

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、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
高橋 夏子	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
兼俊 明夫	北海道立衛生研究所
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
山之内 孝	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
水田 佑香	名城大学 薬学部
青木 望実	名城大学 薬学部
東 珠希	名城大学 薬学部
井上 凌子	名城大学 薬学部
尾嶋 朱莉	名城大学 薬学部
金山 理恵	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
磯部 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
小池 加那子	横浜薬科大学 薬学部
高橋 直也	横浜薬科大学 薬学部
中嶋 康一郎	横浜薬科大学 薬学部
堤 亜里紗	横浜薬科大学 薬学部

小林 叶奈	横浜薬科大学 薬学部
浦島 桃香	横浜薬科大学 薬学部
中向井 璃奈	横浜薬科大学 薬学部
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

令和3年度

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、室内空气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

μg/m³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、富士フイルム和光純薬社、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イ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イ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 (エアテック社製)

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(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地材を1 m²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、JISA1901で定められる壁面想定を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散量の測定を行った。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散量の測定を行った。

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、10 L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 μL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 (±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の間で自由に換えられる。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以上の荷重がかけ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。

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

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

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NOEAL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

いずれのキャリアー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 (\cdot) の3倍 ($3\cdot$) を検出限界、10倍 ($10\cdot$) を定量限界とした。

いずれのキャリアー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 ($144\text{ L} = 0.144\text{ m}^3$) に、いずれのキャリアー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 1 1 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 は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 サンド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

とか明らかになった。

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, TMPD-DIB, DnBP, DEHP, D6であり, DnBP, DEP, TMPD-DIB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, TMPD-MIB, DEP, TMPD-DIB, 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 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値1.17 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。DEPの検出頻度は80.0%で, 放散速度は0.05~0.09 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。TMPD-DIBの検出頻度は66.7%であり, 放散速度は0.05~0.58 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.23 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。DnBPの検出頻度は86.7%で, 放散速度は0.07~1.10 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.39 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。DEHPは0.59~11.05 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値3.50 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) 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 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) 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 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値1.28 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。TMPD-MIBの検出頻度は83.3%であり, 放散速度は0.09~0.95 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値1.28 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) 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 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (平均値0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) であった。TMPD-DIBは0.12~0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (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。TMPD-DIB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。TMPD-MIB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VOC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($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10})、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VOCのGC/MS分析に、ヘリウム代替キャリア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リバイスとして、今年度は3つの項目について検討した。その結果、①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

[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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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素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。

令和 4 年度

A. 研究目的

A1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

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

A2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

我が国では、室内空気質の総体的な指標として、TVOC に 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の暫定目標値が設けられている。この暫定目標値は、室内の VOC 実態調査の結果か

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

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

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

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

A4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

一般居住環境の室内空気が室内濃度指針値あるいは暫定目標値を満たしているか否かを評価するためには、標準化された室内空気の測定法、すなわち採取方法ならびにその分析方法によって得られた結果に基づいて判断することが必要である。本研究では、最新の分析技術を基に開発された汎用性の高い標準試験法の国内規格化を目的としている。

A5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

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

A6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

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

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

A7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

室内環境汚染化学物質の曝露評価の為に *in silico* 予測モデルを開発した上で、標準試験法に基づいた化学物質濃度測定結果と *in silico* 予測モデルを併用して経気道曝露濃度ならびに経皮曝露濃度を定量的に予測する技術を確立する。今年度は、室内に形成される不均一濃度分布と経気道曝露濃度までを定量的に評価する計算流体力学と統合した *in silico* 人体モデルを開発した。

A8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況

調査・ハザード情報の収集

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

B. 研究方法

B1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

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

B2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

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

B3: 室内空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) 測定対象物質

室内濃度指針値が設定されているDnBPおよびDEHPに、DEP、フタル酸ジ-n-プロピル (DPrP)、フタル酸ジイソブチル (DiBP)、フタル酸-n-ブチルベンジル (BBP)、フタル酸ジペンチル (DPP)、フタル酸ジシクロヘキシル (DCHP) およびフタル酸ジ-n-ヘキシル (DnHP) を加えた9物質とした。

2) LC/MS分析条件の検討

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

3) 検量線

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

4) 検出下限値および定量下限値

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

B4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

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

B5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

本研究課題において開発された固相吸着-溶媒抽出GC/MS法によるフタル酸エステル類の標準試験法は日本薬学会編 衛生試験法・注解2020に公表されている。この規格を国際標準化するために、我々は、ISO/TC146/SC6国際会議に参加し、ISO

16000-33: Determination of phthalates with gas chromatography/mass spectrometry のシステム テックレビューを行っている。今年度は2022年9月に開催された国際会議に参加し、国際規格化に関する審議を行った。

B6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

1) マイクロチャンバー法(JIS A 1904)

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

2) オンサイト測定方法

オンサイト測定機には2つのポンプが設置されており、1つは30 mL/minの空気を供給、もう1つのポンプは15 mL/minを吸引するように調整した。測定前にチャンバー内に付着しているSVOCを脱着するため、加熱装置を用いて1時間 220°Cで加熱処理を行った。加熱処理後、ステンレス製の専用箱にチャンバーを入れて測定現場まで運搬した。測定場所を選定し、測定面をエタノールで拭取後、測定表面を乾燥させ、直径82 mmの正円形に切り取ったアルミホイルを敷設した上にチャンバーを設置した。床面からの放散試験を24時間行った後、チャンバーを測定面から取り外し、ステンレス製専用箱に格納して実験室に持ち帰り、加熱脱着装置でチャンバー内表面に付着したSVOC物質を回収した。

3) 壁面のマイクロチャンバー固定装置

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

4) 測定対象物質

測定対象SVOCは、2E1H, 2-エチルヘキシルアクリレート, BHT, DEP, TBP, リン酸トリス, DBA, DnBP, TPP, DOA, DEHP, TMPD-MIB, TMPD-DIB, DNOP, DINP, DIDP, テレフタル酸ジオクチル, ノニルフェノール, UV-320, UV-326, UV-327, UV-328の22物質とした。

5) 測定対象住宅

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

B7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

室内空気中の有害物質の曝露濃度基準は、本来、動物試験における経気道曝露時の無毒性量であるにも係わらず、実際には環境空気中の有害物質濃度の基準（閾値）として採用される場合が多い。空気環境設計上、室の代表濃度をこれらの閾値で代表することは第一次近似として一定の妥当性があると思われるが、室内環境中での実質的な経気道曝露を考慮すれば、室の平均濃度と呼吸濃度には大きな乖離が存在する可能性がある。この経気道曝露濃度の正確な予測評価に向けて、非定常呼吸を再現した数値人体モデルと数値気道モデル、室内濃度場解析を統合解析することで、曝露経路と曝露濃度の正確な予測を行い、その上で健康リスク評価を行う一連の数値解析手法を開発する。室内空間から人体呼吸域、さらに鼻腔、口腔を介して気道内まで連続した解析

領域を再現することで、室内汚染物質濃度分布と呼吸によって形成される気道内汚染物質濃度分布までを高精度に予測することが可能となる。加えて、気道内壁面境界条件として生理的薬物動態 (Physiologically Based Pharmacokinetic; PBPK) モデルを統合することで、気道粘膜上皮組織に沈着後の汚染物質の体内動態と人体影響を定量的に評価することも可能となる。

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

本研究では気道粘膜上皮界面での汚染物質吸収と体内動態を予測するため、*in silico*人体モデルの気道内壁面境界条件としてPBPK-CFDモデルを適用した。経気道暴露予測においては、ガス状汚染物質の気道粘膜上皮表面への沈着、拡散輸送、代謝クリアランス、血流による上皮組織外への輸送を数理的に再現するため、3層からなる生理的薬物動態PBPKモデルを導入している。

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

B8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況

調査・ハザード情報の収集

1) ハザード情報

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

2) 国際的な規制動向の調査

国際機関や国内外の室内空気質規制に関する報告書、関連学会の資料、関連論文をインターネットおよび文献データベースで調査した。近年、主だった活動が見受けられた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取り扱うものではなく、研究倫理委員会などに諮る必要のある案件ではないと判断している。

C. 研究結果および考察

C1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

加熱脱離法および溶媒抽出法を用い、添加回収試験を冬季と夏季に2回実施した。加熱脱離法では室内空気中のエタノール濃度の違いによる回収率の差異は認められず、これらの測定に室内におけるエ

タノール濃度が及ぼす影響は小さいと考えられた。溶媒抽出法ではエタノール高濃度条件下、夏季における2E1HとTPMIの回収率が高くなり、これらの測定に室内におけるエタノール濃度が影響を及ぼす可能性が考えられた。他方、溶媒抽出法に使用されるカーボンビーズアクティブ捕集管は、高湿度下におけるアルコール類の回収率が低下すること報告されており、室内におけるエタノール濃度以外にも湿度が測定に影響を及ぼす可能性が考えられた。

C2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

デコンポリューション解析により暫定的に同定された一群のVOCsについて、それぞれの住居のTVOCの50%を占める最小数のVOCsをリスト化した。本研究では、2020年度に国立医薬品食品衛生研究所生活衛生化学部第一室が90軒の住居を対象に実施した全国実態調査の測定結果をデコンポリューション解析し、近年の室内空気中で検出されるVOCsの特徴付けを行った。TVOCの中央値は229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、暫定目標値400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した割合は25.3%であった。また、比較的高頻度、高濃度で検出される特徴的な化合物群として、室内濃度指針値策定化合物の他に、脂肪族炭化水素類(27.4%)、テルペン類(16.9%)、環状シロキサン類(15.0%)が特定された。

C3: 室内空気中揮発性有機化合物 (VOC) ・準揮発性有機化合物 (SVOC) の標準試験法の評価

1) 分析条件の検討

分析条件 1 (50 mmカラム, MeOH系移動相)

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

分析条件 2 (50 mmカラム, MeCN系移動相)

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

分析条件 3 (100 mmカラム, MeCN系移動相)

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

2) 検量線

検量線溶液の濃度が高くなるに従って面積値が小さくなる内部標準物質もあり、室内空気を測定した際、マトリックスの影響により挙動に差がでる可能性があるため、補正に用いる内部標準検量線を作成することとした。0.02-1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の濃度範囲において、直線回帰モデルを用い、濃度の逆数で重みづけを行って検量線を作成した結果、キャリーオーバーは全ての検量線において検量線の濃度範囲の下限值である0.02 $\mu\text{g}/\text{mL}$ を下回った。全ての測定対象物質の検量点0.02-1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ において、ガイドラインの示す真度および精度の目標値に適合した。ただし、分析条件 1 は分析条件 3 に比べ測定対象物質の面積値が物質により1.5~3倍大きかったことから、イオン化の飽和が生じやすいと考えられた。

3) 検出下限値および定量下限値

試験溶液5 mL, 積算捕集量4,320 L (流量3 L/minで24時間) の条件において、検量線の濃度範囲の下限值 (0.02 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 相当量は0.023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。分析条件 1 において、絶対検量線を用いた場合の検出下限値は0.0047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 定量下限値は0.023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 内部標準検量線を用いた場合の検出下限値は

0.0077 µg/m³, 定量下限値は0.026 µg/m³であった。分析条件3において、絶対検量線を用いた場合の検出下限値は0.0076 µg/m³, 定量下限値は0.025 µg/m³, 内部標準検量線を用いた場合の検出下限値は0.0050 µg/m³, 定量下限値は0.023 µg/m³であった。今回設定したサンプリング条件において、分析条件1および分析条件3はともに室内濃度指針値の1/100以下まで測定できると考えられた。

C4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

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

C5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

ISO/TC146/SC6 WG 20がWeb開催され、日本代表団は田辺新一（早稲田大学）、酒井信夫（国立医薬品食品衛生研究所）、伊藤一秀（九州大学）、金炫兌（山口大学）が参加した（2022年9月6日、日本時間18:00~20:00）。WG 20では、ISO16000-33のシステムテックレビューについて議論が行われ、わが国が提案した「ODS固相ディスクまたはSDB共重合体カートリッジによるサンプリング方法と溶媒抽出・分析方法」がISO-16000-33のAnnex Bに追加されることが承認され、2022年末までにDIS原案を提出することになった。

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

Recommendation 38

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

Recommendation 39

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

Recommendation 40

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

Recommendation 41

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

C6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

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

C7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

流れ場解析にはSST k- ω モデルを適用し、CFDによる定常流れ場解析後にアンモニア液面位置に飽和気相濃度を与えて、非定常濃度場解析を行った。実大スケール実験室モデルの給気口からの流入空気のアンモニア濃度は0とした。液体アンモニアの蒸発に伴う液面の温度変化（蒸発潜熱）は無視し、一定温度を仮定して解析を実施した。アンモニア液面から人体周囲へ向かう輸送経路中に、室に流入した清浄空気によってアンモニア濃度は十分に希釈され、室内に不均一な濃度分布が形成されていることを確認した。アンモニア水溶液の蒸発開始から30

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

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

3人の被験者データが作成した3種類の数値気道モデルを対象とした既往研究では、特に上気道曝露量予測において最大20%程度の個体差があることを報告している。また、RMITのTaoらの研究グループは人体形状やサイズが異なる場合の個体差について小型のマネキンを用いた風洞実験結果を報告しており、体型や姿勢が人体周辺微気象形成に一定程度影響を与えることを報告している。

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

C8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集

1) ハザード情報

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

2) 国際的な規制動向の調査

① 諸外国の室内空気質ガイドライン

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

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

② 室内空気汚染物質に関連する発がん性分類のアップデート

WHOの国際がん研究機関による発がん性分類のアップデートのうち、令和4年度以降における室内環境汚染関連物質のアップデートをレビューした。室内ダスト中で検出されるコバルト金属が2Bから2Aに格上げとなっている。なお、可溶性と不溶性のコバルト二価化合物では発がん性が異なっており、可溶性のコバルト二価化合物で2Aとなっているが、不溶性の二酸化コバルトは2Bで、その他のコバルト化合物は3となっている。PET樹脂の触媒などに使用され、室内ダスト中からも検出さ

れる三酸化アンチモンが 2B から 2A に格上げとなっている。また、次年度以降のワーキンググループでは、室内ダストに含まれる可能性のある物質（PFOA や PFOS）の検討が予定されている。

D. 結論

D1: 室内濃度指針値代替化学物質の標準試験法の開発

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

D2: 総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

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

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

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

D4: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国内規格化

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

D5: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の国際規格化

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

D6: 室内空気環境汚染化学物質のオンサイト試験法の評価

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

D7: 室内空気環境汚染化学物質の曝露濃度予測

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

D8: 室内空気環境汚染化学物質の国際規制状況調査・ハザード情報の収集

諸外国における取り組みは、室内空気質ガイドラインの作成に重点が置かれている。目標となる気中

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

令和5年度

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-ペンタジオールジイソブチレート（以下、TMPD-DIB）を含む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「室内空气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。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ルピリホス、ダイアジノン、フェノブカルブ、DnBPおよび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 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、フタル酸エステル類が0.01–1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 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、フタル酸エステル類はDnBPの室内濃度指針値である17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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気し、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, BHT, DEP, TBP, リン酸トリス, DBA, DnBP, TPP, DOA, DEHP, TMPD-MIB, TMPD-DIB, DNOP, DINP, DIDP, 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ア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 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 µg/m³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/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。

衛生試験法・注解に収載されたTVOC標準試験法は、各構成成分について1 µg/m³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) 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、殺虫剤の定量下限値は0.0066 µg/m³、フタル酸エステル類の定量下限値は0.069 µg/m³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—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気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VOC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、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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

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 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, 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, 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) 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*, **22**, 317-326 (2023).
 - 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 (2021).
 - 20) Glorennec P, Shendell DG, Rasmussen PE, Waerber 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 (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).
- 23) 酒井 信夫：用語解説 ベンゼン, *室内環境*, **25**, 324 (2022).
- 24) 酒井 信夫：用語解説 ナフタレン, *室内環境*, **25**, 324 (2022).
- 25) 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).
- 26) Tahara M, Kawakami T, Sakai S, Ikarashi Y: Survey of phthalates, glycols, and several volatile organic compounds in domestic hand-pump spray products and evaluation of their effect on indoor air quality, *Journal of Environmental Chemistry*, **32**, 84-94 (2022).
- 27) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: Nationwide survey of the candidate substances in guideline values for indoor air concentrations, *Bulletin of National Institute of Health Sciences*, **140**, 40-47 (2022).
- 28) Oshima N, Tahara M, Sakai S, Ikarashi Y: A nationwide survey on indoor air concentrations of benzene and naphthalene in general residential housings, *Indoor Environment*, **25**, 177-184 (2022).
- 29) Sakai S, Tahara M, Kubota R, Kawakami T, Inoue K, Ikarashi Y: Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Volatile organic compounds, *Science of the Total Environment*, **838**, 156400 (2022).
- 30) Oshima N, Takagi M, Sakai S, Ikarashi Y: Comparison of the helium-alternative carrier gases for the gas chromatography/mass spectrometry of standard test methods for indoor air quality guidelines in Japan, *BPB Reports*, **5**, 84-87 (2022).
- 31) 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).
- 32) Mori Y, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Jinno H: Species-specific activation of transient receptor potential ankyrin 1 by phthalic acid monoesters, *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **45**, 1839-1846 (2022).
- 33) Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Mori Y, Ikushiro S, Jinno H, Ohkawara S, Isobe T: Regioselective glucuronidation of flavones at C5, C7, and C4' positions in human liver and intestinal microsomes: Comparison among apigenin, acacetin, and genkwanin, *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **45**, 1116-1123 (2022).
- 34) Hanioka N, Isobe T, Tanaka-Kagawa T, Jinno H, Ohkawara S: In vitro glucuronidation of bisphenol A in liver and intestinal microsomes: interspecies differences in humans and laboratory animals, *Drug and Chemical*

- Toxicology*, **45**, 1565-1569 (2022).
- 35) 杉田 隆, 香川 (田中) 聡子: 環境・衛生部会 衛生試験法シンポジウム: 微生物検査による食品・環境衛生管理の新展開, *薬学雑誌*, **142**, 9-10 (2022).
- 36) 稲坂 まりな, 赤松 奈美, 菅野 颯馬, 池内 宏維, 高橋 秀介, 田崎 未空, 金 炫兌, 田辺 新一: 異なる木材表面へのアルコール塗布が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響, *日本建築学会環境系論文集*, **87**, 846-854 (2022).
- 37) 赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第一報: 実験概要と化学物質分析の測定結果, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, **2022**, 1595-1596 (2022).
- 38) 池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 美空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第二報: 被験者実験による臭気評価結果, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, **2022**, 1597-1598 (2022).
- 39) 赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 (第 1 報) アルコールの 1 回塗布によるチャンバー実験結果, *空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集*, **46**, 9-12 (2022).
- 40) 池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺 新一: 木材表面へのアルコールの塗布・噴霧が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 (第 2 報) アルコールの繰り返し噴霧によるチャンバー実験結果, *空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集*, **2022**, 13-16 (2022).
- 41) 田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田辺 新一: 一般住宅における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, **2022**, 1589-1590 (2022).
- 42) 益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田辺 新一: 実空間モデルにおける可塑剤からの SVOC 放散挙動に関する実験, *空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集*, **2022**, 129-132 (2022).
- 43) 田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 田邊 慶宗, 益崎 慶人, 田辺 新一: 現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定-家電製品表面からの SVOC 放散速度測定, *日本建築学会中国支部研究報告集*, **46**, 407-410 (2023).
- 44) 田邊 慶宗, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 益崎 慶人, 田辺 新一: 現場測定方法を用いた準揮発性有機化合物(SVOC)の放散速度測定 夏期・冬期における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定, *日本建築学会中国支部研究報告集*, **46**, 403-406 (2023).
- 45) 益崎 慶人, 金 炫兌, 小金井 真, 田崎 健悟, 田辺 新一: 建材からの SVOC 放散速度と気中濃度との相関性に関する研究, *日本建築学会中国支部研究報告集*, **46**, 399-402 (2023).
- 46) 細田 実里, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田崎 健悟: 住宅及び大学施設における空気中の準揮発性有機化合物(SVOC)濃度の測定, *日本建築学会中国支部研究報告集*, **46**, 395-398 (2023).
- 47) Fernandez KB, Ikegaya N, Ito K, Chen Q: Age of air, purging flow rate, and net escape velocity in a cross-ventilation model sheltered by urban-like blocks using LES, *Building and Environment*, **226**, 109759 (2022).
- 48) 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).
- 49) Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K: Internal diffusion and re-emission of leaked liquid ethyl acetate from mortar materials, *Japan Architectural Review*, **5**, 672–681 (2022).
 - 50) Lim E, Tanaka H, Ni Y, Bai Y, Ito K: Microplastics/microfibers in settled indoor house dust- Exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan, *Japan Architectural Review*, **5**, 682–690 (2022).
 - 51) Yamasawa H, Hirayama T, Kuga K, Muta R, Kobayashi T, Ito K: Influence of inlet turbulent condition on the formation mechanism of local scalar concentrations, *Japan Architectural Review*, **5**, 691–701 (2022).
 - 52) Muta R, Ito K: Impact of heat generation and use of experimental instruments in a fume hood on pollutant capture efficiency, *Japan Architectural Review*, **5**, 702–713 (2022).
 - 53) Yoo SJ, Ito K: Validation, verification, and quality control of computational fluid dynamics analysis for indoor environments using a computer-simulated person with respiratory tract, *Japan Architectural Review*, **5**, 714–727 (2022).
 - 54) Salati H, Fletcher DF, Khamooshi M, Dong J, Ito K, Vahaji S, Inthavong K: Exhaled aerosol and jet flow characterization during nasal sneezing, *Aerosol and Air Quality Research*, **22**, 210338 (2022).
 - 55) Li H, Kuga K, Ito K: SARS-CoV-2 dynamics in the mucus layer of the human upper respiratory tract based on host-cell dynamics, *Sustainability*, **14**, 3896 (2022).
 - 56) Muta R, Yoo SJ, Kim H, Matsumoto T, Ito K: Multiscale analysis of material flow and computational fluid dynamics for predicting individual DEHP exposure concentration in indoors, *Indoor and Built Environment*, **31**, 2291-2311 (2022).
 - 57) Ikegaya N, Ito K, Sandberg M: Rigorous mathematical formulation of net escape velocity and net escape probability determining a macroscopic concentration, *Indoor Air*, **32**, e13072 (2022).
 - 58) Kuga K, Sakamoto M, Wargocki P, Ito K: Prediction of exhaled carbon dioxide concentration using a computer-simulated person that included alveolar gas exchange, *Indoor Air*, **32**, e13079 (2022).
 - 59) Harashima H, Sumiyoshi E, Ito K: Numerical models for seamlessly predicting internal diffusion and re-emission of leaked liquid toluene from indoor mortar materials, *Journal of Building Engineering*, **57**, 104976 (2022).
 - 60) Khoa ND, Phuong NL, Takahashi K, Ito K: Transport and deposition of inhaled man-made vitreous and asbestos fibers in realistic human respiratory tract models: An *in-silico* study, *Japan Architectural Review*, **5**, 592–608 (2022).
 - 61) Wang Y, Shen X, Yoo SJ, Long Z, Ito K: Error analysis of human inhalation exposure simulation in industrial workshop, *Building and Environment*, **224**, 109573 (2022).
 - 62) Muta R, Chung J, Li C, Yoo SJ, Ito K: Pollutant capture efficiencies in and around the opening-surface of a fume hood under realistic conditions, *Indoor and Built Environment*, **31**, 1636-1653 (2022).
 - 63) Kuga K, Wargocki P, Ito K: Breathing zone and exhaled air re-inhalation rate under transient conditions assessed with a computer-simulated person, *Indoor Air*, **32**, e13003 (2022).
 - 64) Fan X, Shao H, Sakamoto M, Kuga K, Lan L, Wyon DP, Ito K, Bivolarova MP, Liao C, Wargocki P: The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: pilot measurements in a climate

- chamber, *Building and Environment*, **209**, 108666 (2022).
- 65) Karagas, MR, Wang A, Dorman DC, Hall AL, Pi J, Sergi CM, Symanski E, Ward EM, Arrandale VH, Azuma K, Brambila E, Calaf GM, Fritz JM, Fukushima S, Gaitens JM, Grimsrud TK, Guo L, Lynge E, Marinho-Reis AP, McDiarmid MA, Middleton DRS, Ong TP, Polya DA, Quintanilla-Vega B, Roberts GK, Santonen T, Sauni R, Silva MJ, Wild P, Zhang CW, Zhang Q, Grosse Y, Benbrahim-Tallaa L, de Conti A, DeBono NL, Ghissassi FE, Madia F, Reisfeld B, Stayner LT, Suonio E, Viegas S, Wedekind R, Ahmadi S, Mattock H, Gwinn WM, Schubauer-Berigan MK: Carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy, *THE LANCET Oncology*, **23**, 577–578 (2022).
- 66) 東 賢一： 燃焼で排出される室内空気汚染物質の健康影響, 室内環境, **25**, 307–315 (2022).
- 67) 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).
- 68) 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).
- 69) 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).
- 70) 千葉真弘, 兼俊明夫, 大泉詩織, 田原麻衣子, 酒井信夫: 室内空气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).
- 71) 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).
- 72) 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).
- 73) 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).
- 74) 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).
- 75) 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).
- 76) 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).
- 77) 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).
- 78) 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).
- 79) 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).
- 80) 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).
- 81) 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).
- 82) 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).
- 83) 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).
- 84) 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).
- 85) 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).
- 86) 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).
- 87) 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).
- 88) 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).
- 89) 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).
- 90) 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).
- 91) 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).
- 92) 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) 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).
- 4) Tham KW, Wargocki P, Tanabe S. (2022). Postulated pathways between environmental exposures and cognitive performance. Zhang Y, Hopke PK, Mandin C. (eds) *Handbook of Indoor Air Quality*. Springer, Singapore.
- 5) 東 賢一: 今日の治療指針 2023 年版 私はこう治療している: シックハウス症候群 / 化学物質過敏症, 医学書院, 東京 (2023).
- 6) 酒井 信夫: 用語解説 ベンゼン, 室内環境, **25**, 324 (2022).
- 7) 酒井 信夫: 用語解説 ナフタレン, 室内環境, **25**, 324 (2022).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) Tham KW, Wargocki P, Tanabe S: Postulated Pathways Between Environmental Exposures and Cognitive Performance, *Handbook of Indoor Air Quality*, 1397-1405 (2022).
- 11) Azuma K, Jinno H: Toxicity of SVOCs, *Advances in the toxicity of construction and building materials*. Elsevier (2022).
- 12) 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).
- 13) 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) 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 (2021.11).

- 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 (2021.11).
- 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 (2021.11).
- 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 (2021.12).
- 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 (2022.3).
- 6) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明:室内空气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 (2022.3).
- 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 (2022.3).
- 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 (2021.7).
- 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 (2021.9).
- 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 (2021.9).
- 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 (2021.9).
- 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 (2021.9).
- 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 (2022.3).
- 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 (2022.3).
- 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

- (2022.3).
- 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 (2022.3).
- 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 (2022.3).
- 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 (2021.9).
- 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 (2021.9)
- 20) Masuzaki Y, Kim H, Koganei M, Tanabe S: A Study on Emission Behavior of SVOC Material in Real Space Model, Healthy Buildings 2021, (2022.1).
- 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 (2022.3).
- 22) Kuga K, Sakamoto M, Wargocki P, Ito K: Numerical Investigation of Human CO₂ Emission in a Personalized Work Environment, Healthy Buildings 2021 (2021.6).
- 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 Buildings 2021 (2021.6).
- 24) Fan X, Sakamoto M, Shao H, Kuga K, Lan L, Ito K, Wargocki P: Human CO₂ emission rates during sleeping, Healthy Buildings 2021 (2021.6).
- 25) Khoa ND, Phuong NL, Takahashi K, Ito K: Computational Fluid Dynamics Application to Investigate Man-Made Vitreous Fibers Transporation and deposition in Realistic Human Respiratory System, Healthy Buildings America 2021 (2022.1).
- 26) Kizuka R, Khoa ND, Kuga K, Ito K: Particle Dispersion Analysis in a Numerical Airway Model Under Transient Breathing, Healthy Buildings America 2021 (2022.1).
- 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 Buildings America 2021 (2022.1).
- 28) Sakamoto M, Kuga K, Ito K, Wargocki P: Numerical investigation of alveolus gas exchange for human CO₂ emission in the chamber experiment, Healthy Buildings America 2021 (2022.1).
- 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 Buildings America 2021 (2022.1).
- 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 Buildings America 2021 (2022.1).
- 31) Ma M, Yoo SJ, Ito K: Thermal comfort analysis coupled with computational fluid dynamics

- using computer simulated person, Healthy Buildings America 2021 (2022.1).
- 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 Buildings America 2021 (2022.1).
- 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 (2021.6).
- 34) Ito K, Integrated CFD and *In Silico* Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, Keynote Speech, ISHVAC 2021 (2021.11).
- 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, 7th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES 2021) (2021.10).
- 36) Ito K: *In Silico* Human Model based Indoor Design for Healthy Environment, 2021 International Conference of Green Building and Low Carbon Technology (2021.10).
- 37) Ito K: Computer simulated person for predicting inhalation exposure and airborne infection, SCONNA 2022 (2022.1).
- 38) Ito K: *In Silico* Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, IAQVEC Webiner (2022.3).
- 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 (2022.2).
- 40) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: マイクロチャンバー及び加熱脱離 GC/MS による穀物由来揮発性有機化合物のメタボローム解析, 日本食品化学学会第 28 回学術大会 (2022.5).
- 41) 酒井 信夫: 質量分析法を用いた標準試験法の必要条件: レギュラトリーサイエンス研究に基づく信頼性と汎用性とサステナビリティ, 第 70 回質量分析総合討論会 (2022.6).
- 42) 森 葉子, 井上 凌子, 青木 明, 岡本 誉士典, 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: TVOC のデコンポリューション解析による室内空気汚染化学物質の探索, 第 68 回日本薬学会東海支部総会・大会 (2022.7).
- 43) 大嶋 直浩, 河上 強志, 高橋 夏子, 高木 規峰野, 小濱 とも子, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: マスクの規格改定を指向した揮発性有機化合物の実態調査, 第 8 回次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム (2022.8).
- 44) 大嶋 直浩, 高橋 夏子, 高木 規峰野, 小濱 とも子, 河上 強志, 酒井 信夫, 五十嵐 良明: 家庭用マスクから放散される揮発性有機化合物, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー (2022.8).
- 45) 香川 (田中) 聡子, 酒井 信夫, 神野 透人: 室内空気中総揮発性有機化合物 (TVOC) に関する最新の動向, 第 63 回大気環境学会年会 (2022.9).
- 46) Azuma K, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Sakai S: Hazard and risk assessment for indoor air pollutants: dimethylsiloxanes, glycols, butanediol, hydrocarbons, trimethylbenzenes, benzene, naphthalene, and ethyltoluene, 34th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (2022.9).
- 47) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 高橋 夏子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明, 千葉 真弘, 柴田 学, 岩館 樹里, 後藤 吉乃, 佐藤 智子, 田中 智子, 大

- 竹 正芳, 角田 徳子, 上村 仁, 田中 礼子, 高居 久義, 中村 雄介, 堀井 裕子, 望月 映希, 伊藤 彰, 山本 優子, 大野 浩之, 藤本 恭史, 吉田 俊明, 古市 裕子, 八木 正博, 伊達 英代, 谷脇 妙, 松本 弘子, 吉村 裕紀, 前田 美奈子: 令和3年度 室内空気環境汚染に関する全国実態調査, 第59回全国衛生化学技術協議会年会 (2022.10).
- 48) 酒井信夫:ヘリウムガス供給不足に対する国立衛研の対応, 第59回全国衛生化学技術協議会年会 (2022.10).
- 49) 千葉 真弘, 兼俊 明夫, 大泉 詩織, 田原 麻衣子, 大嶋 直浩, 酒井 信夫:室内空気中の揮発性有機化合物 (VOCs) 分析における除湿管の影響, 2022年室内環境学会学術大会 (2022.12).
- 50) 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明:一般居住住宅における室内空気質に関する全国実態調査, 2022年室内環境学会学術大会 (2022.12).
- 51) 森 葉子, 香川 (田中) 聡子, 田原 麻衣子, 河上 強志, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 東 賢一, 酒井 信夫, 神野 透人:2-Ethyl-1-hexanol, Texanol および TXIB による侵害刺激の種差に関する研究, 2022年室内環境学会学術大会 (2022.12).
- 52) 高木 規峰野, 大嶋 直浩, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 五十嵐 良明:GC-MS/MSを用いた室内空気中殺虫剤の分析, 日本薬学会第143年会 (2023.3).
- 53) 大嶋 直浩, 高木 規峰野, 酒井 信夫, 五十嵐 良明:機能性繊維製品から放散する揮発性有機化合物の GC/MS 分析に用いるキャリアガスの比較, 日本薬学会第143年会 (2023.3).
- 54) 森 葉子, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人:フタル酸エステル類の動物種特異的な生体影響に関する研究:TRPA1 活性化の種差を生じるタンパク質構造の解明, フォーラム 2022:衛生薬学・環境トキシコロジー (2022.9).
- 55) 吉富 太一, 西 以和貴, 田原 麻衣子, 仲野 富美:室内空気におけるフェノール系内分泌かく乱物質の一斉分析法について, 日本薬学会第143年会 (2023.3).
- 56) 小池 加那子, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:Vitamin D 代謝酵素のヒト組織における発現とその個体差, 第49回日本毒性学会学術年会 (2022.6).
- 57) 堤 亜里紗, 小林 叶奈, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:SARS-CoV-2 感染に関する生体内因子のヒト気道組織中での発現とその個体差, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー (2022.9).
- 58) 高橋 直也, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:気道過敏性に関する生体内因子のヒト気道組織中での発現と個体差, 第66回日本薬学会関東支部大会 (2022.9).
- 59) 中嶋 康一郎, 高橋 直也, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:GLP-1 受容体のヒト組織における発現とその個体差, 第66回日本薬学会関東支部大会 (2022.9).
- 60) 小池 加那子, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:ヒト組織における Vitamin D 代謝酵素及びVDR の発現と個体差, 第66回日本薬学会関東支部大会 (2022.9).
- 61) 小林 叶奈, 堤 亜里紗, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子:SARS-CoV-2 感染に関する生体内因子のヒト組織中での発現とその個体差, 第66回日本薬学会関東

- 支部大会 (2022.9).
- 62) 中向井 璃奈, 浦島 桃香, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 北川 康行, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川(田中) 聡子: Isothiazolinone 系抗菌薬によるヒト TRPA1 活性化の *in silico* 分子機構解析, 日本薬学会第 143 年会 (2023.3).
- 63) 赤松 奈美, 池内 宏維, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 未空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第一報 実験概要と化学物質分析の測定結果, 2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9).
- 64) 池内 宏維, 赤松 奈美, 稲坂 まりな, 小野田 亮介, 松尾 和弥, 田崎 未空, 菅野 颯馬, 金 炫兌, 田辺新一: 木材表面へのアルコール清拭が VOC 放散量および知覚空気質に与える影響 第二報 被験者実験による臭気評価, 2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9).
- 65) 田崎 健悟, 金 炫兌, 小金井 真, 益崎 慶人, 田辺 新一: 一般住宅における床材・壁材からの SVOC 放散量の測定, 2022 年度日本建築学会大会学術講演会 (2022.9).
- 66) 益崎 慶人, 田辺 新一, 小金井 真, 金 炫兌: 実空間モデル内における可塑剤からの SVOC 放散挙動に関する実験, 令和 4 年度空気調和・衛生工学会大会 (2022.9).
- 67) Kizuka R, Kuga K, Ito K: Regional deposition of inhaled nano-to-microscale particle in realistic upper respiratory tract under steady and transient breathing conditions, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 68) Li H, Kuga K, Ito K: SARS-CoV-2 infection dynamics integrated with mucociliary transport in human upper airway, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 69) Khoa ND, Ito K: Regional deposition characteristics of fibrous particles compared to spherical particles in human upper airway – *in silico* case study, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 70) Kuga K, Ito K: Integrated Modeling of CO₂ Transport from Indoor to Alveolar Region for Elucidating Human CO₂ Emission Mechanism, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 71) Nishihara T, Kuga K, Ito K: Numerical investigation of cough droplets dispersion dynamics in indoor environment: Effect of oral cavity shape, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 72) Hoshiyama S, Kuga K, Ito K: Formation of Acetone concentration distribution around breathing zone and transport efficiency to olfactory epithelium cells, 5th International Conference on Building Energy and Environment (2022.7).
- 73) Muta R, Ito K: Numerical investigation of pollutant capture and ventilation efficiencies in laboratory fume hood, Indoor Air 2022 (2022.6).
- 74) Kuga K, Wargocki P, Ito K: Impact of room temperature on human carbon dioxide emission rates at different physical activity levels, Indoor Air 2022 (2022.6).
- 75) Wargocki P, Sakamoto M, Fan X, Kuga K, Ito K, Williams J, Beko G, CO₂ emission rates from humans when sleeping and awake. Impact of environmental factors and age, Indoor Air 2022 (2022.6).
- 76) Lim E, Tanaka H, Ito K: Preliminary Investigation of Indoor Microplastic Concentrations in house dust in Japanese Residential Houses, Indoor Air 2022 (2022.6).
- 77) Li H, Kuga K, Ito K: Infection dynamics of

- SARS-CoV-2 in musus later of the human nasal cavity-nasopharynx, Roomvent 2022 (2022.9).
- 78) Hyodo S, Murota K, Yoo SJ, Ito K: Development of three-dimensional clothing model for computer simulated person integrated with thermoregulation model, Roomvent 2022 (2022.9).
- 79) Khoa ND, Ito K: Computational analysis of ultrafine and fine particle deposition mechanisms in human lower airway, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10).
- 80) Fernandez KB, Ikegaya N, Ito K: Large Eddy Simulation of Flow and Concentration Distributions in an Indoor Space Surrounded by Urban-like Block Arrays, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10).
- 81) Muraga A, Ito K, Tsubokura M: Using CFD to develop a virtual human manikin for infection risk assessment, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10).
- 82) Park HG, Yoo SJ, Sumiyoshi E, Harashima H, Ito K: Indoor Thermal Comfort Assessment Using CFD-CSP Hybrid Analysis, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10).
- 83) Hyodo S, Yoo SJ, Ito K: Three-Dimensional Modeling and Computational Fluid Dynamics Analysis for Ventilation in Clothing, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (2022.10).
- 84) Khoa ND, Phuong NL, Ito K: Numerical Investigation of Fine particle Transportation and Deposition in the Human Lower Airway: Impact of airflow and particle size on deposition efficiency, The 8th International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (2022.10).
- 85) Azuma K: Indoor air quality and health effects in modern office buildings, 16th international conference on indoor air quality and climate (2022.6).
- 86) 東 賢一：室内空気環境対策総論－室内環境における健康リスク要因とその対策について－，第 32 回日本産業衛生学会全国協議会シンポジウム：新型コロナウイルス感染症と室内空気環境対策 (2022.9).
- 87) 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) .
- 88) 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) .
- 89) 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).
- 90) 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) .
- 91) 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) .
- 92) 酒井 信夫: 室内空气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) .
- 93) 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) .
- 94) 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气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) .
- 95) 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, 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) .
- 96) 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) .
- 97) 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) .
- 98) 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) .
- 99) 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) .
- 100) 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) .
- 101) 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) .
- 102) 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) .
- 103) 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) .
- 104) 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) .
- 105) 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).
- 106) 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) .
- 107) 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) .
- 108) 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) .
- 109) 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) .
- 110) 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) .
- 111) 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) .
- 112) 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) .
- 113) 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).
- 114) 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).
- 115) 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).
- 116) 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).
- 117) 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).
- 118) 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).
- 119) 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).
- 120) 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).
- 121) Murga A, Ito K, Tsubokura M: Rethinking

different ventilation strategies in a post-pandemic era: a CFD assessment, 43rd AIVC conference (2023.10).

122) 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).

123) Abouelhamd I, Yoo SJ, Kuga K, Ito K. Numerical prediction of particle breathing zone in a semi-outdoor environment, ICNAA 2023 (2023.6).

124) Ito K: Ventilation Efficiency and Infection Control – *in silico* Human Modelling Study, International Symposium on Urban Sustainability (2023.11).

125) 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)

126) 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