

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 大木 優介

修士（工学）大木優介提出の論文は、「自律分散処理を用いた電力配分方法の検討と列車消費電力制御への応用 **Power Distribution by Decentralized Control Scheme and Its Application to Train Power Control**」と題し、本文 6 章から成っている。本研究では、宇宙機の電力配分技術から着想を得た自律分散的な制御方法に着目し、電気鉄道システムへの応用について解析している。

第 1 章は序論であり、本研究の背景、目的について述べている。変電所の供給電力制限下での列車走行の実現や、朝ラッシュ時の電力ピークカットによる契約電力コスト削減など、電力制限下で列車を走行させる必要がある。しかし、電気鉄道において電力を「限りある資源」と捉え、制限ある電力を列車に配分する研究は数が限られる。そこで学位申請者は、電気鉄道システムに適した電力配分方法として、「自律分散制御」に着目している。自律分散方式は、各列車の情報をいちいち収集せず、総電力を変電所が全列車に同報する、片方向通信で制御を達成する。各列車は同報された電力情報を基に自分の優先度を決定し、速度を並列に計算する。本手法を用いることで、サーバーが全列車情報を収集する場合に比して、通信負荷や初期投資コストの大幅な削減、制御への参加離脱が自由な **Plug& Play** 性の向上を実現している。また契約電力に設定される電力の移動平均値「電力デマンド」の制御の重要性について述べている。

第 2 章は、自律分散制御系の安定性解析および、列車の制御則の導出を行っている。各電力消費要素が、自分の消費量を記憶しておき、それを遡ってフィードバックする、内部モデル制御を施すことで系の安定領域を大きく拡大させることを理論的に証明し、さらに、本制御方法を複数の電力供給源がある場合に拡張している。また、電気鉄道に应用する際は、変電所から同報される電力デマンドを基に各列車が加速時の最高速度、力行最高速度を操作するという、具体的な手段を提案している。そして、各列車が自分の列車遅延を優先度に導入することで、もっとも遅延の大きい列車の遅延を最小化する **Min-Max** のアプローチを取ることで、変電所の消費電力デマンドの収束性と列車遅延の平準化を両立している。内部モデル制御による安定化や複数電力供給源への拡張で得られた知見は、電気鉄道への応用に限ったものではなく、また電力配分に限定せず、限られた資源の配分問題全般に広く適用することが可能である。

第 3 章では、著者が作成した簡易列車走行シミュレーションを用いて、第 2 章

で提案した制御方法を実証し、制御性能を検証している。列車遅延に偏りのある団子状態運転で本制御を適用すると、列車遅延を平準化しつつ変電所の電力デマンドを安定的かつ迅速に収束させ、ピークカットできることを示している。また列車間隔や乗車率など、旅客の利便性も評価を行い、列車遅延の平準化を行うことで、列車の空間的な平準化も実現でき、旅客利便性の改善も期待できることを実証している。そして無制御の編成や運転士のブレーキ誤差のある外乱下の制御系のロバスト性も実証している。

第4章では、鉄道総合技術研究所が開発した、電気鉄道の実環境に近いモデルを反映できる列車運行電力シミュレータを用いて、提案手法を実証している。回生電力や、駅間距離のばらつき、線路の勾配・曲線など実際の線路を模擬したモデルでも、変電所電力デマンドの制御性は損なわれないことを示し、また電力が収束した後でも、列車遅延を平準化する手法を提案し効果を実証している。

第5章では、本制御を適用した現車実験の結果に言及している。1 変電所・2 編成による基礎実験では、変電所の電力デマンドの制御性は、シミュレーションとの誤差も小さく理想的に制御できることを示している。2 変電所・3 列車による応用実験では、回生電力や急行列車などの外乱条件を導入したが、それでも電力デマンドがピークカットされ、収束も安定であった。複数の変電所の目標値への収束性も良く、外乱下でも制御が可能なロバスト性を実証できている。「力行最高速度」という駅間ごとの制御入力の良いので、運転士も制御通りに運転しやすく、本制御の実現性が高いことを示唆している。

第6章は本論文の結論であり、第2-5章の成果をまとめている。

以上より、本研究の主要な成果は、(1) 初期投資コスト、**plug&play**、通信負荷の観点で優れた自律分散制御系を、内部モデルの補償で安定化し契約電力にも設定される電力移動平均値に対応できるよう発展させ、「力行最高速度」という運転士が操作しやすい上、低速な通信で達成される制御則を確立した点。(2) 優先度設定の工夫により、列車遅延と列車間隔を同時に平準化しつつ、旅客の不便性も低減させ、安定的かつロバストに電力デマンド抑制ができることを、シミュレーションにより定量的に示した点。(3) 上記を列車走行試験でも定量的に実証した点、である。本研究の成果により、契約電力コスト削減や変電所設備縮小、電力制限下における列車走行の実現性を高めており、工学上貢献するところが多い。

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。