

# バス事業に対する電気バス導入時の エネルギーコストに関する分析

井原 雄人<sup>1</sup>・紙屋 雄史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 早稲田大学 スマート社会技術融合研究機構 (〒169-8050 東京都新宿区西早稲田 1-6-1)  
E-mail: ihara@aoni.waseda.jp

<sup>2</sup>非会員 早稲田大学 理工学術院 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)  
E-mail: kamiya@waseda.jp

運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出削減手法の一つとしてバス事業に対する電気バスの導入が検討されている。しかし、これまでの導入事例は限られた台数によるシンボリックな導入にとどまっており、営業所単位で代替されるものは少なかった。これは、電気バスの航続距離などの制約条件に加えて、充電時間の確保やそれに対するエネルギーコストといった課題があると考えられる。

これに対して本研究では、今後の営業所単位での電気バスの導入を想定し、現在の車両稼働状況を把握することで、充電可能時間を明らかにする。さらに、充電時のエネルギーコストに対して、季時別料金を用いて、営業所での停車ごとに充電する成り行き充電と終着後の夜間に充電する夜間充電を比較し、電気バス導入時のエネルギーコストに関して分析する。

**Key Words:** *Electric vehicle, Electric bus, season-specific charge, energy cost*

## 1. 研究の背景・目的

パリ協定における目標として、我が国の地球温暖化対策計画<sup>1</sup>では、2013年度比で2030年度までに26%、2050年度までに80%のCO<sub>2</sub>排出削減を掲げている。

また、CO<sub>2</sub>排出量の現状を部門別に見ると、運輸部門は23.2%を占めている<sup>2</sup>。運輸部門のCO<sub>2</sub>排出削減に資する施策としては、既存の内燃機自動車の高効率化とともにEVやPHEVといった電動車両の普及促進が求められている。重量車の多くは業務用車両として使われており、1台あたりの走行距離が長いことから、稼働率の課題が解決すれば、電動化されることによるCO<sub>2</sub>排出削減への貢献は大きいと考えられる。

しかし、電動車両の普及は、乗用車では自動車メーカーからの市販が始まっている一方で、バスやトラックといった重量車の導入は、航続距離や充電時間などの稼働率の制約が課題となり進んでいない。

また、運用時にエネルギーコストに関しては、ディーゼル車両で用いられる軽油と異なり、電気バスで用いられる電力においては、充電ごとに従量料金としてかかる電力量料金の他に、充電設備の契約出力ごとにかかる基本料金がある。乗用車での電気自動車の導入においては、ガソリンと電力量料金のみを比較した場合、電力量料金の方が安価となることから、車両の導入コストが内燃機

関自動車と比較して高価になったとしても、ライフサイクルコストにおいては、同等または安価となることがある。これは乗用車への電気自動車の導入における充電は、6kW程度の低圧契約での充電が想定され、充電時間がかかる一方で、基本料金を考慮する必要がないためである。

これに対して、電気バスは1日の走行距離も長く、1日単位で仕業を維持するために、翌実までに充電完了させる必要がある。そのために高圧契約による充電が必要となり、契約電力ごとに基本料金が加算されることとなる。

現在の電気バスの導入は限られた台数によるシンボリックな導入にとどまっているが、契約電力は充電装置の台数に依存することになるため、今後の営業所単位での導入を想定した場合には、より大きなコストが必要となるという課題がある。

これに対して本研究では、今後の電気バスの普及を見据え、現在の車両稼働状況を把握することで、充電可能時間および充電装置の共用の可能性を明らかにする。さらに、充電時のエネルギーコストに対して、季時別料金を用いて、営業所での停車ごとに充電する成り行き充電と終着後の夜間に充電する夜間充電を比較し、電気バス導入時のエネルギーコストに関して分析する。

## 2. 分析対象の概要

### (1) 電費の設定

電気バスの電費は、導入する車両の車両総重量ごとによって異なる。井原・紙屋<sup>3)</sup>の研究では、これまで国内で導入された電気バスの電費を網羅的に調査し、電気バスの車両総重量と電費の相関を明らかにしている。これによれば、路線バスに用いられることの多い車両総重量15t程度の車両では、0.78km/kWh程度であると推計され、本研究ではこの値を用いて検討することとした。

### (2) 導入対象の営業所

国内では、これまで営業所単位で電気バスを導入した事例はない。そのためディーゼルバスで運行する既存の営業所を対象に車両稼働状況を分析する。

具体的には、九州電力管内で運行するA営業所に対象に分析をする。A営業所では8路線96台の車両を用いて運行している。これを基に、運転手ごとの仕業および、車両ごとの運行計画を組み合わせることで、1台ごとの車両稼働状況を把握する。

### (3) 電力料金の設定

A営業所では、営業所の施設などの電力供給を九州電力から受けているため、電気バスへの充電も同様に九州電力からの供給を想定する。これまで、施設のみへの供給であったため低圧契約であったが、前述したように、営業所単位での電気バスの導入では高圧契約を行う必要があるため、業務用季別電力A-I<sup>4)</sup>を用いて検討する。

表1に基本料金と季別の電力量料金を示す。

表1 業務用季別電力A-I

種別	価格
ピーク	26.46 円/kWh
昼間	22.36 円/kWh
夜間	9.06 円/kWh
基本料金	1739.1 円/kW・月

なお、「ピーク」とは、13時から16時までの時間を示す。また、「昼間」とは、8時から22時までの「ピーク」以外の時間となり、「夜間」とは「ピーク」および「昼間」以外の時間を対象とする。基本料金に関わる力率は85%に設定することとした。

## 3. 車両稼働状況の把握

車両稼働状況の把握には、運転手の仕業を示すスタッフを基に分析する。しかし、スタッフのみでは、1台の車両を複数人の運転手で乗り換えながら運行する場合に、車両1台あたりの車両稼働状況を把握することができない。そのため、スタッフに加えて車両ごとの運行計画を示す車両動態表を組み合わせることで把握することとした。

以上を踏まえてA営業所に所属する96台の車両稼働状況を把握したものは図1に示す。車両の運行は最も早い車両で午前5時から運行が始まり、最も遅い車両では午前0時15分まで運行されている。

これにより、電気バスに導入時に充電時間として活用できる営業所での停車時間は全体の52.4%であることが分かった。

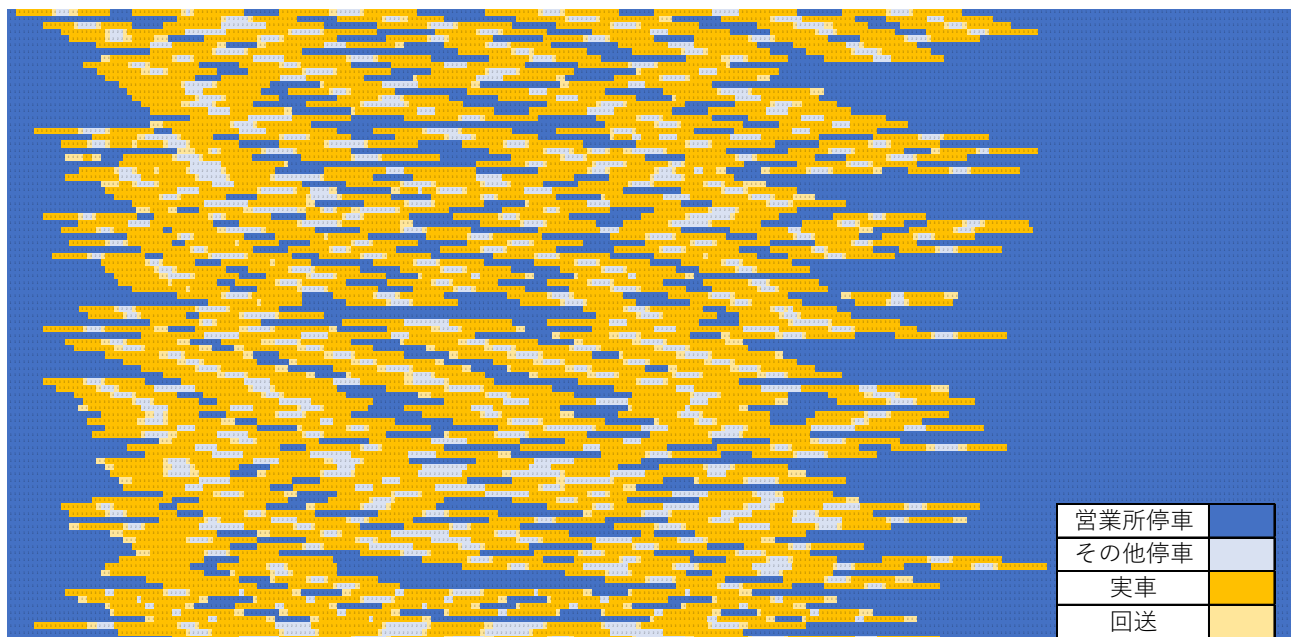


図-1 A営業所における車両稼働状況

次に、昼間に充電することができる時間帯を把握するため、時間帯別の車両稼働状況を分析を行った。昼間においても 25%程度の車両が営業所で停車しており、この時間に充電が可能であることが分かった。

時間帯別の車両の状態の割合を図 2 に示す。

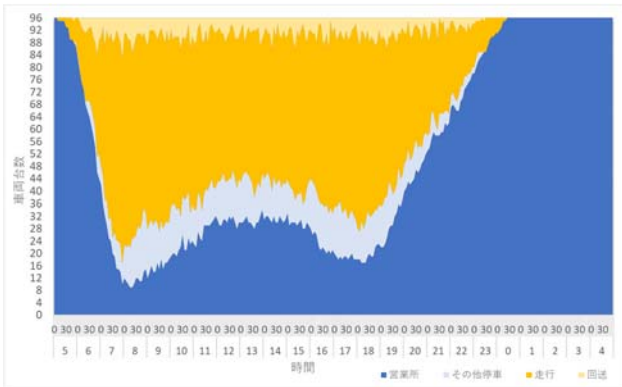


図-2 時間帯別の車両稼働状況

#### 4. 充電パターンの検討

##### (1) 充電パターンの分類

本研究で検討する充電パターンは、1 日の走行が終了し終業後に翌日の始業までに充電を行う夜間充電と、営業所での停車ごとに充電をする成り行き充電の 2 種類を比較する。また、充電出力においては、CHAdeMO 方式による急速充電を想定した 50kw と基本料金を低減するために出力を抑えた 25kw を併用した充電を想定する。

##### (2) 夜間充電

終業の早い車両では 17 時台から充電が始まり、21 時台から 0 時台までに同時に充電をする車両が多数存在することとなる。そのため、最大 41 台、契約出力 2050kW の充電が必要となることが分かった。また、高圧で充電するため、充電時間は短くなり午前 3 時台には全ての車両で充電が完了する。

50kW で夜間充電を行った場合の車両稼働状況を図 3 に示す。

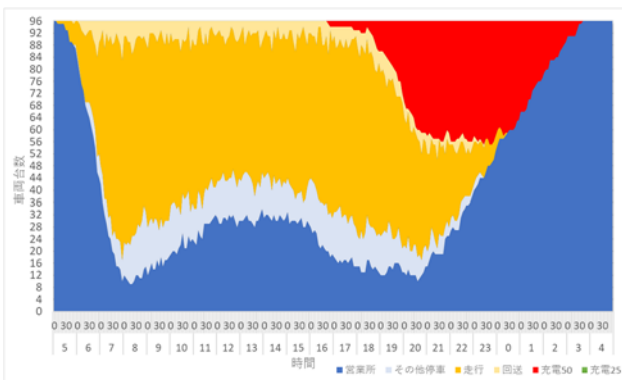


図-3 50kW 夜間充電

25kW で充電を行った場合は、充電出力が低いため 1 台あたりの充電時間は長くなる。そのため、同時に充電する台数が多くなり、ピークとなる 23 時台では最大 75 台が同時に充電することになる。また、翌朝の始業までに満充電することができない車両が出てくるため、一部の車両では 50kW で充電する必要がある。この結果、契約出力は 1925kW となることが分かり、全て 50kW で充電した場合に比べて 125kW の契約出力を低減できることが分かった。

25kW で夜間充電を行った場合の車両稼働状況を図 4 に示す。

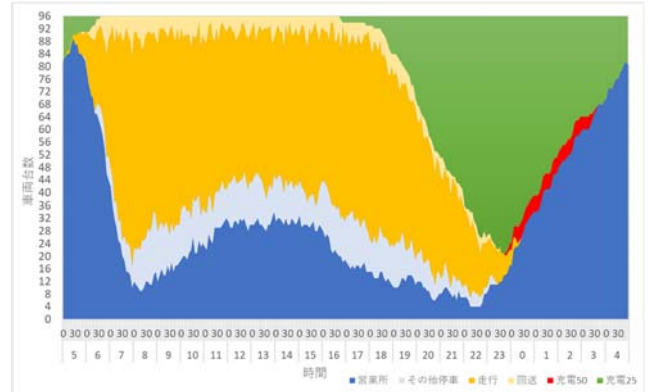


図-4 25kW 夜間充電

##### (2) 成り行き充電

前述したように、成り行き充電では仕業の中で、休憩等により営業所に戻り停車する時間を利用して充電を行う。なお、遅延等による到着の遅れや充電時のケーブルの抜き差しなどの作業時間を考慮し、連続で 30 分以上営業所に停車する時間のみを充電時間として組み込むこととした。

この結果、充電時間は平準化され、全体の充電時間のうち 58.3%を昼間に充電できることが分かった。これにより同時に充電する台数は、19 時台の 26 台まで減少し、契約出力は 1300kW まで低減させることが可能であることが分かった。

50kW で成り行き充電を行った場合の車両稼働状況を図 5 に示す。

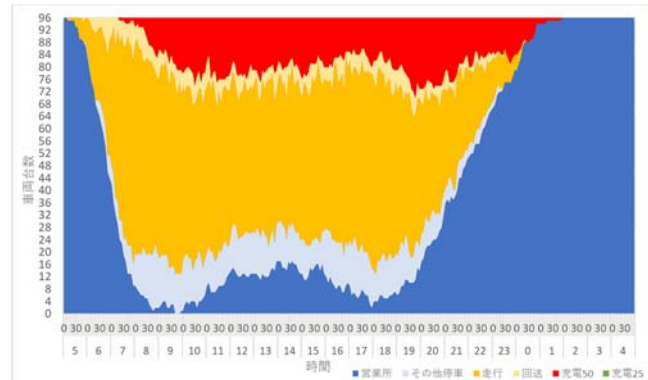


図-5 50kW 成り行き充電

25kW の成り行き充電では、前述したように全てを 25kW で充電すると航続距離が確保できない車両が発生するため、昼間は 50kW で充電し、終業後の充電では 25kW で充電することとした

50kW と異なり 25kW の充電を行う時間帯では平準化がされず、21 時台に 37 台の同時充電が発生することが分かった。一方で、契約出力は比較した 4 パターンでは最も低く 1100kW で全ての充電を行えることが分かった。

25kW で成り行き充電を行った場合の車両稼働状況を図 6 に示す。

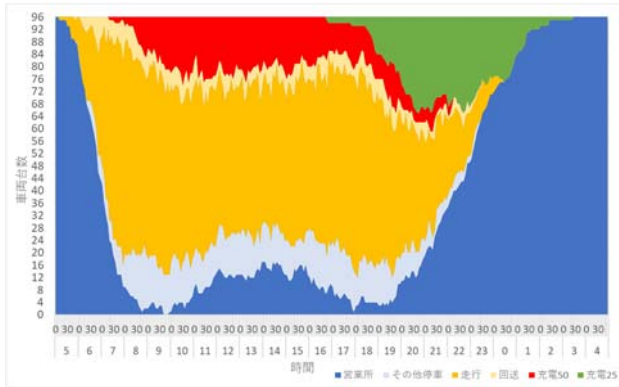


図-6 25kW 成り行き充電

#### 4. エネルギーコストの比較

把握された車両稼働状況ごとのエネルギーコストと現状のディーゼルバスで運行した場合のコストの比較を行った結果を図 7 に示す。なお、ディーゼルバスのコストについては、現状運行しているディーゼルバスの平均燃費 2.8km/L および 2022 年 3 月の軽油価格 138 円/L を用いて推計した。

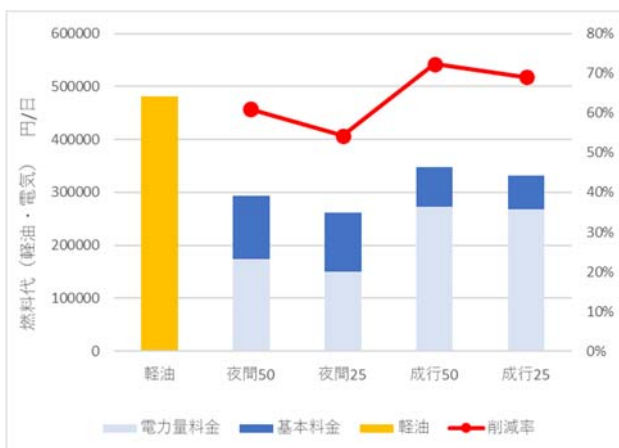


図-7 エネルギーコストの比較

全てのパターンにおいてディーゼルバスのコストより削減することができる。しかし、夜間充電と成り行き充電を比較した場合、契約出力が抑えられる成り行き充電

では基本料金を抑えることができるが、電力量料金の単価の高い昼間の充電量が多くなるため、エネルギーコスト全体では夜間充電を行った方が削減できることが分かった。

#### 5. 結論

##### (1) 本研究で得られた知見

本研究では、96台が所属する営業所全体を電気バスに代替した際のエネルギーコストについて、夜間充電および成り行き充電をした場合について比較分析した。

全てのパターンにおいて、既存のディーゼルバスと比較してエネルギーコストは削減できるが、基本料金が削減できる成り行き充電より、電力量料金が削減できる夜間充電の方が、エネルギーコスト全体では優位であることが分かった。

##### (2) 本研究の課題と今後の展望

本研究での成り行き充電は、営業所に戻ってくるごとに充電を行うことを想定したが、実際の運用では満充電後も営業所に停車し続ける時間帯が存在する。そこで、この時間を活用して充電時間または充電出力を制御することで、さらに契約出力を低減できる可能性がある。

今後は、この最適化を行うことで電気バス導入時のエネルギーコストを最小化し、電気バスの導入促進を図ることで、運輸部門における CO2 排出削減に貢献したいと考える。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20201G01) により実施したものであり、関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 環境省：日本の約束草案, <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>, 2015.
- 2) 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2021, <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/2-1-2.html>, 2021.
- 3) 井原雄人, 紙屋雄史, 電気バスおよび新モビリティ運用時のエネルギー消費の分析, 第 64 回土木計画学研究会発表会・秋大会, 2021, 11
- 4) .九州電力, 料金メニューの概要および料金単価表, [http://www.kyuden.co.jp/agreement\\_rate\\_index\\_h26\\_5.html](http://www.kyuden.co.jp/agreement_rate_index_h26_5.html)

## Analysis of energy costs of introducing electric buses to bus operations

Yuto IHARA, Yushi KAMIYA

The introduction of electric buses for bus operations is being considered as a method for reducing CO<sub>2</sub> emissions in the transportation sector. However, to date, only a limited number of vehicles have been introduced on a symbolic basis, and few have been substituted on a per-office basis. This is thought to be due to issues such as securing recharging time and energy costs, in addition to constraints such as the cruising range of electric buses.

In contrast, this study assumes the introduction of electric buses at each sales office, and clarifies the time available for recharging by understanding the current vehicle operation status. The energy cost of charging is analyzed by comparing the energy cost of charging at each stop at a sales office with the energy cost of charging at night after the bus arrives at the end of the day, using seasonal rates.