

審査の結果の要旨

氏名 李度胤

本研究は、「Model predictive control of building energy system using artificial intelligence (人工知能を用いた空調熱源システムのモデル予測制御)」と題する。主たる目的は、人工知能を活用したモデル予測制御手法を提案し、その手法を用いて蓄熱槽を有する建物空調熱源システムの運用最適化の実用性を検討することである。具体的には、蓄熱槽システムの未来の挙動を、高い予測精度を有し計算負荷の削減が期待できることに着目し、人工ニューラルネットワーク (Artificial neural network, ANN) を用いてモデル化した。最適化アルゴリズムは、従来の数理計画法より収束速度が早く、制約条件を効率的に処理できると知られているメタヒューリスティクス手法を採用した。なお、ANN予測モデルとメタヒューリスティクス手法を組み合わせた人工知能ベースのモデル予測制御を検証した。

本論文は、下記の全8章により構成される。

第1章は、本研究の背景とモデル予測制御(Model predictive control, MPC)に関する既往研究の内容、蓄熱槽システムの運用に関する現状と課題、課題に対する本研究の目的および全体的な論文構成について述べている。

第2章は、本研究の基本的な知識となる、モデル予測制御の仕組みとANNを用いたモデリング手法、メタヒューリスティクス最適化手法の理論の解説を行っている。

第3章は、ANNを活用した温度成層型蓄熱槽と地中熱交換器の予測モデルの結果を示している。また、温度成層型蓄熱槽と地中熱交換器の2次側への送水温度の高精度予測に主な影響を及ぼす主要入力変数の把握と、予測にかかる計算負荷の検討を基に、ANN予測モデルのMPCでの活用可能性について分析している。

第4章は、ANN予測モデルとメタヒューリスティクス最適化手法を組み合わせた人工知能ベースのMPC手法を提案している。また、提案するMPC手法の有効性を検討するために行ったシミュレーションの結果とその分析を並べている。蓄熱槽を有する事務所ビルに提案するMPC手法を適用した結果を、蓄熱槽運転を優先とする従来制御手法と比較して、その妥当性を検討している。

第5章は、上記の本研究で提案した人工知能ベースのMPC手法を実システムへ導入するために、実際に建物で使われる熱源機器により構築した蓄熱槽を有する中央熱源システムのモックアップ実験装置の詳細について説明している。なお、MPCを演算する計算機と実験装置の連動、実験装置への物理的入力を発生させるアクチュエータ

の構成、運転モード切り替え時の自動制御ロジックについて述べている。

第6章は、モックアップ実験装置を用いて行った人工知能ベースのMPC手法の実験結果について述べている。冷房負荷の高、中、低パターンを想定し、それぞれの負荷パターンについて、MPC手法と蓄熱槽運転を優先とする従来制御手法を用いた実験結果を比較した。加えて、負荷パターンに応じて得られた異なる運転計画の結果とMPC手法の運用コスト削減度について分析している。

第7章は、蓄熱槽運転を優先とする従来制御手法において、蓄熱槽の放熱運転スケジュールが異なる2種類のケースとMPC手法を比較した実験結果について分析している。冷房運転開始と共に放熱運転を行う従来制御手法と電気価格が高い区間に放熱運転を行う従来制御手法の2ケースの実験を行い、その結果をMPCの実験結果と比較して、本研究で提案するMPC手法の有効性について分析した。

第8章は、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について示している。

現状、蓄熱槽を有する空調熱源システムは、単純に熱源機器の運転優先順位に基づいて運用されている場合が多い。従って、熱負荷、外気条件、電気価格などの運用状況の予測に基づいて蓄熱システムをより最適に制御することができるMPCの活用が期待が高まっている。しかし、MPCを導入するためには、高精度かつ高速な予測モデルと最適化アルゴリズムを構築する必要がある。建物の空調熱源システムは、多種多様な機器で構成された非線形システムであるためモデル化が複雑であり、MPCを適用する際には、最適化問題を実時間で解かなければならず、計算負荷が実用上の障害である。本論文では、これらの課題を解決するために、人工知能を活用したMPC手法を提案し、その手法の有効性について検証した。本研究で得られた結果を用いることにより、蓄熱槽システムの運用最適化がより効率的にできるものと期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。