

学 位 論 文 題 名

オフィスの総合的室内環境評価及び建築と設備を  
融合した空調システムに関する研究

学位論文内容の要旨

室内環境の側面から我が国のオフィスビルの変遷を辿ってみると、1950 年以降に蛍光灯照明が普及し、1960 年代になってからは空調設備が急速に普及している。それ以前は窓を開放しての通風や直接暖房、光庭による自然採光を基本とした室内環境調整が一般的であった。空調設備や照明が普及した背景にはビルの大規模化と土地利用効率の向上、平面計画の自由度の拡大といった要求の他に、都市化の進展に伴って顕在化した自動車交通騒音の問題がある。通風を期待して窓を開けたままではオフィスの執務に支障をきたすといった理由から窓を閉鎖し、空調や換気設備、照明によってビルの外とは切り離された人工的な室内環境をつくりだす方向へと向かった。

オフィスの室内環境は、1970 年に成立した「建築物の衛生的環境の確保に関する法律」（ビル管理法）によって室温、相対湿度、気流速度、粉塵濃度、一酸化炭素ガス濃度、二酸化炭素ガス濃度の定期的な測定とチェックが義務付けられた。この施行は、外部と切り離された人工的なオフィスの室内環境について、執務者に対する健康安全の側面からなされてきたものである。その後、1980 年代の後半にオフィスの O A 化やインテリジェント化が進展し、それとともに顕在化したテクノストレスの問題も相まって、執務者の能力が最大限に発揮できるような執務環境の充実と室内環境の快適化がオフィスに求められるようになった。さらに、脱工業化や情報化の流れの中で、ますますオフィスで働く人々が増え、オフィスは単に労働するだけの場所から 1 日のおよそ 1/3、あるいはそれ以上の時間を長期にわたって過ごす「生活の場」として認識されるようになった。

ビル管理法はオフィスの室内環境水準の維持に一定の役割を果たしてきた。しかしながら、室内環境の快適性の評価という側面では光環境や音環境に関しての物理量は測定対象となっておらず、執務者が室内環境をどのように感じ、受け止めているか、といった体感や心理的な側面も扱っていない。オフィスの室内環境の快適性を評価するためには、執務者の反応及び光や音も含めた環境要因を総合的に扱うスタンスが必要であり、その評価結果を建築計画や空調計画に生かすには快適性と環境諸要因との関係を明らかにしておくことが望まれる。

また、室内環境を向上させるためには、その実現技術が重要になる。温熱環境は室内環境の快・不快感へ大きな影響を与える因子であるが、建物を熱負荷算定対象の単なる器として捉えるのではなく、空調設備と共に働く環境調整器であるとする立場に立って建物と空調システムの関係を考えるべきと考える。室内を取り囲む床や天井の壁面は、室内空気だけでなく執務者の体表面と熱授受があり、執務者の温冷感に影響を及ぼしている。それ故、建物自体の熱負荷を小さくしたうえで、床や天井の熱的作用を最大限に生かす工夫が求められる。ここではこうした考えに立脚する空調システムを「建築と設備を融合した空調システム」と呼ぶことにする。

本研究は上述の観点から、オフィスを対象とし、1) 快適性を室内環境構成要因の総合的、複合的指標とするオフィスの室内環境評価、2) 建築と設備を融合した空調システム について実践的なアプローチから検討を行い、今後の室内環境の評価や建築計画及び空調計画に寄与する知

見を得ることを目的とする。

本論文は4章より構成され、フローは次の通りである。(1) オフィスの総合的室内環境調査方法を検討した。(2) それに基づいて、快適性を温熱、空気質、音、光といった各環境要因の総合的、複合的評価指標としてアンケートに導入し、5件のオフィスを対象に物理量の測定とアンケート調査を併用した総合的室内環境調査を実施した。(3) その調査結果を踏まえて、オフィスの各環境要因における執務者の体感・心理量と室内環境の物理量との対応を分析するとともに、統計的手法に基づいて執務者の快適性への影響因子を明らかにし、その影響の程度を評価した。(4) 室内環境の快・不快感への影響因子である温熱環境に着目し、オフィスの床及び天井を設備の一部として融合したシステムを取り上げ、実験によってその特性を明らかにした。(5) 「建築と設備を融合した空調システム」を建築構成部位毎に分類し、包括的にその特徴を整理した。以上の内容は、各章において次のようにまとめられている。

第1章では、本研究の背景と目的、関連する既往研究を概説し、本研究の位置付けを明確にした。

第2章では、オフィスの総合的室内環境調査手法を検討し、その手法に則って実施した5件のオフィスの調査を解析対象とした。

執務者の申告と測定された物理量との相関を分析し、相対湿度と「乾湿感」、PMVと「全身温冷感」、等価騒音レベルと「騒音の感じ方」、人当床面積と「広さの感じ方」がよく対応することを示した。さらに、個々の執務者の申告をもとに「快適性」への影響因子をクラーメールの関連係数によって吟味すると共に、数量化Ⅱ類を援用した分析から、快適側と中立、及び不快側と中立の判別要因を検討し、「全身温冷感」と「にのびのびの感じ方」は不快側との判別に、「明るさ感」や「騒音の感じ方」などは快適側との判別に寄与していることを明らかにした。既往の実験室実験では扱われていない「にのびのびの感じ方」や人間側の要因である「体調」も「快適性」に影響を及ぼしていることを明らかにした。また、個々人の「快適性」の申告と物理量の対応ではなく執務空間全体の「快適率」や「不快率」、「快適性平均申告」に着目して、アンケート記入時間帯に測定した物理量で重回帰分析を行い、概ね良い決定係数で回帰できることを示した。

第3章では、温熱環境が室内環境の快・不快感の影響因子であるという第2章の結果を踏まえ、温熱環境を向上させる手法について検討した。

空調設備のみに依存して温熱環境を向上させるのではなく、建築構成部材である床や天井の熱的な働きを積極的に生かす温熱環境調整手法に着目した。断熱の充分ではないオフィスの床スラブが温熱環境に及ぼす問題点を提示し、次いで、建物の断熱や建物躯体が本来有している特性を生かすという発想に基づき、間欠運転を前提に設計された外断熱建築とその空調設備を利用して運転時間の長さや設定室温を変えて床スラブに夜間蓄熱し、室内環境及びエネルギー消費量を通常の運転方法の場合と比較検討した。その結果をもとに、建築躯体を設備の一部として利用する外断熱建築に適した空調方式の有用性を明らかにした。また、夜間の躯体蓄熱時の空調空気吹き出し方式と経路をパラメータとする非定常室温・熱負荷変動解析を行い、それらの違いが室内温熱環境や熱負荷特性に及ぼす影響を明らかにした。さらに、天井に熱負荷の処理と輻射環境を改善する機能を持たせるという発想から、システム天井を薄い中空層をはさんで断熱カバーで覆い、そこに空調空気を通して室内に吹き出す輻射併用型の空気熱媒輻射天井空調の実験を行い、熱的な特性を把握するとともに実際の事務室及び会議室に採用し、良好な結果を得た。以上の結果を踏まえ、こうした空調システムを建築構成部位毎に分類するとともに「建築と設備を融合した空調システム」として包括的にその特徴を整理し、オフィスの室内環境における融合システムの有用性を明らかにした。

第4章は総括であり、本研究で得られた検討結果及び新たな知見をとりまとめた。さらに今後の研究によって解決すべき課題を整理し、展望を述べた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 繪 内 正 道

副 査 教 授 窪 田 英 樹

副 査 教 授 奥 俊 信

副 査 助 教 授 羽 山 広 文

## 学 位 論 文 題 名

### オフィスの総合的室内環境評価及び建築と設備を 融合した空調システムに関する研究

1960年代以前、我が国のオフィスビルの室内環境調整は、窓を開放しての通風や直接暖房、光庭による自然採光が一般的であった。空調設備や蛍光灯照明が普及した背景には、ビルの大規模化と土地利用効率の向上、平面計画の自由度の拡大といった要求に加え、都市化の進展で顕在化した交通騒音の問題がある。窓開放による通風が可能であっても、執務に支障をきたす街路騒音を防ぐために窓を閉鎖し、空調や換気設備、人工照明によって戸外とは切り離された室内環境計画が重要度を増してきたのである。

オフィスビルの室内環境は、1970年に成立した「建築物の衛生的環境の確保に関する法律」（ビル管理法）によって室温、相対湿度、気流速度、粉塵濃度、一酸化炭素ガス濃度、二酸化炭素ガス濃度の定期的な測定とチェックが義務付けられた。この施行は、人工的な室内環境において、執務者の健康と安全の側面からなされてきたものであるが、1980年代の後半には、オフィスのOA化やインテリジェント化が進み、それと共に、テクノストレスが新たに顕在化したことによって、執務者の能力が最大限に発揮できるような室内環境の快適化が求められるようになってきた。また、脱工業化や情報化に拍車がかかるようになると、オフィスで働く人々が増大し、オフィスは単に労働するだけの空間から1日の凡そ1/3、あるいはそれ以上の時間を過ごす「生活の場」として認識されるようになってきた。

ビル管理法はオフィスの室内環境水準の維持に一定の役割を果たしてきたが、室内環境の快適性の評価という側面では光環境や音環境に関しての物理量は測定対象となっておらず、執務者が室内環境をどのように感じ、受け止めているか、といった体感や心理的な側面も扱っていない。また、オフィスの室内環境の快適性を評価するためには、執務者の反応及び光や音も含めた環境要因を総合的に扱うスタンスが必要であり、その評価結果を建築計画や空調計画に生かすには快適性と環境諸要因との関係を明らかにしておくことが望まれる。

そこで、本論文では、今後の室内環境の評価や建築・空調計画に寄与するために、オフィスの室内環境を総合的に捉える評価指標を見出し、その室内環境向上に相応しい実現技術を見出すことを目的にしている。その実現のためには、実験室ではなくオフィスの在室者を対象に、執務時間内に、室内環境の快・不快感へ大きな影響を与える諸因子の特性を明らかにすると共に、建物を熱負荷算定対象の単なる器として捉えるのではなく、建物自体の熱負荷を小さくした上で、床や天井の熱的作用を最大限に生かす環境調整器であると考えなければならない。本論文では、この様な考えに立脚した空調システムを「建築と設備を融合した空調システム」と捉え、1) 快適性を室内環境構成要因の総合的、複合的指標とするオフィスの室内環境評価、2) 建築と設備を融合した空調システムの開発と言う実践的なアプローチから検討をおこなっている。

本論文は4章より構成されているが、各章において次のようにまとめられている。

第1章では、本研究の背景と目的、関連する既往研究を概説し、本研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、オフィスの総合的室内環境調査手法を検討し、その手法に則って実施した5件のオフィスの調査を解析対象としている。執務者の申告と測定された物理量との相関を分析し、相対湿度と「乾湿感」、PMVと「全身温冷感」、等価騒音レベルと「騒音の感じ方」、人当床面積と「広さの感じ方」がよく対応することを示している。さらに、個々の執務者の申告をもとに「快適性」への影響因子をクラーメールの関連係数によって吟味すると共に、数量化Ⅱ類を採用した分析から、快適側と中立、及び不快側と中立の判別要因を検討し、「全身温冷感」と「においの感じ方」は不快側との判別に、「明るさ感」や「騒音の感じ方」などは快適側との判別に寄与していることを明らかにしている。既往の研究では扱われていない「においの感じ方」や人間側の要因である「体調」も「快適性」に影響を及ぼしていることを明らかにしている。また、個々人の「快適性」の申告と物理量の対応ではなく、執務空間全体の「快適率」や「不快率」、「快適性平均申告」に着目して、アンケート記入時間帯に測定した物理量で重回帰分析を行い、概ね良い決定係数で回帰できることを示している。

第3章では、温熱環境が室内環境の快・不快感の影響因子であるという第2章の結果を踏まえ、温熱環境を向上させる手法について検討している。空調設備のみに依存して温熱環境を向上させるのではなく、建築構成部材である床や天井の熱的な働きを積極的に生かす温熱環境調整手法に着目し、オフィスの床スラブが温熱環境に及ぼす問題点を提示している。次いで、建物の断熱や建物躯体が本来有している特性を生かすという発想に基づき、間欠運転を前提に設計された外断熱建築とその空調設備を利用して運転時間の長さや設定室温を変えて床スラブに夜間蓄熱し、室内環境及びエネルギー消費量を通常の運転方法の場合と比較検討している。その結果を基に、建築躯体を設備の一部として利用する外断熱建築に適した空調方式の有用性を明らかにしている。また、夜間の躯体蓄熱時の空調空気吹き出し方式と経路をパラメータとする非定常室温・熱負荷変動解析を行い、それらの違いが、室内温熱環境や熱負荷特性に及ぼす影響を明らかにしている。さらに、天井に熱負荷の処理と輻射環境を改善する機能を持たせるという発想を基に、システム天井を薄い中空層をはさんで断熱カバーで覆い、そこに空調空気を通して室内に吹き出す輻射併用型の空気熱媒輻射天井空調の実験を行い、熱的な特性を把握するとともに実際の事務室及び会議室に採用し、良好な結果を得た。以上の結果を踏まえ、こうした空調システムを建築構成部位毎に分類するとともに「建築と設備を融合した空調システム」として包括的にその特徴を整理し、オフィスの室内環境における融合システムの有用性を明らかにしている。

第4章は総括として、本研究で得られた検討結果及び新たな知見をとりまとめ、今後の研究によって解決すべき課題を整理すると共に、展望を述べている。

これを要するに、著者はオフィスの総合的室内環境評価及び建築と設備を融合した空調システムに関する新知見を得たものであり、建築環境計画学、建築設備学に貢献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あるものと認める。