

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5年度 総括・分担研究報告書

(21KD2002)

研究代表者 酒井 信夫

令和6(2024)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 -----17
CarbotrapTM-217 捕集管を用いた加熱脱離法による VOC 類検量線の検証
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 -----35
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 -----41
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 -----77
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 -----90
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 -----94
金 炫兌 (久留米工業大学)
7. 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測 ----- 105
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 ----- 110
東 賢一 (関西福祉科学大学)

- III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 176

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。

合計8課題の分担研究の成果の詳細については、令和5年度 分担研究報告書において報告する。

研究分担者

酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所	田辺 新一	早稲田大学 創造理工学部
神野 透人	名城大学 薬学部	金 炫兌	久留米工業大学 建築・設備工学科
田原 麻衣子	国立医薬品食品衛生研究所	伊藤 一秀	九州大学 総合理工学研究院
香川（田中） 聡子	横浜薬科大学 薬学部	東 賢一	関西福祉科学大学 福祉栄養学科

研究協力者（研究分担者を除く）

大嶋 直浩	国立医薬品食品衛生研究所
高木 規峰野	国立医薬品食品衛生研究所
千葉 真弘	北海道立衛生研究所
大泉 詩織	北海道衛生研究所
大貫 文	東京都健康安全研究センター
角田 徳子	東京都健康安全研究センター
斎藤 育江	東京都健康安全研究センター
吉富 太一	神奈川県衛生研究所
西 以和貴	神奈川県衛生研究所
田中 礼子	横浜市衛生研究所
村木 沙織	横浜市衛生研究所
大野 浩之	名古屋市衛生研究所
若山 貴成	名古屋市衛生研究所
岡本 誉士典	名城大学薬学部
青木 明	名城大学薬学部
森 葉子	名城大学薬学部
亀谷 春香	名城大学薬学部
湯浅 竜斗	名城大学薬学部
埴岡 伸光	横浜薬科大学薬学部
大河原 晋	横浜薬科大学薬学部
礒部 隆史	横浜薬科大学薬学部
河村 伊久雄	横浜薬科大学薬学部
宮崎 悠里奈	横浜薬科大学薬学部
沖野 優衣	横浜薬科大学薬学部
高橋 美優	横浜薬科大学薬学部
遠藤 治	麻布大学生命・環境科学部
鈴木 浩	柴田科学株式会社
鳥羽 陽	長崎大学医歯薬学総合研究科
中島 大介	国立環境研究所
藤森 英治	環境調査研究所

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

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）において初期リスク評価が終了した室内濃度指針値代替化学物質である2-エチル-1-ヘキサノール（以下、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（以下、TMPD-MIB）、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート（以下、TMPD-DIB）を含む揮発性有機化合物（VOC）類53物質について、CarbotrapTM-217捕集管を用いた加熱脱離-GC/MS法による検量線を作成し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインに基づき検証した。

A2: 総揮発性有機化合物（TVOC）の在り方に関する研究

わが国では、室内空気質の総合的な指標として、総揮発性有機化合物（TVOC: Total Volatile Organic Compounds）に400 µg/m³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範囲の下限値として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、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、TVOCの在り方に関する提言を作成することを目的とした。

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必要である。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測定方法を改良し、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、VOCについては、① 固相吸着-加熱脱離法における活性炭系（Tenax GR）捕集管の適用性を検討した。SVOCについては、② 新規測定法として前年度構築したフタル酸エステル類の

固相吸着-溶媒抽出-液体クロマトグラフィー/質量分析法 (SE-LC/MS) への殺虫剤の適用, ③ SVOCの一斉分析法である固相吸着-溶媒抽出-GC/MS法を用いた一般住宅の実態調査の3項目を検討した。さらに, シックハウス検討会が定める「室内空気中化学物質の測定マニュアル」の改訂文案について全体の整合, 修正, 最終化を行った。

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, 規格化・標準化された室内空気の測定法, すなわち標準試験法 (採取方法ならびに分析方法) によって得られた結果に基づいて判断することが肝要である。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た。

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

シックハウス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は, 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会議に新規案として提案した。

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

室内空気中化学物質には, 高揮発性有機化合物 (Very Volatile Organic Compounds: VVOC) や VOCといった比較的揮発しやすい物質がある。他方, SVOCは揮発性が低いため, 室内空気よりハウスダストや室内の表面に付着する性質があり, 呼吸・経口・経皮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 (JISA

1904) は建材等から放散する化学物質の放散速度を測定することが可能であるが, 実空間における仕上げ材等からの直接的な測定が困難である。そのため, マイクロチャンバーを用いたオンサイト測定方法を開発し, 実空間におけるSVOC放散速度を測定した。更に, 家具・家電製品の表面から放散するSVOCを測定することで, オンサイト測定方法の適用範囲を拡張している。今年度は, PVC床材の表面温度がSVOC放散量及び表面ブリードアウト量に与える影響について検討した。

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。研究3年目である令和5年度は, 改良型 *in silico* 数値人体モデルを実大スケール居室モデル内での経気道曝露評価に適用し, 気道内粘膜上皮細胞内の曝露濃度時間変化予測を実施する。

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

室内空気汚染問題に関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た。

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

室内濃度指針値代替化学物質である2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIBを含むVOC 53物質について, 定量範囲2-50 ngもしくは5-50 ngの4点な

いし5点検量線（重み付けの有無）を加熱脱離-GC/MS法で3回ずつ作成し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインのクライテリアに基づき、検量線の真度、精度およびキャリーオーバーを評価した。

B2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

2000年12月に、わが国で室内空気中のTVOCに暫定目標値が策定されてから四半世紀近くが経過した。この間、一義的な試験法の策定や同定すべき化合物(必須VOC)の選定などの課題が依然として残されており、その意義も含めてTVOCの在り方を再確認する機運が高まっている。本分担研究では、TVOCの在り方について、健康リスク指標としての有効性と室内空気中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の2つの観点から検討を行った。

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クロロピリホス、ダイアジノン、フェノブカルブ、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) の5化合物にフタル酸エステル類7化合物を加えた12化合物とした。

2) LC/MS分析条件の検討

長さ50 mm または100 mm のACQUITY UPLC BEH C18 (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/10 mM ぎ酸アンモニウム溶液移動相によりLC/MS (イオン化法: ESI) で分析する条件を検討した。

3) 検量線

検量線は、殺虫剤が0.001–0.1 $\mu\text{g/mL}$ 、フタル酸エステル類が0.01–1 $\mu\text{g/mL}$ となるよう調製した。内部標準物質とのピーク強度比で補正した検量

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に従いキャリーオーバーならびに検量線の真度および精度を評価した。また、それらの結果から、検出下限値および定量下限値を算出した。

4) 添加回収試験

捕集剤への添加量は、試験溶液5 mL、積算捕集量4,320 L (3 L/minで24 時間) の条件で、殺虫剤はクロロピリホスの室内濃度指針値である0.1 $\mu\text{g/m}^3$ の1/10 以下となるよう、フタル酸エステル類はDnBPの室内濃度指針値である17 $\mu\text{g/m}^3$ の1/100以下となるよう設定した。捕集剤用ホルダーに逆向きに取り付けた捕集剤のフィルター部に混合標準液を添加後、ホルダーの吸引部から窒素ガスまたは室内空気を通し、添加回収試験を行った。

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

室内濃度指針値設定物質DnBPおよびDEHP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策定する。また、室内濃度暫定目標値が設定されているTVOCについて固相吸着—加熱脱離法による標準試験法を策定する。二つの試験法は、日本薬学会 環境・衛生部会 空気試験法専門委員会において原案を作成し、衛生試験法編集委員会に提出して国内規格化する。

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

本研究課題に参画するメンバーによって、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/TC 146/SC 6, ISO 16000-33:2017, Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)への収載を新規提案した。2023年度のISO/TC 146/SC

6の国際会議はイタリアのローマで開かれた。開催期間は2023年9月18日～22日で、国際規格化に関する審議内容及びその結果について確認した。

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) 測定概要

PVC床材を用いてSVOCの放散試験と表面ブリードアウト試験を行った。測定方法には、JIS A 1904のマイクロチャンバー法を用いた。表面ブリードアウト濃度はマイクロチャンバーを用いた放散試験の終了後、試験材の表面を拭き取った。測定条件として恒温槽の温度を18, 22, 28°Cに設定して測定した。

2) 放散速度測定

マイクロチャンバーの容積は630 mL (±5%) であり、吸気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気密性を確保した。測定開始前にマイクロチャンバーを解体して洗浄後、チャンバー内に残存する化学物質を揮発させるために、1時間220°Cで加熱した。洗浄後、マイクロチャンバーを常温まで放冷し、チャンバー蓋と容器の間に設置した試験片表面からのSVOC放散速度を測定した。放散試験終了後、チャンバー内表面に付着したSVOCを220°Cで加熱脱着し、Tenax TA捕集管に回収した。建材からのSVOC放散速度は放散捕集と加熱脱着捕集の結果を合算した。

3) 表面ブリードアウト濃度

表面ブリードアウト濃度は放散試験終了後、試験材の表面を拭き取り、試験材表面のSVOC濃度を測定した。表面ブリードアウト測定で使用するサンプラーには、石英ウール (50 mg) を用いた。測定前に石英ウールをエタノールで3回洗浄し、分析対象化学のコンタミネーションのないサンプラーを製作した。拭き取ったサンプラーはマイクロチャンバーに導入し、加熱脱着することでTenax TA捕集

管に回収した。

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、TMPD-MIB、TMPD-DIB、フタル酸ジ-n-オクチル、フタル酸ジイソニル、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。

B7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

本年度は、昨年度までに開発した数値気道モデル(鼻腔・口腔から気管支第4分岐まで)を対象とした曝露濃度予測精度を更に向上させる目的で、CTデータを用いて細気管支部分を拡張すると共に、口腔内の歯列までを詳細に再現することで、改良型の数値気道モデルを作成した。気道内の上皮細胞表面の粘液層を再現した上で、化学物質クリアランスを予測するための粘液輸送モデルを開発・統合した。更に昨年度に開発統合した気道内粘膜上皮細胞における界面境界条件設定のための生理的薬物動態モデル(PBPK)を室内濃度指針値既設化学物質ならびに室内環境中に存在するその他の多様な化学物質の経気道曝露濃度予測に展開するため、文献調査データを基にしてホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン等の室内濃度指針値が設定された化学物質を対象としてモデルパラメータの同定を行った。最終的にこの数値気道モデルを数値人体モデルに統合することで改良型*in silico* 数値人体モデルを作成した。

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た。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 (WHO) 本部、WHO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を扱うものではなく、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

測定対象とするVOC 53物質のうち揮発性の高いAcetoneとMethylene chlorideは、いずれの検量線においても評価不能であったが、その他の物質については、定量範囲 5–50 ngの検量線 (重み付け有) で全てのクライテリアを満たした(真度:80~120%, 精度 RSD 20%以下)。その他の検量線については、検量線の評価が不能であった物質以外にも真度あるいは精度の目標値を逸脱した物質が散見された。

また、1,2-Dichloroethaneは、5 ngを定量下限値とする検量線で、Benzeneは、2 ngを定量下限値とする検量線でキャリーオーバーが認められた。

C2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

PubMedをKeyword: Total Volatile Organic Compounds/TVOC(s)/Total VOC(s)で検索した結果、951件の論文が該当した。年次推移では、2017年の36件から2023年には124件へと大幅に増加しており、学術的にTVOCに対する関心が高まっていることが伺える。しかしながら、個々のTVOC構成成分の健康影響を考察した論文や疫学的な調査でTVOC濃度とある種の健康リスクに関連が認められたとする論文はいくつか存在したものの、総体としてのTVOCによる直接的な健康影響を検討した論文を見出すことはできなかった。従って、20年前と同様に、現状においてもTVOCを健康影響に関連付けることは困難であると考えられる。

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

暫定目標値 400 µg/m³の妥当性について、国立医薬品食品衛生研究所が実施した2012, 2013, 2016および2020年度全国実態調査の結果では、TVOCの中央値は229–260 µg/m³の範囲であり、暫定目標値を超過した家屋の割合は20ないし40%と報告されている。現行のTVOC暫定目標値は、SIM法で個別定量したVOC 41物質の中央値の総和 153 µg/m³を基に、いくつかの仮定を適用して得られた推定値 306 µg/m³から設定されたものである。

Scan法によるTVOC分析法で得られた目標値ではないことから、「暫定」とされたものと推察される。

一方、上記の全国実態調査のTVOC中央値は、日本薬学会 環境・衛生部会で衛生試験法として公定法化が進められている標準試験法で採取・測定されたものであり、わが国の室内空気中のTVOCの現状を正確に反映していると言える。各年度のTVOC中央値(229~260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)は、暫定目標値設定時のTVOC推定値(306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の75%程度であり、20~40%程度の家屋が暫定目標値を超過していた。国立医薬品食品衛生研究所の精力的なTVOC標準試験法に則った全国実態調査により、暫定目標値が設定された時点と現在で室内のTVOCの状況に大きな変化はなく、400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

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

衛生試験法・注解に記載されたTVOC標準試験法は、各構成成分について1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度から定量的な評価が可能であり、室内空気中の化学物質にかかる情報収集や詳細な評価の必要性を判定するのに十分な検出感度を備えている。すなわち、TVOC測定と同時に未評価化学物質のスクリーニングを実施できる点が、総合的な室内空気質指標としてのTVOCの付加価値であると言えよう。

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

前年度に確立したフタル酸エステル類の分析条件に殺虫剤3物質を適用した結果、フェノブカルブのピークにリーディングがみられ、クロルピリホスの感度が低かった。フェノブカルブのピーク形状を改善するため注入量を減らし、それに伴う感度低下

をカラム長さおよびモニターイオンの変更で改善することができた。

2) 検量線

全ての測定対象物質について、妥当性評価ガイドラインの示す真度および精度の目標値に適合し、キャリーオーバーは検量線の濃度範囲の下限値を下回った。また、殺虫剤の定量下限値は0.0066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、フタル酸エステル類の定量下限値は0.069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、殺虫剤は室内濃度指針値の1/10以下まで、フタル酸エステル類は1/100以下まで測定できた。

3) 添加回収試験結果

標準品添加後に通気をせず、ただちに抽出した試料の回収率は、アセトン抽出条件では80~104%、アセトニトリル抽出条件では80~93%であり、両抽出条件とも妥当性評価ガイドラインに示された真度の目標値を満たした。24時間通気後の試料でフタル酸エステル類の回収率は81~101%、フェノブカルブの回収率は88%であった。ダイアジノンおよびクロルピリホスの回収率は、通気なしでは93%および90%であったが、通気なし24時間放置の試料では76%および68%、24時間通気では39%および59%と大きく低下した。この低下の改善策を殺虫剤のみの添加および通気なしで検討した結果、標準液の添加方法および抽出時の器具の変更により、真度の目標値を満たすことができた。しかし、SVOCとして同一捕集剤に同時添加すると、ダイアジノンおよびクロルピリホスの回収率が低下することから、更なる改善が必要であると考えられた。

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

室内濃度指針値設定物質DnBPおよびDEHPについて改定指針値に対応した固相吸着ー加熱脱離法による標準試験法策定した。また、室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物について固相吸着ー加熱脱離法による標準試験法を策定した。日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補

2024にて公表した。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 国際会議がローマで開催され、ISO 16000-33に関する会議 (WG20) は2023年9月21日に行われた。日本の代表団は酒井信夫 (国立医薬品食品衛生研究所)、伊藤一秀 (九州大学) が参加した。WG 20では、ISO 16000-33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、DIS投票で賛成された。2023年12月4日にFDISに登録された。

WG20での国際会議後、ISO/TC 146/SC 6/WG 20 N66; Recommendations, N68; Draft Minutesが作成された。主な内容は以下に示す。

Recommendation 44

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 decides to submit the revised draft of ISO 16000-33 to FDIS ballot.

Draft Minutes 5

WG 20 discusses the comments received on ISO/DIS 16000-33 and thanks the Japanese delegation, especially Shinobu Sakai, for preparing most of the answers (Doc. N 64).

Draft Minutes 6

WG 20 decides to submit the revised document to FDIS after checking for editorial and linguistic issues.

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

PVC床材の表面温度変化がSVOC放散量及び表面ブリードアウト量に与える影響について実験を

行った結果、室内で施工している建築材料のみではなく、家庭内で使用している生活用品もSVOC物質の放散源であることを確認した。各SVOC物質の放散量は少ないものの、家具・家電製品の面積は少ないため、引き続き室内のSVOC汚染影響を研究する必要があると考えられた。

温度変化によるPVC建材からのSVOC物質の放散速度と表面ブリードアウト量との相関性を測定した結果、2E1Hを含む9物質が検出された。2E1Hは揮発性が高いVOC物質であるため、建材の表面ブリードアウト量より空气中に放散する量が多かった。

C7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

鼻腔・口腔から気管支第16分岐までを再現した上で口腔内の歯列を正確に再現した改良型数値気道モデルを検討した。また、非定常の呼吸サイクル(呼出・吸入)を再現した条件で、室内環境中のガス状化学物質による経気道曝露の非定常解析を行い、鼻腔の嗅覚領域における粘膜上皮細胞に対する化学物質吸着フラックスの時間変化ならびに界面濃度の時間変化を明らかにした。昨年度(令和4年度)までの境界条件に加えて、室内空気中の温度・湿度条件が気道内化学物質輸送に与える影響を定量的に解析するために、気道内の粘膜上皮細胞界面での熱水分輸送解析も連成解析する手法を開発した。

室内空気環境に関連する国際標準化を担うISO/TC 146/SC 6では、WHOならびに厚生労働省が定める室内濃度指針値既設化学物質の他、室内空気中の真菌、エアロゾル等の標準化もターゲットとしており、現時点で規制対象となっていない新規の室内汚染物質に関する議論も進められている。本研究で開発した *in silico* 人体モデルの利点は、倫理的な制約を受けることなく、無限のパラメトリックスタディを可能とする点にある。新規対象化学物質の経気道曝露予測を行うために必要となるモデルパラメータの同定方法を整備することで、これらの将来課題に対して迅速な対応が可能となる。

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

本分担研究では、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。2023年度は、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、2-フルアルデヒド、フェノール、フタル酸ベンジルブチル、フタル酸ジ-イソノニル、フタル酸ジ-イソデシル、Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH)、Di(ethylhexyl) adipate (DEHA)を調査対象とした。情報収集作業は計画通りに進捗しており、2023年度の研究報告書にとりまとめる予定である。

2) 国際的な規制動向の調査

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 欧州地域事務局が 2023 年 9 月 20 日に First WHO/Europe Indoor Air Conference をスイスのベルンで開催したため、オンラインで参加した。室内空気質と健康障害に関する最新情報が紹介され、今後の課題について議論が行われた。室内空気質に対する取り組みは、WHO においても優先事項であることを改めて確認した。

令和 5 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ギ酸、酢酸、プロピオン酸の室内空気質ガイドラインを公表した。フランスの ANSES では新たに公表された室内空気質ガイドラインはなかった。カナダ保健省でも新たに公表された室内空気質ガイドラインはなかった。

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、2023 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。アントラセンと亜リン酸ジメチルが 3 (ヒトに対する発がん性を分類できない) から 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) に格上げとなった。2-ブロモプロパンが 2A (ヒトに対

しておそらく発がん性がある)、メタクリル酸ブチルが 2B に新たに分類された。アステルパームとイソオイゲノールが 2B に新たに分類された。メチルオイゲノールは 2B から 2A に格上げとなった。室内ダスト中でも検出されるペルフルオロオクタン酸 (PFOA) が 2B から 1 (ヒトに対して発がん性がある) に格上げとなり、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は 2B に新たに分類された。なお、次年度以降のワーキンググループでは、タルクとアクリルニトリル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

測定対象とした53化学物質について各検量線の妥当性を検証したところ、すべて重み付けを行ったものの方が良好な評価結果が得られた。評価結果が最も良好だった検量線は、定量範囲 5–50 ngの重み付け有のものであり、Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane以外の50物質にて良好な結果が得られた。定量範囲 2–50 ngの重み付け無の検量線は妥当性評価の目標値を逸脱した数が最も多かった。室内濃度指針値代替化学物質 3 物質 (2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB)については、重み付け有の検量線全てにおいて良好な結果が得られた。

D2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

文献調査では、種々の VOC 混合物である TVOC による直接的かつ定量的な健康影響を検討した論文を見出すことはできず、現状では TVOC を健康リスクに関連付けることは困難であると考えられる。その一方で、TVOC の測定で得られる未評価化学物質に関する情報は、当該物質の既存の有害性情報から推定 MOE を導出することも可能であり、室内空気の質をスクリーニングするために極めて有用である。この 20 年で一義的な TVOC 試験法による全国調査が得られていることも踏まえると、

400 µg/m³ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

D3: 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

本分担研究では、SE-GC/MS における SVOC 同時分析法の開発を目的とした。その結果、SVOC を一斉分析する分離・分析条件を確立し、十分な定量下限値が得られた。また、通気なしの添加回収試験では真度の目標値を満たした。しかし、室内空気を通気した添加回収試験では殺虫剤の回収率が低下したため課題が残った。

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

室内濃度指針値設定物質である DnBP および DEHP, ならびに室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物について固相吸着-加熱脱離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に収載した。

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

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) に新規提案した。2023年8月25日にDIS投票においてPメンバー14か国が賛成し(反対国なし), FDIS に登録されている(2024年1月19日現在 ステージコード50.00 Final text received or FDIS registered for formal approval)。

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・応用により、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

本年度(令和5年度)は、昨年度までに開発した数値気道モデルならびに数値人体モデルを改良し、室内環境から気管支第16分岐までの細気管支までの化学物質輸送を連続して解析可能な *in silico* 人体モデルを作成した。また、気道モデル界面に適用する生理的薬物動態モデル(PBPK-CFD モデル)のモデルパラメータを同定・拡張することで、室内濃度指針値既設化学物質を含む多様な化学物質を対象とした経気道曝露濃度予測に適用可能なモデルとして整備した。

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、ギ酸、酢酸、プロピオン酸の3つの有機酸に対して指針値が新たに設定された。フランスの ANSES とカナダ保健省では今年度新たに設定された室内空気質ガイドラインはなかった。なお、発がん性に関して IARC は、今年度において、アントラセン、垂リン酸ジメチル、2-ブロモプロパン、メタクリル酸ブチル、アステルパーム、イソオイゲノール、メチルオイゲノール、PFOA、PFOS 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た。これらの調査結果は、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なる。

E. 健康危険情報

国民の生命、健康に重大な影響を及ぼす情報として厚生労働省に報告すべきものはない。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yoshitomi T, Nishi I, Onuki A, Tsunoda T, Chiba M, Oizumi S, Tanaka R, Muraki S, Oshima N, Uemura H, Tahara M, Sakai S: Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction, *BPB Reports*, **6**, 76-80 (2023).
- 2) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno H: Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality, *Journal of Toxicological Sciences*, **48**, 37-45 (2023).
- 3) Chiba M, Oizumi S, Onuki A, Saito I, Tanaka R, Yamanouchi T, Yokoyama Y, Wakayama T, Ohno H, Tahara M, Sakai S: Validation study for establishing a standard test method for volatile organic compounds in indoor air in Japan using solvent extraction. *BPB Reports*, **7**, 39-43 (2024).
- 4) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 酒井信夫: 室内空気中の揮発性有機化合物分析における除湿管の影響, 室内環境 (in press).
- 5) Yoshitomi T, Nishi I, Uemura H, Tahara M, Sakai S: Simultaneous analysis of insecticides and phthalates in residential buildings based on Japan's indoor air quality guidelines, *BPB Reports*, (in press).
- 6) Hanioka N, Isobe T, Saito K, Nagaoka K, Mori Y, Jinno H, Ohkawara S, Tanaka-Kagawa T: Hepatic glucuronidation of tetrabromobisphenol A and tetrachlorobisphenol A: interspecies differences in humans and laboratory animals and responsible UDP-glucuronosyltransferase isoforms in humans, *Archives of Toxicology*, in press (2024).
- 7) Aoki A, Adachi H, Mori Y, Ito M, Sato K, Kinoshita M, Kuriki M, Okuda K, Sakakibara T, Okamoto Y, Jinno H: A modified high-resolution melting-based assay (HRM) to identify the SARS-CoV-2 N501Y variant, *Journal of Virological Methods*, **314**, 114678 (2023).
- 8) Isobe T, Ohkawara S, Mori Y, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Hanioka N: Hydrolysis of dibutyl phthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate in human liver, small intestine, kidney, and lung: An in vitro analysis using organ subcellular fractions and recombinant carboxylesterases, *Chemico-Biological Interactions*, **372**, 110353 (2023).
- 9) Aoki A, Jinno H, Ogawa K, Nakagawa T, Inagaki T, Wajima T, Okamoto Y, Uchiya KI. A Rapid Screening Assay for Clarithromycin-Resistant *Mycobacterium avium* Complex Using Melting Curve Analysis with Nonfluorescent Labeled Probes, *Microbiology Spectrum*, **11**, e0432622 (2023).
- 10) 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, Vol.88, No.811. 716-725, 202309 (2023).
- 11) 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).
- 12) Li C, Yoo SJ, Ito K: Impact of Indoor Ventilation Efficiency on Acetone Inhalation Exposure Concentration in Respiratory Tract, *Building Simulation*, **16**, 427-441 (2023).
- 13) Yoo SJ, Kurokawa A, Matsunaga K, Ito K: Spatial distributions of airborne transmission

- risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons, *Experimental and Computational Multiphase Flow*, 1-15 (2023).
- 14) Murga A, Bale R, Li CG, Ito K, Tsubokura M: Large eddy simulation of droplet transport and deposition in the human respiratory tract to evaluate inhalation risk, *PLOS Computational Biology*, **19** (3): e1010972 (2023).
 - 15) Kuga K, Kizuka R, Khoa ND, Ito K: Effect of transient breathing cycle on micro and nanoparticles depositions on respiratory walls, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **236**, 107501 (2023).
 - 16) Khoa ND, Li S, Phuong NL, Kuga K, Yabuuchi H, Kan-o K, Matsumoto K, Ito K: Computational Fluid-Particle Dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **237**, 107589 (2023).
 - 17) Li H, Kuga K, Ito K: Visual prediction and parameter optimization of viral dynamics in mucus milieu of upper airway based on CFPD-HCD analysis, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **238**, 107622 (2023).
 - 18) Abouelhamd I, Kuga K, Yoo SJ, Ito K: Identification of Probabilistic Size of Breathing Zone during Single Inhalation Phase in Semi-Outdoor Environmental Scenarios, *Building and Environment*, **243**, 110672 (2023).
 - 19) Nishihara T, Li H, Kuga K, Ito K: Seamless numerical analysis of transient infectious droplets dispersion and inhalation exposure - in silico study, *Building and Environment*, **244**, 110748 (2023).
 - 20) Yoo SJ, Yamauchi S, Park HG, Ito K: Computational Fluid and Particle Dynamics Analyses for Prediction of Airborne Infection/Spread Risks in Highway Buses: A Parametric Study, *Fluids*, **8** (9), 253 (2023).
 - 21) Wang Y, Sun J, Zhao M, Murga A, Yoo SJ, Ito K, Long Z: Numerical study of indoor oil-mist particle concentration distribution in industrial factory using the Eulerian-Eulerian and Eulerian-Lagrangian methods, *Fluids*, **8** (10), 264 (2023).
 - 22) Kuga K, Hoshiyama S, Wargocki P, Ito K: A pilot numerical study of odourant transport from an indoor environment to the olfactory region during sensory evaluations following ISO 16000-28, *Building and Environment*, **245**, 110868 (2023).
 - 23) Khoa ND, Kuga K, Inthavong K, Ito K: Coupled Eulerian Wall Film-Discrete Phase model for predicting the respiratory droplets generation during the coughing event, *Physics of Fluids*, **35**, 112103 (2023).
 - 24) Mizukoshi A, Okumura J, Azuma K: A COVID-19 cluster analysis in an office: Assessing the long-range aerosol and fomite transmissions with infection control measures. *Risk Analysis*, 1–17 (2023).
 - 25) Mizukoshi A, Hojo S, Azuma K, Mizuki M, Miyata M, Ogura H, Sakabe K, Tsurikisawa N, Oshikata C, Okumura J: Comparison of environmental intolerances and symptoms between patients with multiple chemical sensitivity, subjects with self-reported electromagnetic hypersensitivity, patients with bronchial asthma, and the general population. *Environmental Sciences Europe*, **35**, 32 (2023).
 - 26) Inaida S, Mizukoshi A, Azuma K, Okumura J: Reduced norovirus epidemic follows increased sales of hand hygiene products in Japan, 2020–2021. *Environmental Health and Preventive*

Medicine, **28**, 18 (2023).

2. 書籍

- 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) 香川 (田中) 聡子, 遠藤 治, 斎藤 育江, 酒井 信夫, 神野 透人, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治: 空気試験法: 揮発性有機化合物・捕集剤による乾式採取 (アクティブ法) -加熱脱着-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量 (新規), 衛生試験法・注解 2020 追補 2022, 公益社団法人日本薬学会 環境衛生部会 (2022)
- 5) Tham KW, Wargocki P, Tanabe S: Postulated Pathways Between Environmental Exposures and Cognitive Performance, Handbook of Indoor Air Quality, 1397-1405 (2022)
- 6) Azuma K, Jinno H: Toxicity of SVOCs, Advances in the toxicity of construction and building materials. Elsevier (2022)
- 7) 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)
- 8) 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)

3. 学会発表

- 1) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: シリコン含有製品から放散するシロキサン類の GC-MS/MS 分析, 第 31 回環境化学討論会 (2023.5)
- 2) 吉富 太一, 西 以和貴, 田原 麻衣子, 大嶋 直浩, 仲野 富美, 上村 仁, 酒井 信夫: GC-MS/MS を利用した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, 第 31 回環境化学討論会 (2023.5)

- 3) Kenichi AZUMA, Hideto JINNO, Toshiko TANAKA-KAGAWA, Shinobu SAKAI: Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: alicyclic compound, 1-butanol, long-chain aldehydes, chlorinated organic compounds, and acrolein, 35th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (2023.9)
- 4) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明, 大泉 詩織, 岩館 樹里, 今野 鈴子, 大槻 良子, 草原 紀子, 大竹 正芳, 角田 徳子, 上村 仁, 田中 礼子, 高居 久義, 渡邊 好介, 堀井 裕子, 望月 映希, 羽田 好孝, 山本 優子, 若山 貴成, 小寺 明, 吉田 俊明, 古市 裕子, 八木 正博, 伊達 英代, 高木 春佳, 島田 友梨松, 松永 尚子, 田崎 盛也: 令和 4 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査第 60 回全国衛生化学技術協議会年会 (2023.11)
- 5) 吉富 太一, 西 以和貴, 田原 麻衣子, 仲野 富美, 上村 仁, 酒井 信夫: 室内空気におけるアルキルフェノール類, ビスフェノール類の実態調査, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会 (2023.11)
- 6) 酒井 信夫: 室内空気中化学物質の規制に関する最新情報, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会 (2023.11)
- 7) 田原 麻衣子, 大貫 文, 角田 徳子, 大泉 詩織, 千葉 真弘, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: VOC およびフタル酸エステル類の分析におけるカーボン系捕集管の適用の検討, 2023 年室内環境学会学術大会 (2023.11)
- 8) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: 一般居住住宅における室内空気中ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの全国実態調査, 2023 年室内環境学会学術大会 (2023.11)
- 9) 吉富 太一, 西 以和貴, 田原 麻衣子, 上村 仁, 酒井 信夫: 室内濃度指針値が設定された揮

発性有機化合物の一斉分析法について，地方衛生研究所全国協議会関東・甲・信・静地区理化学研究部会（2024.2）

- 10) 大貫 文，田原 麻衣子，酒井 信夫，高木 規峰野，田中 礼子，村木 沙織，斎藤 育江，千葉真弘，大泉 詩織，大野 浩之，若山 貴成，鈴木 浩，鳥羽 陽，中島 大介，藤森 英治，香川（田中） 聡子，神野 透人：空気試験法：フタル酸ジ-n-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量（新規），日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 11) 香川（田中） 聡子，森 葉子，田原 麻衣子，大河原 晋，磯部 隆史，大貫 文，鈴木 浩，鳥羽 陽，中島 大介，藤森 英治，埴岡 伸光，酒井 信夫，神野 透人：空気試験法：総揮発性有機化合物（新規），日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 12) 吉富 太一，西 以和貴，田原 麻衣子，仲野 富美，上村 仁，酒井 信夫：室内環境中のハウスダストにおけるアルキルフェノール類とビスフェノール類の抽出及び精製法の検討と住宅における実態調査，日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 13) 宮崎 悠里奈，大河原 晋，河村 伊久雄，三浦 伸彦，森 葉子，磯部 隆史，埴岡 伸光，神野 透人，香川（田中） 聡子：in vitro 及び in silico 手法を用いる isothiazolinone 系抗菌薬による TRPV1 活性化評価，第 50 回日本毒性学会学術年会（2023.6）
- 14) 浦島 桃香，中向井 璃奈，宮崎 悠里奈，大河原 晋，森 葉子，河村 伊久雄，三浦 伸彦，磯部 隆史，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 2023 衛生薬学・環境トキシコロジー（2023.9）
- 15) 古田 貴大，林 暁翔，白畑 辰弥，上野 朱璃，中森 俊輔，金井 智久，川端 雄資，宇津木 貴子，香川（田中） 聡子，神野 透人，小林 義典：TRPV1 構造活性相関解明に向けた 7 位,10 位 - Evodiamine 誘導体の不斉合成研究，日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 16) 宮崎 悠里奈，大河原 晋，森 葉子，磯部 隆史，北川 康行，埴岡 伸光，神野 透人，香川（田中） 聡子：イソチアゾリノン系抗菌剤によるヒト TRPV1 活性化の in vitro 及び in silico 評価，日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 17) 沖野 優衣，高橋 美優，森 葉子，大河原 晋，北川 康行，波多江 典之，磯部 隆史，埴岡 伸光，神野 透人，香川（田中） 聡子：香料アレルゲンによるヒト TRPA1 活性化-in vitro 及び in silico 評価-，日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 18) 高橋 美優，沖野 優衣，森 葉子，大河原 晋，北川 康行，波多江 典之，磯部 隆史，埴岡 伸光，神野 透人，香川（田中） 聡子：EU 化粧品規制における新規義務表示香料成分による TRPA1 活性化の in silico 評価，日本薬学会第 144 年会（2024.3）
- 19) Akamatsu N, Inasaka M, Ikeuchi K, Sugano S, Kim H, Tanabe S: Effect of Applying Alcohol to Wooden Surfaces on VOC Emissions and Perceived Air Quality. 18th Healthy Buildings Europe Conference (2023.6)
- 20) 富田 奈歩，赤松 奈美，池内 宏維，深和 佑太，金 炫兌，田辺 新一：含有物質の異なる天然系塗料の木材への塗布が室内空気質に与える影響，令和 5 年度空気調和・衛生工学会大会（2023.9）
- 21) 赤松 奈美，富田 奈歩，池内 宏維，深和 佑太，金 炫兌，田辺 新一：木材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 3 報）塗装木材へのアルコール塗布によるチャンバー実験結果，令和 5 年度空気調和・衛生工学会大会（2023.9）
- 22) 富田 奈歩，赤松 奈美，池内 宏維，新納 稔樹，田崎 未空，深和 佑太，金 炫兌，田辺 新一：

- 天然系塗料の木材表面への塗布が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, 2023年度日本建築学会大会 (2023.9)
- 23) 赤松 奈美, 富田 奈歩, 池内 宏維, 新納 稔樹, 田崎 未空, 深和 佑太, 金 炫兌, 田辺 新一: 天然系塗料の木材表面への塗布がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 (第2報) 被験者実験による臭気評価結果, 2023年度日本建築学会大会 (2023.9)
- 24) 金 炫兌: 家電製品表面からのSVOC放散速度測定, 2023年室内環境学会学術大会 (2023.11)
- 25) 熊谷 功誠, 富久 歩真, 金 炫兌: PVC床材におけるSVOC物質の放散量と表面ブリードアウト量に関する研究, 日本建築学会九州支部研究会 (2024.3)
- 26) 山口 千尋, 金 炫兌: 家具・家電製品におけるSVOC放散速度測定, 日本建築学会九州支部研究会 (2024.3)
- 27) Khoa ND, Phuong NL, Ito K. Investigation of ultrafine particle deposition in human airway to the 9th generation of bronchial tubes using computational fluid and particle dynamics, IAQVEC 2023 (2023.5)
- 28) Li H, Kuga K, Ito K: Parameter Optimization of a Viral Dynamics Model in the Mucus Layer of the Human Nasal Cavity-Nasopharynx Based on Computational Fluid-Particle and Host-Cell Dynamics, IAQVEC 2023 (2023.5)
- 29) Nishihara T, Kuga K, Ito K: Computational fluid and particle dynamics simulation of airborne transmission in indoor environment – Effect of physical distance from infected person, IAQVEC 2023 (2023.5)
- 30) Park HG, Yoo SJ, Sumiyoshi E, Harashima H, Ito K; Numerical Thermal Comfort Analysis Using Combined Computer-Simulated Person with Clothing and Multi-Node Thermoregulation Model, IAQVEC 2023 (2023.5)
- 31) Khoa ND, Phuong NL, Ito K: Large Eddy Simulation of Airflow Patterns in the Human Upper and Lower Airway Up To the 16th Generation: A Comparison Study, Healthy Building 2023 Asia and Pacific Rim (2023.7)
- 32) Li H, Kuga K, Ito K: Host Cell Dynamics model development and specific parameterization for 3D upper respiratory tract model coupled with CFPD analysis, Healthy Building 2023 Asia and Pacific Rim (2023.7)
- 33) Hirayama T, Yamasawa H, Kuga K, Ito K: Effect of turbulent inlet boundary conditions on pollutant emissions and dispersion in an indoor environment, Healthy Building 2023 Asia and Pacific Rim (2023.7)
- 34) Kuga K, Ito K: Aspiration probability and resulting airway deposition of indoor particles during steady and transient breathings, Healthy Building 2023 Asia and Pacific Rim (2023.7)
- 35) Murga A, Ito K, Tsubokura M: Rethinking different ventilation strategies in a post-pandemic era: a CFD assessment, 43rd AIVC conference (2023.10)
- 36) Khoa ND, Kuga K, Ito K: Numerical Prediction of Respiratory Droplet Generation from Coughing Using Discrete phase-coupled Eulerian Wall Film Model, ICNAA 2023 (2023.6)
- 37) Abouelhamd I, Yoo SJ, Kuga K, Ito K. Numerical prediction of particle breathing zone in a semi-outdoor environment, ICNAA 2023 (2023.6)
- 38) Ito K: Ventilation Efficiency and Infection Control – in silico Human Modelling Study, International Symposium on Urban Sustainability (2023.11)
- 39) 東 賢一: 室内環境における健康影響問題の経緯と近年の動向, 大気環境総合センター令和5

年度特別セミナー（2023.11）

- 40) 東 賢一：空気成分の指針動向，2023 年室内環境学会学術大会車室内環境分科会セミナー（2023.11）

G. 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5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
CarbotrapTM-217 捕集管を用いた加熱脱離法による VOC 類検量線の検証

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

シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会が策定する「室内空気中化学物質の測定マニュアル（室内空気中化学物質の採取方法と測定方法）」に掲載されるトルエン、*o*-, *p*-, *m*-キシレン及び *p*-ジクロロベンゼン等揮発性有機化合物の測定方法 第2報 固相吸着－加熱脱離－ガスクロマトグラフィー／質量分析法には、測定対象となる揮発性有機化合物を捕集するための捕集管として TenaxTA をはじめとした吸着剤を充填した捕集管がいくつか例示されている。本研究では、それらのうち CarbotrapTM-217 捕集管を用いて、室内濃度指針値策定物質および室内濃度指針値代替化学物質を含む揮発性有機化合物 53 物質の測定に関し、真度・併行精度・キャリーオーバーに関する検量線の妥当性評価を実施した。

作成した6種類の検量線のうち、妥当性評価の結果が最も良好だったものは「5 ng－50 ng の4点検量線（定量範囲 5 ng－50 ng）、重み付け有」であり、Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane 以外の50物質について良好な結果が得られた。本研究の結果として、室内濃度指針値代替化学物質（2-Ethyl-1-hexanol, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate）の測定に関しても、室内濃度指針値設定物質の標準試験法が適用可能であることが示された。

A. 目的

「室内空気中化学物質の測定マニュアル（室内空気中化学物質の採取方法と測定方法）」に掲載されるトルエン、*o*-, *p*-, *m*-キシレン及び *p*-ジクロロベンゼン等揮発性有機化合物の測定方法 第2報 固相吸着－加熱脱離－ガスクロマトグラフィー／質量分析法には、測定対象となる揮発性有機

化合物（VOC）類を捕集する捕集管として TenaxTA（2,6-Diphenyl-*p*-phenylene Oxide をベースにした弱極性のポラスポリマービーズ）をはじめとした吸着剤を充填した捕集管がいくつか例示されている。本研究では、それらのうち CarbotrapTM-217 捕集管（Or217 捕集管：CarbopackTM B および Carboxen[®] 1000 を充填し

たもの)を用いて、Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, 1,4-Dichlorobenzene, *n*-Tetradecane の室内濃度指針値策定物質、および 2-Ethyl-1-hexanol (2E1H), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate (TMPD-MIB), 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate (TMPD-DIB) の室内濃度指針値代替化学物質を含む VOC 類 53 物質の測定に関し、真度・併行精度・キャリーオーバーに関する検量線の妥当性評価を実施した。

B. 方法

1. 試薬および試料

VOC 類の標準品はシグマアルドリッチ製 Indoor Air Standard (VOC 50 mix : 50 components、各 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ メタノール溶液)、室内濃度指針値代替化学物質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 TMPD-MIB、東京化成製 TMPD-DIB を用いた。内部標準物質は住友精化製内部標準ガス (C_7H_8 - d_8 ・ $\text{C}_6\text{H}_5\text{F}$ ・ $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ - d_5 各 1 ppm / N_2 、加熱脱離装置による自動添加)、希釈溶媒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。捕集管はシグマアルドリッチ製 Or217 捕集管(ガラス製加熱脱離チューブ、ガラスフリット付、外径 1/4" × 長さ 3.5"、Carbopack B + Carboxen 1000 充填)を用いた。

2. 検量線の作成

VOC 50 mix 検量線

氷冷下において VOC 50 mix をメタノールで段階的に希釈し、2, 5, 10, 20, 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の 50 mix 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、窒素気流下(50 mL/分)にて予めクリーンアップした Or217 捕集管にマイクロシリンジ(ハミルトン製ゼロデッドボリュームタイプ、容量 2 μL)で 50 mix 標準系列を 1 μL 添加し、1 分 20 秒間静置して窒素を通気した後、加熱脱離装置用 DiffLok™ Cap にて密栓した。標準系列の本数分同じ操作を行い、

VOC 50 mix の検量線用試料を作成した。各検量線用試料に添加される VOC 50mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。

加熱脱離装置付ガスクロマトグラフ質量分析計(TD-GC/MS)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のピーク面積値と内部標準物質として加熱脱離装置内で捕集管に自動添加された 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測定対象物質の重量から VOC 50 mix 検量線を作成した。

VOC 3 mix 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 TMPD-MIB および TMPD-DIB 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 TMPD-MIB 標準原液と 10 mg/mL の TMPD-DIB 標準原液をメタノールで調製した。さらに、これら 3 種の標準原液を一定量分取、混合してメタノールで希釈し、2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB を各 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 含有する混合標準液(3 mix 混合標準液と略す)を調製した。

氷冷下において 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 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の 3 mix 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、窒素気流下(50 mL/分)にて予めクリーンアップした Or217 捕集管にマイクロシリンジ(ハミルトン製ゼロデッドボリュームタイプ、容量 2 μL)で 3 mix 標準系列を 1 μL 添加し、1 分 20 秒間静置して窒素を通気した後、加熱脱離装置用 DiffLok™ Cap にて密栓した。標準系列の本数分同じ操作を行い、VOC 3 mix の検量線用試料を作成した。各検量線用試料に添加される VOC 3mix の物質量は 2, 5, 10, 20, 50 ng となる。

TD-GC/MS 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のピーク面積値

と内部標準物質として加熱脱離装置内で捕集管に自動添加された 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測定対象物質の重量から VOC 3 mix 検量線を作成した。なお、TMPD-MIB については各異性体のピーク面積を合算した後、同様に検量線を作成した。

3. ブランク試料の分析

予めクリーンアップした Or217 捕集管をブランク試料として、TD-GC/MS にてブランク試料の測定を行った。得られた測定対象物質のピーク面積値と内部標準物質として加熱脱離装置内で捕集管に自動添加された Toluene- d_8 のピーク面積値を求め、これらの面積比と VOC 50 mix 検量線あるいは VOC 3 mix 検量線からブランク試料に含まれる測定対象物質の重量を算出した。

4. 分析装置および条件

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
- ・ 捕集管パーズ時間 : 10 分
- ・ 捕集管パーズ流量 : 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

GC/MS 条件

- ・ GC/MS 装置 : JMS-Q1500GC (GC: Agilent Technologies 製、MS: 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

C. 結果および考察

1. 検証に用いた VOC 類検量線

測定対象とした VOC 類 53 物質に関し、Or217 捕集管を用いて以下①～⑥の 6 種類の検量線を各 3 回ずつ作成し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインにおける検量線妥当性評価に倣い、真度と併行精度、キャリーオーバーを評価した。

	検量点	検量線の 範囲 (ng)	定量範囲 (ng)	重み付け
①	4	5-50	5-50	有
②	4	5-50	5-50	無
③	5	2-50	2-50	有
④	5	2-50	2-50	無
⑤	5	2-50	5-50	有
⑥	5	2-50	5-50	無

上記①～⑥の全ての検量線において、沸点の低い Acetone (56.1°C) は検量線に定量性が認められず、Methylene chloride (ジクロロメタン) (39.6°C) は 2, 5, 10 ng の検量点のピークが検出されなかったため、検量線の妥当性評価が実施不能であった。Or217 捕集管を用いた場合、今回の分析条件や濃度域での Acetone および Methylene chloride の測定は困難であった。

③～⑥の検量線においては、Chloroform (61.2°C) および 1,2-Dichloroethane (83.5°C) に関し、検量線の最下点である 2 ng の検量点のピークが検出されず、5 点検量線が作成できなかったため、これらの検量線の妥当性評価が実施不能であった。

2. 検量線の真度および併行精度

C.1 に示した①～⑥の検量線の真度および併行精度の評価を行った結果を表 1-1 から表 4-2 に示した。各表では測定対象の VOC 類 53 物質について GC/MS の保持時間順に記載（ピークを合算した TMPD-MIB については最終行に記載）した。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインにおいて検量線の目標値は、各検量点の真度が調製濃度の 80～120%以内であること、併行精度が相対標準偏差 20%以内であることとされている¹⁾。検量線妥当性評価の目標値を満たさなかったものには表中に色を付けて示した。加えて、C.1 で示した検量線の妥当性評価が実施不能であった物質は該当部分を斜線で示し、評価不能として表中(判定)に色を付けて示した。

①の検量線 (5 ng–50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5 ng–50 ng)、重み付け有) については、Acetone, Methylene chloride の 2 物質が評価不能であったが、その他の測定対象物質の真度・併行精度は全て目標値以内であった。(表 1-1 および表 1-2)

②の検量線 (5 ng–50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5 ng–50 ng)、重み付け無) については、評価不能であった Acetone, Methylene chloride の 2 物質以外にも 4 物質 (β -Pinene, Nonanal, TMPD-MIB, TMPD-DIB) で真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった。(表 2-1 および表 2-2)

③～⑥の検量線 (検量線の最下点を 2 ng とする 5 点検量線) については、Acetone, Methylene chloride, Chloroform, 1,2-Dichloroethane の 4 物質が評価不能であった他に、真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった物質があった (③: 2 物質 (Benzene, β -Pinene)、④: 21 物質、⑤: 2 物質 (Benzene, β -Pinene)、⑥: 2 物質 (β -Pinene, Nonanal))。(表 3-1, 表 3-2, 表 4-1 および表 4-2)

室内濃度指針値代替化学物質 (2E1H, TMPD-MIB, TMPD-DIB) については、重み付け有の検量線全て (①、③、⑤)、および重み付け無の⑥の検量線では 3 物質とも良好な評価結果が得られたが、重み付け無の検量線②、④の 3 物質のうちの一部で真度あるいは併行精度が目標値を満たさなかった。

3. キャリーオーバー

キャリーオーバーの確認として、検量線の測定の際、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、ブランク試料の測定結果 (面積値) を用いてキャリーオーバーの評価を行った。この結果を表 5 に示す。水道水質検査方法の妥当性評価ガイドラインでは、キャリーオーバーの目標として検量線濃度範囲の下限值を下回ること (定量下限値の 100%未満) とされている¹⁾。ブランク試料の面積値を、C.1 に示した①～⑥の各検量線において定量範囲の下限として設定した 2 ng あるいは 5 ng の検量線用試料の面積値と比較し、検量線妥当性評価の目標値を満たさなかったものには表中に色を付けて示した。加えて、C.1 で述べた検量線の妥当性評価が実施不能であったものについては該当部分を斜線で示し、評価不能として表中(判定)に色を付けて示した。

①および②の検量線 (5 ng–50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5 ng–50 ng)、重み付け有および無) では評価不能だった 2 物質 (Acetone, Methylene chloride) の他、1,2-Dichloroethane のキャリーオーバーが認められた。1,2-Dichloroethane については③～⑥の検量線では妥当性評価が実施不能であり、これにキャリーオーバーの結果を併せると全ての検量線で妥当性評価結果が目標値を満たさない結果となったことから、Or217 捕集管を用いた場合、今回の分析条件や濃度域での 1,2-Dichloroethane の測定は困難であった。

③および④の検量線 (2 ng–50 ng の 5 点検量線 (定量範囲 2 ng–50 ng)、重み付け有および無)

では評価不能だった4物質 (Acetone, Methylene chloride, Chloroform, 1,2-Dichloroethane) の他、Benzene のキャリアオーバーが認められた。

⑤および⑥の検量線 (2 ng–50 ng の5点検量線 (定量範囲 5 ng–50 ng)、重み付け有および無) では、評価不能だった4物質 (Acetone, Methylene chloride, Chloroform, 1,2-Dichloroethane) 以外にキャリアオーバーは認められなかった。

4. Or217 捕集管と TenaxTA 捕集管の妥当性評価結果比較

表6に、今回実施したOr217捕集管を用いた妥当性評価において真度・併行精度・キャリアオーバーのそれぞれの項目で良好な評価結果が得られた物質数を、C.1に示した①～⑥の検量線ごとに集計して記載した。併せて、真度・併行精度・キャリアオーバーの全てが良好だった物質数を集計し、総合として赤字で記載した。また、参考として既報²⁾のTenaxTA捕集管を用いた妥当性評価結果を同様に集計し表7に示した。

表6において①～⑥の検量線ごとの集計値を比較すると、検量線①が最も多く、検量線④が最も少なかった。このことから本研究において検証を行った検量線の中では、検量線① (5 ng–50 ng の4点検量線 (定量範囲 5 ng–50 ng)、重み付け有) が最適な検量線と考えられる。また、表7において同様に比較したところ、集計値が等しい箇所もあったが、表6と同じ傾向がみられた。

各検量線の重み付けの有無で比較を行ったところ、概ね、重み付け有の方が集計値が多く、良好な結果であった。また、表7において同様に比較したところ、集計値が等しい箇所もあったが、表6と同じ傾向がみられた。

表6と表7を比較すると、表7のTenaxTA捕集管の集計結果の方が表6のOr217捕集管の集計結果よりも各項目での集計値がやや多かったが、最適検量線であった①の検量線での総合の集計値はどちらの表でも同じ数値 (50 物質) であった。最適検量線を用いればどちらの捕集管を用いても

ほぼ同等な妥当性評価結果が得られると考えられる。ただし、その内訳は一部異なっており、Or217捕集管では Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane の3物質について評価結果が良好でないとして総合の集計値から除外され、TenaxTA捕集管では Ethanol, Acetone, Methylene chloride の3物質が除外されていた。例えば Ethanol を測定する必要がある場合などのような、主目的とする測定対象物質がある場合には、それぞれの特性などを踏まえて捕集管を選択する必要があると考えられる。

今回実施したOr217捕集管を用いた妥当性評価と既報²⁾のTenaxTA捕集管を用いた妥当性評価に関しては、捕集管の種類およびTD条件並びに妥当性評価の実施時期については異なっているが、検量線の作成方法や分析条件 (使用した機器、GCMSカラム、トラップ管、GC分析条件等) についてはほぼ同じ条件で実施しているため、表6と表7の差はそれぞれの捕集管からの加熱脱離状況に起因するものが多いと推測される。図1は各検量線の最大濃度である50 ngの検量線用試料のTICクロマトの一例であるが、捕集管によりピークの大きさに差が見られた物質があった。例えば Ethanol のピークはOr217捕集管の方がTenaxTA捕集管よりも大きかったが、TMPD-DIBのピークは逆にOr217捕集管の方が小さかった。同様に、Methylene chloride や Chloroform などの低沸点の塩素化炭化水素や、TMPD-MIB に関してもOr217捕集管のピークはTenaxTA捕集管と比べて小さかった。なお、ここで述べた物質は捕集管ごとの妥当性評価結果の比較において両捕集管での集計値に差が生じた物質であり (両捕集管において妥当性評価が実施不能であった Methylene chloride を除く)、ピークの大きさの差は妥当性評価結果の差の一因となっていることが推察される。

D. まとめ

CarbotrapTM-217捕集管 (Or217捕集管) を用いたVOC類53物質の測定について、6種類の検

量線を作成し真度・併行精度・キャリーオーバーに関する検量線の妥当性評価を実施した。

Acetone, Methylene chloride (ジクロロメタン)、および 1,2-Dichloroethane の 3 物質については妥当性評価結果が目標値を満たした検量線がなかったことから、Or217 捕集管を用いた場合、今回の分析条件や濃度域での測定は難しいものと考えられる。

6 種類の検量線のうち、妥当性評価の結果が最も良好だったものは「5 ng-50 ng の 4 点検量線 (定量範囲 5 ng-50 ng)、重み付け有」であり、Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane 以外の 50 物質について良好な評価結果が得られた。最も良好ではなかったものは「2 ng-50 ng の 5 点検量線 (定量範囲 2 ng-50 ng)、重み付け無」であり、良好な評価結果が得られたのは測定対象 53 物質のうち 28 物質だった。各検量線について重み付けの有無で比較を行ったところ、概ね、重み付け有の方が評価結果が良かった。

参考として既報²⁾の TenaxTA 捕集管を用いた妥当性評価結果を集計し、同様に比較をおこなったところ、妥当性評価結果が最も良好だった検量線と最も良好ではなかった検量線および重み付けの有無での評価結果の傾向が、Or217 捕集管での傾向と類似していた。また、Or217 捕集管、TenaxTA 捕集管とも、最適検量線においては評価結果が良好であった物質数がどちらも 50 物質であり、最適検量線を用いれば Or217 捕集管と TenaxTA 捕集管のどちらを用いてもほぼ同等の評価結果が得られると考えられる。ただし、その内訳は一部異なっており、評価結果が良好であった 50 物質に該当するのは Or217 捕集管では Acetone, Methylene chloride, 1,2-Dichloroethane の 3 物質以外、TenaxTA 捕集管では Ethanol, Acetone, Methylene chloride の 3 物質以外であった。例えば Ethanol を測定する必要がある場合などのような、主目的とする測定対象物質がある場合にはそれぞれの特性などを踏まえて捕集管を選択する必要があると考えられる。

【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) 酒井、他，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，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，令和 5 年 3 月

E. 健康危機情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yoshitomi T, Nishi I, Onuki A, Tsunoda T, Chiba M, Oizumi S, Tanaka R, Muraki S, Oshima N, Uemura H, Tahara M, Sakai S: Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction, *BPB Reports*, **6**, 76-80 (2023).
- 2) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno H: Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality, *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：シリコーン含有製品から放散するシロキサン

類の GC-MS/MS 分析, 第 31 回環境化学討論会, 徳島, 2023 年 5 月

- 2) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: GC-MS/MS を利用した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, 第 31 回環境化学討論会, 徳島, 2023 年 5 月
- 3) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明, 大泉詩織, 岩館樹里, 今野鈴子, 大槻良子, 草原紀子, 大竹正芳, 角田徳子, 上村仁, 田中礼子, 高居久義, 渡邊好介, 堀井裕子, 望月映希, 羽田好孝, 山本優子, 若山貴成, 小寺明, 吉田俊明, 古市裕子, 八木正博, 伊達英代, 高木春佳, 島田友梨, 松永尚子, 田崎盛也: 令和 4 年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 4) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内空気におけるアルキルフェノール類, ビスフェノール類の実態調査, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 5) 酒井信夫: 室内空気中化学物質の規制に関する最新情報, 第 60 回全国衛生化学技術協議会年会, 福島, 2023 年 11 月
- 6) 田原麻衣子, 大貫文, 角田徳子, 大泉詩織, 千葉真弘, 酒井信夫, 五十嵐良明: VOC およびフタル酸エステル類の分析におけるカーボン系捕集管の適用の検討, 2023 年室内環境学会学術大会, 沖縄, 2023 年 11 月
- 7) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: 一般居住住宅における室内空気中ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの全国実態調査, 2023 年室内環境学会学術大会, 沖縄, 2023 年 11 月
- 8) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 上村仁, 酒

井信夫: 室内濃度指針値が設定された準揮発性有機化合物の一斉分析法について, 令和 5 年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部 第 36 回理化学研究部会, 浜松, 2024 年 2 月

- 9) 大貫文, 田原麻衣子, 酒井信夫, 高木規峰野, 田中礼子, 村木沙織, 斎藤育江, 千葉真弘, 大泉詩織, 大野浩之, 若山貴成, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 香川 (田中) 聡子, 神野透人: 空気試験法: フタル酸ジ-n-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量(新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 10) 香川 (田中) 聡子, 森葉子, 田原麻衣子, 大河原晋, 磯部隆史, 大貫文, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 埴岡伸光, 酒井信夫, 神野透人: 空気試験法: 総揮発性有機化合物 (新規): 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 11) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内環境中のハウスダストにおけるアルキルフェノール類とビスフェノール類の抽出及び精製法の検討と住宅における実態調査, 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 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

表1-1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(①)の真度
5 ng-50 ngの4点検量線(定量範囲5 ng-50 ng)、重み付けあり

化合物名	含有量(ng)	真度(%)							判定※
		STD1	STD2	STD3	STD4	真度範囲			
		5	10	20	50				
Ethanol		103.8	92.0	98.8	105.5	92.0	~	105.5	○
Acetone									—
2-Propanol		100.9	97.2	102.0	99.9	97.2	~	102.0	○
Methylene chloride									—
1-Propanol		99.7	99.0	104.2	97.0	97.0	~	104.2	○
2-Butanone		101.6	97.7	96.5	104.2	96.5	~	104.2	○
Hexane		98.6	103.5	99.1	98.8	98.6	~	103.5	○
Ethyl Acetate		99.9	101.8	95.5	102.8	95.5	~	102.8	○
Chloroform		101.0	98.4	97.9	102.6	97.9	~	102.6	○
2,4-Dimethylpentane		98.9	102.8	99.3	99.1	98.9	~	102.8	○
1,2-Dichloroethane		100.3	98.8	101.7	99.3	98.8	~	101.7	○
Benzene		100.7	98.3	100.4	100.6	98.3	~	100.7	○
<i>n</i> -Butanol		102.4	95.3	98.4	103.9	95.3	~	103.9	○
1,2-Dichloropropane		99.5	101.7	98.6	100.2	98.6	~	101.7	○
Iso-octane		99.2	102.0	99.7	99.2	99.2	~	102.0	○
Trichloroethylene		99.3	102.1	98.5	100.1	98.5	~	102.1	○
Bromodichloromethane		100.0	100.8	97.9	101.3	97.9	~	101.3	○
<i>n</i> -Heptane		99.6	101.2	99.0	100.1	99.0	~	101.2	○
4-Methyl-2-pentanone		100.9	98.2	99.2	101.7	98.2	~	101.7	○
Toluene		99.9	100.4	99.2	100.4	99.2	~	100.4	○
Dibromochloromethane		100.7	98.3	100.2	100.8	98.3	~	100.8	○
<i>n</i> -Octane		100.3	99.5	99.2	101.0	99.2	~	101.0	○
<i>n</i> -Butyl Acetate		100.7	98.0	101.1	100.2	98.0	~	101.1	○
Tetrachloroethene		99.8	100.4	100.3	99.6	99.6	~	100.4	○
Ethylbenzene		100.1	99.8	99.8	100.3	99.8	~	100.3	○
<i>m</i> -Xylene		101.1	98.0	98.7	102.2	98.0	~	102.2	○
<i>p</i> -Xylene		99.2	101.5	100.8	98.5	98.5	~	101.5	○
Styrene		101.0	98.1	99.2	101.7	98.1	~	101.7	○
<i>o</i> -Xylene		100.2	99.5	100.3	100.1	99.5	~	100.3	○
<i>n</i> -Nonane		100.3	99.5	99.3	100.8	99.3	~	100.8	○
α -pinene		103.3	94.3	95.3	107.1	94.3	~	107.1	○
3-Ethyltoluene		100.2	99.6	100.0	100.2	99.6	~	100.2	○
4-Ethyltoluene		100.0	100.0	99.9	100.1	99.9	~	100.1	○
1,3,5-Trimethylbenzene		100.2	99.6	99.9	100.3	99.6	~	100.3	○
2-Ethyltoluene		100.2	99.5	100.0	100.3	99.5	~	100.3	○
β -Pinene		107.9	85.8	90.7	115.7	85.8	~	115.7	△
1,2,4-Trimethylbenzene		100.2	99.7	99.7	100.5	99.7	~	100.5	○
<i>n</i> -Decane		100.0	100.3	99.6	100.2	99.6	~	100.3	○
1,4-Dichlorobenzene		100.0	99.9	100.4	99.7	99.7	~	100.4	○
2E1H		100.0	103.2	91.7	105.1	91.7	~	105.1	○
1,2,3-Trimethylbenzene		100.1	99.8	99.9	100.2	99.8	~	100.2	○
Limonene		100.7	98.9	99.0	101.5	98.9	~	101.5	○
Nonanal		100.6	97.8	102.2	99.4	97.8	~	102.2	○
<i>n</i> -Undecane		99.9	100.4	99.3	100.3	99.3	~	100.4	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene		100.2	99.7	99.7	100.5	99.7	~	100.5	○
Decanal		101.0	97.9	99.6	101.5	97.9	~	101.5	○
<i>n</i> -Dodecane		99.4	101.2	100.4	99.0	99.0	~	101.2	○
<i>n</i> -Tridecane		100.3	99.6	99.4	100.7	99.4	~	100.7	○
<i>n</i> -Tetradecane		101.4	97.8	97.4	103.3	97.4	~	103.3	○
<i>n</i> -Pentadecane		101.8	97.7	95.2	105.3	95.2	~	105.3	○
<i>n</i> -Hexadecane		98.7	105.0	94.3	101.9	94.3	~	105.0	○
TMPD-DIB		97.1	107.1	98.8	97.1	97.1	~	107.1	○
TMPD-MIB		95.5	111.7	95.7	97.1	95.5	~	111.7	△

※真度 ○ : 90~110%以内、△ : 80~120%以内、× : 80~120%を超過、
— : 評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など) 24

表1-2 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(①)の併行精度
5 ng-50 ngの4点検量線(定量範囲5 ng-50 ng)、重み付けあり

化合物名	含有量(ng)	併行精度(%)							判定※
		STD1	STD2	STD3	STD4	併行精度範囲			
		5	10	20	50				
Ethanol		5.1	15.1	5.6	3.2	3.2	~	15.1	△
Acetone									—
2-Propanol		4.2	9.9	3.1	5.6	3.1	~	9.9	○
Methylene chloride									—
1-Propanol		3.2	6.9	1.2	4.6	1.2	~	6.9	○
2-Butanone		1.8	4.6	2.1	1.7	1.7	~	4.6	○
Hexane		1.8	4.3	1.1	1.6	1.1	~	4.3	○
Ethyl Acetate		1.0	2.2	1.7	1.7	1.0	~	2.2	○
Chloroform		1.8	1.1	8.3	7.1	1.1	~	8.3	○
2,4-Dimethylpentane		2.1	5.2	1.8	1.6	1.6	~	5.2	○
1,2-Dichloroethane		4.1	9.5	4.6	5.8	4.1	~	9.5	○
Benzene		3.4	9.8	6.3	2.7	2.7	~	9.8	○
<i>n</i> -Butanol		2.4	7.4	4.5	1.2	1.2	~	7.4	○
1,2-Dichloropropane		2.0	4.9	1.6	1.6	1.6	~	4.9	○
Iso-octane		2.2	5.4	1.7	1.7	1.7	~	5.4	○
Trichloroethylene		1.6	4.1	2.1	1.6	1.6	~	4.1	○
Bromodichloromethane		1.4	3.7	2.3	1.2	1.2	~	3.7	○
<i>n</i> -Heptane		2.1	5.2	1.3	1.9	1.3	~	5.2	○
4-Methyl-2-pentanone		2.2	6.0	2.6	1.5	1.5	~	6.0	○
Toluene		1.2	3.0	0.8	1.0	0.8	~	3.0	○
Dibromochloromethane		2.5	7.3	4.0	1.1	1.1	~	7.3	○
<i>n</i> -Octane		1.6	3.9	1.1	1.4	1.1	~	3.9	○
<i>n</i> -Butyl Acetate		1.7	2.7	3.9	4.5	1.7	~	4.5	○
Tetrachloroethene		2.0	5.4	2.4	1.4	1.4	~	5.4	○
Ethylbenzene		1.7	4.6	2.1	1.0	1.0	~	4.6	○
<i>m</i> -Xylene		2.9	6.6	1.7	3.9	1.7	~	6.6	○
<i>p</i> -Xylene		1.7	4.1	4.5	3.6	1.7	~	4.5	○
Styrene		2.0	5.8	3.0	0.8	0.8	~	5.8	○
<i>o</i> -Xylene		2.0	5.5	2.8	1.1	1.1	~	5.5	○
<i>n</i> -Nonane		1.7	4.7	2.1	0.9	0.9	~	4.7	○
α -pinene		3.3	6.7	6.2	6.8	3.3	~	6.8	○
3-Ethyltoluene		1.9	5.3	2.8	0.8	0.8	~	5.3	○
4-Ethyltoluene		1.9	5.3	2.9	0.6	0.6	~	5.3	○
1,3,5-Trimethylbenzene		1.9	5.2	2.3	0.9	0.9	~	5.2	○
2-Ethyltoluene		1.9	5.3	2.7	0.9	0.9	~	5.3	○
β -Pinene		6.6	11.6	18.0	16.5	6.6	~	18.0	△
1,2,4-Trimethylbenzene		1.8	4.9	2.5	0.7	0.7	~	4.9	○
<i>n</i> -Decane		1.6	4.5	2.5	0.5	0.5	~	4.5	○
1,4-Dichlorobenzene		1.9	5.1	2.2	1.2	1.2	~	5.1	○
2E1H		2.6	6.8	3.2	1.5	1.5	~	6.8	○
1,2,3-Trimethylbenzene		1.9	5.2	2.2	1.1	1.1	~	5.2	○
Limonene		3.4	9.2	6.5	4.1	3.4	~	9.2	○
Nonanal		5.0	10.6	7.5	9.3	5.0	~	10.6	△
<i>n</i> -Undecane		1.9	5.3	3.1	0.7	0.7	~	5.3	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene		1.8	5.0	2.5	0.9	0.9	~	5.0	○
Decanal		3.3	8.5	7.3	5.8	3.3	~	8.5	○
<i>n</i> -Dodecane		2.0	5.9	4.0	1.2	1.2	~	5.9	○
<i>n</i> -Tridecane		1.9	5.6	4.3	1.7	1.7	~	5.6	○
<i>n</i> -Tetradecane		1.7	4.7	3.9	2.8	1.7	~	4.7	○
<i>n</i> -Pentadecane		2.4	5.9	3.9	3.7	2.4	~	5.9	○
<i>n</i> -Hexadecane		2.7	4.2	4.5	5.8	2.7	~	5.8	○
TMPD-DIB		3.8	8.1	7.7	6.8	3.8	~	8.1	○
TMPD-MIB		2.1	6.8	12.8	7.2	2.1	~	12.8	△

※併行精度 ○ : 0~10%以内、△ : 10~20%以内、× : 20%を超過、
— : 評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表2-1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(②)の真度
5 ng-50 ngの4点検量線(定量範囲5 ng-50 ng)、重み付けなし

化合物名	含有量(ng)	真度(%)							判定※
		STD1	STD2	STD3	STD4	真度範囲			
		5	10	20	50				
Ethanol		115.6	95.8	97.0	100.5	95.8	~	115.6	△
Acetone									—
2-Propanol		99.5	97.2	102.0	99.8	97.2	~	102.0	○
Methylene chloride									—
1-Propanol		91.3	97.0	105.3	99.4	91.3	~	105.3	○
2-Butanone		111.4	100.4	95.5	100.6	95.5	~	111.4	△
Hexane		95.6	103.0	99.6	100.0	95.6	~	103.0	○
Ethyl Acetate		106.8	103.7	95.0	100.6	95.0	~	106.8	○
Chloroform		106.2	99.8	97.8	100.3	97.8	~	106.2	○
2,4-Dimethylpentane		96.7	102.4	99.6	100.0	96.7	~	102.4	○
1,2-Dichloroethane		97.5	98.4	102.0	99.8	97.5	~	102.0	○
Benzene		102.0	98.7	100.2	100.0	98.7	~	102.0	○
<i>n</i> -Butanol		111.4	97.8	97.2	100.4	97.2	~	111.4	△
1,2-Dichloropropane		100.1	102.0	98.6	100.1	98.6	~	102.0	○
Iso-octane		97.1	101.6	100.0	100.0	97.1	~	101.6	○
Trichloroethylene		99.6	102.4	98.6	100.1	98.6	~	102.4	○
Bromodichloromethane		103.3	101.6	97.7	100.3	97.7	~	103.3	○
<i>n</i> -Heptane		99.9	101.5	99.0	100.1	99.0	~	101.5	○
4-Methyl-2-pentanone		104.8	99.3	98.7	100.2	98.7	~	104.8	○
Toluene		101.0	100.8	99.1	100.1	99.1	~	101.0	○
Dibromochloromethane		102.5	98.8	99.9	100.0	98.8	~	102.5	○
<i>n</i> -Octane		102.6	100.2	98.9	100.1	98.9	~	102.6	○
<i>n</i> -Butyl Acetate		100.6	98.0	101.1	99.9	98.0	~	101.1	○
Tetrachloroethene		98.7	100.2	100.4	99.9	98.7	~	100.4	○
Ethylbenzene		100.9	100.0	99.7	100.0	99.7	~	100.9	○
<i>m</i> -Xylene		106.0	99.4	98.1	100.3	98.1	~	106.0	○
<i>p</i> -Xylene		95.2	100.5	101.4	99.8	95.2	~	101.4	○
Styrene		105.1	99.1	98.7	100.2	98.7	~	105.1	○
<i>o</i> -Xylene		100.2	99.5	100.2	100.0	99.5	~	100.2	○
<i>n</i> -Nonane		102.4	100.1	99.1	100.1	99.1	~	102.4	○
α -pinene		118.2	98.8	93.9	100.8	93.9	~	118.2	△
3-Ethyltoluene		100.6	99.8	100.0	100.0	99.8	~	100.6	○
4-Ethyltoluene		100.4	100.1	99.8	100.0	99.8	~	100.4	○
1,3,5-Trimethylbenzene		100.9	99.8	99.8	100.0	99.8	~	100.9	○
2-Ethyltoluene		100.8	99.6	99.9	100.0	99.6	~	100.8	○
β -Pinene		134.3	95.8	90.0	101.4	90.0	~	134.3	×
1,2,4-Trimethylbenzene		101.3	100.0	99.5	100.1	99.5	~	101.3	○
<i>n</i> -Decane		100.5	100.5	99.5	100.1	99.5	~	100.5	○
1,4-Dichlorobenzene		99.2	99.7	100.5	99.9	99.2	~	100.5	○
2E1H		112.3	106.5	91.1	101.0	91.1	~	112.3	△
1,2,3-Trimethylbenzene		100.4	100.0	99.9	100.0	99.9	~	100.4	○
Limonene		103.8	99.8	98.7	100.2	98.7	~	103.8	○
Nonanal		96.9	97.5	102.9	99.7	96.9	~	102.9	○
<i>n</i> -Undecane		100.7	100.7	99.3	100.1	99.3	~	100.7	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene		101.3	100.0	99.5	100.1	99.5	~	101.3	○
Decanal		103.8	98.7	99.4	100.1	98.7	~	103.8	○
<i>n</i> -Dodecane		96.9	100.6	100.7	99.9	96.9	~	100.7	○
<i>n</i> -Tridecane		102.0	100.0	99.2	100.1	99.2	~	102.0	○
<i>n</i> -Tetradecane		109.1	99.9	96.6	100.5	96.6	~	109.1	○
<i>n</i> -Pentadecane		113.8	101.0	94.2	100.8	94.2	~	113.8	△
<i>n</i> -Hexadecane		103.1	106.5	94.5	100.6	94.5	~	106.5	○
TMPD-DIB		88.6	105.8	100.4	99.8	88.6	~	105.8	△
TMPD-MIB		87.5	110.4	97.7	100.1	87.5	~	110.4	△

※真度 ○ : 90~110%以内、△ : 80~120%以内、× : 80~120%を超過、
— : 評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表2-2 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(②)の併行精度
5 ng-50 ngの4点検量線(定量範囲5 ng-50 ng)、重み付けなし

化合物名	含有量(ng)	併行精度(%)							判定※
		STD1	STD2	STD3	STD4	併行精度範囲			
		5	10	20	50				
Ethanol	9.6	12.0	3.8	0.3	0.3	~	12.0	△	
Acetone								—	
2-Propanol	17.8	7.5	3.9	0.6	0.6	~	17.8	△	
Methylene chloride								—	
1-Propanol	17.0	4.6	3.0	0.5	0.5	~	17.0	△	
2-Butanone	4.7	3.7	1.9	0.2	0.2	~	4.7	○	
Hexane	6.0	3.7	0.4	0.0	0.0	~	6.0	○	
Ethyl Acetate	4.5	1.8	1.9	0.2	0.2	~	4.5	○	
Chloroform	18.7	3.9	10.3	1.2	1.2	~	18.7	△	
2,4-Dimethylpentane	6.0	4.7	1.1	0.0	0.0	~	6.0	○	
1,2-Dichloroethane	18.9	7.8	5.4	0.7	0.7	~	18.9	△	
Benzene	8.0	10.1	6.0	0.6	0.6	~	10.1	△	
<i>n</i> -Butanol	3.5	7.1	4.1	0.4	0.4	~	7.1	○	
1,2-Dichloropropane	5.7	4.3	1.1	0.1	0.1	~	5.7	○	
Iso-octane	6.4	4.8	0.9	0.0	0.0	~	6.4	○	
Trichloroethylene	5.1	3.8	1.9	0.2	0.2	~	5.1	○	
Bromodichloromethane	3.6	3.6	2.2	0.2	0.2	~	3.6	○	
<i>n</i> -Heptane	6.6	4.3	0.5	0.0	0.0	~	6.6	○	
4-Methyl-2-pentanone	5.2	5.4	2.0	0.2	0.2	~	5.4	○	
Toluene	3.6	2.5	0.3	0.0	0.0	~	3.6	○	
Dibromochloromethane	4.2	7.2	3.5	0.3	0.3	~	7.2	○	
<i>n</i> -Octane	4.7	3.3	0.7	0.1	0.1	~	4.7	○	
<i>n</i> -Butyl Acetate	13.3	1.4	5.4	0.7	0.7	~	13.3	△	
Tetrachloroethene	5.1	5.1	2.0	0.2	0.2	~	5.1	○	
Ethylbenzene	3.9	4.3	1.6	0.1	0.1	~	4.3	○	
<i>m</i> -Xylene	10.9	4.5	2.4	0.4	0.4	~	10.9	△	
<i>p</i> -Xylene	11.1	4.5	5.4	0.7	0.7	~	11.1	△	
Styrene	3.2	5.5	2.5	0.2	0.2	~	5.5	○	
<i>o</i> -Xylene	4.2	5.4	2.4	0.2	0.2	~	5.4	○	
<i>n</i> -Nonane	3.5	4.4	1.6	0.1	0.1	~	4.4	○	
α -pinene	14.6	3.9	6.9	0.8	0.8	~	14.6	△	
3-Ethyltoluene	3.3	5.3	2.4	0.2	0.2	~	5.3	○	
4-Ethyltoluene	2.9	5.3	2.4	0.2	0.2	~	5.3	○	
1,3,5-Trimethylbenzene	3.8	4.9	1.8	0.1	0.1	~	4.9	○	
2-Ethyltoluene	3.8	5.2	2.2	0.2	0.2	~	5.2	○	
β -Pinene	26.2	2.9	16.5	1.9	1.9	~	26.2	×	
1,2,4-Trimethylbenzene	3.1	4.7	2.0	0.2	0.2	~	4.7	○	
<i>n</i> -Decane	2.4	4.5	2.2	0.2	0.2	~	4.5	○	
1,4-Dichlorobenzene	4.6	4.8	1.7	0.1	0.1	~	4.8	○	
2E1H	5.0	5.9	2.4	0.2	0.2	~	5.9	○	
1,2,3-Trimethylbenzene	4.2	4.8	1.7	0.1	0.1	~	4.8	○	
Limonene	11.5	9.1	6.6	0.7	0.7	~	11.5	△	
Nonanal	27.5	8.4	9.4	1.3	1.3	~	27.5	×	
<i>n</i> -Undecane	3.0	5.3	2.7	0.2	0.2	~	5.3	○	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	3.5	4.8	2.1	0.2	0.2	~	4.8	○	
Decanal	15.5	8.4	8.5	1.0	1.0	~	15.5	△	
<i>n</i> -Dodecane	4.0	6.3	3.9	0.4	0.4	~	6.3	○	
<i>n</i> -Tridecane	4.7	5.9	4.2	0.4	0.4	~	5.9	○	
<i>n</i> -Tetradecane	7.0	4.4	4.1	0.5	0.5	~	7.0	○	
<i>n</i> -Pentadecane	9.2	4.6	4.1	0.5	0.5	~	9.2	○	
<i>n</i> -Hexadecane	16.2	1.1	5.8	0.8	0.8	~	16.2	△	
TMPD-DIB	22.4	8.7	9.3	1.1	1.1	~	22.4	×	
TMPD-MIB	21.5	10.6	14.2	1.6	1.6	~	21.5	×	

※併行精度 ○ : 0~10%以内、△ : 10~20%以内、× : 20%を超過、
— : 評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表3-1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(㊸および㊹)の真度
2 ng-50 ngの5点検量線(定量範囲2 ng-50 ng(㊸)および5 ng-50 ng(㊹))、重み付けあり

化合物名	真度(%)													
	含有量 (ng)	STD					定量範囲 2ng-50ng				定量範囲 5ng-50ng			
		2	5	10	20	50	真度範囲		判定*	真度範囲		判定*		
Ethanol	106.2	88.2	88.1	103.0	114.5	88.1	~	114.5	△	88.1	~	114.5	△	
Acetone									—				—	
2-Propanol	100.7	98.9	96.9	102.6	100.8	96.9	~	102.6	○	96.9	~	102.6	○	
Methylene chloride									—				—	
1-Propanol	102.6	92.9	98.2	106.2	100.2	92.9	~	106.2	○	92.9	~	106.2	○	
2-Butanone	106.9	84.0	94.6	100.6	113.9	84.0	~	113.9	△	84.0	~	113.9	△	
Hexane	98.9	101.7	103.9	98.4	97.3	97.3	~	103.9	○	97.3	~	103.9	○	
Ethyl Acetate	103.7	90.4	100.4	97.7	107.9	90.4	~	107.9	○	90.4	~	107.9	○	
Chloroform									—				—	
2,4-Dimethylpentane	98.9	101.9	103.1	98.5	97.6	97.6	~	103.1	○	97.6	~	103.1	○	
1,2-Dichloroethane									—				—	
Benzene	104.2	90.4	95.3	103.7	106.5	90.4	~	106.5	○	90.4	~	106.5	○	
n-Butanol	104.2	91.7	93.2	101.2	109.7	91.7	~	109.7	○	91.7	~	109.7	○	
1,2-Dichloropropane	99.7	100.3	101.8	98.4	99.8	98.4	~	101.8	○	98.4	~	101.8	○	
Iso-octane	99.3	101.0	102.2	99.2	98.3	98.3	~	102.2	○	98.3	~	102.2	○	
Trichloroethylene	100.2	98.9	102.0	98.6	100.3	98.6	~	102.0	○	98.6	~	102.0	○	
Bromodichloromethane	102.8	92.7	99.6	99.8	105.1	92.7	~	105.1	○	92.7	~	105.1	○	
n-Heptane	101.0	97.2	100.8	99.6	101.4	97.2	~	101.4	○	97.2	~	101.4	○	
4-Methyl-2-pentanone	102.9	93.5	96.9	101.1	105.6	93.5	~	105.6	○	93.5	~	105.6	○	
Toluene	102.5	93.5	99.4	100.9	103.7	93.5	~	103.7	○	93.5	~	103.7	○	
Dibromochloromethane	101.8	96.1	97.5	101.5	103.2	96.1	~	103.2	○	96.1	~	103.2	○	
n-Octane	101.5	96.6	99.0	100.1	102.9	96.6	~	102.9	○	96.6	~	102.9	○	
n-Butyl Acetate	104.0	90.5	96.2	103.7	105.6	90.5	~	105.6	○	90.5	~	105.6	○	
Tetrachloroethene	100.3	98.9	100.2	100.5	100.0	98.9	~	100.5	○	98.9	~	100.5	○	
Ethylbenzene	101.0	97.4	99.3	100.5	101.7	97.4	~	101.7	○	97.4	~	101.7	○	
m-Xylene	101.3	97.7	97.4	99.6	104.0	97.4	~	104.0	○	97.4	~	104.0	○	
p-Xylene	100.6	97.8	101.2	101.2	99.2	97.8	~	101.2	○	97.8	~	101.2	○	
Styrene	102.1	95.7	97.1	100.6	104.5	95.7	~	104.5	○	95.7	~	104.5	○	
o-Xylene	101.1	97.2	99.0	101.1	101.6	97.2	~	101.6	○	97.2	~	101.6	○	
n-Nonane	101.7	96.1	98.8	100.4	103.1	96.1	~	103.1	○	96.1	~	103.1	○	
α-pinene	105.7	89.1	91.0	98.5	115.8	89.1	~	115.8	△	89.1	~	115.8	△	
3-Ethyltoluene	101.0	97.5	99.2	100.8	101.6	97.5	~	101.6	○	97.5	~	101.6	○	
4-Ethyltoluene	100.8	97.9	99.6	100.4	101.2	97.9	~	101.2	○	97.9	~	101.2	○	
1,3,5-Trimethylbenzene	100.9	98.0	99.2	100.5	101.4	98.0	~	101.4	○	98.0	~	101.4	○	
2-Ethyltoluene	101.2	97.2	98.9	100.9	101.8	97.2	~	101.8	○	97.2	~	101.8	○	
β-Pinene	111.1	81.0	77.8	95.4	134.7	77.8	~	134.7	×	77.8	~	134.7	×	
1,2,4-Trimethylbenzene	101.2	97.2	99.1	100.5	102.0	97.2	~	102.0	○	97.2	~	102.0	○	
n-Decane	101.4	96.2	99.7	100.5	102.1	96.2	~	102.1	○	96.2	~	102.1	○	
1,4-Dichlorobenzene	100.9	97.8	99.5	101.0	100.8	97.8	~	101.0	○	97.8	~	101.0	○	
2E1H	103.4	91.4	101.9	93.5	109.9	91.4	~	109.9	○	91.4	~	109.9	○	
1,2,3-Trimethylbenzene	101.1	97.2	99.4	100.7	101.6	97.2	~	101.6	○	97.2	~	101.6	○	
Limonene	99.9	100.9	98.8	98.9	101.5	98.8	~	101.5	○	98.8	~	101.5	○	
Nonanal	100.0	100.4	98.3	101.8	99.5	98.3	~	101.8	○	98.3	~	101.8	○	
n-Undecane	101.3	96.5	99.9	100.2	102.1	96.5	~	102.1	○	96.5	~	102.1	○	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	101.3	97.0	99.1	100.5	102.1	97.0	~	102.1	○	97.0	~	102.1	○	
Decanal	100.8	98.9	97.8	99.6	102.9	97.8	~	102.9	○	97.8	~	102.9	○	
n-Dodecane	101.0	96.9	100.8	101.0	100.3	96.9	~	101.0	○	96.9	~	101.0	○	
n-Tridecane	102.2	94.6	98.6	100.9	103.7	94.6	~	103.7	○	94.6	~	103.7	○	
n-Tetradecane	102.6	94.6	96.6	99.1	107.0	94.6	~	107.0	○	94.6	~	107.0	○	
n-Pentadecane	102.2	96.2	96.9	96.6	108.2	96.2	~	108.2	○	96.2	~	108.2	○	
n-Hexadecane	98.0	103.8	105.9	93.5	98.8	93.5	~	105.9	○	93.5	~	105.9	○	
TMPD-DIB	101.3	93.5	106.6	100.0	98.5	93.5	~	106.6	○	93.5	~	106.6	○	
TMPD-MIB	95.4	107.8	112.6	93.1	91.1	91.1	~	112.6	△	91.1	~	112.6	△	

※真度 ○：90~110%以内、△：80~120%以内、×：80~120%を超過、—：評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表3-2 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(③および⑤)の併行精度
2 ng-50 ngの5点検量線(定量範囲2 ng-50 ng(③)および5 ng-50 ng(⑤))、重み付けあり

化合物名	併行精度(%)													
	含有量 (ng)	STD					定量範囲 2ng-50ng				定量範囲 5ng-50ng			
		2	5	10	20	50	併行精度範囲		判定*	併行精度範囲		判定*		
Ethanol	2.5	3.5	19.2	7.4	6.5	2.5	~	19.2	△	3.5	~	19.2	△	
Acetone									—				—	
2-Propanol	1.6	7.2	9.9	4.2	4.3	1.6	~	9.9	○	4.2	~	9.9	○	
Methylene chloride									—				—	
1-Propanol	3.5	13.8	5.9	3.6	0.2	0.2	~	13.8	△	0.2	~	13.8	△	
2-Butanone	4.3	14.4	5.7	1.8	6.9	1.8	~	14.4	△	1.8	~	14.4	△	
Hexane	1.1	2.8	4.4	1.6	2.6	1.1	~	4.4	○	1.6	~	4.4	○	
Ethyl Acetate	1.7	4.0	3.0	1.9	3.8	1.7	~	4.0	○	1.9	~	4.0	○	
Chloroform									—				—	
2,4-Dimethylpentane	1.4	1.8	5.5	2.6	3.2	1.4	~	5.5	○	1.8	~	5.5	○	
1,2-Dichloroethane									—				—	
Benzene	11.6	31.1	14.9	11.8	17.5	11.6	~	31.1	×	11.8	~	31.1	×	
n-Butanol	2.0	6.3	8.4	5.5	1.7	1.7	~	8.4	○	1.7	~	8.4	○	
1,2-Dichloropropane	0.4	1.2	5.0	1.8	2.1	0.4	~	5.0	○	1.2	~	5.0	○	
Iso-octane	0.9	0.9	5.6	2.2	2.7	0.9	~	5.6	○	0.9	~	5.6	○	
Trichloroethylene	0.9	0.7	4.4	2.4	2.6	0.7	~	4.4	○	0.7	~	4.4	○	
Bromodichloromethane	1.6	3.1	4.5	3.2	3.0	1.6	~	4.5	○	3.0	~	4.5	○	
n-Heptane	0.8	2.6	5.4	1.4	2.6	0.8	~	5.4	○	1.4	~	5.4	○	
4-Methyl-2-pentanone	0.9	2.0	6.7	3.2	2.1	0.9	~	6.7	○	2.0	~	6.7	○	
Toluene	1.9	5.8	3.2	1.3	2.6	1.3	~	5.8	○	1.3	~	5.8	○	
Dibromochloromethane	0.6	2.0	7.8	4.5	1.3	0.6	~	7.8	○	1.3	~	7.8	○	
n-Octane	0.4	2.8	3.9	0.9	0.9	0.4	~	3.9	○	0.9	~	3.9	○	
n-Butyl Acetate	2.5	5.8	3.9	2.2	7.7	2.2	~	7.7	○	2.2	~	7.7	○	
Tetrachloroethene	0.2	2.4	5.4	2.4	1.2	0.2	~	5.4	○	1.2	~	5.4	○	
Ethylbenzene	0.6	2.0	4.8	2.4	1.2	0.6	~	4.8	○	1.2	~	4.8	○	
m-Xylene	0.3	3.4	6.8	2.0	3.7	0.3	~	6.8	○	2.0	~	6.8	○	
p-Xylene	1.4	5.0	4.1	5.4	1.8	1.4	~	5.4	○	1.8	~	5.4	○	
Styrene	0.5	0.9	6.3	3.4	1.3	0.5	~	6.3	○	0.9	~	6.3	○	
o-Xylene	0.6	2.4	5.8	3.1	1.0	0.6	~	5.8	○	1.0	~	5.8	○	
n-Nonane	0.4	2.2	4.9	2.2	1.0	0.4	~	4.9	○	1.0	~	4.9	○	
α-pinene	5.0	11.2	10.4	6.2	12.9	5.0	~	12.9	△	6.2	~	12.9	△	
3-Ethyltoluene	0.6	2.1	5.5	3.1	1.0	0.6	~	5.5	○	1.0	~	5.5	○	
4-Ethyltoluene	0.6	1.7	5.5	3.2	1.1	0.6	~	5.5	○	1.1	~	5.5	○	
1,3,5-Trimethylbenzene	0.5	2.0	5.3	2.5	1.3	0.5	~	5.3	○	1.3	~	5.3	○	
2-Ethyltoluene	0.7	2.3	5.6	3.0	1.2	0.7	~	5.6	○	1.2	~	5.6	○	
β-Pinene	4.7	5.0	20.4	18.7	23.9	4.7	~	23.9	×	5.0	~	23.9	×	
1,2,4-Trimethylbenzene	0.7	2.1	5.1	2.7	1.2	0.7	~	5.1	○	1.2	~	5.1	○	
n-Decane	0.4	2.3	4.6	2.6	0.5	0.4	~	4.6	○	0.5	~	4.6	○	
1,4-Dichlorobenzene	0.8	3.0	5.2	2.4	1.2	0.8	~	5.2	○	1.2	~	5.2	○	
2E1H	2.7	6.8	7.6	4.0	4.8	2.7	~	7.6	○	4.0	~	7.6	○	
1,2,3-Trimethylbenzene	0.3	2.2	5.3	2.3	1.0	0.3	~	5.3	○	1.0	~	5.3	○	
Limonene	1.7	3.3	9.4	6.3	6.4	1.7	~	9.4	○	3.3	~	9.4	○	
Nonanal	5.9	17.9	9.7	5.7	12.5	5.7	~	17.9	△	5.7	~	17.9	△	
n-Undecane	0.4	2.7	5.4	2.9	1.0	0.4	~	5.4	○	1.0	~	5.4	○	
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.4	2.3	5.1	2.4	1.2	0.4	~	5.1	○	1.2	~	5.1	○	
Decanal	6.8	18.7	8.4	2.4	13.4	2.4	~	18.7	△	2.4	~	18.7	△	
n-Dodecane	0.5	2.9	5.9	3.8	1.7	0.5	~	5.9	○	1.7	~	5.9	○	
n-Tridecane	1.0	1.3	6.2	4.7	2.7	1.0	~	6.2	○	1.3	~	6.2	○	
n-Tetradecane	1.4	4.4	5.2	4.8	1.6	1.4	~	5.2	○	1.6	~	5.2	○	
n-Pentadecane	3.6	12.5	5.0	5.1	1.5	1.5	~	12.5	△	1.5	~	12.5	△	
n-Hexadecane	7.1	19.7	2.5	8.5	5.2	2.5	~	19.7	△	2.5	~	19.7	△	
TMPD-DIB	2.9	9.8	8.4	9.9	4.0	2.9	~	9.9	○	4.0	~	9.9	○	
TMPD-MIB	1.6	3.8	6.5	13.0	4.8	1.6	~	13.0	△	3.8	~	13.0	△	

※併行精度 ○：0~10%以内、△：10~20%以内、×：20%を超過、—：評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表4-1 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(④および⑥)の真度
2 ng-50 ngの5点検量線(定量範囲2 ng-50 ng(④)および5 ng-50 ng(⑥))、重み付けなし

化合物名	真度(%)												
	含有量 (ng)	STD					定量範囲 2ng-50ng				定量範囲 5ng-50ng		
		2	5	10	20	50	真度範囲		判定*	真度範囲		判定*	
Ethanol	160.6	103.7	90.4	95.3	101.0	90.4	~	160.6	×	90.4	~	103.7	○
Acetone									—				—
2-Propanol	102.9	99.1	96.9	102.0	99.8	96.9	~	102.9	○	96.9	~	102.0	○
Methylene chloride									—				—
1-Propanol	99.7	91.4	97.0	105.3	99.4	91.4	~	105.3	○	91.4	~	105.3	○
2-Butanone	158.5	99.7	95.4	93.8	101.1	93.8	~	158.5	×	93.8	~	101.1	○
Hexane	85.7	98.6	104.2	100.0	99.9	85.7	~	104.2	△	98.6	~	104.2	○
Ethyl Acetate	136.1	99.5	100.6	94.0	100.9	94.0	~	136.1	×	94.0	~	100.9	○
Chloroform									—				—
2,4-Dimethylpentane	87.4	99.2	103.5	100.0	99.9	87.4	~	103.5	△	99.2	~	103.5	○
1,2-Dichloroethane									—				—
Benzene	118.6	98.3	97.0	99.7	100.2	97.0	~	118.6	△	97.0	~	100.2	○
n-Butanol	143.8	102.7	94.0	96.0	100.8	94.0	~	143.8	×	94.0	~	102.7	○
1,2-Dichloropropane	99.2	100.3	102.0	98.7	100.1	98.7	~	102.0	○	98.7	~	102.0	○
Iso-octane	90.9	99.0	102.4	100.2	99.9	90.9	~	102.4	○	99.0	~	102.4	○
Trichloroethylene	101.5	99.3	102.2	98.5	100.2	98.5	~	102.2	○	98.5	~	102.2	○
Bromodichloromethane	123.9	98.4	99.6	97.0	100.5	97.0	~	123.9	×	97.0	~	100.5	○
n-Heptane	106.7	98.6	100.9	98.9	100.2	98.6	~	106.7	○	98.6	~	100.9	○
4-Methyl-2-pentanone	126.0	99.6	97.0	98.0	100.4	97.0	~	126.0	×	97.0	~	100.4	○
Toluene	117.5	97.5	99.3	98.6	100.2	97.5	~	117.5	△	97.5	~	100.2	○
Dibromochloromethane	115.1	99.4	97.5	99.5	100.2	97.5	~	115.1	△	97.5	~	100.2	○
n-Octane	114.0	99.8	99.0	98.5	100.3	98.5	~	114.0	△	98.5	~	100.3	○
n-Butyl Acetate	123.6	95.9	96.0	100.4	100.1	95.9	~	123.6	×	95.9	~	100.4	○
Tetrachloroethene	100.0	98.7	100.2	100.4	99.9	98.7	~	100.4	○	98.7	~	100.4	○
Ethylbenzene	108.2	99.2	99.3	99.5	100.1	99.2	~	108.2	○	99.2	~	100.1	○
m-Xylene	118.8	102.3	97.8	97.6	100.4	97.6	~	118.8	△	97.6	~	102.3	○
p-Xylene	95.5	96.2	100.9	101.5	99.8	95.5	~	101.5	○	96.2	~	101.5	○
Styrene	121.4	100.8	97.3	98.1	100.4	97.3	~	121.4	×	97.3	~	100.8	○
o-Xylene	107.5	98.7	98.9	100.0	100.0	98.7	~	107.5	○	98.7	~	100.0	○
n-Nonane	114.7	99.4	98.8	98.7	100.2	98.7	~	114.7	△	98.7	~	100.2	○
α-pinene	162.3	106.2	93.5	92.1	101.4	92.1	~	162.3	×	92.1	~	106.2	○
3-Ethyltoluene	107.5	99.0	99.1	99.8	100.1	99.0	~	107.5	○	99.0	~	100.1	○
4-Ethyltoluene	105.9	99.2	99.6	99.7	100.1	99.2	~	105.9	○	99.2	~	100.1	○
1,3,5-Trimethylbenzene	106.9	99.5	99.2	99.6	100.1	99.2	~	106.9	○	99.2	~	100.1	○
2-Ethyltoluene	108.9	99.0	98.9	99.7	100.1	98.9	~	108.9	○	98.9	~	100.1	○
β-Pinene	212.9	113.2	86.0	86.3	102.4	86.0	~	212.9	×	86.0	~	113.2	△
1,2,4-Trimethylbenzene	109.7	99.3	99.1	99.3	100.1	99.1	~	109.7	○	99.1	~	100.1	○
n-Decane	110.3	98.4	99.6	99.2	100.1	98.4	~	110.3	△	98.4	~	100.1	○
1,4-Dichlorobenzene	103.9	98.4	99.4	100.4	100.0	98.4	~	103.9	○	98.4	~	100.4	○
2E1H	144.7	103.4	102.8	89.7	101.4	89.7	~	144.7	×	89.7	~	103.4	△
1,2,3-Trimethylbenzene	107.8	98.8	99.3	99.7	100.1	98.8	~	107.8	○	98.8	~	100.1	○
Limonene	105.9	102.7	99.3	98.5	100.2	98.5	~	105.9	○	98.5	~	102.7	○
Nonanal	91.3	98.9	98.3	103.0	99.6	91.3	~	103.0	○	98.3	~	103.0	○
n-Undecane	110.1	98.7	99.8	99.0	100.2	98.7	~	110.1	△	98.7	~	100.2	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	110.3	99.2	99.1	99.2	100.1	99.1	~	110.3	△	99.1	~	100.1	○
Decanal	107.1	102.5	98.2	99.1	100.2	98.2	~	107.1	○	98.2	~	102.5	○
n-Dodecane	101.1	96.7	100.6	100.7	99.9	96.7	~	101.1	○	96.7	~	100.7	○
n-Tridecane	117.3	98.5	98.5	98.8	100.2	98.5	~	117.3	△	98.5	~	100.2	○
n-Tetradecane	132.4	102.7	97.2	95.7	100.7	95.7	~	132.4	×	95.7	~	102.7	○
n-Pentadecane	138.3	106.2	97.8	93.1	101.1	93.1	~	138.3	×	93.1	~	106.2	○
n-Hexadecane	93.6	104.3	107.1	94.7	100.5	93.6	~	107.1	○	94.7	~	107.1	○
TMPD-DIB	91.6	90.4	106.5	100.6	99.7	90.4	~	106.5	○	90.4	~	106.5	○
TMPD-MIB	49.9	97.9	114.6	99.1	99.7	49.9	~	114.6	×	97.9	~	114.6	△

※真度 ○：90~110%以内、△：80~120%以内、×：80~120%を超過、—：評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表4-2 Or217捕集管を用いた加熱脱離法によるVOC類検量線(④および⑥)の併行精度
2 ng-50 ngの5点検量線(定量範囲2 ng-50 ng(④)および5 ng-50 ng(⑥))、重み付けなし

化合物名	含有量 (ng)	併行精度 (%)											
		STD					定量範囲 2ng-50ng				定量範囲 5ng-50ng		
		STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	併行精度範囲		判定*	併行精度範囲		判定*	
2	5	10	20	50	0.2	~	17.1	△	0.2	~	15.4	△	
Ethanol		17.1	5.9	15.4	3.4	0.2	~	17.1	△	0.2	~	15.4	△
Acetone									—				—
2-Propanol		22.1	13.4	9.4	4.3	0.7	~	22.1	×	0.7	~	13.4	△
Methylene chloride									—				—
1-Propanol		2.2	16.5	4.7	3.0	0.5	~	16.5	△	0.5	~	16.5	△
2-Butanone		19.2	4.8	4.6	2.8	0.5	~	19.2	△	0.5	~	4.8	○
Hexane		15.5	3.8	4.6	0.2	0.1	~	15.5	△	0.1	~	4.6	○
Ethyl Acetate		13.1	1.5	3.0	2.3	0.4	~	13.1	△	0.4	~	3.0	○
Chloroform									—				—
2,4-Dimethylpentane		19.4	2.6	6.0	0.6	0.1	~	19.4	△	0.1	~	6.0	○
1,2-Dichloroethane									—				—
Benzene		69.4	9.8	16.3	5.7	0.8	~	69.4	×	0.8	~	16.3	△
n-Butanol		4.7	4.5	7.9	4.0	0.3	~	7.9	○	0.3	~	7.9	○
1,2-Dichloropropane		10.6	3.6	5.1	1.0	0.1	~	10.6	△	0.1	~	5.1	○
Iso-octane		15.5	3.4	5.9	0.5	0.1	~	15.5	△	0.1	~	5.9	○
Trichloroethylene		12.9	2.5	4.6	2.0	0.3	~	12.9	△	0.3	~	4.6	○
Bromodichloromethane		11.4	1.4	4.7	2.2	0.2	~	11.4	△	0.2	~	4.7	○
n-Heptane		11.6	4.5	5.3	0.4	0.1	~	11.6	△	0.1	~	5.3	○
4-Methyl-2-pentanone		7.8	3.8	6.4	1.8	0.1	~	7.8	○	0.1	~	6.4	○
Toluene		10.7	3.9	3.0	0.5	0.1	~	10.7	△	0.1	~	3.9	○
Dibromochloromethane		5.3	3.2	7.9	3.4	0.3	~	7.9	○	0.3	~	7.9	○
n-Octane		3.9	4.0	3.6	0.7	0.1	~	4.0	○	0.1	~	4.0	○
n-Butyl Acetate		31.1	6.0	2.9	6.4	1.0	~	31.1	×	1.0	~	6.4	○
Tetrachloroethene		6.1	3.9	5.4	1.9	0.2	~	6.1	○	0.2	~	5.4	○
Ethylbenzene		5.4	3.0	4.9	1.5	0.1	~	5.4	○	0.1	~	4.9	○
m-Xylene		14.9	7.9	6.0	2.8	0.5	~	14.9	△	0.5	~	7.9	○
p-Xylene		10.5	8.9	4.4	5.6	0.7	~	10.5	△	0.7	~	8.9	○
Styrene		5.1	2.2	6.2	2.4	0.2	~	6.2	○	0.2	~	6.2	○
o-Xylene		4.5	3.4	5.9	2.3	0.2	~	5.9	○	0.2	~	5.9	○
n-Nonane		4.0	2.9	4.8	1.5	0.1	~	4.8	○	0.1	~	4.8	○
α-pinene		33.7	7.5	7.9	8.6	1.3	~	33.7	×	1.3	~	8.6	○
3-Ethyltoluene		4.3	2.7	5.7	2.3	0.2	~	5.7	○	0.2	~	5.7	○
4-Ethyltoluene		5.0	2.2	5.7	2.3	0.2	~	5.7	○	0.2	~	5.7	○
1,3,5-Trimethylbenzene		5.7	2.9	5.4	1.7	0.1	~	5.7	○	0.1	~	5.4	○
2-Ethyltoluene		5.2	3.0	5.7	2.1	0.1	~	5.7	○	0.1	~	5.7	○
β-Pinene		37.1	19.2	5.3	20.8	2.6	~	37.1	×	2.6	~	20.8	×
1,2,4-Trimethylbenzene		5.2	2.4	5.2	1.9	0.1	~	5.2	○	0.1	~	5.2	○
n-Decane		1.9	2.3	4.7	2.2	0.2	~	4.7	○	0.2	~	4.7	○
1,4-Dichlorobenzene		5.4	3.9	5.2	1.5	0.1	~	5.4	○	0.1	~	5.2	○
2E1H		14.5	3.2	7.4	2.3	0.2	~	14.5	△	0.2	~	7.4	○
1,2,3-Trimethylbenzene		4.5	3.3	5.3	1.6	0.1	~	5.3	○	0.1	~	5.3	○
Limonene		29.6	5.7	9.9	7.2	0.9	~	29.6	×	0.9	~	9.9	○
Nonanal		69.4	20.4	7.7	11.0	1.8	~	69.4	×	1.8	~	20.4	×
n-Undecane		4.5	2.6	5.4	2.7	0.3	~	5.4	○	0.3	~	5.4	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene		5.1	2.8	5.1	2.1	0.2	~	5.1	○	0.2	~	5.1	○
Decanal		67.3	8.7	7.0	10.4	1.6	~	67.3	×	1.6	~	10.4	△
n-Dodecane		8.8	2.8	6.2	4.0	0.4	~	8.8	○	0.4	~	6.2	○
n-Tridecane		11.2	2.2	6.3	4.4	0.5	~	11.2	△	0.5	~	6.3	○
n-Tetradecane		5.8	6.2	4.9	4.2	0.5	~	6.2	○	0.5	~	6.2	○
n-Pentadecane		4.5	10.7	4.3	4.2	0.5	~	10.7	△	0.5	~	10.7	△
n-Hexadecane		27.5	18.5	2.0	5.6	0.7	~	27.5	×	0.7	~	18.5	△
TMPD-DIB		23.1	17.5	9.3	9.6	1.3	~	23.1	×	1.3	~	17.5	△
TMPD-MIB		56.7	13.0	8.4	14.6	1.8	~	56.7	×	1.8	~	14.6	△

※併行精度 ○：0~10%以内、△：10~20%以内、×：20%を超過、—：評価不能(ピーク不検出、検量線作成不能など)

表5 Or217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

検量点 (ng)	検量線①,②				検量線③,④				検量線⑤,⑥			
	5,10,20,50				2,5,10,20,50				2,5,10,20,50			
定量下限値 (ng)	5				2				5			
化合物名	キャリーオーバー (%) の範囲			判定※	キャリーオーバー (%) の範囲			判定※	キャリーオーバー (%) の範囲			判定※
Ethanol	13.3	~	23.1	○	17.3	~	30.2	○	13.3	~	23.1	○
Acetone				—				—				—
2-Propanol	6.5	~	10.2	○	16.7	~	23.5	○	6.5	~	10.2	○
Methylene chloride				—				—				—
1-Propanol	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
2-Butanone	28.0	~	32.7	○	43.2	~	56.6	○	28.0	~	32.7	○
Hexane	8.0	~	12.5	○	17.3	~	30.4	○	8.0	~	12.5	○
Ethyl Acetate	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Chloroform	0.0	~	0.0	○				—				—
2,4-Dimethylpentane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
1,2-Dichloroethane	0.0	~	510.5	×				—				—
Benzene	41.2	~	60.6	○	50.1	~	100.0	×	41.2	~	60.6	○
n-Butanol	0.0	~	2.6	○	0.0	~	6.1	○	0.0	~	2.6	○
1,2-Dichloropropane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Iso-octane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Trichloroethylene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Bromodichloromethane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Heptane	4.5	~	8.5	○	9.7	~	21.5	○	4.5	~	8.5	○
4-Methyl-2-pentanone	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Toluene	7.8	~	10.3	○	15.5	~	24.4	○	7.8	~	10.3	○
Dibromochloromethane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Octane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Butyl Acetate	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Tetrachloroethene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Ethylbenzene	0.0	~	1.6	○	0.0	~	3.9	○	0.0	~	1.6	○
m-Xylene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
p-Xylene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Styrene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
o-Xylene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Nonane	0.0	~	5.0	○	0.0	~	13.0	○	0.0	~	5.0	○
α-pinene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
3-Ethyltoluene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
4-Ethyltoluene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
1,3,5-Trimethylbenzene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
2-Ethyltoluene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
β-pinene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
1,2,4-Trimethylbenzene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Decane	0.0	~	3.3	○	0.0	~	8.7	○	0.0	~	3.3	○
1,4-Dichlorobenzene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
2E1H	9.5	~	15.7	○	26.0	~	41.7	○	9.5	~	15.7	○
1,2,3-Trimethylbenzene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Limonene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Nonanal	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Undecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
Decanal	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Dodecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Tridecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Tetradecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Pentadecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
n-Hexadecane	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○
TMPD-DIB	0.0	~	3.2	○	0.0	~	7.2	○	0.0	~	3.2	○
TMPD-MIB	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○	0.0	~	0.0	○

※キャリーオーバー ○：100%未満、×：100%以上、—：評価不能(ピーク不検出)

表6 Or217の各検量線にて良好な妥当性評価結果が得られた物質数

(全53物質)

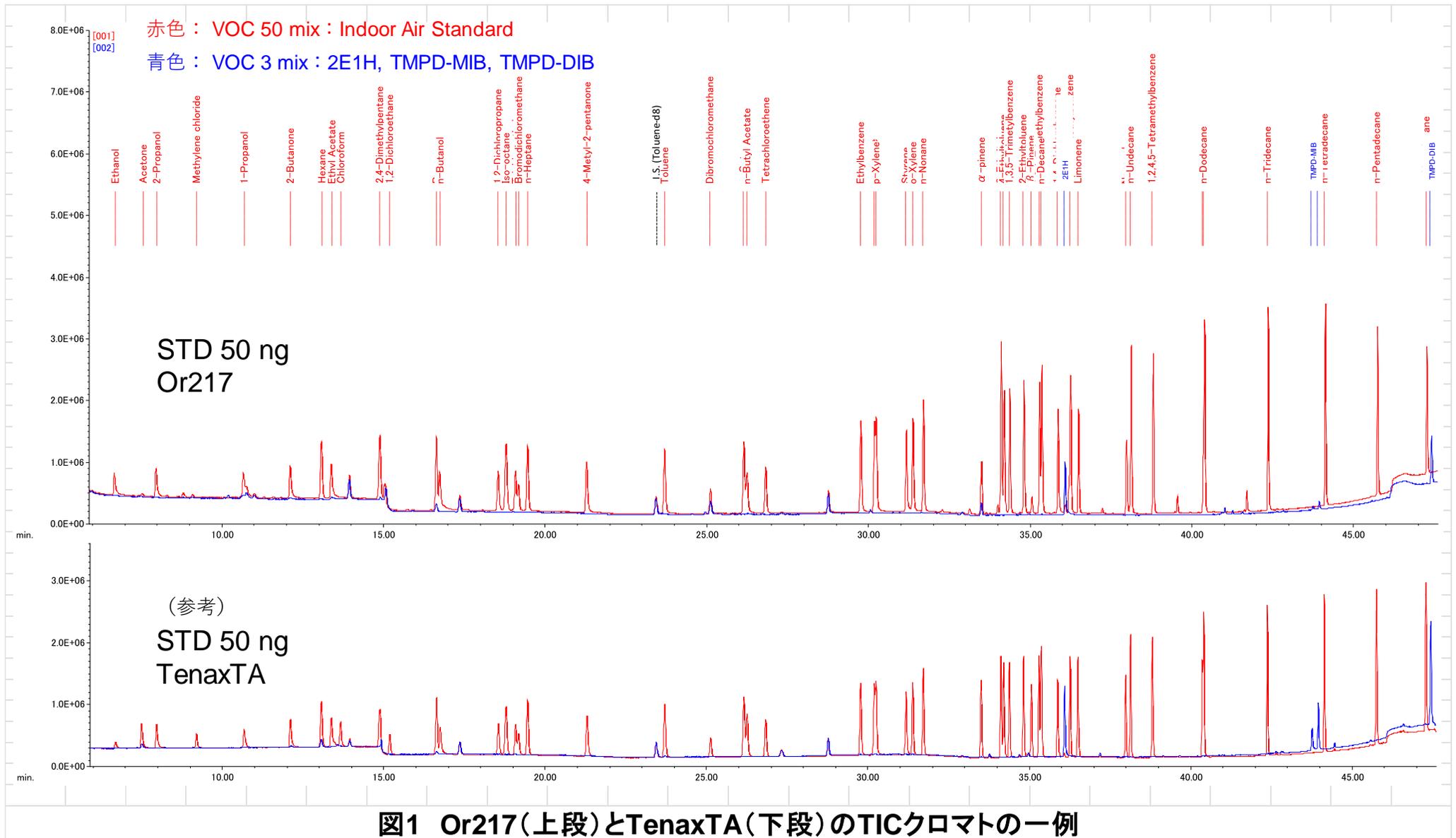
	検量線①	検量線②	検量線③	検量線④	検量線⑤	検量線⑥
検量点(ng)	5,10,20,50		2,5,10,20,50			
定量下限値(ng)	5		2		5	
重み付け	有	無	有	無	有	無
真度	51	50	48	35	48	49
併行精度	51	47	47	38	47	47
キャリーオーバー	50	50	48	48	49	49
総合	50	46	47	28	47	47

表7 TenaxTAの各検量線にて良好な妥当性評価結果が得られた物質数(参考)

(全53物質)

	検量線①	検量線②	検量線③	検量線④	検量線⑤	検量線⑥
検量点(ng)	5,10,20,50		2,5,10,20,50			
定量下限値(ng)	5		2		5	
重み付け	有	無	有	無	有	無
真度*	53	53	52	43	52	51
併行精度*	52	50	51	46	51	50
キャリーオーバー*	51	51	51	51	51	51
総合*	50	50	50	39	50	50

※ 既報結果²⁾の集計値



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

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
研究協力者	香川（田中） 聡子	横浜薬科大学薬学部	教授
研究協力者	酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所	室長
研究協力者	田原 麻衣子	国立医薬品食品衛生研究所	主任研究官

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

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

研究協力者：

岡本 誉士典（名城大学薬学部）、青木 明（名城大学薬学部）、森 葉子（国立研究開発法人国立環境研究所）、亀谷 春香（名城大学薬学部）、湯浅 竜斗（名城大学薬学部）、大嶋 直浩（国立医薬品食品衛生研究所）、高木 規峰野（国立医薬品食品衛生研究所）、埴岡 伸光（横浜薬科大学）、大河原晋（横浜薬科大学）、磯部隆史（横浜薬科大学）

れてから 1/4 世紀近くが経過した。この間、一義的な試験法の策定や同定すべき化合物（必須 VOC）の選定などの課題が依然として残されており、その意義も含めて TVOC の在り方を再確認する機運が高まっている。そこで、本研究課題では、TVOC の在り方について、健康リスク指標としての有効性と、室内空気中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の2つの観点から検討を行った。

A. 目的

2000 年 12 月に、わが国で室内空気中の TVOC（総揮発性有機化合物, Total Volatile Organic Compounds）に暫定目標値が定めら

B. 結果と考察

B-1. TVOC 分析法

TVOC に対応する国内の公的な分析法と

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

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

によって、室内空气中の TVOC 試験法が日本薬学会衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に収載されたことから、今後は、分析化学的な妥当性が保証された TVOC データの蓄積が期待される。

B-2. 健康リスク指標としての TVOC について

PubMed を Keyword Total Volatile Organic Compounds/TVOC(s)/Total VOC(s) で検索した結果、951 件の論文が該当した。年次推移では、2017 年の 36 件から 2023 年には 124 件へと大幅に増加しており、学術的に TVOC に対する関心が高まっていることが伺える (図 1)。

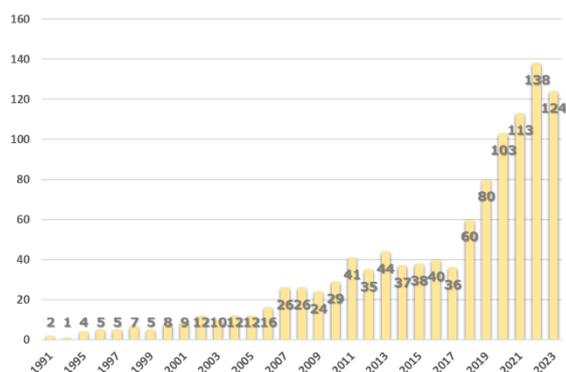


図1 TVOC に対する学術的な関心度の推移

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

[文献調査結果の概要]

Salthammer (2022) は TVOC に関する最近の総説の中で、「TVOC は毒性に基づくパラ

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

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

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

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

Otto et al. (1990)、Otto et al. (1992)およびHudnell et al. (1992)は、66人の若い男性を

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

Kjærgaardら(1991)はMølhavet al. (1986)の研究を拡張し、21人の健康な被験者と健14人のシックハウス症候群患者の反応を比較した。どちらのグループでも反応がみられたものの、シックハウス症候群患者でより顕著な傾向が認められた。

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

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

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

我が国で実施された最近の研究として、Tamura et al. (2023)は、実験室ハウス(LH)60分間過ごした被験者149人がLH内の室内空気質(IAQ)を評価した。建築物関連症

状 (BRS) のリスクと暫定目標値レベル (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の TVOC との間に有意な関係が認められた (オッズ比: 2.94、95%信頼区間: 1.18-7.35)。さらに、TVOC レベルが 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の空間では、臭気強度と BRS のリスクとの間に有意な関係がみられた (オッズ比: 6.06、95%信頼区間: 1.21-30.44)。これらの結果から、著者らは、TVOC レベルが低く、臭気強度が低い空間では BRS のリスクは有意に低く、空気中の化学物質の濃度と臭気強度を下げることで IAQ を改善し、BRS を予防できる可能性がある結論づけている。

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

References

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

環境省が取り纏めた「化学物質の環境リスク評価」(<https://www.env.go.jp/chemi/risk/index.html>)において、沸点が 50-260°C の範囲で、吸入曝露の「無毒性量等」が導出されている 106 化合物を選定し、「無毒性量等」

の分布を検討した結果では、0.0002 mg/m³ から 870 mg/m³ まで、実に 4×10⁶ 倍もの差異が認められ、「無毒性量等」が 1 以上 10 mg/m³ の VOC が最も多く 34 化合物、次いで 0.1 以上 1 mg/m³ 未満が 28 化合物であった（図 2）。このように、毒性の強さが大きく異なる一群の化合物による健康リスクを、質量分析計のイオン強度の和で表現することは、将来にわたっても実質的に困難であると考えられる。

B-3. 暫定目標値 400 μg/m³ の妥当性につ

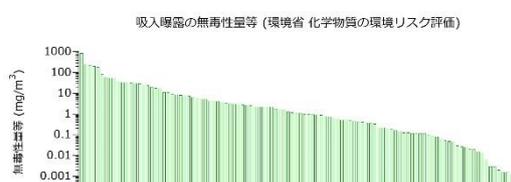


図 2 吸入曝露の無毒性量等の分布

いて

国立医薬品食品衛生研究所が実施した 2012、2013、2016 および 2020 年度全国調査の結果では、TVOC の中央値は 229~260 μg/m³ の範囲であり、暫定目標値を超過した家屋の割合は 20 ないし 40%と報告されている。

2012 年： 居間 中央値 260 μg/m³
暫定目標値超過率 30%

2013 年： 居間 中央値 240 μg/m³
暫定目標値超過率 37%

(2013 年無作為： 居間 中央値 260 μg/m³
暫定目標値超過率 31%)

2016 年度：居間 中央値 229 μg/m³
暫定目標値超過率 24%

2020 年度：居間 中央値 229 μg/m³
暫定目標値超過率 25%

現行の TVOC 暫定目標値は、SIM 法で個別定量した揮発性有機化合物 (VOC) 41 物質の中央値の総和 153 μg/m³ を基に、いく

つかの仮定を適用して得られた推定値 306 μg/m³ から設定されたものである。Scan 法による TVOC 分析法で得られた目標値ではないことから、「暫定」とされたものと推察される。

一方、上記の全国調査の TVOC 中央値は、日本薬学会環境・衛生部会で衛生試験法として公定法化された標準法で採取・測定されたものであり、わが国の室内空気中の TVOC の現状を正確に反映していると言える。各年度の TVOC 中央値(229~260 μg/m³) は、暫定目標値設定時の TVOC 推定値 (306 μg/m³) の 75%程度であり、20-40%程度の家屋が暫定目標値を超過していた。国立医薬品食品衛生研究所の精力的な、TVOC 試験法に則った全国調査により、暫定目標値が設定された時点と現在で室内の TVOC の状況には大きな変化はなく、400 μg/m³ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

B-4. 未評価化学物質スクリーニングとしての TVOC

上述した「無毒性量等」が 1 mg/m³ を超える 56 化合物については、室内空気中濃度が概ね 10 μg/m³ であれば、100 以上の MOE (Margin of Exposure) が確保されていることとなり、「現時点では詳細な評価あるいは情報収集を実施する必要はない」と判定される。

参考：環境省 健康リスク評価

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

MOE (判定)

10 未満 (詳細な評価を行う候補と考えられる)

10 以上 100 未満 (情報収集に努める必要があると考えられる)

100 以上（現時点では作業は必要ないと考えられる）

衛生試験法・注解に記載された TVOC 試験法では、各構成成分について $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度から定量的な評価が可能であり、室内空気中の化学物質にかかる情報収集や詳細な評価の必要性を判定するのに十分な検出感度を備えている。すなわち、TVOC 測定と同時に未評価化学物質のスクリーニングを実施できる点が、総合的な室内空気質指標としての TVOC の付加価値であると言えよう。

C. 結論

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

D. 健康危険情報

なし

E. 研究発表

1. 著書

なし

2. 研究発表

[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 H., Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality. *J Toxicol Sci.* 2023;48(1):37-45. doi: 10.2131/jts.48.37.

[学会発表]

- 1) 大貫 文, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 高木 規峰野, 田中 礼子, 村木 沙織, 斎藤 育江, 千葉 真弘, 大泉 詩織, 大野 浩之, 若山 貴成, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: 空気試験法: フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル: 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量 (新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 2) 香川 (田中) 聡子, 森 葉子, 田原 麻衣子, 大河原 晋, 磯部 隆史, 大貫 文, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治, 埴岡 伸光, 酒井 信夫, 神野 透人: 空気試験法: 総揮発性有機化合物 (新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

特許取得

なし

実用新案登録

なし

令和5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平成13年（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の標準試験法における3つの項目について検討した。すなわち、①揮発性有機化合物の加熱脱着法において、カーボン系捕集管である Tenax GR の適用性を明らかにした。②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、新規測定方法として昨年度フタル酸エステル類により構築した、固相吸着-溶媒抽出-液体クロマトグラフィー/質量分析法について、殺虫剤3物質の適用を検討し、準揮発性有機化合物（SVOC）の同時分析法を確立した。③SVOC の同時分析法である固相吸着-溶媒抽出-ガスクロマトグラフィー/質量分析法（SE-GC/MS）を用い、一般居住住宅14軒におけるSVOCの実態調査を実施した。さらに、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」について、SVOCのSE-GC/MSの試験法の改訂文案を作成し、試料採取方法の項目を含めて、全体の整合、修正、最終化を行った。

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
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
吉富 太一 神奈川県衛生研究所 理化学部主任研究員
西 以和貴 神奈川県衛生研究所 理化学部主任研究員
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
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

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、平成13年（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。また、平成13年（2001年）以降に設定された指針値物質²⁾がそれらの方法に適用しているかどうかは確認されていない。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標準試験法のリバイス箇所を討議し、室内濃度指針値の策定物質²⁾および候補物質³⁾における標準試験法の改良法を確立すること、それら確立した試験法は「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)」に反映していくことを目的としている。

今年度、揮発性有機化合物 (VOC) については、①VOCの固相吸着ー加熱脱着法 (TD-GC/MS) におけるカーボン系捕集管の適用の検討、準揮発性有機化合物 (SVOC) については、②新規測定方法として昨年度からフタル酸エステル類を用いて構築を着手した、固相吸着ー溶媒抽出ー液体クロマトグラフィー/質量分析法 (SE-LC/MS) への殺虫剤の適用、③令和3年度 (2021年度) に本研究分担研究で構築したSVOCの同時分析法である固相吸着ー溶媒抽出ーガスクロマトグラフィー/質量分析法 (SE-GC/MS) を用いた一般居住住宅におけるSVOCの実態調査、の3つの項目について検討した。さらに、④測定マニュアルの改訂文案について、全体の整合、修正、最終化した。

① VOCのTD-GC/MS におけるカーボン系捕集管の適用の検討

VOCの標準試験法である固相吸着ー加熱脱着ーガスクロマトグラフィーー質量分析法 (TD-GC/MS) において、捕集剤にはTenax TAまたはカーボン系吸着剤が提案されている¹⁾。一方で、近年VOCはTenax TAを用いた捕集が主流であり、カーボン系吸着剤については使用事例が少ない。そこで、本報告ではグラファイトカーボンが使用されているTenax GRを用い、TD-GC/MSにおける指針

値策定物質²⁾および指針値候補物質³⁾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²⁾が設定されているトルエン、キシレン (オルト、メタ、パラの異性体3成分)、エチルベンゼン、スチレン、パラジクロロベンゼン、テトラデカンの6物質 (8成分) に、指針値候補物質である2-エチル-1-ヘキサノール (2EH)、2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールモノイソブチラート (TMPD-MIB、異性体2成分)、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 (TMPD-DIB) の3物質 (4成分) ³⁾を加えた9物質 (12成分) を測定対象とした。

B.2 試薬および器具等

標準物質は関東化学株式会社製の室内環境測定用VOCs混合標準液IVおよび*n*-テトラデカン (鹿特級) を、内部標準物質はトルエン-*d*₈ 標準液を、調製にはメタノール5000 (残留農薬・PCB試験用) を使用した。

カーボン系捕集管はTenax GR (60/80 mesh) (Supelco) を使用した。Tenax GR はTenax TAにグラファイトカーボンを含浸させた混合充填剤である。

B.3 VOCの標準液の調製

テトラデカンはメタノール 5000 を用いて 1000 µg/mL 標準液を作製した。この標準液と VOCs 混合標準液 IV を 1:1 で混合し、500 µg/mL の混合標準液を作製した。その後、検量線作成および捕集管への添加試料として、メタノール 5000 を用い段階的に希釈した。トルエン-*d*₈ 標準液は、メタノール 5000 を用いて 100 µg/mL 標準液を作製した。

B.4 装置および分析条件

TD は TurboMatrix 650 ATD (Perkin

Elmer 製) を、GC/MS は GCMS-2010 Plus (株式会社島津製作所製) を使用した。測定条件は以下に示す。

TD 条件

捕集管デソープ温度：250°C

捕集管デソープ流量：50 mL/min

捕集管デソープ時間：10 min

2 次トラップ：カスタムトラップチューブ A (Perkin Elmer 製)

2 次トラップ冷却温度：-20°C

2 次トラップ加熱温度：250°C

ライン温度：240°C

バルブ温度：240°C

キャリアーガス：高純度ヘリウム 1 mL/min

注入モード：再捕集モード

(5%注入, スプリット比 1:19)

GC-MS 条件

カラム：Rtx-1

(60 m×0.32 mm、1 μm、Restek 製)

オープン温度：

40°C-5°C/min-280°C (4 min)

イオン源温度：200°C

インタフェース温度：250°C

測定モード：選択イオン検出法

(Selected Ion Monitoring, SIM)

測定イオン：定量イオン/定性イオン (*m/z*)

トルエン	91/92, 65
キシレン	91/106, 105
エチルベンゼン	91/106, 65
スチレン	104/78, 51
パラジクロロベンゼン	146/148, 111
2EH	57/41, 43
TMPD-MIB	71/43, 56
TMPD-DIB	71/43, 41
テトラデカン	57/71, 43
トルエン- <i>d</i> ₈	98/100, 70

B.5 添加回収試験

検量線作成および添加回収試験時は、マイクロナシリンジを用いて VOC の混合標準液と

IS 1 μL (100 ng) を高純度窒素 100 mL/min の気流下で捕集管に添加し、3 分間通気した。添加回収試験の標準物質の添加量は各物質 17 ng (10 μg/mL を 1.7 μL 添加) とし、試験は 5 回試行、試験の許容範囲は 70~120% とした。

B.6 安定性試験

安定性試験の標準物質の添加量は添加回収試験と同様 17 ng とし、コンディショニングした捕集管 3 本に添加後保存容器に収納し、トラベルブランク 1 本と合わせてアルミホイルで包み、これを活性炭入りのステンレス製密閉缶に入れ、室温で 7 日間保管した。IS は 7 日間保管後の測定前に添加し、分析した。試験の許容範囲は 70~120% とした。

C. 研究結果および考察

C.1 添加回収試験結果

標準物質の添加量は、エチルベンゼンの新指針値案である 58 μg/m³ を元に、室内空気 3 L の採取を想定した絶対量の 10 分の 1 (測定マニュアルにおける目標定量下限値) として、各物質 17 ng に設定した。

添加回収試験は、回収率の平均値 (n=5) が 74.8~102% と、すべての物質で 70~120% の範囲を満たし、相対標準偏差 (Relative standard deviation, RSD) が 4.9~9.8% と良好な結果が得られた (Table 1)。

C.2 安定性の評価

7 日間の室温保管後の回収率の平均値 (n=3) は 96.1~109%、RSD は 1.1~4.2% と良好であり、安定性が確認された (Table 1)。よって、空気捕集後、7 日以内に分析を完了すれば安定性は保証されていることを確認した。

D. ①のまとめ

VOC の TD-GC/MS において、カーボン系吸着剤を使用している Tenax GR の適用につい

て検討した結果、目標定量下限値での添加回収試験において、良好な回収率およびRSDが得られ、空気捕集後、7日以内に分析を完了すれば安定性は保証されていることを確認した。これらのことから、Tenax GRが有用であることが明らかになった。

② フタル酸エステル類で構築したSE-LC/MSへの殺虫剤の適用

現在、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は、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¹⁾。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、昨年度、フタル酸エステル類9物質を用いてSE-LC/MSによる基礎的な分析データの集積に着手した。今年度は、殺虫剤を含めた計12物質のSE-LC/MSにおける同時分析法の開発を目的とし、検討を行った。

B. 研究方法

B.1 測定対象物質

室内濃度指針値が設定されているクロロピリホス、ダイアジノン、フェノブカルブ、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) の5物質に、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-*n*-ブチルベンジル (BBP)、フタル酸ジ-*n*-ペンチル (DnPP)、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) のフタル酸エステル類7物質を加えた12物質とした。

B.2 試薬

殺虫剤は、富士フィルム和光純薬株式会社製のクロロピリホス標準物質 (Traceable Reference Material) およびダイアジノン標準物質 (TraceSure) ならびに関東化学株式会社製のフェノブカルブ標準品 (残留農薬試験用) を用いた。

フタル酸エステル類は、関東化学株式会社製のフタル酸エステル類混合標準液 (9 種) (環境分析用、DnBP、DEHP、DEP、DnPrP、DiBP、BBP、DnPP、DCHP および DnHP 各 100 mg/L アセトン溶液) およびフタル酸ジイソニル (DiNP、DINP-1 および DINP-2) 標準品 (環境分析用) ならびに富士フィルム和光純薬株式会社製のフタル酸ジメチル (DMP)、フタル酸ジ-*n*-オクチル (DnOP) およびフタル酸ジイソデシル (DiDP) 標準品 (フタル酸エステル試験用) を用いた。

内部標準物質は、関東化学株式会社製のクロロピリホス-*d*₁₀ 標準原液 (残留農薬試験用、1 mg/mL ノナン溶液) およびフタル酸エステル類混合内部標準液 (5 種) (水質試験用、DnBP-*d*₄、DEHP-*d*₄、DEP-*d*₄、BBP-*d*₄ およびアジピン酸ジ-2-エチルヘキシル-*d*₈ 各 100 mg/L ヘキササン溶液) ならびに富士フィルム和光純薬株式会社製の DiBP-*d*₄ 標準品 (環境分析用) を用いた。

アセトニトリルは殺虫剤単物質標準原液の調製には関東化学株式会社製高速液体クロマトグラフィー用を、その他には関東化学株式会社製フタル酸エステル試験用を用いた。メタノールは関東化学株式会社製フタル酸エステル試験用、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、ぎ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 器具および装置

捕集剤はジーエルサイエンス株式会社製 AERO LE Cartridge SDB400HFを、10 mL

遠沈管はSPC共栓遠心沈殿管（円錐型、外径φ16、柴田科学株式会社製）または共栓試験管（丸底型、外径φ17、濁川理化工業株式会社製）を用いた。通気ポンプはMP-W5S（柴田科学株式会社製）、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。

B.4 分析試料の調製

内部標準液は、フタル酸エステル類混合内部標準液（5種）1 mLにDiBP-*d*₄溶液（5,000 mg/Lアセトン溶液）20 μLおよびクロルピリホス-*d*₁₀標準原液10 μLを加えて混合内部標準液（フタル酸エステル類 *d*₄体各100 mg/L、クロルピリホス-*d*₁₀10 mg/L）とした。添加用混合内部標準液は、内部標準液からクロルピリホス-*d*₁₀濃度が0.1 μg/mL、各フタル酸エステル類 *d*₄体濃度が1 μg/mLとなるようアセトニトリルで調製した。

検量線溶液は、殺虫剤各標準物質およびフタル酸エステル類混合標準液（9種）から、各殺虫剤濃度が0.001、0.002、0.005、0.01、0.02、0.05、0.1 μg/mL、各フタル酸エステル類濃度が0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1 μg/mLとなるよう、アセトニトリルで調製した。各検量線溶液を1 mL正確に採り、添加用混合内部標準液100 μL加えて分析試料とした。

添加回収試験用試料および捕集剤ブランク試料は、フィルターおよび捕集剤を10 mL遠沈管に採り、アセトン5 mLを正確に加えた。超音波抽出後、3,000 rpmで10分間遠心処理し、その上清1 mLを窒素ガス気流下で濃縮乾固した。その残留物にアセトニトリル1 mLを正確に加えて溶解し、添加用混合内部標準液を100 μL加えて分析試料とした。

B.5 LC/MS 分析条件の検討

長さ50 mmまたは100 mmのACQUITY UPLC BEH C18（内径：2.1 mm、粒子径：

1.7 μm）カラム（日本ウォーターズ株式会社製、以下、BEH C18 カラム）を用い、メタノールまたはアセトニトリル/10 mM ぎ酸アンモニウム溶液移動相によりLC/MSで分析する条件を検討した。

B.5.1 フタル酸エステル類分析条件による殺虫剤3物質の分離の確認

フタル酸エステル類の分析条件は昨年度の研究結果から、長さ50 mmのBEH C18 カラム、メタノール系移動相条件（分析条件A）と、長さ100 mmのBEH C18 カラム、アセトニトリル系移動相条件（分析条件B）をTable 2およびTable 3のとおり設定した。この2条件について、水質管理目標設定項目の検査方法⁴⁾を参考に殺虫剤のSIM条件をTable 3のとおり設定し、殺虫剤各単物質標準液およびフタル酸エステル類9物質混合標準液（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。

B.5.2 長さ100 mmのBEH C18 カラム、メタノール系移動相による分析条件の検討

分析条件Aをもとに長さ100 mmのBEH C18 カラムでのメタノール系移動相による条件（分析条件C）を設定した（Table 2およびTable 3）。クロルピリホスのSIM条件をもとにクロルピリホス-*d*₁₀のSIM条件を設定し、殺虫剤3物質混合標準液およびフタル酸エステル類9物質混合標準液（各1 μg/mLアセトニトリル溶液）ならびに混合内部標準液（フタル酸エステル類 *d*₄体各1 μg/mL、クロルピリホス-*d*₁₀0.1 μg/mLアセトニトリル溶液）を測定し、分離を確認した。

B.6 検量線、検出下限値および定量下限値

検量線は内部標準物質との強度比で補正して作成し、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン⁶⁾に従いキャリーオーバーならびに検量線の真度および精度（相対標準偏差 Relative standard deviation, RSD）を確認して、検量線の評価を行った。

分析条件Cによりブランク試料および定量下限値付近（殺虫剤：0.002 µg/mL、フタル酸エステル類：0.02 µg/mL）に調製した分析試料を5回測定し、検出下限値は標準偏差（σ）の3倍、定量下限値は10倍として算出した¹⁾。検出下限値は、ブランク試料または定量下限値付近に調製した検量線溶液から得られた最大値とした。定量下限値は、ブランク試料または定量下限値付近に調製した検量線溶液から得られた最大値もしくは検量線（殺虫剤の検量点：0.001～0.1 µg/mL、フタル酸エステル類の検量点：0.02～1 µg/mL）の下限値相当量のいずれか大きい値とした。

B.7 通気なしのSVOCの添加回収試験

B.7.1 添加量の設定

捕集剤への添加量は、試験溶液5 mL、積算捕集量 4,320 L（3 L/minで24 時間）の条件で、殺虫剤についてはクロルピリホスの室内濃度指針値である0.1 µg/m³の1/10以下となるよう、各30 ng（0.0069 µg/m³）に設定した（Table 4）。フタル酸エステル類についてはDnBPの室内濃度指針値である17 µg/m³の1/100以下となるよう、各600 ng（0.14 µg/m³）に設定した。

B.7.2 添加回収用試料の調製

捕集剤用ホルダー（AERO ホルダー，ジーエルサイエンス株式会社）に逆向きに取り付けた捕集剤のフィルター部に、各1 µg/mLに調製した殺虫剤3物質混合標準液（アセトニトリル溶液）を30 µL添加後、ホルダーの吸引部から窒素ガスを1 L/minで2分間通気した。続いて、フタル酸エステル類9物質混合標準液を同様に6 µL添加し、窒素ガスを1 L/minでさらに3分間通気した（Fig. 1）。添加回収試験用試料はn=5で調製し、捕集剤ブランク試料はn=1で調製した。

B.7.3 抽出条件の検討

令和3年度（2021年度）の分担研究報告におけるSVOC同時分析法の構築²⁾を参考に抽

出条件を設定した。LC/MSで測定するため、分析試料はアセトン溶液に代わりアセトニトリル溶液とし、抽出溶媒はアセトンおよびアセトニトリルについて検討した。

B.7.2と同様に調製した添加回収試験用試料および捕集剤ブランク試料について、添加後ただちにフィルターおよび捕集剤を円錐型10 mL遠沈管に採り、各抽出溶媒（アセトンまたはアセトニトリル）5 mLを正確に加えた。20分間超音波抽出後、3,000 rpmで10分間遠心処理し、アセトニトリル抽出条件ではその上清1 mLを正確に採り、添加用混合内部標準溶液を100 µL加え分析試料とした。アセトン抽出条件ではその上清1 mLを窒素ガス気流下で濃縮乾固し、その残留物にアセトニトリル1 mLを正確に加えて溶解し、添加用混合内部標準溶液を100 µL加え分析試料とした。分析試料は分析条件 Cにより測定した。

B.8 室内空気を通気した添加回収試験

B.8.1 添加量の設定

通気する室内空気にDnBPが1 µg/m³程度含まれていることが想定されたため、捕集剤へのフタル酸エステル類の添加量はB.7.1の5倍量である各3,000 ng（0.7 µg/m³）に設定した。殺虫剤についてはB.7.1と同様に、各30 ng（0.0069 µg/m³）に設定した。

B.8.1 添加回収用試料の調製

B.7.2と同様に、殺虫剤3物質混合標準液（各1 µg/mL アセトニトリル溶液）を30 µL、フタル酸エステル類9物質混合標準液を30 µL捕集剤に添加した（Fig. 1）。添加回収試験用試料はn=4で調製し、3試料は通気ポンプに接続し、3 L/minで24時間室内空気を通気した。1 試料は捕集剤用運搬保管容器（AERO コンテナ，ジーエルサイエンス株式会社）に入れ、ふたをせずフィルター側を露出させた状態で通気ポンプ付近に24時間置いた。捕集剤ブランク試料はn=1で調製した。B.7.3のアセトン抽出条件と同様に分析試料および希積分

析試料を作製し、分析条件Cにより測定した。

B.9 殺虫剤3物質の添加回収試験

B.9.1 添加量の設定

捕集剤への添加量は B.8.1 と同様に、試験溶液 5 mL、積算捕集量 4,320 L (3 L/min で 24 時間) の条件でクロルピリホスの室内濃度指針値である 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の 1/10 以下となるよう、各 30 ng/Cartridge (0.0069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) に設定した。

B.9.2 添加方法の設定

B.7.2 で用いた添加方法を参考に、AEROホルダーに逆向きに取り付けた捕集剤のフィルター部に、各 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ に調製した殺虫剤 3 物質混合標準液 (アセトニトリル溶液) を 30 μL 添加後、ホルダーの吸引部から窒素ガスを 1 L/min で 5 分間通気する方法を添加方法 1 とした。また、令和 3 年度の分担研究報告⁵⁾をもとに、捕集剤のフィルター部に各 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 標準液を 30 μL 添加後、室温下で溶媒を乾燥させる方法を添加方法 2、同様に各 0.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 標準液を 100 μL 添加する方法を添加方法 3 とした。

B.9.3 抽出条件の検討

添加回収試験用試料は各 n=5 で調製し、AERO コンテナーに入れ 24 時間置いた。抽出に用いる 10 mL 遠沈管および超音波抽出時間を次のとおり設定して、B.7.3 と同様に分析試料を調製した。

まず、添加方法 1、2 および 3 について、B.7.3 と同様、円錐型 10 mL 遠沈管を用いて 20 分間超音波抽出し、結果を比較した。次に、添加方法 1 および 3 について、丸底型 10 mL 遠沈管を用いて 20 分間超音波抽出し、円錐型を用いた結果と比較した。また、添加方法 1 について、円錐型 10 mL 遠沈管を用いて 60 分間超音波抽出し、20 分間抽出した結果と比較した。

B.9.4 室内空気を通気した添加回収試験

添加方法1に添加回収試験用試料をn=3で

調製し、実験室にて通気ポンプに接続し 3 L/min で 24 時間室内空気を通気した。捕集剤ブランク試料は n=1 で調製した。抽出には丸底型 10 mL 遠沈管を用い、超音波抽出時間は 20 分に設定して、B.7.3 と同様に分析試料を調製した。

B.10 室内空気を通気した殺虫剤およびフタル酸エステル類同時添加回収試験

捕集剤へのフタル酸エステル類の添加量は B.8.1 と同様、試験溶液 5 mL、積算捕集量 4,320 L の条件で各 3,000 ng/Cartridge (0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、殺虫剤については各 30 ng/Cartridge (0.0069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) に設定し、添加した (Fig. 1)。添加回収試験用試料は n=4 で調製し、3 試料は通気ポンプに接続し、3 L/min で 24 時間室内空気を通気した。1 試料は AERO コンテナーに入れ、ふたをせずフィルター側を露出させた状態で通気ポンプ付近に 24 時間置いた。捕集剤ブランク試料は n=1 で調製した。抽出には丸底型 10 mL 遠沈管を用い、超音波抽出時間は 20 分に設定して、B.7.3 と同様に分析試料を調製した。

B.11 その他4物質のフタル酸エステル類の分離の確認

令和 3 年度の分担研究報告⁵⁾にある DMP、DnOP、DiNP および DiDP の 4 物質を新たに測定対象物質とし、フタル酸エステル類 9 物質混合標準液 (各 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ アセトニトリル溶液)、追加 4 物質の各単物質標準液 (各 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ アセトニトリル溶液) および 4 物質混合標準液 (DEHP、DnOP、DINP-1 および DiDP 各 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ アセトニトリル溶液) を測定して分離を確認した。

C. 研究結果および考察

C.1 分析条件の検討

C.1.1 フタル酸エステル類分析条件による殺虫剤3物質の分離の確認

殺虫剤各単物質標準液およびフタル酸エステル類9物質混合標準液を測定したところ、分析条件A、Bともに殺虫剤とフタル酸エステル類が分離した (Fig. 2およびFig. 3)。しかし、分析条件Aではフェノバルブのピークにリーディングがみられ、分析条件Bではクロルピリホスの感度が低かった。殺虫剤の感度を確保するため移動相は分析条件Aで用いたメタノール/10 mM ぎ酸アンモニウム溶液とし、フェノバルブのピーク形状を改善するため注入量を減らすこととした。昨年度の研究結果から、注入量を減らすとDiBPおよびBBPの定性イオンの感度が不足することが想定された。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が、分析条件Aではピークが重なるため、カラムを長さ50 mmから100 mmに変更して分離の改善を図ることとした。

C.1.2 分析条件C (長さ100 mmカラム、メタノール系移動相)

殺虫剤3物質混合標準液、フタル酸エステル類9物質混合標準液および混合内部標準液を測定したところ、Fig. 4のとおり分離した。DiBP、BBPおよびDnBPは順に分離度が1.31、1.09 (m/z 205) で分離したため感度を優先し、3物質とも定性イオンは m/z 205とした。同様に各々の d_4 体も分離したため、 m/z 209をDiBP- d_4 およびDnBP- d_4 の定性イオンとした。昨年度の研究において、BBP- d_4 を感度良く分析できる m/z 317にDiBPおよびDnBPのピークもわずかに確認されたが、分析条件Aに比べ分離が改善されたことから感度を優先し、分析条件Cでは分析条件Bと同様に m/z 317を定量イオン、 m/z 243を定性イオンとした。その他の条件については、分析条件Aと同じ条件とした。この条件で注入量を分析条件Aの2.5 μL から2.0 μL に変更したところ、フェノバルブのピークのリーディングに改善がみられた (Fig. 5)。

フタル酸エステル類のコンタミネーション

を低減するため、測定時にバイアルにキャップをする際に使用するセプタムの代わりにアルミホイルを用いた。また、検量線溶液の調製およびLC/MSの移動相にはフタル酸エステル試験用のメタノールを用いた。

C.2 検量線

昨年度の研究結果から、フタル酸エステル類の検量点は0.02~1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ とし、各々の d_4 体を内部標準物質とした。相当する d_4 体のない測定対象物質については、DnPrPはDEP- d_4 を、DnPP、DCHPおよびDnHPはDEHP- d_4 を内部標準物質とした。殺虫剤は添加回収試験での設定濃度がフタル酸エステル類の1/10以下であることから、検量点は0.001~0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ および0.002~0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ とし、クロルピリホス- d_{10} を内部標準物質とした。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 (Fig. 6)。検量線の決定係数 R^2 、真度および精度の範囲をTable 5およびTable 6に示した。真度90~105%、精度0.17~11%と、全ての測定対象物質について妥当性評価ガイドライン⁶⁾の示す真度の目標値80~120%および精度の目標値20%以下に適合し、キャリアオーバーは検量線の濃度範囲の下限値を下回った。また、検量線下限値で定性イオンのシグナル/ノイズ (S/N) 比は3を上回った。

C.3 検出下限値および定量下限値

C.3.1 検出下限値および定量下限値の算出結果

ブランク試料からはDEHPのみピークが認められた。令和3年度の分担研究報告⁹⁾をもとに試験溶液5 mL、積算捕集量1,440 L (流量1 L/minで24時間) の条件で検出下限値および定量下限値を算出し、結果をTable 7に示す。殺虫剤の検出下限値は0.0020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、定量下限値は0.0066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、フタル酸エステル類の検出下限値は0.0051 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、定量下限値は

0.069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。室内濃度指針値は、殺虫剤ではクロルピリホス0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、フタル酸エステル類ではDnBP 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が最も低く、殺虫剤は室内濃度指針値の1/10 以下まで、フタル酸エステル類は1/100 以下まで測定できると考えられた。

C.3.2 算出された定量下限値による積算捕集量の検討

令和3年度の分担研究報告⁵⁾では室内濃度指針値の1/10 以下として、積算捕集量1,440 Lの条件で捕集剤へのクロルピリホス添加量を10 ng (0.0069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室内濃度指針値の約1/14)に設定し、添加回収試験を行っている。今回算出されたクロルピリホスの定量下限値0.0066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ はこの添加量の95%程度と近接しているため、本研究では積算捕集量を4,320 L (流量3 L/minで24時間)、添加量を30 ngに設定して添加回収試験を行った。

C.4 通気なしの添加回収試験

C.4.1 抽出溶媒の検討

通気をせずただちに抽出した試料 (以下、通気なし0 hr試料) での回収率および精度をTable 8に示した。回収率はアセトン抽出条件では80~104%、アセトニトリル抽出条件では80~93%であり、両抽出条件とも妥当性評価ガイドライン⁶⁾に示された真度の目標値70~130%を満たした。

Table 8にフタル酸エステル類の25°Cにおける蒸気圧およびオクタノール/水分配係数(logKow)を併せて示した^{8,9)}が、アセトン抽出では蒸気圧の大きいDEPで他のフタル酸エステル類に比べ回収率が低かった (Fig. 7)。令和3年度の分担研究報告⁵⁾では、アセトン抽出しGC/MSで測定したDEPの回収率は99%であったことから、抽出後濃縮乾固する過程で蒸気圧の大きいDEPが揮散していることが疑われた。そこで、室内空気を通気した添加回収試験で設定した殺虫剤30 ng/Cartridge、フタル酸エステル類3,000

ng/Cartridge相当量である混合標準液 (殺虫剤各0.006 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、フタル酸エステル類各0.600 $\mu\text{g}/\text{mL}$ アセトン溶液)をn=3で調製し、窒素ガス気流下で濃縮乾固したところ、結果はTable 9のとおり、DEPが87%であり、その他 (93~106%)と比較して低かった。この結果から、DEPは他のフタル酸エステル類に比べ濃縮乾固過程で揮散しやすいことが考えられた。アセトニトリル抽出ではアセトン抽出とは異なり、logKowの大きいDCHPおよびDEHPで他のフタル酸エステル類に比べ回収率が低かった。また、アセトニトリルはアセトンより極性が高いことから、logKowの大きいフタル酸エステル類において抽出率が下がる可能性が考えられた。DEP、DCHPおよびDEHPのうち、DEHPは室内濃度指針値が設定されている物質であることから、今回対象とした12物質の同時分析法としてはアセトン抽出のほうが望ましいと考えられた。

C.4.2 室内空気通気による回収率への影響

3 L/minで24時間室内空気を通気した3試料 (以下、通気あり24 hr試料) および通気をせず24時間置いた1試料 (以下、通気なし24 hr試料) での回収率および精度をTable 10に示した。捕集剤ブランク試料から検出されたDnBPおよびDEHPについては、捕集剤ブランク試料濃度を減算し、回収率とした。通気あり24 hr試料でのフタル酸エステル類の回収率は81~101%、殺虫剤のうちフェノブカルブの回収率は88%であり、70~130%を満たした。ダイアジノンおよびクロルピリホスの回収率は、通気なし0 hr試料 (Table 8、アセトン抽出、n=5) では93%および90%であったが、通気なし24 hr試料では76%および68%、通気あり24 hr試料では39%および59%と大きく低下し、目標値70~130%を下回った。本研究ではその要因を特定することは困難であった。

C.5 殺虫剤3物質の添加回収試験

C.5.1 抽出溶媒の検討

C.4.2の室内空気通気によるSVOCの添加回収試験において、殺虫剤の回収率が低かったため、その要因を特定すべく添加方法および抽出方法を検討した。添加方法を検討した際の回収率および精度をFig. 8に示す。円錐型10 mL遠沈管を用いて20分間超音波抽出した殺虫剤3物質の回収率は、添加方法1では72~90%、添加方法2では70~89%、添加方法3では89~94%であり、3法とも水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン⁶⁾に示された添加試料の評価における真度の目標値70~130%を満たした。クロルピリホスの回収率は、添加方法1では72%、2では70%であったが、3では89%と他の添加方法に比べ高かった。添加方法1および2では各1 µg/mL標準液を30 µL、添加方法3では各0.3 µg/mL標準液を100 µL添加したことから、添加溶液濃度または添加液量のいずれかまたは両方がクロルピリホスの回収率に影響を与えたことが疑われた。

抽出方法を検討した際の回収率および精度をFig. 9に示す。10 mL遠沈管の形状によりクロルピリホスの回収率を比較すると、円錐型では添加方法1で72%、添加方法3で89%、丸底型では添加方法1で89%、添加方法3で92%であった。この結果から、添加方法が回収率に与える影響の度合いは、抽出に用いる10 mL遠沈管の形状により異なることが示された。また、円錐型10 mL遠沈管を用い、添加方法1について超音波抽出時間によりクロルピリホスの回収率を比較すると、20分間では72%、60分間では85%であった。この結果から、10 mL遠沈管の形状を要因として抽出率が低下したことにより、回収率が低下したと考えられた。また、本要因によると考えられる場合には、抽出時間を延長すれば回収率が向上すると期待された。

本研究で比較検討した10 mL遠沈管におい

ては、添加方法による影響を受けにくく短時間で抽出できる丸底型のほうが望ましいと考えられた。

C.5.2 室内空気を通気した添加回収試験

通気ありの殺虫剤3物質の回収率および精度をTable 11に示した。回収率は74~94%、精度2.0~4.4%であり、添加試料の評価における真度の目標値70~130%を満たした。

C.6 殺虫剤およびフタル酸エステル類同時添加回収試験

SVOCの回収率および精度を、円錐型10 mL遠沈管を用いて実施したC.4.2の結果と併せてTable 12に示した。捕集剤ブランク試料から検出されたDnBPおよびDEHPについては、捕集剤ブランク試料濃度を減算し、回収率とした。10 mL遠沈管の形状により回収率を比較すると、ダイアジノン丸底型が39%、丸底型が45%、クロルピリホスは円錐型が59%、丸底型が57%であり、回収率に大きな改善は認められず、70%を下回った。本研究ではその要因を特定することは困難であった。

C.7 その他4物質のフタル酸エステル類の分離の確認

フタル酸エステル類9物質混合標準液および追加4物質(DMP、DnOP、DiNPおよびDiDP)の各単物質標準液を測定したところ、Fig. 10のとおり分離した。DMPは m/z 149では感度が低く、 m/z 195でのクロマトグラムを示した。DnOP、DiNPおよびDiDPの保持時間の差は小さいが、Table 13に示したSIM条件によりDEHPを含む4物質混合標準液を測定したところ、DnOP、DiNPおよびDiDPはFig. 11のとおり質量電荷比での分離が可能であった。殺虫剤3物質の保持時間はTable 2のとおりであり、4物質を測定対象物質に加えても問題なく分離できると考えられた。

D. ②のまとめ

本研究はSE-GC/MSにおけるSVOC同時分析法の開発を目的とした。その結果、SVOCを同時分析する分離・分析条件が確立でき、十分な定量下限値が得られた。また、通気なしの添加回収試験では真度の目標値を満たした。しかし、室内空気を通気した添加回収試験では殺虫剤の回収率が低下したため、殺虫剤3物質について通気をしない条件下での添加回収試験を行い、回収率が低下する要因を検討した。その結果、抽出に用いる遠沈管の形状がクロルピリホスの回収率に影響を与えることが示された。本要因による回収率の低下が疑われる場合には、抽出時間を延長すれば回収率が向上すると期待された。次に、殺虫剤3物質について通気条件下で、前述の試験で回収率への影響が小さかった遠沈管を用いて添加回収試験を行ったところ、良好な結果が得られた。一方で、同遠沈管を用い、通気条件下での殺虫剤およびフタル酸エステル類同時添加回収試験を行ったところ、殺虫剤の回収率は改善しなかった。これらの結果から、室内空気を通気した添加回収試験において殺虫剤の分析に課題が残った。

③ SVOCの同時分析法であるSE-GC/MSを用いた一般居住住宅の実態調査

室内空気の捕集で一般的に用いられるアクティブ法は、24時間、一定の体積をポンプで吸引し、捕集カートリッジに対象化学物質を捕捉する。この手法は感度面で優れているが、器材の運搬やサンプリング時間の長さなどから、実態調査を行う試験者は一定の労力が必要となる。また、現状では、室内空気における殺虫剤とフタル酸エステル類の分析には別々の標準試験法が示されている。これらの準揮発性化合物 (SVOC) は沸点や蒸気圧などの物性が比較的類似していることから、SVOCを同時に分析できる可能性があり、効

率的な調査が可能になる。これらの背景から、最近、我々は溶媒抽出法を利用した分析法を報告した¹⁰。本手法は、香川らによって考案された室内空気におけるフタル酸エステル類の分析法^{11,12}をベースとして指針値物質であるSVOC 5物質およびその他のフタル酸エステル類6物質の同時分析法として開発したものであり、石英フィルターとスチレンジビニル共重合体 (以下、SDB) からなる捕集カートリッジを用いる。本カートリッジは前処理が不要なため、アセトンによる抽出操作のみで分析できる簡便な手法である。本研究では、構築した方法を用いて一般居住住宅における実態調査を行い、本法の実用性も検証した。

B. 研究方法

B.1 測定対象物質

室内濃度指針値が設定されているクロルピリホス、ダイアジノン、フェノブカルブ、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) の5物質に、フタル酸ジエチル (DEP)、フタル酸ジ-*n*-プロピル (DnPrP)、フタル酸-*n*-ブチルベンジル (BBP)、フタル酸ジペンチル (DnPP)、フタル酸ジ-*n*-ヘキシル (DnHP) およびフタル酸ジシクロヘキシル (DCHP) の6物質を加えた11物質とした。

B.2 試薬および試料

クロルピリホス、ダイアジノン、フェノブカルブ標準品は AccuStandard 社製、DnBP-*d*₄、DEHP-*d*₄ およびフタル酸エステル類8物質混合は富士フィルム和光純薬株式会社製、クロルピリホス-*d*₁₀ は関東化学製、アセトンは関東化学製フタル酸エステル分析用、捕集剤はジーエルサイエンス株式会社製 AERO LE Cartridge SDB400HF (以下、SDB カートリッジ) を使用した。

B.3 混合標準試料の調製

混合標準試料はクロルピリホスが1 µg/mL、その他ダイアジノン、フェノブカルブ、フタル酸エステル類が各4 µg/mLとなるようアセトンで調製した。これを段階希釈し、クロルピリホスは1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ng/mLを、その他は4, 8, 20, 40, 80, 200, 400 ng/mLの混合標準試料をそれぞれ調製した。混合内部標準溶液の調製はクロルピリホス- d_{10} を0.1 µg/mL、DnBP- d_4 およびDEHP- d_4 を1 µg/mLとなるようアセトンで希釈した。各検量点の混合標準試料を1 mL正確に採り、混合内部標準溶液を100 µL加え、分析試料とした。

混合内部標準溶液の濃度はクロルピリホス- d_{10} を0.1 µg/mL、DnBP- d_4 およびDEHP- d_4 を1 µg/mLとした。

B.4 室内空気の捕集および分析方法

室内空気の捕集方法は、SDBカートリッジをサンプリング用ポンプMP-Σ300NII（柴田科学株式会社）に接続し、1.44 m³ (1 L/min, 24時間) 吸引した。抽出は、捕集カートリッジ内の捕集剤を10 mL遠沈管に移し、アセトン5 mLを正確に加えた後、20分間超音波抽出した。1740 x g、10分間遠心処理し、その上清1 mLを正確に採り、混合内部標準溶液を0.1 mL加え、GC-MS分析試料とした。GC-MSの分析条件はTable 14およびTable 15に示す。

B.5 添加回収試験および検出、定量下限値の算出

添加回収試験は、クロルピリホス 0.1 µg/mL、ダイアジノン 0.35 µg/mL、フェノブカルブ 0.5 µg/mLの添加用標準混合液を調製し、SDBに0.1 mL添加した。また、フタル酸エステル類は別途、1 µg/mLの添加用標準混合液を調製し、0.2 mL添加した。添加したSDBは室温下でアセトンを乾燥させた。フタル酸エステル類はバックグラウンドとして室内空気中に常在するため^{13,14}、未添加

のSDB（前段）と添加SDB（後段）をAEROホルダーカートリッジ2連結用ASSY（ジールサイエンス株式会社）で連結させ、その影響を排除した。ポンプに接続後、1.44 m³ (1 L/min, 24時間)の室内空気を通気し、B.3と同様の方法で抽出した。この添加回収試験は8回試行した。検出、定量下限値の算出は、添加回収試験で得られた濃度のそれぞれ3σおよび10σで算出した。

B.6 一般居住住宅における実態調査

実態調査は2023年9月から10月にかけて、神奈川県と東京都の14軒の一般居住住宅で実施した。空気サンプリング用のSDBはアルミホイルで包み、ステンレス製の密閉容器に入れて測定地点まで運搬した。空気のサンプリングは居間もしくは寝室で行い、地上1.2~1.5 mで1.44 m³ (1 L/min, 24時間)吸引した、ブランク用のSDBは、以下の2つを用意した。一つはトラベルブランクとして測定地点に運搬し、輸送時の汚染を確認した。もう一つはディフュージョンブランクとして測定地点に運搬後、そのままポンプ周辺に置き、汚染状況を確認した。

C. 研究結果および考察

C.1 室内空気における殺虫剤とフタル酸エステル類の同時分析法

殺虫剤およびフタル酸エステル類の同時分析のクロマトグラムをFig. 12に示す。添加回収試験における、殺虫剤の回収率97.4~103%、相対標準偏差 (Relative Standard Deviation, RSD) は3.58~9.65%であった。一方、フタル酸エステル類は回収率87.4~102%、RSD 1.35~8.22%であり、同時分析でも良好な結果が得られた (Table 16)。本研究の添加回収試験では、前段の未添加SDBからDEP、DnBP、DEHPの3成分が確認され、それぞれ、> 0.0157 µg/m³、0.0160~

0.0756 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.0181~0.0933 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲で検出された。前段に配置した SDB が室内空气中に常在するフタル酸エステル類の影響を防いだため回収率が良好であったと推察された。

添加回収試験の結果を用いて、定量下限値、検出下限値の算出を行った。殺虫剤の指針値は、クロルピリホスが1 (小児0.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ダイアジノンが0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、フェノブカルブが33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である (Table 15)。本研究で算出された定量下限値は、それぞれ0.0128、0.0201、0.00667 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出下限値は0.00384、0.00604、0.00200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、いずれも指針値の1/10濃度を下回る濃度であった (Table 15)。一方、フタル酸エステル類の指針値はDnBPが17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DEHPが100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である (Table 15)。算出された定量下限値はDnBPが0.0882 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DEHPが0.107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出下限値はDnBPが0.0265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DEHPが0.0322 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、指針値を大幅に下回った (Table 16)。そして、その他のフタル酸エステル類も低濃度まで測定できることが確認された。以上から、殺虫剤とフタル酸エステル類の回収率、RSD、定量下限値、検出下限値ともに十分な性能を持つことが示された。

C.2 一般居住住宅における実態調査

開発した同時分析法を用いて、一般居住住宅における実態調査を試みた。その結果、殺虫剤3成分は検出されなかった (Table 17)。平成12年 (2000年) 頃の斎藤らの実態調査によれば、フェノブカルブ18%、ダイアジノン2%、クロルピリホス10%の検出頻度で室内空気から確認されており、今回の調査と大きく異なる点であった^{15,16)}。しかし、各殺虫剤の濃度については、当時の最大値でフェノブカルブが8.1 ng/m^3 、ダイアジノンが3.3

ng/m^3 、クロルピリホスが12.4 ng/m^3 であり、室内空気におけるこれら殺虫剤は2000年代初期から既に低濃度であったと考えられた^{15,16)}。

家庭用殺虫剤の流通状況としては、これら3成分に関する令和元年 (2019年) の調査結果¹⁷⁾によると、クロルピリホスは家庭用殺虫剤としての使用実績も既に無く、ダイアジノンは出荷実績そのものが減少傾向にあるとしており、家庭内での使用は減少していると推定される。一方で、フェノブカルブについては、平成14年 (2002年) から令和元年 (2019年) まで継続的な使用実績が報告されている¹⁷⁾。しかし、大部分は固形型の薬剤が使用され、主に屋外における殺虫を目的としている^{17,18)}。さらに、建材へのクロルピリホスの使用も平成15年 (2003年) に禁止されていることから、これら殺虫剤が過去の調査に比べ、室内空気でも確認される機会が大幅に減少した事実は妥当な結果と考えられた。

一方、フタル酸エステル類はDnBP、DEHP、DEPの3成分がそれぞれ0.14~1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.14~0.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.093~3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度で検出された (Table 17)。いずれも指針値濃度を超えるものは確認されず、2000年代初期の実態調査と同じであった¹⁹⁾。過去の調査との濃度比較では、DEPの中央値は若干高い傾向を示したが、DnBPとDEHPの中央値は同程度であった (Table 18)¹⁹⁾。DnBPとDEHPは減少傾向にあったが、本調査の最大値に着目するとDEPは3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で検出された。住民に聞き取りを行ったところ、この住宅ではエアゾール式の芳香剤や消臭剤を定期的に変更していた。佐藤らは、市販のエアゾール式芳香剤や消臭剤中に含まれるフタル酸エステル類の実態調査を行っている。DEPは製品からの検出頻度が高く、最も高濃度のもので104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 含まれていたことを報告してい

る²⁰⁾。斎藤らの2000年代の報告によれば、DEPの主な発生源は香料や化粧品としていたが¹⁹⁾、今後、新たな発生源としてエアゾール式の芳香剤や消臭剤も注視していく必要があるだろう。最後に、濃度分布について、2000年代の調査と比較を行ったところ、その濃度分布は0.1~0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲に集中する傾向が認められた (Table 18)。そして、指針値が設定されたDnBPとDEHPの濃度分布を < 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.1~0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.3~0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ < ごとに分類すると、2000年代の結果に比べ、低濃度側に移行する傾向が見られた (Fig. 13)。したがって、現在のDnBPとDEHP濃度は以前より低下していることが示唆された。しかし、今回の調査は時期や地域を限定した簡易的なものであり、今後、全国的な調査が必要と考えられる。

D. ③のまとめ

室内濃度指針値が設定されているSVOC 5物質を含む11成分について、GC-MSを利用した同時分析の検討を行った。その結果、各成分は完全分離し、回収率、RSD、検出下限値、定量下限値ともに十分な性能を有していた。また、本法を用いた実態調査を行ったところ、殺虫剤とフタル酸エステル類いずれも指針値濃度を超えるSVOCは確認されなかった。殺虫剤は全て定量下限値未満であったが、フタル酸エステル類については、DEP、DnBP、DEHPが検出され、濃度分布は0.1~0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲に集中する傾向にあった。また、指針値が設定されたDnBPとDEHPの濃度分布を < 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.1~0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.3~0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ < ごとに分類すると、2000年代の結果に比べ、低濃度側に移行する傾向が見られた。今後、全国規模のSVOCの実態調査が必要と考えられる。

④ 測定マニュアルの最終化

現行の測定マニュアルは、厚生労働省が平成13年(2001年)に示したものであり、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¹⁾。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²¹⁾。このような背景から、令和3年度(2021年度)に本分担研究で準揮発性有機化合物 (SVOC) の同時分析法として確立した固相吸着-溶媒抽出-ガスクロマトグラフィー/質量分析法 (SE-GC/MS) について、測定マニュアル文案を作成した。本文案は、シックハウス検討会における配布資料や局長通知等に点在している測定方法を統合しただけでなく、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SE-GC/MSに代わるSVOCの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。

次に、これまでは各試験法の項目毎に改訂文案を作成してきたが、今年度は試料採取方法の項目を含めて見直し、全体の整合、修正、最終化を行った。最も大きく変更した点は、空気の採取方法の名称である。従前より、「新築住宅における採取法」は、純粹に建物から発散されるVOC濃度が、どの程度のレベルまで達する可能性があるのかを推定する、言い換えれば住居を評価することを、その目的として策定されていたが、「新築住宅」という名称のため、建築後1年未満であれば日常生活を営んでいても「新築住宅における採取法」を用いるという誤解が多く、建築後1年未満であっても日常生活を営んでいれば「居住住宅における採取法」を使用するということが十分に周知されていなかった。そのため、適用目的が明確になるよう、「新築住宅における採取法」および「居住住宅における採取法」をそれぞれ「最大濃度推定法」および「平常

状態把握法」と改称した。その他、各標準試験法における名称や記載方法等を統一し、総論と各論を整理した。

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、①VOCのTD-GC/MSにおいて、カーボン系吸着剤が有用であることが明らかになった。②新規測定方法として昨年度構築した、フタル酸エステル類の固相吸着-溶媒抽出-液体クロマトグラフィー/質量分析法について、殺虫剤3物質の適用を検討し、SVOCの同時分析法を確立した。その結果、十分な分析精度が得られ、通気なしの添加回収試験では真度の目標値を満たした。しかし、室内空気を通気した添加回収試験では殺虫剤の回収率が低下したため、分析に課題が残った。③SVOCの同時分析法であるSE-GC/MSを用い、一般居住住宅14軒におけるSVOCの実態調査を実施し、2000年代の結果に比べ、低濃度側に移行する傾向が見られた。さらに、「室内空気中化学物質の測定マニュアル」について、SVOCのSE-GC/MSの試験法の改訂文案を作成し、試料採取方法の項目を含めて、全体の整合、修正、最終化を行った。以上のことから、今年度も室内濃度指針値の採取方法および測定方法のリバイスを推進し、拡充に努めた。

F. 参考文献

- 1) 室内空気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
- 2) 厚生労働省医薬・生活衛生局医薬品審査管理課 化学物質安全対策室: 室内濃度指針値一覧。
<http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/sit>

unai/hyou.html, cited March 1st, 2024.

- 3) 厚生労働省医薬・生活衛生局医薬品審査管理課 化学物質安全対策室: 第21回シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会 配布資料 1-1 室内空気汚染に係るガイドライン案について -室内濃度に関する指針値案-
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11121000-Iyakushokuhinkyoku-Soumuka/0000166137.pdf>, cited March 1st, 2024.
- 4) 厚生労働省健康局水道課: 水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について, 平成 15 年10 月 10 日付健水発第 1010001 号 (最終改正: 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課, 令和 4 年 3 月 31 日薬生水発 0331 第 1 号)
- 5) 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, 令和 3 年度 分担研究報告書 (21KD2002).
- 6) 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-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000181618_2.pdf, cited March 1st, 2024.
- 7) 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
- 8) Hazardous Substances Data Bank, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>, cited March 1st, 2024.
- 9) 富士フイルム和光純薬株式会社: 安全データシート フタル酸ジプロピル標準品 (改訂日: 令和3 年4 月15 日)

- 10) Taichi Yoshitomi, Iwaki Nishi, Aya Onuki, Tokuko Tsunoda, Masahiro Chiba, Shiori Oizumi, Reiko Tanaka, Saori Muraki, Naohiro Oshima, Hitoshi Uemura, Maiko Tahara, Shinobu Sakai: Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction. *BPB Reports*, 6(3), 76-80 (2023).
- 11) 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(5), 86-90 (2019).
doi: doi.org/10.1248/bpbreports.2.5_86
- 12) *Methods of Analysis in Health Science 2020*, The Pharmaceutical Society for Japan (ISBN978-4-307-47049-0), pp. 1200-1203 (2020).
- 13) Shinji Takeuchi, Toshiko Tanaka-Kagawa, Ikue Saito, Hiroyuki Kojima, Hideto Jinno: Distribution of 58 semi-volatile organic chemicals in the gas phase and three particle sizes in indoor air and house dust in residential buildings during the hot season in Japan. *BPB Reports*, 2(6), 91-98 (2019).
doi: doi.org/10.1248/bpbreports.2.6_91
- 14) Lihui Huang, Yaqi Qiao, Shunxi Deng, Meimei Zhou, Weiping Zhao, Yang Yue: Airborne phthalates in indoor environment: Partition state and influential built environmental conditions. *Chemosphere*, 254, 126782 (2020).
doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126782.
- 15) Ikue Saito, Aya Onuki, Hiroshi Seto, Shin-ichi Uehara: Determination of Organophosphorus Pesticides in Indoor and Outdoor air. *J. Jap. Soc. Atoms. Environ.*, 38, 78-88 (2003).
- 16) Ikue Saito, Aya Onuki, Hiroshi Seto, Shin-ichi Uehara, Itsu Kano: Survey of Indoor Air Chemicals (Plasticizers, Pesticides and Bisphenol A). *Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. PH.*, 54, 253-261 (2003).
- 17) 室内空気環境汚染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調査研究, 厚生労働行政推進調査事業費補助金(化学物質リスク研究事業)総合研究報告書, 201825017A, 62-73 (2018).
- 18) 平成26年度殺虫剤等の消費者製品に関する実態等調査業務報告書, pp 33-47 (2015).
- 19) Ikue Saito, Aya Onuki, Hiroshi Seto: Determination of phthalates in indoor air. *J. Soc. Indoor Enviro. Japan*, 5, 13-22 (2002).
- 20) Yoshiki Sato, Naeko Sugaya, Tomoo Nakagawa, Masatoshi Morita: Analysis of phthalates in aromatic and deodorant aerosol products and evaluation of exposure risk. *Yakugaku Zasshi*, 135, 631-642 (2015).
doi: 10.1248/yakushi.14-00193.
- 21) 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 (平成13年7月24日),
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h072>

4-1.html, cited March 1st 2024.

G. 研究発表

1. 論文発表

1) Taichi Yoshitomi, Iwaki Nishi, Aya Onuki, Tokuko Tsunoda, Masahiro Chiba, Shiori Oizumi, Reiko Tanaka, Saori Muraki, Naohiro Oshima, Hitoshi Uemura, Maiko Tahara, Shinobu Sakai: Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction. BPB reports, 6(3), 76-80 (2023).

2) Masahiro Chiba, Shiori Oizumi, Aya Onuki, Ikue Saito, Reiko Tanaka, Takashi Yamanouchi, Yuko Yokoyama, Takanari Wakayama, Hiroyuki Ohno, Maiko Tahara, Shinobu Sakai: Validation Study for Establishing a Standard Test Method for Volatile Organic Compounds in Indoor Air in Japan using Solvent Extraction. BPB Reports, 7(2), 39-43 (2024).

3) Taichi Yoshitomi, Iwaki Nishi, Hitoshi Uemura, Maiko Tahara, Shinobu Sakai: Simultaneous analysis of insecticides and phthalates in residential buildings based on Japan's indoor air quality guidelines. BPB Reports (in press).

4) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 酒井信夫: 除湿管を使用した室内空气中揮発性有機化合物分析を想定した添加回収試験. 室内環境 (in press).

2. 学会発表

1) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: GC-MS/MSを利用した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. 第31回環境化学討論会(第2回環境化学

物質3学会合同大会)(2023.5).

2) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内空気におけるアルキルフェノール類, ビスフェノール類の実態調査. 第60回全国衛生化学技術協議会年会 (2023.11).

3) 田原麻衣子, 大貫文, 角田徳子, 大泉詩織, 千葉真弘, 酒井信夫, 五十嵐良明: VOCおよびフタル酸エステル類の分析におけるカーボン系捕集管の適用の検討. 2023年室内環境学会学術大会 (2023.11).

4) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 上村仁, 酒井信夫: 室内濃度指針値が設定された準揮発性有機化合物の一斉分析法について. 令和5年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第36回理化学研究部会総会・研究会 (2024.2).

5) 大貫文, 田原麻衣子, 酒井信夫, 高木規峰野, 田中礼子, 村木沙織, 斎藤育江, 千葉真弘, 大泉詩織, 大野浩之, 若山貴成, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 香川(田中)聡子, 神野透人: 空気試験法: フタル酸ジ-n-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量(新規). 日本薬学会第144年会 (2024.3).

6) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 仲野富美, 上村仁, 酒井信夫: 室内環境中のハウスダストにおけるアルキルフェノール類とビスフェノール類の一斉分析法について. 日本薬学会第144年会 (2024.3).

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 TenaxGRによるVOCの添加回収試験および安定性試験の結果

	Recovery test (% , n=5)		Stability test (% , n=3)	
	Recovery	RSD*	Recovery	RSD*
Toluene	102	7.4	109	2.8
Xylene	99.5	7.1	106	2.1
<i>o</i> -Xylene	101	7.5	108	1.7
<i>m</i> -, <i>p</i> -Xylene	99.0	7.0	105	2.4
Ethylbenzene	97.8	7.0	104	1.8
Styrene	92.6	7.4	98.6	1.1
<i>p</i> -Dichlorobenzene	96.7	6.4	106	1.2
Tetradecane	93.1	6.5	106	1.5
2-Ethyl-1-hexanol	84.4	6.4	104	1.5
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate (TMPD-MIB)	74.8	8.8	97.3	3.6
TMPD-MIB-1	83.7	9.3	100	4.0
TMPD-MIB-2	71.3	9.8	96.1	3.4
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate (TMPD-DIB)	81.0	4.9	96.5	4.2

*RSD: Relative standard deviation

Table 2 LCおよびMS条件

	分析条件 A	分析条件 B	分析条件 C
カラム	ACQUITY UPLC BEH C18		
(内径×長さ、粒子径)	(2.1 mm×50 mm、 1.7 μm)	(2.1 mm×100 mm、1.7 μm)	
オープン温度	40°C		
注入量	2.5 μL		2.0 μL
流速	0.35 mL/min	0.30 mL/min	0.35 mL/min
分析時間	20.0 min	31.0 min	28.0 min
LC 条件	A: メタノール B: 10 mM ぎ酸アンモ ニウム溶液	A: アセトニトリル B: 10 mM ぎ酸アンモ ニウム溶液	A: メタノール B: 10 mM ぎ酸アンモ ニウム溶液
	時間 A B (min) (%) (%)	時間 A B (min) (%) (%)	時間 A B (min) (%) (%)
グラジエント条件	0.0 60 40 0.5 60 40 7.5 95 5 11.5 95 5 13.5 60 40	0.0 40 60 18.5 95 5 22.5 95 5 24.5 40 60	0.0 60 40 1.0 60 40 15.0 95 5 19.0 95 5 21.0 60 40
イオン化法	ESI+		
キャピラリー電圧	2 kV		
MS 条件	ソース温度 150°C		
脱溶媒温度	400°C		
コーンガス流量	50 L/hr		
脱溶媒ガス流量	800 L/hr		

Table 3 測定対象物質および内部標準物質の MS 条件

測定対象物質	略号	保持時間 (min)			定量 イオン (<i>m/z</i>)	コーン 電圧 (V)	定性 イオン (<i>m/z</i>)	コーン 電圧 (V)
		分析 条件 A	分析 条件 B	分析 条件 C				
フェノブカルブ		1.3	4.3	2.5	208	24	95	45
ダイアジノン		3.0	8.4	5.5	305	34	169	60
クロルピリホス		5.0	11.7	9.0	352	28	350	28
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル ^{*1}	DnBP	4.0	10.1	7.4	279	16	205	26
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	DEHP	8.2	19.3	15.1	391	22	261	28
フタル酸ジエチル	DEP	0.9	4.0	1.9	223	14	177	28
フタル酸ジ- <i>n</i> -プロピル	DnPrP	2.1	7.0	4.2	251	12	191	27
フタル酸ジイソブチル ^{*2}	DiBP	3.8	9.9	7.0	279	16	205	26
フタル酸- <i>n</i> -ブチルベンジル ^{*3}	BBP	3.9	9.7	7.2	313	20	205	26
フタル酸ジペンチル	DnPP	5.5	13.0	10.2	307	18	219	28
フタル酸ジシクロヘキシル	DCHP	5.5	13.1	10.2	331	20	249	27
フタル酸ジ- <i>n</i> -ヘキシル	DnHP	6.7	15.6	12.4	335	20	233	28
内部標準物質	略号							
クロルピリホス- <i>d</i> ₁₀		-	-	8.8	360	28	362	28
フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル- <i>d</i> ₄ ^{*4}	DnBP- <i>d</i> ₄	3.9	10.0	7.3	283	16	209	26
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル- <i>d</i> ₄	DEHP- <i>d</i> ₄	8.1	19.3	15.1	395	22	283	32
フタル酸ジエチル- <i>d</i> ₄	DEP- <i>d</i> ₄	0.9	3.9	1.9	227	14	153	50
フタル酸ジイソブチル- <i>d</i> ₄ ^{*5}	DiBP- <i>d</i> ₄	3.7	9.9	7.0	283	16	209	26
フタル酸- <i>n</i> -ブチルベンジル- <i>d</i> ₄ ^{*6}	BBP- <i>d</i> ₄	3.9	9.7	7.2	317	20	243	26

*1: 分析条件 A は定性イオンを *m/z* 280 (コーン電圧: 16V) に設定

*2: 分析条件 A および B は定性イオンを *m/z* 223 (コーン電圧: 14V) に設定

*3: 分析条件 A および B は定性イオンを *m/z* 239 (コーン電圧: 26V) に設定

*4: 分析条件 A は定性イオンを *m/z* 284 (コーン電圧: 16V) に設定

*5: 分析条件 A および B は定性イオンを *m/z* 227 (コーン電圧: 14V) に設定

*6: 分析条件 A は定量イオンを *m/z* 243、定性イオンを *m/z* 317 に設定

Table 4 添加回収試験方法の比較

	分析条件 C		(参考) 令和3年度の 分担研究報告 ⁵⁾	
	通気なし	通気あり		
殺虫剤	添加量/Cartridge	各 30 ng		フェノブカルブ 50 ng ダイアジノン 35 ng クロルピリホス 10 ng
	添加溶液濃度 および添加液量	各 1 µg/mL		フェノブカルブ 0.5 µg/mL ダイアジノン 0.35 µg/mL クロルピリホス 0.1 µg/mL
		アセトニトリル溶液 30 µL		アセトン溶液 100 µL
フタル酸 エステル類	添加量/Cartridge	各 600 ng	各 3,000 ng	各 200 ng
	添加溶液濃度 および添加液量	9 物質各 100 µg/mL アセトン溶液 6 µL	9 物質各 100 µg/mL アセトン溶液 30 µL	8 物質各 1 µg/mL アセトン溶液 200 µL
	サンプリング流量	-	3 L/min、24 hr	1 L/min、24 hr
抽出溶媒	アセトンまたは アセトニトリル		アセトン	
分析試料	アセトニトリル溶液		アセトン溶液	
測定方法	LC/MS		GC/MS	
捕集剤	AERO LE Cartridge SDB400HF			

Table 5 殺虫剤の検量線の決定係数、真度および精度

測定対象物質	0.001-0.1 (µg/mL)			0.002-0.1 (µg/mL)		
	決定係数 R ²	真度 (%)	精度 (RSD%)	決定係数 R ²	真度 (%)	精度 (RSD%)
フェノブカルブ	0.999-1.000	97-103	1.2 - 5.2	0.999-1.000	98-101	1.2 - 5.2
ダイアジノン	1.000	98-101	0.59 - 7.6	1.000	99-101	0.60 - 7.0
クロルピリホス	0.999-1.000	98-103	2.0 - 11	0.999-1.000	98-102	1.7 - 5.1

Table 6 フタル酸エステル類の検量線の決定係数、真度および精度

測定対象物質	内部標準物質	決定係数 R ²	真度 (%)	精度 (RSD%)
DnBP	DnBP- <i>d</i> ₄	1.000	96-102	0.22 - 1.6
DEHP	DEHP- <i>d</i> ₄	0.999-1.000	96-103	0.57 - 3.3
DEP	DEP- <i>d</i> ₄	1.000	99-101	0.29 - 2.6
DnPrP	DEP- <i>d</i> ₄	1.000	95-102	0.46 - 2.8
DiBP	DiBP- <i>d</i> ₄	1.000	97-101	0.17 - 1.4
BBP	BBP- <i>d</i> ₄	1.000	95-104	0.22 - 4.4
DnPP	DEHP- <i>d</i> ₄	0.999	90-105	0.40 - 2.2
DCHP	DEHP- <i>d</i> ₄	1.000	98-102	0.36 - 1.6
DnHP	DEHP- <i>d</i> ₄	1.000	96-102	0.33 - 2.0

Table 7 SVOC の検出下限値および定量下限値

	検出下限値 (3σ)	定量下限値 (10σ)
殺虫剤		
フェノブカルブ	0.00052	0.0017
ダイアジノン	0.0013	0.0044
クロルピリホス	<u>0.0020</u>	<u>0.0066</u>
0.001 μg/mL 相当量	-	0.0035
フタル酸エステル類		
DnBP	0.0025	0.0084
DEHP (ブランク試料)	0.0043	0.014
DEHP (0.02 μg/mL 試料)	0.0036	0.012
DEP	0.0034	0.011
DnPrP	0.0035	0.012
DiBP	0.0020	0.0068
BBP	<u>0.0051</u>	0.017
DnPP	0.0017	0.0057
DCHP	0.0027	0.0091
DnHP	0.0019	0.0062
0.02 μg/mL 相当量	-	<u>0.069</u>

単位：μg/m³、__：最大値

Table 8 通気なしの SVOC の添加回収試験結果 (通気をせずただちに抽出、n=5)

測定対象物質	蒸気圧 (mmHg) (25°C)	logKow	添加濃度 (µg/mL)	アセトン抽出		アセトニトリル抽出	
				回収率 (%)	精度 (RSD%)	回収率 (%)	精度 (RSD%)
フェノブカルブ	-	-	0.006	89	3.3	93	1.8
ダイアジノン	-	-	0.006	93	4.9	90	4.4
クロルピリホス	-	-	0.006	90	5.2	82	4.8
DnBP	2.0×10 ⁻⁵ ⁸⁾	4.5 ⁸⁾	0.120	101	0.36	93	1.4
DEHP	1.4×10 ⁻⁷ ⁸⁾	7.6 ⁸⁾	0.120	104	1.1	80	3.5
DEP	2.1×10 ⁻³ ⁸⁾	2.5 ⁸⁾	0.120	80	3.3	90	2.7
DnPrP	-	3.3 ⁹⁾	0.120	93	1.7	91	1.7
DiBP	4.8×10 ⁻⁵ ⁸⁾	4.1 ⁸⁾	0.120	99	0.38	93	1.4
BBP	8.3×10 ⁻⁶ ⁸⁾	4.7 ⁸⁾	0.120	99	0.61	89	1.5
DnPP	-	5.6 ⁸⁾	0.120	103	0.93	91	1.5
DCHP	8.7×10 ⁻⁷ ⁸⁾	6.2 ⁸⁾	0.120	98	0.76	80	1.5
DnHP	1.4×10 ⁻⁵ ⁸⁾	6.8 ⁸⁾	0.120	102	0.71	87	1.7

Table 9 アセトンで調製した混合標準液の濃縮乾固における SVOC の回収率 (n=3)

測定対象物質	調製濃度 (µg/mL)	回収率 (%)	精度 (RSD%)
フェノブカルブ	0.006	93	2.6
ダイアジノン	0.006	94	3.3
クロルピリホス	0.006	96	0.43
DnBP	0.600	100	0.69
DEHP	0.600	103	0.74
DEP	0.600	87	2.7
DnPrP	0.600	96	1.4
DiBP	0.600	100	0.99
BBP	0.600	103	0.60
DnPP	0.600	106	0.32
DCHP	0.600	103	0.48
DnHP	0.600	102	0.48

Table 10 室内空気通気による SVOC の回収率への影響
(室内空気を 3 L/min 通気および通気なし、24 時間)

測定対象物質	室内空気 中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	添加濃度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	通気あり (n=3)		通気なし (n=1)
			回収率 (%)	精度 (RSD%)	回収率 (%)
フェノブカルブ	<0.0022	0.006	88	4.8	85
ダイアジノン	<0.0022	0.006	39	2.6	76
クロルピリホス	<0.0022	0.006	59	9.0	68
DnBP	1.17	0.600	101 ^{*1}	7.2	95
DEHP	0.169	0.600	100 ^{*1}	1.7	101
DEP	<0.023	0.600	81	13	82
DnPrP	<0.023	0.600	94	2.1	89
DiBP	<0.023	0.600	96	2.5	93
BBP	<0.023	0.600	99	2.8	100
DnPP	<0.023	0.600	100	1.5	99
DCHP	<0.023	0.600	97	2.1	99
DnHP	<0.023	0.600	98	1.9	100

*1 : 室内空気中濃度を減算

Table 11 通気ありの殺虫剤の添加回収試験結果 (室内空気を 3 L/min 通気、24 時間)

測定対象物質	添加濃度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	室内空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	回収率 (%)	精度 (RSD%)
フェノブカルブ	0.006	<0.0022	94	2.0
ダイアジノン	0.006	<0.0022	74	4.4
クロルピリホス	0.006	<0.0022	79	2.5

Table 12 SVOCの添加回収試験結果（室内空気を3 L/min通気および通気なし、24時間）

測定対象物質	添加 濃度 ($\mu\text{g/mL}$)	丸底型 10 mL 遠沈管抽出				円錐型 10 mL 遠沈管抽出 ^{*1}			
		室内 空气中 濃度 ($\mu\text{g/m}^3$)	通気あり (n=3)		通気なし (n=1)	室内 空气中 濃度 ($\mu\text{g/m}^3$)	通気あり (n=3)		通気なし (n=1)
			回収率	精度	回収率		回収率	精度	回収率
			(%)	(RSD%)	(%)		(%)	(RSD%)	(%)
フェノブカルブ	0.006	<0.0022	103	4.0	97	<0.0022	88	4.8	85
ダイアジノン	0.006	<0.0022	45	12	88	<0.0022	39	2.6	76
クロルピリホス	0.006	<0.0022	57	7.6	87	<0.0022	59	9.0	68
DnBP	0.600	0.832	82 ^{*2}	2.1	85	1.15	101 ^{*2}	7.2	95
DEHP	0.600	0.154	87 ^{*2}	1.5	88	0.167	100 ^{*2}	1.7	101
DEP	0.600	<0.023	87	0.56	86	<0.023	81	13	82
DnPrP	0.600	<0.023	86	0.51	83	<0.023	94	2.1	89
DiBP	0.600	<0.023	89	0.32	85	<0.023	96	2.5	93
BBP	0.600	<0.023	89	1.3	86	<0.023	99	2.8	100
DnPP	0.600	<0.023	92	0.21	88	<0.023	100	1.5	99
DCHP	0.600	<0.023	86	0.87	86	<0.023	97	2.1	99
DnHP	0.600	<0.023	89	0.62	88	<0.023	98	1.9	100

*1 : C.4.2 の結果 (Table 10)

*2 : 室内空气中濃度を減算

Table 13 新たに測定対象物質としたフタル酸エステル類のMS条件

測定対象物質	略号	分子量	定性	コーン
			イオン (m/z)	電圧 (V)
フタル酸ジメチル	DMP	194.18	195	14
フタル酸ジ- <i>n</i> -オクチル	DnOP	390.56	391	22
フタル酸ジイソノニル	DiNP	418.61	419	22
フタル酸ジイソデシル	DiDP	446.66	447	22

Table 14 殺虫剤およびフタル酸エステル類同時分析の分析条件

GC	
Gas Chromatograph	Agilent Technologies 8890
Column	VF5-MS 30 m x 0.25 mm, i.d., 0.25 μ m
Oven temperature	80°C(1 min)-20°C/min-120°C-6°C/min-290°C-30°C/min-320°C(3 min)
Carrier gas	Helium, 1 mL/min (constant flow)
Auto sampler	PAL3 RTC 120
Injection mode	Splitless mode
Injection volume	2 μ L
Inlet temperature	280°C
MS	
Instrument	Agilent Technologies 5977B
Ionization	Electron Ionization (70 eV)
Quantitative analysis	Selected-ion monitoring mode
Interface temperature	280°C
Ion source temperature	280°C

Table 15 殺虫剤、フタル酸エステル類および内部標準物質の定量イオンと定性イオン

Components	Monitor ion (m/z)	
	Quantification ion	Confirmation ion
Fenobucarb	121	150
Diazinon	179	137
Chlorpyrifos	314	197
Chlorpyrifos- d_{10}	324	200
Di- n -butyl phthalate (DnBP)	149	205, 223
Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP)	149	167, 279
Diethyl phthalate (DEP)	149	177, 222
Di- n -propyl phthalate (DnPrP)	149	191, 209
Di- n -pentyl phthalate (DnPP)	149	219, 237
Di- n -hexyl phthalate (DnHP)	149	223, 251
Butyl benzyl phthalate (BBP)	149	206, 238
Di-cyclohexyl phthalate (DCHP)	149	167, 249
DBP- d_4	153	209, 227
DEHP- d_4	153	171, 283

Table 16 殺虫剤およびフタル酸エステル類同時分析法の評価

	Recovery (%)	RSD (%)	LOD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LOQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Additive concentration on SDB (ng)	Guideline values# ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Fenobucarb	103	3.58	0.00384	0.0128	50	33
Diazinon	97.4	8.50	0.00604	0.0201	35	0.29
Chlorpyrifos	99.5	9.65	0.00200	0.00667	10	1 for adults, 0.1 for children
DnBP	87.4	7.27	0.0265	0.0882		17
DEHP	94.1	8.22	0.0322	0.107		100
DEP	96.0	6.26	0.0250	0.0835		-
DnPrP	96.9	1.50	0.00607	0.0202	200	-
DnPP	102	2.70	0.0115	0.0384		-
DnHP	97.7	1.35	0.00551	0.0184		-
BBP	99.5	2.82	0.0117	0.0390		-
DCHP	96.3	1.77	0.00712	0.0237		-

The guideline values for indoor air concentration in Japan

Table 17 一般居住住宅における SVOCs の調査結果

Sample No.	Fenobucarb	Diazinon	Chlorpyrifos	DnBP	DEHP	DEP	DnPrP	DnPP	DnHP	BBP	DCHP	Measuring point
1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.4	0.24	0.18	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Bedroom
2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.29	0.86	0.093	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.31	<LOQ	0.14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.38	0.47	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
5	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.58	0.29	0.14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
6	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.20	0.52	0.14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
7	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.72	<LOQ	0.15	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
8	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.66	0.44	0.59	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Children's room
9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.62	0.20	3.8	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.21	0.29	0.17	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.98	<LOQ	0.37	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.24	0.52	0.19	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
13	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.24	<LOQ	0.099	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.14	0.14	0.11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	Living room
LOQ	0.013	0.020	0.0067	0.088	0.11	0.083	0.020	0.038	0.018	0.039	0.024	

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Table 18 既報との比較

	This study			Reference*		
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	DnBP	DEHP	DEP	DnBP	DEHP	DEP
Median	0.35	0.36	0.15	0.47	0.31	0.049
Max	1.4	0.86	3.8	7.2	2.4	0.86
Min	0.14	0.14	0.093	0.078	0.052	<0.005
Detection rate of concentration distribution 0.1-0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)	86	71	71	70	71	No data
Adsorbent	Quartz filter and Styrene divinylbenzene copolymer			Quartz filter and C18 filter		

* Determination of Phthalates in Indoor Air.

J. Soc. Indoor Environment, Japan 5(1), 13-22 (2002)

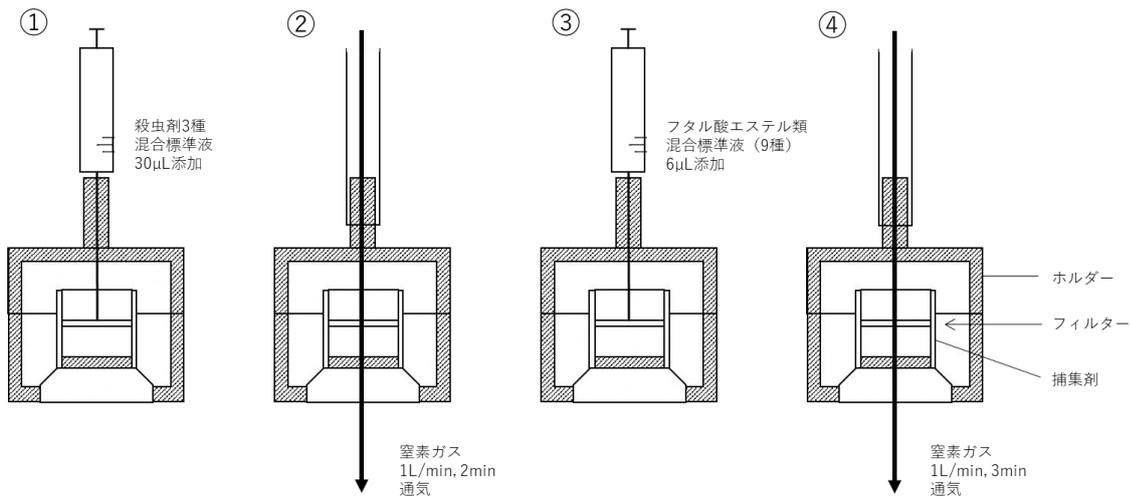


Fig. 1 添加回収用試料の調製方法

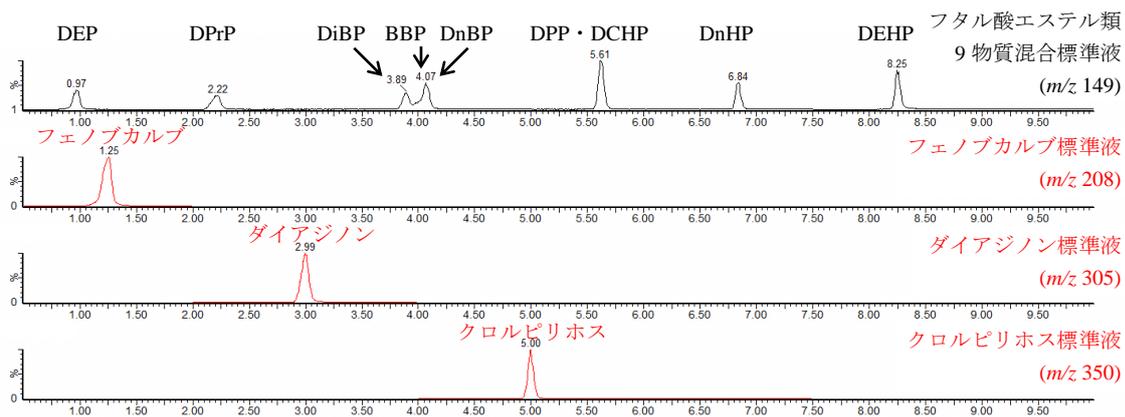


Fig. 2 分析条件 A における殺虫剤 3 物質とフタル酸エステル類 9 物質の分離

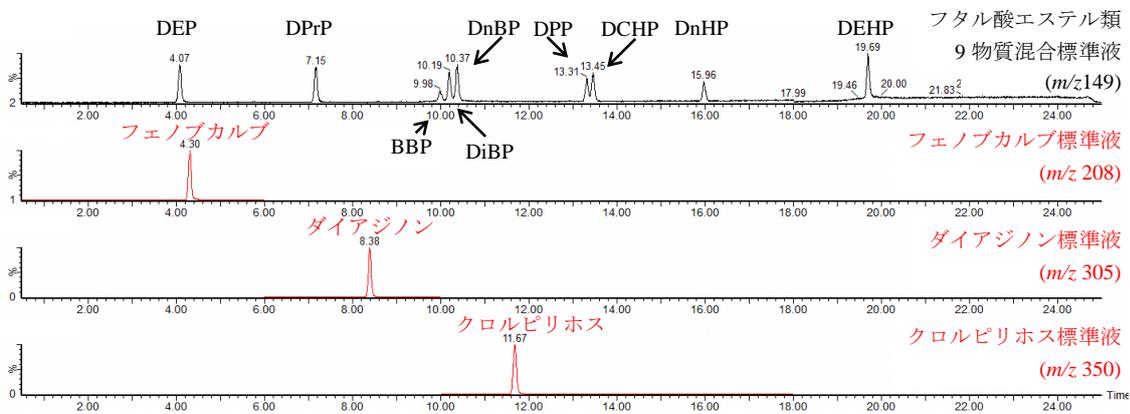


Fig. 3 分析条件 B における殺虫剤 3 物質とフタル酸エステル類 9 物質の分離

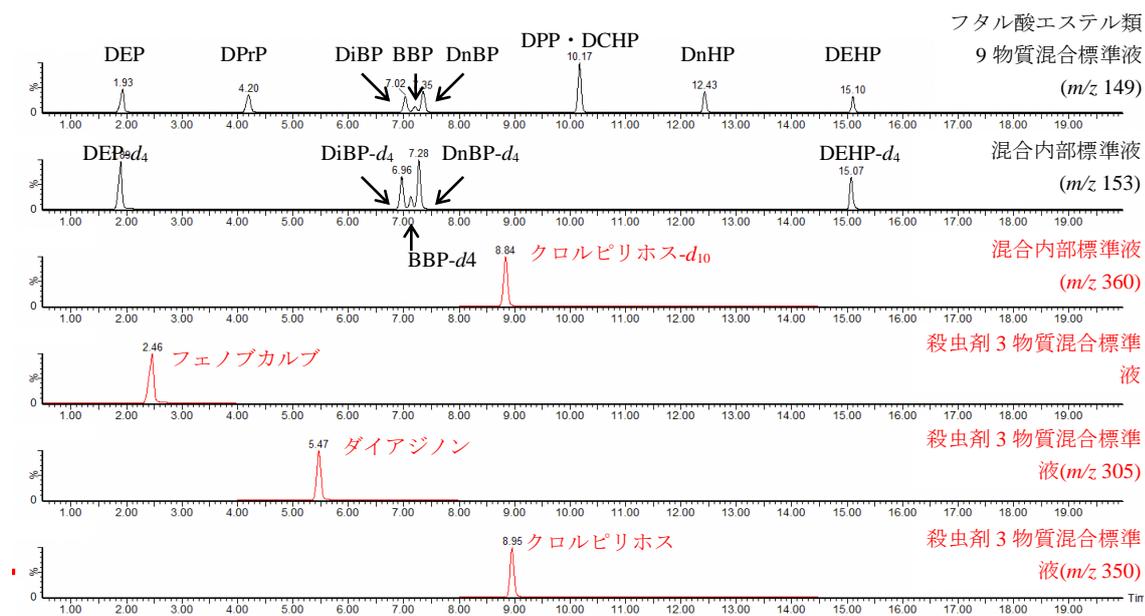


Fig. 4 分析条件 C における殺虫剤 3 物質とフタル酸エステル類 9 物質の分離

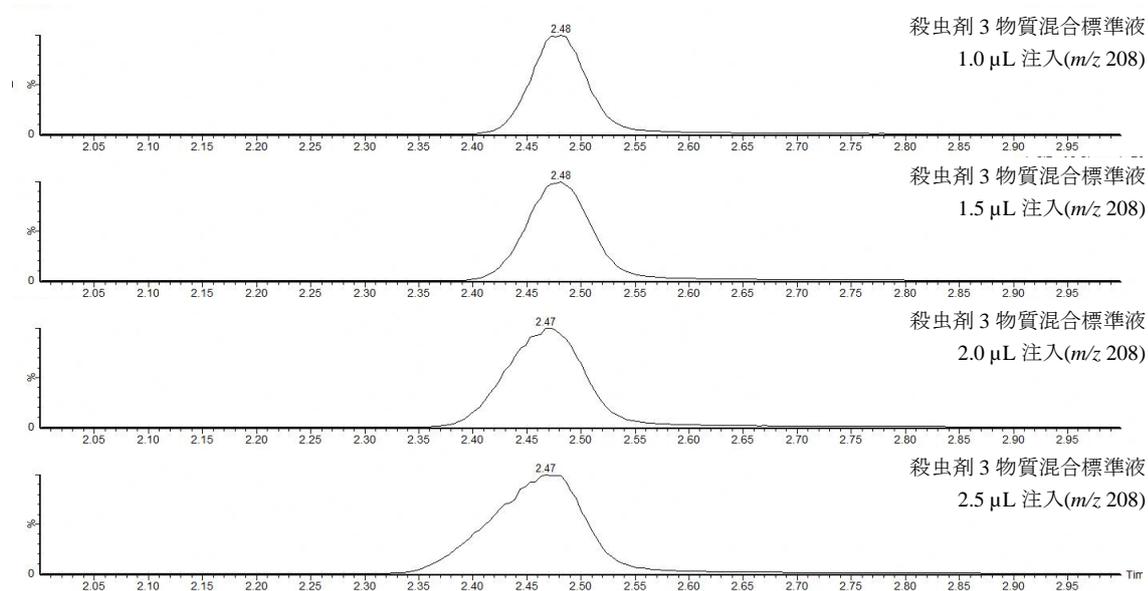
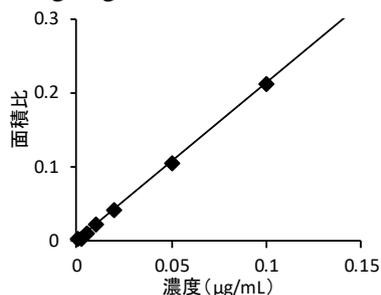
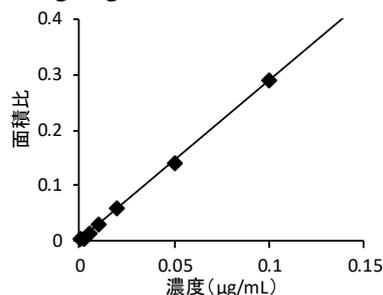


Fig. 5 注入量とフェノブカルブのピーク形状

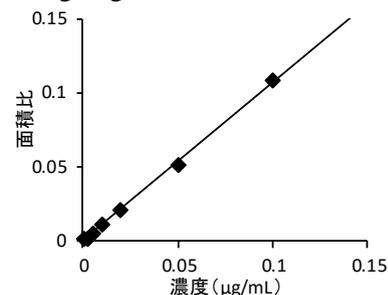
Fenobucarb
 $y = 2.1213x + 0.0002$
 $R^2 = 0.9998$
 Weighting: 1/x



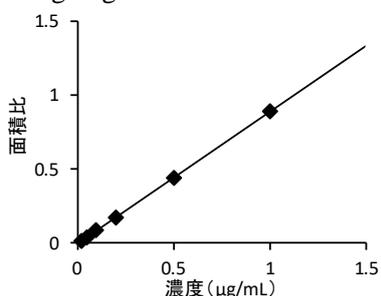
Diazinon
 $y = 2.8673x + 0.0002$
 $R^2 = 0.9996$
 Weighting: 1/x



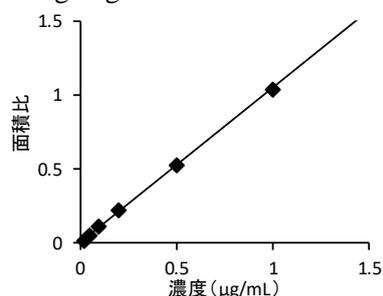
Chlorpyrifos
 $y = 1.0618x + 0.0001$
 $R^2 = 0.9990$
 Weighting: 1/x



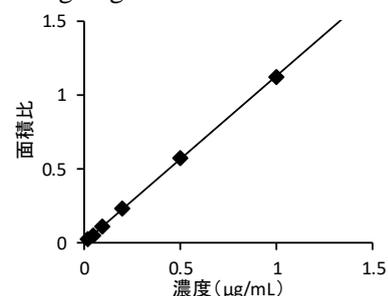
DEP
 $y = 0.8872x + 0.0001$
 $R^2 = 1.0000$
 Weighting: 1/x



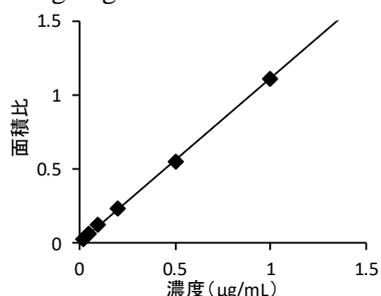
DPrP
 $y = 1.0446x + 0.0022$
 $R^2 = 0.9997$
 Weighting: 1/x



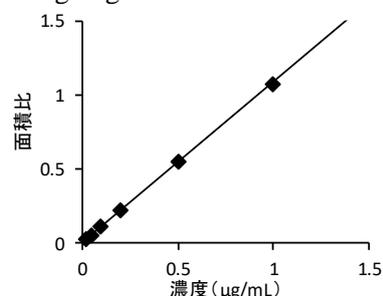
DiBP
 $y = 1.1235x + 0.0019$
 $R^2 = 0.9998$
 Weighting: 1/x



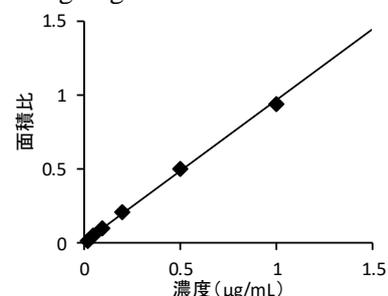
BBP
 $y = 1.1097x + 0.0031$
 $R^2 = 0.9995$
 Weighting: 1/x



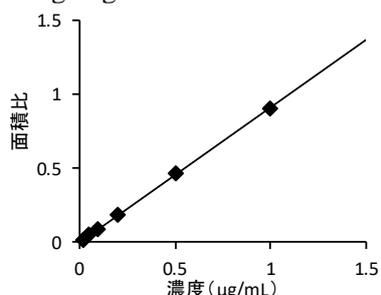
DnBP
 $y = 1.0849x + 0.0029$
 $R^2 = 0.9997$
 Weighting: 1/x



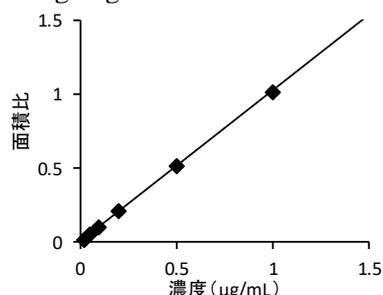
DnPP
 $y = 0.9611x + 0.0044$
 $R^2 = 0.9986$
 Weighting: 1/x



DCHP
 $y = 0.9099x + 0.0015$
 $R^2 = 0.9998$
 Weighting: 1/x



DnHP
 $y = 1.0202x + 0.0024$
 $R^2 = 0.9997$
 Weighting: 1/x



DEHP
 $y = 0.9730x + 0.0162$
 $R^2 = 0.9994$
 Weighting: 1/x

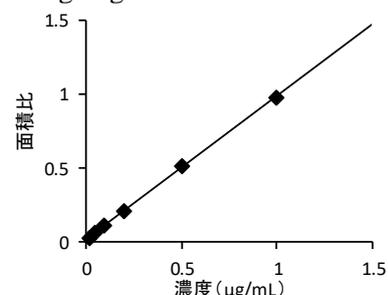


Fig. 6 検量線 (検量点: 殺虫剤 0.001-0.1 µg/mL、フタル酸エステル類 0.02-1 µg/mL)

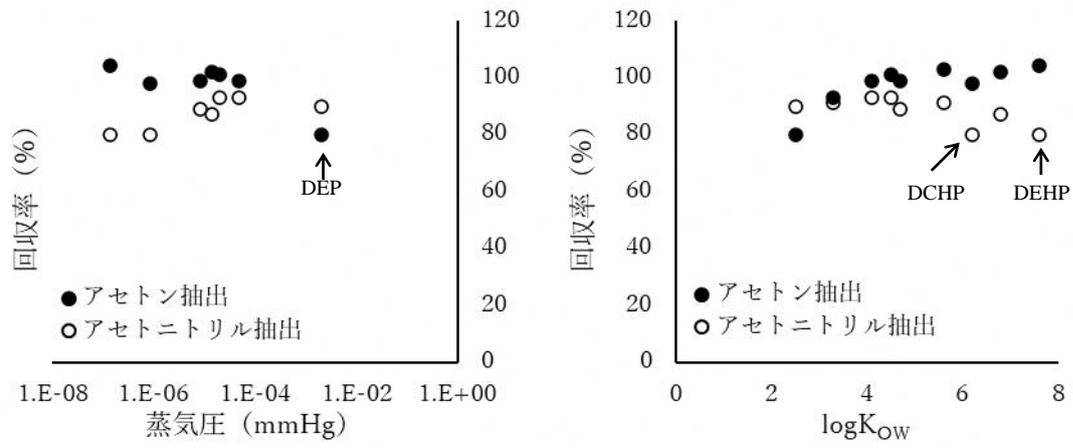


Fig. 7 フタル酸エステル類 9 物質の蒸気圧および logK_{OW} と回収率

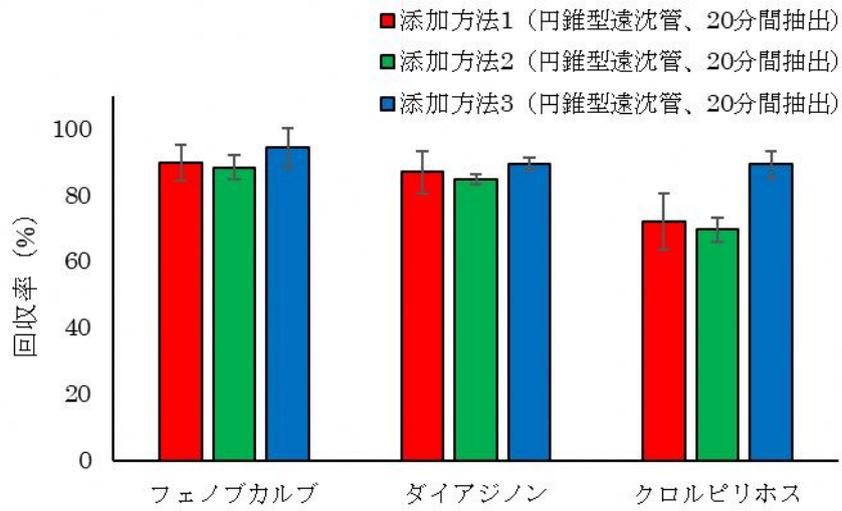


Fig. 8 添加方法による添加回収試験結果の比較 (通気なし、24時間、n=5)

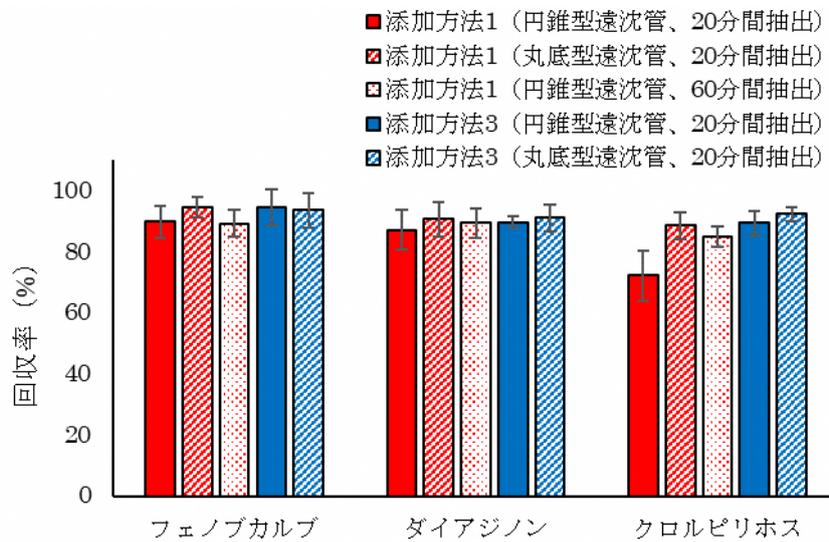


Fig. 9 10 mL遠沈管の形状および超音波抽出時間による添加回収試験結果の比較 (通気なし、24時間、n=5)

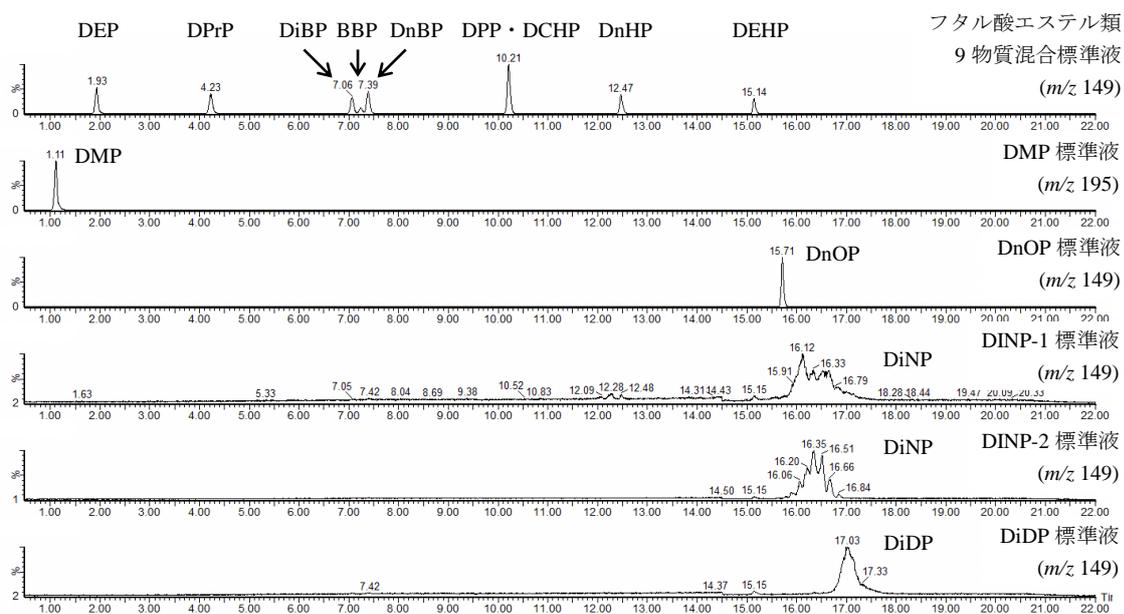


Fig. 10 フタル酸エステル類13物質の分離

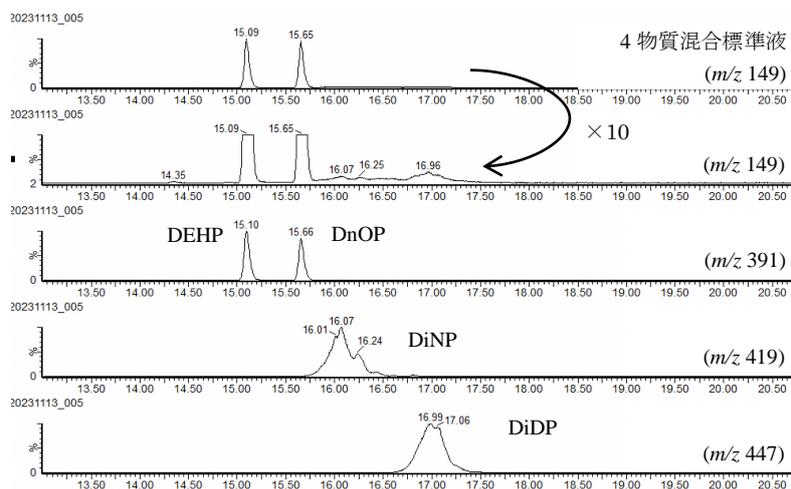


Fig. 11 DEHP、DnOP、DiNPおよびDiDPの分離

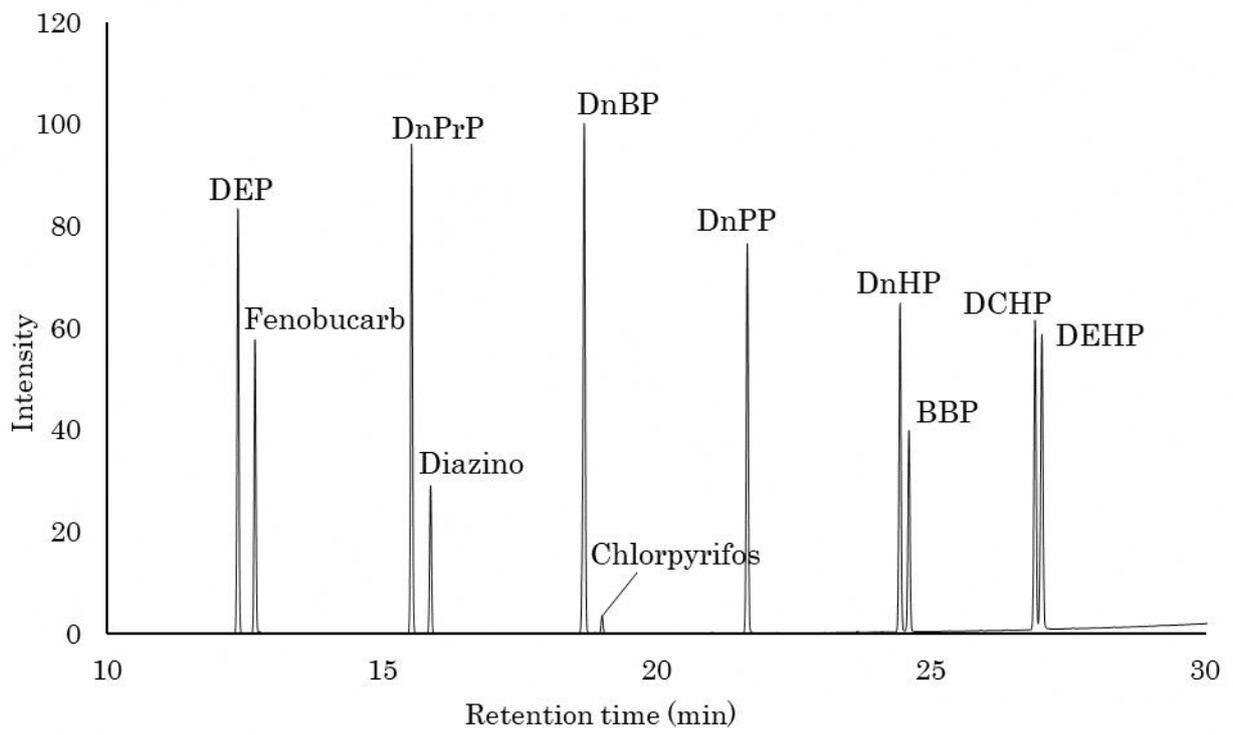


Fig. 12 殺虫剤およびフタル酸エステル類同時分析のTICクロマトグラム

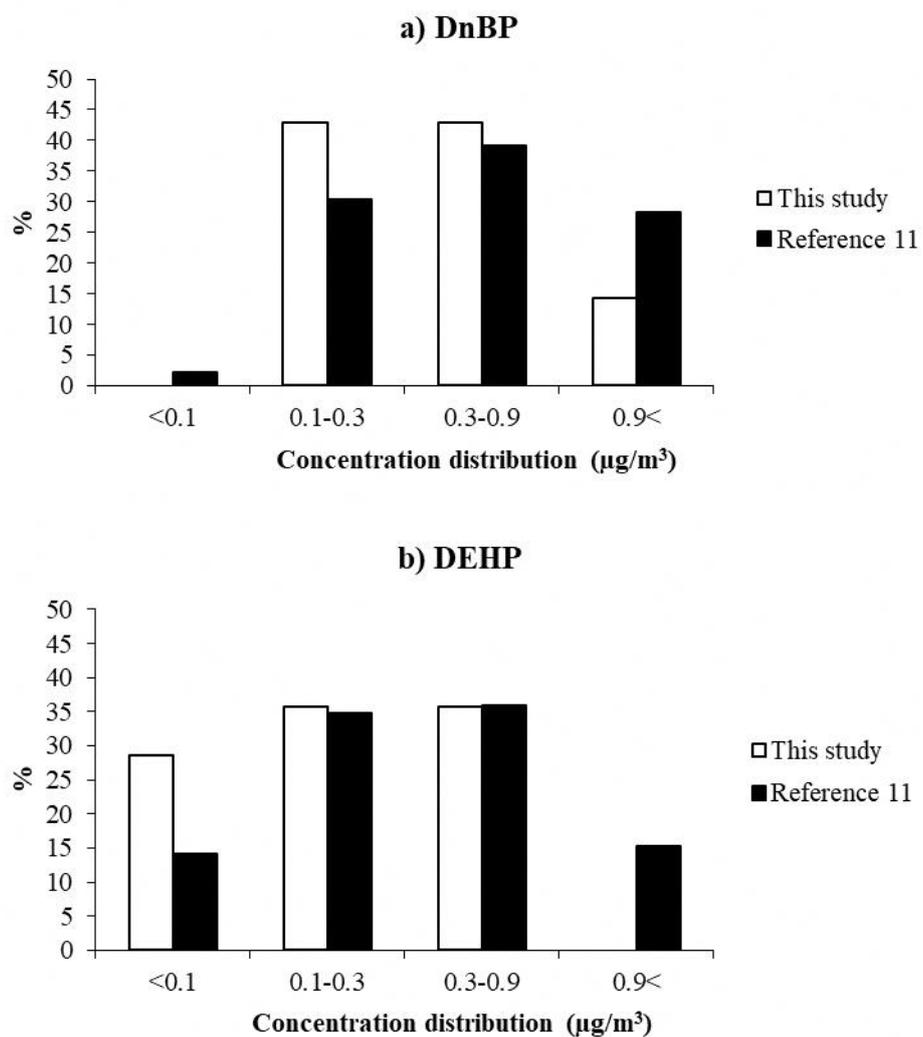


Fig. 13 本研究および2000年代前半の研究におけるa) DnBPおよびb) DEHPの検出濃度分布

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 横浜薬科大学薬学部 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。本研究では、標準試験法の国内規格化を目的として、室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物を対象とする標準試験法として固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法を策定した。さらに、前年度標準試験法として策定したフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルに関する改定指針値に対応した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法と合わせて、日本薬学会第144年会にて公表し、日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2024に収載した。

研究協力者：

酒井信夫（国立医薬品食品衛生研究所）、田原麻衣子（国立医薬品食品衛生研究所）、大嶋直浩（国立医薬品食品衛生研究所）、高木規峰野（国立医薬品食品衛生研究所）、斎藤育江（東京都健康安全研究センター）、大貫文（東京都健康安全研究センター）、鈴木浩（柴田科学株式会社）、鳥羽陽（長崎大学・医歯薬学総合研究科（薬学系））、中島大介（国立環境研究所）、藤森英治（環境調査研究所）、森葉子（名城大学）、埴岡伸光（横浜薬科大学）、大河原晋（横浜薬科大学）、磯部隆史（横浜薬科大学）、宮崎悠里奈（横浜薬科大学）、沖野優衣（横浜薬科大学）、高橋美優（横浜薬科大学）、千葉真弘（北海道衛生研究所）、大泉詩織（北海道衛生研究所）、田中礼子（横浜市衛生研究所）、村木沙織（横浜市衛生研究所）、大野浩之（名古屋市

衛生研究所）、若山貴成（名古屋市衛生研究所）

A. 研究目的

ヒトが一日の大部分を過ごす「室内」の空気は化学物質への曝露の観点から極めて重要な曝露媒体である。室内空気中の化学物質はシックハウス症候群や喘息などの疾病の病因あるいは増悪因子となることから室内空気質に強い関心が寄せられている。また、室内環境における慢性的な化学物質曝露という点からも、室内空気質に対する注目が高まっている。1997年より室内空気汚染対策として、ホルムアルデヒドやトルエン等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ており、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¹⁾。居住環境の室内空気がこれら化学物質の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、室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物を対象として、最新の分析技術を基に汎用性の高い標準試験法の策定と、その国内規格化を目的とする。

B. 研究方法

室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物を対象とする標準試験法として、固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法を策定し、日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載する。また、前年度の研究で標準試験法として策定したフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルに関する改定指針値に対応した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法を日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載する。

C. 研究結果

室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物を対象とする標準試験法として、固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法を策定し、日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載した。

また、前年度の研究で標準試験法として策定したフタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシルに関する改定指針値に対応した固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法を日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載した。その内容を別添に示す。

D. 結論

室内濃度暫定目標値が設定されている総揮発性有機化合物を対象とする標準試験法、および昨年度策定した、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する標準試験法を、日本薬学会第 144 年会にて公表し、日本薬学会編 衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載した。

E. 考察

本研究で、室内濃度指針値、並びに暫定目標値が設定されている物質を対象とする標準試験法が策定され、公定法として公表されることにより、詳細曝露評価を円滑に実施することが可能になる。

F. 参考文献

1. 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 23 回までのまとめ、平成 31 年 1 月 17 日 <https://www.mhlw.go.jp/content/000470188.pdf>

G. 健康危険情報

なし

H. 研究発表

1. 著書

- 1) 神野透人, 大貫文, 香川聡子, 酒井信夫, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治: 空気試験法 / 有機化合物 / 揮発性有機化合物 / 総揮発性有機化合物 (新規), 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会・試験法出版委員会編, 日本薬学会編衛生試験法・注解 2020・追補 2024, 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会発行, 東京, p.8-12, 2024.
- 2) 神野透人, 大貫文, 香川聡子, 酒井信夫, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治: 空気試験法 / 有機化合物 / フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-

エチルヘキシル・固相吸着-加熱脱離—
ガスクロマトグラフィー・質量分析法
による定量(新規), 公益社団法人日本
薬学会環境衛生部会・試験法出版委
員会編, 日本薬学会編衛生試験法・注
解 2020・追補 2024, 公益社団法人日
本薬学会環境衛生部会発行, 東京,
p.13-17, 2024.

2. 論文発表

- 1) Isobe T, Ohkawara S, Mori Y, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Hanioka N., Hydrolysis of dibutyl phthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate in human liver, small intestine, kidney, and lung: An in vitro analysis using organ subcellular fractions and recombinant carboxylesterases. Chem Biol Interact. 2023 Feb 25;372:110353. doi: 10.1016/j.cbi.2023.110353. Epub 2023 Jan 16.
- 2) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno H., Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality. J Toxicol Sci. 2023;48(1):37-45. doi: 10.2131/jts.48.37.
- 3) Hanioka N, Isobe T, Saito K, Nagaoka K, Mori Y, Jinno H, Ohkawara S, Tanaka-Kagawa T., Hepatic glucuronidation of tetrabromobisphenol A and tetrachlorobisphenol A: interspecies differences in humans and laboratory animals and responsible UDP-glucuronosyltransferase isoforms in humans. Arch Toxicol. 2024, 98(3), 837-848.

3. 論文発表

- 1) 宮崎悠里奈, 大河原晋, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 森葉子, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: *in vitro* 及び *in silico* 手法を用いる isothiazolinone 系抗菌薬による TRPV1 活性化評価, 第 50 回日本毒性学会学術年会, 横浜, 2023 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, 第 50 回日本毒性学会学術年会, 横浜, 2023 年 6 月
- 3) 浦島桃香, 中向井璃奈, 宮崎悠里奈, 大河原晋, 森葉子, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: Isothiazolinone 系抗菌剤による TRP イオンチャネル活性化の *in vitro* 及び *in silico* 評価, フォーラム 2023 衛生薬学・環境トキシコロジー, 広島, 2023 年 9 月
- 4) 香川(田中)聡子, 森葉子, 田原麻衣子, 大河原晋, 磯部隆史, 大貫文, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 埴岡伸光, 酒井信夫, 神野透人: 空気試験法 / 有機化合物 / 揮発性有機化合物 / 総揮発性有機化合物(新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 5) 大貫文, 田原麻衣子, 酒井信夫, 高木規峰野, 田中礼子, 村木沙織, 斎藤育江, 千葉真弘, 大泉詩織, 大野浩之, 若山貴成, 鈴木浩, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 香川(田中)聡子, 神野透人: 空気試験法 / 有機化合物 / フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル・固相吸着-加熱脱離—ガスクロマトグラフィー・質量分

- 析法による定量（新規），日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- 6) 古田貴大，林暁翔，白畑辰弥，上野朱璃，中森俊輔，金井智久，川端雄資，宇津木 貴子，香川（田中）聡子，神野透人，小林義典：TRPV1 構造活性相関解明に向けた 7 位,10 位 - Evodiamine 誘導体の不斉合成研究，日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- 7) 中森俊輔，大塚有梨須，石塚日菜，森本彩香，金井智久，白畑辰弥，香川（田中）聡子，神野透人，小林義典生薬：「ダイオウ」の TRPV1 活性成分の探索と生薬「オウレン」含有ベルベリンアルカロイドの相互作用，日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- 8) 湯浅竜斗，森葉子，東珠希，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代替可塑剤による TRPA1 活性化の種差に関する研究，日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- 9) 宮崎悠里奈，大河原晋，森葉子，磯部隆史，北川康行，埴岡伸光，神野透人，香川（田中）聡子：イソチアゾリノン系抗菌剤によるヒト TRPV1 活性化の *in vitro* 及び *in silico* 評価，日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- 10) 沖野優衣，高橋美優，森葉子，大河原晋，北川康行，波多江典之，磯部隆史，埴岡伸光，神野透人，香川（田中）聡子：香料アレルゲンによるヒト TRPA1 活性化 — *in vitro* 及び *in silico* 評価 —，日本薬学会第 144 年会，横
- 浜，2024 年 3 月
- 11) 高橋美優，沖野優衣，森葉子，大河原晋，北川康行，波多江典之，磯部隆史，埴岡伸光，神野透人，香川（田中）聡子：EU 化粧品規制における新規義務表示香料成分による TRPA1 活性化の *in silico* 評価，日本薬学会第 144 年会，横浜，2024 年 3 月
- I. 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

(別添)

4.4.5 有機物質

13) 揮発性有機化合物

(4) 総揮発性有機化合物¹⁾ (新規)

総揮発性有機化合物 (TVOC)²⁾ は、捕集管で採取した揮発性有機化合物を無極性のキャピラリーカラムを用いてガスクロマトグラフ/質量分析計で測定した時に、*n*-ヘキサンと *n*-ヘキサデカンの保持時間の範囲内に溶出するピーク面積の合計をトルエン相当量として表した値である。本法は、室内空気中の TVOC の測定に適している³⁾。

【試薬】 ① メタノール：測定対象物質および内標準物質/サロゲート物質のクロマトグラムに妨害を生じないもの

② 標準物質：i) 定量用標準物質 トルエン

ii) 定性用標準物質⁴⁾ *n*-アルカン類 (*n*-ヘキサン, *n*-ヘプタン, *n*-オクタン, *n*-ノナン, *n*-デカン, *n*-ウンデカン, *n*-ドデカン, *n*-トリデカン, *n*-テトラデカン, *n*-ペンタデカン, *n*-ヘキサデカン), *o*-キシレン, *m*-キシレン, *p*-キシレン, エチルベンゼン, スチレン, 1, 4-ジクロロベンゼン, 2-エチル-1-ヘキサノール, 2, 2, 4-トリメチル 1, 3-ペンタンジオールモノイソブチレート, 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

③ 定量用標準溶液：100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、トルエン 1 g を正確に量り取り、メタノールで全量を 100 mL として 10 mg/mL 定量用標準溶液を調製する⁵⁾。

100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、定量用標準原液 10 mL を加え、メタノールで全量を 100 mL として 1000 µg/mL 定量用標準溶液を調製する。この 1000 µg/mL 定量用標準溶液を順次メタノールで希釈して、100 µg/mL, 10 µg/mL および 1 µg/mL 定量用標準溶液を調製する。

④ 定性用混合標準溶液：100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、定性用標準物質 1 g を正確に量り取り、メタノールで全量を 100 mL として 10 mg/mL 定性用標準原液を調製する。

100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、各定性用標準原液 1 mL を加え、メタノールで全量を 100 mL として 100 µg/mL 定性用標準溶液を調製する。

⑤ 内標準物質/サロゲート物質：トルエン-*d*₈

⑥ 内標準/サロゲート溶液：100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、トルエン-*d*₈ 1 g を正確に量り取り、メタノールで全量を 100 mL として 10 mg/mL 内標準/サロゲート原液を調製する。100 mL の全量フラスコにメタノール 50 mL を入れ、内標準/サロゲート原液 10 mL を加え、メタノールで全量を 100 mL として 1000 µg/mL 内標準/サロゲート溶液を調製する。この 1000 µg/mL 内標準/サロゲート溶液をメタノールで希釈して、100 µg/mL 内標準/サロゲート溶液を調製する。

⑦ 高純度 N₂ ガス：測定対象物質、内標準物質およびサロゲート物質のクロマトグラムに妨害を生じないもの

【装置および器具】 ① マイクロシリンジ：容量 1~5 µL, 1~10 µL または 10~100 µL が量りとれるもの

② 試料採取装置：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もの⁶⁾。試料採取装置の例を図 4.4.5-8 に示す。

i) 捕集管：外径 6.4 mm, 長さ 89 mm のガラス管またはステンレス管に、粒径 0.18~0.25 mm (60~80 メッシュ) の多孔質ポリマー (ポリ (2, 6-ジフェニル-1, 4-フェニレンオキシド) 200 mg を充てんし、不活性処理したガラスウールまたはステンレスステンレス鋼製金網で両端を固定したもの⁷⁾

ii) 流量調節装置：流量を 2~10 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精密ニードルバルブ付流量計またはマスフローコントローラー。または、これらと同等以上の性能を有するもの⁸⁾

iii) ポンプ：ダイヤフラム型等の密閉式のポンプで、流量調節装置の制御範囲の流量を確保でき、かつ低流量でも安定して作動する性能を有するもの⁹⁾

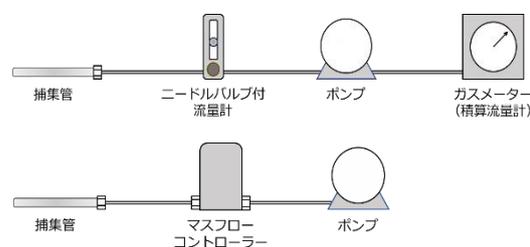


図 4.4.5-8 試料採取装置の例

iv) ガスメーター：積算流量の測定が可能な湿式ガスメーターで、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。または、これと同等以上の性能を有するもの

③ 試料導入装置：捕集管加熱部、再捕集部 (冷却トラップ・加熱部またはクライオフォーカス・加熱部、もしくはその両方) およびスプリット装置を備えたもの¹⁰⁾

i) 捕集管加熱部 試料導入装置に装着された捕集管に不活性ガス (He) を流しながら加熱し、脱離した揮発性有機化合物を不活性ガス (He) とともに再捕集部に導入する。

ii) 再捕集部 (冷却トラップ・加熱部) 吸着剤 (Tenax® TA) 等を充てんした内径 2 mm 以下のトラップ管を -10°C 以下に冷却し、揮発性有機化合物を再捕集する。ついで、トラップ管を 80°C/min 以上の昇温速度で急速に加熱して、気化した揮発性有機化合物をスプリット装置に通し、一部をガスクロマトグラフ/質量分析計に導入する。

iii) 再捕集部 (クライオフォーカス・加熱部) 内径 0.5 mm 程度の中空細管を液体窒素等で -100°C 以下に冷却し、揮発性有機化合物をクライオフォーカスする。中空細管を 250°C/min 以上の昇温速度で急速に加熱して、気化した揮発性有機化合物をスプリット装置に通し、一部をガスクロマトグラフ/質量分析計に導入する。

④ ガスクロマトグラフ/質量分析計¹¹⁾¹²⁾： 4.4.5 13)

(I) 〔装置および器具〕 ③ に同じ

【試料の採取】① 捕集管の前処理：試料採取に使用する前に、捕集管を清浄にするための前処理を行う。捕集管に 50 mL/min 程度の流速で高純度 N₂ ガスを流しながら、100°C で 30 分間、ついで 300°C で 2 時間以上加熱処理し、捕集管に残存する可能性のある揮発性有機化合物を除去する。100°C 以下に冷却したのちに、捕集管の両端をポリテトラフルオロエチレン (PTFE) フェルール付き金属スクリューキャップで密栓し、粒状活性炭を入れたステンレス製容器で保管する。

前処理済捕集管の一部について TVOC の測定を行い、前処理が適切に行われていることを確認する。

② 試料採取：i) 室内空気の採取^{13)~15)}

居住居における空気試料の採取は、居間および寝室で 24 時間採取する。捕集管を部屋の中央付近、高さ 1.2 ~ 1.5m の位置に設置し、試料採取装置を用いて、24 時間の採取量が 3 L 以下になるように流速を設定して採取する。空気試料を採取した捕集管は、両端を密栓し、加熱脱離ガスクロマトグラフィー/質量分析を行うまで粒状活性炭を入れたステンレス製容器で保存する。

ii) 2 重測定用の試料採取

室内空気の採取時に、常時、2 本以上の捕集管を用いて同時採取を行い、並行測定および 2 重測定用捕集管として使用する。2 重測定用の試料採取は、1 居住居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。

iii) トラベルブランク¹⁶⁾

密栓した前処理済捕集管を、試料採取操作を行わないこと以外は空気試料採取用の捕集管と同様に持ち運び、トラベルブランク試験用捕集管とする。この操作は、居住居ごとに 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。

【試験操作】① 検量線用捕集管の調製：

検量線作成用捕集管を検量線作成用 T 字管に接続し、30~50 mL/min の流速で高純度 N₂ ガスを流しながら、マイクロシリンジを用いて 1 μg/mL, 10 μg/mL, 40 μg/mL, 100 μg/mL, 400 μg/mL, または 1000 μg/mL 定量用標準溶液 1 μL を注入する¹⁷⁾。高純度 N₂ ガスを 3~5 分間通気したのちに、捕集管を取り外し、密栓する¹⁸⁾。

② 内標準物質の添加：試料を採取した捕集管、トラベルブランク試験用捕集管、または検量線作成用捕集管を検量線作成用 T 字管に接続し、30~50 mL/min の流速で高純度 N₂ ガスを流しながら、マイクロシリンジを用いて 100 μg/mL 内標準溶液 1 μL を注入する。高純度 N₂ ガスを 3~5 分間通気したのちに、捕集管を取り外し、密栓する¹⁹⁾。

③ 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②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²⁰⁾。

④ 加熱脱離ガスクロマトグラフィー/質量分析測定²¹⁾：内標準物質を負荷した捕集管を試料導入装置に装着し、キャリアガスを流しながら捕集管を加熱する。加熱脱離した揮発性有機化合物をあらかじめ冷却したトラップで再捕集したのちに、トラップを急速に加熱し、気

化した揮発性有機化合物をスプリットしてガスクロマトグラフに導入する。

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
 バージ流量 : 50 mL/min, 8 min
 キャリヤーガス : He
 トラップ温度 : -20°C
 トラップ加熱温度 : 280°C, 5 min
 ライン温度 : 250°C
 バルブ温度 : 250°C

ガスクロマトグラフィー/質量分析の分析条件の一例を以下に示す。

カラム：キャピラリーカラム (0.2~0.32 mm i.d. × 25~60 m, 膜厚 0.25~1.5 μm)
 液相：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
 カラム温度：40°C - (5°C/min, 昇温) - 280°C (4 min)
 スプリット比：1 : 5 ~ 1 : 20
 キャリヤーガスおよび流量：He, 40 cm/sec (線速度一定) または、1 mL/min (流量一定)
 インターフェース温度：250°C
 イオン源温度：200°C
 スキャン範囲：35~400 m/z, 2~10 Scans/sec

定 量²²⁾²³⁾：Scan 法で測定した質量分析のトータルイオンクロマトグラムの波形処理して、*n*-ヘキサンから *n*-ヘキサデカンとの間の保持時間に溶出するピークの面積を積算する。

トルエンのピーク面積で作成した検量線をもとに、各ピーク的面積をトルエン換算値として表す。

検量線の作成：トルエンと内標準物質 (トルエン-*d*₈) のピーク面積比を求め、トルエンの負荷量とピーク面積比をもとに検量線を作成する。

計 算：25°C における室内空気中の TVOC 濃度 (μg トルエン相当量/m³) は、次式から求められる。

$$C = \frac{A_s - A_t}{V \times \frac{273 + 25}{273 + t} \times \frac{P}{101.3}}$$

C：25°C における室内空気中の TVOC 濃度 (μg トルエン相当量/m³)

A_s：試料採取捕集管中の TVOC 量 (ng トルエン相当量)

A_t：トラベルブランク又は操作ブランク捕集管中の TVOC 量 (ng トルエン相当量)²⁴⁾²⁵⁾

V：試料採取量 (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_w) を用いる。P_w は試料採取時の平均気温 t (°C) における飽和水蒸気圧 (kPa)

定 性²⁶⁾²⁷⁾：定性用標準物質の保持時間とマススペクトルから、試料の主要なピークについて定性を行う。

【注解】

1) 本法は ISO 16000-6:2021 に対応する。

2) WHO の定義では、揮発性有機化合物 (VOC; Volatile Organic Compound) は沸点が 50°C ないし 100°C から 240°C ないし 260°C の範囲の化合物である。一方、TVOC は、ガスクロマトグラフィー/質量分析において *n*-ヘキサン (沸点 69°C) から *n*-ヘキサデカン (沸点 287°C) の間に溶出する VOC の総和であり、わが国では室内空気質の総合的な指標として 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の暫定目標値が定められている。

3) 捕集された揮発性有機化合物のほとんどが測定可能である。室内空気中の揮発性有機化合物は濃度範囲が広いので、濃度が高い物質では測定に際して内径の小さいカラムでは過負荷になり、検量線の範囲をはずれるおそれもあるので注意する。

4) TVOC を構成する化合物のうち、1/2 程度の化合物を同定できるように、定性用標準物質を適宜追加すると良い。

日本の室内空気中で高頻度に検出される TVOC 構成成分として、次の VOC が報告されている (文献 1)。

n-アルカン類 (11 物質) : *n*-ヘキサン, *n*-ヘプタン, *n*-オクタン, *n*-ノナン, *n*-デカン, *n*-ウンデカン, *n*-ドデカン, *n*-トリデカン, *n*-テトラデカン, *n*-ペンタデカン, *n*-ヘキサデカン

芳香族炭化水素類 (5 物質) : *o*-キシレン, *m*-キシレン, *p*-キシレン, エチルベンゼン, スチレン

塩素化炭化水素類 (4 物質) : 1, 4-ジクロロベンゼン, トリクロロエチレン, テトラクロロエチレン, クロロホルム

アルコール類・エステル類 (4 物質) : 2-エチル-1-ヘキサノール, 2, 2, 4-トリメチル 1, 3-ペンタンジオールモノイソブチレート, 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, 酢酸エチル

グリコール類・グリコールエーテル類 (4 物質) : 1, 3-ブタンジオール, プロピレングリコール 1-モノメチルエーテル, ジプロピレングリコール, ジプロピレングリコールモノメチルエーテル

環状シロキサン類 (2 物質) : オクタメチルシクロテトラシロキサン, デカメチルシクロペンタシロキサン

テルペン類 (4 物質) : *d*-リモネン, メントール, α -ピネン, β -ピネン

5) 試料採取量、濃縮操作およびガスクロマトグラフィー/質量分析の条件など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、市販の標準原液 (混合標準原液) を用いてもよい。ただし、精度が保証されているものが望ましい。

6) 基本的な構成では、捕集管の後段に体積流量を調節するニードルバルブ付流量計、ポンプおよびガスメーターを、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) チューブなどを用いて接続する。湿式ガスメーターを用いる場合には、採取時の平均気温および気圧を記録する必要がある。一方、流量調節装置として流量積算機能を備えたマスフローコントローラーを用いる場合には、ガスメーターは不要である。

7) 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前処理したのち、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。

8) マスフローコントローラーの流量単位は、SSCM (Standard Square Centimeter per Minute) あるいは SLM (Standard Litter per Minute) と標記され、単位時間に流れる 0°C, 1 atm の標準空気の体積を表している。ただし、装置によって標準とされる空気の温度が異なる場合があるため、あらかじめ確認する必要がある。

9) 質量流量 2 mL/min を正確、かつ精密に制御できるもの。あるいは、質量流量 10 mL/min を精密に制御でき、かつ一定間隔で作動・停止を繰り返すようプログラムができるもの。いずれも、流量を積算する機能を有するものが望ましい。利用できるポンプとして SP209-20 Dual II (ジーエルサイエンス) が市販されている。

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) 測定対象物質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。

12) キャリヤーガスは He (純度 99.999% (v/v) 以上) を用いるのが望ましいが、H₂ や N₂ を用いてもよい。0.5 ng のトルエンを検出できる純度であることが望ましい。

13) Tenax® TA 200 mg を充填した捕集管での *n*-ヘキサンの安全試料採取量 (SSV; Safe Sampling Volume) は約 3 L である。したがって、居住住居において日常生活を営みながら 24 時間試料を採取する場合、2 mL/min 程度の極めて低い流速で採取する必要がある。一方、短時間 (30 分) で試料を採取する場合は、制御範囲 100~200 mL/min の流量調節装置を用いて試料を採取することもできる。

14) 試料採取時の流速が極端に低い場合、分子拡散によって捕集される VOC の影響が無視できない。このような場合、捕集管の吸気側にポリ・エーテル・エーテル・ケトン (PEEK) 製の細管 (外径 0.8 mm, 長さ約 30 cm) を接続することによって、分子拡散による汚染を抑制することができる。また、両端にインサートを挿入し、捕集管の末端から充填した吸着剤までの拡散距離を大きくした SafeLok™ 捕集管 (Markes International 社) も利用できる。

15) 低流速での連続採取のほか、10 mL/min 程度の流速で間欠的にポンプを作動させてもよい。一例として、10 mL/min で 6 分間ポンプを作動させたのちに、24 分間停止させるサイクルを 48 回繰り返すことで 2.88 L の試料を採取する。利用できるポンプとしてパーソナルミニポンプ PMP-001 (柴田科学) が市販されている。

16) トラベルブランク値の測定は一連の測定において

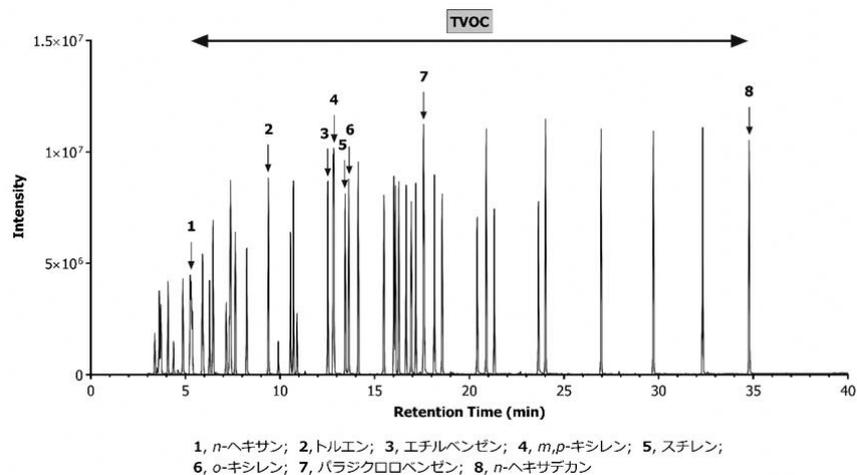


図 I 揮発性有機化合物のトータルイオンクロマトグラムの例

少なくとも 3 試料を行うこととしているが、この 3 試料の測定結果に大きなばらつきが認められ、そのまま差し引くことによって測定結果に対して大きな誤差を与えることが示唆される場合には、統計的に妥当と考えられ得る必要な数のトラベルブランク試験を行うことが望ましい。また、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。

17) 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。

18) 既知濃度のトルエンを含む標準空気を捕集管に通して検量線用捕集管を調整してもよい。

19) 分析装置による内部標準液の自動添加機能を用いてもよい。

20) 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。

21) 質量分析計の種類によって、同一の化合物でもマスパターン、すなわちフラグメントイオンの強度比が異なるため、TVOC の測定を行う場合は、磁場型質量分析計のマスパターンに一致させるよう装置を校正する必要がある。この校正方法には、機器のメーカーによって、「マスパターン調整」あるいは「標準スペクトルチューニング」などの名称がある。

22) 揮発性有機化合物のトータルイオンクロマトグラムの一例を図 I 示す。

23) トータルイオンクロマトグラムの主要な 10 本のピーク、または $2 \mu\text{g}$ トルエン相当量/ m^3 以上の濃度のピークについて同定を行う。

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) 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 (σ) から求めた定量下限値 (10σ : 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。

26) 定性には、NIST/EPA/NIH マススペクトルライブラリー、Wiley Registry などのスペクトルライブラリーを用いることもできる。また、各ピークの保持時間をもとに Kovats の保持指標 (RI; Retention Index) を算出し、ライブラリーの RI 値と比較することによって定性の精度を向上させることができる。

27) 不分離ピークの定性の精度を向上させる方法として、デコンボリューション解析がある。NIST (National Institute of Standards and Technology) 製 AMDIS や SpectralWorks 社製 AnalyzerPro XD などのソフトウェアがある。

文 献

- 1) 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）（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～令和 2 年度総合研究報告書

22) 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¹⁾ (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ガスクロマトグラフ/質量分析計により分離、定量する²⁾。

【試 薬】 ① アセトン: 残留農薬試験用³⁾。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 全量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、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) を全量フラスコ (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)^{4) 5)}。

④ 内標準物質 (DBP-*d*₄, DEHP-*d*₄): 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 全量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) を全量フラスコ (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)⁴⁾。

⑥ 高純度 N₂ 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⁶⁾

【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⁴⁾

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ものからなる。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することができる粒径 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⁷⁾。捕集管を清浄に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 N₂ ガスなどを 50~100 mL/min の流速で 10 分間程度流して捕集管内の空気を十分置換したのち、高純度 N₂ 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⁸⁾。

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⁹⁾

iii) ポンプ: ダイア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⁹⁾

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⁹⁾

③ 試料導入装置: 試料導入装置の例を図 4.4.5-10 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¹⁰⁾

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ガスクロマトグラフ/質量分析計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¹¹⁾

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¹²⁾、かつ 30~50 mL/min の流量の脱離ガスが確保できるもの

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

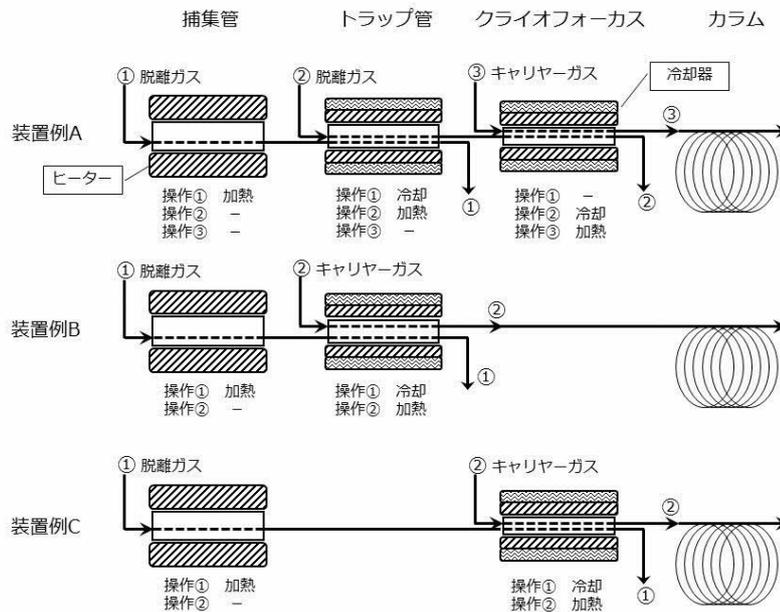


図 4.4.5-10 試料導入装置の例

④ ガスクロマトグラフ/質量分析計¹³⁾：☞ 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^{14) 15)}。

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 3~6 L になるように流量を 100~200 mL/min 程度に設定して採取する。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 14~144 L になるように流量を 10~100 mL/min 程度に設定して採取する。

② トラベルブランク：トラベルブランク試験用として、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。

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 全量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 N₂ ガスを通気しながら、① で調製した混合標準濃度系列 1 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¹⁶⁾。通気は高純度 N₂ 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 N₂ 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¹⁷⁾。

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¹⁸⁾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¹⁹⁾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: 選択イオン検出 (SIM) またはマスクロマトグラフィが可能なもの

モニターイオンの一例:

測定対象物質	定量イオン (m/z)	確認イオン (m/z)
DBP	149	205, 223
DEHP	149	167, 279
DBP- <i>d</i> ₄	153	208, 227
DEHP- <i>d</i> ₄	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ガスクロマトグラフ/質量分析計に導入する。全イオン検出法または 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²⁰⁾。

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²¹⁾。

計算: 25°Cにおける空気中の各物質の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) は、次式から求められる²²⁾。

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

C : 25°Cにおける空気中の各測定対象物質の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A_s : 試料中の各測定対象物質の重量 (ng)²³⁾

A_t : 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^{24) 25)}。

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_w) を用いる。ここで、P_w 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 1 L 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 3 L 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) DBP および DEHP 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 $\mu\text{g}/\text{mL}$) を希釈して調製しても良い (たとえば、富士フィルムと光純薬 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。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 + Carboxen[™] B

Carboxen[™] B + Carboxen[®] S-III or Carboxen[®] 1000

Carboxen[™] C + Carboxen[™] 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前処理したのち、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) ガラス製または熔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_2 や N_2 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 $\pm 15\%$ 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。

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（ σ ）から求めた定量下限値（ 10σ ：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。

厚生労働科学研究費補助金（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際規格化

研究分担者 田辺 新一 早稲田大学 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 2023 年 9 月 21 日に行われた。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 として追加されることとなり、2023 年度 8 月 25 日、DIS として賛成された。その後、FDIS の最終文書を作成し、12 月 4 日に FDIS 投票が進行中である。また、VOC による汚染が指摘されているスプレー式接着剤およびカラー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昨年度実施した測定結果の解析を行った。加えて、室内空気質の評価を行うためには、建材由来の VOC に加えてヒト由来の生体発散物質による空気質の悪化に関して同時に検討する必要がある。ヒト由来の生体発散物質除去効果及び知覚空気質へ与える影響を明らかにすることを目的として、チャンバー実験および臭気評価実験を行った。

A. 研究目的

A-1

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。

A-2

VOCによる汚染が指摘されているスプレー式接着剤およびカラー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-3

生体発散物質除去効果及び知覚空気質へ与える影響を明らかにすることを目的として、チャンバー実験および臭気評価実験を行った。

B. 研究方法

B-1 ISO-16000-33（新規格案）

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)」に新規提案した。2023年度のISO/TC146/SC6の国際会議はイタリ

アのローマで開かれた。開催期間は2023年9月18日～22日までで、国際規格化に関する審議及びその結果を確認した。

B-2

スプレー剤を不特定多数が、定期的かつ頻繁に使用する作業環境に関してアンケート調査及び実測調査を行なった。アンケート調査は早稲田大学建築学生を対象とし、実測調査ではアンケート回答者が普段使用する作業場所において化学物質放散濃度を測定した。

B-3

ISOの手法を参照し、チャンバー内に被験者を座位安静状態で在室させた。空気清浄機の運転前後におけるチャンバー内空気に対し、生体発散物質を主とする化学物質気中濃度、知覚空気質に与える影響を把握することを目的に実施した。実験は早稲田大学倫理委員会の承認を得て行った。

C. 研究結果

C-1 ISO-16000-33 (新規格案)

ISO/TC146/SC6 WG 20 が現地会議で開催された。ISO-16000-33 に対する会議は 2023 年 9 月 21 日に行われた。日本の代表団は酒井信夫（国立医薬品食品衛生研究所）、伊藤一秀（九州大学）以上 2 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 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、DIS として賛成される結果となった。2023 年 12 月 4 日の日に FDIS として投票が進行中である。

C-2

化学物質の実測において、日本国内の指針値は超過しなかったが、エーテル類について一部の測定箇所ドイツの指針値を超過した。また、実測対象となった一部の研究室においてはCO₂濃度が1000 ppmを下回った。一方で、VOC濃度は室外に設置されたスプレース近傍だけでなく室内でも一部濃度が高かった。

C-3

チャンバー内に被験者を座位安静状態で在室させ空気質の評価を行った結果、活性炭を使用した空気清浄

機の運転により Ammonia や Nonanal など生体発散物質である化学物質濃度が低下した。また、知覚空気質のうち臭気強度が低下した。

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 N66 「Recommendations」が作成された。内容は以下に示す。

・ Recommendation 42

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 adopts the agenda (Doc. N 61) and the minutes of the last meeting (Doc. N 60).

・ Recommendation 43

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 appoints Caroline Widdowson, Kurt Thaxton and Elisabeth Hösen as members of the recommendations' drafting committee.

・ Recommendation 44

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 decides to submit the revised draft of ISO 16000-33 to FDIS ballot.

Recommendation 45

・ ISO/TC 146/SC 6/WG 20 recommends to SC 6 to re-appoint Erik Uhde as convenor of SC 6/WG 20 for a further term.

・ Recommendation 46

ISO/TC 146/SC 6/WG 20 will meet again in September 2024 and considers having an intermediate meeting, if necessary.

D-2

図1に意匠系研究室の測定箇所見取り図、図2に同研究室のCO₂濃度測定結果、表1に同研究室の化学物質分析結果を示す。化学物質の実測結果ではエーテル類がドイツの指針値を超過したことから、人体への有害性を考慮し、我が国でも濃度低減対策を図る必要があると考えられる。同研究室においてはCO₂濃度が1000 ppmを下回り必要換気量は確保されていたが、VOC濃度は室外スプレース近傍だけでなく室内でも一部濃度が高かった。要因として、スプレー由来の化学物質の換気による濃度の減衰挙動がCO₂濃度とは異なり、より多くの換気量を必要とする可能性が考えられる。

D-3

空気清浄機の生体発散物質除去効果により化学物質

が活性炭に吸着されることで濃度が低下したと考えられる。臭気源となる化学物質濃度の低下により、臭気強度も低下したと考えられる。

E. 結論

E-1 ISO-16000-33（新規格案）

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)」に新規提案した。現在、DISとして賛成され、FDISの投票が進行されている。

E-2

換気量が確保されている室内においてもスプレー剤による空気質悪化が見られた。スプレー剤など入室者の行動により特定のVOCの放散量が多くなると見込まれる場合には局所換気など換気設備を追加し、作業者近傍に加え室全体での良好な室内空気質の確保を目指す必要があると考えられる。

E-3

生体発散物質除去効果及び知覚空気質へ与える影響を明らかにすることを目的として、チャンバー実験および臭気評価を行った。空気清浄機の運転により生体発散物質除去効果が見られ、臭気についても知覚空気質改善効果が見られた。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 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, 2023年, 88巻, 811号, pp. 716-725.
- 2) Nami Akamatsu, Soma Sugano, Kanta Amada, Naho Tomita, Hidetaka Iwaizumi, Yuki Takeda, Pawel Wargocki, Bjarne W. Olesen, Shin-ichi Tanabe, Effects of Gas-phase Air Cleaner on Removing Human Bioeffluents and Improving Perceived Air Quality, Building and Environment. 審査中

2. 学会発表

- 1) N. Akamatsu, M. Inasaka, K. Ikeuchi, S. Sugano, H. Kim, S. Tanabe. Effect of Applying Alcohol to Wooden Surfaces on VOC Emissions and Perceived Air Quality. 18th Healthy Buildings Europe Conference, 11th – 14th June 2023, Aachen, Germany
- 2) 富田 奈歩, 赤松 奈美, 池内 宏維, 深和 佑太, 金 炫兌, 田辺 新一. 含有物質の異なる天然系塗料の木材への塗布が室内空気質に与える影響. 令和五年度空気調和・衛生工学会大会[福井].
- 3) 赤松 奈美, 富田 奈歩, 池内 宏維, 深和 佑太, 金 炫兌, 田辺 新一. 木材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3報) 塗装木材へのアルコール塗布によるチャンバー実験結果. 令和五年度空気調和・衛生工学会大会[福井].
- 4) 富田 奈歩, 赤松 奈美, 池内 宏維, 新納 稔樹, 田崎 未空, 深和 佑太, 金 炫兌, 田辺 新一. 天然系塗料の木材表面への塗布が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. 2023年度日本建築学会大会.
- 5) 赤松 奈美, 富田 奈歩, 池内 宏維, 新納 稔樹, 田崎 未空, 深和 佑太, 金 炫兌, 田辺 新一. 天然系塗料の木材表面への塗布がVOC放散量および知覚空気質に与える影響 (第2報) 被験者実験による臭気評価結果. 2023年度日本建築学会大会.

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

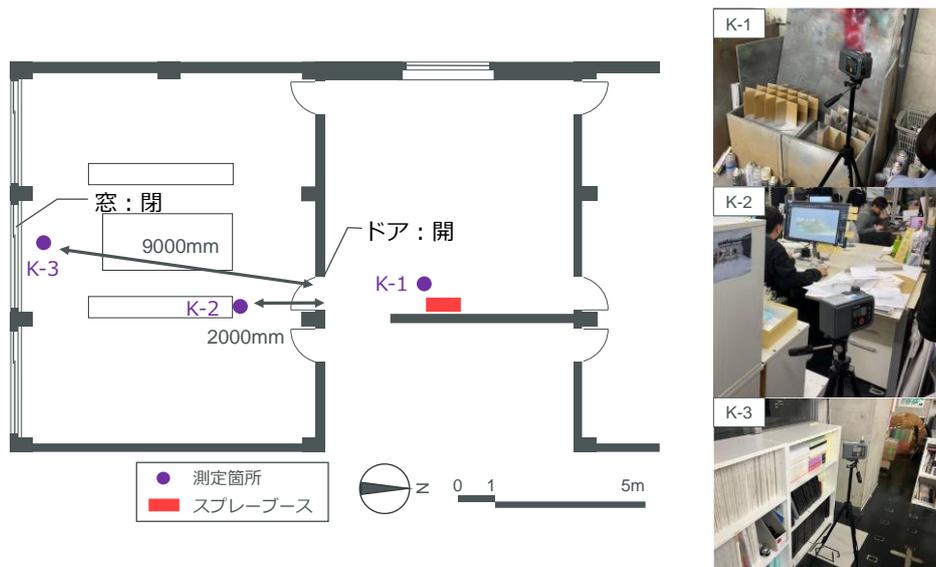


図1 意匠系研究室の測定箇所見取り図

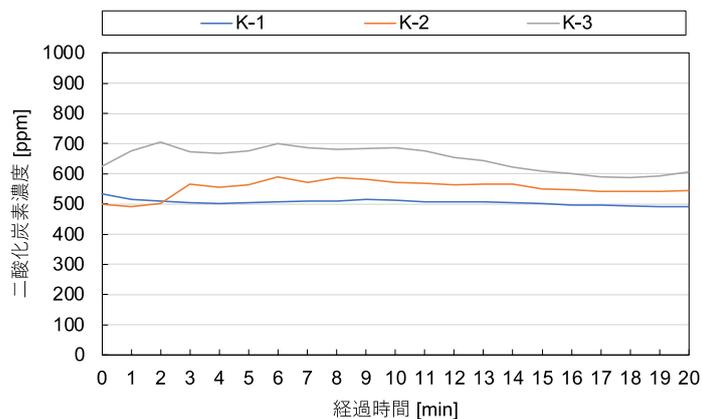


図2 意匠系研究室のCO₂濃度測定結果

表1 意匠系研究室の化学物質分析結果

: 各測定場所で最も気中濃度が高い値
 : 定量下限を下回った値

	意匠系研究室			許容濃度	ACGIH		ドイツ連邦環境庁 指針値	
	SB近傍	入口付近席	部屋奥		TLV-TWA	TLV-STEL	RW II	RW I
2,3-Dimethyl butane	176	125	179	-	-	-	-	-
2-Methyl pentane	1390	1030	808	-	-	-	-	-
3-Methyl pentane	920	719	545	-	-	-	-	-
Propyleneglycol monomethyl ether	1230	342	293	-	187450	374901	10000	1000
Ethylene glycol mono-n-butyl ether	644	115	<100	-	98307	-	1000	100
Acetone	<60.0	85.7	<60.0	470000	1208351	1812527	-	-

厚生労働科学研究費補助金（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オンサイト試験法の評価

研究分担者 金 炫兌 久留米工業大学建築・設備工学科 准教授

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。本研究グループ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 放散速度が測定出来るようになった。今年度は開発した現場測定方法の測定範囲を拡張するため、家具・家電製品からの SVOC 放散量を測定した。また、PVC 床材の表面温度変化が SVOC 放散量及び表面ブリードアウト量に与える影響について実験室実験を行った。室内で施工している建築材料のみではなく、家庭内で使用している生活用品も SVOC 物質の放散源であることが確認出来た。各 SVOC 物質の放散量は少ないが、家具・家電製品の面積は少なくないので引き続き室内の SVOC 汚染影響を研究する必要がある。温度変化による PVC 建材からの SVOC 物質の放散速度と表面ブリードアウト量との相関性を測定した結果、2E1H、2EHA、TEXANOL、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT 及び DINP の 9 物質が検出された。2E1H は揮発性が高い VOC 物質であるため、建材の表面ブリードアウト量より空気中に放散する量が多かった。TEXANOL、TXIB は SVOC 物質であるが、表面ブリードアウト量より空気中に放散される量が多く測定された。2E1H、TEXANOL、TXIB は温度の変化によって放散速度が増加し、季節によって仕上げ材からの放散量が異なることが示唆された。DEHP、DEHT は沸点の高い物質であり、空気中に放散されず建材の表面にブリードアウトされ、非常に高濃度であることが確認された。ハウスダストや表面汚れによるリスク評価と、換気のみではなく、別の汚染対策が必要であると考えられる。

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、実空間における仕上げ材からの SVOC 放散速度を測定した。更に最近では、家具・家電製品からの SVOC 放散速度を測定することで、現場測定方法の測定範囲を拡張している。

今年度は新品の家具・家電製品からの SVOC 放散量を測定し、昨年測定した中古製品との比較を行った。また、PVC 床材の表面温度変化が SVOC 放散量及び表面ブリードアウト量に与える影響について実験室実験を行

った。

B. 研究方法

B-1 家具・家電製品からの放散速度

1) 測定概要

表1に家具・家電製品の概要を示す。今年度の測定では、2022年度に測定した古い家具・家電製品と新品の家具・家電製品からのSVOC放散量を比較するため、2022、2023年度に製造された家具・家電製品を購入し、SVOC放散実験を行った。測定対象の家具・家電製品は机、椅子、冷蔵庫、電子レンジ、パソコンモニタ（前面、裏面）である。

2) 測定方法

図1に家具・家電製品からの放散速度の様子を示す。現場測定装置には2つのポンプが設置されている。1つ目は30 mL/minの空気を供給し、2つ目は15 mL/minを吸引するように調整している。供給側の前にはベントライン15 mL/minを設けることで、マイクロチャンバーと仕上げ材の隙間から外部空気が流入しないように工夫している。また、マイクロチャンバーに供給される空気を清浄するため、活性炭入りフィルターを空気供給ポンプとマイクロチャンバーの間に接続している。更に、マイクロチャンバーに供給する室内空気はTenax TA捕集管を用いてガス状のSVOC物質を除去し、コンタミの少ない新鮮空気をマイクロチャンバー内に供給している。

3) 測定手順

マイクロチャンバーの容積は630 mL (± 5%)である。測定開始前にマイクロチャンバー内の汚染物質を除去するため、220℃で1時間加熱処理し、エイジング済のチャンバーを使用した。測定前に対象製品の表面をエタノールで綺麗に拭き取った。その後、直径82 mmの正円形を切り取ったアルミ箔を貼り付け、その上にマイクロチャンバーを固定した。更に、マイクロチャンバーに空気捕集ポンプとTenax TA捕集管を接続し、24時間放散試験を行った。その後、マイクロチャンバーを回収し、加熱脱着装置に取り付け、マイクロチャンバー内表面に付着しているSVOC物質を回収した。表2に放散試験の測定条件、表3に加熱脱着試験の測定条件を

示す。

B-2 温度変化による放散量と表面ブリードアウト

1) 測定概要

表2に測定条件を示す。PVC床材を用いてSVOC物質の放散実験と表面ブリードアウト実験をおこなった。測定方法としては、JIS A 1904のマイクロチャンバーを用いた。表面ブリードアウト濃度はマイクロチャンバーを用いて放散実験の終了後、試験材の表面を拭き取った。測定条件として恒温槽の温度を18℃、22℃、28℃、に設定して測定を行った。各条件の測定は3回ずつ行った。

2) 放散速度測定

図2にマイクロチャンバー法の測定イメージ図を示す。表3に放散試験の条件を、表4に加熱脱着試験の条件を示す。マイクロチャンバーの容積は630 mL (± 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気密性を確保している。測定開始前にマイクロチャンバーの解体し、マイクロチャンバーを水で洗浄した。その後、チャンバー内に残存する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℃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。試験片をチャンバーのふたと容器の間に挟んで試験片表面からのSVOC物質放散測定を行った。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の開始となる。放散試験は28℃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℃、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。建材からのSVOC放散速度は放散捕集と加熱脱着捕集の結果を合算して総捕集量とした。

3) 表面ブリードアウト濃度

表面ブリードアウト濃度はマイクロチャンバーを用いて建材からのSVOC放散速度が終わった後、試験材の表面を拭き取り、試験材表面のSVOC濃度を測定し

た。表面ブリードアウトの測定で使用するサンプラーは石英ウール 50mg を用いた。測定する前に石英ウールをエタノールで 3 回洗浄し、分析対象化学の子供の少ないサンプラーを製作した。測定する際には、石英ウールをエタノールに漬け込んだ後、水滴がないように絞って使用した。最後に、拭き取ったサンプラーはマイクロチャンバーに導入し、加熱脱着することでサンプラーに付着している SVOC を回収した。化学物質の回収は Tenax TA 管を使用した。図 3 に表面ブリードアウト濃度測定様子と加熱脱着様子を示す。

4) 分析対象と条件

家具・家電製品からの SVOC 濃度、放散速度、表面ブリードアウト濃度の測定対象物質と分析条件は同様である。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)、TEXANOL(テキサノール)、BHT(ブチル化ヒドロキソトルエン)、DEP(フタル酸ジエチル)、TXIB(2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタジオール ジイソブチラート)、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)、DNOP(フタル酸ジ-n-オクチル)、DEHT(ジオクチルテレフタレート)、DINP(フタル酸ジイソノニル)、DIDP(フタル酸ジイソデシル)である。表 5 に Tenax TA 捕集管の加熱脱着条件、表 6 に GC/MS の分析条件を示す。

C. 研究結果

C-1 家具・家電製品からの放散速度

今年度の測定結果から、2E1H、2EHA、TEXANOL、BHT、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT、DINP 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。2E1H、2EHA、TXIB、DEHP の 検出頻度が 100%であり、DBP、DEHT が 83%であった。図 4~12 に 2E1H、2EHA、TEXANOL、BHT、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT の放散速度を示す。

2E1H は全ての家具・家電製品から検出され、放散速度は 0.55~2.59($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。最大値は表面が合成皮革で仕上げられた椅子で測定された。

2EHA は、2022 年度の測定した古い家電製品からは検出されなかったが、2023 年度測定では全ての家具・家電製品から検出された。最大値の 0.04($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)は表面が塗装処理された冷蔵庫で測定され、その他 5 製品は 0.01($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)程度の放散速度を示した。

TEXANOL は 2022 年度では 66.7%の頻度で検出され、平均値は 0.09($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)と値が高かったが、2023 年度では 33.3%の検出頻度、平均値は 0.02($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)と低かった。最大値の 0.02($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)は椅子から検出されており、冷蔵庫と椅子などは室内の放散源であることが確認出来た。

TXIB は 2023 年度測定では全ての製品から検出されており、放散速度は 0.02~0.14($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。最大値である 0.14($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)は椅子から検出された。TXIB は可塑剤の代替物質として使用量が増加しており、建材のみではなく、家具・家電製品にも使用され、使用用途が幅広くなっていることが示唆された。

DBP の場合は、机、冷蔵庫、電子レンジ、モニタ(表)の 4 製品から検出された。放散速度は 0.01~0.02($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり最大値の 0.02($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)は冷蔵庫で検出され、机、電子レンジ、モニタ(表)での最小値 0.01($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)の 2 倍であった。DOA は電子レンジ、モニタ(裏)の 2 製品から検出された。放散速度はどちらも 0.01($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。

DEHP の場合は、2023 年度測定では全ての製品から検出され、放散速度は 0.05~0.43($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。最大値の 0.43($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)は椅子で検出され、冷蔵庫から検出された最小値 0.05($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)の 8.6 倍であった。

DEHT は、机、椅子、電子レンジ、モニタ(表)、モニタ(裏)の 5 製品から検出された。いずれも放散速度は 0.01 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。この物質は放散速度が低いですが、最近可塑剤の代替物質として使用量が増加していることが示唆された。

C-2 温度変化による放散量と表面ブリードアウト

分析物質は 2E1H、2EHA、TEXANOL、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT、DINP が検出された。その中で検出頻度の高かった 2E1H、TEXANOL、TXIB、DBP、DEHP、DEHT の放散速度及び表面ブリードアウトの測定結果を示す。

1)放散速度の測定結果

図 13 に各 SVOC の放散速度の測定結果を示す。2E1H は測定条件が 18°C の場合、放散速度は 35.5($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 47.8、50.5($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。2E1H は温度が上がるにつれ放散速度も増加している。また、条件 18°C より 22 度の方が 26% 増加しており、28°C の方は、30% 増加している。しかし、22°C と 28°C の放散速度を比較すると、ほぼ同じ放散速度であった。

TEXANOL の場合、測定条件が 18°C の場合、放散速度は 0.60($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 0.87、0.95($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。条件 18°C より 22°C の方が 31% 増加しており、28 度の方は、36% 増加している。この結果より 2E1H、TEXANOL は、温度が上がるにつれ放散速度も上昇ことが示唆された。しかし、22°C と 28°C の放散速度は大きな変化が見られなかった。

TXIB は、測定条件が 18°C の場合、放散速度は 3.04($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 4.18、2.96($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。TXIB は温度変化によって若干の増減はあったものの、測定値にはあまり変化は見られなかった。

DBP の場合、測定条件が 18°C の時、放散速度は 0.09($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 0.09、0.12($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。DBP の場合、18°C と 22°C の条件で放散速度の変化は見られなかった。しかし、28°C は 18°C に比べ、25% 増加している。この結果より TXIB、DBP は温度変化による放散速度の変化が少ないことが分かった。

DEHP は測定条件が 18 度の時、放散速度は検出されず、22、28°C の測定条件でそれぞれ 0.06、0.10($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。DEHP は温度が上がるにつれ放散速度も増加している。また、条件 22°C より 28°C の方が、40% 上昇していることが確認出来た。

DEHT は測定条件が 18°C の場合、放散速度は 0.13($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 1.66、3.79($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22°C の方が 13 倍増加しており、28°C の方は、30 倍増加している。DEHT は温度の変化によって不参速度が大きく変化している。

2)表面ブリードアウトの測定結果

図 14 に各 SVOC の表面ブリードアウト速度の測定結果を示す。2E1H は測定条件が 18 度の時、表面ブリードアウト速度は 6.31($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 9.47、19.73($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22、28°C の方が 1.5、3.1 倍増加しており、温度上昇につれ表面ブリードアウト量も増加している。

TEXANOL の場合、18°C 条件の表面ブリードアウト速度が 0.10($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 0.15、0.58($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。TEXANOL は温度が上がるにつれ表面ブリードアウト速度も増加している。また、条件 18°C より 22、28°C の方が 1.5、5.7 倍増加しており、2E1H と同様に温度上昇につれ表面ブリードアウト濃度も増加している。

TXIB は測定条件が 18°C の場合、表面ブリードアウト速度は 0.58($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 0.87、2.37($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22°C の方が 1.5 倍、28°C の方は 4.1 倍増加している。TEXANOL、TXIB、は、温度が上昇することによって、表面ブリードアウト濃度の増加倍率が大きかった。

DBP は、18°C の条件で、表面ブリードアウト速度は 0.06($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28°C の測定条件ではそれぞれ 0.12、0.16($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22°C の方が 1.9 倍、28°C は、2.5 倍増加している。

DEHP は、18°C の条件で、表面ブリードアウト速度は 3.36($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28 度の測定条件ではそれぞれ 10.26、22.89($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22°C の方が 2.8 倍増加しており、28°C の方は、6.3 倍増加している。

DEHT は測定条件が 18 度の場合、表面ブリードアウト速度は 24.47($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であり、22、28 度の測定条件ではそれぞれ 36.70、41.04($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)であった。また、条件 18°C より 22°C の方が 1.5 倍、28°C の方は、1.7 倍増加している。温度の上昇につれ表面ブリードアウト濃度も増える傾向であった。

D. 考察

D-1 家具・家電製品からの放散速度

測定した家具・家電製品から、2E1H、2EHA、TEXANOL、BHT、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT、DINPが検出された。2E1H、2EHA、TXIB、DEHPの検出頻度が100%であり、DBP、DEHTが83%であった。

2E1Hは合成皮革で仕上げられた椅子から放散量が高く測定された。2EHAの場合、2018年以前に生産された家具・家電製品からは放散されなかったが、2022年以後に生産された新品からは放散されていることが確認出来た。

TEXANOLとTXIBは冷蔵庫など塗料の仕上げ製品から放散が多いが、2018年以前に生産された製品より2022年以後に生産された製品からの放散量が少なくなっている。2019年度厚労省のシックハウス検討会で規制を検討中であるため、使用量が減少している可能性がある。

DBP、DEHPの場合は、机、冷蔵庫、電子レンジ、モニタ(表)などから検出されている。この二つの物質は可塑剤の代表的な物であるが、空気質ガイドラインに定められて以来、徐々に使用量が減少していることが予測された。一方で、DEHTは2022年以後に生産された全ての製品から放散を確認した。これからこの物質は代替物質として使用量が増加する可能性が示唆された。

D-2 温度変化による放散量と表面ブリードアウト

測定条件 28°Cの放散速度と表面ブリードアウト速度を用いて、空気中に放散される量と表面に残留する量を比較した。2E1Hは、表面ブリードアウト濃度に対して2.6倍空気中に放散されていることが確認出来た。この物質はVOC物質であるため、ガス化しやすかったと考えられる。TEXANOLとTXIBは、表面ブリードアウト濃度に対して空気中にそれぞれ1.6倍、1.3倍放散されている。また、DBPは0.8倍空気中に放散されている。この結果から、TEXANOL、TXIB、DBPは表面より空気中に多めに放散されていることが予測される。

一方で、DEHPは、空気中に放散される量に対して表面ブリードアウト濃度が223倍であった。また、DEHTは、空気中に放散する量より、表面に残留する量が11倍高く測定された。この結果から見ると、DEHP、DEHTは空気中より表面ブリードアウト量が多いことが分か

った。以上の結果から、2E1HのようなVOC物質、SVOC物質に分類される物質の中でもTEXANOL、TXIBのような比較的沸点が低い物質は表面ブリードアウトより空気中に放散されることが予測された。また、DBPは気中と表面、両方とも存在する傾向がみられる。DEHP、DEHTは沸点が高い物質であるため、気中に放散されることなく、表面ブリードアウト濃度が非常に高く測定された。

E. 結論

E-1 家具・家電製品からの放散速度

家具・家電製品からのSVOC放散速度を測定し、現場測定方法の測定範囲を拡張した。室内で施工している建築材料のみではなく、家庭内で使用している生活用品もSVOC物質の放散源であることが確認出来た。各SVOC物質の放散量は少ないが、家具・家電製品の面積は少ないので引き続き室内のSVOC汚染影響を研究する必要がある。

E-2 温度変化による放散量と表面ブリードアウト

温度変化によるPVC建材からのSVOC物質の放散速度と表面ブリードアウト量との相関性を測定し、SVOC物質の放散メカニズムを検討した。今回の測定では2E1H、2EHA、TEXANOL、TXIB、DBP、DOA、DEHP、DEHT及びDINPの9物質が検出された。2E1Hは揮発性が高いVOC物質であるため、建材の表面ブリードアウト量より空気中に放散する量が多かった。TEXANOL、TXIBはSVOC物質であるが、表面ブリードアウト量より空気中に放散される量が多く測定された。2E1H、TEXANOL、TXIBは温度の変化によって放散速度の差がみられ、季節によって仕上げ材からの放散量が異なることが示唆された。DEHP、DEHTは沸点の高い物質であり、空気中に放散されず建材の表面にブリードアウトされ、非常に高濃度であることが確認された。

F. 研究発表

1. 論文発表

「現場測定方法の開発」について、日本建築学会の査読論文として投稿し、査読中である。

2. 学会発表

- 1) 金 炫兌、家電製品表面からの SVOC 放散速度測定、室内環境学会大会（沖縄）、pp.88-89、2023.11
- 2) 熊谷功誠、富久歩真、金 炫兌、PVC 床材における SVOC 物質の放散量と表面ブリードアウト量に関する研究、日本建築学会九州支部研究会、2024.03（発表予定）
- 3) 山口千尋、金炫兌、家具・家電製品における SVOC 放散速度測定、日本建築学会九州支部研究会、2024.03

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 家具・家電製品の概要

測定年度	家具・家電製品	表面処理	製造年
2023 年	机	Pvc 貼り	2022 年
	椅子	合成皮革	2022 年
	冷蔵庫	塗装	2023 年
	電子レンジ	塗装(ペイント)	2023 年
	モニタ(表)	合成樹脂	2022 年
	モニタ(裏)	塗装	2022 年
2022 年	冷蔵庫	塗装(ペイント)	2018 年
	洗濯機	塗装	2017 年
	電子レンジ	塗装(ペイント)	2007 年
	テレビ	塗装	2010 年
	モニタ(表)	合成樹脂	2012 年
	モニタ(裏)	塗装	2012 年

表 2 測定条件

測定項目	温度条件とサンプラー名		
	18 °C	22 °C	28 °C
放散速度	18-E	22-E	28-E
表面ブリードアウト	18-B	22-B	28-B

表 3 放散試験の測定条件

チャンバー容積	630 mL
サンプリング時間	24 h
吸引流量	30 mL/min × 24 h = 43.2 L
ベント流量	15 mL/min
MC 供給流量	15 mL/min
捕集管	Tenax TA(60/80 mesh) 充填

表 4 加熱脱着試験の測定条件(MSTD-258M)

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

表 5 TA 捕集管の加熱脱着条件(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 6 GC/MS の分析条件

使用機器(GC/MS)	Agilent 6890N / 5973inert
カラム	Inert Cap 1MS 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm df
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

図一覧

●家具・家電製品からのSVOC放散速度



図1 家具・家電製品からの放散速度の測定様子

●温度変化による放散量と表面ブリードアウト

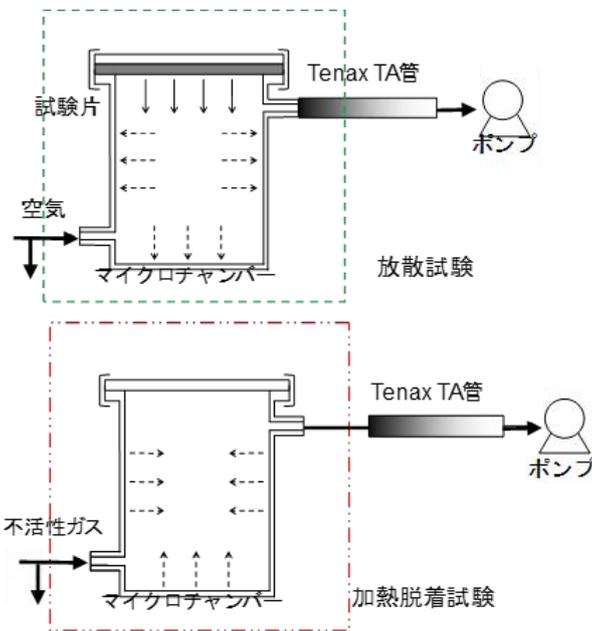


図2 マイクロチャンバー法の測定イメージ図



図3 表面ブリードアウト濃度の測定様子と加熱脱着様子

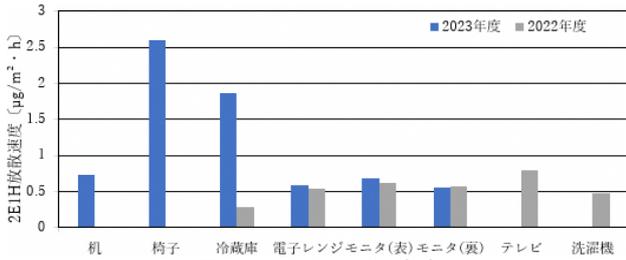


図 4 2E1H 放散速度

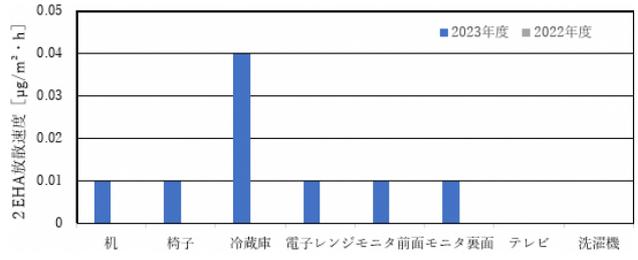


図 5 2EHA 放散速度



図 6 BHT 放散速度

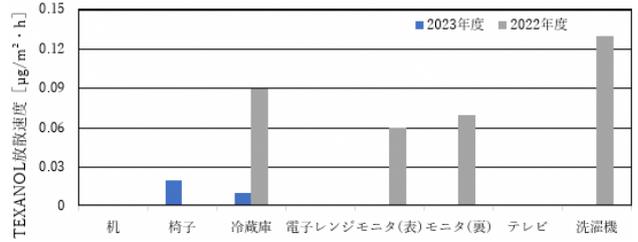


図 7 TEXANOL 放散速度

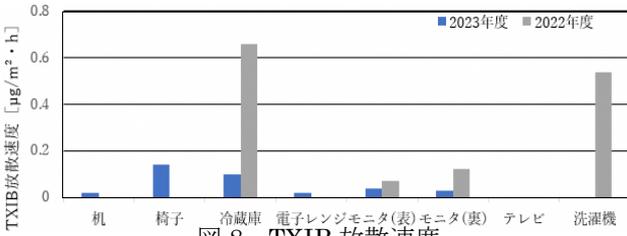


図 8 TXIB 放散速度

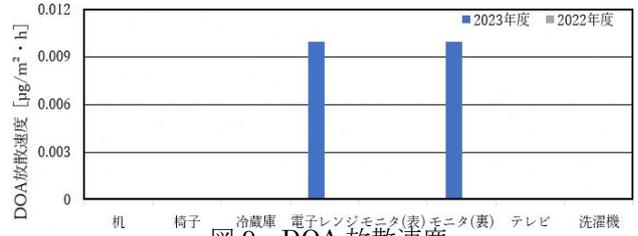


図 9 DOA 放散速度

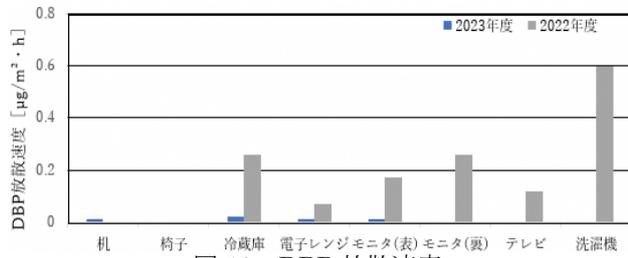


図 10 DBP 放散速度

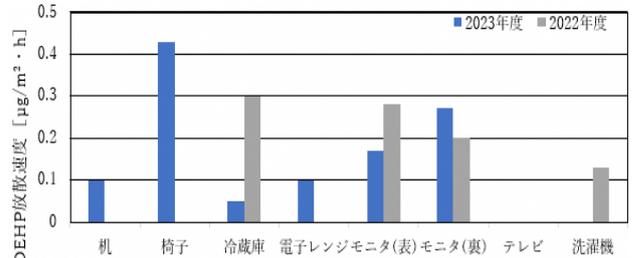


図 11 DEHP 放散速度

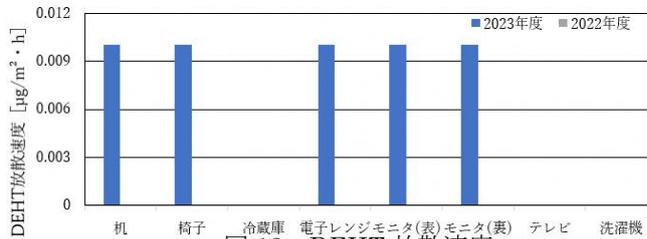


図 12 DEHT 放散速度

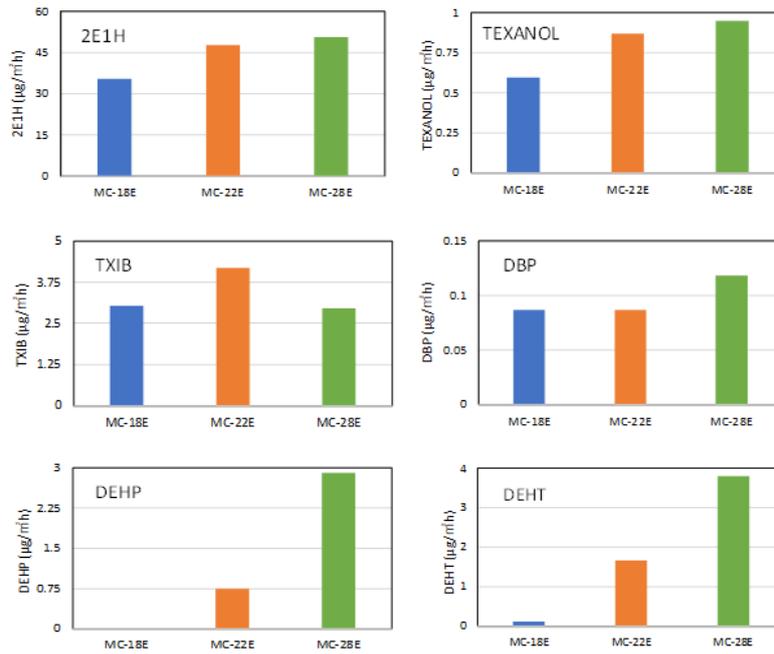


図 13 各 SVOC の放散速度の測定結果

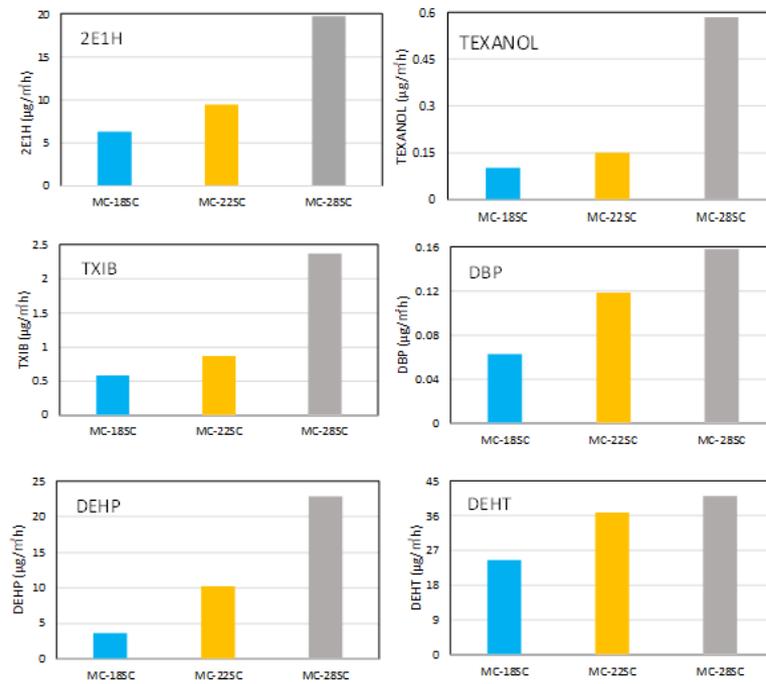


図 14 各 SVOC の表面ブリードアウトの測定結果

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。

A. 研究目的

室内環境汚染化学物質の曝露濃度評価の為に *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認する。

研究三年目である令和 5 年度は、改良型 *in silico* 数値人体モデルを実大スケール居室モデル内の経気道曝露評価に適用し、気道内粘膜上皮細胞内の曝露濃度時間変化予測を実施する。

B. 研究方法

本年度(令和 5 年度)は昨年度までに開発した数値気道モデル(鼻腔・口腔から気管支第 4 分岐まで)を対象とした曝露濃度予測精度を更に向上させる目的で、CT データを用いて細気管支部分を拡張すると共に、口腔内の歯列までを詳細に再現することで、改良型の数値気道モデルを作成した。気道内の上皮細胞表面の粘液層を再現した上で、化学物質クリアランスを予測するための粘液輸送モデルを開発・統合した。更に昨年度に開発統合した気道

内粘膜上皮細胞における界面境界条件設定のための生理的薬物動態モデル(PBPK)を室内濃度指針値既設化学物質ならびに室内環境中に存在するその他の多様な化学物質の経気道曝露濃度予測に展開するため、文献調査データを基にしてホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン等の化学物質を対象としてモデルパラメータの同定を行った。最終的にこの数値気道モデルを数値人体モデルに統合することで改良型 *in silico* 数値人体モデルを作成した。

C. 研究成果

鼻腔・口腔から気管支第 16 分岐までを再現した上で口腔内の歯列を正確に再現した改良型数値気道モデルの概要を Figure 1 に示す。

また、非定常の呼吸サイクル(呼出・吸入)を再現した条件で、室内環境中のガス状化学物質による経気道曝露の非定常解析結果の一例を Figure 2 に示す。ここでは、特に鼻腔の嗅覚領域における粘膜上皮細胞に対する化学物質吸着フラックスの時間変化ならびに界面濃度の時間変化を示す。

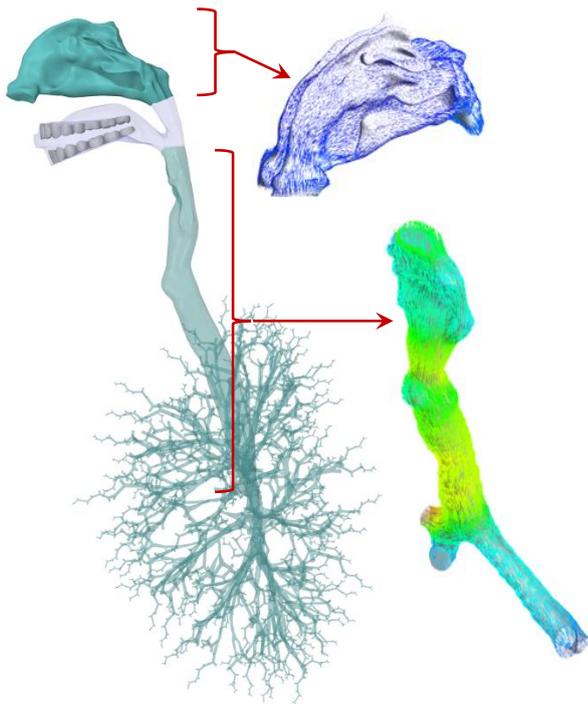
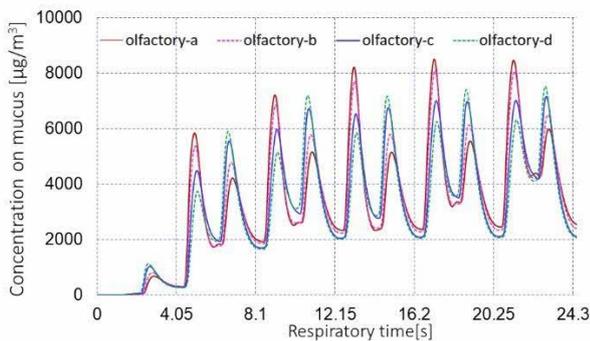
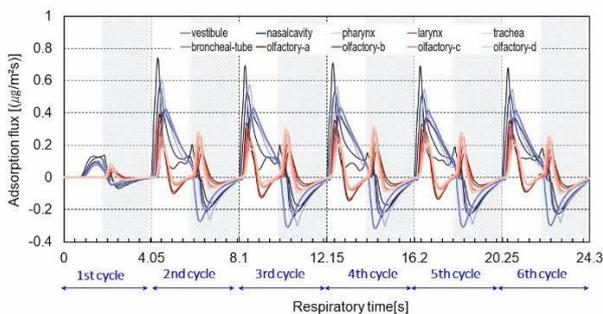


Figure 1 in silico airway model and mucus flow distributions at upper and lower airway



(1) Equilibrium concentration at mucus-lumen interface (Six breathing cycles)



(2) Time series of adsorption flux onto mucus surface for six breathing cycles

Figure 2 Example of VOC adsorption onto epithelial tissue surface (olfactory region) of airway

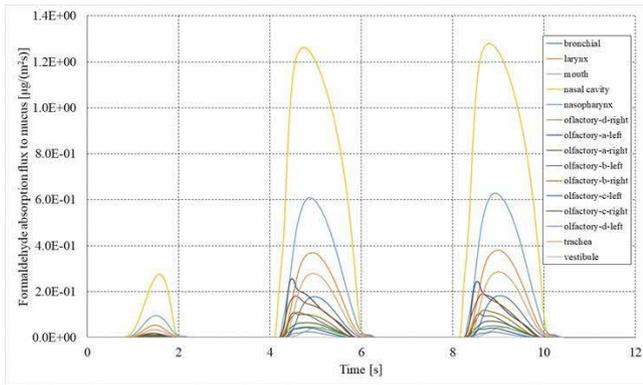
model

昨年度(令和4年度)までの境界条件に加えて、室内空気中の温度・湿度条件が気道内化学物質輸送に与える影響を定量的に解析するために、気道内の粘膜上皮細胞界面での熱水分輸送解析も連成解析する手法を開発した。

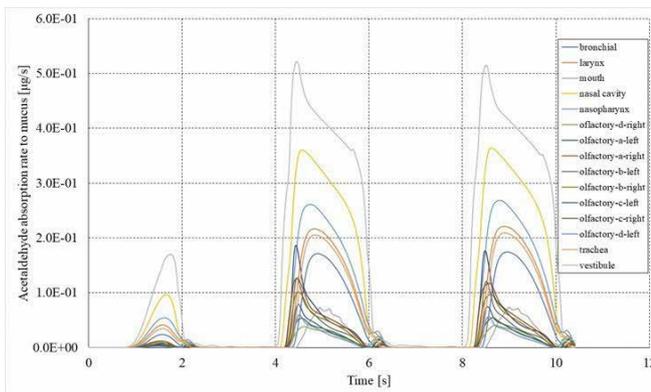
D. 考察

本研究で開発した気道モデルを用い、室内環境基準が定められている化学物質を対象として、経気道曝露解析を行った結果を Figure 3 に示す。代表的な化学物質として、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインの3物質を対象とした場合の3呼吸サイクル分の解析結果を示している。アルデヒド系化学物質は気道粘液ならびに粘膜上皮細胞に対する吸収率が高いことから、吸入時に気道内に輸送された化学物質は気道界面に吸着し、Michaelis-Menten 式で記述される代謝クリアランスが寄与することで、粘膜上皮細胞・上皮組織で効率的に濃度低下する。結果として、気道内腔に残存する化学物質濃度が低下することから、吸出時には気道界面沈着はほぼゼロとなり、室内側への呼出時には空気中濃度がほぼゼロとなった。

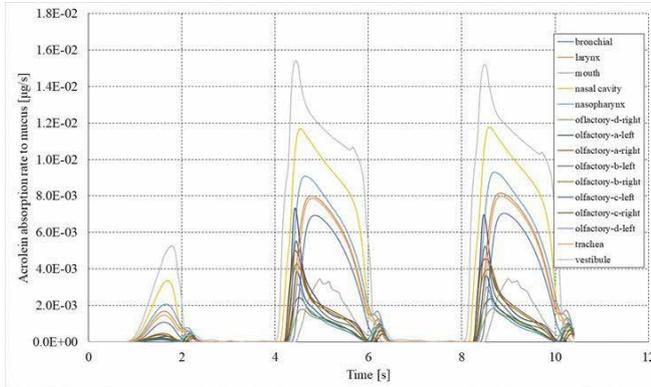
室内空気環境に関連する国際標準化を担う ISO TC146 SC6 では、WHO ならびに厚生労働省が定める室内濃度指針値既設化学物質の他、室内空気中の真菌、エアロゾル等の標準化もターゲットとしており、現時点で規制対象となっていない新規の室内汚染物質に関する議論も進められている。本研究で開発した in silico 人体モデルの利点は、倫理的な制約を受けることなく、無限のパラメトリックスタディを可能とする点にある。新規対象化学物質の経気道曝露予測を行うために必要となるモデルパラメータの同定方法を整備することで、これらの将来課題に対して迅速な対応が可能となる。



(1) Formaldehyde



(2) Acetaldehyde



(3) Acrolein

Figure 3 Example of representative aldehyde adsorption onto epithelial tissue surface (olfactory region) of airway model

E. 結論

本年度(令和 5 年度)は、昨年度までに開発した数値気道モデルならびに数値人体モデルを改良し、室内環境から気管支第 16 分岐までの細気管支までの化学物質輸送を連続して解析可能な *in silico*

人体モデルを作成した。また、気道モデル界面に適用する生理的薬物動態モデル(PBPK-CFD モデル)のモデルパラメータを同定・拡張することで、室内濃度指針値既設化学物質を含む多様な化学物質を対象とした経気道曝露濃度予測に適用可能なモデルとして整備した。

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] Cong Li, Sung-Jun Yoo, and Kazuhide Ito, Impact of Indoor Ventilation Efficiency on Acetone Inhalation Exposure Concentration in Respiratory Tract, *Building Simulation*, 16, 427–441 (2023) (doi.org/10.1007/s12273-022-0954-4)
- [2] Sung-Jun Yoo, Akira Kurokawa, Kazuhiko Matsunaga, and Kazuhide Ito. Spatial distributions of airborne transmission risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons, *Experimental and Computational Multiphase Flow*, 2023, 1-15 (doi.org/10.1007/s42757-022-0146-6)
- [3] Alicia Murga, Rahul Bale, Chung-Gang Li, Kazuhide Ito, Makoto Tsubokura. Large eddy simulation of droplet transport and deposition in the human respiratory tract to evaluate inhalation risk, *PLOS Computational Biology*, 19(3): e1010972 (doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010972)
- [4] Kazuki Kuga, Ryusei Kizuka, Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito, Effect of transient breathing cycle on micro and nanoparticles depositions on respiratory walls, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 236 (2023) 107501 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107501)
- [5] Nguyen Dang Khoa, Sixiao Li, Nguyen Lu Phuong, Kazuki Kuga, Hidetake Yabuuchi, Keiko Kan-o, Koichiro Matsumoto, Kazuhide Ito. Computational Fluid-Particle Dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 237 (2023) 107589 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107589)
- [6] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Visual

- prediction and parameter optimization of viral dynamics in mucus milieu of upper airway based on CFPD-HCD analysis, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 238 (2023) 107622 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107622)
- [7] Islam Abouelhamd, Kazuki Kuga, Sung-jun Yoo, Kazuhide Ito. Identification of Probabilistic Size of Breathing Zone during Single Inhalation Phase in Semi-Outdoor Environmental Scenarios, *Building and Environment*, 243 (2023) 110672 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110672)
- [8] Takumi Nishihara, Hanyu Li, Kazuki Kuga, and Kazuhide Ito. Seamless numerical analysis of transient infectious droplets dispersion and inhalation exposure - in silico study, *Building and Environment*, 244 (2023) 110748 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110748)
- [9] Sung-jun Yoo, Shori Yamauchi, Hyun-Gyu Park, Kazuhide Ito. Computational Fluid and Particle Dynamics Analyses for Prediction of Airborne Infection/Spread Risks in Highway Buses: A Parametric Study, *Fluids* 2023, 8(9), 253 (doi.org/10.3390/fluids8090253)
- [10] Yukun Wang, Jingnan Sun, Meng Zhao, Alicia Murga, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito, Zhengwei Long. Numerical study of indoor oil-mist particle concentration distribution in industrial factory using the Eulerian-Eulerian and Eulerian-Lagrangian methods, *Fluids* 2023, 8(10), 264 (doi.org/10.3390/fluids8100264)
- [12] Kazuki Kuga, Sara Hoshiyama, Pawel Wargoeki, and Kazuhide Ito. A pilot numerical study of odourant transport from an indoor environment to the olfactory region during sensory evaluations following ISO 16000-28, *Building and Environment*, 245 (2023) 110868 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110868)
- [11] Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kiao, Inthavong, Kazuhide Ito. Coupled Eulerian Wall Film-Discrete Phase model for predicting the respiratory droplets generation during the coughing event, *Physics of Fluids*, 35, 112103 (2023) (doi.org/10.1063/5.0174014)
- [12] Hyun-Gyu Park, Sung-Jun Yoo, Janghoo Seo, Eisaku Sumiyoshi, Hiroshi Harashima, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Integration of computer-simulated persons with multi-node thermoregulation model that considers the effect of clothing for skin surface temperature distribution analysis, *Building and Environment*, 248 (2024) 111105 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111105)
- [13] Kazuki Kuga, Ryusei Kizuka, Islam Abouelhamd, Kazuhide Ito. Aspiration efficiency and respiratory tract deposition of indoor suspended micro-particles during steady and transient breathings, *Building and Environment*, 249 (2024) 111114 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111114)
- [14] Hanyu Li, Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. In silico identification of virus loads in cough-generated droplets - Seamless integrated analysis of CFPD-HCD-EWF, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 246 (2024) 108073 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2024.108073)
- [15] Islam Abouelhamd, Kazuki Kuga, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Effect of Crowd Density, Wind Direction, and Air Temperature on the Formation of Individual Human Breathing Zones in a Semi-outdoor Environment, *Sustainable Cities and Society*, 103 (2024) 105274 (doi.org/10.1016/j.scs.2024.105274)

2. 学会発表

- [1] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Investigation of ultrafine particle deposition in human airway to the 9th generation of bronchial tubes using computational fluid and particle dynamics, IAQVEC 2023, Tokyo
- [2] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Parameter Optimization of a Viral Dynamics Model in the Mucus Layer of the Human Nasal Cavity-Nasopharynx Based on Computational Fluid-Particle and Host-Cell Dynamics, IAQVEC 2023, Tokyo
- [3] Takumi Nishihara, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Computational fluid and particle dynamics simulation of airborne transmission in indoor environment – Effect of physical distance from infected person, IAQVEC 2023, Tokyo
- [4] Park Hyun-Gyu, Yoo Sung-Jun, Sumiyoshi Eisaku, Harashima Hiroshi, Ito Kazuhide. Numerical Thermal Comfort Analysis Using Combined Computer-Simulated Person with Clothing and Multi-Node Thermoregulation Model, IAQVEC 2023, Tokyo
- [5] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Large Eddy Simulation of Airflow Patterns in the Human Upper and Lower Airway Up To the 16th Generation: A Comparison Study, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [6] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Host Cell Dynamics model development and specific

parameterization for 3D upper respiratory tract model coupled with CFPD analysis, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China

- [7] Teruaki Hirayama, Haruna Yamasawa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Effect of turbulent inlet boundary conditions on pollutant emissions and dispersion in an indoor environment, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [8] Kazuki Kuga and Kazuhide Ito. Aspiration probability and resulting airway deposition of indoor particles during steady and transient breathings, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [9] Alicia Murga, Kazuhide Ito and Makoto Tsubokura. Rethinking different ventilation strategies in a post-pandemic era: a CFD assessment, AIVC 2023, Copenhagen, Denmark
- [10] Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Numerical Prediction of Respiratory Droplet Generation from Coughing Using Discrete phase-coupled Eulerian Wall Film Model, ICNAA 2023, Brisbane, Australia
- [11] Islam Abouelhamd, Sung-jun Yoo, Kazuki Kuga, and Kazuhide Ito. Numerical prediction of particle breathing zone in a semi-outdoor environment, ICNAA 2023, Brisbane, Australia
- [12] Kazuhide Ito. Ventilation Efficiency and Infection Control – in silico Human Modelling Study, International Symposium on Urban Sustainability (ISUS), University of Gävle, Sweden

H. 知的財産権の出願・登録状況

特に無し

令和5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 関西福祉科学大学健康福祉学部 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及び代替物質を含むその関連物質について、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、ギ酸、酢酸、プロピオン酸の3つの有機酸の指針値が新たに設定された。フランスのANSESとカナダ保健省では今年度新たに設定された室内空気質ガイドラインはなかった。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、アントラセン、亜リン酸ジメチル、2-ブロモプロパン、メタクリル酸ブチル、アステルパーム、イソオイゲノール、メチルオイゲノール、ペルフルオロオクタン酸(PFOA)、ペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)の発がん性分類を公表した。WHO欧州地域事務局は、2023年9月に「First WHO/Europe Indoor Air Conference」をスイスのベルンで開催した。室内空気質と健康障害に関する最新情報が紹介され、今後の課題について議論が行われた。室内空気質に対する取り組みは、WHOにおいても優先事項であることを改めて確認した。

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、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、2-フルアルデヒド、フェノール、フタル酸ベンジルブチル(BBP)、フタル酸ジ-イソノニル(DINP)、フタル酸ジ-イソデシル(DIDP)、Di(isononyl)cyclohexane-1,2-dicarboxylate(DINCH)、Di(ethylhexyl)adipate(DEHA)に関する急性影響と慢性影響のキー研究を調査した。その結果、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、BBP、DINP、DIDP、DINCH、DEHA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。DEHA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。

- A. 研究目的 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
- 1997年から2002年にかけて、13の室内空

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及び代替物質を含むその関連物質について、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。

2023 年度は、ベンジルアルコール (CAS 100-51-6)、ベンズアルデヒド (CAS 100-52-7)、2-フルアルデヒド (CAS 98-01-1)、フェノール (CAS 108-95-2)、フタル酸ベンジルブチル (BBP) (CAS 85-68-7)、フタル酸ジイソノニル (DINP) (CAS 28553-12-0)、フタル酸ジイソデシル (DIDP) (CAS 26761-40-0)、Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH) (CAS 166412-78-8)、Di(ethylhexyl) adipate(DEHA) (CAS 103-23-1) 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¹⁾²⁾、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 欧州地域事務局が 2023 年 9 月 20 日に「First WHO/Europe Indoor Air Conference」をスイスのベルンで開催したため、オンラインで参加した。室内空気質と健康障害に関する最新情報が紹介され、今後の課題について議論が行われた。室内空気質に対する取り組みは、WHO においても優先事項であることを改めて確認した。

2023 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、ギ酸 (指針値 II : 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、指針値 I : 510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸 (指針値 II : 3700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、指針値 I : 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、プロピオン酸 (指針値 II : 1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、指針値 I : 780 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の室内空気質ガイドラインを公表した。フランスの ANSES では新たに公表された室内空気質ガイドラインはなかった。

カナダ保健省でも新たに公表された室内空

気質ガイドラインはなかった。

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、2023 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。アントラセンと亜リン酸ジメチルが 3 (ヒトに対する発がん性を分類できない) から 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) に格上げとなった。2-ブロモプロパンが 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある)、メタクリル酸ブチルが 2B に新たに分類された。アステルパームとイソオイゲノールが 2B に新たに分類された。メチルオイゲノールは 2B から 2A に格上げとなった。室内ダスト中でも検出されるペルフルオロオクタン酸 (PFOA) が 2B からグループ 1 (ヒトに対して発がん性がある) に格上げとなり、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は 2B に新たに分類された。なお、次年度以降のワーキンググループでは、タルクとアクリルニトリルの検討が予定されている。

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、ベンジルアルコール (CAS 100-51-6)、ベンズアルデヒド (CAS 100-52-7)、2-フルアルデヒド (CAS 98-01-1)、フェノール (CAS 108-95-2)、フタル酸ベンジルブチル (BBP) (CAS 85-68-7)、フタル酸ジ-イソノニル (DINP) (CAS 28553-12-0)、フタル酸ジ-イソデシル (DIDP) (CAS 26761-40-0)、Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH) (CAS 166412-78-8)、Di(ethylhexyl) adipate (DEHA) (CAS 103-23-1) に関する急性影響と慢性影響のキー研究を選定した。その結果、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、BBP、DINP、DIDP、DINCH、DEHA 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。DEHA 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

28、表29)。また、2-フルアルデヒド、BBP、DEHAについては米国環境保護庁がユニットリスクを算出していたが、国際がん研究機関の発がん性分類において、いずれの物質もグループ3（ヒトに対する発がん性を分類できない）であることから、CarRfCを導出しなかった。

D. 総括

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、ギ酸、酢酸、プロピオン酸の3つの有機酸に対して指針値が新たに設定された。フランスのANSESとカナダ保健省では今年度新たに設定された室内空気質ガイドラインはなかった。なお、発がん性に関してIARCは、今年度において、アントラセン、亜リン酸ジメチル、2-ブロモプロパン、メタクリル酸ブチル、アステルパーム、イソオイゲノール、メチルオイゲノール、ペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOA）、ペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）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、計画通り進捗している。これらの調査結果は、本研究で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に反映させる。

WHO欧州地域事務局が2023年9月「First WHO/Europe Indoor Air Conference」をスイスのベルンで開催した。室内空気質と健康障害に関する最新情報が紹介され、今後の課題について議論が行われた。室内空気質に対する取り組みは、WHOにおいても優先事項であることを改めて確認した。

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及び代替物質を含むその関連物質のうち、今年度は、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、2-フルアルデヒド、フェ

ノール、フタル酸ベンジルブチル（BBP）、フタル酸ジ-イソノニル（DINP）、フタル酸ジイソデシル（DIDP）、Di(isononyl)cyclohexane-1,2-dicarboxylate（DINCH）、Di(ethylhexyl) adipate（DEHA）に関する急性影響と慢性影響のキー研究を調査した。その結果、ベンジルアルコール、ベンズアルデヒド、BBP、DINP、DIDP、DINCH、DEHA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。DEHA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。

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. 学会発表

- 1) Azuma K, Tanaka-Kagawa T, Jinno H, Sakai S. Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: alicyclic compound, 1-butanol, long-chain aldehydes, chlorinated organic compounds, and acrolein. 35th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference, Kaohsiung, Taiwan. September 17-21, 2023.
- 2) 東 賢一. 室内環境における健康影響問題の経緯と近年の動向. 大気環境総合センター令和5年度特別セミナー. 大気環境総合センター（於 東京）, 2023年11月17日.
- 3) 東 賢一. 空気成分の指針動向. 2023年室内環境学会学術大会車室内環境分科会セ

ミナー. 沖縄県市町村自治会館(於 那覇),
2023年11月30日.

2. 書籍

- 1) 東 賢一、他. 住まいのアレルギー対策—
室内環境からのアプローチ—. 技報堂出
版, 東京, 2023.
- 2) 東 賢一、他. 室内環境の事典. 朝倉書店,
東京, 2023.
- 3) 東 賢一、他. テキスト健康科学改訂第3
版: 第6章住宅と健康. 南江堂, 東京,
2024 (印刷中) .

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

WHO 欧州地域事務局が 2023 年 9 月 20 日に「First WHO/Europe Indoor Air Conference」をスイスのベルンで開催したため、オンラインで参加した（WHO Europe, 2023）。室内空気質と健康障害に関する最新情報が紹介され、今後の課題について議論が行われた（表 1 - 1）。室内空気質に対する取り組みは、WHO においても優先事項であることを改めて確認した。



表 1 - 1 First WHO/Europe Indoor Air Conference における講演者と演題

講演者	演題
Presentations - Scientific session	
David Vernez	The indoor environment as a determinant for health
Pawel Wargocki	What do we need to achieve in buildings? What is realistic vs what is ideal?
Corinne Mandin	What do we know about the current state of IAQ in buildings
Hossein Gorji	Infection risk and IAQ in Swiss schools
Andreas Prenner	Pandemic management through indoor pathogen transmission suppression - EU innovation funding
Presentations - From science to policy	
Catherine Noakes OBE	Challenge and opportunity for Indoor Air - Learning from the

	pandemic
Roger Waeber	Improving ventilation in Swiss buildings – IAQ as part of sustainability
Jelle Laverge	Compliance through information sharing in Belgium
Claude-Alain Roulet	Priorities for improving indoor air in Switzerland

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、ギ酸、酢酸、プロピオン酸の3つの有機酸であった（IRK, 2023）。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1-2に示す。

表1-2 ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン（2023年度以降）

物質	アセスメントの概要	指針値	キー研究
ギ酸 (CAS no. 64-18-6)	ラットの13週間吸入曝露における気道上皮の損傷より、LOAELとして122 mg/m ³ 、NOAELとして61 mg/m ³ を導出。週5日、1日6時間曝露ではあるが曝露時間による換算は行わず、試験期間2（亜慢性）、種差3、個体差10、小児の係数2（合計120）を適用し、評価値IIとして1 mg/m ³ 、評価値Iとして0.51 mg/m ³ を導出。	<ul style="list-style-type: none"> 指針値II（LOAELから導出） 1000 µg/m³ 指針値I（NOAELから導出） 510 µg/m³ 	NTP (1992)
酢酸 (CAS no. 64-19-7)	ヒトボランティアの短時間吸入曝露実験における感覚刺激より、LOAELとして74 mg/m ³ 、NOAELとして25 mg/m ³ を導出。個体差10、小児の係数2（合計20）を適用し、評価値IIとして3.7 mg/m ³ 、評価値Iとして1.25 mg/m ³ を導出。数値を丸めて指針値としている。	<ul style="list-style-type: none"> 指針値II（LOAELから導出） 3700 µg/m³ 指針値I（NOAELから導出） 1300 µg/m³ 	Dalton et al. (2006), Ernstgard et al. (2006), Blaszkewicz et al. (2007), van Thriel et al. (2008)
プロピオン酸 (CAS no. 79-09-4)	ヒトボランティアの短時間吸入曝露実験における感覚刺激より、LOAELとして31 mg/m ³ 、NOAELとして15.5 mg/m ³ を導出。個体差10、小児の係数2（合計20）を適用し、評価値IIとして1.55 mg/m ³ 、評価値Iとして0.775 mg/m ³ を導出。数値を丸めて指針値としている。	<ul style="list-style-type: none"> 指針値II（LOAELから導出） 1600 mg/m³ 指針値I（NOAELから導出） 780 mg/m³ 	Blaszkewicz et al. (2007), van Thriel et al. (2008)

※指針値 II (RWII) 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。RWII 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 (RWI) 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、RWI 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、RWI と RWII 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。RWI は、RWII に不確実係数 10 を除した値、つまり RWII 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。RWI 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、RWI 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, 2023)。2023 年度には新たに設定された室内空気質ガイドラインはなかった。

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, 2023)。2023 年度には新たに設定された室内空気質ガイドラインはなかった。

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 (2023 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 - 3 に示す。アントラセンと亜リン酸ジメチルが 3 (ヒトに対する発がん性を分類できない) から 2B (ヒトに対して発がん性があるかもしれない) に格上げとなった。2-ブロモプロパンが 2A (ヒトに対しておそらく発がん性がある)、メタクリル酸ブチルが 2B に新たに分類された。アステルパームとイソオイゲノールが 2B に新たに分類された。メチルオイゲノールは 2B から 2A に格上げとなった。室内ダスト中でも検出されるペルフルオロオクタン酸 (PFOA) が 2B からグループ 1 (ヒトに対して発がん性がある) に格上げとなり、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は 2B に新たに分類された。なお、次年度以降のワーキンググループでは、タルクとアクリルニトリルの検討が予定されている。

表 1 - 3 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 (2023 年度以降)

物質	改正前	改正または新設	発表時期	Monographs
アントラセン (CAS 120-12-7)	3 (2010 年)	2B	2023 年 5 月	Vol. 133
2-ブロモプロパン (CAS 75-26-3)	—	2A	2023 年 5 月	Vol. 133
メタクリル酸ブチル (CAS 97-88-1)	—	2B	2023 年 5 月	Vol. 133
亜リン酸ジメチル (CAS 868-85-9)	3 (1999 年)	2B	2023 年 5 月	Vol. 133
アステルパーム (CAS 22839-47-0)	—	2B	2023 年 8 月	Vol. 134
メチルオイゲノール (CAS 93-15-2)	2B (2013 年)	2A	2023 年 8 月	Vol. 134

イソオイゲノール (CAS 97-54-1)	—	2B	2023年8月	Vol. 134
ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) (CAS 335-67-1)	2B (2017年)	1	2023年11月	Vol. 135
ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) (CAS 1763-23-1)	—	2B	2023年11月	Vol. 135
タルク (石綿含まず) (CAS 14807-96-6)	3 (2006年)	検討予定	2024年8月	Vol. 136
タルク (会陰部用の粉体) (CAS 14807-96-6)	2B (2006年)	検討予定	2024年8月	Vol. 136
アクリルニトリル (CAS 107-13-1)	2B (1998年)	検討予定	2024年8月	Vol. 136

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 (2023) 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 2023.

Blazkewicz M et al (2007) Endbericht zum Verbundprojekt “Abgrenzung und Differenzierung irritativer und belastigender Effekte von Gefahrstoffen“ (FF228). http://www.dguv.de/ifa/de/pro/pro1/fffp0228a/Endbericht_ff228.pdf. Zugegriffen: 20. Okt. 2022

Dalton P, Dilks D, Hummel T (2006) Effects of long-term exposure to volatile irritants on sensory thresholds, negative mucosal potentials, and eventrelated potentials. Behav Neurosci 120(1):180–187.

Ernstgard L et al (2006) Acute effects of exposure to vapours of acetic acid in humans. Toxicol Lett 165(1):22–30.

Health Canada (2023) 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 2023.

IARC (2023) 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 2023.

IRK (2023) Richtwerte für Methansäure, Ethansäure und Propansäure in der Innenraumluft Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). Bundesgesundheitsbl

66:460–475.

NTP (1992) NTP Technical Report on Toxicity Studies of Formic Acid (CAS: 64-18-6) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice., S 1–62. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/st_rpts/tox019.pdf.

Van Thriel C et al (2008) Reizwirkungen durch organische Carbonsäuren – Ergebnisse experimenteller Expositionsstudien, in 48. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. http://www.dgaum.de/fileadmin/PDF/Tagungsbaende/DGAUM_Tagungsband_2008.pdf.
Zugegriffen: 20. Okt. 2022

WHO Europe (2023) First WHO/Europe Indoor Air Conference. World Health Organization Regional Office for Europe and Geneva Health Forum, Bern, Switzerland. <https://indoorairconference.genevahealthforum.com>

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>

- ・ ベンジルアルコール（100-51-6）
- ・ ベンズアルデヒド（100-52-7）
- ・ 2-フルアルデヒド（98-01-1）
- ・ フェノール（108-95-2）
- ・ フタル酸ベンジルブチル（BBP）（85-68-7）
- ・ フタル酸ジ-イソノニル（DINP）（28553-12-0）
- ・ フタル酸ジ-イソデシル（DIDP）（26761-40-0）
- ・ Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate（DINCH）（166412-78-8）
- ・ Di(ethylhexyl) adipate(DEHA）（CAS 103-23-1）

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文書類の有無（遡及期間限定せず）

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
物質名	ベンジルアルコール	ベンズアルデヒド	2-フルアルデヒド	フェノール	フタル酸ベンジルブチル (BBP)	フタル酸ジイソノニル (DINP)	フタル酸ジイソデシル (DIDP)	DINCH ジイソノニルシクロヘキサニルジエチルカルボキシ	DEHA アジピン酸ビス(2-エチルヘキシル)
評価機関									
厚労・室内空気	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Air (Europe)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Air 2005 Update (Europe)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Air (Global)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Indoor Air	×	×	×	×	×	×	×	×	×
WHO Drinking Water	×	×	×	×	×	×	×	×	● 2004 経口
IPCS EHC	×	×	×	● 1994 経口 (EHC 161)	×	×	×	×	×
IPCS CICAD	○ 2000	○ 2000	○ 2000	×	● 1999 経口	×	×	×	×
IARC	×	×	○ 1995 3 (vol. 63)	○ 1999 3 (vol. 71)	○ 1999 3 (vol. 73)	×	×	×	○ 2000 3 (vol. 77)
JECFA	● 2002 経口	● 2002 経口	● 2001 経口	● 2001 経口	×	×	×	×	×
JMPR	×	×	×	×	×	×	×	×	×
US EPA (IRIS)	×	● 1988 経口	● 1988 経口	● 2002 経口	● 1989 経口 (review 2014)	○ 2014 (中止)	×	×	● 1992/1991 経口C/SF
US EPA (AEGL)	×	×	×	● 2009 A	×	×	×	×	×
US EPA (PPRTV)	● 2009 経口	● 2015 経口	×	×	● 2002 経口C/SF	×	×	×	×
US EPA (RED)	● 2023	×	● 2016 A/C/SF	● 2009	×	×	×	×	×
US EPA (OCSP/OPPT)	×	×	×	×	○ 2020	○ 2021	○ 2021	×	×
VCCEP (TERA) (自主プログラム)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ATSDR	×	×	×	● 2008 経口	×	×	×	×	×
CalEPA	×	×	×	● 2008/2000 A/C	● 2012 経口 ○ 2013 がん	○ 2013 がん	● 2010 経口	×	● 2003 経口C/SF
テキサスEPA	● 2010 A/C	● 2013 A/C	● 2003 A/C	● 2014 A/C	● 2013 A/C	● 2003 A/C	● 2012 A/C	×	● 2016 A/C
ミシガンEPA	● 2015	×	×	● 2012	×	×	×	×	×
ミネソタ州	×	×	×	● 2016 A	● 2015 経口	×	×	×	×
ACGIH	×	×	● 2016	● 1952	×	×	×	×	×
EUリスク評価	×	×	● 2008 A/C	● 2006 A/C	● 2007 A/C	● 2003 A/C	● 2003 A/C	×	×
EU INDEX Project	×	×	×	×	×	×	×	×	×
EU LCI	● 2013	×	● 2017	● 2017	×	×	×	×	×
EU ECHA (DNEL)	● A/C	● A/C	● A/C	●	●	● A/C	●	● A/C	● A/C
EU SCOEL/RAC (ECHA)	×	×	×	● 2003 A/C	×	×	×	×	×
EU EFSA 又は EC SCCS	● 2019 経口	● 2012 経口	● 2016 経口	● 2013 経口	● 2019 経口	● 2019 経口	● 2019 経口	● 2006 経口	● 2005 経口
IUCLID	○ 2001	○ 2001	○ 2001	○ 2001	○ 2001	○ 2001	○ 2001	×	○ 2001
SIDS	○ 2001	○ 1994	EUリスク評価書として公開	EUリスク評価書として公開	×	EUリスク評価書として公開	EUリスク評価書として公開	×	● 2000 経口
独・室内空気	● 2010	● 2010	● 2011	● 2011	×	×	×	×	×
独・AGÖEF	● 2013	● 2013	● 2013	● 2013	×	×	×	×	×
独・DFG (MAK)	● 2017	○ 2002	○ 2002	○ 2010	● 2017 A/C	×	○ 2011	×	×
独・AGS (TRGS)	● 2017 A/C	×	×	● 2013 A/C	● 2018 A/C	×	×	×	×
独・AgBB	● 2021	● 2021	● 2021	● 2021	×	×	×	×	×
オランダ	● 2007	● 2019	● 2017/2007 A/C	● 2009/2001 A/C	● 2014	×	● 2007 A	● 2009 経口	×
仏・ANSES	● 2009	● 2009	● 2009	● 2009	● 2016 A/C	×	×	● 2016 経口	×
オーストリア・室内空気	×	×	×	● 2020	×	×	×	×	×
デンマーク	● 1991	×	● 1996	● 1990	● 2009 経口	● 2009 経口	×	○ 2014	○ 2014
オーストラリア	○ 2016	○ 2016	○ 2013	○ 2014	● 2016 経口	● 2015 経口	● 2015 経口	● 2008	○ 2013
カナダ	○ 2022	● 2022	● 2011	● 2000 経口	● 2000 経口	● 2015 経口	● 2015 経口	×	● 2011 経口
カナダ室内空気	×	×	×	×	×	×	×	×	×
オンタリオ州	● 2016	● 2016	● 2016	● 2016	● 2016	● 2018	● 2018	×	● 2018
アルバータ州	×	×	×	● 1999	×	×	×	×	×
日本産衛学会	● 2019	×	● 1978	● 1978	×	×	×	×	×
食品安全委員会	×	×	×	×	● 2015 経口	● 2015 経口	● 2016 経口	×	×
環境省・有害大気	×	×	×	×	×	×	×	×	×
環境省・初期評価	● 2013	● 2014	×	● 2002	● 2004 経口	×	×	×	● 2003 経口
厚労省・リスク評価	×	×	×	×	×	×	×	×	×
NITE・初期評価	×	● 2008	×	● 2005 経口	● 2007	×	×	×	● 2007 経口
その他	● RIFM 2015	● RIFM 2019	● ミネソタ州 2023	● ミネソタ州 2023	● US CPSC 2010 経口	● US CPSC 2010 経口	● US CPSC 2010 経口	● Bhatら(2014) 経口	● US EPA 飲料水 1992 C/SF

●：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 ベンジルアルコール (100-51-6)

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いるが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露に関しては、知見は少なかった。

国内外の評価機関において設定されたベンジルアルコール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。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラットに4週間吸入曝露させた Roper (2010) の報告、2週間ネブライザー吸入したボランティアの Reynolds ら (1995) の報告の他に、ラットに13週間、2年間経口投与させた NTP の試験結果を吸入換算してリスク評価に採用している機関もあった。

なお、Roper (2010) の報告では、1,072 mg/m³を NOAEL と評価した機関、LOAEL と評価した機関に分かれた。また、Reynolds ら (1995) の報告は1回15分のネブライザー吸入を1日4回で2週間続けた時の知見であり、慢性曝露のキー研究として妥当かどうかは疑問であった。

急性のリスク評価値では、3機関が設定していたが、慢性のリスク評価値を2倍あるいは5倍した値が設定されており、急性毒性の知見に基づいて設定された値ではなかった。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表4に示す。

表2 有害性評価結果（慢性曝露） ベンジルアルコール その1

ファイル番号	01	02	03	04	05	06	07	08
評価機関等	USEPA (農薬)	テキサス州	ミシガン州	EU LCI	EU ECHA (DNEL)	独・室内空気	独・AGÖF	独・DFG (MAK)
評価年	2023	2010	1992	2013	—	2010	2013	2017
キー研究	—	—	NTP (1989)	—	Roper (2010)	NTP (1989)	—	Roper (2010)
動物種	ラット	—	ラット	—	ラット	ラット	—	ラット
曝露状況	4週間 (曝露時間等は不明)	—	2年間(5日/週) 経口投与	—	4週間 (6時間/日、5日/週)	13週間(5日/週) 経口投与	—	4週間 (6時間/日、5日/週)
エンドポイント	影響なし	—	生存、成長、組織変化	—	影響なし	神経毒性	—	肺の病変 (単核細胞浸潤など)
N(L)OAEL	NOAEL 1,072 mg/m ³	—	NOAEL 200 mg/kg/day	—	NOAEL 1,072 mg/m ³	LOAEL 800 mg/kg/day	—	LOAEL 1,072 mg/m ³
連続曝露補正	—	—	×5/7	—	×6/24	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	1,072 mg/m ³	—	—	—	268 mg/m ³ (1,072×6/24 = 268)	2 mg/kg/day (800/UF = 800/400 = 2)	—	300 mg/m ³ (67 ppm) (1,072/3 = 357)
不確実係数	100 (UF _A 10, UF _H 10)	—	100 (UF _A 10, UF _H 10)	—	50 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _S 2)	400 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 2, UF _{DB} 2)	—	UF _S 6, UF _A 2
リスク評価値	—	44 µg/m ³	5,000 µg/m ³	440 µg/m ³	5.4 mg/m ³ (268/50 = 5.36)	4 mg/m ³ (2×70/20/2 = 3.5)	4.6 µg/m ³	5 ppm (22 mg/m ³) (67/6 = 11, 11/2 = 5)
備考	<p>吸収率 100%として吸入 NOAEL を経口換算すると 328 mg/kg/day となり、経口 NOAEL の 250 mg/kg/day よりも大きいことから、総曝露経路の Margin of exposure (MOE) の試算では値の小さい経口 NOAEL を用いた例が記載されていた。</p> <p>キー研究の記載はなかったが、Roper (2010) だと思われる。</p>	暫定値として設定。	POD の記載はなかったが、リスク評価値から逆算すると、5×7/5×100 = 700 mg/m ³ となり、ヒトの体重を 70 kg、呼吸量を 20 m ³ /day として算出していたと思われる。 (200 mg/kg/day×70 kg / (20 m ³ /day) = 700 mg/m ³)	他の機関が設定していた値を採用。	5日/週の断続曝露に対する補正が忘れられている。	RW II 値として設定。 RW I は RW II 値を 1/10 して 0.4 mg/m ³ 不確実係数 (UF) は POD の算出に使用。 RW II 値の算出は成人の体重を 70 kg、呼吸量を 20 m ³ /day とし、小児の呼吸数が成人の約 2 倍高いことを考慮して経口から吸入に換算している。	3,311 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。	病理組織学的検討は対照群と最高曝露濃度群 (1,072 mg/m ³ 群)のみであったが、組織の変化は軽度であったため、×1/3 した濃度が NOAEL になると推定。 ppm 濃度に変換後、慢性曝露へ補正、種差で補正の各段階で数値を丸めて 5 ppm (22 mg/m ³) を算出している。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

NTP (National Toxicology Program). 1989a. NTP Technical Report on Toxicology and Carcinogenesis Studies of Benzyl Alcohol (CAS No. 100-51-6) in F344/N Rats and B6C3F₁ Mice (Gavage Studies). NTP TR 343.

Roper JM. (2010): A 4-week inhalation toxicity study of aerosolized benzyl alcohol and benzoic acid in sprague-dawley rats. Final report. WIL Research Laboratories. Study number WIL-703002.

表2 有害性評価結果（慢性曝露） ベンジルアルコール その2

ファイル番号	09	10	11	12	13	14	15	16
評価機関等	独・AGS (TRGS)	独・Agbb	オランダ	仏・ANSES (afssset)	デンマーク	オンタリオ州	日本産衛学会	環境省・初期評価
評価年	2017	2021	2007	2009	1991	2016	2019	2013
キー研究	DFG (MAK)	EU LCI	—	AIHA の TWA WEEL	—	—	Reynolds ら(1995)	NTP (1989)
動物種	—	—	—	2008	—	—	ヒト	ラット
曝露状況	—	—	—	—	—	—	ネブライザー吸入 (4回/日、2週間)	103週間(5日/週) 経口投与
エンドポイント	—	—	—	—	—	—	強い呼吸器症状	影響なし
N(L)OAEL	—	—	—	—	—	—	LOAEL 257 mg/m ³	NOAEL 400 mg/kg/day
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	×5/7 (400×5/7=290)
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	—	—	44,000 µg/m ³	—	—	257 mg/m ³	290 mg/kg/day
不確実係数	—	—	—	100	—	—	10 (UF _L 10)	—
リスク評価値	5 ppm (22 mg/m ³)	440 mg/m ³	126 µg/m ³	450 µg/m ³	0.1 mg/m ³	880 µg/m ³	25 mg/m ³	—
備考	DFG の値を採用。	EU LCI の値を採用。	算出過程の記載なし。 現在は使用されていない方法を使用して導出された指標大気基準の値とされていた。	AIHA は American Industrial Hygiene Association の略称。 TWA WEEL 値を基に LCI 値を算出。	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。	ガイドライン値として設定。	1回当たり 9 mg/mL 溶液を 3 mL、15 分かけて吸入したと仮定し、成人 1 分当たりのネブライザー吸入時の呼吸量を 7 L (1 回換気量 0.5 L、呼吸回数 14 回) とすると、平均吸入濃度は 257 mg/m ³ となる。	参考として吸収率を 100% と仮定し、吸入換算した 967 mg/m ³ を用いて MOE を算出して吸入曝露のリスクを評価している。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Reynolds RD, Smith RM. (1995): Nebulized bacteriostatic saline as a cause of bronchitis. J Fam Pract. 40: 35-40.

表2 有害性評価結果（慢性曝露） ベンジルアルコール その3

ファイル番号	100		
評価機関等	RIFM (Api ら, 2015)		
評価年	2015		
キー研究	Roper (2010)		
動物種	ラット		
曝露状況	4 週間 (6 時間/日、5 日/週)		
エンドポイント	影響なし		
N(L)OAEL	NOAEL 1,072 mg/m ³		
連続曝露補正	—		
dosimetry 補正	—		
POD	1,072 mg/m ³ (1.072 mg/L)		
不確実係数	100		
リスク評価値	—		
備考	<p>ラットの呼吸量を 0.17 L/min とすると 6 時間曝露時の呼吸量は 61.2 L。これと曝露濃度 1.072 mg/L の積から吸入による曝露量は 65.6 mg。ラットの肺重量を 0.0016 kg とすると 41,004 mg/kg 肺/day となる。一方、ヒトの吸入による曝露量は 0.24 mg/kg 肺/day と見積もられるため、これらから MOE を算出して評価している。</p> <p>0.17×60×6 = 61.2 61.2×1.072 = 65.6 65.6/0.0016 = 41,004</p>		

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表3 有害性評価結果（急性曝露） ベンジルアルコール

ファイル番号	02	05	09
評価機関等	テキサス州	EU ECHA (DNEL)	独・AGS (TRGS)
評価年	2010	—	2017
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	440 µg/m ³	27 mg/m ³	44 mg/m ³
備考	暫定値として設定。	慢性 DNEL (5.4 mg/m ³) に係数 5 を乗じた値。急性吸入試験では感覚刺激に関する影響しかみられなかったことから、係数 5 が選択された。	慢性曝露の評価値の 2 倍の値をピーク限界値として設定。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表4 ベンジルアルコールの許容濃度

Substance	Benzyl alcohol			
CAS No.	100-51-6			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Finland	10	45		
Germany (AGS)	5 (1)	22 (1)	10 (1)(2)	44 (1)(2)
Germany (DFG)	5 (1)(2)	22 (1)(2)	10 (1)(2)(3)	44 (1)(2)(3)
Latvia		5		
Poland		240		
Switzerland	5	22		
	Remarks			
Germany (AGS)	(1) Inhalable fraction and vapour (2) 15 minutes average value			
Germany (DFG)	(1) Inhalable fraction and vapour (2) Skin (3) 15 minutes average value			
	<input type="text" value="Search"/>			

文献番号

- 01 USEPA (2023) Benzyl Alcohol; Exemption From the Requirement of a Tolerance. Federal Register 88(97), pp. 32133–32138
- 02 TCEQ (2016) Effects Screening Levels (ESLs). TCEQ Interoffice Memorandum. https://www.tceq.texas.gov/toxicology/esl/list_main.html/#esl_2
- 03 DEQ (2015) Benzyl Alcohol. Chemical Update Worksheet.
- 04 EU LCI (2022) Agreed EU-LCI values.
- 05 ECHA の登録物質データベース: Benzyl Alcohol. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 06 Umweltbundesamtes (2010) Richtwerte für Benzylalkohol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 53:984–988.
- 07 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 08 DFG (201700) Benzyl alcohol / phenylmethanol. 1075–1110. Lieferung: MAK.
- 09 TRGS (2023) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900 - Seite 1 von 69. Ausschuss für Gefahrstoffe.
- 10 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.
- 11 RIVM (2007) Indicatieve milieukwaliteitsnormen 2005-2006 Overzicht van in 2005 en 2006 door het RIVM afgeleide indicatieve milieukwaliteitsnormen voor stoffen. RIVM rapport 601570001
- 12 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 13 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 14 Ontario (2023) 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 (2019) ベンジルアルコール. 産衛誌 61:221–225.
- 16 環境省 (2013) 化学物質の環境リスク評価: ベンジルアルコール. 第 11 巻
- 100 Api et al. (2015) RIFM fragrance ingredient safety assessment, Benzyl alcohol, CAS Registry Number 100-51-6. Food and Chemical Toxicology 844:S1–S14.

1-2 ベンズアルデヒド (100-52-7)

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いるが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露に関しては、知見は少なかった。

国内外の評価機関において設定されたベンズアルデヒド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。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラットに2週間吸入曝露させた Laham ら (1991) の報告 (LOAEL 2,200mg/m³) が多くの機関で採用されていた。一方、独・室内空気では、BIBRA (1998) に引用されていたとして SIDS に記載のあったヒトの知見 (職業曝露：呼吸器や眼、皮膚の刺激で LOAEL 5 mg/m³) を採用しており、キー研究の LOAEL 値には 440 倍の大きな開きがあった。

なお、独・室内空気によれば、2,200mg/m³ 群ではすべてのラットで眼や鼻の炎症、呼吸数の減少、呼吸上皮の変化などがみられていたことから、2,200mg/m³ を LOAEL とみなすことはできず、この場合の LOAEL は3分の1に低減された 730 mg/m³ であるとして、連続曝露補正、慢性曝露補正、個体差を考慮して求めると RW II は 2 mg/m³ ($730 \times 6/24 \times 5/7 \times 1/6 \times 1/10 = 2.17$) となり、ヒトの知見から求めた場合の値よりも 10 倍大きくなるとされていた。(注：種差が考慮されていないので、10 程度の種差を考慮に入れると、同程度の値になると考えられますが、種差を考慮していない理由については、記載がありませんでした。)

急性のリスク評価値では、2 機関が設定していた。このうち、EU ECHA の DNEL では、no hazard identified (有害性が確認されなかった) と記載されており、DNEL 値を設定する必要のないという意思表示と考えられた。

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を表7に示す。

表5 有害性評価結果（慢性曝露） ベンズアルデヒド 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 ECHA (DNEL)	独・室内空気	独・AGÖF	独・Agbb	オランダ	仏・ANSES (afsset)	カナダ
評価年	2013	—	2010	2013	2021	2019	2004	2022
キー研究	—	Laham (1991)	BIBRA (1989)で引用された知見	—	AIHA の TWA WEEL	—	AIHA の TWA WEEL	Laham ら(1991)
動物種	—	ラット	ヒト	—	—	—	—	ラット
曝露状況	—	14 日間 (6 時間/日)	職業曝露	—	—	—	—	14 日間 (6 時間/日)
エンドポイント	—	気道刺激など (鼻腔の杯細胞異形成)	刺激 (呼吸器や眼、皮膚)	—	—	—	—	鼻腔組織の傷害、肝重量や肝酵素の変化
N(L)OAEL	—	LOAEL 2,200 mg/m ³	LOAEL 5 mg/m ³	—	—	—	—	LOAEL 500 ppm (2,170 mg/m ³)
連続曝露補正	—	—	×1/3	—	—	—	—	×6/24 (2,170×6/24 = 542.5)
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	2,200 mg/m ³	1.7 mg/m ³ (5/3 = 1.67)	—	—	—	8,850 µg/m ³	512 mg/kg/day (経口換算)
不確実係数	—	450	10 (UF _H 5, UF _C 2)	—	—	—	100	—
リスク評価値	9 µg/m ³	4.9 mg/m ³ (2,200/450 = 4.89)	0.2 mg/m ³ (1.7/10 = 0.17)	15 µg/m ³	90 µg/m ³	170 µg/m ³	90 µg/m ³	—
備考	暫定値として設定。	不確実係数の内訳は記載されていなかった。 全身影響と局所影響のDNEL は同じ値。	RW II 値として設定。 RW I は RW II 値を1/10 して 0.02 mg/m ³ 曝露時間が正確には不明であるため、連続曝露への補正は係数3 を用いて外挿した。 キー研究は BIBRA (1989) Toxicity profile に引用されていたとして SIDS に記載のあった知見。	3,684 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。	備考欄に AIHA (American Industrial Hygiene Association) の TWA WEEL 値が 8,800 µg/m ³ である旨の記載があったことから、これを基に LCI 値を算出と思われる。	アセトアルデヒドの遺伝毒性発がん性に基づく最大許容リスクレベルの 70 µg/m ³ から、モル当量で補正して算出している。 (read across による)	AIHA の TWA WEEL 値を基に LCI 値を算出している。	LOAEL 2,170 mg/m ³ を連続曝露に補正した 542.5 mg/m ³ をラットの体重・呼吸量 (記載なし) で経口換算して 512 mg/kg/day とし、吸入曝露量を経口換算した値を用いて MOE を算出している。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生 (発がん性)、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Laham S, Broxup B, Robinet M, Potvin M, Schrader K. (1991): Subacute inhalation toxicity of benzaldehyde in the Sprague-Dawley rat. Am Ind Hyg Assoc J. 52: 503-510.

表5 有害性評価結果（慢性曝露） ベンズアルデヒド その2

ファイル番号	09	10	11	100				
評価機関等	オンタリオ州	環境省・初期評価	NITE・初期評価	RIFM (Api ら, 2019)				
評価年	2016	2014	2008	2019				
キー研究	—	Laham ら(1991)	Laham ら(1991)	Laham ら(1991)				
動物種	—	ラット	ラット	ラット				
曝露状況	—	14日間 (6時間/日)	14日間 (6時間/日)	14日間 (6時間/日)				
エンドポイント	—	体重増加の抑制、低体温、肝重量増加など	肝臓への影響	鼻腔の杯細胞の異形成				
N(L)OAEL	—	LOAEL 500 ppm	LOAEL 500 ppm (2,200 mg/m ³)	LOAEL 500 ppm (2,170 mg/m ³)				
連続曝露補正	—	×6/24 (500×6/24 = 125 ppm)	×6/24	—				
dosimetry 補正	—	—	—	—				
POD	—	125 ppm (543 mg/m ³)	410 mg/kg/day 経口換算	NOAEL 50 ppm (217 mg/m ³ = 0.217 mg/L)				
不確実係数	—	—	10,000 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 10, UF _L 10)	100 (UF _A 10, UF _H 10)				
リスク評価値	2 µg/m ³	—	—	—				
備考	スクリーニング値として設定。	UF _S 10、UF _L 10 で除した 5.4 mg/m ³ を無毒性量等に設定して MOE で評価している。	経口換算は吸収率を 100% とし、ラットの体重を 0.35 kg、呼吸量を 0.26 m ³ /day とし算出。吸入曝露による摂取量から MOE を算出し、不確実係数積との比較でリスクを評価している。	ラットの呼吸量を 0.17 L/min とすると 6 時間曝露時の呼吸量は 61.2 L。これと曝露濃度 0.217 mg/L の積から吸入による曝露量は 13.3 mg。ラットの肺重量を 0.0016 kg とすると 8,312.5 mg/kg 肺/day となる。一方、ヒトの吸入による曝露量は 0.032 mg/kg 肺/day と見積もられるため、これらから MOE を算出して評価している。 0.17×60×6 = 61.2 61.2×0.217 = 13.3 13.3/0.0016 = 8,312.5				

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表6 有害性評価結果（急性曝露） ベンズアルデヒド

ファイル番号	01	02	
評価機関等	テキサス州	EU ECHA (DNEL)	
評価年	2013	—	
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	90 µg/m ³	—	
備考	暫定値として設定。	急性/短期間の吸入曝露では no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。	

表7 ベンズアルデヒドの許容濃度

Substance	Benzaldehyde			
CAS No.	100-52-7			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Canada - Ontario			4	17
Finland	1	4,4	4 (1)	17,4 (1)
Hungary		3,25 (1)		
Latvia		5		
Poland		10		40 (1)
	Remarks			
Finland	(1) Ceiling limit value			
Hungary	(1) Skin			
Poland	(1) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 TCEQ (2016) Effects Screening Levels (ESLs). TCEQ Interoffice Memorandum.
https://www.tceq.texas.gov/toxicology/esl/list_main.html/#esl_2
- 02 ECHA の登録物質データベース: Benzaldehyde. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 03 Umweltbundesamt (2010) Richtwerte für Benzaldehyd in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 53:636–640.
- 04 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 05 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.
- 06 RIVM (2019) Advies 14801A01 – indicatief MTR voor lucht voor benzaldehyde. M/260101/19/CC
- 07 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 08 Health Canada (2022) Draft Screening Assessment Alcohols Group. Environment and Climate Change Canada Health Canada.
- 09 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"
- 10 環境省 (2014) 化学物質の環境リスク評価: ベンズアルデヒド. 第12巻
- 11 独立行政法人製品評価技術基盤機構 (2008) 化学物質の初期リスク評価書 Ver. 1.0, No.81, ベンズアルデヒド
- 100 Api et al. (2019) RIFM fragrance ingredient safety assessment, benzaldehyde, CAS Registry Number 100-52-7. Food and Chemical Toxicology 134 Suppl 2:110878. doi: 10.1016/j.fct.2019.110878.

1-3 2-フルアルデヒド (98-01-1)

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おり、US EPA ではスロープファクターの算出も行っていた。

国内外の評価機関において設定された 2-フルアルデヒドの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 8 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 9 に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラットに 28 日間吸入曝露させた Arts ら (2004) の報告が多く機関で採用されていたが、これはオランダ (TNO) の Muijser (2001) の非公開報告を論文化したもので、最低曝露濃度群 (20 mg/m^3) で鼻腔への局所影響がみられていた。このため、同じ試験機関で曝露濃度を下げた 28 日間の吸入曝露試験が実施され、NOAEL 8 mg/m^3 が得られているが、Staal ら (2008) として非公開の報告書が作成されていたものの、論文化はされておらず、NTIS などにも登録されていなかったため、Staal ら (2008) の入手はできなかった。

急性のリスク評価値では、オランダが Apol ら (1975) の職業曝露の知見をキー研究に採用していた以外はラットの知見であった。US EPA の MARID 48563701 については、書誌情報が得られず、報告書も収集不可であった。

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 10 に示す。

表8 有害性評価結果（慢性曝露） 2-フルアルデヒド その1

ファイル番号	01_1	01_2	02	03	04	05	06	07
評価機関等	US EPA (農薬)	US EPA (農薬)	テキサス州	ACGIH	EU リスク評価書	EU LCI	EU ECHA (DNEL)	独・室内空気
評価年	2006	2016	2003	2016	2008	2017	—	2011
キー研究	Arts ら(2004)	Staal ら(2008)	—	Morimoto ら(2007)	Arts ら(2004)	Arts ら(2004)	Arts ら(2004)	Arts ら(2004)
動物種	ラット	ラット	—	ヒト	ラット	ラット	ラット	ラット
曝露状況	28日間 (6時間/日、5日/週)	4週間 (6時間/日、5日/週)	—	職業曝露	28日間 (6時間/日、5日/週)	28日間 (6時間/日、5日/週)	28日間 (6時間/日、5日/週)	28日間 (6時間/日、5日/週)
エンドポイント	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成	鼻腔の移行上皮過形成 や混合型炎症細胞浸潤	—	頭痛や上気道、眼 の刺激	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成	上皮の傷害(鼻、気道)	全身影響	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成
N(L)OAEL	LOAEL 20 mg/m ³	NOAEL 8 mg/m ³	—	LOAEL 2~4.2 ppm LOAEL 1.6~2.1 ppm	LOAEL 20 mg/m ³	LOAEL 20 mg/m ³	NOAEL 320 mg/m ³	LOAEL 20 mg/m ³
連続曝露補正	×6/24×5/7	×6/6×5/7	—	—	—	×6/24×5/7 (= ×1/5.6)	×6/24	×6/24×5/7×1/6 (×1/6 は慢性曝露補正)
dosimetry 補正	×0.115 (Regional Gas Dose Ratios)	×0.166 (Regional Gas Dose Ratios)	—	—	—	—	—	—
POD	0.41 mg/m ³ (20×6/24×5/7×0.115 = 0.411)	0.95 mg/m ³ (8×6/6×5/7×0.166 = 0.949)	—	—	20 mg/m ³	3.57 mg/m ³ (20/5.6 = 3.571)	80 mg/m ³ (320×6/24 = 80)	1 mg/m ³ (20×6/24×5/7×1/6 = 0.60)
不確実係数	300 (UF _A 3, UF _H 10, UF _L 10)	30 (UF _A 3, UF _H 10)	—	—	112.5 (UF _A 2.5, UF _H 5, UF _S 3, UF _L 3)	450 (UF _A 2.5, UF _H 10 _w , UF _S 6, UF _L 3)	75 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _S 3)	10 (UF _H 5, UF _C 2)
リスク評価値	—	—	8 µg/m ³	0.2 ppm (0.8 mg/m ³)	—	10 µg/m ³ (3.57/450 = 0.0079)	1.067 mg/m ³ (80/75 = 1.0666)	0.1 mg/m ³
備考	リスク評価値は設定せず、Margin of exposure (MOE)による評価。 Pesticide Fact Sheet に記載のあったリスク評価の情報。	リスク評価値は設定せず、Margin of exposure (MOE)による評価。 散布サイトからの移動は非常に速く、6時間以内であるため、連続曝露への補正では1日24時間の曝露ではなく、6時間曝露として補正されていた。	労働者の許容濃度を基に設定した暫定値。		リスク評価値は設定せず、Margin of safety (MOS) による評価。 吸入曝露の MOS は労働者のみで算出のため、連続曝露補正は未実施であった。	実際には、連続曝露への補正も不確実係数の中に含めた値 (= 5.6×450 = 2,520)で POD を除して算出している。 (20/2,520 = 0.00794)	局所影響をエンドポイントとした場合は、Staal ら(2018)の NOAEL 8 mg/m ³ を採用し、これを不確実係数の1で除した8 mg/m ³ を DNEL に設定している。 (注: Staal ら(2018)と記載されていたが、2008年のタイプミス)	RW II 値として設定。RW I は RW II 値を1/10 して 0.01 mg/m ³

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Arts JH, Muijser H, Appel MJ, Frieke Kuper C, Bessems JG, Woutersen RA. (2004): Subacute (28-day) toxicity of furfural in Fischer 344 rats: a comparison of the oral and inhalation route. Food Chem Toxicol. 42:1389-1399.
 Staal Y, Kleinnijenhuis A, Junker K. et al. (2008): Sub-acute (28-day) inhalation toxicity study with furfural in rats: final report. Project number: V7649, 031/12219, 7649. Unpublished study prepared by TNO Voeding. 262 p. 収集不可
 Clark Burton N, Kawamoto MM. (1995): Health Hazard Evaluation, North American Refractory Company, Cincinnati Ohio, HETA No 95-0147-2542. US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH.
 Morimoto Y, Hori H, Higashi T, Nagatomo H, Hino Y, Ohsato A, Uchino B. (2007): Biological marker of furfural, chemicals without administrative control level. J UOEH. 29: 141-148.

表8 有害性評価結果（慢性曝露） 2-フルアルデヒド その2

ファイル番号	08	09	10	11	12	13	14	15
評価機関等	独・AGÖF	独・AgBB	オランダ	仏・ANSES (Afsset)	デンマーク	カナダ	オンタリオ州	日本産衛学会
評価年	2013	2021	2007	2009	1996	2011	2016	1978
キー研究	—	—	Arts ら(2004)	ACGIH の TWA-TLV	Apol ら(1975)	Arts ら(2004)	—	ACGIH の TWA-TLV
動物種	—	—	ラット	—	ヒト	ラット	—	—
曝露状況	—	—	28 日間 (6 時間/日、5 日/週)	—	職業曝露	28 日間 (6 時間/日、5 日/週)	—	—
エンドポイント	—	—	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成	—	眼、呼吸器への刺激	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成	臭気	—
N(L)OAEL	—	—	LOAEL 20 mg/m ³	—	LOAEL 20 mg/m ³	LOAEL 20 mg/m ³	—	—
連続曝露補正	—	—	×30/168 (= ×6/24×5/7)	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	—	4 mg/m ³ (20×30/168=3.57)	8 mg/m ³	2 mg/m ³ (大気の寄与は 10%)	20 mg/m ³	—	5 ppm (20 mg/m ³)
不確実係数	—	—	75 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _L 3)	1,000	1,000 (UF _H 10, UF _L 10, UF _{DB} 10)	—	—	—
リスク評価値	4.0 µg/m ³	10 µg/m ³	50 µg/m ³ (4/75 = 0.053)	8 µg/m ³	0.002 mg/m ³	—	1,000 µg/m ³	2.5 ppm (10 mg/m ³)
備考	1,611 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。	EU の LCI 値を採用。	現在は使用されていない方法を使用して導出された指標大気基準の値とされていた。	ACGIH の TLV-TWA は 1981~2016 年まで 2 ppm (8 mg/m ³)であったことから、これを基に LCI 値を算出。 現在の ACGIH の TLV-TWA の 0.2 ppm は 2016 年に変更が提案された。	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。 食品が主な曝露経路であるため、大気からの寄与は 10%しか許容されないとして算出されていた。	リスク評価値は設定せず、MOE で評価している。	ガイドライン値として設定している。	1978 年当時の ACGIH の TLV-TWA は 5 ppm であったが、呼吸器の刺激や感作を完全に防ぐには十分低い濃度ではないかも知れないとされていたことを踏まえて設定された。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Apol AG, Lucas JB. (1975): Health hazard evaluation, Pacific Grinding Wheel Co., Maysville, WA. NIOSH Report No. HHE 73-18-171, NTIS/PB 246444.

表 8 有害性評価結果（慢性曝露） 2-フルアルデヒド その3

ファイル番号	16		
評価機関等	米・メイン州		
評価年	2023		
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	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
備考	非発がん影響を基にしたガイドライン値として設定されていた。		

表9 有害性評価結果（急性曝露） 2-フルアルデヒド

ファイル番号	01_1	01_2	02	04	06	10		
評価機関等	US EPA (農薬)	US EPA (農薬)	テキサス州	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	オランダ		
評価年	2006	2016	2003	2008	—	2017		
キー研究	Arts ら(2004)	MRID 48563701	—	Terrill ら(1989) Marhold (1972)	—	Apol ら(1975)		
動物種	ラット	ラット	—	ラット	—	ヒト		
曝露状況	28 日間 (6 時間/日、5 日/週)	6 時間	—	4 時間または 1 時間	4 時間	職業曝露		
エンドポイント	鼻腔の移行上皮の扁平 上皮化生や異型過形成	影響なし (鼻腔の傷害は可逆性)	—	死亡	全身影響	眼や鼻の刺激症状		
N(L)OAEL	LOAEL 20 mg/m ³	NOAEL 40 mg/m ³	—	LC ₅₀	NOAEL 540 mg/m ³	LOAEL 20.4 mg/m ³ (5.1 ppm)		
連続曝露補正	×6/24	×6/6	—	—	備考欄参照	—		
dosimetry 補正	×0.115 (Regional Gas Dose Ratios)	×0.166 (Regional Gas Dose Ratios)	—	—	—	—		
POD	0.58 mg/m ³ (20×6/24×0.115 = 0.575)	6.63 mg/m ³ (40×6/6×0.166 = 6.64)	—	4,075 mg/m ³ (4 hr) 600~924 mg/m ³ (1 hr)	1,361 mg/m ³	20.4 mg/m ³		
不確実係数	300 (UFA 3, UFH 10, UFL 10)	30 (UFA 3, UFH 10)	—	112.5 (UFA 2.5, UFH 5, UFS 3, UFL 3)	50 (UFA 2.5, UFH 10, UFac 2)	3 (UFH 3)		
リスク評価値	—	—	80 µg/m ³	—	27.22 mg/m ³	6.8 mg/m ³ (20.4/3 = 6.8)		
備考	リスク評価値は設定せず、Margin of exposure (MOE)による評価。	リスク評価値は設定せず、Margin of exposure (MOE)による評価。 散布サイトからの移動は非常に速く、6 時間以内であるため、連続曝露への補正では 1 日 24 時間の曝露ではなく、6 時間曝露として補正されていた。	労働者の許容濃度を基に設定した暫定値。	リスク評価値は設定せず、Margin of safety (MOS) による評価。 吸入曝露の MOS は労働者のみで算出。 作業工程での推定曝露時間に応じて、4 時間曝露または 1 時間曝露の LC ₅₀ 値を採用して MOS を算出。	4 時間曝露の吸入毒性試験の NOAEL 540 mg/m ³ を 15 分間曝露の値に次式により変換 $(C_{t=4})^3 \times 4 = (C_{t=0.25})^3 \times 0.25$ $(C_{t=0.25})^3 = (540)^3 \times 16$ $C_{t=0.25} = 1,361 \text{ mg/m}^3$ 局所影響の DNEL は 24 mg/m ³ で、長期曝露の DNEL (8 mg/m ³) から導出したとあった。	介入のためのガイドライン値として設定されていた。この他にも、注意喚起値として 64 mg/m ³ 、生命を脅かす値として 10 分間曝露の 1,300 mg/m ³ から、8 時間曝露の 170 mg/m ³ までの値が設定されていた。		

UFA: 種差、UFH: 個体差、UFS: 慢性曝露補正、UFac: ごく短時間曝露に補正（用量反応関係のアセスメント係数）、UFL: LOAEL→NOAEL、UFDB: データベース不足、UFSE: 影響の重症度、UFC: 子供などの高感受性集団、UFT: 腫瘍発生（発がん性）、UFR: 経路間外挿の補正

MRID 48563701: 書誌情報の記載なし

Terrill JB, van Horn WE, Robinson D, Thomas DL. (1989): Acute inhalation toxicity of furan, 2-methyl furan, furfuryl alcohol, and furfural in the rat. Am Ind Hyg Assoc J. 50: 359-361.

Marhold, 1972 cited in DECOS, 1996. DECOS (1996)はドラフト版であり、収集不可であった。

表 1 0 2-フルアルデヒドの許容濃度

Substance	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
2-Furaldehyde				
CAS No.	98-01-1			
Australia	2	7,9		
Austria	5	20		
Belgium	2 (1)	8,0 (1)		
Canada - Ontario	2			
Canada - Québec	2 (1)			
Denmark	2 (1)	7,9 (1)	4 (1)(2)	15,8 (1)(2)
Finland	2	8	5 (1)	20 (1)
France			2	8
Hungary		8 (1)		20 (1)(2)
Ireland	2	8	5 (1)	20 (1)
Japan (JSOH)	2,5	9,8		
Latvia		10		
New Zealand	0,2	0,8		
Norway	2 (1)	8 (1)		
People's Republic of China		5		
Poland		10 (1)		25 (1)(2)
Romania	2,5	10	4 (1)	15 (1)
Singapore	2	7,9		
South Africa	0,4 (1)			
South Africa Mining	2 (1)	8 (1)	10 (1)(2)	40 (1)(2)
South Korea	2 (1)			
Spain	2	8		
Sweden	2	8	5 (1)	20 (1)
Switzerland	2	8		
USA - OSHA	5 (1)	20 (1)		
United Kingdom	2 (1)	8 (1)	5 (1)(2)	20 (1)(2)
	Remarks			
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.			
Canada - Québec	(1) Skin			
Denmark	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Finland	(1) 15 minutes average value			
Hungary	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Ireland	(1) 15 minutes reference period			
Norway	(1) Skin			
Poland	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) Skin			
South Africa Mining	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
South Korea	(1) Skin			
Spain	skin			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
USA - OSHA	(1) Skin			
United Kingdom	(1) Skin (2) 15 minutes average value			

Search

文献番号

- 01_1 USEPA (2006) Pesticide Fact Sheet: 2-Furancarboxaldehyde.
- 01_2 USEPA (2016) Memorandum: Furfural. Human-Health Risk Assessment for Proposed Use on Bare Soil; Revised Assessment for Golf Course Turf, Athletic Fields, Sod Farms and Outdoor Ornamentals. Decision No. 167035
- 02 TCEQ (2016) Effects Screening Levels (ESLs). TCEQ Interoffice Memorandum.
https://www.tceq.texas.gov/toxicology/esl/list_main.html/#esl_2
- 03 ACGIH (2017) Guide to Occupational Exposure Values, Furfural. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 04 EU (2008) RISK ASSESSMENT, 2-FURALDEHYDE (Furfural. CAS-No.: 98-01-1, EINECS-No.: 202-627-7
- 05 EU LCI (2022) Agreed EU-LCI values.
- 06 ECHA の登録物質データベース: 2-furaldehyde. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 07 Umweltbundesamtes (2011) Richtwerte für 2-Furaldehyd in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 54:510–515.
- 08 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 09 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.
- 10 RIVM (2008) Afleiding van 41 ad hoc MTR's 2007. Rijkswaterstaat Waterdienst WD rapport: 2008.007
- 11 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 12 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 13 Health Canada (2011) Screening Assessment for the Challenge: 2-Furancarboxaldehyde (Furfural).
- 14 Ontario (2023) 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 (1989) 2-フルアルデヒド. 産業医学 31:294–295.
- 16 環境省 (2013) 化学物質の環境リスク評価: ベンジルアルコール. 第 11 巻
- 100 Maine Department of Environmental Protection (2023) Chronic Ambient Air Guidelines.

1-4 フェノール (108-95-2)

急性毒性、反復曝露の一般毒性、生殖発生毒性、遺伝子傷害性について知見が得られており、今年度の対象物質の中で最も有害性情報等は充実していた。

国内外の評価機関において設定されたフェノールの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 1 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 2 に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラット、マウス、アカゲザルに 0、5 ppm を 90 日間連続曝露させた Sandage (1961) の報告が多く機関で採用されていたが、著者が陰性とした 5 ppm 群の肝臓、腎臓の病理所見の評価で、5 ppm を NOAEL とするか、LOAEL とするか判断が分かれていた。ACGIH や EU リスク評価書、独・室内空気では約 20 mg/m³ のヒトの知見を採用していたが、それらは NOAEL であったり、LOAEL であったりして分かれていた。EU ECHA (DNEL) では、妊娠期に経口投与したラットの試験結果から求めた BMDL₁₀ の値を吸入換算して POD に設定して DNEL を算出しており、経口の知見を基にして評価していた唯一の事例であった。

急性のリスク評価値では、US EPA が AEGL-1、AEGL-2 の値を設定していたが、生命を脅かす悪影響または死亡をエンドポイントとした AEGL-3 については、信頼できる LC₅₀ 等のデータが得られなかったことを理由に、設定していなかった。また、CalEPA とオランダは同じ Piotrowski (1971) の知見を基にリスク評価値を設定していたが、CalEPA が肺での retention を考慮した濃度を NOAEL に採用していたのに対し、オランダは実際の曝露濃度を NOAEL に採用していた。

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 3 に示す。

表 1 1 有害性評価結果（慢性曝露） フェノール その 1

ファイル番号	02	03	04	05	07	08	09	10
評価機関等	US EPA (RED)	CalEPA	テキサス州	ミシガン州	ACGIH	EU リスク評価	EU LCI	EU ECHA (DNEL)
評価年	2009	2000	2014	2012	1952	2006	2017	—
キー研究	Dalin ら(1974)	Sandage (1961)	Sandage (1961)	ACGIH の TVL-TWA	Piotrowski (1971) Ohtsuji ら(1972)	Shamy ら(1994)	Sandage (1961)	EFSA (2013) (York, 1997)
動物種	ラット	マウス、ラット アカゲザル	ラット	—	ヒト	ヒト	ラット、サル、マウス	ラット
曝露状況	15 日間連続曝露	90 日間連続曝露	90 日間連続曝露	—	ボランティア 職業曝露	職業曝露	90 日間連続曝露	妊娠 6 日から 妊娠 16 日まで
エンドポイント	中枢神経系への影響、 肝酵素の上昇	全身影響なし	肝臓・腎臓の組織変化	—	影響なし	肝酵素の上昇、 血液凝固時間の延長	全身影響なし	体重増加の抑制
N(L)OAEL	LOAEL 0.1 mg/L (100 mg/m ³)	NOAEL 5 ppm	LOAEL 4.72 ppm	—	NOAEL 5.2 ppm	LOAEL 21 mg/m ³	NOAEL 4.72 ppm	BMDL ₁₀ 52 mg/kg/day
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	100 mg/m ³	5 ppm	4.72 ppm	19 mg/m ³	5.2 ppm	21 mg/m ³	4.72 ppm (18.28 mg/m ³)	45.2 mg/m ³
不確実係数	1,000 (UF _A 10, UF _H 10, UF _L 3, UF _{DB} 3)	100 (UF _A 3, UF _H 10, UF _S 3)	1,620 (UF _A 10, UF _H 3, UF _L 6, UF _S 3, UF _{DB} 3)	100	—	6	250 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _S 2, UF _{DB} 5)	100 (UF _A 10, UF _H 10)
リスク評価値	—	0.05 ppm (200 µg/m ³)	0.0029 ppm (11 µg/m ³)	200 µg/m ³ (19/100 = 0.19)	5 ppm (19 mg/m ³)	—	70 µg/m ³ (18.28/250 = 0.073)	0.452 mg/m ³
備考	リスク評価値は設定せず、Morgin of exposure (MOE)で評価。 UF _{DB} は長期間の試験結果がないための係数で、短期や中期の評価時には不要な係数。	Dalin ら(1974)の LOAEL 100 mg/m ³ (26 ppm) の結果とあわせて NOAEL を判断していた。	著者は肝臓、腎臓の病理所見を陰性と報告していたが、20%の頻度でみられていたことから、LOAEL と判断している。 ×0.3 した 3.3 mg/m ³ をスクリーニング値に設定している。		NOAEL の値は実際の曝露濃度はなく、肺での retention を考慮した濃度。	Morgin of safety (MOS) で評価。 エンドポイントを局所影響にとった評価は、HSL (1998)の 2 週間吸入曝露のラットの試験から得られた NOAEL 96 mgm ³ (25 ppm)を採用して MOS で評価。不確実係数は 4。	肝臓、腎臓への影響を疑わせる病理所見については、不確実係数 5 で対応し、LOAEL と判断していない。	経口から吸入への換算は下記のラットの係数を使用している。 ×1/(1.15 m ³ /kg/day) (52×1/1.15 = 45.22)

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Dalin NM, Kristofferson R. (1974): Physiological effects of a sublethal concentration of inhaled phenol on the rat. Ann Zool Fennici. 11: 193-199.

Sandage C. (1961): Tolerance criteria for continuous inhalation exposure to toxic material. I. Effects on animals of 90-day exposure to phenol, CCl₄ and a mixture of indole, skatole, H₂S and methyl mercaptan. ASD technical report 61-519(I). United States Air Force. Wright Patterson Air Force Base, Ohio.

Piotrowski JK. (1971): Evaluation of exposure to phenol: absorption of phenol vapour in the lungs and through the skin and excretion of phenol in urine. Br J Ind Med. 28: 172-178.

Ohtsuji H, Ikeda M. (1972): Quantitative relationship between atmospheric phenol vapour and phenol in the urine of workers in Bakelite factories. Br J Ind Med. 29: 70-73.

Shamy YM, El Gazzar RM, El Sayed MA and Attia AM. (1994): Study of some biochemical changes among workers occupationally exposed to phenol, alone or in combination with other organic solvents. Ind Health. 32: 207-214.

HLS (Huntingdon Life Sciences) (1998): Two-week (ten day) inhalation toxicity and two-week recovery study of phenol vapor in the rat. Study No. 96-6107. NTIS/OTS0559328.

EFSA (2013): Scientific Opinion on the toxicological evaluation of phenol. EFSA J. 11: 3189. (試験結果は下記の York (1997)で、未公開報告書)

York RG. (1997): Oral (gavage) developmental toxicity study of phenol in rats. Final report. Protocol Number: 916-011. Argus Research Laboratories, Inc., Horsham, Pennsylvania, USA.

表 1 1 有害性評価結果（慢性曝露） フェノール その2

ファイル番号	11	12	13	14	15	16	17	18
評価機関等	EU SCOEL	独・室内空気	独・AGÖF	独・AGS (TRGS)	独・AgBB	オランダ	仏・ANSES (Afsset)	オーストリア・室内空気
評価年	2003	2011	2013	2013	2021	2001	2009	2020
キー研究	Sandage (1961)	Shamy ら(1994)	—	—	—	Sandage (1961)	RIVM (オランダ)	Sandage (1961)
動物種	ラット、マウス、アカゲザル	ヒト	—	—	—	ラット、マウス、アカゲザル	—	ラット、マウス、アカゲザル
曝露状況	90 日間連続曝露	職業曝露	—	—	—	90 日間連続曝露	—	90 日間連続曝露
エンドポイント	全身影響なし	血液毒性	—	—	—	全身影響なし	—	全身影響なし
N(L)OAEI	NOAEL 5 ppm	LOAEL 21 mg/m ³	—	—	—	NOAEL 20 mg/m ³ (5 ppm)	—	NOAEL 4.72 ppm
連続曝露補正	—	×8/24×5/7	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	5 mg/m ³ (21×8/24×5/7 = 5.0)	—	—	—	20 mg/m ³	—	4.72 ppm (18.3 mg/m ³)
不確実係数	2 (UF _{DB} 2)	20 (UF _H 10, UF _C 2)	—	—	—	1,000 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 10)	1	1,000 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 2, UF _{DB} 5)
リスク評価値	2 ppm (8 mg/m ³)	0.2 mg/m ³ (5/20 = 0.25)	3.0 µg/m ³	8 mg/m ³	70 µg/m ³	20 µg/m ³	20 µg/m ³	20 µg/m ³ (18.3/1,000 ÷ 0.02)
備考		RW II 値として設定。 RW I は RW II 値を 1/10 して 0.02 mg/m ³ Hoffmann ら(2001)のラ ットの試験結果から、 RWII として 0.3 mg/m ³ が導かれるが、ヒトの 知見が優先された。	1,611 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。	EU SCOEL の値を採 用。	EU の LCI 値を採用。	毒性データが乏しいこ とから、暫定値として 設定している。	オランダの値を採用。	

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表 1 1 有害性評価結果（慢性曝露） フェノール その3

ファイル番号	19	20	21	22	23	100		
評価機関等	デンマーク	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	米・メイン州		
評価年	1990	2016	1999	1978	2002	2023		
キー研究	—	—	—	—	ACGIH の TLV-TWA	—		
動物種	—	—	—	—	ヒト	—		
曝露状況	—	—	—	—	職業曝露	—		
エンドポイント	—	—	—	—	影響なし	—		
N(L)OAEL	—	—	—	—	NOAEL 19 mg/m ³	—		
連続曝露補正	—	—	—	—	×8/24×5/7	—		
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—		
POD	—	—	—	—	4.5 mg/m ³	—		
不確実係数	—	—	—	—	—	—		
リスク評価値	0.02 mg/m ³	30 µg/m ³	100 µg/m ³	5 ppm (19 mg/m ³)	—	200 µg/m ³		
備考	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。	基準値として設定。	目標値として設定。	キー研究は明示されていないが、0.16～3.3 ppm 曝露の労働者 (Ohtsuji ら, 1972)、1.5～5.2 ppm 曝露のヒト ボランティア (Piotrowski, 1971)、5 ppm 曝露のサル、ラット、モルモット (Sandage, 1961) で異常を認めなかったことが列挙されていた。	4.5 mg/m ³ を無毒性量等に設定して MOE で評価している。	非発がん影響を基にしたガイドライン値として設定されていた。		

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表 1 2 有害性評価結果（急性曝露） フェノール その 1

ファイル番号	01			03	04	06	08	11
評価機関等	US EPA (AEGL)			CalEPA	テキサス州	ミネソタ州	EU リスク評価	EU SCOEL
評価年	2009			2008	2014	2016	2006	2003
キー研究	HLS (1998) Hoffman ら(2001)	Flickinger (1976) Brondeau ら(1990)	—	Piotrowski (1971)	Hoffman ら(2001)	—	Shamy ら(1994)	Sandage (1961)
動物種	ラット	ラット	—	ヒト	ラット	—	ヒト	ラット、マウス、アカゲザル
曝露状況	2 週間 (6 時間/日、5 日/週)	8 時間	—	8 時間	2 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	職業曝露	90 日間連続曝露
エンドポイント	影響なし	眼、鼻の刺激	—	影響なし	影響なし	眼、呼吸器系の刺激	肝酵素の上昇、血液凝固時間の延長	全身影響なし
N(L)OAEL	NOAEL 25 ppm	LOAEL 234 ppm	—	NOAEL 5.2 ppm	NOAEL 25 ppm	—	LOAEL 21 mg/m ³	NOAEL 5 ppm
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	57.24 ppm ((93,750/0.5) ^{1/3} = 57.24)	589.64 ppm ((1.025×10 ⁸ /0.5) ^{1/3} = 589.64)	—	15 ppm ((5.2 ² ×8) ^{1/2} = 14.7)	45.428 ppm ((25 ³ ×6) ^{1/3} = 45.428)	58 mg/m ³	21 mg/m ³	5 ppm
不確実係数	3 (UF _A 1, UF _H 3)	20 (UF _A 3, UF _H 3, Modifying factor 2)	—	10 (UF _H 10)	180 (UF _A 3, UF _H 10, UF _{DB} 6)	10	1	—
リスク評価値	19 ppm (30 分) (73 mg/m ³)	29 ppm (30 分) (110 mg/m ³)	—	1.5 ppm (5.8 mg/m ³)	0.25 ppm (1 時間) (0.96 mg/m ³)	5.8 mg/m ³	—	4 ppm (16 mg/m ³)
備考	AEGL-1 として設定。 C ³ ×t=k の式から 6 時間の曝露時は 25 ³ ×6 = 93,750 ppm ³ ・h これを 0.5、1、4 時間で除して 3 乗根をとって各時間の POD に設定。8 時間の POD は C ¹ ×t=k の式から 25×6 = 150 ppm ³ ・h 1 時間 : 15 ppm 4 時間 : 9.5 ppm 8 時間 : 6.3 ppm 10 分は 30 分と同じ	AEGL-2 として設定。 C ³ ×t=k の式から 8 時間の曝露時は 234 ³ ×8 = 1.025×10 ⁸ ppm ³ ・h となり、これを 0.5、1、4 時間で除して 3 乗根をとって各時間の POD に設定。8 時間の POD は 234 ppm 1 時間 : 23 ppm 4 時間 : 15 ppm 8 時間 : 12 ppm 10 分は 30 分と同じ	AEGL-3 は生命を脅かす悪影響または死亡をエンドポイントとした値であるが、信頼できる LC ₅₀ 等のデータが得られなかったことから、設定されていない。	C ₁ ² ×8 h = C ₂ ² ×1 h の式から 1 時間曝露時の濃度に変換して POD を設定している。 NOAEL の値は実際の曝露濃度ではなく、肺での retention を考慮した濃度。	C ₁ ³ ×6 h = C ₂ ³ ×1 h の式から 1 時間曝露時の濃度に変換して POD を設定している。 ×0.3 した 0.29 mg/m ³ をスクリーニング値に設定している。		MOS で評価。	上気道刺激に対する保護が必要と判断され、STEL 値として設定。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Hoffman GM, Dunn BJ, Morris CR, Butala JH, Dimond SS, Gingell R, Waechter JM Jr. (2001): Two-week (ten-day) inhalation toxicity and two-week recovery study of phenol vapor in the rat. Int J Toxicol. 20: 45-52.

Brondeau MT, Bonnet P, Guenier JP, Simon P, de Ceaurriz J. (1990): Adrenal-dependent leucopenia after short-term exposure to various airborne irritants in rats. J Appl Toxicol. 10: 83-86.

Flickinger CW. (1976): The benzenediols: catechol, resorcinol and hydroquinone--a review of the industrial toxicology and current industrial exposure limits. Am Ind Hyg Assoc J. 37: 596-606.

表 1 2 有害性評価結果（急性曝露） フェノール その 2

ファイル番号	14	16	
評価機関等	独・AGS (TRGS)	オランダ	
評価年	2013	2009	
キー研究	—	Piotrowski (1971)	
動物種	—	ヒト	
曝露状況	—	8 時間	
エンドポイント	—	影響なし	
N(L)OAEL	—	NOAEL 25 mg/m ³ (6.4 ppm)	
連続曝露補正	—	—	
dosimetry 補正	—	—	
POD	—	25 mg/m ³	
不確実係数	—	—	
リスク評価値	16 mg/m ³	25 mg/m ³	
備考	慢性曝露の評価値の 2 倍の値をピーク限界値として設定。	10、30 分値、1、2、4、8 時間値を同じ値で設定している。 NOAEL の値は実際に曝露させた濃度。(肺での retention を考慮した濃度ではない。)	

表 1 3 フェノールの許容濃度

Substance	Phenol			
CAS No.	108-95-2			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Australia	1	4		
Austria	2	8	4	16
Belgium	2 (1)	8 (1)	4 (1)(2)	16 (1)(2)
Canada - Ontario	5			
Canada - Québec	5 (1)	19 (1)		
Denmark	1 (1)	4 (1)	2 (1)(2)	8 (1)(2)
European Union	2	8	4 (1)	16 (1)
Finland	2	8	4 (1)	16 (1)
France	2	7,8	4 (1)	15,6 (1)
Germany (AGS)	2 (1)(2)	8 (1)(2)	4 (1)(2)(3)	16 (1)(2)(3)
Hungary		8 (1)		16 (1)(2)
Ireland	2	8	4 (1)	16 (1)
Israel	5	19		
Italy	2 (1)	8 (1)	4 (1)(2)	16 (1)(2)
Japan (JSOH)	5	19		
Latvia	2	8	4 (1)	16 (1)
New Zealand	1	3,8	2 (1)	7,7 (1)
Norway	1 (1)	4 (1)	3 (1)(2)	12 (1)(2)
People's Republic of China		10		
Poland		7,8 (1)		16 (1)(2)
Romania	2	8	4 (1)	16 (1)
Singapore	5	19		
South Africa	10 (1)			
South Korea	5 (1)			
Spain	2 (1)	8 (1)	4 (1)(2)	16 (1)(2)
Sweden	1	4	4 (1)	16 (1)
Switzerland	5	19	5	19
The Netherlands	2 (1)	8 (1)		
Turkey	2	8	4 (1)	16 (1)
USA - NIOSH	5 (1)	19 (1)	15,6 (1)(2)	60 (1)(2)
USA - OSHA	5 (1)	19 (1)		
United Kingdom	2 (1)	7,8 (1)	4 (1)(2)	16 (1)(2)
	Remarks			
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) Skin			
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 bibliography)			
Finland	(1) 15 minutes average value			
France	Bold type: Restrictive statutory limit values Skin (1) 15 minutes average value			
Germany (AGS)	(1) Inhalable fraction and vapour (2) Skin (3) 15 minutes average value			
Hungary	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Ireland	(1) 15 minutes reference period			
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			
Poland	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Romania	(1) 15 minutes average value			
South Africa	(1) Skin			
South Korea	(1) Skin			
Spain	(1) Skin (2) 15 minutes average value			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
The Netherlands	(1) Skin			
Turkey	(1) 15 minutes average value			
USA - NIOSH	(1) Skin (2) Ceiling limit value (15 min)			
USA - OSHA	(1) Skin			
United Kingdom	(1) Skin (2) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 USEPA (2009) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals. Volume 7, The National Academies Press.
- 02 USEPA (2009) Reregistration Eligibility Decision for Phenol & Salts, EPA 739-R-08-010.
- 03_1 OEHHA (1999) Acute RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines
- 03_2 OEHHA (1999) Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines.
- 04 TCEQ (2015) Phenol. Development Support Document.
- 05 Michigan (2015) CHEMICAL UPDATE WORKSHEET, Phenol (DD).
- 06 Minnesota (2016) 4717.8200 TABLE OF ACUTE HRVs.
- 07 ACGIH (2001) Guide to Occupational Exposure Values, Phenol. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati
- 08 EU (2006) European Union Risk Assessment Report, Phenol. Volume: 64, EUR 22522 EN/1
- 09 EU LCI (2022) Agreed EU-LCI values.
- 10 ECHA の登録物質データベース: Phenol. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 11 EU SCOEL (2003) Recommendation from the Scientific Expert Group on Occupational Exposure Limits for Phenol. SCOEL/SUM/16
- 12 Umweltbundesamtes (2011) Richtwerte für Phenol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 54:1262–1268.
- 13 AGÖF (2013) AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.
- 14 TRGS (2023) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900. Ausschuss für Gefahrstoffe. BArBl Heft 1/2006 S. 41-55.
- 15 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.
- 16 RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 025
- 17 AFSSET (2009) Composés organiques volatils et environnement intérieur.
- 18 BMK (2020) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Richtlinieneteil Phenol. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
- 19 DEPA (2016) Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20.
- 20 Ontario (2023) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 21 Alberta (2016) Alberta Ambient Air Quality Objectives and Guidelines Summary. AEP, Air Policy, 2016, No. 2
- 22 日本産業衛生学会許容濃度等委員会 (1978) フェノール. 産業医学 20:307.
- 23 環境省 (2002) 化学物質の環境リスク評価: フェノール. 第1巻
- 100 Maine Department of Environmental Protection (2023) Chronic Ambient Air Guidelines.

1-5 フタル酸ベンジルブチル (BBP) (85-68-7)

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、発がん性に関する知見が得られているが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露に関しては、知見は少なかった。US EPA ではスロープファクターの算出も行っていた。

国内外の評価機関において設定されたフタル酸ベンジルブチルの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 4 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 1 5 に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラットに 13 週間吸入曝露させた Roloff (1982) の報告が 4 機関で採用されており、いずれも NOAEL 218 mg/m³ の値であったが、仏・ANSES ではラットに 10 週間混餌投与した NTP の試験結果から NOAEL を 200 mg/kg/day とし、これを吸入換算して労働者の許容濃度として設定していた。

なお、Roloff (1982) ではエアロゾル～蒸気を吸入させており、おおよその粒子径は 12% が 9 ~4.7 μm、80% が 4.7~1.1 μm、8% が 1.1~0.4 μm であったとされていた。(EU リスク評価書によれば、0.00112 Pa (20°C) の蒸気圧が科学的に発表された唯一のもので、最も代表的な値であるとされていた。)

急性のリスク評価値は 4 機関で設定されていたが、慢性のリスク評価値を 2~10 倍した値として設定されていた。また、EU リスク評価書では、急性の推定曝露レベルと LD₅₀ 値を比較すると懸念はないと結論づけられるとされていた。

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 6 に示す。

表 1 4 有害性評価結果（慢性曝露） フタル酸ベンジルブチル（BBP） 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 リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	オランダ	仏・ANSES	オンタリオ州
評価年	2013	2007	—	2017	2018	2014	2016	2016
キー研究	—	Roloff (1982)	Roloff (1982)	Roloff (1982)	DFG の MAK	—	NTP (1997)	—
動物種	—	ラット	ラット	ラット	—	—	ラット	—
曝露状況	—	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	90 日間 (6 時間/日、5 日/週)	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)	—	—	10 週間混餌投与	—
エンドポイント	—	肝臓、腎臓の重量増加、血糖値の低下	肝臓、腎臓の相対重量増加	肝臓、腎臓の重量増加、血糖値の低下	—	—	雄の生殖器官、生殖能力の障害	—
N(L)OAEL	—	NOAEL 218 mg/m ³	NOAEL 218 mg/m ³	NOAEL 218 mg/m ³	—	—	NOAEL 200 mg/kg/day	—
連続曝露補正	—	—	×6/24×5/7	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	251.14 mg/kg/day	38.9 mg/m ³ (218×6/24×5/7 = 38.93)	218 mg/m ³	—	—	352.6 mg/m ³	—
不確実係数	—	—	50 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _S 2))	8(UF _A 2, UF _H 2, UF _S 2)	—	—	27 (UF _A 3, UF _H 3, UF _S 3)	—
リスク評価値	5 µg/m ³	—	0.78 mg/m ³ (38.9/50 = 0.778)	20 mg/m ³	20 mg/m ³	1.75 mg/m ³	13 mg/m ³ (352.6/27 = 13.06)	0.15 mg/m ³
備考	暫定値として設定。	リスク評価値は設定せず、Margin of safety (MOS)で評価。 吸入から経口への換算はラットの体重を 300 g、1 日呼吸量を 14.4 L/hr×24 hr として算出している。 218×0.0144×24/0.3 = 251.14 mg/kg/day		UF _H は労働時の呼吸量の増加、UF _S は経時的な影響の増加を考慮した不確実係数とされていた。	DFG の値を採用。	最大許容リスクレベルとして設定。無視できるリスクレベルは 0.0175 mg/m ³ 。	労働者の許容濃度。吸収率を 100%と仮定し、ラットの 8 時間呼吸量を体重当たり 0.38 m ³ /kg として経口 NOAEL を吸入換算。この際、8 時間の呼吸量は労働者 (10 m ³) の方が一般成人 (6.7 m ³) に比べて多いことから×6.7/10 して労働者の吸入濃度に補正している。 (200/0.38×6.7/10 = 352.63 mg/m ³)	ガイドライン値として設定。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Roloff MV. (1982): Thirteen-week inhalation toxicity of Santicizer 160 Plasticizer Vapour-aerosol to Sprague-Dawley rats. Monsanto Company. Project No. 790179/ML-79-114. Report No. MSL-2713. NTIS/OTS 0206416.
NTP (1997): Toxicology and carcinogenesis studies of butyl benzyl phthalate in F344/N rats (feed studies). Report No. 458.

表 1 4 有害性評価結果（慢性曝露） フタル酸ベンジルブチル（BBP） その 2

ファイル番号	9		
評価機関等	NITE・初期評価		
評価年	2007		
キー研究	Hammond ら (1987) (Roloff, 1982)		
動物種	ラット		
曝露状況	13 週間 (6 時間/日、5 日/週)		
エンドポイント	肝臓、腎臓の重量増加		
N(L)OAEL	NOAEL 218 mg/m ³		
連続曝露補正	×6/24×5/7		
dosimetry 補正	—		
POD	29 mg/kg/day		
不確実係数	500 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 5)		
リスク評価値	—		
備考	吸収率を 100%と仮定し、ラットの 1 日呼吸量を 0.26 m ³ 、体重を 0.35 kg として経口換算して POD を算出し、Morgin of exposure (MOE)で評価している。 $(218 \times 6/24 \times 5/7 \times 1.0 \times 0.26/0.35 = 28.9)$		

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Hammond BG, Levinskas GJ, Robinson EC, Johannsen FR. (1987): A review of the subchronic toxicity of butyl benzyl phthalate. Toxicol Ind Health. 3: 79-98. (Roloff (1982)の未公開データ等をレビューした報告)

表 1 5 有害性評価結果（急性曝露） フタル酸ベンジルブチル（BBP）

ファイル番号	01	02	04	05	07			
評価機関等	テキサス州	EU リスク評価書	独・DFG (MAK)	独・AGS (TRGS)	仏・ANSES			
評価年	2013	2007	2017	2018	2016			
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	50 µg/m ³	—	40 mg/m ³	40 mg/m ³	65 mg/m ³			
備考	暫定値として設定。	急性の推定曝露レベルと LD ₅₀ 値を比較すると懸念はないと結論づけられるとしている。	MAK 値 (20 mg/m ³) に超過係数 (2) を乗じた値を 15 分間の平均値の上限に設定。	慢性曝露の評価値の 2 倍の値をピーク限界値として設定。	慢性曝露の評価値の 5 倍の値を超えないこととして設定。			

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表 1 6 フタル酸ベンジルブチル (BBP) の許容濃度

Substance	Benzyl butyl phthalate			
CAS No.	85-68-7			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Austria		3		5
Denmark		3		6
Germany (AGS)		20 (1)		40 (1)(2)
Germany (DFG)		20 (1)		40 (1)(2)
New Zealand		5		
Norway		1		
Poland		5		
South Africa Mining		5		
Sweden		3		5 (1)
Switzerland		10 (1)		20 (1)(2)
United Kingdom		5		
	Remarks			
Germany (AGS)	(1) Inhalable fraction (2) 15 minutes average value			
Germany (DFG)	(1) Inhalable fraction (2) 15 minutes average value			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
Switzerland	(1) Inhalable fraction (2) 15 minutes average value			

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 EU (2007) European Union Risk Assessment Report, benzyl butyl phthalate (BBP). Volume: 76, EUR 22773 EN
- 03 ECHA の登録物質データベース: Benzyl butyl phthalate. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 04 DFG (2019) Benzyl butyl phthalate / 2-O-Benzyl 1-O-butyl benzene-1,2-dicarboxylate. The MAK Collection for Occupational Health and Safety 2019, Vol 4, No 4, 1802-1874.
- 05 TRGS (2023) Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900. Ausschuss für Gefahrstoffe. BArBl Heft 1/2006 S. 41-55.
- 06 RIVM (2014) Luchtnormen voor Zeer Zorgwekkende Stoffen, Herziening van milieukwaliteitsnormen. RIVM Briefrapport 2014-0039
- 07 ANSES (2017) Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Le butylbenzyl-phthalate. Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective.
- 08 Ontario (2023) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 09 独立行政法人製品評価技術基盤機構 (2007) 化学物質の初期リスク評価書 Ver. 1.0, No.204, フタル酸 n-ブチルベンジル

1-6 フタル酸ジ-イソノニル (DINP) (28553-12-0)

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、発がん性に関する知見が得られているが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露に関しては、急性毒性以外の試験結果はなかった。

国内外の評価機関において設定されたフタル酸ジ-イソノニルの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表17に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表18に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、EU リスク評価書ではラットに2年間混餌投与させた Aristech (1994。その後、Moore, 1998 として報告) の試験結果を基に NOAEL 88 mg/kg/day とし、EU ECHA (DNEL) も同様に Moore (1998) を基に NOAEL 88 mg/kg/day として評価し、これを吸入換算して DNEL を算出していた。しかし、NOAEL 88 mg/kg/day は他の評価機関が TDI 設定に採用していた知見とは異なることから混乱が生じているとして、EU ECHA が NOAEL の設定を見直し、他の評価機関と同様に NOAEL 15 mg/kg/day が妥当とし、これを吸入換算して DNEL を算出していた。テキサス州、オンタリオ州でも吸入曝露のリスク評価値が設定されていたが、キー研究や算出過程などの情報は得られなかった。

なお、EU EHCA のデータベースでは、反復曝露の Endpoint summary に NOAEC 500 mg/m³ とした記載があり、Therefore, the NOAEC (500 mg/m³) of the repeat dose inhalation study with rats using DIDP will be used for risk characterization. とされていた。このため、チェコ企業の報告書では read across により DINP の DNEL を算出したように誤解した上で、同じ知見を基に算出した DIDP の DNEL との間の大きな差に疑問を呈していた。現在の DNEL と不確実係数の値は 2013 年当時の値 (チェコ企業報告書) と同じであった。

急性のリスク評価値については、テキサス州が慢性のリスク評価値の 10 倍の値を設定していたが、EU リスク評価書では、急性毒性は極めて低いことから、急性毒性が問題になることはないとし、EU ECHA (DNEL) は no hazard identified (有害性が確認されなかった) としていた。

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19に示す。

表 1 7 有害性評価結果（慢性曝露） フタル酸ジ-イソノニル（DINP）

ファイル番号	01	02	03	04	05	06		
評価機関等	テキサス州	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	EU ECHA	オンタリオ州	食品安全委員会		
評価年	2003	2003	—	2013	2018	2015		
キー研究	—	Aristech (1994) Moore (1998)	Moore (1998)	Bio/dynamic (1986) Lington ら(1997)	—	Lington ら(1997)		
動物種	—	ラット	ラット	ラット	—	ラット		
曝露状況	—	2年間混餌投与	2年間混餌投与	2年間混餌投与	—	2年間混餌投与		
エンドポイント	—	肝臓・腎臓の重量増加 肝臓の組織変化など	肝臓・腎臓の重量増加 肝臓の組織変化など	肝臓・腎臓の重量増加 肝細胞の海綿状変性	—	肝臓・腎臓の重量増加 肝細胞の海綿状変性		
N(L)OAEL	—	NOAEL 88 mg/kg/day	NOAEL 88 mg/kg/day	NOAEL 15 mg/kg/day	—	NOAEL 15 mg/kg/day		
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—		
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—		
POD	—	44 mg/kg/day (吸収率 50%)	76.52 mg/m ³	8.7 mg/m ³	—	—		
不確実係数	—	—	5 (UF _H 5)	25 (UF _A 5, UF _H 5)	—	—		
リスク評価値	5 µg/m ³	—	15.3 mg/m ³ (76.52/5 = 15.30)	0.35 mg/m ³ (8.7/25 = 0.348)	25 µg/m ³	—		
備考	暫定値として設定。	経口の吸収率を 50% とし、NOAEL×1/2 した内部用量を POD に設定。吸入曝露については、吸収率を 75% とし吸入による内部用量を算出。それらを用いて Margin of safety (MOS)を算出し、評価している。 生殖発生毒性をエンドポイントとした MOS も算出しているが、最小の MOS ではない。 別の 2 年間の試験から NOAEL 15 mg/kg/day と評価していたが、これを採用しなかった理由の記載はなかった。	経口、吸入の吸収率を 100%、ラットの呼吸量を 1.15 m ³ /kg/day とし POD を設定。 (88×1/1.15×100/100 = 76.52)	DNEL として設定。吸収率を経口で 50%、吸入で 75% とし、ラットの呼吸量を 1.15 m ³ /kg/day とし算出した内部用量を POD に設定。 (15×1/1.15×50/75 = 8.696) 小児用玩具のリスク評価に際し、EU リスク評価書の NOAEL 88 mg/kg/day を見直して評価を行っている。	スクリーニング値として設定。	種差 10、個体差 10 とし 0.15 mg/kg/day の TDI を導出		

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Aristech Chemical Corporation (1994). 2-Year dietary oral toxicity study in rats with diisononyl phthalate. TSCA 8(e) Submission 8EHQ-0794-13083. CAS Number 68515-48-0. Dated July 13, 1994. (収集不可)

Moore MR. (1998): Oncogenicity study in rats with di(isononyl) phthalate including ancillary hepatocellular proliferation & biochemical analyses. Covance Laboratories Inc. (Aristech Chemical の依頼で実施した試験機関の報告書)

Bio/dynamics, Inc. (1986): Chronic toxicity/oncogenicity study in F-344 rats. Test material: MRD-83-260. Project Number: 326075. (Exxon Biomedical Sciences, Inc. の依頼で実施した試験機関の報告書)

Lington AW, Bird MG, Plutnick RT, Stubblefield WA, Scala RA. (1997): Chronic toxicity and carcinogenic evaluation of diisononyl phthalate in rats. Fundam Appl Toxicol. 36: 79-89.

表 1 8 有害性評価結果（急性曝露） フタル酸ジ-イソノニル（DINP）

ファイル番号	01	02	03
評価機関等	テキサス州	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)
評価年	2003	2003	—
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	50 µg/m ³	—	—
備考	暫定値として設定。	急性毒性は極めて低いことから、急性毒性が問題になることはないとしている。	急性/短期間の吸入曝露では no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。

表 1 9 フタル酸ジ-イソノニル (DINP) の許容濃度

Substance	Diisononyl phthalate			
CAS No.	28553-12-0			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Denmark		3		6
Ireland		5		
New Zealand		5		
South Africa Mining		5		
United Kingdom		5		
<input type="text" value="Search"/>				

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 EU (2003) European Union Risk Assessment Report, 1,2-benzenedicarboxylic acid, di-C8-10-branched alkyl esters, C9-rich and di-"isononyl" phthalate (DINP). Volume: 35, EUR 20784 EN
- 03 ECHA の登録物質データベース: Di-"isononyl" phthalate. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 04 ECHA (2013) Evaluation of new scientific evidence concerning DINP and DIDP. In relation to entry 52 of Annex XVII to REACH Regulation (EC) No 1907/2006, Final review report, ECHA-13-R-07-EN
- 05 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"
- 06 食品安全委員会 (2015) 器具・容器包装評価書, フタル酸ジイソノニル (DINP) , 2015 年 10 月

1-7 フタル酸ジ-イソデシル (DIDP) (26761-40-0)

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、発がん性に関する知見が得られているが、主に経口曝露の知見であり、反復曝露の吸入の知見に関しては、ラットに2週間曝露した試験結果 (GM, 1983) だけであった。

国内外の評価機関において設定されたフタル酸ジ-イソデシルの慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表20に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表21に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、ラットまたはイヌに90日間または2年間混餌投与させた Hazleton Laboratories (1968)、BASF (1969)、Cho ら (2008, 2010) の試験結果が採用されていたが、前2者は非公開の試験報告書であるため、入手はできなかった。

EU リスク評価書はイヌ、EU ECHA (DNEL) はラット、EU ECHA はイヌ、ラットの試験結果から経口 N(L)OAEL を設定し、吸収率を考慮して吸入換算しており、経口の吸収率は50%で一致していたが、吸入の吸収率は75%、100%と異なっていた。また、EU ECHA は3つの試験結果から得られた経口 N(L)OAEL を吸収率、不確実係数で補正し、これらの平均値をとった後に吸入換算して DNEL を算出していた。テキサス州、オンタリオ州でも吸入曝露のリスク評価値が設定されていたが、キー研究や算出過程などの情報は得られなかった。

EU のデータベースには CAS 番号「26761-40-0」に該当する登録データはなく、C-10 rich の「68515-49-1」としてデータ登録されていたが、EU ECHA (DNEL) で吸入 DNEL の算出に用いたキー研究は「26761-40-0」を90日間経口投与したラットの試験結果であった。

ラットを用いた2週間吸入曝露試験 (GM, 1983) は、0、500 mg/m³を2週間 (6時間/日、5日/週) 吸入曝露させた試験であったが、¹⁴C でラベルした DIDP の体内動態試験を兼ねており、曝露終了後に3週間の回復期間を経て屠殺し、組織検査が実施された。死亡、一般状態や体重、肝臓や腎臓、脾臓への影響はなかったとされているが、この結果から NOAEL を500 mg/m³としてリスク評価値を算出している機関はなかった。現在の DNEL と不確実係数の値は2013年当時の値 (チェコ企業報告書) と同じであった。

急性リスク評価値については、テキサス州が慢性のリスク評価値の10倍の値を設定していたが、EU リスク評価書では、急性毒性は極めて低いことから、急性毒性が問題になることはないとしていた。オランダがガイドライン値、警戒限界値、生命危険値を設定していたが、値のみの情報で、設定根拠等の情報は得られなかった。

主要な政府機関における労働現場での許容濃度の設定状況を表22に示す。

表 2 0 有害性評価結果（慢性曝露） フタル酸ジ-イソデシル（DIDP）

ファイル番号	01	02	03	04			06	07
評価機関等	テキサス州	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	EU ECHA			オンタリオ州	食品安全委員会
評価年	2012	2003	—	2013			2018	2017
キー研究	—	Hazleton Laboratories (1968)	—	Hazleton Laboratories (1968)	BASF (1969)	Cho ら(2008, 2010)	—	Hazleton Laboratories (1968)
動物種	—	イヌ	ラット	イヌ	ラット	ラット	—	イヌ
曝露状況	—	90 日間混餌投与	90 日間経口投与	90 日間混餌投与	90 日間混餌投与	2 年間混餌投与	—	90 日間混餌投与
エンドポイント	—	肝臓重量の増加、肝細胞の腫大と空胞化	肝毒性	肝臓重量の増加、肝細胞の腫大と空胞化	肝臓重量の増加	肝細胞の海綿状変性などの肝毒性	—	肝細胞の腫脹及び空胞化
N(L)OAEL	—	NOAEL 15 mg/kg/day	NOAEL 150 mg/kg/day	NOAEL 15 mg/kg/day	NOAEL 60 mg/kg/day	LOAEL 22 mg/kg/day	—	NOAEL 15 mg/kg/day
連続曝露補正	—	—	—	—	—	—	—	—
dosimetry 補正	—	—	—	—	—	—	—	—
POD	—	7.5 mg/kg/day (吸収率 50%)	65.22 mg/m ³	7.5 mg/kg/day (吸収率 50%)	30 mg/kg/day (吸収率 50%)	11 mg/kg/day (吸収率 50%)	—	—
不確実係数	—	—	50 (UF _A 2.5, UF _H 10, UF _S 2)	210 (UF _A 3.5, UF _H 10, UF _S 6)	200 (UF _A 10, UF _H 10, UF _S 2)	300 (UF _A 10, UF _H 10, UF _L 3)	—	—
リスク評価値	5 µg/m ³	—	1.3 mg/m ³ (65.22/50 = 1.304)	(0.036 mg/kg/day)	(0.15 mg/kg/day)	(0.037 mg/kg/day)	60 µg/m ³	—
備考	暫定値として設定。	経口の吸収率を 50% とし、NOAEL×1/2 した内部用量を POD に設定。吸入曝露については、吸収率を 75% とし吸入による内部用量を算出。それらを用いて Margin of safety (MOS) で評価している。 ラットの 90 日間混餌投与試験や生殖発生毒性試験からエンドポイントを設定して MOS も算出しているが、最小の MOS ではない。	吸収率を経口(ラット)で 50%、吸入(ヒト)で 100%、ラットの呼吸量を 1.15 m ³ /kg/day とし経口 NOAEL を吸入換算して POD を算出している。 150×1/1.15×50/100 = 65.217 mg/m ³ キー研究の書誌情報の記載はなかったが、Hazleton Laboratories (1968)の混餌投与の試験結果と考えられたものの、各群の摂取量の値は EU リスク評価書の値と異なっていた。	成人の DNEL として設定。 POD を不確実係数で除して求めた 3 つの値を平均して 0.075 mg/kg/day とし、これを下記のように吸入換算して 0.35 mg/m ³ を算出している。 吸収率を経口で 50%、吸入で 75%、ラットの呼吸量を 1.15 m ³ /kg/day、代謝速度の種差の調整係数を 4、NOAEL 等 (dose descriptor) の修正を補正するための係数を 2 としリスク評価値を算出。 0.075 mg/kg/day×4×2×50/75×1/(1.15 m ³ /kg/day) = 0.348 mg/m ³ 小児の DNEL は吸入の吸収率を 100%として、0.26 mg/m ³ に設定。 0.075 mg/kg/day×4×2×50/100×1/(1.15 m ³ /mg/kg/day) = 0.261 mg/m ³	スクリーニング値として設定。	種差 10、個体差 10 とし 0.15 mg/kg/day の TDI を導出		

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_T: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

Hazleton Laboratories (1968): 13-Week dietary administration - dogs plasticiser (DIDP) submitted to WR Grace and Company. (収集不可)

BASF AG (1969): Bericht über den 90-Tage-Ratten-Fütterungsversuch mit PALATINOL Z. (収集不可)

Cho WS, Han BS, Ahn B, Nam KT, Choi M, Oh SY, Kim SH, Jeong J, Jang DD. (2008): Peroxisome proliferator di-isodecyl phthalate has no carcinogenic potential in Fischer 344 rats. Toxicol Lett. 178: 110-116.

Cho WS, Han BS, Ahn B, Nam KT, Choi M, Oh SY, Kim SH, Jeong J, Jang DD. (2010): Corrigendum to “Peroxisome proliferator di-isodecyl phthalate has no carcinogenic potential in Fischer 344 rats”. Toxicol Lett. 197: 156.

Hazleton Laboratories (1968): Three-month dietary administration – albino rats DIDP – FDA grade (plasticiser) submitted to Dewey and Almy Chemical Division, WR Grace and Company. (収集不可)

表 2 1 有害性評価結果（急性曝露） フタル酸ジ-イソデシル（DIDP）

ファイル番号	01	02	03	05				
評価機関等	テキサス州	EU リスク評価書	EU ECHA (DNEL)	オランダ				
評価年	2012	2003	—	2007				
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	50 µg/m ³	—	—	20 mg/m ³				
備考	暫定値として設定。	急性毒性は極めて低いことから、急性毒性が問題になることはないとしている。	急性/短期間の吸入曝露では no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。	ガイドライン値として設定。 この他に、警戒限界値として 200 mg/m ³ 、生命危険値として 2,000 mg/m ³ を設定。				

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表 2 2 フタル酸ジ-イソデシル (DIDP) の許容濃度

Substance	Diisodecyl phthalate			
CAS No.	26761-40-0			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Austria		3		5
Canada - Ontario		5		
Denmark		3		6
Ireland		5		
New Zealand		5		
South Africa Mining		5		
Sweden		3		5 (1)
United Kingdom		5		
	Remarks			
Sweden	(1) 15 minutes average value			
<input type="text" value="Search"/>				

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 EU (2003) European Union Risk Assessment Report, 1,2-benzenedicarboxylic acid, di-C9-11-branched alkyl esters, C10-rich and di-“isodecyl” phthalate (DIDP). Volume: 36, EUR 22785 EN
- 03 ECHA の登録物質データベース: 1,2-Benzenedicarboxylic acid, di-C9-11-branched alkyl esters, C10-rich. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 04 ECHA (2013) Evaluation of new scientific evidence concerning DINP and DIDP. In relation to entry 52 of Annex XVII to REACH Regulation (EC) No 1907/2006, Final review report, ECHA-13-R-07-EN
- 05 RIVM (2022) Interventiewaarden voor incidentbestrijding: interventiewaarden, stofdocumenten en handleiding december 2022
- 06 Ontario (2023) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"
- 07 食品安全委員会 (2016) 器具・容器包装評価書, フタル酸ジイソデシル (DIDP), 2016年4月

1-8 Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH) (166412-78-8)

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、発がん性に関する知見が得られているが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露の知見はなかった。また、有害性情報のほぼすべてが BASF による非公開の試験報告であった。なお、DINCH の CAS 番号は EU で 166412-78-8、アメリカ、カナダで 474919-59-0 とされていた。

国内外の評価機関において設定された DINCH 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。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、EU ECHA (DNEL) とオーストラリアがラットに 2 年間混餌投与させた BASF (2005, 2006) の試験結果を基に NOAEL 40 mg/kg/day として評価に採用していた。EU ECHA (DNEL) は経口の吸収率を 50%、室内ダスト中の DINCH の bioaccessibility を 5% として吸入換算して POD を設定しており、bioaccessibility を考慮したリスク評価は初めてであった。オーストラリアは曝露モデルを用いて求めた労働者の曝露推定値を経口換算し、MOE で評価していた。BASF (2005, 2006) は収集不可であったが、US EPA 宛の簡単なメモが入手できたので、キー文献等のフォルダーに収録した。

チェコやデンマーク、仏・RMOA の報告書によると、過去の EU ECHA (DNEL) は 21 mg/m³ (一般集団) であり、仏・RMOA (2016) では発がん性試験で確認された NOAEL 40 mg/kg/day を基にした値であると説明されていた。現在の DNEL は 70 mg/m³ であることから、70/21 = 3.333 となり、過去の DNEL の設定では×1/3 の不確実係数が加味されていた可能性が考えられた。

急性のリスク評価値については、EU ECHA (DNEL) が no hazard identified (有害性が確認されなかった) としていた以外には、評価事例は得られなかった。

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はデータ登録がなかった。

表 2 3 有害性評価結果（慢性曝露） Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH)

ファイル番号	01	02	
評価機関等	EU ECHA (DNEL)	オーストラリア	
評価年	—	2008	
キー研究	BASF (2005. 2006)	BASF (2005. 2006)	
動物種	ラット	ラット	
曝露状況	2年間混餌投与	2年間混餌投与	
エンドポイント	発がん性	肝臓、腎臓の重量増加	
N(L)OAEL	NOAEL 40 mg/kg/day	NOAEL 40 mg/kg/day	
連続曝露補正	—	—	
dosimetry 補正	—	—	
POD	350 mg/m ³	40 mg/kg/day	
不確実係数	5 (UF _A 5)	—	
リスク評価値	70 mg/m ³	—	
備考	<p>ラットの呼吸量を 1.15 m³/kg/day、経口の吸収率を 50%、室内ダスト中の DINCH の bioaccessibility を 5% として、POD を算出。 $40 \times 1/1.15 = 34.8 \approx 35$ $35 \times 50/5 = 350$</p> <p>チェコ企業の報告書によれば、2013 年当時は 21 mg/m³ の値が設定されていた。</p>	<p>曝露モデルを用いて求めた労働者の曝露推定値を経口換算し、Margin of exposure (MOE) で評価している。</p>	

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

BASF (2005): Combined chronic toxicity/carcinogenicity study in rats; administration in the diet up to 24 months. Experimental Toxicology and Ecology, BASF Aktiengesellschaft. (収集不可)

BASF (2006): Amendment to Study Report with Title “1,2-Cyclohexanedicarboxylic acid, diisononylester – Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Study in Rats: Administration in the Diet up to 24 Months”. Experimental Toxicology and Ecology, BASF Aktiengesellschaft. (収集不可)

表 2 4 有害性評価結果（急性曝露） Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH)

ファイル番号	01		
評価機関等	EU ECHA (DNEL)		
評価年	—		
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	—		
備考	急性/短期間の吸入曝露では no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。		

01 ECHA の登録物質データベース: 1,2-Cyclohexanedicarboxylic acid, 1,2-diisononyl ester.
<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>

02 NICNAS (2008) NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION AND ASSESSMENT SCHEME (NICNAS) PUBLIC REPORT. 1,2-Cyclohexanedicarboxylic acid, 1,2-diisononyl ester ('Hexamoll DINCH'). EX/170 (STD/1259)

1-9 Di(ethylhexyl) adipate(DEHA) (CAS 103-23-1)

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、発がん性に関する知見が得られているが、主に経口曝露の知見であり、吸入曝露に関しては急性毒性の試験結果が2報あるだけであった。US EPA や CalEPA ではスロープファクターの設定も行っていた。

国内外の評価機関において設定された DEHA の慢性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 5 に、急性曝露に対するリスク評価値の概要を表 2 6 に示す。

慢性のリスク評価値におけるキー研究についてみると、テキサス州とオンタリオ州がリスク評価値を設定していたが、キー研究や算出過程等の情報は得られなかった。

また、EU ECHA (DNEL) では全身影響、局所影響ともに no hazard identified (有害性が確認されなかった) と記載されており、唯一、一般集団の経口 DNEL 1.7 mg/kg/day が設定されているだけであった。チェコやデンマークの報告書によると、2013 年の一般集団の吸入 DNEL は 4.4 mg/m³、経口 DNEL は 1.3 mg/kg/day であったことから、吸入 DNEL は取り下げられ、経口 DNEL は変更されていたが、その理由は記載されていなかった。

蒸気圧が低く、ガスにならないような物質でも、経口 NOAEL を吸入換算して吸入曝露のリスク評価値が算出されているが、なぜ、DEHA ではそのような対応事例が見つからなかったのか、不思議であった。EU ECHA (DNEL) の吸入 DNEL が取り下げられていたことから、吸入換算が不適切な物質という判断があったのかと疑って既存の評価書類を調べてみたが、吸入による曝露は考え難いというような一般的な記載があるだけで、吸入換算の是非に関わる答えは見つけられなかった。

急性のリスク評価値については、テキサス州が慢性のリスク評価値の 10 倍の値を設定していたが、EU ECHA (DNEL) は no hazard identified (有害性が確認されなかった) であった。

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 2 7 に示す。

表 2 5 有害性評価結果（慢性曝露） Di(ethylhexyl) adipate (DEHA)

ファイル番号	01	02	03
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	—	—	—
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	430 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	—	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
備考	暫定値として設定。	長期間の吸入曝露では全身影響、局所影響はともに no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。 2013 年には 4.4 mg/m^3 の値が設定されていた。	スクリーニング値として設定。

UF_A: 種差、UF_H: 個体差、UF_S: 慢性曝露補正、UF_L: LOAEL→NOAEL、UF_{DB}: データベース不足、UF_{SE}: 影響の重症度、UF_C: 子供などの高感受性集団、UF_t: 腫瘍発生（発がん性）、UF_{RR}: 経路間外挿の補正

表 2 6 有害性評価結果（急性曝露） Di(ethylhexyl) adipate (DEHA)

ファイル番号	01	02	
評価機関等	テキサス州_	EU ECHA (DNEL)	
評価年	2016	—	
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	4,300 µg/m ³	—	
備考	暫定値として設定。	急性/短期間の吸入曝露では no hazard identified (有害性が確認されなかった)と記載されていた。	

表 2 7 Di(ethylhexyl) adipate (DEHA)の許容濃度

Substance	Di(2-ethylhexyl) adipate			
CAS No.	103-23-1			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Poland		400		
<input type="button" value="Search"/>				

文献番号

- 01 TECQ (2016) Interoffice Memorandum. Effects Screening Levels.
- 02 ECHA の登録物質データベース: Bis(2-ethylhexyl) adipate. <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/registered-substances>
- 03 Ontario (2023) Layout and Introduction of the "Air Contaminants Benchmarks (ACB) List: Standards, guidelines and screening levels for assessing point of impingement concentrations of air contaminants"

1-10 ユニットリスクの設定状況

吸入曝露の発がん性試験の結果から、調査対象物質のユニットリスクを算出していた機関はなかった。なお、2-フルアルデヒド、フタル酸ベンジルブチル、DEHA の 3 物質では、スロープファクターを算出している機関があったが、吸入換算したユニットリスクは算出されていなかった。

・2-フルアルデヒド

US EPA (RED) : 01_2_US EPA_2016 Memorandum.pdf

雄マウスの肝腫瘍の発生状況から、 $3.49 \times 10^{-2} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ を算出している。

01_4_US EPA_20 May 2015_Memorandum.pdf に出典とされた TXR No. 0056864 は Furfural Quantitative Risk Assessment Based on f144/N Rats and B6C3 FI Mouse Gavage Studies. とあったが、収集不可のため、具体的な算出根拠等は不明であった。

なお、F344 ラットと B6C3F₁ マウスの組み合わせは NTP の発がん性試験と一致することから、NTP の試験結果であったと考えられ、雄マウスの肝腫瘍（腺腫+癌）の発生状況は下記の通りであった。

	0 mg/kg/day	50 mg/kg/day	100 mg/kg/day	175 mg/kg/day
肝腫瘍	16/50	22/50	17/49	32/50*

(*: 有意差あり)

・フタル酸ベンジルブチル

US EPA (PPRTV) : 参_04_1_US EPA_PPRTV_summary.pdf、参_04_2_US EPA_PPRTV.pdf

NTP の発がん性試験における雄ラットの膵臓（腺房）の腺腫+癌の発生状況（下記参照）を基に $1.9 \times 10^{-3} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ を算出しており、暫定的な値とされている。

	0 mg/kg/day	120 mg/kg/day	240 mg/kg/day	500 mg/kg/day
膵臓腫瘍	3/50	2/49	3/50	11/50*

・DEHA

US EPA (IRIS) : 参_03_US EPA_IRIS_summary.pdf

NTP の発がん性試験における雌マウスの肝細胞腺腫+癌の発生状況（下記参照）を基に $1.2 \times 10^{-3} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ を算出している。

	0 mg/kg/day	255 mg/kg/day	625 mg/kg/day (ヒト等価用量)
膵臓腫瘍	3/50	19/50*	18/49*

CaLEPA : 参_04_CaLEPA_Drinking water.pdf

IRIS のスロープファクターを採用して設定している。

US EPA 飲料水 : 参_105_US EPA_Drinking Water Criteria_1992.pdf

IRIS のスロープファクターを採用して設定している。

注：DEHA のヒト等価用量：NTP の試験は混餌投与であり、餌中の濃度の表記しかなかったことから、IRIS では体重と摂餌量を用いて時間加重平均した動物の用量を算出し、ヒト等価用量はヒトの体重を 70kg、高用量群、低用量群のマウスの体重を 0.028 kg、0.037 kg、投与期間を 103 週間、試験期間と動物の寿命を高用量群で 105 週間、低用量群で 105.5 週間として求めたという説明があった。体重の 3/4 乗あるいは Dosimetric

(Dose) Adjustment Factor (DAF) で調整した用量と思われるが、具体的な算出方法等の説明はなく、詳細は不明であった。

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) ベンジルアルコール

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、ドイツ TRGS では、慢性曝露の評価値の 2 倍の値をピーク限界値として設定しており、ECHA の DENL では、慢性の DENL に係数 5 を乗じて設定しており、いずれも毒性学的知見に基づくものではなかった。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、Roper (2010) がキー研究であった。この研究では、ラットの 4 週間吸入曝露実験 (6 時間/日、5 日/週) の結果から、肺の病変 (単核細胞浸潤など) をエンドポイントとして、 $1,072 \text{ mg/m}^3$ (249 ppm) の LOAEL と 290 mg/m^3 (67 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) ベンズアルデヒド

急性影響ではテキサス州でリスク評価値が設定されているが、暫定値として設定されており、設定根拠やキー研究が明示されていなかった。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、多くの評価機関で Laham ら (1991) によるラットの知見が使用されていた。この研究では、ラットの 14 日間吸入曝露実験 (6 時間/日) の結果から、鼻腔組織の傷害 (鼻腔の杯細胞異形成)、肝臓の絶対及び相対重量の有意な増加や GOT の有意な上昇をエンドポイントとして、 $2,170 \text{ mg/m}^3$ (500 ppm) の LOAEL が得られている。なお、ドイツ連邦環境庁は、BIBRA (1989) で引用されたヒトの職業性曝露の知見を評価値算出に使用していた。この研究では、職場で平均 5 mg/m^3 の気中濃度のベンズアルデヒドに長時間曝露した後、呼吸器系障害が増加し、眼や皮膚への刺激が生じたことから、ヒトへの刺激性をエンドポイントとして、 5 mg/m^3 を LOAEL としている。但し、曝露時間が正確には不明であり、本報告では Laham ら (1991) によるラットの知見から得られた $2,170 \text{ mg/m}^3$ (500 ppm) の LOAEL を ChRfC の導出に採用し、BIBRA (1989) のヒトでの知見は参考情報とした。

3) 2-フルアルデヒド

急性影響では、オランダが Apol ら (1975) の職業曝露の知見をキー研究に採用していた。この知見では、職場で夜間シフトの最初 (平均 5.9 ppm) と後半 (平均 20.4 mg/m^3 [5.1 ppm]) に 2-フルアルデヒドに曝露した多数の労働者において、眼や鼻の刺激症状が生じたことから、ヒトへの刺激性をエンドポイントとして、 20.4 mg/m^3 を LOAEL としている。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、多くの評価機関で Arts ら (2004) によるラットの知見が使用されていた。この研究では、ラットの 28 日間吸入曝露実験 (6 時間/日、5 日/週) の結果から、鼻腔の移行上皮の扁平上皮化生や異型過形成をエンドポイントとして、 20 mg/m^3 の LOAEL が得られている。なお、同じ試験機関で曝露濃度を下げた 28 日間の吸入曝露試験が実施され、NOAEL 8 mg/m^3 が得られているが、Staal ら (2008) として非公開の報告書が作成されていたものの、論文化はされておらず、NTIS などにも登録されていなかったため、Staal ら (2008) の入手はできなかったため、実験内容を確認することができなかった。なお、ACGIH が採用した Morimoto ら (2007)

のヒトの知見も重要と考えられた。この研究では、職場で平均 1.6~2.1 ppm (6.3~8.3 mg/m³) の気中濃度の 2-フルアルデヒドに長期間曝露した労働者において、頭痛、上気道や眼の刺激が生じたことから、ヒトへの刺激性をエンドポイントとして、1.6 ppm (充填室) ~2.1 ppm (混合室) (6.3~8.3 mg/m³) を LOAEL としている。本報告では、ラットの知見から得られた 20 mg/m³ の LOAEL とヒトの知見から得られた 1.6 ppm (6.3 mg/m³) の LOAEL を ChRfC の導出に採用した。

4) フェノール

急性影響では、Piotrowski (1971) のヒトでの知見をキー研究とした。この知見では、ヒトのボランティアに対して 5~25 mg/m³ の気中濃度のフェノールに 8 時間曝露した労働者において、何ら影響がみられなかったことから、25 mg/m³ が NOAEL と判断できる。本報告ではこの値を NOAEL として AcRfC の導出に採用した。

慢性影響では、Shamy ら(1994) のヒトでの知見をキー研究とした。この知見では、職場で平均 5.4 ppm (20.7 mg/m³) の気中濃度のフェノールに平均約 13 年間曝露した労働者において、肝障害を示唆する肝酵素活性 (とくに ALAT) の上昇及び血液凝固時間延長が観察された。そこで、5.4 ppm (20.7 mg/m³) を LOAEL とし、ChRfC の導出に採用した。

5) フタル酸ベンジルブチル (BBP)

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、多くの機関が Roloff (1982) をキー研究として採用していた。この研究では、ラットの 13 週間吸入曝露実験 (6 時間/日、5 日/週) の結果から、肝臓及び腎臓の相対重量の増加、血糖値の低下をエンドポイントとして、218 mg/m³ の NOAEL が得られている。本報告では、この NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

6) フタル酸ジ-イソノニル (DINP)

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、Lington ら(1997) の知見をキー研究とした。この研究は、日本の食品安全委員会による有害性評価でもキー研究と判断されている。この研究では、ラットの 2 年間混餌投与実験において、肝臓と腎臓の相対重量の増加、肝細胞の海綿状変性をエンドポイントとして、15 mg/kg/day の NOAEL が得られている。本報告では、この NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

7) フタル酸ジ-イソデシル (DIDP)

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、Hazleton Laboratories (1968) の知見をキー研究とした。この研究は、日本の食品安全委員会による有害性評価でもキー研究と判断されている。この研究では、イヌの 90 日間混餌投与実験において観察された肝細胞の腫脹及び空胞化をエンドポイントとして、15 mg/kg/day の NOAEL が得られている。なお、Cho ら(2008, 2010) では、ラットの 2 年間混餌投与実験において、肝細胞の海綿状変性などの肝毒性をエンドポイントとして、22 mg/kg/day の LOAEL が得られている。しかしながら、投与群の発生頻度は自然発生の範囲内と考えられており、ヒトのリスク評価では重要ではないと考えられた (食品安全委員会, 2016)。そこで本報告では、Hazleton Laboratories (1968) の知見で得られた 15 mg/kg/day の NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

8) Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH)

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、BASF (2005, 2006) の知見をキー研究とした。この研究では、ラットの 2 年間混餌投与実験において観察された肝臓と腎臓の

相対重量の増加をエンドポイントとして、40 mg/kg/day の NOAEL が得られている。本報告では、この知見で得られた NOAEL を ChRfC の導出に採用した。

9) Di(ethylhexyl) adipate(DEHA) (CAS 103-23-1)

急性影響では評価可能な知見が得られなかった。慢性影響においても、テキサス州とオンタリオ州がリスク評価値を設定していたが、キー研究や算出過程等の情報は得られなかった。従って、慢性影響でも評価可能な知見は得られなかった。

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 30) (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 28 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 ³)	キー研究
						1	2	3	4		
ベンジルアルコール	評価可能な知見が得られなかった										
ベンズアルデヒド	同上										
2-フルアルデヒド	LOAEL	吸入	20.4	ヒト	眼や鼻の刺激症状	10	1	1	10	0.2	Apol ら(1975)
フェノール	NOAEL	吸入	25	ヒト	影響なし	1	1	1	10	2.5	Piotrowski ら(1971)
BBP	評価可能な知見が得られなかった										
DINP	同上										
DIDP	同上										
DINCH	同上										
DEHA	同上										

* 吸入 (mg/m³). 経口 (mg/kg/day). 経口換算では体重 50kg 及び呼吸量 15 m³/day を用いた

** UF1: LOAEL to NOAEL extrapolation. UF2: Extrapolation across durations. UF3: Interspecies extrapolation UF4: Intraspecies extrapolation.

表 29 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 ³)	キー研究
						1	2	3	4		
ベンジルアルコール	NOAEL	吸入	290	ラット	肺の病変 (単核細胞浸潤など)	1	10	10	10	52	Roper (2010)

ベンズ アルデ ヒド	LOAEL	吸入	2,170	ラット	鼻腔組織の傷害、肝 重量の増加	10	10	10	10	54	Laham ら (1991)
	LOAEL	吸入	5	ヒト	刺激（呼吸器、眼や 皮膚）	10	1	1	10	11.9	BIBRA(1989) 職業曝露である ため、8時間/日、 5日間/週で計算 したが、正確な曝 露時間は不明。
2-フル アルデ ヒド	LOAEL	吸入	20	ラット	鼻腔の移行上皮の扁 平上皮化生や異型過 形成	10	10	2.5	10	1.4	Arts ら(2004)
	LOAEL	吸入	6.3	ヒト	頭痛、上気道や眼の 刺激	10	1	1	10	15	Morimoto ら (2007)
フェノ ール	LOAEL	吸入	20.7	ヒト	肝酵素活性の上昇、 血液凝固時間延長	10	1	1	10	49	Shamy ら (1994)
BBP	NOAEL	吸入	218	ラット	肝臓及び腎臓の相対 重量の増加、血糖値 の低下	1	2	10	10	195	Rolof (1982)
DINP	NOAEL	経口	15	ラット	肝臓と腎臓の相対重 量の増加、肝細胞の 海綿状変性	1	1	10	10	500	Lington ら (1997)
DIDP	NOAEL	経口	15	イヌ	肝細胞の腫脹及び空 胞化	1	2	10	10	250	Hazleton Laboratories (1968)
DINC H	NOAEL	経口	40	ラット	肝臓と腎臓の相対重 量の増加	1	1	10	10	1333	BASF (2005,2006)
DEHA	評価可能な知見が得られなかった										

* 吸入 (mg/m³). 経口 (mg/kg/day). 経口換算では体重 50kg 及び呼吸量 15 m³/day を用いた

** UF1: LOAEL to NOAEL extrapolation. UF2: Extrapolation across durations. UF3: Interspecies extrapolation UF4: Intraspecies extrapolation.

表 3 0 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 ^{a,b} 2.5	1 ^f 2.5 ^g
種内差	労働者	5	5
	一般人	10 ^c	10 ^c
曝露期間の差	亜急性から亜慢性への外挿	3	3 ^h
	亜慢性から慢性への外挿	2	2 ^h
	亜急性から慢性への外挿	6	6 ^h
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 ^d	1 ^d
データベースの質	不完全なデータ	1 ^d	1 ^d
	選ぶべきデータの信頼性	1 ^e	1 ^e

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 1 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
神野 透人, 大貫 文, 香川 聡子, 酒井 信夫, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治	空気試験法 / 有機物質 / 揮発性有機化合物 / 総揮発性有機化合物 (新規)	公益社団法人 日本薬学会 環境・衛生部 会・試験法出 版委員会	日本薬学会編 衛生試験法・ 注解2020・追 補2024	公益社団 法人 日本 薬学会 環境・衛 生部会	東京	2024	8-12
神野 透人, 大貫 文, 香川 聡子, 酒井 信夫, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治	空気試験法 / 有機物質 / 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・固相吸着 -加熱脱離ーガスクロマ トグラフィー/質量分析 法による定量 (新規)	公益社団法人 日本薬学会 環境・衛生部 会・ 試験法出版委 員会	日本薬学会編 衛生試験法・ 注解2020・追 補2024	公益社団 法人 日本 薬学会 環境・衛 生部会	東京	2024	13-17
東 賢一 (分担執筆)	喘息と環境因子	日本臨床環境 医学会 環境アレルギー 一分科会	住まいのアレ ルギー対策 室内環境から のアプローチ	技報堂出 版	東京	2023	232
東 賢一 (分担執筆)	二酸化炭素, リスク評価 法, 化学物質過敏症, 予 防原則, 室内空気質ガイ ドライン, 建築物環境衛 生管理基準	室内環境学会	室内環境の 事典	朝倉出版	東京	2023	464
東 賢一 (分担執筆)	第6章 住宅と健康		テキスト 健康科学 改訂第3版	南江堂	東京	2024	印刷中

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Yoshitomi T, Nishi I, Onuki A, Tsunoda T, Chiba M, Oizumi S, Tanaka R, Muraki S, Oshima N, Uemura H, Tahara M, Sakai S.	Development of a standard test method for insecticides in indoor air by GC-MS with solid-phase adsorption/solvent extraction	BPB Reports	6	76-80	2023
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
Chiba M, Oizumi S, Onuki A, Saito I, Tanaka R, Yamanouchi T, Yokoyama Y, Wakayama T, Ohno H, Tahara M, Sakai S.	Validation study for establishing a standard test method for volatile organic compounds in indoor air in Japan using solvent extraction	BPB Reports	7	39-43	2024
Yoshitomi T, Nishi I, Uemura H, Tahara M, Sakai S.	Simultaneous analysis of insecticides and phthalates in residential buildings based on Japan's indoor air quality guidelines	BPB Reports		in press	2024
千葉 真弘, 兼俊 明夫, 大泉 詩織, 田原 麻衣子, 酒井 信夫	除湿管を使用した室内空気中揮発性有機化合物分析を想定した添加回収試験	室内環境		in press	2024

Isobe T, Ohkawara S. Mori Y, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Hanioka N.	Hydrolysis of dibutyl phthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate in human liver, small intestine, kidney, and lung: <i>An in vitro</i> analysis using organ subcellular fractions and recombinant carboxylesterases	Chemico-Biological Interactions	372	110353	2023
Hanioka N, Isobe T, Saito K, Nagaoka K, Mori Y, Jinno H, Ohkawara S, Tanaka-Kagawa T.	Hepatic glucuronidation of tetrabromobisphenol A and tetrachlorobisphenol A: interspecies differences in humans and laboratory animals and responsible UDP-glucuronosyltransferase isoforms in humans	Archives of Toxicology	98	837-848	2024
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	88	716-725	2023
Akamatsu N, Sugano S, Amada K, Tomita N, Iwaizumi H, Takeda Y, Wargocki P, Olesen BW, Tanabe S.	Effects of gas-phase air cleaner on removing human bioeffluents and improving perceived air quality	Building and Environment		in press	2024
金 炫兌	家電製品表面からのSVOC放散速度測定	室内環境学会 大会		88-89	2023

熊谷 功誠, 富久 歩真, 金 炫兌	PVC床材におけるSVOC物質の放散量と表面ブリードアウト量に関する研究	日本建築学会 九州支部研究会	47		2024
山口 千尋, 金 炫兌	家具・家電製品におけるSVOC放散速度測定	日本建築学会 九州支部研究会	47		2024
Li C, Yoo SJ, Ito K.	Impact of indoor ventilation efficiency on acetone inhalation exposure concentration in respiratory tract	Building Simulation	16	427-441	2023
Yoo SJ, Kurokawa A, Matsunaga K, Ito K.	Spatial distributions of airborne transmission risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons	Experimental and Computational Multiphase Flow	5	304-318	2023
Murga A, Bale R, Li CG, Ito K, Tsubokura M.	Large eddy simulation of droplet transport and deposition in the human respiratory tract to evaluate inhalation risk	PLOS Computational Biology	19	e1010972	2023
Kuga K, Kizuka R, Khoa ND, Ito K.	Effect of transient breathing cycle on micro and nanoparticles depositions on respiratory walls,	Computer Methods and Programs in Biomedicine	236	107501	2023

Khoa ND, Li S, Phuong NL, Kuga K, Yabuuchi H, Kan-o K, Matsumoto K, Ito K.	Computational Fluid- Particle Dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole,	Computer Methods and Programs in Biomedicine	237	107589	2023
Li H, Kuga K, Ito K.	Visual prediction and parameter optimization of viral dynamics in mucus milieu of upper airway based on CFPD-HCD analysis	Computer Methods and Programs in Biomedicine	238	107622	2023
Abouelhamd I, Kuga K, Yoo SJ, Ito K.	Identification of probabilistic size of breathing zone during single inhalation phase in semi-outdoor environmental scenarios	Building and Environment	243	110672	2023
Nishihara T, Li H, Kuga K, Ito K.	Seamless numerical analysis of transient infectious droplets dispersion and inhalation exposure - <i>in silico</i> study	Building and Environment	244	110748	2023
Yoo SJ, Yamauchi S, Park HG, Ito K.	Computational Fluid and Particle Dynamics analyses for prediction of airborne infection/spread risks in highway buses: A parametric study	Fluids	8	253	2023
Wang Y, Sun J, Zhao M, Murga A, Yoo SJ, Ito K, Long Z.	Numerical study of indoor oil-mist particle concentration distribution in industrial factory using the Eulerian-Eulerian and Eulerian-Lagrangian methods	Fluids	8	264	2023

Kuga K, Hoshiyama S, Wargocki P, Ito K.	A pilot numerical study of odourant transport from an indoor environment to the olfactory region during sensory evaluations following ISO 16000-28	Building and Environment	245	110868	2023
Khoa ND, Kuga K, Inthavong K, Ito K.	Coupled Eulerian Wall Film-Discrete Phase model for predicting the respiratory droplets generation during the coughing event	Physics of Fluids	35	112103	2023
Park HG, Yoo SJ, Seo J, Sumiyoshi E, Harashima H, Kuga K, Ito K.	Integration of computer-simulated persons with multi-node thermoregulation model that considers the effect of clothing for skin surface temperature distribution analysis	Building and Environment	248	111105	2024
Kuga K, Kizuka R, Abouelhamd I, Ito K.	Aspiration efficiency and respiratory tract deposition of indoor suspended micro-particles during steady and transient breathings	Building and Environment	249	111114	2024
Li H, Khoa ND, Kuga K, Ito K.	<i>In silico</i> identification of virus loads in cough-generated droplets - Seamless integrated analysis of CFPD-HCD-EWF	Computer Methods and Programs in Biomedicine	246	108073	2024
Abouelhamd I, Kuga K, Yoo SJ, Ito K.	Effect of crowd density, wind direction, and air temperature on the formation of individual human breathing zones in a semi-outdoor environment	Sustainable Cities and Society	103	105274	2024

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 本間 正充

次の職員の令和5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) 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
(国立医薬品食品衛生研究所長) 殿
(国立保健医療科学院長)

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5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

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 本間 正充

次の職員の令和5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) 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 横浜薬科大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 都築 明寿香

次の職員の令和5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) 薬学部 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5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) 理工学術院・教授

(氏名・フリガナ) 田邊 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 久留米工業大学
所属研究機関長 職名 学長
氏名 今泉 勝己

次の職員の令和5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) 久留米工業大学・准教授
(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 type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関: 国立医薬品食品衛生研究所)
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6年5月24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 総長

氏名 石橋 達朗

次の職員の令和5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 関西福祉科学大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 津田 耕一

次の職員の令和5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) 健康福祉学部福祉栄養学科 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。