

30 種子島における電気自動車と再生可能エネルギー連携システムの評価 Evaluation of Vehicle-to-Grid system using renewable energy for Tanegashima

AB18006 五十嵐 和樹 (指導教員 栗島 英明)

Highlights:

- The possibility of Vehicle-to-Grid system using renewable energy for a remote island is examined.
- Environmental assessment of Vehicle-to-Grid system was performed.
- The system was simulated using multiple scenarios.

Abstract:

The purpose of this study is to clarify the environmental effects of a Vehicle-to-Grid system that charges electric vehicles with renewable energy generated in excess of demand in a remote island. This study has shown that the introduction of the Vehicle-to-Grid system contributes to the reduction of CO₂.

Keywords:

Electric vehicle , Renewable energy , Vehicle-to-Grid , Remote island

1. はじめに

近年、様々な分野で脱炭素社会に向けた取り組みが行われている。脱炭素社会の実現には、発電時に二酸化炭素(以下、CO₂)を排出しない再生可能エネルギーの導入が不可欠であるが、太陽光発電などの変動性の再生可能エネルギーの場合、電力の需給調整のために発電量の一部を抑制する出力抑制が行われている地域も存在する。

その解決策として、近年急速に普及している電気自動車(EV)を蓄電池の代替として用いる Vehicle-to-Grid(以下、V2G)の可能性が指摘されている。V2G の導入により、昼間の余剰電力を EV に蓄電し、これを夜間に放電することで、再生可能エネルギーの出力抑制量と夜間の火力発電量の 2 つを削減でき、再生可能エネルギーの普及拡大と CO₂ 削減に大きく貢献できる可能性がある。

V2G の可能性については、以前から指摘されており、その実現可能性についてシミュレーションを行った研究は存在する。千阪ら⁽¹⁾は、EV を蓄電池の代わりとして用い、太陽光パネルと組み合わせるシミュレーションを行った。その結果、EV と太陽光パネルの両者とも用いない場合と比較して 7 割以上の CO₂ 削減効果があること、電力の自家消費による家庭の経済的負担が減少することを示した。しかし、あくまでも仮想の地域や家庭を想定した研究であり、各種条件(天候、消費電力等)も細かく設定していない。そのため、得られた結果が現実と乖離してしまう可能性がある。芹澤ら⁽²⁾は名古屋市周辺の、田草川ら⁽³⁾は岡山市

周辺の EV を蓄電池として用いた場合の電力需給に与える影響について検討しているが、環境評価はされていない。

そこで本研究では、自動車の EV への転換が進む 2040 年を想定し、日本で最初の出力抑制が行われた種子島において、EV に需要を超えた分の再生可能エネルギー電力を蓄電・利用する V2G システムについて評価を行う。

2. 研究方法

2.1 自動車の予測 V2G システムの評価に当たり、種子島の自動車に関する調査を行った。なお、本研究では公共交通、乗用車、軽自動車を研究対象とし、トラックは EV 化されないものと仮定する。

現状の島内のガソリン消費量は、Kikucni et al.⁽⁴⁾で推計された値 9,655kL/year を用いた。現状のバスによる軽油消費量は、路線バス等の公共交通が大半を占めると想定し、種子島における路線バスやコミュニティバスの運行状況を調査して、64kL/year と推定した。

2040 年時点でのガソリン消費量と自動車保有台数は、人口減少に比例すると仮定した。また、バスは EV に 100% 代替されているものと仮定した。以上の仮定の下、自動車からの CO₂ 排出量や EV の蓄電可能量などを推計した。

2.2 電力需給の予測

2.2.1 電力需給予測の概要

島内の電力需給状況を把握するため、島内で稼働している火力発電(内燃力発電)および太陽光、風力を利用した再生可能エネルギーの年間発電量と、年間電力需要を1時間ごと(8,760時間分)に推計した。

2.2.2 太陽光発電

太陽光発電による発電量は、JIS C 8907(太陽光発電システムの発電量推計方法)を参考に推計した。日射量や気温のデータは、NEDOが公開している9年分(2010~2018年)の特別平均値(METPV-20)の種子島の値を利用した。なお、太陽光パネルはすべて南向き、傾斜角は種子島における年間最適角である28度で設置してあるものとした。

2.2.3 風力発電

風力発電の発電量は、日立製作所製の2,000kW級風車のパワーカーブを使用して推計した。風速に関しては、気象庁が公開している8,760時間分の種子島の地上風速データから式(1)を用いて上空風速に変換した値を用いた。

$$V_z = V_r \left(\frac{Z}{Z_r} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

ここで、 V_z は高さ Z における風速、 V_r は高さ Z_r における風速、 Z は地上からの高さ、 Z_r は基準高さ、 n は地上面補正係数であり、今回は4とした。

2.2.4 電力需要予測

2040年の種子島の電力需要量は、Kikuchi et al.⁽⁶⁾の季節別・休日平日別・時別の電力需要の推計値に、電力需要と月別気温の相関関係による補正係数を独自に推計して乗じ、発電量と同様に8,760時間分の年間電力需要を予測した。

2.2.5 出力抑制量の算出

出力抑制量については、前述の電力需要量の50%を最低火力発電量とし、太陽光発電と風力発電との発電量の合計が需要量を上回る場合、その余剰分を出力抑制の対象とみなし、その量を記録した。

2.3 評価シミュレーションの概要

評価シミュレーションの概要を以下に述べる。

シミュレーションにおいて変化させるパラメータは、「EV代替率(以下、代替率)」と「10~16時における接続率(以下、接続率)」の2つである。

「代替率」は、普通乗用車、小型乗用車、軽自動車の車種ごとにEVに置き換わった割合を示し、

0~100%(20%刻み)で設定した。「接続率」は、電力余剰の生じやすい10~16時の間に電力系統に接続されるEVの比率を示し、20~60%(20%刻み)で設定した。

シミュレーションの仮定条件は以下の通りである。まずEVの充電量は、1時間ごとの太陽光発電量比に応じて電力系統から受け取り蓄電するものと仮定した。また、10~16時に接続されるEVは、蓄電容量の5割を充電し、3割を夜間に放電、2割を走行に使用するものとし、それ以外の時間帯に接続されたEVに関しては、走行した2割分の充電しか行わないものとした。さらにバスについては、実際の運行状況から10時~16時に電力系統に接続できる台数を予測し、接続できるバスは蓄電容量のすべてを充電し、充電量のすべてを夜間に放電するものとした。

3. 結果と考察

島内に現在導入されている再生可能エネルギーの発電容量のまま2040年にV2Gシステムを導入した際のシミュレーション結果を表1に示す。また、現在の発電容量に加え、太陽光発電の発電容量を30,000kW増加させた場合のシミュレーション結果を表2に示す。なお、表2の代替率0%は比較のために表1の値と同じとなっている。

現状の発電容量のままバスのみをすべてEVで代替した場合、本来出力抑制されるはずだった再生可能エネルギーの一部がバスに蓄電され、他の時間帯に利用されたことで、まったく代替しない場合と比べて年間の火力発電量は約1,600MWh減少し、CO₂も2%削減された。また、出力抑制日数も54日減少した。

一方、代替率が上昇するにつれて年間出力抑制日数は減少し、年間CO₂削減率は上昇していくものの、年間の火力発電量は最大で約16,500MWh増加してしまう結果となった。つまり、EVの導入によるガソリン使用量の削減によるCO₂減少効果は大きいものの、最大電力需要が上昇することで、火力発電の稼働量が増加してしまい、十分なCO₂削減効果は得られないことを表している。これは代替率60%、接続率60%で5.4%のCO₂削減効果があったにもかかわらず、同じ接続率でも代替率を100%にするとCO₂削減率が5.2%となってしまうことから読み取れる。また、火力発電量の増加は、電力供給がひっ迫する恐れがある

ことも表しているため、EV への代替と同時に再生可能エネルギーの導入も進めていく必要がある。再生可能エネルギーの導入を進め、30,000kW の太陽光発電を導入した場合、表 2 に示すように最大で約 45% の CO₂ 削減効果がみられた。このことより再生可能エネルギーの導入量が多い地域では、V2G を導入することでより高い CO₂ 削減効果を得られることも示している。ただし、変動性の高い太陽光発電の導入量のみを増やしたことにより、出力抑制量が最大 25,189MWh 増加してしまった。そのため太陽光発電以外の再生可能エネルギーの導入を検討する必要がある。

4. おわりに

本研究の検討から、種子島に V2G システムを導入することで CO₂ 削減効果が得られることが示された。しかし、EV への過剰な代替は電力需

給がひっ迫する恐れがあることも示された。したがって、EV への代替と同時に再生可能エネルギーの導入も進めていく必要がある。

一方で、シミュレーションの条件の設定上、天候不順により出力抑制が行われない日であっても 10~16 時の間に充電を行ってしまう設定となっているため、余剰電力量に応じて接続率を変動させるなど、シミュレーションのさらなる改良が必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり参考文献やデータのご提供をいただいた東京大学未来ビジョン研究センターの菊池康紀准教授、コミュニティバスに関するデータを提供いただいた西之表市・中種子町・南種子町の職員の方々に深く感謝し、ここに謝辞を述べさせていただきます。

Table1 Simulation results 1

Substitution rate of EV	Connection rate between 10:00 and 16:00	Maximum thermal output (kWh)	Annual output suppression (MWh)	Annual output suppression days	Annual thermal power reduction (MWh)	Annual CO ₂ emission (t-CO ₂)	Annual CO ₂ reduction rate (%)
0%		17,791	5,142	284	0	67,884	0
0% (Only buses replace all)		18,257	3,512	230	1,643	66,533	2.0
20%	20%	18,863	2,270	179	-1,330	65,755	3.2
	40%	19,726	1,734	161	-781	65,358	3.9
	60%	21,281	1,342	137	-376	65,066	4.3
40%	20%	19,726	1,594	158	-4,870	65,387	3.8
	40%	23,272	779	103	-4,028	64,779	4.8
	60%	27,249	422	73	-3,645	64,502	5.2
60%	20%	21,281	1,119	129	-8,615	65,165	4.2
	40%	27,260	346	66	-7,802	64,578	5.1
	60%	33,229	137	34	-7,552	64,398	5.4
80%	20%	23,272	760	103	-12,472	65,024	4.4
	40%	31,237	169	38	-11,827	64,559	5.2
	60%	39,208	54	19	-11,658	64,437	5.3
100%	20%	25,270	510	79	-16,442	64,965	4.5
	40%	35,226	85	25	-15,950	64,610	5.1
	60%	45,194	35	9	-15,833	64,525	5.2

Table2 Simulation results 2

Substitution rate of EV	Connection rate between 10:00 and 16:00	Maximum thermal output (kWh)	Annual output suppression (MWh)	Annual output suppression days	Annual thermal power reduction (MWh)	Annual CO ₂ emission (t-CO ₂)	Annual CO ₂ reduction rate (%)
0%		17,791	5,142	284	0	0	0.0
0% (Only buses replace all)		17,511	28,768	330	1,643	8,044	9.6
20%	20%	17,511	25,189	311	-1,330	7,407	14.2
	40%	18,062	23,994	303	-781	8,616	15.9
	60%	19,196	22,939	298	-376	9,684	17.4
40%	20%	18,062	22,698	303	-4,870	5,682	17.5
	40%	20,552	20,153	290	-4,028	8,255	21.4
	60%	23,261	17,979	283	-3,645	10,455	25.0
60%	20%	19,196	20,771	295	-8,615	3,390	20.2
	40%	23,268	16,900	282	-7,802	7,301	26.5
	60%	27,333	13,761	264	-7,552	10,480	32.1
80%	20%	20,552	19,192	290	-12,472	753	22.4
	40%	25,976	14,117	273	-11,827	5,882	31.1
	60%	33,225	10,164	251	-11,658	9,889	38.9
100%	20%	21,913	17,757	287	-16,442	-2,032	24.4
	40%	29,244	11,698	260	-15,950	4,094	35.4
	60%	39,211	7,194	231	-15,833	8,665	44.9

文 献

- 千阪秀幸, 小林言介, 板谷義紀, 中川二彦, “様々な住宅への電動自動車による再生可能電力の輸送の評価”, 自動車技術会論文集, Vol.52, No.3 (2021), pp.726-731.
- 芹澤裕子, 奥富正哉, “EV車の普及による民生用エネルギー消費パターンへの影響と省エネルギー効果”, 空調暖和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第10巻 (2013), pp.173-176
- 田草川智秋, 内田英明, 藤井秀樹, 吉田忍, “電気自動車の充電需要が電力系統に与える影響評価”, 人工知能学会全国大会論文集, 第32回全国大会, (2018), pp.2603-2606.
- Yasunori Kikuchi, Miwa Nakai, Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yuko Oshita and Yasuhiro Fukushima: Sustainability Science, 15, (2020), pp1473-1494.
- Yasunori Kikuchi, Seiichiro Kimura, Yoshitake Okamoto and Michihisa Koyama: Applied Energy, 132, (2014), pp586-601