

# 車載センサを用いたEVエネルギー消費ログDBの 長期運用実験と精度評価

萩本真太郎<sup>†</sup> 出縄 誠<sup>†</sup> 林 拓也<sup>†</sup> 讃井 峻<sup>†</sup> 富井 尚志<sup>††</sup>  
本藤 祐樹<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>††</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: <sup>†</sup>{hagimoto-shintaro-tw,idenawa-makoto-xm,hayashi-takuya-hb,sanui-ryo-xn}@ynu.jp,  
<sup>††</sup>{tommy,hondo}@ynu.ac.jp

あらまし 我々は自動車に後付けで搭載したスマートフォンなどの簡易なセンサから日常的な走行ログをデータベースに蓄積してきた。蓄積した走行ログには電気自動車（EV）の力学的な運動モデル（EV モデル）を適用し、エネルギー消費量の推定を行う。これらのデータからエネルギー消費に関する検索や比較を行うことが可能となる。このデータベースを長期的に運用することで、地点ごとや状況ごとなどの大量のデータを基にした統計的な情報を検索できる。本論文では、長期運用により得られたデータを示すとともに、EV モデルの評価として実際の EV から取得した CAN データと EV モデルを適用した推定量との比較を行い、EV モデルの推定精度の評価を行った。

キーワード 電気自動車, 車載センサ, センサデータベース, 消費エネルギー推定, 走行ログ, 精度評価, GPS, スマートフォン

## 1. はじめに

近年、温室効果ガスの排出量増加に伴う地球温暖化の進行や、化石燃料の枯渇問題などの理由から省エネルギー化に対する要求が高まっている。その中でも日本国内のエネルギー消費量のうち4分の1が運輸部門によるものであり、さらに約9割が道路交通分野 [1] であることから道路交通分野における省エネルギー化が求められている。

道路交通分野において、省エネを実現するモビリティとして電気自動車（Electric Vehicle:EV）[2] が注目を集めている。EV はガソリン車（ICV）やハイブリッド車（HV）に比べて燃料コストが低く、二酸化炭素排出量も大幅に削減される。また、EV は移動体としての役割以外にバッテリーとしての役割を持ち、非走行時にはEV の内部電源から電気を取り出すことや太陽光発電などの再生可能エネルギーの余剰電力を充電しておくことが可能である。EV のバッテリーの活用先としてスマートグリッドが存在する。日本では化石燃料に依存しない再生可能エネルギーを利用した社会を実現する手段として考えられている。スマートグリッドではEV は不安定な再生可能エネルギーを補助する役割を担い、電力の発電状況に応じて電力の供給・充電を行うことで電力を安定化させる V2G（Vehicle to Grid）が研究されている。また、スマートグリッドの小規模なものとして地域レベルの電力網で再生可能エネルギーを発電して利用するマイクログリッドにおいても V2H（Home）や V2B（Building）で EV が活用される。しかし、スマートグリッドは発電施設、家庭などを電力網に含まれるためインフラなど実用化までの課題が多く導入効果の事前見積りが困難である。

また、EV 自体も未だ普及しているとはいえない、この理由

は、初期導入コストが高いことやEV の走行可能距離が短いことと充電インフラの普及が進んでいないなど、実際の利用に対してEV が耐えうるか不明瞭であることが問題である。EV に関しては世界中の自動車メーカーや地方都市によって運用実験がなされているが [3]、それらはモデルケースであるため、実際の自分の運転と照らし合わせた定量的な評価を行えない。そのためEV に乗換える前に個々人の状況に即した効果予測を行う必要がある。

一方で、自動車の運転データを取得し、活用する取り組みが行われている。各自動車メーカーは多数の自動車の走行情報を集めることで、カーナビにおいて細かい地点の渋滞情報や到着時間予測などに活用している。このデータの問題点として、カーナビのデータは不特定多数のデータであるので、個人ごとの運転の改善点を示すには向いていないことが挙げられる。

以上から、我々は個人や事業所レベルでのライフログとして運転データの蓄積と検索を行うデータベースシステムの構築をしてきた。本システムでは既存の ICV で収集したデータに対し、EV のエネルギー消費モデル（EV モデル）を適用するため、ICV を EV に置換えた場合の効果を事前に推定できる。この推定した消費エネルギーのデータを検索することで、運転者の観点では地点別、時点別などのエネルギー消費量を提示し、運転の振り返りに加えて今現在の自動車を EV に置換えたときの効果を検討可能となる。事業所の観点では、V2B の導入を考えて事業所に通う自動車が EV に置換わるときにどの程度の電力を EV から供給可能になるのかという効果を検討できる。本論文では、開発したデータベースを長期的に運用して集めたデータにより示される情報と精度評価について述べる。

## 2. 研究背景

### 2.1 EV と V2X

EV はバッテリーを搭載し、モーターで駆動する新たなモビリティである。例えば日産自動車の LEAF は 24kWh のバッテリーを搭載し、最大 228km の走行が可能である [4]。EV の特徴として、走行時に二酸化炭素を排出しないことや、Well-to-Wheel の観点で比較した場合の燃料コストが ICV に比べて低いことが挙げられる [5], [6]。

また、EV に搭載されたバッテリーをスマートグリッドやマイクログリッドに接続し、電力網 (V2G) や家 (V2H)、ビル (V2B) と電力の供給、充電を行うことに関する研究がされている。V2G が活用されるスマートグリッドでは Kempton ら [7], [8] が V2G をアメリカの電力市場に導入した際にどの程度の効果と利益を得られるかの検証を行った。Kamboj ら [9] は送電網に EV を組み込むためにマルチエージェントシステムを適用し、実際の市場において収入が見込めることを実証した。Jansen ら [10] は既存の電力網に V2G を導入した際に果たす役割について論じた。V2H, V2B が活用されるマイクログリッドの規模では太田ら [11] が EV を家庭の電力網に接続することで、電源の補助として再生可能エネルギーが活用できることを検証した。また、2012 年には日産自動車が LEAF to Home [12] として、V2H の製品化を行った。Zhanikeev ら [13] は V2H が実現した社会において EV のバッテリー充電するのではなく新しいものに交換するシナリオを提案した。

EV の問題点として、ICV よりも走行距離が短いことが挙げられる。この問題点に対して消費エネルギー推定や残走行距離に関する研究がされている。Zhang ら [14] は残余走行距離推定を計算資源を節約しながら達成する手法を提案した。Martinez ら [15] は EV において消費エネルギー推定を重要課題に掲げ、運動方程式ではなく人工ニューラルネットワークを用いて消費エネルギー推定モデルを構築した。Ishii ら [16] は消費エネルギー推定において大きな影響を与える勾配を測定する手法について述べた。Ito ら [17] は EV の消費エネルギー推定においてエアコンの影響が無視できないことを述べた。これらから EV の消費エネルギー推定は重要な課題であるが、勾配やエアコンなどの様々な影響を考慮しなければならない。また、個々の自動車の利用状況は異なり、EV 固有のエネルギー消費特性があるため、自分のライフスタイルに EV が合うかどうか事前に知るのが難しいため、個々の運転状況において既存の自動車から EV に置換えたときの効果を示すことが必要である。その他の課題として、充放電の繰り返しによるバッテリー寿命の短縮、新技術ゆえの社会制度、十分なインフラの整備などが存在する。これらに関しては官民が協力して解決すべき課題といえる。

### 2.2 センシング技術

近年の情報技術の発達により、計算機やネットワークの高速化、低価格化が進んでいる。さらに無線 IC タグや GPS、加速度センサのような実空間情報を取得することを目的としたセンサ類の発達により、いつでもどこでも誰でも計算機の恩恵を受けられるユビキタス環境が実現された。ユビキタス環境では環

境内の様々な場所、モノにセンサを取り付けることで、ユーザの無意識下で様々なデータの取得が可能となる。

その発展として、これらのセンサ類を自動車に搭載することで、自動車自体を 1 つのセンサとして情報の収集を行うプローブカーシステムに関する研究がされている。Manzoni ら [19] はバスのような運転スタイルによって燃費が大きく影響される車両にセンサを搭載し、運転者別や時間別で消費エネルギーに差があることを確認した。森川ら [20] はプローブカーデータに気象状況や道路状況を組み合わせた動的経路案内システムを開発し、その性能評価を行った。

近年、このような GPS や加速度センサは身近なデバイスであるスマートフォンにも搭載されている。このスマートフォンを自動車に搭載することで、自動車の走行ログを取得することが可能になった。八木 [21] はスマートフォンの加速度センサを用いて走行時の段差の検出を行う研究に加え、先の東日本大震災において発生した路面段差の調査を行った。佐藤ら [22] はスマートフォンがプローブ情報取得センサとして十分使用可能であることを検証した。Paefgen ら [23] は自動車保険会社が運転評価に用いるアプリケーションとしてスマートフォンのセンサが自動車専用のセンサの代用になるかを検証した。

また、スマートフォンにおいては自動車保険会社などから運転診断を行うアプリが公開されている [24]。このアプリは加速、減速、ハンドリングなどの項目ごとに点数化して評価することで、運転者の振り返りや注意喚起に役立てるものである。しかし、運転診断アプリの多くが加速度値のみから運転診断を行うため、坂道による勾配の影響を強く受けることや、EV 固有の消費エネルギー計算という観点で EV の消費エネルギーを算出できてはいない。

### 2.3 本研究での取り組みと利用シナリオ

前節で述べたように、自動車の運動に関するデータを取得することが可能になってきた。これらの大量のセンサデータを扱う情報システムでは、多くの場合、蓄積せずにデータ処理しながら捨てるストリーム処理の手法が主流である。しかし、運転の振り返りや分析を後から行うために、これらのデータを保持しておくという考え方もある。近年では、大容量のストレージが安価に手に入るようになったため、これらのデータを個人的な記録 (ライフログ) として保存しておくことが可能になった。

我々は、後付のセンサから得られる自動車の走行ログから EV における消費エネルギーを計算し、データベースにおいて蓄積・検索するシステムを ECOLOG システム (Energy Consumption LOG) と名付け開発し運用してきた [25], [26], [27], [28]。このデータベースでは EV の電力消費状況や V2X の効果など、EV 固有のエネルギー移動に関する多様な情報をライフログデータを活用して提示することが可能である。この方法により、ユーザは「自分の運転時のデータ」を基に、既存の自動車を EV に置換えた際に起こりえる様々なエネルギー消費や V2X によるエネルギー移動について、事前に定量的に見積もることが可能となる。本論文では、これらの長期的に蓄積したログから得られるデータを示すとともに、本システムの評価実験として CAN データと推定したエネルギー消費量を比較を行い、推

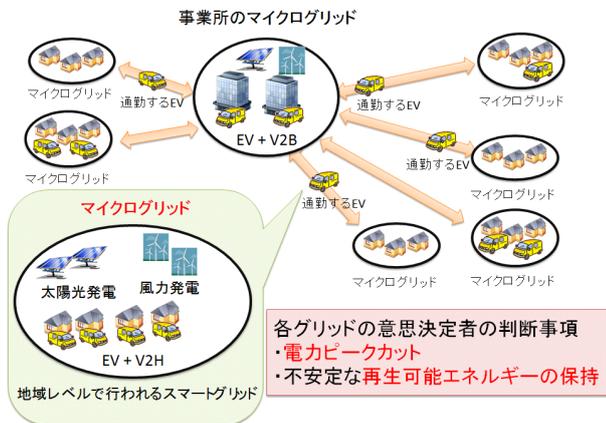


図1 想定するシナリオ

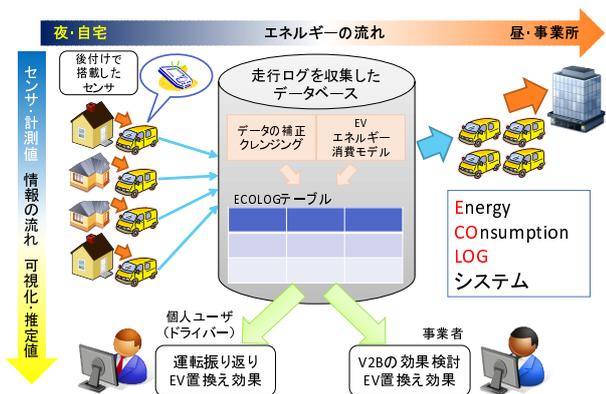


図2 ECOLOG システム概念図

定精度の評価を行う。

本研究では図1のようなシナリオを想定してEVの置換え効果やV2Bの効果検討を行う。

想定シナリオ: 各地域ごとにマイクログリッドが存在し、EVや太陽光発電などを備えた家庭が再生可能エネルギーを地産地消する。事業所<sup>(注1)</sup>においても同様に通勤で集まる数台~数十台のEVとのV2Bや事業所に設置された太陽光発電などでマイクログリッドが構成される。再生可能エネルギーやV2Bで供給された電力はグリッド内の電力のピークカットに利用される。

このシナリオには電力売買の制度やプライバシー保護の問題など多岐にわたり詳細に検討すべき事項は存在する。これらは別の課題とし、本論文の対象外とする。

### 3. ECOLOG システム

本研究で開発したシステムの全体像を図2に示す。本システムは以下のような流れで構築される。

- (1) 既存の自動車に後付けで設置した簡易なセンサで、自動車走行ログを収集する
- (2) 走行ログに対し、EVモデルを適用して、瞬間の消費電力を推定する
- (3) これらのデータに対して効果的な検索と演算を可能

(注1): ここでは会社、役所、学校、病院、工場、農場など1人~複数の人が家庭から日常的に自動車を通い、昼間に電力を消費して事業を実施する場所を指す

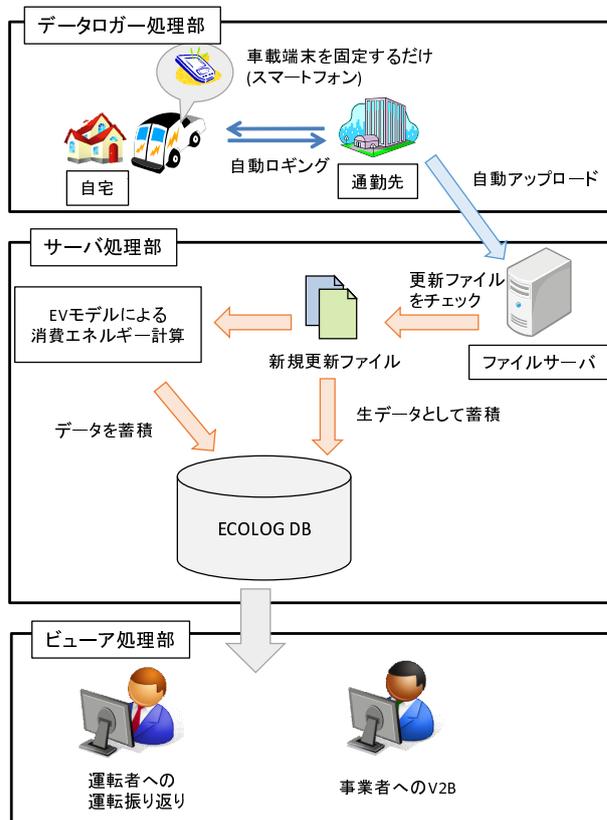


図3 ECOLOG システムの流れ

とするデータベースを構築し、EV消費エネルギーログを蓄積する

(4) 運転者に対して、EVへの置換え効果や、地点別・時点別の消費エネルギーを提示する

(5) 事業所に対して、V2Bによる効果を提示する  
本章ではこのシステム構成(図3)について説明する。なおビューア処理部に関しては参考文献[27]において詳しい内容が記述されているため本論文では記載しない。

#### 3.1 EVモデルによる消費エネルギー計算

EVのエネルギー消費には走行に消費されるエネルギーとエアコンやカーナビなどの自動車内の電装品によって消費されるエネルギーに分けられる。EVがICVやHVに比べて内部構造が簡易であるため、走行に使用するエネルギーのモデル化が容易であり、センサから取得される速度・加速度から推定可能である。ECOLOGシステムにおける消費エネルギー計算の詳細については参考文献[26]において記述されているため本論文で計算で利用する式を記載する。

自動車の出力は空気抵抗  $R_{AIR}$ 、タイヤの転がり抵抗  $R_{ROLL}$ 、坂道の勾配が影響する登坂抵抗  $R_{SLOPE}$ 、自動車の加減速に応じて発生する加速抵抗  $R_{ACC}$  の総和であり次式で示される。

$$\begin{aligned}
 F_d(t) &= R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC} \\
 &= \frac{1}{2} \rho C_d A v(t)^2 + \mu M g \cos \theta \\
 &\quad + M g \sin \theta + M(a(t) - g \sin \theta)
 \end{aligned} \tag{1}$$

出力  $F_d(t)$  に対して速度  $v(t)$  と変換効率  $\eta$  を乗じる。

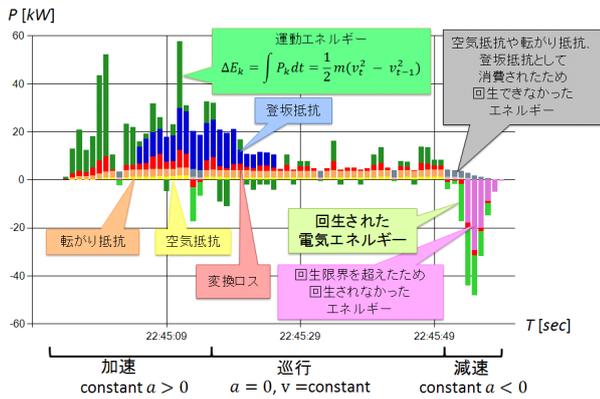


図4 EVの電力消費モデル

$$P_e(t) = \frac{F_d(t) * v(t)}{\eta} \quad (2)$$

電力  $P_e(t)$  を時間積分することで電力量が求まる。

$$E_e(t) = c \int_{t_{start}}^{t_{end}} P_e(t) dt \quad (3)$$

#### EVの電力消費モデル

EVの電力消費について説明する。図4は実際に発進から停止を行った走行ログからEVモデルでの計算値をグラフ化したものである。ただし、これらはあくまで瞬時値であり、個々のデータには誤差が存在する。図4では加速時には自動車を加速させるために加速抵抗(緑色)によるエネルギーを消費した。次に一定速度を保ちつつ坂道を上り登坂抵抗(青色)によるエネルギーを消費した。その後、減速時にはブレーキによる負の加速抵抗(黄緑色)によりエネルギーを再生したが、強い減速を行うために摩擦ブレーキを併用したのでエネルギーロス(ピンク色)も発生したことを示している。また、走行時には空気抵抗(黄色)と転がり抵抗(茶色)により常にエネルギーを消費する。このグラフでは走行に関するエネルギー消費量を示しているが、実際には走行以外に消費されるエネルギーとして電装品やエアコンのエネルギーも消費される。

#### EVのエネルギー消費モデル

図5に往復トリップ全体のエネルギー消費量を示す。このグラフでは最終的にEVがエネルギーをロスした要因によって色分けされている。先ほどの図4においては加速抵抗と登坂抵抗によるエネルギーが瞬間の消費エネルギーとして示されたが、これらのエネルギーは減速時や坂道を下るときに再生されるため最終的なエネルギー消費量に影響するのは転がり抵抗、空気抵抗、エネルギー変換ロス、摩擦ブレーキによるエネルギーロス、エアコン・電装品による消費エネルギーである。この中の多くは運転中に少しずつ発生するためドライバーはこれらのロスを運転の仕方においてコントロールすることが難しい。しかし、摩擦ブレーキによるロスは急減速を行わないように運転することで減らすことができるエネルギーロスである。そのため、摩擦ブレーキによるロスを少なくするような運転改善などが考えられる。

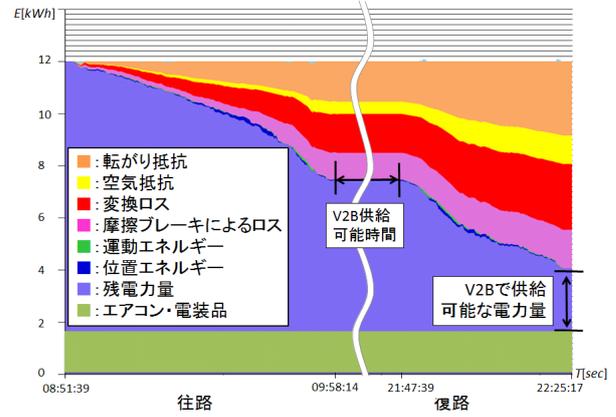


図5 EVのエネルギー消費モデル

### 3.2 データロガー処理部

消費エネルギー推定に用いる走行ログを取得するためには、速度、加速度、坂道の勾配を取得する必要がある。ECOLOGシステムでは、運転者に負担をかけず簡易に速度、加速度を取得する端末としてAndroid OSを搭載した端末(Android端末)を用いる。Android端末上で動作するアプリを用いてGPS、加速度センサの計測値を自動的に記録する。また、坂道の勾配データに関しては“国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)”を利用した。

### 3.3 サーバ処理部

サーバ処理部ではデータロガーにより取得された走行ログからEVモデルを適用することでEVに置換えたときのエネルギー消費量を推定する。また、推定したエネルギーや走行ログをデータベースに蓄積し、運転の振り返りやV2Xの効果推定などの多様な検索を可能とする。

EVモデルにより計算されたエネルギー消費量はセンサデータとともにデータベース内に蓄積される。このデータを蓄積するテーブルをECOLOGテーブルと名付けた。ECOLOGテーブルでは1秒ごとに時間正規化したデータを蓄積する。これによりエネルギー消費量の計算を以下の単純な加算集約により計算される。

$$E_e = c \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} P_e(t) \Delta t \quad (4)$$

主要要素としてはセンサから取得される時刻、緯度・経度、速度、3軸加速度、EVモデルにより計算される空気抵抗、転がり抵抗、登坂抵抗、加速抵抗、モータの変換効率、エネルギー回生量、エネルギー消費量などのデータが含まれる。

ECOLOGデータベースのスキーマを図6に示す。ECOLOGデータベースにおける検索は基本的にECOLOGテーブルにアクセスして検索する。ECOLOGテーブルは検索キーとしてドライバー、車種、トリップが存在する。集約単位としては交差点から交差点までを定義したリンクやリンクを意味を持つ区間の集合として定義したセマンティックリンクが存在する。セマンティックリンクを用いることで高速道路区間や坂道などの人にとって意味のある単位での集約、検索が可能となる。リンク



表 1 長期データ収集実験結果

	第 1 期 2011/07/12-2012/06/07	第 2 期 2012/06/08-2012/09/22	第 3 期 2012/09/23-2014/02/28	第 3 期の EV のデータ 2013/06/24-2014/02/28
センサ	WAA-010 & 747Pro	REGZA Tablet AT570	REGZA Tablet AT570	REGZA Tablet AT570
ドライバー数	1	1	3	1
被験車種	ICV	ICV	EV, ICV, HV	EV
レコード数	1,065,358	362,232	4,451,233	990,844
トリップ数	339	110	1,361	290
目的	専用のセンサを用いた プロトタイプシステム	Android 端末を 用いたデータ収集	複数人被験者の データ収集	評価用として実際の EV のデータ収集

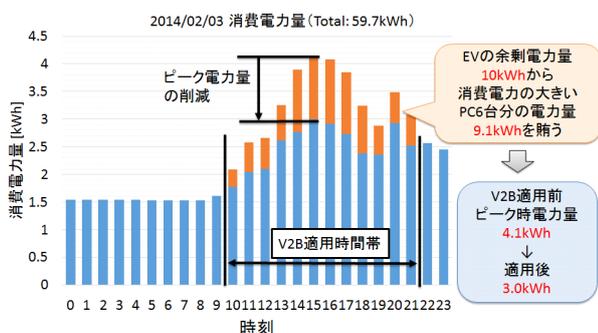


図 9 V2B によるピークカット効果

が見込めるか検証した。図 9 は事業所の 1 オフィスにおける 1 日の電力消費量をグラフ化したものであり、縦軸が消費電力量、横軸が時間帯を示す。このグラフの青色と橙色を足したものが実際に消費された電力を示し、橙色は消費電力の大きい PC6 台分の電力を V2B により供給された電力 9.1kWh で賄った分が示す。結果としてこの日のピーク電力を 4.1kW から 3.0kW へ 27% 削減する見積もりを行った。

このシミュレーションでは事業所内の 1 オフィスの電力を 3 台の EV で V2B を行ったが、将来的に事業所に BEMS が導入され、ビル全体の電力を管理し、通勤される EV の数も増えることにより、事業所を中心としたマイクログリッドの想定することができる。

## 5. ICV から EV への置換え効果検討

本章では、ECOLOG システムの特徴である既存の自動車の EV への置換え効果を検証する。ECOLOG システムは既存の ICV の走行ログを蓄積し、EV モデルを適用して EV に置換えたときのエネルギー消費量 (ECOLOG 推定値) を算出する。このための比較を行うにあたり以下の事項を検討する必要がある。

(1) EV モデルにおけるエネルギー推定値と実際の EV のエネルギー消費を比較

(2) 既存の自動車から EV へ乗換えたときに運転そのものが同じになるか

(3) 既存の自動車における燃料消費量と ECOLOG 推定値を比較

これらについて検討することで既存の自動車の走行ログから EV に置換えたときのエネルギー消費量とガソリンの燃料を比

較したときに実際の EV におけるエネルギー消費量との比較と同等であるといえる。(2) に関しては自動車は周辺の走行車両や信号などの交通状況により運転が左右されるため、実際に通勤を想定した場合には既存の自動車と EV で運転は大きく変化しないと考えられる。以降の節で (1) と (3) について検証する。

### 5.1 トリップ単位での精度評価

EV モデルの精度評価を行うために EV の CAN データを用いて精度比較実験を行った。実験期間は 2013 年 10 月 10 日～2013 年 11 月 12 日、被験者 1 名、被験車両 1 台 (日産 LEAF) で自動車通勤を行ってもらいデータを取得した。実験車両の日産 LEAF は 24kWh のバッテリー容量があり、実験期間中の充電状態は 8 割充電で走行した。走行ログ取得端末は Android タブレット端末 REGZA Tablet AT570 を用いて取得し、CAN データ取得には Android アプリの Leaf Spy Pro [30] と OBD2 接続用の Bluetooth 通信端末として PLX Devices Kiwi Bluetooth Wireless Trip Computer and OBDII Scanner [31] を使用してデータ取得を行った。

図 10 のグラフは 1 日の往復トリップ 18 件を 1 日の走行で消費したエネルギーとして比較したものである。縦軸が ECOLOG 推定値、横軸はクーロンカウント法を基に計測された値である。EV モデルによる走行に使用したエネルギー消費量はグラフに緑色で示される。また黄色が電装品、青色がエアコンにより消費されたエネルギーを示す。EV モデルでは電装品、エアコンに関する消費エネルギーは含まれていないため、電装品はヘッドライトやワイパーの使用状況を考慮して、時間に比例して一定の電力を消費すると推定した。エアコンは実験車両のカーナビ画面のエアコン消費電力を読み取り推定した。

図 10 の 1 日の往復トリップでは相関係数 0.996、最大誤差 8.6%、平均二乗誤差 0.32 となった。結果として、EV モデルは 1 日のエネルギー消費量において相関があることを確認した。

### 5.2 ICV と ECOLOG 推定値の比較

EV は ICV よりも省エネルギーであるが、EV もエネルギー的に不得意な走行状況は存在する。例えば空気抵抗が大きく影響してくる高速道路などではエネルギーを消費しやすい。本節では、2013 年 1 月 7 日～2013 年 7 月 25 日において被験者 1 名から収集した ECOLOG 推定値と ICV の CAN データのガソリン流量から算出されるエネルギー消費量の比較を行い、状況に応じた EV への置換え効果を測る。

なお、ガソリンと電力ではエネルギーの生成過程が異なる

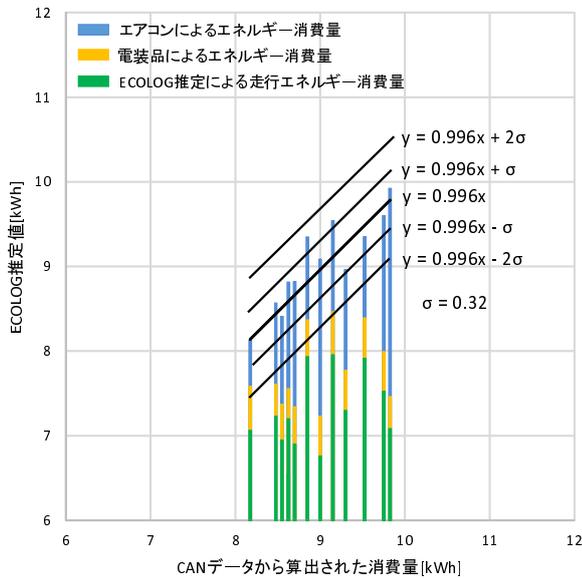


図 10 推定精度比較

ため、単純に自動車で使用したエネルギー（Tank-to-Wheel）を比較するのではなく 1 次エネルギー生成過程における消費エネルギー（Well-to-Tank）までを考慮した評価指標である Well-to-Wheel(WtW) に換算したもので比較する必要がある。本研究では参考文献 [32] の値を用いて、ガソリンの WtT 係数は 41.5[MJ/L]、電力の WtT 係数は 9.0[MJ/kWh] を用いた。この値に燃料消費量、消費電力量を乗じて比較を行う。

図 11 は高速道路区間約 10km（赤色）と一般道区間約 10km（青色）の走行時のエネルギー消費量の比較を行ったグラフである。縦軸が各区間を通過するのに消費したエネルギー消費量であり、横軸が経過時間を示す。グラフの点は各区間の 1 回の走行におけるエネルギー消費量と経過時間を示し、丸い点が CAN データのガソリン流量から算出した ICV のエネルギー消費量、三角の点が ECOLOG 推定値により算出した EV に置換えたときのエネルギー消費量を示す。

青色の点は一般道区間における比較であり、EV では渋滞などにより経過時間が増えてもエネルギー消費量に差は生じないが、ICV においては時間がかかるほどエネルギーを多く消費する傾向がある。赤色の点は高速道路区間における比較であり、EV は速度を出して経過時間が短くなるほどエネルギー消費量が多くなるのに対し、ICV は経過時間が短くなるほどエネルギー消費量が少なくなる傾向がある。EV が経過時間が短くなると空気抵抗による消費エネルギーの影響が大きくなるためと考えられる。これらから ICV から EV に置換えたときの効果は一般道のような速度域の低い道路や渋滞においては効果は大きいですが、高速道路のような速度域が速い道路では効果が小さい傾向が散在することが確認された。またこのグラフにおいてはエアコン・電装品のエネルギー消費量を考慮していない。これらのエネルギー消費量は時間に比例して増加するため、エアコンの影響の大きい冬場では渋滞などで大きく時間がかかった場合エネルギー消費量が増加することも考えられる。

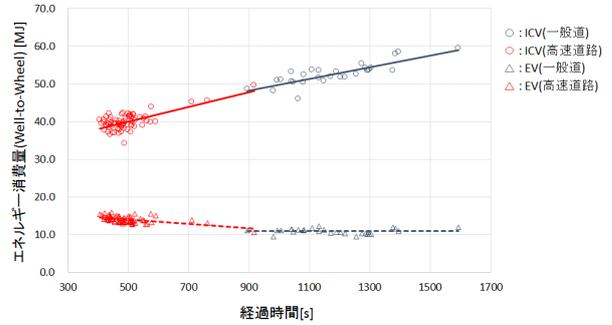


図 11 EV と ICV との比較

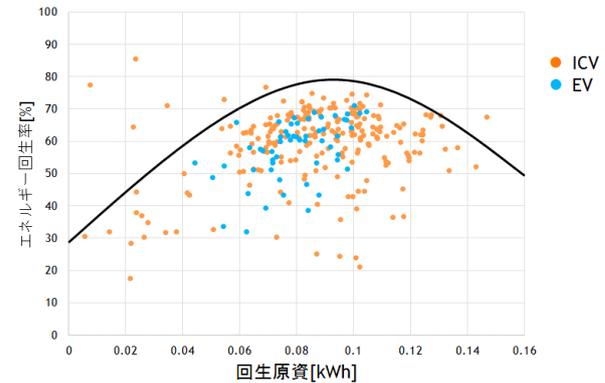


図 12 高速道路の IC における回生ブレーキ傾向

### 5.3 EV の回生ブレーキ傾向

EV の特徴として回生ブレーキが存在する。EV のブレーキには回生ブレーキと摩擦ブレーキの 2 種類があり、なるべく回生ブレーキを用いて減速することで効率の良い運転をすることが可能となる。摩擦ブレーキは回生ブレーキ以上の大きな減速が必要なときと、回生する電力が小さい停止寸前における減速で用いられる。この回生ブレーキについて高速道路 IC から一般道へ降りるときの回生ブレーキの傾向を検証する。この地点では高速道路での速度が速い状況から赤信号で停止するためにブレーキを行う必要がある。ここでは自動車を持つ運動エネルギーと位置エネルギーの総和を回生原資と定義し、その回生原資のうち回生エネルギーとして回生された割合をエネルギー回生率と定義する。同一の区間では位置エネルギーの変化が一定であるため、回生原資は速度に依存する。

図 12 の横軸は高速道路を降り始めたときの自動車を持つ回生原資を示し、縦軸は停止するまでのエネルギー回生率を示す。橙の点は ICV、青の点は EV の走行データから ECOLOG 推定を行ったものである。回生原資が 0.08~0.1kWh のところで回生率が最も大きくなる。回生原資が大きいつきは大きな減速をするために摩擦ブレーキを用いられるため回生率が小さくなり、回生原資が小さいときは停止時の摩擦ブレーキの比率が大きくなるため回生率が小さくなる。こうしたデータを集めることにより EV に適したブレーキ傾向を知ることができる。

## 6. まとめ

本論文では既存の自動車の走行ログから EV に置換えたとき

の効果を測れる ECOLOG システムの概要とその長期的な運用と精度評価について述べた。我々はこのシステムを 2 年半運用しデータを蓄積してきた。蓄積した結果として ECOLOG レコードの数は約 580 万レコードを収集し、データ量としては約 800MB であった。また、センサ値を含めたデータベース全体のデータ量は約 100GB であった。これは個人や数人レベルのデータを数 TB 程度の容量で負荷なくデータの蓄積、管理を行えるデータ量である。また、精度評価実験として ECOLOG システムの EV モデルの ECOLOG 推定値と CAN データの計測値の比較、EV に置換えたときの効果の定量化として ICV の CAN データと ECOLOG 推定値の比較と V2B の効果検討を行った。今後の課題として速度や斜面など走行状況ごとに検証を行い、より細かい精度評価を行うことと V2B に関する見積もりを再生可能エネルギーなども考慮してシミュレーションを行っていく。

謝辞 本研究の一部は公益財団法人日産財団研究助成による。また、横浜国立大学大学院環境情報研究院平成 25 年度共同研究推進プログラム「再生可能エネルギーの生産と消費のスマートな連携に向けた情報システムの構築」による。

## 文 献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁, “エネルギー白書 2013”, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013/>, 参照 Jan 9, 2014.
- [2] 廣田 幸嗣, 小笠原 悟司編著, 船渡 寛人, 三原 輝儀, 出口 欣高, 初田 匡之著, 電気自動車工学, 森北出版, 東京, 2010.
- [3] International Energy Agency, “EV CITY CASEBOOK”, 2012.
- [4] 日産自動車, “日産リーフ Web カタログ”, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>, 参照 May 21, 2013.
- [5] 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 高木 雅昭, 岩船 由美子, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦, “車種別パターンを考慮したプラグインハイブリッドと電気自動車の導入評価”, エネルギー・資源学会論文誌, vol.31, no.6, pp.7-15, 2010.
- [6] 内田 晋, “電気自動車の電費から燃費への換算とその東日本大震災による影響”, エネルギー・資源学会論文誌, vol.32, no.6, pp.14-18, 2011.
- [7] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, Journal of Power Sources, vol.144, pp.268-279, 2005.
- [8] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy”, Journal of Power Sources, vol.144, pp.280-294, 2005.
- [9] S. Kamboj, W. Kempton, K.S. Decker, “Deploying Power Grid-Integrated Electric Vehicles as a Multi-Agent System”, In Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2011), pp.13-20, 2011.
- [10] B. Jansen, C. Binding, O. Sundstrom, D. Gantenbein, “Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant”, 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications 2010 (IEEE SmartGridComm 2010), pp.149-154, 2010.
- [11] 太田 豊, 谷口 治人, 中島 達人, K.M. Liyanage, 馬場 旬平, 横山 明彦, “ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの提案 - 電気自動車の自律分散型 Vehicle-to-Grid-”, 電学論 B, vol.130, no.11, pp.989-994, 2010.
- [12] 日産自動車, “LEAF to Home”, <http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>, 参照 May 21, 2013.
- [13] M. Zhanikeev, H. Watanabe, “A Model and Simulation of

- EV Use in Environments with V2H and Battery Replacement Infrastructure”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [14] Y. Zhang, W. Wang, Y. Kobayashi, K. Shirai, “Remaining Driving Range Estimation of Electric Vehicle”, 3rd IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC2012), pp.1-7, 2012.
- [15] M. Martinez, A. Gardel, A.M. Wefky, F. Espinosa, J.L. Lazaro, I. Bravo, P. Revenga, “Electric Vehicle Consumption Estimation based on Heuristics and MLP Artificial Neural Network”, European Electric Vehicle Congress (EEVC), pp1-7, November. 2012.
- [16] E. Ishii, M. Yoshida, “Development of an EV simulator for estimating electric energy Consumption using running resistances varying by location”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [17] M. Ito, T. Shimoda, K. Maema, “Prediction Method of Cruising Range using Probe Data for Electric Vehicle”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [18] 久村 春芳, “スマートグリッドと連携した電気自動車 (EV) の技術動向”, 情報処理, vol.54, no.4, pp.310-315, 2013.
- [19] V. Manzoni, A. Corti, P.D. Luca, S. M. Savaresi, “Driving Style Estimation via Inertial Measurements”, 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2010), pp.777-782, 2010.
- [20] 森川 高行, 山本 俊行, 三輪 富生, 王 立暁, “動的経路案内システム「PRONAVI」の開発と性能評価実験”, 交通工学, vol.42, no.3, pp.65-75, 2007.
- [21] 八木 浩一, “加速度センサを用いた路面段差検出手法の改善と東北地方太平洋沖地震後の観測データへの適用”, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011, 1-A-05, 2011.11.
- [22] 佐藤 雅明, 和泉 順子, 松井 香奈, 上田 憲道, 植原 啓介, 村井 純, “スマートフォンを活用したプローブ情報システムの構築”, 第 12 回インターネットテクノロジーワークショップ, 2011.
- [23] J. Paefgen, F. Kehr, Y. Zhai, F. Michahelles, “Driving Behavior Analysis with Smartphones: Insights from a Controlled Field Study”, Proceedings of the 10th ACM SIGMOBILE Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM'12), Ulm, Germany, December 2012.
- [24] 三井住友海上, Google play スマ保『運転力』診断, <http://www.ms-ins.com/sumaho/untten.html>, 参照 Feb 7, 2013.
- [25] 出口 達, 出縄 誠, 富井 尚志, “電気自動車の運転ログを用いた多様な状況提示システムの実装と評価”, 第 11 回 ITS シンポジウム 2012, 2-C-01, 2012.
- [26] 笹田 尚希, 萩本 真太郎, 林 拓也, 讃井 峻, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB のモデル構築と V2X 効果推定”, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), E2-1, 2013.
- [27] 出縄 誠, 出口 達, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB を用いた多様な可視化システムと運転状況に基づく情報の提示”, 日本データベース学会論文誌, vol.12, no.1, pp.127-132, 2013.
- [28] T. Tomii, S. Hagimoto, N. Fueda, T. Deguchi, M. Idenawa, T. Hayashi, “Long-Term Experiment of the Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [29] 国土地理院, “数値地図 2500 (空間データ基盤)”, <http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dm2500sdf/>, 参照 May 21, 2013.
- [30] Turbo3, Google play Leaf Spy Pro, [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf\\_Spy\\_Pro](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf_Spy_Pro), 参照 Feb 14, 2014.
- [31] PLX Devices Inc., “PLX Kiwi Bluetooth”, [http://www.plxdevices.com/product\\_info.php?id=GSSTBLUETOOTH](http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=GSSTBLUETOOTH), 参照 Jan 9, 2014.
- [32] 水素・燃料電池実証プロジェクト総合効率検討作業部会, “総合効率と GHG 排出の分析報告”, 2011, <http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/2010/pdf/result.pdf>, 参照 Feb 14, 2014.