

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17360289

研究課題名（和文） 建築空間別・要因別の環境・エネルギー性能分析手法の構築

研究課題名（英文） Forecasting Methods of the Energy Performance for Every Rooms and Every Loads in Architectural Space

研究代表者

近本 智行（CHIKAMOTO TOMOYUKI）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：60388113

研究成果の概要：

建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析と人体の快適性の要因分析を行い、周辺環境制御に必要なパラメータの選択、負荷予測モデルの構築を図った。研究項目を示す。

1. 建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因の分析
2. 分布を考慮した予測手法の構築 / CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析の実施
3. 各要因の人体の快適性に対する影響分析 / 周辺環境と人体の快適性の要因の分析
4. 様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	7,400,000	0	7,400,000
2006 年度	2,600,000	0	2,600,000
2007 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	14,400,000	1,320,000	15,720,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：建築環境・設備、省エネルギー、地球温暖化ガス排出削減、モデル化、制御工学

1. 研究開始当初の背景

人々の省エネや環境負荷削減に対する意識は高まりを見せているが、実際に省エネの実践を図ろうとした場合、どういう内訳でどの程度のエネルギーを消費しているかわからないため、対策の動機付けにつながりにくく、また十分に効果的な対策となりにくい。エネルギーの需要家側からの対策の実践にあたっては、これらの情報や対策の効果を予測する技術の確立が課題となっている。

2. 研究の目的

建築建物で消費するエネルギーを時々刻々、空間（部屋）別、負荷要素別に分離し、最適な制御が容易に行うことのできる手法を構築する。同時に快適性と省エネの両立を目指す。本研究では以下の点を明らかにする。

- (1) 動的空調負荷シミュレーション、光シミュレーションにより、建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因を分析する。
- (2) CFD（コンピューターによる流体シミュレーション）、実験・実測により、室内で分布

を生じる空調負荷、照度・輝度を、室内の各所において要因毎に分離する。このことにより、室内の局所でしか測定できない既存の温度センサー、放射センサー、照度センサー、CO2 センサーが捉える物理量の時刻変化と季節変化から、空調・照明・コンセント・人体などの分布を考慮した負荷要因を予測する手法を構築する。

(3)各要因が、人体の快適性にどのように影響を与えているかを分析し、制御に必要なパラメーターを選択する。

(4)電力・ガス取引メータから建築空間別・要因別にエネルギー消費量を分析する手法を構築し、快適性維持とエネルギー消費量抑制の双方を満たす制御ポイントを見出す(例えば、昼光利用を図ることで、日射を導入し空調負荷が増える反面、照明の電力消費量が減ること等を一軸で評価する)。

(5)様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックを構築する。

本研究は快適性や人の生理も考慮した新しい概念の空調・照明制御技術の確立を目指しており、学術的意義は大きい。また、以下に示すように独創性及び予想される結果、意義を有している。

- ・数値シミュレーションや実験・実測で求めたデータベースを利用して、既存のわずかなセンサーで室内の各種物理量やエネルギー消費量を予測できるため、センサーの新規開発は不要で、膨大な開発期間・開発費が不要。
- ・負荷要因とその大きさが定量化できるため、自然換気や自然採光などの自然エネルギーの導入が図りやすい。
- ・建物の使用者に実際に使っているエネルギー消費量を、負荷要因別・部屋(空間)別に知らせることができ、エネルギー需要側の意識を喚起するとともに、省エネの対策を図りやすくすることができる。
- ・新築建物の他、既存の建物に対して応用可能な技術開発であるため、京都議定書の発効に向けて緊急の対策が求められている省エネルギー、環境負荷削減の推進に対する貢献が期待できる。
- ・事業化した場合、導入費用が安価にすむため、普及を図りやすい。

3. 研究の方法

建築建物で消費するエネルギーを時々刻々、空間(部屋)別、負荷要素別に分離し、最適な制御が容易に行うことのできる手法を構築。

平成17年度から平成18年度に至る2カ年で建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成

要因分析周辺環境と人体の快適性の要因分析を実施。

続く平成19~20年度にて、周辺環境と人体の快適性の分析を踏まえた、制御に必要なパラメーターの選択、及び空調・照明・コンセント負荷などの負荷予測モデル構築を行うための、データベース構築を実施。

(1)建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析

負荷要因別に解析結果を出力可能な動的熱負荷シミュレーション、光シミュレーションにより、建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因を分析。

解析対象の設定

オフィス、商業ビル、ホテル、学校などを対象に解析モデル、及び各種解析パラメーターを設定。

負荷要因別に解析結果を出力可能な動的熱負荷解析、室内照度解析の実施

室内の空調負荷は、室用途毎に異なり、また時々刻々変化する。室の用途毎に、発生する負荷要因を特定することは、効率的な熱負荷の除去につながり、空調制御の最適化に必要な不可欠となる。このため、室の用途、形状、負荷特性毎に、室内負荷の要因を解析に用いるための、年間に渡る、窓からの日射負荷・貫流熱負荷、外壁の貫流熱負荷、外気負荷、室内の照明負荷、内部発熱負荷、人体負荷、蓄熱負荷などの負荷要因別に計算し、結果を出力させる負荷要因別熱負荷解析を実施。

エネルギー消費量をベースとした日射の取り扱いの検討

日射を導入することは、昼光利用を図り照明用エネルギーの削減に寄与する反面、空調負荷が増え、空調用エネルギーが増加する。このため、上記の2つの解析結果を基に、負荷をエネルギー消費量に置き換え日射の利得・損失の比率を一軸で評価するための指標を検討。

(2)分布を考慮した予測手法の構築

CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析を実施。

実際の空調を行うには、更に、これら負荷の空間分布を解析することが必要不可欠である。このため、代表的な負荷モデルを作成し、CFD(コンピューターによる乱流数値シミュレーション)、実験・実測により、負荷の空間分布を解析。

(3)各要因の人体の快適性に対する影響分析
周辺環境と人体の快適性の要因分析

移動計測装置により、人体が建築空間内、都市空間内を移動することに応じて、人体の体験環境及び温冷感を非定常かつ連続的に計測。計測は、皮膚温、深部体温など、被験者

の生理状態を計測しながら、被験者の周辺環境を同時に計測。すなわち、人体周辺環境と生理量の関連性や、空間や時刻の履歴を計測。これにより、人体周辺環境情報(気温、湿度、放射温度、気流速、照度等)と人体の移動に伴う履歴情報(おかれていた環境(気温、湿度、放射温度、気流速、照度)の変動成分、及び代謝量、着衣量等)から、人体の生理現象(皮膚温度の変化、温冷感)との要因を分析。

従来は定常状態を基本とし、履歴まではフォローされていないが、今回、この履歴情報を用い、現実の人体生理に対応した温熱感を考慮した制御に応用。

(4)様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

制御ロジックの選定

GA(遺伝的アルゴリズム)等を含めて、様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックとして差異的なロジックを検討。

制御のための条件整理

制御情報、負荷予測モデルとして必要な項目を整理し、フレームを構築。

制御仕様の設定

上記の条件整理に応じて、建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析周辺環境と人体の快適性の要因分析の研究から受け渡すべき情報の仕様を設定する。また、センサー精度などの検討を行い、制御で実現可能な精度・応答性などの仕様を検討。

4. 研究成果

平成17年度では下記を実施。

(1) 建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析

オフィスを対象として、年間に渡る、窓からの日射負荷・貫流熱負荷などの負荷要因別解析を実施。同時に自然光による照度解析を実施。今年度では、日射の導入が、昼光利用による照明エネルギーの削減に寄与する反面、空調負荷増加による空調エネルギーの増加に着目し、エネルギー消費量をベースとした日射の利得・損失を検討した。

(2) 分布を考慮した予測手法の構築 / CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析

実際のオフィスを対象として、夏期冷房時、冬期暖房時のCFD(コンピューターによる乱流数値シミュレーション)実測を実施。今年度、空間分布の発生を前提として、制御対象を分割した場合のメリットを検討するため、夏期冷房時・冬期暖房時の空調の吹き出し気流の勢力範囲、制御対象範囲の大きさ、投入エネルギー量を解析した。

(3) 各要因の人体の快適性に対する影響分

析 / 周辺環境と人体の快適性の要因分析

移動計測装置により、人体の移動に伴い、皮膚温に加え脳血流量などの被験者の生理状態を計測しながら、被験者の周辺環境、温冷感申告を同時に計測した。今年度は、冬期の寒い屋外空間から屋内に移動した場合の計測を実施し、温冷感申告値と周辺環境、生理量の対応を解析した。

(4) 様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

上記2の実測に際し、制御対象の大きさ、制御の応答性などを検討。

平成18年度では下記を実施。

(1) 建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析

昨年に続き、オフィスを対象として、年間に渡る、窓からの日射負荷・貫流熱負荷などの負荷要因別解析を実施。また住宅における吹き抜け空間の日射導入・自然換気時のCFD(コンピューターによる乱流数値シミュレーション)を実施。日射の導入が、昼光利用による照明エネルギーの削減に寄与する反面、空調負荷増加による空調エネルギーの増加に着目し、エネルギー消費量をベースとした日射の利得・損失を検討した。

(2) 分布を考慮した予測手法の構築 / CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析

実際のオフィスを対象としたCFD解析を実施。今年度、帰社直後の代謝量の高いワーカークラスを想定し、周辺と異なる環境制御要求に対応したシステムとしてビルマルを用いたパーソナル空調方式を提案し、環境制御性能・省エネ性能を検討した。また、間仕切りのないオフィス空間で休日出勤などに局所運転する場合の、省エネ性能を検討した。

(3) 各要因の人体の快適性に対する影響分析 / 周辺環境と人体の快適性の要因分析

移動計測装置により、人体の移動に伴い、皮膚温に加え脳血流量などの被験者の生理状態を計測しながら、被験者の周辺環境、温冷感申告を同時に計測した。今年度は、冬期に加え夏期の屋外空間から屋内に移動した場合の計測を実施し、温冷感申告値と周辺環境、生理量の対応を解析した。また実空間への応用例として、ホール空間を対象とした夏期実測を実施し、移動経路・滞在時間が室内の目的空間に到着した後の快適性に及ぼす影響を解析した。

(4) 様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

一般的なオフィスモデルを作成し、一般的に用いられている天井吹出方式、床吹出方式、ビルマル方式の空調システム毎に、吹出温度制御などの空調制御ロジックを組み込んだ

CFD 解析を実施し、空調方式・センサー位置の違いによる室内熱・空気環境を解析し、快適性・省エネ性両立のための制御ポイント設定に向けての検討を行った。

平成 19 年度では下記を実施。

(1) 建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析

住宅における吹き抜け空間の日射導入・自然換気(ハイブリッド換気)時の CFD を実施。室内の通風ルートの設定により、外気温度が高い場合でも換気を図った方が省エネと快適性向上につながることや、日射熱を利用した二重壁内の自然対流による負荷削減効果を確認し、自然換気や日射の利得・損失を検討した。

(2) 分布を考慮した予測手法の構築 / CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析

ビルマルを用いたパーソナル空調方式を提案し、CFD により環境制御性能・省エネ性能を検討した。また、間仕切りのないオフィス空間で休日出勤などに局所運転する場合の、省エネ性能を検討した。

(3) 各要因の人体の快適性に対する影響分析 / 周辺環境と人体の快適性の要因分析

人体の移動に伴う皮膚温・脳血流量などの被験者の生理状態を計測しながら、被験者の周辺環境、温冷感申告を計測した。今年度は、外部環境の変化状況に応じた快適性と生理量を基に、屋外から室内への経路空間の最適化を検討した。

(4) 様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

天井吹出方式、床吹出方式、ビルマル方式の空調システム毎に、吹出温度制御などの空調制御ロジックを組み込んだ CFD 解析を実施し、快適性・省エネ性両立のための制御ポイント設定を検討した。また床吹出し空調をベースとしたパーソナル空調導入による省エネ評価を実施した。

平成 20 年度では下記を実施。

(1) 建築空間内の空調負荷、照度・輝度の形成要因分析

住宅における吹き抜け空間の日射導入・自然換気・ハイブリッド換気時の CFD を実施。通風ルートの設定により、外気温度が高い場合でも換気を図った方が省エネと快適性向上につながることや、日射熱を利用した二重壁内の自然対流による負荷削減効果、自然換気や日射の利得・損失を検討した。また CFD、実大住宅実験、風洞実験により、壁面の遮熱性能向上、水打ちによる潜熱除去効果など外皮負荷の削減方法を検討した。

(2) 分布を考慮した予測手法の構築 / CFD、実験・実測などによる空間分布を考慮した解析

ビルマルを用いたパーソナル空調方式を提案し、CFD により環境制御性能・省エネ性能を検討した。また、オフィス空間で休日出勤などに局所運転する場合の、省エネ制御運転の性能を評価した。

(3) 各要因の人体の快適性に対する影響分析 / 周辺環境と人体の快適性の要因分析

人体の移動に伴う皮膚温・脳血流量などの被験者の生理状態を計測しながら、被験者の周辺環境、温冷感申告を計測した。外部環境の変化に応じた快適性と生理量を基に、屋外から室内への経路空間の最適化の他、局所温冷感、コールド/ヒートショックの影響を検討した。研究成果は実際に施設(兵庫県立芸術文化センター)の設計・運用に応用し第 22 回 空気調和・衛生工学会賞振興賞技術振興賞を受賞した

(4) 様々な形態・用途・負荷等の建築空間に適用できるロジックの構築

天井吹出、床吹出、ビルマルの空調システム毎に、吹出温度制御などの空調制御ロジックを組み込んだ CFD を実施し、快適性・省エネ性両立のための制御ポイント設定を検討した。また床吹出し空調をベースとしたパーソナル空調導入による省エネ評価を実施した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) 近本智行・西村鉄平・福田真太郎・橋本哲・西野淳：オフィスにおける室内熱・気流分布考慮型の空調 第 1 報 天井カセット型ビル用マルチ空調を用いたパーソナル空調の検討、空気調和・衛生工学会論文集、No.147、pp.9-16、2009.6、査読有

〔学会発表〕(計 33 件)

(1) 近本智行・西村鉄平・二宮喜一郎：建築空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その 1) 研究計画および冷房時オフィス空間における空調負荷・制御単位の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集「オガナ」ドセッション環境工学、pp.1069-1072、2006

(2) 西村鉄平・近本智行・数井敏弘・石本将吾：快適性を考慮した空調制御に関する研究(その 1) 冬期における屋外から空調空間への熱環境変化に対応した人体の快適性に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.515-516、2006

(3) 橋本直樹・近本智行・山本順也：劇場建築の空調性能と室内環境の検討 その 1 シ

ステム概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.1391-1392、2006

(4)山本順也・近本智行・橋本直樹：劇場建築の空調性能と室内環境の検討 その2 CFDを用いた夏期冷房時のホールの熱・空気分布の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.1393-1394、2006

(5)西村鉄平・近本智行・二宮喜一郎：建築空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その2) 研究計画および冷房時オフィス空間における空調負荷・制御単位の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1845~1848、2006

(6)橋本直樹・近本智行・山本順也 劇場建築の空調性能と室内環境の検討(その3) システム概要と環境実測、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.423~426、2006

(7)山本順也・近本智行・橋本直樹：劇場建築の空調性能と室内環境の検討(その4) 移動に伴う温冷感実測とCFDを用いた夏期冷房時のホールの熱・空気分布の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.427~430、2006

(8)Tomoyuki Chikamoto・Naoki Hashimoto：Study on Air-conditioning Control which considers Human Comfort corresponding to Thermal Environment Change from Outdoor to Indoor、Roomvent 2007、2007年6月、Helsinki

(9)Tepei Nishimura・Tomoyuki Chikamoto：Study on Method for Forecasting Air-Conditioning Load and Control Strategy considering the Distribution in Rooms、Roomvent 2007、2007年6月、Helsinki

(10)近本智行：快適性を考慮した空調制御に関する研究(その2) 夏期における屋外から空調空間への熱環境変化に対応した人体の快適性に関する検討、本建築学会大会学術講演会、2007年8月、福岡大学

(11)橋本直樹・近本智行：劇場建築の空調性能と室内環境の検討(その6) 移動に伴う温冷感実測による空調制御の検討、日本建築学会大会学術講演会、2007年8月、福岡大学

(12)平尾吉晃・近本智行：吹き抜けを持つ戸建住宅の自然エネルギー利用に関する研究(その1) 夏期におけるハイブリッド換気の有効性の検討、日本建築学会大会学術講演会、2007年8月、福岡大学

(13)福田真太郎・近本智行：吹き抜けを持つ戸建住宅の自然エネルギー利用に関する研究(その2) 窓高さの異なる吹き抜け空間の省エネルギー性能の検討、日本建築学会大会学術講演会 2007年8月、福岡大学

(14)西野淳・近本智行・西村鉄平・橋本哲：居住域空調の温熱環境・省エネルギー性に関する研究 天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる個人空調・不在エリア制御の

検討、日本建築学会大会学術講演会オガナイズドセッション、2007年8月、福岡大学

(15)西村鉄平・近本智行：空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その3) 空調方式・センサー位置が室内温熱環境に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演会、2007年8月、福岡大学

(16)西村鉄平・近本智行：空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その4) 各種空調方式におけるセンサー位置が室内温熱環境に及ぼす影響、空気調和・衛生工学会学術講演会 2007年9月、東北工業大学

(17)近本智行・橋本直樹：快適性を考慮した空調制御に関する研究(その3) 夏期における屋外からの熱環境変化に対応した人体の快適性とホールへの経路空間での検証、空気調和・衛生工学会学術講演会、2007年9月、東北工業大学

(18)Tomoyuki Chikamoto：Construction of energy performance analysis technique according to architectural design、The 7th International Energy Agency Annex 44 Forum、2007年10月、The University of Hong Kong

(19)Tomoyuki Chikamoto、Naoki Hashimoto：Air-conditioning Control which considers Human Comfort corresponding to Thermal Environment Change, and its Energy Saving Effect、The 5th Windsor Conference: Air conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge、2008年7月、Windsor, UK

(20)福田真太郎・近本智行・西村鉄平・橋本哲・西野淳：居住域空調の温熱環境・省エネルギー性に関する研究(その4) 天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる個人空調・不在エリア制御の検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演会、2008年8月、立命館大学、滋賀

(21)近本智行・西村鉄平：空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その7) 各種空調方式が空調機投入熱量に及ぼす影響、空気調和・衛生工学会大会学術講演会 2008年8月、立命館大学、滋賀

(22)倉成誠・近本智行：快適性を考慮した空調制御に関する研究(その5) 夏期・冬期におけるショック、順応に対する人体の快適性に関する検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演会、2008年8月、立命館大学、滋賀

(23)倉成誠・近本智行：快適性を考慮した空調制御に関する研究(その4) 夏期・冬期におけるショック、順応に対する人体の快適性に関する検討、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(24)中村慎司・秋元孝之・橋本哲・西野淳・近本智行：天井吹出し局所空調システムの快適性評価に関する試行実験：日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(25)近本智行・西村鉄平：建築空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その5)空調方式が空調機投入熱量に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演会 2008年9月、広島大学、広島

(26)金久直樹・近本智行・西村鉄平：建築空間別・負荷要因別のエネルギー消費特性の分析(その6)床吹き出しによるパーソナル空調の快適性および省エネ効果に関する検討、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(27)福田真太郎・近本智行：CFDを用いたオフィス室内環境および空調負荷への影響評価(その1)対流熱伝達境界条件が室内環境に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(28)橋本直樹・近本智行：劇場建築の空調性能と室内環境の検討(その7)夏期冷房時の最適空調立ち上がり運転手法の検討、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(29)西野淳・近本智行・西村鉄平・橋本哲：居住域空調の温熱環境・省エネルギー性に関する研究(その2)天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる個人空調の検討、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(30)西村鉄平・近本智行・橋本哲・西野淳：居住域空調の温熱環境・省エネルギー性に関する研究(その3)天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる不在エリア制御の検討、日本建築学会大会学術講演会、2008年9月、広島大学、広島

(31)Tomoyuki Chikamoto, Naoki Hashimoto : Air-conditioning Control which considers Human Comfort corresponding to Thermal Environment Change, and it s Energy Saving Effect、The World Sustainable Building Conference 2008、2008年9月、Melbourne, Australia

(32)Tomoyuki Chikamoto, Naoki Hashimoto : Adaptive Control which considers Human Comfort corresponding to Thermal Environment Change, and it s Energy Saving Effect、The 29th AIVC Conference in 2008、2008年10月、Kyoto, Japan

(33)Shintaro Fukuda, Tomoyuki Chikamoto, Teppei Nishimura : The air-conditioning control technique based on forecasting room air distribution、The 29th AIVC Conference in 2008、2008年10月、Kyoto, Japan

〔その他〕

(1)2006年5月、空気調和・衛生工学会 第44回 空気調和・衛生工学会賞論文賞受賞「オフィスにおける自然換気併用ハイブリ

ッド空調に関する研究」

・2008年5月、空気調和・衛生工学会 第22回 空気調和・衛生工学会賞振興賞技術振興賞受賞「兵庫県立芸術文化センターの空気調和設備」

6. 研究組織

(1)研究代表者

近本 智行 (CHIKAMOTO TOMOYUKI)
立命館大学・理工学部・准教授
研究者番号：60388113

(2)研究分担者

(3)連携研究者

吉田 治典 (YOSHIDA HARUNORI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：00144337
(2005～2007年度は研究分担者)