75	20.523	3954529	Nonanal	46.6	脂肪族アルデヒド
V-31	19	18.137	3401174	<b>2-Ethyl-1-hexanol</b>	44.3	指針値策定候補化合物
V-32	47	22.817	14720336	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	74.0	環状シロキサン
V-33	71	22.830	47113021	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	569.6	環状シロキサン
	47	18.670	5186678	D-Limonene	62.7	テルペン・香料
	40	17.683	4269162	2,5,9-Trimethyldecane	51.6	脂肪族炭化水素
	34	16.737	4171024	3-methylnonane	50.4	脂肪族炭化水素
	31	16.497	4139760	2-Methylnonane	50.0	脂肪族炭化水素
V-34	25	9.407	22906649	2-Propenyldienecyclobutene	275.5	
	70	17.390	14985337	Dipropylene glycol	180.2	
	75	18.083	7827579	2-(2-Hydroxypropoxy)-1-propanol	94.1	グリコールエーテル類
	74	17.977	7637743	2,2'-Oxybis(propan-1-ol)	91.9	
	44	12.873	6661990	1,3-Dimethylbenzene	80.1	芳香族炭化水素
	69	17.270	5303664	1,2,4-Trimethylbenzene	63.8	芳香族炭化水素
	1	4.740	5117072	2-Methylpentane	61.5	脂肪族炭化水素
	72	17.683	3542994	2,2-Dimethyldecane	42.6	脂肪族炭化水素
	12	7.007	3528494	3-methylhexane	42.4	脂肪族炭化水素
W-31						
W-32	47	22.817	12175469	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	156.2	環状シロキサン
	34	18.670	4041921	D-Limonene	51.9	テルペン・香料
W-33	35	22.697	3765952	<b>Decamethylcyclopentasiloxane</b>	214.8	環状シロキサン
	1	4.633	1913494	Acetic acid	109.1	
	27	17.590	1578650	2,2-Dimethyldecane	90.0	脂肪族炭化水素
	30	18.577	1322305	D-Limonene	75.4	テルペン・香料
	12	11.700	862402	1,3-Butanediol	49.2	グリコール類
W-34	43	18.643	15313858	D-Limonene	190.7	テルペン・香料
	23	14.030	3805366	3-Methoxy-3-methylbutanol	47.4	
	16	11.740	3730052	1,3-Butanediol	46.4	グリコール類

令和4年度 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）  
分担研究報告書

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

室内空気中揮発性有機化合物（VOC）・準揮発性有機化合物（SVOC）の  
標準試験法の評価

研究分担者 田原 麻衣子（国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官）

**研究要旨**

現在、「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」が示す室内空気中化学物質の採取方法と測定方法は2001年に通知された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じたリバイスが必要である。このことから、今年度は室内濃度指針値策定物質であるフタル酸エステル類の標準試験法における3つの項目について検討した。①これまでに標準試験法を確立した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法について、厚生労働省が示している「室内空気中化学物質の測定マニュアル（暫定案）」の改訂文案を作成した。②固相吸着-溶媒抽出法において、VOC用カーボン系捕集管の適用性を検討し、2 L/minで24時間捕集、二硫化炭素2 mLで抽出する方法によりフタル酸エステル類測定にも適用できることを明らかにした。③分析機関の機器の状況に応じて分析方法の選択肢が増やせるよう、室内空気中フタル酸エステル類を測定するための標準試験法として、液体クロマトグラフィー/エレクトロスプレーイオン化質量分析法を用いた分析法を構築した。

研究協力者

千葉 真弘

北海道立衛生研究所 生活科学部生活衛生グループ主査

大泉 詩織

北海道立衛生研究所 生活科学部生活衛生グループ研究職員

大貫 文

東京都健康安全研究センター薬事環境科学部主任研究員

角田 徳子

東京都健康安全研究センター薬事環境科学部主任

田中 礼子

横浜市衛生研究所 理化学検査研究課医務職員

村木 沙織

横浜市衛生研究所 理化学検査研究課技術職員

西 以和貴

神奈川県衛生研究所 理化学部主任研究員

吉富 太一

神奈川県衛生研究所 理化学部主任研究員

大嶋 直浩

国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部研究員

**A. 研究目的**

現在、「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会（以下、シックハウス検討会）」が示す室内空気中化学物質の採取方法と測定方法は、2001年に通知（医薬発第828号 平成13年7月25日付 厚生労働省医薬局長通知）された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じた測定方法のリ

バイスが必要である。このような背景から、本分担研究では、実務を担当されている地方衛生研究所の先生方とともに室内濃度指針値の策定物質および候補物質における標準試験法のリバイス箇所を討議し、その改良方法を確立すること、それら確立した試験法は測定マニュアルに反映していくことを目的としている。

今年度は、準揮発性有機化合物 (SVOC) であるフタル酸エステル類において、①これまでに確立した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法 (TD-GC/MS) について、シックハウス検討会が示している「室内空气中化学物質の測定マニュアル (以下、測定マニュアル)」の改訂文案の作成、②固相吸着-溶媒抽出法 (SE-GC/MS) におけるカーボン系捕集管の適用の検討、③新規測定方法として、液体クロマトグラフィー/質量分析法 (LC/MS) を用いた分析法の構築、の3項目について検討したので報告する。

### ① フタル酸エステル類のTD-GC/MSの測定マニュアルの改訂

現行の測定マニュアルは、2001年に作成されたものであり、フタル酸ジ-*n*-ブチル (DnBP) の測定方法については「暫定案」のままである<sup>2)</sup>。また、その後策定されたフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) の測定はシックハウス検討会の中間報告書を引用した各通知による追補での提示となっている<sup>3,4)</sup>。このような背景から、2020年に妥当性評価がされたフタル酸エステル類のTD-GC/MSの測定マニュアル文案を作成した。添付1に示す。

作成した文案は、シックハウス検討会における配布資料<sup>3,5)</sup>や局長通知<sup>4,6)</sup>等に点在している測定方法を統合しただけでなく、2020年に分析方法を確立する際に得られた知見を盛り込んで改訂したため、暫定案であったフタル酸エステル類の測定方法を標準試験法として測定マニュアルに掲載することができる。

また、本マニュアルは分担研究者の香川 (田中) 聡子先生を中心に、日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2024における国内規格化に向けて準備が進められた。詳細は本研究班香川 (田中) 聡子先生の分担研究報告書「室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化」の項を参照いただきたい。

### ② フタル酸エステル類のSE-GC/MS におけるカーボン系捕集管の適用の検討

フタル酸エステル類のSE-GC/MSにおける標準試験法に提案されている捕集剤については、カーボン系吸着剤、オクタデシルシリル化シリカゲル (ODS) またはスチレンジビニルベンゼン共重合体 (SDB) を用いるとされている<sup>1,7,8)</sup>。一方で、近年はODSやSDBの捕集剤が主流であり、カーボン系吸着剤については、使用事例が少ない。カーボン系吸着剤を用いた捕集管について、フタル酸エステル類専用の製品が少ないことが要因の一つと考えられるが、揮発性有機化合物 (VOC) を測定対象とした有機ガス用の製品は市販されており、これらで代替できるのではないかと推察された。そこで、本報告では、VOC測定用として市販されているカーボン系捕集管を用い、フタル酸エステル類の測定に適用できるかについて検討した。

## B. 研究方法

### B.1 測定対象物質

室内濃度指針値<sup>9)</sup>が設定されているDnBPおよびDEHPに、フタル酸ジエチル (DEP)、フタル酸ジ-*n*-プロピル (DnPrP)、フタル酸ジイソブチル (DiBP)、フタル酸ジペンチル (DPP)、フタル酸ジ-*n*-ヘキシル (DnHP)、フタル酸ブチルベンジル (BBP) およびフタル酸ジシクロヘキシル (DCHP) を加えた9物質を測定対象とした。

## B.2 試薬

抽出溶媒は、富士フィルム和光純薬株式会社製の二硫化炭素（作業環境測定用）、ジクロロメタン、ヘキサン5000およびアセトン5000を用いた。標準物質は関東化学株式会社製のフタル酸エステル類9種混合標準液（環境分析用）を、内部標準物質は関東化学株式会社製フタル酸エステル類5種混合内部標準液（水質試験用）を用いた。また、通気の添加回収試験における内部標準物質は、一部にCDN Isotopes製のフルオランテン- $d_{10}$ を用いた。

## B.3 器具

カーボン系捕集剤は球状活性炭充填捕集管（柴田化学株式会社製（以下、捕集管 A）および株式会社ガステック製（以下、捕集管 B））を、並行測定用の捕集剤は、AERO カートリッジ SDB400HF（ジーエルサイエンス株式会社製、以下、SDB サンプラー）を用いた。捕集管 A および B は球状活性炭が二層に計 150 mg 充填されており、上流を石英ウール（捕集管 A）またはグラスウール（捕集管 B）、下流をウレタンで押さえてガラス管で封入した構造の製品である。

使用するガラス器具およびセプタムは、使用直前にアセトンで超音波洗浄、乾燥させたものを用いた。

## B.4 装置および分析条件

試料採取用ポンプはミニポンプ MP- $\Sigma$ シリーズおよび SP-32L（柴田科学株式会社製）、積算流量計は DC-2A（品川精機株式会社製）、ガスクロマトグラフ-質量分析計（GC-MS）は GC2030-QP2020NX（株式会社島津製作所製）を用いた。GC-MS の測定条件は以下の通りである。混合標準液のクロマトグラム ( $m/z$  149) を Fig. 1 に示す。

## GC-MS 条件

カラム：DB-5 (20 m $\times$ 0.18 mm、膜厚 0.40  $\mu$ m、アジレントテクノロジー製)

オープン温度：70 $^{\circ}$ C (1 min)–20 $^{\circ}$ C/min–300 $^{\circ}$ C (8 min)

注入口温度：250 $^{\circ}$ C

キャリアガス：窒素（圧力一定 8 psi）

注入量：1  $\mu$ L（スプリットレス）

イオン源温度：250 $^{\circ}$ C

インタフェース温度：280 $^{\circ}$ C

測定モード：選択イオン検出法 (Selected Ion Monitoring, SIM)

内部標準物質：DnBP- $d_4$  (DEHP 以外の定量に使用)、DEHP- $d_4$  (DEHP の定量に使用) および BBP- $d_4$  (nBBP の定量に使用)、フルオランテン- $d_{10}$

測定イオン (定量イオン、確認イオン)：DEP ( $m/z$  149, 177)、DnPrP (149, 191)、DiBP (149, 223)、DnBP (149, 223)、DPP (149, 237)、DnHP (149, 251)、BBP (149, 206)、DEHP (149, 167)、DCHP (149, 167)、DnBP- $d_4$  (153)、DEHP- $d_4$  (153)、DEP- $d_4$  (153)、BBP- $d_4$  (153)、フルオランテン- $d_{10}$  (212)

## B.5 無通気の添加回収試験における抽出溶媒の検討

捕集管 A および B の抽出溶媒として、二硫化炭素、ジクロロメタン、アセトンおよびヘキサンについて検討した。すなわち、捕集管内の球状活性炭に標準物質をそれぞれ 300 ~ 400 ng 添加した後、活性炭と上層の石英ウールまたはグラスウールを合わせて遠沈管に移した。これに各溶媒を 2 mL 加え、超音波で 10 分抽出し、室温で約 2 時間放置した。遠心分離後の上清をバイアルに移した後、内部標準物質を添加し、1 回試行について GC-MS で分析した。

さらに、二硫化炭素およびジクロロメタンについては、内部標準物質を添加するタイミ

ングを変え、遠心分離後の上清をバイアルに移した後に添加する方法と、溶媒抽出前の吸着剤に添加する方法での添加回収率を3回試行で比較した。回収率の許容範囲は大気測定調査報告書を参考に70~120%とした<sup>10)</sup>。

## B.6 通気の添加回収試験

捕集管 A に標準物質をそれぞれ 400 ng 添加し、2~3 L/min で 24 時間、室内空気を通気した。その後、活性炭および上層の石英ウールを合わせて遠沈管に移し、内部標準混合物質 (DnBP-*d*<sub>4</sub>、DEHP-*d*<sub>4</sub>、DEP-*d*<sub>4</sub> および BBP-*d*<sub>4</sub>) を添加した。二硫化炭素を 2 mL 加え、超音波で 10 分間抽出後、室温で約 2 時間放置し、遠心分離後の上清を GC-MS で分析した。これを 3 回試行した。

また、通気した空気から検出された DEP、DnBP および DEHP については、空气中濃度が回収率に正誤差を与えるため、標準物質の代わりに重水素化フタル酸エステル類 (内部標準混合溶液) を添加した。通気後の捕集管については、活性炭および上層の石英ウールを合わせて遠沈管に移し、二硫化炭素を 2 mL 加え、超音波で 10 分間抽出後、室温で約 2 時間放置した。遠心分離後の上清をバイアルに移し、内部標準物質としてフルオランテン-*d*<sub>10</sub> を添加した後、GC-MS で分析した。これを 3 回試行した。

## B.7 並行測定

捕集管 A は 2 L/min で、SDB サンプラーは 3 L/min で対象空気を 24 時間捕集した後、各捕集剤を遠沈管に移し、内部標準物質を添加した。捕集管 A は二硫化炭素 2 mL、SDB サンプラーはアセトン 5 mL で超音波抽出後、室温で約 2 時間放置し、遠心分離後の上清を GC-MS で分析した。算出した定量値については、各測定回における全ての定量値の平均値を 100% として各捕集剤での濃度割合を算出し、測定マニュアルにおける 2 重測定試験の定量

値の扱いを参考に、100±15% (85~115%) の範囲内を良好と評価した<sup>1)</sup>。

## B.8 石英ウールへの吸着

捕集管 A は充填された球状活性炭を石英ウールで押さえる構造のため、空气中フタル酸エステル類を捕集した際には、上流に位置する石英ウールにフタル酸エステル類が吸着する可能性が考えられる。そこで、捕集管 A を使い、2 L/min で対象空気を 24 時間捕集した後、活性炭と石英ウールを別の遠沈管に移して抽出し、それぞれの濃度を算出した。これを 2 回試行した。

## C. 研究結果および考察

### C.1 4種溶媒の添加回収試験結果

VOC 測定用として市販されているカーボン系捕集管を用い、フタル酸エステル類の測定への適用を検討した。VOC 測定用のカーボン系捕集剤については、ヤシガラ活性炭が充填された製品も市販されているが、二硫化炭素およびジクロロメタンによるフタル酸エステル類の回収率が低いことが報告されているため検討対象から除外した<sup>11)</sup>。また、抽出溶媒については、二硫化炭素、ジクロロメタン、アセトンおよびヘキサンの 4 種について検討した。トルエンによる回収率が良好であることが報告されているが<sup>11)</sup>、実験室内への汚染や毒性を考慮し、今回は検討対象から除外した。

4 種の溶媒による添加回収率を Table 1 に示す。二硫化炭素およびジクロロメタンの回収率はそれぞれ 79~140% および 51~140% と、アセトンの 0.61~49% やヘキサンの 0.40~7.9% と比較すると概ね良好であり、捕集管 A および B の差は見られなかった。

そこで、捕集管 A を使い、二硫化炭素およびジクロロメタンについて、内部標準物質の添加のタイミングを変えて添加回収試験を実施した。遠心分離後の上清をバイアルに移

した後に添加する方法を「バイアル」、溶媒抽出前の吸着剤に添加する方法を「抽出前」とした。その結果、二硫化炭素については内部標準物質の添加のタイミングに関わらず回収率は77～120%であり、概ね許容範囲内であった (Table 2)。ジクロロメタンについては、BBPの回収率が43～49%と低かったが、抽出前に内部標準物質を添加し、BBP-*d*<sub>4</sub>に対する面積比を算出することで110%に改善した。また、変動係数についてはいずれも0.56～18%と20%未満であり、特に抽出前に内部標準物質を添加し、二硫化炭素で抽出する方法でのばらつきが0.77～10%と小さかった。(Table 2)

したがって、以降の実験については、抽出溶媒を二硫化炭素とし、内部標準物質は抽出前の活性炭に添加する方法を用いることとした。

## C.2 通気時の添加回収試験結果

室内空気を通気した時の添加回収試験結果をTable 3に示す。室内の平均温度は約25℃、相対湿度は約48%であった。3 L/minで通気した結果、BBP、DCHPおよびDEHP-*d*<sub>4</sub>の回収率がそれぞれ60%、61%、60%といずれも約60%と低かった。2 L/minで通気した結果では、BBPの回収率が55%と低かったが、BBP-*d*<sub>4</sub>に対する面積比を用いることで76%に改善した。これにより2 L/minでの回収率はいずれも70～110%と許容範囲内になり、変動係数も2.3～11%の20%未満と良好であった。各物質の重水素化体はフタル酸エステル類と同様の挙動を示すと想定し、DEP、DnBPおよびDEHPを含むフタル酸エステル類9種については、2 L/minで24時間採取する方法を適用できると判断した。

例えばSDBサンプラーは3 L/minで捕集し5 mLの溶媒で抽出するが、今回検討した方法では2 L/minで捕集し2 mLで抽出する。この場合、検出感度については抽出溶液中の濃度

が約1.6倍高くなるため、本法では検出感度の向上も期待される。

## C.3 並行測定結果

捕集管Aと汎用されているSDBサンプラーとの並行測定を3回実施した結果をTable 4に示す。各測定回における室内の平均温度は約23～25℃、相対湿度は約41～45%であった。室内空気からはDEP、DnBPおよびDEHPが検出された。1回目については、捕集管Aでの定量値(濃度割合)は113～184 ng/m<sup>3</sup>(73～90%)とSDBサンプラーの139～224 ng/m<sup>3</sup>(100～110%)と比較してやや低めであったが、他の測定回については、2種の捕集剤による濃度割合はすべて90～110%と100±15%(85～115%)の範囲内となった。

## C.4 石英ウールへの吸着

活性炭上流に位置する石英ウールへの吸着を確認するため、活性炭および石英ウールからそれぞれフタル酸エステル類を抽出し、空气中濃度を算出した (Fig. 2)。石英ウールから検出されたのはDnBPおよびDEHPで、特にDEHPの吸着割合が高かった。

石英ウールなどの充填量が多くなると、さらに吸着割合が高くなることもあるため (data not shown)、抽出時には活性炭だけでなく石英ウールも抽出する必要があることが明らかとなった。

## D. ②のまとめ

フタル酸エステル類のSE-GC/MSに用いる捕集剤については、ODSやSDBが主流でありカーボン系吸着剤の使用事例は少ないが、VOC測定用として市販されているカーボン系捕集管を代替できると考えられた。そこで、VOC測定用のカーボン充填捕集管を用い、フタル酸エステル類の添加回収試験を実施した結果、2 L/minで24時間捕集し、二硫化炭素2 mLで抽出する方法が適用でき

ることが明らかとなった。この方法を用いたSDB サンプラーとの並行測定を実施したところ、2法による結果は概ね一致し、VOC用捕集管でもフタル酸エステル類測定が可能であることが分かった。

VOC用捕集管をフタル酸エステル類測定に使用する注意すべき点は、フタル酸エステル類測定用ではないことや抽出方法が考えられる。VOCを測定対象とする捕集管では捕集管由来のフタル酸エステル類量が把握されていない可能性が考えられる。今回用いた捕集管のブランク値については、測定に影響を与えるレベルではなかったが、捕集管によってはフタル酸エステル類濃度が高いことやばらつきが大きいことも考えられ、測定前には適用可能か確認する必要がある。また、フタル酸エステル類が石英ウールに吸着することが確認されたが、捕集管の取扱説明書には石英ウールの抽出について記載されていないため、注意が必要である。一方、利点としては、検出感度の向上やホルダーなどの機材を必要としない点が考えられる。SDBサンプラーやODSなどのフィルターを用いる場合、それらを固定するための専用ホルダーが必要となるが、VOC用捕集管は、両端のガラスをカットした後、そのままポンプに繋いで吸引することができる。これらのことから、カーボン系捕集管はフタル酸エステル類の捕集に有用である。

### ③ フタル酸エステル類のLC/MSを用いた分析法の構築

室内空气中フタル酸エステル類を測定するための標準試験法として、ガスクロマトグラフィー/質量分析法 (GC/MS) を用いた2法が示されている。GC/MSを用いた測定の標準キャリアガスにはヘリウムが汎用されているが、昨今の世界的なヘリウムガス供給不足により、ヘリウムガスを使用しない代替試験法の開発が求められている。このような背景か

ら、分析機関の状況に応じて分析方法の選択肢が増やせるよう、本研究では、フタル酸エステル類のLC/MSによる分析方法を確立することを目的とし、分離、検量線の妥当性、検出下限値および定量下限値等の定量性等について検討した。

## B. 研究方法

### B.1 測定対象物質

②の実験と同様、室内濃度指針値が設定されているDnBPおよびDEHPに、DEP、DnPrP、DiBP、BBP、DPP、DCHPおよびDnHPを加えた9物質とした。

### B.2 試薬および試料

フタル酸エステル類は、関東化学株式会社製の9種混合標準液(環境分析用、各100 mg/L アセトン溶液)、DnBP および DEHP 標準品(環境分析用)並びに東京化成工業株式会社製のDEP、BBP および DnHP を用いた。内部標準物質は、関東化学株式会社製の5種混合内部標準液(水質試験用、DnBP-*d*<sub>4</sub>、DEHP-*d*<sub>4</sub>、DEP-*d*<sub>4</sub>、BBP-*d*<sub>4</sub> およびアジピン酸ジ-2-エチルヘキシル-*d*<sub>8</sub>各100 mg/L ヘキサン溶液) および富士フィルム和光純薬株式会社製のDiBP-*d*<sub>4</sub> 標準品(環境分析用)を用いた。5種混合内部標準液1 mLにDiBP-*d*<sub>4</sub> 溶液(5,000 mg/L アセトン溶液) 20 μLを加えて混合内部標準液(各100 mg/L)とした。

メタノール(LC/MS用)は富士フィルム和光純薬株式会社製または関東化学株式会社製、アセトニトリル(LC/MS用)は富士フィルム和光純薬株式会社製またはHoneywell-Riedel-de Haen社製、アセトンは関東化学株式会社製(残留農薬・PCB測定用5,000倍濃縮検定品)、ギ酸アンモニウムは東京化成工業株式会社製を用いた。

### B.3 LC/MS 分析条件の検討

LC/MSはACQUITY UPLC H-Class / SQ

Detector（日本ウォーターズ株式会社製）を用いた。既報を参考に<sup>12,13</sup>、長さ50 mmまたは100 mmのACQUITY UPLC BEH C18カラム（内径：2.1 mm、粒子径：1.7 μm）を用い、メタノールまたはアセトニトリルおよび10 mMギ酸アンモニウム溶液の移動相により、エレクトロスプレーイオン化（electrospray ionization, ESI）を用いて条件を検討した。

#### B.4 検量線

検量線溶液は9種混合標準液および混合内部標準液から、各測定対象物質濃度が0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2、5 μg/mL、各内部標準物質濃度が0.2 μg/mLとなるよう、アセトニトリルで調製し、検量線の濃度範囲および補正に用いる内部標準物質を検討した。絶対検量線および内部標準物質との強度比で補正した検量線（内部標準検量線）を作成し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン<sup>14</sup>に従ってキャリーオーバー並びに検量線の真度および精度を確認して、検量線の評価を行った。

#### B.5 検出下限値および定量下限値

ブランク試料および下限値付近（0.05 μg/mL）に調製した検量線溶液を5回測定し、検出下限値（Limit of Detection, LOD）は標準偏差の3倍、定量下限値（Limit of quantification, LOQ）は10倍として算出した<sup>15</sup>。各分析条件におけるLODは、ブランク試料または0.05 μg/mL溶液から得られた最大値とした。LOQは、ブランク試料または0.05 μg/mL溶液から得られた最大値もしくは検量線の下限值相当量（0.02 μg/mL）のいずれか大きい値とした。

### C. 研究結果および考察

#### C.1 分析条件の検討

##### C.1.1 分析条件1

##### （50 mmカラム、メタノール系移動相）

稲葉らは、ダストのフタル酸エステル類7種（DnBP、DiBP、BBP、DEHP、フタル酸ジ-*n*-オクチル（DnOP）、フタル酸ジイソノニル（DiNP）およびフタル酸ジイソデシル（DiDP））について、長さ50 mmのBEH C18カラムを用いたメタノール/10 mMギ酸アンモニウム溶液移動相によるLC/MS/MS分析を報告している<sup>12</sup>。この報告をもとに測定対象物質のLC/MSによる分析条件をTable 5およびTable 6のとおり設定し、9種混合標準液および各単物質標準液（各1 μg/mLアセトニトリル溶液）を測定して分離を確認した。また、測定対象物質のSIM条件をもとに重水素標識化合物（*d*<sub>4</sub>体）のSIM条件を設定し、混合内部標準液（各1 μg/mLアセトニトリル溶液）を測定して分離を確認した。その結果、9種混合標準液の*m/z* 149におけるクロマトグラムでは、5つのピークが分離し、4つのピークが分離しなかった（Fig. 3）。各単物質標準液（*m/z* 149）や、9種混合標準液（各物質のプロトン付加分子の*m/z*）のクロマトグラムとの比較から、重なった3つのピークはDiBP、BBPおよびDnBP（溶出順）であることが分かった。グラジエントの初期条件として設定したメタノール/10 mMギ酸アンモニウム溶液（60/40, v/v）でイソクラティック分析を行ってもBBPとDnBPは分離しなかった（Fig. 4）。メタノール比率を下げることで分離する可能性はあるが、分析時間が長くなることが想定されるため、LC条件は既報に従い、定量イオンの変更による分離を検討することとした。

DiBP、BBPおよびDnBPの分離は*m/z* 149ではなく、*m/z* 279を選択すると、*m/z* 279のクロマトグラムにBBPのピークは認めら

れず、DiBPとDnBPは分離度1.47で分離した (Fig. 5)<sup>15)</sup>。DnBPについては、BBPと分離する条件は $m/z$  279以外に確認できず、その安定同位体由来する $m/z$  280を定性イオンとした。このSIM条件において、混合内部標準液に各 $d_4$ 体由来とみられるピークは確認されなかった。よって、混合内部標準液をサンプルに加えても問題なく測定対象物質を分析できると考えられた。 $d_4$ 体のSIM条件については、9種混合標準液の $m/z$  181におけるクロマトグラムにDEPが同濃度のDEP- $d_4$ の5%程度の面積値で確認されたため、DEP- $d_4$ の定量イオンを $m/z$  227、定性イオンをフタル酸エステル類の $d_4$ 体に特徴的な $m/z$  153とした (Fig. 6)。BBP- $d_4$ は $m/z$  243に比べ $m/z$  317で感度良く分析することができたが、9種混合標準液 ( $m/z$  317) においてDiBPおよびDnBPが同濃度のBBP- $d_4$ の0.5%程度の面積値で確認された (Fig. 7)。DiBPおよびDnBPとBBP- $d_4$ は保持時間の差が小さいため、定量に影響を及ぼさないよう $m/z$  243を定量イオン、 $m/z$  317を定性イオンとした。

### C.1.2 分析条件2

#### (50 mmカラム、アセトニトリル系移動相)

佐藤らは、エアゾール式芳香剤・消臭剤に含まれるフタル酸エステル類7種(フタル酸ジメチル (DMP)、DEP、BBP、DiBP、DnBP、DEHPおよびDnOP) について、長さ100 mmのBEH C18カラムを用いたアセトニトリル/水移動相によるHPLC-UV分析を報告している<sup>12)</sup>。この報告を参考に、長さ50 mmのBEH C18カラムでのアセトニトリル/10 mMギ酸アンモニウム溶液移動相によるグラジエント条件を設定した (Table 5)。分析条件1のSIM条件で9種混合標準液を測定し、分離を確認した。その結果、9種混合標準液において、DiBP、BBPおよびDnBPは分析条件1と異なりBBP、DiBP、DnBPの順で溶出された (Fig. 8)。BBPとDnBPは分離度1.87 ( $m/z$  205) で分離

したが<sup>15)</sup>、新たにDiBPとDnBPのピークが重なった。既報と同じ粒子径のカラムを使用しているため、カラムの長さが短くなったことで十分な分離が得られなくなったと考えられた。よって、DiBPとDnBPの分離はLC条件を検討する必要があるが、カラムを変えずグラジエントを緩やかにすることで分離の改善を図ると、既報の分析時間以上になる可能性がある。よって、長さ100 mmカラムを用いた分析条件の検討を優先することとした。

### C.1.3 分析条件3

#### (100 mmカラム、アセトニトリル系移動相)

佐藤らの報告を参考に長さ 100 mm のBEH C18 カラムでのアセトニトリル/10 mM ギ酸アンモニウム溶液移動相によるグラジエント条件を設定し (Table 5)、分析条件1のSIM条件で9種混合標準液を測定した。その結果、9つのピークが分離した (Fig. 9)。BBP、DiBPおよびDnBPは順に分離度1.63、1.41 ( $m/z$  205) で分離したため (Fig. 10)<sup>15)</sup>、分析条件1で設定した $m/z$  280に代わり $m/z$  205をDnBPの定性イオンとした。分析条件1で保持時間が一致していたDPPとDCHPは分析条件3でピークトップが分離したため、モニターイオンの検討により完全に分離することが確認された (Fig. 11)。

$d_4$ 体の分析については、BBP- $d_4$ はDiBPおよびDnBPと分離し、 $m/z$  317においてDiBPおよびDnBPの干渉を考慮する必要がないため、 $m/z$  317を定量イオンとした (Fig. 10)。また、BBP、DiBPおよびDnBPと同様、各々の $d_4$ 体も分離したため、 $m/z$  209をDnBP- $d_4$ の定性イオンとした。その他の条件については、分析条件1と同じ条件とした。これらの検討により、9種のフタル酸エステル類および4種内部標準物質は良好に分離した。

以下の実験は、分析条件1と分析条件3の2つの条件を用いて比較した。

## C.2 検量線

### C.2.1 検量線の濃度範囲および補正に用いる内部標準物質の検討

5 µg/mL 溶液において、分析条件 1 では保持時間の長い DPP、DCHP、DnHP および DEHP で、分析条件 3 では保持時間の短い DEP および DnPrP で面積値の低下がみられた (Fig. 12)。測定対象物質の濃度が高くなったことで、イオン化の飽和が生じたと考えられた。よって、1 または 2 µg/mL を最高濃度として検量線を作成することとした。

0.02-2 µg/mL の検量線溶液において、各内部標準物質の面積値の変動幅は 0.02 µg/mL 溶液の 0.79~1.10 倍と概ね±0.2 の範囲内であった (Fig. 13)。検量線溶液の濃度が高くなるにつれ面積値が小さくなる内部標準物質もあり、室内空気を測定した際、マトリックスの影響により挙動に差がでる可能性があるため、各々の  $d_4$  体を内部標準物質として内部標準検量線を作成することとした。相当する  $d_4$  体のない測定対象物質については、DnPrP は DEP と、DPP、DCHP および DnHP は DEHP と保持時間が近く、また Fig. 12 より挙動も近いと考えられるため、DnPrP については DEP- $d_4$  を、DPP、DCHP および DnHP については DEHP- $d_4$  を内部標準物質とした。

この条件で直線回帰モデルを用い、濃度の逆数で重みづけを行って検量線を作成した。一例として、分析条件 1 および 3 の内部標準検量線 (検量点 : 0.02-1 µg/mL) を Fig. 14 および Fig. 15 に示した。

### C.2.2 検量線の評価

検量線の決定係数  $R^2$ 、真度および精度の範囲を Table 7 および Table 8 に示した。キャリアオーバーは全ての検量線において検量線の濃度範囲の下限値である 0.02 µg/mL を下回った。検量線 (検量点 : 0.02-1 µg/mL) については、全ての測定対象物質についてガ

イドラインの示す真度および精度の目標値 (それぞれ 80-120% および 20% 以下) に適合した。検量線 (検量点 : 0.02-2 µg/mL) については、分析条件 1 では DPP、DnHP および DEHP の絶対検量線並びに DnBP および DPP の内部標準検量線が、0.02 µg/mL の検量点で真度の目標値を満たさなかった。分析条件 3 では DnPrP の絶対検量線および内部標準検量線が 0.02 µg/mL の検量点で精度の目標値を満たさなかった。

分析条件 1 は分析条件 3 に比べ測定対象物質の面積値が物質により 1.5~3 倍大きかったことから (Fig. 16)、イオン化の飽和が生じやすいと考えられた。検量線は濃度の逆数で重みづけを行ったが、2 µg/mL 溶液での面積値の低下が 0.02 µg/mL の検量点の真度に影響を与え、目標値を満たさない測定対象物質が多くなったと考えられた。注入量を減らすことで検量線に改善がみられる可能性もある。しかし、詳細は C.4 で述べるが、今回使用した移動相からのフタル酸エステル類の混入が疑われることから、注入量を減らすことで相対的にコンタミネーションの影響が大きくなることが想定された。また、分析条件 3 において、0.02 µg/mL 溶液で DiBP および BBP の定性イオンのシグナル/ノイズ (S/N) 比が 3 を下回ったことから、注入量を減らすと定性イオンの感度が不足する可能性が考えられた。DiBP および BBP は、2 物質とも設定した定性イオンより  $m/z$  205 の方が感度良く分析することができるため、BBP、DiBP および DnBP が良好に分離する分析条件 3 においては、定性イオンを  $m/z$  205 に変更することで感度不足に対応することが可能であった (C.1.3 および Fig. 10)。しかし、この 3 物質は分析条件 1 でピークが重なるため、3 物質ともピークが得られる  $m/z$  205 へ変更することは難しい (C.1.1 および Fig. 5)。よって、分析条件 1 において注入量を変更することで検量線のダイナミックレ

レンジを広げることは難しいと考えられた。

### C.3 LODおよびLOQの比較

試験溶液5 mL、積算捕集量4,320 L (流量3 L/minで24時間) の条件での算出結果を Table 9に示した。この条件において、検量線の濃度範囲の下限値 (0.02  $\mu\text{g/mL}$ ) 相当量は0.023  $\mu\text{g/m}^3$ である。9種フタル酸エステル類の各条件における最大値を示すと、分析条件1においては、絶対検量線を用いた場合のLODは0.0047  $\mu\text{g/m}^3$ 、LOQは0.023  $\mu\text{g/m}^3$ 、内部標準検量線を用いた場合のLODは0.0077  $\mu\text{g/m}^3$ 、LOQは0.026  $\mu\text{g/m}^3$ であった。分析条件3においては、絶対検量線を用いた場合のLODは0.0076  $\mu\text{g/m}^3$ 、LOQは0.025  $\mu\text{g/m}^3$ 、内部標準検量線を用いた場合のLODは0.0050  $\mu\text{g/m}^3$ 、LOQは0.023  $\mu\text{g/m}^3$ であった。DnBPとDEHPの室内濃度指針値は、各々17  $\mu\text{g/m}^3$ 、100  $\mu\text{g/m}^3$ と設定されている。今回設定したサンプリング条件において、分析条件1および分析条件3はともに室内濃度指針値の1/100以下まで測定できると考えられた。

### C.4 コンタミネーション

#### C.4.1 スリット入り PTFE/シリコンセプタム付キャップからのコンタミネーション

アセトニトリルをサンプルとして測定したところ、DnBPが0.003  $\mu\text{g/mL}$ 程度検出された (Fig. 17)。セプタム付キャップをせずにアセトニトリルを測定したところ、DnBPは検出されなかったため、DnBPはセプタム付キャップから混入したと考えられた。また、わずかにずれた位置からスリットヘニードルが押し込まれたとみられるサンプルにおいて、DEPが0.03  $\mu\text{g/mL}$ 程度、DnBPが0.4  $\mu\text{g/mL}$ 程度とLOQ以上で検出された。今回設定した検量線の濃度範囲よりさらに低濃度のフタル酸エステル類を測定する場合には、キャップを変更する等の対応が必要

になると考えられた。

#### C.4.2 移動相からのコンタミネーション

分析条件1において、空バイアルから注入量を0  $\mu\text{L}$ に設定して測定したところ、DEHPおよびDEHPよりも保持時間の長いフタル酸エステル類と推定される化合物(化合物A)が  $m/z$  149 のクロマトグラムに検出された (Fig. 18)。メタノールを3 L単位で購入し、ねじ口瓶に移して使用した場合にはDEHPが0.1  $\mu\text{g/mL}$ 程度検出されたが、1L単位で購入し、直接使用した場合には0.02~0.03  $\mu\text{g/mL}$ 程度とLOQ以上であり、化合物Aについても面積値が減少した。分析条件3においても同様に、アセトニトリルをねじ口瓶に移した場合にはDEHPが0.1  $\mu\text{g/mL}$ 程度検出されたが、直接使用した場合には0.005  $\mu\text{g/mL}$ 程度とLOQ未満であった。

以上より、移動相の有機溶媒にDEHPおよび化合物Aの混入があったと考えられた。購入した有機溶媒を直接使用した場合にも、分析条件1と分析条件3で検出されたDEHP濃度に差があったことから、使用する有機溶媒の種類や規格、ロットによりブランク値が変わる可能性が考えられた。

### D. ③のまとめ

フタル酸エステル類において、LC/MS法を用いた分析方法を検討した結果、2つの分析条件で十分な分離が得られた。検量線は0.02-1  $\mu\text{g/mL}$ の濃度範囲で良好な妥当性が確認され、DnBPおよびDEHPについて、室内濃度指針値の1/100以下のLOQが確認された。これらの結果から、室内空气中フタル酸エステル類のLC/MSを用いた試験法について基礎的な分析条件を確立することができた。引き続き、本法が室内濃度指針値策定物質である殺虫剤3種に適用できるか検討し、SVOCの標準試験法に提案できるよう、進める。

## E. 結論

室内濃度指針値策定物質の標準試験法におけるサンプリング・分析機器等の技術進展に応じたリバイスとして、今年度は3つの項目について検討した。その結果、①これまでに標準試験法を確立した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法について、厚生労働省が示している「室内空气中化学物質の測定マニュアル（暫定案）」の改訂文案を作成した。②固相吸着-溶媒抽出法において、VOC用カーボン系捕集管の適用性を検討し、2 L/minで24時間捕集、二硫化炭素2 mLで抽出する方法によりフタル酸エステル類測定にも適用できることを明らかにした。③分析機関の機器の状況に応じて分析方法の選択肢が増やせるよう、室内空气中フタル酸エステル類を測定するための標準試験法として、液体クロマトグラフィー/エレクトロスプレーイオン化質量分析法を用いた分析法を構築した。引き続き、室内空气中化学物質の採取方法と測定方法の拡充に努める。

## F. 参考文献

- 1) 厚生労働省医薬局審査管理課 化学物質安全対策室: 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6回及び第7回のまとめ(2001年7月5日), 別添3 室内空气中化学物質の測定マニュアル  
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1c.html>, cited March 1st, 2023.
- 2) 厚生労働省医薬局審査管理課 化学物質安全対策室: 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6回及び第7回のまとめ(2001年7月5日), 別添3-4 フタル酸ジ-n-ブチルの測定方法(暫定案)  
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1c4.html>, cited March 1st, 2023.
- 3) 厚生労働省医薬局審査管理課 化学物質

安全対策室: 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6回及び第7回のまとめ(2001年7月5日),  
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1.html>, cited March 1st, 2023.

- 4) 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(2001年7月25日), 医薬発第828号厚生労働省医薬局長通知
- 5) 厚生省生活衛生局企画課 生活化学安全対策室: 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(2000年12月15日)  
[https://www.mhlw.go.jp/www1/houdou/1212/h1222-1\\_13.html](https://www.mhlw.go.jp/www1/houdou/1212/h1222-1_13.html), cited March 1st, 2023.
- 6) 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(2000年12月22日), 生衛発第1852号厚生省生活衛生局長通知
- 7) 厚生労働科学研究費補助金 化学物質リスク研究(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」研究代表者 酒井信夫, 平成30年度分担研究報告書, 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化(研究分担者 香川(田中)聡子)  
[https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/2018/183051/201825017A\\_upload/201825017A0007.pdf](https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/2018/183051/201825017A_upload/201825017A0007.pdf), cited March 1st, 2023.
- 8) Toshiko Tanaka-Kagawa, Ikue Saito, Aya Onuki, Maiko Tahara, Tsuyoshi Kawakami, Shinobu Sakai, Yoshiaki Ikarashi, Shiori Oizumi, Masahiro Chiba, Hitoshi Uemura, Nobuhiko Miura, Ikuo Kawamura, Nobumitsu Hanioka, Hideto Jinno: Method validation for the determination of phthalates in indoor air by GC-MS with

solid-phase adsorption/solvent extraction using octadecyl silica filter and styrene-divinylbenzene copolymer cartridges. BPB Reports, 2, 86-90 (2019).

9) 厚生労働省医薬・生活衛生局医薬品審査管理課 化学物質安全対策室：室内濃度指針値一覧。

<http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/situnai/hyou.html>, cited March 1st, 2023.

10) 環境省大臣官房環境保健部環境安全課：化学物質環境実態調査実施の手引き令和2年度版、令和3年3月。  
<https://www.env.go.jp/chemi/mat%20tebikir02.pdf>, cited March 1st, 2023.

11) 日野隆信, 中山和好: 活性炭充填捕集管-溶媒抽出法による室内空気中のフタル酸エステル類の分析. 千葉県衛生研究所研究報告, 25, 1-7 (2001).

12) 厚生労働省科学研究費補助金 健康安全・危機管理対策総合研究事業「半揮発性有機化合物をはじめとした種々の化学物質曝露によるシックハウス症候群への影響に関する検討」研究代表者 樺田尚樹, 平成28年度総括研究報告書(研究分担者 稲葉洋平)

13) 佐藤芳樹, 菅谷なえ子, 中川友夫, 森田昌敏: エアゾール式芳香剤・消臭剤に含まれるフタル酸エステル類の分析とその曝露評価. 薬学雑誌, 135(4), 631-642 (2015).

14) 厚生労働省健康局水道課: 水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン, 平成24年9月6日付健水発0906第1号別添(最終改正: 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課, 平成29年10月18日付薬生水発1018第1号)

[https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujuhou-10900000-Kenkoukyoku/0000181618\\_2.pdf](https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujuhou-10900000-Kenkoukyoku/0000181618_2.pdf), cited March 1st, 2023.

15) 第十八改正日本薬局方第一追補, 一般試験法 2.00 クロマトグラフィー総論

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

1) Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y: Survey of phthalates, glycols, and other volatile organic compounds in domestic hand-pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality. Journal of Environmental Chemistry, 32, 84-94, 2022.

### 2. 学会発表

1) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 酒井信夫: 室内空気中の揮発性有機化合物(VOCs)分析における除湿管の影響. 2022年度室内環境学会学術大会(2022.12)

2) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 室内空気におけるフェノール系内分泌かく乱物質の一斉分析法について. 日本薬学会第143年会(2023.3)

## H. 知的所有権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

Table 1 4種の溶媒による添加回収率の比較

	Recovery (%)							
	Carbon bisulfide		Dichloromethane		Acetone		Hexane	
	A	B	A	B	A	B	A	B
DEP	79	88	97	120	43	49	3.5	4.8
DnPrP	83	99	100	120	30	35	3.1	2.7
DIBP	85	100	110	120	27	34	7.9	6.8
DnBP	94	100	99	110	14	13	4.0	4.9
DPP	93	100	99	110	1.6	2.9	0.40	1.7
DnHP	100	120	82	87	1.7	1.1	1.6	2.0
BBP	82	110	51	56	0.61	2.6	2.3	2.5
DCHP	110	130	99	110	11	7.0	2.3	4.6
DEHP	140	140	98	140	2.2	1.1	3.1	6.9

Table 2 内部標準物質の添加タイミングによる添加回収率の比較

	Average addition recovery (% , n=3)				Variation coefficient (%)			
	Carbon bisulfide		Dichloromethane		Carbon bisulfide		Dichloromethane	
	pre-ext.	vial	pre-ext.	vial	pre-ext.	vial	pre-ext.	vial
DEP	87	89	100	99	4.5	10	0.80	9.1
DnPrP	88	92	100	100	2.7	10	0.56	10
DIBP	91	94	110	100	0.77	9.3	1.9	8.1
DnBP	95	98	99	96	3.4	6.1	1.6	10
DPP	99	100	90	93	2.7	11	4.0	11
DnHP	110	110	83	85	2.3	11	18	11
BBP	93	90	43	49	7.9	15	15	4.0
DCHP	120	120	100	100	4.1	14	16	11
DEHP	97	120	110	92	4.4	14	7.9	17
BBP/BBP- $d_4$	91	77	110	46	10	18	3.5	1.7

Table 3 通気の添加回収試験結果

	3 L/min×24 hr		2 L/min×24 hr	
	Average addition recovery (%)	Variation coefficient (%)	Average addition recovery (%)	Variation coefficient (%)
DEP- <i>d</i> <sub>4</sub>	90	5.9	100	4.6
DnPrP	94	5.7	92	2.3
DIBP	110	5.5	89	4.8
DBP- <i>d</i> <sub>4</sub>	98	7.8	110	2.8
DPP	78	15	79	7.2
DnHP	75	21	78	6.3
BBP	60	22	55	10
DCHP	61	28	70	7.4
DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub>	60	15	97	11
BBP/BBP- <i>d</i> <sub>4</sub>	78	19	76	6.0

Table 4 捕集管AおよびSDBサンプラーを用いた室内空気濃度の並行測定結果

		Concentration (ng/m <sup>3</sup> )			Ratio (%)			
		Tube A	SDB sampler	Average	Tube A	SDB sampler		
1st	DEP	113	139	150	134	84	100	110
	DnBP	184	205	224	204	90	100	110
	DEHP	137	215	215	189	73	110	110
2nd	DEP	80.2	86.1		83.1	96		100
	DnBP	134	159		147	91		110
	DEHP	197	212		205	96		100
3rd	DEP	79.3	73.5	93.3	82.0	97	90	110
	DnBP	110	105	127	114	97	92	110
	DEHP	108	100	111	106	100	94	100

Table 5 LC/MS分析条件

		Analytical condition 1	Analytical condition 2	Analytical condition 3		
LC conditions						
Column	ACQUITY UPLC BEH C18 (Waters)					
I.D.×Length, Particle Size	2.1 mm×50 mm, 1.7 μm			2.1 mm×100 mm, 1.7 μm		
Column oven	40°C					
Injection volume	2.5 μL					
Flow rate	0.35 mL/min		0.30 mL/min			
Analysis time	20.0 min		21.5 min	31.0 min		
Gradient condition	A: Methanol B: 10mM ammonium pseudoacid solution		A: Acetonitrile B: 10mM ammonium pseudoacid solution		A: Acetonitrile B: 10mM ammonium pseudoacid solution	
	Time (min)	A (%)	B (%)	Time (min)	A (%)	B (%)
	0.0	60	40	0.0	40	60
	0.5	60	40	9.0	95	5
	7.5	95	5	13.0	95	5
	11.5	95	5	15.0	40	60
	13.5	60	40			
MS conditions						
Ionization	ESI, positive					
Capillary voltage	2 kV					
Ion source temperature	150°C					
Desolvent temperature	400°C					
Cone gas flow rate	50 L/hr					
Desolvent gas flow rate	800 L/hr					

Table 6 測定対象物質および内部標準物質のMS条件

Abbr.	Retention time (min)			Quantitative ion ( <i>m/z</i> )	Cone Voltage (V)	Qualitative ion ( <i>m/z</i> )	Cone Voltage (V)
	Analytical condition	Analytical condition	Analytical condition				
	1	2	3				
Target compound							
DEP	0.9	2.2	4.0	223	14	177	28
DnPrP	2.1	3.9	7.0	251	12	191	27
BBP	3.9	5.4	9.7	313	20	239	26
DiBP	3.8	5.5	9.9	279	16	223	14
DnBP <sup>*1</sup>	4.0	5.6	10.1	279	16	205	26
DPP	5.5	7.1	13.0	307	18	219	28
DCHP	5.5	7.1	13.1	331	20	249	27
DnHP	6.7	8.4	15.6	335	20	233	28
DEHP	8.2	10.2	19.3	391	22	261	28
Internal standard							
DEP- <i>d</i> <sub>4</sub>	0.9	-	3.9	227	14	153	50
BBP- <i>d</i> <sub>4</sub> <sup>*2</sup>	3.9	-	9.7	317	20	243	26
DiBP- <i>d</i> <sub>4</sub>	3.7	-	9.9	283	16	227	14
DnBP- <i>d</i> <sub>4</sub> <sup>*3</sup>	3.9	-	10.0	283	16	209	26
DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub>	8.1	-	19.3	395	22	283	32

<sup>\*1</sup> : Analytical condition 1 and 2 were *m/z* 280 (cone voltage: 16 V) as the qualitative ion.

<sup>\*2</sup> : Analytical condition 1 was set as *m/z* 243 for quantitative ions and *m/z* 317 for qualitative ions.

<sup>\*3</sup> : Analytical condition 1 was *m/z* 284 (cone voltage: 16 V) as the qualitative ion.

Table 7 分析条件1における検量線の決定係数、真度および精度

	0.02-1 µg/mL			0.02-2 µg/mL		
	Coefficient of determination	Accuracy	Precision	Coefficient of determination	Accuracy	Precision
	R <sup>2</sup>	(%)	(RSD, %)	R <sup>2</sup>	(%)	(RSD, %)
Absolute calibration method						
DnBP	0.998	93-112	1.6- 3.3	0.999	92-114	0.5- 3.1
DEHP	0.999	94-104	0.8- 6.2	0.994	<u>77</u> -112	0.3- 7.4
DEP	0.999	94-106	0.4- 6.1	1.000	93-110	0.6- 8.2
DnPrP	1.000	96-103	0.5- 6.3	1.000	96-103	0.2- 8.0
DiBP	0.999	92-112	1.3- 4.4	0.999	91-114	0.5- 5.2
BBP	0.999	93-108	0.9- 6.1	1.000	94-106	0.2- 6.3
DPP	0.997	86-106	0.6- 6.5	0.991	<u>64</u> -115	0.2- 10
DCHP	1.000	99-103	1.1- 5.6	0.997	87-109	0.1- 6.0
DnHP	0.999	89-105	0.4- 7.4	0.995	<u>73</u> -111	0.5- 8.1
Internal standard method						
DnBP (DnBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.997	89-118	0.3- 3.5	0.997	86- <u>126</u>	0.4- 2.6
DEHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	97-103	0.6- 8.4	0.999	92-107	0.2- 8.9
DEP (DEP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	94-104	0.3- 6.9	1.000	94-105	0.1- 7.0
DnPrP (DEP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	1.000	97-102	0.4- 7.2	1.000	97-104	0.3- 7.4
DiBP (DiBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.998	91-112	0.8- 5.2	0.999	90-117	0.3- 5.2
BBP (BBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	95-102	0.5- 10	0.998	91-107	0.8- 16
DPP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	92-105	0.4- 9.3	0.996	<u>79</u> -111	0.1- 11
DCHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	95-105	0.2- 6.7	0.999	96-104	0.4- 6.2
DnHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	95-104	0.2- 9.9	0.999	88-107	0.8- 9.2

RSD: Relative standard deviation (%)

Undeline (   ): Nonconformance with guideline target

Table 8 分析条件3における検量線の決定係数、真度および精度

	0.02-1 µg/mL			0.02-2 µg/mL		
	Coefficient of determination	Accuracy	Precision	Coefficient of determination	Accuracy	Precision
	R <sup>2</sup>	(%)	(RSD, %)	R <sup>2</sup>	(%)	(RSD, %)
Absolute calibration method						
DnBP	0.998	91-111	0.3- 6.9	0.999	90-112	0.8- 9.4
DEHP	0.998	89-113	0.2- 8.4	0.999	88-115	0.2- 12
DEP	0.999	96-105	0.6- 8.7	0.999	87-107	0.3- 13
DnPrP	1.000	92-106	0.4- 15	0.999	82-108	2.2- <u>27</u>
DiBP	0.998	92-109	0.7- 9.8	0.998	91-112	1.3- 14
BBP	1.000	97-105	0.6- 10	1.000	94-105	2.0- 17
DPP	0.999	93-104	0.7- 9.4	1.000	94-104	1.1- 14
DCHP	0.999	92-107	0.9- 9.9	0.999	92-108	0.7- 14
DnHP	0.999	93-107	0.3- 8.3	0.999	92-108	0.6- 11
Internal standard method						
DnBP (DnBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	91-113	0.7- 4.0	0.999	90-117	0.6- 3.5
DEHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	93-107	0.8- 7.7	0.999	93-106	0.7- 8.6
DEP (DEP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	1.000	96-103	1.0- 8.2	0.999	94-105	0.3- 8.2
DnPrP (DEP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	1.000	96-104	2.4- 16	0.999	89-106	1.0- <u>20</u>
DiBP (DiBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.998	91-112	0.3- 6.5	0.999	89-117	0.4- 7.0
BBP (BBP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	95-103	1.5- 7.8	1.000	95-104	0.3- 7.4
DPP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	0.999	97-105	0.9- 8.8	0.999	91-108	0.8- 8.5
DCHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	1.000	96-103	0.8- 9.7	1.000	96-104	0.6- 9.3
DnHP (DEHP- <i>d</i> <sub>4</sub> )	1.000	97-103	0.4- 6.4	1.000	97-104	0.3- 6.1

RSD: Relative standard deviation (%)

Undeline (   ): Nonconformance with guideline target

Table 9 (a) 分析条件1および (b) 分析条件3における検出下限値および定量下限値

(a)

	Sample	DEP	DnPrP	DiBP	BBP	DnBP	DPP	DCHP	DnHP	DEHP	
Absolute calibration method	Blank	0.00038	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LOD	0.05	0.0024	0.0023	0.0030	0.0026	0.0037	0.0027	0.0026	0.0013	<u>0.0047</u>
		μg/mL									
	LOQ	Blank	0.0013	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05 μg/mL		0.0081	0.0076	0.0099	0.0086	0.012	0.0089	0.0088	0.0042	<u>0.016</u>	
Internal standard method	blank	0.00036	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LOD	0.05	0.0017	0.0044	0.00082	<u>0.0077</u>	0.0017	0.00086	0.0010	0.0015	0.0042
		μg/mL									
	LOQ	blank	0.0012	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05 μg/mL		0.0057	0.015	0.0027	<u>0.026</u>	0.0058	0.0029	0.0033	0.0049	0.014	

LOD: limit of detection, LOQ: limit of quantification (μg/m<sup>3</sup>)

Undeline ( ): Maximum value

(b)

	Sample	DEP	DnPrP	DiBP	BBP	DnBP	DPP	DCHP	DnHP	DEHP	
Absolute calibration method	Blank	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00059	
	LOD	0.05	0.0062	0.0049	0.0070	0.0072	<u>0.0076</u>	0.0070	0.0054	0.0056	0.0055
		μg/mL									
	LOQ	Blank	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0020
0.05 μg/mL		0.021	0.016	0.023	0.024	<u>0.025</u>	0.023	0.018	0.019	0.018	
Internal standard method	blank	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LOD	0.05	0.0014	0.0019	0.0041	0.0018	<u>0.0050</u>	0.0016	0.0023	0.0020	0.0019
		μg/mL									
	LOQ	blank	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.05 μg/mL		0.0047	0.0065	0.014	0.0059	<u>0.017</u>	0.0052	0.0076	0.0067	0.0064	

LOD: limit of detection, LOQ: limit of quantification (μg/m<sup>3</sup>)

Undeline ( ): Maximum value

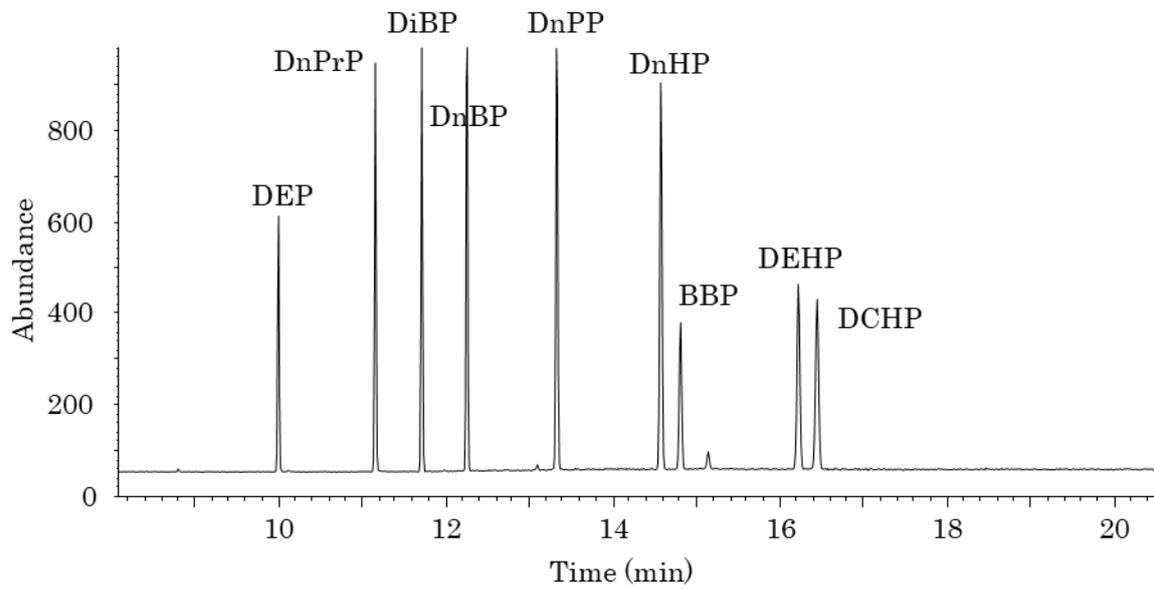


Fig. 1 フタル酸エステル類9種の  $m/z$  149におけるクロマトグラム

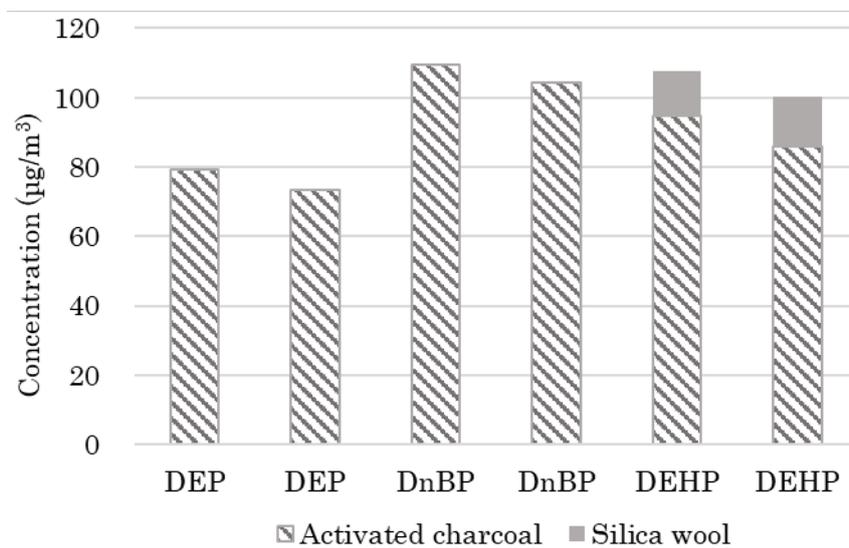


Fig. 2 捕集管Aの活性炭および石英ウールから抽出されたフタル酸エステル類の濃度

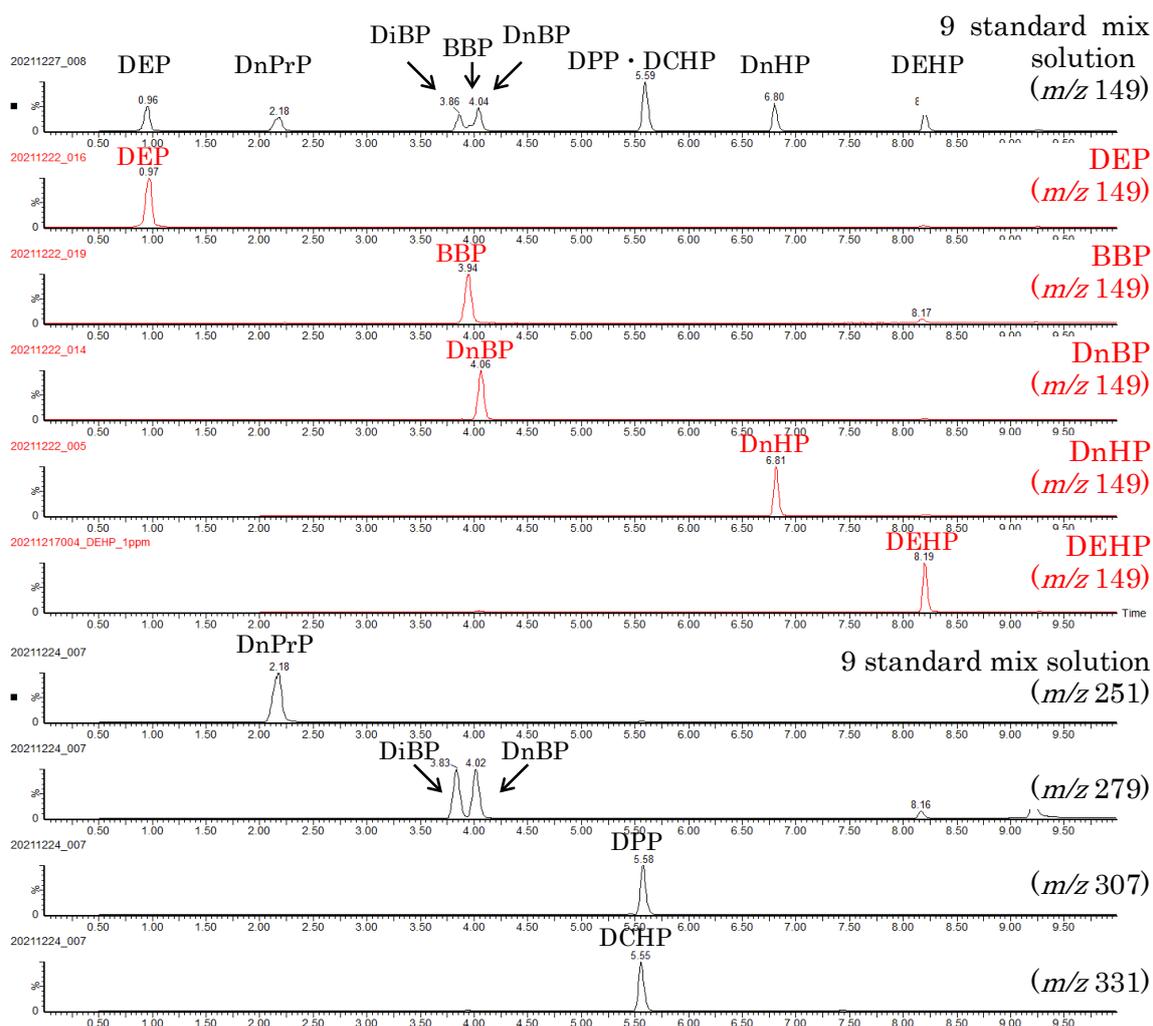


Fig. 3 分析条件1におけるフタル酸エステル類9種の分離

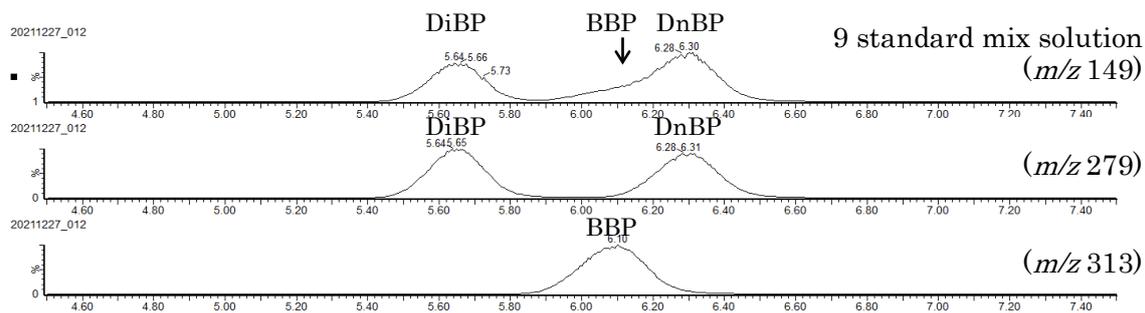


Fig. 4 長さ50 mmカラム、MeOH/10mMギ酸アンモニウム溶液 (60/40, v/v) 移動相でのイソクラティック分析におけるDiBP、BBPおよびDnBP の分離

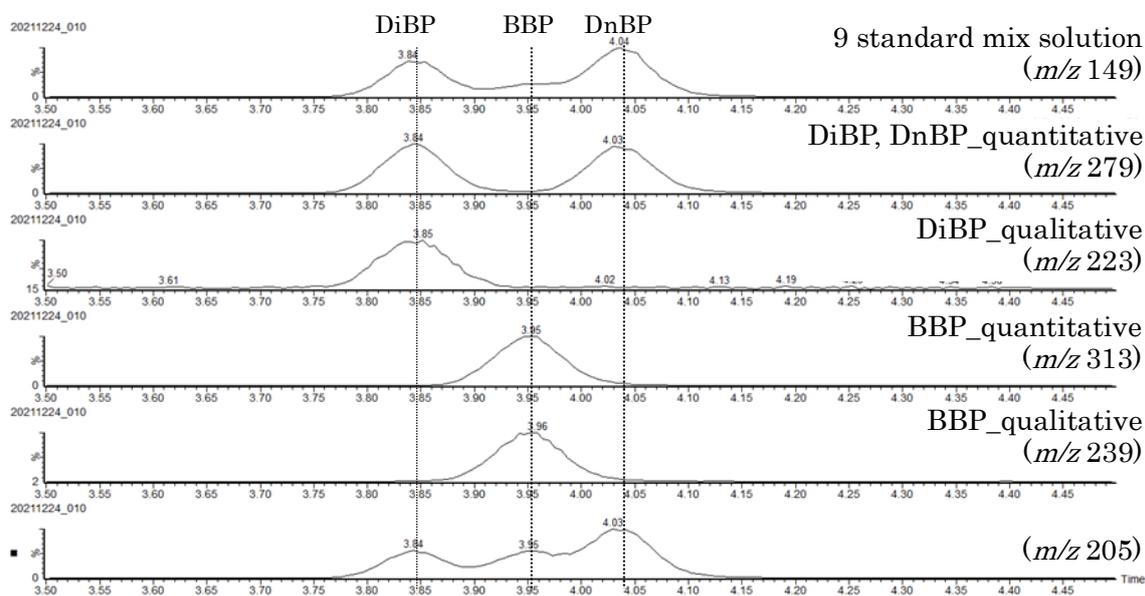


Fig. 5 分析条件1におけるDiBP、BBPおよびDnBPの各モニターイオンにおけるクロマトグラム

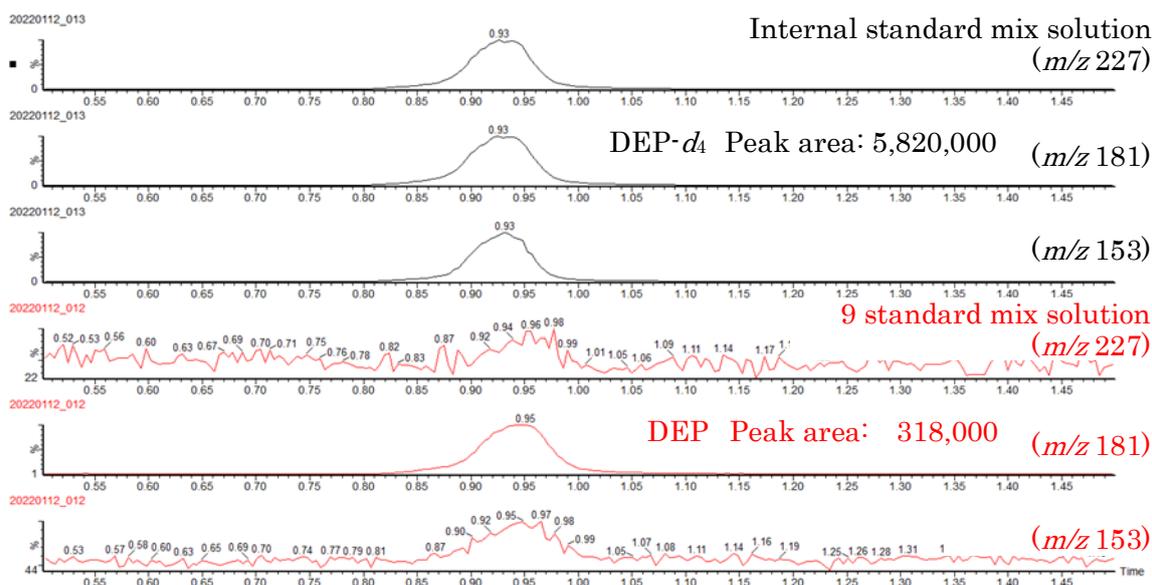


Fig. 6 分析条件1におけるDEP-*d*<sub>4</sub>およびDEPの各モニターイオンにおけるクロマトグラムおよび面積値の比較

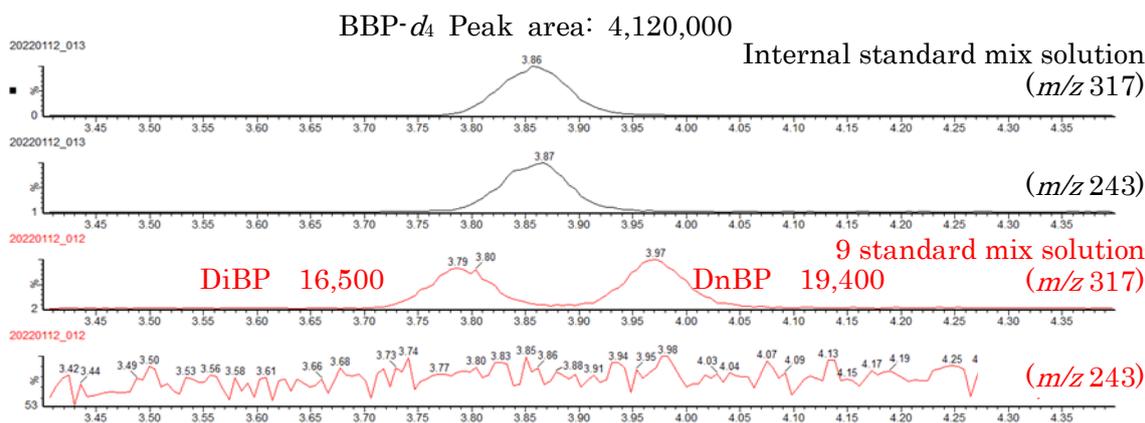


Fig. 7 分析条件1におけるBBP-*d*<sub>4</sub>、DiBPおよびDnBPの各モニターイオンにおけるクロマトグラムおよび面積値の比較

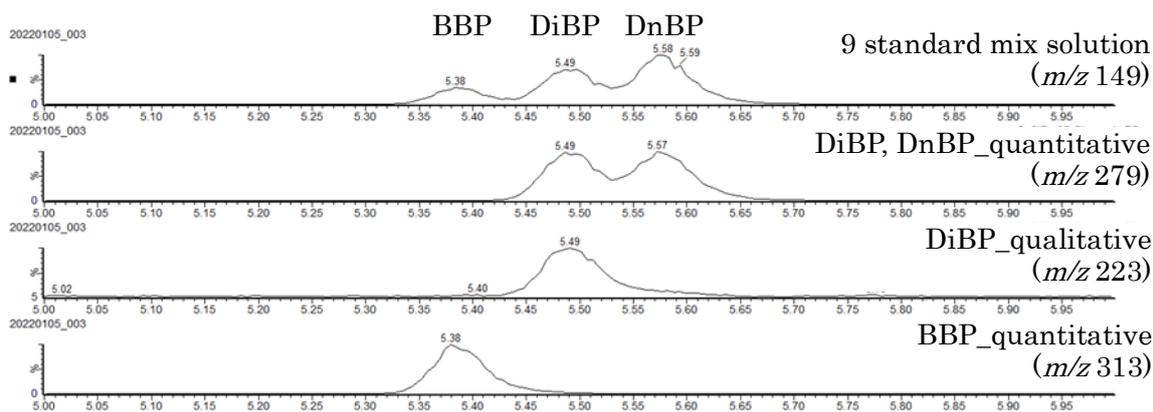


Fig. 8 分析条件2におけるDiBP、BBPおよびDnBPの分離

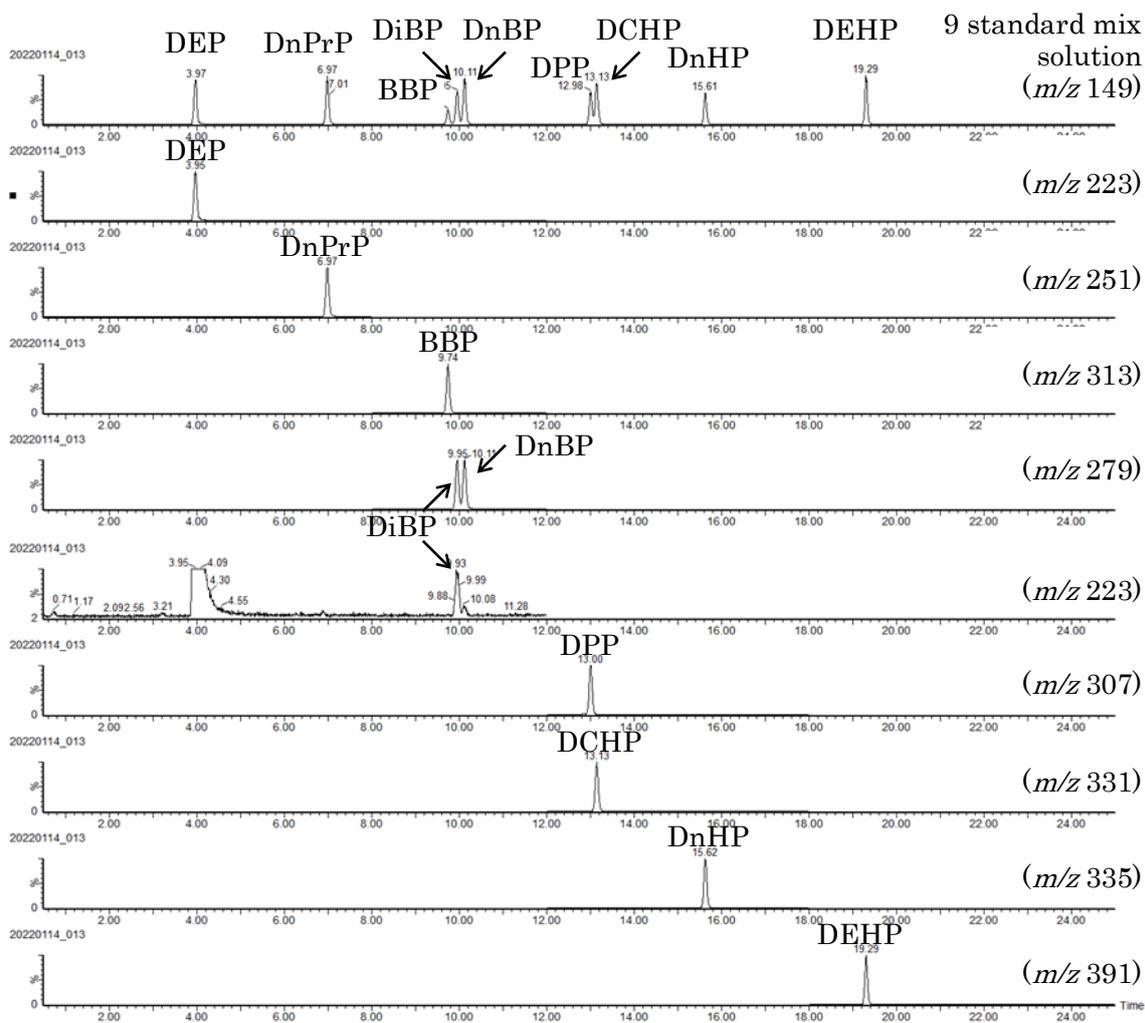


Fig. 9 分析条件3におけるフタル酸エステル類9種の分離

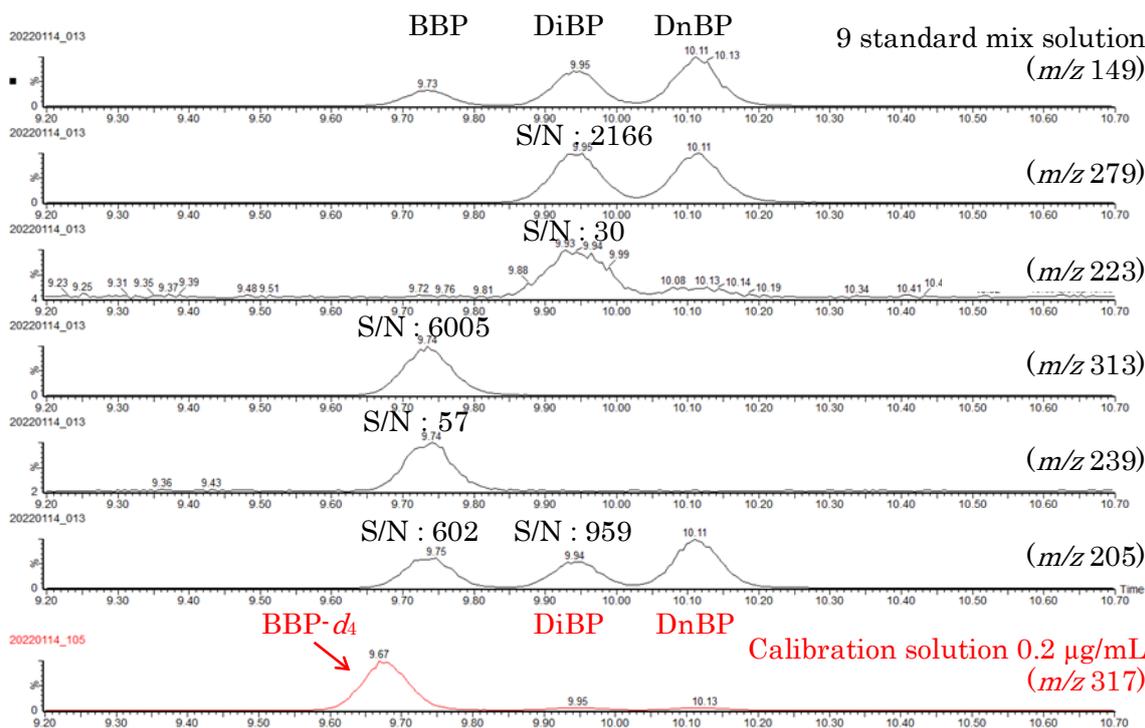


Fig. 10 分析条件3におけるDiBP、BBP、DnBPおよびBBP- $d_4$ の各モニターイオンにおけるクロマトグラムおよびS/N比の比較

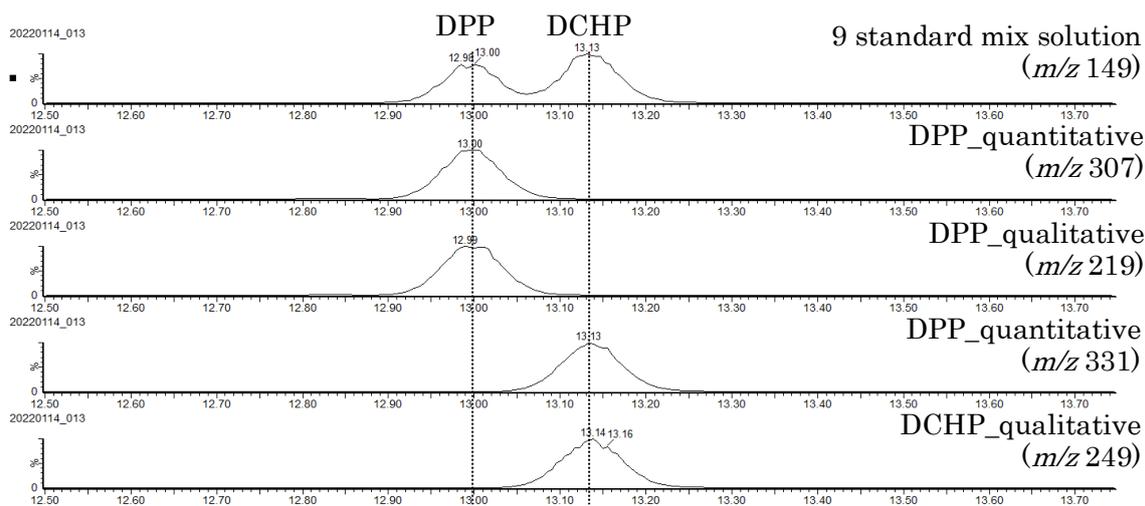


Fig. 11 分析条件3におけるDDPおよびDEHPの各モニターイオンにおけるクロマトグラム

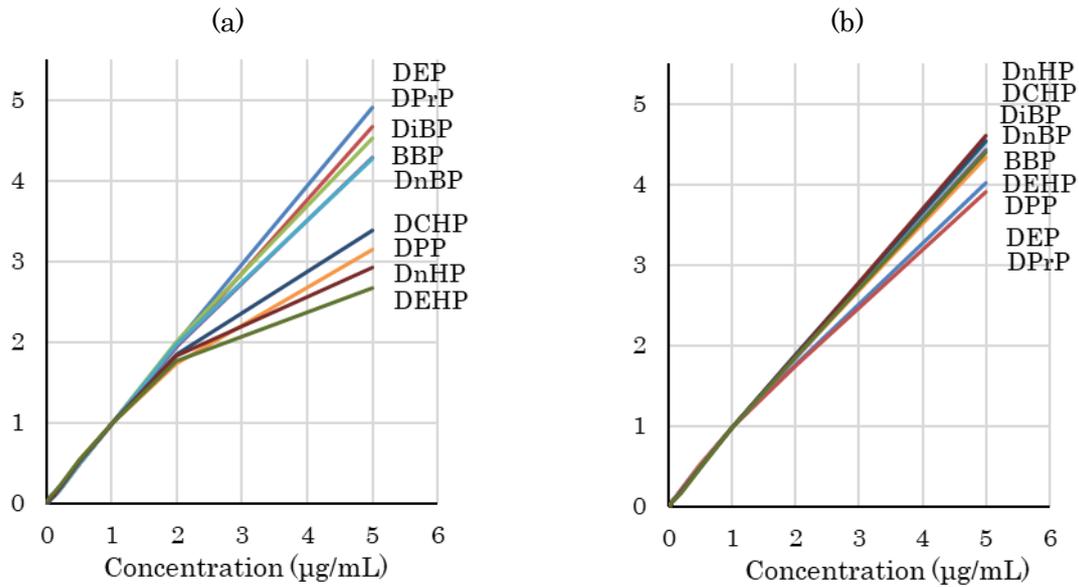


Fig. 12 検量線溶液 (0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2および5  $\mu\text{g/mL}$ ) の各測定対象物質の面積値 (縦軸: 1  $\mu\text{g/mL}$ 溶液の各測定対象物質の面積値を1として指数化)  
(a) 分析条件1、(b) 分析条件3

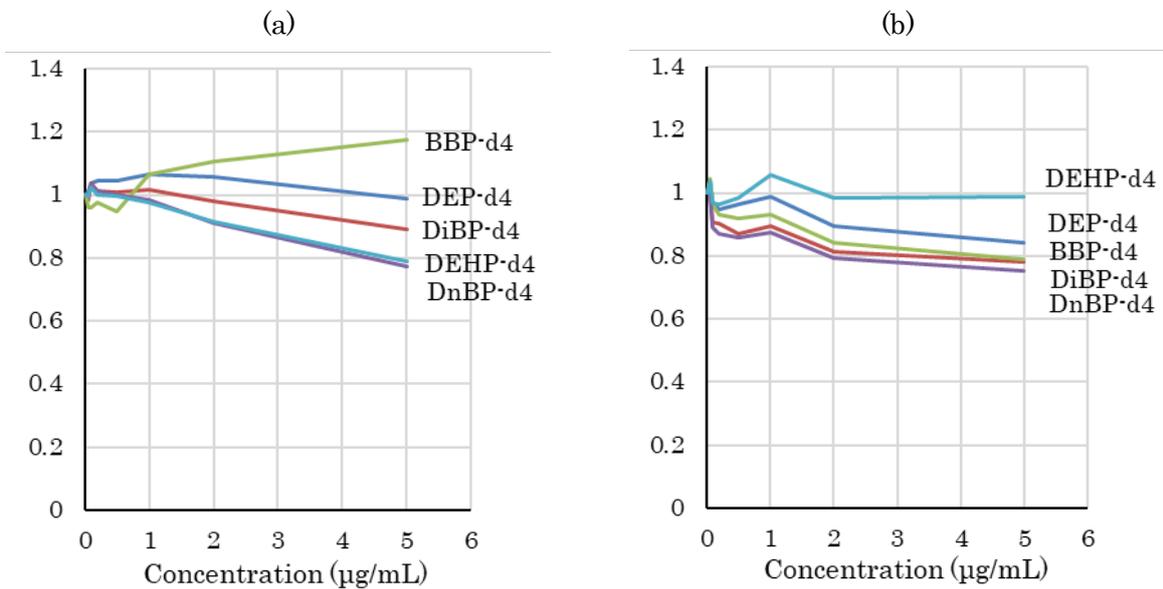
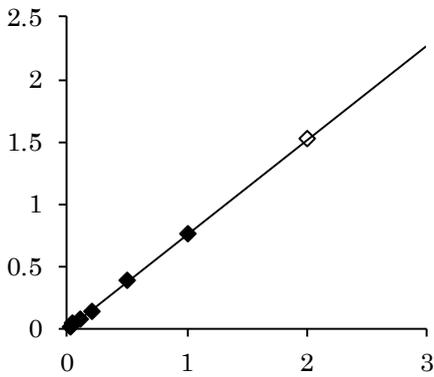


Fig. 13 検量線溶液 (0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2および5  $\mu\text{g/mL}$ ) の各内部標準物質の面積値変動 (縦軸: 0.02  $\mu\text{g/mL}$ 溶液の各内部標準物質の面積値を1として指数化)  
(a) 分析条件1、(b) 分析条件3

**DEP**

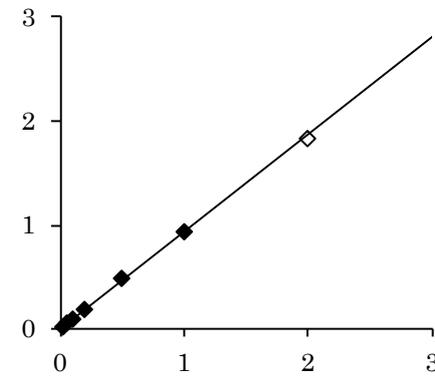
$$y = 0.7574x + 0.0004$$

$$R^2 = 0.9991$$

**DPrP**

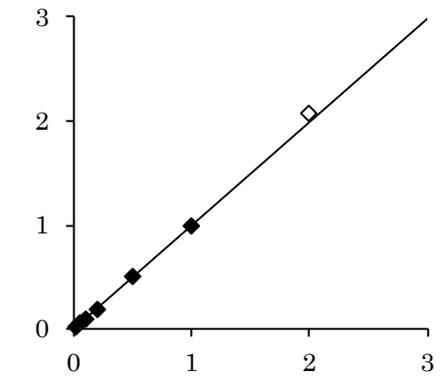
$$y = 0.9365x + 0.0015$$

$$R^2 = 0.9991$$

**DiBP**

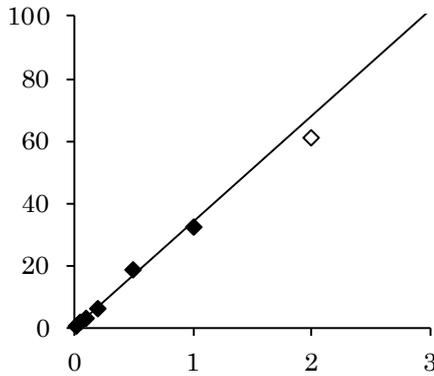
$$y = 0.9956x - 0.0021$$

$$R^2 = 0.9983$$

**BBP**

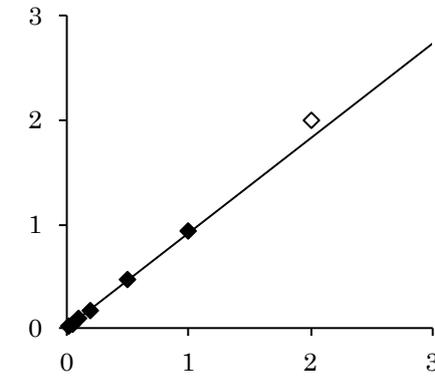
$$y = 33.9007x + 0.0228$$

$$R^2 = 0.9945$$

**DnBP**

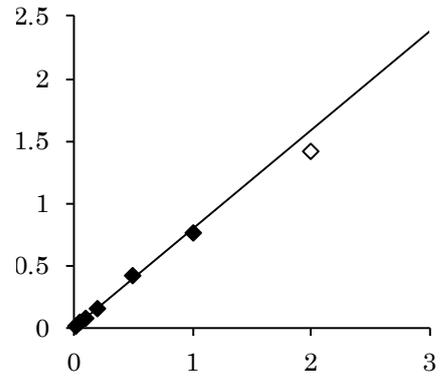
$$y = 0.9130x + 0.0018$$

$$R^2 = 0.9975$$

**DPP**

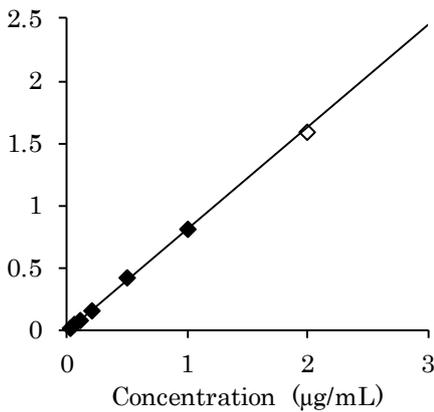
$$y = 0.7898x + 0.004$$

$$R^2 = 0.9976$$

**DCHP**

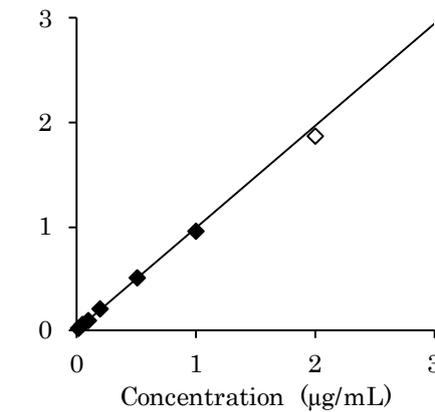
$$y = 0.8167x - 0.0006$$

$$R^2 = 0.9989$$

**DnHP**

$$y = 0.9794x + 0.0041$$

$$R^2 = 0.9986$$

**DEHP**

$$y = 0.9959x + 0.0291$$

$$R^2 = 0.9989$$

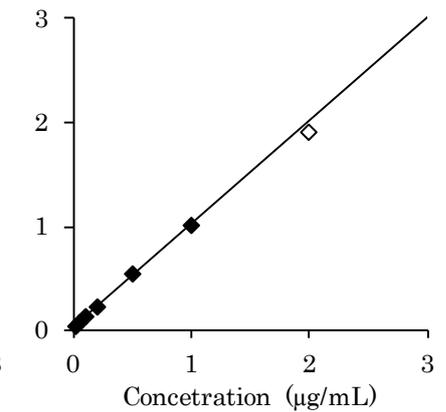
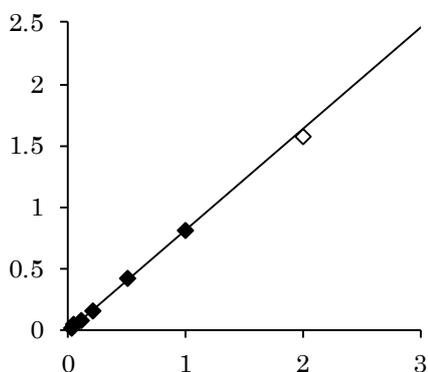
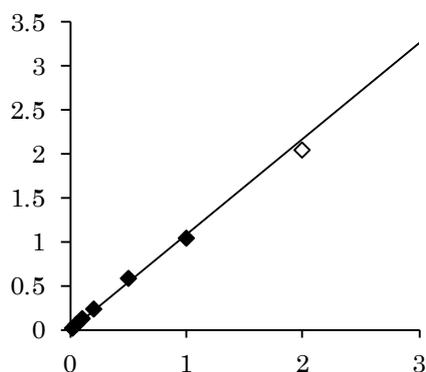


Fig. 14 分析条件1における内部標準検量線 (範囲: 0.02-1 μg/mL, 重み付け: 1/x, 縦軸: ISとのピーク面積比, 横軸: 濃度, ◆: 包含, ◇: 除外)

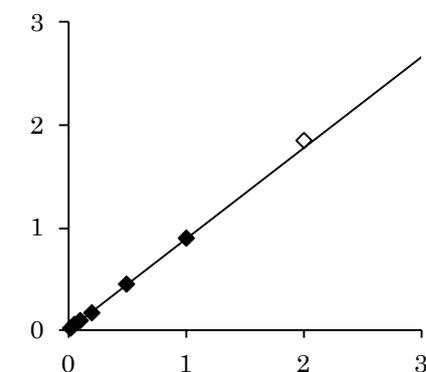
**DEP**  
 $y = 0.8199x + 0.0027$   
 $R^2 = 0.9989$



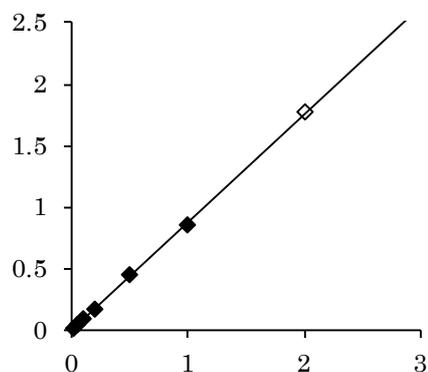
**DPrP**  
 $y = 1.0877x + 0.0097$   
 $R^2 = 0.9965$



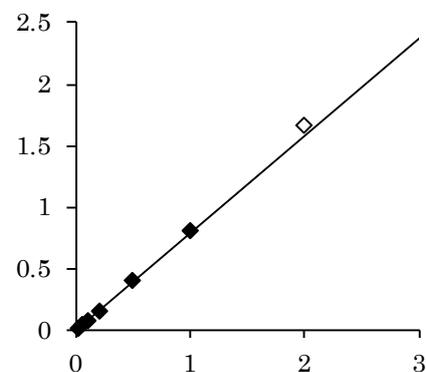
**DiBP**  
 $y = 0.8888x + 0.0008$   
 $R^2 = 0.9982$



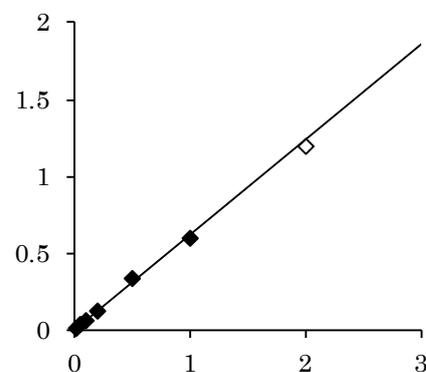
**BBP**  
 $y = 0.8760x + 0.0022$   
 $R^2 = 0.9987$



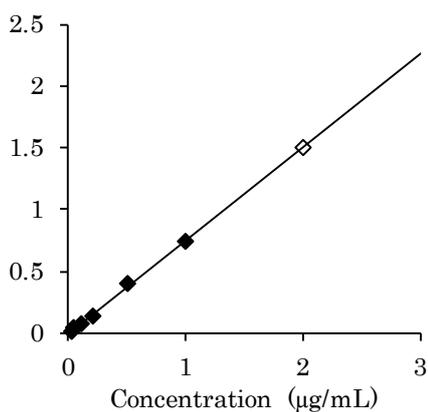
**DnBP**  
 $y = 0.7915x + 0.0063$   
 $R^2 = 0.9987$



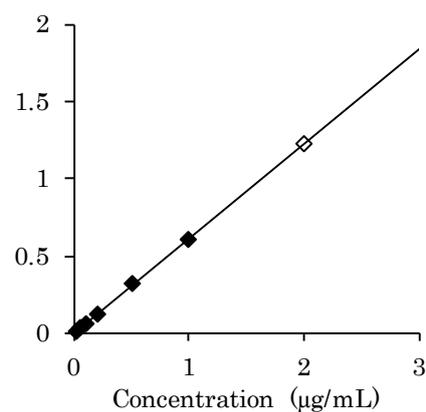
**DPP**  
 $y = 0.6177x + 0.0023$   
 $R^2 = 0.9971$



**DCHP**  
 $y = 0.7545x + 0.0016$   
 $R^2 = 0.9981$



**DnHP**  
 $y = 0.6134x + 0.0009$   
 $R^2 = 0.9988$



**DEHP**  
 $y = 1.0176x + 0.0048$   
 $R^2 = 0.9982$

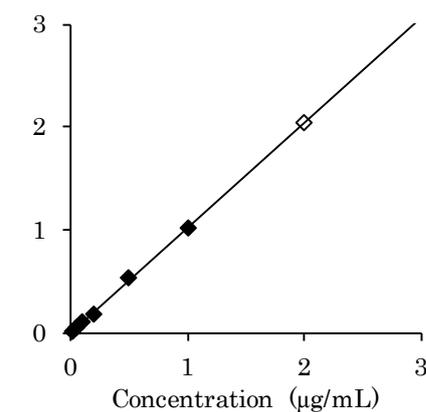


Fig. 15 分析条件3における内部標準検量線 (範囲: 0.02-1 µg/mL, 重み付け: 1/x, 縦軸: ISとのピーク面積比, 横軸: 濃度, ◆: 包含, ◇: 除外)

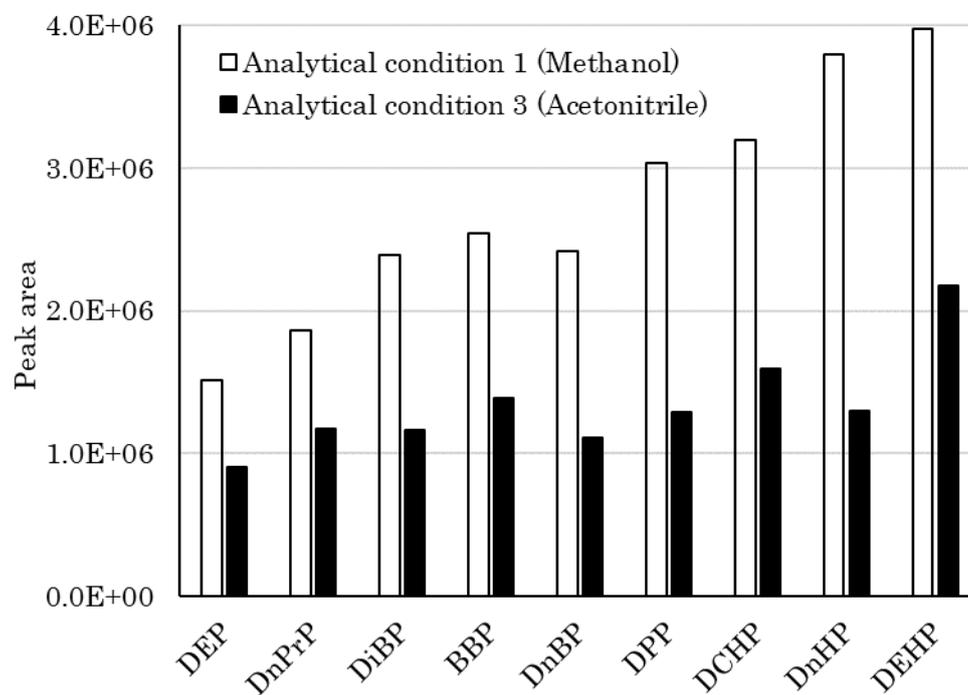


Fig. 16 移動相の相違による定量イオンの面積値の比較 (試料濃度各1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )

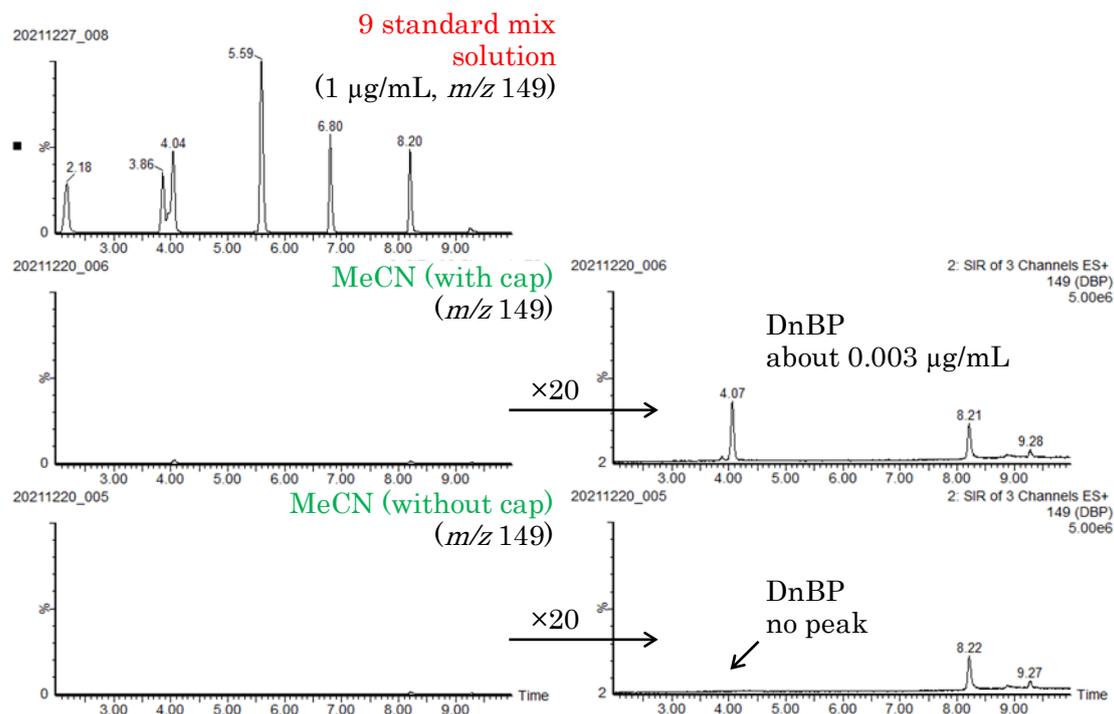


Fig. 17 セプトム付キャップからのコンタミネーション

(a)

(b)

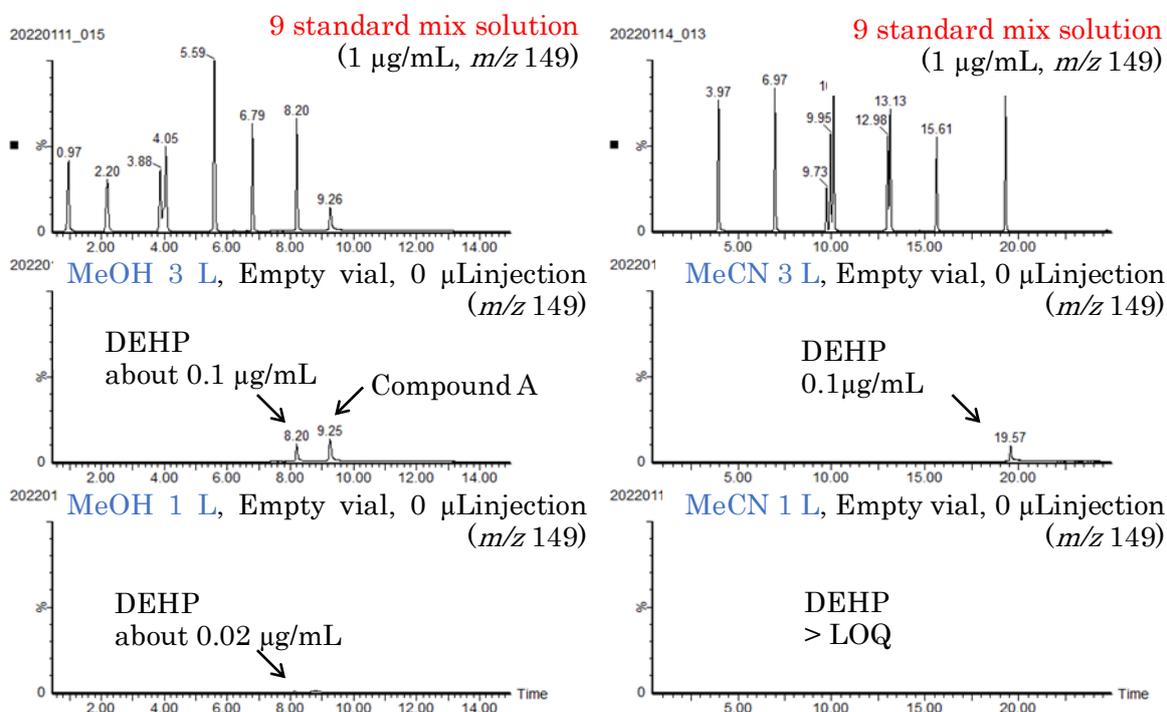


Fig. 18 移動相からのコンタミネーション (a) 分析条件1、(b)分析条件3

### 3. 2 第2法 固相吸着ー加熱脱離ーガスクロマトグラフィー／質量分析法

#### 3. 2. 1 測定方法の概要

吸着剤を充填した捕集管に室内空気および外気を一定流量で吸引し、測定対象物質を捕集する。捕集管を試料導入装置に装着し、加熱により脱離した測定対象物質をキャピラリーカラムに導入してガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC-MS) により分離、定量することを基本とする。(注1)

#### 3. 2. 2 試薬

##### (1) アセトン

残留農薬測定用、フタル酸エステル試験用などの高純度のもの。GC-MS に導入しても、測定対象物質および内標準物質のクロマトグラムに妨害を生じないもの。コンタミネーションを防ぐため、フタル酸エステル類測定専用を用意することが望ましい。

##### (2) 標準物質

フタル酸エステル試験用として市販されているもの、または同等以上の純度を持つもの。

##### (3) 標準原液 (1000 µg/mL)

各メスフラスコ 100 mL に標準物質 100 mg を精秤し、アセトンを加えて 100 mL とする。この溶液 1 mL は各々の標準物質 1000 µg を含む。(注2) (注3)

##### (4) 混合標準溶液 (100 µg/mL)

各標準原液のそれぞれの一定量 (1 mL) をメスフラスコ (10 mL) にとり、アセトンを用いて 10 倍に希釈する。この溶液 1 mL は各々の標準物質 100 µg を含む。(注2) (注3)

##### (5) 内標準物質 (フタル酸ジ-*n*-ブチル-*d*<sub>4</sub>、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル-*d*<sub>4</sub>)

内標準物質は純度 98%以上の JIS 規格試薬特級、またはこれと同等以上のもの。測定対象物質と同じ物質の重水素化体を用いることで、検量線の直線性および決定係数が改善することがある。

##### (6) 内標準原液 (1000 µg/mL)

各メスフラスコ (100 mL) に内標準物質 100 mg を精秤し、アセトンを加えて 100 mL とする。この溶液 1 mL は各々の内標準物質 1000 µg を含む。(注2) (注3)

##### (7) 混合内標準溶液 (100 µg/mL)

各内標準原液のそれぞれの一定量 (1 mL) をメスフラスコ (10 mL) にとり、アセトンを用いて 10 倍に希釈する。この溶液 1 mL は各々の内標準物質 100 µg を含む。(注2) (注3)

##### (8) 高純度窒素ガス

測定対象物質および内標準物質のクロマトグラムに妨害を生じないもの。捕集管の加熱洗浄および調製に使用する。精製空気を使用してもよい。

#### 3. 2. 3 器具および装置

##### (1) マイクロシリンジ

容量 1~10 µL が計りとれるもの。(注2)

## (2) 試料採取装置

試料採取装置は、捕集管、流量調節装置、ポンプおよびガスマーターを連結したものからなる。接続例を図1に示す。試料採取にあたり装置を組み立てた後、漏れのないことを確認する。(注4)

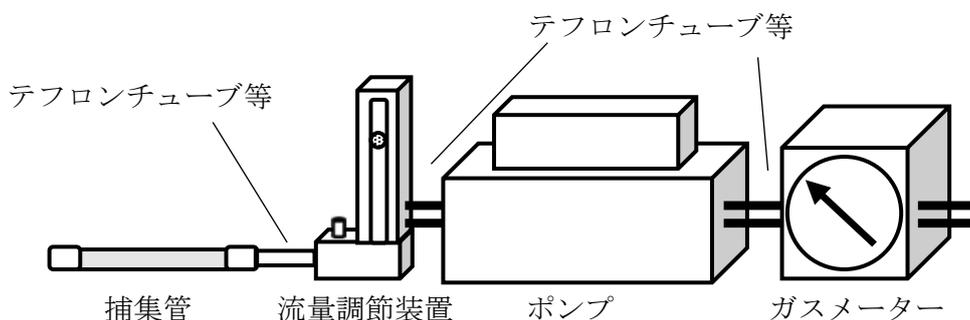


図1 試料採取装置の接続例

### 1) 捕集管

- a) 捕集管：内径3~4 mm程度のガラス管やステンレス管に測定対象物質を吸着・保持し、且つ加熱による脱離を十分に行うことができる吸着剤を充填し、両端を石英ウール等で押さえたもの、または測定対象物質に対して十分な捕集能力を有するもの。吸着剤としては Tenax TA や Tenax GR 等が利用できる。
- b) 加熱洗浄：加熱炉に捕集管を装着し、高純度窒素ガス等を50~100 mL/min程度に流して捕集管内の空気を十分置換した後、高純度窒素ガス等を流したまま300°C程度で2時間以上加熱洗浄し冷却後、両端を密栓する。なるべく使用直前に加熱洗浄し、密閉できるガラスまたは金属製容器等に保存する。(注5)

- 2) 流量調節装置：設定する捕集流量(10~200 mL/min)を制御でき、設定流量に対して±10%以内の制御精度を有するもの。または、これと同等以上の性能を有するもの。
- 3) ポンプ：ダイヤフラム型等の密閉式のポンプで、捕集管をつけた状態で設定する捕集流量(10~200 mL/min)が確保できるもの。または、これと同等以上の性能を有するもの。
- 4) ガスマーター：湿式型またはこれと同等以上の性能を有するもので、積算測定が可能であり、流量調節装置の流量制御範囲で精度よく作動する性能を有するもの。

## (3) 試料導入装置

捕集管の加熱部と、トラップ管およびクライオフォーカスの再捕集部の冷却・加熱部、またはそのどちらかが組み込まれたもので、その例は図2のようである。(注6)

捕集管が試料導入装置に装着されると流路と接続され、捕集管を加熱して、脱離する測定対象物質を再捕集部に濃縮した後、再捕集部を加熱して濃縮した対象物質をGC-MSに直結して導入できる装置である。キャピラリーカラムの前段に内径0.5 mm程度の中空細管、または内径2 mm以下の細管に適切な吸着剤等を充填したものを取り付け、この部分を液体窒素等で-10°C以下に温度制御でき、かつ80°C以上に急速加熱できるもの、または、これと同等以上の性能を有するもの。さらに、捕集管および、または再捕集部の後にスプリットができる装置を備えたもの。(注7)

### 1) トラップ部：トラップ管とその加熱部からなるもの。

- a) トラップ管：捕集管と連結され、捕集管から脱離してきた測定対象物質をトラップ(一次捕集)するもので、常温から-10~-50°C程度に冷却できるもの。(注8)
- b) 加熱部：80°C/min程度で加熱でき、かつ脱離流速が30~50 mL/min確保できるもの。

- 2) クライオフォーカス部：クライオフォーカスとその加熱部からなるもの。  
 a) クライオフォーカス装置：キャピラリーカラムの直前で冷却して測定対象物質をクライオフォーカスできるもの。  
 b) 加熱部：250°C/min 程度で加熱でき、スプリットが可能な流速を確保できること。

3) キャリアガス：ヘリウム等（純度 99.999 vol%以上）。流量 1 mL/min 程度。（注9）

#### 4) 試料導入装置の分析条件の設定

試料導入装置の分析条件の一例を以下に示す。

捕集管加熱温度	: 280°C
パージ流量（時間）	: 30 mL/min（20分）
キャリアガス	: 窒素
トラップ温度	: 5°C
トラップ加熱温度（時間）	: 280°C（10分）
ライン温度	: 290°C
バルブ温度	: 250°C
導入率	: 5.8%

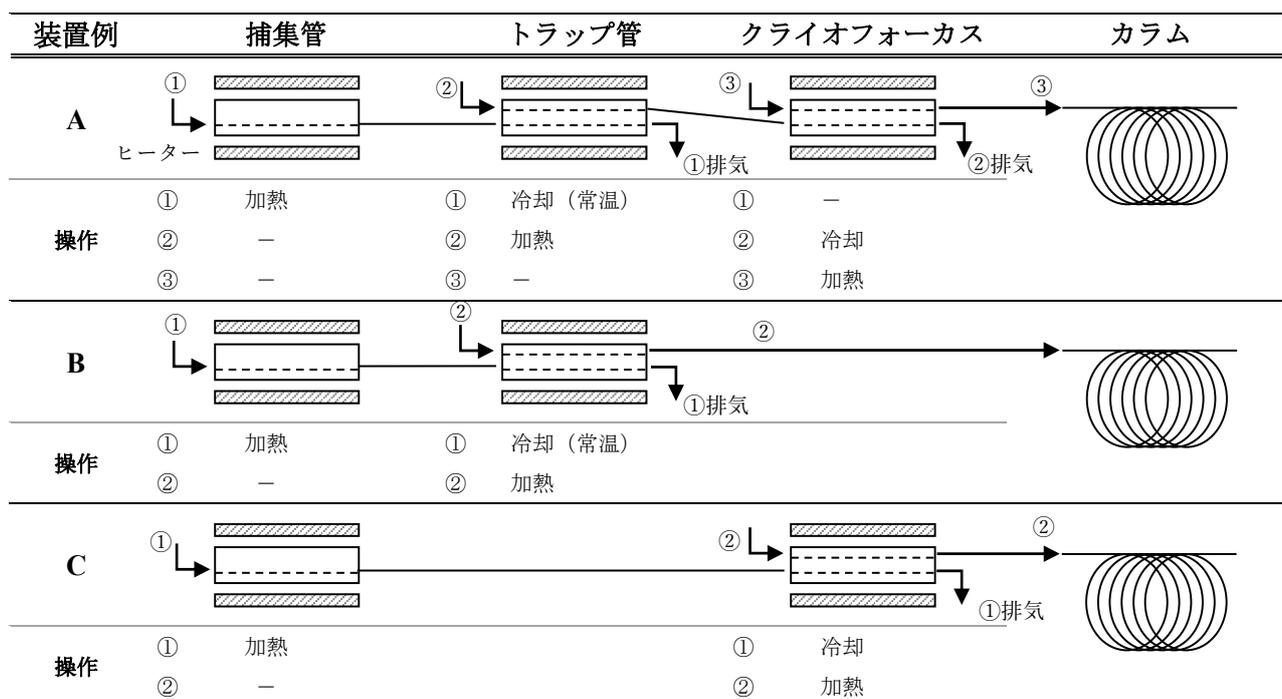


図2 試料導入装置の例

#### (4) ガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS) (注10)

##### 1) GC-MS 装置

- a) 試料注入口：試料導入装置と接続ができるもの。  
 b) カラム恒温槽：恒温槽の温度を 35~300°C の範囲で制御できるもの。また、測定対象物質を最適に分離出来る昇温プログラムが作成可能なもの。  
 c) カラム：内径 0.2~0.32 mm、長さ 15~60 m の熔融シリカ製のものであって、内面にジメチルポリシロキサンまたは 5%フェニル-ジメチルポリシロキサンを 0.1~1.5 μm の膜厚で被覆したキャピラリーカラム、またはこれと同等の分離性能を有するもの。  
 d) インターフェース部：温度を 200~300°C 程度に保つことができるもの。

- e) イオン源：温度を 160～300°C に保つことができ、イオン化電圧は 70 eV 程度のもの。  
 f) 検出器 (MS)：電子 (衝撃) イオン化法 (EI 法) が可能で、選択イオン検出 (SIM) もしくは全イオン検出 (Scan) モードが可能なもの。  
 g) キャリアガス：試料導入装置に依存する。  
 h) 測定質量数：各測定対象物質の測定質量数の一例は表 1 の通り。

表 1 各測定対象物質の測定質量数 (一例)

測定対象物質	質量数 ( $m/z$ )
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	149, 205, 223
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	149, 167, 279
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル- $d_4$	153, 209, 227
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル- $d_4$	153, 171, 283

## 2) GC-MS の分析条件の設定と機器の調整

GC-MS の分析条件およびクロマトグラムの一例を以下に示す。(図 3)

- キャリアガス：窒素  
 カラム：5%フェニル-メチルポリシロキサン  
 (長さ 20 m、内径 0.18 mm、膜厚 0.40  $\mu\text{m}$ )  
 カラム温度：80°C (2 分保持) -25°C/分-300°C (5 分保持)  
 インターフェース温度：250°C  
 イオン源温度：250°C

\*MS に質量校正用標準物質 (パーフルオロトリブチルアミン (PFTBA) またはパーフルオロケロセン (PFK)) を導入し、マスパターンおよび分解能 (質量数 ( $m/z$ ) = 18~300 程度の範囲で 1 質量単位 (amu) 以上) 等を測定目的に応じて所定の値に校正する。質量校正結果は測定結果と共に保存する。(注 11)

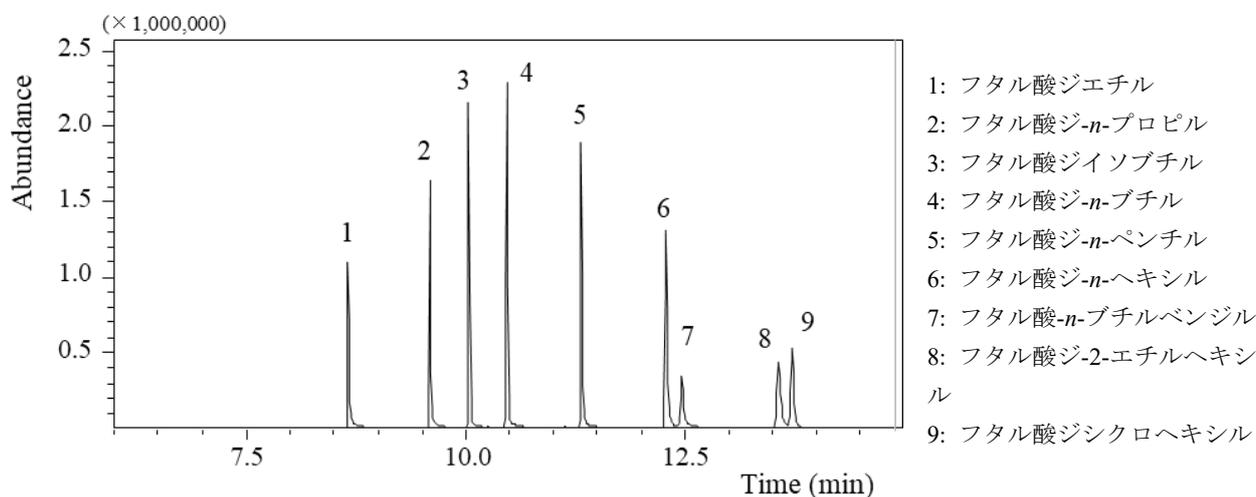


図 3  $m/z$  149 におけるクロマトグラムの一例

## 3. 2. 4 試料採取および試験用捕集管の調製

### (1) 試料採取

空気試料の採取は、室内では居間および寝室の 2 カ所ならびに室外 1 カ所の計 3 カ所について、それぞれ 2 回ずつ採取する。試料採取に際しては、トラベルブランクとして捕集管を密封したままの状態ですべての試料採取と同様に持ち運ぶ。捕集管はアルミ箔等で遮光し、試料採取後、捕集管の両端を密栓し、密閉できる容器に入れて分析時まで保存する。また、捕集管のポンプ吸引側

および空気取り入れ側は明確にしておく。

### 1) 室内空気の採取

- a) 新築住宅における試料の採取（概ね 30 分間採取）：試料採取装置を用いて、概ね 30 分間、100～200 mL/min 程度の流量で採取する。
- b) 居住住宅等における試料の採取（24 時間採取）：試料採取装置を用いて、24 時間、10～100 mL/min 程度の流量で採取する。

2) **トラベルブランク**：トラベルブランク試験用として未使用の密栓した捕集管を用い、試料採取操作を除いて、室内空気の試料採取用の捕集管と同様に持ち運び、取り扱う。溶封した捕集管では試料の採取時に開封後、密栓して分析時まで同様に保存する。この操作は、1 住宅の室内試料採取において 1 試料以上もしくは一連の試料採取において試料数の 10% 程度の頻度で実施する。（注 12）

3) **2 重測定**：試料は、室内の 2 カ所および室外 1 カ所でそれぞれ 2 回ずつ（2 併行で）採取し、2 重測定（n=2）の意味を持たせる。

### (2) 検量線用捕集管の調製

3. 2. 2 (4) の混合標準溶液および 3. 2. 2 (7) の混合内標準溶液を用い、図 4 の例に示すように、検量線作成用 T 字管に高純度窒素ガスおよび捕集管を連結し、高純度窒素ガスを 10～100 mL/min の流速で流しながら、標準溶液および内標準溶液をマイクロシリンジで注入して捕集管に吸着させる。同様の操作を複数本について行い、混合標準濃度系列の検量線用捕集管を調製する。（注 13）

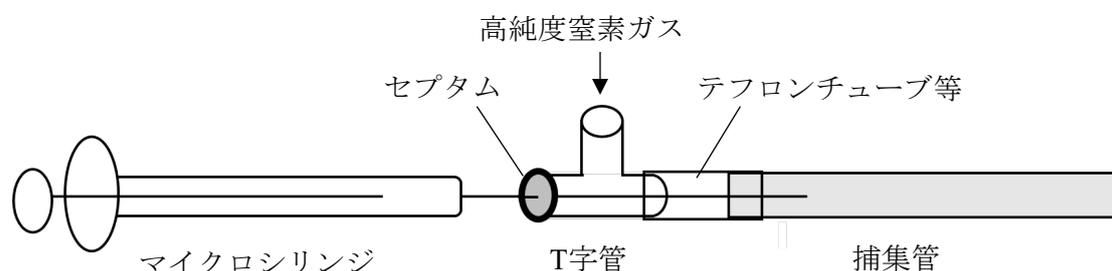


図 4 検量線作成用 T 字管の接続例（注 13）

### (3) 試験用捕集管の調製

- 1) **空気試料用捕集管の調製**：3. 2. 2 (7) の混合内標準溶液を用い、図 4 の例に示すように、検量線作成用 T 字管に高純度窒素ガスおよび 3. 2. 4 (1) 1) にて空気試料を採取した捕集管を連結し、高純度窒素ガスを 10～100 mL/min の流速で流しながら、内標準溶液をマイクロシリンジで注入して捕集管に吸着させ、空気試料用捕集管を調製する。
- 2) **操作ブランク試験用捕集管の調製**：空気試料用捕集管と同じ仕様の未使用捕集管について 3. 2. 4 (3) 1) と同様の操作を一連の操作の中で 1 回以上行い、操作ブランク試験用捕集管を調製する。
- 3) **トラベルブランク試験用捕集管の調製**：3. 2. 4 (1) 2) のトラベルブランク試験用捕集管について 3. 2. 4 (3) 1) と同様の操作を行い、トラベルブランク試験用捕集管を調製する。（注 14）
- 4) **2 重測定用捕集管の調製**：3. 2. 4 (1) 3) の 2 重測定用の捕集管について 3. 2. 4 (3) 1) と同様の操作を行い、2 重測定用捕集管を調製する。

### 3. 2. 5 試験操作

#### (1) 検量線用捕集管の試験

- 1) 測定：3. 2. 4 (2) で調製した検量線用捕集管を試料導入装置に装着し、GC-MS による測定を行う。3. 2. 3 (4) 1) h) で設定した各測定対象物質の測定質量数毎のクロマトグラムを記録する。
- 2) 測定対象物質の保持時間の確認：3. 2. 4 (2) で調製した検量線用捕集管の中から、各測定対象物質の中間程度における濃度のクロマトグラムをもとに測定対象物質の保持時間を確認する。
- 3) 測定対象物質の質量数の決定：3. 2. 3 (4) 1) h) で設定した各測定対象物質の測定質量数から検量線作成に用いる定量用質量数と確認用質量数を決定する。
- 4) 検量線の作成：各測定対象物質および内標準物質の定量用質量数について、ピーク面積またはピーク高さの強度比を求め、その強度比と各測定対象物質の濃度とによる検量線を作成する。
- 5) 定量用質量数と確認用質量数の比の決定：各測定対象物質の定量用質量数と確認用質量数のピーク面積またはピーク高さの強度比を算出する。

#### (2) 空気試料試験の測定と定量

- 1) 測定：3. 2. 4 (3) 1) で調製した空気試料用捕集管を試料導入装置に装着し、GC-MS による測定を行う。
- 2) 測定対象物質の確認：3. 2. 5 (1) 3) で決定した定量用質量数および確認用質量数によるクロマトグラムからピーク面積またはピーク高さの強度比を算出し、3. 2. 5 (1) 5) で算出した強度比と大きくかけはなれていないことを確認する。(注 15)
- 3) 定量：検出された各測定対象物質の定量用質量数と内標準物質の定量用質量数のピーク面積またはピーク高さの強度比を求め、3. 2. 5 (1) 4) により作成した検量線を用いて、測定した空気試料用捕集管における各測定対象物質の重量 ( $A_s$ : ng) を求める。(注 16)

#### (3) 操作ブランク試験の測定と定量

3. 2. 4 (3) 2) で調製した操作ブランク試験用捕集管について、3. 2. 5 (2) の操作を行って各測定対象物質の操作ブランク値を求める。(注 17)

#### (4) トラベルブランク試験の測定と定量

3. 2. 4 (3) 3) で調製したトラベルブランク試験用捕集管について、3. 2. 5 (2) の操作を行って各測定対象物質のトラベルブランク値を求める。本試験は1試料以上を測定し、平均値をトラベルブランク値 ( $A_t$ : ng) とする。

測定対象物質のトラベルブランク値が操作ブランク値と同等(等しいか小さい)とみなせる場合には、移送中の汚染は無視できるものとして試料の測定値から操作ブランク値を差し引いて濃度を計算する。(注 18)

#### (5) 2重測定試験の測定と定量

3. 2. 4 (3) 4) で調製した2重測定用捕集管について、3. 2. 5 (2) の操作を行って、各測定対象物質の重量を測定する。定量下限値以上の濃度の測定対象物質について、測定値平均とそれぞれの測定値の間に $\pm 15\%$ 以上の開きがある場合は、原則欠測扱いとして、その原因をチェックし、再度試料採取を行う。

### (6) GC-MS 装置の感度試験

混合標準捕集管系列の中から中間程度の濃度のものを選び、3. 2. 5 (1) 5) の操作を行って感度の変動を確認する。この確認は1日に1回以上行い、内標準物質との相対感度が検量線作成時の相対感度に対して±20%以内の変動であることを確認する。(注 19)

### 3. 2. 6 濃度の算出

3. 2. 5 で得られた結果から、次式を用いて空気中の各測定対象物質の濃度を算出し、結果には個々の値をそれぞれ記載する。

$$C = \frac{(A_s - A_t)}{V \times 298 / (273 + t) \times P / 1013}$$

- C : 25°Cにおける空気中の各測定対象物質の濃度 (µg/m<sup>3</sup>)  
A<sub>s</sub> : 捕集管中の各測定対象物質の重量 (ng)  
A<sub>t</sub> : 各測定対象物質のトラベルブランク値 (ng)  
操作ブランク値と同等と見なせる場合は操作ブランク値を用いる。  
V : 空気捕集量 (L) (注 20)  
t : 試料採取時の平均の気温 (°C)。湿式型ガスメーターを使用しているときには、ガスメーターの平均水温 (°C)  
P : 試料採取時の平均大気圧 (hPa)。湿式型ガスメーターの場合には (P-P<sub>w</sub>) を用いる。ここで、P<sub>w</sub> は試料採取時の平均気温 t (°C) での飽和水蒸気圧 (hPa)

### 3. 2. 7 検出下限値、定量下限値の測定

検量線作成時の最低濃度(定量下限値付近)の混合標準捕集管について、3. 2. 5 (2) の操作を行って測定値(A : ng)を求め、(A<sub>s</sub>-A<sub>t</sub>)にAを代入して、3. 2. 6の濃度の算出式より空気濃度を算出する(但し、V=3~6 L(新築)または14~144 L(居住)、t=25°C、P=1013 hPaとする)。5試料以上を測定して求めた標準偏差(s)から次式により、各測定対象物質の検出下限値および定量下限値を算出する。ただし、操作ブランク値のある物質では操作ブランク値を測定し、混合標準捕集管と操作ブランク値のうち、大きい方の標準偏差を用いて計算する。(注 21)

この測定は機器の分析条件を設定した場合等、必要に応じて必ず1回以上行う。

$$\begin{aligned} \text{検出下限値} &= 3s \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} \\ \text{定量下限値} &= 10s \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

目標定量下限値は指針値の1/10とする。

注1 : 当方法は採取試料の前処理に溶媒を用いないため、前処理操作における溶媒や雰囲気等からの汚染を受けにくいという利点がある。一方、測定対象のフタル酸エステル類は高沸点で吸着を起こしやすい性質を持つため、試料導入装置内への吸着やクロスコンタミネーションに留意する必要がある。装置内吸着については、分析での待機時間が長くなると空気中フタル酸エステル類の吸着が増加するため、試料の測定前には空の捕集管を複数本測定しブランクを低減させるとよい。クロスコンタミネーション防止のためには、高濃度の標準物質および試料を測定した後は、空の捕集管を測定するとよい。

注2 : 器具類は、残留農薬分析用のアセトン等で超音波洗浄し、金属製のかごやアルミホイル等の上で乾燥させる、もしくは高温で加熱し清浄にする。使用直前までアルミホイルで覆うなどして、雰囲気からの汚染を防ぐ。清浄後は、試験溶液が触れる部分には手を触れず、ピンセット等を用いる。

注3 : 試料採取量、濃縮操作およびGC-MSの条件等によって測定感度は異なるので、ここに示した濃度を目安に適宜変えてもよい。また、市販の標準溶液(混合標準溶液)を用いてもよい。ただし、精度保証されているものが望ましい。

- 注 4 : 流量調節装置やガスメーターを内蔵したポンプも市販されている。
- 注 5 : 新しく充填または購入した捕集管は、充填された吸着剤の耐用温度にて十分に加熱洗浄した後、同一の洗浄ロットから少なくとも 10%以上の割合でブランク値の測定を行い、目的定量下限値よりも十分低い値であることを確認する。
- 注 6 : 試料導入装置には複数のタイプがあり、それぞれに最適条件を設定する。第 1 は、捕集管が試料導入装置に装着されると流路が確保され、加熱脱離してトラップ管にいったん再捕集後、さらにトラップ管を加熱してクライオフォーカスに捕集し、さらに加熱してキャピラリーカラムに導入する方式である (図 2 A)。第 2 には、捕集管が試料導入装置に装着されると流路が確保され、加熱・脱離してトラップ管またはクライオフォーカスに再捕集した後、いずれかを加熱してキャピラリーカラムに導入する方式である (図 2 BC)。
- 注 7 : ガラス製または溶融シリカ製の中空管または吸着剤を充填したトラップ管では冷却を要しない装置もある。また、トラップ管の冷却、加熱条件等は導入装置毎に決定する必要がある。市販の装置ではこれらの条件は提示されている場合が多い。
- 注 8 : トラップ管には石英等の不活性物質を詰めることもあるが、吸着剤を充填する場合もある。充填剤により、低温 (-20°C程度) まで冷却を行っても破過を起こすことがあるので注意する必要がある。
- 注 9 : 水素や窒素を用いてもよい。純度については 99.999%以上のものが望ましいが 99.999%未満のものを使用する場合は妨害がないことを予め確認する。市販のガス精製管を使用してもよい。
- 注 10 : 対象成分が十分に分離出来れば、カラムの種類および温度条件等は任意に設定してよい。ただし、設定した条件において、測定対象物質のピークが分離し、定量が可能であることをあらかじめ確認する。特に、同時に採取されるフタル酸エステル類の多くは  $m/z=149$  のベースピークを持つため条件確定時には十分留意する。
- 注 11 : 機器に付属の質量校正用プログラムやチューニングメソッドを使用することが望ましい。
- 注 12 : 室内より室外での測定対象物質濃度が高いと考えられる場合は、室内の他に室外におけるトラベルブランクも併せて採取することが望ましい。
- 注 13 : 混合標準溶液等を添加する場合は、シリンジの針先を捕集管内の吸着剤付近まで差し込むことが望ましい。市販の検量線作成ツール用装置を用いてもよい。
- 注 14 : 空気試料の測定における一連の過程 (準備—機器の運搬—試料採取—持ち帰り—調製—測定) において、捕集管が測定対象物質で汚染された空気に曝露される可能性があるため、試料採取時の記録を参考にして試験の頻度を考慮する。
- 注 15 : 測定対象物質のピークに対する他の物質からの影響を判断するために行う操作である。測定した空気試料における定量用質量数と確認用質量数の強度比が、**3. 2. 5 (1) 5)** で算出した強度比と大きくかけはなれている場合は、再度、標準物質用捕集管を調製、測定し、定量用質量数と確認用質量数の強度比を算出する。再度測定した標準物質用捕集管の強度比が検量線作成時の 90~110%の範囲内だった場合 (標準物質に問題がない場合)、空気試料における測定対象物質のピークが何らかの影響を受けている可能性があることから、クロマトグラムのベースライン分離条件等の再検討や、他の分析カラムによる定量を検討する。
- 注 16 : 室内空気中の測定対象物質の濃度は、その範囲が広いことが予想されるため、定量上限を明確に把握しておくことが必要である。空気試料の測定値が作成した検量線の範囲を超える場合は、諸条件を検討した上で検量線を再度作成し、定量する。
- 注 17 : 操作ブランク測定は試料測定に先立って行い、操作ブランク値を室内空気濃度に換算した値が目標定量下限値を超える場合には、再洗浄や機器の調整を行う。その後、再度測定し、操作ブランク値が十分に低減していることを確認してから試料を測定する。
- 注 18 : 移送中の汚染がある場合には、3 試料以上のトラベルブランク値を測定し、標準偏差 (s) から定量下限値 (10s: 室内空気濃度への換算値) を算出する。その定量下限値が①目標定量下限値以下の場合、②目標定量下限値より大きくても、試料の測定値より小さい場合、の①および②では、試料の測定値からトラベルブランク値を差し引いて濃度を計算する。定量下限値が③目標定量下限値および試料の測定値よりも大きい場合は、原則として欠測

扱いとし、汚染の原因を取り除いた後、再度試料採取から行う。

- 注 19 :  $\pm 20\%$ を越えて感度の変動する場合には、その原因を取り除き、それ以前の試料を再測定する。さらに、保持時間については、比較的短い間に変動（通常、1日に保持時間が $\pm 5\%$ 以上、内標準物質との相対保持比が $\pm 2\%$ 以上）する場合には、その原因を取り除き、それ以前の試料の再測定を行う。
- 注 20 : 流量調節装置がマスフローセンサー（質量流量センサー）である場合や、積算値が設定の温度で補正されて表示される場合など、試料採取装置によっては空気捕集量（V）の補正が不要な場合がある。
- 注 21 : 測定対象物質のいずれかの定量下限値が目標下限値より大きい場合には、試薬、器具、機器の汚染等を確認して、目標下限値以下となるようにする。

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)  
分担研究報告書

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

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

研究分担者 香川(田中) 聡子 横浜薬科大学 教授  
研究協力者 神野 透人 名城大学薬学部 教授

研究要旨: シックハウス対策として 1997 年よりホルムアルデヒドやトルエンなど 13 物質に室内濃度指針値が、総揮発性有機化合物に暫定目標値が定められ、2019 年 1 月にはキシレン、フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルの指針値が改定された。本化学物質リスク研究事業では、田原らの分担研究課題において室内濃度指針値策定物質であるフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルを対象として 2019 年 1 月に改定された新指針値に対応する標準試験法が評価された。そこで本研究では、評価された標準試験法の国内規格化を目的として日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に収載すべく、試験法ならびに注解を取り纏めた。

研究協力者:

小池 加那子 (横浜薬科大学薬学部)  
高橋 直也 (横浜薬科大学薬学部)  
中嶋 康一郎 (横浜薬科大学薬学部)  
堤亜里紗 (横浜薬科大学薬学部)  
小林叶奈 (横浜薬科大学薬学部)  
浦島桃香 (横浜薬科大学薬学部)  
中向井璃奈 (横浜薬科大学薬学部)

#### A. 目的

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化を目的として、既存の室内濃度指針値策定物質の測定法について、最新の分析技術を基に汎用性の高い標準試験法に改訂し、公表する。

#### B. 研究方法

室内濃度指針値策定物質フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルを対象として、本化学物質リスク研究事業における分担研究課題「室内空气中揮発性有機化合物 (VOC)・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価 (分担研究者・田原麻衣子)」で評価された改定指針値に対応した固

相吸着—加熱脱離法による標準試験法を日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に収載すべく試験法と注解を取り纏めた。

#### C. 研究結果

室内濃度指針値策定物質であるフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルについて改定指針値に対応した固相吸着—加熱脱離法による標準試験法を取り纏めた。日本薬学会第 144 年会にて公表、ならびに日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に収載予定である。なお、別添にその内容を示す。

#### E. 考察

本研究で、室内濃度指針値策定物質を対象とする標準試験法が策定されることにより、ばく露評価を円滑に実施することが可能になる。

#### D. 結論

室内濃度指針値策定物質であるフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキ

シルについて改定指針値に対応した固相吸着—加熱脱離法による標準試験法の国内規格化を進めた。

E. 健康危険情報  
なし

F. 研究発表  
[論文発表]

- 1) Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Mori Y, Ikushiro S, Jinno H, Ohkawara S, Isobe T. Regioselective glucuronidation of flavones at C5, C7, and C4' positions in human liver and intestinal microsomes: Comparison among Apigenin, Acacetin, and Genkwanin. *Biol Pharm Bull.* 2022;45(8):1116-1123.
- 2) Hanioka N, Isobe T, Tanaka-Kagawa T, Jinno H, Ohkawara S. *In vitro* glucuronidation of bisphenol A in liver and intestinal microsomes: interspecies differences in humans and laboratory animals. *Drug Chem Toxicol.* 2022 Jul;45(4):1565-1569.
- 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 Dec 1;45(12):1839-1846.
- 4) Sugita T, Tanaka-Kagawa T. Management of food and environmental hygiene by microbial examination. *Yakugaku Zasshi.* 2022;142(1):9-10. doi: 10.1248/yakushi.21-00161-F.

[学会発表]

- 1) 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

- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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, 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

G. 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

## 4.4 空気試験法

### 4.4.5 有機物質

#### 22) 揮発性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

##### (1) ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量

###### 項目名を下記に改訂

##### (1) 固相吸着-溶媒抽出-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量

##### (2) 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<sup>1)</sup> (新規)

フタル酸ジ-*n*-ブチル (DBP) およびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) による室内空気の汚染を把握するための測定に適した方法である。吸着剤を充てんした捕集管に室内空気または外気を一定流量で吸引し、測定対象物質を捕集する。捕集管を試料導入装置 (加熱脱離装置) に装着し、加熱により気化した測定対象物質をキャピラリーカラムに導入して GC-MS により分離、定量する<sup>2)</sup>。

〔試薬〕 ① アセトン: 残留農薬試験用<sup>3)</sup>。測定対象物質および内標準物質のクロマトグラムに妨害を生じないもの

② 標準品: DBP: フタル酸エステル試験用, DEHP: フタル酸エステル試験用

③ 標準溶液: 100 mL メスフラスコにフタル酸エステル標準品 100 mg を精秤し、アセトンを加えて 100 mL として個々の標準原液を調製する (最終濃度 1000 µg/mL)。次に各標準原液のそれぞれの一定量 (2 mL) をメスフラスコ (20 mL) にとり、アセトンを用いて 10 倍に希釈する (最終濃度 100 µg/mL)<sup>4)5)</sup>。

④ 内標準物質 (フタル酸ジ-*n*-ブチル-*d*<sub>4</sub>、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル-*d*<sub>4</sub>): 純度 98%以上の JIS 規格試薬特級、またはこれと同等以上のもの

⑤ 内標準溶液: 100 mL メスフラスコに内標準物質 100 mg を精秤し、アセトンを加えて 100 mL とし内標準原液とする。各内標準原液のそれぞれの一定量 (1 mL) をメスフラスコ (10 mL) にとり、アセトンを用いて 10 倍に希釈する (最終濃度 100 µg/mL)<sup>4)</sup>。

⑥ 高純度 N<sub>2</sub> ガス: 測定対象物質および内標準物質クロマトグラムに妨害を生じないもの<sup>6)</sup>。

〔装置および器具〕 ① マイクロシリンジ: 容量 1~10 µL が量りとれるもの<sup>4)</sup>

② 試料採取装置: 試料採取装置は、捕集管、流量調節装置、ポンプおよびガスメーターを連結したのからなる。試料採取装置に使用する器具類は十分に洗浄して汚染に注意する。また、試料採取にあたって装置を組み立てたのち、

漏れのないことを確認する。

i) 捕集管: 内径 3~5 mm 程度のガラス製またはステンレス鋼製の管に測定対象物質を吸着・保持し、かつ加熱による脱離を十分に行うことができる粒径 60~80 メッシュ (0.2~0.3 mm) の吸着剤を充てんし、両端を石英ウールまたはステンレス鋼製金網で押さえたもの、または測定対象物質に対して十分な捕集能力を有するもの<sup>7)</sup>。捕集管を洗浄するための前処理として、加熱炉に捕集管を装着し、高純度 N<sub>2</sub> ガスなどを 50~100 mL/min の流速で 10 分間程度に流して捕集管内の空気を十分置換したのち、高純度 N<sub>2</sub> ガスなどを流したまま 300°C 程度で 2 時間以上加熱洗浄し、冷却後、両端を密栓する。前処理後の捕集管は活性炭入りの密閉できるガラス製または金属製の容器などに保存する。なるべく使用直前に前処理を行う。両端を溶封したものは、長期間の保存が可能である<sup>8)</sup>。

ii) 流量調節装置: 流量を 2~200 mL/min の範囲で制御でき、設定流量に対して ±10% 以内の制御精度を有するもの、または、これと同等以上の性能を有するもの<sup>9)</sup>

iii) ポンプ: ダイヤフラム型などの密閉式のポンプで、捕集管を付けた状態で 2~200 mL/min の捕集流量が確保できるもの、または、これと同等以上の性能を有するもの<sup>9)</sup>

iv) ガスメーター: 湿式型またはこれと同等以上の性能を有するもので、積算測定が可能であり、流量調節装置の流量制御範囲で精度よく作動する性能を有するもの<sup>9)</sup>

③ 試料導入装置: 試料導入装置の例を図 1 に示す。捕集管の加熱部と、再捕集部 (トラップ部およびクライオフォーカス部、またはそのいずれか) が組み込まれたもの<sup>10)</sup>

試料導入装置の加熱部に装着した捕集管を加熱し、脱離した測定対象物質を再捕集部で濃縮したのち、再捕集部を急速に加熱して気化した測定対象物質を GC-MS に直結して導入できる装置であり、キャピラリーカラムの前段に内径 0.5 mm 程度の中空細管、または適当な吸着剤などを充てんした内径 2 mm 以下の細管を取り付け、これらの再捕集部をペルチェ式冷却装置または液体窒素などで -10°C 以下に温度制御でき、かつ 80°C/min 程度の昇温速度で急速加熱できるもの、または、これと同等以上の性能を有するもの。さらに、捕集管の加熱部および、または再捕集部の後段でスプリットができる装置を備えたもの<sup>11)</sup>

i) トラップ部: トラップ管とその加熱部からなるもの

a) トラップ管: 加熱した捕集管から脱離してきた測定対象物質を再捕集するもので、常温あたりから -10~-50°C 程度に冷却できるもの<sup>12)</sup>、かつ 30~50 mL/min の流量の脱離ガスが確保できるもの

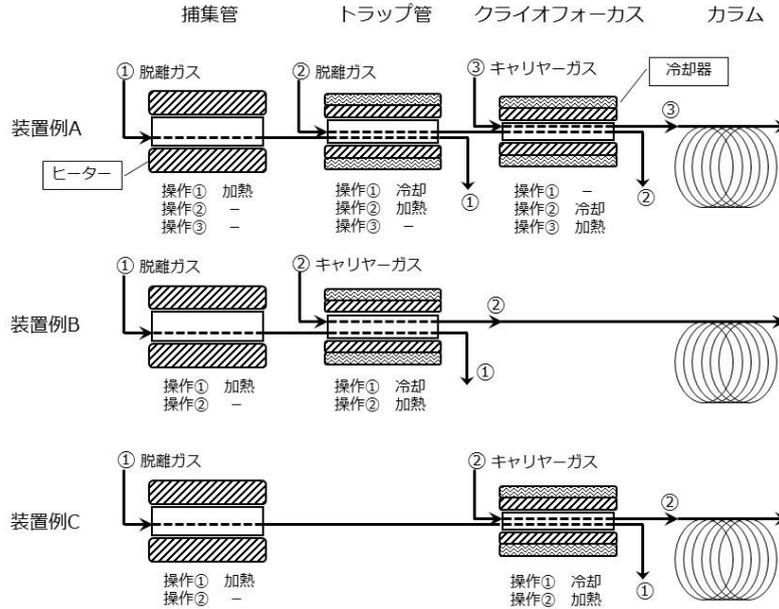


図1 試料導入装置の例

- b) 加熱部：80°C/min 程度の昇温速度で加熱できるもの
  - ii) クライオフォーカス部：クライオフォーカス装置とその加熱部からなるもの
  - a) クライオフォーカス装置：キャピラリーカラムの前段で中空細管を液体窒素などで冷却して、測定対象物質をクライオフォーカスできるもの
  - b) 加熱部：250°C/min 程度の昇温速度で急速に加熱できるもの
  - iii) 試料導入装置の分析条件の設定
- 試料導入装置の分析条件の一例を以下に示す

脱離温度	: 280°C
脱離時間	: 10 min
脱離ガス	: He
脱離ガス流量	: 30 mL/min
トラップ冷却温度	: 5°C
トラップ加熱温度	: 280°C
トラップ加熱時間	: 20 min
ライン温度	: 290°C
バルブ温度	: 280°C

④ ガスクロマトグラフ/質量分析計<sup>13)</sup>：④ 4.4.5 13) (1) [装置および器具] ③) に同じ

【試料の採取】空気試料の採取は、室内では居間および寝室2カ所ならびに室外1カ所の計3カ所について、それぞれ2回ずつ採取する。試料採取後、捕集管はアルミ箔などで遮光したのち、両端を密栓し、活性炭入り保存容器に入れて分析時まで保存する<sup>14)15)</sup>。

① 室内空気の採取 i) 新築住宅における試料の採取 (おおむね30分間採取)：試料採取装置を用い、おおむね30分

間の採取量が3~6Lになるように流量を100~200 mL/min程度に設定して採取する<sup>15)16)</sup>。ii) 居住住宅における試料の採取 (24時間採取)：試料採取装置を用い、24時間の採取量が14~144Lになるように流量を10~100 mL/min程度に設定して採取する<sup>14)</sup>。

② トラベルブランク：トラベルブランク試験用として、加熱洗浄し密栓した捕集管を用い、試料採取操作を除いて、室内空気試料採取用の捕集管と同様に持ち運び、取り扱う。この操作は、1住宅の室内試料採取において1試料以上または一連の試料採取において試料数の10%程度の頻度で実施する<sup>15)</sup>。

③ 2重測定用捕集管：試料は、室内の2カ所および室外1カ所でそれぞれ2回ずつ(2併行で)採取し、2重測定(n=2)の意味を持たせる。2重測定のための試料採取は、1住宅の室内試料採取において1試料または一連の試料採取において試料数の10%程度の頻度で行う。

【検量線用混合標準濃度系列捕集管の調製】① 混合標準原液(1000 µg/mL)または混合標準液(100 µg/mLまたは10 µg/mL)の適量を20 mLメスフラスコに段階的にとり、それぞれに内標準原溶液(1000 µg/mL)2 mLを添加したのちにアセトンを加えて定容とし、検量線用混合標準濃度系列を調製する。

② 検量線用混合標準濃度系列の添加による検量線用捕集管の調製：捕集管を検量線作成用T字管に連結し、高純度N<sub>2</sub>ガスを通気しながら、①で調製した混合標準濃度系列1~2 µLをマイクロシリンジを用いて注入、または、捕集管に充てんした吸着剤に直接添加したのちに通気する<sup>16)</sup>。通気は高純度N<sub>2</sub>ガスを毎分30~100 mLの流速で3~5分間行う。5段階程度の検量線用混合標準濃度系列捕集管を調

製する。

**〔試験用捕集管の調製〕**①空気試料試験用捕集管の調製：空気試料を採取した捕集管を検量線作成用 T 字管に連結し、毎分 10～30 mL 程度の高純度 N<sub>2</sub> ガスを流しながら、内標準溶液 (100 μg/mL) 1 μL をマイクロシリンジで注入して捕集管に吸着させる。

② 操作ブランク試験用捕集管の調製：空気試料用の捕集管と同一の未使用の捕集管について①と同様の操作を一連の操作の中で 1 回以上行い、操作ブランク試験用捕集管を調製する<sup>17)</sup>。

③ トラベルブランク試験用および 2 重測定用捕集管の調製：トラベルブランク試験用および 2 重測定用の捕集管について①と同様の操作を行い、それぞれトラベルブランク試験用捕集管<sup>18)</sup>および 2 重測定用捕集管を調製する。

**〔試験操作〕**

**ガスクロマトグラフィー/質量分析条件の一例**

カラム：キャピラリーカラム, 5% diphenylpolysiloxane + 95% dimethylpolysiloxane (0.18 mm i.d. × 20 m, 膜厚 0.4 μm)

カラム温度：70°C (1 min), 70～300°C (20°C/min, 昇温), 300°C (8 min)

キャリアーガス<sup>19)</sup>および流量：He, 全流量 1 mL/min

インターフェース温度：280°C

イオン源温度：250°C

イオン化電圧：70 eV

検出器：SIM またはマスキロマトグラフィーができるもの

モニターイオンの一例：

測定対象物質	定量 イオン ( <i>m/z</i> )	確認 イオン ( <i>m/z</i> )
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	149	205, 223
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	149	167, 279
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル- <i>d</i> <sub>4</sub>	153	208, 227
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル- <i>d</i> <sub>4</sub>	153	171, 283,

**定 量**：試験用捕集管を試料導入装置に装着して前処理を行い、再捕集部の加熱により気化した測定対象物質を GC-MS に導入する。Scan 法または SIM 法で各測定対象物質のモニターイオンを測定し、それぞれのイオンのクロマトグラムを記録する。得られたピークの保持時間と各測定対象標準物質の保持時間を比較し、保持時間が一致するピークの面積またはピーク高さを求め、内標準物質のピーク面積またはピーク高さとの比から、あらかじめ作成した検量線より各測定対象物質の重量 (ng) を求める<sup>20)</sup>。

検量線の作成：各測定対象物質の定量用質量数と内標準物質の定量用質量数のピーク面積またはピーク高さの強度

比を求め、そのピーク面積またはピーク高さの比と各測定対象物質の濃度とにより検量線を作成する<sup>21)</sup>。

**計 算**：25°Cにおける空気中の各物質の濃度 (μg/m<sup>3</sup>) は、次式から求められる<sup>22)</sup>。

$$C \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = \frac{A_s - A_t}{V \times \frac{273 + 25}{273 + t} \times \frac{P}{101.3}}$$

*C* : 25°Cにおける空気中の各測定対象物質の濃度 (μg/m<sup>3</sup>)

*A<sub>s</sub>* : 試料中の各測定対象物質の重量 (ng)<sup>23)</sup>

*A<sub>t</sub>* : 各測定対象物質のトラベルブランク値 (ng)。操作ブランク値と同等と見なせる場合は操作ブランク値を用いる<sup>24)25)</sup>。

*V* : 空気捕集量 (L)

*t* : 試料採取時の平均の気温 (°C)。湿式型ガスメーターを使用しているときには、ガスメーターの平均水温 (°C)

*P* : 試料採取時の平均大気圧 (kPa)。湿式型ガスメーターの場合には (*P*-*P<sub>w</sub>*) を用いる。ここで、*P<sub>w</sub>* は試料採取時の平均気温 *t* (°C) での飽和水蒸気圧 (kPa)

**【注解】**

1) 本法は ISO 16000-6:2021 に対応する。

2) 本法は採取試料の前処理に溶媒を用いないため、前処理操作における溶媒や雰囲気等からの汚染を受けにくいという利点がある。一方、測定対象のフタル酸エステル類は高沸点で吸着を起こしやすい性質を持つため、試料導入装置内への吸着やクロスコンタミネーションに留意する必要がある。装置内吸着については、分析での待機時間が長くなると空気中フタル酸エステル類の吸着が増加するため、試料の測定前には加熱洗浄した清浄な捕集管を複数本測定しブランクを低減させるとよい。クロスコンタミネーション防止のためには、高濃度の標準物質および試料を測定した後には、加熱洗浄した清浄な捕集管を測定するとよい。

3) 試験に使用するアセトンは容量 1L 以下のものを用いる。開封後は、時間経過に伴ってフタル酸エステル類のブランクが増加するため、開封後の使用期間はおおむね 2 週間とする。洗浄用のアセトンは、容量 3L のものを用いる。洗浄に使用したアセトンは回収して、繰り返し使用できる。使用開始から、おおむね約 1 か月間は使用可能である。

4) フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルは、多様なプラスチック製品に含まれているため、試験に使用する器具はガラス製、金属製または四フッ化エチレン樹脂 (テフロン) 製とする。周囲からの汚染を防ぐ対策として、器具類は残留農薬分析用のアセトン等で超音波

洗浄し、金属製のかごやアルミホイル等の上で乾燥させるか、もしくは高温で加熱し清浄にする。使用直前までアルミホイルで覆うなどして、雰囲気からの汚染を防ぐ。清浄後は、試験溶液が触れる部分には手を触れず、ピンセット等を用いる。

5) 市販のフタル酸エステル類混合標準液(100 µg/mL)を希釈して調製しても良い(たとえば、富士フイルム和光純薬 8種フタル酸エステル混合標準液、関東化学 フタル酸エステル類混合標準液(9種))。

6) 捕集管の加熱洗浄および調製に使用する。精製空気を使用してもよい。有機化合物を含有しないことが重要であり、測定対象以外の物質については全炭化水素で0.01 ppm以下、一酸化炭素0.05 ppm以下、二酸化炭素0.3 ppm以下、水分濃度2 ppm以下(露点-70°C以下)で純度99.999%以上のものが望ましい。

7) 市販品には以下のような吸着剤の組み合わせで充てんされているものがある。

Tenax GR + Carbopack B

Carbopack B + Carbosive S III or Carboxen 1000

Carbopack C + Carbopack B or Carboxen 1000

Tenax TA

8) 新しく調製または購入した捕集管は充てんされた吸着剤の耐用温度にて十分空焼きしたのち、同一の洗浄ロットから少なくとも10%以上の割合でブランク値の測定を行い、目的定量下限値よりも十分低い値であることを確認する。なお、300°Cを超える温度で長時間空焼きすると炭素の酸化が進み、カーボンモレキュラシーブの性能が変化することがあるので注意する。

9) 質量流量センサーを内蔵し、流量積算機能を備えたポンプを使用してもよい。

10) 試料導入装置には複数のタイプがあり、それぞれに最適条件を設定する。第一は、捕集管が試料導入装置に装着されると流路が確保され、加熱して脱離することによりトラップ管にいったん再捕集後、さらにトラップ管を加熱してクライオフォーカスに捕集し、さらに加熱してキャピラリーカラムに導入する方式である。第二には、捕集管が試料導入装置に装着されると流路が確保され、加熱脱離することによりトラップ管またはクライオフォーカスに再捕集したのち、いずれかを加熱してキャピラリーカラムに導入する方式である。

11) ガラス製または溶融シリカ製の中空管または吸着剤を充てんしたトラップ管では冷却を要しない装置もある。また、トラップ管の冷却、加熱条件などは導入装置毎に決定する必要がある。市販の装置ではこれらの条件は提示されている場合が多い。

12) トラップ管には石英などの不活性物質を詰めることもあるが、吸着剤を充てんする場合もある。充てん剤によっては-20°C程度の低温でも破過を起こすことがあるので注意する必要がある。

13) 対象成分が十分に分離出来れば、カラムの種類および温度条件などは任意に設定してよい。ただし、設定した条件において、測定対象物質のピークが分離し、定量が可能であることをあらかじめ確認する。

14) ポンプ側および空気取り入れ側を明確にしておく。

15) 室外で塗装工事などが行われており、室内より室外での化学物質濃度が高いと考えられる場合は、室内の他に室外におけるトラベルブランクも併せて採取することが望ましい。

16) 試料を添加する場合は、シリンジの針先を捕集管内の吸着剤付近まで差し込むことが望ましい。市販の検量線作成装置を用いてもよい。

17) 分析環境から試験操作過程で汚染されることがあるので、操作ブランクを一連の測定操作の中で少なくとも1回以上実施する。

18) 空気試料の測定における一連の過程(準備-機器の運搬-試料採取-持ち帰り-前処理-測定)において、捕集管が化学物質で汚染された空気に曝露される可能性があるため、試料採取時の記録を参考にして試験の頻度を考慮する。

19) H<sub>2</sub> や N<sub>2</sub> を用いてもよい。また、純度については99.999%以上のものが望ましいが99.999%未満のものを使用する場合は妨害がないことをあらかじめ確認すること

20) 測定した空気試料における定量用質量数と確認用質量数の強度比が検量線作成時と大きくかけはなれている場合は、再度標準試料を測定して定量用質量数と確認用質量数の強度比を算出する。再度測定した標準試料の強度比が検量線作成時の90~110%の範囲内だった場合、空気試料における測定対象物質のピークが何らかの影響を受けている可能性があることから、クロマトグラムのベースライン分離条件などの再検討や、他の分析カラムによる定量を検討する。

21) 室内空気中の測定対象物質の濃度は、その範囲が広いことが予想されるため、定量上限を明確に把握しておくことが必要である。空気試料の測定値が作成した検量線の範囲を超える場合は、諸条件を検討した上で検量線を再度作成し、定量する。

22) 質量流量センサーを内蔵し、25°Cの温度換算機能を有するポンプで空気を捕集する場合は、平均温度で補正する必要はない。

23) 2重測定試験の結果、定量下限値以上の濃度の測定対象物質に対して、測定値平均とそれぞれの測定値の間に±15%以上の開きがある場合は、原則欠測扱いとして、その原因をチェックし再度試料採取を行う。

24) 操作ブランク測定は試料測定に先立って行い、操作ブランク値を気中濃度に換算した値が目標定量下限値を超える場合には、再洗浄や機器の調整を行ったのち、再度測定し、操作ブランク値を十分低減してから試料を測定する。

25) 測定対象物質のトラベルブランク値が操作ブランク

値と同等（等しいか小さい）とみなせる場合には、移送中の汚染は無視できるものとして試料の測定値から操作ブランク値を差し引いて濃度を計算する。移送中の汚染がある場合には、3 試料以上のトラベルブランク値を測定した時の標準偏差（s）から求めた定量下限値（10 s：気中濃度への換算値）が目標定量下限値以下の場合、およびトラベルブランク値による定量下限値が目標定量下限値より大きくても、試料の測定値がトラベルブランク値による定量下限値以上の場合には、試料の測定値からトラベルブランク値を差し引いて濃度を計算する。

移送中の汚染が疑われ、トラベルブランク値による定量下限値が目標定量下限値より大きく、さらに試料の測定値がトラベルブランク値による定量下限値より小さい場合は、原則として欠測扱いとする。この場合、汚染の原因を取り除いたのち、再度試料採取から行う。

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）  
令和4年度 分担研究報告書

室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

研究分担者 田辺 新一 早稲田大学創造理工学部建築学科 教授

**研究要旨** 厚生労働省のシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会により、指針値の見直しや、新たな規制汚染物質の検討が継続的に行われている。本研究では、わが国で提案した精度の高いフタル酸エステル類の測定・分析方法の国際規格化の活動を行っている。日本が提案した方法に関しての審議は ISO-16000-33・WG20 において 2022 年 9 月 6 日（火）、18 時 00 分から 20 時（日本時間）に行われた。審議結果として、日本が提案した測定分析方法が ISO 16000-33 の Annex B として追加されていることを確認した。また、2022 年度末までに DIS の最終文書を提出することが決定された。また、近年、居住者自らが塗装を行う Do It Yourself（以下、DIY）が増加する中で、植物油を主原料とし、健康への危険性が低いとされる天然系塗料が注目されている。本研究では、天然系塗料の構成成分の違いに着目し、木材への天然系塗料の塗布が室内空気質に与える影響を明らかにすることを目的として、チャンバー試験および臭気評価実験を行った。また、スプレー式接着剤およびカラスプレーを使用する建築製図室における室内空気質に関して、適切な換気手法・換気設備の提案を目的に測定および化学物質分析を行った。

## A. 研究目的

厚生労働省のシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会が継続的に開催され、指針値の見直しや新たな規制汚染物質が検討されている。また、フタル酸エステル類について改正指針値に対応して精度の高い標準試験法が開発された。これは、日本薬学会編 衛生試験法・注解2015：追補2019にて公表され、国内の規準となっている。この精度の高い国内規格を国際規格化とするためにISO会議に新規案を提案した。本分担研究では、この国内のフタル酸エステル類の測定・分析方法を ISO/TC146(大気 の 質)/SC6(室内空気)、ISO 16000-33 : 2017「Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)」に新規提案を行っているため、その進捗情報を報告する。

また、日本産業規格（以下、JIS）には天然系塗

料の定義や分類が存在せず、天然系塗料としての含有物質の制限が行われていない。これらのことにより、植物由来成分のみで構成された塗料だけではなく、溶剤に石油由来成分を用いた塗料等も天然系塗料として混在し販売されている。本研究の目的は、市販天然系塗料の構成成分に関する実態調査を行い、一般消費者による塗装状況を考慮した場合に天然系塗料が室内空気質に与える影響を明らかにすることである。DIYにおける塗装条件として、木材への塗装および利用者が滞在中に施工を行う状況を想定した小形チャンバー実験を行い、化学物質分析と被験者による臭気評価実験を実施する。

## B. 研究方法

### B-1 ISO-16000-33（新規規格案）

研究グループによってシックハウス検討会の改

正指針値に対応可能な精度の高いフタル酸エステル類の標準試験法が開発された。この試験法は日本薬学会編 衛生試験法・注解2015: 追補2019にて公表された。この規格を国際標準化するために、フタル酸エステル類の測定・分析方法をISO/TC146(大気の状態)/SC6(室内空気)、ISO 16000-33 : 2017 Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)」に新規提案した。そのため、2022年度のISO/TC146/SC6の国際会議に参加し(2022年9月6日、日本時間18~20時)、国際規格化に関する審議及びその結果を確認した。

## B-2

### 1) 市場調査概要

天然系塗料の構成成分の違いによる化学物質の放散特性に着目し、構成成分に基づいて分類する。本研究では、石油由来の有機合成成分を含んだ天然系塗料を「自然系塗料」、天然成分のみで構成された天然系塗料を「自然塗料」と定義する。この定義をもとに市場調査を行い、構成成分の異なる自然系塗料および自然塗料を2種類ずつチャンバー試験用に選定した。

### 2) チャンバー実験概要

表1に塗料条件を示す。室内における木材への天然系塗料の塗装が化学物質の放散特性に与える影響を把握することを目的に、チャンバー実験を行った。供試材条件は、4種類の天然系塗料に無塗装条件を加えた5種類の塗装条件と、木材とアルミ板の2種類の基材条件を組み合わせた計10条件である。

表2にチャンバー条件を示す。実験条件はJIS A 1901 に則り、チャンバー内の設定環境条件は、空気温度を $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度を $50 \pm 5\%$ 、換気回数を $0.5 \pm 0.05$ 回/hとした。ドラフトチャンバーでの養生期間は塗料に因らず1時間とした。試料負荷率は、JIS規格の最小値を参照し、 $0.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ とした。塗布面積は、試料負荷率を満たすためアルミテープにより $89 \text{ mm} \times 89 \text{ mm}$ に調節した。塗布量は各塗料の仕様書に従った。塗布方法は、塗布量の損失が最小である道具として、コテによる塗布を選択した。

チャンバー内の空気温度、相対湿度は、1分間隔で経時測定した。化学物質分析用の空気捕集は、アルミ板では養生開始から24時間後に、木材では養生開始から6, 12, 24時間後に捕集管を接続し行った。Tenax-TA管 ( $167 \text{ mL}/\text{min}$ ) への捕集を約60分間、DNPH管 ( $167 \text{ mL}/\text{min}$ ) への捕集を約13分間行った後、それぞれガスクロマトグラフ質量分析(GC/MS)、高速液体クロマトグラフ分析(HPLC)を依頼した。

### 3) 臭気評価実験概要

チャンバー内空気の知覚空気質評価を目的に、臭気評価被験者によるにおい袋法を用いた臭気評価を実施した。臭気評価被験者は、20代の早稲田大学の学生10名とした。におい袋は、化学物質分析用空気捕集終了時刻とほぼ同じタイミングでチャンバー内空気を、10 Lのにおい袋に捕集した。倫理委員会の承認を得て行った。また、建築製図室における室内空気質測定を行っている。

## C. 研究結果

### C-1 ISO-16000-33 (新規格案)

ISO/TC146/SC6 WG 20 がオンライン会議で開催された。ISO-16000-33 に対するオンライン会議は2022年9月6日、18:00 から 20:00 に行われた。参加者は5カ国から10名が参加した。日本の代表団は田辺新一(早稲田大学)、酒井信夫(国立医薬品食品衛生研究所)、伊藤一秀(九州大学)、金炫兌(山口大学)以上4名が参加した。WG 20 では、ISO16000-33 の改正案について議論が行われた。

わが国が提案した「ODS 固相ディスクまたはSDB 共重合体カートリッジによるサンプリング方法と溶媒抽出・分析方法」がISO-16000-33 の Annex B に追加された。この規格について2022年末までDISの最終版を提出することになった。

### C-2

#### 1) 化学物質分析結果

表3に化学物質分析結果を示す。室内濃度指針値対象物質のうち、Toluene、Xylene、Acetaldehydeは嗅覚閾値を超過し、Formaldehydeは嗅覚閾値未満だが定量下限値を超過した。

Acetaldehydeは木材の全経過時刻において塗料II、塗料IVで室内濃度指針値を超過した。塗料IIでは、24時間時においてアルミ板と比較し木材の放散量が少なかった。塗料IVの24時間時におけるAcetaldehydeの放散量は、木材では室内濃度指針値を超過した一方、アルミ板では定量下限値を下回った。実際に木材へ塗装した場合、JISによるアルミ板を使用した試験では放散されない二次生成物が放散されることが明らかになった。

アルミ板の無塗装、塗料IVを除く全条件でTVOCが指針値を超過した。Toluene、Xylene、Formaldehydeは全条件において室内濃度指針値未満であった。

## 2) 臭気評価結果

図1に非容認率の推移を示す。木材の無塗装条件において、13, 25時間時に20%を超過した。自然系塗料I、IIの全経過時刻で非容認率が20%を超過した。自然系塗料の25時間時における基材条件の比較では、木材と比較してアルミ板の非容認率が高かった。一方、自然塗料では、塗料IIIの7, 13時間時、および塗料IVの13, 25時間時で非容認率が20%を下回った。

## D. 考察

### D-1 ISO-16000-33 (新規格案)

WG20での国際会議後、ISO/TC 146/SC 6/WG 20 N 59「Recommendations」が作成された。内容は以下に示す。

- Recommendation 38

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 adopts the agenda (Doc. N 55) and the minutes of the last meeting (Doc. N 53).

- Recommendation 39

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 appoints Elisabeth Hösen as member of the recommendations' drafting committee.

- Recommendation 40

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 finalizes the draft of ISO 16000-33 and agrees to submit the document for DIS Ballot by end of 2022.

- Recommendation 41

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 will meet again in September 2023 and considers to have an

intermediate meeting, if necessary.

### D-2

#### 1) 化学物質の放散特性

木材に塗料II、塗料IVを塗布した場合、全測定時刻においてAcetaldehydeが室内濃度指針値を超過した。塗料IIにおいては塗料中の亜麻仁油に35～58%含有されるリノレン酸の硬化乾燥過程の酸化反応によりAcetaldehydeが生成されたことで、気中濃度が増大し指針値を超過した可能性が考えられる。また、塗料IVにおいては塗料に含まれるEthanolが木材に接触した際に木材中のAlcohol Dehydrogenase (以下、ADH)により酸化が促進され、Acetaldehydeの気中濃度が指針値を超過した可能性が考えられる。

#### 2) 臭気評価

自然系塗料の25時間時において、木材と比較してアルミ板の非容認率が高かった要因として、アルミ板条件ではリラックス効果をもたらすセスキテルペン類の放散量が木材の約1/53倍であったことが考えられる。また、自然塗料である塗料III、IVにおいて非容認率が低かった要因として、塗料IIIではアルデヒド等の臭気寄与物質やTVOC放散量が少なかったことが考えられる。塗料IVでは、本条件においてAcetaldehydeの濃度が指針値を超過していた一方で、同様に比較的多く放散していたテルペン類のマスクング効果により、Acetaldehydeの刺激臭が緩和され、非容認率が低くなった可能性が考えられる。

木材へ構成成分の異なる天然系塗料を塗布したところ、自然系塗料と比較して自然塗料において、臭気評価による申告結果は非容認率が低い側となり知覚空気質評価は悪かった。主な要因として、自然系塗料ではAcetaldehydeなどの刺激臭を比較的多く放散していたことや、自然塗料では塗料IVではリラックス効果をもたらすテルペン類の放散量が多かったことが考えられる。

## E. 結論

### E-1 ISO-16000-33 (新規格案)

我が国が提案した精度の高いフタル酸エステル

類の測定・分析方法を国際規格化するためにISOのオンライン国際会議に参加した。フタル酸エステル類の測定・分析方法をISO 16000-33:2017「Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)」に新規提案し、現在、提案した測定分析方法がAnnex Bに追加された。今後の予定として、DISの投票のため、2022年末までにISO/DIS版を提出することが決定された。

## E-2

本研究では、天然系塗料の実態調査および構成成分の違いに基づく分類を行い、木材への天然系塗料の塗布が揮発性有機化合物の放散量および知覚空気質に与える影響を明らかにすることを目的として、室内における一般消費者によるDIY塗装を想定し実験を行った。天然系塗料4種類を木材とアルミニウム板に塗布したチャンバー試験と臭気評価実験を行った。

化学物質分析の結果、木材に塗料II、塗料IVを塗布した場合、全経過時刻においてAcetaldehydeが室内濃度指針値を超過した。乾燥過程における植物油中の亜麻仁油の酸化反応および塗料中のEthanolと木材中のADHの反応による放散促進が要因として考えられる。

また、臭気評価実験の結果、自然塗料と比較して自然系塗料の方が知覚空気質は悪い傾向があった。要因として、自然系塗料においては多く放散されていたNonanalやAcetaldehyde、2E1Hの刺激臭が知覚空気質悪化に寄与したと考えられる。

木材へ天然系塗料の塗装を行った際の化学物質の放散特性として、塗料中のアルコール類の有無や乾燥過程の酸化反応による二次生成物が放散されていることが示された。以上より、実際に木材に塗装した際の空気質評価を行うには、基材との反応性や塗料の構成成分の違いに基づく二次生成物を評価する必要があると考えられる。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

1) 稲坂まりな, 赤松奈美, 菅野颯馬, 池内宏維,

高橋秀介, 田崎未空, 金炫兌, 田辺新一, 異なる木材表面へのアルコール塗布がVOC放散量および知覚空気質に与える影響、日本建築学会環境系論文集、Vol.87、No.802、2022.12

2) 池内宏維, 富田奈歩, 赤松奈美, 新納稔樹, 田崎未空, 深和佑太, 金炫兌, 田辺新一, 木材への天然系塗料の塗布が揮発性有機化合物放散量および知覚空気質に与える影響、日本建築学会環境系論文集 投稿中

### 2. 学会発表

1) 赤松奈美, 池内宏維, 稲坂まりな, 小野田亮介, 松尾和弥, 田崎美空, 菅野颯馬, 金炫兌, 田辺新一, 木材表面へのアルコール清拭がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 第1報: 実験概要と化学物質分析の測定結果, 日本建築学会学術講演梗概集, Vol.2022, pp.1595-1596, 2022.9

2) 池内宏維, 赤松奈美, 稲坂まりな, 小野田亮介, 松尾和弥, 田崎美空, 菅野颯馬, 金炫兌, 田辺新一, 木材表面へのアルコール清拭がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 第2報: 実験概要と化学物質分析の測定結果, 日本建築学会学術講演梗概集, Vol.2022, pp.1597-1598, 2022.9

3) 赤松奈美, 池内宏維, 稲坂まりな, 菅野颯馬, 金炫兌, 田辺新一, 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 (第1報) アルコールの1回塗布によるチャンバー実験結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (神戸), pp.9-12, 2022.9

4) 池内宏維, 赤松奈美, 稲坂まりな, 菅野颯馬, 金炫兌, 田辺新一, 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 (第2報) アルコールの繰り返し噴霧によるチャンバー実験結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (神戸), pp.13-16, 2022.9

5) Kosuke Ikeuchi, Nami Akamatsu, Marina Inasaka, Soma Sugano, Hyuntae Kim, Shin-ichi Tanabe, Effects of Applying Alcohol to Wood on Acetaldehyde Emissions, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, 2022.6

**G. 知的所有権の取得状況**

**1. 特許取得**

なし

**2. 実用新案登録**

なし

**3. その他**

なし

表 1 塗料条件

分類	構成成分		仕様書上の 乾燥時間	実験上 の乾燥 段階	塗布面積 当り の塗布量	
	表示成分 (各メーカーHP)	SDS				
自然系	I	ひまわり油、 大豆油、アザミ油 カルナバワックス 白色ミネラルオイル	脂肪族炭化水素/30-60%	約12 h	12 h	0.5 mL
	II	亜麻仁油	2-エチルヘキサン酸コバルト/0-1% メタノール/0-1% メチルエチルケトオキシム/1-5%	24 h 以上	24 h	0.4 mL
自然	III	米ぬか 100%自然	コメヌカ油/50- メドウフォーム油/100%	2~4 h (指触乾燥)	6 h	0.3 mL
	IV	水、亜麻仁油、ヒマシ油 オレンジ油など 天然成分 100%	エタノール/1-10%	3 h (指触乾燥)	6 h	0.8 mL

表 2 チャンバー条件

項目	内容	
試験板	スギ材、アルミニウム板(対照条件)	
試験板条件	スギ材	160 mm×160 mm×10 mm
	アルミニウム板	150 mm×150 mm×6 mm
塗布条件	製造者の指定する方法に則る	
養生条件	温湿度	なりゆき
	期間	約1時間
測定条件	温湿度	(28±1) °C、(50±5) %RH
	換気回数	0.5±0.05 回/h
測定回数	スギ材	塗料塗布後 6, 12, 24時間時の3回
	アルミニウム板	塗料塗布後 24時間時の1回
試料負荷率	0.4 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> (塗布面積 89 mm×89 mm)	
捕集方法	DNPHカートリッジ、Tenax TA吸着管	
測定装置	高速液体クロマトグラフ 加熱脱着装置-GC-質量分析計	

表3 チャンバー内化学物質分析結果

赤字：嗅覚閾値を超過した値      緑色：室内濃度指針値を超過した値      青色：その他の指針値を超過した値      灰色：定量下限値未満の値																									
化学物質	木材															アルミ板					嗅覚 閾値	室内 濃度 指針値	LCI	AgBB GV I	急性曝露指針値 (AEGLはLEVEL1)
	6時間時					12時間時					24時間時					24時間時									
	無塗装	塗料I	塗料II	塗料III	塗料IV	無塗装	塗料I	塗料II	塗料III	塗料IV	無塗装	塗料I	塗料II	塗料III	塗料IV	無塗装	塗料I	塗料II	塗料III	塗料IV					
Toluene	12.5	12.4	10.0	2.8	3.2	8.0	8.4	7.3	2.8	2.8	3.6	3.9	4.1	2.6	2.4	3.2	2.8	3.1	<2.0	<2.0	1.46	260	2900	300	2.57×10 <sup>5</sup> (AEGL_30min)
Xylene	<2.0	10.9	3.6	<2.0	<2.0	<2.0	4.4	2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	1.68	200	500	100	5.74×10 <sup>5</sup> (AEGL_30min)	
α-Pinene	11.0	<2.0	6.9	5.2	300	7.8	2.9	5.5	5.3	116	4.7	2.9	3.8	5.2	57.9	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3.8	0.10	-	2500	200	-
β-Pinene	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	158	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	62.1	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	25.5	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	0.19	-	1400	-	-
Limonene	5.4	25.6	6.4	4.3	7530	4.0	13.5	6.9	2.8	2970	2.4	5.0	4.3	2.4	1250	<2.0	<2.0	4.7	<2.0	78.8	0.22	-	5000	1000	-
Nonanal	3.3	90.8	40.5	4.9	5.4	4.8	35.7	46.3	5.7	4.2	2.4	<2.0	48.0	5.5	5.2	<2.0	5.9	45.8	2.9	2.7	2.0	41(案)	900	-	-
Dodecane	<2.0	26900	11.3	12.2	22.5	<2.0	16500	4.4	10.9	15.7	<2.0	6960	2.4	7.6	9.0	<2.0	4070	<2.0	168	5.7	0.78	-	-	-	1.01×10 <sup>6</sup> (SDS_8h)
Hexane	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.3	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.5	<2.0	<2.0	<2.0	5.38	-	4300	-	-
2-Ethyl -1-Hexanol	20.9	39.1	15.6	14.4	16.1	20.1	25.1	13.9	16.5	15.3	11.9	12.8	11.0	16.1	15.0	10.1	7.1	8.7	9.1	7.4	0.07	130(案)	300	100	1.21×10 <sup>6</sup> (厚労省_6h)
Total content of monoterpens	20.8	<2.0	10.5	19.3	9230	24.5	<2.0	17.0	14.2	3780	10.5	9.3	11.9	2.7	1500	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	118	-	-	-	-	-
Total content of sesquiterpens	13700	2030	2740	2180	2700	10400	2070	2080	2470	3170	9390	3570	1930	3170	5780	178	204	190	265	198	-	-	-	-	-
TVOC	16300	493000	9220	2650	14500	12400	275000	7740	2930	8800	10800	58300	4510	4250	7990	272	31100	3740	1530	399	-	400	-	-	-
Formaldehyde	6.3	5.7	61.3	4.8	4.4	4.8	4.7	77.9	4.0	3.2	4.0	4.9	35.1	3.7	2.8	0	2.8	19.9	2.3	<2.0	6.24×10 <sup>2</sup>	100	100	100	6.24×10 <sup>3</sup> (産衛誌_33min)
Acetaldehyde	14.8	12.8	239	9.3	196	12.7	12.7	282	9.0	112	10.7	11.7	130	8.4	63.5	<2.0	4.0	154	<2.0	<2.0	2.75	48	300	100	9.17×10 <sup>4</sup> (環境省_4h)
Methyl ethyl ketone	<2.0	<2.0	966	<2.0	<2.0	2.3	<2.0	485	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	149	2.2	<2.0	<2.0	<2.0	83.6	<2.0	<2.0	1.32	-	20000	-	6.00×10 <sup>5</sup> (AEGL_30min)
Acetone	9.3	8.3	44.8	10.1	7.4	7.2	<2.0	79.3	7.6	6.9	6.8	7.2	45.6	7.8	7.5	2.1	2.8	10.5	4.1	3.2	1.02×10 <sup>5</sup>	-	1E+05	53000	5.10×10 <sup>5</sup> (SDS_8h)

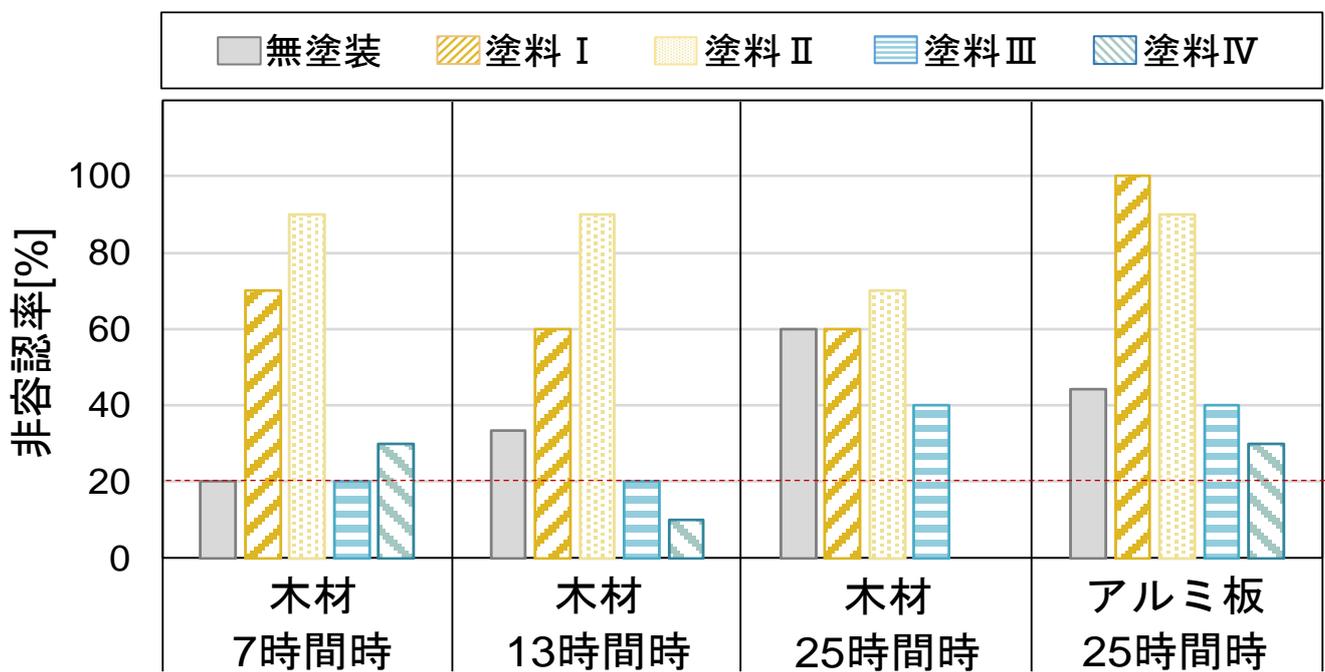


図 1 非容認率の推移

室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

研究分担者 金 炫兌 山口大学大学院創成科学研究科 助教

**研究要旨：**マイクロチャンバー法(JIS A 1904)は建材からのSVOC放散速度の測定が出来る。しかし、実空間における仕上げ材からのSVOC放散速度測定法はまだ定められていない。本研究ではマイクロチャンバーを用いた現場測定方法を開発し、実空間における仕上げ材からのSVOC放散速度測定が出来る測定装置を開発した。今年度は、実空間の床材と壁材の温度変化がSVOC放散速度に及ぼす影響を明らかにするため、夏期・冬期における床材と壁材からのSVOC放散速度を測定した。また、家具・家電製品等の仕上げ材からのSVOC放散速度を測定した。現場測定の結果、仕上げ材からのSVOC物質の放散は夏期に比べ、冬期に減少する傾向が見られ、仕上げ材表面温度によるSVOC放散速度の違いが確認出来た。仕上げ材の表面温度が低下すると、建材に含有している可塑剤の内部拡散が遅くなることと、建材の表面に可塑剤が染み出てもガス状にならず建材表面に凝縮する可能性が考えられる。また、家電製品表面からのSVOCの放散が確認された。今後、家具などの表面からのSVOC放散量を測定し、現場測定方法の活用範囲を拡大したい。

#### A. 研究目的

室内の有害化学物質としては、高揮発性有機化合物(Very Volatile Organic Compounds: VVOC)や揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds: VOC)といった比較的揮発しやすい物質がある。しかし、準揮発性有機化合物(Semi-Volatile Organic Compounds: SVOC)は揮発性が低いため、気中よりハウスダストや室内の表面に付着する性質を持ち、呼吸・経口摂取・経皮吸収等三つの経路によって体内に吸収されることが報告されている。

マイクロチャンバー法(JIS A 1904)は建材からのSVOC放散速度の測定が可能であるが、実空間における仕上げ材からの放散速度測定が困難である。そのため、マイクロチャンバーを用いて現場測定方法を開発している。2018～2019年度の研究では、バックグラウンド実験などの基礎実験や、マイクロチャンバー法と現場測定方法との整合性実験を行い、2020年度には開発された現場測定方法を用いて実空間における床材からのSVOC放散速度実験を行った。2021年度には、マイクロチャンバーを壁面に固定する装置を開発し、床材のみ

ではなく、壁材からのSVOC放散速度の測定も可能になった。

今年度は、住宅における床材と壁材の温度変化がSVOC放散速度に及ぼす影響を明らかにするため、夏期・冬期における床材と壁材からのSVOC放散速度を測定した。また、家具・家電製品等の仕上げ材からのSVOC放散速度を測定した。

#### B. 研究方法

##### 1)マイクロチャンバー法(JIS A 1904)

図1にマイクロチャンバーのイメージ図を、表1に放散捕集試験の測定条件を、表2に加熱脱着試験の測定条件を示す。マイクロチャンバーの容積は630ml(±5%)であり、入口直前にベントラインを設けることにより蓋と建材の隙間から外気がチャンバーの中に入らないようにコンタミ対策が設けられている。

マイクロチャンバーの測定手順及び試験片について以下に述べる。測定開始前にマイクロチャンバーを解体し、水で洗浄した。その後、マイクロチャンバー内に残存している測定対象化学物質を揮

発させるために加熱装置を用いて、1時間220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、マイクロチャンバーを常温まで冷却させる。試験片は端部及び裏面をアルミ箔でシールをし、蓋と試験片が直接に接触しないようにした。図2に試験片の写真を示す。試験片をチャンバーの蓋と容器の間に挟んで、建材表面からのSVOC物質放散の測定を行った。マイクロチャンバー内に試験片を設置した時点で放散試験を開始する。放散試験は28°Cの恒温槽で24時間行った。

放散試験後には加熱脱着試験を行った。放散試験に使用した試験片をチャンバーから取り外した後、加熱脱着装置にマイクロチャンバーを設置し、チャンバー内表面に付着しているSVOCを加熱脱着した。加熱脱着は220°Cで、1時間行った。加熱脱着されたSVOC物質はTenax TA捕集管を用いて回収した。

## 2)現場測定方法

図3に現場測定方法の装置構成図を示す。測定条件はマイクロチャンバー測定方法と同様であるが、室内の温度と相対湿度は測定場所によって異なる。現場測定機には2つのポンプが設置されており、1つは30(mL/min)の空気を供給、もう1つのポンプは15(mL/min)を吸引するように調整している。また、供給側の前にはベントライン(15mL/min)を設けることで、マイクロチャンバー法と同様にマイクロチャンバーと仕上げ材の隙間からコンタミが生じない様にしている。図4に床面における現場測定の測定手順を示す。

測定開始前に、マイクロチャンバー内に付着しているSVOC物質を脱着するため、加熱装置を用いて1時間220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、ステンレス材で制作した運搬専用箱にマイクロチャンバーを入れ、測定現場まで運搬した。測定現場に到着後、測定場所を選択し、汚染されている床面および壁面をエタノールで拭き取った後、測定表面を乾燥させた。その後、直径82mmの正円形を切り取ったアルミホイルを敷き、その上にマイクロチャンバーを設置した。また、測定表面にサーモレコーダーRTW-30Sの温度センサを当て、ア

ルミテープで固定した。マイクロチャンバーを設置してから24時間床面および壁面からの放散実験を行った。その後、マイクロチャンバーを床面から取り外し、ステンレス製ボックスに入れて実験室に持ち帰る。放散実験が終了したマイクロチャンバーは加熱脱着装置にて加熱脱着試験を行い、チャンバー内表面に付着しているSVOC物質を回収した。また、サーモレコーダーRTW-30Sで測定・記録したデータをサーモコレクターRTC-21で収集した。表3に表面温度測定機と測定条件、図5に床面における現場測定方法による測定の様子を示す。

## 3)壁面のマイクロチャンバー固定装置

図6に壁面のマイクロチャンバー固定装置のイメージ図を示す。12kg程度のステンレス板のベースに、長さ30cmのアルミ丸棒をナットで取り付け、アルミ丸棒とマイクロチャンバーの間にばねを用いてマイクロチャンバーを壁面に固定する。マイクロチャンバーを固定する高さは5cm~30cmの間で自由に変えられる。マイクロチャンバーを壁面に固定する際には2kg以上の荷重をかけ、室内の空気がマイクロチャンバー内に流れないようにする必要がある。基礎実験によると、マイクロチャンバーを固定するために使用したばねを106mmから95mmまで11mm以上縮めることで、2kg以上の荷重がかけられることが確認できた。図7に壁面における現場測定方法の装置構成図を示す。図8に壁面における現場測定の測定手順を示す。図9に壁面における現場測定方法による測定の様子を示す。マイクロチャンバーの前処理、現場までの運搬などは床材からのSVOC放散速度と同様である。

## 4)分析対象物質及び分析条件

分析対象物質は、2E1H(2-エチル-1-ヘキサノール)、2EHA(2-エチルヘキシルアクリレート)、BHT(ブチル化ヒドロキシトルエン)、DEP(フタル酸ジエチル)、TBP(リン酸トリブチル)、TCEP(リン酸トリス)、DBA(アジピン酸ジブチル)、DBP(フタル酸ジ-n-ブチル)、TPP(リン酸トリフェニル)、DOA(アジピン酸ジオクチル)、DEHP(フタル酸ジ

-2-エチルヘキシル)、TEXANOL(テキサノール)、TXIB(2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオール ジイソブチラート)、DNOP(フタル酸ジ-n-オクチル)、DINP(フタル酸ジイソノニル)、DIDP(フタル酸ジイソデシル)、DEHT(テレフタル酸ジオクチル)、NP(ノニルフェノール)、UV-320(2-(2H-1,2,3-ベンゾトリアゾール-2-イル)-4,6-ジ-tert-ブチルフェノール)、UV-326(2-(tert-ブチル)-4-メチル-6-(5-クロロ-2H-1,2,3-ベンゾトリアゾール-2-イル)フェノール)、UV-327(2,4-ジ-tert-ブチル-6-(5-クロロ-2H-1,2,3-ベンゾトリアゾール-2-イル)フェノール)、UV-328(2-(2H-1,2,3-ベンゾトリアゾール-2-イル)-4,6-ジ-tert-ペンチルフェノール)である。表4にTenax TA捕集管の加熱脱着条件、表5にGC/MSの分析条件を示す。

#### 5)測定対象住宅

現場測定方法により、住宅の床面と壁面に使用されている建材からのSVOC放散速度を測定した。測定対象住宅は4軒である。表6に測定対象住宅の概要を示す。

#### 6)測定対象家具・家電製品

現場測定方法により、住宅で使用されている家具・家電製品の仕上げ材からのSVOC放散速度を測定した。測定対象家具・家電製品は6件である。表7に測定対象家具・家電製品の概要を示す。図10に家具・家電製品における現場測定方法による測定の様子を示す。

### C. 研究結果

表8に建材測定面の表面温度、表9にSVOC放散速度の測定結果を示す。夏期・冬期に測定した全ての仕上げ材の平均表面温度は各々28.8°C、18.6°Cであり、夏期と冬期の平均表面温度差は10.3°Cであった。また、夏期と冬期の表面温度差は床面・壁面ともにC邸において最も大きく、各々13.9°C、13.8°Cであった。現場測定の結果から、2E1H、TEXANOL、BHT、DEP、TXIB、NP、TCEP、DBA、DBP、DEHP、DEHTが検出された。その他の化学物質は検出限界<5(ng)以下であった。検出

頻度が高かった2E1H、TEXANOL、TXIB、DEHPについて測定結果を示す。

#### 1)夏期の測定結果

##### 1.床面 SVOC 放散速度

2E1Hは全ての住宅で検出され、フローリング材を使用したD邸において最大値5.45( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は3.24( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。TEXANOLは4軒中3軒で検出され、塩化ビニルシートを使用したC邸において最大値2.92( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は1.12( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。TXIBは4軒中3軒で検出され、塩化ビニルシートを使用したC邸において最大値0.51( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.37( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。DEHPは4軒中2軒で検出され、塩化ビニルシートを使用したC邸において最大値0.48( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.35( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。

##### 2.壁面 SVOC 放散速度

2E1Hは全ての住宅で検出され、PVCクロスを使用したB邸において最大値3.39( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は2.13( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。TEXANOLは4軒中3軒で検出され、PVCクロスを使用したC邸において最大値0.87( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.62( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。TXIBは全ての住宅で検出され、PVCクロスを使用したD邸において最大値0.51( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.26( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。DEHPは4軒中3軒で検出され、PVCクロスを使用したB邸において最大値0.23( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.14( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。

#### 2)冬期の測定結果

##### 1.床面 SVOC 放散速度

2E1Hは全ての住宅で検出され、フローリング材を使用したD邸において最大値0.95( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は0.78( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。TEXANOLは塩化ビニルシートを使用したC邸でのみ検出され、0.12( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。TXIBはフローリング材を使用したB邸でのみ検出され、

0.13( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。DEHP は全ての住宅において検出されなかった。

## 2. 壁面 SVOC 放散速度

2E1H は全ての住宅で検出され、PVC クロスを使用した D 邸において最大値 1.66( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定された。平均放散速度は 0.94( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。

TEXANOL、TXIB、DEHP については全ての住宅において検出されなかった。

## 3) 夏期と冬期の測定結果の比較

図 11、図 12、図 13、図 14 に 2E1H、TEXANOL、TXIB、DEHP の夏期と冬期における放散速度の測定結果の比較を示す。

2E1H の場合、床面については C 邸で冬期の放散速度が夏期に比して最も大きく減少し、83.3%減少した。また、その他の住宅においても 37.3~82.6%の減少がみられた。壁面については B 邸で 76.7%の減少がみられ、その他の住宅においも 8.4~63.5%の減少がみられた。TEXANOL の場合、床面については C 邸で冬期の放散速度が夏期に比して 95.9%減少した。壁面については夏期の測定では B、C、D 邸の壁面から TEXANOL が放散されたが、冬期の測定では検出限界以下であった。TXIB の場合、床面については B 邸で冬期の放散速度が夏期に比して 23.5%減少した。壁面については夏期の測定では全ての住宅の壁面から TXIB が放散されたが、冬期の測定では検出限界以下であった。DEHP については、夏期の測定では B 邸の壁面、C、D 邸の床面と壁面から DEHP が放散されたが、冬期の測定ではいずれも検出限界以下であった。

## 4) 家具・家電製品の仕上げ材からの SVOC 放散速度

表 10 に家電製品表面における SVOC 放散速度の測定結果を示す。現場測定の結果から、2E1H、TEXANOL、TXIB、NP、DBP、DEHP が検出された。その他の化学物質は検出限界 $<5(\text{ng})$ 以下であった。検出頻度は 2E1H、DBP が 100%であり、TEXANOL、TXIB、NP、DEHP が各々 66.7%であった。図 15~図 20 に 2E1H、TEXANOL、TXIB、NP、DBP、DEHP の放散速度を示す。

2E1H は全ての家電製品から検出され、放散速度は 0.29~0.79( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。最大値は表面が塗装処理されたテレビ(背面)で測定され、最小値の冷蔵庫の約 2.7 倍の放散速度であった。TEXANOL は冷蔵庫、洗濯機、モニター(前面)及びモニター(背面)の 4 種類の家電製品から検出されたが、最大値 0.13( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )は表面が塗装処理された洗濯機で測定され、モニター(前面)での最小値 0.06( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )の約 2.2 倍であった。TXIB は TEXANOL 同様の 4 種類の家電製品から検出された。表面がペイント塗装の冷蔵庫において最大値 0.66( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定され、モニター(前面)での最小値 0.07( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )の約 9.4 倍の放散速度であった。TXIB はポリ塩化ビニル(PVC)の可塑剤として使用されているが、冷蔵庫の表面にプラスチックの塗装がされている可能性が考えられる。主に界面活性剤の合成原料として使用される NP は冷蔵庫、洗濯機、テレビ(背面)及びモニター(背面)の 4 種類の家電製品から検出された。モニター(背面)で最大値 0.13( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定されたが、テレビ(背面)での 0.05( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )の 2.6 倍であった。DBP は全ての家電製品から検出され、放散速度は 0.07~0.60( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )であった。最大値は表面が塗装処理された洗濯機で測定され、最小値である電子レンジからの放散速度の約 8.6 倍であった。DEHP は冷蔵庫、洗濯機、モニター(前面)及びモニター(背面)の 4 種類の家電製品から検出された。冷蔵庫で最大値 0.30( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )が測定され、洗濯機での最小値 0.13( $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )の約 2.3 倍であった。

## D. 考察

現場測定の結果、沸点の高い SVOC 物質は夏期に比べ、冬期において放散速度が減少することが分かった。特に、TEXANOL、TXIB、DEHP は表面温度による放散速度の非常に低くなることを確認した。この理由としては、冬期には仕上げ材の表面温度が低下することによって建材の内部に含有している可塑剤の内部拡散が遅くなることが考えられる。また、可塑剤が建材の表面に染み出てもガス状にならず建材表面に凝縮(ブリードアウト)し、建材表面の SVOC 濃度は高い可能性がある。

る。そのため、今後の研究として、PVC建材表面温度の変化によるSVOC放散速度と表面ブリードアウト濃度の測定が必要である。

また、家電製品表面からのSVOC放散速度測定を測定した結果、2E1H、TEXANOL、TXIB、NP、DBP、DEHPが検出された。冷蔵庫やモニター(前面)の表面からもSVOC物質が検出されたが、冷蔵庫に関しては表面に処理された塗料、モニター(前面)に関しては液晶ディスプレイの偏光板に使用される合成樹脂から放散された可能性が考えられる。一方で、仕上げ材からのSVOC放散速度よりは低く測定された。この理由としては、製品の生産年度が10年以上過ぎていることが考えられる。今後、新品製品を購入し、SVOC放散速度を測定する。また、家具などの室内生活用便からのSVOC放散速度を測定することで、現場測定方法の活用範囲を拡大したい。

## E. 結論

本研究では、現場測定方法を用いて夏期・冬期における床材・壁材からのSVOC放散速度測定を行い、仕上げ材表面温度がSVOC放散速度に及ぼす影響を調べた。また、現場測定方法の測定範囲を広げるため、家電製品の表面からのSVOC放散速度測定を行った。現場測定の結果、仕上げ材からのSVOC物質の放散は夏期に比べ、冬期に減少する傾向が見られ、仕上げ材表面温度によるSVOC放散速度の違いが確認出来た。仕上げ材の表面温度が低下すると、建材に含有している可塑剤の内部拡散が遅くなることと、建材の表面に可塑剤が染み出てもガス状にならず建材表面に凝縮する可能性が考えられる。また、家電製品表面からのSVOC放散の放散が確認された。今後、家具などの表面からのSVOC放散量を測定し、現場測定方法の活用範囲を拡大したい。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

### 2. 学会発表

1) 益崎慶人、金炫兌、小金井真、田辺新一、実

空間モデルにおける可塑剤からのSVOC放散挙動に関する実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(神戸)、pp.129-132、2022.9

2) 田崎健悟、金炫兌、小金井真、益崎慶人、田辺新一、一般住宅における床材・壁材からのSVOC放散量の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1589-1590、2022.9

3) 田崎健悟、金炫兌、小金井真、田邊慶宗、益崎慶人、田辺新一、現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定-家電製品表面からのSVOC放散速度測定、日本建築学会中国支部研究報告集、第46巻、pp.407-410、2023.3

4) 田邊慶宗、金炫兌、小金井真、田崎健悟、益崎慶人、田辺新一、現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定 -夏期・冬期における床材・壁材からのSVOC放散量の測定、日本建築学会中国支部研究報告集、第46巻、pp.403-406、2023.3

5) 益崎慶人、金炫兌、小金井真、田崎健悟、田辺新一、建材からのSVOC放散速度と気中濃度との相関性に関する研究、日本建築学会中国支部研究報告集、第46巻、pp.399-402、2023.3

6) 細田実里、金炫兌、小金井真、益崎慶人、田崎健悟、住宅及び大学施設における空気中の準揮発性有機化合物(SVOC)濃度の測定、日本建築学会中国支部研究報告集、第46巻、pp.395-398、2023.3

## G. 知的所有権の取得状況

### 1. 特許取得

無し

### 2. 実用新案登録

無し

### 3. その他

無し

表一覧

表 1 放散捕集試験の測定条件

チャンバー容積	630ml
時間	24h
吸引流量	30ml/s×24h=43.2L
ベント流量	15ml/s
MC 供給流量	15ml/s
捕集管	Tenax TA (60/80mesh) 充填

表 2 加熱脱着試験の測定条件(MSTD-258M)

加熱脱着温度	30°C (5min)-(20°C/min) -220°C (40min)
供給ガス流量(He)	90 ml/min
吸引流量	60 ml/min
サンプリング時間	60 min
捕集管	Tanex TA(60/80 mesh)

表 3 表面温度測定機と測定条件

使用機器	サーモレコーダー RTW-30S
測定精度	平均±0.3°C(-20°C~80°C)
温度センサ	-60°C~155°C (外付)
測定・表示分解能	0.1°C
センサ	サーミスタ
記録間隔	10 秒

表 4 加熱脱着の条件(GERSTEL TDS A)

加熱脱着条件	280 °C (10 min)
トラップ温度	-60 °C
注入温度	325 °C (5 min)

表 5 GC/MS の分析条件

使用機器(GC/MS)	Agilent 6890N / 5973 inert
カラム	Inert Cap 1MS 30m×0.25mm×0.25µm
GC オープン温度	50°C(2min)→10°C/min→320°C(5min)
スプリット比	低濃度 : splitless、高濃度 : 50 : 1
測定モード	SCAN
SCAN パラメータ	m/z 29(Low)~550(High)
検出器温度	230°C

表 6 測定対象住宅の概要

対象住宅	床材	壁材	延床面積	築年数
A	フローリング	壁紙(紙クロス)	27.0 m <sup>2</sup>	32 年
B	フローリング	壁紙(PVC クロス)	26.3 m <sup>2</sup>	12 年
C	PVC シート	壁紙(PVC クロス)	27.8 m <sup>2</sup>	18 年
D	フローリング	壁紙(PVC クロス)	26.0 m <sup>2</sup>	28 年

表 7 測定対象家電製品の概要

対象家電製品	仕上げ材	メーカー	型式番号	製造年
冷蔵庫	塗装(ペイント)	Abitelax	AR-150E	2018 年
洗濯機	塗装	TOSHIBA	AW-5G6(W)	2017 年
電子レンジ	塗装(ペイント)	SHARP	RE-SX20-H	2007 年
テレビ(背面)	塗装	TOSHIBA	19RE1S	2010 年
PC モニター(前面)	合成樹脂	acer	S231HL	2012 年
PC モニター(背面)	塗装	acer	S231HL	2012 年

表 8 建材測定面の表面温度 [°C]

	A 邸		B 邸		C 邸		D 邸	
	床	壁	床	壁	床	壁	床	壁
夏期	28.5	29.5	27.4	29.9	29.2	30.7	27.5	27.9
冬期	21.6	23.3	15.8	16.5	15.3	16.9	18.6	20.5
ΔT	6.9	6.2	11.6	13.4	13.9	13.8	8.9	7.4

表 9 床面と壁面における SVOC 放散速度測定結果 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]

物質名	A 邸				B 邸				C 邸				D 邸				平均			
	床		壁		床		壁		床		壁		床		壁		床		壁	
	夏期	冬期																		
2E1H	1.10	0.69	0.95	0.87	1.18	0.62	3.39	0.79	5.21	0.87	1.26	0.46	5.45	0.95	2.92	1.66	3.24	0.78	2.13	0.94
TEXANOL	—	—	—	—	0.11	—	0.66	—	2.92	0.12	0.87	—	0.32	—	0.33	—	1.12	0.12	0.62	—
TXIB	—	—	0.06	—	0.17	0.13	0.22	—	0.51	—	0.24	—	0.43	—	0.51	—	0.37	0.13	0.26	—
DEHP	—	—	—	—	—	—	0.23	—	0.48	—	0.07	—	0.21	—	0.13	—	0.35	—	0.14	—

— : 検出限界 < 5(ng)以下

表 10 家電製品の表面における SVOC 放散速度測定結果 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]

物質名	冷蔵庫	洗濯機	電子レンジ	テレビ (背面)	モニター (前面)	モニター (背面)	平均	検出頻度 (%)
2E1H	0.29	0.47	0.54	0.79	0.62	0.57	0.55	100
TEXANOL	0.09	0.13	—	—	0.06	0.07	0.09	66.7
TXIB	0.66	0.54	—	—	0.07	0.12	0.35	66.7
NP	0.07	0.09	—	0.05	—	0.13	0.09	66.7
DBP	0.26	0.60	0.07	0.12	0.17	0.26	0.25	100
DEHP	0.30	0.13	—	—	0.28	0.20	0.22	66.7

— : 検出限界 < 5(ng)以下

図一覧

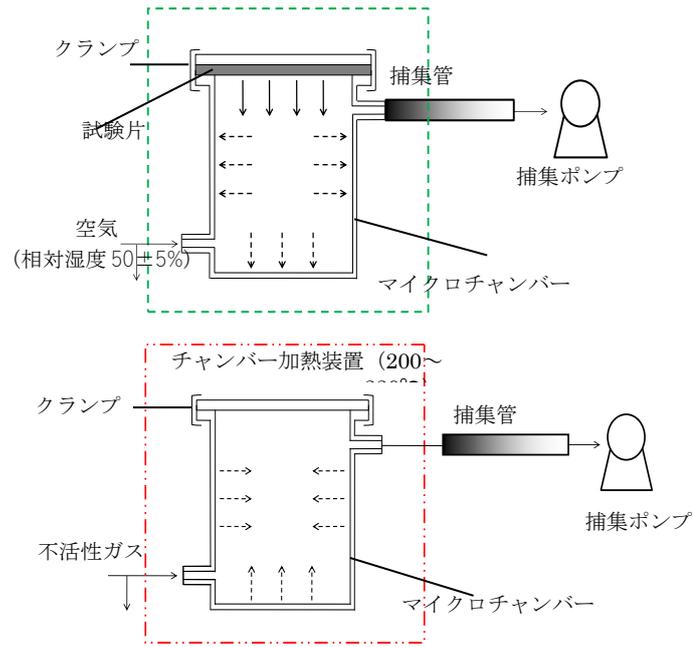


図 1 マイクロチャンバー法のイメージ図

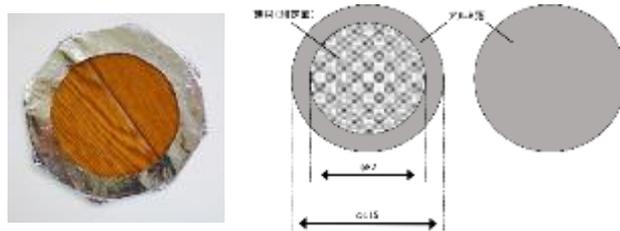


図 2 試験片の写真

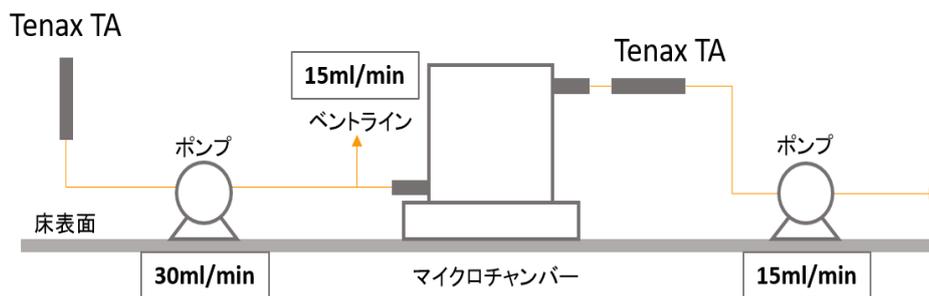
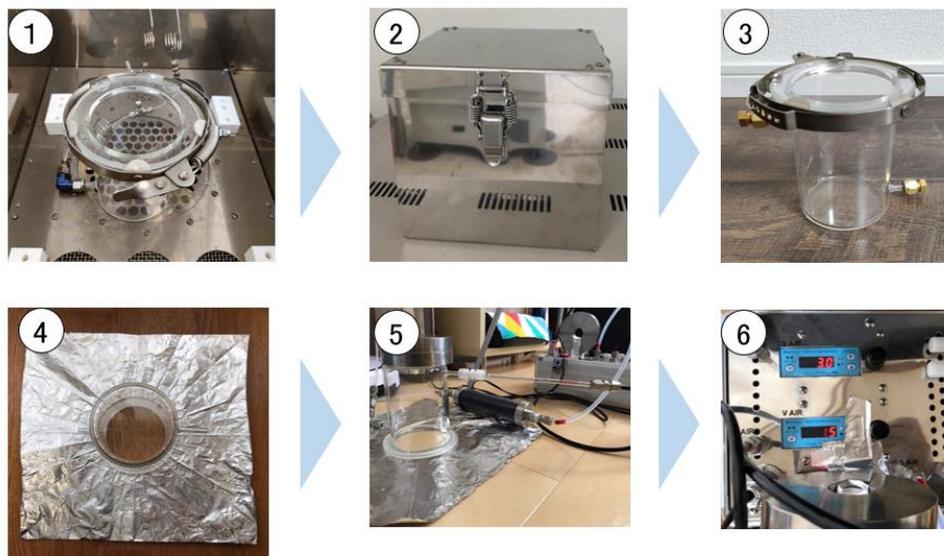
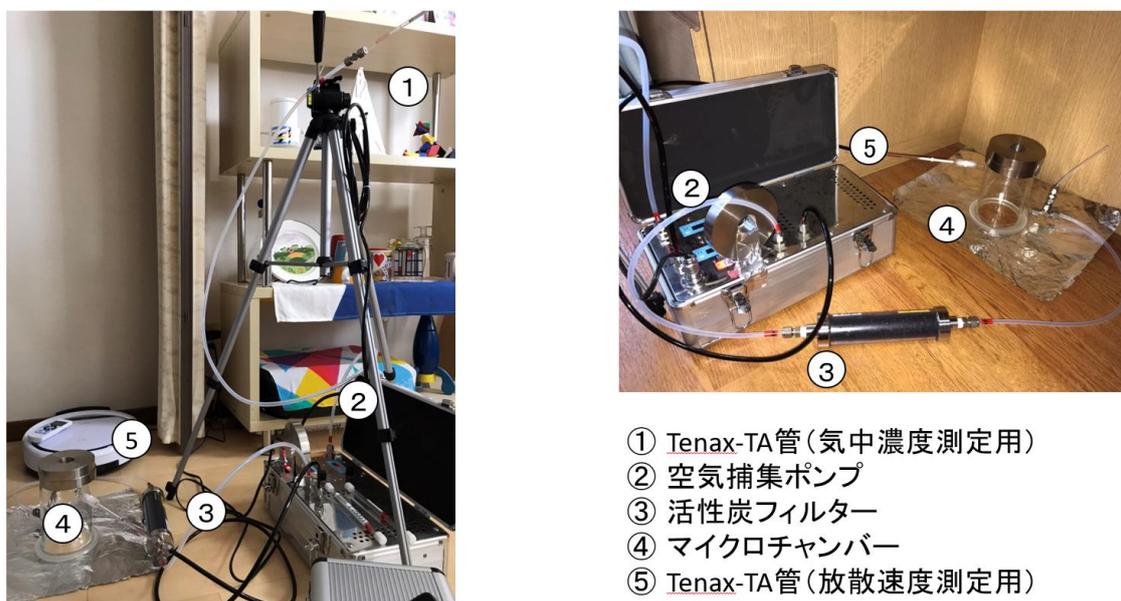


図 3 現場測定方法の装置構成図



- ① マイクロチャンバーに残存する化学物質を加熱処理で取り除く。
- ② 加熱処理終了後、マイクロチャンバーをステンレス製運搬ボックスに入れ、測定現場に運搬する。
- ③ マイクロチャンバーをステンレス製運搬ボックスから取り出し、測定準備を行う。
- ④ 測定を行う床面をエタノールで拭き取り、アルミホイルを敷いた上にマイクロチャンバーを設置する。
- ⑤ マイクロチャンバーに空気捕集ポンプ、Tenax TA捕集管、活性炭入りフィルターを接続する。
- ⑥ 空気捕集ポンプの電源を入れ、供給流量を30ml/min、吸引流量を15ml/minに調整し、24時間測定を行う。

図4 床面における現場測定の測定手順



- ① Tenax-TA管(気中濃度測定用)
- ② 空気捕集ポンプ
- ③ 活性炭フィルター
- ④ マイクロチャンバー
- ⑤ Tenax-TA管(放散速度測定用)

図5 床面における現場測定の測定様子

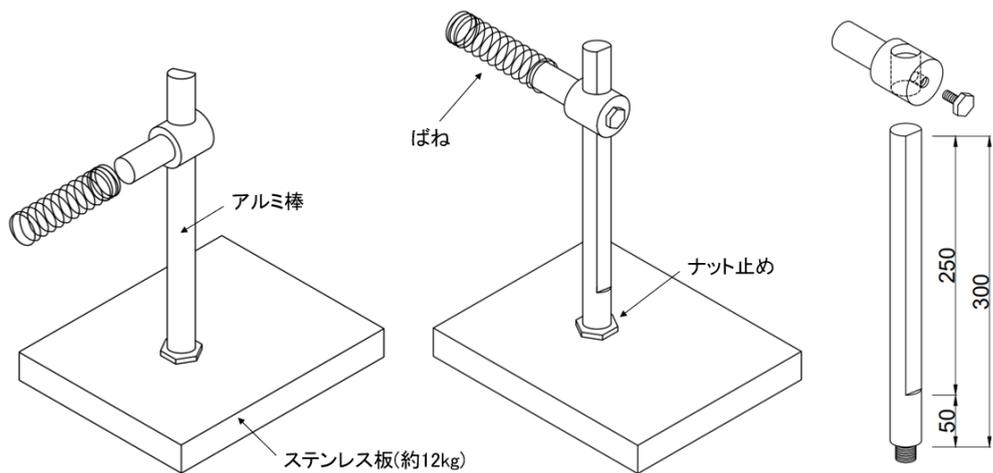


図6 マイクロチャンバー固定装置のイメージ図

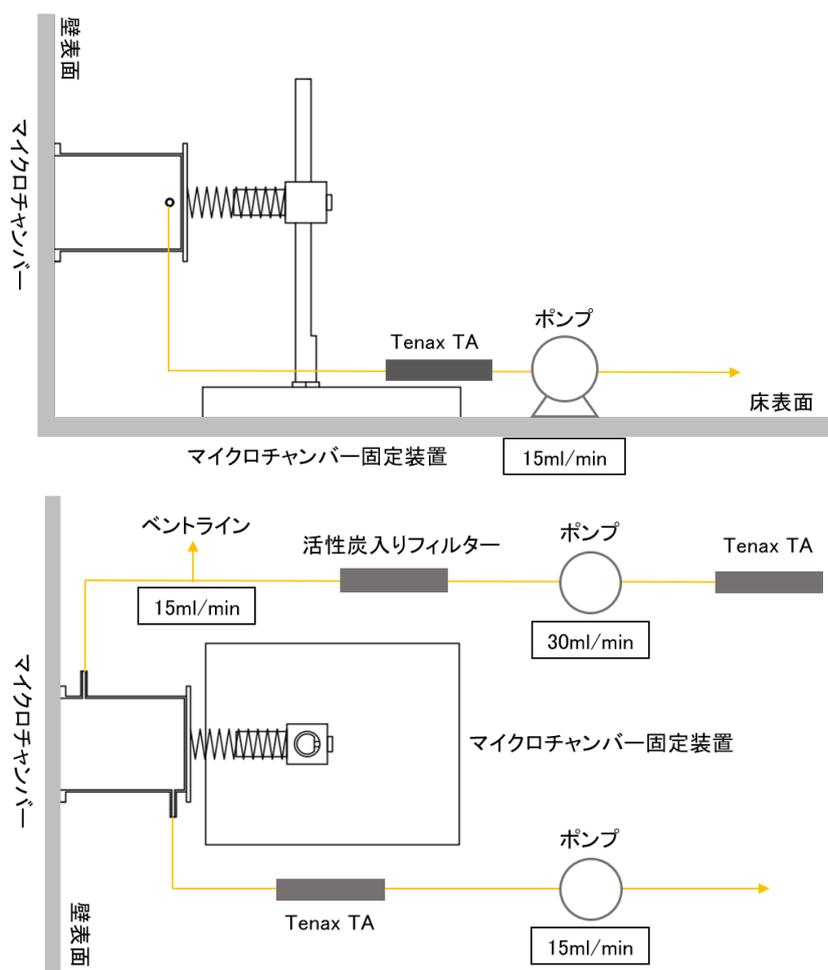
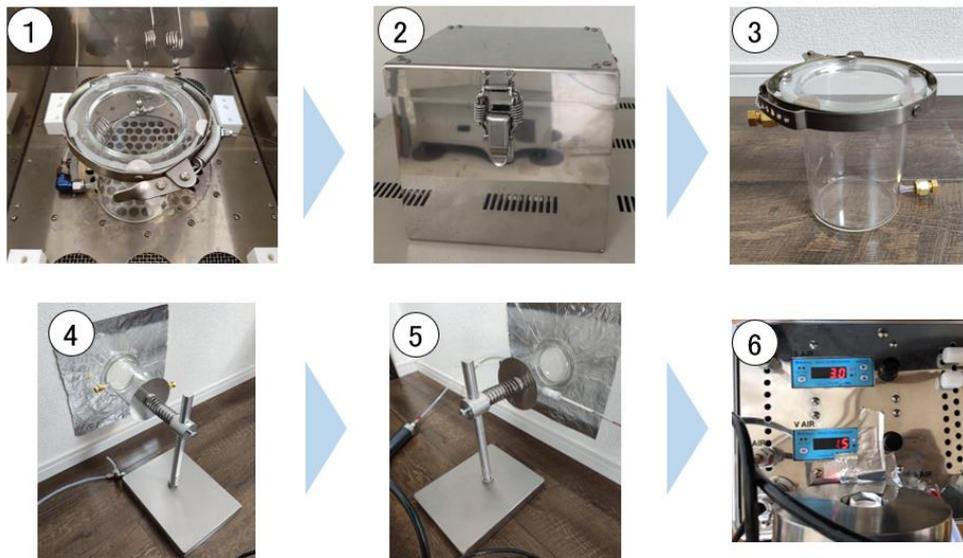


図7 壁面における現場測定方法の装置構成図



- ①マイクロチャンバーに残存する化学物質を加熱処理で取り除く。
- ②加熱処理終了後、マイクロチャンバーをステンレス製運搬ボックスに入れ、測定現場に運搬する。
- ③マイクロチャンバーをステンレス製運搬ボックスから取り出し、測定準備を行う。
- ④測定を行う壁面をエタノールで拭き取り、アルミホイルを貼り付けた上にマイクロチャンバーを設置する。
- ⑤マイクロチャンバーに空気捕集ポンプ、Tenax TA捕集管、活性炭入りフィルターを接続する。
- ⑥空気捕集ポンプの電源を入れ、供給流量を30ml/min、吸引流量を15ml/minに調整し、24時間測定を行う。

図 8 壁面における現場測定の測定手順

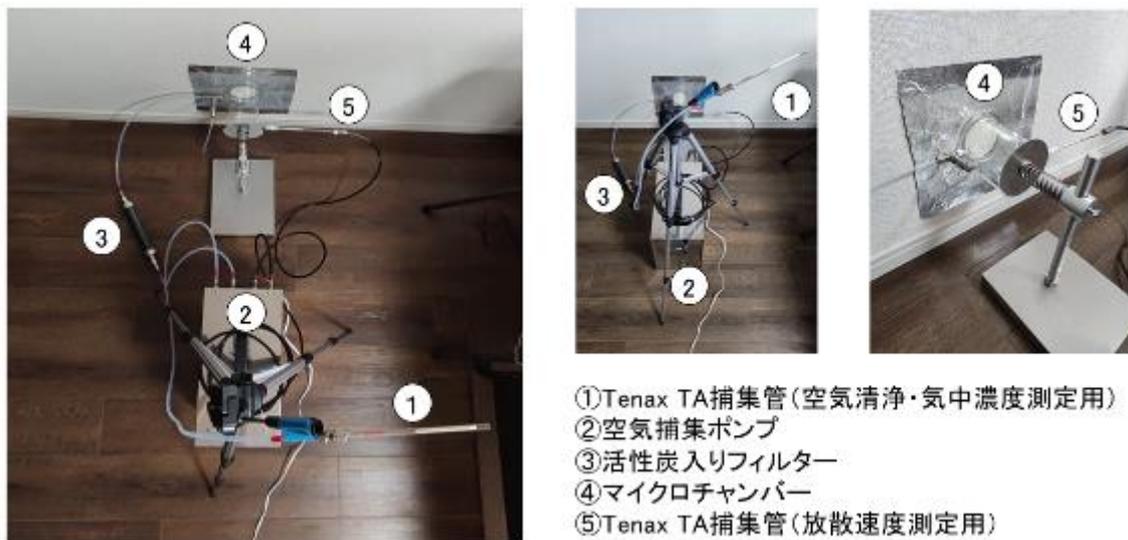
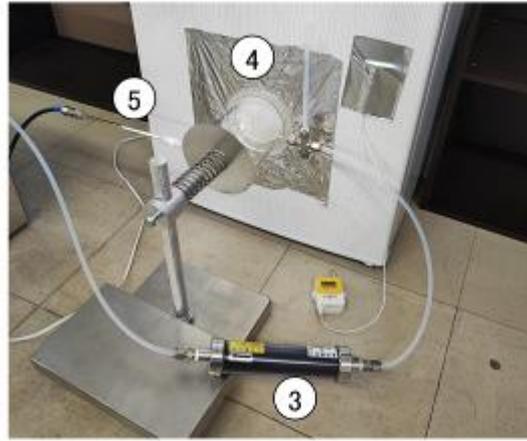
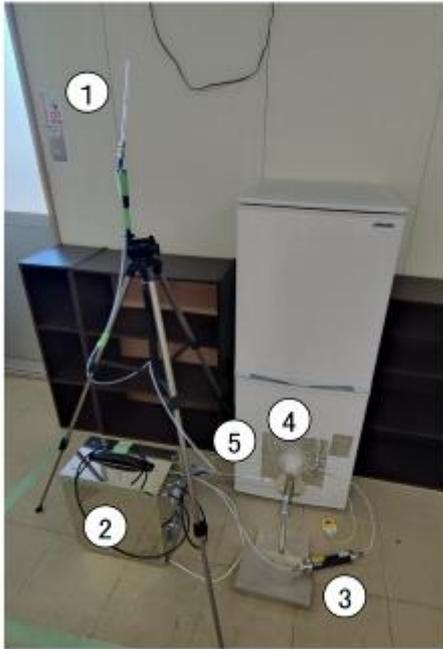


図 9 壁面における現場測定の測定様子



- ①Tenax TA捕集管(空気清浄・気中濃度測定用)
- ②空気捕集ポンプ
- ③活性炭入りフィルター
- ④マイクロチャンバー
- ⑤Tenax TA捕集管(放散速度測定用)

図 10 家具・家電製品における現場測定の測定様子

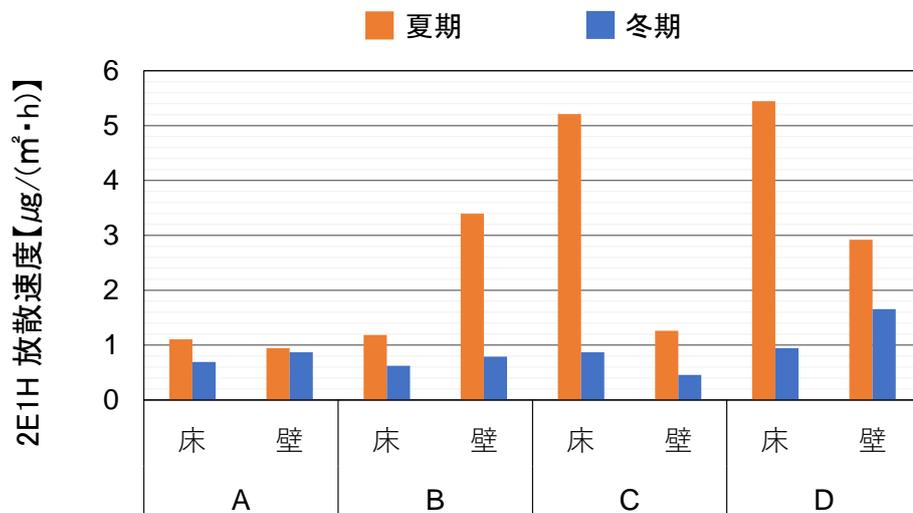


图 11 2E1H 放散速度

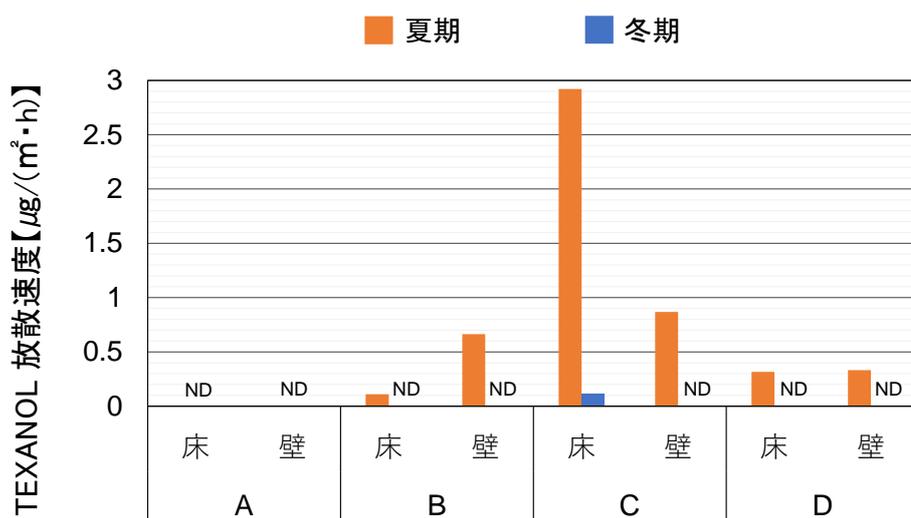


图 12 TEXANOL 放散速度

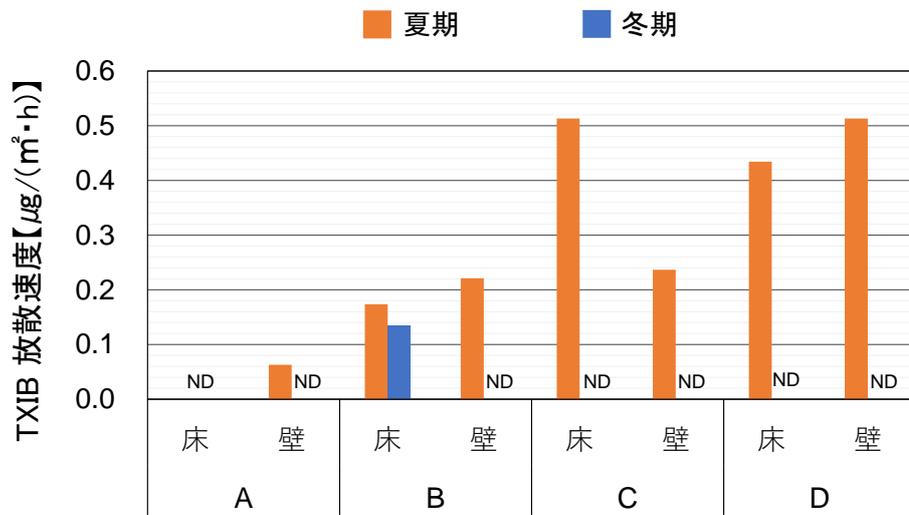


图 13 TXIB 放散速度

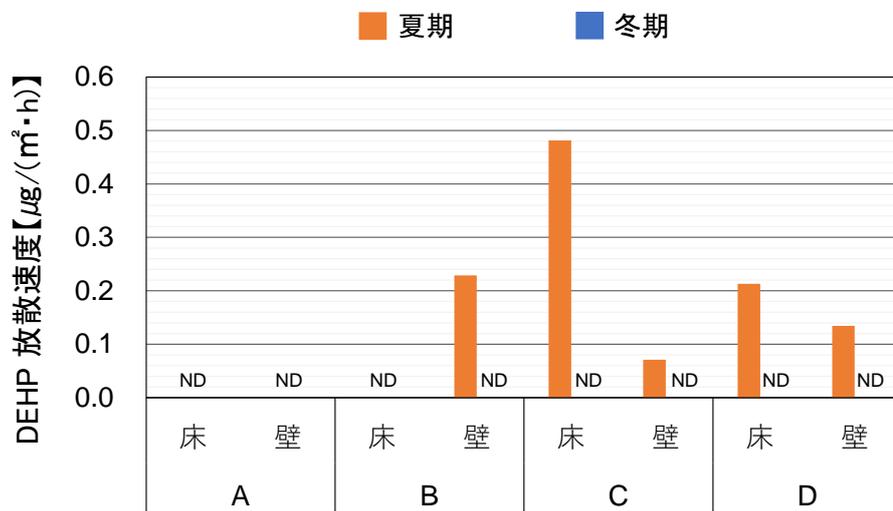


图 14 DEHP 放散速度

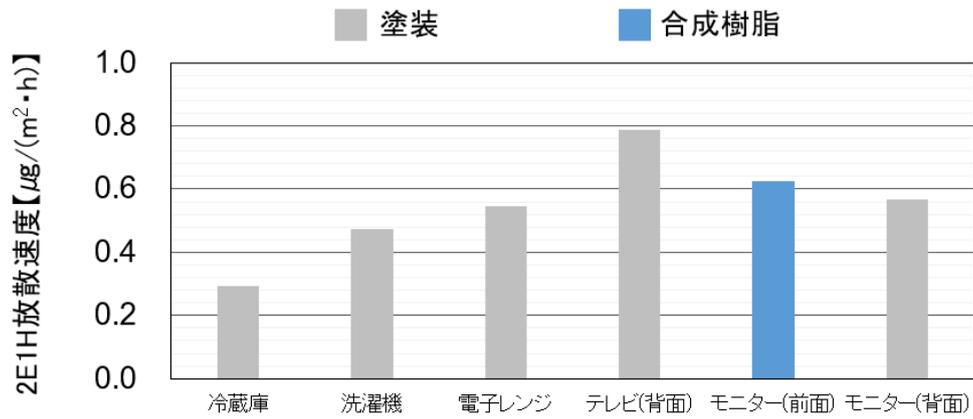


図 15 2E1H 放散速度

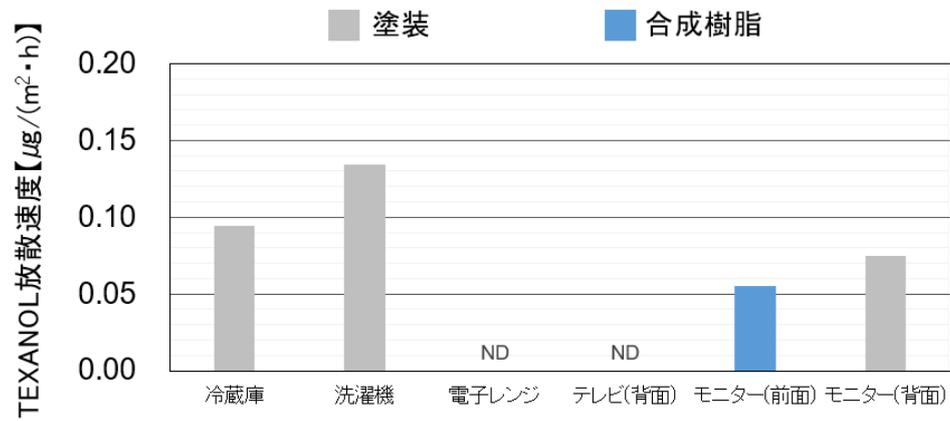


図 16 TEXANOL 放散速度

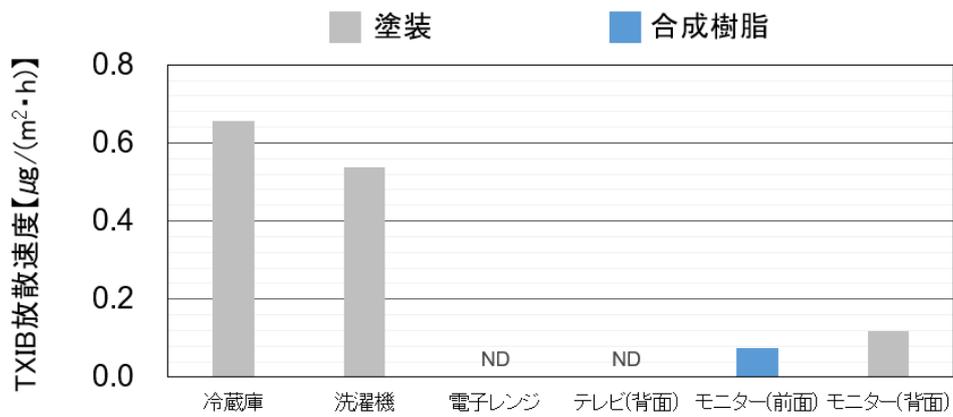


図 17 TXIB 放散速度

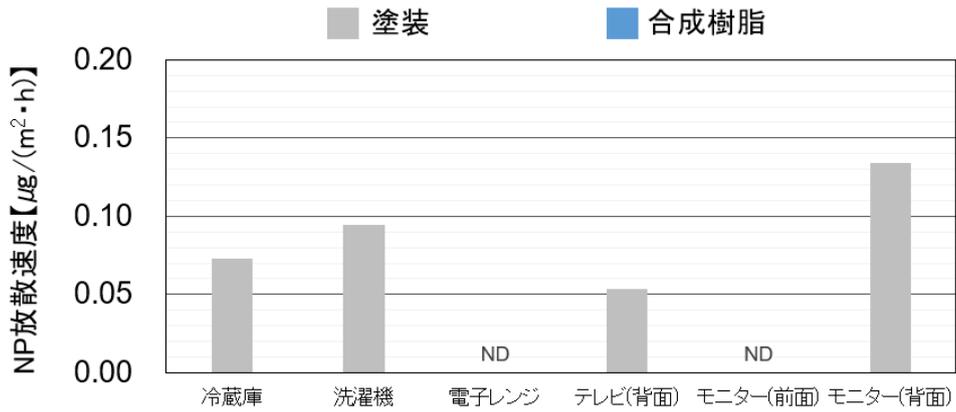


図 18 NP 放散速度

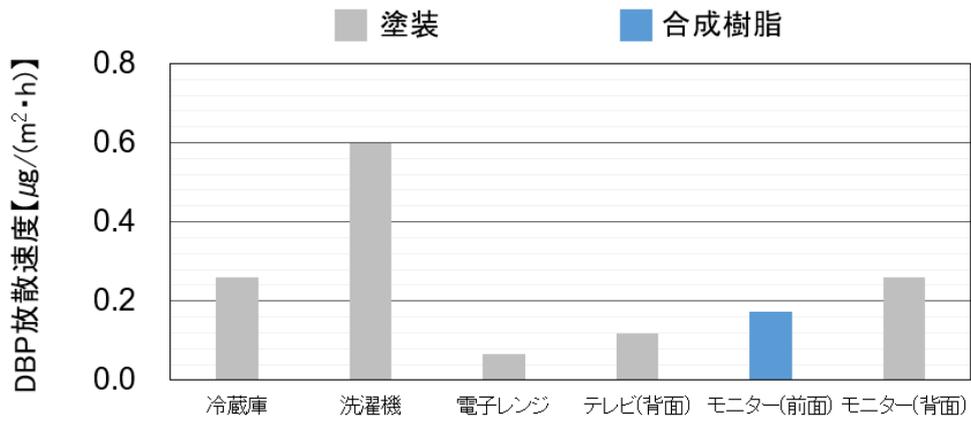


図 19 DBP 放散速度

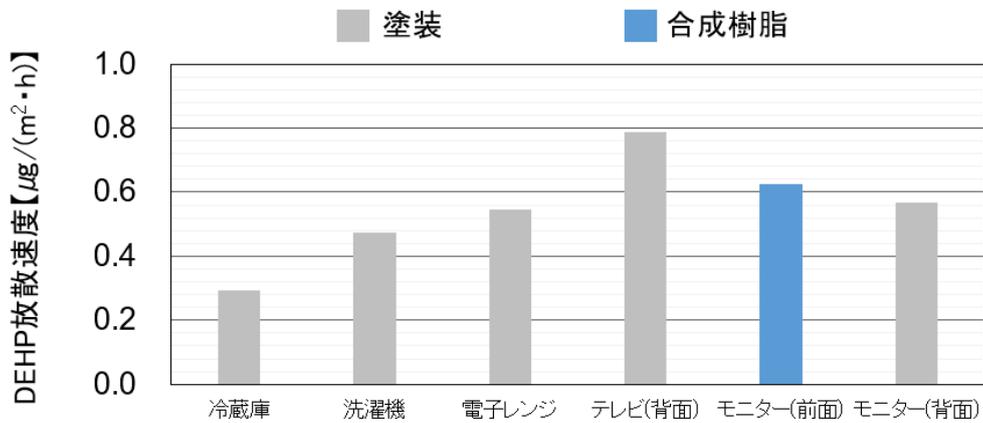


図 20 DEHP 放散速度

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

研究分担者 伊藤一秀 九州大学総合理工学研究院 教授

研究要旨：

本申請課題(分担)では、分担課題③として、室内環境汚染化学物質の曝露濃度評価の為の *in silico* 予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と *in silico* 予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量的に予測する技術を確認する。特に室内環境中に形成される室内環境汚染化学物質の不均一濃度場形成を定量的に評価する計算流体力学 CFD 技術と、呼吸空気質・経気道曝露濃度さらには気道粘膜上皮を介した体内薬物(環境汚染化学物質)動態メカニズムを精緻に予測評価する数値人体モデルの技術を統合した、新しい *in silico* 予測モデルを提案する。最終的に、SVOCの室内濃度指針値既設化学物質測定方法のリバイス版を適用した室内濃度測定結果から、居住者の経気道曝露濃度を予測する一連の数値解析技術を確認する。

A. 研究目的

室内環境汚染化学物質の曝露濃度評価の為の *in silico* 予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と *in silico* 予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量的に予測する技術を確認する。

研究二年目である令和4年度は、室内に形成される不均一濃度分布と経気道曝露濃度までを定量的に評価する計算流体力学と統合した *in silico* 人体モデルを開発する。

B. 研究方法

室内空気中の有害物質の曝露濃度基準は、本来、動物試験における経気道曝露時の無毒性量であるにも係わらず、実際には環境空気中の有害物質濃度の基準(閾値)として採用される場合が多い。空気環境設計上、室の代表濃度をこれらの閾値で代表することは第一次近似として一定の妥当性があると思われるが、室内環境中での実質的な経気道

曝露を考慮すれば、室の平均濃度と呼吸濃度には大きな乖離が存在する可能性がある。この経気道曝露濃度の正確な予測評価に向けて、非定常呼吸を再現した数値人体モデル CSP (Computer Simulated Person)と数値気道モデル、室内濃度場解析を統合解析することで、曝露経路と曝露濃度の正確な予測を行い、その上で健康リスク評価を行う一連の数値解析手法を開発する。室内空間から人体呼吸域、更に鼻腔、口腔を介して気道内まで連続した解析領域を再現することで、室内汚染物質濃度分布と呼吸によって形成される気道内汚染物質濃度分布までを高精度に予測することが可能となる。加えて、気道内壁面境界条件として生理的薬物動態 PBPK (Physiologically Based Pharmacokinetic)モデルを統合することで、気道粘膜上皮組織に沈着後の汚染物質の体内動態と人体影響を定量的に議論することも可能となる。

本研究で作成した気道統合型数値人体モデル(*in silico* 人体モデル)を Fig. 1 に示す。標準人体の幾

何形状を数値流体力学(CFD)解析への適用を前提としてグリッドデータ化したもので、表面積1.7m<sup>2</sup>、身長1.736mである。再現性や精度について十分な事前検討を実施している。数値気道モデルは、非喫煙の日本人男性(平均的な体型)のCTデータをもとに形状作成したもので、鼻腔・口腔から咽喉頭、喉頭、気管を経て気管支の第四分岐部までの上気道の実形状を正確に再現している。鼻孔を介して室内空間から気道内部への流れと汚染物質濃度場を連続して予測するために、数値人体モデルと数値気道モデルをなめらかに統合し、室内環境から気道内までを一連の解析空間として再現している。

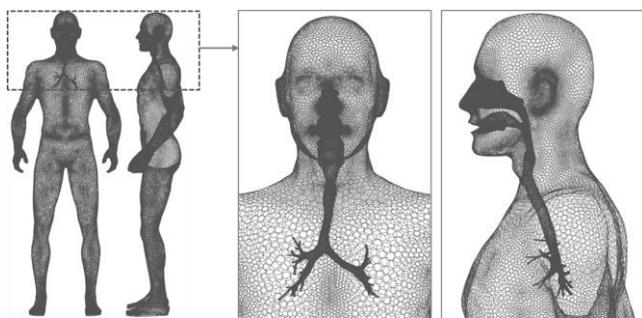


Fig.1 Grid design of *in silico* human model with numerical respiratory tract model

本研究では気道粘膜上皮界面での汚染物質吸収と体内動態を予測するため、*in silico* 人体モデルの気道内壁面境界条件として PBPK-CFD モデルを適用する。その概要を Fig.2 に示す。経気道暴露予測では、ガス状汚染物質の気道粘膜上皮表面への沈着(吸着)、拡散輸送、代謝クリアランス、血流による上皮組織外への輸送を数理的に再現するため、3層からなる生理的薬物動態 PBPK モデルを導入している。各層の構成は、粘膜(Mucus)、上皮(Epithelium)、上皮組織(Sub-Epithelium)であり、それぞれ  $H_m = 15 \mu\text{m}$ 、 $H_t = 50 \mu\text{m}$ 、 $H_b = 15 \mu\text{m}$  の厚さとする。また、組織内輸送は、Tian と Longest によって提案されたコンパートメントモデルの概念に基づいて次元反応拡散と見做してモデル化している。

Fig.2 中に示す呼吸器組織内の汚染物質の非定常反応拡散輸送を記述する支配方程式において、 $C_m$ 、 $C_i$ 、 $C_b$ はそれぞれ粘膜、上皮、上皮組織中の汚染物質濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]、 $D_m$ 、 $D_i$ 、 $D_b$ はそれぞれ粘膜、上皮、上皮組織中の拡散係数[ $\text{m}^2/\text{s}$ ]である。また、 $Q_b$ は上皮組織中の血流速度[ $\text{ml}/\text{s}$ ]、 $V_b$ は上皮組織中の体積[ $\text{ml}$ ]、 $y$ は空気と粘膜の界面からの呼吸器組織内の距離[ $\text{m}$ ]を示す。呼吸器系組織内の対象汚染物質の初期濃度はゼロとし、空気-粘膜界面、粘膜-上皮界面、上皮-上皮組織界面での局所平衡を仮定する。分配係数(線形吸着等温式のヘンリー定数)を適用することで気相-粘膜層の濃度変換を行い、また、界面ではフラックス保存を課す。 $P_{ma}$ 、 $P_{tm}$ 、 $P_{bt}$ は粘膜-空気、組織細胞-粘膜、血流-組織細胞の界面での分配係数[ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]を示す。

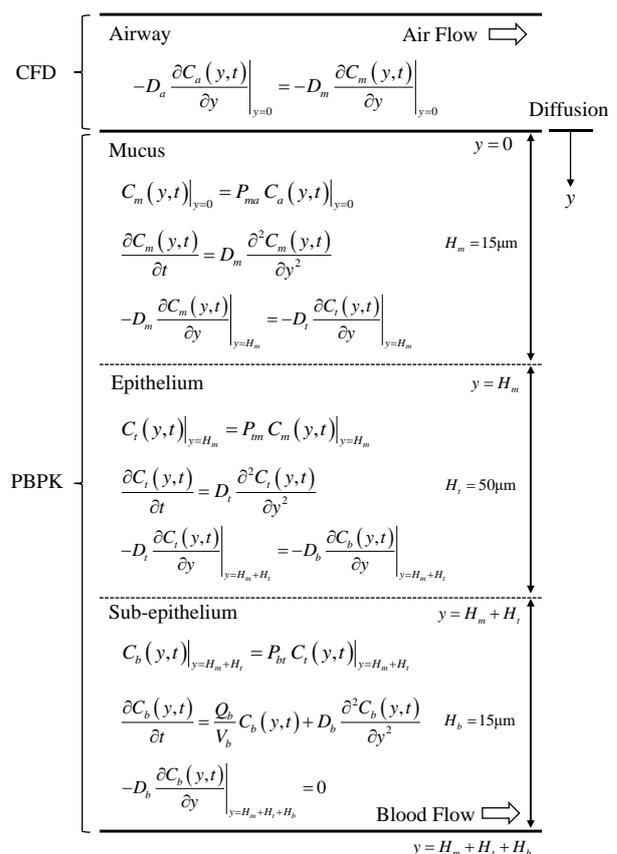


Fig.2 PBPK-CFD model for inhalation exposure analysis

本年度は、この *in silico* 人体モデルを実大居室スケール実験室内に設置した条件で、アンモニアを対象とした室内拡散と経気道曝露予測に適用した。解析対象空間を Fig.3 に示す。本解析では、開発した *in silico* 人体モデルと室内環境解析の統合解析の検証を主たる目的とすることから、化学物質発生に関しては簡易的な境界条件と想定し、Fig.3 中の Source 位置に液体アンモニアが漏洩した条件を設定した。

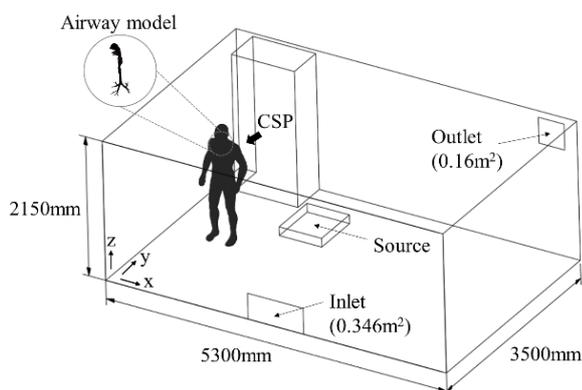


Fig.3 Model room with *in silico* human model

### C. 研究成果

流れ場解析には SST  $k-\omega$  Model を適用し、CFD による定常流れ場解析の後に、アンモニア液面位置に飽和気相濃度を与え、非定常濃度場解析を行った。実大スケール実験室モデルの給気口からの流入空気のアンモニア濃度は 0 とした。液体アンモニアの蒸発に伴う液面の温度変化(蒸発潜熱)は無視し、一定温度を仮定して解析を実施した。

Fig.4 にアンモニア水溶液の漏洩から 60 秒後の室内のアンモニア濃度分布を示す。アンモニア液面から人体周囲へ向かう輸送経路中に、室に流入した清浄空気によってアンモニア濃度は十分に希釈され、室内に不均一な濃度分布が形成されていることが確認できる。

Fig.5 には室全体の体積平均アンモニア濃度および鼻孔開口部(鼻腔界面)でのアンモニア濃度の時間履歴を示す。アンモニア水溶液の蒸発開始から 30 秒後に鼻孔開口部における濃度の増加が確認

できる。本解析ではアンモニア水溶液の蒸発開始後、30 秒後に完全に蒸発する条件とした。また、鼻孔開口部におけるアンモニア濃度は、室全体の平均濃度と比べて時間経過と共に大きく変動する様子が確認できる。これは室内濃度分布の不均一性と呼吸活動および発生ガスの非定常性に因るものであり、高濃度短期曝露の場合には、室内の不均一濃度分布を考慮した人体の経気道曝露濃度を予測することが重要となることを示している。

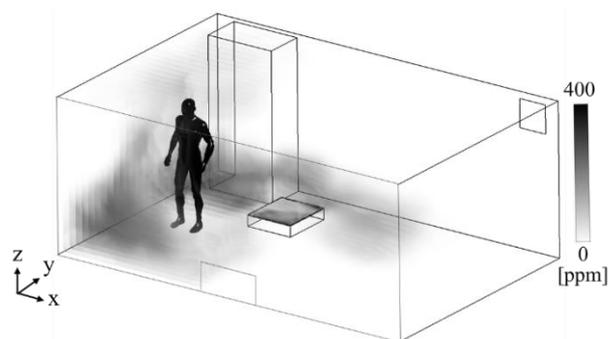


Fig.4 Three-dimensional ammonia concentration distribution (a minute later)

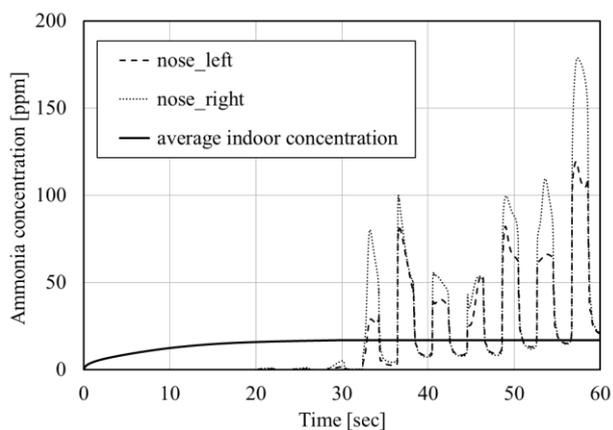


Fig.5 Change over time in ammonia concentration

Fig.6 は気道モデル内のアンモニア表面濃度分布を示す。時間経過に伴い呼吸によって気道内に取り込まれるアンモニアガスの濃度上昇に応じて、気道内表面における汚染物質濃度も上昇する様子が確認できる。Fig.7 には気道粘膜上皮から体内へ向かうアンモニアの濃度分布を示す。アンモニア

の場合、粘膜上皮・上皮下組織での代謝クリアランスが無視できるほど小さく、これらの組織内をほぼ拡散移動する。アンモニア水溶液が漏洩してから蒸発して消失するという一連の解析において、経気道曝露(鼻孔開口部)濃度は漏洩開始から 30 秒後に変化が確認され、57 秒後に 179[ppm]まで上昇した。これは、室の平均濃度と比べて 10 倍以上大きい値であり、室の平均濃度と呼吸濃度には大きな乖離が存在することが *in silico* 解析によって明らかとなった。



(1)  $t=40s$       (2)  $t=50sec$       (3)  $t=60sec$   
 Fig.6 Time series of ammonia concentration distribution in the respiratory tract model

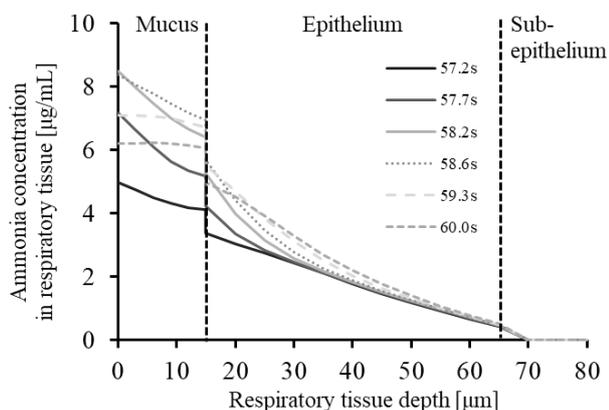


Fig.1 Ammonia contaminant concentration profile inside the respiratory tissue (a minute later)

#### D. 考察

筆者らの 3 人の被験者データが作成した 3 種類の数値気道モデルを対象とした既往研究では、特に上気道曝露量予測において最大 20%程度の個体差

があることを報告している。また、RMIT の Tao らの研究グループは人体形状やサイズが異なる場合の個体差について小型のマネキンを用いた風洞実験結果を報告しており、体型や姿勢が人体周辺微気象形成に一定程度影響を与えることを報告している。本年度の *in silico* 人体モデルを用いた解析では、室の代表濃度とは異なる経気道曝露濃度を予測することが可能となることを例証的に示す事には成功したと云えるが、室内環境から人体、更には気道内の曝露予測を一連の解析として実施した場合の全体的な予測精度に関しては、定量的な検証が出来ていない。人体幾何形状から気道幾何形状を含めた個体差の影響も含め、これらについての検討は今後の課題である。

#### E. 結論

室内に形成される不均一濃度分布と経気道曝露濃度までを定量的に評価する計算流体力学と統合した *in silico* 人体モデルを開発した。特に、気道モデルに流体解析と連成解析可能な生理的薬物動態モデル(PBPK-CFD モデル)を適用することで、室内の濃度分布情報に加えて不均一濃度分布を考慮した経気道曝露濃度の評価が可能となることをアンモニア水溶液からのガス状アンモニアの室内拡散を想定した例証的な解析事例として示した。

#### F. 健康危険情報

(総括研究報告書に纏めて記入)

#### G 研究発表

##### 1. 論文発表

- [1] Ken Bryan Fernandez, Naoki Ikegaya, Qingyan Chen, and Kazuhide Ito. Determination of age of air, purging flow rate, and net escape velocity within a cross ventilation model sheltered by urban-like block arrays using large-eddy simulations, *Building and Environment*, 226 (2022), 109759 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109759)
- [2] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kenji Tani, Kiao Inthavong, Kazuhide Ito. *In silico*

- decongested trial effects on the impaired breathing function of a bulldog suffering from severe brachycephalic obstructive airway syndrome, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 228 (2023) 107243 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107243)
- [3] Hiroshi Harashima, Eisaku Sumiyoshi, and Kazuhide Ito. Internal diffusion and re-emission of leaked liquid ethyl acetate from mortar materials, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 672–681 (doi.org/10.1002/2475-8876.12297)
- [4] Eunsu Lim, Hirofumi Tanaka, Gen Ni, Yuen Bai, Kazuhide Ito. Microplastics / Microfibers in settled indoor house dust- Exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 682–690 (doi.org/10.1002/2475-8876.12298)
- [5] Haruna Yamasawa, Teruaki Hirayama, Ryota Muta, Kazuki Kuga, Tomohiro Kobayashi, and Kazuhide Ito. Influence of inlet turbulent condition on the formation mechanism of local scalar concentrations, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 691–701 (doi.org/10.1002/2475-8876.12299)
- [6] Ryota Muta and Kazuhide Ito. Impact of heat generation and use of experimental instruments in a fume hood on pollutant capture efficiency, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 702–713 (doi.org/10.1002/2475-8876.12300)
- [7] Sung-Jun Yoo, and Kazuhide Ito. Validation, verification, and quality control of computational fluid dynamics analysis for indoor environments using a computer-simulated person with respiratory tract, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 714–727 (doi.org/10.1002/2475-8876.12301)
- [8] Hana Salati, Mehrdad Khamooshi, Jingliang Dong, Kazuhide Ito, David Fletcher, Sara Vahaji, Kiao Inthavong. Exhaled Aerosol and Jet Flow Characterization During Nasal Sneezing, *Aerosol and Air Quality Research*, 22 (4),2022, 210338 (doi.org/10.4209/aaqr.210338)
- [9] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. SARS-CoV-2 Dynamics in the Mucus Layer of the Human Upper Respiratory Tract Based on Host-Cell Dynamics, *Sustainability*, 2022, 14 (7), 3896 (doi.org/10.3390/su14073896)
- [10] Ryota Muta, Sung-Jun Yoo, Hyuntae Kim, Toru Matsumoto, Kazuhide Ito. Multiscale analysis of material flow and computational fluid dynamics for predicting individual DEHP exposure concentration in indoors, *Indoor and Built Environment*, Volume 31, Issue 9, November 2022, Pages 2291-2311 (doi.org/10.1177/1420326X221092613)
- [11] Naoki Ikegaya, Mats Sandberg and Kazuhide Ito, Rigorous mathematical formulation of net escape velocity and net escape probability determining a macroscopic concentration, *Indoor Air*. 2022;32 (7): e13072 (doi.org/10.1111/ina.13072)
- [12] Kazuki Kuga, Mitsuharu Sakamoto, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Prediction of exhaled carbon dioxide concentration using a computer-simulated person that included alveolar gas exchange, *Indoor Air*, 2022;32 (8) e13079 (doi.org/10.1111/ina.13079)
- [13] Hiroshi Harashima, Eisaku Sumiyoshi, Kazuhide Ito. Numerical models for seamlessly predicting internal diffusion and re-emission of leaked liquid toluene from indoor mortar materials, *Journal of Building Engineering*, 57 (2022) 104976 (doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104976)
- [14] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Ken Takahashi and Kazuhide Ito. Transport and deposition of inhaled man-made vitreous and asbestos fibers in realistic human respiratory tract models: An *in-silico* study, *Japan Architectural Review* 2022, Vol.5, no.4, pp 592–608 (doi.org/10.1002/2475-8876.12277)
- [15] Yukun Wang, Xiong Shen, Sung-Jun Yoo, Zhengwei Long, Kazuhide Ito. Error analysis of human inhalation exposure simulation in industrial workshop, *Building and Environment*, 224 (2022) 109573 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109573)
- [16] Ryota Muta, Juyeon Chung, Cong Li, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Pollutant capture efficiencies in and around the opening-surface of a fume hood under realistic conditions, *Indoor and Built Environment*, Volume 31, Issue 6, July 2022, Pages 1636-1653 (doi.org/10.1177/1420326X211066538)
- [17] Kazuki Kuga, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Breathing zone and exhaled air re-inhalation rate under transient conditions assessed with a computer-simulated person, *Indoor Air*, 2022, 32, e13003 (doi.org/10.1111/ina.13003)
- [18] Xiaojun Fan, Huiqi Shao, Mitsuharu Sakamoto, Kazuki Kuga, Li Lan, David P. Wyon, Kazuhide Ito, Mariya P. Bivolarova, Chenxi Liao, and Pawel Wargocki. The effects of ventilation and

temperature on sleep quality and next-day work performance: pilot measurements in a climate chamber, *Building and Environment*, 209 (2022) 108666  
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108666)

## 2. 学会発表

- [1] Ryusei Kizuka, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Regional deposition of inhaled nano-to-microscale particle in realistic upper respiratory tract under steady and transient breathing conditions, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [2] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. SARS-CoV-2 infection dynamics integrated with mucociliary transport in human upper airway, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [3] Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Regional deposition characteristics of fibrous particles compared to spherical particles in human upper airway – in silico case study, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [4] Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Integrated Modeling of CO<sub>2</sub> Transport from Indoor to Alveolar Region for Elucidating Human CO<sub>2</sub> Emission Mechanism, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [5] Takumi Nishihara, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Numerical investigation of cough droplets dispersion dynamics in indoor environment: Effect of oral cavity shape, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [6] Sara Hoshiyama, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Formation of Acetone concentration distribution around breathing zone and transport efficiency to olfactory epithelium cells, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [7] Ryota Muta, Kazuhide Ito. Numerical investigation of pollutant capture and ventilation efficiencies in laboratory fume hood, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [8] Kazuki Kuga, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Impact of room temperature on human carbon dioxide emission rates at different physical activity levels, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [9] Pawel Wargocki, Mitsuharu Sakamoto, Xiaojun Fan, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Jonathan Williams, Gabriel Beko, CO<sub>2</sub> emission rates from humans when sleeping and awake. Impact of environmental factors and age, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [10] Eunsu Lim, Hirofumi Tanaka, and Kazuhide Ito. Preliminary Investigation of Indoor Microplastic Concentrations in house dust in Japanese Residential Houses, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [11] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Infection dynamics of SARS-CoV-2 in musus later of the human nasal cavity-nasopharynx, Roomvent 2022, Xian, China, September 2022
- [12] Sena Hyodo, Kei Murota, Sung-Jun Yoo and Kazuhide Ito. Development of three-dimensional clothing model for computer simulated person integrated with thermoregulation model, Roomvent 2022, Xian, China, September 2022
- [13] Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Computational analysis of ultrafine and fine particle deposition mechanisms in human lower airway, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [14] K. B. Fernandez, Naoki Ikegaya, Kazuhide Ito. Large Eddy Simulation of Flow and Concentration Distributions in an Indoor Space Surrounded by Urban-like Block Arrays, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [15] Alicia Muraga, Kazuhide Ito, Makoto Tsubokura. Using CFD to develop a virtual human manikin for infection risk assessment, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [16] Hyun-Gyu Park, Sung-Jun Yoo, Eisaku Sumiyoshi, Hiroshi Harashima and Kazuhide Ito. Indoor Thermal Comfort Assessment Using CFD-CSP Hybrid Analysis, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [17] Sena Hyodo, Sung-Jun Yoo and Kazuhide Ito. Three-Dimensional Modeling and Computational Fluid Dynamics Analysis for Ventilation in Clothing, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [18] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Numerical Investigation of Fine particle Transportation and Deposition in the Human Lower Airway: Impact of airflow and particle size on deposition efficiency, IEICES 2022, IGSES, Kyushu University

## H. 知的財産権の出願・登録状況

特に無し

令和4年度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）  
分担研究報告書

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

ハザード情報収集・評価および国際的な規制動向の調査

分担研究者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授

研究要旨

2000年前後に13の室内空気汚染物質に対して室内濃度指針値が策定されて以降、新たな室内空気汚染の問題が懸念されてきたことなどから、室内濃度指針値の見直し等の検討が進められている。本研究では、第一に、諸外国における室内空気質の規制動向等の情報を収集し、日本における取り組みの参考情報とすることを目的とした。第二に、厚生労働省シックハウス検討会で初期曝露評価を実施した揮発性有機化合物について、健康リスク評価値および有害性等の情報を網羅的に収集し、今後のリスク評価や既存の指針値の見直し等において鍵となる重要なハザード情報をとりまとめた。ハザード情報としては、短時間曝露による急性影響と長期間曝露による慢性影響（非発がん影響、発がん影響）の2項目を調査した。

諸外国における取り組みは、室内濃度指針値の作成に重点が置かれている。目標となる気中濃度を設定し、それを目指した発生源対策等を行うアプローチである。とりわけドイツ連邦環境庁は、継続的に室内濃度指針値を設定しており、今年度は、メタノール、アセトフェノン、1-プロパノールの指針値が新たに設定された。また、フランスのANSESではアンモニア、カナダ保健省ではキシレンに対する室内空気質ガイドラインが新たに設定された。なお、発がん性に関して世界保健機関（WHO）の国際がん研究機関（IARC）は、今年度において、コバルト、アンチモン、兵器用タンゲステンの発がん性分類を公表した。なおWHOは、健康と環境に関するWHOおよびその他の国連機関からこれまで公表されてきたガイダンスを体系的にまとめたcompendium（大綱）を公表した。WHOは、環境汚染やその他の環境リスクが全死亡の24%（例えば、心疾患、脳卒中、中毒、交通事故など）を引き起こしており、これらの死亡は、国、地域およびセクターのレベルにおいて、しっかりとした予防措置（preventive action）を講じることで大幅に削減可能と述べており、環境要因に対する取り組みをより一層強化しようとしている。

ハザード情報に関しては、厚生労働省シックハウス検討会で初期曝露評価を実施した揮発性有機化合物のうち、今年度は、メチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、ヘキサナール、デカナール、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,2-ジクロロエタン、アクロレインに関する急性影響と慢性影響のキー研究を調査した。メチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、デカナールについては、急性影響を評価可能なキー研究が見つからなかった。プロピルシクロヘキサンについては、慢性影響でも評価可能なキー研究が見つからなかった。その他の物質については、急性影響と慢性影響のキー研究をとりまとめることができた。トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,2-ジクロロエタンについては、発がん影響のユニットリスクについて、最新の評価結果をとりまとめた。

A. 研究目的

1997年から2002年にかけて、13の室内空気汚染物質に対して室内濃度指針値が策定さ

れた。その後、建材等に使用される化学物質の代替や準揮発性有機化合物（SVOC）と呼ばれる揮発性の低い物質による室内空気汚染が

懸念されてきたことなどから、2012年にシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会（シックハウス検討会）が再開され、室内濃度指針値の見直しあるいは対象物質の追加に関する審議が進められている。このような状況を踏まえ、シックハウス検討会における審議に必要な情報を収集することにより、厚生労働行政施策の円滑な進行に貢献することを主たる目的として、本研究課題が進められている。

本研究においては、第一に、室内空気汚染問題に対する国際機関や諸外国における室内濃度指針値作成や規制動向等の情報を収集し、日本における取り組みの参考情報とする。また第二に、厚生労働省シックハウス検討会で初期曝露評価を実施した揮発性有機化合物について、健康リスク評価値および有害性等の情報を収集し、今後のリスク評価や指針値の設定等において鍵となる重要なハザード情報をとりまとめることを目的としている。ハザード情報の収集においては、短時間曝露による急性影響と長期間曝露による慢性影響の2項目を調査する。

## B. 研究方法

### B.1 国際的な規制動向の調査

国際機関や国内外の室内空気質規制に関する報告書、関連学会の資料、関連論文をインターネットおよび文献データベースで調査した。近年、主だった活動が見受けられた世界保健機関本部（WHO本部）、世界保健機関欧州地域事務局（WHO欧州）、ドイツ、フランス、カナダを主な調査対象国とした。また、諸外国の研究者と関連情報の情報交換を行った。

### B.2 ハザード情報

室内空気汚染化学物質に関して、刺激性や感作性、一般毒性、神経毒性、免疫毒性、生殖発生毒性、発がん性等に関する有害性情報およびこれらの有害性に関する量反応関係に関する科学的知見が記載された国際機関や諸外国の評価文書等を網羅的に収集するとともに、PubmedやTOXLINE等のデータベース検

索を行い、各物質の有害性情報をとりまとめた。特に、各物質の評価値の導出に必要なエンドポイント及びNOELやLOEL等の情報収集を行った。

本分担研究では、厚生労働省シックハウス検討会で初期曝露評価を実施した揮発性有機化合物について、健康リスク評価値および有害性等の情報を収集してとりまとめる。

2022年度は、メチルシクロヘキサン（CAS 108-87-2）、プロピルシクロヘキサン（CAS 1678-92-8）、1-ブタノール（CAS 71-36-3）、ヘキサナール（CAS 66-25-1）、デカナール（CAS 112-31-2）、トリクロロエチレン（CAS 79-01-6）、テトラクロロエチレン（CAS 127-18-4）、1,2-ジクロロエタン（CAS 107-06-2）、アクロレイン（CAS 107-02-8）を調査対象とした。

得られた有害性情報から有害性評価を行い、急性影響の健康リスク評価値（AcRfC: Acute Reference Concentration）と慢性影響の健康リスク評価値（ChRfC: Chronic Reference Concentration）を導出した。これらのRfCは、Critical effect levelの影響濃度（NOELやLOEL）に対して、不確実係数の適用（種差や個体差）や、慢性影響では反復曝露から連続曝露への補正係数の適用を行って導出した。不確実係数としては、初期リスク評価で用いることを想定し、LOELを用いた場合は10、曝露期間については動物種と平均寿命から算出した値<sup>1)2)</sup>、種差については10、個体差10とした。これらの数値は、初期リスク評価として、リスクの取りこぼしがないように安全側の不確実係数を用いている。また、閾値のない発がん物質については、各評価機関が導出したユニットリスクをレビューし、10万分の1の過剰発がんリスクの気中濃度を発がんの健康リスク評価値（CarRfC: Carcinogenic Reference Concentration）とした。

なお今後、詳細リスク評価や指針値の検討を行う際には、LOELに対する不確実係数、種差、個体差に対する不確実係数について、感受性、作用機序、体内動態等を詳細に評価し、必要に応じて改めて検討を行い、室内濃度指針値を設定することができる。本研究で導出したAcRfC及びChRfCは、曝露評価で

得られた室内濃度の知見に対して、迅速に健康リスクの初期評価を実施するために用いることができる。

#### (倫理面での配慮)

本研究は、公表されている既存資料を中心とした情報収集を行った後、それらの整理を客観的におこなうものであり、特定の個人のプライバシーに係わるような情報を取り扱うものではない。資料の収集・整理にあたっては、公平な立場をとり、事実のみにもとづいて行う。本研究は、動物実験および個人情報扱うものではなく、研究倫理委員会などに諮る必要のある案件ではないと判断している。

### C. 研究結果及び考察

#### C.1 諸外国の室内空気質規制

世界保健機関 (WHO)、ドイツ連邦環境庁、フランス環境労働衛生安全庁 (ANSES)、カナダ保健省の室内空気質ガイドライン等に関する情報を収集した。

WHO からは、新たな室内空気質ガイドラインの公表はなかった。但し、健康と環境に関する WHO およびその他の国連機関からこれまで公表されてきたガイダンスを体系的にまとめた compendium (大綱) を公表した (2022 年 4 月アップデート)。WHO は、環境汚染やその他の環境リスクが全死亡の 24% (例えば、心疾患、脳卒中、中毒、交通事故など) を引き起こしており、これらの死亡は、国、地域およびセクターのレベルにおいて、しっかりとした予防措置 (preventive action) を講じることで、大幅に削減可能と述べており、環境要因に対する取り組みをより一層強化しようとしている。

令和 4 年度以降に公表された室内空気質ガイドラインでは、ドイツ連邦環境庁がメタノール (指針値 II : 40 mg/m<sup>3</sup> (60 分平均値)、指針値 I : 13 mg/m<sup>3</sup> (60 分平均値))、アセトフェノン (指針値 II : 220 µg/m<sup>3</sup>、指針値 I : 66 µg/m<sup>3</sup>)、1-プロパノール (指針値 II : 46 mg/m<sup>3</sup>、指針値 I : 14 mg/m<sup>3</sup>) の室内空気質ガイドラインを公表した。

ANSES では、アンモニア (24 時間値 : 5.9 mg/m<sup>3</sup>、年間 : 0.5 mg/m<sup>3</sup>) の室内空気質ガイド

ラインが公表された。

カナダ保健省では、キシレン (1 時間値 : 7200 µg/m<sup>3</sup>、24 時間値 : 150 µg/m<sup>3</sup>) の室内空気質ガイドラインが公表された。

WHO の国際がん研究機関 (IARC) による発がん性分類のアップデートのうち、2022 年度以降における室内環境汚染関連物質のアップデートをレビューした。室内ダスト中で検出されるコバルト金属が 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) から 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある) に格上げとなっている。なお、可溶性と不溶性のコバルト二価化合物では発がん性が異なっており、可溶性のコバルト二価化合物で 2A となっているが、不溶性の二酸化コバルトは 2B で、その他のコバルト化合物は 3 (ヒトに対する発がん性を分類できない) となっている。

PET 樹脂の触媒などに使用されており、室内ダスト中からも検出される三酸化アンチモンが 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) から 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある) に格上げとなっている。また、次年度以降のワーキンググループでは、室内ダストに含まれる可能性のある物質 (PFOA や PFOS) の検討が予定されている。分担研究者の東は、コバルト、アンチモン、兵器用タングステンのワーキンググループ (Vol. 131) に専門委員として参加し、これらの物質の発がん性評価とモノグラフの作成作業に携わった。

#### C.2 室内環境化学物質のハザード情報

網羅的に収集した有害性情報をもとに、メチルシクロヘキサン (CAS 108-87-2)、プロピルシクロヘキサン (CAS 1678-92-8)、1-ブタノール (CAS 71-36-3)、ヘキサナール (CAS 66-25-1)、デカナール (CAS 112-31-2)、トリクロロエチレン (CAS 79-01-6)、テトラクロロエチレン (CAS 127-18-4)、1,2-ジクロロエタン (CAS 107-06-2)、アクロレイン (CAS 107-02-8) に関する急性影響と慢性影響のキー研究を選定した。但し、メチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、デカナールについては、急性影響を評価可能なキー研究が見つからなかった。プロピルシクロヘ

キサンについては、慢性影響でも評価可能なキー研究が見つからなかった。その他の物質については、それぞれのキー研究をもとに曝露時間の補正（断続曝露から連続曝露）不確実係数等の評価係数を適用して AcRfC および ChRfC を導出した（表3 2、表3 3）。また、各評価機関が導出したユニットリスクをレビューしトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1, 2-ジクロロエタンについては、10 万分の1の過剰発がんリスクにおける CarRfC を導出した（表3 4）。

#### D. 総括

諸外国における取り組みは、室内濃度指針値の作成に重点が置かれている。目標となる気中濃度を設定し、それを目指した発生源対策等を行うアプローチである。とりわけドイツ連邦環境庁は、継続的に室内濃度指針値を設定しており、今年度は、メタノール、アセトフェノン、1-プロパノールの指針値が新たに設定された。また、フランスの ANSES ではアンモニア、カナダ保健省ではキシレンに対する室内空気質ガイドラインが新たに設定された。なお、発がん性に関して IARC は、今年度において、コバルト、アンチモン、兵器用タングステンの発がん性分類を公表した。なお、WHO は、健康と環境に関する WHO およびその他の国連機関からこれまで公表されてきたガイダンスを体系的にまとめた compendium（大綱）を公表した。WHO は、環境汚染やその他の環境リスクが全死亡の 24%（例えば、心疾患、脳卒中、中毒、交通事故など）を引き起こしており、これらの死亡は、国、地域およびセクターのレベルにおいて、しっかりとした予防措置（preventive action）を講じることで大幅に削減可能と述べており、環境要因に対する取り組みをより一層強化しようとしている。

ハザード情報に関しては、厚生労働省シックハウス検討会で初期曝露評価を実施した揮発性有機化合物のうち、今年度はメチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、ヘキサナール、デカナール、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,2-

ジクロロエタン、アクロレインに関する急性影響と慢性影響のキー研究を調査した。メチルシクロヘキサン、プロピルシクロヘキサン、1-ブタノール、デカナールについては、急性影響を評価可能なキー研究が見つからなかった。プロピルシクロヘキサンについては、慢性影響でも評価可能なキー研究が見つからなかった。その他の物質については、急性影響と慢性影響のキー研究をとりまとめることができた。トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1, 2-ジクロロエタンについては、発がん影響のユニットリスクについて、最新の評価結果をとりまとめた。

#### E. 参考文献

- 1) Azuma K, Uchiyama I, Ikeda K. The risk screening for indoor air pollution chemicals in Japan. *Risk Anal* 27(6): 1623–1638, 2007.
- 2) Azuma K, Uchiyama I, Uchiyama S, et al. Assessment of inhalation exposure to indoor air pollutants: Screening for health risks of multiple pollutants in Japanese dwellings. *Environ Res* 145: 39–49, 2016.

#### F. 研究業績等（著者氏名・発表論文・学協会誌名・発表年（西暦）・巻号（最初と最後のページ））

##### 1. 論文発表

- 1) Karagas, MR, Wang A, Dorman DC, Hall AL, Pi J, Sergi CM, Symanski E, Ward EM, Arrandale VH, Azuma K, Brambila E, Calaf GM, Fritz JM, Fukushima S, Gaitens JM, Grimsrud TK, Guo L, Lynge E, Marinho-Reis AP, McDiarmid MA, Middleton DRS, Ong TP, Polya DA, Quintanilla-Vega B, Roberts GK, Santonen T, Sauni R, Silva MJ, Wild P, Zhang CW, Zhang Q, Grosse Y, Benbrahim-Tallaa L, de Conti A, DeBono NL, Ghissassi FE, Madia F, Reisfeld B, Stayner LT, Suonio E, Viegas S, Wedekind R, Ahmadi S, Mattock H, Gwinn WM, Schubauer-Berigan MK. Carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy. *THE LANCET Oncology* 23(5):577-

578, 2022.

- 2) 東 賢一. 燃焼で排出される室内空気汚染物質の健康影響. 室内環境; 25(3), 307-315, 2022.

## 2. 学会発表

- 1) Azuma K. Indoor air quality and health effects in modern office buildings. 16th international conference on indoor air quality and climate, Workshop. Kuopio, Finland. June 12-16, 2022.
- 2) Azuma K, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Sakai S. Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: dimethylsiloxanes, glycols, butanediol, hydrocarbons, trimethylbenzenes, benzene, naphthalene, and ethyltoluene. 34th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference, Athens, Greece. September 18-21, 2022.
- 3) 東 賢一. 室内空気環境対策総論－室内環境における健康リスク要因とその対策について－. 第 32 回日本産業衛生学会全国協議会シンポジウム:新型コロナウイルス感染症と室内空気環境対策. 札幌コンベンションセンター (於 札幌), 2022 年 9 月 30 日.

## 3. 書籍

- 1) 東 賢一. 今日の治療指針 2023 年版－私はこう治療している：シックハウス症候群／化学物質過敏症. 医学書院, 東京, 2023.
- 2) Azuma K, Jinno H. Toxicity of SVOCs, Advances in the toxicity of construction and building materials. Elsevier, 2022.
- 3) 東 賢一. 新版生活健康科学: 第 7 章生活環境と健康. 三共出版, 東京, 2022.
- 4) 東 賢一. 今日の治療指針 2022 年版－私はこう治療している：住宅の温熱環境による障害. 医学書院, 東京, 2022.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)  
予定なし

## 調査結果（１） 国際的な規制動向の調査

### 1. 世界保健機関

世界保健機関（WHO）は、WHO および国連機関による環境要因に起因する疾病低減のガイダンス：compendium（2022年4月1日アップデート版）を公表した（WHO, 2022）。

これは、健康と環境に関する WHO およびその他の国連機関からこれまで公表されてきたガイダンスを体系的にまとめた compendium（大綱）であり、政策と行動、意識向上、能力開発のための介入に関するガイダンスとなっている。また、都市、住宅、職場、医療施設などの行動に関する優先付けに関するガイダンスも含まれている。その他、利用可能な情報がある場合には、健康と環境の全ての分野について、主な情報源、曝露評価、既存のガイドライン値に関する情報が含まれている。これらのガイダンスは、新たなガイダンスが公表されると追記され、compendium が更新されるように計画されている。

WHO は、環境汚染やその他の環境リスクが全死亡の 24%（例えば、心疾患、脳卒中、中毒、交通事故など）を引き起こしており、これらの死亡は、国、地域およびセクターのレベルにおいて、しっかりとした予防措置（preventive action）を講じることで、大幅に削減可能と述べている。

この compendium において、室内空気汚染（2.3 Indoor Air pollution）に関するガイダンスでは、以下のツールが示されている。

#### 2.3 室内空気汚染: household air pollution, second-hand tobacco smoke, dampness and mould

##### 2.3.1 Particulate matter, carbon monoxide and other pollutants from incomplete combustion processes

WHO 2021: WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide

WHO 2014: WHO Guidelines for indoor air quality: household fuel combustion

WHO 2010: WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants.

WHO/CCAC/UNEP 2018: The BreatheLife Campaign

WHO 2018: WHO Clean Household Energy Solutions Toolkit (CHEST)

WHO 2020: Household Energy Assessment Rapid Tool (HEART) for Situational Assessment and Stakeholder Mapping

WHO 2020: Household Multiple Emission Sources (HOMES) model

WHO 2020: Performance Target (PT) model

Clean Cooking Alliance 2020: Clean cooking catalogue

WHO 2008: Evaluating household energy and health interventions: a catalogue of methods

##### 2.3.2 受動喫煙

WHO 2020: Article 8: Protection from exposure to tobacco smoke. In: The WHO Framework Convention on Tobacco Control

WHO 2020: STEPwise Approach to NCD Risk Factor Surveillance (STEPS)

WHO 2018: Cigarette smoking: an assessment of tobacco's global environmental footprint across its entire supply chain, and policy strategies to reduce it

WHO/UNDP 2017: The WHO Framework Convention on Tobacco Control. An accelerator for sustainable development

WHO 2014: Literature review on the health effects of smoke-free policies in light of the WHO FCTC

WHO 2013: Best practices in implementation of Article 8 of the WHO FCTC. Case studies: Seychelles and

## South Africa

WHO/International Union Against Tuberculosis and Lung Disease 2011: Protect people from tobacco smoke: smoke-free environments. Building capacity for tobacco control: training package

WHO 2010: A guide to tobacco-free mega-events

WHO 2009: Guidelines for implementation of Article 8 of the WHO Framework Convention on Tobacco Control. Guidelines on protection from exposure to tobacco smoke

WHO 2007: Policy recommendations on protection from exposure to second-hand tobacco smoke

WHO 2007: World No Tobacco Day 2007 materials, such as Smoke-free inside

### 2.3.3 湿気とカビ

WHO Regional Office for Europe 2010: Technical and policy recommendations to reduce health risks due to dampness and mould

WHO Regional Office for Europe/Health and Environment Alliance 2009: Damp and mould: health risks, prevention and remedial actions. Information brochure

WHO Regional Office for Europe 2007: Guidelines for indoor air quality: dampness and mould

## 2. ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン

今年度に新たに公表された室内空気質ガイドラインは、メタノール (IRK, 2022a)、アセトフェノン (IRK, 2022b)、1-プロパノール (IRK, 2022c) であった。各物質の室内空気質ガイドラインのキー研究とガイドラインを表1-1に示す。

表1-1 ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン (2022年度以降)

物質	アセスメントの概要	指針値	キー研究
メタノール (CAS no. 67-56-1)	ヒトのボランティアの急性吸入試験から、数時間暴露後のNOAELを266 mg/m <sup>3</sup> としている。指針値IIを導出するにあたっては、NOAELからLOAELへの換算を係数3で乗じており、その値に個体差10、小児の係数2の合計20の係数を割り算して40 mg/m <sup>3</sup> の指針値IIを導出。指針値Iでは、NOAELの266 mg/m <sup>3</sup> を個体差10、小児の係数2の合計20の係数で割り算して13 mg/m <sup>3</sup> の指針値Iを導出。	<ul style="list-style-type: none"> <li>指針値II (NOAELから導出) 40 mg/m<sup>3</sup> (60分平均値)</li> <li>指針値I (NOAELから導出) 13 mg/m<sup>3</sup> (60分平均値)</li> </ul>	Cook et al. (1991), Chuwers et al. (1995), Mann et al. (2002), Muttray et al. (2001)
アセトフェノン (CAS no. 98-86-2)	ラットの経口曝露による生殖発生毒性試験から胎児死亡率を指標として75 mg/kg/dayのLOAELが判断され、ラットからヒトへの相対係数4、体重70kgのヒトの呼吸量20 m <sup>3</sup> 、経口吸収率50%から、75 mg/kg/day ×	<ul style="list-style-type: none"> <li>指針値II (LOAELから導出) 220 µg/m<sup>3</sup></li> <li>指針値I (LOAELから導出) 66 µg/m<sup>3</sup></li> </ul>	ECHA Registration Dossier, 14.09.2021

	0.5/4/(20 m <sup>3</sup> /70 kg) = 32.8 mg/m <sup>3</sup> の吸入での LOAEL を導出。試験期間 2、種差 2.5、個体差 10 を適用し、評価値 II では影響の深刻さから係数 3 を追加して 220 µg/m <sup>3</sup> 、評価値 I では NOAEL への係数 10 を適用して 66 µg/m <sup>3</sup> を導出。		
1-プロパノール (CAS no. 71-23-8)	ラットの 13 週間吸入曝露における精巣重量の減少より、LOAEL として 13000 mg/m <sup>3</sup> 、NOAEL として 4000 mg/m <sup>3</sup> を導出。週 5 日、1 日 6 時間を連続曝露に換算し、それぞれ 2321 mg/m <sup>3</sup> 、714mg/m <sup>3</sup> を導出。試験期間 2、種差 2.5、個体差 10 を適用し、評価値 II として 46 mg/m <sup>3</sup> 、評価値 I として 14 mg/m <sup>3</sup> を導出。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 指針値 II (LOAEL から導出) 46 mg/m<sup>3</sup></li> <li>・ 指針値 I (NOAEL から導出) 14 mg/m<sup>3</sup></li> </ul>	Kim et al. (2021)

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

### 3. フランス環境労働衛生安全庁 (ANSES)

フランスでは室内空気指針値 (VGAI) が定められている (ANSES, 2022)。2021 年 3 月にアンモニア (ANSES, 2021) の室内空気質ガイドラインが公表されており、Web サイトでの公表が 2022 年度であったため、今年度の報告書に含めた。以下に室内空気指針値を表 1-2 に示す。

表 1-2 フランスにおける室内空気指針値のまとめ

物質	キー研究	指針値	Ref.
アンモニア (2021)	ヒトの 3 時間曝露での呼吸器への刺激 NOAEL 17.7 mg/m <sup>3</sup> 不確実係数 3 (個体差 3)	VGAI (24 時間) 5.9 mg/m <sup>3</sup> (8.3 ppm)	Sundblad et al. (2004)
	ヒトの肺機能の低下と呼吸器症状の増加 (咳、喘鳴、その他の喘息関連症状) (平均曝露年数 12.2 年)	VGAI (1 年以上曝露) 0.5 mg/m <sup>3</sup> (0.71 ppm)	USEPA (2016) easimated from Holness et al. (1989)

	NOAEL 13.6 mg/m <sup>3</sup> 8 時間での呼吸量 10 m <sup>3</sup> 24 時間での呼吸量 20 m <sup>3</sup> 8 時間 5 日間労働を連続曝露へ $13.6 \times 10 / 20 \times 5 / 7 = 4.9 \text{ mg/m}^3$ 不確実係数 10 (個体差 10)		
--	--	--	--

#### 4. カナダ保健省

カナダ保健省は、居住環境用の室内空気質ガイドラインを公表している (Health Canada, 2022a)。2022 年度は、キシレン (Health Canada, 2021b) の室内空気質ガイドラインを公表した (表 1 - 3)。

表 1 - 3 カナダ保健省の室内空気質ガイドライン (2022 年度以降)

物質	キー研究	ガイドライン	Ref.
キシレン	ヒトの 2 時間曝露での神経学的症状 (頭痛、疲労)、目、鼻、喉の刺激; 呼吸への影響 LOAEL 217 mg/m <sup>3</sup> (50 ppm) 不確実係数 30 (LOAEL 3、個体差 10)	短時間 (1 時間) 7200 µg/m <sup>3</sup> (1700 ppb)	Ernstgård et al (2002)
	ラットの 3 か月間吸入曝露試験における運動協調障害 NOAEL 217 mg/m <sup>3</sup> (50 ppm) 時間補正 $217 * 6 * 5 / 24 / 7 = 39 \text{ mg/m}^3$ 不確実係数 250 (試験期間 10、種差 2.5、個体差 10)	長時間 (24 時間) 150 µg/m <sup>3</sup> (36 ppb)	Korsak et al. (1994)

#### 5. WHO の国際がん研究機関 (IARC) による発がん性分類のアップデート (2022 年度以降)

室内空気汚染物質に関連する IARC による発がん性分類のアップデートを表 1 - 4 に示す。室内ダスト中で検出されるコバルト金属が 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) から 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある) に格上げとなっている。なお、可溶性と不溶性のコバルト二価化合物では発がん性が異なっており、可溶性のコバルト二価化合物で 2A となっているが、不溶性の二酸化コバルトは 2B で、その他のコバルト化合物は 3 (ヒトに対する発がん性を分類できない) となっている。

PET 樹脂の触媒などに使用されており、室内ダスト中からも検出される三酸化アンチモンが 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) から 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある) に格上げとなっている。また、次年度以降のワーキンググループでは、室内ダストに含まれる可能性のある物質 (PFOA や PFOS) の検討が予定されている。

表 1 - 4 室内空気汚染物質に関連する発がん性分類のアップデート (2022 年度以降)

物質	改正前	改正または新設	発表時期	Monographs
コバルトとその二価物 (タングステンカーバイドを含まない)	2B (1991 年、2006 年)	金属 Co : 2A 可溶性二価物 : 2A 二酸化 Co : 2B	2022 年 4 月	Vol. 131

		二三酸化 Co : 3 二硫化 Co : 3 他の 2 価物 : 3		
三価および五価アンチモン	三酸化アンチモン 2B (1989年)、三硫化アンチモン 3 (1989年)	三酸化 Sb : 2A 五酸化 Sb : 3	2022年4月	Vol. 131
兵器級タングステン	—	2B	2022年4月	Vol. 131
アントラセン (CAS 120-12-7)	3 (2010年)	検討中	2023年4月	Vol. 133
2-ブロモプロパン (CAS 75-26-3)	—	検討中	2023年4月	Vol. 133
メタクリル酸ブチル (CAS 97-88-1)	—	検討中	2023年4月	Vol. 133
亜リン酸ジメチル (CAS 868-85-9)	3 (1999年)	検討中	2023年4月	Vol. 133
アステルパーム (CAS 22839-47-0)	—	検討予定	2023年7月	Vol. 134
メチルオイゲノール (CAS 93-15-2)	2B (2013年)	検討予定	2023年7月	Vol. 134
イソオイゲノール (CAS 97-54-1)	—	検討予定	2023年7月	Vol. 134
ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) (CAS 335-67-1)	2B (2017年)	検討予定	2023年12月	Vol. 135
ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) (CAS 1763-23-1)	—	検討予定	2023年12月	Vol. 135

グループ 1 : ヒトに対して発がん性がある

グループ 2A : ヒトに対しておそらく発がん性がある

グループ 2B : ヒトに対して発がん性があるかもしれない

グループ 3 : ヒトに対する発がん性を分類できない

グループ 4 : ヒトに対しておそらく発がん性がない

#### 参考文献

ANSES (2021) Valeurs guides, de qualité d'air intérieur, L'ammoniac. Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective.

ANSES (2022) Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI). available at <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>, accessed at 15 December 2022.

Chuwers P, Osterloh J, Kelly T, d'Alessandro A, Quinlan P, Becker C (1995) Neurobehavioral

- effects of low-level methanol vapor exposure in healthy human volunteers. *Environ Res* 71:141–150
- Cook MR, Bergman FJ, Cohen HD et al (1991) Effects of Methanol Vapor on Human Neurobehavioral Measures. Midwest Research Institute. MO, Kansas City.
- Ernstgård L, Gullstrand E, Lof A, Johanson G (2002) Are women more sensitive than men to 2-propanol and m-xylene vapours? *Occupational and Environmental Medicine*, 59(11): 759–767.
- Health Canada (2022a) Residential Indoor Air Quality Guidelines. available at <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/air-quality/residential-indoor-air-quality-guidelines.html>, accessed at 15 December 2022.
- Health Canada (2022b) Residential Indoor Air Quality Guidelines: Xylenes. Health Canada, Ottawa.
- Holness D.L., Purdham J.T., Nethercott J.R. (1989) Acute and chronic respiratory effects of occupational exposure to ammonia. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 50:646-650.
- IARC (2022) IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. International Agency for Research on Cancer. <https://monographs.iarc.who.int/>, accessed at 15 December 2022.
- IRK (2022a) Richtwerte für Methanol in der Innenraumluft, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). *Bundesgesundheitsbl* 65:128–136.
- IRK (2022b) Richtwerte für Acetophenon in der Innenraumluft, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. *Bundesgesundheitsbl* 65:1216–1225.
- IRK (2022c) Richtwerte für 1-Propanol in der Innenraumluft, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). *Bundesgesundheitsbl* 65:1226–1233.
- Kim, Y.-S., K.-Y. Park, and E.-S. Cho, Thirteen-week inhalation toxicity study of 1-propanol in F344 rats. *Toxicology Reports*, 2021. 8: p. 1839–1845.
- Korsak Z, Wisniewska-Knypl J, Swiercz R (1994) Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 7(2):155–166.
- Mann WJ, Muttray A, Schaefer D, Klimek L, Faas M, Konietzko J (2002) Exposure to 200 ppm of methanol increases the concentrations of interleukin-1beta and interleukin-8 in nasal secretions of healthy volunteers. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 111:633–638
- Muttray A, Kürten R, Jung D, Schicketanz KH, Konietzko J (2001) Acute effects on the human EEG after an external exposure to 200 ppm methanol. *Int Arch Occup Environ Health* 74:43–48
- Sundblad BM, Larsson BM, Acevedo F, Ernstgård L, Johanson G, Larsson K, Palmberg L. (2004) Acute respiratory effects of exposure to ammonia on healthy persons. *Scand J Work Environ Health*. 30(4):313-21.
- USEPA (2016) Toxicological Review of Ammonia Noncancer Inhalation. EPA/635/R-16/163Fa. Integrated Risk Information System, U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC.
- WHO (2021) WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva.
- WHO (2022) Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment, 2022 update. WHO/HEP/ECH/EHD/22.01. World Health Organization, Geneva.

## 調査結果（２）室内環境化学物質の有害性評価

下記に示した 9 物質について、有害性評価を行った国際機関や国内外の関連機関等の評価文書や規制情報等を収集し、有害性評価に関する書誌情報等の整理を行った。

<調査対象物質>

- ・ メチルシクロヘキサン (CAS 108-87-2)
- ・ プロピルシクロヘキサン (CAS 1678-92-8)
- ・ 1-ブタノール (CAS 71-36-3)
- ・ ヘキサナール (CAS 66-25-1)
- ・ デカナール (CAS 112-31-2)
- ・ トリクロロエチレン (CAS 79-01-6)
- ・ テトラクロロエチレン (CAS 127-18-4)
- ・ 1,2-ジクロロエタン (CAS 107-06-2)
- ・ アクロレイン (CAS 107-02-8)

国内外の評価機関等による評価文書類の公表状況を次ページに示す。

表1 対象9物質に関する既存評価書類の有無（遡及期間限定せず）

No 物質名 評価機関	1 Methyl cyclohexane	2 Propyl cyclohexane	3 1-ブタノール	4 ヘキサナール	5 デカナール	6 トリクロロ エチレン	7 テトラクロロ エチレン	8 1,2-ジクロロ エタン	9 アクロレイン
厚労・室内空気	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Air (Europe)	×	×	×	×	×	● 2000 UR	● 2000	● 2000	×
WHO Air 2005 Update (Europe)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Air (Global)	×	×	×	×	×	● 2000 UR	● 2000 A/C	● 2000 UR	● 2000
WHO Indoor Air	×	×	×	×	×	● 2010 UR	● 2010	×	×
WHO Drinking Water	×	×	×	×	×	● 2020 経口	● 2020 経口	● 2003 経口	×
IPCS EHC	×	×	○ 1987 (EHC 65)	×	×	○ 1985 (EHC 50)	○ 1984 (EHC 31)	○ 1987, 95 (EHC 62, 176)	● 1991 (EHC 127)
IPCS CICAD	×	×	×	×	×	×	● 2006 C/UR (No. 68)	● 1998 UR (No. 1)	● 2002 (No. 43)
IARC	×	×	×	×	×	○ 2014 1 (Vol. 106)	○ 2014 2A (Vol. 106)	○ 1999 2B (Vol. 71)	○ 2021 2A (Vol. 128)
JECFA	×	×	○ 1997	○ 1997	○ 2002	○ 1983	○ 1979	○ 1992	×
JMPR	×	×	×	×	×	○ 1968	×	○ 1972	×
US EPA (IRIS)	×	×	● 2011	×	×	● 2011 C/UR	● 2012 C/UR	● 1987 UR	● 2003
US EPA (AeGL)	×	×	×	×	×	● 2008 A	● 2009 A	×	● 2010 A
US EPA (PPRTV)	○ 2013	×	×	×	×	×	×	● 2010	○ 2002
US EPA (RED)	×	×	×	×	×	×	×	×	● 2008 A
US EPA (OCSP/OPPT)	×	×	○ 2005	×	×	×	×	×	×
VOCEP (TERA) (自主プログラム)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ATSDR	×	×	×	×	×	● 2019	● 2019 A/C	● 2022 A	● 2007 A/C
CalEPA	×	×	×	×	×	● 2000 C/UR	● 1991, 99 2016 A/C/UR	● 1985, 1999 C/UR	● 2008 A/C
テキサスEPA	● 2015 A/C	● 2004 A/C	● A/C 2015	● A/C 2015	● A/C 2016	● 2007 A/C	● 2008 A/C/UR	● 2016 A/C/UR	● 2015 A/C
ミシガンEPA	×	×	×	×	×	● 2017 A/C/UR	● 2017 A/C/UR	● 2015 C/UR	● 2015
ミネソタ州	×	×	×	×	×	● 2018 A/C/UR	● 2014 A/C/UR	×	● 2012 A/C
ACGIH	● 1974	×	● 2000	×	×	● 2006 A/C	● 1992 A/C	● 1978	● 1997 A
EUリスク評価	×	×	×	×	×	● 2004 A/C	×	×	● 2001
EU INDEX Project	×	×	×	×	×	×	×	×	×
EU LCI	● 2013	×	● 2013	● 2013	● 2013	×	● 2018	×	×
EU ECHA (DNEL)	● A/C	×	●	●	●	● A/C	● A/C	● UR	●
EU SCOEL/RAC	×	×	×	×	×	● 2009 A/C	● 2009 A/C	● 2016 UR	● 2007 A/C
EU EFSA 又は EC SCGS	×	×	×	×	×	×	×	×	×
IUCLID	×	×	○ 2001	×	×	○ 2001	○ 2001	○ 2001	○ 2001
SIDS	○ 2014	×	○ 2001	×	×	EUリスク評価書として公開	○ 1996 (SIAM)	○ 2002	EUリスク評価書として公開
独・室内空気	×	×	● 2014	● 2009 (G4-G11)	● 2009 (G4-G11)	● 2015 UR	● 2017	● 2018 UR	×
独・AGoEF	● 2013	×	● 2013	● 2013	● 2013	○ 2013	○ 2013	○ 2013	○ 2013
独・DFG (MAK)	● 2000	×	● 1958	×	×	○ 2007	● 2016	○ 1989	○ 2012
独・AGS (TRGS)	● 2006 A/C	×	● 2006 A/C	×	×	● 2019	● 2017 A/C	● 2015 C/UR	● 2007 A/C
独・AgBB	● 2021	×	● 2021	● 2021	● 2021	×	×	×	● 2018
オランダ	● 2005	×	×	×	×	● 2001	● 2001	● 1997, 2001, 2019 UR	● 2007 A/C
仏・ANSES	● 2009	×	● 2009	● 2006	● 2006	● 2009, 2018 C/UR	● 2006, 10, 18 A/C/UR	● 2009 UR	● 2022 A/C
オーストラリア・室内空気	×	×	×	×	×	×	● ?	×	×
デンマーク	● 1990, 2004	×	● 1991, 2004	● 2004	● 2004	● 1997	● 2014	● 1992	● 1988
オーストラリア	×	×	○ 2013	×	×	● 2000	● 2001	○ 2013	○ 2017
カナダ	×	×	● 2022 A/C	×	×	● 2021 C/UR	● 1993	● 1994, 2014 経口	● 2000
カナダ室内空気	×	×	×	×	×	×	● 2017	×	● 2017, 2021 A/C
オンタリオ州	● 2018 A/C	● 2018 A/C	● 2016 A/C	● 2018 A/C	● 2018 A/C	● 2020	● 2020	● 2020	● 2012 A/C
アルバータ州	×	×	×	×	×	×	×	×	● 2013 A/C
日本産衛学会	● 1986	×	● 1987	×	×	● 1997	● 1972	● 1984	● 1973
食品安全委員会	×	×	● 2005 経口	×	×	● 2010 経口	● 2008 経口	● 2008 経口	×
環境省・有害大気	×	×	×	×	×	● 1996, 2018 (環境基準値)	● 1996 (環境基準値)	● 2006 (指針値)	×
環境省・初期評価	×	×	● 2005	×	×	×	×	● 2003	● 2004
厚労省・リスク評価	×	×	×	×	×	● 2018	● 2018	● 2019 UR	● 2020 A/C
NITE・初期評価	×	×	×	×	×	● 2005	● 2006	● 2005	● 2006
その他	● 1997 TPHCWG ● 2014 FoBiG ● 2004 PNNL	● 2014 FoBiG ● 2004 PNNL	● 2019 FIRM ● 1996 NRC ○ 2003 ECTOC 等	● 2009 NRC A/C ○ 2016 デンマーク ○ 2006 オランダ	×	×	×	● 2022 化審法(一次評価)	×

●：定量的評価（リスク評価値を設定せず含む）、○：有害性情報のみ、×：情報なし（赤字は過去に報告済み）  
 A：急性（acute、STEL等含む）、C又は無印：慢性（chronic、TLV-TWA等含む）、SF：slope factor（がん）、UR：unit risk（がん）

黄色欄：吸入曝露

## 1-1 メチルシクロヘキサン (CAS 108-87-2)

急性毒性、反復曝露の一般毒性について知見が得られているものの、情報は限定的である。経皮投与による生殖発生毒性、遺伝子傷害性の情報は ECHA の Registered substances factsheets に記載があったが、出典の明記はなかった。発がん性については知見が得られていない。

国内外の評価機関において設定された Methylcyclohexane の慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 3 に示す。

キー研究についてみると、慢性のリスク評価値ではアメリカの Aerospace Medical Research Laboratory で実施された本物質曝露の一連の毒性試験結果から、独・DFG (MAK) とオランダが 1 年間の吸入曝露試験の結果を基にリスク評価値を設定していた。また、出典の明記はなかったが、NOAEL の数値から EU (DNEL) も同様と考えられた。その他の機関ではキー研究は明記されておらず、類似物質の知見を基に設定されたものと考えられた。

急性のリスク評価値では、類似物質の知見に基づき設定されたものと思われた。

なお、日本の既存化学物質毒性データベース 1) に反復毒性・生殖発生毒性併合試験、復帰突然変異試験、染色体異常試験の報告書が収録されており、化審法データベース 2) に 28 日間反復経口投与毒性試験、復帰突然変異試験、染色体異常試験の結果が収録されていたことから、毒性試験結果のフォルダーを作成して収集した。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 4 に示す。

表2 有害性評価結果（慢性曝露） Methylcyclohexane その1

ファイル番号	01	02	03	04	05	06	07	08
評価機関等	テキサス州 EPA	ACGIH	EU LCI	EU ECHA (DNEL)	独・AGÖF	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	独・AgBB
評価年	2015	1974	2013	—	2013	2000	2006	2021
キー研究	NIOSH、OSHA の TLV	—	—	—	—	AMRL (1984)	DFG	EU CLI
動物種	—	—	—	—	—	ラット	—	—
曝露状況	—	—	—	—	—	12ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	—	—
エンドポイント	—	—	—	—	—	腎臓の髄質の石灰化と 腎乳頭の過形成	—	—
N(L)OAEL	—	—	—	NOAEL 400 mg/m <sup>3</sup>	—	NOEL 400 ppm	—	—
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	—	—	400 mg/m <sup>3</sup>	—	(400 ppm)	—	—
不確実係数	—	—	—	25 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10)	—	(2)	—	—
リスク評価値	0.4 ppm (1.61 mg/m <sup>3</sup> )	400 ppm (1,610 mg/m <sup>3</sup> )	8.1 mg/m <sup>3</sup>	16 mg/m <sup>3</sup> (400/25 = 16)	0.004 mg/m <sup>3</sup>	200 ppm (810 mg/m <sup>3</sup> )	810 mg/m <sup>3</sup>	8.1 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の年平均値。 急性（1時間平均値） の×1/10で設定。	TLVとして設定。 ヘプタンの急性毒性と 同等と評価して設定。 その際、370 ppmの本 物質の長時間曝露では サルに影響なかったと いう Teron ら(1943)の 結果も紹介。	Agreed EC-LCI value リストにあった値。 ANSES と AgBB の LCI 値をもとに設定。  2008年版の AgBB で 設定された本物質の LCI 値が 8.1 mg/m <sup>3</sup> で TRGS の×1/100とし て設定されていた。	Endpoint summary に記 載されていた NOAEL は Kinkead ら(1985)の ラットに試験から得ら れた 400 ppm (1,600 mg/m <sup>3</sup> )で、エンドポイ ントは雄ラットの進行 性腎症。  DNEL の単位は ppm の間違いかも？	3,642 件の室内空気測 定値の 90 パーセンタ イル値(Attention value P 90)が採用されてい る。	AMRL (1984)の報告は Kinkead ら(1985)に含 まれる。 POD、不確実係数の値 は推定値。エンドポイ ントは1年の曝露期間 が終了し、さらに1年 の観察期間が終了した 時点の所見。  2007年の再評価では α 2u-グロブリンを介 したメカニズムが検討 されたが、未測定で、 根拠が乏しいことを理 由に却下された。	労働者の許容濃度。	ドイツの LCI 値。 (ドイツ語では NIK)。  当初は TRGS の 1/100 として設定されたが、 EU の LCI が AgBB の 値を採用したことか ら、現在は Adoption EU-LCI value の表記と なっている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

AMRL (Aerospace Medical Research Laboratory) (1984) Toxic hazards research unit. Annual technical report. NTIS/OTS 0206798,  
Kinkead ER, Haun CC, Schneider MG, Vernot EH, Macewen JD. (1985): Chronic Inhalation Exposure of Experimental Animals to Methylcyclohexane. Air Force Aerospace Medical Research Laboratory report #TR-85-032. NTIS/ADA156053.

表2 有害性評価結果（慢性曝露）

その2

ファイル番号	09	10	11		12	13	14	15
評価機関等	オランダ	仏・ANSES(AFSSET)	デンマーク		オンタリオ州	日本産衛学会	THCWGTP	FoBiG 社
評価年	2005	2009	1990	2004	2018	1986	1997	2014
キー研究	AMRL (1984)	DFG (MAK)	—	—	—	ACGIH の TLV	市販ヘキサン混合物 Kelly ら(1994) Daughtrey ら(1994)	—
動物種	ラット	—	—	—	—	—	ラット・マウス	—
曝露状況	12ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	—	—	—	—	—	2年間 (6時間/日、5日/週)	—
エンドポイント	腎臓への影響	—	—	—	—	—	鼻甲介・喉頭の粘膜刺激など	—
N(L)OAEI	NOAEL 1,636 mg/m <sup>3</sup> (400 ppm)	—	—	LOEL 10,054 ppm	—	—	3,000 ppm (10,307 mg/m <sup>3</sup> )	—
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	×6/4×5/7	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	1,636 mg/m <sup>3</sup> (400 ppm)	8,100 mg/m <sup>3</sup>	—	10,054 ppm	—	—	1,840mg/m <sup>3</sup> (= 10,307×6/24×5/7)	—
不確実係数	9 (UF <sub>H</sub> ×UF <sub>DB</sub> )	100	—	1,000 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>C</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 10)	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10)	—
リスク評価値	200 mg/m <sup>3</sup> (48 ppm) (1,636/9 = 181.8 ≒ 200)	8.1 mg/m <sup>3</sup>	1 mg/m <sup>3</sup>	10 ppm (2.5 mg/m <sup>3</sup> )	8.05 mg/m <sup>3</sup>	400 ppm (1,600 mg/m <sup>3</sup> )	18.4 mg/m <sup>3</sup>	—
備考	労働者の許容濃度。試験に用いた4種類の動物のうち最も感受性の高かったラットの試験結果を採用したので種差のUFは不要としている。	LCI値として設定。2006年版ではフランスの職業曝露限界値(VME France)の1,600 mg/m <sup>3</sup> を安全率100で除した16 mg/m <sup>3</sup> を設定していた。	設定文書は入手できなかった。寄与値(B値)であり、バックグラウンドレベルを考慮していない。土壌汚染による室内空気質基準としても使用される。	LCIとして設定。急性毒性の項で、RTECSではウサギの吸入TCLoは10,054 ppmであったとする記載があり、LOELはこの値であったと思われる。	スクリーニング値で、24時間平均値。2016年の6.44 mg/m <sup>3</sup> から増加。		THCWGTP (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group) C5~C8分画のRfCとして設定されている。しかし、ヘキサン中の本物質は1%未満であったと思われる。また、本物質の有害性情報の記載はあったが、NOAEL等の評価はされていなかった。	リスク評価値は設定していないが、炭素数分画で分けたレビューとC6~C8分画のグループガイダンスレベルを設定することを提案する記載あり。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生(発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Kelly DW, Duffy JS, Haddock LS, Daughtrey WD, Keenan TH, Newton PE, Rhoden RA. (1994): Chronic inhalation study of commercial hexane in rats. Toxicologist 14: 317 (Abstract #1233).

Daughtrey WC, Duffy JS, Haddock LS, Kelly DW, Keenan TH, Richter WR, Rhoden RA. (1994b): Chronic inhalation study of commercial hexane in mice. Toxicologist 14: 317 (Abstract #1234).

表2 有害性評価結果（慢性曝露）

その3

ファイル番号	16
評価機関等	Pacific Northwest National Laboratory
評価年	2004
キー研究	—
動物種	—
曝露状況	—
エンドポイント	—
N(L)OAEL	—
連続曝露補正	—
dosimetry 補正	—
POD	—
不確実係数	—
リスク評価値	300 ppm
備考	<p>8 時間 TWA の PEL として設定。  PEL: Permissible exposure limit</p> <p>タンクのヘッドスペースに存在する、または存在すると予測される化学物質の毒性学的評価として実施されたもので、職業曝露の既存の評価値の中から最小のものを選択したとされていたが、何から引用したかの記載はなかった。</p>

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表3 有害性評価結果（急性曝露）

ファイル番号	01	04	07	11
評価機関等	テキサス州 EPA	EU ECHA (DNEL)	独・AGS (TRGS)	オンタリオ州
評価年	2015	—	2006	2018
キー研究	NIOSH、OSHA の TLV	—	DFG	—
動物種	—	—	—	—
曝露状況	—	—	—	—
エンドポイント	—	—	—	—
N(L)OAEL	—	NOAEC 25,398.4 mg/m <sup>3</sup>	—	—
連続曝露補正	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—
POD	—	—	—	—
不確実係数	—	25 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10)	—	—
リスク評価値	16.1 mg/m <sup>3</sup>	1,016 mg/m <sup>3</sup> (25,398.4/25 = 1,015.9)	1,620 mg/m <sup>3</sup>	24.15 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の 1 時間平均値。 類似物質の急性毒性を考慮して設定された ACGIH の値を OSHA、NIOSH が採用。	NOAEC の出典は Endpoint summary にも記載がなかった。	長期の許容濃度 (810 mg/m <sup>3</sup> ) に超過係数の 2 を乗じた値。	スクリーニング値で、30 分平均値。2016 年の 19.32 mg/m <sup>3</sup> から増加。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 4 Methylcyclohexane の許容濃度

Substance	Methylcyclohexane			
CAS No.	108-87-2			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	400	1610		
Austria	400	1600	1600	6400
Belgium	400	1633		
Canada - Ontario	400			
Canada - Québec	400	1610		
Denmark	200	805	400	1610
Finland	400	1600	500 (1)	2000 (1)
France	400	1600		
Germany (AGS)	200	810	400 (1)	1620 (1)
Germany (DFG)	200	810	400 (1)	1620 (1)
Ireland	400	1600		
Japan (JSOH)	400	1600		
New Zealand	400	1610		
Norway	200	800		
Poland		1600		3000
Romania	300	1200	375 (1)	1500 (1)
Singapore	400	1610		
South Africa	800			
South Africa Mining	400	1600	500 (1)	2000 (1)
South Korea	400			
Spain	400	1630		
Switzerland	400	1600	800	3200
USA - NIOSH	400	1600		
USA - OSHA	500	2000		
United Kingdom	196	800		
	Remarks			
Finland	(1) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) 15 minutes average value			
Germany (DFG)	(1) 15 minutes average value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa Mining	(1) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, METHYLCYCLOHEXANE. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 03 EU LCI (2021) Agreed EU-LCI values.
- 04 ECHA の登録物質データベース: Methylcyclohexane. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 05 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 06 DFG (2000) Methylcyclohexane. Lieferung: MAK.
- 07 TRGS (2006) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900. Ausschuss für Gefahrstoffe.

- 08 AgBB (2021) Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VVOC, VOC and SVOC) from Building Products. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten.
- 09 Committee of the Health Council of the Netherlands (2005) Health-based Reassessment of Administrative Occupational Exposure Limits, Methylcyclohexane. No. 2000/15OSH/154.
- 10 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 11 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 12 Ontario (2018) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 13 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1986) メチルシクロヘキサン. 産業医学 28:235-242.
- 14 THCWGTP (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group) (1997) Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Volume 4, Amherst Scientific Publishers, Amherst.
- 15 FoBiG (2014) WEITERENTWICKLUNG DER RCP-METHODE ZUR BEWERTUNG VON LÖSEMITTELKOHLENWASSERSTOFF-GEMISCHEN AM ARBEITSPLATZ (VORHABEN 617.0-FP372)
- 16 Pacific Northwest National Laboratory (2004) Toxicological Assessment of Hanford Tank Headspace Chemicals - Determination of Chemicals of Potential Concern. PNNL-14949

## 1-2 プロピルシクロヘキサン (CAS 1678-92-8)

本物質の急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性、発がん性に関する情報を記載した文書類は得られなかった。

RTECS では本物質の登録がなく、ECHA のデータベースでも Pre-registered substances の位置付けで、有害性情報の収録はなかった。SDS 文書でも有害性情報はすべて「情報なし」であった。また、有害性情報の検索対象の1つとして本物質の名前と CAS 番号を示していた報告書もあったが、本物質の有害性情報については記載がなかった。

国内外の評価機関において設定された Propylcyclohexane の慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表5に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表6に示す。また、参考として C<sub>8</sub>~C<sub>16</sub>の脂肪族飽和炭化水素類の慢性曝露の有害性情報を表7に示す。

キー研究についてみると、テキサス州がアルカンの C<sub>5</sub>~C<sub>16</sub>の知見をもとに設定したと明記されていた以外は、リスク評価値のみの記載であり、類似物質の知見に基づいて設定された値と考えられた。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況についても、本物質については得られなかった。なお、参考として、表8に C<sub>9</sub>~C<sub>14</sub>の脂肪族飽和炭化水素の許容濃度を示すが、ドイツの AGS の値が1件あるだけであった。

表 5 有害性評価結果（慢性曝露） Propylcyclohexane

ファイル番号	01	02	03	04
評価機関等	テキサス州 EPA	オンタリオ州	Pacific Northwest National Laboratory	FoBiG 社
評価年	2004	2018	2004	2014
キー研究	アルカンの C <sub>5</sub> -C <sub>16</sub>	—	—	—
動物種	—	—	—	—
曝露状況	—	—	—	—
エンドポイント	—	—	—	—
N(L)OAEL	—	—	—	—
連続曝露補正	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—
POD	—	—	—	—
不確実係数	—	—	—	—
リスク評価値	0.35 mg/m <sup>3</sup>	0.175 mg/m <sup>3</sup>	2,600 mg/m <sup>3</sup>	—
備考	暫定の年平均値。急性（1 時間平均値）の×1/10 で設定されていた。	スクリーニング値で、24 時間平均値。2016 年には未設定であった。	RAC 値として設定。 RAC: Reference allowable concentration  タンクのヘッドスペースに存在する、または存在すると予測される化学物質の毒性学的評価として実施されたもので、InterTox によって開発されたと記載があったが、具体的な記載はなかった。	C <sub>9</sub> の脂肪族炭化水素溶媒のリスク評価値を検討する中で、本物質も検索の対象とした旨の記載があったが、本物質のデータは示されていなかった。

表6 有害性評価結果（急性曝露） Propylcyclohexane

ファイル番号	01	02
評価機関等	テキサス州 EPA	オンタリオ州
評価年	2004	2018
キー研究	アルカンの C <sub>5</sub> -C <sub>16</sub>	—
動物種	—	—
曝露状況	—	—
エンドポイント	—	—
N(L)OAEL	—	—
連続曝露補正	—	—
dosimetry 補正	—	—
POD	—	—
不確実係数	—	—
リスク評価値	3.5 mg/m <sup>3</sup>	0.525 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の1時間平均値。	スクリーニング値で、30分間平均値。2016年には未設定であった。

表7 参考：有害性評価結果（慢性曝露） C<sub>8</sub>～C<sub>16</sub>の脂肪族飽和炭化水素類

ファイル番号	10		11	12	13		14
評価機関等	US EPA (PPRTVs)		EU LCI	独・室内空気	THCWGTP (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group)		独・AgBB
評価年	C <sub>9</sub> -C <sub>18</sub> : 2009		2013	2005	1997		2012
キー研究	NTP (2004)		—	Hass ら(2001)	Phillips ら(1984)	Mattie ら(1991)	—
動物種	ラット		—	ラット	ラット	ラット・マウス	—
曝露状況	104～105 週間 (6 時間/日、5 日/週)		—	妊娠 7～20 日 (6 時間/日)	12 週間 (6 時間/日、5 日/週)	90 日間連続曝露 (24 時間/日、7 日/週)	—
エンドポイント	鼻の杯細胞の肥大	副腎髄質の過形成	—	仔の学習・記憶障害	重要な (significant) 有害所見なし	重要な (significant) 有害所見なし	—
N(L)OAEL	BMCL <sub>10</sub> 410 mg/m <sup>3</sup>	BMCL <sub>10</sub> 144 mg/m <sup>3</sup>	—	LOAEL 4,680 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 900 ppm 以上 (5,485 mg/m <sup>3</sup> )	NOAEL 1,000 mg/m <sup>3</sup> 以上	—
連続曝露補正	×6/24×5/7	×6/24×5/7	—	×6/24	×6/24×5/7	—	—
dosimetry 補正	×0.16 (RGDR)	×0.57 (血液ガス分配係数比)	—	×1/3 (1 段階の濃度 段階を考慮した係数)	—	—	—
POD	12 mg/m <sup>3</sup> (410×6/24 ×5/7×0.16 = 11.7)	15 mg/m <sup>3</sup> (144×6/24 ×5/7×0.57 = 14.7)	—	400 mg/m <sup>3</sup> (4,680×6/24/3 = 390)	979 mg/m <sup>3</sup> (5,485×6/24×5/7 = 979)	1,000 mg/m <sup>3</sup>	—
不確実係数	100 (UF <sup>A</sup> 3, UF <sup>H</sup> 10, UF <sup>DB</sup> 3)	100 (UF <sup>A</sup> 3, UF <sup>H</sup> 10, UF <sup>DB</sup> 3)	—	200 (UF <sup>A</sup> 10, UF <sup>H</sup> 10, UF <sup>C</sup> 2)	1,000 (UF <sup>A</sup> 10, UF <sup>H</sup> 10, UF <sup>S</sup> 10)	1,000 (UF <sup>A</sup> 10, UF <sup>H</sup> 10, UF <sup>S</sup> 10)	—
リスク評価値	0.1 mg/m <sup>3</sup>		6.0 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup> RWII 値	1.0 mg/m <sup>3</sup>	1.0 mg/m <sup>3</sup>	6 mg/m <sup>3</sup>
備考	亜慢性の RfC として 設定。  NTP (2004)の試験は Stoddard Solvent IIC (CAS No. 64742-88-7)を用いた試験であるが、US EPA (PPRTVs)は C <sub>9</sub> -C <sub>18</sub> の中鎖脂肪族炭化水素の分画としている。	慢性の RfC として設 定。	ANSES 及び AgBB の リストにある類似物質 の値から設定された とあったが、具体的 にはどの物質かの記 載はなかった。  ※C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub> として1.4 mg/m <sup>3</sup> の値が設定さ れていたが、C <sub>6</sub> 化 合物の類似物質とし た値であった。	RWI は UF <sub>L</sub> 10 を考 慮し×1/10して0.2 mg/m <sup>3</sup> を設定。 芳香族を除いた white spirit (CAS: 64742-48- 9) を曝露した実験結 果に基づく。  ※ Lund ら(1996)か ら LOAEL を 4,680 mg/m <sup>3</sup> とし、6/24×5/7 で連 続曝露へ補正して 836 mg/m <sup>3</sup> とし、400 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 2, UF <sub>C</sub> 2)で除すと 2 mg/m <sup>3</sup> と なり、同じ値が得られ るとしていた。	芳香族を除いた white spirit (C <sub>7</sub> -C <sub>11</sub> ) を曝 露した実験結果。  芳香族を除いた white spirit (C <sub>7</sub> -C <sub>11</sub> ) をラ ットに妊娠 6 日から妊 娠 15 日まで吸入曝 露(6 時間/日)した実 験 (Unpublished)では 、毒性所見がみられず 、NOAEL は 900 ppm 以上であったが、RfC 設定に使用せず、上 記の設定を指示する知 見として記載されて いた。	JP-8 ジェット燃料(C <sub>9</sub> - C <sub>16</sub> ) を曝露した実験 結果。	C <sub>9</sub> ～C <sub>16</sub> を対象。 NIK 値として設定。 (ドイツの LCI 値に相 当する。)  (C <sub>6</sub> ～C <sub>8</sub> については 15 mg/m <sup>3</sup> を設定。)

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

NTP (2004): Toxicology and carcinogenesis studies of Stoddard Solvent IIC (CAS No. 64742-88-7) in F344/N rats and B6C3F<sub>1</sub> mice (inhalation studies). NTP TR 519.

Hass U, Ladefoged O, Lam HR, Ostergaard G, Lund SP, Sinonsen L. (2001): Behavioural effects in rats after prenatal exposure to dearomatized white spirit. Pharmacol Toxicol. 89: 201-207.

Phillips RD, Egan GF. (1984): Subchronic inhalation exposure of dearomatized white spirit and C10-C11 isoparaffinic hydrocarbon in Sprague-Dawley rats. Fundam Appl Toxicol. 4: 808-818.

Mattie DR, Alden CL, Newell TK, Gaworski CL, Flemming CD. (1991): A 90-day continuous vapor inhalation toxicity study of JP-8 jet fuel followed by 20 or 21 months of recovery in Fischer 344 rats and C57BL/6 mice. Toxicol Pathol. 19: 77-87.

表 8 参考：C<sub>9</sub>～<sub>14</sub> の脂肪族飽和炭化水素類の許容濃度

<b>Substance</b>	Hydrocarbons, aliphatic, C <sub>9</sub> -C <sub>14</sub>			
<b>CAS No.</b>				
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Germany (AGS)		300 (1)(2)(3)		600 (1)(2)(3)(4)
	<b>Remarks</b>			
Germany (AGS)	(1) For the hydrocarbon mixture used at the workplace calculate the "mixture limit value" using the RCP method and the limit values for "Hydrocarbon mixtures, aliphatic C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub> " and "Hydrocarbon mixtures, aromatic C <sub>9</sub> -C <sub>14</sub> " (2) n-Hexane, diethylbenzene (all isomers) and decaline have to be taken into account separately (3) Hydrocarbons not belonging to the RCP groups (pentane (all isomers), benzene, toluene, xylene (all isomers), ethylbenzene and naphthalene) shall not be included in the calculation of the RCP limit value. Pentane (all isomers), toluene, xylene, ethylbenzene and naphthalene shall be assessed by their occupational exposure limit value and included in the calculation of the assessment index according to TRGS 402. Benzene is to be evaluated with the acceptance and tolerance concentration according to TRGS 910. (4) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 Ontario (2018) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 03 Pacific Northwest National Laboratory (2004) Toxicological Assessment of Hanford Tank Headspace Chemicals - Determination of Chemicals of Potential Concern. PNNL-14949
- 04 FoBiG (2014) WEITERENTWICKLUNG DER RCP-METHODE ZUR BEWERTUNG VON LÖSEMITTELKOHLENWASSERSTOFF-GEMISCHEN AM ARBEITSPLATZ (VORHABEN 617.0-FP372)
- 10 USEPA (2009) Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 11 EU LCI (2020) Agreed EU-LCI values.
- 12 Sagunski and Mangelsdorf (2005) Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C<sub>9</sub>-C<sub>14</sub>). Bundesgesundheitsbl 48:803-812.
- 13 THCWGTP (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group) (1997) Development of Fraction Specific Reference Doses (RfDs) and Reference Concentrations (RfCs) for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Volume 4, Amherst Scientific Publishers, Amherst.
- 14 AgBB (2012) Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten.

### 1-3 1-ブタノール (CAS 71-36-3)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性について知見が得られているが、発がん性については知見が得られておらず、有害性情報としては全般的に少ない。

国内外の評価機関において設定された 1-ブタノールの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 9 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 10 に示す。

キー研究についてみると、慢性のリスク評価値では US EPA (IRIS) のドラフトが Korsak ら (1994) のラットに 3 ヶ月間吸入曝露させた試験結果を採用してリスク評価値を算出しており、カナダも MOE での評価であったが、同じ知見を基に評価を実施していた。また、独・室内空気では Sitarek ら (1994) のラットに 14 種間飲水投与して実施した生殖・発生毒性試験の結果から US EPA (IRIS) がドラフトの中で算出していた BMDL を使用して吸入換算し、リスク評価値を算出していた。なお、IRIS の評価はドラフトの提案までで止まっており、2018 年 12 月に中止が決定していることから、RfC は確定していない。

急性のリスク評価値では、カナダが Sitarek ら (1994) の生殖・発生毒性試験の結果から急性の MOE を算出して評価していた。また、オンタリオ州のように臭気をエンドポイントにしたリスク評価値の設定もあった。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 11 に示す。

表9 有害性評価結果（慢性曝露） 1-ブタノール その1

ファイル番号	01	02	03	04	05		06	07
評価機関等	US EPA (IRIS)	テキサス州	ACGIH	EU LCI	EU ECHA (DNEL)		独・室内空気	独・AGÖF
評価年	2011 (案)	2015	2000	2013	—		2014	2013
キー研究	Korsak ら(1994)	TLV	Nelson ら(1943)	—	DFG の MAK 値		Sitarek ら(1994)	—
動物種	ラット	—	ヒト	—	ヒト		ラット	—
曝露状況	3ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	—	3~5分	—	職業曝露		14週間飲水投与 (生殖・発生毒性試験)	—
エンドポイント	神経行動学的機能障害 (回転棒試験の成績)	—	眼刺激	—	刺激 (気道)		脳の形態異常 (胎仔の脳室拡張)	—
N(L)OAEL	NOAEL 154 mg/m <sup>3</sup>	—	LOAEL 50 ppm	—	310 mg/m <sup>3</sup>		BMDL <sub>10</sub> 26.1 mg/kg/day	—
連続曝露補正	—	—	—	—	( $\times 8/24 \times 5/7 = 1/4.2$ )	—	—	—
dosimetry 補正	PBPK モデルで調整	—	—	—	—	—	—	—
POD	59 mg/m <sup>3</sup>	—	—	—	310 mg/m <sup>3</sup>		26.1 mg/kg/day	—
不確実係数	1,000 (UFA 3, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)	—	—	—	5.6 (UF <sub>H</sub> 1.34 $\times$ 4.2)	2 (UF <sub>H</sub> 2)	17.1 (UF <sub>RR</sub> 0.286 $\times$ 0.6, UFA 10, UF <sub>H</sub> 10)	—
リスク評価値	0.06 mg/m <sup>3</sup>	0.061 mg/m <sup>3</sup>	20 ppm (61 mg/m <sup>3</sup> )	3.0 mg/m <sup>3</sup>	55.537 mg/m <sup>3</sup> (310/5.6 = 55.357)	155 mg/m <sup>3</sup> (310/2 = 155)	2 mg/m <sup>3</sup> (26.1/17.1 = 1.52)	0.035 mg/m <sup>3</sup>
備考	2011年のToxicological review (Draft) で提案されていたが、2018年12月に中止になっており、RfCは確定していない。	暫定の年平均値。急性(1時間平均値)の $\times 1/10$ で設定。		Agreed EC-LCI value リストにあった値。ANSESとAgBBのLCI値をもとに設定。  AgBBの2003年版で設定された本物質のLCI値が3.1 mg/m <sup>3</sup> でTRGSの $\times 1/100$ 。	全身影響の場合。	局所影響の場合。	RW II 値として設定。RW I は BMDL <sub>05</sub> 12.4 mg/kg/day をUFで除した0.7 mg/m <sup>3</sup> を設定している。  経路間外挿の0.286は $1/(70 \text{ kg} \times 20 \text{ m}^3)$ 、0.6は吸収率を経口の場合は100%、吸入の場合は60%と仮定したもの。  BMDLはUS EPAのDraftの中で算出されていた値を採用。	3,556件の室内空気測定値の90パーセントイル値(Attention value P 90)が採用されている。

UFA: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生(発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Korsak Z, Wisniewska-Knypl J, Swiercz R. (1994): Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats. Int J Occup Med Environ Health. 7: 155-166.

Nelson KW, Ege Jr JF, Ross M, et al. (1943): Sensory Response to Certain Industrial Solvent Vapors. J Ind Hyg Toxicol. 25: 282-285.

Sitarek K, Berlińska B, Barański B. (1994): Assessment of the effect of n-butanol given to female rats in drinking water on fertility and prenatal development of their offspring. Int J Occup Med Environ Health. 7: 365-370.

表9 有害性評価結果（慢性曝露） 1-ブタノール その2

ファイル番号	08	09	10	11	12		13	14
評価機関等	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	独・AgBB	仏・ANSES (AFSSET)	デンマーク		カナダ	オンタリオ州
評価年	1958	2006	2021	2009	1991	2004	2022 (案)	2016
キー研究	Sterner ら(1949)	DFG	EU LCI	USA OSHA	—	—	Korsak ら(1994)	—
動物種	ヒト	—	—	—	—	—	ラット	—
曝露状況	職業曝露	—	—	—	—	—	3ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	—
エンドポイント	眼刺激	—	—	—	—	—	神経行動学的機能障害 (回転棒試験の成績)	—
N(L)OAEL	NOAEL 100 ppm	—	—	—	—	—	LOAEL 308 mg/m <sup>3</sup>	—
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	×6/24×5/7 (308×6/24×5/7=55)	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	—	—	300 mg/m <sup>3</sup>	—	—	55 mg/m <sup>3</sup>	—
不確実係数	—	—	—	100	—	—	—	—
リスク評価値	100 ppm (300 mg/m <sup>3</sup> )	100 ppm (310 mg/m <sup>3</sup> )	3 mg/m <sup>3</sup>	3.0 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>	—	0.92 mg/m <sup>3</sup>
備考		労働者の許容濃度。	ドイツのLCI値。 (ドイツ語ではNIK)。  当初はTRGSの1/100の3.1 mg/m <sup>3</sup> として設定されたが、EUのLCIがAgBBの値を採用して3 mg/m <sup>3</sup> としたことから、2015年版からEUのLCIにあわせ、Adoption EU-LCI valueの表記となっている。	LCI値として設定。 2006年版ではフランスの職業曝露限界値(VME France)の150 mg/m <sup>3</sup> を安全率100で除した1.5 mg/m <sup>3</sup> を設定していた。	設定文書は入手できなかった。 寄与値(B値)であり、バックグラウンドレベルを考慮していない。土壌汚染による室内空気質基準としても使用される。	LCI値として設定。 エンドポイントは眼刺激とあったが、算出過程等は不明。	室内空気濃度のMargin of exposure (MOE)を算出し評価しているが、比較対象となる不確実係数の積は明記されていない。	24時間平均値。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Sterner JH, Crouch HC, Brockmyre HF, Cusack M. (1949): A ten-year study of butyl alcohol exposure. Am Ind Hyg Assoc J. 10: 53-59.  
Cogan DG; Grant WM. (1945): An Unusual Type of Keratitis Associated with Exposure to n-Butyl Alcohol (Butanol). Arch Ophthalmol. 33: 106-108.  
Tabershaw IR; Fahy JP; Skinner JB. (1944): Industrial Exposure to Butanol. J Ind Hyg Toxicol. 26: 328-330.

表9 有害性評価結果（慢性曝露） 1-ブタノール その3

ファイル番号	15	16	17	18
評価機関等	日本産衛学会	環境省・初期評価	RIFM	National Research Council
評価年	1987	2005	2019	1996
キー研究	Cogan ら(1945) Tabershaw ら(1994)	Korsak ら(1994)	Korsak ら(1994)	Toxicology Research Laboratories (1986)
動物種	ヒト	ラット	ラット	ラット
曝露状況	職業曝露	3ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	3ヶ月間 (6時間/日、5日/週)	92日間(7日/週) 経口投与
エンドポイント	粘膜刺激と眼の角膜障害 (聴力障害の恐れ)	運動協調性障害	運動協調性障害	最高用量群で影響なし (麻酔作用を除く)
N(L)OAEL	—	NOAEL 150 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 154 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 500 mg/kg/day
連続曝露補正	—	$\times 6/24 \times 5/7$ ( $150 \times 6/24 \times 5/7 = 27$ )	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	(70 kg/0.33 kg) <sup>0.67</sup>
POD	—	27 mg/m <sup>3</sup>	41 mg/kg/day	750 mg/m <sup>3</sup>
不確実係数	—	—	—	10 (UF <sub>A</sub> 10)
リスク評価値	50 ppm (150 mg/m <sup>3</sup> )	—	—	75 mg/m <sup>3</sup> (25 ppm)
備考	天井値（常時この濃度以下に保つこと）として設定されている。	UFs 10 で除した 2.7 mg/m <sup>3</sup> を無毒性量等に設定して MOE で評価している。	NOAEL 154 mg/m <sup>3</sup> をラットの呼吸量と体重で経口換算して 41 mg/kg/day とし、総曝露量 0.0013 mg/kg/day から MOE を算出している。不確実係数の積は示されていないが、MOE は明記がふようなほど大きな値。  RIFM: 化粧品香料原料安全性研究所	宇宙船内の許容濃度。体重をラットで 0.33 kg、ヒトで 70 kg と仮定し、500 mg/kg/day $\times$ 0.33 kg $\times$ (70 kg/0.33 kg) <sup>0.67</sup> = 6,000 mg/day とし、吸入による吸収率を 40%、呼吸量を 20 m <sup>3</sup> /day と仮定して POD を 6,000 mg/day $\div$ (20 m <sup>3</sup> /day $\times$ 0.4) = 750 mg/m <sup>3</sup> と算出。 75 mg/m <sup>3</sup> を 90 日間の許容濃度としており、180 日間の許容濃度は 2 (180/90) で除した 40 mg/m <sup>3</sup> (12 ppm) だとしている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Toxicology Research Laboratories (1986): Rat oral subchronic toxicity study of normal butanol. TRL Study No. 032-006. (Draft が NTIS/OTS0531032.)

表 1 0 有害性評価結果（急性曝露） 1-ブタノール

ファイル番号	02	09	12	13
評価機関等	テキサス州	独・AGS (TRGS)	カナダ	オンタリオ州
評価年	2015	2006	2022	2016
キー研究	TLV	DFG	Sitarek ら(1994)	—
動物種	—	—	ラット	—
曝露状況	—	—	14 週間飲水投与 (生殖・発生毒性試験)	—
エンドポイント	—	—	脳の形態異常 (胎仔の脳室拡張)	—
N(L)OAEL	—	—	LOAEL 300 mg/kg/day	—
連続曝露補正	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—
POD	—	—	300 mg/kg/day	—
不確実係数	—	—	—	—
リスク評価値	0.61 mg/m <sup>3</sup>	310 mg/m <sup>3</sup>	—	2.1 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の 1 時間平均値。 どの機関の TLV かは 明記されていない。	DFG の許容濃度のエ ンドポイントが眼刺激 であるため、その値を そのままピーク限界値 に採用している。	室内での曝露濃度を呼 吸量 16.3 m <sup>3</sup> /day、体 重 70.9 kg を仮定して 0.17 mg/kg/day に換算 して MOE で評価。 不確実係数の積は明記 されていない。	10 分間平均値。 エンドポイントは臭 気。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 1 1 1-ブタノールの許容濃度

Substance	Butan-1-ol			
CAS No.	71-36-3			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia			50 (1)	152 (1)
Austria	50	150	200	600
Belgium	20	62		
Canada - Ontario	20			
Canada - Québec			50 (1)(2)	152 (1)(2)
Denmark	50 (1)	150 (1)	50 (1)(2)	150 (1)(2)
Finland	50	150	75 (1)	230 (1)
France			50	150
Germany (AGS)	100	310	100 (1)	310 (1)
Germany (DFG)	100	310	100 (1)	310 (1)
Hungary		45 (1)		90 (1)(2)
Ireland	20			
Japan (MHLW)	25			
Japan (JSOH)	50 (1)	150 (1)		
Latvia		10		
New Zealand			50 (1)	150 (1)
Norway			25 (1)(2)	75 (1)(2)
People's Republic of China		100		
Poland		50		150
Romania	33	100	66 (1)	200 (1)
Singapore			50	152
South Africa Mining			50 (1)(2)	150 (1)(2)
South Korea	20			
Spain	20	61	50	154
Sweden	15	45	30 (1)	90 (1)
Switzerland	100	310	100 (1)	310 (1)
USA - NIOSH			50 (1)(2)	150 (1)(2)
USA - OSHA	100	300		
United Kingdom			50	154
	Remarks			
Australia	(1) Ceiling limit value			
Belgium	Additional indication "D" means that the absorption of the agent through the skin, mucous membranes or eyes is an important part of the total exposure. It can be the result of both direct contact and its presence in the air.			
Canada - Québec	(1) Skin (2) Ceiling limit value			
Denmark	(1) Skin (2) Ceiling limit value			
Finland	(1) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) 15 minutes average value			
Germany (DFG)	(1) 15 minutes average value			
Hungary	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Japan (JSOH)	(1) Occupational exposure limit ceiling: Reference value to the maximal exposure concentration of the substance during a working day			
New Zealand	(1) Ceiling limit value			
Norway	(1) Skin (2) Ceiling limit value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa Mining	(1) Ceiling limit value (2) Skin			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
Switzerland	(1) 15 minutes average value			
USA - NIOSH	(1) Ceiling limit value (2) Skin			

- 01 USEPA (2011) Toxicological Review of n-Butanol. EPA/635/R-11/081C, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 02 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 03 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, n-BUTANOL. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 04 EU LCI (2021) Agreed EU-LCI values.
- 05 ECHA の登録物質データベース: n-Butanol. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 06 Umweltbundesamtes (2014) Richtwerte für 1-Butanol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 57:733–743.
- 07 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 08 DFG (2003) n-Butyl alcohol. Lieferung: MAK.
- 09 TRGS (2006) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900. Ausschuss für Gefahrstoffe.
- 10 AgBB (2021) Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC, VOC and SVOC) from Building Products. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten.
- 11 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 12 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 13 Health Canada (2022) Draft Screening Assessment Alcohols Group. Environment and Climate Change Canada Health Canada.
- 14 Ontario (2016) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 15 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1987) 1-ブタノール. 産業医学 29:426-427.
- 16 環境省 (2005) 化学物質の環境リスク評価: 1-ブタノール. 第4巻
- 17 Api et al. (2019) RIFM fragrance ingredient safety assessment, butyl alcohol, CAS Registry Number 71-36-3. Food and Chemical Toxicology;134 Suppl 2:111000. doi: 10.1016/j.fct.2019.111000.
- 18 NRC (1996) Spacecraft Maximum Allowable Concentrations for Selected Airborne Contaminants: Volume 3. National Academy Press, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/5435>.

#### 1-4 ヘキサナール (CAS 66-25-1)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性について知見が得られているが、吸入曝露に限ってみると一般毒性、生殖発生毒性の知見はなかった。また、発がん性についても知見が得られておらず、有害性情報としては全般的に少ない。

国内外の評価機関において設定されたヘキサナールの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表12に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表13に示す。

キー研究についてみると、慢性のリスク評価値ではEU ECHA (DNEL) が Szakonyiné (2019) のラットに 51~57 日間強制経口投与した試験の結果から吸入換算してリスク評価値を設定していたが、Szakonyiné (2019) の書誌情報の記載はなかった。おそらく、既存化学物質の有害性情報として ECHA に報告された企業の試験結果であったと思われる。また、独・室内空気では、ブタナールを 13 週間吸入曝露させたラットの試験結果から、本物質を含む C4~C11 の非環状アルカンのリスク評価を設定していた。

急性のリスク評価値では、ヒトボランティアに対する 30 分間の曝露試験で粘膜刺激があった濃度を基に宇宙船内での許容濃度を設定していた National Research Council (2000)、臭気をエンドポイントにとったテキサス州の事例もみられた。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表14に示す。

表 1 2 有害性評価結果（慢性曝露） ヘキサナール その 1

ファイル番号	01	02	03	04	05	06	07	08
評価機関等	テキサス州	EU LCI	EU ECHA (DNEL)	独・室内空気	独・AGÖF	独・AgBB	仏・ANSES (AFSSET)	デンマーク
評価年	2015	2013	—	2009	2013	2021	2006	2004
キー研究	Cometto-Muniz	ブタナールの EU-LCI	Szakonyiné (2019)	Union Carbide Corp. (1979)	—	EU LCI	独・AgBB (2005 年版)	—
動物種	ヒト	—	ラット	ラット、ビーグル犬	—	—	—	—
曝露状況	—	—	51~57 日間 (7 日/週) (強制経口投与)	ブタナールをラットで 13 週間、ビーグル犬で 14 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	—	—	—
エンドポイント	臭気	—	最高用量群で影響なし	鼻腔上皮の過形成、異形成、炎症	—	—	—	感覚刺激
N(L)OAEL	—	—	NOAEL 1,000 mg/kg/day 以上	LOAEL 363 mg/m <sup>3</sup>	—	—	—	—
連続曝露補正	—	—	—	×6/24×5/7 (360×6/24×5/7= 64)	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	0.662 mg/m <sup>3</sup>	434.78 mg/m <sup>3</sup> (1,000/1.15/2 = 434.78)	64 mg/m <sup>3</sup>	—	—	64 mg/m <sup>3</sup>	—
不確実係数	—	—	150 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 6)	40 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 4)	—	—	100	—
リスク評価値	0.818 mg/m <sup>3</sup>	0.9 mg/m <sup>3</sup>	2.9 mg/m <sup>3</sup> (434.78/150 = 2.898)	2 mg/m <sup>3</sup> (64/40 = 1.6)	0.055 mg/m <sup>3</sup>	0.9 mg/m <sup>3</sup>	0.64 mg/m <sup>3</sup>	3.4 mg/m <sup>3</sup>
備考	年平均値。Status は Final。Cometto-Muniz は臭気の研究者の名前と思われる、hexanol の臭気閾値を 0.33 ppb とした 2010 年の報告があったが、リスク評価値の設定根拠は不明。	Agreed EC-LCI value リストにあった値。EU-LCI のプロトコルで導出された値。  分子量はブタナールが 72、ヘキサナールが 100.16 であるため、モル調整係数 1.39 (= 100.16/72 を乗じた値。 0.662×1.39 = 0.920  Read-across とあった。	ラットの呼吸量を 1.15 m <sup>3</sup> /kg/day、経口吸収率は吸入による吸収率の 1/2 であったと仮定して経口 NOAEL を吸入換算している。  原著は未発表 (ECHA に報告された試験結果)。	本物質を含む C4~C11 の非環状アルカンの RW II として設定。  RW I は×1/10 して 0.2 mg/m <sup>3</sup> を設定。  吸入の局所影響(鼻への影響)については、げっ歯類は鼻呼吸であること、嗅上皮が大きい(鼻の構造が複雑で表面積が大きい)ことからヒトよりも高感受性であるとして、種差 UF <sub>A</sub> は 1 で良いとされている。	3,725 件の室内空気測定値の 90 パーセントイル値(Attention value P 90)が採用されている。	ドイツの LCI 値。(ドイツ語では NIK)。  2004 年版はブタナールと同じ 0.64 mg/m <sup>3</sup> であったが、2005 年版でモル調整して 0.89 mg/m <sup>3</sup> になった。2015 年版から EU の LCI にあわせて 0.9 mg/m <sup>3</sup> とし、Adoption EU-LCI value の表記となっている。	LCI 値として設定。  TRGS のブタナールの値をもとに AgBB が 2005 年版で設定していた値を採用。  2009 年版では 0.65 mg/m <sup>3</sup> に変更されていた。	LCI 値として設定。 RD <sub>50</sub> × 0.03/40 で算出とあり、RD <sub>50</sub> はマウスの呼吸頻度を 50%減少させる値とあったが、詳細不明。逆算して RD50 を求めると 4,533 mg/m <sup>3</sup> 。  2017 年の文書では LCI は EU の値に置き換わっており、デンマーク独自の LCI は存在しないと思われる。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Cometto-Muñiz JE, Abraham MH. (2010): Odor detection by humans of lineal aliphatic aldehydes and helional as gauged by dose-response functions. Chem Senses. 35: 289-299.  
Union Carbide Corporation (1979): Butyraldehyde vapor inhalation by dogs and rats for 14 and 13 weeks, respectively. Carnegie-Mellon Institute of Research Report 42-50. NTIS/OTS0000647.

表 1 2 有害性評価結果（慢性曝露） ヘキサナール その2

ファイル番号	09	10
評価機関等	オンタリオ州	National Research Council
評価年	2018	2000
キー研究	—	Gage 1970 (プロパナール)
動物種	—	ラット
曝露状況	—	20 日間(6 時間/日)
エンドポイント	—	肝細胞空胞化 (肝傷害)
N(L)OAEL	—	NOAEL 90 ppm
連続曝露補正	—	×120/720 (30 日間曝露を想定)
dosimetry 補正	—	—
POD	—	15 ppm
不確実係数	—	10 (UH <sub>A</sub> 10)
リスク評価値	0.010 mg/m <sup>3</sup>	1.5 ppm (15×1/10 = 1.5)
備考	24 時間平均値のスクリーニング値。  2016 年の 0.002 mg/m <sup>3</sup> から増加した。	C3～C8 の脂肪族飽和アルデヒド類の 30 日間曝露を想定した宇宙船内における許容濃度として設定。  アルデヒドの代謝産物(有機酸)は、ある濃度以下では蓄積したり有害になったりしないと考えられるため、180 日間曝露を想定した許容濃度も同じ 1.5 ppm に設定。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Gage JC. (1970): The subacute inhalation toxicity of 109 industrial chemicals. Br J Ind Med. 27: 1-18.

表 1 3 有害性評価結果（急性曝露） ヘキサナール

ファイル番号	01	08	10
評価機関等	テキサス州	オンタリオ州	National Research Council
評価年	2015	2016	2000
キー研究	Cometto-Muniz	—	Sim ら(1957)
動物種	ヒト	—	ヒト
曝露状況	—	—	30 分間
エンドポイント	臭気	—	粘膜刺激 (プロパナール)
N(L)OAEL	—	—	LOAEL 134 ppm
連続曝露補正	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—
POD	—	—	134 ppm
不確実係数	—	—	—
リスク評価値	0.330 mg/m <sup>3</sup>	0.030 mg/m <sup>3</sup>	50 ppm (205 mg/m <sup>3</sup> )
備考	1 時間平均値。 Status は Final。 Cometto-Muniz は臭気 の研究者の名前と思わ れ、hexanol の臭気閾 値を 0.33 ppb とした 2010 年の報告があっ たが、リスク評価値の 設定根拠は不明。	30 分間平均値のスク リーニング値。  2016 年の 0.006 mg/m <sup>3</sup> から増加した。	C3～C8 の脂肪族飽和 アルデヒド類の宇宙船 内における許容濃度。  134 ppm のプロパナール の 30 分間曝露で軽 度の粘膜刺激があつた こと、他の脂肪族アル デヒド類では 2～3 倍 強い刺激作用が示唆さ れたことを考慮し、50 ppm を 24 時間以内の 曝露に対する許容濃度 として設定。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Sim VM, Pattle RE. (1957): Effect of possible smog irritants on human subjects. J Am Med Assoc. 165: 1908-1913.

表 1 4 ヘキサナールの許容濃度

Substance	Hexanal			
CAS No.	66-25-1			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Finland			10 (1)	42 (1)
Poland		40		80
	Remarks			
Finland	(1) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 TECQ Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels. 2016.
- 02 EU LCI (2013) n-Hexanal, EU-LCI values.
- 03 ECHA の登録物質データベース: Hexanal. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 04 Umweltbundesamtes (2009) Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C<sub>4</sub>- bis C<sub>11</sub>-Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 52:650–659.
- 05 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 06 AgBB (2021) Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VVOC, VOC and SVOC) from Building Products. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten.
- 07 AFSSET (2006) Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils dans l'air intérieur.
- 08 DEPA (2004) Mapping of Chemical Substances in Consumer Products, nr. 49.
- 09 Ontario (2018) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 10 NRC (2000) Spacecraft Maximum Allowable Concentrations for Selected Airborne Contaminants: Volume 4. Washington, DC: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9786>

## 1-5 デカナール (CAS 112-31-2)

本物質固有の有害性情報は非常に限られており、急性毒性の他に、遺伝子傷害性に関する報告が1つある程度であった。それにもかかわらず、類似物質が多いことから、複数の機関で吸入のリスク評価値が設定されていた。

国内外の評価機関において設定されたデカナールの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表15に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表16に示す。

キー研究についてみると、慢性のリスク評価値ではブタナールやドデカナール、ペンタナールの知見を基に設定されていた。このうち、EU ECHA (DNEL)はドデカナールの90日間混餌投与の試験結果から吸入換算して設定していた。また、ヘキサナールで示した独・室内空気のC4~C11非環状アルカンのリスク評価値の対象物質の中には本物質も含まれる。

急性のリスク評価値は3機関で設定されていたが、いずれも類似物質の知見によるもので、本物質固有の急性毒性に基づくものではなかった。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度についても、国際的な許容濃度のデータベース (GESTIS: <https://limitvalue.ifa.dguv.de/>) に収録されていなかった。

表15 有害性評価結果（慢性曝露） デカナール その1

ファイル番号	01	02	03		04	05	06	07
評価機関等	テキサス州	EU LCI	EU ECHA (DNEL)		独・室内空気	独・AGÖF	独・AgBB	仏・ANSES (AFSSET)
評価年	2016	2013	—	—	2009	2013	2021	2006
キー研究	アルデヒド類として	ブタナールの EU-LCI	未公表のドデカナールの試験結果	—	Union Carbide Corp. (1979)	—	EU LCI	独・AgBB (2005年版)
動物種	—	—	ラット	—	ラット、ビーグル犬	—	—	
曝露状況	—	—	90日間混餌投与	—	ブタナールをラットで13週間、ビーグル犬で14週間(6時間/日、5日/週)	—	—	
エンドポイント	—	—	最高用量群で影響なし	—	鼻腔上皮の過形成、異形成、炎症	—	—	
N(L)OAEL	—	—	NOAEL 1,409.7 mg/kg/day	NOAEC 612.91 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 363 mg/m <sup>3</sup>	—	—	
連続曝露補正	—	—	—	—	×6/24×5/7 (360×6/24×5/7=64)	—	—	
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	
POD	—	0.662 mg/m <sup>3</sup>	612.91 mg/m <sup>3</sup> (1,409.7/1.15/2 = 612.9)	612.91 mg/m <sup>3</sup>	64 mg/m <sup>3</sup>	—	—	64 mg/m <sup>3</sup>
不確実係数	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 2, UF <sub>DB</sub> 2)	40 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 2, UF <sub>DB</sub> 2)	40 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 4)	—	—	100
リスク評価値	0.18 mg/m <sup>3</sup>	0.9 mg/m <sup>3</sup>	6.13 mg/m <sup>3</sup>	15.32 mg/m <sup>3</sup> (612.91/40 = 15.32)	2 mg/m <sup>3</sup> (64/40 = 1.6)	0.007 mg/m <sup>3</sup>	0.9 mg/m <sup>3</sup>	0.64 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の年平均値。	Agreed EC-LCI value リストにあった値。EU-LCI のプロトコルで導出された値。 ブタナールとデカナールの CH <sub>2</sub> 基の差が6個で2個を超えるため、2個の差のヘキサナールで代用(→ヘキサナールと同じ値)。 分子量はブタナールが72、ヘキサナールが100.16であるため、モル調整係数 1.39 (= 100.16/72 を乗じた値)。 0.662 × 1.39 = 0.920	全身影響の評価値。ラットの呼吸量を 1.15 m <sup>3</sup> /kg/day、経口吸収率は吸入による吸収率の1/2であったと仮定して経口 NOAEL を吸入換算している。	局所影響の評価値。キー研究の情報は記載されていなかったが、ドデカナールの90日間混餌投与試験(左記)と考えられる。 種差(UF <sub>A</sub> )が1の説明はなかったが、右記のドイツのように、げっ歯類の局所影響(鼻への影響)をエンドポイントに想定していたためと考えられる。	本物質を含む C4~C11 の非環状アルカンの RW II として設定。 RW I は×1/10 して 0.2 mg/m <sup>3</sup> を設定。 吸入の局所影響(鼻への影響)については、げっ歯類は鼻呼吸であること、嗅上皮が大きい(鼻の構造が複雑で表面積が大きい)ことからヒトよりも高感受性であるとして、種差 UF <sub>A</sub> は1で良いとされている。	3,622 件の室内空気測定値の 90 パーセントイル値(Attention value P 90)が採用されている。	ドイツの LCI 値。(ドイツ語では NIK)。 2004 年版はブタナールと同じ 0.64 mg/m <sup>3</sup> であったが、2005 年版でモル調整して 1.4 mg/m <sup>3</sup> になった。2015 年版から EU の LCI にあわせて 0.9 mg/m <sup>3</sup> とし、Adoption EU-LCI value の表記となっている。	LCI 値として設定。 TRGS のブタナールの値をもとに AgBB が 2005 年版で設定していた値を採用。 2009 年版では 0.65 mg/m <sup>3</sup> に変更されていた。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生(発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Union Carbide Corporation (1979): Butyraldehyde vapor inhalation by dogs and rats for 14 and 13 weeks, respectively. Carnegie-Mellon Institute of Research Report 42-50. NTIS/OTS0000647.

表 1 5 有害性評価結果（慢性曝露） デカナール その2

ファイル番号	08	09
評価機関等	デンマーク	オンタリオ州
評価年	2004	2018
キー研究	ペンタナールの LCI 値	—
動物種	—	—
曝露状況	—	—
エンドポイント	感覚刺激	—
N(L)OAEL	—	—
連続曝露補正	—	—
dosimetry 補正	—	—
POD	—	—
不確実係数	—	—
リスク評価値	3.1 mg/m <sup>3</sup>	0.002 mg/m <sup>3</sup>
備考	LCI 値として設定。 感覚刺激を参照としたペンタナールの LCI 値 3.1 mg/m <sup>3</sup> を採用していた。	24 時間平均値のスクリーニング値。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Gage JC. (1970): The subacute inhalation toxicity of 109 industrial chemicals. Br J Ind Med. 27: 1-18.

表 1 6 有害性評価結果（急性曝露） デカナール

ファイル番号	01	03		09
評価機関等	テキサス州	EU ECHA (DNEL)		オンタリオ州
評価年	2016	—		2018
キー研究	アルデヒド類として	未公表のドデカナールの試験結果	—	—
動物種	—	ラット	—	—
曝露状況	—	90 日間混餌投与	—	—
エンドポイント	—	最高用量群で影響なし	—	—
N(L)OAEL	—	NOAEL 1,409.7 mg/kg/day	NOAEC 612.91 mg/m <sup>3</sup>	—
連続曝露補正	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—
POD	—	612.91 mg/m <sup>3</sup> (1,409.7/1.15/2 = 612.9)	612.91 mg/m <sup>3</sup>	—
不確実係数	—	50 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 2)	20 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 2)	—
リスク評価値	1.8 mg/m <sup>3</sup>	12.26 mg/m <sup>3</sup> (612.91/50 = 12.258)	30.65 mg/m <sup>3</sup> (612.91/20 = 30.646)	0.006 mg/m <sup>3</sup>
備考	暫定の 1 時間平均値。	全身影響の評価値。 ラットの呼吸量を 1.15 m <sup>3</sup> /kg/day、経口吸収率は吸入による吸収率の 1/2 であったと仮定して経口 NOAEL を吸入換算している。  慢性の評価値との相違は不確実係数が 100 から 50 になっただけ。	局所影響の評価値。  キー研究の情報は記載されていないが、ドデカナールの 90 日間混餌投与試験(左記)と考えられる。  種差(UF <sub>A</sub> )が全身影響では 2.5 であったが、局所影響では 1 になっている点に注意。  慢性の評価値との相違は不確実係数が 40 から 20 になっただけ。	30 分間平均値のスクリーニング値。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels. 2016.

02 EU LCI (2013) n-Decanal, EU-LCI values.

03 ECHA の登録物質データベース: Methylcyclohexane. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>

04 Umweltbundesamtes (2009) Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 52:650–659.

05 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.

06 AgBB (2021) Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VVOC, VOC and SVOC) from Building Products. Ausschuss zur gesundheitlichen

Bewertung von Bauprodukten.

07 AFSSET (2006) Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils dans l'air intérieur.

08 DEPA (2004) Mapping of Chemical Substances in Consumer Products, nr. 49.

09 Ontario (2018) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"

## 1-6 トリクロロエチレン (CAS 79-01-6)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性、発がん性に関する多くの知見が得られており、IARC ではグループ 1 の発がん物質に分類している。

国内外の評価機関において設定されたトリクロロエチレンの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 7 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 8 に示す。

キー研究についてみると、慢性のリスク評価値では US EPA (IRIS) が Keil ら(2009)の経口投与の試験結果から PBPK モデルを駆使し、Johnson ら(2003) の経口投与の試験結果から BMD モデルと PBPK モデルを駆使して詳細な検討を行い、同程度のリスク評価値の候補が得られたことから平均値をとってリスク評価値 (RfC) に設定している。ATSDR やカナダも IRIS のモデル計算結果を採用して、同じリスク評価値を算出して設定しており、ミネソタ州のように Keil ら(2009)の計算結果のみを採用してリスク評価値を設定している機関もあった。一方、仏・ANSES(TRVs)のように 2018 年と直近の評価であったが、Maltoni ら(1988)の試験結果から IRIS に比べて 1,600 倍大きなリスク評価値を算出して設定している機関もあった。日本の環境省の環境基準の評価では、1996 年の設定時、2018 年の再評価時とも POD は同じ値であったが、不確実係数が 1.5 倍大きな値になったことから、その分、再評価時の環境基準値は小さくなっていたものの、IRIS に比べると 65 倍大きかった。

急性のリスク評価値については、US EPA (AEGLs) が 3 段階のリスク評価値を設定していたが、いずれも ACGIH の STEL 値よりも大きな値であった。

なお、後述するように、11 機関でユニットリスクが算出 (設定) されていた。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 1 9 に示す。

表 17 有害性評価結果 (慢性曝露) トリクロロエチレン その1

ファイル番号	04		06		07	08	09	10
評価機関等	US EPA (IRIS)		ATSDR		CalEPA	テキサス州	ミシガン州	ミネソタ州
評価年	2011		2019		2000	2007	2017	2018
キー研究	Keil ら(2009)	Johnson ら(2003)	Keil ら(2009)	Johnson ら(2003)	Vandervort ら(1973)	TLV	US EPA (IRIS) の RfC	Keil ら(2009)
動物種	マウス	ラット	マウス	ラット	ヒト	—	—	マウス
曝露状況	30 週間飲水投与	妊娠 1 日から妊娠 22 日 までの飲水投与	30 週間飲水投与	妊娠 1 日から妊娠 22 日 までの飲水投与	8 年間の職業曝露 (8 時間/日、5 日/週)	—	—	30 週間飲水投与
エンドポイント	胸腺重量の減少	胎仔の心臓奇形	胸腺重量の減少	胎仔の心臓奇形	傾眠、疲労、 頭痛、眼刺激	—	—	胸腺重量の減少
N(L)OAEL	LOAEL 0.35 mg/kg/day	BMDL <sub>01</sub> 0.0207 mg/kg/day	LOAEL 0.35 mg/kg/day	BMDL <sub>01</sub> 0.0207 mg/kg/day	LOAEL 32 ppm (170 mg/m <sup>3</sup> )	—	—	LOAEL 0.35 mg/kg/day
連続曝露補正	—	—	—	—	× 10/20 × 5/7	—	—	—
dosimetry 補正	PBPK モデル	PBPK モデル	PBPK モデル	PBPK モデル	—	—	—	PBPK モデル
POD	HEC <sub>99, LOAEL</sub> 0.033 ppm (0.19 mg/m <sup>3</sup> )	HEC <sub>99, BMDL<sub>01</sub></sub> 0.0037 ppm (0.021 mg/m <sup>3</sup> )	HEC <sub>99, LOAEL</sub> 0.033 ppm (0.19 mg/m <sup>3</sup> )	HEC <sub>99, BMDL<sub>01</sub></sub> 0.0037 ppm (0.021 mg/m <sup>3</sup> )	11.4 ppm (32 × 10/20 × 5/7 = 11.4)	—	—	HEC <sub>99</sub> 0.19 mg/m <sup>3</sup>
不確実係数	100 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3, UF <sub>L</sub> 10)	10 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3)	100 (UF <sub>A</sub> 3.16, UF <sub>H</sub> 3.16, UF <sub>L</sub> 10)	10 (UF <sub>A</sub> 3.16, UF <sub>H</sub> 3.16)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3, UF <sub>L</sub> 10)
リスク評価値	0.002 mg/m <sup>3</sup> (0.0004 ppm) ( 0.0019 mg/m <sup>3</sup>   0.0021 mg/m <sup>3</sup> )		0.002 mg/m <sup>3</sup> (0.0004 ppm) ( 0.0019 mg/m <sup>3</sup>   0.0021 mg/m <sup>3</sup> )		0.1 ppm (0.6 mg/m <sup>3</sup> )	0.054 mg/m <sup>3</sup>	0.002 mg/m <sup>3</sup>	0.0019 mg/m <sup>3</sup>
備考	HEC <sub>99</sub> は PBPK モデルを用いて推定したヒト等価濃度の 99 パーセントイル値。		IRIS のアプローチが合理的であることに同意し、評価値の設定に採用している。中期曝露の評価値も同じ値を設定している。			暫定の年平均値	住宅の室内濃度の暫定スクリーニングレベル (RIASL) として設定。非住宅の室内濃度については 2 倍した 0.004 mg/m <sup>3</sup> を設定。	US EPA (IRIS) による計算結果を採用。亜慢性の評価値は短期間の値(0.002 mg/m <sup>3</sup> )を使用。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Keil DE, Peden-Adams MM, Wallace S, Ruiz P, Gilkeson GS. (2009): Assessment of trichloroethylene (TCE) exposure in murine strains genetically-prone and non-prone to develop autoimmune disease. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 44: 443-453.

Johnson PD, Goldberg SJ, Mays MZ, Dawson BV. (2003): Threshold of trichloroethylene contamination in maternal drinking waters affecting fetal heart development in the rat. Environ Health Perspect. 111: 289-292.

Vandervort R, Polnkoff P. (1973): NIOSH: Health hazard evaluation/toxicity determination. Dunham-Bush, Inc. Report 72-84-31. NTIS/PB229627.

表 17 有害性評価結果（慢性曝露） トリクロロエチレン その2

ファイル番号	11	12	13	14	16	17	18	19
評価機関等	ACGIH	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	EU SCOEL	独・AGÖF	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	オランダ
評価年	2006	2004	—	2009	2013	2007	2019	2001
キー研究	Ertle ら(1972)	—	SCOEL	Green ら(2004)	—	—	—	Kjellstrand ら(1983)
動物種	ヒト	ヒト	ヒト	ヒト	—	—	—	マウス
曝露状況	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	—	—	30日間 (24時間/日)
エンドポイント	疲労感や頭痛、めまい	中枢神経系機能障害	—	腎機能指標の変化	—	—	—	肝臓重量の増加
N(L)OAEL	LOAEL 100 ppm	予防的 NOAEL 50 ppm	54.7 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 32 ppm	—	—	—	LOAEL 200 mg/m <sup>3</sup>
連続曝露補正	—	—	×(10 m <sup>3</sup> ) / (20 m <sup>3</sup> )	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	100 ppm	—	27.35 mg/m <sup>3</sup> (54.7/2 = 27.35)	32 ppm	—	—	—	200 mgm <sup>3</sup>
不確実係数	—	—	2 (UF <sub>H</sub> 2)	—	—	—	—	1,000 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)
リスク評価値	10 ppm (54 mg/m <sup>3</sup> )	—	13.7 mg/m <sup>3</sup> (27.35/2 = 13.68)	10 ppm (54.7 mg/m <sup>3</sup> )	—	—	6 ppm (33 mg/m <sup>3</sup> )	0.2 mg/m <sup>3</sup>
備考	100 ppm でみられた症状として記載されており、LOAEL と明記されてはいなかった。	予防的 NOAEL 50 ppm は個別の報告に基づく値ではなく、総合的な評価に基づく値。  MOS でリスクが評価されている。	SCOEL の許容濃度(8時間加重平均)を公衆の値に換算。	8時間 TWA。本物質の発がん性には practical threshold (実用的な閾値)があると評価している。  無症状の変化であり、Seldén ら(1993)を引用して NOAEL に近い限界的な LOAEL と評価している。	2,501 件の室内濃度の測定結果があり、90 パーセンタイル値は 1 µg/m <sup>3</sup> 未満であったが、WHO: “no safe level” としてリスク評価値を設定していない。	データが不適切なため、MAK 値を設定できないとしている。	2008 年の AGS の文書では、6 ppm は腎毒性の閾値とされていた。	

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Ertle T, Henschler D, Müller G, Spassowski M. (1972): Metabolism of trichloroethylene in man. I. The significance of trichloroethanol in long-term exposure conditions. Arch Toxicol. 29: 171-188.

Green T, Dow J, Ong CN, Ng V, Ong HY, Zhuang ZX, Yang XF, Bloemen L. (2004): Biological monitoring of kidney function among workers occupationally exposed to trichloroethylene. Occup Environ Med. 61: 312-317.

Seldén A, Hultberg B, Ulander A, Ahlberg G Jr. (1993): Trichloroethylene exposure in vapour degreasing and the urinary excretion of N-acetyl-beta-D-glucosaminidase. Arch Toxicol. 67: 224-226.

Kjellstrand ら(1983): WHO Updating and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe: Meeting of the Working Group on Volatile Organic Compounds, 2-6 October, 1995; Draft Summary Report and Background Document.

表 17 有害性評価結果（慢性曝露） トリクロロエチレン その3

ファイル番号	20		21	22	23		24	25
評価機関等	仏・ANSES (TRV)	仏・ANSES (室内空気)	デンマーク	オーストラリア	カナダ		オンタリオ州	日本産衛学会
評価年	2018	2009	1997	2000	2021		2020	1997
キー研究	Maltoni ら(1988)	Arito ら(1994)	—	Maltoni ら(1988)	Keil ら(2009)	Johnson ら(2003)	—	—
動物種	ラット	ラット	—	ラット	マウス	ラット	—	ヒト
曝露状況	104 週間 (7 時間/日、5 日/週)	6 週間 (8 時間/日、5 日/週)	—	104 週間 (7 時間/日、5 日/週)	30 週間飲水投与	妊娠 1 日から妊娠 22 日 までの飲水投与	—	職業曝露 (8 時間/日、5 日/週)
エンドポイント	尿細管細胞の 巨細胞化、巨核化	神経毒性	—	尿細管細胞の 巨細胞化、巨核化	胸腺重量の減少	胎仔の心臓奇形	—	神経系への影響
N(L)OAEL	BMDL <sub>10</sub> 238 ppm	LOAEL 50 ppm	—	NOAEL 100 ppm (546 mg/m <sup>3</sup> )	LOAEL 0.35 mg/kg/day	BMDL <sub>01</sub> 0.0207 mg/kg/day	—	—
連続曝露補正	$\times 5/7 \times 7/24$ (238 $\times 5/7 \times 7/24 = 49.6$ )	$\times 5/7 \times 7/24$ (50 $\times 5/7 \times 8/24 = 11.91$ )	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	PBPK モデル	$\times (0.23/0.217)/(20/70)$ = 3.710	—	ラットの体重 0.215kg、 呼吸量 0.16 m <sup>3</sup> /day	PBPK モデル	PBPK モデル	—	—
POD	43.7 ppm	44.2 ppm (11.91 $\times 3.710 = 44.19$ )	—	118.5 mg/kg/day (546 $\times 0.16 \times 7/24/0.215$ )	HEC <sub>99, LOAEL</sub> 0.033 ppm (0.19 mg/m <sup>3</sup> )	HEC <sub>99, BMDL01</sub> 0.0037 ppm (0.021 mg/m <sup>3</sup> )	—	—
不確実係数	75 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)	300 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3, UF <sub>L</sub> 10)	10 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3)	—	—
リスク評価値	0.58 ppm (3.2 mg/m <sup>3</sup> )	0.8 mg/m <sup>3</sup> (0.1 ppm)	0.04 mg/m <sup>3</sup>	—	0.002 mg/m <sup>3</sup> (0.0004 ppm) (0.0019 mg/m <sup>3</sup>   0.0021 mg/m <sup>3</sup> )		0.0023 mg/m <sup>3</sup>	25 ppm (135 mg/m <sup>3</sup> )
備考	亜慢性のリスク評価値も同じ値を設定している。  toxicity reference values (TRVs)	1997 年の ATSDR の評価を採用して設定。中期曝露の評価値。  2018 年更新の ANSES 室内空気ガイドライン値の一覧表に掲載されていたが、左記 TRVs との関係は不明。	設定文書は入手できなかった。 寄与値 (B 値) であり、バックグラウンドを考慮していない。土壌汚染による室内空気質基準としても使用される。	吸収率を 100% と仮定し、ラットの体重と呼吸量から 1 日当たりの吸収量を求め、これを労働者の曝露量で除して MOE を算出している。	US EPA (IRIS) の評価を採用している。 HEC <sub>99</sub> は PBPK モデルを用いて推定したヒト等価濃度の 99 パーセントイル値。		年平均値として設定。この値をもとにして、別途、24 時間の評価ができるように 24 時間平均値 0.012 mg/m <sup>3</sup> も設定している。	30~50 ppm で神経系への影響を指摘した Ahlmark ら(1951)、Liu ら(1988)、Ruijten ら(1991)の報告を重視し、現行の 50 ppm では不十分であるとして 25 ppm に変更。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Maltoni C, Lefemine G, Cotti G, Perino G. (1988): Long-term carcinogenicity bioassays on trichloroethylene administered by inhalation to Sprague-Dawley rats and Swiss and B6C3F<sub>1</sub> mice. Ann N Y Acad Sci. 534: 316-342.  
 Arito H, Takahashi M, Ishikawa T. (1994): Effect of subchronic inhalation exposure to low-level trichloroethylene on heart rate and wakefulness-sleep in freely moving rats. Sangyo Igaku. 36: 1-8.  
 Ahlmark A, Forssman S. (1951): Evaluating trichloroethylene exposures by urinalyses for trichloroacetic acid. AMA Arch Ind Hyg Occup Med. 3: 386-398.  
 Liu YT, Jin C, Chen Z, Cai SX, Yin SN, Li GL, Watanabe T, Nakatsuka H, Seiji K, Inoue O, et al. (1988): Increased subjective symptom prevalence among workers exposed to trichloroethylene at sub-OEL levels. Tohoku J Exp Med. 155: 183-195.  
 Ruijten MW, Verberk MM, Sallé HJ. (1991): Nerve function in workers with long term exposure to trichloroethene. Br J Ind Med. 48: 87-92.

表 1 7 有害性評価結果（慢性曝露） トリクロロエチレン その 4

ファイル番号	26		27	28
評価機関等	環境省・環境基準		厚労省・リスク評価	NITE・初期評価
評価年	1996	2018	2018 (案)	2005
キー研究	—	—	ACGIH	Maltoni ら(1988)
動物種	ヒト	ヒト	—	ラット
曝露状況	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	104週間 (7時間/日、5日/週)
エンドポイント	神経への影響	神経への影響	—	尿細管細胞の 巨細胞化、巨核化
N(L)OAEL	LOAEL 200 mg/m <sup>3</sup> 前後	LOAEL 200 mg/m <sup>3</sup> 前後	—	NOAEL 100 ppm (546 mg/m <sup>3</sup> )
連続曝露補正	—	—	—	×7/24×5/7
dosimetry 補正	—	—	—	ラットの体重 0.35 kg、 呼吸量 0.26 m <sup>3</sup> /day
POD	200 mg/m <sup>3</sup>	200 mg/m <sup>3</sup>	—	85 mg/kg/day (546×0.26×7/24× 5/7/0.35 = 84.5)
不確実係数	1,000	1,500	—	100 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10)
リスク評価値	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.13 mg/m <sup>3</sup> (200/1500 = 0.133)	10 ppm (54 mg/m <sup>3</sup> )	—
備考	Ahlmark ら(1951)、Liu ら(1988)、ACGIH、WHO(Europe, Global) の評価を総合的に判断して LOAEL を設定。  不確実係数は労働環境から一般環境への外挿や LOAEL を用いること等を考慮して、総合的な係数として設定。	発がん性について新たな情報が得られたこと、過敏症症候群との関連性があると考えられることを理由に、総合的な係数を 1996 年の評価よりも大きく設定している。	上記は二次評価値。一次評価値は、発がん性が知られているが、遺伝毒性が判断できず、閾値の有無が判断できないため、設定していない。	MOE による評価を行っている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 18 有害性評価結果（急性曝露） トリクロロエチレン その1

ファイル番号	05		08	09	10	11	12	
評価機関等	US EPA (AEGL)		テキサス州	ミシガン州	ミネソタ州	ACGIH	EU リスク評価書	
評価年	2008		2007	2017	2018	2006	2004	
キー研究	Vernon ら(1969)		Frigerg ら(1953)	TLV	US EPA (IRIS) の RfC	Johnson ら(2003)	Boyes ら(2000)	—
動物種	ヒトボランティア		ラット	—	—	ラット	ヒト	ヒト
曝露状況	2 時間		4 時間	—	—	妊娠 1 日から妊娠 22 日までの飲水投与	ピーク濃度の曝露	8 時間
エンドポイント	神経行動機能に影響なし	頭痛や眩暈、神経行動学的検査成績の低下など	死亡	—	—	胎仔の心臓奇形	中枢神経症状	中枢神経系の抑制
N(L)OAEL	NOAEL 300 ppm	LOAEL 1,000 ppm	NOEL 4,600 ppm	—	—	BMDL <sub>01</sub> 0.0207 mg/kg/day	LOAEL 100 ppm	NOAEL 300 ppm
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	PBPK モデル	PBPK モデル	—	—	—	PBPK モデル	—	—
POD	血中の本物質濃度 4.78 mg/L	血中の本物質濃度 18.3 mg/L	4,600 ppm	—	—	HEC <sub>99</sub> 0.021 mg/m <sup>3</sup>	—	—
不確実係数	3 (UF <sub>H</sub> 3)	3 (UF <sub>H</sub> 3)	3 (UF <sub>H</sub> 3)	—	—	10 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3)	—	—
リスク評価値	AEGL-1 260 ppm (10 分)	AEGL-2 960 ppm (10 分)	AEGL-3 1,500 ppm (4 時間)	0.54 mg/m <sup>3</sup>	0.006 mg/m <sup>3</sup>	0.002 mg/m <sup>3</sup>	25 ppm (135 mg/m <sup>3</sup> )	—
備考	300 ppm の 2 時間曝露で血中の本物質濃度は 4.78 mg/L になると見積もり、10、30 分、1、4、8 時間の曝露で 4.78 mg/L に達する曝露濃度を推定し、種差の 3 で除して算出。 30 分：180 ppm 1 時間：130 ppm 4 時間：84 ppm 8 時間：77 ppm	1,000 ppm の 2 時間曝露で血中の本物質濃度は 18.3 mg/L になると見積もり、10、30 分、1、4、8 時間の曝露で 18.3 mg/L に達する曝露濃度を推定し、種差の 3 で除して算出。 30 分：620 ppm 1 時間：450 ppm 4 時間：270 ppm 8 時間：240 ppm	ヒトはラットに比べて血中濃度が一定になるまでにより高い曝露濃度が必要なため、種差を 1 とした。  $C^{1.511} \times t = k$ の式から 4 時間の曝露時は $4,600^{1.511} \times 4 = 1,369,264 \text{ ppm} \cdot \text{h}$ これを各曝露時間で除して 1.511 乗根をとり、UF で除して各時間の値を算出。 10 分：10,000 ppm 超になるのので 30 分値を採用 30 分：6,100 ppm 1 時間：3,800 ppm 8 時間：970 ppm	暫定の 1 時間平均値	急性との記載はなかったが、住宅の室内濃度が超過すると直ちに換気等の対応が必要な暫定スクリーニングレベル(TS-RIASL)として RIASL を 3 倍した値が設定されていた。非住宅の室内濃度については 2 倍した 0.012 mg/m <sup>3</sup> を設定。	24 時間から 30 日間の曝露に対する保護の値として設定。  US EPA (IRIS)による計算結果を採用。	STEL として設定。  急性の中枢神経症状はおおよそ 100 ppm で生じると記載されており、LOAEL と明記されてはいなかった。	NOAEL 300 ppm は個別の報告に基づく値ではなく、総合的な評価に基づく値。  MOS でリスクが評価されている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Vernon RJ, Ferguson RK. (1969): Effects of trichloroethylene on visual-motor performance. Arch Environ Health. 18: 894-900.

Friberg L, Kylin B, Nystrom A. (1953): Toxicities of trichlorethylene and tetrachloroethylene and Fujiwara's pyridine-alkali reaction. Acta Pharmacol Toxicol (Copenh). 9: 303-312.

Boyes WK, Bushnell PJ, Crofton KM, Evans M, Simmons JE. (2000): Neurotoxic and pharmacokinetic responses to trichloroethylene as a function of exposure scenario. Environ Health Perspect. 108 (Suppl. 2): 317-322.

表 18 有害性評価結果（急性曝露） トリクロロエチレン その2

ファイル番号	13	14
評価機関等	EU ECHA (DNEL)	EU SCOEL
評価年	—	2009
キー研究	SCOEL	Green ら(2004)
動物種	ヒト	ヒト
曝露状況	15分	職業曝露 (8時間/日、5日/週)
エンドポイント	—	腎機能指標の変化
N(L)OAEI	164.1 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 32 ppm
連続曝露補正	—	—
dosimetry 補正	—	—
POD	164.1 mg/m <sup>3</sup>	32 ppm
不確実係数	2 (UF <sub>H</sub> 2)	—
リスク評価値	82 mg/m <sup>3</sup>	30 ppm (164.1 mg/m <sup>3</sup> )
備考	SCOEL の STEL(15分)を公衆の値に換算。	無症状の変化であり、Seldén ら(1993)を引用して NOAEL に近い限界的な LOAEL と評価している。

表 19 トリクロロエチレンの許容濃度

Substance	Trichloroethylene			
CAS No.	79-01-6			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	10	54	40	216
Austria	0,6	3,3	2,4	13,2
Belgium	10 (1)(2)	54,7 (1)(2)	25 (1)(2)(3)	137 (1)(2)(3)
Canada - Ontario	10		25	
Canada - Québec	50	269	200 (1)	1070 (1)
Denmark	10 (1)(2)	33 (1)(2)	20 (1)(2)(3)	110 (1)(2)(3)
European Union	<b>10 (1)</b>	<b>54,7 (1)</b>	<b>30 (1)(2)</b>	<b>164,1 (1)(2)</b>
Finland	10	54,7	30 (1)	164,1 (1)
France	<b>10 (1)</b>	<b>54,7 (1)</b>	<b>30 (1)(2)</b>	<b>164,1 (1)(2)</b>
Germany (AGS)	6 (1)(3)	33 (1)(3)	48 (1)(3)(4)	264 (1)(3)(4)
	6 (2)(3)	33 (2)(3)		
Hungary		54,7 (1)		164,1 (1)(2)
Ireland	10		25 (1)	
Israel	50	269	100 (1)	537 (1)
Italy	10 (1)	54,7 (1)	30 (1)(2)	164,1 (1)(2)
Japan (MHLW)	10			
Japan (JSOH)	25	135		
Latvia	10 (1)	54,7 (1)	20 (1)(2)	164,1 (1)(2)
New Zealand	10	55	25 (1)	135 (1)
Norway	10	50		
People's Republic of China		30		
Poland		50		100
Romania	10	54,7	30 (1)	164,1 (1)
Singapore	50	269	100	537
South Africa	20 (1)		50 (1)(2)	
South Africa Mining	50 (1)	268 (1)	100 (1)(2)	535 (1)(2)
South Korea	50		200 (1)	
Spain	10	54,7	30 (1)	164,1 (1)
Sweden	10	54	25 (1)	140 (1)
Switzerland	20	110	50 (1)	273 (1)
The Netherlands		0,05		
USA - NIOSH	25		2 (1)	
USA - OSHA	100		200 (1)	
United Kingdom	100	550	150	820
	Remarks			
Belgium	(1) Additional indication "C" means that the agent falls within the scope of Title 2 concerning carcinogenic, mutagenic and reprotoxic agents of Book VI of the Codex on well-being at work. (2) Additional indication "D" means that the absorption of the agent through the skin, mucous membranes or eyes is an important part of the total exposure. It can be the result of both direct contact and its presence in the air. (3) 15 minutes average value			
Canada - Québec	(1) 15 minutes average value			
Denmark	(1) Skin (2) Carcinogenic (3) 15 minutes average value			
European Union	(1) Substantial contribution to the total body burden via dermal exposure possible (2) 15 minutes average value Bold-type: Binding Occupational Exposure Limit Value (BOELV) ~ (for references see <a href="#">bibliography</a> )			
Finland	(1) 15 minutes average value			
France	Bold type: Restrictive statutory limit values (1) Skin (2) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) Workplace exposure concentration corresponding to the proposed tolerable cancer risk (see background document: Germany AGS) (2) Workplace exposure concentration corresponding to the proposed preliminary acceptable cancer risk. (see background document: Germany AGS) (3) Skin (4) 15 minutes average value			
Hungary	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Ireland	(1) 15 minutes reference period			
Israel	(1) 15 minutes average value			
Italy	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Latvia	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
New Zealand	(1) 15 minutes average value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
South Africa Mining	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
South Korea	(1) 15 minutes average value			
Spain	(1) 15 minutes average value			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
Switzerland	(1) 15 minutes average value			
USA - NIOSH	(1) Ceiling limit value (1 h)			
USA - OSHA	(1) Ceiling limit value			

文献番号

- 04 USEPA (2011) Toxicological Review of TRICHLOROETHYLENE. EPA/635/R-09/011F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 05 USEPA (2009) INTERIM ACUTE EXPOSURE GUIDELINE LEVELS (AEGLs). TRICHLOROETHYLENE
- 06 ATSDR (2019) Toxicological Profile for Trichloroethylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- 07 CalEPA (2000) Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999). California Environmental Protection Agency.
- 08 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels. 2016.
- 09 Michigan (2020) VOLATILIZATION TO INDOOR, AIR Recommendations for Interim Action Screening Levels and Time Time-Sensitive Interim Action Screening Levels.
- 10 Minnesota (2018) Toxicological Summary for: Trichloroethylene. Health Based Guidance for Air Environmental Impacts Analysis Unit, Environmental Health Division.
- 11 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, TRICHLOROETHYLENE. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 12 EU (2003) European Union Risk Assessment Report: trichloroethylene. 1st Priority List, Volume 31, EUR 21057 EN, EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTRE.
- 13 ECHA の登録物質データベース: Trichloroethylene. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 14 EU SCOEL (2009) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Trichloroethylene. SCOEL/SUM/142
- 16 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 17 DFG (2007) Trichloroethylene. Lieferung: MAK.
- 18 TRGS (2019) Exposure-risk relationship for trichloroethylene in BekGS 910. Committee on Hazardous Substances (AGS) – AGS Management.
- 19 RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 025.
- 20 ANSES (2018) OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the proposed TRV by the respiratory route for trichloroethylene (CAS No. 79-01-6). Request No 2016-SA-0116.
- 21 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 22 Commonwealth of Australia (2000) Trichloroethylene, Priority Existing Chemical Assessment Report No. 8. National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme.
- 23 Health Canada (2021) FEDERAL CONTAMINATED SITE RISK ASSESSMENT IN CANADA: Toxicological Reference Values (TRVs) VERSION 3.0
- 24 Ontario (2020) HUMAN TOXICOLOGY and AIR STANDARDS SECTION TECHNICAL ASSESSMENT and STANDARDS DEVELOPMENT BRANCH ONTARIO MINISTRY of the ENVIRONMENT, CONSERVATION and PARKS AMBIENT, AIR QUALITY CRITERIA.
- 25 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1997) トリクロロエチレン. 産衛誌 39:106–109.
- 26 環境省 (2018) 今後の有害大気汚染物質対策のあり方について (第十一次報告) (トリクロロエチレンに係る健康リスク評価について). 中央環境審議会大気・騒音振動部会, 有害大気汚染物質健康リスク評価等専門委員会.
- 27 厚生労働省 (2018) 平成 30 年度第 5 回有害性評価小検討会. 平成 30 年度リスク評価対象物質の有害性評価について, リスク評価書案, トリクロロエチレン. 平成 30 年 12 月 17 日 (月)
- 28 製品評価技術基盤機構 (2005) 化学物質の初期リスク評価書. Ver. 1.0, No. 37, トリクロロエチレン.

## 1-7 テトラクロロエチレン (CAS 127-18-4)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性、発がん性に関する多くの知見が得られており、IARC ではグループ 2A の発がん物質に分類している。

国内外の評価機関において設定されたテトラクロロエチレンの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 0 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 1 に示す。

キー研究についてみると、非発がんの慢性リスク評価値では疫学知見を採用している機関が多く、Mutti ら(1992)、Cavalleri ら(1994)が比較的多くの機関で採用されていた。US EPA (IRIS) も Cavalleri ら(1994)をキー研究の 1 つに採用していたが、データベース不足の不確実係数 10 が設定されていたことから、他機関の評価に比べて一桁低い傾向にあった。

非がんの急性リスク評価値については、US EPA (AEGLs)が 3 段階のリスク評価値を設定していたが、AEGL-1 は眼刺激がエンドポイントであった。また、ATSDR は慢性のリスク評価値を急性(14 日間以下)にも適用していた。

なお、後述するように、8 機関でユニットリスクが算出(設定)されていた。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 2 2 に示す。

表 2 0 有害性評価結果（慢性曝露） テトラクロロエチレン その 1

ファイル番号	01	02	03	04		05		07
評価機関等	WHO (Europe)	WHO (Global)	WHO Indoor Air	CICAD		US EPA (IRIS)		ATSDR
評価年	2000	2000	2010	2006		2012		2019
キー研究	Mutti ら(1992)	WHO (Europe)	Mutti ら(1992)	Seeber (1989)	Mutti ら(1992)	Echeverria ら(1995)	Cavalleri ら(1994)	Cavalleri ら(1994)
動物種	ヒト	—	ヒト	ヒト	ヒト	ヒト	ヒト	ヒト
曝露状況	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)
エンドポイント	腎臓への影響	労働者の腎臓 への影響	腎臓への影響	神経系への影響	腎臓への影響	神経毒性 (反応時間、 認知への影響)	神経毒性 (色覚)	色覚の低下
N(L)OAEL	LOAEL 102 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 102 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 102 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 83 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 100 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 156 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 42 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 7.3 ppm
連続曝露補正	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $102 \times 8/24 \times 5/7 = 24.3$ )	—	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $102 \times 8/24 \times 5/7 = 24.3$ )	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $83 \times 8/24 \times 5/7 = 19.8$ )	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $100 \times 8/24 \times 5/7 = 23.8$ )	$\times 5/7(d) \times 10/20(m^3/d)$ ( $156 \times 5/7 \times 10/20 = 55.7$ )	$\times 5/7(d) \times 10/20(m^3/d)$ ( $42 \times 5/7 \times 10/20 = 15.0$ )	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $7.3 \times 8/24 \times 5/7 = 1.74$ )
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	24.3 mg/m <sup>3</sup>	—	—	20 mg/m <sup>3</sup>	24 mg/m <sup>3</sup>	56 mg/m <sup>3</sup>	15 mg/m <sup>3</sup>	1.7 ppm
不確実係数	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	400	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	1,000 (HF <sup>H</sup> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 10)	1,000 (HF <sup>H</sup> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 10)	300 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)
リスク評価値	0.25 mg/m <sup>3</sup>	0.25 mg/m <sup>3</sup>	0.25 mg/m <sup>3</sup>	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.24 mg/m <sup>3</sup>	0.04 mg/m <sup>3</sup> (0.056 mg/m <sup>3</sup> )	0.015 mg/m <sup>3</sup>	0.006 ppm (0.04 mg/m <sup>3</sup> )
備考		24時間平均値として 設定。  WHO (Europe) の 2000 年(第 2 版)の評価を採 用。	WHO (Europe) の 2000 年(第 2 版)と同じ。			公衆の 1 日の吸収量を 20 m <sup>3</sup> 、労働時間内の 吸入量を 10 m <sup>3</sup> と仮定 して連続曝露に補正。	公衆の 1 日の吸収量を 20 m <sup>3</sup> 、労働時間内の 吸入量を 10 m <sup>3</sup> と仮定 して連続曝露に補正。  全従業員(35 人)の平均 曝露濃度 6.23 pm (TWA)を使用。	中期間曝露のリスク評 価値も同じ値を設定。  ドライクリーニング工 程の従業員(22 人)の平 均曝露濃度 7.27 ppm (TWA)を使用。 (アイロン工程の従業 員(13 人)では検査結果 に有意差はなかった)

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Mutti A, Alinovi R, Bergamaschi E, Biagini C, Cavazzini S, Franchini I, Lauwerys RR, Bernard AM, Roels H, Gelpi E, et al. (1992): Nephropathies and exposure to perchloroethylene in dry-cleaners. Lancet. 340: 189-93.

Seeber A. (1989): Neurobehavioral toxicity of long-term exposure to tetrachloroethylene. Neurotoxicol Teratol. 11: 579-583. Abstract.

Echeverria D, White RF, Sampaio C. (1995): A behavioral evaluation of PCE exposure in patients and dry cleaners: a possible relationship between clinical and preclinical effects. J Occup Environ Med. 37: 667-680.

Cavalleri A, Gobba F, Paltrinieri M, Fantuzzi G, Righi E, Aggazzotti G. (1994): Perchloroethylene exposure can induce colour vision loss. Neurosci Lett. 179: 162-166.

表 2 0 有害性評価結果（慢性曝露） テトラクロロエチレン その 2

ファイル番号	08	09	10	11	12	13	14	15
評価機関等	CalEPA	テキサス州	ミシガン州	ミネソタ州	ACGIH	EU LCI	EU ECHA (DNEL)	EU SCOEL
評価年	1991	2008	2017	2014	1992	2018	—	2009
キー研究	US EPA	Ferroni ら(1992)	ATSDR の MRL US EPA (IRIS)の RfC	US EPA (IRIS)	Rowe (1952) Stewart ら(1970) Hake ら(1977)、ATSDR	Mutti ら(1992)	Lauwerys ら(1983)	NEG-DECOS (2003)
動物種	—	ヒト	—	—	ヒト	ヒト	ヒト	ヒト
曝露状況	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)
エンドポイント	消化器系 (肝臓)、 腎臓への影響	行動への影響 (反応時間の増加)	—	—	潜在的な不快感 や自覚症状の訴え	腎臓への影響	腎臓への影響	中枢神経系への影響
N(L)OAEL	—	LOAEL 15 ppm	—	—	(LOAEL) 100~200 ppm	LOAEL 15 ppm	LOAEL 103 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 20 ppm (138 mg/m <sup>3</sup> )
連続曝露補正	—	$\times 10/20\text{m}^3/\text{d} \times 5/7\text{d}$ ( $15 \times 10/20 \times 5/7 = 5.36$ )	—	—	—	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $15 \times 8/24 \times 5/7 = 3.57$ )	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $103 \times 8/24 \times 5/7 = 24.5$ )	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	5.36 ppm	—	—	—	3.57 ppm (24.3 mg/m <sup>3</sup> )	24.5 mg/m <sup>3</sup>	—
不確実係数	—	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	—	—	—	300 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 3, UF <sub>SE</sub> 5, UF <sub>DB</sub> 2)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	—
リスク評価値	0.035 mg/m <sup>3</sup>	0.37 mg/m <sup>3</sup> (0.054 ppm)	0.041 mg/m <sup>3</sup>	0.015 mg/m <sup>3</sup>	25 ppm (170 mg/m <sup>3</sup> )	0.08 mg/m <sup>3</sup> (24.3/300 = 0.081)	0.25 mg/m <sup>3</sup>	20 ppm (138 mg/m <sup>3</sup> )
備考	US EPA の RfD $1 \times 10^{-2}$ mg/kg/day に相当する大気中濃度とした情報があったが、文書がリンク切れのため設定の具体的過程は不明。	0.3 倍した 0.11 mg/m <sup>3</sup> をスクリーニング値に設定している。	住宅の室内濃度の暫定スクリーニングレベル (RIASL)として設定。非住宅の室内濃度については 2 倍した 0.082 mg/m <sup>3</sup> を設定。	IRIS が Cavalleri ら (1994)の結果から算出した値を採用。	100~200 ppm の曝露が長引くと生じる可能性があるとしていた。			

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Ferroni C, Selis L, Mutti A, Folli D, Bergamaschi E, Franchini I. (1992): Neurobehavioral and neuroendocrine effects of occupational exposure to perchloroethylene. *Neurotoxicology*. 13: 243-247.  
 Rowe VK, Mccollister DD, Spencer HC, Adams EM, Irish DD. (1952): Vapor toxicity of tetrachloroethylene for laboratory animals and human subjects. *AMA Arch Ind Hyg Occup Med*. 5: 566-579.  
 Stewart RD, Baretta ED, Dodd HC, Torkelson TR. (1970): Experimental human exposure to tetrachloroethylene. *Arch Environ Health*. 20: 225-229.  
 Hake CL, Stewart RD. (1977): Human exposure to tetrachloroethylene: inhalation and skin contact. *Environ Health Perspect*. 21: 231-238.  
 Lauwerys R, Herbrand J, Buchet JP, Bernard A, Gaussin J. (1983): Health surveillance of workers exposed to tetrachloroethylene in dry-cleaning shops. *Int Arch Occup Environ Health*. 52: 69-77.  
 NEG-DECOS. (2003). Tetrachloroethylene (PER). The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and The Dutch Expert Committee on Occupational Standards. Stockholm: National Institute for Working Life.

表 2 0 有害性評価結果（慢性曝露） テトラクロロエチレン その 3

ファイル番号	16	17	18	19	20	21		
評価機関等	独・室内空気	独・AGÖF	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	オランダ	仏・ANSES (TRV)	仏・ANSES (室内空気)	仏・ANSES (LCI)
評価年	2017	2013	2016	2017	2001	2018	2010	2006
キー研究	Mutti ら(1992)	—	Altmann ら(1990)	EU、DFG (MAK)	WHO (Europe)	Cavalleri ら(1994)	WHO (Europe)	WHO (Europe)
動物種	ヒト	—	ヒト	—	—	ヒト	—	—
曝露状況	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	4日間(4時間/日)	—	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	—
エンドポイント	腎臓への影響	—	神経毒性	—	—	色覚の低下	—	—
N(L)OAEL	LOAEL 102 mg/m <sup>3</sup>	—	LOAEC 50 ppm NOAEC 10 ppm	—	—	LOAEL 50 mg/m <sup>3</sup> (7.3 ppm)	—	—
連続曝露補正	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $102 \times 8/24 \times 5/7 = 24.29$ )	—	—	—	—	$\times 8/24 \times 5/7$ ( $50 \times 8/24 \times 5/7 = 11.9$ )	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	24.29 mg/m <sup>3</sup>	—	NAEC 20 ppm	—	—	12 mg/m <sup>3</sup>	—	—
不確実係数	20 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>C</sub> 2)	—	—	—	—	30 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 3)	—	—
リスク評価値	1 mg/m <sup>3</sup> ( $24.29/20 = 1.21$ )	—	10 ppm (69 mg/m <sup>3</sup> )	10 ppm (69 mg/m <sup>3</sup> )	0.25 mg/m <sup>3</sup>	0.4 mg/m <sup>3</sup> (0.06 ppm)	0.25 mg/m <sup>3</sup>	0.25 mg/m <sup>3</sup>
備考	RW II 値として設定。 RW I は 10 で除した 0.1 mg/m <sup>3</sup> を設定。	3,615 件の室内濃度の 測定結果があり、90 パーセンタイル値は 1 µg/m <sup>3</sup> 未満であった が、リスク評価値を設 定していない。	NAEC: No adverse effect level 長期間曝露の労働者の 報告から 20 ppm を NOAEC と仮定するこ とが可能であるとした 上での評価。	労働者の許容濃度。 出典の 1 つに EU とあ ったが、具体的には何 を指すのか不明。	WHO (Europe) の 2000 年(第 2 版)と同じ。	亜慢性のリスク評価値 も同じ値を設定。  ドライクリーニング工 程の従業員(22 人)の平 均曝露濃度 7.27 ppm (TWA)を使用。 (アイロン工程の従業 員(13 人)では検査結 果に有意差はなかった)	WHO (Europe) の 2000 年(第 2 版)と同じ。	WHO (Europe) の 2000 年(第 2 版)と同じ。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 20 有害性評価結果（慢性曝露） テトラクロロエチレン その4

ファイル番号	22	23	24	25		26	27	28
評価機関等	オーストリア (室内空気)	デンマーク	オーストラリア	カナダ	カナダ・室内空気	オンタリオ州	日本産衛学会	環境省・環境基準
評価年	—	2014	2001	1993	2017	2020	1972	1996
キー研究	Cavalleri ら(1994)	—	—	NTP (1986)	US EPA (IRIS) ATSDR	—	—	—
動物種	ヒト	—	ラット	マウス	—	—	—	ヒト
曝露状況	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	反復曝露試験 2世代繁殖試験	103週間 (6時間/日、5日/週)	—	—	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)
エンドポイント	色覚の低下	—	—	生存率の低下、肝臓及 び腎臓への影響など	神経毒性、視覚障害 神経行動学的影響	—	—	神経系への影響 腎障害
N(L)OAE	NOAEL 27 mg/m <sup>3</sup>	—	NOAEL 300 ppm	LOAEL 100 ppm (678 mg/m <sup>3</sup> )	—	—	—	LOAEL 200 mg/m <sup>3</sup> (30 ppm) 前後
連続曝露補正	×1/5	—	—	×6/24×5/7	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	マウスの体重 0.0305 kg 呼吸量 0.043 m <sup>3</sup> /day	—	—	—	—
POD	5.4 mg/m <sup>3</sup>	—	—	210 mg/kg/day (678×0.043×6/24× 5/7/0.0305 = 171)	—	—	—	200 mg/m <sup>3</sup>
不確実係数	20 (UF <sub>H</sub> ×UF <sub>C</sub> )	—	—	5,000 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>t</sub> 5)	—	—	—	1,000
リスク評価値	0.27 mg/m <sup>3</sup>	0.01 mg/m <sup>3</sup>	—	—	0.04 mg/m <sup>3</sup>	0.36 mg/m <sup>3</sup>	50 ppm (340 mg/m <sup>3</sup> )	0.2 mg/m <sup>3</sup>
備考	色覚への影響がなかった アイロン工程の従業員(13人) の曝露濃度をNOAELに設定。  原著はTWAの平均値とあったが、 NOAELは幾何平均濃度で評価 されていたため、他機関の値 とは異なる。	設定文書は入手できなかった。 寄与値(B値)であり、バック グラウンドレベルを考慮してい ない。土壌汚染による室内空 気質基準としても使用される。	OECDのSIDSを引用してNOAEL 300 ppmとし、労働者や公衆の 曝露はこれよりもずっと低い と評価。  SIDSの評価書が未公開のため、 300 ppmの出所は不明。	経口換算してTDIを算出して いた。	US EPA (IRIS)とATSDRの評 価を採用して設定している。	24時間平均値として設定。  トリクロロエチレンとの類似 性から同じ50 ppmを設定。  現在、許容濃度の一覧表では 「(検討中)」と記載され、数 値は記載されていない。	年平均値として設定。  LOAELは総合的に判断した結 果とされている。  不確実係数は労働環境から 一般環境への外挿やLOAEL を用いこと等を考慮した総 合的な係数とされ、内訳は示 されていない。	

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生(発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

NTP (1986): Toxicology and carcinogenesis studies of tetrachloroethylene (perchloroethylene) (CAS No. 127-18-4) in F344/N rats and B6C3F1 mice (Inhalation Studies). NTP TR 311.

表 2 0 有害性評価結果（慢性曝露） テトラクロロエチレン その 4

ファイル番号	30
評価機関等	NITE・初期評価
評価年	2006
キー研究	NTP (1986)
動物種	マウス
曝露状況	103 週間 (6 時間/日、5 日/週)
エンドポイント	尿細管上皮の核肥大 肝細胞の空胞化など
N(L)OAEL	NOAEL 100 ppm (690 mg/m <sup>3</sup> )
連続曝露補正	×6/24×5/7
dosimetry 補正	マウスの体重 0.03 kg、 呼吸量 0.05 m <sup>3</sup> /day
POD	210 mg/kg/day (690×0.05×6/24× 5/7/0.03 = 205)
不確実係数	1,000 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)
リスク評価値	—
備考	MOE による評価を行 っている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 2 1 有害性評価結果（急性曝露） テトラクロロエチレン その 1

ファイル番号	02	06			07	08	09	10
評価機関等	WHO (Global)	US EPA (AEGL)			ATSDR	CalEPA	テキサス州	ミシガン州
評価年	2000	2009			2019	1999	2008	2017
キー研究	WHO (Europe)	Rowe ら(1952)	Goldberg ら(1964)	Friberg ら(1953)	Cavalleri ら(1994)	Stewart ら(1970)	Altmann ら(1992)	ATSDR
動物種	—	ヒト	ラット	マウス	ヒト	ヒト	ヒト	—
曝露状況	—	1 時間	2 週間 (4 時間/日、5 日/週)	4 時間	職業曝露 (8 時間/日、5 日/週)	3 時間	4 日間 (4 時間/日)	—
エンドポイント	臭気	眼刺激	運動失調 回避反応の低下	死亡	色覚の低下	中枢神経系への影響、 眼や鼻、喉の刺激など	中枢神経系への影響	—
N(L)OAEL	—	LOAEL 106 ppm (718.9 mg/m <sup>3</sup> )	NOEL 1,150 ppm	LC <sub>50</sub> 5,200 ppm	LOAEL 7.3 ppm	LOAEL 700 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 10 ppm	—
連続曝露補正	—	—	—	—	×8/24×5/7 (7.3×8/24×5/7 = 1.74)	1 時間の濃度に外挿	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	106 ppm	1,150 ppm	1,733 ppm (5,200/3 = 1733.33)	1.7 ppm	1,200 mg/m <sup>3</sup>	10 ppm	—
不確実係数	—	3 (UF <sub>H</sub> 3)	10 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3)	3 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 3)	300 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)	60 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 6)	10 (UF <sub>H</sub> 10)	—
リスク評価値	8 mg/m <sup>3</sup>	35 ppm	120 ppm (4 時間)	580 ppm (4 時間)	0.006 ppm (0.04 mg/m <sup>3</sup> )	20 mg/m <sup>3</sup> (20,000 µg/m <sup>3</sup> )	6.8 mg/m <sup>3</sup> (1 ppm)	0.041 mg/m <sup>3</sup>
備考	30 分平均値として設定。 WHO (Europe) の 1987 年(第 1 版)の評価を採用。	AEGL-1 として設定。 眼刺激であるため、 10、30 分、1、4、8 時 間の値はすべて同じに 設定している。	C <sup>2.0</sup> ×t=k の式から 4 時間の曝露時は 1,150 <sup>2</sup> ×4 = 5,290,000 ppm・h これを各曝露時間で除 して 2 乗根をとり、 UF で除して各時間の 値を算出。 1 時間：230 ppm 8 時間：81 ppm 10 分、30 分の値は 1 時間の値を使用。	C <sup>2.0</sup> ×t=k の式から 4 時間の曝露時は 1,733 <sup>2</sup> ×4 = 12,013,156 ppm <sup>3</sup> ・h これを各曝露時間で除 して 2 乗根をとり、 UF で除して各時間の 値を算出。 30 分：1,600 ppm 1 時間：1,200 ppm 8 時間：410 ppm 10 分は 30 分の値を使 用。 POD は LC <sub>50</sub> の 1/3 の 値を使用。	慢性のリスク評価値を 急性(14 日間以下)にも 適用している。	(700 mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> ×3 h = C <sup>2</sup> ×1 h の関係式から C <sup>2</sup> = 1,470,000 C = 1,212 mg/m <sup>3</sup> と 1 時間曝露濃度を算出。	1 時間への外挿につい ては、No adjustment, 1 h concentration = 4 h concentration と記載さ れていたが、根拠は期 さされていなかった。 別途、スクリーニング 値として 0.3 倍して丸 めた数値 (2 mg/m <sup>3</sup> )を 設定している。	急性との記載はなかつ たが、住宅の室内濃度 が超過すると直ちに換 気等の対応が必要な暫 定スクリーニングレベ ル(TS-RIASL)として 設定されていた。 非住宅の室内濃度につ いては 2 倍した 0.082 mg/m <sup>3</sup> を設定。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Rowe VK, Mccollister DD, Spencer HC, Adams EM, Irish DD. (1952): Vapor toxicity of tetrachloroethylene for laboratory animals and human subjects. AMA Arch Ind Hyg Occup Med. 5: 566-579.

Goldberg ME, Johnson HE, Pozzani UC, Smyth HF Jr. (1964): Effect of repeated inhalation of vapors of industrial solvents on animal behavior. I. Evaluation of nine solvent vapors on pole-climb performance in rats. Am Ind Hyg Assoc J. 25: 369-375.

Friberg L, Kylin B, Nystrom A. (1953): Toxicities of trichlorethylene and tetrachloroethylene and Fujiwara's pyridine-alkali reaction. Acta Pharmacol Toxicol (Copenh). 9: 303-312.

Stewart RD, Baretta ED, Dodd HC, Torkelson TR. (1970): Experimental human exposure to tetrachloroethylene. Arch Environ Health. 20: 225-229.

Altmann L, Weigand H, Bottger A, Elstermeier F, Winneke G. (1992): Neurobehavioral and neurophysiological outcome of acute repeated tetrachloroethylene exposure. Apply Psychol. 41: 269-279.

表 2 1 有害性評価結果（急性曝露） テトラクロロエチレン その2

ファイル番号	11	12	14	15	19	21	
評価機関等	ミネソタ州	ACGIH	EU ECHA (DNEL)	EU SCOEL	独・AGS (TRGS)	仏・ANSES (TRV)	仏・ANSES (室内空気)
評価年	2014	1992	—	2009	2017	2018	2010
キー研究	—	Rowe (1952)、ATSDR Stewart ら(1970)	ATSDR (1997) AFFSET (2009)	Stewart ら(1961) Rowe ら(1952)	EU、DFG (MAK)	Altmann ら(1992)	ATSDR (1997)
動物種	—	ヒト	—	ヒト	—	ヒト	—
曝露状況	—	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	1～3時間	—	4日間(4時間/日)	—
エンドポイント	—	眠気(麻酔様作用)	—	中枢神経系への影響、 眼や鼻、喉の刺激など	—	協調性及び覚醒性の 試験成績の低下	—
N(L)OAEL	—	(LOAEL) 100～200 ppm	—	NOAEL 750 mg/m <sup>3</sup> (109 ppm)	—	NOAEL 10 ppm (69 mg/m <sup>3</sup> )	—
連続曝露補正	—	—	—	—	—	×4/24 (10×4/24 = 1.7)	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	—	—	—	—	2 ppm (13.8 mg/m <sup>3</sup> )	—
不確実係数	—	—	—	—	—	10 (UF <sub>H</sub> 10)	—
リスク評価値	20 mg/m <sup>3</sup>	100 ppm (685 mg/m <sup>3</sup> )	1.38 mg/m <sup>3</sup> (0.2 ppm)	40 ppm (275 mg/m <sup>3</sup> )	20 ppm (138 mg/m <sup>3</sup> )	1.38 mg/m <sup>3</sup> (0.2 ppm)	1.38 mg/m <sup>3</sup> (0.2 ppm)
備考	1時間平均値。	STEL として設定。	ATSDR (1997)と AFFSET (2009)が設定 していた値を採用して 設定。  ATSDR (1997)は Altmann ら(1992)の NOAEL 10 ppm をUF <sub>H</sub> 10 で除し、4時間/日 の曝露であったことか ら×4/24 して丸めた 0.2 ppm を設定してい た。	STEL (15分)として設 定。	労働者の許容濃度。  出典の1つにEUとあ ったが、具体的には何 を指すのか不明。	10 ppm を24時間連続 の濃度に換算した後に 丸めて2 ppm とし、 これをmg/m <sup>3</sup> に換算 している点に要注意。	ATSDR (1997)の値を 採用。 1日から14日間の曝 露に適用。  算出過程は左記 TRV と同様。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 2 2 テトラクロロエチレンの許容濃度

<b>Substance</b>	Tetrachloroethylene			
<b>CAS No.</b>	127-18-4			
<b>Remarks</b>	Perchloroethylene (PCE)			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	50	340	150	1020
Austria	20	138	40 (1)	275 (1)
Belgium	20 (1)	138 (1)	40 (1)(2)	275 (1)(2)
Canada - Ontario	25		100	
Canada - Québec	25	170	100 (1)	685 (1)
Denmark	10 (1)	70 (1)	20 (1)(2)	140 (1)(2)
European Union	<b>20</b>	<b>138</b>	<b>40 (1)</b>	<b>275 (1)</b>
Finland	10	70	20 (1)	140 (1)
France	<b>20</b>	<b>138</b>	<b>40 (1)</b>	<b>275 (1)</b>
Germany (AGS)	10 (1)	69 (1)	20 (1)(2)	138 (1)(2)
Germany (DFG)	10 (1)	69 (1)	20 (1)(2)	138 (1)(2)
Hungary		138 (1)		275 (1)(2)
Ireland	20 (1)	138 (1)	40 (1)(2)	275 (1)(2)
Israel	25	170	100 (1)	678 (1)
Italy	20 (1)	138 (1)	40 (1)(2)	275 (1)(2)
Japan (MHLW)	25			
Latvia	10	70	20 (1)	140 (1)
New Zealand	20	136	40 (1)	271 (1)
Norway	6 (1)	40 (1)	18 (1)(2)	120 (1)(2)
People's Republic of China		200		
Poland		85		170
Romania	20	138	40 (1)	275 (1)
Singapore	25	170	100	685
South Africa	50		200 (1)	
South Africa Mining	5 (1)	19 (1)	10 (1)(2)	38 (1)(2)
South Korea	25		100 (1)	
Spain	20 (1)	138 (1)	40 (1)(2)	275 (1)(2)
Sweden	10	70	25 (1)	170 (1)
Switzerland	20	138	40 (1)	275 (1)
The Netherlands		138 (1)		275 (1)(2)
USA - OSHA	100		200 (1)	
United Kingdom	20	138	40 (1)	275 (1)
	<b>Remarks</b>			
Austria	(1) 15 minutes average			
Belgium	(1) Additional indication "D" means that the absorption of the agent through the skin, mucous membranes or eyes is an important part of the total exposure. It can be the result of both direct contact and its presence in the air. (2) 15 minutes average value			
Canada - Québec	(1) 15 minutes average value			
Denmark	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
European Union	(1) 15 minutes average value Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Value (IOELV) ~ (for references see <a href="#">bibliography</a> )			
Finland	(1) 15 minutes average value			
France	Bold type: Restrictive statutory limit values Skin (1) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Germany (DFG)	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Hungary	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Ireland	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Israel	(1) 15 minutes average value			
Italy	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Latvia	(1) 15 minutes average value			
New Zealand	(1) 15 minutes average value			
Norway	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) 15 minutes average value			
South Africa Mining	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
South Korea	(1) 15 minutes average value			
Spain	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
Switzerland	(1) 15 minutes average value			
The Netherlands	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
USA - OSHA	(1) Ceiling limit value			
United Kingdom	(1) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 WHO Europe (2000) Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No. 91.
- 02 WHO (2000) Guidelines for air quality. World Health Organization, Geneva.
- 03 WHO Europe (2010) WHO guidelines for indoor air quality, selected pollutants. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- 04 WHO (2006) Tetrachloroethene. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 68.
- 05 USEPA (2012) Toxicological Review of Tetrachloroethylene. EPA/635/R-08/011F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 06 USEPA (2009) INTERIM ACUTE EXPOSURE GUIDELINE LEVELS (AEGs). TETRACHLOROETHYLENE
- 07 ATSDR (2019) Toxicological Profile for Tetrachloroethylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- 08 CalEPA (1991) Proposed identification of perchloroethylene as a toxic air contaminant. Technical support document Part B. Air Resources Board, State of California.
- 09 TCEQ (2008) Tetrachloroethylene (PCE). Development Support Document, TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY.
- 10 Michigan (2020) VOLATILIZATION TO INDOOR, AIR Recommendations for Interim Action Screening Levels and Time Time-Sensitive Interim Action Screening Levels.
- 11 Minnesota (2014) Tetrachloroethylene – Guidance for Air. Minnesota Department Health.
- 12 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, TETRACHLOROETHYLENE. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 13 EU LCI (2018) Tetrachloroethene, EU-LCI values.
- 14 ECHA の登録物質データベース: Methylcyclohexane. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 15 EU SCOEL (2009) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for tetrachloroethylene (perchloroethylene). SCOEL/SUM/133.
- 16 Umweltbundesamtes (2017) Richtwerte für Tetrachlorethen in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 60:1305–1315.
- 17 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 18 DFG (2016) Tetrachloroethylene /1,1,2,2-Tetrachloroethene. Lieferung: MAK.
- 19 TRGS (2021) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900. Ausschuss für Gefahrstoffe.
- 20 RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 025.
- 21 ANSES (2018) OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the proposed TRV by the respiratory route for perchloroethylene (CAS No. 127-18-4). Request No 2016-SA-0117.
- 22 Baumann et al. (unknown) BEWERTUNG DER INNENRAUMLUFT, FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN – VOC, TETRACHLORETHEN (TCE).
- 23 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.

- 24 Commonwealth of Australia (2001) Tetrachloroethylene, Priority Existing Chemical Assessment Report No. 15. National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme.
- 25 Health Canada (2017) SUMMARY DOCUMENT: Indoor Air Reference Levels for Chronic Exposure to Volatile Organic Compounds.
- 26 Ontario (2020) HUMAN TOXICOLOGY and AIR STANDARDS SECTION TECHNICAL ASSESSMENT and STANDARDS DEVELOPMENT BRANCH ONTARIO MINISTRY of the ENVIRONMENT, CONSERVATION and PARKS AMBIENT, AIR QUALITY CRITERIA.
- 27 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1972) トリクロロエチレン. 産業医学 14(2):173-174.
- 28 環境省 (1996) テトラクロロエチレンに係る環境基準専門委員会報告. 中央環境審議会大気部会環境基準専門委員会.
- 30 製品評価技術基盤機構 (2006) 化学物質の初期リスク評価書. Ver. 1.0, No. 65, テトラクロロエチレン.

## 1-8 1,2-ジクロロエタン (CAS 107-06-2)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性、発がん性に関する多くの知見が得られており、IARC ではグループ 2B の発がん物質に分類している。

国内外の評価機関において設定された 1,2-ジクロロエタンの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 3 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 4 に示す。

後述するように、16 機関でユニットリスクが算出 (設定) されていたことから、非発がんのリスク評価値を設定した機関はトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンに比べて少なかった。

キー研究についてみると、非発がんの慢性リスク評価値では Kozik (1957) の疫学知見、Spreafico ら(1980) のラット、マウスの 12 ヶ月間吸入曝露の試験結果が多く採用されている傾向にあった。このうち、Kozik (1957) については NIOSHA (1976) が Kozik (1957) の報告にあった曝露情報から TWA を推定していたことから、利用価値が高まったものと思われる。

非発がんの急性のリスク評価値については、ATSDR とテキサス州の 2 機関のみの設定であった。キー研究はどちらも Hotchkiss ら(2010) でエンドポイントも同じであったが、dosimetry 補正では ATSDR が胸郭外表面積を考慮して  $\times 0.16$ 、テキサス州は血液: ガス分配係数を考慮してデフォルトの  $\times 1$  を採用しており、POD の算出 (設定) の考え方も異なり、不確実係数にも 6 倍の差があったが、最終的なリスク評価値は 3 倍の範囲内に収まっていた。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 2 5 に示す。

表 2 3 有害性評価結果（慢性曝露） 1,2-ジクロロエタン その1

ファイル番号	01	05	06	07	08	09	10	14
評価機関等	WHO Air (Europe)	US EPA (PPRTV)	ATSDR	CalEPA	テキサス州	ミシガン州	ACGIH	独・AGÖF
評価年	2000	2010	2022 (案)	1999	2016	2015	1978	2013
キー研究	Spencer ら(1951) Heppel ら(1946) Hofmann ら(1971)	Kozik (1957)	—	Spreafico ら(1980)	Spreafico ら(1980)	Kozik (1957) NIOSH (1976)	Browning (1965) NIOSH (1976) Rosenbaum (1974) Kozik (1957)	—
動物種	ラット、マウス、モルモット等の実験動物	ヒト	—	ラット	ラット、マウス	ヒト	ヒト	—
曝露状況	6ヶ月以上	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—	12ヶ月 (7時間/日、5日/週)	12ヶ月 (7時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	職業曝露 (8時間/日、5日/週)	—
エンドポイント	肝臓組織の変化	神経行動学的な障害	—	肝毒性 (血清の肝酵素の上昇)	肝・腎毒性 (血清 ALT、尿酸の上昇)	神経行動学的な影響	肝毒性と麻酔作用	—
N(L)OAEL	LOAEL 700 mg/m <sup>3</sup>	LOAE 61 mg/m <sup>3</sup>	—	NOAEL 10 ppm	NOAEL 10 ppm	LOAE 61 mg/m <sup>3</sup>	—	—
連続曝露補正	—	10/20m <sup>3</sup> /d×5/7d (61×10/20×5/7=21.8)	—	×7/24×5/7 (10×7/24×5/7=2.1)	×7/24×5/7 (10×7/24×5/7=2.0833)	10/20m <sup>3</sup> /d×5/7d (61×10/20×5/7=21.8)	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	×1.5 (RGDR) (2.1×1.5=3.15)	1	—	—	—
POD	700 mg/m <sup>3</sup>	22 mg/m <sup>3</sup>	—	3.2 ppm	2.0833 ppm	22 mg/m <sup>3</sup>	—	—
不確実係数	1,000 (UF <sub>A</sub> ×UF <sub>H</sub> ×UF <sub>S</sub> ×UF <sub>L</sub> ×UF <sub>DB</sub> )	3,000 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)	—	30 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>A</sub> 3)	180 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>A</sub> 3 UF <sub>DB</sub> 6)	3,000 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10, UF <sub>DB</sub> 3)	—	—
リスク評価値	0.7 mg/m <sup>3</sup>	0.007 mg/m <sup>3</sup>	—	0.4 mg/m <sup>3</sup> (0.1 ppm)	0.044 mg/m <sup>3</sup> (0.011 ppm)	0.007 mg/m <sup>3</sup>	10 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	—
備考	24 時間平均値。  700 mg/m <sup>3</sup> は曝露濃度ではなく、LOAEL はこの辺と推定した値。NOAEL は 400 mg/m <sup>3</sup> と推測していたが、評価に使用していない。連続曝露への補正は行っていない。	暫定のリスク評価値 (p-RfC) として設定。亜慢性の p-RfC として不確実係数の 300 で除した 0.07 mg/m <sup>3</sup> を設定している。原著の曝露情報から NIOSHA (1976) が推定した TWA を採用し、原著に曝露期間の情報があったことから、7 年未満の亜慢性曝露と仮定している。	慢性の吸入曝露の動物実験は 2 報あったが、1 報は単一曝露群で影響なし、他の 1 報も発がん影響を認めたものの非発がん影響については最高濃度群でも報告がなかったとし、リスク評価値は非発がん影響から設定することから、設定できないとしている。	ここの RGDR はラットとヒトの血液: 空気分配係数の比であり、ラットは 30.4、ヒトは 19.5。 (30.4/19.5 = 1.56) (Gargas ら 1989)。	血液: ガス分配係数はラット>ヒトの関係にあるため、dosimetry 補正の係数はデフォルトの 1 を使用。  0.3 倍した 0.013 mg/m <sup>3</sup> をスクリーニング値に設定している。	US EPA (PPRTVs) の評価を採用。	2,061 件の室内濃度の測定結果があり、90 パーセンタイル値は 1 µg/m <sup>3</sup> 未満でだったが、リスク評価値を設定していない。	

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Spencer HC, Rowe VK, AdamS EM, Mccollister DD, Irish DD. (1951): Vapor toxicity of ethylene dichloride determined by experiments on laboratory animals. *AMA Arch Ind Hyg Occup Med.* 4: 482-493.  
 Heppel LA, Neal PA, Perrin TL, Endicott KM, Porterfield VT. (1946): The toxicology of 1,2-dichloroethane (ethylene dichloride): V. The effects of daily inhalations. *J Ind Hyg Toxicol.* 28: 113-120.  
 Hofmann HT, Birnstiel H, Jobst P. (1971): On the inhalation toxicity of 1,1- and 1,2-dichloroethane. *Arch Toxikol.* 27: 248-265. (in German).  
 Kozik IV. (1957): Problems of industrial hygiene in using dichloroethane in the aircraft industry. *Gig. Tr. Prof. Zabol.* 1: 31-38. (in Russian).  
 NIOSH (1976): Criteria for a recommended standard. Occupational exposure to ethylene dichloride (1,2-dichloroethane).  
 Browning E. (1965): Toxicity and metabolism of organic solvents. p. 252. Elsevier Publishing Co., Amsterdam.  
 Rosenbaum ND. (1947): Ethylene dichloride as an industrial poison. *Gig. Sanit.* 12: 17-21. (in Russian).

表 2 3 有害性評価結果（慢性曝露） 1,2-ジクロロエタン その2

ファイル番号	15	16	20	21	22	24	25	26
評価機関等	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	デンマーク	オンタリオ州	日本産衛学会	環境省・初期評価	厚労省・リスク評価	NITE・初期評価
評価年	1989	2015	1992	2020	1984	2003	2019 (案)	2005
キー研究	—	Nagano ら(2006)	—	—	—	Spreafico ら(1980)	ACGIH 日本産衛学会	Spreafico ら(1980)
動物種	—	ラット、マウス	—	—	ヒト、 ラット・マウス	ラット	—	ラット
曝露状況	—	24 ヶ月 (6 時間/日、5 日/週)	—	—	—	12 ヶ月 (7 時間/日、5 日/週)	—	12 ヶ月 (7 時間/日、5 日/週)
エンドポイント	—	死亡率や腫瘍の増加	—	—	—	血清 ALT、LDH・ AST 低下など	—	血清 ALT や $\gamma$ -GST、 尿酸の上昇など
N(L)OAEL	—	NOAEL 10 ppm	—	—	—	NOAEL 40 mg/m <sup>3</sup>	—	NOAEL 41.1 mg/m <sup>3</sup>
連続曝露補正	—	×1/2	—	—	—	×7/24×5/7 (40×7/24×5/7 = 8.3)	—	×7/24×5/7 (41.1×7/24×5/7 = 8.56)
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	ラットの体重 0.35 kg、 呼吸量 0.26 m <sup>3</sup> /day
POD	—	5 ppm	—	—	—	8.3 mg/m <sup>3</sup>	—	6.4 mg/kg/day (8.56×0.26/0.35 = 6.36)
不確実係数	—	2 (UF <sub>H</sub> 5)	—	—	—	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10)
リスク評価値	—	1 ppm (4 mg/m <sup>3</sup> )	0.004 mg/m <sup>3</sup>	0.0004 µg/m <sup>3</sup>	10 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	—	10 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	—
備考	遺伝子傷害性のある発がん物質に分類され、安全な濃度を示すことができないことから、MAK 値は設定されていない。	発がん物質の非発がん影響をエンドポイントにとった場合の値 (AGW アナログ値)として算出されていた。	設定文書は入手できなかった。寄与値 (B 値) であり、バックグラウンドレベルを考慮していない。土壌汚染による室内空気質基準としても使用される。	年平均値として設定。この値をもとにして、別途、24 時間の評価ができるように 24 時間平均値 0.002 mg/m <sup>3</sup> も設定している。	1984 年時点で入手可能であった情報を総合的に評価して設定されたものと思われる。	8.3 mg/m <sup>3</sup> を無毒性量等に設定して MOE で評価している。	上記は二次評価値。一次評価値は、発がん性が疑われ、遺伝毒性があり、閾値がない場合に該当するが、生涯過剰発がん 1×10 <sup>-4</sup> レベルに相当する曝露濃度が設定できないため、設定していない。	MOE による評価を行っている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 2 4 有害性評価結果（急性曝露） 1,2-ジクロロエタン その1

ファイル番号	06	08	
評価機関等	ATSDR	テキサス州	
評価年	2022 (案)	2016	
キー研究	Hotchkiss ら(2010)	Hotchkiss ら(2010)	
動物種	ラット	ラット	
曝露状況	4~8 時間	4~8 時間	
エンドポイント	嗅上皮の変性、壊死	嗅上皮の変性、壊死	
N(L)OAEL	BMDL <sub>10</sub> 57.42 ppm	NOEL 50 ppm	
連続曝露補正	—	—	
dosimetry 補正	×0.16 (RGDR <sub>ET</sub> )	1	
POD	9.19 ppm (57.42×0.16 = 9.187)	100 ppm	16.6667 ppm
不確実係数	30 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 10)	180 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>DB</sub> 6)	180 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>DB</sub> 6)
リスク評価値	0.3 ppm (1 mg/m <sup>3</sup> )	2.2 mg/m <sup>3</sup> (0.55 ppm)	0.38 mg/m <sup>3</sup> (0.093 ppm)
備考	暫定のリスク評価値。  RGDR <sub>ET</sub> = (0.167/15)/(13.8/200) ラットとヒトの呼吸量 0.167、13.8 L/min 胸郭外表面積 15、200 cm <sup>2</sup>	2.2 mg/m <sup>3</sup> を 1 時間値として設定。 8 時間曝露の NOEL が 50 ppm のため、次式から 1 時間曝露の濃度を 100 ppm と算出。 (50 ppm) <sup>3</sup> × 8 h = C <sup>3</sup> × 1 h C = [(50 ppm) <sup>3</sup> × (8 h/1 h)] <sup>1/3</sup> = 100 ppm 別途、0.3 倍した 0.65 mg/m <sup>3</sup> を 1 時間のスクリーニング値に設定している。  0.38 mg/m <sup>3</sup> を 24 時間値に設定している。 24 時間値の POD は次の関係式により算出。 50 ppm × 8 h = C × 24 h  血液: ガス分配係数はラット > ヒトの関係にあるため、dosimetry 補正の係数はデフォルトの 1 を使用。	

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Hotchkiss JA, Andrus AK, Johnson KA, Krieger SM, Woolhiser MR, Maurissen JP. (2010): Acute toxicologic and neurotoxic effects of inhaled 1,2-dichloroethane in adult Fischer 344 rats. Food Chem Toxicol. 48: 470-481.

表 2 5 1,2-ジクロロエタンの許容濃度

Substance	1,2-Dichloroethane			
CAS No.	107-06-2			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	10	40		
Austria	2	8,2	8 (1)	32,8 (1)
Belgium	2 (1)(2)	8,2 (1)(2)		
Canada - Ontario	10			
Canada - Québec	1	4	2 (1)	8 (1)
Denmark	1 (1)(2)	4 (1)(2)	2 (1)(2)(3)	8 (1)(2)(3)
European Union	<b>2 (1)</b>	<b>8,2 (1)</b>		
Finland	1	4	5 (1)	20 (1)
France	<b>2 (1)</b>	8,2 (1)		
Hungary		8,2 (1)		
Ireland	2	8,2		
Italy	2 (1)	8,2 (1)		
Japan (MHLW)	10			
Japan (JSOH)	10	40		
Latvia	2 (1)	8,2 (1)		
New Zealand	5	21		
Norway	1 (1)	4 (1)		
People's Republic of China		7		15 (1)
Poland		50		
Romania	2	8,2		
Singapore	10	40		
South Africa	20 (1)			
South Korea	10			
Spain	5	20		
Sweden	1	4	5 (1)	20 (1)
Switzerland	52	8,2		
The Netherlands		7 (1)		
USA - NIOSH	1	4	2 (1)	8 (1)
USA - OSHA	50		100 (1)	
United Kingdom	5	21		
	Remarks			
Austria	TRK value (based on technical feasibility) (1) 15 minutes average value			
Belgium	(1) Additional indication "C" means that the agent falls within the scope of Title 2 concerning carcinogenic, mutagenic and reprotoxic agents of Book VI of the Codex on well-being at work. (2) Additional indication "D" means that the absorption of the agent through the skin, mucous membranes or eyes is an important part of the total exposure. It can be the result of both direct contact and its presence in the air.			
Canada - Québec	(1) 15 minutes average value			
Denmark	(1) Skin (2) Carcinogenic (3) 15 minutes average value			
European Union	(1) Substantial contribution to the total body burden via dermal exposure possible Bold-type: Binding Occupational Exposure Limit Value (BOELV) ~ (for references see <a href="#">bibliography</a> )			
Finland	(1) 15 minutes average value			
France	Bold type: Restrictive statutory limit values (1) Skin			
Hungary	(1) Skin			
Italy	(1) Skin			
Latvia	(1) Skin			
Norway	(1) Skin			
People's Republic of China	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) Skin			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
The Netherlands	(1) Skin			
USA - NIOSH	(1) 15 minutes average value			
USA - OSHA	(1) Ceiling limit value			

文献番号

- 01 WHO Europe (2000) Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No. 91.
- 05 USEPA (2010) Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for 1,2-Dichloroethane. EPA/690/R-10/011F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 06 ATSDR (2022) Toxicological Profile for 1,2-Dichloroethane, Draft for Public Comment. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- 07 CalEPA (2000) Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999). California Environmental Protection Agency.
- 08 TECQ (2016) Ethylene Dichloride. Development Support Document, TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY.
- 09 Michigan (2015) 1,2-Dichloroethane, CHEMICAL UPDATE WORKSHEET.
- 10 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, ETHYLENE DICHLORIDE. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 14 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 15 DFG (1992) 1,2-Dichloroethane. Lieferung: MAK.
- 16 TRGS (2015) Begründung zu 1,2-Dichlorethan in TRGS 910.
- 20 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 21 Ontario (2020) HUMAN TOXICOLOGY and AIR STANDARDS SECTION TECHNICAL ASSESSMENT and STANDARDS DEVELOPMENT BRANCH ONTARIO MINISTRY of the ENVIRONMENT, CONSERVATION and PARKS AMBIENT, AIR QUALITY CRITERIA.
- 22 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1984)1,2-ジクロロエタン. 産業医学 26:356-357.
- 24 環境省 (2003) 化学物質の環境リスク評価: 1,2-ジクロロエタン. 第2巻
- 25 厚生労働省 (2019) 平成30年度第6回有害性評価小検討会. 平成30年度リスク評価対象物質の有害性評価について, リスク評価書案, 1,2-ジクロロエタン. 平成31年1月15日(火)
- 26 製品評価技術基盤機構 (2005) 化学物質の初期リスク評価書. Ver. 1.0, No. 3, 1,2-ジクロロエタン.

## 1-9 アクロレイン (CAS 107-02-8)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性、発がん性に関する多くの知見が得られており、IARC ではグループ 2A の発がん物質に分類している。

国内外の評価機関において設定されたアクロレインの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 6 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 7 に示す。

キー研究についてみると、非発がんの慢性リスク評価値では Feron ら(1978)、Dorman ら(2008)のラットに 13 週間吸入曝露させた試験結果が多くの機関で採用されており、エンドポイントはともに鼻への影響であり、NOAEL は Feron ら(1978) が 0.4 ppm、Dorman ら(2008) が 0.2 ppm とほぼ同程度の値であった。また、日本バイオアッセイ研究センターの 2 年間吸入曝露の発がん試験結果が Matsumoto ら(2021)として報告されており、エンドポイントは鼻への影響、NOAEL は 0.1 ppm であり、仏・ANSES(TRV)も 2022 年の評価で採用していたことから、今後、多くの機関で長期間曝露のキー研究として採用される可能性が考えられた。

非発がんの急性のリスク評価値については、アクロレインの強い刺激性から、多くの機関で低い値に設定されており、Weber-Tschopp ら(1977)のヒトボランティア実験の結果が多くの機関で採用されていた。

なお、カナダが 2017 年に CalEPA のリスク評価値  $0.00035 \text{ mg/m}^3$  を採用して Indoor Air Reference Levels (IARL) に設定したが、カナダ国内の多くの住宅が IARL を超過していたため、2021 年に実行可能性のあるリスク評価値として Residential Indoor Air Quality Guideline (RIAQG) の曝露限界値 (長期間曝露: 24 時間平均値で  $0.00044 \text{ mg/m}^3$ 、短期間曝露: 1 時間平均値として  $0.038 \text{ mg/m}^3$ ) を設定し、少なくとも短期間曝露については問題となる住宅は多くないと評価していたのが印象深かった。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表 2 8 に示す。

表 2 6 有害性評価結果（慢性曝露） アクロレイン その1

ファイル番号	01	02	03	04	07	08	09	
評価機関等	WHO Air (Global)	IPCS EHC 127	CICAD	US EPA (IRIS)	ATSDR	CalEPA	テキサス州	
評価年	2000	1991	2002	2003	2007	2008	2015	
キー研究	Darley ら(1960)	Darley ら(1960)	Cassee ら(1996)	Feron ら(1978)	Feron ら(1978)	Dorman ら(2008)	Dorman ら(2008)	
動物種	ヒト	ヒト	ラット	ラット	ラット	ラット	ラット	
曝露状況	5 分間	5 分間	3 日間 (6 時間/日)	13 週間 (6 時間、5 日/週)	13 週間 (6 時間、5 日/週)	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	
エンドポイント	眼刺激	眼刺激	鼻の呼吸上皮及び移行 上皮の壊死や肥厚など	鼻の病変	鼻上皮の異形成	鼻の呼吸上皮の病変	呼吸上皮の異形成 と回復の欠如	
N(L)OAEL	LOAEL 0.13 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 0.13 mg/m <sup>3</sup>	BMC <sub>05</sub> 0.14 mg/m <sup>3</sup>	NOAEL 0.4 ppm (0.9 mg/m <sup>3</sup> )	NOAEL 0.4 ppm	NOAEL 0.2 ppm		
連続曝露補正	—	—	× 6/24 (0.14 × 6/24 = 0.035)	× 6/24 × 5/7 (0.9 × 6/24 × 5/7 = 0.16)	× 6/24 × 5/7 (0.4 × 6/24 × 5/7 = 0.071)	× 6/24 × 5/7 (0.2 × 6/24 × 5/7 = 0.0357)	× 6/24 × 5/7 × 20/10 (0.0357 × 20/10 = 0.0714)	× 6/24 × 5/7 (0.2 × 6/24 × 5/7 = 0.0357)
dosimetry 補正	—	—	—	× 0.14 (RGDR <sub>ET</sub> ) (0.16 × 0.14 = 0.0224)	× 0.17 (RGDR <sub>ET</sub> ) (0.071 × 0.17 = 0.012)	× 0.85 (DAF) (0.036 × 0.85 = 0.0306)	× 0.85 (DAF) (0.071 × 0.85 = 0.0604)	—
POD	0.13 mg/m <sup>3</sup>	0.13 mg/m <sup>3</sup>	0.035 mg/m <sup>3</sup>	0.02 mg/m <sup>3</sup>	0.012 ppm	0.03 ppm	0.06 ppm	0.0357 ppm
不確実係数	—	—	100 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10)	1,000 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 10, UF <sub>L</sub> 3)	300 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	200 (UF <sub>A</sub> 6.4, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 3.2)	200 (UF <sub>A</sub> 6.4, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 3.2)	30 (UF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 10)
リスク評価値	0.05 mg/m <sup>3</sup>	0.05 mg/m <sup>3</sup>	0.0004 mg/m <sup>3</sup> (0.4 µg/m <sup>3</sup> )	0.00002 mg/m <sup>3</sup> (0.02 µg/m <sup>3</sup> )	0.00004 ppm (約 0.09 µg/m <sup>3</sup> )	0.00035 mg/m <sup>3</sup> (0.15 ppb)	0.0007 mg/m <sup>3</sup> (0.30 ppb)	0.0027 µg/m <sup>3</sup> (1.2 ppb)
備考	30 分平均値として設定。  EHC 127 の評価を採用。			RGDR <sub>ET</sub> = (0.20/15)/(20/200) ラットとヒトの呼吸量 0.20、20 m <sup>3</sup> /day、 胸郭外表面積 15、200 cm <sup>2</sup>	中期間曝露のリスク評価値として設定。  RGDR <sub>ET</sub> = (0.16/15)/(13.8/200) ラットとヒトの呼吸量 0.16、13.8 L/min、 胸郭外表面積 15、200 cm <sup>2</sup> 注：上記の式では RGDR <sub>ET</sub> は 0.17 では なく 0.15 となる。  約 0.09 µg/m <sup>3</sup> は 25°C の換算係数 2.3 を用いて 算出した値。	不確実係数の√10 を 3.2 として表記した。  <b>DAF の算出根拠は不明。</b>	1 日 8 時間の曝露を繰り返 し受ける場合を想定した リスク評価値。  不確実係数の√10 を 3.2 として表記した。  <b>DAF の算出根拠は不明。</b>	0.3 倍した 0.82 mg/m <sup>3</sup> をスクリーニング値に 設定している。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Darley EF, Middleton JT, Garber MJ. (1960): Phytotoxicity of gas mixtures. Plant damage and eye irritation from ozone-hydrocarbon reactions. J Agric Food Chem. 8: 483-485.

Cassee FR, Groten JP, Feron VJ. (1996): Changes in the nasal epithelium of rats exposed by inhalation to mixtures of formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein. Fundam Appl Toxicol. 29: 208-218.

Dorman DC, Struve MF, Wong BA, Marshall MW, Gross EA, Willson GA. (2008): Respiratory tract responses in male rats following subchronic acrolein inhalation. Inhal Toxicol. 20: 205-216.

表 2 6 有害性評価結果（慢性曝露） アクロレイン その2

ファイル番号	10	11		13	14	15	16	17
評価機関等	ミシガン州	ミネソタ州		EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	EU SCOEL	独・AGÖF	独・DFG (MAK)
評価年	2015	2012		2001	—	2007	2013	2012
キー研究	US EPA (IRIS)	Dorman ら(2008)		Lyon ら(1970)	Feron ら(1978)	Roemer ら(1993)	—	—
動物種	—	ラット		イヌ、サル、 モルモット	ラット	ラット	—	—
曝露状況	—	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)		90 日間 (24 時間/日、7 日/週)	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	3 日間 (6 時間/日)	—	—
エンドポイント	—	上気道の病変		肺、肝臓、腎臓、脳、 心臓の非特異的炎症	鼻粘膜の炎症	気管支粘膜の傷害	—	—
N(L)OAEL	—	NOAEL 0.2 ppm (0.46 mg/m <sup>3</sup> )		LOAEL 0.5 mg/m <sup>3</sup>	LOEL 0.9 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 0.2 ppm (0.47 mg/m <sup>3</sup> )	—	—
連続曝露補正	—	×6/24×5/7 (0.46×6/24×5/7 = 0.082)		—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	×0.85 (DAF) (0.082×0.85 = 0.0697)		—	—	—	—	—
POD	—	0.069 mg/m <sup>3</sup>		0.5 mg/m <sup>3</sup>	0.9 mg/m <sup>3</sup>	0.2 ppm	—	—
不確実係数	—	180 (UF <sub>A</sub> 6, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 3)	60 (UF <sub>A</sub> 6, UF <sub>H</sub> 10))	—	5 (UF <sub>A</sub> 1, UF <sub>H</sub> 5, UF <sub>S</sub> 1, UF <sub>L</sub> 1)	10 (UF <sub>H</sub> ×UF <sub>L</sub> )	—	—
リスク評価値	0.00002 mg/m <sup>3</sup> (0.02 µg/m <sup>3</sup> )	0.0004 mg/m <sup>3</sup> (0.4 µg/m <sup>3</sup> )	0.001 mg/m <sup>3</sup> (1 µg/m <sup>3</sup> )	—	0.2 mg/m <sup>3</sup> (0.9/5 = 0.18)	0.02 ppm (0.05 mg/m <sup>3</sup> )	—	—
備考	US EPA (IRIS)の評価 を採用。	DAF は CalEPA の値を 採用。	亜慢性のリスク評価値 として設定。	MOS で評価してい る。	上記の値は労働者の吸 入曝露を想定した値。  公衆の値は未算出。  労働者を想定のため、 連続曝露補正は不要。  0.9 mg/m <sup>3</sup> は NOAEL に近接した値と評価し ている。	8 時間 TWA として設 定。	774 件の室内濃度の測 定結果があり、90 パ ーセントイル値は 5 µg/m <sup>3</sup> 未満でだった が、リスク評価値を設 定していない。	1997 年まで MAK 値 が設定されていたが、 遺伝毒性があり、発が ん性を否定できる濃度 はないとして、MAK 値が廃止された。 現在も MAK 値は設定 されていない。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Lyon JP, Jenkins LJ Jr, Jones RA, Coon RA, Siegel J. (1970): Repeated and continuous exposure of laboratory animals to acrolein. Toxicol Appl Pharmacol. 17: 726-732.

Feron VJ, Krusysse A, Til HP, Immel HR. (1978): Repeated exposure to acrolein vapour: subacute studies in hamsters, rats and rabbits. Toxicology. 9: 47-57.

Roemer E, Anton HJ, Kindt R. (1993): Cell proliferation in the respiratory tract of the rat after acute inhalation of formaldehyde or acrolein. J Appl Toxicol. 13: 103-107.

表 2 6 有害性評価結果（慢性曝露） アクロレイン その 3

ファイル番号	18	19	20	21		22	23	
評価機関等	独・AGS (TRGS)	独・AgBB	オランダ	仏・ANSES (TRV)		デンマーク	カナダ	
評価年	2007	2018	2007	2022		1998	2000	
キー研究	Feron ら(1978)	—	—	Matsumoto ら(2021)	Dorman ら(2008)	—	Cassee ら(1996)	
動物種	Feron ら(1978)	—	—	マウス	ラット	—	ラット	
曝露状況	ラット	—	—	104 週間 (6 時間/日、5 日/腫)	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	3 日間 (6 時間/日)	
エンドポイント	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	—	気道上皮の炎症 と過形成	気道上皮の傷害	—	鼻の呼吸上皮の壊死や肥厚、 落屑、過形成など	
N(L)OAEL	鼻粘膜の炎症	—	—	NOAEL 0.1 ppm	NOAEL 0.2 ppm	—	BMC <sub>05</sub> 0.14 mg/m <sup>3</sup>	LOAEL 0.57 mg/m <sup>3</sup>
連続曝露補正	LOAEL 0.9 mg/m <sup>3</sup> (0.4 ppm)	—	—	×6/24×5/7 (0.1×6/24×5/7 = 0.018)	×6/24×5/7 (0.2×6/24×5/7 = 0.036)	—	×6/24 (0.14×6/24 = 0.035)	—
dosimetry 補正	—	—	—	×0.133 (RGDR <sub>ET</sub> ) (0.018×0.133 = 0.0024)	×0.133 (RGDR <sub>ET</sub> ) (0.036×0.133 = 0.0048)	—	—	—
POD	0.9 mg/m <sup>3</sup>	—	—	0.002 ppm (0.005 mg/m <sup>3</sup> )	0.0048 ppm (0.01 mg/m <sup>3</sup> )	—	0.035 mg/m <sup>3</sup>	0.57 mg/m <sup>3</sup>
不確実係数	5 (U <sub>FA</sub> 1, U <sub>FH</sub> 5, U <sub>FS</sub> 1, U <sub>FL</sub> 1)	—	—	25 (U <sub>FA</sub> 2.5, U <sub>FH</sub> 10)	25 (U <sub>FA</sub> 2.5, U <sub>FH</sub> 10)	—	100 (U <sub>FA</sub> 10, U <sub>FH</sub> 10)	1,000 (U <sub>FA</sub> 10, U <sub>FH</sub> 10, U <sub>FL</sub> ×U <sub>FS</sub> 10)
リスク評価値	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.014 mg/m <sup>3</sup>	0.0005 mg/m <sup>3</sup> (0.5 µg/m <sup>3</sup> )	0.0002 mg/m <sup>3</sup> (0.2 µg/m <sup>3</sup> )	0.00044 mg/m <sup>3</sup> (0.44 µg/m <sup>3</sup> )	0.001 mg/m <sup>3</sup>	0.4 µg/m <sup>3</sup> (0.00035 mg/m <sup>3</sup> )	0.6 µg/m <sup>3</sup> (0.00057 mg/m <sup>3</sup> )
備考	労働者の許容濃度。 ラットは吸入毒性に対する感受性がヒトより高く、NOAEL に近接した LOAEL であったこと、曝露期間が増加しても影響の増強や NOAEL の低下はないと考えられたことから、これらの不確実係数はいずれも 1 で良いと評価された。	ドイツの LCI 値。 (ドイツ語では NIK)。	年平均値で、最大許容リスクレベルの濃度として設定。 目標値は 0.01 µg/m <sup>3</sup> 。 設定文書は入手できなかったが、情報源は CICAD、EU(ECHA)、US EPA (IRIS)、ATSDR とあった。	RGDR <sub>ET</sub> = (0.04/3)/(20/200) マウスとヒトの呼吸量 0.04、20 m <sup>3</sup> /day、 胸郭外表面積 3、200 cm <sup>2</sup>  室内空気環境ガイドライン(2022)は上記の値を採用して、慢性曝露のリスク評価値としている。	中期のリスク評価値として設定(14 日～1 年)  RGDR <sub>ET</sub> = (0.2/15)/(20/200) マウスとヒトの呼吸量 0.2、20 m <sup>3</sup> /day、 胸郭外表面積 15、200 cm <sup>2</sup>  室内空気環境ガイドライン(2022)は上記の値を丸めて 0.0004 mg/m <sup>3</sup> (0.40 µg/m <sup>3</sup> )とし、14 日～1 年間曝露のリスク評価値としている。	設定文書は入手できなかった。 寄与値 (B 値) であり、バックグラウンドレベルを考慮していない。土壌汚染による室内空気質基準としても使用される。	耐用濃度 (TC) は 0.4～0.6 µg/m <sup>3</sup> の範囲内にあるとしていた。	

U<sub>FA</sub>: 種差、U<sub>FH</sub>: 個体差、U<sub>FS</sub>: 慢性曝露補正、U<sub>FL</sub>: LOAEL→NOAEL、U<sub>DB</sub>: データベース不足、U<sub>SE</sub>: 影響の重症度、U<sub>FC</sub>: 子供などの高感受性集団、U<sub>FT</sub>: 腫瘍発生 (発がん性)、U<sub>FR</sub>: 経路間外挿の補正

Matsumoto M, Yamano S, Senoh H, Umeda Y, Hirai S, Saito A, Kasai T, Aiso S. (2021): Carcinogenicity and chronic toxicity of acrolein in rats and mice by two-year inhalation study. Regul Toxicol Pharmacol. 121: 104863.

日本バイオアッセイ研究センター (2016): アクロレインのマウスを用いた吸入によるがん原性試験報告書。

表 2 6 有害性評価結果（慢性曝露） アクロレイン その4

ファイル番号	24	25	26	27	28	29	30	31
評価機関等	カナダ・室内空気	カナダ・室内空気	オンタリオ州	アルバータ州	日本産衛学会	環境省・初期評価	厚労省・リスク評価	NITE・初期評価
評価年	2017	2021	2012	2013	1973	2004	2020 (案)	2006
キー研究	CalEPA	Dorman ら(2008)	—	オンタリオ州	ACGIH	Feron ら(1978)	UK WEL	Lyon ら(1970)
動物種	—	ラット	—	—	—	ラット	—	イヌ
曝露状況	—	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	—	—	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	90 日間 (24 時間/日、7 日/週)
エンドポイント	—	気道上皮の傷害	—	—	—	鼻粘膜の変性	—	肺気腫、肝臓や腎臓の 非特異的炎症等
N(L)OAEL	—	NOAEL 0.46 mg/m <sup>3</sup>	—	—	—	LOAEL 0.92 mg/m <sup>3</sup>	—	LOAEL 0.5 mg/m <sup>3</sup>
連続曝露補正	—	$\times 6/24 \times 5/7$ ( $0.46 \times 6/24 \times 5/7 = 0.082$ )	—	—	—	$\times 6/24 \times 5/7$ ( $0.92 \times 6/24 \times 5/7 = 0.082$ )	—	—
dosimetry 補正	—	$\times 0.13$ (RGDR <sub>ET</sub> ) ( $0.082 \times 0.13 = 0.0107$ )	—	—	—	—	—	イヌの体重 11.9 kg、 呼吸量 3.62 m <sup>3</sup>
POD	—	0.011 mg/m <sup>3</sup>	—	—	—	0.16 mg/m <sup>3</sup>	—	0.15 mg/kg/day ( $0.5 \times 3.62 / 11.9 = 0.152$ )
不確実係数	—	25 (UF <sub>A</sub> 2.5, UF <sub>H</sub> 10)	—	—	—	—	—	5,000 (UF <sub>A</sub> 10, UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>S</sub> 5, UF <sub>L</sub> 10)
リスク評価値	0.00035 mg/m <sup>3</sup> (0.35 µg/m <sup>3</sup> )	0.00044 mg/m <sup>3</sup> (0.44 µg/m <sup>3</sup> )	0.0004 mg/m <sup>3</sup> (0.4 µg/m <sup>3</sup> )	0.0004 mg/m <sup>3</sup> (0.4 µg/m <sup>3</sup> )	0.1 ppm (0.23 mg/m <sup>3</sup> )	—	0.02 ppm (0.05 mg/m <sup>3</sup> )	—
備考	Indoor Air Reference Levels (IARL)として設定されている。  CalEPA、カナダ、US EPA の先行評価例の中から CalEPA を採用している。	Residential Indoor Air Quality Guideline (RIAQG) の曝露限界値(24 時間平均)として設定している。  多くの住宅が IARL を超過しているため、実行可能性のある長期間曝露の限界値として、短期間曝露の限界値とともに設定している。	24 時間平均値。	24 時間平均値。		UFs 10、UF <sub>L</sub> 10 で除した 0.0016 mg/m <sup>3</sup> を無毒性量等に設定して MOE で評価している。	一次評価値は設定できなかったため、上記の値は二次評価値。	MOE による評価を行っている。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

表 2 7 有害性評価結果（急性曝露） アクロレイン その 1

ファイル番号	05			06		07	08	
評価機関等	US EPA (AEGL)			US EPA (RED)		ATSDR	CalEPA	
評価年	2010			2008		2007	2008	
キー研究	Weber-Tschopp ら(1977)	Weber-Tschopp ら(1977)	Ballantyne ら(1989)	Weber-Tschopp ら(1977)		Weber-Tschopp ら(1977)	Darley ら(1960)	Weber-Tschopp ら(1977)
動物種	ヒト			ラット		ヒト	ヒト	ヒト
曝露状況	35 分間 (0 ppm から 0.6 ppm まで増加)	1 時間	1 時間、4 時間	1 時間		1 時間	5 分間	40 分間
エンドポイント	眼刺激や癢気、不快感	呼吸数の減少	死亡	眼刺激	鼻と喉の刺激、呼吸数の減少	呼吸数の減少、鼻と喉の刺激	眼刺激	眼刺激
N(L)OAEL	LOAEL 0.09 ppm	NOAEL 0.3 ppm	NOAEL 14 ppm(1 hr) NOAEL 4.8 ppm (4 hr)	LOAEL 0.09 ppm	LOAEL 0.3 ppm	LOAEL 0.3 ppm	LOAEL 0.06 ppm	LOAEL 0.07 ppm
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	0.09 ppm	0.3 ppm	14	0.09 ppm	0.3 ppm	0.3 ppm	0.06 ppm	0.007 ppm
不確実係数	3 (UF <sub>H</sub> 3)	3 (UF <sub>H</sub> 3)	10 (HF <sub>A</sub> 3, UF <sub>H</sub> 3)	30 (UF <sub>H</sub> 3, UF <sub>L</sub> 10)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	100 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 10)	60 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 6)	60 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 6)
リスク評価値	0.03 ppm	0.10 ppm (1 時間値) (0.3/3 = 0.1)	1.0 ppm (1 時間値) (14/10 = 1.4)	0.003 ppm	0.003 ppm	0.003 ppm	0.001 ppm 0.0025 mg/m <sup>3</sup> (0.0011 ppm)	0.00012 ppm
備考	AEGL-1 として設定。エンドポイントとした軽微な刺激は一般的に閾値をもつ影響であり、曝露時間が長くなっても大幅に増強されることはないと思われるため、10、30 分間、1、4、8 時間の値は同じとしている。	C <sup>1.2</sup> ×t=k の式から、1 時間の曝露時は 0.3 <sup>1.2</sup> ×1 = 0.236 ppm・h これを各曝露時間で除して 1.2 乗根をとり、UF で除して各時間の値を算出。 10 分：0.44 ppm 30 分：0.18 ppm 1、4、8 時間：0.10 ppm 刺激によるため、左記と同じ理由で 1 時間以上は同じ値。	C <sup>1.2</sup> ×t=k の式から、1 時間の曝露時は 14 <sup>1.2</sup> ×1 = 23.7 ppm・h 4 時間の曝露時は 4.8 <sup>1.2</sup> ×4 = 26.27 ppm・h 10、30 分の値は 23.7 ppm・h、4、8 時間の値は 26.27 ppm・h の 1.2 乗根をとり、UF で除して算出。 10 分：6.2 ppm 30 分：2.5 ppm 4 時間：0.48 ppm 8 時間：0.27 ppm	0.003 ppm は吸入リスクが懸念されない曝露レベルであるとして評価されている。			幾何平均値をとって 0.0025 mg/m <sup>3</sup> を設定。	

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>T</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Weber-Tschopp A, Fischer T, Gierer R, Grandjean E. (1977): Experimentally induced irritating effects of acrolein on men. Int Arch Occup Environ Health. 40: 117-130. (in German).

Ballantyne B, Dodd DE, Pritts IM, Nachreiner DJ, Fowler EH. (1989): Acute vapour inhalation toxicity of acrolein and its influence as a trace contaminant in 2-methoxy-3,4-dihydro-2H-pyran. Hum Toxicol. 8: 229-235.

表 2 7 有害性評価結果（急性曝露） アクロレイン その2

ファイル番号	09	11	12	15	18	20	21	25
評価機関等	テキサス州	ミネソタ州	ACGIH	EU SCOEL	独・AGS (TRGS)	オランダ	仏・AGS (TRV)	カナダ・室内空気
評価年	2015	2012	1997	2007	2007	2007	2022	2021
キー研究	Weber-Tschopp ら(1977)	Weber-Tschopp ら(1977)	ヒトや実験動物の知見	Weber-Tschopp ら(1977) Darley ら(1960)	—	—	ATSDR	Dwivedi ら(2015)
動物種	ヒト	ヒト	ヒトや実験動物	ヒト	—	—	—	ヒト
曝露状況	1 時間	—	—	～35 分間 5 分間	—	—	—	2 時間
エンドポイント	眼、鼻、喉の刺激 呼吸数の減少	眼刺激	刺激	眼刺激	—	—	—	眼刺激
N(L)OAEL	LOAEL 0.3 ppm	LOAEL 0.07 ppm (0.16 mg/m <sup>3</sup> )	—	LOAEL 0.09 ppm NOAEL 0.06 ppm	—	—	—	NOAEL 0.115 mg/m <sup>3</sup>
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	0.3 ppm	0.16 mg/m <sup>3</sup>	—	—	—	—	—	—
不確実係数	63 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 6.3)	30 (UF <sub>H</sub> 10, UF <sub>L</sub> 3)	—	—	—	—	—	3 (UF <sub>H</sub> 3)
リスク評価値	0.011 mg/m <sup>3</sup> (0.0048 ppm)	0.005 mg/m <sup>3</sup>	0.1 ppm (0.23 mg/m <sup>3</sup> )	0.05 ppm (0.12 mg/m <sup>3</sup> )	0.4 mg/m <sup>3</sup>	0.025 mg/m <sup>3</sup>	0.0069 mg/m <sup>3</sup> (0.003 ppm)	0.038 mg/m <sup>3</sup> (0.115/3 = 0.0383)
備考	0.3 倍の 0.0032 mg/m <sup>3</sup> をスクリーニング値に設定している。		天井値 (TLV-C)として設定されている。	STEL (15 分)として設定。	長期の許容濃度 (0.2 mg/m <sup>3</sup> ) に超過係数の 2 を乗じた値。  Weber-Tschopp ら(1977) のヒトの眼瞼閉鎖反射の NOAEL 0.4 mg/m <sup>3</sup> から同じ値が導出できるとしている。	30 分間値。 設定文書は入手できなかったが、情報源は CICAD、EU(ECHA)、US EPA (IRIS)、ATSDR とあった。	通常の急性曝露は 1～14 日の曝露期間だが、刺激性を考慮して 24 時間の曝露期間とした。  室内空気環境ガイドライン(2022)は上記の値を丸めて 0.007 mg/m <sup>3</sup> (7 μg/m <sup>3</sup> )とし、1～14 日間曝露のリスク評価値に設定している。	Residential Indoor Air Quality Guideline (RIAQG) の曝露限界値(1 時間平均)として設定している。  多くの住宅が IARL を超過のため、実行可能性のある短期間曝露のリスク評価値として長期間議論値とともに設定している。

UF<sub>A</sub>: 種差、UF<sub>H</sub>: 個体差、UF<sub>S</sub>: 慢性曝露補正、UF<sub>L</sub>: LOAEL→NOAEL、UF<sub>DB</sub>: データベース不足、UF<sub>SE</sub>: 影響の重症度、UF<sub>C</sub>: 子供などの高感受性集団、UF<sub>t</sub>: 腫瘍発生（発がん性）、UF<sub>RR</sub>: 経路間外挿の補正

Dwivedi AM, Johanson G, Lorentzen JC, Palmberg L, Sjögren B, Ernstgård L. (2015): Acute effects of acrolein in human volunteers during controlled exposure. Inhal Toxicol. 27: 810-821.

表 2 7 有害性評価結果（急性曝露）（急性曝露） アクロレイン その 3

ファイル番号	26	27	30
評価機関等	オンタリオ州	アルバータ州	厚労省・リスク評価
評価年	2012	2013	2020 (案)
キー研究	—	オンタリオ州	ACGIH
動物種	—		—
曝露状況	—		—
エンドポイント	—		—
N(L)OAEL	—		—
連続曝露補正	—		—
dosimetry 補正	—		—
POD	—		—
不確実係数	—		—
リスク評価値	0.0045 mg/m <sup>3</sup> (4.5 µg/m <sup>3</sup> )	0.0045 mg/m <sup>3</sup> (4.5 µg/m <sup>3</sup> )	0.1 ppm (0.229 mg/m <sup>3</sup> )
備考	1 時間平均値。	1 時間平均値。	一次評価値は設定できなかったため、上記の値は二次評価値。  天井値 (TLV-C)として設定されている。

表 28 アクロレインの許容濃度

Substance	Acrolein			
CAS No.	107-02-8			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	0,1	0,23	0,3	0,69
Austria	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Belgium	0,02 (1)(2)	0,05 (1)(2)	0,05 (1)(2)(3)	0,12 (1)(2)(3)
Canada - Ontario			0,1 (1)	
Canada - Québec	0,1	0,23	0,3 (1)	0,69 (1)
Denmark	0,02	0,05	0,04 (1)	0,1 (1)
European Union	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05 (1)</b>	<b>0,12 (1)</b>
Finland	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
France	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Germany (AGS)	0,09 (1)	0,2 (1)	0,18 (1)(2)	0,4 (1)(2)
Hungary		0,05		0,12 (1)
Ireland	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Italy	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Japan (JSOH)	0,1	0,23		
Latvia	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
New Zealand	0,1	0,23		
Norway	0,02 (1)	0,05 (1)	0,05 (1)(2)	0,12 (1)(2)
People's Republic of China				0,3 (1)
Poland		0,05		0,1
Romania	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Singapore	0,1	0,23	0,3	0,69
South Africa			0,2 (1)(2)	
South Africa Mining	0,1	0,25	0,3 (1)	0,8 (1)
South Korea	0,1 (1)		0,3 (1)(2)	
Spain	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Sweden	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
Switzerland	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
The Netherlands		0,05		0,12 (1)
USA - NIOSH	0,1	0,25	0,3 (1)	0,8 (1)
USA - OSHA	0,1	0,25		
United Kingdom	0,02	0,05	0,05 (1)	0,12 (1)
	Remarks			
Austria	(1) 15 minutes average value			
Belgium	(1) Additional indication "D" means that the absorption of the agent through the skin, mucous membranes or eyes is an important part of the total exposure. It can be the result of both direct contact and its presence in the air. (2) Additional indication "M" means that irritation occurs when the exposure exceeds the limit value or there is a risk of acute poisoning. The work process must be designed in such a way that the exposure never exceeds the limit value. For evaluation, the sampled period should be as short as possible. However, the sampled period shall be long enough to perform a reliable measurement. The measured result shall be related to the considered period. (3) 15 min average value			
Canada - Ontario	(1) Ceiling limit value			
Canada - Québec	(1) 15 minutes average value			
Denmark	(1) 15 minutes average value			
European Union	(1) 15 minutes average value Bold-type: Indicative Occupational Exposure Limit Value (IOELV) ~ (for references see bibliography)			
Finland	(1) 15 minutes average value			
France	Italics type: Indicative statutory limit values (1) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Hungary	(1) 15 minutes average value			
Ireland	(1) 15 minutes average value			
Italy	(1) 15 minutes average value			
Latvia	(1) 15 minutes average value			
Norway	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
People's Republic of China	(1) Ceiling limit value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) Ceiling limit value (2) Skin			
South Africa Mining	(1) 15 minutes average value			
South Korea	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Spain	(1) 15 minutes average value			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
Switzerland	(1) 15 minutes average value			
The Netherlands	(1) 15 minutes average value			
USA - NIOSH	(1) 15 minutes average value			
United Kingdom	(1) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 WHO (2000) Guidelines for air quality. World Health Organization, Geneva.
- 02 IPCS (1991) ACROLEIN. ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 127, INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY.
- 03 WHO (2002) ACROLEIN. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 43.
- 04 USEPA (2003) Toxicological Review of ACROLEIN. EPA/635/R-03/003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 05 USEPA (2010) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8. The National Academy Press, Washington, D.C.
- 06 USEPA (2008) Reregistration Eligibility Decision for Acrolein. List B, Case No. 2005, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 07 TSDR (2007) Toxicological Profile for ACROLEIN. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- 08 CalEPA (2008) Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries. TSD for Noncancer RELs.
- 09 TCEQ (2015) Acrolein. Development Support Document, TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY.
- 10 Michigan (2015) CHEMICAL UPDATE WORKSHEET, Acrolein.
- 11 Minnesota (2012) Acrolein, 2012 Health Based Value for Air. Minnesota Department Health.
- 12 ACGIH (2022) Guide to Occupational Exposure Values, ACROLEIN. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 13 EU (2001) European Union Risk Assessment Report: acrylaldehyde. 1st Priority List, Volume 7, EUR 19728 EN, EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTRE.
- 14 ECHA の登録物質データベース: Acrylaldehyde. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 15 EU SCOEL (2007) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for acrolein. SCOEL/SUM/32.
- 16 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 17 DFG (2012) Acrolein. Lieferung: MAK
- 18 TRGS (2007) Begründung zu Acrylaldehyd in TRGS 900.
- 19 AgBB (2018) Requirements for the Indoor Air Quality in Buildings: Health-related Evaluation Procedure for Emissions of Volatile Organic Compounds (VVO, VOC and SVOC) from Building Products. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten.
- 20 RIVM (2007) Health-based guideline values for the indoor environment. RIVM report 609021044/2007.
- 21 ANSE (2022) Valeurs toxicologiques de reference, L'acroléine. Avis révisé de l'Anses Rapport révisé d'expertise collective.
- 22 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 23 Environment Canada (2000) PRIORITY SUBSTANCES LIST ASSESSMENT REPORT, Acrolein. Canadian Environmental Protection Act, 1999.
- 24 Health Canada (2017) SUMMARY DOCUMENT, Indoor Air Reference Levels for Chronic Exposure to

Volatile Organic Compounds.

- 25 Health Canada (2021) RESIDENTIAL INDOOR AIR QUALITY GUIDELINES, ACROLEIN.
- 26 Ontario (2012) ONTARIO'S AMBIENT AIR QUALITY CRITERIA. STANDARDS DEVELOPMENT BRANCH ONTARIO MINISTRY of the ENVIRONMENT
- 27 Alberta (2011) ASSESSMENT REPORT ON ACROLEIN FOR DEVELOPING AMBIENT AIR QUALITY OBJECTIVES. Meridian Environmental Inc.
- 28 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1973) アクロレイン. 産衛誌 14(5):508-509.
- 29 環境省 (2004) 化学物質の環境リスク評価: アクロレイン. 第3巻
- 30 厚生労働省 (2020) 令和2年度第1回化学物質のリスク評価検討会(有害性評価小検討会). リスク評価対象物質の有害性評価について, リスク評価書案, アクロレイン. 2020年7月20日.
- 31 製品評価技術基盤機構 (2006) 化学物質の初期リスク評価書. Ver. 1.0, No. 66, アクロレイン.

## 1-10 ユニットリスクの設定状況

調査対象物質のユニットリスクについては、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,2-ジクロロエタンの3物質について設定されていたことから、その概要を取りまとめて、表29、表30、表31にそれぞれ示した。

トリクロロエチレンでは、11機関がユニットリスクを設定していた。

WHO Air (Europe)が動物実験結果から、US EPA (IRIS)が疫学研究からユニットリスクを設定しており、これらを参考にして設定している機関が多かった。

動物実験結果では、ラットの精巣のライディッシュ細胞腫、マウスの肺の腺腫+癌、肝細胞癌+腺腫、悪性リンパ腫の発生状況をもとにユニットリスクが算出されていた。

一方、疫学知見では腎細胞癌が主な対象となっており、ホジキンリンパ腫、肝臓がんのリスクも考慮してユニットリスクが設定されていた。

また、独・室内空気では、疫学知見から求めた腎臓がんの過剰リスクをPODにとり、腎毒性の閾値とみなせる濃度で屈折する直線を量反応関係とするドイツ AGS (Committee on Hazardous Substances)のモデルを採用し、低濃度側の量反応関係からユニットリスクを算出したEUのRAC (The Committee for Risk Assessment) の評価を採用していた。BMD法に比べて簡便であり、PODから原点に外挿する方法に比べて低濃度側のリスクが過大評価されないことから、興味深い手法であった。

テトラクロロエチレンでは、8機関がユニットリスクを設定していた。

いずれの機関も動物実験結果からユニットリスクを設定しており、NTPの試験結果を採用していたテキサス州を除くと、他はすべて日本バイオアッセイ研究センターの試験結果をもとにユニットリスクが設定されていた。

肝細胞腺腫+癌の発生状況をもとにユニットリスクを設定していた機関が多かったが、ハーダー腺腫や血管腫、血管肉腫を含めた多発性腫瘍、単核細胞白血病の発生状況をもとに設定していた機関もあった。

1,2-ジクロロエタンでは、16機関がユニットリスクを設定していた。

いずれの機関も動物実験結果からユニットリスクを設定しており、採用したデータの明記がなかった2機関を除くと、NCIの試験結果(血管肉腫)が5機関、日本バイオアッセイ研究センター(Naganoら2006を含む)の試験結果(乳腺腫瘍)が9機関で採用されていた。

独・室内空気では、 $10^{-6}$ のリスクレベルの濃度が室内空気測定値(2,000件超)の95パーセンタイル値よりも低くなることから指針値に採用しないで予備的な値として設定し、指針値には95パーセンタイル値が設定されていたことから、現実的な対応と考えられた。

アクロレインはIARCで2A分類の発がん物質であるにもかかわらず、ユニットリスクの設定に関して情報は得られなかった。しかし、DFGが遺伝毒性物質と評価していること、吸入曝露の発がん性試験でラット及びマウスの鼻腔にがんの発生を認めた日本バイオアッセイ研究センターの試験結果がMatsumotoら(2016)として発表されていることから、今後、ユニットリスクを算出する評価機関が現れるものと考えられる。

表 29 トリクロロエチレンのユニットリスクの設定状況

File No	評価機関とユニットリスクの概要
01	WHO Air (Europe) (2000) Maltoni ら(1988)の発がん性試験の結果をもとに線形多段階モデルを適用し、ユニットリスクを B3C6F <sub>1</sub> マウスの肺腺腫の発生状況から $9.3 \times 10^{-8}$ 、Swiss マウスの肺の腺腫+癌の発生状況から $1.6 \times 10^{-7}$ 、ラットの精巢のライディッヒ細胞腫の発生状況から $4.3 \times 10^{-7}$ と算出し、ライディッヒ細胞腫が最も高感受性のエンドポイントとして $4.3 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用している。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
02	WHO Air (Global) (2000) WHO Air (Europe) (2000)の $4.3 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用している。
03	WHO Indoor Air (2010) WHO Air (Europe) (2000)の $4.3 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用している。
04	US EPA (IRIS) (2011) Charbotel ら(2006)の腎細胞癌の症例対照研究をもとに $\text{LEC}_{01}$ を 1.82 ppm と算出し、これを非ホジキンリンパ腫、肝臓がんのリスクを考慮して 4 で除した 0.455 ppm ( $2.4 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) を POD としてユニットリスクを $4.1 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出している。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
07	CalEPA (2011) Bell ら(1978)の雄マウスの肝細胞の癌+腺腫、Henschler ら(1980)の雌マウスの悪性リンパ腫、Fukuda ら(1983)の雌マウスの肺腺癌、Maltoni ら(1986)の雄マウスの肝細胞癌の発生状況と PBPK モデルによる体内濃度に多段階線型モデルを適用し、それぞれの試験結果から得られたユニットリスクを幾何平均して $2.0 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を算出している。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
09	ミシガン州(2017) US EPA (IRIS)のユニットリスク $4.1 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用している。
10	ミネソタ州(2018) Charbotel ら(2006)及び Raaschou-Nielsen ら(2003)の労働者の疫学調査結果をもとに、腎臓がん、肝臓がん、非ホジキンリンパ腫の発生状況から、ユニットリスクを $6.78 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出し、 $10^{-5}$ のリスクレベルの $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を丸めた $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ をがんのリスク評価値としている。
15	独・室内空気 (2015) ドイツの AGS (Committee on Hazardous Substances)は、過剰リスクは 75 ppm の曝露で 5% であったこと、腎毒性の閾値は 6 ppm と見なせることから、75 ppm で 5% の点と原点を結んだ直線から 6 ppm における過剰リスクを 0.4% と算出し、これを $\times 1/10$ した 0.04% を 6 ppm における過剰リスクとし、原点、0.04%、5% の点を結んだ量反応関係を提案した。EU の RAC (The Committee for Risk Assessment)は低濃度側の量反応関係から労働者のユニットリスクを $1.2 \times 10^{-5}(\text{mg}/\text{m}^3)$ と算出し、労働者と公衆の調整係数 $5.3 (= 20\text{m}^3/\text{d}/10\text{m}^3/\text{d} \times 7\text{d}/5\text{d} \times 52\text{w}/48\text{w} \times 70\text{y}/40 = 5.3)$ を乗じた $6.4 \times 10^{-5}/(\text{mg}/\text{m}^3)$ を公衆のユニットリスクとした。独の室内空気では、 $6.4 \times 10^{-5}/(\text{mg}/\text{m}^3)$ のユニットリスクを採用し、 $10^{-6}$ のリスクレベルの濃度として $0.02 \text{ mg}/\text{m}^3$ ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) をリスク評価値に設定している。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $156 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
20	仏・ANSES (TRVs) (2018)

	US EPA (2011)が Charbotel ら(2006)の腎細胞癌の症例対照研究をもとに算出した 1.82 ppm の $LEC_{01}$ を POD に採用してユニットリスクを $5.49 \times 10^{-3}/\text{ppm}$ 又は $1.0 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出し、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ のリスクレベルの濃度を 100、10、1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。
20	仏・ANSES (室内空気) (2009) WHO Europe のユニットリスク $4.3 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用し、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ のリスクレベルの濃度を提示している。 2018 年更新の ANSES の室内空気ガイドライン値の一覧表に掲載されていたが、上記の TRVs との関係は不明。
23	カナダ (2021) US EPA (IRIS)の評価を採用している。 Charbotel ら(2006)の腎細胞癌の症例対照研究をもとに $LEC_{01}$ を 1.82 ppm と算出し、これを非ホジキンリンパ腫、肝臓がんのリスクを考慮して 4 で除した 0.455 ppm ( $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を POD としてユニットリスクを $4.1 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出している。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。

Maltoni C, Lefemine G, Cotti G, Perino G. (1988): Long-term carcinogenicity bioassays on trichloroethylene administered by inhalation to Sprague-Dawley rats and Swiss and B6C3F<sub>1</sub> mice. *Ann N Y Acad Sci.* 534: 316-342.

Charbotel B, Fevotte J, Hours M, Martin JL, Bergeret A. (2006): Case-control study on renal cell cancer and occupational exposure to trichloroethylene. Part II: Epidemiological aspects. *Ann Occup Hyg.* 50: 777-787.

Bell ZG, Olson KJ and Benya TJ. (1978): Final Report of Audit Findings of the Manufacturing Chemists Association (MCA): Administered Trichloroethylene (TCE) Chronic Inhalation Study at Industrial Bio-Test Laboratories, Inc., Decatur, IL. Unpublished study reported in united states US EPA (1985).

Henschler DH, Romen W, Elsasser HM, Reichert D, Eder E and Radwan Z. (1980): Carcinogenicity study of trichloroethylene by long term inhalation in three animal species. *Arch Toxicol.* 43:237-248.

Fukuda K, Takemoto K and Tsuruta H. 1983. Inhalation carcinogenicity of trichloroethylene in mice and rats. *Ind Health.* 21:243-254.

Maltoni C, Lefemine G and Cotti G. (1986): Archives of Research on Industrial Carcinogenesis. Volume V. Experimental Research on Trichloroethylene Carcinogenesis. Princeton Scientific Publishing Co., Inc., Princeton, NJ.

Raaschou-Nielsen O, Hansen J, McLaughlin JK, Kolstad H, Christensen JM, Tarone RE, Olsen JH. (2003): Cancer risk among workers at Danish companies using trichloroethylene: a cohort study. *Am J Epidemiol.* 158: 1182-1192.

#### 文書番号

01 WHO Europe (2000) Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, No. 91.

02 WHO (2000) Guidelines for air quality. World Health Organization, Geneva.

03 WHO Europe (2010) WHO guidelines for indoor air quality, selected pollutants. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

04 USEPA (2011) Toxicological Review of TRICHLOROETHYLENE. EPA/635/R-09/011F, U.S.

- Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 07 CalEPA (2011) Technical SUPPORT DOCUMENT FOR CANCER POTENCY FACTORS, Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values. California Environmental Protection Agency.
  - 09 Michigan (2020) VOLATILIZATION TO INDOOR, AIR Recommendations for Interim Action Screening Levels and Time Time-Sensitive Interim Action Screening Levels.
  - 10 Minnesota (2018) Toxicological Summary for: Trichloroethylene. Health Based Guidance for Air Environmental Impacts Analysis Unit, Environmental Health Division.
  - 15 Umweltbundesamtes (2015) Gesundheitliche Bewertung von Trichlorethen in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 58:762–768.
  - 20 ANSES (2018) OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the proposed TRV by the respiratory route for trichloroethylene (CAS No. 79-01-6). Request No 2016-SA-0116.
  - 20 AFSSET (2009) Valeurs guides de qualité d'air intérieur, Le trichloroéthylène.
  - 23 Health Canada (2021) FEDERAL CONTAMINATED SITE RISK ASSESSMENT IN CANADA: Toxicological Reference Values (TRVs) VERSION 3.0

表 30 テトラクロロエチレンのユニットリスクの設定状況

File No	評価機関とユニットリスクの概要
04	<p>CICAD (2006)</p> <p>日本バイオアッセイ研究センター (1993) のがん原性試験における雄マウスの肝細胞腺腫+癌の発生状況にマルチステージモデルを適用して BMDL<sub>10</sub> を 20 mg/m<sup>3</sup> と算出し、ユニットリスクを 5.2×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)とした。(注: 0.1/(20×1000)=5.0×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)となるから、計算に用いた BMDL<sub>10</sub> の値は少数以下の値を持った数値と考えられる。)</p> <p>10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 1.9 μg/m<sup>3</sup> となる。</p>
05	<p>US EPA (IRIS) (2012)</p> <p>日本バイオアッセイ研究センター (1993) のがん原性試験における雄マウスの試験結果をもとに、PBPK モデルによる体内負荷量と肝細胞腺腫+癌の発生状況にマルチステージモデルを適用して BMDL<sub>10, HEC</sub> を 57 ppm (3.9×10<sup>5</sup> μg/m<sup>3</sup>)と算出し、これからユニットリスクを 2.6×10<sup>-7</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)とした。</p> <p>10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 40 μg/m<sup>3</sup> となる。(注: IRIS の Summary では 40 μg/m<sup>3</sup> と丸めた数値で記載されているが、丸める前の値を計算すると 38 μg/m<sup>3</sup> となる。)</p>
08	<p>CalEPA (2016)</p> <p>日本バイオアッセイ研究センター (1993) のがん原性試験における雄マウスの多発性腫瘍(肝細胞腺腫+癌、ハーダー腺腫瘍、血管腫、血管肉腫)の発生状況から 4.02×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)、雄ラットの単核細胞白血病の発生状況から 4.81×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)、NTP (1986)の雄マウスの肝細胞腺腫+癌の発生状況から 4.44×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)、雄ラットの多発性腫瘍(単核細胞白血病、精巣間質細胞腫瘍、腎臓腺腫+癌、脳の神経膠腫)の発生状況から 1.57×10<sup>-5</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)とそれぞれユニットリスクを算出し、これらの値の幾何平均値をとってユニットリスクを 6.1×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)とした。</p> <p>10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 1.6 μg/m<sup>3</sup> となる。</p>
09	<p>テキサス州 (2008)</p> <p>NTP (1986)のマウスの肝細胞腺腫+癌の発生状況をもとに、PBPK モデルで種間補正を行って算出した Clewell ら(2005)のユニットリスク 3.8×10<sup>-7</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)を採用し、10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度 0.026 mg/m<sup>3</sup> をスクリーニング値に設定している。</p>
10	<p>ミシガン州(2017)</p> <p>US EPA (IRIS)のユニットリスク 2.6×10<sup>-7</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)を丸めて、3.0×10<sup>-7</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)をユニットリスクに設定している。</p>
11	<p>ミネソタ州 (2014)</p> <p>日本バイオアッセイ研究センター (1993) の雌雄ラットの単核細胞白血病の発生状況をもとに、PBPK モデルで種間補正を行って算出したユニットリスク 3×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)から、がんをエンドポイントにした慢性のリスク評価として 10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度 2 μg/m<sup>3</sup> を設定したとされていた。(計算では、10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 3.3 μg/m<sup>3</sup> となるが。)</p> <p>なお、子供の曝露を考慮して年齢で調整するとユニットリスクは 5×10<sup>-6</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)となり、これから 10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度を算出すると 2 μg/m<sup>3</sup> となることも記載されていた。</p>
21	<p>仏・ANSES (TRV) 2018</p> <p>日本バイオアッセイ研究センター (1993) の雄マウスの肝細胞腺腫+癌の発生状況をもとに、PBPK モデルで種間補正を行って算出した BMCL<sub>10</sub> 3.9×10<sup>5</sup> μg/m<sup>3</sup> から、ユニットリスクを 2.6×10<sup>-7</sup>/(μg/m<sup>3</sup>)とし、10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 40 μg/m<sup>3</sup> となる US EPA (IRIS)の</p>

	評価を採用している。
29	厚労省・リスク評価 (2018 案) US EPA (IRIS)のユニットリスク $2.6 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用して $10^{-4}$ のリスクレベルの濃度 $384 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を求め、この値を労働補正の係数 (呼吸量: $10/20 \times$ 労働日数: $240/365 \times$ 労働年数: $45/75 = 0.2$ )で除して算出した $1,920 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $1.92 \text{ mg}/\text{m}^3$ )を一次評価値に設定した。 なお、二次評価値は ACGIH の TLV-TWA の $170 \text{ mg}/\text{m}^3$ を採用して設定した。

日本バイオアッセイ研究センター (1993): テトラクロロエチレンのラット及びマウスを用いた吸入によるがん原性試験報告書.

NTP (1986): Toxicology and carcinogenesis studies of tetrachloroethylene (perchloroethylene) (CAS No. 127-18-4) in F344/N rats and B6C3F<sub>1</sub> mice (Inhalation Studies). NTP TR 311.

Clewell HJ, Gentry PR, Kester JE, Andersen ME. (2005): Evaluation of physiologically based pharmacokinetic models in risk assessment: an example with perchloroethylene. Crit Rev Toxicol. 35: 413-433.

文書番号

04 WHO (2006) Tetrachloroethene. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 68.

05 USEPA (2012) Toxicological Review of Tetrachloroethylene. EPA/635/R-08/011F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

08 CalEPA (2016) Perchloroethylene Inhalation Cancer Unit Risk Factor. Technical Support Document for Cancer Potency Factors. Air Toxics Hot Spots Program. Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency

09 TCEQ (2008) Tetrachloroethylene (PCE). Development Support Document, TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY.

10 Michigan (2020) VOLATILIZATION TO INDOOR, AIR Recommendations for Interim Action Screening Levels and Time Time-Sensitive Interim Action Screening Levels.

11 Minnesota (2014) Tetrachloroethylene – Guidance for Air. Minnesota Department Health.

21 ANSES (2018) OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the proposed TRV by the respiratory route for perchloroethylene (CAS No. 127-18-4). Request No 2016-SA-0117.

29 厚生労働省 (2018) 平成 30 年度第 5 回有害性評価小検討会. 平成 30 年度リスク評価対象物質の有害性評価について, リスク評価書案, テトラクロロエチレン. 平成 30 年 12 月 17 日 (月)

表 3 1 1,2-ジクロロエタンの設定状況

File No	評価機関とユニットリスクの概要
02	WHO Air (Global) (2000) CICAD 1 (1998)を引用してユニットリスクは $(0.5\sim 2.8)\times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ とされていた。 CICAD 1 には $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度として $3.6\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $10^{-6}$ のリスクレベルの濃度として $0.36\sim 2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と記載されているだけで、ユニットリスクは示されていないが、WHO が逆算して得られた値を記載していた。
03	CICAD (1998) ラット及びマウスに 78 週間経口投与した NCI(1978)の試験結果を多段階モデルで検討し、標準的な 104 週間の試験における腫瘍発生率に調整して求めた腫瘍発生率の 5%増加 (TD <sub>0.05s</sub> ) は $6.2\sim 34 \text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ でだった。これから $5,000\sim 50,000$ のマージンをとると本質的に無視できるリスク ( $10^{-5}\sim 10^{-6}$ ) となり、対応する濃度は $3.6\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 又は $0.36\sim 2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (経口で $1.2\sim 6.8 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ 又は $0.12\sim 0.68 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ) とされていた。 $5\%(0.05)$ を $\times 1/5,000\sim 1/50,000$ すると $10^{-5}\sim 10^{-6}$ になるため、TD <sub>0.05s</sub> を POD としたユニットリスクの考え方と一致する。なお、経口から吸入への換算方法については記載がなかった。
04	US EPA (1987) NCI (1978)の 78 週間経口投与した雄ラットにおける血管肉腫の発生状況に線形多段階モデルを適用してスロープファクターを $9.1\times 10^{-2}/(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})$ と算出し、これを吸収率 100%と仮定して吸入換算し、ユニットリスクを $2.6\times 10^{-5}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ とした。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
07	CalEPA (1985) NCI (1978)の 78 週間経口投与した雄ラットにおける血管肉腫の発生状況に線形多段階モデルを適用してスロープファクターを $7.2\times 10^{-2}/(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})$ と算出し、これを吸収率 100%と仮定して吸入換算し、ユニットリスクを $2.1\times 10^{-5}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ とした。 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度は $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。
08	テキサス州 (2016) Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌ラットの乳腺腫瘍の発生状況をもとに BMD 法を用いて BMDL <sub>10</sub> を 40.1 ppm と算出し、 $\times 6/24\times 5/7$ して連続曝露に補正して POD <sub>ADJ</sub> を 7.1607 ppm とした。血液: ガス分配係数はヒト<ラットの関係にあることからデフォルトの係数 1 を採用して POD <sub>HEC</sub> を 7.1607 ppm とし、これからユニットリスクを $1.4\times 10^{-2}/\text{ppm}$ 又は $3.4\times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出して、 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度 $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.71 ppb)をスクリーニング値に設定している。
09	ミシガン州 (2015) US EPA (IRIS)のユニットリスク $2.6\times 10^{-5}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ を採用している。
11	EU ECHA (DNEL) Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌ラットの乳腺腫瘍の発生状況をもとに BMD 法を用いて T25 (25%の過剰発生率を示す濃度)を 99 ppm と算出し、 $\times 6/24\times 5/7$ して連続曝露に補正して corr.T25 を 17.7 ppm ( $72.7 \text{mg}/\text{m}^3$ )とした。corr.T25 を POD として 25,000 で除して $(0.25/25,000 = 10^{-5})$ 、 $10^{-5}$ のリスクレベルの濃度を $0.0029 \text{mg}/\text{m}^3$ と算出している。 なお、この量反応関係をユニットリスクの形で示すと $3.4\times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ となる。
12	EU SCOEL (2016) SCOEL の発がん分類 A の発がん物質と評価し、安全な許容濃度は設定できないとしてい

	<p>る。その上で、Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌ラットの乳腺腫瘍の発生状況をもとに得られた BMD<sub>10</sub> 37.8 ppm を次式によって一般環境から労働環境に変換して POD 38.58 ppm を求め、10<sup>-1</sup>~10<sup>-5</sup>のリスクレベルの濃度を 158,660~15.866 µg/m<sup>3</sup>としている。</p> $\text{POD} = \text{BMD}_{10} \times 6.7 \text{ m}^3/10 \text{ m}^3 \times 75 \text{ year}/40 \text{ year} \times 6 \text{ hours}/8 \text{ hours} \times 52 \text{ weeks}/48 \text{ weeks}$ $= 37.8 \times 6.7/10 \times 75/40 \times 6/8 \times 52/48 = 38.583 \text{ ppm}$
13	<p>独・室内空気 (2018)</p> <p>独・AGÖF の 2,000 件を超える室内濃度測定結果の 95 パーセンタイル値は 1 µg/m<sup>3</sup> 未満であった。一方、AGS (2015) が Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌ラットの乳腺腫瘍の発生状況をもとに算出した BMD<sub>10</sub> は 205 mg/m<sup>3</sup> であり、×6/24×5/7 して連続曝露に補正すると 36.6 mg/m<sup>3</sup> となることから、10<sup>-5</sup> で除して 10<sup>-6</sup> のリスクレベルの濃度を求めると 0.37 µg/m<sup>3</sup> となり、室内濃度の 95 パーセンタイル値よりも小さい。このため、室内濃度の指針値として 95 パーセンタイル値の 1 µg/m<sup>3</sup> を採用し、予備的(preliminary)な値として設定する。</p> <p>なお、この量反応関係をユニットリスクの形で示すと 2.7×10<sup>-6</sup>/(µg/m<sup>3</sup>)となる。</p>
16	<p>独・AGS (TRGS) (2015)</p> <p>Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌ラットの乳腺腫瘍の発生状況をもとに BMD<sub>10</sub> を 205 mg/m<sup>3</sup> と算出し、×0.5×52/48×75/40 して職場の曝露に補正すると 208 mg/m<sup>3</sup> となることから、4:1,000、4:10,000、4:100,000 のリスクに対応する濃度はそれぞれ 8.32、0.8、0.08 mg/m<sup>3</sup> となるとしている。</p> <p>ここで、公衆と労働者の曝露年数を 75/40、年間曝露する週を 52/48 としており、0.5 は動物実験結果から労働環境へ外挿する際の係数 2 (×1/2)を指すものと思われる。</p> <p>なお、この量反応関係をユニットリスクの形で示すと 4.8×10<sup>-7</sup>/(µg/m<sup>3</sup>)となり、10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 20.8 µg/m<sup>3</sup> となる。</p>
17	<p>オランダ (2001)</p> <p>経口投与したラットの試験 (情報なし) から求めた 10<sup>-4</sup> のリスクレベルの用量 14 µg/kg/day を呼吸量 20 m<sup>3</sup>/day、100%吸収と仮定して吸入換算して 48 µg/m<sup>3</sup> と算出し、暫定的なリスク評価値として設定した。</p> <p>10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 4.8 µg/m<sup>3</sup> となり、ユニットリスクの形で示すと 2.1×10<sup>-6</sup>/(µg/m<sup>3</sup>)となる。</p>
18	<p>オランダ・職業曝露 (1997)</p> <p>NCI (1978)の経口投与した発がん性試験における雄ラットの血管肉腫の発生状況を対照群と低濃度群で比較し、発生率の増加分(過剰発生率)をラットの標準寿命(1,000 日と仮定)を考慮して調整した連続投与量で除して血管肉腫の発生率を 1.2×10<sup>-2</sup>/(mg/kg/day)と算出した。また、公衆の体重を 70 kg、標準寿命を 75 年として生涯連続曝露されると仮定し、労働者は同じ体重で 1 日 8 時間、年に 48 週間で 40 年間曝露され、1 日の呼吸量を 10 m<sup>3</sup> と仮定して血管肉腫の発生率を吸入換算すると 6.0×10<sup>-4</sup>/(mg/m<sup>3</sup>)と算出され、0.07 mg/m<sup>3</sup> の 40 年間曝露で労働者の発がんリスクは 4×10<sup>-5</sup> となるとした。10<sup>-5</sup> のリスクレベルの濃度は 16.7 µg/m<sup>3</sup> となる。</p>
18	<p>オランダ・職業曝露 (2019)</p> <p>Nagano ら(2006)の発がん性試験における雌マウスの乳腺腺癌の発生状況をもとに PROAST モデルを用いて BMD<sub>10</sub> を 366 mg/m<sup>3</sup> と算出し、マウスの標準寿命(750 日と仮定)を考慮に入れて連続曝露に調整した BMD<sub>10</sub> をもとにユニットリスクを 1.63×10<sup>-3</sup>/(mg/m<sup>3</sup>) と算出した。これをもとに、公衆と労働者で寿命(曝露期間)を 75 年と 40 年、年間曝露</p>



- 09 Michigan (2015) 1,2-Dichloroethane, CHEMICAL UPDATE WORKSHEET.
- 11 ECHA の登録物質データベース: 1,2-dichloroethane. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 12 EU SCOEL (2016) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, 1,2-Dichloroethane (Ethylene dichloride). SCOEL/REC/302.
- 13 IRK (2019) Gesundheitliche Bewertung von 1,2-Dichlorethan (1,2-DCE) in der Innenraumluft, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. Bundesgesundheitsblatt 62:114–117.
- 16 TRGS (2015) Begründung zu 1,2-Dichlorethan in TRGS 910.
- 17 RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 025
- 18 Health Council of the Netherlands (1997) Health-based calculated occupational cancer risk values, 1,2-Dichloroethane.
- 19 Health Council of the Netherlands (2019) 1,2-Dichloroethane. No. 2019/16. Dutch Expert Committee on Occupational Safety (DECOS), A committee of the Health Council of the Netherlands.
- 19 AFSSET (2009) COLLECTIVE EXPERT APPRAISAL: SUMMARY AND CONCLUSIONS. Related to the establishment of a Toxicity Reference Value (TRV) for inhalation based on the carcinogenic effects of 1,2-dichloroethane (CAS No. 107-06-2).
- 23 環境省 (2006) 1,2-ジクロロエタンに係る健康リスク評価について. 今後の有害大気汚染物質対策のあり方について (第8次答申). 中央環境審議会, 平成18年11月.
- 27 厚生労働省 (2022) 優先評価化学物質のリスク評価 (一次), 人健康影響に係る評価II, 有害性情報の詳細資料, 1,2-ジクロロエタン. 優先評価化学物質通し番号 11.

## 2. 有害性評価結果のまとめ

各物質における有害性評価については、急性影響および慢性影響について、一覧表として整理した結果をまとめている。従って、ここでは RfC の導出に適していると考えられるキー研究の選定について概説する。

### 1) メチルシクロヘキサン

急性影響ではいくつかの評価機関でリスク評価値が設定されているが、メチルシクロヘキサンの知見に基づくものではなくその根拠が不明、設定された NOAEC のエンドポイントや根拠が不明などであった。従って、本報告においては、「評価可能な知見が得られなかった」と評価した。

慢性影響では、AMRL(1984)及び Kinkead ら(1985)がキー研究であった。この研究では、ラットの 12 ヶ月間吸入曝露実験 (6 時間/日、5 日/週) の結果から、腎臓の髄質の石灰化と腎乳頭の過形成をエンドポイントとして、1,636 mg/m<sup>3</sup> (400 ppm) の NOAEL が得られている。そこでこの NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

### 2) プロピルシクロヘキサン

急性影響では 2 つの評価機関でリスク評価値が設定されているが、プロピルシクロヘキサンの知見に基づくものではなくその根拠が不明であった。従って、本報告においては、「評価可能な知見が得られなかった」と評価した。慢性影響においても同様であった。テキサス州は急性影響と慢性影響ともに、炭素数 5 から 16 のアルカンの知見をキー研究としているが、参考文献が示されておらず、その根拠を確かめることはできなかった。

炭素数 8 から 16 の脂肪族飽和炭化水素類については、複数の評価機関で動物実験に基づきリスク評価値が設定されていた。これまでテトラデカン (炭素数 14) のリスク評価値を設定する際にも用いた知見である。但し、脂環式飽和炭化水素であるプロピルシクロヘキサン (炭素数 9) は、化学構造が異なる (直鎖状と環状の違い) ことから、脂肪族飽和炭化水素類の知見は用いないこととした。

### 3) 1-ブタノール

急性影響では評価可能な知見が得られなかった。カナダが生殖発生毒性試験を目的とした 14 週間の飲水投与実験から急性曝露のリスク評価値を導出しているが、14 週間の飲水投与は急性とはいえないことから、この知見は用いないこととした。

慢性影響では、3 か月の実験期間で実施している Korsak ら(1994)をキー研究と判断した。米国環境保護庁、カナダ、日本の環境省初期評価でキー研究に用いられた知見であった。ラットによる 3 か月の吸入曝露実験 (6 時間/日、5 日/週) の結果、神経行動学的機能障害 (回転棒試験の成績) または運動協調性障害をエンドポイントとして NOAEL 154 mg/m<sup>3</sup> が得られている。この NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

### 4) ヘキサナール

急性影響では、米国 NRC が炭素数 3~8 の脂肪族飽和アルデヒド類の宇宙船内における許容濃度を設定するにあたり、プロパナールのヒトでの知見を用いていた。30 分間の吸入曝露で粘膜刺激をエンドポイントとして、LOAEL 124 ppm (549.4 mg/m<sup>3</sup>) が得られている。本報告ではこの値を LOAEL として AcRfC の導出に採用した。

慢性影響では、Union Carbide Corporation (1979)がキー研究であり、ブタナールをビーグル犬に 14 週間吸入曝露 (6 時間/日、5 日/週) した実験から、ビーグル犬の LOAEL 363 mg/m<sup>3</sup> (125

ppm)をChRfCの導出に採用した。なお、Union Carbide Corporation (1979)では、ラットでもLOAELが363 mg/m<sup>3</sup> (125 ppm)であったが、Union Carbide Corporation (1980)ではラットのNOAELとして145 mg/m<sup>3</sup> (50 ppm)が得られている。従って、ビーグル犬でのLOAEL 363 mg/m<sup>3</sup> (125 ppm)をクリティカルエンドポイントとした。

#### 5) デカナール

急性影響では評価可能な知見が得られなかった。慢性影響では、ドイツ連邦環境庁がヘキサナールと同じブタナールの知見を用いていた。そこでUnion Carbide Corporation (1979)をキー研究とし、ブタナールをビーグル犬に14週間吸入曝露(6時間/日、5日/週)した実験から、ビーグル犬のLOAEL 363 mg/m<sup>3</sup> (125 ppm)をChRfCの導出に採用した。なお、Union Carbide Corporation (1979)では、ラットでもLOAELが363 mg/m<sup>3</sup> (125 ppm)であったが、Union Carbide Corporation (1980)ではラットのNOAELとして145 mg/m<sup>3</sup> (50 ppm)が得られている。従って、ビーグル犬でのLOAEL 363 mg/m<sup>3</sup> (125 ppm)をクリティカルエンドポイントとした。

#### 6) トリクロロエチレン

急性影響では、Boyesら(2000)がキー研究であった。ヒトで吸入曝露した研究におけるピーク濃度が中枢神経症状に関係していることから、急性の中枢神経症状はおよそ100 ppm (546 mg/m<sup>3</sup>)で生じると判断されている。そこで100 ppmをLOAELとし、AcRfCの導出に採用した。

慢性影響では、米国環境保護庁のIRIS、米国毒物疾病登録庁(ATSDR)、カナダが、Keilら(2009)におけるマウスへの30週間飲水投与実験の結果から、胸腺重量の減少をエンドポイントとしてLOAEL 0.35 mg/kg/dayを得ている。また、Johnsonら(2003)におけるラットへの妊娠1日から妊娠22日までの飲水投与実験の結果から、胎仔の心臓の奇形をエンドポイントとして、BMDL<sub>01</sub> 0.0207 mg/kg/day (NOAEL相当値とする)を得ている。これらの動物実験の結果についてChRfCの導出に採用した。

また、日本の環境省は、Ahlmarkら(1951)、Liuら(1988)、ACGIH、WHO(Europe, Global)の評価を総合的に判断し、ヒトの職業性曝露の結果から(8時間/日、5日/週)、神経への影響をエンドポイントとして、LOAELを200 mg/m<sup>3</sup>前後に設定している。このヒトでの結果もChRfCの導出に採用した。

トリクロロエチレンは、ヒトで腎臓への発がん性に関する十分な証拠があるとして、IARCは発がん性分類をグループ1(ヒトに対して発がん性がある)に分類している。そこで発がん影響に関するユニットリスクを評価した。発がん影響に関する評価では、WHO Europe(2000)、WHO Global(2000)、WHO Europe(2010)の評価機関において、Maltoniら(1988)のラットでの発がん性試験による精巣のライディッシュ細胞腫の結果から、 $4.3 \times 10^{-7} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ のユニットリスクを算出している。一方、米国環境保護庁IRISでは、Charbotelら(2006)の腎細胞癌のヒトでの症例対照研究をもとに、非ホジキンリンパ腫と肝臓がんのリスクを考慮し、ユニットリスクを $4.1 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ と算出している。なお、ドイツ連邦環境庁は、労働者の腎臓がんの疫学研究結果より、ユニットリスクを $6.4 \times 10^{-5} / (\text{mg}/\text{m}^3)$ と算出している。これらの結果を踏まえて、ヒトでの研究を優先し、米国環境保護庁IRISのユニットリスクをCarRfCの評価に用いることが妥当と考えた。

#### 7) テトラクロロエチレン

急性影響では、Roweら(1952)において、ヒトでの1時間吸入曝露実験から眼の刺激をエンドポイントとしてLOAEL 106 ppm (718.9 mg/m<sup>3</sup>)が得られている。また、Stewartら(1970)において、ヒトでの3時間吸入曝露実験から眼や粘膜への刺激や中枢神経系への影響をエンドポイントとしてLOAEL 700 mg/m<sup>3</sup>が得られている。これらの値をAcRfCの導出に採用した。

慢性影響では、キー研究の一つとして、Mutti ら(1992)において、ヒトでの職業性曝露（8時間/日、5日/週）の疫学研究結果から、腎臓への影響をエンドポイントとして、LOAEL 102 mg/m<sup>3</sup> が得られている。また、もう一つのキー研究として、Cavalleri ら(1994)において、ヒトでの職業性曝露（8時間/日、5日/週）の疫学研究結果から、色覚の低下をエンドポイントとして、LOAEL 50 mg/m<sup>3</sup>（7.3 ppm）が得られている。有機溶剤による色覚への影響は近年鋭敏であることが報告されており、本報では Cavalleri ら(1994)の結果から得られた LOAEL 50 mg/m<sup>3</sup>（7.3 ppm）を ChRfC の導出に採用した。

テトラクロロエチレンは、膀胱がんに関するエビデンスに基づき、IARC は 2014 年に発がん性分類をグループ 2A（ヒトに対しておそらく発がん性がある）に分類している。ヒトでの証拠は十分ではないが、8 機関がユニットリスクを設定していた。ユニットリスクの導出にあたって使用された研究のうち、最も多く使用されていたのは日本バイオアッセイ研究センター（1993）のがん原性試験における雄マウスの試験結果であった。肝細胞等への発がん影響に基づき、導出されたユニットリスクは CICAD（2006）で  $5.2 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、米国環境保護庁 IRIS（2012）で  $2.6 \times 10^{-7}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、カリフォルニア環境保護庁 CalEPA（2016）で  $6.1 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$  であった。ヒトでの発がん性に関する証拠は限定的ではあるが、多数の評価機関がユニットリスクを算出していることから CarRfC の評価値とした。

#### 8) 1,2-ジクロロエタン

急性影響では、Hotchkiss ら(2010)がキー研究であった。ラットへの 4～8 時間の吸入曝露実験において、嗅上皮の変性や壊死をエンドポイントとして、57.4 ppm の BMDL<sub>10</sub> または 50 ppm の NOAEL が得られている。このうち NOAEL 50 ppm（200 mg/m<sup>3</sup>）を AcRfC の導出に採用した。

慢性影響では、Spreafico ら(1980)が動物実験におけるキー研究であった。ラットに対する 12 か月の吸入曝露実験（7時間/日、5日/週）から、肝臓への影響（血清 ALT、LDH・AST 低下など）をエンドポイントとして、NOAEL 10 ppm（40 mg/m<sup>3</sup>）が得られている。また、ヒトでのキー研究は、Kozik（1957）であった。ヒトでの職業性曝露（8時間/日、5日/週）の疫学研究結果から、神経行動学的な影響をエンドポイントとして、LOAEL 61 mg/m<sup>3</sup> が得られている。本報告においては、これらの結果を ChRfC の導出に採用した。

1,2-ジクロロエタンの発がん性について、IARC は 1999 発年のがん性分類をグループ 2B（ヒトに対して発がん性があるかもしれない）に分類している。ヒトでの証拠は十分ではないが、16 機関がユニットリスクを設定していた。採用したデータの明記がなかった 2 機関を除くと、NCI の試験結果（血管肉腫）が 5 機関、日本バイオアッセイ研究センター（Nagano ら 2006 を含む）の試験結果（乳腺腫瘍）が 9 機関で採用されていた。

ユニットリスクの導出にあたって使用された研究のうち、NCI（1978）では、ラットとマウスの経口投与試験における血管肉腫の結果からスロープファクターを導出し、ユニットリスクが計算されていた。また、Nagano ら(2006)及び日本バイオアッセイ研究センター(1991)の発がん性試験におけるラットの吸入曝露試験で観察された乳腺腫瘍の結果から、日本の化審法（2022）では  $6.4 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、日本の環境省（2006）では  $6.3 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、仏 ANSES（2009）と欧州化学品庁（ECHA）とテキサス州（2016）が  $3.4 \times 10^{-6}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$  であった。ヒトでの発がん性に関する証拠は限定的ではあるが、IARC の発がん性評価は 1999 年とやや古く、その後、多数の評価機関がユニットリスクを算出していることから CarRfC の評価値とした。

#### 9) アクロレイン

急性影響では、Weber-Tschopp ら(1977)が多数の評価機関で使用されていた。この研究では、

ヒトでの 35 分間または 1 時間吸入曝露実験から眼の刺激をエンドポイントとして LOAEL 0.09 ppm (0.21 mg/m<sup>3</sup>) が得られている。また、最新の知見として、Dwivedi ら(2015)において、ヒトでの 2 時間吸入曝露実験から眼の刺激をエンドポイントとして NOAEL 0.115 mg/m<sup>3</sup> が得られている。

慢性影響では、Feron ら(1978)と Dorman ら(2008)のラットへの 13 週間吸入曝露実験 (6 時間、5 日/週) の結果が多く機関で採用されており、エンドポイントはともに嗅上皮の病変であり、NOAEL は Feron ら(1978) が 0.4 ppm (0.93 mg/m<sup>3</sup>)、Dorman ら(2008) が 0.2 ppm (0.46 mg/m<sup>3</sup>) であった。なお、最新の知見として、Matsumoto ら(2021)もキー研究と考えられた。マウスへの 104 週間吸入曝露実験 (6 時間、5 日/週) において、気道上皮の炎症と過形成をエンドポイントとして、NOAEL として 0.1 ppm (0.23 mg/m<sup>3</sup>) が得られている。これらの実験結果から、NOAEL が最も低く、104 週間の曝露実験を行った Matsumoto ら(2021)の実験から得られた 0.1 ppm (0.23 mg/m<sup>3</sup>) の NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

### 3. 健康リスク評価値 (RfC) の導出

個々の物質の有害性評価結果に基づいて、健康リスク評価値 (Reference Concentration: RfC) を導出した。有害性評価の方法は、拙著の方法を用いた (Azuma et al., 2007; Azuma et al., 2016)。影響量に対して、反復曝露から連続曝露への補正、不確実係数の適用を行って RfC を導出した。不確実係数としては、初期リスク評価であるため、近年欧州化学品庁 (ECHA) が公表している不確実係数を用いた (表 3 5) (ECHA, 2012)。なお、ヒトボランティアによる短時間の曝露データを用いた場合は、試験期間の調整係数を 10 とした。また、LOAEL を用いた場合は 10 とし、初期評価として、リスクの取りこぼしがないように安全側の不確実係数を用いた。詳細リスク評価や指針値の導出を行う際には、LOAEL に対する不確実係数、種差、個体差に対する不確実係数等について、感受性、作用機序、体内動態、影響の重大性などに基づいて見直す必要がある。

表 3 2 室内環境汚染物質の AcRfC 一覧 (急性影響)

	指標	曝露経路	影響量*	種	エンドポイント	不確実係数(UF)**				AcRfC (mg/m <sup>3</sup> )	キー研究
						1	2	3	4		
メチルシクロヘキサン	評価可能な知見が得られなかった										
プロピルシクロヘキサン	評価可能な知見が得られなかった										
1-ブタノール	評価可能な知見が得られなかった										
ヘキサナール	LOAEL	吸入	549.4	ヒト	粘膜刺激	10	1	1	10	5.5	Sim ら(1957)
デカナール	評価可能な知見が得られなかった										
トリクロロエチレン	LOAEL	吸入	546	ヒト	中枢神経症状	10	1	1	10	5.5	Boyes ら(2000)
テトラクロロエチレン	LOAEL	吸入	718.9	ヒト	眼の刺激	10	1	1	10	7.2	Rowe ら(1952)
	LOAEL	吸入	700	ヒト	眼や粘膜への刺激、中枢神経系への影響	10	1	1	10	7.0	Stewart ら(1970)
1,2-ジクロロエタン	NOAEL	吸入	200	ラット	嗅上皮の変性や壊死	1	1	2.5	10	8.0	Hotchkiss ら(2010)
アクロレイン	LOAEL	吸入	0.21	ヒト	眼の刺激	10	1	1	10	0.0021	Weber-Tschopp ら(1977)
	NOAEL	吸入	0.115	ヒト	眼の刺激	1	1	1	10	0.0115	Dwivedi ら(2015)

\* 吸入 (mg/m<sup>3</sup>). 経口 (mg/kg/day). 経口換算では体重 50kg 及び呼吸量 15 m<sup>3</sup>/day を用いた  
 \*\* UF1: LOAEL to NOAEL extrapolation. UF2: Extrapolation across durations. UF3: Interspecies extrapolation UF4: Intraspecies extrapolation.

表 3 3 室内環境汚染物質の ChRfC 一覧 (非発がんの慢性影響)

	指標	曝露経路	影響量*	種	エンドポイント	不確実係数(UF)**				ChRfC (µg/m <sup>3</sup> )	キー研究
						1	2	3	4		
メチルシクロヘキサン	NOAEL	吸入	1,636	ラット	腎臓の髄質の石灰化と腎乳頭の過形成	1	1	10	10	<b>2,921</b>	AMRL (1984)、Kinkead et al (1985)
プロピルシクロヘキサン	評価可能な知見が得られなかった										
1-ブタノール	NOAEL	吸入	154	ラット	運動協調性障害	1	2	10	10	<b>138</b>	Korsak ら(1994)
ヘキサナール	LOAEL	吸入	363	イヌ	鼻腔の扁平上皮化生	10	2	2.5	10	<b>130</b>	UCC (1979)
デカナール	LOAEL	吸入	363	イヌ	鼻腔の扁平上皮化生	10	2	2.5	10	<b>130</b>	UCC (1979)
トリクロエチレン	LOAEL	経口	0.35	マウス	胸腺重量の減少	10	1	10	10	<b>1.2</b>	Keil ら(2009)
	BMDL <sub>10</sub>	経口	0.0207	ラット	胎仔の心臓の奇形	1	1	10	10	<b>0.7</b>	Johnson ら(2003)
	LOAEL	吸入	200	ヒト	神経への影響	10	1	1	10	476.2	Ahlmark ら(1951)、Liu ら(1988)、ACGIH、WHO(Europe, Global)
テトラクロエチレン	LOAEL	吸入	105	ヒト	腎層への影響	10	1	1	10	242.9	Cavalleri ら(1994)
	LOAEL	吸入	50	ヒト	色覚の低下	10	1	1	10	<b>119.1</b>	Mutti ら(1992)
1,2-ジクロロエタン	NOAEL	吸入	40	ラット	肝臓への影響 (血清 ALT、LDH・AST 低下など)	1	1	10	10	<b>83</b>	Spreafico ら(1980)
	LOAEL	吸入	61	ヒト	神経行動学的な影響	10	1	1	10	<b>145</b>	Kozik (1957)
アクロレイン	NOAEL	吸入	0.23	マウス	気道上皮の炎症と過形成	1	1	2.5	10	<b>2.3</b>	Matsumoto ら(2021)

\* 吸入 (mg/m<sup>3</sup>). 経口 (mg/kg/day). 経口換算では体重 50kg 及び呼吸量 15 m<sup>3</sup>/day を用いた  
 \*\* UF1: LOAEL to NOAEL extrapolation. UF2: Extrapolation across durations. UF3: Interspecies extrapolation UF4: Intraspecies extrapolation.

表 3 4 室内環境汚染物質の CarRfC (発がんリスク評価値) 一覧

	ユニットリスク	種	エンドポイント	CarRfC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/10$ 万分の 1 過剰発がんリスク)	キー研究
トリクロエチレン	$4.3 \times 10^{-7} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ラット	精巣のライディッヒ細胞腫	23.26	WHO Europe (2000)、WHO Global (2000)、WHO Europe (2010)
	$4.1 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ヒト	腎細胞がん	2.44	USEPA (2011)
	$6.4 \times 10^{-8} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ヒト	腎臓がん	156.25	独 UBA (2015)
テトラクロエチレン	$5.2 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	マウス	肝細胞等への発がん影響	1.92	CICAD (2006)
	$2.6 \times 10^{-7} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	マウス	肝細胞等への発がん影響	38.46	USEPA (2012)
	$6.1 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	マウス	肝細胞等への発がん影響	1.64	CalEPA(2016)
1, 2-ジクロエタン	$6.4 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ラット	乳腺腫瘍	1.56	化審法 (2022)
	$6.3 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ラット	乳腺腫瘍	1.59	環境省 (2006)
	$3.4 \times 10^{-6} / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ラット	乳腺腫瘍	2.94	仏 ANSES (2009) と欧州化学品庁 (ECHA) とテキサス州 (2016)

表 3 5 欧州化学品庁によるアセスメント係数のデフォルト値 (ECHA 2012)

		アセスメント係数	
種間差	体重あたりの代謝の差	全身影響	局所影響
	残りの種間差	AS <sup>a,b</sup> 2.5	1 <sup>f</sup> 2.5 <sup>g</sup>
種内差	労働者	5	5
	一般人	10 <sup>c</sup>	10 <sup>c</sup>
曝露期間の差	亜急性から亜慢性への外挿	3	3 <sup>h</sup>
	亜慢性から慢性への外挿	2	2 <sup>h</sup>
	亜急性から慢性への外挿	6	6 <sup>h</sup>
曝露経路の差			
量反応関係への懸念、 影響の重大性	量反応関係データの信頼性 (NOAEL が得られていないなど)、重大な影響 への懸念 (発がん影響など)	1 <sup>d</sup>	1 <sup>d</sup>
データベースの質	不完全なデータ	1 <sup>d</sup>	1 <sup>d</sup>
	選ぶべきデータの信頼性	1 <sup>e</sup>	1 <sup>e</sup>

a: ラットでは 4 (表 2-25 参照)。 f,g: 局所影響 (local effect) では AS による補正は不要であり、皮膚、眼、消化管に対する単純な粘膜障害作用については種間差を認めず UF を 1 とする。但し曝露を受ける局所における代謝の結果として皮膚、眼、消化管への影響が現れる場合および呼吸器 (respiratory tract) に対する影響が現れる場合には 2.5 の UF を採用。 d: NOAEL が得られず LOAEL を用いる場合は、実験における曝露量の設定の公比 (dose spacing) (最近の試験では通常 2~4 倍) の大きさ、量反応関係の形や傾き、LOAEL で観察された毒性影響の程度などを勘案して UF を決定するが、ECHA は 3 (通常) ~10 (例外的) の UF を示唆。 f: 皮膚、眼、消化管における膜組織だけの破壊による影響。 g: 局所的な代謝を通じた皮膚、眼、消化管への影響、気道への影響。 h: 気道への影響

表 3 6 ヒトへの外挿に用いる allometric scaling (AS) factor

種	体重 (kg)	AS factor
ラット	0.250	4
マウス	0.03	7
ハムスター	0.11	5
モルモット	0.8	3
ウサギ	2	2.4
サル	4	2
イヌ	18	1.4

(参考文献)

Azuma K, Uchiyama I, Ikeda K. 2007. The risk screening for indoor air pollution chemicals in Japan. *Risk Anal*, 27(6), 1623–1638.

Azuma K, Uchiyama I, Uchiyama S, et al., 2016. Assessment of inhalation exposure to indoor air pollutants: Screening for health risks of multiple pollutants in Japanese dwellings. *Environ Res*, 145, 39–49.

ECHA. 2012. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health, Version: 2.1, 2012. Available at: <https://echa.europa.eu/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>. Access at 10 February 2017.

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Tham KW Wargocki P Tanabe S	Postulated pathways between environmental exposures and cognitive performance	Zhang Y Hopke PK Mandin C	Handbook of Indoor Air Quality	Springer Nature	Singapore	2022	1397-1405
東 賢一	シックハウス症候群／ 化学物質過敏症	福井 次矢 高木 誠 小室 一成	今日の治療 指針 2023年版 私はこう治療している	医学書院	東京	2023	2119

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
酒井 信夫	用語解説 ベンゼン	室内環境	25	324	2022
酒井 信夫	用語解説 ナフタレン	室内環境	25	324	2022
酒井 信夫	解説 ISO 16000-33: GC/MSを用いたフタル酸 エステル類の定量の改訂	クリーン テクノロジー	32	60-63	2022
Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y Tanaka-Kagawa T.	Survey of phthalates, glycols, and several volatile organic compounds in domestic hand-pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality	Journal of Environmental Chemistry	32	84-94	2022
Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y	Nationwide survey of the candidate substances in guideline values for indoor air concentrations	Bulletin of National Institute of Health Sciences	140	40-47	2022
Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y	A nationwide survey on indoor air concentrations of benzene and naphthalene in general residential housings	Indoor Environment	25	177-184	2022
Sakai S, Tahara M, Kubota R, Kawakami T, Inoue K, Ikarashi Y	Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Volatile organic compounds	Science of the Total Environment	838	156400	2022

Oshima N, Takagi M, Sakai S, Ikarashi Y	Comparison of the helium-alternative carrier gases for the gas chromatography /mass spectrometry of standard test methods for indoor air quality guidelines in Japan	BPB Reports	5	84-87	2022
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	Journal of Toxicological Sciences	48	37-45	2023
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	Biological and Pharmaceutical Bulletin	45	1839-1846	2022
Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Mori Y, Ikushiro S, Jinno H, Ohkawara S, Isobe T	Regioselective glucuronidation of flavones at C5, C7, and C4' positions in human liver and intestinal microsomes: Comparison among apigenin, acacetin, and genkwanin	Biological and Pharmaceutical Bulletin	45	1116-1123	2022
Hanioka N, Isobe T, Tanaka-Kagawa T, Jinno H, Ohkawara S	In vitro glucuronidation of bisphenol A in liver and intestinal microsomes: interspecies differences in humans and laboratory animals	Drug and Chemical Toxicology	45	1565-1569	2022
杉田 隆, 香川 (田中) 聡子	環境・衛生部会 衛生試験法シンポジウム 微生物検査による食品・ 環境衛生管理の新展開	薬学雑誌	142	9-10	2022
稲坂まりな, 赤松奈美, 菅野 颯馬, 池内 宏維, 高橋 秀介, 田崎 未空, 金 炫兌, 田辺 新一	異なる木材表面へのアルコ ール塗布がVOC放散量およ び知覚空気質に与える影響	日本建築学会環 境系論文集	87	846-854	2022
赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一	木材表面へのアルコール清 拭がVOC放散量および知覚 空気質に与える影響 第一報：実験概要と 化学物質分析の測定結果	日本建築学会 大会学術講演 梗概集	2022	1595-1596	2022

池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一	木材表面へのアルコール清 拭がVOC放散量および 知覚空気質に与える影響 第二報: 被験者実験による 臭気評価結果	日本建築学会 大会学術講演 梗概集	2022	1597-1598	2022
赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一	木材表面へのアルコールの 塗布・噴霧がVOC放散量およ び知覚空気質に与える影響 (第1報) アルコールの1回塗布によ るチャンバー実験結果	空気調和・衛生 工学会大会 学術講演論文集	2022	9-12	2022
池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一	木材表面へのアルコールの 塗布・噴霧がVOC放散量およ び知覚空気質に与える影響 (第2報) アルコールの繰り返し噴霧 によるチャンバー実験結果	空気調和・衛生 工学会大会 学術講演論文集	2022	13-16	2022
田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田辺 新一	一般住宅における床材・壁材 からのSVOC放散量の測定	日本建築学会 大会学術講演 梗概集	2022	1589-1590	2022
益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田辺 新一	実空間モデルにおける可塑 剤からのSVOC放散挙動に 関する実験	空気調和・衛生 工学会大会 学術講演論文集	2022	129-132	2022
田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 田邊 慶宗, 益崎 慶人, 田辺 新一	現場測定方法を用いた準揮 発性有機化合物(SVOC)の放 散速度測定-家電製品表面か らのSVOC放散速度測定	日本建築学会 中国支部研究 報告集	46	407-410	2023
田邊 慶宗, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 益崎 慶人, 田辺 新一	現場測定方法を用いた準揮 発性有機化合物(SVOC)の放 散速度測定 夏期・冬期にお ける床材・壁材からの SVOC放散量の測定	日本建築学会 中国支部研究 報告集	46	403-406	2023
益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 田辺 新一	建材からのSVOC放散速度と 気中濃度との相関性に 関する研究	日本建築学会 中国支部研究 報告集	46	399-402	2023

細田 実里, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田崎 健悟	住宅及び大学施設における 空気中の準揮発性有機 化合物(SVOC)濃度の測定	日本建築学会 中国支部研究 報告集	46	395-398	2023
Fernandez KB, Ikegaya N, Ito K, Chen Q	Age of air, purging flow rate, and net escape velocity in a cross-ventilation model sheltered by urban-like blocks using LES	Building and Environment	226	109759	2022
Khoa ND, Phuong NL, Tani K, Inthavong K, Ito K	In silico decongested trial effects on the impaired breathing function of a bulldog suffering from severe brachycephalic obstructive airway syndrome	Computer Methods and Programs in Biomedicine	228	107243	2023
Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K	Internal diffusion and re-emission of leaked liquid ethyl acetate from mortar materials	Japan Architectural Review	5	672-681	2022
Lim E, Tanaka H, Ni Y, Bai Y, Ito K	Microplastics/microfibers in settled indoor house dust- Exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan	Japan Architectural Review	5	682-690	2022
Yamasawa H, Hirayama T, Kuga K, Muta R, Kobayashi T, Ito K	Influence of inlet turbulent condition on the formation mechanism of local scalar concentrations	Japan Architectural Review	5	691-701	2022
Muta R, Ito K	Impact of heat generation and use of experimental instruments in a fume hood on pollutant capture efficiency	Japan Architectural Review	5	702-713	2022
Yoo SJ, Ito K	Validation, verification, and quality control of computational fluid dynamics analysis for indoor environments using a computer-simulated person with respiratory tract	Japan Architectural Review	5	714-727	2022

Salati H, Fletcher DF, Khamooshi M, Dong J, Ito K, Vahaji S, Inthavong K	Exhaled aerosol and jet flow characterization during nasal sneezing	Aerosol and Air Quality Research	22	210338	2022
Li H, Kuga K, Ito K	SARS-CoV-2 dynamics in the mucus layer of the human upper respiratory tract based on host-cell dynamics	Sustainability	14	3896	2022
Muta R, Yoo SJ, Kim H, Matsumoto T, Ito K	Multiscale analysis of material flow and computational fluid dynamics for predicting individual DEHP exposure concentration in indoors	Indoor and Built Environment	31	2291-2311	2022
Ikegaya N, Ito K, Sandberg M	Rigorous mathematical formulation of net escape velocity and net escape probability determining a macroscopic concentration	Indoor Air	32	e13072	2022
Kuga K, Sakamoto M, Wargocki P, Ito K	Prediction of exhaled carbon dioxide concentration using a computer-simulated person that included alveolar gas exchange	Indoor Air	32	e13079	2022
Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K	Numerical models for seamlessly predicting internal diffusion and re-emission of leaked liquid toluene from indoor mortar materials	Journal of Building Engineering	57	104976	2022
Khoa ND, Phuong NL, Takahashi K, Ito K	Transport and deposition of inhaled man-made vitreous and asbestos fibers in realistic human respiratory tract models: An in-silico study	Japan Architectural Review	5	592-608	2022
Wang Y, Shen X, Yoo SJ, Long Z, Ito K	Error analysis of human inhalation exposure simulation in industrial workshop	Building and Environment	224	109573	2022

Muta R, Chung J, Li C, Yoo SJ, Ito K	Pollutant capture efficiencies in and around the opening-surface of a fume hood under realistic conditions	Indoor and Built Environment	31	1636-1653	2022
Kuga K, Wargocki P, Ito K	Breathing zone and exhaled air re-inhalation rate under transient conditions assessed with a computer-simulated person	Indoor Air	32	e13003	2022
Fan X, Shao H, Sakamoto M, Kuga K, Lan L, Wyon DP, Ito K, Bivolarova MP, Liao C, Wargocki P	The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: pilot measurements in a climate chamber	Building and Environment	209	108666	2022
Karagas, MR, Wang A, Dorman DC, Hall AL, Pi J, Sergi CM, Symanski E, Ward EM, Arrandale VH, Azuma K, Brambila E, Calaf GM, Fritz JM, Fukushima S, Gaitens JM, Grimsrud TK, Guo L, Lynge E, Marinho-Reis AP, McDiarmid MA, Middleton DRS, Ong TP, Polya DA, Quintanilla-Vega B, Roberts GK, Santonen T, Sauni R, Silva MJ, Wild P, Zhang CW, Zhang Q, Grosse Y, Benbrahim-Tallaa L, de Conti A, DeBono NL, Ghissassi FE, Madia F, Reisfeld B, Stayner LT, Suonio E, Viegas S, Wedekind R, Ahmadi S, Mattock H, Gwinn WM, Schubauer-Berigan MK	Carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy	THE LANCET Oncology	23	577-578	2022
東 賢一	燃焼で排出される室内空気汚染物質の健康影響	室内環境	25	307-315	2022

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 合田 幸広

次の職員の令和4年度厚生労働行政推進調査事業費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業

2. 研究課題名 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

3. 研究者名 (所属部署・職名) 生活衛生化学部第一室・室長

(氏名・フリガナ) 酒井 信夫・サカイ シノブ

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称： )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由： )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関： )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由： )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容： )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 名城大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 小原 章裕

次の職員の 令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業

2. 研究課題名 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

3. 研究者名 (所属部署・職名) 薬学部・教授

(氏名・フリガナ) 神野 透人・ジンノ ヒデト

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 合田 幸広

次の職員の令和4年度厚生労働行政推進調査事業費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部署・職名) 生活衛生化学部・主任研究官
- (氏名・フリガナ) 田原 麻衣子・タハラ マイコ

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称： )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由： )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関： )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由： )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容： )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和5年3月6日

厚生労働大臣 殿

機関名 横浜薬科大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 江崎 玲於

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部署・職名) 健康薬学科 環境科学研究室・教授  
(氏名・フリガナ) 香川 聡子・カガワ トシコ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 早稲田大学

所属研究機関長 職 名 総長

氏 名 田中 愛治

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部署・職名) 早稲田大学 創造理工学部・教授  
(氏名・フリガナ) 田中 新一・タナベ シンイチ

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 山口大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 谷澤 幸生

次の職員の令和3年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業

2. 研究課題名 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

3. 研究者名 (所属部署・職名) 創成科学研究科・助教

(氏名・フリガナ) 金 炫兌・キム ヒョンテ

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和5年 3月14日

厚生労働大臣 殿

機関名 国立大学法人九州大学

所属研究機関長 職名 総合理工学研究院長

氏名 中島 英治

次の職員の令和3年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 化学物質リスク研究事業

2. 研究課題名 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

3. 研究者名 (所属部局・職名) 九州大学総合理工学研究院・教授

(氏名・フリガナ) 伊藤 一秀・イトウ カズヒデ

#### 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

#### その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

#### 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

#### 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 近畿大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 細井 美彦

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 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
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部署・職名) 医学部 准教授
- (氏名・フリガナ) 東 賢一 (アズマ ケンイチ)

## 4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称: )	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

## その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

## 5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

## 6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: )
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由: )
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容: )

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。  
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。