

## 論文の内容の要旨

論文題目 呼吸空気質及び温熱快適性の向上を図る  
新たなパーソナル空調の開発に関する研究

氏名 梁 禎訓

本論文は、建物の居住者に対する「呼吸空気質及び温熱快適性の向上を図る新たなパーソナル空調の開発」を研究テーマとしており、①大開口のパーソナル空調と②タスク域ワイドカバー型パーソナル空調を新たに提案している。また、それぞれのパーソナル空調に対して有効性を検証することを本研究の目的とする。

近年、室内環境に対するオフィスワーカーの要求が多様化し、ヒューマニズム的な配慮により執務空間のパーソナル化が望まれている。パーソナル化とは空間的な意味だけではなく、個人尊重の理念からパーソナル空間における環境制御を個人の好みに合わせることを含む。執務空間及び環境制御のパーソナル化に対応しながら建物の省エネルギー性や人間の温熱快適性、呼吸空気質を向上させる新たな空調システムが必要となっている。従って、タスク・アンビエント空調又はパーソナル空調に関心が高まっており、多くの研究開発が行われている。本来のタスク・アンビエント空調方式は、床吹出空調方式をベースとした熱源の自由度が低い方式であった。しかし、近年のタスク・アンビエント空調方式は個別熱源を搭載したものや、居住者の身の近いデスクやパーティションなどに吹出口を設けるなど、よりパーソナル的な環境制御が可能な方式として進化されている。このように、個人に対する環境制御性の高い空調方式を「パーソナル空調」と称している。

従来のパーソナル空調は、小開口の吹出口から冷却空気又は清浄空気を高風速で吹出し、人体の局所部位をスポット的に短時間で冷却する方式である。しかし、このようなスポットクーリング型のパーソナル空調は、人間が高代謝時においては快適と感じるかもしれないが、熱中立状態に達した後には局所気流によりドラフト感や目の乾燥感などの不快感を感じさせる可能性が高い。また、このようなスポットクーリング型パーソナル空調は人体の温熱制御（高風速による人体の局所冷却）が中心となった小開口の吹出口を使用してい

るため、吹出される清浄空気は周囲の空気と混合が促進され、清浄空気が人間の呼吸領域に到達する割合が期待より低い。このような従来のパーソナル空調の問題点を踏まえ、更に①呼吸空気質の向上、②温熱快適性の向上といった二つの課題に対し、①大開口のパーソナル空調、②タスク域ワイドカバー型パーソナル空調を提案し、それぞれのパーソナル空調の意義や特徴を以下に示す。

#### (1) 大開口のパーソナル空調

大開口のパーソナル空調とは、大開口の吹出口から低風速（0.05m/s）の清浄空気を人間の呼吸領域に直接送ることで、周辺空気（非清浄空気）との混合を抑制し、人間の呼吸空気質を向上させる空調方式である。また、清浄空気を低風速で吹出すため、使用者にドラフトや目の乾燥による不快感を感じさせない。

#### (2) タスク域ワイドカバー型パーソナル空調

タスク域ワイドカバー型パーソナル空調とはタスク領域の温度や気流分布性状を小さく、なるべく均一な温熱環境場となるよう制御し、タスク域にいる人間が大きな熱的不均一環境場に曝されないようにする空調方式である。パーソナル空調ユニットから冷却空気を上方に吹出し、冷却空気を密度差により人体を含むタスク域を包み込むように広く落下させ、人体へのドラフトリスクを最小化して空調を行う方式である。

本論文では、以上の両タイプのパーソナル空調の有効性を検証することを研究目的としており、検討は CFD、対流・放射連成解析、実験により行う。

序章では、省エネルギーと室内の空気質及び執務者の知的労働生産性に対して問題点を提起し、新たな空調方式の必要性を述べる。本論文で新たに提案する①大開口パーソナル空調、②タスク域ワイドカバー型パーソナル空調の意義や特徴を説明し、両パーソナル空調の有効性を検証することを本論文の目的とする。

第 1 章から第 4 章までは、PART1 として本研究に関わる基礎理論と既往の研究に関して解説する。

第 1 章では、本研究の実験手法として用いた実験サーマルマネキンと PIV（Particle Image Velocimetry）の制御及び計測原理を説明する。

第 2 章では、新たなパーソナル空調方式の有効性の検討に用いる流体解析（CFD）手法、対流・放射連成手法に関して解説する。また、室内環境シミュレーターとして用いられる数値サーマルマネキンの理論や概要を説明する。

第 3 章では、パーソナル空調による居住域の換気効率評価や人間の呼吸空気質評価に用いる既往の換気効率指標（SVEs）と汚染質寄与率指標（CRPs）を説明する。また、人体の温熱快適性の評価に用いた人体温熱生理モデル（熱中立モデル、2 Node モデル）に関して

解説する。

第4章では、タスク・アンビエント空調方式又はパーソナル空調方式に対する定義や特徴を説明し、既往の研究及び開発事例などを紹介する。

第5章から6章までは、PART2として人体の呼吸空気質の向上を図る「大開口パーソナル空調方式」の開発に関する研究を紹介する。

第5章では、タスク・アンビエント空調方式又はパーソナル空調方式のように、複数の吹出・吸込口がある室内において、各々の吹出口と吸込口の空気齢及び空気余命を評価する新たな換気効率指標 SVE3\*、SVE6\*の算出法を提案する。この換気効率指標はパーソナル空調など様々な空調方式の検討時における、吹出口及び吸込口の配置や設計に有効なツールとして用いられると考えられる。

第6章では、吹出清浄空気と周辺の非清浄空気との混合の少ない大開口パーソナル空調方式を新たに提案する。タスク・アンビエント空調が行われている室内において、同風量の等温気流パーソナル空調を用いた場合に吹出口の有効直径の違い（大開口と小開口の違い）が人体の呼吸空気質に及ぼす影響を、換気効率指標（SVEs）や汚染寄与率（CRPs）を用いて詳細に検討する。また、室内で発生する代表的な汚染質の一つとして環境タバコ煙（ETS：Environment Tobacco Smoke）を用いて、吸引主流煙濃度や副流煙濃度、パーティクル数などを検討し、大開口のパーソナル空調方式の有効性を検証する。

第7章から第10章までは、PART3として人間の温熱快適性の向上を図る「タスク域ワイドカバー型パーソナル空調方式」の開発に関する研究を紹介する。

第7章では、CFD解析や対流・放射連成解析の信頼性やメッシュへの依存性を確認するため、自然対流と強制対流が支配的なそれぞれの気流環境において Benchmark Testを行う。また、強制対流場の気流計測結果とも比較し、対流・放射連成解析ツールの信頼性や再現性などを検証する。

第8章では、人体へのドラフトリスクを最小化するタスク域ワイドカバー型パーソナル空調を新たに提案する。第7章で証明されたCFDおよび対流・放射連成解析の信頼性に基づき、スポットクーリング型とワイドカバー型パーソナル空調使用時における人体の周辺気流性状や温熱生理特性を検討する。また、オフィスのレイアウトに対応可能な可搬式のワイドカバー型パーソナル空調における、温排気や一様横風の影響を検討する。

第9章では、スポットクーリング型とワイドカバー型のパーソナル空調方式の使用時における人体周辺気流分布性状をPIVにより計測し、第8章で解析されたワイドカバー型の使用時における人体周辺気流性状の物理的な再現性を検証する。

第10章では、タスク域ワイドカバー型パーソナル空調を可搬型として想定し、不連続的な横風が形成される自然換気使用のオフィスビルにおけるワイドカバー型パーソナル空調の有用性を実験により検証する。実験は①可視化実験、②吹出温度分布計測実験、③実験サーマルマネキンの冷却効果実験の計3つの実験を行う。

第11章は、PART4として、本論文の結論と今後の課題を示す。