

博士論文 (要約)

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

大木優介

本論文では、サーバーレスの電力配分方法である、自律分散制御を電気鉄道システムに応用する。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および変電所設備の縮小など、電力制限下で列車を走行させる必要がある。しかし、電気鉄道における省エネルギー化の取り組みは数多くなされてきている一方、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。そこで著者は、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」に着目した。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。本手法であれば、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 性の向上を見込むことができる。本論文は自律分散方式により、鉄道会社が電力会社との契約電力に設定される、電力移動平均たる「電力デマンド」を制御する手法を提案する。

本論文ではまず、制御遅れである電力デマンドを制御対象としたときの自律分散制御系の不安定性を明らかにする。不安定系を内部モデル制御の方法で安定化を試み、さらに複数の電力供給源を考慮した際の、優先度の安定条件を導出する。そして、本手法を列車の走行に適用する場合には、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 の考え方により、列車遅延を平準化する列車遅延方法を提案する。次に、提案した列車走行方法を、列車走行シミュレーションにより、制御性を評価する。シミュレーションでは、列車遅延に偏りのある団子状態の運転で、電力デマンドの安定的な制御と列車遅延の平準化の両立や、ブレーキ操作誤差や無制御編成の参入、回生電力などの様々な外乱に対するロバスト性を実証する。そして電力デマンド・列車遅延のみならず、列車間隔や乗車率といった旅客利便性の評価も行う。最後に、実際に列車を走行させる現車実験によって、本手法の有効性を実証する。複数の変電所・列車を用いて、変電所の電力デマンド実データ制御性および、シミュレーション結果との比較や、指示速度と速度履歴の比較解析などを行い、本手法の実現性を評価する。