

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 林立也

本論文は、「人体周辺微気象解析による呼吸空気質評価手法の開発」と題し、人体の呼吸空気質を詳細に予測する手法と、これを的確に評価する指標の開発を行うものである。呼吸空気質は一般に、人体の存在とは無関係に居住域もしくは呼吸位置高さの空気質で代表されるものと考えられている。しかし実際には、呼吸空気質は人体発熱によりその周辺に形成される人体周辺微気象の影響を大きく受ける。すなわち、呼吸空気質は人体抜きで観測、予測されるものとは異なっており、人体の存在抜きに予測・評価はできないものである。本論文ではこのような状況を踏まえ、室内に形成される汚染質の濃度分布を人体モデルを組み込んだ CFD (Computational Fluid Dynamics) で再現し、その人体モデルが実際に吸引する空気質を解析・評価している。解析・評価は人体の呼吸空気質と室内の濃度分布形成の主要素(汚染源位置、室の流れ場)との相関を指標化することにより定量的に行っている。この指標により、人体の呼吸空気質が大きく影響を受ける因子を具体的に把握し、効率的な呼吸空気質制御を可能とする手法を提案している。本論文は、汚染源の人体呼吸空気質への寄与を評価する指標として、CRP(汚染寄与率: Contribution Ratio of Pollution Source)を提案している。この指標を用いて、室内汚染源のどこを最優先に清浄化することが人体の呼吸空気質汚染の防止に有効であるかを詳細に検討している。また、呼吸空気質評価指標として、室内のある場所の空気塊の内、最終的に人体に吸引される割合を示す IAR(吸気領域: Inhaled Air Region)を提案し、呼吸空気質形成に対する人体周辺微気象の影響や室内の空調方式の違いによる影響を構造的に解明している。更に、タバコ煙を例として、室内及び呼吸空気質の形成に人体自身が果たす役割を室の空調・換気方式との関係を考慮して検討し、呼吸空気質の清浄化に有効な知見を得ている。

本論文は序編及び本論の3編により構成されている。

序編では、現状の室内空気汚染の問題点を概観し、人体の呼吸空気質を詳細に評価する手法と呼吸空気質制御の重要性に関して述べている。

第1編では、人体周辺の微気象を実験手法と CFD に基づく数値シミュレーション手法により解析すると共に、数値シミュレーション手法の検証を行っている。実験的検討では発熱するサーマルマネキンを用い、人体モデル近傍の流れを可視化して調べると共に、周辺の温度、風速、人体モデル表面における対流熱伝達を測定・解析している。また、PIV 風速計を用いて呼吸域の流れ性状を定量的に詳細に解析している。数値シミュレーションによる検討では実験と対応した発熱する人体モデルを室内流れ場に組み込んで流れ場の解析を行い、実験結果と比較・検証して、良い対応を得ている。

第2編では、第1編で精度を検証した人体周辺微気象シミュレーションを用いて、呼吸空気質評価手法の開発を行っている。解析では①汚染源位置(人体との関係による相対位置)と②室内

の流れ場(空調方式などによるマクロな流れと人体周辺の微気象の関係)の2点を配慮している。①に関しては、汚染源位置と人体の相対関係により、ある汚染源から発生した汚染質が人体にどの程度の割合で吸引されているかを示す数値指標 CRP を開発している。この指標を実際の室内モデルで詳細に解析し、その有用性を確認している。②の室内流れ場に関しては、流れ場による室内各場所の空気の人体に吸い込まれる割合を示す指標 IAR を開発し、室内モデルで詳細な解析を行っている。これにより呼吸空気質形成を構造的に検討している。上述した2つの指標は、人体の汚染質吸入量を室内の換気性状との関係を考慮して構造的に解析することを可能とするものであり、極めて独創性が高い。本編では、これら指標の応用として人体周辺の代表的汚染質である環境中煙草煙(ETS)が受動喫煙者にあたえる影響に関して定量的に評価している。

第3編では、第2編で示した2つの指標を用いて、室内の揮発性有機化合物による室内空気汚染の問題に関して具体的な解析を2章構成で論じている。第1章では、静穏室内において、人体が室内の壁面から発生した汚染質をどの程度吸引しているかを検討している。人体の呼吸空気質は人体周辺の熱上昇流の影響を大きく受けており、特に静穏環境下では床面からの汚染発生の影響を強く受ける性状が定量的に解明されている。この結果は、建材等の選択による室内の空気質対策の基礎的なデータを提供するものである。第2章では、人体姿勢の違いに応じた呼吸空気質の変化に関して検討を行い、様々な状況下における人体の呼吸空気の性状を解明している。この解析により、静穏環境下では呼吸空気質はどのような姿勢においても人体周辺に発生する熱上昇流の影響を強く受けることを明らかにしている。

以上を要約するに、本論文は人体周辺微気象の性状を実験手法、数値シミュレーション手法の両面から解析し、数値シミュレーションの精度を検証した上で、人体が実際に吸引する空気を数値シミュレーションにより定量的に予測・評価する手法を開発している。また、この予測手法を用いた結果に基づき、呼吸空気質汚染防止の観点から、呼吸空気質とその形成要素との相関を評価する新たな指標を開発し、その換気設計への有効性を確認している。このように本論文は呼吸空気質制御を行う上で極めて重要かつ有益な知見が数多く示されており、建築環境工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。