

学位論文題名

情報処理室における空調気流方式の計画手法に関する研究

学位論文内容の要旨

現在、高度情報化社会の発展に伴い、文字・音声・映像・データなどメディア情報を伝達するシステムの構築が進んでいる。これらのシステムには電子計算機や高速高帯域の通信機などの高性能な情報処理機器が必要となる。近年、これらの情報処理機器は技術革新が著しく、高密度実装化・高発熱化が進んでおり、空調システムによる機器の冷却が不可欠となっている。実装密度の高い情報処理機器は、構成する電子部品の冷却として、ファンを用いた強制空冷方式や液冷方式を採用するケースが多い。このような機器が主に導入されている情報処理室では、一般に機器を適正に冷却するため、機器の冷却に必要な機器換気量を空調給気量と一致させる設計方法が採用されている。この方法では空調機冷却能力当たりの送風機容量およびその動力が著しく大きくなる傾向があり、実際この種の設計を行った情報処理室では、空調機の送風温度差が大きく取れないことが問題点として指摘されている。このように機器換気量を優先する設計法では、空調機の送風機動力が大きくなることから空調用エネルギー消費が大きくなっていること、また空調機の送風機容量が大きくなる点で改善の余地がある。一方、情報処理機の吹出し温度は機器毎にばらつきが大きく、室内温度の最大値を設定温度以下にした場合、冷え過ぎた室内温度環境になることが多く見られる。このため、保守作業員に対する温度環境の改善が求められている。

このような背景に基づき、本研究では、強制空冷機器が収容された機械室の空調に関し、1) 省エネルギー化、2) 経済化、3) 保守作業員の環境改善の3点に主眼を置き、空調気流方式の計画手法の確立を目的としている。まず、情報処理室用空調のエネルギー消費量および機器周辺の温度分布などの実測調査から現状の問題点を把握し、高効率な空調気流方式のあり方を検討した。次に、空調給気量を削減した空調気流方式について機器周辺温度のマクロな温度解析モデルを作成し、実大規模実験により検証を行い、空調給気量を左右する要因を明らかにした。また、高効率な空調気流方式を実現するため、二重床吹出しによる空調給気の適正な分配法について検討した。さらに、空調エネルギー消費量を左右する要因を示し、各要因が空調エネルギー消費量に与える影響を把握した。最後に、高効率な空調気流方式の実現に向けた計画手法についてまとめた。

本論文は7章より構成されている。第1章では、本研究の背景と目的、情報処理室用空調に関連する既往の研究を概説し、本研究の位置付けを明確にした。

第2章では、実測調査および実大規模実験の結果から強制空冷機器を収容した情報処理室用空調の問題点の把握と、これを解決するための方策について検討した。その結果、1) 情報処理室用空調は、空調機の送風温度差が小さく多くの空調給気量が必要となり、オフィス空調と比較し、同一の熱負荷を冷却するのに必要な空調用送風機容量およびその電力消費量が大きなこと、2) 室内温度が機器吹出し温度の影響を受けばらつきがばらつきが大きくなり、機器の

適正な冷却温度条件を満たすには、室内作業者にとって低過ぎる温度環境になる場所ができることが問題点として明らかになった。これを改善するには、機器換気量と同等以上の空調給気量を確保する従来の設計方法を改め、換気流量比（空調給気量／機器換気量）をできる限り小さくすること、空調給気の分配を各機器の発熱量に対応させ、排熱効率（送風温度差／機器冷却温度差）を向上させることが有効であることを示した。

第3章では、情報処理室用空調に関し、機器毎に空調給気量を調整するための風量調整器を用い換気流量比を小さくする室内空気再循環気流方式とその制御方式を提案した。また、空調給気量が機器発熱量に対応せず機器吹出し温度にばらつきが生じた場合、冷却に必要な空調給気量の評価方法を示した。さらに、本空調気流方式において各機器の機器吹出し温度、再循環温度、機器冷却空気温度の決定要因を明確にするため、マクロな温度解析モデルを作成し、実大規模実験によりその妥当性を検証した。その結果、各部の温度および無次元化した温度差比の値は、換気流量比 κ_m 、排熱効率 η_v 、機器下部の流量比 κ_n 、水平方向の熱移動係数 W の関数で表現できることを示した。また、換気流量比 $\kappa_m=0.42\sim 2.4$ の範囲において、マクロな温度解析モデルの計算結果は実験結果と概ね一致した。次に、空調給気量を決定する要因とその影響について検討した。その結果、空調給気量は排熱効率 η_v 、機器冷却温度差 $(\overline{\theta_{1m}} - \theta_{0m})$ 、機器吹出し温度差 $(\overline{\theta_{1m}} - \theta_0)$ 、空調給気不整合量 σ'_{1m} で決定されることがわかった。機器冷却温度差 $(\overline{\theta_{1m}} - \theta_{0m})$ は機器固有の条件であり与条件と考えると、換気流量比 κ_m を小さくするには、1) 再循環量を増大し機器吹出し温度差 $(\overline{\theta_{1m}} - \theta_0)$ を拡大すること、2) 隙間や不要な開口からのリークを防止し排熱効率 η_v を向上させること、3) 機器の発熱量に対応した空調給気量の調整精度を向上させることが有効なことを示した。

第4章では、二重床および天井をチャンバに利用した空調気流方式に関し、一様な吹出し・吸込み風量分布を実現する手法およびチャンバの熱特性について検討した。一様な吹出し・吸込み分布が可能ならば、機器の発熱量に対応した空調給気量の分配は開口面積の調整で容易にできることになる。これを実現するためには、チャンバの高さを高く、開口率を小さくすればよいが、チャンバの高さが必要であり建物の階高、送風機動力が上昇する。そこで、最適なチャンバ形状・開口率を決定するため、一様な吹出し・吸込み開口を有するチャンバにおいて、その風量分布の最大値と最小値の差を平均風量で除した値を風量分布の不均一率 ϵ と定義し、チャンバの形状から定まる特性係数 k 、開口率、圧力損失、不均一率 ϵ の関係を簡易な近似式で表し、その妥当性を模型実験で検証した。次に、二重床から室内に供給される空調給気の熱量分布、スラブを介しての熱移動などの特性を明確にするため、二重床内の温度分布を求める解析モデルを作成し、その妥当性を実大規模実験で検証した。この解析モデルを用い、二重床吹出し空調気流方式の定常熱特性の検討を行った結果、二重床内の温度分布および有効熱量の不均一率 ϵ_H は、空調給気の熱移動係数に対する二重床およびスラブの熱移動係数の比(熱移動係数比 C) で表現できることを示した。

第5章では、情報処理室用空調のエネルギー消費量を左右する要因の分析と評価を行った。まず、トータル空調エネルギー消費係数を空気搬送エネルギー消費係数と熱源エネルギー消費係数に分系し、空調用送風機の発熱量が熱源の負荷として評価できる方法を示した。また、エネルギー消費係数を求めるに当たり、チャンバの圧力損失、空調設備の各機器効率の算出方法を示した。次に、この評価法を用い、空気搬送エネルギー消費に影響を与える風量分布の不均一率 ϵ 、二重床高さ、二重床内障害物高さ、送風温度差についてその影響を評価し、空調気流方式の計画設計に必要な項目を示した。さらに、空調給気温度および空調還気温度・相対湿度が熱源エネルギー消費係数へ与える影響を評価し、情報処理機器室の温湿度条件が空調用エネルギー消費係数を左右する要因であることを示し、その適正な範囲を明らかにした。

第6章では、実際に稼働している情報処理室を対象に本空調気流方式を実施し、室内空気再循環気流方式の効果を検証した。その結果、機器発熱量に対応して空調給気量を調整することにより、排熱効率 η_r の向上、機器冷却温度差の上昇により、換気流量比が約28%、エネルギー消費量が16%減少したことを確認した。また、このことから、強制空冷機器を収容した情報処理室用空調に関し、室内空気再循環気流方式は1)空調給気量の削減による省エネルギー化、2)送風機容量の低減による経済化、3)室内温度分布の均一化による室内温度環境の改善に対し有効なことを実証した。

第7章は総括であり、本研究で得られた結果を要約して述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	荒谷	登
副査	教授	石山	祐二
副査	教授	落藤	澄
副査	教授	工藤	一彦
副査	助教授	絵内	正道

学位論文題名

情報処理室における空調気流方式の計画手法に関する研究

今日の高度情報化社会のなかで、言語・音声・映像・データなど多様なメディアを大量・高速に処理・伝達する情報処理室は、その中枢として重要な役割を果たしている。情報処理機器の進歩は目覚ましく、高密度・高性能化が進んでいるが、それを上回る大容量化で空間全体の発熱密度が著しく高くなっており、わずかな中断も許されない高い信頼性と共に、省エネルギーと将来の機器の増設に配慮した柔軟で高度な空調設備が求められている。

本論文は、大量の発熱を伴い、強制通風装置を内蔵した多種類の機器を収納する情報処理室の空調を、1) 省エネルギー化、2) 経済性、3) 保守作業者の環境改善、に主眼を置いて検討したもので、次のような成果を得ている。

まず最初に情報処理室用空調の実態調査から、1) 機器の発熱を処理するための空調循環風量が大きく、その送風温度差が3～4℃と一般の空調の8～10℃に比較して著しく小さいために、それが送風機の容量と動力費を大きくしていること、2) 室内空気温度のむらが大きく、機器の適正な冷却温度を満たすためには、室内作業者にとって寒すぎる温度環境の場所ができること、3) その原因が、機器の強制循環風量と同等以上の空調給気量を確保する設計手法にあることを指摘して、4) 各機器への空調給気量を機器の発熱量に対応させ、不足分は室内空気の再循環を加えることによって、換気流量比(空調給気量/機器換気量)を小さくする改善手法を提案している。

次いで、この新しい空調気流方式で、空調給気量が各機器の発熱量に対応せず、機器吹出温度にばらつきを生じた場合に必要な、空調給気量を求める温度解析モデルを作成して実大規模実験と比較し、換気流量比を小さくするには、1) 再循環風量を大きくして空調給気と機器吹出口との温度差を大きくすること、2) 隙間や不要な開口からのリークを少なくすること、3) 機器の発熱量に対応した空調給気量の調整精度を上げること、が有効であることを示している。

また二重床および天井をチャンバーとする空調気流方式に対して、それが機器発熱量に応じた風量分布にずれを生ずる要因を明らかにし、チャンバーの形状から定まる特性係数、吹出口の開口率、送風系の圧力損失、風量分布の不均一率の関係を近似式で表現してその妥当性を検証し、これらの分析手法を用いて、情報処理室の空調エネルギー消費量を左右する要因の評価検討を行っている。その結果、1) 複雑な障害物を内包する床下あるいは

天井の通気特性および熱特性が吹出気流の風量分布、温度分布に与える影響が明らかになり、2) 空調給気量に応じたチャンバーの熱設計、構造設計にも合理的な判断が可能になった。

さらに、これらのモデル化を通して空調エネルギー消費を左右する要因の検討を行ない、空気搬送系および熱源系の省エネルギーについて、1) 風量分布の不均一が避けられない場合にも圧力損失を最適化する設計手法が得られること、2) 2重床の高さ、障害物の高さがある限界を超えると搬送動力費の急増を招くこと、3) 室内の設定湿度が高い場合には、動力費を小さくするための空調送風温度差の拡大が一方で熱源側の除湿負荷増大を招く場合もあることなど、事例解析と共に発熱密度の高い情報処理室特有の問題を指摘している。

最後に、これらの研究成果を既存の情報処理室の省エネルギー改修に応用した結果を示し、吹出風量を減らし温度差を増大させる改善によって、省エネルギーと環境改善の2重の効果が得られることを実証している。

これを要するに、著者は、今後ますます増加する発熱密度の高い情報処理室の空調設備について、その気流方式に注目して研究をし、省エネルギー化と共に温度環境の改善をもたらす設計手法に関して多くの新知見を得ており、空気調和工学および建築環境工学の進展に寄与するところ大である。

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あるものと認める。