

電気自動車の普及を促進するインフラ整備の効果を考慮した市場拡大予測モデルの開発

小沢, 和浩 / OZAWA, Kazuhiro

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2014-06

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530339

研究課題名(和文) 電気自動車の普及を促進するインフラ整備の効果を考慮した市場拡大予測モデルの開発

研究課題名(英文) A Model for Policy Assessment to Facilitate the Proliferation of Electrical Vehicles

研究代表者

小沢 和浩 (OZAWA, Kazuhiro)

法政大学・経済学部・教授

研究者番号：90233519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：神奈川県や横浜市など電気自動車(EV)の普及を推進している自治体などの調査結果を中心に、プラグインEVの購入や電気充電スタンドの設置に対する公的な助成金の効率的な策定方法の検討を行った。「公的投資戦略のための評価モデル」から検討を始め、充電スタンドのインフラモデルとプラグインEVの普及モデルを提案し、普及に応じた助成金の配分について分析を行った。12のシナリオとその考察に於いて、補助金を増やすことが最も効果的であるという結論を得たが、同時に、最も好条件を与えたシナリオでもEVの数は「次世代自動車戦略2010」の目標値に達するのは難しい状況という結論を得た。

研究成果の概要(英文)：Public policies to support the plug-in electric vehicle (EV) purchase and the installation of the electricity charging stations by the public subsidies were discussed along with the focus of the survey on municipalities that promotes the public acceptance of electric vehicles (EVs). The study developed the infrastructure model of the EV charging station including the proliferation model of plug-in EVs for the public investment strategy, and the scenario analysis was performed on the distribution of the subsidy based on the EV proliferation rate. As a conclusion of the study that considered twelve scenarios and their discussions, it was observed that the most effective solution to increase the number of EVs is to increase the subsidy. However, at the same time, it was concluded that it is difficult to attain the target of EVs set by the "Next Generation Vehicle Strategy 2010" proposed by the Ministry of Industry and International Trade even at the most favorable conditions.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済政策

キーワード：電気自動車 公的投資戦略 充電スタンド 助成金配分 シナリオ分析

様式 C-19, F-19, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気自動車の販売を促進し、新しい市場を発展・拡大させるための経済政策は国の内外において多く計画または試行されている。しかし、その政策は補助金や減税などにより電気自動車の単体の実質的な購入コストを引き下げ、従来のガソリン車と同等に近いコストとすることを狙っているものである。一方、充電設備の充実に向けた政策については、その規模や地域は限られており、それらの効果について定量的に論じた理論は公表されていない。補助金などの政策予算も限られているのが現状で、価格を主なパラメータとする市場発展の経済原理に頼るのみでは、既存のガソリンスタンドのように経済活動として充電インフラの持続的な発展と普及が期待できず、一方で電気自動車に対する消費者の本質的な不安を払拭できないことになり、やがて公的な補助金予算の枯渇とともに電気自動車の市場拡大も短期的なブームに終わる懸念が大きい。

2. 研究の目的

ハーバード大学ケネディ校の最近の調査によれば、電気自動車は燃費の低さや CO2 を始めとする環境負荷低減への貢献の面で従来型の自動車よりも期待が高い反面、価格の高さに次いで、走行距離の短さが消費者にとっての不安材料であることが示されている。一般に、現在の技術による蓄電池では、小型乗用車の場合、走行条件にもよるが1回の充電あたりの走行距離は最大 150km から 200km 未満であるとされており、ガソリン車の 1/4 程度に過ぎない。現在市販中および発売予定の電気自動車は、基本的に充電は非走行時に自宅の駐車場などでおこなうものと想定されているが、あらかじめ充電可能なエネルギー容量に限られる以上、走行中に充電容量を使い果たして走行不能になる不安が常に付きまとう。そのため、高容量で軽量な高性能電池の技術的な開発とともに、従来車のガソリンスタンドのような充電のためのインフラの整備が不可欠であり、その市場拡大には充電設備の普及が大きな要素である。

また、従来型の化石燃料車からの買い替え需要については政策的な補助金の策定や計画的な実施期間を決定することが望ましい。

本研究では電気自動車(Electric Vehicle; 以下、EV と略称)普及のためのインフラ整備と補助金による政策などの現状を明らかにし、EV のさらなる市場拡大にはどのような環境の整備が必要であるかを明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究では、従来の需要-価格均衡のモデルに基づく市場モデルに充電インフラの普及率を主要なパラメータとして加え、今後 10 年から 15 年程度先の市場発展を予測するモデルを提案し、国内外の市場・産業動向調査

を通じて得た実データから主要パラメータの特性を同定するとともに、モデルの有用性を検証することを目的とする。

本研究はEVの普及に関して国が掲げる政策目標値とその現状との乖離について各種統計データから把握し、EV普及の現状を明らかにすることである。また第二には、EVの普及に関する数量モデルを作成し、EVとその充電設備に対する補助金などの要因を変化させたシナリオ・シミュレーションによる比較を行うことで、EVとその充電設備はどのように普及を促進させていくのが最も効果的であるのか、そのバランスを提起することである。

4. 研究成果

(1) EVに関する現状の把握

EV やプラグインハイブリッドカー(Plug-in Hybrid Vehicle:以下 PHV と略称)を含んだ「次世代自動車」に関して、現在国が「次世代自動車戦略 2010」において打ち出している普及目標(全自動車に占める次世代自動車割合)は、2020 年で 20~50%、2030 年には 50~70% となっている(表 1)。これは 2030 年ころまでに全自動車の半数以上を次世代自動車にすることを目指している。

表 1 次世代自動車の割合の目標値

目標値	2020年	2030年
従来車	50~80%	30~50%
次世代自動車	20~50%	50~70%

これに対し、横浜市の公表した調査結果から EV と PHV の台数を確認すると表 2 となる。

表 2 横浜市の自家用車、EV/PHV 数と充電設備数

	平成 21 年度	平成 22 年度
自家用車(台)	1076295	1088053
EV/PHV(台)	36	106
充電設備(基)	10	52

上記の横浜市の公表データにたいする参考数値として、横浜市内における定点観測により 4 輪自動車の通行量と EV 車両の台数を調べた結果の一例が表 3 である。

表 3. 交通量調査 (台/時)

車両数(4 輪自動車のみ)	1414
電気自動車通過数	2

この結果から、EV 利用者が不安・もしくは不満に感じている点は、1 度の充電で走行することのできる航続距離やバッテリー容量の問題である。また、外出先で気軽に充電できないという「充電設備の普及度」の問題も大きく影響していることが推測できる。同調査結果では、購入経験者のうち外出先で充電を経験したことがある利用者は全体の半分程度であった。以上のように、充電設備の普

及が進まないことが、EV の長時間・長距離利用を躊躇させ、限定的用途としての利用にとどめ、その結果従来車からの置換＝普及を妨げていることは安易に想像できる。

(2) EV 普及モデルの作成とシナリオ・シミュレーション

① EV 普及モデルの作成

電気自動車の普及モデルは、一般的な車の売上モデルに電気自動車独自の要素を加えることでモデル化する方法を採用する。

一般車の売上モデルの選定では、トヨタ車の「プリウス」を採用した。これは、同車がガソリン＝電気ハイブリッド車 (Hybrid Electric Vehicle; HEV) であるため、電気自動車に比べ価格帯や購入者の志向も近く、また、市場の占有度が非常に高いため一般車の売上モデルとして最適と判断したためである。

モデル作成手順は以下の通りである。

1) プリウスの四半期ごとの売上データを数量化理論 1 類で回帰分析を行い、四半期のトレンドと年次のトレンドに分解する。

2) 長期予測の為に、年次トレンドだけを対数で近似し、そこに四半期ごとのトレンドを当てはめていく。以上の方法により算出される式 S が、理想的な EV の売上を表す式である (何も障害となるものがなかったと想定される理想ケースの売り上げを表す)。上記の式 S に、「本来必要であると考えられる充電設備数」とその時点で既に設置されているとする「累積充電設備数」の比率をシグモイド関数で表した係数 S が全国のデータであるためそれを調整するための定数 N 、EV の売上そのものを変化させるために付加したパラメータ F をそれぞれ掛けて、売上モデル Y を算出した。式 Y の中で示される変数 I は、その時点での累積充電設備数を表す。 I の算出には、一般的なロジスティック回帰式を用いている。しかし、一般的なロジスティック式とは、式 I の限界値(ここでは L)が可変であるという点で大きく異なる点は注意を要する。充電設備の拡充はその時点で出回っている EV の数の変動を見ながら行われるものであるということを考慮して、このような方法を採用した。

$$S = [37475 \times LN(t) - 24001]$$

$$+ \begin{bmatrix} 0(\text{第一四半期}) \\ 6792.5 + 6985(\text{第二四半期}) \\ 14198(\text{第三四半期}) \\ 11408(\text{第四四半期}) \end{bmatrix}$$

$$Y = S * N * \left(\frac{1}{1 + Re^{-\left(\frac{I}{K}\right)}} \right) * F$$

$$I = \frac{L}{1 + re^{-t}}$$

$$L = Y * M$$

S : プリウスの販売データから回帰した四半期別売上台数

N : 全国の車両台数と横浜市の車両台数の比率(S が全国データのため・定数)

t : 時間を表す変数(初期値 0, 1 年で 1 増加)

Y : その時点における合計 EV 数

I : 累計充電設備数

K : 設置限界数

L : 必要設置数

r : 充電設備の単位時間当たりの最大増加率

R : 電気自動車の単位時間当たりの最大増加率

F : 何らかの景気の変動などを表すパラメータ

M : EV 一台当たりに必要な充電設備の係数, 定数

* それぞれの変数の添え字となる t は省略

② パラメータの考察と定数の決定

上記のモデルのうち、操作可能なパラメータは r と R と F の三つである。これらのパラメータを操作することによって便宜的に補助金などの経済的な補助や EV を取り巻く環境の変化を表す。 r と R の初期値に関しては、複数回の試行で最適の結果を示した値である 0.1 を両方に与えた。パラメータ F は、例えば EV ブームの到来や、技術革新などによって EV の購入を検討する人が増加するなど、予測不可能な事態を想定するための係数で、初期値として 1.0 を設定した。 K (設置限界数) は実際に設置可能な充電設備の数には立地的な限界があるものと仮定し、限界値(任意の定数)までは L (必要設置数) と同じ数を用いるが、限界値を超えた場合は限界値で固定されるものとした。また、 L の限界値は、ゼンリン社の地図サイトである「いつも NAVI」や横浜市の統計ポータルから得られる充電設備を設置が可能となりそうな個所数などから仮に 4000 としている。ここで K と L を別々のパラメータとして管理することによって、インフラに対して EV が増えすぎてしまうことを抑制すると考える。横浜市におけるガソリンスタンドにある給油機 1 台につき、給油自動車の台数は約 180 台であった。EV の 1 回の充電で走行可能な距離はガソリン車の約半分程度であることや、急速充電器を用いたとしても 1 回の充電にかかってしまう時間が給油の 10 倍ほどである点、充電に時間がかかることから起こるだろう混雑などの問題を考慮し、EV 8 台につき 1 台の充電器が必要になると想定した。そこで、定数 M (EV 1 台当たりに必要な充電設備の係数) を 0.125 とした。定数 N は全国の自動車の保有台数[9]と横浜市の自動車の保有台数との比率 0.015 を利用する。

(3) シナリオ・シミュレーション

はじめに、技術革新や流行等を考慮し上述のパラメータ F を操作して 0.8, 1.0, 1.2 と 3 通りの値をそれぞれ与えた場合を想定した。便宜的にこれらを順にシナリオ A, シナリオ B, シナリオ C と呼ぶこととする。具体的に

は、シナリオ B を基準として、シナリオ A は何らかの要因で EV の増台数が一般的な自動車の増台数の傾向より減った場合、逆にシナリオ C は何らかの要因により EV の増台数が一般的な自動車の増台数の傾向より増えた場合である。次に上記のシナリオ A, B, C とは別に、EV とインフラの普及に対して経済的な支援を行う場合を想定し、シナリオ 1~4 を設定する。シナリオ 1 は初期値のまま何も操作を加えないケース、シナリオ 2 は EV の普及に注力したケース、シナリオ 3 はインフラの普及に注力したケース、シナリオ 4 は EV とインフラの両方の普及に注力したケースで、具体的には、シナリオ 1 では $r=0.1$, $R=0.1$, シナリオ 2 では $r=0.1$, $R=0.5$, シナリオ 3 では $r=0.5$, $R=0.1$, シナリオ 4 では $r=0.3$, $R=0.3$ の値をとる。以上のようなシナリオ A, B, C とシナリオ 1, 2, 3, 4 をそれぞれ組み合わせることで 12 通りのシナリオを作成し、それぞれシミュレーションを行った。ここでは、紙面の都合上、シナリオ A-3 の結果を図 1 示す。このシナリオは、EV の売れ行きは芳しくなかったが、EV に対する補助金は現行のままで、充電設備に対する補助金を多くした場合（パラメータ $F=0.8$, $r=0.5$, $R=0.1$ ）である。

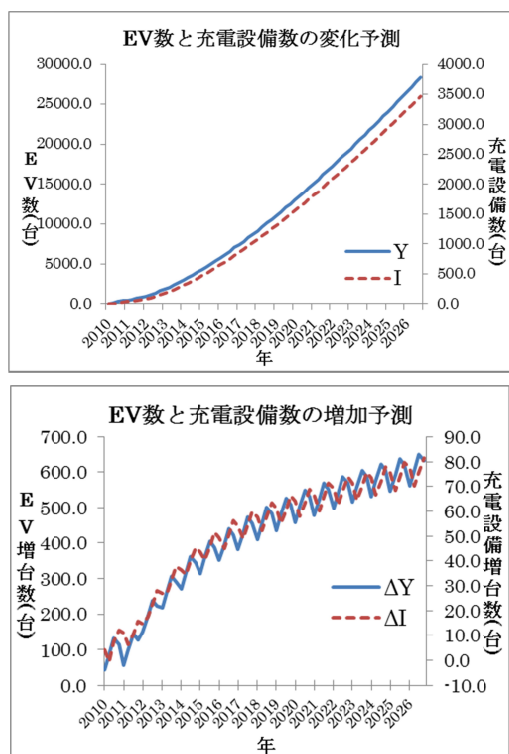


図 1 シナリオ A-3 における変化予測, 増加予測

このシナリオにおける最終的な EV の台数は 28,000 台という結果になった。A-1 や A-2 のシナリオと最も異なるところは、2018 年頃から充電設備増台数が EV の増台数と同期して変化するようになってきているところである。こうした形になるのはシナリオ A-2 やシナリオ A-1 ではもっと時間が経ってからである。これは、充電設備に対する補助金が出たおかげ

で 1 年間に設置できる充電設備の数が増え、他のシナリオより柔軟に EV との台数との対応を取ることが可能になったからであると考えられる。しかし A-2 と比べれば EV の最終的な台数はそれほど増えていない点は注意を要する。それぞれのシナリオの特徴とその違いを表 4 に示す。

表 4. シナリオ別シミュレーション結果一覧

	1 (補助なし)	2 (EVに補助)	3 (設備に補助)	4 (両方に補助)
A(EVの売上不振)				
EV数	28083	32065	28393	30846
充電設備数	2934	3349	3469	3751
設備増台数の変化	無し	無し	無し	無し
B(EVの売上通常)				
EV数	35100	39949	35484	38491
充電設備数	3420	3420	3999	3981
設備増台数の変化	2026年第2期	2025年第1期	2026年第2期	2025年第2期
C(EVの売上好調)				
EV数	42076	47618	42526	45976
充電設備数	3420	3420	3999	3981
設備増台数の変化	2024年第3期	2023年第2期	2024年第2期	2023年第3期

これらの結果から、EV の台数が多くなるのはモデル A, B, C すべてのパターンにおいて EV にのみ経済的な補助を加えたシナリオ 2 となった。中でも、最も EV の増加が期待されるのは、モデル C-2, つまり EV の売り上げが好調で、EV に補助金を多く投入し、充電設備への補助金は現行のままとするケースである。

ユーザーの利便性や満足度という点を考慮するならば、充電設備の数にも注目し、EV の数と充電設備の数の両方が多くなるシナリオを選択すべきであり、したがって、EV と充電設備の両方に経済的な補助を加えた政策モデル (シナリオ 4) を採用すべきではないかとも思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 坂本憲昭, 新村隆英, 小沢和浩, 高森寛, フィードバック制御による燃料電池自動車の施策に関する検討, 計測自動制御学会論文集, (査読有), Vol.50, No.3, 2014, pp.190-196
- ② D. Yamashita, R. Yokoyama, H. Takamori, T. Niimura, Plug-in Electric Vehicle Markets and their Infrastructure Investment Policies under Fuel Economy Uncertainty, Int'l Journal of Real Options and Strategy (査読有), Vol.1, 2013, pp.39-60
- ③ D. Yamashita, R. Yokoyama, T. Niimura, Model for Policy Assessment to Facilitate the Proliferation of Electric Vehicles - For Strategic Evaluations of Infrastructure Investment, リアルオプション研究 (査読有), Vol.4, No.2, 2011年8月
- ④ 坂本憲昭, Optimal control problem via self-adaptation sliding mode controller with neural network, Electronics and

Communications in Japan (査読有), Vol.94, No. 11, 2011, pp.1-8

- ⑤ 坂本憲昭, スライディングモード制御による微分ゲームの極値探索, 経済志林(法政大学経済学部学会)(査読なし), Vol.78, No.4, pp.321-339, 2011

[学会発表] (計 9 件)

- ① 小野寺剛, 須野原大軌, 新村隆英, 坂本憲昭, 小沢和浩, 電気自動車普及モデルの作成とシナリオシミュレーション, 第 8 回日本統計学会春季集会, 2014 年 3 月 8 日, 同志社大学
- ② T. Niimura, K. Ozawa (他 3 名), Profiling Residential PV Output based on Weekly Weather Forecast for Home Energy Management System, IEEE 2012 Power and Energy Society General Meeting, San Diego, USA, July 22-26, 2012.
- ③ K. Yoshimi, T. Niimura, (他 6 名), Practical Storage and Utilization of Household Photovoltaic Energy by Electric Vehicle Battery, IEEE 2012 Innovative Smart Grid Technologies Conference, Washington, USA, January 16-20, 2012.
- ④ T. Wang, D. Yamashita, R. Yokoyama, H. Takamori, T. Niimura, A Framework of Consumer Participation in the Energy Management of a Smart Community, Asian Conference of Management Science & Applications, Sichuan, China, September 7-10, 2012.
- ⑤ T. Wang, D. Yamashita, H. Takamori, R. Yokoyama, T. Niimura, A Dynamic Pricing Model for Price Responsive Electricity Consumers in a Smart Community, IEEE 2013 Power and Energy Society General Meeting (査読有), Vancouver, Canada, July 21-25, 2013
- ⑥ D. Yamashita, T. Niimura, H. Takamori, and R. Yokoyama, A Dynamic Model of Plug-in Electric Vehicle Markets and Charging Infrastructure for The Evaluation of Effects of Policy Initiatives, IEEE 2011 Power Systems Conference and Exposition (査読有), Phoenix, USA, March 20-23, 2011.
- ⑦ D. Yamashita, R. Yokoyama, and T. Niimura, Thermal Unit Scheduling for CO2 Reduction including Significant Wind Power Penetration, IEEE 2011 Power and Energy Society General Meeting (査読有), Detroit, USA, July 24-28, 2011.
- ⑧ 坂本憲昭, 新村隆英, 高森寛, 小沢和浩, 離散時間スライディングモード制御によるプラグイン電気自動車に対する助成金の検討, 第 55 回自動制御連合講演会(査読なし), 京都大学, OS02, 1F201, 2012 年 11 月 17 日, pp.408-409
- ⑨ 坂本憲昭, 新村隆英, 高森寛, 小沢和浩,

プラグイン電気自動車のインフラモデルにおける助成金のスライディングモード制御, 電気学会産業応用部門大会(査読なし), 千葉工業大学, IV157-160, 2012 年 8 月 23 日

[その他]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小沢 和浩 (OZAWA, Kazuhiro)
法政大学・経済学部・教授
研究者番号: 9 0 2 3 3 5 1 9

(2) 研究分担者

新村 隆英 (NIIMURA, Takahide)
法政大学・経済学部・講師
研究者番号: 2 0 5 9 8 7 9 2

坂本 憲昭 (SAKAMOTO, Noriaki)
法政大学・経済学部・教授
研究者番号: 7 0 3 8 6 3 2 4