

学 位 論 文 題 名

人体局所のドラフト評価に関する工学的研究と その空調環境設計への応用

学位論文内容の要旨

室内環境工学と伝熱工学・冷凍技術の融合によって発達してきた冷暖房・空気調和技術は、現在では広く世界に行き渡り、日常生活に欠かせない技術となっている。特に先進諸国においては、1日の生活時間の80%以上を屋内で過ごしており、殆ど終日人工環境に居ると言っても過言ではない。例えば、東京のオフィスにおける執務者は、一年を通して室温24～26℃の中で仕事をしている。このような室温環境を創出するために、空調システムは年間ほぼ冷房運転されており、環境の温熱性は、執務者の満足度や快適性に大いに影響する。

1980年代以降急激に増大し、現在では当り前のこととなっているオフィスのOA化に伴って、室内環境に対する要求もより高度化してきた。特に、冷暖房・空調システムは、効果的かつ効率的な環境維持・制御性能と、より高い快適性とを要求されるようになってきた。温熱環境の快適性については、PMVやSET*に代表される、全身温冷感に基づく評価手法が用いられているが、実際に冷暖房・空調されている室内では、居住者あるいは執務者から、人体局所の不快感に起因する多くの不満が寄せられている。こうしたハードとソフトの両面の要求に応えるため、温熱環境を適正に評価し、その評価法に基づいて良好な室内環境を創出する空調システムが求められてきた。

本研究は、こうした要求を背景にして、全身温冷感はほぼ中立な状態の時の、人体局所のドラフトに関する評価モデルを構築し、その評価法に基づいて、良好な環境が得られるアンダーフロア空調システム（床吹出し空調システムとも呼ばれる）の開発、ならびに実施結果の評価を行ったものである。ドラフトリスクモデルと呼称する、本論文で構築したドラフトの評価法は、室内気流を乱流として捉え、その特性値である平均風速、乱流強度、室温の3物理要素を用いて、ドラフトによる快・不快感の程度を定量的に評価するものである。本評価法の検討に先立って、既存の空調換気された室内の気流実測により、その特性データを収集解析し実態を把握した。この実測値に基づいた室内気流条件のもとで被験者実験を行ない、その結果からドラフトによる予測不快者率を算出する数式モデルを構築した。

また、アンダーフロア空調システムは、従来の空調方式が天井に吹出し口を設置しているのに対して、二重床を利用した床パネルに吹出し口を設置し、人が居住あるいは執務する範囲内を重点的に空調するシステムである。このアンダーフロア空調システムにより、居住域を確実に空調し、さらにドラフトのない快適な温熱環境を創出することができる。

本論文は8章より構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、序論として冷暖房・空調環境における既往の課題から、全身温冷感とはほぼ中立な状態にあるときの局所温冷感、とりわけ気流に起因する局所の不快感(ドラフトと呼ばれる)に関する評価法の必要性を述べ、ドラフトの実務面での解決策として試みたアンダーフロア空調システムの開発の意義を述べた。

第2章では、本研究に関連する既往の研究について概説し、本研究の目的ならびに位置づけを述べた。

第3章では、空調環境における熱的快適性について、まず、全身温冷感に関する既往の評価指標を概説した。次に、人体と温熱環境との熱平衡式について述べ、熱的快適性が成立する条件を提示した。さらに、熱平衡式に基づく快適方程式によって開発された温熱環境指標PMV(予測平均温冷感申告)について概説した。最後に、全身温冷感のみでは実際の室内温熱環境評価には不十分であり、全身温冷感とはほぼ中立な状態にあるときの局所の温冷感による不快、特にドラフトによる室内環境への不満が多いので、その適正な評価法の開発の必要性を述べた。

第4章では、ドラフト評価法開発の第一歩として、空調換気されている実際の室内居住域における気流の実測をおこない、そのデータ解析結果から得られた室内気流特性について述べた。主な特性は、室内気流を乱流として捉え、平均風速と風速変動を標準偏差で評価し、それらを実測データの範囲で統計的に処理して両者の関係を求め、居住域内の床上の高さ毎に整理し特徴を把握した。。

第5章では、実測結果に基づいた室内気流を実験室内で再現し、その気流の中に被験者を置いて、その気流条件と被験者へのアンケート結果からドラフトリスクモデルを構築した。室内気流条件の特性を示す量として、平均風速と、風速変動の標準偏差と平均風速の比で表す乱流強度を用い、乱流強度を低・中・高の3段階に設定し、各乱流強度において平均風速を0.05、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4m/sの6段階にとり被験者を用いた実験を行った。実験では、室温は23℃一定に保ち、着衣量や作業量は全身温冷感が中立になる条件を設定し、局所の温冷感、気流感さらに気流の快・不快感についてアンケートを取った。実験結果より、気流を不快と答えたデータと、そのときの気流条件よりドラフトリスク(ドラフトによる予測不快者率)を求める数式モデルを構築した。

第6章では、ドラフトの少ない、快適な空調方式として開発したアンダーフロア空調システムについて述べた。まず、本空調システムの基本構成要素を示し、新たに開発した床吹出し口の吹出し気流特性を述べた。次に、アンダーフロア空調システムが、室内居住域において、快適さを提供できる空調方式であることを検証するために行なった被験者実験について述べた。

第7章では、アンダーフロア空調システムの設計に関する基本事項と、その実施例について述べた。まず、アンダーフロア空調システムを設計する際の、建築計画上ならびに空調設備計画上の基本的な留意事項を述べ、次に床吹出し口ならびに吸込み口の配置について述べた。さらに、本空調システムの実施例3件の概要を述べ、それらの実施性能評価として、室内温熱環境の実測結果を述べ、特に、ドラフトリスクモデルによる評価でも、執務者による評価とほぼ同等の良好な結果が得られた事を示した。以上より、本空調システムの有用性の確認と、ドラフトリスクモデルの有用性の双方が検証された。

第8章は、総括として本研究で得られた成果をまとめ、今後の展望について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 持 田 徹
副 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 教 授 窪 田 英 樹
副 査 助 教 授 羽 山 広 文

学 位 論 文 題 名

人体局所のドラフト評価に関する工学的研究と その空調環境設計への応用

近年、冷暖房・空調システムは、ますます効果的かつ効率的な環境維持・制御性能と、より高い快適性とを要求されるようになってきた。温熱環境の快適性については、PMV や SET*など全身温冷感に基づく評価手法が既に実用されている。しかしながら、実際に冷暖房・空調されている室内では、居住者あるいは執務者から、人体局所の不快感に起因する多くの不満が寄せられ、そのための対応策が求められていた。これらの要求に応えるため、温熱環境を適正に評価し、その評価法に基づいて良好な室内環境が得られる空調システムの開発が求められてきた。

本論文は、こうした要求を背景にして、全身温冷感は熱的中立な状態の時の、人体局所の冷却作用による不快感（ドラフト）に関する評価モデルを構築し、その評価法に基づいて、良好な環境が得られるアンダーフロア空調システムの開発と実施に向けてなされたものである。

この研究で構築されたドラフトリスク（ドラフトによる予測不快者率）モデルと呼称する評価法は、室内気流の特性値である平均風速、乱流強度、室温の3物理要素を用いて、ドラフトによる不快者率を定量的に求めるものである。本評価法の検討に先立ち、既存の空調換気された室内の気流実測により特性データを収集解析しその実態を示している。次にこの実測値に基づく室内気流条件で被験者実験を行い、その結果からドラフトリスクを算出する数式モデルを構築している。

更に、この研究ではドラフトの評価法に基づき、ドラフトリスクの少ない空調方式として、アンダーフロア空調システムを開発している。本空調システムは、二重床パネルに吹出し口を設置し、人が居住あるいは執務する範囲内を良好な状態に維持する方式である。この空調システムにより居住域を確実に空調し、ドラフトの少ない快適な温熱環境を創出することができることを示している。

本論文は8章より構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、序論として冷暖房・空調環境における既往の課題から、全身温冷

感はほぼ中立な状態の時に、局所温冷感とりわけ気流に起因するドラフトに関する評価法の必要性を述べ、更にドラフトの解決策として試みたアンダーフロア空調システムの開発の意義を述べている。

第2章では、本研究に関連する既往の研究について概説し、本研究の目的ならびに位置づけを述べている。

第3章では、空調環境における熱的快適性について、まず全身温冷感に関する既往の評価指標 PMV（予測平均温冷感申告）について概説し、更に全身温冷感のみでは実際の室内温熱環境評価には不十分であり、全身温冷感ほぼ中立な状態にある時にも、局所温冷感による不快が生じることを述べている。それらの原因は、気流によるドラフト、上下温度差、不均一放射、高温または低温表面との接触であり、これらを適正に評価することの必要性を述べている。そして、本論文では、室内気流によるドラフトに着目し検討を進めて行くことを示している。

第4章では、ドラフト評価法の研究の第一歩として、空調換気されている実際の室内居住域における気流実測を行い、そのデータ分析結果から得られた室内気流特性について示している。主な結果は、平均風速と風速変動の標準偏差との関係、並びに乱流強度の分布範囲の把握であり、それらを居住域内の床上高さ4点（床上 0.1, 0.6, 1.1, 1.7m）について整理し特徴を明らかにしている。

第5章では、実測結果に基づき室内気流の平均風速ならびに乱流強度を実験室内に再現し、その気流の中での被験者実験について記述している。実験は、低・中・高の3段階の乱流強度を設定し、各乱流強度で平均風速を 0.05、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4m/s の6段階に変化させて行っている。室温は 23℃一定で、着衣量は全身温冷感が中立になるように調節させ、全身温冷感ならびに局所の温冷感とドラフトについてアンケート調査している。本実験結果並びに既往の室温 20、23、26℃の実験結果とを総合してドラフトリスクを求める数式モデルを構築している。

第6章では、ドラフトの少ない快適な空調方式として開発したアンダーフロア空調システムについて述べている。まず新たに開発した床吹出し口の気流特性を明らかにし、次にアンダーフロア空調システムによる被験者実験結果より、本空調システムは室内居住域においてドラフトの少ない方式であることを示している。

第7章では、アンダーフロア空調システムの設計に関する基本事項について述べ、更にその実施例の性能実測結果を示している。まず、建築計画上並びに空調設備計画上の基本事項を明らかにし、次に本空調システムの実施例3件について、それらの室内温熱環境性能の実測結果を示し、ドラフトリスクモデルによる評価、並びに執務者による評価結果のいずれもほぼ同等の良好な結果が得られたことを示している。以上により、アンダーフロア空調システムの有用性と、ドラフトリスクモデルの有効性の両者を検証している。

第8章は、総括であり研究の成果をまとめて述べている。

これを要するに、著者は人体局所のドラフト評価法を構築し、それを用いてドラフトの少ないアンダーフロア空調方式を開発し、その実施結果から本空調システムがドラフトの少ない方式であることを検証し、またドラフトリスクモデルの有効性も検証しており、人間環境計画学および空気調整工学の進展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。