

電気自動車のゼロエミッション運用における CO₂ 排出量削減効果の検証

永井 悠人¹ 齋藤 正史² 清原 良三³

概要：CO₂ 排出量削減が必須の時代が訪れている。様々な理由で CO₂ が排出されているが、乗用車の排出量も無視できない量であり、EV 化が進んでいるのが現状である。本報告では、ガソリン車の代替として、EV を利用したライドシェアをゼロエミッションで運用するために適切な EV の数、発電機の数を求めるために、全ての自動車を太陽パネルによる発電により発電した電力を使用する EV とした場合の CO₂ 排出量の変化、電力使用量をマルチエージェントシミュレータを利用して求め、その結果からゼロエミッションで運用する EV の有用性、及び必要発電機数を検証する。

Operation of Zero Emission for Electric Vehicle to Reduce CO₂

NAGAI YUTO¹ SAITO MASASHI² KIYOHARA RYOZO³

1. はじめに

近年、地球温暖化が急激に進みつつあり、異常気象など様々な問題が発生している。その主な原因は CO₂ の発生といわれており、発電や自動車などエネルギーに関する大きな課題となっている。全世界で自動車が排出する CO₂ の影響も大きい。先進国では、CO₂ 削減手段として、公共交通機関、カーシェア、ライドシェアの利用、電気自動車 (Electric Vehicle 以下 EV と記述する。) の利用などを推進している。

CO₂ 削減というだけでは、動機に薄く、多くの人が協力するとは限らないため、CO₂ 排出量の少ない自動車の税金を安くしたり、米国では複数人乗った自動車の優先走行レーンを作るなど、モチベーションを別の面から起こすような施策も取られている。

カーシェアを利用することによる自動車の保有や利用の変化を分析すると、カーシェアの会員になることにより自転車や公共交通機関、特に自転車の利用頻度が増加し、自

家用車を利用して短距離移動を自転車によって代替していることが伺われ、結果として、自動車の走行距離は約 30% の減少となり 157.8(kgCO₂/人/年) の削減が示されている [1]。

カーシェアに小型 EV を導入することによりガソリン車と比べ CO₂ の排出量を 1/5 に削減できることも示されている [2]。カーシェアリング・ジャパン株式会社による利用目的の調査 [3] によると郊外の大型商業施設への買い物や外出、日帰りレジャー、近場での買い物が多い。このように同じ目的を持った人が多数いる場合一度の走行で多人数を輸送できるバスなどの公共交通機関が有効である。

国土交通省によると、自家用自動車が 173g-CO₂/人 km を排出するのに対して、バスは 51g-CO₂/人 km、電車は 19g-CO₂/人 km を排出するとされている。従って、公共交通機関を利用することにより、単位輸送量 (人 km ベース) 当たりの CO₂ 排出量を自家用車に比べ約 1/3 に削減できるとされている [4]。

国土交通省の発行している国土交通白書によると、平成 2 年から平成 16 年と比較した際、地方圏で 1 人当たり多いところで 65~85% ほどの CO₂ 排出量の増加が見受けられる。これは、公共交通機関の整備が十分にされていなく、人々は自家用車で移動していることが多いからである。

¹ 神奈川工科大学大学院
Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

² 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology

³ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

また、独タイムラー社などはEV専用のパワートレインの開発に注力する方針を示している [5].

上記のことから、1台の自動車に複数人乗車するライドシェアとCO₂の削減に有効且つこれからの自動車の主力であるEVを組み合わせて導入することにより更にCO₂の削減に貢献できる。さらに近年、自然災害による電線の断線による停電やセルラーの使用不可になるということがある。そこで、自然エネルギーにより発電を行いその電力でEVに電力供給をする事ができれば停電時でも充電が可能になる。さらに、EVが車車間通信を行うことが出来れば外部との通信を全て絶たれるということは無くなることになり、災害時にも大いに役に立つ。

みずほ情報総研株式会社による太陽発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究 [6]によると太陽光パネル生産時におけるCO₂排出原単位は電池種類単結晶Siの場合、77.6g-CO₂/kWhである。また、ペイバックタイム3.01年と太陽パネルはエネルギー採算性に優れていることが明らかとなっている。

そこで、本報告では、ガソリン車の代替として、EVを利用したライドシェアをゼロエミッションで運用するために適切なEVの数、発電機数を求めるために、全ての自動車を太陽パネルによる発電により発電した電力を使用するEVとした場合のCO₂排出量の変化、電力使用量をマルチエージェントシミュレータを利用して求め、その結果からゼロエミッションで運用するEVの有用性、及び必要発電機数を検証することを目的とする。

2. ライドシェアの概要

ライドシェアとは、個人が所有する自動車に移動目的場所などがマッチングした際に、ガソリン代や高速代、謝礼などを支払い相乗りさせてもらうというもので、アメリカやイギリス、中国などで条件は様々であるが、法環境が整備され導入が進んでいる。いわゆるUber[7]や滴滴出行(DiDi Chuxing)[8]である。

アメリカのUberが2009年に設立しそれ以降中国の滴滴出行、シンガポールのGrab、インドのOlaなど次々と増え続け、イギリスの調査会社Juniper Researchによるとライドシェアのドライバー数は2017年現在世界中で430万人であり売上高約1200億円で、2022年には860万人、売上高2100億円に増加すると推計されている。また、トヨタやホンダ、楽天などの日本企業もライドシェア事業会社に出資をしている [9].

ライドシェアは”個人が所有する自動車”に”謝礼”を貰い乗り合いをさせるというものである。これは、日本では道路運送法により白タクとされ禁止されている。もし、現法律でこれを行おうとするのであれば、普通自動車二種運転免許証もしくは大型自動車二種運転免許証を所持し認可を受けた自動車を利用する必要がある。このことから、

ライドシェアは現在日本ではあまり普及していない。

ライドシェアに近似しているオンデマンドバスとの大きな違いとして、日本の場合、オンデマンドバスは、道路運送法内のサービスであることである。本報告では道路運送法は考慮せず、ライドシェア車両の保有者に対して利用に応じた報酬が支払われるものとする。これにより、自己所有の自動車を利用してもらうというモチベーション向上につながる。

また、走行する自動車は全て自動運転レベル3以上とする。自動運転レベルとは、国が定めている自動運転時の制御に関するレベル分けで、レベル3は条件付き自動運転でシステムが全ての運転タスクを実施するが、システムの介入要求等に対してドライバーが適切に対応することが必要というものである [10].

3. 関連研究

環境問題対策としてEVを利用したカーシェアの効率的運用方式が提案されている [11]. この研究では、ガソリン車に比べ航続距離や充電時間などのデメリットのあるEVをカーシェアの車両としたとき多数のユーザが共同利用するという環境で、国内の充電インフラやEVの電力消費推定モデルを提案し、多数のユーザがそれぞれ希望する複数の目的地を選び巡回を行い、最終的な目的地に到着した目的地において観光、EVの乗り換え、充電などを受け終えるまでの時間を消費し、次の目的地を目指すという環境を想定としシミュレーションを行い、EVを効率的に運用するスケジューリング手法を提案している。

しかし、配車を有人で行うカーシェアという点と、最終的にパークアンドライドの導入を検討している為に、公共交通機関の整備不足や自動運転については考慮されていない。さらに、自然エネルギーの使用については考慮されていないため、条件が異なり、ライドシェアを考慮した場合、そのまま適用できるとは限らない。

カーシェアリングにおける小型EV導入によるCO₂削減効果についても研究されている [2]. これは、カーシェアリングを運用するうえで排気量660cc~1800ccのガソリン車、アイドリングストップ車、EVの3種類を混在させシミュレーションを行いCO₂の排出量の計測を行いカーシェアリングにおける小型EV導入の有用性を証明している。結果として、カーシェアリングに小型EVを導入することにより、ガソリン車に比較してCO₂排出量を1/5に削減できるとして、1週間で80kg-CO₂の削減が可能であるとしている。

しかし、カーシェアリングである点、導入するEVが小型である点、ガソリン車との混在環境である点、EVの電力の発電について検討されていないことから本論文と異なり、全ての車両をこれから普及していくと考えられる。普通車サイズのEVでの運用を想定した場合のCO₂排出量

削減量について検討する必要がある。

低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可用性が佐々木らによって検討されている [12]。低密度居住区で公共交通機関を導入した場合、複数の利用がほとんどないケースや、利用者と目的地が近接せず乗合率を向上させることが困難なケースもあるとして低密度居住地域即ち地方圏には公共交通機関よりもドライバーと利用者お互いの信頼性を担保して適切なマッチングを行えばライドシェアは適しているという結論を得ている。しかし、ドライバーが有人であること、既存のガソリン車で有ることなどから、今後発展していくと考えられる自動運転、EV の導入を想定した場合を検討する必要がある。

劉らは、電気自動車導入に見る CO₂ 排出量の動的な低減効果を検証している [13]。日本の全登録乗用車両 8000 万台を全て EV に代替するとして、CO₂ 排出量を試算している。しかし、EV の電力供給源を通常の発電方法としている。また、走行に対して検討されておらず、燃費の値からガソリン車の CO₂ 排出量を算出している。CO₂ 排出量削減は 19% であり、EV を導入することは CO₂ 削減に貢献していることがわかる。ゼロエミッションで運用することができれば、さらにこれに貢献できると考え、自動車走行時における瞬間的な CO₂ 排出量を求めることでより正確な削減量を求めることができる。

大口らは、都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル [14] を提案している。燃料を利用し自動車を動かし目的の場所まで移動したとき、車両の性能を考慮したうえでの燃料消費量を算出し CO₂ の排出量を算出している。しかし、EV の特性については検討されておらずまた、CO₂ の排出量も検討されていないため、これらを検討する必要がある。

4. 提案手法

現在、自家用車や代替として利用されているバス、タクシーこれらは、1 台の自動車に複数人乗車するという特性上 CO₂ 排出量は自家用車に比べて約 1/3 削減できる (図 1)。鉄道の場合はさらに大きく CO₂ の排出量を削減することが出来るのがわかる。これは、1 回の走行で沢山の乗客を乗車させることが出来ることは勿論だが、動力源である電気を作るうえで必要なエネルギーがガソリン車を走行させることに対して少ないからである。従って、1 回の走行で複数人運搬することのできるバスやタクシー電車は CO₂ 削減に大きく貢献できる。

しかし、これらは石油燃料を消費している。これらを全て EV にした場合、見かけ上は石油燃料の消費は抑えられるように見えるが、図 2,3 に示すように、国内の発電の 7 割超を火力発電で賄っており間接的に石油、石炭、LNG、などを消費しているため [15]、CO₂ 削減に対する有用性は

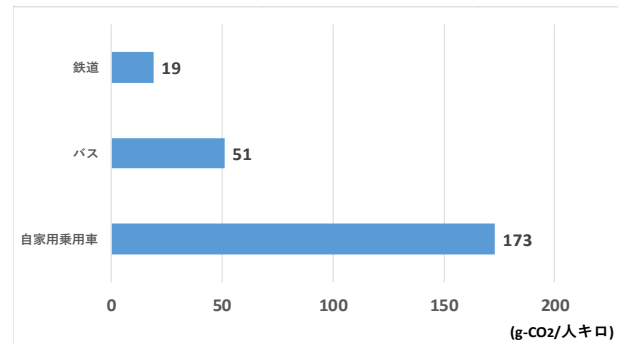


図 1 輸送量あたりの CO₂ 排出量

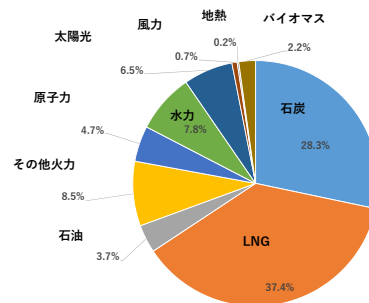


図 2 日本における発電の種類

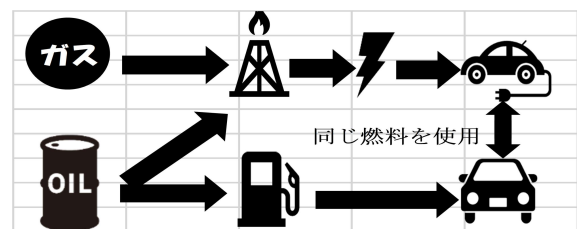


図 3 従来のエネルギーの流れ

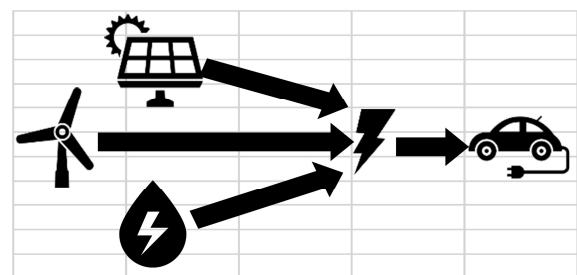


図 4 提案するエネルギーの流れ

低いと考える同様に電車も同じである。そこで、図 4 に示すように発電方法を自然エネルギーのみで行いその電力を利用して線路の整備など場所の制約が少ない自動車即ち、EV を運用することが出来れば交通手段はゼロエミッション化され CO₂ 削減に大きく貢献できる。

そこで、図5に示すモデルを作成し、マルチエージェントシミュレータにて、ガソリン車数種類とEVのモデルを実装し、ガソリン車の燃料消費量、EVの電力消費量を算出し、これを基にそれぞれのCO₂排出量を算出し、EVで削減することのできるCO₂量を求める。また、EVの消費電力からその電力を発電するために必要な自然エネルギー発電機の台数を検証する。

5. 一般家庭における消費電力について

5.1 ゼロエミッションが一般家庭に及ぼす影響

ゼロエミッションで消費電力を賄うということから、EVの必要電力を補え切れず一般家庭の電力に影響を及ぼす可能性が考えられる。それでは、結果的に石油エネルギーを消費していることと変わらない。そこで、一般家庭の消費電力の波について検討する。

森田らは戸建住宅約700世帯で30分間の電力需要の平均を用いて月別、日別、時間帯別に平均的な電力需要パターンを示している[16]。

図6,7に示すように平日、休日、季節などの差はあるが、基本的に6時頃から電力需要が高まり、10時頃から正午まで落ち込むが、その後18時頃から21時頃にかけて再び需要が高まるという傾向がある。そこで、電力需要の少ない時間帯で余剰している電力をEVまたは、バッテリーに貯蓄することで、一般家庭に影響を与えず運用できる。本報告では、新品のバッテリーを新たに購入し設置せずにEVで利用できなくなったバッテリーを再利用するものとする。

5.2 EVのバッテリーの再利用

EVのバッテリーは新品から比較して7割の性能となった場合交換されるが、蓄電用としては十分に機能するものであり、株式会社4R エナジー[17]はEVで使用されたバッテリーを再利用し、それを利用し株式会社ベネフィックスは鹿児島県で行われた蓄電センター実証事業に協力し工場内にある太陽パネルで発電を行いその電気を余剰時に貯蓄し、不足時に利用するという「みらいの工場」プロ

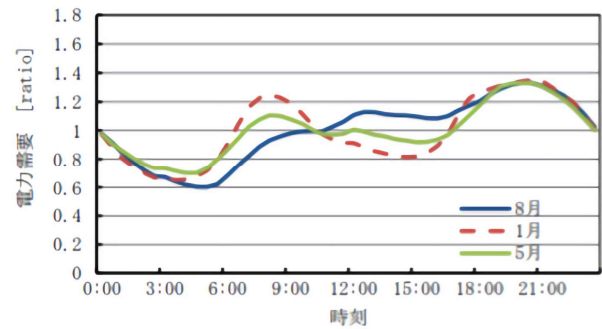


図6 平日の電力需要

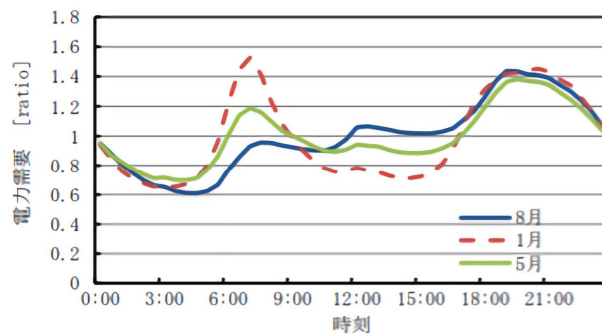


図7 休祭日の電力需要

ジェクトを本社工場において始動している[18]。しかし、EVの廃バッテリーが出回っておらず、全商品新品バッテリーを用いて生産しているのが現状である。

5.3 一般家庭における1日の消費電力について

東京電力ホールディングスによると図8に示すように家庭1軒あたりの電力使用量は2010年をピークに2015年まで下がり続けており、この時点で248.7Kwhの電力が利用されている[19]。

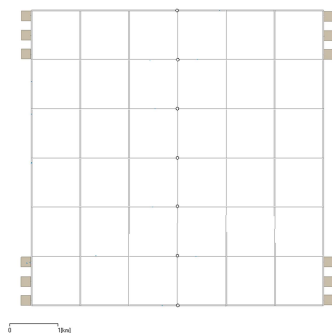


図5 使用する街モデル

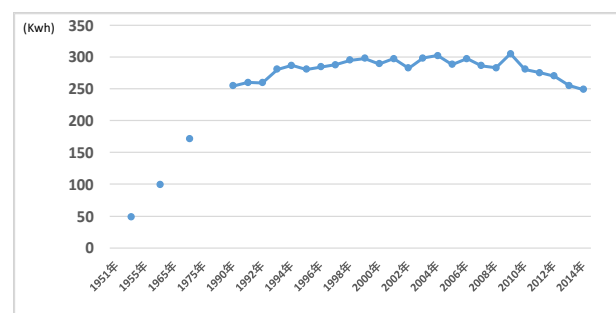


図8 一般家庭の1日の消費電力の遷移

6. 実験・評価

6.1 実験環境

ネットワークシミュレータの Scenargie[20] に表 1 に示す車 3 車種 [21],[22],[23],[24] 車種と EV のモデルを実装し、CO₂ の排出量及び使用燃料量、使用電力量を算出する実験を行った。

実験には Windows10 環境を利用し、シミュレータ上で、図 5 に示した 1 辺 6km の疑似的な街を作成した。

6.2 ガソリン車の燃料使用量及び CO₂ 排出量

ガソリン車各車両の燃料使用量及び CO₂ 排出量は、武内らが提案した式 [2] を利用した。ガソリン車の燃料消費量 $ft(cc/s)$ を式 1 に示す。なお、各式の定数などの詳細は表 2 に示す。車両重量、排気量はモデルとする自動車のカタログから取得した。

$$ft = f(idle) + \frac{\mu Mg}{\mu\eta H} V + \frac{\kappa}{\epsilon\eta H} V^3 + \frac{M+m}{\mu\eta H} aV \left[\frac{cc}{s} \right] \quad (1)$$

アイドリング時での燃料消費量 $f(idle)(cc/s)$ を式 2 に示す。

$$f(idle) = (0.323x + 0.141) \frac{1000}{3600} \left[\frac{cc}{s} \right] \quad (2)$$

CO₂ 排出量 $X(kg - CO_2)$ は式 3 となる。

$$X = ft * 0.00236 [kg - CO_2] \quad (3)$$

表 1 シミュレーションに使用したモデル

メーカー	車種	型式	排気量	車両重量
トヨタ	Vitz	DBA-KSP130	996cc	1245kg
トヨタ	NOAH	DBA-ZZR80G	1986cc	1955kg
ダイハツ	Tanto	6BA-LA660S	658cc	880kg
日産	LEAF	ZAA-ZE1		1765kg

表 2 シミュレーションに使用した数式の詳細

数式	定数	単位	意味
μ	0.015		転がり摩擦係数
M	車種毎	kg	車両重量
g	10	m/s^2	重力加速度
ϵ	0.3		正味熱効率
η	0.9		総伝達効率
H	$3.4 * 10^4$	J/cc	ガソリンの熱等量
V		m/s	速度
hline k	0.5	kg/m	抵抗係数
m	0.2M	kg	回転部分相当質量
α		m/s^2	加速度
ρ	1.2	kg/m^3	空気密度
C_D	0.35		空気抵抗係数
A	1.8	m^2	車両断面積
χ	車種毎	L	排気量

6.3 EV のエネルギー消費量及び CO₂ 排出量

EV のエネルギー消費量 P(J) を求めるために武内 [2] が提案した式 4 を利用した。

$$P = V(\mu g M + \frac{1}{2} \rho C_D A V^2 + M a) [J] \quad (4)$$

消費電力量 E[kWh] は式 5 より求める。CO₂ 排出量 $Y[kg - CO_2]$ は、武内らが提案した式 6 を基に CO₂ 排出係数をみずほ情報総研株式会社が調査したものである 0.076kg-CO₂/kWh として利用する [6]。

$$E = P * 2.778 * 10^{-7} [kWh] \quad (5)$$

$$Y = P * \frac{0.076}{3.6 * 10^6} [kg - CO_2] \quad (6)$$

また、通常の火力発電等で発電を行った場合の CO₂ 排出量は式 7 で求める。CO₂ 排出係数は、東京電力 2018 年度のものを利用する [19]。

$$Y = P * \frac{0.425}{3.6 * 10^6} [kg - CO_2] \quad (7)$$

6.4 通常走行モデル

本実験で使用するドライバーモデルは、Treiber らによって提案された IDM (Intelligent Driver Model 以下 IDM と記述する [25]) であり、Scenargie に実装されている。IDM は、追従走行モデルでドライバーの行動は加速度によって特徴付けられている。

このモデルでは、車両の加速度は式 8 で表している

$$\dot{v} = \alpha \left[1 - \left(\frac{v_n}{v_0} \right)^4 - \left(\frac{S^*(v_n, \Delta v_n)}{S_n} \right)^2 \right] \quad (8)$$

式 8 の S^* は必要とされる車間距離であり、式 9 で計算できる。

$$S^*(v, \Delta v) = S_0 + \max \left(T_v + \frac{v \Delta v}{2\sqrt{ab}}, 0 \right) \quad (9)$$

式 9 において、 S_0 は前方車両から自車両までの安全とされる最小距離で、停止時の車両距離ともいえる。 T は安全とされる最小時間で、 $v_n(t)$ は自車両の速度で、 $v_{(n+1)}(t)$ は先行車両の速度である。 a と b はそれぞれ最大速度と最大減速度である。

式 11 以下では、 l は車両長である。前方車がない場合は車間距離がないため ($\sigma = 0$) で、加速度は式 12 で表せる。

$$S_n(t) = [\chi_{n-1} - \chi_n - l] \quad (10)$$

$$\Delta v_n(t) = [v_n(t) - v_{n+1}(t)] \quad (11)$$

$$\dot{v} = a \left[1 - \left(\frac{v_n}{V_0} \right)^4 \right] \quad (12)$$

6.5 実験

実験には、6km × 6km のモデルを作成し 100 台の自

動車を走行させる。ガソリン車は Vitz, NOAH を 33 台, Tanto34 台を同時に走行させる。また, アイドリングストップは考慮しないものとし, 道路に傾斜はないものとしている。

シミュレーション時間として 50 分を計測した。まず, 3 種類のガソリン車を同時に走行させデータ取得し, 次に, 全ての自動車を EV とし, ガソリン車と全く同じルートを走行させデータを取得した。信号などでの停止時間などもガソリン車, EV はすべて共通である。

また, EV の CO₂ 排出量については, 通常発電と太陽パネルによるもの両方を排出係数の変化で太陽パネルにおけるものを式 5 にて, 通常発電時におけるものを式 6 にて算出する。

6.6 実験結果

3 種類のガソリン車の総排出 CO₂ と EV が排出した CO₂ を比較したところ図 9 に示すように太陽パネルを利用した電力を利用した EV の CO₂ の排出量はガソリン車に比べて CO₂ の排出量を約 93%削減できることが分かった。火力発電由来の電力を用いた EV を利用した場合, ガソリン車と比べて約 60%CO₂ の排出量を削減できることが分かった。また, 3 種類のガソリン車で比較した場合は図 10 に示すように排気量, 車両重量がともに一番小さい tanto が最も CO₂ の排出量が一番少ないという結果になった。

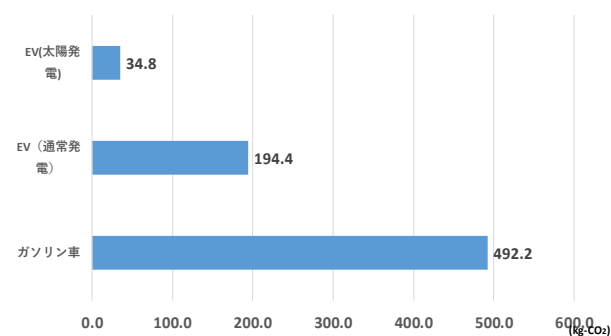


図 9 ガソリン車と EV の CO₂ 排出量の比較

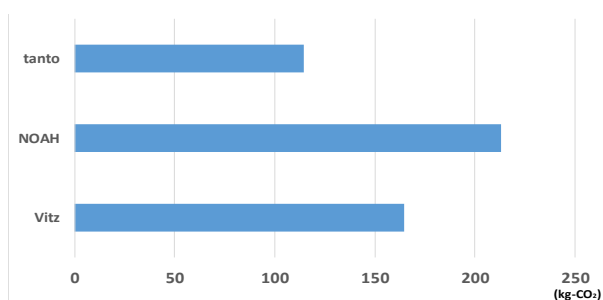


図 10 各ガソリン車の CO₂ 排出量

6.7 必要発電機の検討

前節までに求めた使用電力量を基に表 3 の太陽パネルを基準に必要枚数, コストを検討する。太陽パネルの出力は, 天気や季節などの損失を考え 70%とする。これを基に SOLAR CLINIC[26] を利用して 2008 年~2018 年の時期ごとの日照時間等を基に一番太陽パネルにとって効率が良いとされている方位南に向けて設置した場合の発電量を月ごとに取得し, その平均値から 1 日の発電量を算出する。(図 11) また, 2 月は 28 日間とする。1 日の発電量を基に表 3 の太陽パネルを利用したと仮定して必要枚数と面積, 金額を算出した。(表 4)

最も発電量の少ない 11 月の値を必要数とする。必要枚数は 821 枚で面積は 0.73km², 必要費用は, 143,336,576 円である。

6.8 考察

走行する自動車の全てを EV に置き換える事で CO₂ 排出量を 93%削減できることが分かった。従って, 地球の CO₂ 排出問題について大きく貢献できるといえる。しかし必要な太陽パネルが 800 枚を超え, 面積にすると東京ドーム 15.5 個分に匹敵し, これを導入する費用は, 平成 30 年度厚木市予算の土木費予備費 [27]100,000,000 円を上回っている。

実験の結果からガソリン車を EV に置き換える事は, CO₂ の削減に有効だということが分かった。しかし, 費用の面

表 3 太陽パネルのスペック

Panasonic VBHN252WJ01	
モジュール変換効率	19.60%
公称最大出力	252W
公称最大出力動作電圧	44.3V
公称最大出力動作電流	5.70A
公称開放電圧	53.2V
外形寸法 (W × H × D)	1580 × 35 × 812mm
電池の種類	単結晶
質量	15kg
価格	174,500 円 (税抜)

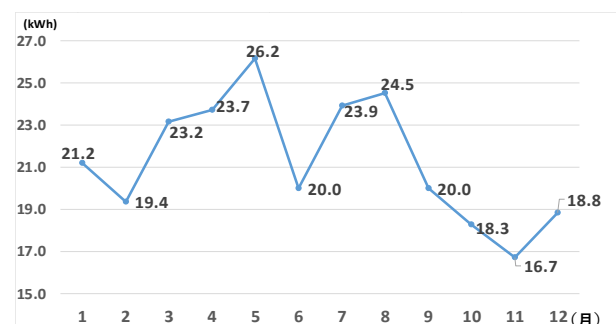


図 11 神奈川県厚木市下荻野での年間発電イメージ

で厚木市の予算を超えているため、この予算の半分ほどに収まるようにする必要がある。また、実験を行ったモデルの空きスペースは36km²であるのでパネルを全て設置することは可能であるが、実際にはこのような広大な土地は少なく、太陽パネルを設置する面積についても検討する必要がある。そこで、走行させる台数を制限して最適な台数を再検討する必要がある。

7. 再実験と評価

7.1 再実験

前回同様 EV のモデルを 100 台用意し、同様のコースを走行させる元の実験結果から、EV の台数を削減することで必要太陽パネル数を削減するためにシミュレーション毎に 10 台ずつ台数を減らし、使用電力及び CO₂ の排出量を算出した。尚、太陽パネルの発電量の値は、最も発電量の少ない 11 月のものを使用する。

7.2 再実験結果

図 12 に示すように 100 台から 50 台までは 10 台毎に消費電力は 8~19%削減され、費用面では 8~18%削減された。40 台から 10 台にかけては 10 台毎に 21~35%消費電力は削減され、費用面では 21~36%削減された。CO₂ 排出量も図 13 に示すように消費電力量に比例し削減された。

消費電力、費用、CO₂ 排出量は、100 台と比較すると 60%削減できることから EV の台数は 40 台が最適である。費用は約 57,211,599 円と平成 30 年度厚木市予算の土木費予備費 100,000,000 円の 57%に収めることができています。面積においては、0.14km² となった。これは、東京ドーム 3 つ分の面積である。

7.3 評価

車両台数を 40 台にすることで 100 台と比べて費用を 57,211,599 円に削減されこの金額は平成 30 年度厚木市予

表 4 月ごとの発電量及び必要枚数、面積、費用

月 (1日あたり)	発電量 (Kwh)	必要数 (枚)	必要面積 (km ²)	費用 円
1	0.68	670	0.58	116,965,927
2	0.69	662	0.56	115,566,516
3	0.75	612	0.48	106,874,749
4	0.79	579	0.43	101,049,540
5	0.84	542	0.38	94,628,684
6	0.67	687	0.61	119,881,500
7	0.77	594	0.45	103,623,806
8	0.79	578	0.43	100,937,263
9	0.67	687	0.61	119,881,500
10	0.59	777	0.77	135,587,368
11	0.56	821	0.87	143,336,576
12	0.61	754	0.73	131,657,300

算の土木費予備の事業費用と比較したところ半額以上であり、実際に設備したとしても他の事業に費用をまわすことができ、十分に現実的である。本論文では、モデルの面積に対して建物が 9 件と少なくなっている。よって、実際の街に導入する際は空き地などのスペースに直に太陽パネルを設置することは勿論だが、住民に協力をしてもらい住居の上にも設置することが必要である。また、そのような場所に設置する場合必ずしも最適な角度等で太陽パネルを設置できるとは限らず、発電量は減少する可能性もある。

8. おわりに

本報告では、CO₂ 削減に有効であるライドシェアを前提とし、ガソリン車を EV に置き換えた際の CO₂ 削減量と EV の消費電力からそれを補うために必要な太陽パネル枚数、費用を求めた。結果として、全ての自動車を EV にすることは CO₂ 排出量削減には有用だということがわかった。さらに、ゼロエミッションで電力を補うことでさらに CO₂ の排出量を削減できることが分かった。しかし、本報告の EV のモデルは、ガソリン車のモデルをベースに EV 用にしたものであり、EV 特有のエアコン使用についてや回生ブレーキ、充電時間、連続走行距離などは考慮していない。また、実際の街で運用する場合は太陽パネルの設置場所や工事費なども考慮しなければならない。さらに、本報告では、自然エネルギーに関しては、太陽パネルのみ検

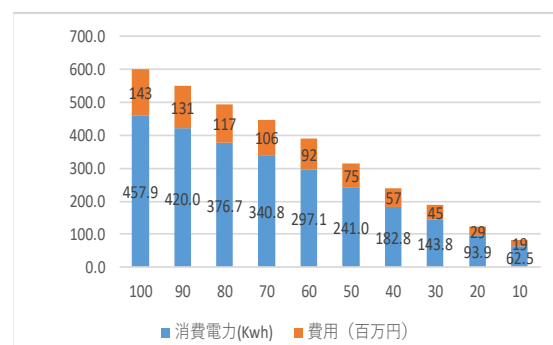


図 12 台数減少に伴う消費電力と太陽パネル導入費用

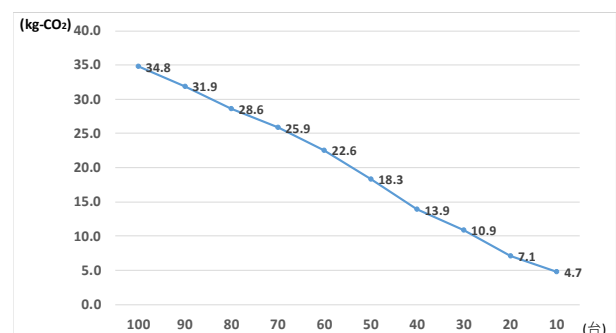


図 13 台数減少に伴う CO₂ 削減量

討して、他の発電方法については検討していないため、これらのモデルを実装し、検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Clewlow, Regina, "Carsharing and sustainable travel behavior: Results from the San Francisco Bay Area." *Transport Policy*. 51. 10.1016/j.tranpol.2016.01.013. (2016).
- [2] 武内博孝, 谷内利明, "カーシェアリングにおける小型EV導入によるCO₂削減効果," *信学技報*, EE2010-2(2010-05), pp.37-42, (2010).
- [3] カーシェアリング・ジャパン株式会社, "カレコ・カーシェアリングクラブ会員アンケート 2017 結果発表," <https://www.careco.jp/news/9595/> (2020.4.14).
- [4] 国土交通省, "平成19年度国土交通白書 第I部 進行する地球温暖化とわたしたちの暮らし~地球温暖化対策に向けた国土交通行政の展開~, " <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/hakusho/h20/html/j1211300.html> (2020.4.14).
- [5] Daimler, "Strategy: Three ways to the future of mobility," <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Strategy-Three-ways-to-the-future-of-mobility.xhtml?oid=42515862> (2020.4.16).
- [6] みずほ情報総研株式会社, "太陽発電システム共通基盤技術研究開発 太陽発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究," 平成19~20年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書, p.109, (2009).
- [7] Uber, <https://www.uber.com/> (2020/4/14).
- [8] DiDi <https://www.didiglobal.com/> (2020/4/14).
- [9] IEE JAPAN, "ライドシェアの現状と日本における導入方法の検討," <https://eneken.ieej.or.jp/data/8339.pdf> (2020.4.16).
- [10] 国土交通省, "自動運転レベルについて," <http://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf> (2020.4/16).
- [11] 上田知幸, 孫為華, 柴田直樹, 伊藤実, "カーシェアリングに基づいたEVの効率的運用スケジューリング," *マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集*, pp.1102-1110, (2013).
- [12] 佐々木邦明, 二五啓司, 山本理浩, 四辻裕文, "低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可用性," *社会技術研究論文集*, Vol.10, pp.54-64, (2013).
- [13] 劉斌, 稲葉次紀, "電気自動車導入に見るCO₂ガス排出量の動態的低減効果," *電気学会論文誌 D, 研究開発レター*, Vol.129, No.2, pp.232-233 (2009).
- [14] 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明, "都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル," *土木学会論文集 No.695/IV-54*, pp.125-136, (2002).
- [15] 環境エネルギー政策研究所, "2018年(暦年)の国内の自然エネルギー電力の割合," <https://www.iseip.or.jp/archives/library/11784>, (2020.4.16).
- [16] 森田圭, 真鍋勇介, 加藤丈佳, 舟橋俊久, 鈴置保雄, "数百年規模の家庭の平均電力需要特性の評価," *エネルギー・資源学会論文誌*, Vol.38, No.1, pp.20-29, (2017).
- [17] フォーアールエナジー株式会社. <http://www.4r-energy.com/company/about> (2020.4.15).
- [18] 公益財団法人日本自動車教育振興財団, "電動車両バッテリーの再利用," *Traffi-Cation No.49*, pp.2-6. (2018).
- [19] TEPCO, "電力需要 家庭1軒当たりの使用電力と契約電力," <http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/power-demand/residential-customer-j.html> (2020.4.14).
- [20] Mineo Takai, Jay Martin, Shigeru Kaneda, Taka Maeno, "Scenargie as a Network Simulator and Beyond," *Journal of Information Processing*, Vol. 27, pp. 2-9, (2019).
- [21] トヨタ自動車, "ヴィッツ主要諸元表," https://toyota.jp/pages/contents/vitz/003_p.017/pdf/spec/vitz_spec.201805.pdf (2019.10.3).
- [22] トヨタ自動車, "ノア主要諸元表," https://toyota.jp/pages/contents/noah/003_p.008/pdf/spec/noah_spec.201901.pdf?padid=ag341_from_noah_spec.pdf (2019.10.3).
- [23] ダイハツ工業, "タント主要諸元表," <https://www.daihatsu.co.jp/lineup/tanto/pdf/spec.pdf> (2019.10.3).
- [24] 日産自動車, "ZAA-ZE1型リーフ カタログ," https://www3.nissan.co.jp/content/dam/Nissan/jp/vehicles/leaf/1907/pdf/leaf_specsheet.pdf (2019.8.2).
- [25] Martin Treiber, Ansgar Hennecke, and Dirk Helbing, "Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations," *PHYSICAL REVIEW E*, Vol.62, Iss. 2, pp.1805-1824, (2000).
- [26] SOLAR CLINIC, <http://www.jyuri.co.jp/solarclinic/> (2020.4.15).
- [27] 厚木市, "平成30年度厚木市当初予算," p.25, <https://data.navibook.jp/atsugi/kouhou/2018/h180219a/> (2020.4.15).
- [28] パナソニック太陽光発電システム, <https://sumai.panasonic.jp/solar/lineup.html> (2020.4.15).