

氏 名	いの 猪 岡 たつ お 夫
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3778 号
学位授与の日付	平 成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	省エネルギー性を考慮した建築空調設備の設計と運転法に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 吉 田 治 典 教 授 森 澤 眞 輔 教 授 鉾 井 修 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、建築空調設備の省エネルギー性を高めるために、その設計および運転法に関して、数値シミュレーション、実験、実証試験などによる検討を行い、その結果を設計ツール、設計法、運転法としてまとめ、実際の計画、設計および運転に寄与することを目的とするものである。テーマとして、1) 太陽熱冷暖房・給湯システム省エネルギー性と経済性、2) 蓄熱システムの計画・設計・運用、3) 建築および設備設計の適正化、の3つを取り上げた。

第I編は、太陽熱冷暖房・給湯システムの省エネルギー性と経済性に関する研究である。

第1章では、住宅をモデルに、A) 地域性、B) 建物保温性、C) 集熱面積、D) 蓄熱容量、E) 蓄熱槽の保温性、F) 設定温度、G) バックアップ熱源の位置、H) 集熱器の方位角、1) 集熱器の傾斜角の9つの因子による数値シミュレーションを実施し、省エネルギー性と経済性に対する因子の効果を効果推定表にまとめた。省エネルギー性については検討した全てのケースで効果が認められた。一方、経済性は厳しく成立しないことが分かった。経済的に成立するための条件として、a) 耐用年数の向上 (15から20年)、b) エネルギー費の上昇 (4.5から10%)、c) 設備費のコストダウン (70%に低減) を予条件として検討した結果、次の知見が得られた。

- ・上記のa)、b)、c) の1つの条件が実現できるだけでは、一部のケースで経済的に成立するだけである。地域的にみると、鹿児島などの比較的温暖な地域で、かつ集熱面積が小さいケースでかろうじて経済的に成立する可能性があるのみで、負荷が大きい札幌では経済的に成立することが難しい。

- ・経済的に成立するためには、最低でも上記の2つの条件を満足する必要がある。なお、この条件では在来システムがエネルギーに価格の高いガスを利用する場合の比較において大半のケースで経済性が生じるが、価格の安い灯油を利用する場合は依然経済的なメリットが生じない。

- ・3つの条件が揃えば、価格の安い灯油を利用する場合との比較においても、多くのケースで経済性が成立することが判った。

- ・建物保温性能については、建物保温性を高めると負荷が軽減されるため、経済性が悪いという結果になるが、建物保温性の向上による負荷軽減をエネルギー費に換算し、同時に保温に必要な建築費を付加設備費に加えて総合的に評価すれば、先のa)、b)、c) の単独効果でも、かなりのケースで経済的に成立することが判った。

第2章では、シミュレーションプログラムの予測性能の良否を調べる目的で、実存するソーラーハウスにおいて得られた実測値とシミュレーション結果の比較検討を行った。シミュレーションでは、気象データと負荷および機器の性能値を予条件とし、集熱量、吸収冷凍機の消費熱量、補助熱量、蓄熱槽水温を求め、これらの実測値と比較をした。シミュレーションに正しい機器性能値を与えれば、シミュレーションは実測値を精度良く再現しうることが分かった。一方、実際のシステムには不具合などによって設計性能が発揮されていないことが判明したが、シミュレーションはこのようなシステム診断に有効な手段であることが分かった。

第Ⅱ編は、蓄熱システムの計画・設計・運用に関する研究である。蓄熱システムは、電力負荷平準化と安価な夜間電力の利用という、電力供給側と利用者側の双方にメリットがあるにも拘わらず普及が進まないのは、非蓄熱システムに比べて設計と運転制御が難しいからであり、所定の性能を発揮していない蓄熱システムが現実が多いからである。

第1章では、蓄熱システムの性能に関わる6つの因子（S：蓄熱槽の容量，K：蓄熱槽の保温性，H：熱源機器能力，A：空調機コイル面積，T：運転温度，N：制御する蓄熱槽の位置）を取り上げ、数値シミュレーションによるケーススタディを行い、熱源負荷、熱源電力消費量の夜間移行率などについて分析した。その結果、次の知見を得た。

- ・蓄熱損失はケースによる差が大きく、S：蓄熱槽容量とK：蓄熱槽の保温性が支配的因子であり、蓄熱システムの基本的な性能を決定づける。

- ・ただし、S：蓄熱槽容量とK：蓄熱槽の保温性の2つの因子の熱負荷に対する効果値はほぼ拮抗しており、蓄熱容量が大きくても保温性能を十分に高めれば、熱ロスの増大を防ぐことが可能である。

- ・熱源電力消費量の夜間移行率については、S：蓄熱槽容量が完全な支配的因子である。

- ・同じ蓄熱容量と同じ蓄熱槽の保温性ならば、制御に関わる因子TおよびNが重要で、特に蓄熱容量が大きいほど運転制御による性能差が大きくなる。

- ・非蓄熱システムと比べると、蓄熱損失分だけ熱源負荷が大きくなるが、非蓄熱システムでは部分負荷により台数制御をしても運転効率が低下する。非蓄熱システムと蓄熱システムのそれぞれの最良ケースで電力消費量を比較すると差は実質的にないことが分かった。

第2章は、温度成層型蓄熱槽の最適設計に関する研究である。地域熱供給プラントの大規模温度成層蓄熱槽を対象に模型実験とR値モデルによる数値解析を実施した。実験では、吹出口のアルキメデス数を大きくすると蓄熱効率が低下する現象が起きた。原因として、拡散の影響、流入・流出口での流速分布、或いは逆流が考えられ、これらを考慮できるR値モデルに改良した。これらの知見を得て、蓄熱槽の水深、吹き出し形状やせきの開口高さなどの蓄熱槽の最適設計法をまとめた。

第3章では、負荷予測機能を持つ蓄熱制御システムの研究である。負荷予測と有効蓄熱量予測の機能を持つ制御システムを開発し、実際の建物で実証試験を実施した。負荷予測は物理モデルを採用したが、予測誤差は10%程度であり十分に実用性があること、気象変化や建物の使われ方の変化に自動的に追従することが立証された。有効蓄熱量予測は、予測負荷とコイル性能、蓄熱槽の水温分布とから利用可能な熱量を評価するものだが、これにより蓄熱槽を最大限に利用できることが証明された。

第Ⅲ編は建築および設備設計の適正化に関する研究である。省エネルギーを考える上で重要でありながら、実務で省みられることが少ない3つのテーマを取り上げた。

第1章では、外部日除けの期間しゃへい係数と日除け最適設計に関する研究である。水平庇、垂直庇およびボックス型庇などの外部日除けの期間効果係数を求める方法を考案した。これと拡張デグリーデー法とを併用することで、簡易に年間冷暖房負荷を求める方法を得た。これを用いて窓面積比、ガラスの種類を変数に、地域毎の最適な庇の形状を求めた。分析の結果、札幌では日除けの効果は小さい。東京や鹿児島では、効用限界保護角は条件により変わる。二重ガラスは年間積負荷を増加させるが、日除けと組み合わせると負荷を減少させられる。

第2章では、熱源機器の余裕率と省エネルギー性に関する研究である。過度の余裕率は省エネルギーに反する。数値シミュレーションにより省エネルギー性能を分析した。その結果、次の知見を得た。

- ・非蓄熱システムは余裕率を見込むほどCOPが下がるが、蓄熱システムでは影響を受けにくい。

- ・熱源の台数分割は2台分割では効果は十分ではない。同じ2台分割ならば、等分割よりも不等分に分割すると効果が大きい。

第3章では、予冷予熱の最適設計および最適運用に関する研究である。実務設計では予熱予冷時間を1～2時間とすることがほとんど慣習的になっている。事務所ビルをモデルの1例の試算ではあるが、予冷予熱時間をパラメータにピーク負荷、設備費、年間エネルギー消費量、経常費を分析した。分析の結果、次の知見を得た。

- ・設計予冷予熱時間を長くするとピーク負荷が減るが、設備費の低減は小さい。

- ・年間のエネルギー消費量は、予冷予熱時間を固定で運転すると明らかに増える。

- ・ 予冷予熱時間を予測して最適に運転すれば、エネルギー消費量の増加を抑えられる。
- ・ 経常費では、予冷予熱時間を7時間で設計し最適運転したケースが最も経済的であるが、設計予冷予熱時間が5時間から連続運転までは殆ど差がない。

第IV結論では、本研究である建築空調設備の設計および運転法で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、建築物の省エネルギー性を高めるための、建築空調設備の設計および運用法に関する研究成果をまとめたものである。得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 住宅を対象に、太陽熱冷暖房システムの省エネルギー性と経済性に与える、地域性、集熱面積、蓄熱容量など9つの因子の影響を数値シミュレーションと実験計画法により検討し、各因子の効果を見いだす推定表を作成した。その結果、省エネルギー性は、どのようなシステム構成でも成立するが、経済性については、a) 耐久年数の向上、b) エネルギー価格の継続的な上昇、c) 設備費のコストダウンのどれか一つが満たされるだけでは、温暖な地域の限られたシステム構成の場合にのみ経済性が生じることを明らかにした。また、暖房の負荷需要の大きい寒冷地が経済性において必ずしも有利にならないことも明らかにした。
- (2) 空調用蓄熱システムの計画段階におけるフィージビリティスタディのために、蓄熱槽の容量と保温性、熱源機器容量など、6つの因子を取り上げ、蓄熱効率、電力の夜間移行率などを数値シミュレーションにより解析し、蓄熱槽の容量と保温性能が設計判断の支配的因子であることを見いだした。また、蓄熱水槽の最適設計を目的にして、温度成層型の蓄熱槽の模型実験とR値モデルによる数値解析を実施し、最適な蓄熱槽の形状とR値理論の改良方法を見いだした。さらに、負荷予測と有効蓄熱量予測の機能を制御システムに取り入れて実建物で実証試験し、負荷予測システムが十分に実用的であること、有効蓄熱量予測を、予測負荷、コイル性能、蓄熱槽の水温分布を利用して行えば無駄な蓄熱が減り蓄熱槽が最大限に利用できることなどを明らかにした。
- (3) 建築の日除けの期間効果係数を求める方法を考案し、地域特性や部材の特性がどの程度熱負荷の減少に関係するかを簡易に見いだす手法を開発した。また、熱源機器の安全率と省エネルギーの関係を数値シミュレーションにより分析し、非蓄熱システムでは余裕率を見込むほど効率が下がること、等分割よりも不等分割の方が、省エネルギー効果が大きいことなどを見いだした。さらに、空調の予冷予熱時間がピーク負荷、設備費、年間エネルギー消費量、経常費に与える影響を分析し、設計の予冷予熱時間を長くするとピーク負荷は減るが設備費の低減は小さいこと、予冷予熱時間を負荷に合わせて適正に運転すればエネルギー消費量を減じることができること、経済性が最適となるのは予冷予熱時間を7時間で設計するケースであるが、予冷予熱時間が5時間から連続運転までは実質的な差は無いことなどを明らかにした。

以上、本論文は、建築空調設備の省エネルギー設計および運転法に関して、数値シミュレーション、実験、実証試験などによる幅広い検討を行って、設計ツール、設計法、運転法などを提案すると共に、それを実際の建物に応用してその有用性を示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文の内容は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。