

令和3年度 厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）
総括研究報告書

空気汚染化学物質の標準試験法の開発・規格化および国際規制状況に関する研究

研究代表者 酒井 信夫 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長

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

室内濃度指針値を策定する際には、対象化学物質の詳細な曝露評価を行うために、妥当性の評価・確認された標準試験法を通知（提示）する必要がある。現在、シックハウス検討会が示す室内空气中化学物質の採取方法と測定方法は、2001年に通知（医薬発第828号 平成13年7月25日付 厚生労働省医薬局長通知）された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じた測定方法のリバイスが必要である。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。

本研究課題では、

- ① 先行研究（H30-化学-指定-002；室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の策定およびリスク低減化に関する研究：研究代表者 酒井 信夫）を引き継いで、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に *in silico* 予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と *in silico* 予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量的に予測する技術を確立する。また、諸外国における室内空気汚染化学物質に関する最新の規制状況等を調査する。

新型コロナウイルス感染症の蔓延によって新しい生活様式（ステイホーム、巣ごもり、リモートワーク等）が余儀なくされ、全世代にわたって室内滞在時間が延伸しており、これまで以上に室内空気質が重要視されている。標準試験法を用いた室内空気汚染化学物質の曝露評価は、シックハウス検討会の議論を加速化するものであり、室内空気質の向上に係る行政施策を通じてウィズ・ポストコロナにおける国民の安心・安全な生活の実現に大きく寄与できる。

研究分担者（分担研究課題番号）

- (1) 酒井信夫 国立医薬品食品衛生研究所
- (2) 神野透人 名城大学薬学部
- (3) 田原麻衣子 国立医薬品食品衛生研究所
- (4) 香川聡子 横浜薬科大学薬学部
- (5) 田辺新一 早稲田大学創造理工学部
- (6) 金炫兌 山口大学工学部
- (7) 伊藤一秀 九州大学総合理工学研究院
- (8) 東賢一 近畿大学医学部

研究協力者（分担研究課題番号）

- (1/4) 田原麻衣子 国立医薬品食品衛生研究所
- (1/3/4) 大嶋直浩 国立医薬品食品衛生研究所
- (1) 高木規峰野 国立医薬品食品衛生研究所
- (1) 高橋夏子 国立医薬品食品衛生研究所
- (2/4) 酒井信夫 国立医薬品食品衛生研究所
- (2) 森葉子 名城大学薬学部
- (2) 井上凌子 名城大学薬学部
- (2) 尾嶋朱莉 名城大学薬学部
- (2) 金山理恵 名城大学薬学部
- (2) 青木明 名城大学薬学部
- (2) 岡本誉士典 名城大学薬学部
- (4) 神野透人 名城大学薬学部
- (3/4) 千葉真弘 北海道立衛生研究所
- (3/4) 大泉詩織 北海道立衛生研究所
- (3) 兼俊明夫 北海道立衛生研究所
- (3/4) 大貫文 東京都健康安全研究センター
- (3) 角田徳子 東京都健康安全研究センター
- (4) 斎藤育江 東京都健康安全研究センター
- (3/4) 田中礼子 横浜市衛生研究所
- (3) 村木沙織 横浜市衛生研究所
- (4) 山之内孝 横浜市衛生研究所
- (3) 西以和貴 神奈川県衛生研究所
- (3) 吉富太一 神奈川県衛生研究所
- (4) 遠藤治 麻布大学生命・環境科学部
- (4) 鳥羽陽 長崎大学医歯薬学総合研究科
- (4) 中島大介 国立環境研究所
- (2) 香川聡子 横浜薬科大学薬学部

- (4) 河村伊久雄 横浜薬科大学薬学部
- (4) 小池加那子 横浜薬科大学薬学部
- (4) 高橋直也 横浜薬科大学薬学部
- (4) 中嶋康一郎 横浜薬科大学薬学部

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

我々はこれまでに、室内空気中揮発性有機化合物（VOC）を測定するためのガスクロマトグラフィー/質量分析法（GC/MS）を用いた標準試験法を開発し、国内・国際規格化を推進してきた。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、わが国ではヘリウムを産出することが出来ないため、その全量を輸入に依存している。ヘリウムの産出国は限定されており、原産国の備蓄制限や生産量が不安定であること、半導体デバイス製造や医療機器分野におけるヘリウム需要拡大等が世界的な供給不足（輸入価格の高騰）に拍車をかけている。上述の背景に鑑みて、将来的に安定的なヘリウム供給が期待できないことから、代替キャリアガスを用いた試験法の開発が急務となっている。本研究では、ヘリウム代替キャリアガスとして、水素及び窒素を用いた室内空気汚染化学物質の試験法を開発し、その定量性（分離、感度、検量線の直線性等）について確認した。

A2: 総揮発性有機化合物(TVOC)の在り方に関する研究

我が国では、室内空気室の総体的な指標として、総揮発性有機化合物（TVOC）に暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ が設定されている。この暫定目標値は、実態調査において個別に定量されたVOCsの総和を基に、2000年12月に設けられた目標値であり、20年以上が経過した今、TVOCを構成するVOCの特徴付けと共に、暫定目標値の妥当性を検証する必要があると考えられる。そこで、TVOCの定義ならびにその暫定目標値の妥当性について検証を行う

ことを目的として、本研究を実施した。

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

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)」が示す室内空气中化学物質の採取方法と測定方法は、2001年に通知(医薬発第828号 平成13年7月25日付厚生労働省医薬局長通知)された方法であり、サンプリング・分析機器等の技術進展に応じた測定方法のリバイスが必要である。このような背景から、本分担研究では、地方自治体において試験検査実務を担当する地方衛生研究所の研究者とともに室内濃度指針値の策定物質および候補物質における標準試験法のリバイス箇所を討議し、その改良方法を開発し、多機関での妥当性評価を行って標準試験法を確立することを目的としている。

今年度は、①VOCの標準試験法である固相吸着-溶媒抽出-GC/MS法(SE-GC/MS, 以下、SE法)および固相吸着-加熱脱離-GC/MS法(以下、TD法)における高湿度条件下でのVOC回収率の評価および除湿管の有用性、②SVOCであるフタル酸エステル2種および殺虫剤3種のSE法における同時分析法の構築、③フタル酸エステル類におけるSE法およびTD法の2法同時捕集による定量値の比較と、①～③の3項目について検討した。

A4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

居住環境の室内空気が室内濃度指針値あるいは暫定目標値を満たしているか否かを評価するためには、標準化された室内空気の測定法、すなわち採取方法ならびにその分析方法によって得られた結果に基づいて判断することが必要である。本研究では、最新の分析技術を基に開発された汎用性の高い標準試験法の国内規格化を目的とした。

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

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)”の進捗情報について報告する。

また、新型コロナウイルス感染症対策として広く用いられているアルコール塗布が室内の知覚空気質およびスギ材自体の化学物質の構成変化に与える影響(以下、アルコール塗布実験)を把握することや、木材からのテルペン類酸化過程で生成されるアルデヒド類の放散メカニズムの検証を目的に溶剤を気中で化学反応をさせる実験(以下、溶剤実験)を実施した。

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VOCといった比較的揮発しやすい化学物質がある。しかし、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たオンサイト測定方法を開発した。先行研究では、バックグラウンド実験などの基礎実験や、マイクロチャンバー法とオンサイト測定方法との整合性実験を行い、実空間における床材からのSVOC放散速度実験を行った。その一方、床面からのSVOC放散速度の測定は可能であるものの、壁面からのSVOC放散速度測定は困難であった。そこで、今年度は壁面か

らのSVOC放散速度を測定するため、壁面にマイクロチャンバーを固定する装置を開発し、実空間における床材・壁材からのSVOC放散速度を測定した。

A7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

室内環境汚染化学物質の曝露濃度評価のための *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。

今年度は、計算流体力学による室内濃度分布解析に統合可能な *in silico* 人体モデルのプロトタイプモデルを作成し、特に代表的なSVOCであるフタル酸ビス2-エチルヘキシル (DEHP) を対象とした室内濃度分布解析手法ならびに人体モデルとの連成解析手法を確立する。

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

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、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、今後のリスク評価や既存の指針値の見直しにおいて鍵となる重要なハザード情報をとりまとめることを目的としている。

B. 研究方法

B1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

1) 測定対象物質

本研究における検討対象物質は、室内濃度指針値が設定されているトルエン、キシレン、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物質とした。

標準試薬は、東京化成工業社、富士フィルム和光純薬社、関東化学社製のVOC分析用標準品を用いた。内部標準物質には富士フィルム和光純薬社

製のトルエン-*d*₈標準品を用いた。メタノールは富士フィルム和光純薬社製または関東化学社製（残留農薬・PCB測定用5,000倍濃縮検定品）を用いた。

2) 装置

GC-MS: Agilent 5977B GC/MSDシステム（アジレント・テクノロジー社製）、多機能オートサンプラ: PAL3 RSI（アジレント・テクノロジー社製）、高純度水素ガス発生装置: NM-Plus 160（エアータック社製）

3) GC/MS分析条件の検討

ヘリウムをキャリアガスとした測定では無極性カラムRtx®-1（0.32 mm i.d. x 60 m, 膜厚1 μm, Restek社製）を、窒素及び水素をキャリアガスとした測定では無極性カラムRxi®-1ms（0.25 mm i.d. x 60 m, 膜厚1 μm, Restek社製）を用いて分析した。キシレンには3つの異性体があり、複数ピークとして検出される。その一部（*m*, *p*-キシレン）は保持時間が重なり、共通のイオンを有するため、分離定量が難しいことが知られていることから、*m*-キシレン及び*p*-キシレンの定量は、定量イオンピークの出始めから出終わりまでの面積を合算した。

B2: 総揮発性有機化合物(TVOC)の在り方に関する研究

26軒の居住住宅を対象に、2.88 Lの室内空気をTenax TA吸着管に通し、VOCsを捕集した。吸着管に捕集されたVOCsを加熱脱離-GC/MS (Shimadzu TD-30 – Shimadzu GC/MS/MS TQ8030) を用いてScanモードで測定し、*n*-Hexaneから*n*-Hexadecaneの保持時間の間に溶出するピークの総和をToluene換算値として算出し、TVOC濃度を求めた。TVOCクロマトグラムのDeconvolution解析には、AnalyzerPro ver. 6.0.0.246 (Spectral Works) を用いた。

B3: 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

① 高湿度条件下における除湿管の有用性および定量値への影響

クリーンルーム内にあるクリーンベンチに加湿

器をセットし、クリーンベンチ内外の温度と湿度を24時間モニターした。この結果より、この中で加湿条件の実験が可能か否かについて検討した。

対象化合物を室内濃度指針値策定VOC 6化合物および策定候補3化合物の計9化合物12成分とし、Tenax TAおよびTenax GRの捕集管を用いたTD法、もしくは、カーボンビーズアクティブの捕集管を用いたSE法に対し、加湿条件下における除湿管5種の使用有無での添加回収率を比較した。

② SVOC同時分析法の開発

室内濃度指針値が策定されている殺虫剤3化合物およびフタル酸エステル2化合物にフタル酸エステル類6化合物を加えた計11化合物を測定対象とし、殺虫剤の改良試験法に用いられているカラムおよび分離条件をベースに、フタル酸エステル類との分離を検討した。また、殺虫剤とフタル酸エステル類の混合標準液を捕集カートリッジに添加し、溶媒抽出による回収率と定量下限値の算出を行った。

③ フタル酸エステル類におけるSE法およびTD法の2法同時捕集

フタル酸エステル類のSE法およびTD法の2法における同時捕集の定量値に差異について、捕集流量および捕集時間を変えた11種の条件による空気中のフタル酸ジエチル(DEP)、フタル酸ジ-n-ブチル(DnBP)およびDEHPの濃度を比較した。

B4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

室内濃度指針値策定物質であるToluene, *o*-, *m*-, *p*-Xylene, Ethylbenzene, Styrene, *p*-DichlorobenzeneおよびTetradecaneを対象として策定された標準試験法を日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2022にて公表すべく標準試験法とその注解を編集した。

B5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

[1] ISO-16000-33改訂

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。そのため、2021年度のISO/TC146/SC6の国際会議に参加し、国際規格化に関する審議及びその結果を確認した。

[2] 知覚空気質の測定方法

1) 実験概要

実験は計測実施している。チャンバー内物理環境は両実験ともに空気温度は26°C、相対湿度は60%、換気回数は0.35回/hを設定値とした。換気回数はJIS A1901の小型チャンバー法を参照した。

2) アルコール塗布実験

① 供試材条件

国内の製材生産量が最も多いスギ材を供試材として選定した。木材は同樹木から製材された素材材を1m²ずつ計3セット用意した。なお、うち1セットのサンプルに関しては実験の2か月前に130 mL/m²のアルコールを塗布し乾燥させたサンプルである。試料負荷率は1.0 m²/m³とし、JIS A1901で定められる壁面想定 of 試料負荷率の換気回数に対する比 (n/L値) となるように設定した。

② 実験条件

実験条件は、スギ材表面に手を加えないノーマル条件と表面にアルコールを塗布するアルコール塗布条件の2種類を実施した。アルコール塗布条件では、濃度70%のアルコールを使用した。厚生労働省らがモノに付着したウイルス対策手法として推奨するエタノールによる消毒液の最小濃度とした。また、塗布量は既報を参考に15 mL/m²と設定した。

③ 実験手順

チャンバー実験は全7日間で構成され、実験初日の初めの3時間でそれぞれの木材初期化学物質放出量の測定を行った。その後29時間チャンバー内にて供試材を設置し表面条件の違いによる知覚空気質の測定およびにおい袋法を用いた知覚空気質評価を行った。設置から32時間後に供試材をチャンバーから取り出し、試料保管室にて5日間供試材を静置した後5日目に再度供試材の化学物質放出量の測定を行った。

④ 測定項目

チャンバー内空気はTenax-TA管, DNPH管, チャコール管にサンプリングし分析した。チャンバー内空気捕集時刻はアルコール塗布条件を基準に設定し、ノーマル条件においても同様の時刻に捕集を行った。アルコール塗布直後の知覚空気質評価を目的にアルコール塗布後15分後に1回、アルコール塗布後の定常に近くなった状態の知覚空気質評価を目的にアルコール塗布後3時間後に1回捕集を行い、本工程を1つの供試材につき計3回繰り返した。また、最初のアルコール塗布から約21時間30分後にも1回測定を行い、各条件計7点の化学物質分析用の空気捕集を行った。

3) チャンバー内臭気評価

チャンバー内空気の知覚空気質評価を目的に、臭気評価被験者によるにおい袋法を用いた臭気評価を実施した。臭気評価被験者は、20代の学生9名とし、化学物質分析用空気捕集終了時刻にチャンバー内空気を、10Lのにおい袋に捕集した。

4) 溶剤実験

① 溶剤条件

本実験ではテルペン類の酸化過程で放散されるアルデヒド類の放散速度を調査するために、木材の代表的なテルペン類 α ピネンの原液を選定した。

② 実験手順

直径100 mmのシャーレに溶剤を10 μ Lずつ垂らしチャンバー内に静置することで溶剤から揮発し

た成分を攪拌させ気中での分解や化学反応を観察する。70%濃度アルコールと α ピネン原液のそれぞれの分解反応に加えて、両溶剤を混合させた際の気中化学物質濃度を測定した。

③ 測定項目

物理環境測定および化学物質の測定手法、化学物質測定項目はアルコール塗布実験と同様の項目を実施した。測定時間は設置から3時間後に各1回ずつ化学物質濃度分析用の空気捕集を行った。

B6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

1) マイクロチャンバー法 (JIS A 1904)

マイクロチャンバーの容積は630 mL ($\pm 5\%$) であり、入口直前にベントラインを設けることにより蓋と建材の隙間から外気がチャンバーの中に入らないようにコンタミ対策が設けられている。

マイクロチャンバーの測定手順及び試験片について詳述する。測定開始前にマイクロチャンバーを解体し、水で洗浄した。その後、マイクロチャンバー内に残存している測定対象化学物質を揮発させるために加熱装置を用いて、1時間 220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、マイクロチャンバーを常温まで冷却させる。試験片は端部及び裏面をアルミ箔でシールをし、蓋と試験片が直接に接触しないようにした。試験片をチャンバーの蓋と容器の間に挟んで、建材表面からのSVOC物質放散の測定を行った。マイクロチャンバー内に試験片を設置した時点で放散試験を開始する。放散試験は28°Cの恒温槽で24時間行った。

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

2) オンサイト測定方法

測定条件はマイクロチャンバー測定方法と同様

であるが、室内の温度と相対湿度は測定場所によって異なる。オンサイト測定機には2つのポンプが設置されており、1つは30 mL/minの空気を供給、もう1つのポンプは15 mL/minを吸引するように調整している。また、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法と同様にマイクロチャンバーと仕上げ材の隙間からコンタミが生じない様になっている。

測定開始前にマイクロチャンバー内に付着しているSVOC物質脱着するため、加熱装置を用いて1時間 220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、ステンレス材で制作した運搬専用箱にマイクロチャンバーを入れ、測定現場まで運搬した。測定場所に到着後には測定場所を選定し、汚染されている床面をエタノールで拭き取った後、測定表面を乾燥させる。その後、直径82 mmの正円形を切り取ったアルミホイルを敷き、その上にマイクロチャンバーを設置した。マイクロチャンバーを設置してから24時間床面からの放散実験を行う。その後、マイクロチャンバーを床面から取り外し、ステンレス製ボックスに入れて実験室に持ち帰る。放散実験が終了したマイクロチャンバーは加熱脱着装置にて加熱脱着試験を行い、チャンバー内表面に付着しているSVOCを回収した。

3) 壁面のマイクロチャンバー固定装置

壁材からのSVOC放散速度測定にあたり、マイクロチャンバーを壁面に固定するための装置を新たに開発した。約12 kgのステンレス板のベースに、長さ30 cmのアルミ丸棒をナットで取り付け、アルミ丸棒とマイクロチャンバーの間にばねを用いてマイクロチャンバーを壁面に固定する。マイクロチャンバーを固定する高さは5~30 cmの間で自由に変えられる。マイクロチャンバーを壁面に固定する際には2 kg以上の荷重をかけ、室内の空気がマイクロチャンバー内に流れないようにする必要がある。基礎実験によると、マイクロチャンバーを固定するために使用したばねを106 mmから95 mmまで11 mm以上縮めることで、2 kg以上の荷重がかげられることが確認できた。マイクロチャンバーの前処理、現場までの運搬などは床材からのSVOC

放散速度と同様である。

4) 分析対象物質

分析対象物質は、D6(シロキサン6量体)、BHT(ブチル化ヒドロキシトルエン)、DEP、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)、DnBP、TPP(リン酸トリフェニル)、DOA(アジピン酸ジオクチル)、DEHP、BBP(フタル酸ブチルベンジル)、TBEP(リン酸トリス)、DNOP(フタル酸ジ-n-オクチル)、DINP(フタル酸ジイソノニル)、DIDP(フタル酸ジイソデシル)である。

5) 測定対象住宅

オンサイト測定方法により住宅の床面と壁面に使用されている建材からのSVOC放散速度を測定した。今年度の測定対象住宅は9軒である。

B7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

化学物質による室内環境空気汚染は深刻な健康影響の懸念される社会問題であり、その対策・技術開発のためには、居住者の個人曝露量予測・評価が基本になる。一般的には、室内空気中の化学物質濃度を現場で測定する実測調査を行い、間接的に個人曝露量評価を行う。しかし、実測調査には限界があるため、実測調査のみに基づかない個人曝露量評価手法の構築の必要性がある。そこで、広域スケールで汚染の実態把握を行うために有効なマクロな統計データを使用するマテリアルフロー分析に着目し、社会的なストックデータから室内での空気汚染レベルと個人曝露量予測を予測する手法の構築を行う。特に、室内環境中で可塑剤として使用されるDEHPを評価対象物質として、マテリアルフロー分析とCFD(計算流体力学)とCSP(人体モデル)を統合させることで、マクロなデータから個人曝露量予測までを一連のフレームワークとしてシームレスに解析する新たな数値解析手法を提案する。

DEHP含有製品の動的なマテリアルフロー分析は、産総研DEHP詳細リスク評価書に準拠し11製品を対象とする。システム全体の流入量のDEHPデータは、可塑剤工業統計データや可塑剤へのヒア

リング結果から取得する。マテリアルフロー分析の使用過程におけるDEHPストック量 $S(t)$ 推計は、システム全体の流入量をDEHP出荷量とし、耐久消費財の寿命関数 $F(x)$ として用いられるワイブル分布を用いて、各製品の寿命を考慮し、以下の式で推計を行う。

$$S(t) = \int_{t'}^t \{I(t') \cdot (1 - F(t - t'))\} dt' \dots\dots(1)$$

$$F(x) = \left(\frac{u}{v}\right) x^{u-1} \exp \left[-\left(\frac{u}{v}\right)^u\right] \dots\dots(2)$$

ここで、 t' は t 年を基準とした出荷年である。つまり、 $F(t-t')$ は、 t' 年に出荷された製品の t 年での廃棄率を示す。ワイブル分布の各パラメータは、産総研DEHP詳細リスク評価書で用いているパラメータに準拠する。

また、DEHP含有製品毎のDEHP放散量データを取得するためにマイクロチャンバー法（JIS A1904）で測定も実施する。一般的に流通しているDEHP含有製品を7サンプル購入し、DEHP放散速度を測定した。

マテリアルフロー分析とマイクロチャンバー放散実験結果を用い、日本建築学会が示す標準住宅モデルを参考に、一般住宅内におけるDEHP個人曝露量予測のケーススタディを行う。個人曝露量予測では、数値人体・気道モデルを用いて、経気道・経皮曝露予測を定量的に行う。

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及び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。

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

1) クロマトグラムの比較

いずれのキャリアーガスにおいても定性・定量分析に問題ない良好な分離能を有することが明らかになった。

2) シグナル強度及びシグナルノイズ比の比較

水素をキャリアーガスに用いた際のシグナル強度は、ヘリウムと比較して1.7～2.6倍と高く、窒素をキャリアーガスに用いた際のシグナル強度は、ヘリウムと比較して1.1～1.7倍と高かった。

他方、シグナルノイズ比については、水素はヘリウムと比較して6.8～40.1%低く、窒素はヘリウムと比較して2.1～8.9%と顕著に低かった。水素、窒素がヘリウムよりもシグナル強度が高かったにも関わらず、S/Nが大幅に低かった原因として、高いノイズ強度が影響したと考えられる。また、窒

素で極端に感度が低下した原因として、窒素がイオン源において選択的に除去されず、分析部に導入されたことが考えられた。

3) 検量線の直線性の比較

いずれのキャリアガスを用いた測定においても決定係数 (R^2) 0.9853~1.000となり、概ね良好な直線性を示した。

4) 検出限界及び定量限界の比較

本研究では、検出限界付近の濃度(注入量 0.1 ng)の5回繰り返し測定の標準偏差 (σ)の3倍 (3σ)を検出限界、10倍 (10σ)を定量限界とした。

いずれのキャリアガスにおいてもヘリウムと遜色なく測定できることが明らかとなった。公益社団法人日本薬学会環境・衛生部会が示す衛生試験法に基づいて100 mL/minの流速で24時間室内空気をサンプリングした際(144 L = 0.144 m³)に、いずれのキャリアガスを用いた場合においても室内濃度指針値の1/100程度まで定量分析することが可能であった。

C2: 総揮発性有機化合物(TVOC)の在り方に関する研究

26軒の居住住宅で室内空気を採取し、加熱脱離-GC/MSによりTVOC濃度を測定した結果、平均値は585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、中央値は443 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。一方、Deconvolution解析を行った結果、脂肪族炭化水素類の他に、芳香族炭化水素類、環状シロキサン、香料(テルペン類)などが主要なTVOC構成成分であることが明らかとなった。

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 高湿度条件下における除湿管の有用性および定量値への影響

クリーンベンチをチャンバーに見立てて加湿することで、チャンバー内は平均で70%前後と、概ね湿度の高い条件を作ることが出来た。よって、本チャンバーを用いて、以降の加湿条件の実験を行った。TD法およびSE法ともに、除湿管を使用

した際に回収率の低下がみられ、除湿剤である過塩素酸マグネシウムへの吸着が疑われた。本加湿条件では、除湿管がなくてもVOCは概ね良好な回収率とピーク形状が得られたため、除湿管無しでも十分測定可能であった。

② SVOCの同時分析法の構築

計11化合物の最適な分離条件を検討した結果、完全分離を達成した。さらに、添加回収試験は85-105%の良好な回収率が得られ、定量下限値は室内濃度指針値の1/50~1/100程度まで定量することが出来た。

③ フタル酸エステル類におけるSE法およびTD法の2法同時捕集

検討した3化合物のうち、DEPおよびDnBPほどの捕集条件でも概ね良好な結果が得られたが、DEHPは特にばらつきが大きかった。その原因を精査した結果、TD法は操作ブランクの影響を受けやすく、十分な捕集量を確保することで、SE法とTD法の濃度差を小さくすることができると推察された。

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

室内濃度指針値策定物質であるToluene, o-, m-, p-Xylene, Ethylbenzene, Styrene, p-DichlorobenzeneおよびTetradecaneを対象として策定された標準試験法を日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2022に収載した。

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

[1] ISO-16000-33改訂

ISO/TC146/SC6 WG 20オンライン会議は2021年9月20日に開催された。参加者は7カ国から14名が参加した。日本の代表団は田辺 新一、酒井 信夫、伊藤 一秀、金 炫兌が参加した。WG 20では、ISO16000-33の改正案について議論された。

2020年度は、本研究のグループから「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」をISO-16000-33の本文の第4章に含めることを提案したが、日本から提案したフタル酸エステル類の測定・分析方法は付属書として含めることとなった。付属書への参照は本文第4章の概要に記載した。2020年12月末までNWIP投票が行われ、全会一致で可決された。また、2021年度も前年度と同様にオンライン会議が行われた。日本から提案された作業原案 (WD) について審議され、ISO-16000-33のAnnex Bに技術的な情報などを追記することで合意した。また、WG20は来年の春に会議を開催し、委員会原案 (CD) を登録することとした。委員会原案投票はスキップして、2022年9月にフランスサントニで行われる国際会議で照会原案 (ISO/DIS) を審議することになった。

[2] 知覚空気質の測定方法

① 化学物質分析結果

アルコール噴霧実験前後の化学物質濃度は全条件で概ね実験前の方が多かった。一方でCase B, CではAcetaldehydeにおいて実験後の方が気中濃度は大幅に上昇した。Case Cのアルコール噴霧実験前の測定では130 ml/m²のアルコール塗布から82日が経過していたがAcetaldehyde気中濃度は1,680 µg/m³と高く、室内濃度指針値を大幅に超過した。Case B, Cにおいてはアルコール噴霧から5日後においてもAcetaldehyde気中濃度は実験前と比較して実験後の方が高かった。

② 臭気評価結果

空気許容度はアルコール噴霧の有無に関わらず全臭気評価時刻で受け入れられる側の申告であったが、Case Aの方がCase B, Cよりも全評価時刻で空気許容度の平均値は高かった。快不快申告の平均値はCase Cの31時間時を除いて全評価時刻で、アルコール噴霧の有無に関わらず快適側の申告となった。一方で、Case Aの方がアルコールを噴霧したCase B, Cよりも、より臭気を快適に感じていた。

④ 溶剤実験結果

α-Pinene および Ethanol の酸化過程では Formaldehyde, Acetaldehyde, Acetone が生成することが明らかになった。木材から主に放散されるα-PineneとAlcoholの気中化学反応は生じないことが明らかになった。

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

1) 化学物質の検出頻度

床材からの検出頻度が50%以上であった物質は2E1H, DEP, TXIB, DnBP, DEHP, D6であり、DnBP, DEP, TXIBがDEHPより高い検出頻度を示した。また、TBP, TCEP, DBA, DEHT, DOAは検出しなかった。

壁材からの検出頻度が50%以上であった物質は2E1H, TEXANOL, DEP, TXIB, DnBP, DEHP, DNOPであり、BHT, TBP, TCEP, DBA, TPP, DOAなどは検出限界以下であった。

2) 床材からのSVOC放散速度

2E1Hの放散速度は0.19～6.16 µg/m²・h (平均値1.17 µg/m²・h) であった。DEPの検出頻度は80.0%で、放散速度は0.05～0.09 µg/m²・h (平均値0.07 µg/m²・h) であった。TXIBの検出頻度は66.7%であり、放散速度は0.05～0.58 µg/m²・h (平均値0.23 µg/m²・h) であった。DnBPの検出頻度は86.7%で、放散速度は0.07～1.10 µg/m²・h (平均値0.39 µg/m²・h) であった。DEHPは0.59～11.05 µg/m²・h (平均値3.50 µg/m²・h) であった。DEHPは他の物質より建材の面積当たり放散量が多く測定されている。D6の検出頻度は100%で、放散速度は0.04～0.20 µg/m²・h (平均値0.10 µg/m²・h) であった。

3) 壁材からのSVOC放散速度

2E1Hは6個の建材全てから検出され、放散速度は0.37～2.45 µg/m²・h (平均値1.28 µg/m²・h) であった。TEXANOLの検出頻度は83.3%であり、放散速度は0.09～0.95 µg/m²・h (平均値1.28 µg/m²・h) であった。DEPは6個の建材中5個の建材から検出され、放散速度は0.06～0.26 µg/m²・h (平均値0.13 µg/m²・h) であった。TXIBは0.12～0.32 µg/m²・

h (平均値0.20 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。DnBPの検出頻度は100%であり、放散速度は0.25~1.14 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.52 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。DEHPは0.04~5.76 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値1.39 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。建材の種類によってDEHPの放散速度が大きく異なることが分かった。DNOPは0.04~0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値は0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。

4) 気中SVOC濃度

2E1Hは0.13~2.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均値1.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。DEPは0.14~0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。TXIBの検出頻度は53.3%で、気中濃度は0.16~1.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均値0.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。DnBPの検出頻度は60.0%で、気中濃度は0.12~1.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均値0.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。DEHPの検出頻度は33.3%と低く、気中濃度は0.14~12.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均値3.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。D6の検出頻度は77.8%で、気中濃度が0.14~0.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均値0.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。その他の化学物質については、C16が0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DNOPが0.14~0.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。TEXANOLが0.51~1.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、住宅によって濃度差が見られた。BHTは0.16~0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DOAは0.20~0.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TPPは0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、DINPは0.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

C7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

質量ベースのDEHP蓄積量の推計結果を基に換算係数を適用して面積ベースに換算し、室内用途比率を考慮することで、室内におけるDEHP蓄積量を推計した。2019年に着目すると、一般フィルム用途が全体の46%、壁紙用途が39%、床材用途が6%を占める結果となった。これら3製品が主に、室内環境中で使用されると仮定し、1住宅あたりの蓄積量を推計したところ、2018年において、一般フィルムが32.14 m^2 、壁紙が48.27 m^2 、床材が9.44 m^2 という推計結果となった。

マイクロチャンバー放散実験により得られた汎用的なDEHP含有製品による放散速度を求めたところ、壁紙Bが最大の19.85 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ となった。壁紙Aでは6.75 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ となり、ほとんど同様の塩ビ系壁紙製品でも、DEHP放散速度の違いが確認され

た。また、一般フィルムを想定した遮光シートと電線被覆材からは、DEHP放散は確認できなかった。

現実的なDEHP含有建材の使用面積(壁面4面を放散面と想定)を想定して室内DEHP濃度分布を解析したところ、室内平均濃度は0.982 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、吸入平均濃度は0.791 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。

また、裸体を仮定した場合の人体皮膚表面におけるDEHP吸着フラックス分布ならびに気道内でのDEHP吸着フラックス分布について解析した結果、数値人体表面吸着フラックスは0.00143 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、経気道内吸着フラックスは0.00207 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ となった。

MFAより室内でのDEHP含有建材の使用量を推定した上で、小形チャンバー法を併用してDEHP放散速度の境界条件を設定し、室内CFDを連続して実施する数値解析手法を検討した。壁面4面にDEHP放散面を設置した解析では、既往研究における実測値(最大値2.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度)と同等レベルの室内濃度予測結果となった。また、CFD-CSPの統合解析を行うことで、経気道曝露ならびに経皮曝露の予測が可能となることも確認した。

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、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。2021年度は、Octamethyl cyclotetrasiloxan (D4)、Decamethyl Cyclopentasiloxan (D5)、プロピレングリコール、1,3-ブタンジオール、炭素数8~16の脂肪族飽和炭化水素類(オクタン、ノナン、デカン、ドデカン、トリデカン、ヘキサデカン)、トリメチルベンゼン(1,2,4-, 1,3,5-, 1,2,3-の3異性体)、ベンゼン、ナフタレン、エチルトルエンを調査対象としている。情報収集作業は計画通りに進捗しており、2021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

① 諸外国の室内空気質ガイドライン

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

令和3年度以降に公表された室内空気質ガイドラインでは、WHOが空気質ガイドラインをアップデートしたことが大きな動きであった。粒子状物質(PM_{2.5}, PM₁₀)、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが最新の科学的知見に基づき改正された。

諸外国では、ドイツ連邦環境庁がメタクリル酸メチル、ベンゾ-a-ピレン、アセトン、2-プロパノール、一酸化炭素、塩化ビニルの室内空気質ガイドラインを公表した。一酸化炭素は、WHOの空気質ガイドラインを踏まえて改正したものである。カナダ保健省では、アクロレインと二酸化炭素の室内空気質ガイドラインを公表した。ANSESについては、2021年度に新たに公表された室内空気質ガイドラインはなかった。

② 室内空気汚染物質に関連する発がん性分類のアップデート

WHOの国際がん研究機関(IARC)による発がん性分類のアップデートのうち、2021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。1,1,1-トリクロロエタンが発がん性分類3(ヒトに対する発がん性を分類できない)から2A(ヒトに対しておそらく発がん性がある)に格上げとなっている。また、今年度以降のワーキンググループでは、室内ダストに含まれる可能性のある物質の検討が予定されている。分担研究者の東は、そのワーキンググループに専門委員として参加しており、現在、発がん性評価文書作成の作業中である。

D. まとめ

D1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の

開発

- 1) VOCの測定感度(シグナル強度及びシグナルノイズ比)をキャリアーガス毎に比較した結果、感度はヘリウムで最も高く、水素、窒素と続いた。
- 2) いずれのキャリアーガスにおいても0.1-100 µg/mLの濃度範囲で良好な直線性を示した。
- 3) 室内濃度指針値の1/100程度まで定量が可能であった。
- 4) 窒素を用いた分析では測定に時間を要するものの、検出限界及び定量限界共にヘリウムと遜色ない数値を示した。

これらの結果より、室内空气中揮発性有機化合物のGC/MS分析に、ヘリウム代替キャリアーガスとして水素もしくは窒素を適用できることが示唆された。

D2: 総揮発性有機化合物(TVOC)の在り方に関する研究

本研究の結果、TVOC濃度の中央値443 µg/m³、TVOC暫定目標値の超過率58%という値が得られた。これらの値は、厚生労働省/国立医薬品食品衛生研究所による従前からの全国実態調査で報告されているTVOC濃度、超過率と概ね一致していた。

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

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

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り

バイスとして、今年度は3つの項目について検討した。その結果、①今回の実験条件における除湿管の使用では、VOCは除湿剤に吸着され、回収率が低下する可能性が示唆された。②SE法におけるSVOC 11種同時分析法を検討した結果、完全分離を達成し、良好な回収率および定量下限値が得られた。③フタル酸エステル類のSE法およびTD法の2法における同時捕集の定量値に差異について検討した結果、TD法で十分な捕集量を確保することで解決できると推察された。引き続き、室内空气中化学物質の採取方法と測定方法の拡充に努める。

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

室内濃度指針値策定物質であるToluene, *o*-, *m*-, *p*-Xylene, Ethylbenzene, Styrene, *p*-DichlorobenzeneおよびTetradecaneを対象として策定された標準試験法を日本薬学会編 衛生試験法・注解2020 追補2022に収録した。

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

[1] ISO-16000-33 (新規格案)

研究グループが提案した精度の高いフタル酸エステル類の測定・分析方法を国際規格化するためにISOのオンライン国際会議に参加した。フタル酸エステル類の測定・分析方法をISO 16000-33:2017 Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)に新規提案し、現在、Annex Bとして委員会原案 (CD) に提案することになった。その後、委員会投票はスキップして、2022年9月に開催されるWG 20で照会原案 (ISO/DIS) として審議する予定である。

[2] 知覚空気質の測定方法

・化学物質分析

木材に 130 mL/m² のアルコールを塗布した場合は、アルコール塗布から 82 日が経過しても Acetaldehyde 気中濃度が 1,680 µg/m³ と高かった。また、Case B, C はアルコール噴霧から実験後化学

物質測定 of Acetaldehyde 気中濃度は、実験前化学物質測定と比較して非常に高かった。自然乾燥処理が施された無塗装のスギ材にアルコールが接触した場合には長期間 Acetaldehyde が室内濃度指針値を上回る濃度で放散し続けることが明らかになった。

・臭気評価

木材へアルコールを噴霧した場合にはアルコールを噴霧しない場合と比較して臭気評価はわずかに低下するが、許容できる側の快適側内の変動であった。一方で、木材へアルコールを噴霧した場合にはチャンバー内の Acetaldehyde 気中濃度は室内濃度指針値を大幅に超過していることから、室内空気質の悪化を人間が知覚していないことが示された。要因として、木材から揮発するテルペン類の作用が考えられる。α-Pinene はフィトンチッドの主成分とされ、悪臭を中和する作用がある。木材から放散するテルペン類が Acetaldehyde と混合することで生じた複合臭気のレベルが元の悪臭臭気よりも低下した可能性がある。

D6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

マイクロチャンバーを用いたオンサイト測定方法の開発により、実空間における仕上げ材からのSVOC放散速度の測定が可能になることから、マイクロチャンバーの測定機能の拡大が期待できる。

D7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

本年度は、DEHP 個人曝露量予測のために人体幾何形状と気道形状を再現した *in silico* 人体モデルのプロトタイプモデルを作成し、マテリアルフロー分析による DEHP の社会ストックデータから室内での空気汚染レベルと個人曝露量予測を連続してシームレスに解析する新たな数値解析手法を確立した。

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、継続的に室内空気質ガイドラインを設定
 している。フランスとカナダも、ドイツほど頻度
 は高くないが、継続的に室内空気質ガイドライン
 を新設している。WHO は、各国の取り組みの基礎
 データとして、空気質ガイドラインを公表してき
 たが、2021 年度、粒子状物質 (PM_{2.5}, PM₁₀), オゾ
 ン, 二酸化窒素, 二酸化硫黄, 一酸化炭素の空気質
 ガイドラインが最新の科学的知見に基づき改正さ
 れた。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、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

なし

F. 研究発表

1. 著書

- 1) 香川聡子, 遠藤治, 斎藤育江, 酒井信夫, 神野
 透人, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治: 有機物質
 / 揮発性有機化合物 / 固相吸着-加熱脱離-
 ガスクロマトグラフィー / 質量分析法によ
 る定量 (新規), 公益社団法人日本薬学会環
 境・衛生部会, 衛生試験法・注解2020 追補
 2022, 仙台共同印刷 (2022).
- 2) Azuma K, Jinno H: Toxicity of semivolatile
 organic compounds, *Advances in the Toxicity of
 Construction and Building Materials*, Elsevier,
 (2022).
- 3) 東賢一: 生活環境と健康, 新版生活健康科学
 第2版, 三共出版 (2022).

2. 論文発表

- 1) 大嶋直浩, 高橋夏子, 高木規峰野, 田原麻衣子,
 酒井信夫, 五十嵐良明: 国立医薬品食品衛生
 研究所 殿町新庁舎における室内空気質につ
 いて (第2報), 国立医薬品食品衛生研究所報
 告, 139, 59-63 (2021).
- 2) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Analysis
 of volatile organic compounds emitted from
 bedding products, *BPB Reports*, 4, 182-192 (2021).
- 3) 森葉子, 植田康次, 櫻井有紀, 青木明, 岡本誉
 士典, 神野透人: 小型インピンジャーを用い
 る通気法による食品中シアン化合物の分析,
食品衛生学雑誌, 62, 162-165 (2021).
- 4) Fujinami K, Dan K, Tanaka-Kagawa T, Kawamura
 I: Anti-aging effects of polyoxometalates on skin,
Applied Sciences, 11, 11948 (2021).
- 5) Hanioka N, Saito K, Isobe T, Ohkawara S, Jinno H,
 Tanaka-Kagawa T: Favipiravir biotransformation
 in liver cytosol: Species and sex differences in
 humans, monkeys, rats, and mice,
Biopharmaceutics & Drug Disposition, 42, 218-
 225 (2021).
- 6) Kim H, Kim T, Tanabe S: The contamination of
 DEHP on the surfaces of PVC sheet and risk of
 infants, *Journal of Asian Architecture and Building
 Engineering*, 21, *in press* (2022).
- 7) Sakamoto M, Kuga K, Ito K, Beko G, Li M,
 Williams J, Wargocki P: CO2 emission rates from
 sedentary subjects under controlled laboratory
 conditions, *Building and Environment*, 211,
 108735 (2022).
- 8) Yanagi U, Kato S, Nagano H, Ito K, Yamanaka T,
 Momoi Y, Kobayashi H, Hayama H: Dispersion
 characteristics of oral microbial communities in a
 built environment, *Japan Architectural Review*, 5,
 225-232 (2022).
- 9) Salati H, Khamooshi M, Dong J, Ito K, Fletcher D,
 Vahaji S, Inthavong K: Exhaled Aerosol and Jet
 Flow Characterization During Nasal Sneezing,

- Aerosol and Air Quality Research, 22, 210338 (2022).
- 10) Fan X, Sakamoto M, Shao H, Kuga K, Lan L, Ito K, Wargocki P: Emission rate of carbon dioxide while sleeping, *Indoor Air*, 31, 2142-2157 (2021).
 - 11) Muttakin M, Pal A, Rupa MJ, Ito K, Saha BB: A critical overview of adsorption kinetics for cooling and refrigeration systems, *Advances in Colloid and Interface Science*, 294, 102468 (2021).
 - 12) Khoa ND, Phuong NL, Tani K, Inthavong K, Ito K: Computational fluid dynamics comparison of impaired breathing function in French bulldogs with nostril stenosis and an examination of the efficacy of rhinoplasty, *Computers in Biology and Medicine*, 134, 104395 (2021).
 - 13) Kuga K, Ito K, Wargocki P: The effects of warmth and CO₂ concentration, with and without bioeffluents, on the emission of CO₂ by occupants and physiological responses, *Indoor Air*, 31, 2176-2187 (2021).
 - 14) Kuga K, Ito K, Chen W, Wang P, Fowles J, Kumagai K: Secondary indoor air pollution and passive smoking associated with cannabis smoking using electric cigarette device – Demonstrative in silico study, *PLOS Computational Biology*, 17, e1009004 (2021).
 - 15) Lim E, Sandberg M, Ito K: Returning Frequency of Pollutants for Local Domain in the presence of Returning and Recirculating Air Flow in Indoor Environment, *Indoor Air*, 31, 1267-1280 (2021).
 - 16) Wang Y, Murga A, Long Z, Yoo SJ, Ito K: Experimental study of oil mist characteristics generated from minimum quantity lubrication and flood cooling, *Energy and Built Environment*, 2, 45-55 (2021).
 - 17) Sotokawa H, Chung J, Yoo SJ, Ito K: Sensitivity numerical analyses for identifying rate-limiting factors influencing total energy exchange efficiency in energy recovery ventilator, *Indoor and Built Environment*, 30, 245-263 (2021).
 - 18) Xu C, Khoa ND, Yoo SJ, Zheng X, Shen S, Ito K: Inhalation Airflow and Ventilation Efficiency in Subject-Specific Human Upper Airways, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 285, 103587 (2021).
 - 19) Wolkoff P, Azuma K, Carrer P. Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: the role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 233: 113709. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709> (2021).
 - 20) Glorennec P, Shendell DG, Rasmussen PE, Waeber R, Egeghy P, Azuma K, Pelfrène A, Le Bot B, Esteve W, Perouel G, Pernelet Joly V, Noack Y, Delannoy M, Keirsbulck M, Mandin C. Towards setting public health guidelines for chemicals in indoor settled dust? *Indoor Air* 31:112–115 (2021).
 - 21) Araki A, Azuma K, et al. Occupational exposure limits for acetaldehyde, 2-bromopropane, glyphosate, manganese and inorganic manganese compounds, and zinc oxide nanoparticle, and biological exposure indices for cadmium and cadmium compounds and ethylbenzene, and carcinogenicity and reproductive toxicant classifications. *J Occup Health*; 63: e12294. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12294> (2021).
 - 22) 東賢一: 職域におけるオフィスの室内環境に関連する症状とそのリスク要因: いわゆるシックビルディング症候群. *産業医学レビュー*; 33, 263-278 (2021).

3. 学会発表

- 1) 吉富太一, 西以和貴, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 上村仁, 酒井信夫: N-メチルカルバメート系農薬の GC/MS 分析時の分解挙動について,

- 第 58 回全国衛生化学技術協議会年会, 2021 年 11 月
- 2) 酒井信夫: 室内濃度指針値の改定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)の概要説明と地方衛生研究所の参画の意義, 第 58 回全国衛生化学技術協議会年会, 2021 年 11 月
 - 3) 酒井信夫: 標準試験法の国内・国際規格化と GC/MS のヘリウム代替キャリアガスの検討, 第 58 回全国衛生化学技術協議会年会, 2021 年 11 月
 - 4) 酒井信夫, 田辺新一, 金炫兌, 伊藤一秀, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 斎藤育江, 香川(田中)聡子, 神野透人, 五十嵐良明: ISO 16000-33: GC/MS を用いたフタル酸エステル類の定量の改訂について, 2021 年室内環境学会学術大会, 2021 年 12 月
 - 5) 吉富太一, 西以和貴, 上村仁, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 酒井信夫: 室内空気における準揮発性有機化合物標準試験法の開発 フタル酸エステル類と殺虫剤の一斉分析法について, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
 - 6) 大嶋直浩, 高木規峰野, 酒井信夫, 五十嵐良明: 室内空気中揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガスの比較, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
 - 7) 酒井信夫, 田原麻衣子, 大嶋直浩, 大貫文, 斎藤育江, 千葉真弘, 大泉詩織, 田中礼子, 山之内孝, 遠藤治, 鳥羽陽, 中島大介, 藤森英治, 神野透人, 香川(田中)聡子: 衛生試験法・注解 2020 追補 2022 空気試験法・空気試験法: 揮発性有機化合物・捕集剤による乾式採取(アクティブ法)ー加熱脱着ーガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量(新規), 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
 - 8) 高橋直也, 中嶋康一郎, 大河原晋, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 森葉子, 磯部隆史, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: Matrix metalloproteinases のヒト気管および肺組織における発現個体差, 第 48 回日本毒性学会学術年会, 2021 年 7 月
 - 9) 中嶋康一郎, 高橋直也, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 森葉子, 楠木麻菜美, 加藤水基, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: ヒト気管および肺組織における Glucagon-like peptide-1 受容体の発現とその個体差, フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー, 2021 年 9 月
 - 10) 高橋直也, 中嶋康一郎, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 森葉子, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: 気道リモデリングに関与する生体内因子の遺伝子発現レベルとその個体差, フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー, 2021 年 9 月
 - 11) 藤波克之, 団克昭, 香川(田中)聡子, 河村伊久雄: 真菌・抗ウイルス活性を発揮するポリ酸化合物(PM)の実用化に向けた機能性評価, フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー, 2021 年 9 月
 - 12) 森葉子, 楠木麻菜美, 加藤水基, 青木明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 香川(田中)聡子, 神野透人: 花生姜抽出物による TRPA1 を介したマウス腸管内分泌細胞株 STC-1 の GLP-1 分泌促進, フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー, 2021 年 9 月
 - 13) 森葉子, 青木明, 岡本誉士典, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 香川(田中)聡子, 神野透人: フタル酸エステル類による TRPA1 活性化の種差, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
 - 14) 小池加那子, 河村伊久雄, 三浦伸彦, 森葉子, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 神野透人, 香川(田中)聡子: ヒト組織における Vitamin D 受容体の発現とその個体差, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
 - 15) 中嶋康一郎, 高橋直也, 河村伊久雄, 三浦伸

- 彦, 森葉子, 磯部隆史, 大河原晋, 埴岡伸光, 神野透人, 香川 (田中) 聡子: ヒト組織における Glucagon-like peptide-1 受容体の発現とその個体差, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
- 16) 古田貴大, 上野朱璃, 金井智久, 川端雄資, 宇津木貴子, 白畑辰弥, 中森俊輔, 小西成樹, 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 - Evodiamine 誘導体の不斉合成研究とその水溶性, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
- 17) 金井智久, 中森俊輔, 平岡恵美, 白畑辰弥, 小西成樹, 香川 (田中) 聡子, 神野透人, 小林義典: 二量体 Nuphar alkaloids (16 種類) の TRPV1 活性化能に関する構造活性相関の解明, 日本薬学会第 142 年会, 2022 年 3 月
- 18) 益崎慶人, 金炫兌, 小金井真, 田辺新一: TXIB 及び TEXANOL の放散挙動に関する研究, 日本建築学会大会, 2021 年 9 月
- 19) 益崎慶人, 金炫兌, 小金井真, 田辺新一: 仕上げ材からの SVOC 放散速度測定, 空気調和・衛生工学会大会, 2021 年 9 月
- 20) Masuzaki Y, Kim H, Koganei M, Tanabe S: A Study on Emission Behavior of SVOC Material in Real Space Model, Healthy Buildings 2021, 2022 年 1 月
- 21) 田崎健悟, 金炫兌, 小金井真, 田辺新一: 現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物 (SVOC) の放散速度測定—一般住宅における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定—, 日本建築学会中国支部研究発表会, 2022 年 3 月
- 22) Kuga K, Sakamoto M, Wargocki P, Ito K: Numerical Investigation of Human CO₂ Emission in a Personalized Work Environment, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- 23) Muta R, Yoo SJ, Kim H, Matsumoto T, Ito K: Downscaling from material flow analysis to indoor CFD for health risk assessment associated with DEHP exposure, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- 24) Fan X, Sakamoto M, Shao H, Kuga K, Lan L, Ito K, Wargocki P: Human CO₂ emission rates during sleeping, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- 25) Khoa ND, Phuong NL, Takahashi K, Ito K: Computational Fluid Dynamics Application to Investigate Man-Made Vitreous Fibers Transportation and deposition in Realistic Human Respiratory System, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 26) Kizuka R, Khoa ND, Kuga K, Ito K: Particle Dispersion Analysis in a Numerical Airway Model Under Transient Breathing, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 27) Li H, Kuga K, Khoa ND, Ito K: Regional Deposition of Airborne SARS-CoV-2 Laden Droplets in the Upper Airway and Its Effects Using Host-Cell Dynamics, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 28) Sakamoto M, Kuga K, Ito K, Wargocki P: Numerical investigation of alveolus gas exchange for human CO₂ emission in the chamber experiment, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 29) Murota K, Hyodo S, Kang Y, Yoo SJ, Takenouchi K, Tanabe S, Ito K: Realistic Three-Dimensional Modeling of Clothing and Heat and Mass Transfer Analysis using Computational Fluid Dynamics Part 2: Clothing-Centered Hygrothermal-Chemical Transfer Analysis, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 30) Hyodo S, Murota K, Kang Y, Yoo SJ, Takenouchi K, Tanabe S, Ito K: Realistic Three-Dimensional Modeling of Clothing

and Heat and Mass Transfer Analysis using Computational Fluid Dynamics Part 1: Development of Detailed 3D Clothing Model and Air Flow Analysis, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA

- 31) Ma M, Yoo SJ, Ito K: Thermal comfort analysis coupled with computational fluid dynamics using computer simulated person, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 32) Kurokawa A, Yamauchi S, Yoo SJ, Ito K: Computational Fluid Dynamics analysis of flow and airborne particle dispersion in a transit bus cabin, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- 33) Ito K: In Silico Modeling for Airborne Transmission of Inhaled Virus-Laden Droplets and Host Cell Dynamics in the Respiratory System, Keynote Speech, TSIEQ 2021, June 3-4, 2021, Tainan, Taiwan
- 34) Ito K, Integrated CFD and In Silico Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, Keynote Speech, ISHVAC 2021, November 24-26, Seoul, South Korea
- 35) Li H, Kuga K, Khoa ND, Ito K: Effects of Initial Conditions and Parameters on the Prediction of SARS-CoV-2 Viral Load in the Upper Respiratory Tract Based on Host-Cell Dynamics, IEICES 2021, IGSES, Kyushu University.
- 36) Ito K: In Silico Human Model based Indoor Design for Healthy Environment, 2021 International Conference of Green Building and Low Carbon Technology, China, 2021, Xi'an University of Architecture and Technology

- 37) Ito K: Computer simulated person for predicting inhalation exposure and airborne infection, SCONNA 2022, Oklahoma, USA, 2022
- 38) Ito K: In Silico Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, IAQVEC Webiner, 2022.03
- 39) Azuma K: Indoor air quality and health effects in Japanese modern office buildings. the 33rd International Congress on Occupational Health 2022, Special Session: Indoor air quality in modern office buildings, Global digital congress, Melbourne-Rome, February 6-10, 2022.

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