

大阪大学キャンパス間輸送における電気バス実証実験の紹介



夢はバラ色

坂井 勝 哉*

Energy Consumption Estimation of Electric Buses Operated
between Osaka University Campuses

Keywords : Electric Bus, Energy Consumption Estimation, Carbon Neutrality

はじめに

大阪大学では、吹田・豊中・箕面の3つのキャンパスを結ぶためのキャンパス間連絡バスが運行されている。2021年10月1日より、そのうち2台が電気バスに置き換えられた。(図1: 出発式の様子) ブロックチェーン技術を活用し、クリーンエネルギーで発電された電気によって充電が行われており、キャンパス間連絡電気バスはカーボンニュートラルで運行されている。脱炭素社会を実現するためには電気自動車は必要不可欠であり、電気を動力とするバスには、二酸化炭素排出量を削減するポテンシャルがある一方、1回の充電による航続距離が不十分である等、運用上の懸念も残されている。

本稿では、関西電力株式会社からの受託研究として、モビリティシステム共同研究講座で行っているキャンパス間連絡電気バスの実証実験のうち、電気バスの電力消費量推定について紹介する。当講座では、運行中のバスにGPSセンサーを設置し、バスの走行挙動を取得している。電気バスの電力消費量を推定するモデルに、得られたGPSの緯度経度点列をインプットし、走行による電力消費量を推定した。これを実消費電力と突き合わせ、モデルの精度検証と考察を行った。GPSの走行軌跡に基づき電力消費量の推定を行う手法は、ディーゼルバスで運行されている他の路線に電気バスを導入する際の検



図1: 電気バス出発式の様子

討に有用といえる。

電力消費モデル

走行による消費電力を推定するためのモデルとして、動力学モデル¹⁾²⁾を使用する。バスの走行にかかる必要な瞬間の電力 P は、

$$P = \frac{1}{\eta} v \left(mg \sin \theta + mg C_r \cos \theta + \frac{1}{2} \rho v^2 A_f C_d + ma \right)$$

である。ここに、 η はモーター効率、 v は速度、 m は車両の重さ、 g は重力加速度、 θ は道路勾配、 C_r はタイヤの転がり抵抗係数、 ρ は空気密度、 A_f は車両のフロント面積、 C_d は空気抵抗係数、 a は車両の加速度である。このモデルは走行に関わる抵抗力の和で時々刻々の電力を表現しており、カッコ内の第1項は位置エネルギーの変化、第2項は転がり抵抗、第3項は空気抵抗、第4項は運動エネルギーの変化であり、速度を乗じることで時間単位あたりの仕事量が算出される。

今回の実証ではパラメータ値を $\eta=0.95$ 、 $C_r=0.015$ 、 $C_d=0.7$ と設定した。車重・フロント面積についてはBYD・K8のスペック³⁾を参照した。乗客



* Katsuya SAKAI

1988年9月生まれ
東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻博士後期課程(2015年)
現在、大阪大学 大学院工学研究科
モビリティシステム共同研究講座
特任講師(常勤) 博士(工学)
専門/土木計画学・交通工学
TEL: 06-6879-4237
FAX: 06-6879-4237
E-mail: k.sakai@jrl.eng.osaka-u.ac.jp

の重さについては実乗客数データを参照し、その平均値に 55kg を乗じた値を用いた。道路勾配 θ については、観測された GPS の緯度・経度点列から国土地理院の webAPI⁴⁾ を使って高度データを取得して算出した。

以上の動力学モデルへ GPS の走行軌跡を入力することにより、時々刻々の電力と累積の電力消費量が推定される。図2はその出力例である。上の図は走行にかかる瞬間の電力を示している。縦軸は正が電力消費、負が電力回生であり、下り坂や減速の時に回生が得られる。下の図はそれを累積したものである。電気バスの電力消費は転がり抵抗によるものが最も支配的であり、次に空気抵抗が大きいことがわかる。道路勾配と加減速による影響は比較的小さく、下り坂または減速で回生電力が得られることが要因である。

精度検証結果

モデルの検証は 2021 年 10 月の 1 か月間のデータを用いて行った。電気バス 2 台のうち、データが豊富に取得できた 1 台に絞って分析を行った。

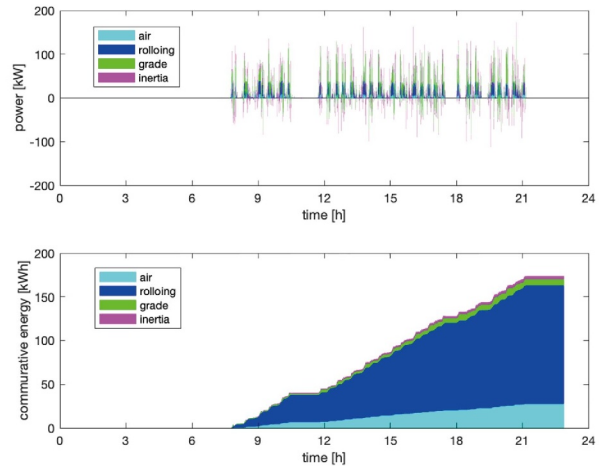


図2：瞬間の走行電力（上）と累積消費電力（下）

図3は電気バス1台の1日トータルの実消費電力と大阪の最高気温⁵⁾との関係を示したものである。電気バスの消費電力は空調の使用状況に大きく影響されることがわかる。上述の消費電力推定モデルは、走行による電費を対象としたものであるため、空調を使用していないと思われるデータ群について、消費電力推定モデルを適用した。その結果を図4に示す。横軸はモデルによって得られる推定消費電力、

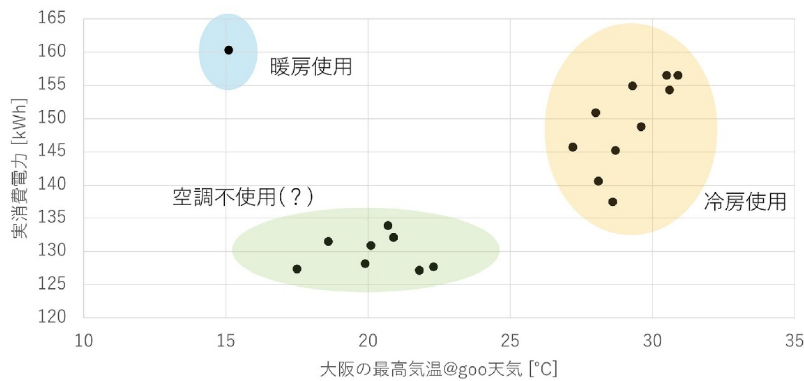


図3：最高気温と実消費電力の関係

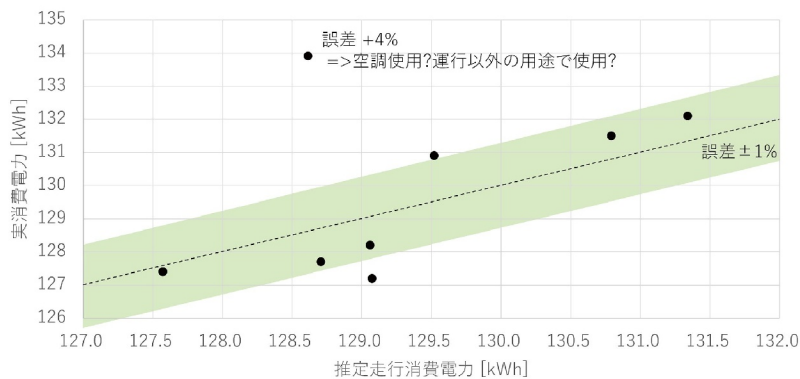


図4：空調不使用と思われる日の推定走行消費電力と実消費電力

縦軸は正解データである実消費電力である。各プロットは1日の結果を示している。斜めの破線は45度線であり、プロットが破線よりも上であればモデルが過小推定、下であれば過大推定していることを表わす。1日を除き、おおむね±1%の誤差に収まっている。大きく誤差が出た日は、運行終了後に他の用途で車両を使用していた特異日であったと報告されている。

おわりに

キャンパス間連絡バスの走行について、GPSセンサーを設置して得られる緯度経度点列を用いて、電気バスの消費電力を比較的精度よく推定できることが確認された。一方で、空調使用による消費電力の影響は無視できるものではなく、今後、夏季・冬季の電気バスの消費電力を推定するためには、空調のモデル開発と検証が必要である。

謝辞

本実証実験は阪急バス株式会社のご協力をいただき実施しております。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Sinkai Wu, David Freese, Alfredo Cabrera and William A. Kitch, Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation, *Transportation Research Part D*, 34, pp.52-67, 2015.
- 2) Odd André Hjelkrem, Karl Yngve Lervåg, Sahar Babri, Chaoru Lu and Carl-Johan Södersten, A battery electric bus energy consumption model for strategic purposes: Validation of a proposed model structure with data from bus fleets in China and Norway, *Transportation Research Part D*, 94, 102804, 2021.
- 3) <https://bydjapan.co.jp/products/k8/>, ビーワイディージャパン／製品・サービス／K8.
- 4) https://maps.gsi.go.jp/development/elevation_s.html, 国土地理院／サーバサイドで経緯度から標高を求めるプログラム.
- 5) <https://weather.goo.ne.jp/past/772/20211000/>, goo 天気／大阪の過去の天気 2021 年 10 月.

