

令和元年6月21日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K17807

研究課題名(和文)EVシェアリングにおける車両運用計画を考慮したPVカーポートの最適配置設計

研究課題名(英文)Optimal Placement of Photovoltaic Carports Based on Vehicle Operation Scheduling for EV Sharing

研究代表者

川島 明彦(Kawashima, Akihiko)

名古屋大学・工学研究科・特任助教

研究者番号：10726243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、これまでに提案したEV運用計画最適化の枠組みを踏襲した上でその定式化を拡張し、データに基づくサービス利用者の移動需要を推定し、これらを組み合わせることにより、サービス対象地域に適合したPVカーポートの最適配置手法を構築した。
具体的には、(1)サービス利用者の移動需要に関わるデータの収集とクレンジングを行い、利用者データの仮想的な生成モデルの構築し、(2)PVカーポート最適配置問題の定式化を行い、試験的な実験条件においてその有効性を確認した。また、(3)従来のEVシェアリング最適運用計画手法の改善について、主に最適化計算時間の削減を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の提案システムは、PVの発電電力を考慮した各EVの充電計画を立案するため、各EVの蓄電残量(SoC)などの各状態を個別に管理する。そのため、より詳細なEVの運用が可能である。これまでのカーシェアリングの先行研究では、車両台数や利用者の移動需要などマクロな統計量に着目した分析が主たる研究内容であった。
各EVの車載蓄電池群を駐車時にも据置型蓄電池のように利活用し、その地域内の電力システムの安定的運用をサポートすることができる。この試みはVirtual Power Plant(VPP)と呼ばれ近年注目を集めている。例えば配電システムの電圧安定化に貢献するアンシラリーサービスを提供できる。

研究成果の概要(英文)：This study has constructed the optimal placement method of the Photovoltaic (PV) carports adapted for the service area. The method is constructed through expanding the previous formulation of the optimization problem for the electric vehicle (EV) operation schedule in one-way EV sharing service and estimating the movement demand for users in service area based on real data. Specifically, (1) principal investigator collected and cleansed the data of movement demand and constructed a generating model virtually for use of the service. (2) The Optimal placement problem is formulated and verified the effectiveness in an experimental condition. Also, the computational cost has been reduced in the optimization time for the conventional method.

研究分野：最適化学

キーワード：EVシェアリング エネルギー管理システム 再生可能エネルギー 数理最適化 0-1MILP PVカーポート

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、1~2人乗りの超小型の電気自動車(Electric Vehicle, EV)を活用したカーシェアリングサービスの実証試験が国内外で実施されている。まずEVシェアリングでは車両の電動化により走行時の排ガス由来のCO₂を削減でき、さらに、EVの走行に必要な動力エネルギーについても化石燃料ではなく再生可能エネルギーで賄うことができれば、発電源由来のCO₂排出量の削減にも貢献できる。日本国内では、豊田市、横浜市、神戸市などの実証例があるが、安城市の例では、太陽光発電(Photovoltaics, PV)パネルを搭載したPVカーポートを導入し、EVの走行エネルギーを再生可能エネルギーで賄い、CO₂フリーなシステムの実現を目指している。

一方で、再生可能エネルギーを効率よく運用するためには、PVを例に挙げた場合、PV発電設備を搭載したカーポートについて、その設置場所や設置数を含めどのように配置設計するかという問題は解決すべき重要な課題である。また、PVカーポートの設置場所は設置数などは、EVシェアリングにおける車両の運用計画を考慮した上で適切に配置設計する必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、EVシェアリングシステムの車両運用計画を考慮したPVカーポート最適配置設計手法の構築を目指す。これにより、様々なサービス対象地域ごとに適したPVカーポートの最適配置が設計可能となり、CO₂フリーのEVシェアリングシステムの実現と普及に大きく貢献できる。

これまでに研究代表者らは、PV発電設備を導入したEVシェアリングシステムにおけるEV車両の運用計画を最適化する手法を提案した(文献)。この手法では、EVの利用予約に対する車両割当、配車計画、充電計画を同時に最適化する問題が0-1混合整数計画問題(MIP)として定式化される。そして、その同時最適化問題を解くことにより、電力系統からの購入電力を抑えつつ、EVの走行エネルギーをPV発電電力で賄いながら、かつ、サービス利用者の要求を充足するといった、最適運用計画を立案する。問題点として、最適化計算に多大な計算時間を必要とする点があげられるが、既に実サービス上で問題なく運用できる程度にまで計算時間の削減に成功している。また、文献などEVの給電スタンドの最適配置に関する研究についてはいくつか報告されているものの、EVシェアリングのためのPVカーポートの設置数や規模、またその最適な設置場所に関する目立った研究成果は未だない。

そこで本研究では、これまでに提案したEV運用計画最適化の枠組みを踏襲した上でその定式化を拡張し、データに基づくサービス利用者の移動需要を推定し、これらを組み合わせることにより、サービス対象地域に適合したPVカーポートの最適配置を実現する。

<引用文献>

川島 明彦、伊藤 章、稲垣 伸吉、鈴木 達也、EVシェアリングシステムにおけるEVの運用計画と車載蓄電池の充放電計画の同時最適化、システム制御情報学会研究発表講演会、OS11、146-3、2016。

長嶋 利治、新里 隆、郭 偉宏、EV給電スタンドの最適施設配置問題、日本経営工学会論文誌、64(4)、pp.557-560、2014。

3. 研究の方法

本研究ではまず、データに基づくサービス利用者の移動需要の集計と、研究代表者らの研究成果(最適化モデル)の拡張によるPVカーポート最適配置問題の定式化を行う。また、既存のEVシェアリングサービスを対象とした計算機シミュレーションを実施し、最適配置手法の効果検証を行う。具体的には研究目的で述べた以下の項目について実施する。

- (1) サービス利用者の移動需要に関わるデータの収集とクレンジング
- (2) PVカーポート最適配置問題の定式化とその最適計画の効果検証
- (3) 従来のEVシェアリング最適計画手法の改善

4. 研究成果

- (1) サービス利用者の移動需要に関わるデータの収集とクレンジング

パーソントリップ調査データのデータクレンジングを行い、既存手法として知られる車使用予測モデルを用いて、人の移動需要に関する時空間分布について車利用に焦点を当てた分析を行った。この成果は、国内学会のSICEシステム・情報部門学術講演会2017、自動車技術会2017年秋季大会、ならびに、国際会議VEHITS2018にて発表を行った。

また、実データを基づき、EVシェアリングの利用データを仮想的に生成するモデルを構築した。また、本研究課題に関連するものとして、ビッグデータの利活用に関する研究についての調査も行った。これは、車の利用とは人の移動行動のなかの一手段であるため、人が車を用いて利用する条件を抽出するには、まず人の行動データや行動モデルによってどのように人が移動するかを把握する必要があり、その上で、人が車を利用する条件について調査する必要が生じたためである。

- (2) PVカーポート最適配置問題の定式化とその最適計画の効果検証

従来のEV運用計画問題の定式化を拡張し、PVカーポートの最適配置設計問題として再定式化を行った。具体的には、PVの発電総容量と、各EVステーションのPVパネルの設置

規模を決定変数として追加し、また、PV カーポートに搭載する PV パネルの設置規模は駐車可能台数に比例すると考えられるため、各 EV ステーションの駐車可能台数を考慮した上限制約を追加し、その上で最適な PV カーポート設計計画を求める問題として拡張した。試験的な条件設定においては、妥当な設置規模や設置場所（各 EV ステーションへの発電容量配分）など一定の成果が得られているが、その有効性についての検証はまだ不十分である。今後、様々な状況を想定したシミュレーション実験などを継続して実施する予定である。

(3) 従来の EV シェアリング最適計画手法の改善

本研究課題は、従来の EV シェアリング最適計画手法の拡張により PV カーポートの最適配置設計を行うため、従来手法の問題点の改善も本研究課題の一部として実施する必要がある。そこで、問題点のひとつである計算時間について、EV の配車実施時間を限定することによって計算時間の削減を達成した。この研究成果については国際会 IEEE CCTA2017 で発表した。また研究代表者は、実時間シミュレーションを視野に入れ、従来システムにおける利用者への予約受付可否の返答時間を短縮するため、事前判定アルゴリズムを構築した。この成果は SICE システム・情報部門学術講演会 2017 で発表した。

また、PV(太陽光発電)は、その発電電力をある EV に充電するだけでなく、充電した電力エネルギーを他の EV への供給(放電)し融通できれば、より利便性が高まるため、EV への充電に限らず放電までを視野に入れた定式化に取り組んだ。この成果は、第 62 回システム制御情報学会研究発表講演会にて発表した。ただし、この研究成果では PV は考慮せずに、各 EV が搭載する車載蓄電池について充電だけでなく放電までを考慮した定式化を行った場合に、最適化の計算時間がどの程度増加するかの確認にとどまり、今後は PV の発電電力を考慮した最適化モデルに再拡張できるように、最適化計算時間の削減に取り組んでいく予定である。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者、研究協力者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

川島 明彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、EV シェアリングが担うエネルギー管理、計測と制御、57、pp. 179-184. 2018 .
DOI:10.11499/sicej.57.179

[学会発表](計 6 件)

柵木 諒、川島 明彦、水田 直斗、薄 良彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、EV シェアリングと配電電圧サポートの統合的運用計画、第 62 回システム制御情報学会研究発表講演会、2018 .

Osamu Shimizu、Akihiko Kawashima、Shinkichi Inagaki and Tatsuya Suzuki, “Vehicle Fleet Prediction for V2G System - Based on Left to Right Markov Model”, 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 2018.

Akihiko Kawashima、Naoki Makino、Shinkichi Inagaki、Tatsuya Suzuki and Osamu Shimizu, “Simultaneous Optimization of Assignment, Reallocation and Charging of Electric Vehicles in Sharing Services”, 1st IEEE Conference on Control Technology and Applications, 2017.

清水 修、伊藤 みのり、川島 明彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、パーソントリップデータを用いた車群の移動予測、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 .

牧野 尚基、川島 明彦、稲垣 伸吉、鈴木 達也、小型 EV シェアリングシステムの配車最適化と予約受理システム、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 .

清水 修、山口 拓真、川島 明彦、伊藤 みのり、稲垣 伸吉、鈴木 達也、車の駐車と移動の予測手法の提案、自動車技術会 2017 年秋季大会、2017 .

[その他]

ホームページ等

http://profs.provost.nagoya-u.ac.jp/view/html/100008574_ja.html

https://researchmap.jp/a_kawashima/

https://www.researchgate.net/profile/Akihiko_Kawashima2

6 . 研究組織

(1)研究分担者

若手研究 (B) につき研究分担者なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：鈴木 達也

ローマ字氏名：SUZUKI, Tatsuya
研究協力者氏名：稲垣 伸吉
ローマ字氏名：INAGAKI, Shinkichi
研究協力者氏名：奥田 裕之
ローマ字氏名：OKUDA, Hiroyuki
研究協力者氏名：山口 拓真
ローマ字氏名：YAMAGUCHI, Takuma
研究協力者氏名：清水 修
ローマ字氏名：SHIMIZU, Osamu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。