

氏名	桐原 健太		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	博 甲 第 10532 号		
学位授与年月日	令和 4 年 9 月 22 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	A study on minimizing CO2 emissions and improving frequency stability of power systems incorporating electric vehicles (電気自動車を組み込んだ電力系統の CO2 排出量最小化と周波数安定性向上に関する研究)		
主査	筑波大学 教授	博士 (工学)	河辺 徹
副査	筑波大学 教授	工学博士	久野 誉人
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	伊藤 誠
副査	筑波大学 准教授	博士 (理学)	佐野 良夫
副査	筑波大学 准教授	Ph. D	平田 祥人

論文の要旨

過去 20 年間、地球規模での CO2 排出量は着実に増加しており、その削減が急務となっている。CO2 排出量の半分以上は運輸と電力からであり、これらにおける削減が重要となる。このため、再生可能エネルギー源 (RES) や電気自動車 (EV) に注目が集まっている。しかし、RES はカーボンフリーな電力を供給できる反面、電圧の不安定さ、逆潮流、需給のミスマッチによる周波数の不安定化などの問題を引き起こす。特に、周波数の不安定化は大きな停電を生じさせる原因となり深刻である。また、EV を電力系統と組み合わせた場合の CO2 排出量への影響についてはあまり調べられていない。

そこで本論文では、EV を組込んだ電力系統において、EV と RES を可変的に利用することで、CO2 削減とロバストな周波数安定性を両立させる制御手法を提案している。提案手法は、(a) RES 導入の影響を制約として考慮しながら、CO2 総排出量を最小化する EV と RES の最適な導入量を求める手法、(b) EV 用スマートチャージプロトコルである Open Charge Point Protocol (OCPP) とモデル予測制御 (MPC) を用いて、EV の充電上限値を調整することにより電力系統の周波数をロバストに安定化する制御法の 2 つによって構成されている。

1 章で研究の背景や目的を述べた後、2 章で電力系統の需給マッチング問題とそれらに対するこれまでの研究事例を紹介している。そして 3 章では (a) の手法を提案し、OECD の実データに基づく数値シミュレーションにより、提案手法で導出された最適な量の EV と RES を用いることで、CO2 排出量を大幅に削減 (10~20%) できることを示している。続いて 4 章では (b) の手法を提案し、EV の台数に関わらず、十分な性能を発揮することを数値シミュレーションにより示している。最後に 5 章で全体のまとめとして得られた成果と今後の展望が述べられている。

審査の要旨

【批評】

本研究では、地球温暖化対策において重要な温室効果ガス（GHG）削減のために、再生可能エネルギー源（RES）を伴う電力系統に対し、電気自動車（EV）と組み合わせ、電力系統のロバストな周波数安定化と二酸化炭素削減を同時に実現するための適切な RES と EV のバランスを導出するための新たな手法を提案し、具体的な OECD データ等に基づいてこの手法の有効性を示しており、特に実用性の面において高く評価できる。

提案手法には2つの構成要素があるが、まず、一般に、電力系統に RES を追加すると、電力の需給ミスマッチが生じやすくなり、周波数の維持が困難となる。これに対処し、最初の構成要素として、EV と RES 導入による制約を陽に表した数理最適化問題として定式化することで、RES と EV の最適なバランスを導出する手法を提案している。この手法は従来手法では考慮されていなかった RES の追加による潜在的な利点と欠点や EV 導入による CO2 排出量まで考慮したもので、実用性と新規性の両面で評価できる。さらに、OECD 内の小国の実データに基づいたシミュレーションにより、その有効性と提案手法の拡張性の高さを示しており、提案手法の有用性の高さが評価できる。

次に、2 つ目の構成要素として、EV 用の最新のスマートチャージプロトコルである Open Charge Point Protocol (OCPP) を用いた充電率制限制御を導入し、さらに、EV を充電用と放電用の2つの発電源としてモデル化し、これらに基づいた電力系統のアーキテクチャとそれに対するモデル予測制御 (MPC) を適用して、ロバストな周波数安定化と CO2 削減を実現する手法を提案している。また、OECD 内の小国のデータにおいて仮想的に EV の台数を変化させたシミュレーションを行い、提案手法を用いることで、従来手法に比べ、より多くの EV の導入が可能となり、10~20%程度の CO2 削減が可能となることを示しており、実用面において高く評価できる。

以上、本研究の提案手法を用いることで、EV と RES を組み合わせた電力系統に対し、CO2 排出量が少なくかつ周波数安定性における堅牢な運用が実現できることが示されており、近い将来の RES と EV を活用した電力系統の更なる発展と地球温暖化対策において大きく寄与することが期待できる。ただし、周波数制御アーキテクチャにおいて、計算時間や計算量の問題から、電力系統モデルを3次モデルに近似して MPC を適用しているが、実用化の面ではより精度の高いモデルを用いた拡張を行うなど、今後の発展が期待される。その点は惜しまれるが、全体としては学位論文として十分なレベルに達していると判断できる。

【最終試験の結果】

令和4年8月1日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。