

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 高 原

気候変動問題に対し、建築分野でも再生可能エネルギーをビルエネルギーシステムに組み込み、積極的に活用していくことが求められている。そのためには、ビルエネルギーシステム内の様々な要素機器が協調する高度でインテリジェントな制御アルゴリズムが不可欠である。本論文は、「**Development of Operational Optimization Methodology for Renewable Building Energy Systems Applying Reinforcement Learning and Model Predictive Control**」(強化学習とモデル予測制御を応用した再生可能建築物エネルギーシステムの運用最適化手法の開発)と題し、再生可能エネルギーを導入したビルエネルギーシステムの運用最適化手法を改善することを目的に、モデル予測制御 (Model Predictive Control: MPC) と深層強化学習 (Deep Reinforcement Learning: DRL) の 2 種類のフレームワークを開発し、それらの効果検証を行っているもので、全 8 章で構成されている。各章をまとめると以下の通りとなる。

第 1 章では、本論文の背景と目的について述べている。

第 2 章では、MPC フレームワークにおける短期予測について、グラフニューラルネットワークとリカレントニューラルネットワークを組み合わせ、データの時間的变化と空間的關係を同時に考慮する短期予測モデルを提案した。

第 3 章では、MPC フレームワークにおける長期予測について、時間経過に伴う予測誤差拡大の問題を解決するための深層生成モデルを提案した。天気予報を用いた日射量の長期予測に適用し、予測精度等について考察を加えている。

第 4 章では、第 2 章と第 3 章で提案した予測モデルを用いて、長期・短期の混合予測モデルに基づくハイブリッドの MPC フレームワークを提示し、ビルの実測データを用いた予測モデルの学習と最適化、結果の検証を行っている。

第 5 章では、DRL フレームワークにおいて、完全に連続した行動空間を仮定し、DRL の状態／行動／報酬設計、報酬設計の課題解決、収束性能と制御性能について、運用最適化に関するケーススタディを通じた分析を行っている。

第 6 章では、第 5 章のケーススタディに基づいて、連続・離散エージェントが混在するマルチエージェントの DRL フレームワークを提案し、離散値を含む

操作変数の最適化問題を解くことを可能にしている。

第 7 章では、実測データを用いて、提案したハイブリッド MPC とマルチエージェント DRL のフレームワークによる運用最適化をそれぞれ実施し、結果を比較している。ここでは MPC の方がより良い最適化結果を得ることが示されており、その理由について考察を加えている。

第 8 章では、本論文で得られた知見と今後の課題をまとめ、総括としている。

以上、要するに、本論文は、再生可能エネルギーを導入したビルエネルギーシステムの運用最適化手法の開発について、関連のデータセットを用いた MPC と DRL の基本的な特徴分析を明らかにしたうえで、長期・短期予測モデルに基づくハイブリッド MPC と連続・離散エージェントが混在するマルチエージェント DRL のフレームワークをそれぞれ独自に提案し、それらの提案手法による運用最適化の結果について実測データを用いた比較・分析を行い、その効果と限界について考察を加え、今後のビルエネルギーシステムのスマート化に有用な知見を提示したものであって、建築設備工学に寄与するところが大きい。

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。