

氏 名	鄭 在 薰
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博第2349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1項該当
研究科・専攻	工学研究科生活空間学専攻
学位論文題目	最適制御理論を用いた躯体蓄熱の最適制御方策に関する基礎的研究

論文調査委員 (主査) 教授 鉦井修一 教授 宗本順三 教授 高橋大武

論文内容の要旨

本論文は、オフィスビルにおける躯体蓄熱空調システムを対象として、執務時に快適な室内環境を保ちつつエネルギー消費量またはコストを最小にするという評価基準の下に、システムの最適運転方策を実測および最適制御理論に基づいて明らかにしたものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、本論文に関連する既往研究として、躯体蓄熱空調システム、外界気象の確率変動を考慮した熱負荷予測、空調システムの最適制御に関する従来の研究をレビューし、それらを踏まえて本論文の位置付けを行なっている。

第2章では、事務所ビルにおける空気吹付け方式の躯体蓄熱空調システムについて、その運転実績を示した。実測期間は典型的な夏日であり、蓄熱運転パターンとしては、蓄熱なし、2時間蓄熱、5時間蓄熱、10時間蓄熱を一週間ずつ続けて行なった。その結果、従来の間欠空調運転に比べ、躯体蓄熱2時間で約23%、5時間で約36%、10時間で約43%の昼間のピーク負荷削減が可能であることを明らかにした。

また、1次元の簡易モデルを作成し、実測値の再現を試みた。その結果、プレナム内の熱伝達率を適切に設定することにより、熱負荷、室温、プレナム温および床スラブ温度の挙動を十分な精度で再現できることを確認した。

第3章では、外界気象が与えられた場合の躯体蓄熱の最適運転を、線形最適レギュレータ理論に基づいて解析した。空調時室温の設定室温からの偏差を小さく保ち全エネルギー消費量を小さくするという評価基準の下で、2次形式の評価関数に基づく定式化を行ない、その結果を事務所ビルに適用した。全蓄熱時間を通して蓄熱を行ない、かつ蓄熱速度を徐々に増加させることが最適な蓄熱運転方策であるという結果を得た。

更に、評価関数に放射を考慮した場合、床スラブからの冷放射の影響により、空調機の処理熱量の削減が可能であることを明らかにした。

第4章では、躯体蓄熱空調システムを有する事務所ビルの冷房負荷と電力消費量の確率性状を調べ、内部発熱が確率的に変動する場合の躯体蓄熱最適制御法について検討した。当該建物の場合、電力消費量の確率成分は小さく、室温と除去熱量の確率分布に与える影響も小さいことが示された。さらに、電力消費量に比例する人体発熱がある場合には、蓄熱終了時の平均値に対する標準偏差の割合は12%程度となり、そのばらつきは無視し得ないことを明らかにした。

第5章では、室温の設定温度からの偏差の2乗と供給熱量の和の積分が最小という評価基準の下に、供給熱量に制約がある場合の躯体蓄熱最適制御問題の解析をポントリャーギンの最大原理に基づいて求めた。供給熱量を1乗で評価する場合の最適な蓄熱時に生ずる熱損失を避けるため、空調時に近い時間帯に装置容量で蓄熱を行なう運転となることを明らかにした。

更に、供給熱量の2乗を評価基準とした場合との比較を行ない、2乗による評価は、大きな供給熱量により大きなペナルティを与えることに対応していることおよび評価関数の違いが最適制御法に与える影響を明らかにした。

第6章では、解析解を得ることが困難な大規模システムにおけるパンパン型最適制御問題を解くために、勾配法により数値解を求める手法を提案した。最大原理による厳密解と比較することにより、勾配法による数値解の特徴および精度を吟味

した。供給熱量が不連続に変化する時間帯を除き勾配法による解は厳密解に非常によく一致すること、供給熱量が不連続に変化する場合には、勾配法の収束判定条件を厳しくすることにより厳密解に近づけられることを明らかにした。

第7章では、第2章の測定建物を対象として、最適な躯体蓄熱時間を測定データおよび勾配法により求めた。その結果、解析結果は実測による結果によく対応することを示した。また、評価関数における除去熱量と室温偏差項に関する重みの比率を変化させることにより、幅広い評価基準の下での躯体蓄熱空調システムの最的な運用が可能となることを明らかにした。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、空気吹付け式躯体蓄熱空調システムの最適な運用方策の提案を目的として、執務時に快適な室内環境を保ちつつ消費エネルギーを最小にするという評価基準の下で、最適制御理論に基づく解析および実験により最適制御方策について検討したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 事務所ビルにおいて夏季の躯体蓄熱運転を行ない、蓄熱しない場合に比べ例えば2時間蓄熱では昼間のピーク負荷は約23%減、積算負荷は約24%減となることを示した。躯体蓄熱による昼間のピーク負荷のカットは顕著である。

2. 躯体蓄熱の最適運転を線形最適レギュレータ理論に基づいて検討し、執務時室温の設定温度からの偏差を小さく保つとともに空調機の処理熱量を最小にするという評価基準のもとに、最適なプレナム、室への熱供給を決定した。これは躯体蓄熱の運転にはじめて最適制御の考え方を導入したものである。

3. 人の温熱感覚をより適切に評価するために評価関数に放射を考慮すると、床スラブからの冷放射の効果が加わるため、空調時における室温を高く保つこと、結果として蓄熱時の除去熱量を削減できることを明らかにした。

4. 簡易な室モデルを対象として、供給熱量と室温偏差を評価関数とし、さらに装置容量すなわち供給可能な熱量の上限が与えられた場合の最適制御解を最大原理に基づいて求めた。その結果、室温設定時の直前まで装置容量で蓄熱を行ない、蓄熱時の熱損失を最小とする運転が最適制御方策であることを明らかにした。

5. 測定を行なった事務所ビルにおける躯体蓄熱の最適な蓄熱時間を、夏期の実験データに基づく推定および最適制御理論に基づく勾配法を用いた数値シミュレーションにより求めた。両者がよく一致すること、さらに評価関数における室温偏差および除去熱量の重みを適切に定めることにより、幅広い評価基準の下での躯体蓄熱空調システムの最適運用が可能となることを示した。

以上、本論文は、これまで最適制御の観点より検討がなされていなかった躯体蓄熱空調システムに関して、快適な室内環境を形成しつつ供給熱量を最小とする最適熱供給方法を最適制御理論および実験に基づいて明確にしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（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19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。