

室内空気汚染化学物質の標準試験法の開発・規格化および国際規制状況に関する研究

研究分担者 伊藤一秀 九州大学総合理工学研究院 教授

研究要旨：

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

A. 研究目的

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

研究初年度である令和 3 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 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の確認を目的とした。

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

研究三年目である令和 5 年度は、改良型 *in silico* 数値人体モデルを実大スケール居室モデル内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の数値予測を目的とした。

B. 研究方法

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ことから、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、研究初年度である令和 3 年度は、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った。特に、室内環境中で可塑剤として使用されるフタル酸ジ(2-エチルヘキシル)(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 (ここでは *in silico*

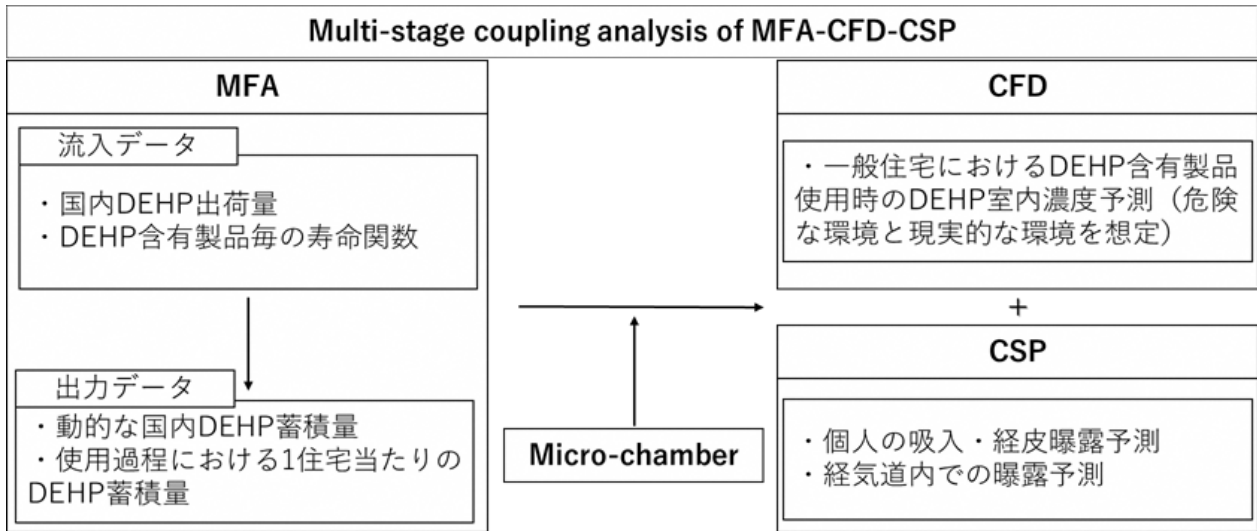


図1 MFA—CFD—CSP 統合解析のフローチャート

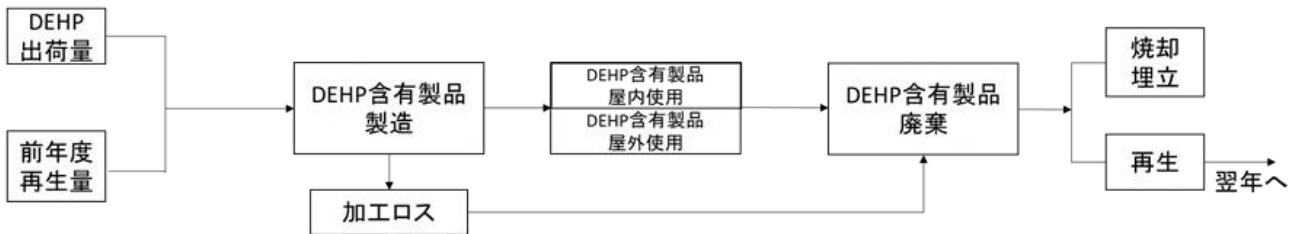


図2 DEHP 含有製品ライフサイクルフロー

人体モデルを Computer Simulate Person の略として CSP と略して記す) 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した。

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tock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。

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

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

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った。

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。

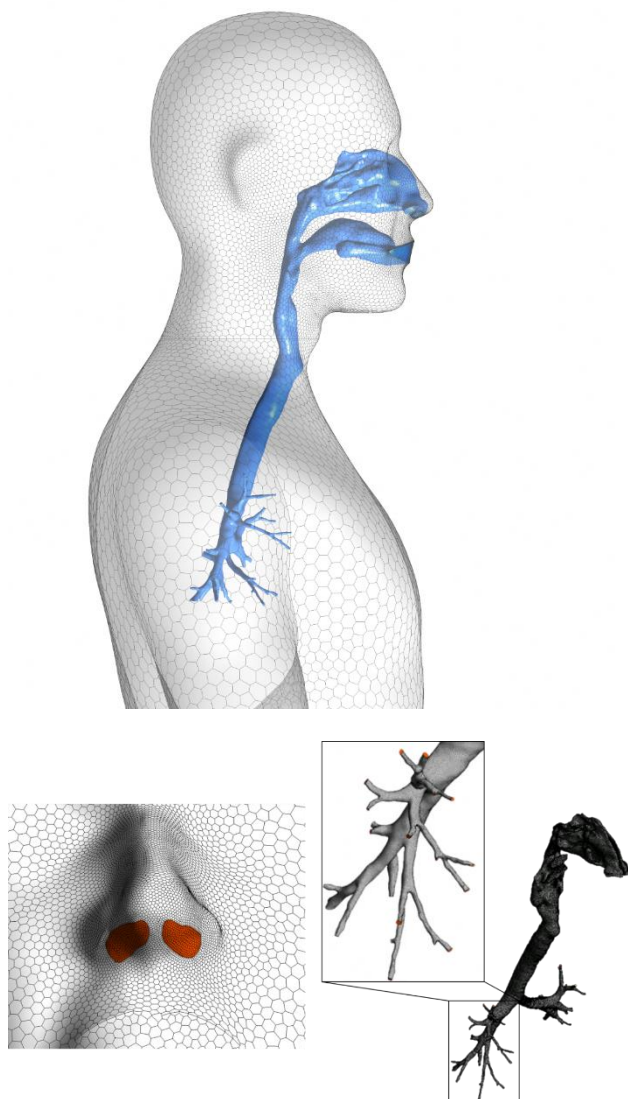


Fig.1 Grid design of *in silico* human model with numerical respiratory tract model

この経気道曝露濃度の正確な予測評価に向けて、研究二年目である令和4年度は、非定常呼吸を再現した数値人体モデル CSP (Computer Simulated Person) と数値気道モデル、室内濃度場解析を統合解析することで、曝露経路と曝露濃度の正確な予測を行い、その上で健康リスク評価を行う一連の

数値解析手法を開発した。室内空間から人体呼吸域、更に鼻腔、口腔を介して気道内まで連続した解析領域を再現することで、室内汚染物質濃度分布と呼吸によって形成される気道内汚染物質濃度分布までを高精度に予測することが可能となる。加えて、気道内壁面境界条件として生理的薬物動態 PBPK (Physiologically Based Pharmacokinetic) モデルを統合することで、気道粘膜上皮組織に沈着後の汚染物質の体内動態と人体影響を定量的に議論することも可能となる。

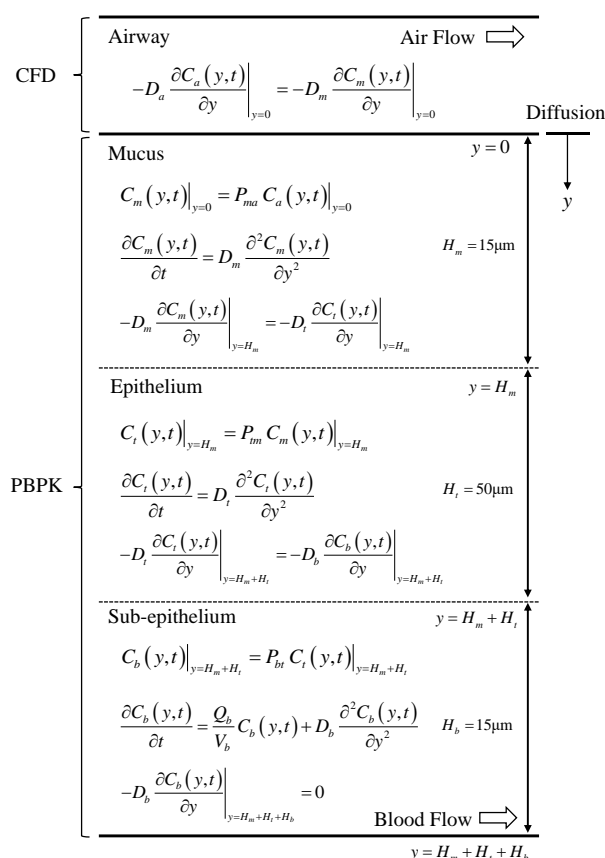


Fig.2 PBPK-CFD model for inhalation exposure analysis

開発した気道統合型数値人体モデル(*in silico* 人体モデル)を Fig. 1 に示す。標準人体の幾何形状を数値流体力学(CFD)解析への適用を前提としてグリッドデータ化したもので、表面積 1.7m²、身長 1.736m である。再現性や精度について十分な事前検討を実施している。数値気道モデルは、非喫煙

の日本人男性(平均的な体型)の CT データをもとに形状作成したもので、鼻腔・口腔から咽頭、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。経気道曝露予測へ適用するためには、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必要がある。そのため、*in silico* 人体モデルの気道内壁面境界条件として PBPK-CFD モデルを適用する。その概要を Fig.2 に示す。経気道曝露予測では、ガス状汚染物質の気道粘膜上皮表面への沈着(吸着)、拡散輸送、代謝クリアランス、血流による上皮組織外への輸送を数理的に再現するため、3層からなる生理的薬物動態 PBPK モデルを導入している。各層の構成は、粘膜(Mucus)、上皮(Epithelium)、上皮組織(Sub-Epithelium)であり、それぞれ $H_m = 15 \mu\text{m}$, $H_t = 50 \mu\text{m}$, $H_b = 15 \mu\text{m}$ の厚さとする。また、組織内輸送は、Tian と Longest によって提案されたコンパートメントモデルの概念に基づいて次元反応拡散と見做してモデル化している。

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

膜、血流-組織細胞の界面での分配係数 [m^3/m^3] を示す。

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

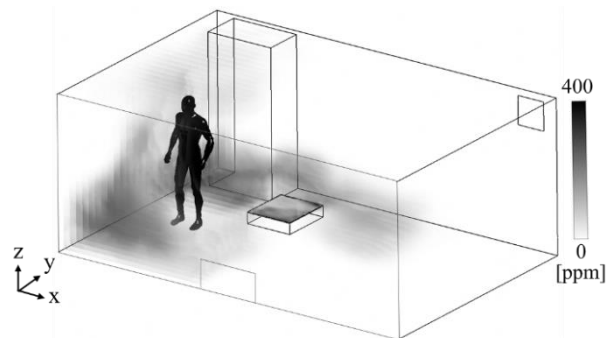


Fig.3 Room model analyzed and three-dimensional ammonia concentration distribution (a minute later)

最終年度(令和 5 年度)は、これ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)を室内濃度指標値既設化学物質ならびに室内環境中に存在するその他の多様な化学物質の経気道曝露濃度予測に展開するため、文献調査データを基にしてホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン等の化学物質を対象としてモデルパラメータの同定を行

った。最終的にこの数値気道モデルを数値人体モデルに統合することで改良型 *in silico* 数値人体モデルを作成した。

C. 研究成果

本研究で新たに開発した経気道曝露評価のための *in silico* 人体モデル(CSP)の概要を Fig.1 に示すと共に、気管支第 16 分岐まで拡張した改良型気道モデルの概要を Fig.4 に示す。ボランティア被験者の上半身 CT データを利用して鼻腔・口腔から気管支第 4 分岐までを含む気道幾何形状を抽出した上で、計算流体力学 CFD 解析に適用するための表面メッシュ作成ならびに空間メッシュ作成を行い、数値気道モデルを作成している。気道内の粘膜上皮層には粘液輸送を再現するために $50\mu\text{m}$ 厚の液相解析用レイヤーを確保した。この数値気道モデルを環境解析用の数値人体モデルに統合することで、経気道曝露解析用の *in silico* 人体モデル(CSP)を作成している。

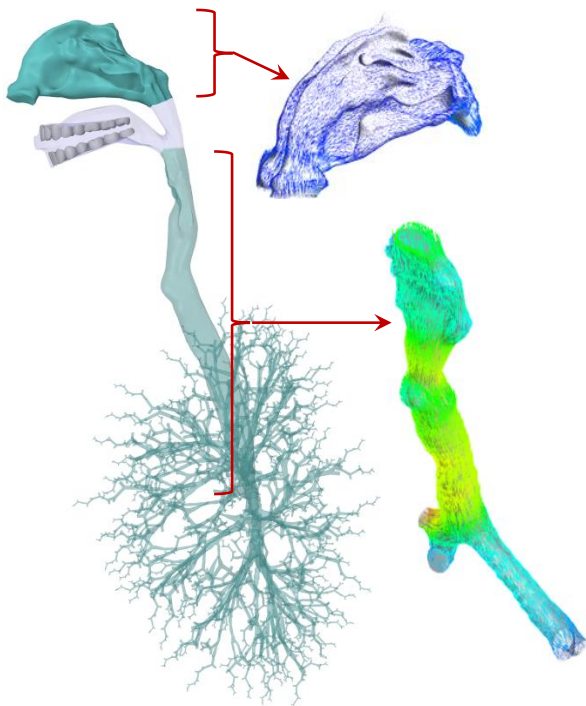


Fig. 4 *in silico* airway model and mucus flow distributions at upper and lower airway

Fig. 2 に示した DEHP 含有製品ライフサイクルフ

ローに従って、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。その結果を Fig.5 に示す。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 32.14m^2 、壁紙が 48.27m^2 、床材が 9.44m^2 という推計結果となった。

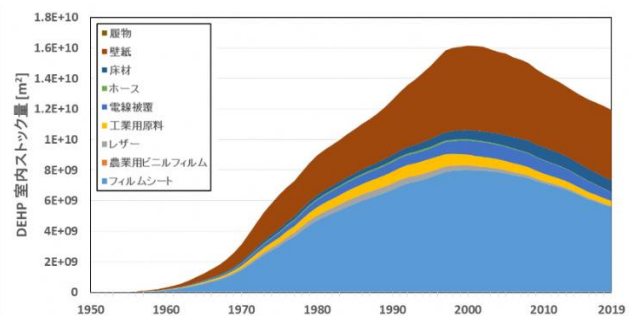


Fig.5 Floor area-based DEHP stock in Indoors

ここでは、建築資材ならびに室内仕上げとして使用頻度の高い汎用的な DEHP 含有製品を 7 種類選定し、ISO ならびに JIS で基準化されている SVOC 放散測定法に従って DEHP 放散量の測定も実施した。

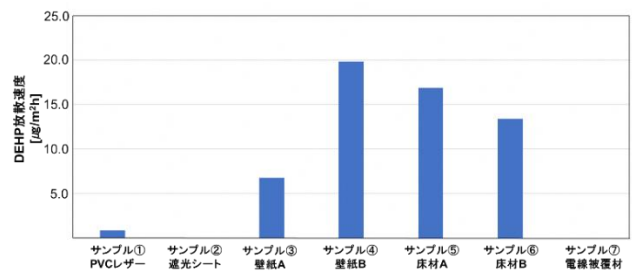


Fig.6 DEHP Emission rate (Micro-chamber method)

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 Fig.6 に示す。壁紙 B が最大の $19.85\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ となった。壁紙 A では $6.75\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 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。

続いて、標準住宅モデル内の単純室内モデルを対象として、MFA の分析結果を境界条件としてダウンスケーリングした連続解析を実施した。ここでは、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、室内流れ場、室内 DEHP 濃度分布を解析した上で、CSP の経皮曝露濃度分布、経気道曝露濃度分布を定常状態を想定して解析した。

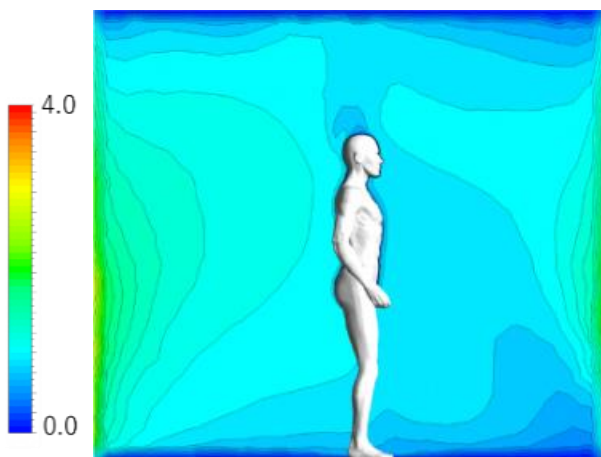


Fig.7 DEHP concentration distribution around CSP in indoor environment [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

室内 DEHP 濃度分布解析結果の一例を Fig.7 に示す。本解析条件では、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の DEHP 吸着フラックス分布の解析結果を Fig.8 に示す。数値人体表面吸着フラックスは $0.00143 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ 、経気道内吸着フラックスは $0.00207 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ となった。経気道曝露に着目すると、鼻呼吸を想定した場合には、鼻腔内での DEHP 吸着が支配的であり、吸入 DEHP 総量に対して下気道まで輸送される成分量は非常に少ないことが明らかとなった。

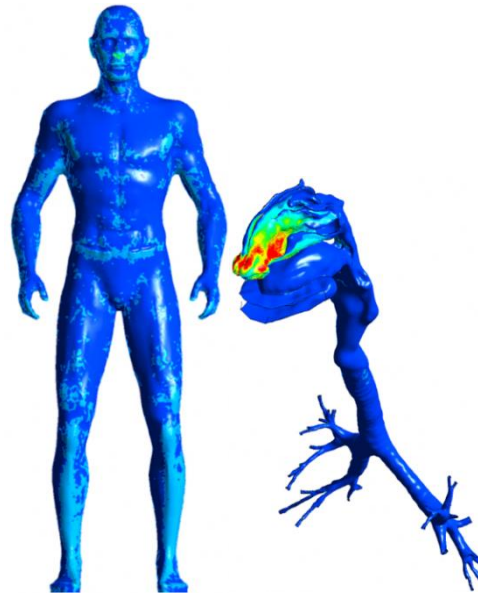


Fig.8 DEHP adsorption flux distributions on skin surface of CSP and on epithelium tissue surface of respiratory tract [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$]

続いて、*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。

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

Fig.3 に室内モデルの概要に加え、アンモニア水溶液の漏洩から 60 秒後の室内のアンモニア濃度分布を併せて示している。アンモニア液面から人体周囲へ向かう輸送経路中に、室に流入した清浄空気によってアンモニア濃度は十分に希釈され、室内に不均一な濃度分布が形成されていることが確認できる。

Fig.9 には室全体の体積平均アンモニア濃度および鼻孔開口部(鼻腔界面)でのアンモニア濃度の時間履歴を示す。アンモニア水溶液の蒸発開始から 30 秒後に鼻孔開口部における濃度の増加が確認

できる。本解析ではアンモニア水溶液の蒸発開始後、30秒後に完全に蒸発する条件とした。また、鼻孔開口部におけるアンモニア濃度は、室全体の平均濃度と比べて時間経過と共に大きく変動する様子が確認できる。これは室内濃度分布の不均一性と呼吸活動および発生ガスの非定常性に因るものであり、高濃度短期暴露の場合には、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。

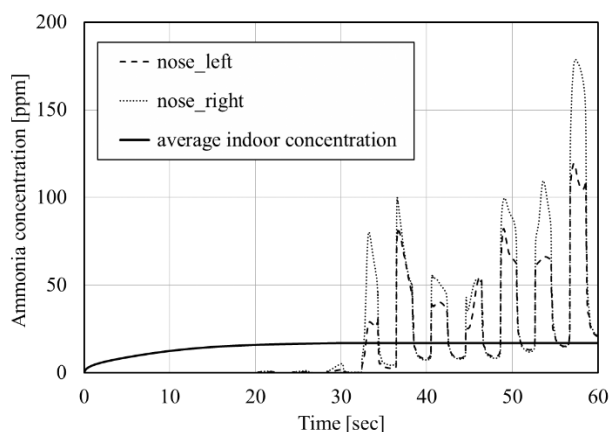
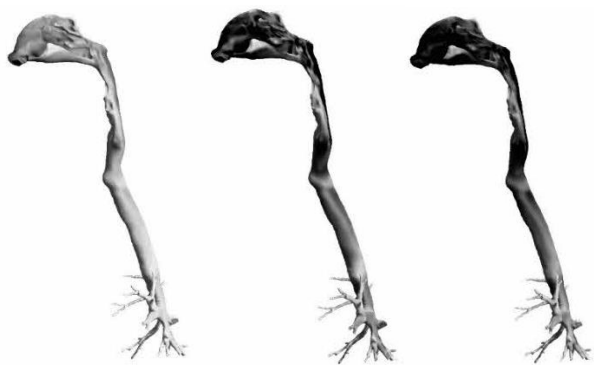


Fig.9 Change over time in ammonia concentration



(1) $t=40s$ (2) $t=50sec$ (3) $t=60sec$
 Fig.10 Time series of ammonia concentration distribution in the respiratory tract model

Fig.10 は気道モデル内のアンモニア表面濃度分布を示す。時間経過に伴い呼吸によって気道内に取り込まれるアンモニアガスの濃度上昇に応じて、気道内表面における汚染物質濃度も上昇する様子が確認できる。Fig.11 には気道粘膜上皮から体内側の細胞組織中へ向かうアンモニアの濃度分布を

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

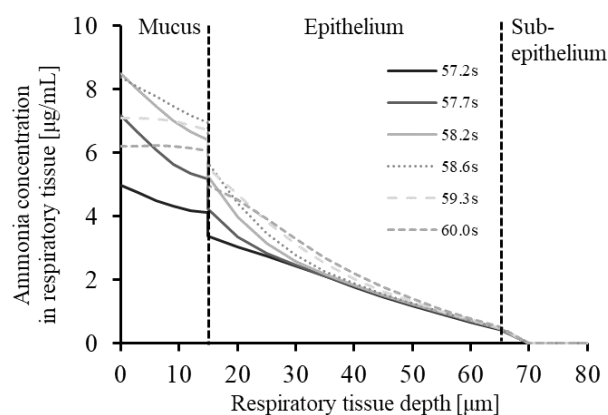
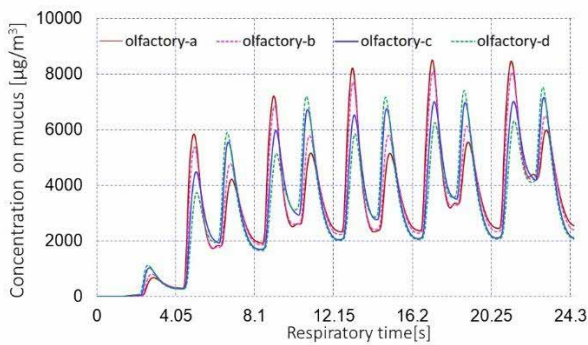


Fig.11 Ammonia contaminant concentration profile inside the respiratory tissue (a minute later)

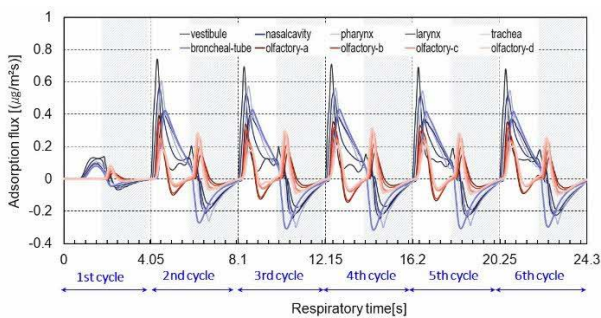
研究の最終年度では、鼻腔・口腔から気管支第16分岐までを再現した上で口腔内の歯列を正確に再現した改良型数値気道モデルを開発すると共に (Fig.4)、この改良型モデルを用いて数値解析を実施した。

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(ここではアセトンの例)による経気道曝露の非定常解析結果の一例を Fig.12 に示す。ここでは、特に鼻腔の嗅覚領域における粘膜上皮細胞に対する化学物質吸着フラックスの時間変化ならびに界面濃度の時間変化を示す。更に、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。気道内

の熱水分移動解析結果を Fig.13 に示す.



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



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

Fig.12 Example of VOC adsorption onto epithelial tissue surface (olfactory region) of airway model

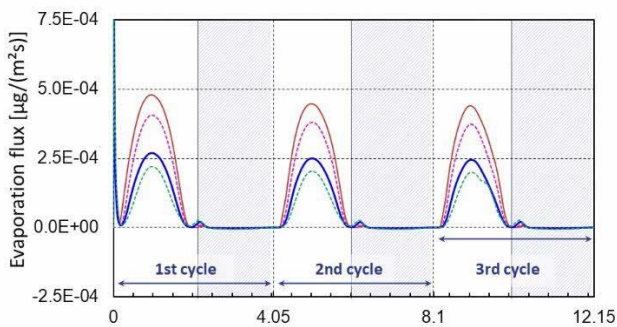
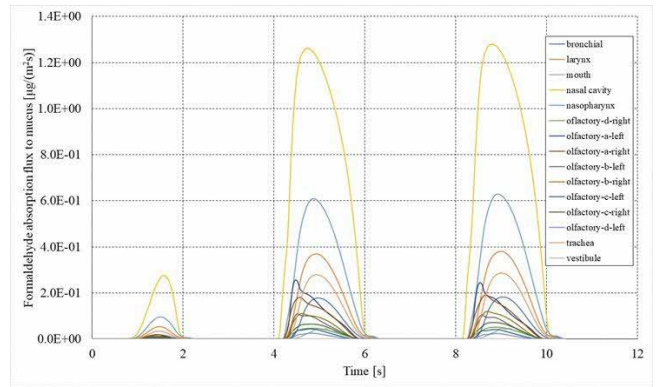
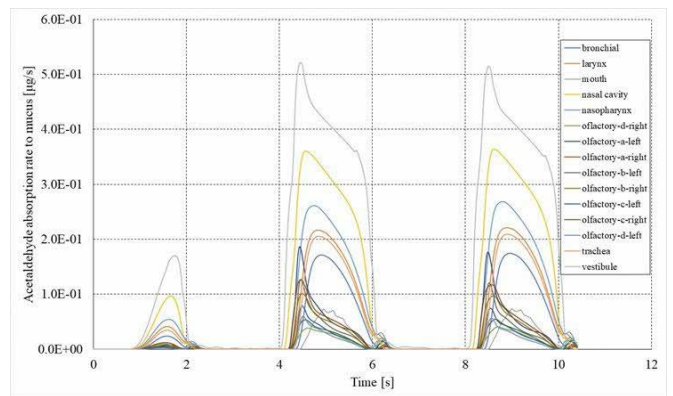


Fig.13 Moisture transfer in respiratory tract

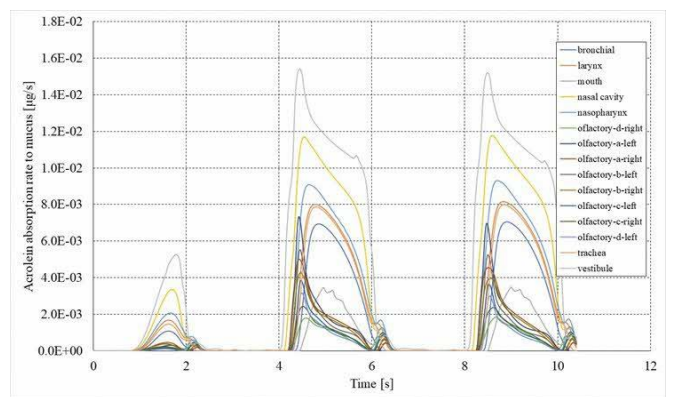
更に、室内環境基準が定められている化学物質を対象として、経気道曝露解析を行った結果を Fig. 14 に示す。代表的な化学物質として、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインの3物質を対象とした場合の3呼吸サイクル分の解析結果を示している。



(1) Formaldehyde



(2) Acetaldehyde



(3) Acrolein

Fig.14 Example of representative aldehyde adsorption onto epithelial tissue surface (olfactory region) of airway model

アルデヒド系化学物質は気道粘液ならびに粘膜上皮細胞に対する吸収率が高いことから、吸入時に気道内に輸送された化学物質は気道界面に吸着し、Michaelis-Menten 式で記述される代謝クリアランスが寄与することで、粘膜上皮細胞・上皮下組

織で効率的に濃度低下する。結果として、気道内腔に残存する化学物質濃度が低下することから、吸出時には気道界面沈着はほぼゼロとなり、室内側への呼出時には空气中濃度がほぼゼロとなることが確認されている。

D. 考察

研究初年度には、マテリアルフロー分析(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が、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り、実用上は十分な予測精度が担保されていることを確認した。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。社会的なストックデータから MFA を行うことで、合理的な CFD 解析の壁面境界条件を設定できる可能性を示した。

本研究では鼻腔・口腔から気管支第 16 分岐までを精緻に再現した *in silico* 気道モデルを作成したが、これは限定されたボランティア CT データを使用して作成したものである。複数の気道モデルを対象とした比較研究では、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との報告例もある。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。本研究で開発した *in silico* 人体モデルを用いた解析では、室の代表濃度とは異なる経気道曝露濃度を予測することが可能となることを例証的に示す事には成功したと云えるが、室内環境から人体、更には気道内の曝露予測を一連の解析として実施した場合の全体的な予測精度に関しては、定量的な検証が出来

ていない。人体幾何形状から気道幾何形状を含めた個体差の影響も含め、これらについての検討は今後の課題である。

室内空気環境に関連する国際標準化を担う ISO TC146 SC6 では、WHO ならびに厚生労働省が定める室内濃度指針値既設化学物質の他、室内空气中の真菌、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。

E. 結論

研究初年度は、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。

研究二年目には、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。特に、気道モデルに流体解析と連成解析可能な生理的薬物動態モデル(PBPK-CFD モデル)を適用することで、室内の濃度分布情報に加えて不均一濃度分布を考慮した経気道曝露濃度の評価が可能となることをアンモニア水溶液からのガス状アンモニアの室内拡散を想定した例証的な解析事例として示した。

最終年では、数値気道モデルならびに数値人体モデルの改良に取り組み、室内環境から気管支第 16 分岐までの細気管支までの化学物質輸送を連続し

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

F. 健康危険情報

(総括研究報告書に纏めて記入)

G 研究発表

1. 論文発表

- [1] Mitsuharu Sakamoto, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Gabriel Beko, Mengze Li, Jonathan Williams and Pawel Wargocki, CO2 Emission rates from sedentary subjects under controlled laboratory conditions, *Building and Environment*, 2022, In Press
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108735)
- [2] U Yanagi, Shinsuke Kato, Hideaki Nagano, Kazuhide Ito, Toshio Yamanaka, Yoshihisa Momoi, Hikaru Kobayashi, Hirofumi Hayama. Dispersion characteristics of oral microbial communities in a built environment, *Japan Architectural Review*, 2022, In Press
(doi.org/10.1002/2475-8876.12261)
- [3] Hana Salati, Mehrdad Khamooshi, Jingliang Dong, Kazuhide Ito, David Fletcher, Sara Vahaji, Kiao Inthavong. Exhaled Aerosol and Jet Flow Characterization During Nasal Sneezing, *Aerosol and Air Quality Research*, 22 (4),2022, 210338
(doi.org/10.4209/aaqr.210338)
- [4] Xiaojun Fan, Mitsuharu Sakamoto, Huiqi Shao, Kazuki Kuga, Li Lan, Kazuhide Ito, Pawel Wargocki. Emission rate of carbon dioxide while sleeping, *Indoor Air*, 2021; 31: 2142-2157
(doi.org/10.1111/ina.12911)
- [5] Mahbulul Muttakin, Animesh Pal, Mahua Jahan Rupa, Kazuhide Ito, Bidyut Baran Saha. A critical overview of adsorption kinetics for cooling and refrigeration systems, *Advances in Colloid and Interface Science*, 294 (2021) 102468
(doi.org/10.1016/j.cis.2021.102468)
- [6] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kenji Tani, Kiao Inthavong, Kazuhide Ito, 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 (2021) 104395
(doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104398)
- [7] Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Pawel Wargocki. The effects of warmth and CO2 concentration, with and without bioeffluents, on the emission of CO2 by occupants and physiological responses, *Indoor Air*, 2021;31:2176-2187
(doi.org/10.1111/ina.12852)
- [8] Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Wenhao Chen, Ping Wang, Jeff Fowles, Kazukiyo Kumagai. Secondary indoor air pollution and passive smoking associated with cannabis smoking using electric cigarette device – Demonstrative *in silico* study, *PLOS Computational Biology*, 17(5), e1009004
(doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009004)
- [9] Eunsu Lim, Mats Sandberg and Kazuhide Ito, Returning Frequency of Pollutants for Local Domain in the presence of Returning and Recirculating Air Flow in Indoor Environment, *Indoor Air*, 2021;31:1267–1280
(doi.org/10.1111/ina.12803)
- [10] Yiwen Wang, Alicia Murga, Zhengwei Long, Sung-Jun Yoo, and Kazuhide Ito. Experimental study of oil mist characteristics generated from minimum quantity lubrication and flood cooling, *Energy and Built Environment*, 2 (2021) 45-55
(doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.005)
- [11] Yujin Kang, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito, Correlation between formaldehyde emission characteristics in enclosed desiccators with five different geometries: *Indoor and Built Environment*, 2021, 30(4), 565-577
(doi.org/10.1177/1420326X20908918)
- [12] Hajime Sotokawa, Juyeon Chung, Sung-jung Yoo, and Kazuhide Ito. Sensitivity numerical analyses for identifying rate-limiting factors influencing total energy exchange efficiency in energy recovery ventilator, *Indoor and Built Environment*, 2021, 30(2) 245-263
(doi.org/10.1177/1420326X19890376)
- [13] Chang Xu, Nguyen Dang Khoa, Sung-Jun Yoo, Xin Zheng, Shifei Shen, and Kazuhide Ito. Inhalation Airflow and Ventilation Efficiency in Subject-Specific Human Upper Airways, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 285, 2021, 103587
(doi.org/10.1016/j.resp.2020.103587)
- [14] Ken Bryan Fernandez, Naoki Ikegaya, Qingyan Chen, and Kazuhide Ito. Determination of age of air, purging flow rate, and net escape velocity within a cross ventilation model sheltered by

- urban-like block arrays using large-eddy simulations, *Building and Environment*, 226 (2022), 109759 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109759)
- [15] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kenji Tani, Kiao Inthavong, Kazuhide Ito. *In silico* decongested trial effects on the impaired breathing function of a bulldog suffering from severe brachycephalic obstructive airway syndrome, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 228 (2023) 107243 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107243)
- [16] Hiroshi Harashima, Eisaku Sumiyoshi, and Kazuhide Ito. Internal diffusion and re-emission of leaked liquid ethyl acetate from mortar materials, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 672–681 (doi.org/10.1002/2475-8876.12297)
- [17] Eunsu Lim, Hirofumi Tanaka, Gen Ni, Yuen Bai, Kazuhide Ito. Microplastics / Microfibers in settled indoor house dust- Exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 682–690 (doi.org/10.1002/2475-8876.12298)
- [18] Haruna Yamasawa, Teruaki Hirayama, Ryota Muta, Kazuki Kuga, Tomohiro Kobayashi, and Kazuhide Ito. Influence of inlet turbulent condition on the formation mechanism of local scalar concentrations, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 691–701 (doi.org/10.1002/2475-8876.12299)
- [19] Ryota Muta and Kazuhide Ito. Impact of heat generation and use of experimental instruments in a fume hood on pollutant capture efficiency, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 702–713 (doi.org/10.1002/2475-8876.12300)
- [20] Sung-Jun Yoo, and Kazuhide Ito. Validation, verification, and quality control of computational fluid dynamics analysis for indoor environments using a computer-simulated person with respiratory tract, *Japan Architectural Review*, 2022, Vol.5, no.4, pp 714–727 (doi.org/10.1002/2475-8876.12301)
- [21] Hana Salati, Mehrdad Khamooshi, Jingliang Dong, Kazuhide Ito, David Fletcher, Sara Vahaji, Kiao Inthavong. Exhaled Aerosol and Jet Flow Characterization During Nasal Sneezing, *Aerosol and Air Quality Research*, 22 (4),2022, 210338 (doi.org/10.4209/aaqr.210338)
- [22] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. SARS-CoV-2 Dynamics in the Mucus Layer of the Human Upper Respiratory Tract Based on Host-Cell Dynamics, *Sustainability*, 2022, 14 (7), 3896 (doi.org/10.3390/su14073896)
- [23] Ryota Muta, Sung-Jun Yoo, Hyuntae Kim, Toru Matsumoto, Kazuhide Ito. Multiscale analysis of material flow and computational fluid dynamics for predicting individual DEHP exposure concentration in indoors, *Indoor and Built Environment*, Volume 31, Issue 9, November 2022, Pages 2291-2311 (doi.org/10.1177/1420326X221092613)
- [24] Naoki Ikegaya, Mats Sandberg and Kazuhide Ito. Rigorous mathematical formulation of net escape velocity and net escape probability determining a macroscopic concentration, *Indoor Air*. 2022;32 (7): e13072 (doi.org/10.1111/ina.13072)
- [25] Kazuki Kuga, Mitsuharu Sakamoto, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Prediction of exhaled carbon dioxide concentration using a computer-simulated person that included alveolar gas exchange, *Indoor Air*, 2022;32 (8) e13079 (doi.org/10.1111/ina.13079)
- [26] Hiroshi Harashima, Eisaku Sumiyoshi, Kazuhide Ito. Numerical models for seamlessly predicting internal diffusion and re-emission of leaked liquid toluene from indoor mortar materials, *Journal of Building Engineering*, 57 (2022) 104976 (doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104976)
- [27] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Ken Takahashi and Kazuhide Ito. Transport and deposition of inhaled man-made vitreous and asbestos fibers in realistic human respiratory tract models: An *in-silico* study, *Japan Architectural Review* 2022, Vol.5, no.4, pp 592–608 (doi.org/10.1002/2475-8876.12277)
- [28] Yukun Wang, Xiong Shen, Sung-Jun Yoo, Zhengwei Long, Kazuhide Ito. Error analysis of human inhalation exposure simulation in industrial workshop, *Building and Environment*, 224 (2022) 109573 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109573)
- [29] Ryota Muta, Juyeon Chung, Cong Li, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Pollutant capture efficiencies in and around the opening-surface of a fume hood under realistic conditions, *Indoor and Built Environment*, Volume 31, Issue 6, July 2022, Pages 1636-1653 (doi.org/10.1177/1420326X211066538)
- [30] Kazuki Kuga, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Breathing zone and exhaled air re-inhalation rate

- under transient conditions assessed with a computer-simulated person, *Indoor Air*, 2022, 32, e13003
(doi.org/10.1111/ina.13003)
- [31] Xiaojun Fan, Huiqi Shao, Mitsuharu Sakamoto, Kazuki Kuga, Li Lan, David P. Wyon, Kazuhide Ito, Mariya P. Bivolarova, Chenxi Liao, and Pawel Wargocki. The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: pilot measurements in a climate chamber, *Building and Environment*, 209 (2022) 108666
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108666)
- [32] Cong Li, Sung-Jun Yoo, and Kazuhide Ito, Impact of Indoor Ventilation Efficiency on Acetone Inhalation Exposure Concentration in Respiratory Tract, *Building Simulation*, 16, 427–441 (2023)
(doi.org/10.1007/s12273-022-0954-4)
- [33] Sung-Jun Yoo, Akira Kurokawa, Kazuhiko Matsunaga, and Kazuhide Ito. Spatial distributions of airborne transmission risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons, *Experimental and Computational Multiphase Flow*, 2023, 1-15
(doi.org/10.1007/s42757-022-0146-6)
- [34] Alicia Murga, Rahul Bale, Chung-Gang Li, Kazuhide Ito, Makoto Tsubokura. Large eddy simulation of droplet transport and deposition in the human respiratory tract to evaluate inhalation risk, *PLOS Computational Biology*, 19(3): e1010972
(doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010972)
- [35] Kazuki Kuga, Ryusei Kizuka, Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito, Effect of transient breathing cycle on micro and nanoparticles depositions on respiratory walls, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 236 (2023) 107501
(doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107501)
- [36] Nguyen Dang Khoa, Sixiao Li, Nguyen Lu Phuong, Kazuki Kuga, Hidetake Yabuuchi, Keiko Kan-o, Koichiro Matsumoto, Kazuhide Ito. Computational Fluid-Particle Dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 237 (2023) 107589
(doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107589)
- [37] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Visual prediction and parameter optimization of viral dynamics in mucus milieu of upper airway based on CFPD-HCD analysis, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 238 (2023) 107622
(doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107622)
- [38] Islam Abouelhamd, Kazuki Kuga, Sung-jun Yoo, Kazuhide Ito. Identification of Probabilistic Size of Breathing Zone during Single Inhalation Phase in Semi-Outdoor Environmental Scenarios, *Building and Environment*, 243 (2023) 110672
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110672)
- [39] Takumi Nishihara, Hanyu Li, Kazuki Kuga, and Kazuhide Ito. Seamless numerical analysis of transient infectious droplets dispersion and inhalation exposure - in silico study, *Building and Environment*, 244 (2023) 110748
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110748)
- [40] Sung-jun Yoo, Shori Yamauchi, Hyun-Gyu Park, Kazuhide Ito. Computational Fluid and Particle Dynamics Analyses for Prediction of Airborne Infection/Spread Risks in Highway Buses: A Parametric Study, *Fluids* 2023, 8(9), 253
(doi.org/10.3390/fluids8090253)
- [41] Yukun Wang, Jingnan Sun, Meng Zhao, Alicia Murga, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito, Zhengwei Long. Numerical study of indoor oil-mist particle concentration distribution in industrial factory using the Eulerian-Eulerian and Eulerian-Lagrangian methods, *Fluids* 2023, 8(10), 264
(doi.org/10.3390/fluids8100264)
- [42] Kazuki Kuga, Sara Hoshiyama, Pawel Wargocki, and Kazuhide Ito. A pilot numerical study of odourant transport from an indoor environment to the olfactory region during sensory evaluations following ISO 16000-28, *Building and Environment*, 245 (2023) 110868
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110868)
- [43] Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kiao, Inthavong, Kazuhide Ito. Coupled Eulerian Wall Film-Discrete Phase model for predicting the respiratory droplets generation during the coughing event, *Physics of Fluids*, 35, 112103 (2023)
(doi.org/10.1063/5.0174014)
- [44] Hyun-Gyu Park, Sung-Jun Yoo, Janghoo Seo, Eisaku Sumiyoshi, Hiroshi Harashima, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Integration of computer-simulated persons with multi-node thermoregulation model that considers the effect of clothing for skin surface temperature distribution analysis, *Building and Environment*, 248 (2024) 111105
(doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111105)
- [45] Kazuki Kuga, Ryusei Kizuka, Islam Abouelhamd, Kazuhide Ito. Aspiration efficiency and respiratory

tract deposition of indoor suspended micro-particles during steady and transient breathings, *Building and Environment*, 249 (2024) 111114 (doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111114)

- [46] Hanyu Li, Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. In silico identification of virus loads in cough-generated droplets - Seamless integrated analysis of CFPD-HCD-EWF, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 246 (2024) 108073 (doi.org/10.1016/j.cmpb.2024.108073)
- [47] Islam Abouelhamd, Kazuki Kuga, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Effect of Crowd Density, Wind Direction, and Air Temperature on the Formation of Individual Human Breathing Zones in a Semi-outdoor Environment, *Sustainable Cities and Society*, 103 (2024) 105274 (doi.org/10.1016/j.scs.2024.105274)

2. 学会発表

- [1] Kazuki Kuga, Mitsuharu Sakamoto, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Numerical Investigation of Human CO₂ Emission in a Personalized Work Environment, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- [2] Ryota Muta, Sung-Jun Yoo, Hyuntae Kim, Toru Matsumoto, Kazuhide Ito. Downscaling from material flow analysis to indoor CFD for health risk assessment associated with DEHP exposure, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- [3] Xiaojun Fan, Mitsuharu Sakamoto, Huiqi Shao, Kazuki Kuga, Li Lan, Kazuhide Ito, Pawel Wargocki. Human CO₂ emission rates during sleeping, Healthy Building Europe, 2021, Norway
- [4] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Ken Takahashi, Kazuhide Ito. Computational Fluid Dynamics Application to Investigate Man-Made Vitreous Fibers Transportation and deposition in Realistic Human Respiratory System, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [5] Ryusei Kizuka, Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Particle Dispersion Analysis in a Numerical Airway Model Under Transient Breathing, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [6] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Regional Deposition of Airborne SARS-CoV-2 Laden Droplets in the Upper Airway and Its Effects Using Host-Cell Dynamics, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [7] Mitsuharu Sakamoto, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Pawel Wargocki, Numerical investigation of alveolus gas exchange for human CO₂ emission in the chamber experiment, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [8] Kei Murota, Sena Hyodo, Yujin Kang, Sung-Jun Yoo, Kazuki Takenouchi, Shin-ichi Tanabe and Kazuhide Ito. Realistic Three-Dimensional Modeling of Clothing and Heat and Mass Transfer Analysis using Computational Fluid Dynamics Part 2: Clothing-Centered Hygrothermal-Chemical Transfer Analysis, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [9] Sena Hyodo, Kei Murota, Yujin Kang, Sung-Jun Yoo, Kazuki Takenouchi, Shin-ichi Tanabe and Kazuhide Ito. Realistic Three-Dimensional Modeling of Clothing and Heat and Mass Transfer Analysis using Computational Fluid Dynamics Part 1: Development of Detailed 3D Clothing Model and Air Flow Analysis, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [10] Mengchen Ma, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Thermal comfort analysis coupled with computational fluid dynamics using computer simulated person, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [11] Akira Kurokawa, Shori Yamauchi, Sung-Jun Yoo, Kazuhide Ito. Computational Fluid Dynamics analysis of flow and airborne particle dispersion in a transit bus cabin, Healthy Building America, 2021, Hawaii, USA
- [12] Kazuhide Ito. In Silico Modeling for Airborne Transmission of Inhaled Virus-Laden Droplets and Host Cell Dynamics in the Respiratory System, Keynote Speech, TSIEQ 2021, June 3-4, 2021, Tainan, Taiwan
- [13] Kazuhide Ito. Integrated CFD and In Silico Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, Keynote Speech, ISHVAC 2021, November 24-26, Seoul, South Korea
- [14] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Effects of Initial Conditions and Parameters on the Prediction of SARS-CoV-2 Viral Load in the Upper Respiratory Tract Based on Host-Cell Dynamics, IEICES 2021, IGSES, Kyushu University,
- [15] Kazuhide Ito. *In Silico* Human Model based Indoor Design for Healthy Environment, 2021 International Conference of Green Building and Low Carbon Technology, China, 2021, Xi'an University of Architecture and Technology
- [16] Kazuhide Ito. Computer simulated person for predicting inhalation exposure and airborne infection, SCONNA 2022, Oklahoma, USA, 2022

- [17] Kazuhide Ito, In Silico Modeling for Airborne Transmission Analysis in Indoor Environment, IAQVEC Webiner, 2022.03
- [18] Ryusei Kizuka, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Regional deposition of inhaled nano-to-microscale particle in realistic upper respiratory tract under steady and transient breathing conditions, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [19] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. SARS-CoV-2 infection dynamics integrated with mucociliary transport in human upper airway, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [20] Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Regional deposition characteristics of fibrous particles compared to spherical particles in human upper airway – in silico case study, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [21] Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Integrated Modeling of CO₂ Transport from Indoor to Alveolar Region for Elucidating Human CO₂ Emission Mechanism, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [22] Takumi Nishihara, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Numerical investigation of cough droplets dispersion dynamics in indoor environment: Effect of oral cavity shape, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [23] Sara Hoshiyama, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Formation of Acetone concentration distribution around breathing zone and transport efficiency to olfactory epithelium cells, COBEE 2022, Montiol, Canada, 2022
- [24] Ryota Muta, Kazuhide Ito. Numerical investigation of pollutant capture and ventilation efficiencies in laboratory fume hood, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [25] Kazuki Kuga, Pawel Wargocki, Kazuhide Ito. Impact of room temperature on human carbon dioxide emission rates at different physical activity levels, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [26] Pawel Wargocki, Mitsuharu Sakamoto, Xiaojun Fan, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito, Jonathan Williams, Gabriel Beko, CO₂ emission rates from humans when sleeping and awake. Impact of environmental factors and age, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [27] Eunsu Lim, Hirofumi Tanaka, and Kazuhide Ito. Preliminary Investigation of Indoor Microplastic Concentrations in house dust in Japanese Residential Houses, Indoor Air 2022, Kuopio, Finland, June 2022
- [28] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Infection dynamics of SARS-CoV-2 in musus later of the human nasal cavity-nasopharynx, Roomvent 2022, Xian, China, September 2022
- [29] Sena Hyodo, Kei Murota, Sung-Jun Yoo and Kazuhide Ito. Development of three-dimensional clothing model for computer simulated person integrated with thermoregulation model, Roomvent 2022, Xian, China, September 2022
- [30] Nguyen Dang Khoa, Kazuhide Ito. Computational analysis of ultrafine and fine particle deposition mechanisms in human lower airway, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [31] K. B. Fernandez, Naoki Ikegaya, Kazuhide Ito. Large Eddy Simulation of Flow and Concentration Distributions in an Indoor Space Surrounded by Urban-like Block Arrays, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [32] Alicia Muraga, Kazuhide Ito, Makoto Tsubokura. Using CFD to develop a virtual human manikin for infection risk assessment, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [33] Hyun-Gyu Park, Sung-Jun Yoo, Eisaku Sumiyoshi, Hiroshi Harashima and Kazuhide Ito. Indoor Thermal Comfort Assessment Using CFD-CSP Hybrid Analysis, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [34] Sena Hyodo, Sung-Jun Yoo and Kazuhide Ito. Three-Dimensional Modeling and Computational Fluid Dynamics Analysis for Ventilation in Clothing, ACFD 2022, South Korea, October 16-19
- [35] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Numerical Investigation of Fine particle Transportation and Deposition in the Human Lower Airway: Impact of airflow and particle size on deposition efficiency, IEICES 2022, IGSES, Kyushu University
- [36] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Investigation of ultrafine particle deposition in human airway to the 9th generation of bronchial tubes using computational fluid and particle dynamics, IAQVEC 2023, Tokyo
- [37] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Parameter Optimization of a Viral Dynamics Model in the Mucus Layer of the Human Nasal Cavity-Nasopharynx Based on Computational Fluid-Particle and Host-Cell Dynamics, IAQVEC 2023, Tokyo
- [38] Takumi Nishihara, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Computational fluid and particle dynamics simulation of airborne transmission in indoor

environment – Effect of physical distance from infected person, IAQVEC 2023, Tokyo

- [39] Park Hyun-Gyu, Yoo Sung-Jun, Sumiyoshi Eisaku, Harashima Hiroshi, Ito Kazuhide. Numerical Thermal Comfort Analysis Using Combined Computer-Simulated Person with Clothing and Multi-Node Thermoregulation Model, IAQVEC 2023, Tokyo
- [40] Nguyen Dang Khoa, Nguyen Lu Phuong, Kazuhide Ito. Large Eddy Simulation of Airflow Patterns in the Human Upper and Lower Airway Up To the 16th Generation: A Comparison Study, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [41] Hanyu Li, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Host Cell Dynamics model development and specific parameterization for 3D upper respiratory tract model coupled with CFPD analysis, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [42] Teruaki Hirayama, Haruna Yamasawa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Effect of turbulent inlet boundary conditions on pollutant emissions and dispersion in an indoor environment, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [43] Kazuki Kuga and Kazuhide Ito. Aspiration probability and resulting airway deposition of indoor particles during steady and transient breathings, Healthy Building 2023 Asia Pacific, China
- [44] Alicia Murga, Kazuhide Ito and Makoto Tsubokura. Rethinking different ventilation strategies in a post-pandemic era: a CFD assessment, AIVC 2023, Copenhagen, Denmark
- [45] Nguyen Dang Khoa, Kazuki Kuga, Kazuhide Ito. Numerical Prediction of Respiratory Droplet Generation from Coughing Using Discrete phase-coupled Eulerian Wall Film Model, ICNAA 2023, Brisbane, Australia
- [46] Islam Abouelhamd, Sung-jun Yoo, Kazuki Kuga, and Kazuhide Ito. Numerical prediction of particle breathing zone in a semi-outdoor environment, ICNAA 2023, Brisbane, Australia
- [47] Kazuhide Ito. Ventilation Efficiency and Infection Control – in silico Human Modelling Study, International Symposium on Urban Sustainability (ISUS), University of Gävle, Sweden

H. 知的財産権の出願・登録状況

特に無し