電気自動車を活用したV2Hの普及可能性に関する研究

梶原　徳剛[1]・室町　泰徳[2]

[1]非会員　東京工業大学　環境・社会理工学院　土木・環境工学系
（〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3-5）
E-mail kajiwara.n.aa@m.titech.ac.jp

[2]正会員　東京工業大学教授　環境・社会理工学院　土木・環境工学系
（〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3-5）
E-mail:muromachi.y.aa@m.titech.ac.jp

本研究では、BEV 購入者に対する WEB アンケート調査を実施して、BEV 購入要因を明らかにし、BEV を活用した V2H の普及可能性に関して検討している。 WEB アンケート調査では、BEV 購入者及び非 BEV 購入者を対象とした RP 調査と SP 調査、V2H を用いた電力システムを選択肢に含む SP 調査を行った。その結果、RP モデルからは、高年齢・BEV 走行費は BEV 購入に負の、自動車保有台数・BEV の加速が良いと感じるは BEV 購入に正の有意な係数が得られる等、BEV 購入要因に関する知見が得られた。また、V2H の普及可能性に関しては、規範意識や環境意識を高めることが重要であることが示唆され、一定の普及可能性が示された。

Key Words: *Battery Electric Vehicle, SP Survey, Choice Model, V2H*

1. はじめに

(1) 背景と目的

日本は、温室効果ガス排出量を 2030 年度に 2013 年度のレベルから 46% 削減することを目指し、2050 年までにネットゼロを達成するという長期目標を示している[1]。運輸部門は、電気・熱配分後のCO_2排出量の17.4%を占めており[2]、中でもその45.0%を占める乗用車からの排出量を削減することが、目標を達成する上で重要なポイントの1つとなっている。

乗用車からのCO_2排出量を削減する方法は複数存在するが、電源の脱炭素化という条件付きで、乗用車の電動化、特にバッテリー式電気自動車（Battery Electric Vehicles, 以下BEV）を積極的に促進することも方法の内の1つである。日本の2022年度の乗用車販売台数に占めるBEVの販売シェアは1.5%（BEV・プラグインハイブリッド車（Plugin Hybrid Electric Vehicles, 以下PHEV）計では3.2%）であり、急増しているとは言え、主要なCO_2排出国・地域と比較して非常に低い水準にある。

BEVの促進を図るためには、BEV購入に至る要因を把握することが重要となる。後述するように、BEVの販売シェアが日本よりも高い国々では、BEV購入者を対象としたアンケート調査が進められており、購入に関する主要な要因が明らかになってきている。また、電気・熱配分後のCO_2排出量は運輸部門だけでなく家庭部門でも14.7%と同等の割合を占めている。これに対し、太陽光発電（PV）やV2H（EV等に搭載された電池から家庭に電力を供給できるシステム）等を活用することで、自動車のエネルギー消費と家庭のエネルギー消費を一体的に管理し、更なるCO_2排出量の削減を行うことを検討することにも意義があるであろう。

以上を踏まえ、本研究ではBEV購入者を対象としたアンケート調査を実施し、BEV購入要因を明らかにすることを目的とする。また、今後増えるであろうPV・蓄電池・V2H等に関して、それらを組み合わせ、EV を電力システムの一部とみなしたシステムの選択を想定したアンケート調査を行うことで、各システムに対する選択要因についても分析する。

(2) 既往研究レビューと本研究の位置づけ

BEV購入要因に関する初期の研究例としては、Beggs et al.[3]によるものがある。一般的な乗用車保有者を対象としたSP調査に基づき、航続距離と充電時間がBEV購入に大きな影響を与えることを示している。さらに、固定

係数とランダム係数オーダードロジットモデルの比較から個人属性の相違を考慮することの重要性を明らかにしている。ほとんどの国・地域において、2010年代後半までBEV販売シェアは限定的であったこともあり、BEV購入要因の抽出は、もっぱら一般乗用車利用者を対象としたアンケート調査、特にSP調査に基づいて多数進められており、例えば、Maybury et al.[4]、Liao et al.[5]、Wicki et al.[6]等、モデル手法や購入要因に関するレビュー論文も既に少なからず存在している。

これらのレビュー論文でレビューされている研究の多くは、BEV購入に関して重要な要因を明らかにしている一方、一般乗用車利用者を対象としたアンケート調査に基づいている。したがって、BEV購入者を対象としたアンケート調査を実施して、得られた知見を確認する研究にも意義があると考えられる。BEV購入者を対象としたアンケート調査の分析例も存在する。例えば、田頭他[7]は、BEVとPHEV利用者を対象としたWEBアンケート調査を実施し、利用者のBEVに対する認識を把握している。走行費用の安さ、走行時の音の静けさに関しては購入前に期待し、購入後に満足している回答者が多く、加速の良さに関しては購入後の満足が上回っていること、また、航続距離や外出時の充電場所が少ないことに関しては購入前の心配と購入後の不満を示す回答者が多いことを示している。日本自動車工業会[8]も隔年に実施される乗用車市場動向調査の中で次世代自動車への意識を調査している。最新の調査では、BEVとPHEV保有層は燃料費と静粛性に対する期待と満足度は合致しているが、充電時間、航続距離、車体価格、バッテリー耐久年数に関して懸念があることを明らかにしている。

海外においてもBEV購入者を対象とした研究が進められている。Javid et al.[9]は、カリフォルニア世帯交通調査データを用いて、BEVとPHEV、それ以外の車種の選択モデルを推定し、年収、学歴、カーシェアリング利用、1人当たりの充電ポイント、燃料費等が有意であることを示している。Nazari et al.[10]も同様のデータを用いて、BEV購入に対する子どもの有無、民族、年収、保有台数、学歴といった世帯属性の他、充電場所、環境に良い交通手段利用、カーシェア利用、HOVレーン利用等の影響を明らかにしている。Tal et al.[11]は中国におけるBEV保有者を対象としたSP調査を実施し、年収、世帯人員等の個人属性、購入ライセンス取得費、環境等に対する認識、充電場所等の影響を明らかにしている。

以上のように、一般者ではなくBEV購入者に対するアンケート調査に基づく研究は、BEV購入要因をより直接的に把握していると言うことができるが、その数は限定的である。この内、田頭他[7]、日本自動車工業会[8]、Tal et al.[11]は、BEV購入者を対象とした調査に基づく研究であることから、非BEV購入者のBEVに対する認識は検討していない。また、Javid et al.[9]、Nazari et al.[10]ではBEV購入者のBEVに対する認識に関する検討は行われていない。また、BEV購入と併せて国内・海外ともに、V2H等を活用して、EVを電力システムの一部とみなした電力システムの選択を検討している研究も限定的である。

これらの点を踏まえ、本研究では、BEV購入者、非BEV購入者に対するWEBアンケート調査を実施し、BEV購入要因及び電力システムの選択要因を明らかにする。第2章では本研究で用いたWEBアンケート調査の概要を示し、第3章ではBEV購入者と非BEV購入者の車両属性を組み込んだ車種選択モデルの推定結果、SP調査に基づいた電力システムの選択モデルの推定結果を示す。第4章で主な結論と今後の課題を整理する。

2. WEBアンケート調査の概要

WEB アンケート調査は、「自動車に関するアンケート」と題し、株式会社ネオマーケティングを通じて実施した。対象地域は、関東地方として 7 都県、比較のため寒冷地方として北海道・東北 6 県・北陸 4 県・山梨県・長野県とし、地方別に 2018 年以降の BEV 購入者、非 BEV 購入者を各 64 サンプル収集した。収集されたサンプルは、主要な調査項目に関して欠損が無いサンプルとなっている。また、回答者は世帯の乗用車購入に関与することが想定される世帯主とし、WEB アンケート調査の制約から 20～69 歳を対象としている。

表 1 に WEB アンケート調査の主な調査項目を示す。調査項目は、世帯人員、運転者数（世帯における 1 カ月に 1 回以上乗用車を運転する人数）、世帯年収等の世帯属性、メーカー・モデル名、年間走行距離、使用頻度等の購入車や既に保有している乗用車の属性、HEV と比較した場合の BEV に対する認識、HEV と BEV の選択等に関する SP 調査、回答者自身に対する一般的な認識、に分かれている。

HEV と BEV の選択、および V2H の選択に関する SP 調査は、いずれも 5 要因 4 水準の直交表に基づいた 2 項選択実験を各回答者が 2 回行う調査票を 16 パターン作成した。関東地方・寒冷地方、BEV 購入者・非 BEV 購入者の 4 区分で各 16×4＝64 サンプルとなるように WEB アンケート調査票が配信されるようにした。HEV と BEV の選択に関する 5 要因には図 1 の赤字で示すように、HEV と BEV の購入額の差（－50～＋100 万円）、HEV 走行費（5～20 万円）と BEV の走行費（2～8 万円）、航続距離（200～800km）、充電性能（30～120km）を設定している。ただし、「税金：自動車税、自動車重量税、環境性能割の 5 年間の合計～いずれも（BEV の方が）15 万円安い」という想定は一定としている。また、V2H の

表 1　WEB アンケート調査の主な調査項目

世帯属性
世帯人員、運転者数（世帯における 1 カ月に 1 回以上乗用車を運転する人数）、世帯年収、世帯主の性別、年齢、学歴、住宅の種類（持ち家/賃貸、一戸建て/集合住宅等）、平均的な電気代、太陽光パネルの有無等
購入車や既に保有している乗用車属性、メーカー・モデル名、年間走行距離、使用頻度等
HEV と BEV の選択に関する SP 調査、V2H の選択に関する SP 調査
HEV と比較した場合の BEV に対する認識
「あなたはハイブリッド車と比較して、電気自動車の方が加速が良いと思いますか」等
回答者自身に対する一般的な認識
「あなたは新しいテクノロジーに対する興味が強い方だと思いますか」等

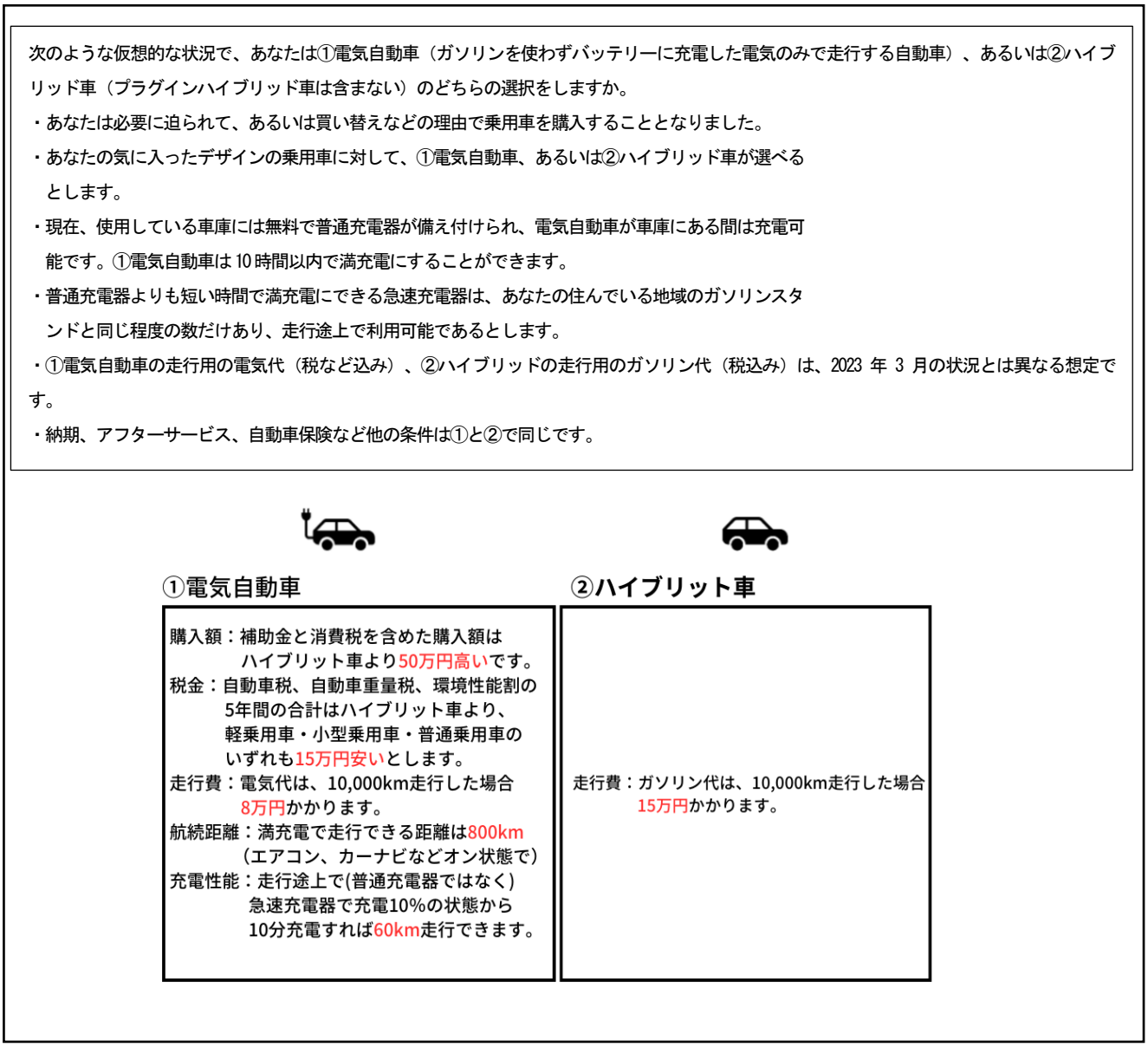


図 1　HEV と BEV の選択に関する SP 調査（例）



図 2　V2H の選択に関する SP 調査（例）

選択に関する 5 要因には図 2 の赤字で示すように、V2H の初期費用（20～110 万円）、仮想状況 A（BEV 充電のみケース）の場合の年間電気代（3～12 万円）、仮想状況 B（V2H ケース）の場合の年間電気代（1～7 万円）、停電時に普段通り電気が使用できる日数（1～7 日）、電気使用による CO_2 排出量は現状の何%（20～80%）（正味）を設定している。各ケース共に、住まいの建物に設置する太陽光パネルの費用を無料とし、発電量は十分であると仮定している。また、V2H 使用による BEV のバッテリー劣化は考慮しないものとする。

3.　分析の概要

WEBアンケート調査データに基づき選択モデルの推定を行った。各SP調査では、各回答者が2回選択実験を行っていることからサンプル数は256、ケース数は512となる。また、車種選択に関するRPモデルでは、車購入時の検討車種を回答していないと推定を行えないため、アンケート調査で購入検討車種を回答した111人を対象としている。調査対象とした関東地方と寒冷地方における乗用車販売台数を反映させるために、2018～2021年までの当該地方における乗用車販売台数の比で重み付けして推定を行った。また、WEBアンケート調査は選択肢別抽出の形式をとっていることから、地方ごとにBEV定数項を組み込んでいる。

HEVとBEVのSP選択ロジットモデルに関する主要な説明変数は、まず、購入価格（SP調査ではBEVとHEVの購入額の差）、走行費（BEVでは電費、BEV以外では燃費から10,000km走行するのにかかる費用を算出）、航続距離、充電性能（SP調査では急速充電を用いた場合の走行可能距離を、RP調査では急速充電を用いて充電が完了するまでの時間）である。ただし、購入価格、走行費は共通変数としている。さらに、HEVと比較した場合の

表 2　車種選択に関する RP 選択ロジットモデルと SP 選択ロジットモデルの推定結果

	SPモデル			RPモデル		
	係数	t値	P値	係数	t値	P値
購入価格※1	−0.003	−1.286	0.199	−0.001	−0.095	0.925
走行費	−0.027	−1.433	0.152	−0.001	−2.586	0.010
航続距離	0.001	1.731	0.083	0.024	1.395	0.163
充電性能※2	0.005	1.420	0.156	−0.123	−1.167	0.244
BEV定数項（関東）	−4.479	−5.816	0.000	0.390	0.171	0.865
BEV定数項（寒冷）	−4.513	−5.851	0.000	0.930	0.394	0.694
急速充電スタンド少ない	1.083	2.607	0.009	2.603	1.949	0.052
BEVにくわしい（知識）	0.501	1.581	0.114	2.068	2.030	0.043
BEV購入者ダミー	2.047	7.663	0.000			
性別（女性＝1）	−0.931	−2.371	0.018			
世帯年収	0.001	2.605	0.009			
充電時間長い	−1.499	−3.557	0.000			
CO2排出量少ない	0.888	2.718	0.007			
電気代安い	0.973	3.698	0.000			
下取り価格安い	−0.896	−3.288	0.001			
技術の興味が強い	0.650	2.190	0.029			
CO2減らしたい（環境）	0.695	1.929	0.054			
年齢				−0.088	−2.439	0.015
自動車保有台数				1.119	2.372	0.018
加速が良い				2.234	1.925	0.055
航続距離が短い				−2.776	−2.194	0.029
エネルギー消費量が少ない				−2.232	−2.070	0.039
サンプル数			256			111
ケース数			512			111
ρ2			0.325			0.618
調整済みρ2			0.308			0.567

：10%有意　：5%有意

※1…SPモデルではBEVとHEVの購入価格差を、RPモデルではBEV・HEV・GVの購入価格を変数としている
※2…SPモデルでは急速充電を用いた場合の走行可能距離を、RPモデルでは急速充電を用いて充電が完了するまでにかかる時間を変数としている

表 3　V2H の選択に関する SP 調査に基づく V2H 選択ロジットモデルの推定結果

	係数	t値
V2H初期費用	−0.004	−1.304
家庭電気料金	−0.017	−1.709
停電時に普段通り電気が使用できる日数	−0.026	−0.618
CO2削減%	0.001	0.185
短大・大卒以上ダミー(短大・大卒以上を1)	0.390	1.874
技術ダミー	0.502	1.889
知識ダミー	−0.627	−2.305
規範ダミー	0.866	2.956
環境ダミー	0.686	2.152
口コミ効果ダミー	−0.451	−2.209
BEV(関東)ダミー	0.457	1.821
BEV(関東外)ダミー	0.614	2.277
V2H定数項	−1.204	−2.015
PV定数項	−0.278	−1.022
サンプル数		128
ケース数		512
ρ2		0.058

BEVに対する認識を検討したが、一部の変数は有意でない、符号条件が合わないなどの理由からモデルから除外している。なお、これらの変数は全てBEV側で推定している。各モデルの推定結果を表2に示す。

まず、SP選択モデルでは、調査で用いた変数に関しては、全て符号条件は満たすものの航続距離のみが10%

有意で、他の変数は有意とはならなかった。SP調査のサンプル数を増やす必要があると考えられる。BEV購入要因に関しては、性別（女性＝1）は負、世帯年収は正の係数が得られている。これらはBEV購入後の具体的なメリット、デメリットを反映していると考えられ、今後、詳細な内容を把握する必要がある。HEVと比較した場合のBEVに対する認識については、（ガソリン代と比較して）電気代安い、下取り価格安いが有意となっている。回答者自身に対する一般的な認識については、BEV購入者で技術の興味が強いが正、CO_2減らしたい（環境）が正となっている。

次に、RP選択モデルでは、車毎の変数（購入価格、走行費、航続距離、充電性能）では、予想される係数の符号は得られたものの、走行費のみが5%有意で他の変数は有意とならなかった。回答者属性について、年齢はBEV購入者に負、自動車保有台数は正の有意な係数が得られた。HEVと比較した場合のBEVに対する認識については、加速良いではBEV購入者に正、航続距離短い・エネルギー消費量少ないでは負の有意な係数が得られた。

最後に、V2Hの選択に関するSP選択モデルの推定結果を表3に示す。変数の取捨選択もEVとBEVの選択と同様であるが、主な変数に関して、家庭電気料金が負で10%有意の他は有意とならなかった。また、停電時に普段通り電気が使用できる日数は期待される符号と逆となっている。モデル全体の説明力$\rho 2$は、低い値となっており、不十分な状況にある。ただし、規範ダミーや環境ダミーが有意となっており、V2Hを普及させるためには規範意識や環境意識を高めることが重要である可能性が示唆された。

4. 終わりに

本研究では、BEV購入者を対象としたWEBアンケート調査を実施し、BEV購入要因の抽出を試みた。また、BEV購入者と非BEV購入者のBEVに対する認識等の相違の検討も行った。

HEVとBEVの選択に関するSP選択モデルでは、BEV購入要因に関して、性別（女性＝1）は負、世帯年収は正の係数が得られた。これらはBEV購入後の具体的なメリット、デメリットを反映していると考えられる。また、（ガソリン代と比較して）電気代安い、下取り価格安いが有意となった。

RP選択モデルでは、走行費のみが5%有意で他の変数は有意とならなかった。回答者属性について、年齢はBEV購入者に負、自動車保有台数は正の有意な係数が得られ、BEVに対する認識については、加速良いではBEV購入者に正、航続距離短い・エネルギー消費量少ないでは負の有意な係数が得られた。

さらに、V2Hに関するSP選択モデルからは、全体的に説明力の高いモデルが得られなかったが、V2Hを普及させるためには規範意識や環境意識を高めることが重要である可能性を示唆する結果が得られた。

参考文献

1) United Nations Climate Change, Nationally Determined Contributions Registry, Japan's Nationally Determined Contribution (NDC), https://unfccc.int/NDCREG, 2021, 2023 年 4 月閲覧
2) 環境省，2021 年度（令和 3 年度）の温室効果ガス排出・吸収量（確報値 1）について，https://www.env.go.jp/content/000128750.pdf, 2023, 2023 年 4 月閲覧.
3) Beggs, S., Cardell, S., Hausman, J. Assessing the Potential Demand for Electric Cars, Journal of Econometrics, Vol. 17(1), pp.1-19,1981.
4) Maybury L., Corcoran, P., Cipcigan, L.,Mathematical Modelling of Electric Vehicle Adoption: A Systematic Literature Review, Transportation research Part D, pp.103278, 2022.
5) Liao, F., Molin, E., Wee, B. W. Consumer Preferences for Electric Vehicles: A Literature Review, Transport Reviews, Vol.37(3), pp.252-275, 2017.
6) Wicki, M., Brückmann, G., Quoss, F., Bernauer, T. What Do We Really Know about the Acceptance of Battery Electric Vehicles? – Turns Out, Not Much, Transport Reviews, DOI:10.1080/01441647.2021.2023693, 2022.
7) 田頭直人・池谷知彦，電気自動車・プラグインハイブリッド車の利用実態と利用者意識　調査報告：Y12029，電力中央研究所, 2023.
8) 日本自動車工業会，2021 年度乗用車市場動向調査，日本自動車工業会, 2022.
9) Javid, R.J., Nejat, A. A Comprehensive Model of Regional Electric Vehicle Adoption and Penetration, Transport Policy, Vol.54, pp.30-42, 2017.
10) Nazari, F., Mohammadian, A., Stephens, T. Modeling Electric Vehicle Adoption Considering a Latent Travel Pattern Construct and Charging Infrastructure, Transportation Research Part D, pp.65-82, 2019.
11) Tal, G., Xing, Y., Wang, Y., Sun, S. Motivations and Barriers Associated with the Adoption of Battery Electric Vehicles in Beijing: A Multinomial Logit Model Approach, https://escholarship.org/uc/item/8x01q28r, US Davis Institute of Transportation Studies, 2018. 2023 年 4 月閲覧.