

Computer Simulated Person to Assess Micro-Environment Heterogeneity Indoors

朴, 炫奎

<https://hdl.handle.net/2324/7329514>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (学術), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	PARK Hyun-gyu			
論 文 名	Computer Simulated Person to Assess Micro-Environment Heterogeneity Indoors (室内微細環境の不均一性評価のための人体モデル)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	伊藤 一秀
	副 査	九州大学	教授	池谷 直樹
	副 査	九州大学	教授	弓本 桂也
	副 査	九州大学	准教授	劉 城準

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

快適性や衛生性、知的生産性などを高度に最適化した室内環境設計の需要が高まっており、室内環境質(Indoor Environmental Quality)を正確に評価した上で、それら環境要因と居住者(人体)との相互作用を高度に解析可能な数値人体モデル(Computer Simulated Person : CSP)の開発が必要となっている。室内に形成される不均一場予測への適用を前提とした場合、人体形状の再現に加え、人体各部位の皮膚温度を予測するための人体生理機能の正確な再現が不可欠である。

本論文では、詳細な人体幾何学的形状に加え、体温調節メカニズム、呼吸メカニズム、および姿勢変化(微細運動)の3つの主要な生理機能を高度に統合した数値人体モデルを開発した上で、室内環境設計で汎用的に使用される計算流体力学 CFD 技術への実装を目的とする。特に実験的な精度検証を容易にするため、室内環境中の人体周辺微気候を対象とした実験研究で広く使用されている ANDI 型実験用サーマルマネキンを対象として、高精度三次元レーザースキャナを適用することで ANDI モデルの Digital Twin モデルを作成した。その際に裸体モデルの他、着衣条件での計測を行う事で、複数の着衣モデルを作成した。数値人体モデルに着衣モデルを実装する際には、皮膚と着衣間の通気層も再現することで、皮膚表面から室内空間への熱物質輸送を精緻に解析可能となることを示した。

引き続き、ANDI 型実験用サーマルマネキンの皮膚表面温度ならびに人体生理発熱の制御アルゴリズムである人体熱モデル(Fiala マルチノード体温調節モデル)を ANDI モデルの Digital Twin モデルに実装することで、数値人体モデルを作成した。数値人体モデルと計算流体力学の CSP-CFD 連成解析を実施し、ANDI 型実験用サーマルマネキンを用いた基礎的な実験結果と比較することで、人体周辺温度分布、風速分布、湿度分布ならびに皮膚表面温度分布を工学的に十分な精度で再現可能であることを検証した。

続いて、ANDI 型実験用サーマルマネキンの Digital Twin モデルを更に改良する目的で、呼吸モデルを統合した。被験者のコンピュータ断層撮影 CT データを基にヒト上気道の形状を抽出した上で、マネキンの鼻孔位置にシームレスに接続させることで、呼吸器モデルを実装した。更に、非定常呼吸プロファイルを呼吸器モデル端部で与えることで、鼻孔からの噴流により人体頭部周辺に形成される複雑流れ場が再現可能となることを確認した。

室内環境中での人体は完全に静止した状態ではなく、生理現象として微細に揺れている。この継続的に発生する微小運動を再現するために、質点倒立振子モデルを CSP-CFD 連成解析モデルに実装した上で、室内環境解析に適用することで、微小運動が呼吸域形成に与える影響を定量的に検討し

た．数値人体モデル CSP の微細運動を再現することで，人体周辺流れ場ならびに温度場解析結果に一定の影響を与えることが確認され，特に，身体周辺の熱上昇流形成と皮膚表面での対流熱伝達性状には大きな影響を与えないものの，一度の呼吸で吸入する領域を示す呼吸域(BZ)の形成には有意な影響を与えることが確認された．室内での熱的快適性予測の観点では人体微小運動の再現は必須ではないものの，感染リスク予測などの呼吸域評価の際には，微細運動の再現が重要な要素となることを明らかにした．

以上要するに，本論文は，実験用サーマルマネキンの Digital Twin である数値人体モデル (Computer Simulated Person) の開発と計算流体力学 CFD との連成解析手法を確立した上で，皮膚表面温度分布ならびに人体周辺微気象を工学的に十分な精度で再現することを検証し，更に，室内に形成される不均一環境場評価への応用展開に関する研究成果を報告するものであり，建築環境工学分野の進展に寄与するところが大きく，価値ある業績であると認める．よって，本論文は博士（学術）の学位論文に値するものと認められる．