電気バス導入時のエネルギーコストと CO2 削減効果に関する研究

井原　雄人[1]・紙屋　雄史[2]

[1]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

[2]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 CO2 排出削減として車両の電動化が進められている．また，省エネ法の改正により特定輸送事業者は，2030 年までに保有車両の 5%を非化石化エネルギー自動車とすることが求められることとなった．これによりバス事業では，これまでの数台単位の試験的な導入から，営業所単位での本格的な導入が求められることとなる．

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，従来の仕業を維持することを前提に，CO2 削減効果を予測するとともに，充電時のエネルギーコストが最小となる充電パターンを明らかにすることで，電気バスの最適導入手法を導出する．

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

1. 研究の背景・目的

地球温暖化対策として，我が国では第 6 次エネルギー基本計画[1]において，2013 年度比で 2030 年度までに 46%の CO2 排出削減を掲げている．

CO2 排出量の現状を部門別に見ると，運輸部門は 17.4%を占めている[2]．運輸部門の CO2 排出削減に資する施策として，既存の内燃機関自動車の高効率化とともに EV,FCV,PHEV といった電動車両の普及促進が求められている．電動車両の普及は，乗用車では自動車メーカからの市販が始まり，2022 年度の国内での新車販売台数割合は 2.2%[3]まで増加した．一方で，バスやトラックといった商用車の導入は，1 台あたりの走行距離が長いことから, 電動化されることによる CO2 排出削減への貢献は大きいと考えられるにも関わらず，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現状がある．

国では，エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律（省エネ法）の改正[4]により，特定輸送事業者に対して，2030 年までに保有台数の 5%を非化石エネルギー自動車への転換を目標とした中長期計画の作成を求めるなどの規制強化を図り導入を促している．

同時にこれを実現するために，従来の地域交通のグリーン化に向けた次世代自動車の普及促進事業[5]に加えて，社会資本整備総合交付金を活用した地域公共交通再構築事業[6]において電気バスの導入を補助対象とし，さらに税制改正大綱[7]において，電気バス導入に伴う設備の固定資産税を減免する等の補助制度を創設している．

このような背景に伴い，電気バスの導入はこれまでの 1 台から数台単位の試験的な導入から，営業所単位での本格的な導入に移行すると考えられる．そのため本研究では，今後の営業所単位での電気バスの導入を想定し，従来の仕業を維持することを前提に CO2 削減効果を予測するとともに，充電時のエネルギーコストが最小となる充電パターンを明らかにすることで，電気バスの最適導入手法を導出することを目的とする．

2. 分析対象の整理

最適導入手法の導出には，(1) 車両稼働状況，(2) 電費・燃費および充電出力，(3)エネルギーコスト，(4)エネルギー源ごとの CO2 排出係数の把握が必要となる．各項目における諸条件について以下に整理する．

(1) 車両稼働状況

車両の稼働状況は，今後の本格的な導入を見据えて，既に試験的に電気バスが導入されている，西日本鉄道株式会社片江営業の 8 路線 96 台を対象に分析した

片江営業所の車両稼働状況を図 1 に示す．

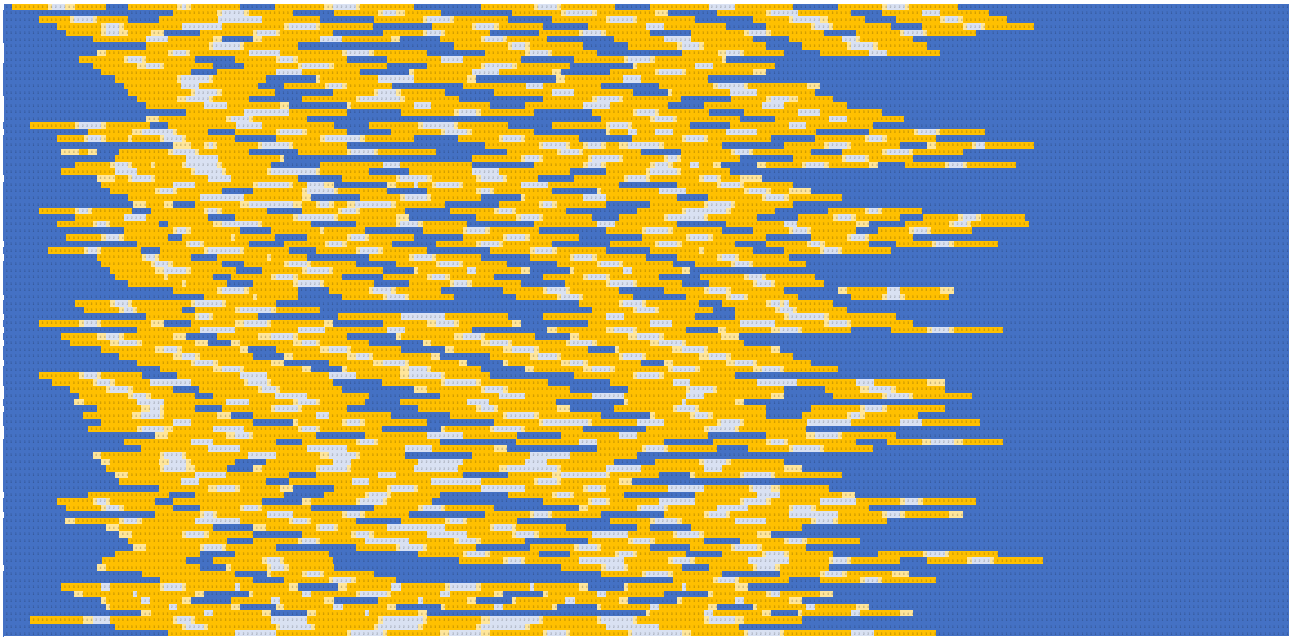


図-1　車両稼働状況

車両稼働状況の把握には，運転手の仕業を示すスタースフを基に分析した．しかし，スタースフのみでは，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 台あたりの稼働状況を把握することができない．そのため，スタース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て把握した．

片江営業所では，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とが分かった．

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．

⑵ 電費・燃費および充電出力

電気バスの電費については，これまでは走行距離や車両総重量から推計する手法 [9]を用いていたが，本研究においては，片江営業所で既に導入されている電気バスの実走行における電費 0.72km/kWh を用いることとした．

充電出力についても同様に，既に導入されている充電器の出力 30kW での充電を想定して，充電時間を推計することとした．

また，比較対象となる既存のディーゼルバスの燃費については，同じく片江営業所に所属する車両の平均燃費である 2.9km/L の値を用いることとした．

⑶ エネルギーコスト

片江営業所では，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．これまでは，施設のみへの供給であったため低圧契約であったが，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，業務用季時別電力 A および A-I [9]用いて検討する．

表 1 に基本料金と季時別の電力量料金を示す．

表 1　業務用季時別電力 A および A-I

種別	A	A-1
ピーク	16.95 円/kWh	26.46 円/kWh
夏季昼間	14.48 円/kWh	22.36 円/kWh
その他昼間	13.53 円/kWh	21.33 円/kWh
夜間	9.06 円/kWh	9.06 円/kWh
基本料金	1739.1 円/kW･月	1122.0 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．

また，燃費と同様に比較対象となるディーゼルバスに用いられる軽油の価格は，2022 年 8 月の実績値である 132 円/L として推計した．

⑷ CO2 排出係数

CO2 削減効果を推計するための CO2 排出係数については，電力においては九州電力の 2022 年度基礎排出係数 0.399kg-CO2/kWh [10]をベースラインとして用いることとした．しかし，後述する充電パターンを適用した際は，1 日当たりの充電量は同一であるが，時間帯により充電量が異なるため，発電による CO2 排出量についても，時

間帯別の発電構成を反映した CO2 排出係数を用いて評価することとした.

また，軽油については環境省の温室効果ガス算定・公表・報告制度における公表値である 2.58kg-CO2/L[11] を用いることとした.

3. 充電パターンの構築

導入する電気バスの充電パターンは，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行充電の 2 種類を比較する.

(1) 夜間充電

終業の早い車両では 17 時台から充電が始まり，23 時台から 0 時台までに終業が集中するため，充電器の貼付が発生する．そのため，最大 41 台，契約出力 2050kW での充電が必要となることが分かった．また，翌朝仕業開始後も充電が必要な車両が残り，7 時台まで充電が続くことなる．図 3 に夜間充電を行った場合の時間帯別の充電台数を示す.

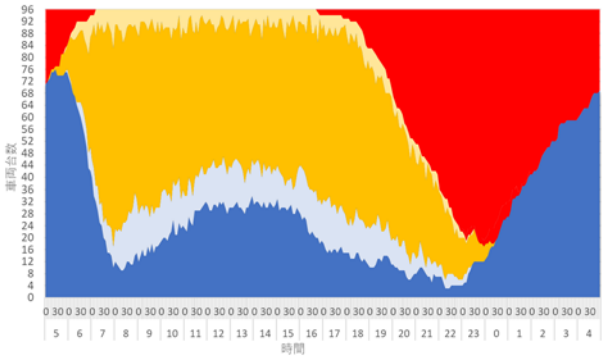


図-3　夜間充電の充電台数

(2) 成行充電

成行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.

昼間への充電時間の移行は，充電終了時間にも影響を与え，夜間充電は充電終了が翌朝の仕業に及んでいたのに比べ，4 時台に充電終了となるため，車両の取り回しの観点からも有効であると考えられる．図 4 に成行充電を行った場合の時間帯別の充電台数を示す.

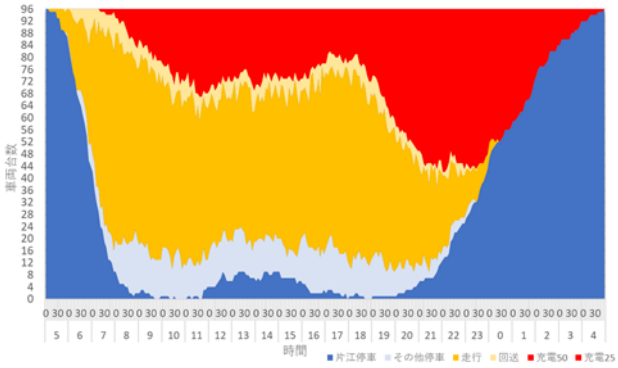


図-4　成行充電の充電台数

4. CO2 排出量の比較

営業所単位で電気バスを導入した際の環境性の評価として，ディーゼルバス運行時および充電パターンごとのCO2排出量を比較する．前述した時間帯別の発電構成を考慮した排出係数と夜間充電および成行充電の時間別充電量について図5に示す.

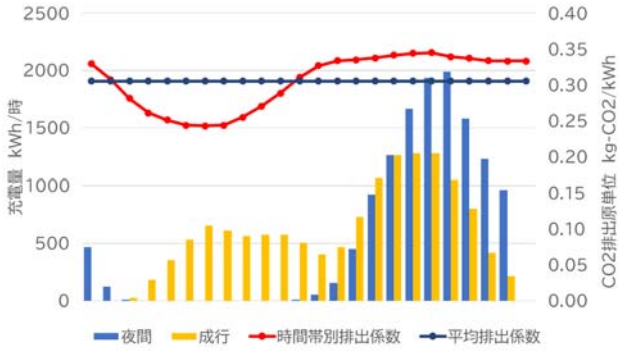


図-5　時間帯別 CO2 排出係数

夜間充電では，平均的なCO2排出係数より高い時間帯での充電が大半を占め，成行充電では太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用した発電の多い昼間での充電が行われていることが分かる.

以上を踏まえてCO2排出量の比較を行ったものを図6に示す．電動化により，夜間充電・成行充電ともにディーゼルバスからの転換により50%程度の削減となることが分かった.

また，時間帯別のCO2排出係数を用いて充電パターンごとの比較をした場合，従来の平均的なCO2排出係数を用いた場合と比べて，夜間充電では1.3%増加し，成行充電では3.9%減少することが分かった.

このことから，同一の車両を使用した場合でも，充電パターンを変更することだけで，CO2削減効果を5.1%向上させられることが分かった.

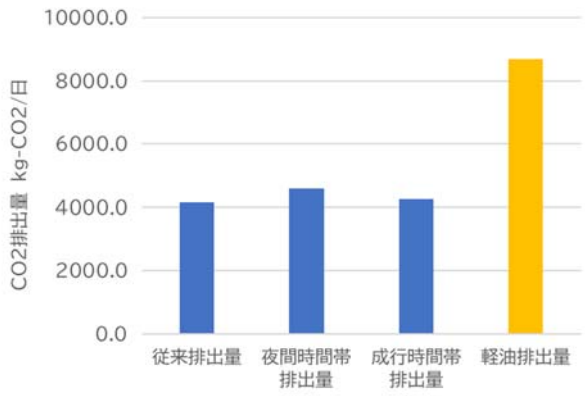


図-6　CO2 排出量の比較

5. エネルギーコストの比較

営業所単位で電気バスを導入した際の経済性の評価として，CO2 排出量と同様にエネルギーコストを比較をする．電力料金は契約電力（kW）ごとの基本料金と電力使用量（kWh）ごとの電力量料金に分けられる．

1 日あたりの充電量は充電パターンに関わらず同一であるが，充電する時間帯が異なるため安価な夜間に充電できる夜間充電の方が電力量料金は安くなる．一方で，充電時間が重複するための契約電力が大きくなり，基本料金が高くなる．

これらを組み合わせて比較した結果を図 7 に示す．

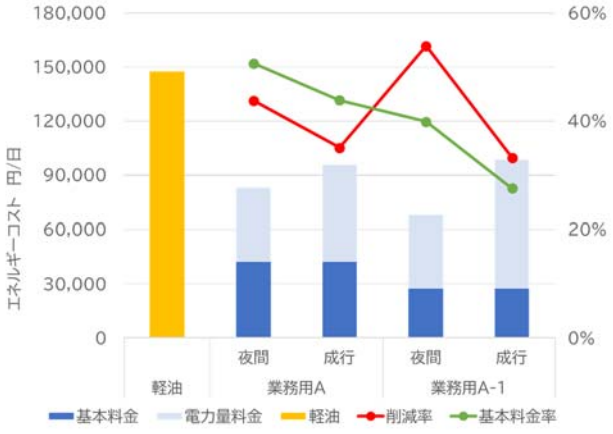


図-7　エネルギーコストの比較

基本料金が割高な代わりに電力量料金が安価な業務用 A-1 を適用し，夜間充電を行った場合が最も安価になることが分かり，軽油を用いたディーゼルバスに比べて，46.2%削減できることが分かった．

6. 結論

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CO2削減効果とエネルギーコストについて，夜間充電および成行充電をした場合について比較した．

CO2削減効果においては車両の電動化によって50%程度のCO2削減効果が得られ，成行充電を行うことで，さらに5.1%の削減効果が得られることが分かった．

エネルギーコストについては，全ての電力契約・充電パータンにおいて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行充電より，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．

謝辞：本本研究は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第３期「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」（研究推進法人：JST）によって実施されました．，関係各位に謝意を表する．

参考文献

1) 経済産業省,第 6 次エネルギー基本計画, https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf，2021.
2) 国土交通省,運輸部門における二酸化炭素排出量，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html，2021.
3) 一般社団法人日本自動車販売協会連合会,燃料別販売台数，http://www.jada.or.jp/data/month/m-fuel-hanbai/，2022.
4) 経済産業省,旅客の輸送に係る非化石エネルギーへの転換に関する旅客輸送事業者の判断の基準, https://www.meti.go.jp/press/2022/03/20230331014/20230331014-15.pdf.2022
5) 国土交通省,地域交通のグリーン化に向けた次世代自動車の普及促進事業, https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk1_000003.html,2022
6) 国土交通省,地域公共交通再構築事業-社会資本整備交付金, https://wwwtb.mlit.go.jp/chubu/tsukuro/shien/pdf/R5/R5_zentai.pdf,2022
7) 国土交通省,一般乗合旅客自動車運送事業者に係る特例措置, https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001600186.pdf,2022
8) 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 回土木計画学研究発表会・秋大会,2021,11
9) 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,2022
10) 九州電力, 2022 年度の CO2 排出係数について, https://www.kyuden.co.jp/environment_notice02.html,2022
11) 環境省, 温室効果ガス算定・公表・報告制度,https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc,2022

Study on energy costs and CO2 reductions when introducing electric buses.

Yuto IHARA, Yushi KAMIYA

Electrification is being promoted as a way of reducing CO2 emissions in the transport sector. In addition, transport operators will now be required to electrify 5% of their fleet by 2030. This will require a full-scale introduction of electrification, rather than the pilot introduction that has been the case up to now.

In this study, the CO2 reduction effect is predicted for the future introduction of electric buses, while maintaining conventional operations. Also, The optimal introduction method for electric buses will be derived by clarifying the charging pattern that minimises energy costs during charging.