

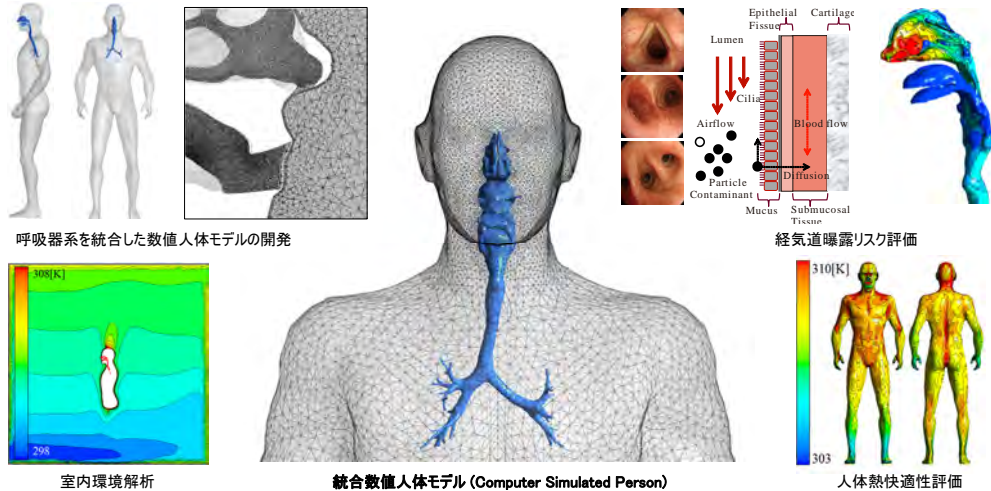
動作と生理的薬物動態を再現する数値人体モデルの開発と 室内空気質制御への応用

九州大学 大学院総合理工学研究院 環境理工学部

劉 城準(ユ ソンジュン)

研究内容

数値人体モデルを使用した室内環境評価の高度化



研究目的

- ✓ 室内環境設計の最適化には、環境中の居住者の生理反応を詳細かつ精緻に予測・評価することが必須
→ その情報を建築物の設計プロセスや運営段階にて導入

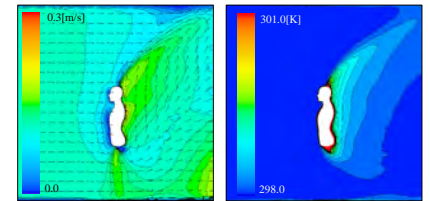
実験的方法

- ✓ 時間・コスト等の制約が存在
- ✓ 被検者実験の場合、倫理的な制約より一般的な環境条件から大きく逸脱した環境下での実験は許されない

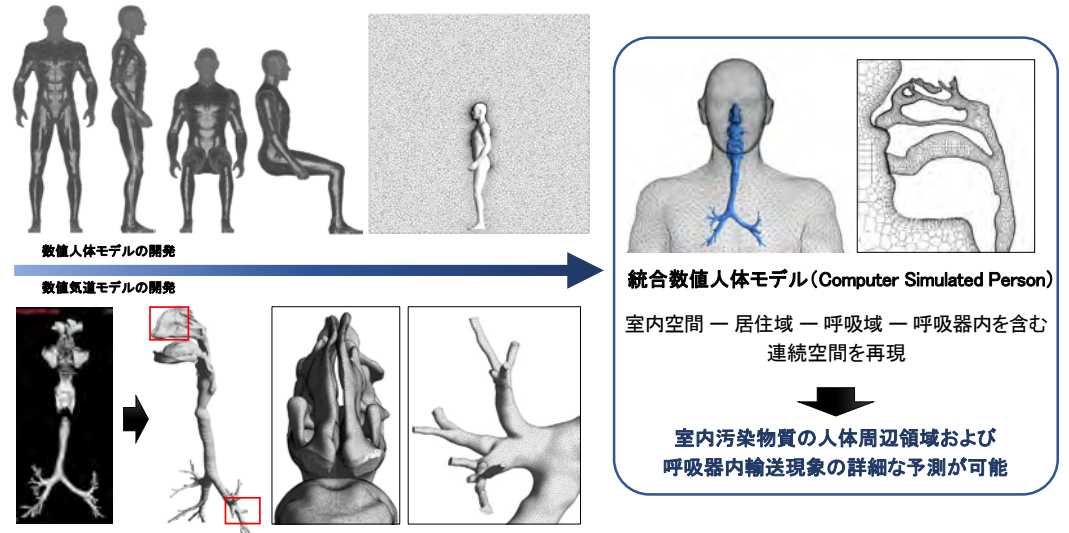


数値シミュレーション

- ✓ 人体の詳細幾何形状を始め、人体の各機能をコンピュータ上に詳細に再現した数値人体モデルの開発と、その室内環境設計への活用が期待される



呼吸器系を統合した数値人体モデルの開発



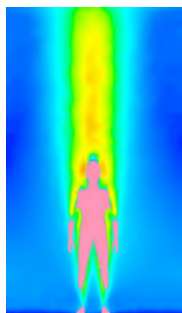
人体熱生理モデルを導入した熱快適性予測

室内熱環境－人体熱生理の連成解析手法

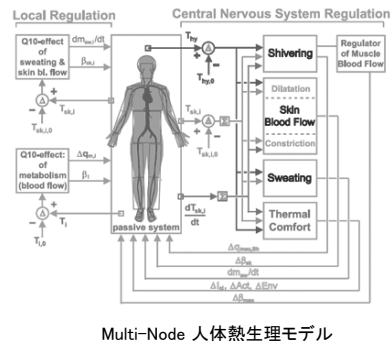
人体の熱バランス式

$$M = Q_{sk} + Q_{res} + S$$

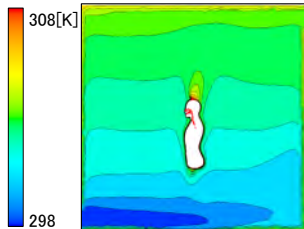
$$= (Q_{cv} + Q_r + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + S_{cr} + S_{sk}$$



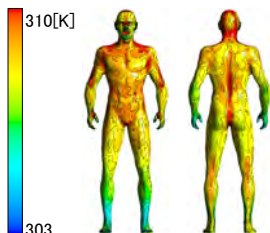
室内熱環境と人体



Multi-Node 人体熱生理モデル



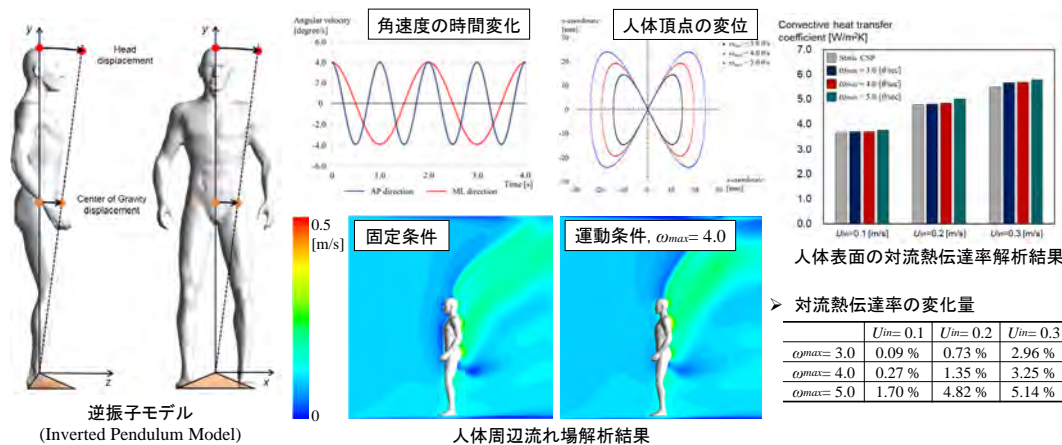
室内熱環境予測



人体熱快適性評価

人体微細運動の再現と熱快適性への影響評価

逆振子モデル(IPM)を導入、前後・左右方向の微細運動を再現し、人体周辺微気候および熱損失に及ぼす影響を評価
健康で若い成人男性を想定し、振動周期および振動幅を設定、緩やかな室内気流条件下でパラメトリック解析を実施



人体表面の対流熱伝達率解析結果

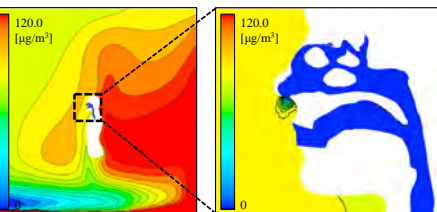
対流熱伝達率の変化量

	$U_{in}=0.1$ [m/s]	$U_{in}=0.2$ [m/s]	$U_{in}=0.3$ [m/s]
$\omega_{max}=3.0$	0.09 %	0.73 %	2.96 %
$\omega_{max}=4.0$	0.27 %	1.35 %	3.25 %
$\omega_{max}=5.0$	1.70 %	4.82 %	5.14 %

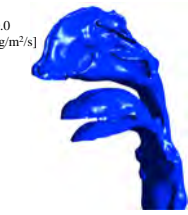
生理的薬物動態解析による汚染物質吸入曝露リスクの定量評価

生理的薬物動態解析(PBPK)モデル
→ 気道内壁面の汚染物質の吸着から体内に輸送される現象まで予測可能
粘膜炎・上皮・上皮下組織内の代謝分解、1次反応、血流輸送量などの健康リスクの定量的データを出力可能

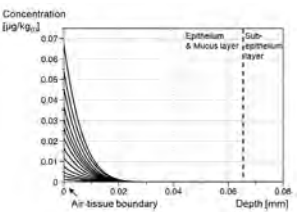
PBPK-CSP連成解析手法は、制御対象や規制対象とすべき経気道曝露の参照濃度(Reference Concentration)の合理的決定に貢献可能



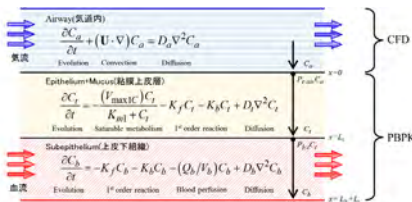
室内汚染物質分布および呼吸域内濃度分布



気道内汚染物質吸着分布



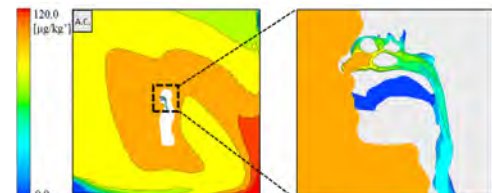
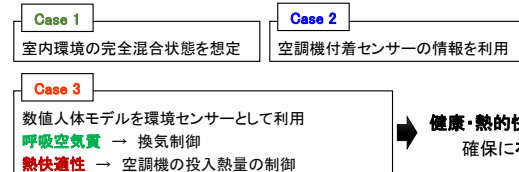
鼻腔組織内汚染物質濃度プロファイル



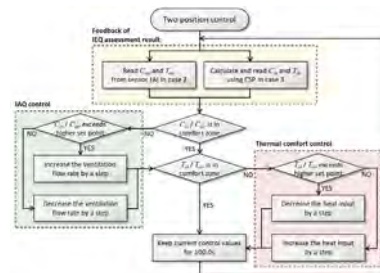
PBPK-CFD連成解析モデル(ホルムアルデヒド対象)

数値人体モデルを使用した空調制御の最適化

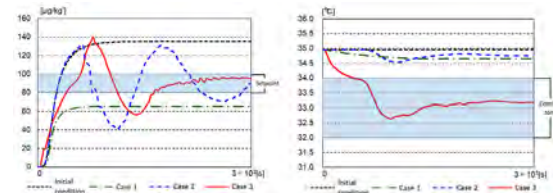
空調時に形成される室内の環境場には不均一性が存在
数値人体モデルを環境センサーとして利用した空調制御手法を構築
→ 人体をターゲットとした空調制御への適用可能性を予備的に検討



室内汚染物質分布の不均一性



人体熱快適性を直接考慮した空調制御アルゴリズム



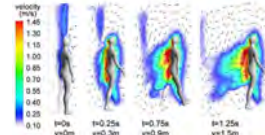
数値人体モデルによる空調制御手法の効率性・有効性

今後の展望

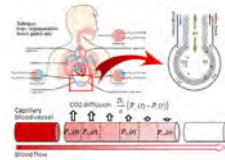
- 1) 実人体の着衣状態を想定し、衣服の詳細幾何形状ならびに衣服を中心とした熱・水分・物質同時移動解析モデルを構築し、衣服の人体熱快適性への影響を解明する。
- 2) 本研究で検討した人体微細運動の再現の他、歩行などの動作の再現とその影響を人体-室内環境の相互作用の観点から検討する。
- 3) 室内空気質制御の重要な対象物質となる二酸化炭素に着目し、被験者実験および数値人体モデルを使用した数値解析手法により体内からの二酸化炭素発生メカニズムを解明すると共に、呼吸域濃度分布と吸入濃度の関係について調査する。



衣服の詳細幾何形状の再現



歩行時の人体周辺気流 (Y.Tao et al., 2017)



肺内ガス交換モデル

発表論文

- [1] 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*, Accepted
- [2] Sung-Jun Yoo, Akira Kurokawa, Kazuhiko Matsunaga, and Kazuhide Ito, Spatial distributions of airborne transmission risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons, *Experimental and Computational Multiphase Flow*, Accepted
- [3] Kei Murota, Yujin Kang, Sena Hyodo, Sung-Jun Yoo, Kazuki Takenouchi, Shin-ichi Tanabe and Kazuhide Ito, Hygro-thermo-chemical transfer analysis of clothing microclimate using three-dimensional digital clothing model and computer-simulated person, *Indoor and Built Environment*, 2022.1

その他、本研究成果と関連した論文発表実績: 7件

ご清聴ありがとうございました。