

2023年12月18日

論文審査要旨

[概要]

申請者：花園 新太郎（工学院大学大学院建築学専攻博士後期課程）

論文題目：採涼採暖椅子の温熱快適性とアンビエント空調との協調に関する研究

審査委員：主査 野部達夫教授

副査 柳宇教授、富樫英介教授、中野淳太教授（法政大学）

申請種別：課程博士

実施日時：2023年12月8日 15:00～17:00

会場：新宿校舎 B-0583教室

[審査結果]

多人数が同一空間で執務するオフィスの空気調和設備では、執務者の温冷感に影響を与える空気乾球温度、相対湿度、気流速度、平均放射温度の空間的均斉度及び経時的安定性が重要であるが、執務者の着衣や代謝量、温熱的履歴及び体質は個人ごとに異なる。そのため、執務者の温冷感には個人ごとに差異が生じ、閾値を超えると不満が表出される。この不満を解消するために開発されたものがパーソナル空調システムと呼ばれる個人ごとの温熱環境制御装置である。本学位請求論文は、その機能を事務用椅子に搭載した「採涼採暖椅子」の要求性能に関する検討、試作機・実用機の製作、実際のオフィスにおける運用状況の解析及び省エネルギー性の評価で得られた知見などを網羅したものである。

12月8日に開催された論文公開発表会における申請者のプレゼンテーションは、論文構成に従う順序で行われた。第1章の序論では、研究の背景及び関連する既往研究が示され、人体に密接する椅子にパーソナル空調の機能を搭載することの意義と課題に関する説明がなされた。第2章では採涼採暖椅子の室温の等温気流による冷却機能及びヒーターによる加熱機能の要求性能を整理して解説した。冷却モードにおいて上半身近傍で必要となる対流熱伝達率の増分と、加熱モードにおける座面接触部の発熱量の算定に関する詳細を示した。第3章では、試作機の温熱環境調整能力を標準新有効温度で評価した結果と、

サーマルマネキンを用いて体表面総合熱伝達率の変化量の計測結果、被験者実験による温冷感評価の結果が示され、何れも要求性能を満たしていることが説明された。第4章では実用機の開発過程が示された。実用1号機の開発では、一品生産を旨とする建築設備と大量生産が基本の什器との産業構造の相違を克服して完成させた経緯と、実用化に直面して得られた製造性、保守性などの課題が説明された。また、冷却モードにおいて自然風に近いゆらぎを持った変動風を発生させる機能の付加や、座り心地、耐久性の向上などが達成された実用2号機は、実運用時に広く受け入れられたという。第5章では、実用機を実際のオフィスで運用した状況の解析結果が述べられた。執務者は冷却或いは加熱機能を細かく調整することは少なく、熱的中立よりもやや外れた状態を好む執務者もおり、ヒューマンファクターによる影響が大きいことが示された。また、使用の有無には悉無律が観察されたという。第6章では、採涼採暖椅子の運用状況の数理モデル化についての説明があった。統計モデルには階層ベイズモデルを用い、使用の有無を二値のベルヌーイ分布、説明変数には室内空気温度、季節、個人差を採用し、これらの線形結合をロジスティック関数で変換してマルコフ連鎖モンテカルロ法によりパラメータを求めた結果、予測値は観測値と概ね一致したという。第7章では、オフィス空間全体のアンビエント空調と、採涼採暖椅子のエネルギーシミュレーションに関する内容が説明された。第6章で求めた数理モデルを用いて採涼採暖椅子の年間エネルギー消費量を算出し、オフィス空間全体のアンビエント空調のエネルギー消費量を合算しても省エネルギー効果が高いことを明らかにした。また、次世代のゼロ・エネルギー・ビルにおいて採用が多い太陽光発電の週末余剰電力を採涼採暖椅子に活用する条件が示された。最後の第8章では、各章のまとめと今後の展望が述べられた。

論文公開発表会には、総合建設業、設備エンジニアリング会社、組織設計事務所、シンクタンク、大学関係者など、37名が参加した。日頃空気調和設備の業務に関わる実務家から研究者に至るまで幅広い職種の方々が出席したことから、請求論文が当該領域において注目を集める内容であることが分かる。

発表終了後の参加者との質疑応答では、9名から合計16件の質疑及び意見が出され、申請者は何れにも的確に応答した。主要な質疑は運用状況の解析に関わるもので、意見は当該技術が既存建築物の省エ

エネルギー化への有用性に関するものであった。

申請者は申請論文に関わる3編の査読付き原著論文を筆頭著者として発表している（1編は2024年3月に掲載決定）。請求論文の第2章から第4章にあたる研究成果は空気調和・衛生工学会論文集に、第4章の変動風に関する部分は日本建築学会環境系論文集に掲載され、第5章も日本建築学会環境系論文集に掲載決定となっている。また、博士後期課程入学以降に、学術雑誌及び商業雑誌からの依頼原稿3編、国際会議におけるオーラルでの発表を4件（そのうち1件は基調講演）、国内学会における口頭発表6件を経験している。第3章の一部の研究成果は、ISAT-20thにおいてBest Oral Presentation Awardを受賞している。

以上、本論文は工学的有用性及び工業的有用性により博士（工学）の学位請求論文としての価値を認め、研究業績を鑑み、本審査を合格とする。

2023年12月8日

論文所見

法政大学 中野 淳太



論文題目：採涼採暖椅子の温熱快適性とアンビエント空調との協調に関する研究

学位申請者：花園新太郎氏（工学研究科建築学専攻博士後期課程 DD21001）

本論文は、同一空間内にいる利用者間に存在する熱的快適状態の個人差を軽減することを目的に採暖採涼椅子を開発し、実オフィスにて執務者の利用実態から冷却および加熱の選好性の数学的モデルを導き、採暖採涼椅子の運用によるエネルギー削減効果の評価を行ったものである。

第一章では、熱的快適性の個人差に関する文献調査を行い、同一空間内にいる利用者間の個人差を解消するためにパーソナル空調が開発されてきた経緯を整理している。また、過去に実用化されてきたパーソナル空調を類型化し、適用事例は少ないものの、体感効果を得やすい椅子設置型に着目した理由を明らかにした。

第二章では、既往研究に基づいてパーソナル空調に要求される加熱・冷却性能を導出している。SET*で -1°C の冷却効果を得るには、胸および上腕で対流熱伝達率を $1.3\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 向上させる必要があることを示した。また、 $+1^{\circ}\text{C}$ の加熱効果を得るには、全身の2%に相当する座面との接触部の放熱をなくす必要があることを示した。

第三章では、採涼採暖椅子を試作し、サーマルマネキンおよび被験者実験により効果の検証をしている。人体表面の総合熱伝達率計測により、等価温度で $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の効果が見られた。また、被験者の温冷感申告では、冷却モードで -0.7 、加熱モードで $+0.8$ の改善効果が確認された。

第四章では、試作機から実用機への改善プロセスを示し、実用化への課題と対策について解説している。座り心地、使い勝手、安全性、耐久性、製造性、保守性の課題を秋からにし、座面素材の選定、着座センサによる自動停止・自動復旧、ヒーターの安全回路、採暖採涼機能の集約などの具体的な改善策を示した。

第五章では、実用事務所3拠点における採暖採涼椅子の使用状況調査を行っている。使用率は室温に応じて変化しており、加熱も冷却も熱的中立域の 22°C または 24°C で使用割合が高まることを示した。また、季節により好まれるモードが変化することを示した。

第六章では、第五章の運用データをもとに階層ベイズモデルによる冷却モードおよび加熱モードの発生確率予測モデルを構築している。室温、季節、個人差を説明変数とし、観測値を良い精度で予測できることを示した。

第七章では、第六章の予測モデルを用いて採涼採暖椅子とアンビエント空調のエネルギーシミュレーションを行っている。採涼採暖椅子のエネルギー消費量は年間1人あたり100 MJであり、太陽光発電の容量が1人当たり0.2 kW あれば、再生可能エネルギーのみでの運用が可能であることを示した。また、採涼採暖椅子の適用により、快適性を犠牲にすることなくアンビエント空調のエネルギーを夏季に-78 MJ/人、冬季に-71 MJ/人削減可能であることを示した。

以上のことから、博士学位論文及び発表会の内容は博士(工学)の学位に相応しいと判断できる。