

学位論文題名

躯体蓄熱空調システムの蓄放熱特性と

エネルギー評価に関する研究

学位論文内容の要旨

我が国の電力設備の効率改善につながる電力の負荷平準化のため、あるいは環境負荷の低い夜間電力を利用することによる環境負荷低減のため蓄熱空調システムが採用されている。蓄熱システムの熱媒体としては1960年代に開発された当初からの水に加えて、1980年代より設置スペース削減のため水が使われるようになり様々なシステムが研究開発されてきた。さらに1990年台にはいると建物に存在するコンクリートスラブなど建築躯体を蓄熱媒体とする躯体蓄熱空調システムが登場した。躯体蓄熱の特長として、夜間電力の利用によるランニングコスト・環境負荷の低減、および機器容量の削減によるイニシャルコストの低減といった蓄熱システムの一般的な利点に加え、①既にある建物躯体を利用することで、高価な水・氷蓄熱の蓄熱槽・熱源機の容量を削減できる、②躯体から直接室内に放熱されるため二次側空調設備の容量を削減できる、③蓄冷された躯体により放射冷房効果を期待できるといったメリットがある。しかしながらその半面、主蓄熱体であるスラブへの蓄熱・放熱特性が明らかでないという問題点が残されていた。つまり、どこの部位にどれだけ蓄熱されているか、蓄熱体が外気に面しているため熱損失がどれだけあるかといった懸念である。また、これに伴い躯体蓄熱の効率、負荷平準化効果など関しても明らかになっていないとは言えない。

そこで本論文では、まず躯体蓄熱空調システムは建物を建築躯体とするため外乱の影響が大きいことを考慮し、外乱・室内条件の再現性のある試験装置を製作し条件を変えて試験を行った。これにより部位別の蓄放熱量を求め躯体蓄熱による熱収支、負荷平準化効果などの効率を明らかにした。また、その試験結果を基に蓄熱特性を躯体蓄熱の検討に簡易に利用可能な形に整理することを目的に蓄熱量の新たな評価法の提案を行った。さらに、熱源から二次側空調設備までの空調設備全体のモデルを作成し冷房の期間シミュレーションを実施し、躯体蓄熱によるエネルギー消費量、環境負荷低減効果の評価を行い、躯体蓄熱空調システムの有効性を明らかにした。

本論文の構成、および各章の内容は以下の通りである。

第1章「序論」ではCO₂削減、電力負荷平準化の点から蓄熱システムの必要性を述べ本論文の構成を示した。

第2章「研究の背景と目的」では、躯体蓄熱空調システムの分類と既往の研究についてまとめ、それより本研究の位置付けと目的を示した。

第3章の「躯体蓄熱システムにおける建築部位毎の蓄放熱量の解明と蓄熱効率に関する実験」では、躯体蓄熱空調システムの基本的な性能に関する実験を行った。躯体蓄熱は蓄熱体が建物であるため外乱の影響を受けやすい。そこで外乱・室内条件の制御できる実際の建物を模擬した試験装置を製作し、蓄熱条件を変えて性能試験を実施した。試験データよりコンクリートスラブに加えて各

建築部材の蓄放熱特性、および負荷平準化などの蓄熱効率を算出し躯体蓄熱の有効性に関する検討を行った。その結果、躯体蓄熱対象部位以外の建材への蓄熱を含めると、夜間投入熱量の78%から84%が有効に蓄熱されていることがわかった。逆に外気室への熱損失は最も多い10時間蓄熱で18%、それ以外は10%強であった。

第4章の「躯体蓄熱システムにおける蓄熱特性に関する実験的評価」では第3章で得られた試験データを基に、蓄熱量が吹付け方法、風量、温度、天井裏の梁などに大きく影響を受けることに着目し、これらを影響因子に解析を行い、条件毎の蓄熱特性を躯体蓄熱の検討に簡易に利用可能な形で整理することを目的に蓄熱量の新たな評価法の提案を行った。蓄熱量の評価法として初期スラブ温度と吹出し温度の温度差で除した単位蓄熱量の実験式で表わす評価法を提案した。また、実験結果より蓄熱量がこの温度差に比例していることを確認し、この評価法が適正であることを検証した。また、その評価法を用いて蓄熱条件が蓄熱特性に及ぼす影響に関し考察を加えた。

第5章の「水蓄熱との連携を考慮した躯体蓄熱空調システムのエネルギー評価」では躯体蓄熱空調システムを建物側の負荷計算に加えて熱源から二次側空調機まで空調設備全体をモデル化し、エネルギーシミュレーションを実施した。二次側空調のエネルギー消費が問題となってくるのは空調機を用いた躯体蓄熱と考え、セントラル型の空調システムを検討対象とした。また、併用する蓄熱システムとしては一般的な水蓄熱を選び、躯体蓄熱を含めた蓄熱システムとしての性能の検討を行った。また、地域特性とし、札幌、仙台、東京、鹿児島の4都市を選び、冷房期間におけるシミュレーションを行い、蓄熱システムの併用の効果、地域特性などの検討を行った。その結果、熱負荷の大きい地域ほど蓄熱の効果が大きいことがわかった。また、躯体蓄熱は建物の断熱性の影響が大きく、外気温変化により季節別で蓄熱時間を最適化が必要であることがわかった。そこで高断熱化したモデルに対し地域別、月別の最適蓄熱時間を求めた結果、東京の場合で非蓄熱に比べた冷房期間の一次エネルギー削減率が2.7%、CO₂削減率が10.4%となり、環境性の面で効果がある結果が得られた。

最後に第6章では本研究で得られた研究を総括し、躯体蓄熱空調システムの今後の課題と展望について述べた。

以上より、躯体蓄熱空調システムは効率良く建築躯体に蓄熱を行うことができ、また負荷平準化、環境負荷低減に資するシステムであることが示され、さらに蓄熱量の設計指針、運用時の蓄熱時間に関する知見を得た。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長 野 克 則
副 査 教 授 横 山 真 太 郎
副 査 教 授 羽 山 広 文
副 査 准 教 授 濱 田 靖 弘

学 位 論 文 題 名

躯体蓄熱空調システムの蓄放熱特性と エネルギー評価に関する研究

我が国の電力設備の効率改善につながる電力負荷平準化、および CO₂ 排出原単位の低い夜間電力を利用することによる環境負荷低減のために、需要家側の電力消費の制御、いわゆるデマンド・サイド・マネージメントの必要性が重要視されているが、建物の冷暖房・空調においては夜間に蓄熱を伴う蓄熱空調システムが官民一体となり促進されているところである。中でもコンクリートスラブなどの建築躯体を蓄熱媒体とする躯体蓄熱空調システムは、蓄熱槽を特別に構築する必要が無く、また躯体から直接室内に放熱されるため二次側空調設備の容量を削減でき、居住者の温熱感に放射冷房効果も与えて快適性の向上が期待できるといった優れた点が認知されてきており 1990 年代半ば以降、導入が進んできている。しかしながら、主蓄熱体であるスラブへの蓄熱・放熱特性が未だ明らかではなく、未だに設計が経験的になされているのが現状である。そこで本研究の目的は、詳細な実大実験から部位別の蓄放熱量を把握して、躯体蓄熱の設計に工学的精度で十分に使用可能な蓄熱量や必要蓄熱時間を推定する方法を提案すること、そして夜間に蓄熱された熱量の内、どれだけ昼間の空調に寄与しているかを実証することである。そして、これらの実験で得られた成果を基に、躯体蓄熱空調設備全体の動的挙動を再現できるシミュレーションプログラムを作成して、躯体蓄熱空調システムの一次エネルギーと CO₂ 排出量の削減効果を定量的に示すと共に、躯体蓄熱空調システム導入による環境負荷低減効果を明らかにするものである。

第 1 章は序章であり、本研究の背景を述べている。

第 2 章は、躯体蓄熱空調システムの分類と既往の研究についてまとめ、それより本研究の位置付けと目的を示した。

第 3 章は、実大実験による躯体蓄熱システムの部位別蓄放熱量と蓄熱効率の解明に関する実験である。躯体蓄熱対象部位以外の建材への蓄熱を含めると、夜間投入熱量の 78% から 84% が有効に蓄熱されていること、外気室への熱損失は最も多い 10 時間蓄熱で 18%、それ以外は 10% 強であることを示した。

第 4 章は、躯体蓄熱システムにおける蓄熱特性に関する実験的評価である。第 3 章で得られた試験データを基に、蓄熱量が吹付け方法、風量、温度、天井裏の梁などに大きく影響を受けることに

着目し、これらを影響因子に解析を行い、条件毎の蓄熱特性を躯体蓄熱の検討に簡易に利用可能な形に整理することを目的に蓄熱量の新たな評価法の提案を行った。蓄熱量の評価法として初期スラブ温度と吹出し温度の温度差で除した単位蓄熱量の実験式で表わす評価法を提案した。また、実験結果より蓄熱量がこの温度差に比例していることを確認し、この評価法が適正であることを検証した。また、その評価法を用いて蓄熱条件が蓄熱特性に及ぼす影響に関し考察を加えた。

第5章は、水蓄熱との連携を考慮した躯体蓄熱空調システムのエネルギー評価である。躯体蓄熱空調システムを建物側の負荷計算に加えて熱源から二次側空調機まで空調設備全体をモデル化し、エネルギーシミュレーションを実施した。二次側空調のエネルギー消費が問題となってくるのは空調機を用いた躯体蓄熱と考え、セントラル型の空調システムを検討対象とした。また、併用する蓄熱システムとしては一般的な水蓄熱を選び、躯体蓄熱を含めた蓄熱システムとしての性能の検討を行った。また、地域特性とし、札幌、仙台、東京、鹿児島の4都市を選び、冷房期間におけるシミュレーションを行い、蓄熱システムの併用の効果、地域特性などの検討を行った。その結果、熱負荷の大きい地域ほど蓄熱の効果が大きいことがわかった。また、躯体蓄熱は建物の断熱性の影響が大きく、外気温変化により季節別で蓄熱時間の最適化が必要であることがわかった。そこで建物外皮を高断熱化した条件についても検討を行い地域別、月別の最適蓄熱時間を求めた。その結果、東京の場合で非蓄熱に比べた冷房期間の一次エネルギー削減率が2.7%、CO₂削減率が10.4%となり、建物断熱仕様次第で躯体蓄熱空調システムが省エネルギー性、および環境性で優位になることを示した。

第6章は総括であり、本研究で得られた知見をまとめ、躯体蓄熱空調システムの今後の課題と展望について述べた。

これを要するに、筆者は躯体蓄熱空調システムに関して、躯体蓄熱の設計の基礎となる蓄熱量と蓄熱に要する時間の推定方法を示すとともに、蓄熱効率を明らかにして、計算から躯体蓄熱空調システムが省エネルギー性、および環境性で非蓄熱方式に比べて優位になる建物条件や運用方法を提供した。これは、空気調整工学をはじめとして、環境工学、建築工学、設備工学、空間性能工学の進展に寄与するところ大である。

よって、筆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。