DEIM Forum 2015 C3-5

車載センサを用いたEVエネルギー消費ログDBの精度検証

讃井　峻†　吉本　亘汰†　柏原　勇太††　川沼　大輝††　萩本真太朗†
富井　尚志†††

† 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
†† 横浜国立大学理工学部数物・電子情報工学科　〒240–8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5
††† 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:
†{sanui-ryo-xn,yoshimoto-kota-cg,kashiwabara-yuta-zv,kawanuma-daiki-yx,hagimoto-shintaro-tw}@ynu.jp,
††tommy@ynu.ac.jp

あらまし　環境に配慮したモビリティとして電気自動車（EV）が挙げられるが，EV はバッテリーを搭載していることからスマートグリッドでの応用が期待されている．このためには EV からどれくらい電力を取り出せるか把握する必要がある．そこで我々は既存の自動車の走行ログから，仮に EV に置き換えた際の走行エネルギー量を推定・蓄積するデータベースを構築した．本研究では評価のために実車 EV を用いて EV のバッテリー消費量を約 1 年に渡って収集した．これらを正解データとして，推定されたエネルギー量の精度検証を行う．本研究の成果として，長期に渡るライフログがスマートグリッド実現のための事前評価に有用であることを示す．

キーワード　センサデータベース, スマートグリッド, ライフログ, エネルギー

1. は じ め に

近年，温室効果ガスの排出量増加による地球温暖化，化石燃料の枯渇といった問題が発生し，省エネへの要求が高まっている．現在日本におけるエネルギー消費量のおよそ 4 分の 1 が運輸部門から，またそのおよそ 9 割が道路交通分野であることから，道路交通分野からの省エネが必要とされている [1]．省エネを実現する媒体として電気自動車 (EV) が挙げられる [2]．EV はガソリン車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 は移動としての役割のほか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が可能である．EV を利用した省エネの手段として，運転に使用しない余剰電力を他の場所に提供する V2X(Vehicle to X) が考えられている．V2X の形の 1 つとして，事業所に集まった数台～数十台の EV から電力を取り出して事業所で利用する V2B(Vehicle to Building) がある．V2B では，夜間に充電した電力を日中のピーク時に利用することで電力のピークシフトを図ることができる．しかし，事業所に集まってくる個々の EV はそれぞれ運転状況が異なるため，各 EV から取り出せる電力量の最適値を知ることはできない．

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，さらに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の問題による．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，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は行えない．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ている．これらのデータはカーナビ等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されている．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のには向いていないことが挙げられる．

これを解決する手段として，現在乗っている自動車の個人運転状況のデータログを基にして，もし仮に EV に置き換えた場合の細かいエネルギー消費状況を推定することを我々は考えた．その方法として自動車に搭載した簡易なセンサから得た走行ログを蓄積するデータベースを構築し，EV のエネルギー消費モデルを基に走行エネルギーを推定した [3,4]．

2. 研 究 背 景

2.1 EV と V2X

EV はバッテリーを搭載し，モータによって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 のバッテリー容量を持ち，最大 228km の走行が可能とされる [5]．EV の特徴としては，Well-to-Wheel の観点で比較した場合の燃料コストがガソリン車に比べて低いことや，走行時に二酸化炭素を排出しないことが挙げられ，今後の普及が期待されている [6,7]．

また，EV に搭載されたバッテリーに充電した電力を電力網 (Grid:V2G) や家 (Home:V2H)，ビル (Building:V2B) に提供する V2X という技術が注目されている．Kempton らは V2G をアメリカ電力市場に投入した際にどの程度の効果と利益が得

られるのかの検証を行った [8,9]．Jansen らは既存の電力網に V2G を投入した際に V2G が果たす役割について論じた [10]．太田らは EV を家庭の電力網に接続することで，再生可能エネルギーのような不安定な電源の補助として活用できることを検証した [11]．また日産自動車が LEAF to Home [12] として，V2H の製品化を行った．

しかし，V2X の実現のためにはバッテリーの余剰電力を事前に把握しておく必要がある．その中でも EV に搭載されるバッテリー容量の小ささは EV の普及においても問題とされている．この問題に対して，Zhang らは残余走行距離推定を計算資源を節約しながらも達成する手法を提案した [13]．Martinez らは重要課題に掲げ，運動方程式を用いるのではなく人工ニューラルネットワークを用いて EV の消費エネルギー推定モデルを構築した [14]．これらのことから EV のエネルギー消費量の推定は重要な課題であるが，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あり，これらに関しては官民が協力して解決するべき課題であるといえる [15,16]．

2.2　センシング技術とライフログ

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．これによってユーザの負担なく日常行動のセンシングデータを記録・蓄積するライフログの収集が実現されている．

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一つのセンサとして情報収集を行う「プローブカーシステム」に関する研究が行われている．Manzoni ら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，運転者別や時間帯別でエネルギー消費に差があることを確認した [17]．森川ら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 [18]．秦らは新潟県中越沖地震において，プローブカーのリアルタイム情報を用いた「通れた道路マップ」を実際に試験提供することで，プローブカー情報を減災目的に利用した [19]．Ito らは大量に収集した EV の消費エネルギーのデータを道路の特性で集約し，航続距離の推定に用いるモデルを提案した [20]．

近年では，このような GPS や加速度センサを搭載したスマートフォンが身近なデバイスとなった．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日常的に取得することが可能になった．八木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 [21]．佐藤ら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 [22]．

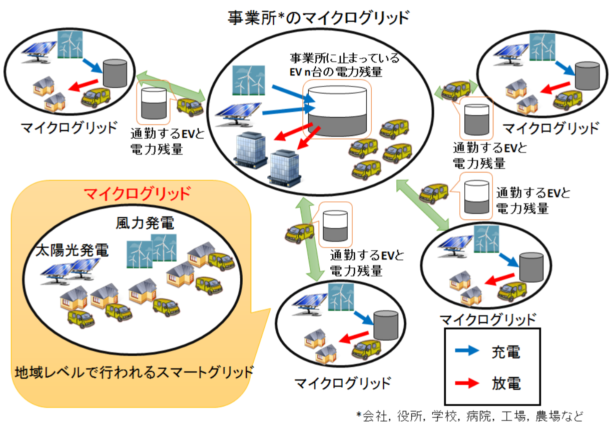


図 1　想定環境概略

2.3　Controller Area Network

CAN は複数の電子制御装置 (Electronic Control Unit:ECU) 間で通信を行う車載ネットワーク用に開発されたシリアルバス通信規格である．ドイツの Robert Bosch 社によって開発され，現在では国際規格 (ISO11898 [23] および ISO11519 [24]) として，ほぼすべての自動車に採用されている．

各自動車メーカーはテレマティクスサービスによって CAN データを収集し，様々な情報を提供している．トヨタ自動車が提供する T-Connect [25] は，月別，日別の平均燃費，エコ運転スコア，燃費ランキングといった情報を表示する．本田技研工業のインターナビ [26] でも同様のサービスを受けることができる．日産自動車のカーウイングスではリーフ専用のサービスとして,「みんなの消費電力」[27] の提供を行っている．これはカーウイングスデータセンターに蓄積されている走行データを統計処理し，出発地から目的地までの間に記録された消費電力量の最大値，最小値，平均値などを表示するサービスである．以上のように各社から CAN データを用いたテレマティクスサービスが提供されているが，限られた車種やナビゲーションシステムにしか対応していない．

現在では CAN バス上を流れるデータを個人で容易に取得する手段が確立されている．車載式故障診断（OBD:On Board Diagnosis）システムのインタフェースを利用し，スマートフォンなどの外部機器と車載ネットワークを接続することで，CAN データを記録することが可能である．CAN バスを流れるデータはメーカや車種によって異なるが，ICV なら燃料噴射量，EV ならバッテリー残量といったデータから消費電力量を計算することができる．

2.4　想 定 環 境

想定する環境の概略を図 1 に示す．一般家庭に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電施設を備えた小さなスマートグリッド（マイクログリッドと定義する）が存在する [28]．各家庭には V2H が備わっており，駐車している EV との間で電力の充放電が可能となる．各マイクログリッドでは EV を用いて電力ピークの制御や再生可能エネルギーの安定化を行う．事業所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．事業所がマイクログリッドを構築することで，一般家庭から通勤する EV は事業所と家庭のマイクログリッド間を行き来する電力の運び手であると考えることができる．

このような状況下で，新たな事業所がマイクログリッドの構築を検討する場合を考える．事業所の意思決定者は，導入の目的である電力制御が自身の環境でどの程度効果が見込めるのかを見積もる必要がある．そのために，現在使用している自動車の日常的な運転ログデータを活用し，事業所に止まっている多数の自動車をもし仮に EV に置換えた際に事業所側に提供できる総電力量を事前に見積もりたい．すなわち本研究では，マイクログリッドにおける V2B 環境を想定し，ライフログを用いて効果を事前予測することを目標とする．

このシナリオには電力売買の精度やプライバシー保護の問題など多岐に渡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．

2.5 本研究が解決すべき課題

2.2 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段が主流である．しかし，運転の振り返りや多様な分析を後から行うために，これらのデータ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で手に入るようになったため，これらのデータを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，ライフログを用いて EV の問題点を解決することを提案してきた．具体的には，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，データベースに蓄積・検索するシステムを ECOLOG システム (Energy COnsumption LOG) として運用してきた [3,4,24～27]．ECOLOG システムを運用することで，現在乗っている自動車で収集した運転ログから事業所の駐車場に止まっている車をもし仮に EV に置き換えた際に事業所に提供できる電力量の事前見積もりが可能となる．

本研究の目標はこの ECOLOG システムにおけるライフログを用いて EV の消費エネルギーを推定することに対してその推定精度検証を行う．EV の消費エネルギーの要因は走行によるもの，電装品によるもの，エアコンによるものに大別される．電装品による消費エネルギーは EV の総消費エネルギーに対して小さいので評価の対象外とする．またエアコンによる消費エネルギーはすでに評価済みである [32]．本論文ではこれらの総和である EV の総消費エネルギーの推定精度評価を行う．

我々の最終目標は既存の自動車から取得したライフログを用いて EV に置き換えた場合の消費エネルギーを推定し，図のようなスマートグリッドの環境下で V2B の効果を事前に検討することである．V2B の効果を検討するにあたって，EV が通勤で消費するエネルギーを把握することが重要である．したがって最終的に EV の総消費エネルギーの推定精度の評価を行う．

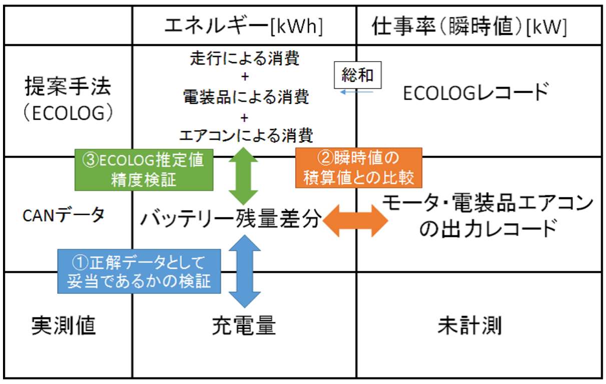
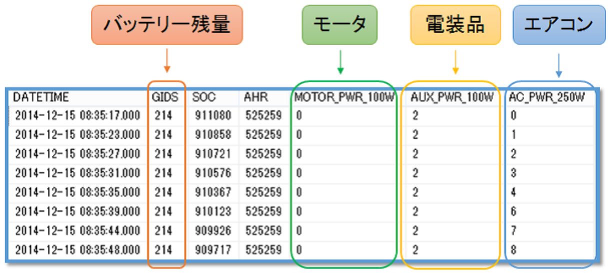


図 2　本研究で用いるデータの種類



DATETIME	GIDS	SOC	AHR	MOTOR_PWR_100W	AUX_PWR_100W	AC_PWR_250W
2014-12-15 08:35:17.000	214	911080	525259	0	2	0
2014-12-15 08:35:23.000	214	910858	525259	0	2	1
2014-12-15 08:35:27.000	214	910721	525259	0	2	2
2014-12-15 08:35:31.000	214	910576	525259	0	2	3
2014-12-15 08:35:35.000	214	910367	525259	0	2	4
2014-12-15 08:35:39.000	214	910123	525259	0	2	6
2014-12-15 08:35:44.000	214	909926	525259	0	2	7
2014-12-15 08:35:48.000	214	909717	525259	0	2	8

図 3　LeafSpy で収集した CAN データ

3. CAN データの収集

前提条件として，どのような種類のデータを収集したかについて説明する．

3.1 実車 EV を用いた CAN データの取得

本研究で用いるデータの種類を図 2 に示す．EV モデルの精度評価を行うために EV の CAN データを用いた．実験用 EV として日産 LEAF(ZAA-ZE0 型) を用いた．CAN データの取得には Android アプリの Leaf Spy Pro [34] と ODB2 接続用の Bluetooth 通信端末として PLX Devices Kiwi Bluetooth Wireless Trip Computer and ODBII Scanner [35] を使用してデータ取得を行った．このアプリを用いてバッテリー残量 (注1) ため，次のような単純な加算で求めることができる．[kWh] とモータ，電装品，エアコンの瞬時値 [kW] を収集した．収集したデータを図 3 に示す．また EV を充電する際の充電量を電力計を用いて測定した．

図 2 で示したそれぞれのデータを用いて以下の 3 つの検証を行う．

① CAN から取得されたデータが正解データとして妥当であるかの検証

② 瞬時値の積算値との比較

③ ECOLOG 推定値の精度検証

なお ③ については 5 章で詳しい検証を行う．

3.2 CAN データの検証

まず前提として正解データを定義する必要がある．① によって LeafSpy によって取得された CAM データが正解データとし

(注1)：LeafSpy [34] の仕様にしたがってバッテリー残量の属性地を次の係数によって変換した．1[Gids]=0.0775[kWh]

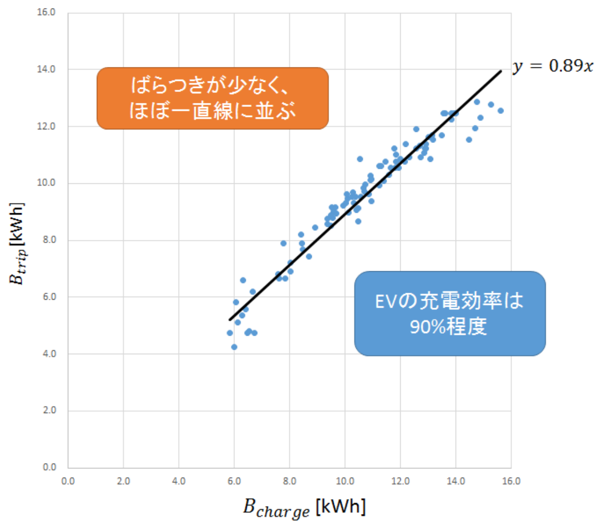


図 4　充電量と CAN から取得したバッテリー残量の比較

図 5　CAN の瞬時値データ

て妥当であるかの検証を行う．具体的には LEAFSpy を用いて取得された CAN データのうち，運転開始前のバッテリー残量属性値 B_{start}[kWh] と運転終了時のバッテリー残量 B_{end}[kWh] を読み取り，その差を B_{trip}[kWh] とする．また運転終了後に充電した時の充電量を B_{charge}[kWh] とする．これらの間に相関があるかを検証するため B_{trip} と B_{charge} の比較を行った．結果を図 4 に示す．横軸 x は B_{charge}，縦軸 y は B_{trip} を表している．グラフより B_{charge} と B_{trip} の間の相関係数は 0.89 となった．この場合における相関係数は充電効率を表している．一般的に EV の充電効率は 90% 程度 [36] とされているので，この相関は妥当であると考えられる．

次に ② によって瞬時値の積算値が消費エネルギーと一致するかどうかの比較を行う．瞬時値として図 3 の項目のうち，モータ，電装品，エアコンの 3 項目の和 [kW] を用いた．ここで，取得された瞬時値は図 5 に示すように 4〜5 秒の間隔で出力されている．このデータを図 6 に示すように線形補間し，1 秒間隔にリサンプルされるデータに変換した．線形補間をした瞬時値の積算値 E_{Linear} と B_{trip} の比較を行った．結果を図 7 に示す．横軸は線形補間された瞬時値の積算値，縦軸は B_{trip} を表している．2 つの間に相関は見られずプロットが大きくばらついていることが示された．この結果より，LeafSpy で収集した瞬時値の積算値は正解データとして扱うには不適であると考えられる．したがって，本論文における正解データは CAN から取得したバッテリー残量を用いることとする．

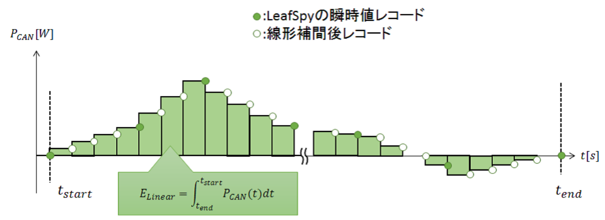


図 6　線形補間後の瞬時値データ

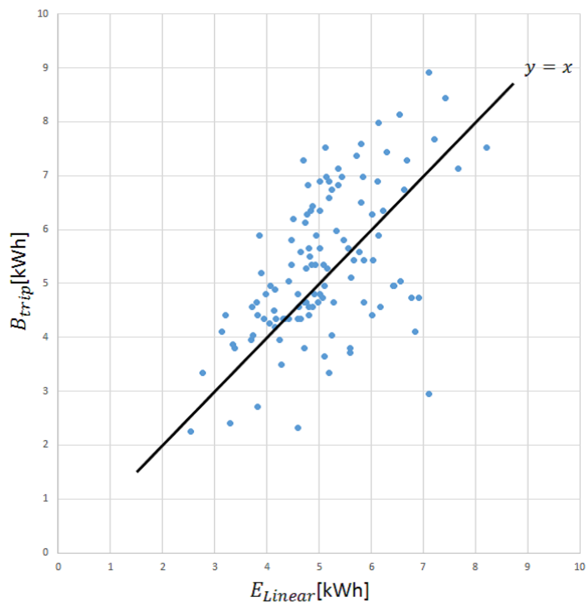


図 7　瞬時値の積算値とバッテリー残量の比較

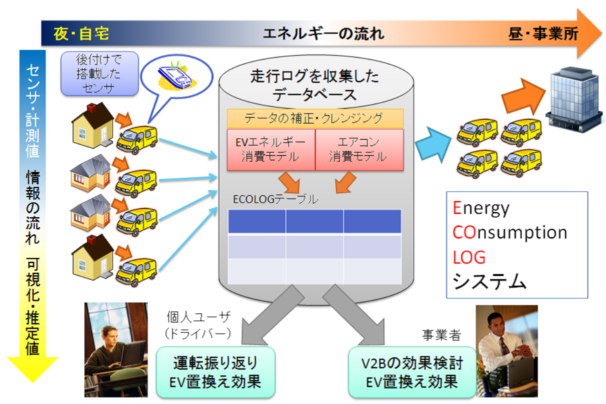


図 8　ECOLOG システムの全体像

4.　ECOLOG システム

本研究で開発したシステムの全体像を図 8 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 エネルギー消費モデルを適用して，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

表 1　運動方程式のパラメタ

パラメタ	単位	意味	取得方法
g	m/s^2	重力加速度	定数
ρ	kg/m^3	空気の密度	定数
μ		転がり抵抗係数	定数
C_d		空気抵抗係数 (CD 値)	カタログ値
A	m^2	車両前面投影面積	カタログ値
M	kg	車両重量	カタログ値
θ	rad	坂路勾配	地図データから
A_x	m/s^2	加速度	加速度センサから
v	m/s	自動車の走行速度	GPS から算出

とするデータベースを構築し，EV エネルギー消費ログを蓄積する

（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 EV の消費エネルギー推定モデルについて説明する．

4.1　EV モデルによる消費エネルギー推定

EV のエネルギー消費には走行に消費されるエネルギー，カーナビなどの自動車内の電装品に消費されるエネルギー，エアコンに消費されるエネルギーに分けられる．EV はガソリン自動車 (ICV) やハイブリッド自動車 (HV) に比べて内部構造が簡易であるため，走行のために消費される電力エネルギーは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 [3] に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．これを EV モデルと呼ぶ．

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．

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

(1) における各パラメタを表 1 に示す．出力 $F_d(t)$ に対して速度 $v(t)$ と変換効率 η を乗じて電力 $P_e(t)$ を求める．

$$P_e(t) = \frac{F_d(t) \times v(t)}{\eta(v(t), F_d(t))} \tag{2}$$

$P_e(t)$ を時間積分することで電力量 E_e が求まる．

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

(2),(3) 式を基に EV の消費電力（瞬時値）とエネルギー消費について以下に説明する．

- EV の消費電力

EV の電力消費について説明する．図 9 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 9 では加速時に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回生したが，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存在する [32]．

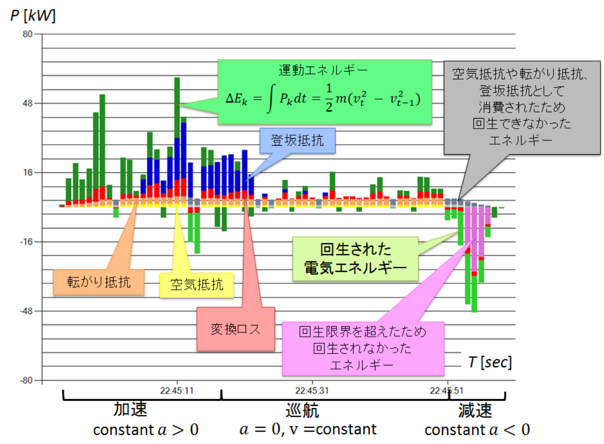


図 9　EV の電力消費モデル

- EV のエネルギー消費モデル

図 10 に往復トリップ全体のエネルギー消費量を示す．このグラフは瞬時値と積算したものを示しており，最終的に EV がエネルギーロスした要因によって色分けされている．先ほどの図 9 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回生される．したがって，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（赤色），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．これら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の変更によってコントロールすることは難しい．しかし，たとえば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へらすことができるエネルギーである．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につながると考えられる．

4.2　ECOLOG データベース

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の消費量の計算 (式 (3)) を次に示す単純な加算集約により計算する．

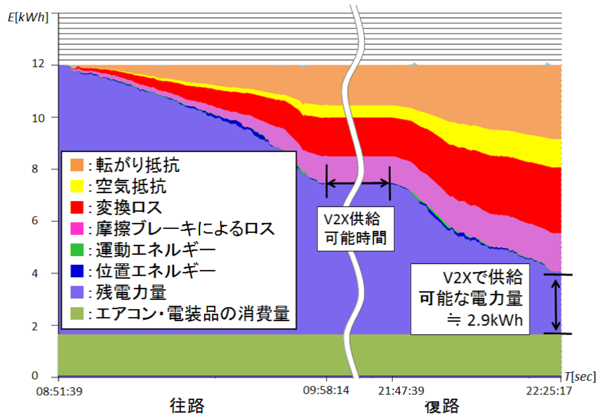


図 10　EV のエネルギー消費モデル

$$E_e = c \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} P_e(t)\Delta t \qquad (\text{ただし}\Delta t = 1sec) \qquad (4)$$

ECOLOG テーブルに蓄積される主なデータ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，地図データからの標高，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が含まれる．

ECOLOG データベースのスキーマ図を図 11 に示す．ECOLOG テーブルは検索キーとしてドライバー，車種，トリップが利用可能である．地図情報として交差点から交差点までを定義した道路リンクに関するデータも蓄積する．さらに，ドライバにとって有意なデータ集計を行うため，意味を持つ区間の道路リンク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．リンクデータは国土地理院の“数値地図 2500（空間データ基盤）”[33] を利用した．

4.3　実車を用いた長期データ取得

我々は ECOLOG システムを長期に渡り運用してきた．長期運用結果を表 2 に示す．第 1 期ではプロトタイプのセンサとして加速度センサロガー WAA-010(wireless-T 社製) と GPS ロガー 747Pro(Transystems 社製) を用いて GPS，加速度センサログを収集した．第 2 期では運転者に負担をかけずにデータを収集するために，タブレット型 PC　REGZA Tablet AT570(TOSHIBA 社製) を用いてデータ収集を行った．第 3 期はでは，被験者を増やし V2X の効果検証や運転者ごとの比較を行えるデータを収集した．第 3 期の途中から並行して精度検証のためのデータとして実車の EV を用いたデータ取得を行った．その結果，2011 年 7 月から 2015 年 1 月までの 3 年半の期間で 2829 本のトリップ，約 820 万の ECOLOG レコードを取得した．

1 名の被験者に関して約 3 年半，さらに 2 名の被験者を追加して約 2 年の継続的な通勤往復時データの収集を行った．このため，同一のルートに関して多数のデータが蓄積され，地点や時間ごとなどの様々な観点における集約，検索が可能となる．また，約 3 年半で集めた ECOLOG レコードのデータ量は 1.7GB であり，センサの生データなどを全て含めたデータ量は約 120GB であった．この結果から個人や数人規模のデータを蓄積する場合ならば，数 TB 程度のデータ容量で十分にデータを蓄積・管理が可能であると考えられる．

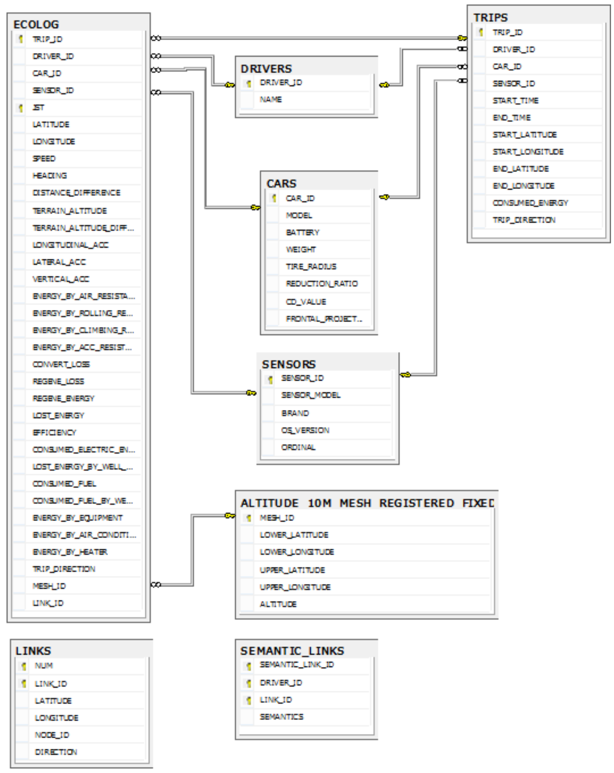


図 11　データベーススキーマ

5.　実 EV を用いた精度評価実験

実車の CAN で取得したデータを基として EV モデルでの消費エネルギーの推定精度を検証するために実際に EV を用いて実験を行った．データ収集のための計測条件を表 3 に示す．本章では図 2 の ③ に示す EV の総消費エネルギーの推定精度検証を行う．

3 章で述べた通り，EV のエネルギー消費は走行によるもの，電装品によるもの，そしてエアコンによるものに大別される．本研究の最終的な目標はこれらの総和であるトータルでの消費電力量を推定することにある．そこで本節ではトータルでの消費電力量の精度評価について考察する．

具体的には 3 章で述べた実車の EV の CAN データのバッテリー残量を正解データとし，推定値との比較を行った．精度評価の対象期間は表 3 に示す通りエアコンを使用した冬の期間における往復トリップ 94 件とした．実験結果を図 12 に示す．図 12 は 1 日の往復トリップデータ 94 件を 1 日の走行で消費した電力量として比較したものである．縦軸 y は構築したモデルによる往復トリップ全体の総消費電力量，横軸 x は 3 章で述べた EV の CAN データのバッテリー残量から算出した消費電力量 B_{trip} を示す．棒グラフの緑色の部分が EV モデルによ

表 2　ECOLOG システムの長期運用結果

	第 1 期 2011/07/12-2012/06/07	第 2 期 2012/06/08-2012/09/22	第 3 期 2012/09/23-2014/01/23	第 3 期の EV 2013/06/24-2014/01/23
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
被験車両	ICV	ICV	EV,ICV,HV	EV
レコード数	1,065,358	362,232	6,820,503	2,236,983
トリップ数	339	110	2,380	942
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

表 3　計 測 条 件

項目		条件
日程		2013 年 11 月 11 日～2014 年 04 月 15 日 2014 年 11 月 04 日～2015 年 01 月 23 日
使用車両		日産 LEAF ZAA-ZE0 型（タイプ G）
被験者		1 名
EV 利用状況		通勤トリップ
トリップエリア		神奈川県内の一般道 および自動車専用道路
充電状態		概ね 80% 充電
空調設定		25 ℃オートエアコン
走行条件	往路	約 30km，1 時間程度
		一般道約 75%，定常的渋滞有
		高速道約 25%，概ね 70km/h
	復路	約 25km，40 分程度
		一般道約 50%，比較的流れは良い
		高速道約 50%，70km/h～80km/h
走行ログ 取得端末		Android タブレット端末 REGZA Tablet AT570
CAN データ 計測方法		Android アプリ “Leaf Spy Pro” [34] によるデータロギング機能を利用
収集データ		往復トリップ数 94 件

る走行に使用した消費電力量，橙色の部分が電装品による消費電力量，青色の部分がエアコンの消費電力量を示す．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が消費すると推定した．エアコンの消費電力量はCAN データから収集したエアコン出力を教師データとした機械学習を用いて推定した [32]．図 13 は図 12 を省略した散布図である．図 12，図 13 の 1 日の往復トリップでは y と x の間には $y = 0.97x$ の相関が得られた．また，推定消費電力量とバッテリー残量から算出した消費電力量の差の標準偏差 σ は $0.67kWh$ となった．計測された総消費電力量のマジョリティである $10kWh$ 付近での $\pm 2\sigma$ の範囲の推定誤差は 13% 程度であることが示された．したがって，提案手法である ECOLOG システムは 1 日の消費電力量において相関があることを確認した．

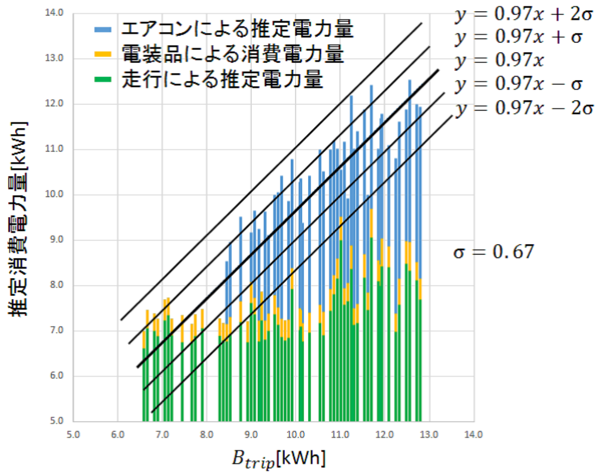


図 12　推定電力量と CAN データの比較 (内訳あり)

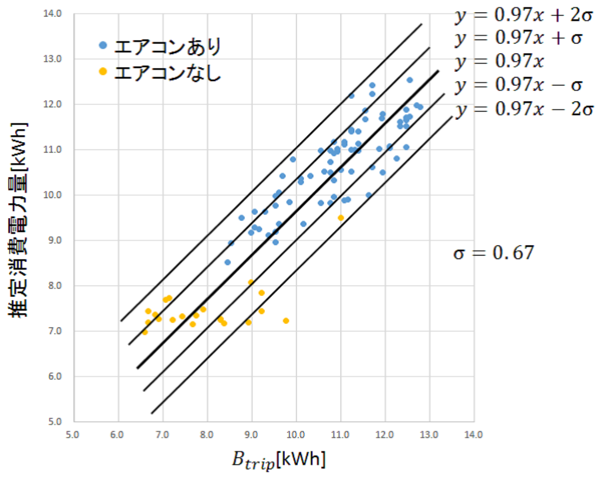


図 13　推定電力量と CAN データの比較

6. ま と め

本論文では既存の自動車の走行ログから EV に置き換えた際の消費エネルギーを推定し，その推定精度評価について述べた．我々は精度評価のために実 EV を用いて CAN データを 1 年集めてきた．収集した CAN データが正解データである妥当性を示した．本研究の結論として，ECOLOG システムによる EV の消費エネルギーの推定精度は正解データとの比較により ±13% 程度の誤差であることが示された．今後の課題として，複数人の被験者による実験を行い，精度評価を行っていく．また誤差の原因の検討していくとともに，モデルの改善を行い推定精度を上げていく．

謝　　辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (26330358) および横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究プロジェクトの助成による．また、公益財団法人日産財団研究助成（2011～2012 年）の支

援により着想を得た．

文　献

[1] 経済産業省資源エネルギー庁エネルギー白書 2014, http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014pdf/

[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, 2010.

[3] T. Tomii, S. Hagimoto, N. Fueda, T. Deguchi, M. Idenawa, T. Hayashi “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.

[4] 萩本 真太朗, 出縄 誠, 林 拓也, 讃井 崚, 富井 尚志, 本藤 祐樹, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の長期運用と精度評価”, 第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), A2-5, 2014.

[5] 日産 LEAFWeb カタログ, http://ev.nissan.co.jp/LEAF/, 参照 Jan 6, 2015

[6] 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ト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.

[7] 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.

[8] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals:Calculating capacity and net revenue”, Journal of Power Sources, Vol.144, No.1,pp.268-279, 2005.

[9] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy” , Journal of Power Sources 144, pp.280-294, 2005.

[10] B. Jansen, C. Binding, O. Sundstrom, D. Gantenbein, “Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant”, 1st IEEE Int’l Conf. Smart Grid Communication(SmartGridComm2010), pp.149-154, November, 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- ”, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol.130, No.11, pp.989-994, 2010.

[12] 日産 LEAF to Home, http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/, 参照 Jan 6, 2015

[13] 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.

[14] 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), pp.1-7, 2012.

[15] 経済産業省, “EV・PHV タウンベストプラクティス集”, http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/town/state/best_practice.html, 参照 Jan 6, 2015

[16] 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, vol54, no.4, pp.310-315, 2013

[17] V. Manzoni, A. Corti, P. De Luca, S. M. Savaresi, “Driving Style Estimation via Inertial Measurements”, 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC 2010), Madeira Island, Portugal, pp. 777-782, 2010.

[18] 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, May, 2007.

[19] 秦 康範, 鈴木 猛康, 下羅 弘樹, 目黒 公郎, 小玉 乃理子. “新潟県中越沖地震における通れた道路マップの提供とプローブカー情報の減災利用実現に向けた課題と展望”. 日本地震工学会論文集, Vol.9， No.2, pp. 148-159, 2009.

[20] M. Ito, T. Shimoda, K. Maema, ”Prediction Method of Cruising Range using Probe Data for Electric Vehicle”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.

[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.

[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] International Organization for Standardization. ISO 11898, road vehicles - interchange of digital information - Controller Area Network(CAN) for high-speed communication, 1993.

[24] International Organization for Standardization. ISO 11519, road vehicles- low-speed serial data communication, 1994

[25] トヨタ自動車. T-Connect. http://tconnect.jp/, 参照 Mar 13, 2015.

[26] 本田技研工業. インターナビ. http://www.honda.co.jp/internavi/, 参照 Mar 13, 2015.

[27] 日産自動車. みんなの消費電力. http://n-link.nissan.co.jp/MANUAL/EV/HOWTOUSE/MYPAGE01/energyusage.html

[28] H.Farhangi, “The path of the smart grid”, IEEE Power Energy Mag., vol.8, no.1, pp.18-28, Jan-Feb, 2010.

[29] 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

[30] 笛田 尚希, 萩本 真太朗, 林 拓也, 讃井 崚, 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.

[31] 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, pp127-132, 2013.

[32] 讃井 崚, 萩本 真太朗, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB における気象状況に基づく冬期エアコン消費電力量の推定と検証”, 第 12 回 ITS シンポジウム 2014, 2-2C-01, 2014.

[33] 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 Jan 06，2015.

[34] “Leaf Spy Pro”, Google Play, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf_Spy_Pro, 参照 Jan 6, 2015.

[35] PLX Devices Inc., “PLX Kiwi Bluetooth”, http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=GSSTBLUETOOTH, 参照 Jan 6, 2015.

[36] ニチコン. EV パワーステーション. http://www.nichicon.co.jp/new/new128.html 参照 Feb 13, 2015.