未知道路に対するEVの消費電力量推定システムの 実走行データを用いた評価

磯部 康太† 有長 拓海†† 植村 智明††† 齊藤 祐亮† 吉瀬 雄大††

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・電子情報系学科 〒 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学府情報環境専攻 〒 240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

†††† 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

††tommy@ynu.ac.jp

あらまし 本研究では、走行経験のない未知道路における電気自動車(EV)の消費電力量を事前推定するシステムを 構築した. EV で未知道路を電欠の心配なしに走行するには、事前に消費電力量に基づく走行計画を立てる必要があ る.提案システムでは、設定ルートを走行する際の最小・最大消費電力量を EV の走行シミュレーションから求める ことで、電欠になる可能性がある範囲を実走行せずに提示する.シミュレーションには、道路のデータと EV の基本 諸元のデータのみを用いる.これにより、ユーザの計画作成の支援を行う.本稿では、提案システムを用いて北海道 と神奈川の2つのルートにおいて走行実験を行った.結果、想定通り実走行の消費電力量は最小と最大の間に収まっ た.また、日々蓄積した EV の運転ログを利用し、走行区間を未知としてシミュレーションを行うことで、提案シス テムの精度検証を行う.

キーワード センサデータベース, 電気自動車, EV, 運転ログ, エネルギー, スマートフォン, データベース

1序 論

1.1 はじめに

近年,気候変動や化石燃料の枯渇が世界的な問題となり,世 界的にエネルギーの有効活用や CO₂ 排出量の削減が求められ ている [1]. それに伴い,電気自動車 (Electric Vehicle: EV) [2] の導入が世界的に進められている. EV は,Well-to-Wheel 換 算すると内燃機関自動車 (Internal Combustion Vehicle: ICV) より CO₂ 排出量が少ないという特長がある [3].また,走行時 に CO₂ を排出しないという点でも ICV よりも優位に立ってい る.日本では 2030 年までに自動車の販売台数の 30%をバッテ リー車やプラグインハイブリッド車にするという目標を掲げて いる [4].そのため,日本においても全ての自動車が急激に EV に置き換わることはないが,徐々に社会に普及していくことが 考えられる.

加えて、VGI(Vehicle-Grid Integration) [5] という考えも提 唱されてきている.従来の電力網は、発電設備から需要先へ一 方的に送電する形になっている.このため、夜間と昼間で電力 の需要が大きく異なることや、再生可能エネルギー発電を行う と発電量が時間によって大きく異なるという問題が存在してい る.これに対し、電力の需要が少ない時や発電が多い時に EV に充電し、需要が多い時や発電量が少ない時に EV から給電を



図 1 VGIの概要図(出典: 文献 [5] P.3)

行い, さらに EV で通勤や移動を行い, これらを情報技術で最 適化するのが VGI の仕組みである. (図 1)

1.2 先行研究と問題

EV の普及と EV が VGI へ応用可能であるという背景から, 我々は既存の ICV のログのみで EV の電費や VGI の効果などを 事前に見積る,という需要があると我々は考えた.これに対し, 先行研究として ECOLOG(Energy COnsumption LOG)シス テムを構築してきた [6]. ECOLOG システムではまず,ユーザ が既に乗っている ICV にスマートフォンなど,GPS を搭載し たセンサ端末を搭載し,ユーザの負担なく走行のログを収集す

タイムスタ	シプ 緯度	
(1秒ご。		
	/	
JS1	LATITUDE	LONGITUDE
2019-02-18 09:24:49.000	35.43249666666667	139.416526666667
2019-02-18 09:24:50.000	35.4325833333333	139.416505
2019-02-18 09:24:51.000	35.4326716666667	139.416491666667
2019-02-18 09:24:52.000	35.4327583333333	
2019-02-18 09:24:53.000	35.4328433333333	139.4 19 J JL
2019-02-18 09:24:54.000	35.4329283333333	139.4 =1秒間の走行ログ
2019-02-18 09:24:55.000	35.433035	139.4 10000000000
2019-02-18 09:24:56.000	35.433105	139.416326666667
2019-02-18 09:24:57.000	35.43317	139.416311666667
2019-02-18 09:24:58.000	35.4332333333333	139.416298333333
2019-02-18 09:24:59.000	35.4332916666667	139.416278333333
2019-02-18 09:25:00.000	35.4333416666667	139.41627
2019-02-18 09:25:01.000	35.433385	139.41626

凶2 正行ロク	図 2	走 行	ログ
---------	-----	-----	----

ロリエデルのタポニノタ

	衣 I EVモナ	ルの合ハ	ファダ
パラメタ	意味	単位	取得方法
g	重力加速度	$\rm m/s^2$	定数
ρ	空気の密度	$\rm kg/m^3$	定数
μ	転がり抵抗係数		定数
C.	空気抵抗係数		カタログ値
\mathbb{C}_d	(CD 値)		
A	車両前面投影面積	m^2	カタログ値
M	車両重量	kg	カタログ値
M_i	慣性重量	kg	定数
α	道路勾配	rad	地図データから [21]
v	自動車の走行速度	m/s	
η	変換効率		

る. これによって取得される走行ログは1秒ごとのタイムスタ ンプと緯度経度の座標の組となっている.(図 2)

ここで、EV は ICV と比較すると構造が単純であり、走行に おける消費エネルギーを以下の消費エネルギー推定モデル(以 降、EV モデルとする)を用いて推定することができる [2], [7] ことに着目する。EV の走行における電力消費要因としては、 空気抵抗 R_{AIR} ,タイヤの変形等により発生する転がり抵抗 R_{ROLL} ,坂を上る際に発生する登坂抵抗 R_{SLOPE} ,自動車の 加減速に応じて発生する加速抵抗 R_{ACC} が存在する。これら抵 抗の和は出力 F_d [N] に等しい、つまり、EV 走行時の1秒間の 消費電力量 e_t [kWh] は式 (1) のように表すことができる。

式(1)における各パラメタを表1に示す.

$$e_{t} = c(F_{d} \times \frac{1}{\eta} \times v)$$

$$= c((R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC}) \times \frac{1}{\eta} \times v)$$

$$= c((\frac{1}{2}\rho C_{d}Av^{2} + \mu Mg \cos \alpha + Mg \sin \alpha + \frac{1}{2}(M + M_{i})(\frac{dv}{dt} - gsin\alpha)) \times \frac{1}{\eta} \times v)$$
(1)

c = 1/3600/1000[J/kWh]であり、[J]から[kWh]への単位

タイムスタン (1秒ごと)	プね	度経度	消費エネルギー [kWh] (1秒ごと)	
JST	LATITUDE	LONGITUDE	CONSUMED_ELECTRIC_ENERGY	
2019-02-18 09:24:49.000	35.4324887340293	139.416432361111	-3.076313E-05	
2019-02-18 09:24:50.000	35.4325634593149	139.416417089808	0.000260757	
2019-02-18 09:24:51.000	35.4326527541289	139.416396983956	0.002456635	
2019-02-18 09:24:52.000	35.4327399372364	¹ 4 <i>ト</i> プ u		
2019-02-18 09:24:53.000	35.4328251974859	コンノル		
2019-02-18 09:24:54.000	35.4329107177277	=1秒間	の消費エネルギー	·ログ
2019-02-18 09:24:55.000	35.433026496483	1		
2019-02-18 09:24:56.000	35.433101694328	139.416309239164	-0.0001186688	
2019-02-18 09:24:57.000	35.4331667903244	139.416296731016	-0.003022484	
2019-02-18 09:24:58.000	35.4332300667544	139.416283132893	-0.002847798	
2019-02-18 09:24:59.000	35.43328993333275	139.416270267549	-0.0002792181	
2019-02-18 09:25:00.000	35.4333394379349	139.416259628995	-0.00382014	
2019-02-18 09:25:01.000	35.4333829125219	139.416250286294	-0.0009829652	

図 3 消費エネルギーログ



図 4 ECOLOG システム概要図

換算である.

この EV モデルを走行ログに適用することで,1秒ごとの走 行ログに1秒ごとの消費エネルギーが加わったログ(消費エネ ルギーログ)を生成する.(図3) ECOLOG システムではこれ らのログをデータベースに蓄積,集計することでユーザに対し て様々な有益な情報を提供する.(図4)

さてここで, EV が普及していく過程で普段 ICV を運転して いるユーザが EV を利用する事を考えると,様々な問題が存在 する.その一つが,EV の未知道路走行における走行計画の必 要性とその難しさである.EV で長距離を走行しようとした場 合,特に走行したことがない未知の道路を走行する場合には, 事前に大まかな EV の航続距離を把握し,いつどこの充電ス ポットに寄るかを考慮した走行計画を立てる必要がある.しか しながら,EV の航続距離は道路勾配や交通状況などに大きく 変化する.このため,一般ユーザが未知道路に対し正確な走行 計画を立てることは困難である.

この問題に対し本研究では、ECOLOG システムで構築した、 走行ログから消費エネルギーを推定するシステム(以降,消費 エネルギー推定システムとする)をシミュレータとして用いる ことを考えた.これにより、地図データと EV の基本諸元から、 設定した道路を地図データに沿って走る仮想の EV の走行ログ を生成し、そのルートを走行する際の消費電力量を事前に見積 ることを目標とする.

2.1 問題設定

本研究で解決する問題は、第1章でも述べた EV の未知道路 走行における走行計画の必要性とその難しさである.本稿では その問題を解決し走行計画を支援するために、未知の道路に対 し、そのルート上を走る際の最小消費電力量 E_{min} と最大消費 電力量 E_{max} を仮想の走行ログを生成することにより決定する. E_{min} からは一回の充電で到達できる限界地点を知ることがで きる.また、 E_{max} からは電欠になる可能性のある場所を知る ことができる.実際の走行による消費電力量 E_{real} は、 E_{min} と E_{max} の間になると予測される.本稿では、提案システムの 評価として実走行実験を行い、 E_{real} が E_{min} と E_{max} の間に 収まることを確認する.なお、 E_{real} は実際の走行で取得した 走行ログから消費エネルギー推定システムを用いて推定したも のである.

2.2 関連研究

VGI や航続距離の推定を目的として, EV の消費エネルギー を推定する研究は多く行われている.

それらの研究の多くは、プローブカーで収集した実際の走 行ログを運動方程式に適用することで、消費電力量や航続距 離を計算している. 岩坪らは, EV の電費シミュレーションモ デルを開発し、実際の走行ログを元に電池容量増加による EV の航続距離の変化がシミュレーションできることを示した[8]. Grubwinkler らは、収集した多様な車両の走行データを元に統 計的に車両走行データを生成し、その生成データを入力とし て EV の消費エネルギー推定を行った [9]. Ito らは, EV を含 めたプローブカーデータベースを元に、速度や加速度に対す るエネルギーの期待値の MAP を生成することで、EV の航続 距離推定を行った [10]. Zhang らは, 自車の走行ログや走行時 の交通状況, 天気情報を使用して, 精度と計算資源を考慮した EV の航続距離推定方法を提案した [11]. Styler らは、プロー ブカーデータを元に REX (Range EXtender) EV の消費電力 量を推定した上で、省エネルギーな REX の制御方法の提案を 行った[12].

他方,消費エネルギーや運転の最適化問題として,運動方程 式と外部データを組み合わせて利用している研究も多く存在し ている. Karbowski らは,交通情報や道路データ,マルコフ連 鎖により生成した仮想車速データを入力として,PHEVの消費 エネルギーシミュレーションとそれを基にした制御方法を提案 した [13]. Kurtulus らは,交通情報や天気,地図情報,目的地 を入力として,REX EV 向けの消費エネルギーとバッテリ損 耗を考慮した経路決定アルゴリズムを提案した [14]. De Souza らは,EV の走行時間と消費エネルギーを最小化するような交 通量分配問題を解くアルゴリズムの提案を行った [15].

また別のアプローチとして,運動方程式だけでなく,機械学 習モデルを利用することで EV の消費電力量を推定する研究 も行われている. Felipe らは,人工ニューラルネットワークに



図 5 道路リンクの構成

ドライバーの運転スタイルと走行ルートの特徴を入力すること で,EVの走行時の消費電力量推定をおこなった[16].Feiらと Martinezらは,運動方程式を利用した消費電力量推定モデル に,機械学習を利用したモデルを組み合わせたハイブリットモ デルの提案を行った[17],[18] 一方で,Yangらは自動車にはセ ンサを設置せずに,交差点に車の通過を感知するセンサを設置 することで,道路毎の平均速度や停止頻度から区間ごとの消費 エネルギー推定や CO₂ 排出量を推定する手法を提案した[19].

これら既存の研究は、プローブカーなどによって大量に収集 したデータや、その他外部データを必要とする点で我々の研究 と立場が異なる.

3 道路リンク

本稿においては、地図データとして国土地理院が整備する道路リンクのデータである数値地図(国土基本情報20万)を使用した[20]. 道路リンクとは、交差点を端点(ノード)として現実の道路をデータとして表現するためのフォーマットである. 道路リンクを構成する要素は以下の3つである.

• ノード:道路上に存在する交差点や行止り

道路リンク:あるノードを始点、あるノードを終点とする辺

• 道路リンク構成点:道路リンクの辺上の点

1つの道路リンクは複数の道路リンク構成点と2つのノード からなり,道路リンクのノードどうしが他の道路リンクのノー ドとつながることで,連続した道路リンクが一本の道路ネット ワークを構成する(図5).道路リンク構成点およびノードは, それぞれ地図上の位置を示す緯度経度の座標を持つ.

4 未知道路消費電力量推定システム

4.1 未知道路消費電力量の算出方法

EV の航続距離を考えたときに、より多くのエネルギー消費 要因となるのは加減速である.これは、信号や交通状況などに よって変わり、加速抵抗として消費電力量に影響を及ぼす.こ のことから本システムにおいては、*E_{min}*を「常に一定速度 *v_c* で走行し、一度も止まらずに走行した場合」と定義する.そし

パラメタ	意味	単位
v_c	巡航速度	km/h
d	速度 v _c で 1 秒間に進む距離	m
	$(d_c = v_c * 1000/3600)$	111
t	スタートしてからの経過時間 $(t = 0, 1, \dots, n)$	s
~	出発してから目的地に着くまでにかかる時間	
11	$(ルートの総距離/d_c)$	5
p_t	時刻 <i>t</i> における座標	
p_o	出発地の座標	
p_d	目的地の座標	
	仮想の走行ログ	
	$(s_t = (t, p_t))$	
i	道路リンク番号 $(i=1,2,\cdots,k)$	
k	終点の道路リンク番号	
l_i	道路リンク <i>i</i> の長さ	m
	現在地から現在の道路リンクの	
^r d	終端までの距離	111
θ	進行方向の方位角	rad
L	s_t のリスト	

て, *E_{max}* を「常に一定速度 *v_c* で走行するが, 全停止ポイント で効率の悪い加減速が行われる場合」と定義する.ここで,停 止ポイントとは信号および事前に停まることを決めた地点(観 光地やお店など)である.

以下に本システムの流れを示す.

(1) 入力:走行するルート(出発地 p_o,目的地 p_d)とその 区間の巡航速度 v_c[km/h],停止回数 N(お店などの事前に設 定した地点と信号の数)を入力する.

(2) 仮想の走行ログ生成:一定速度 v_c で設定区間を走行
 する仮想の走行ログ s_t(s_t = (t, p_t)) を生成する. (t = 0, …, n)

(3) EV モデル適用: s_t を EV モデルに適用しその瞬間の 消費電力量 e_t を求め、消費エネルギーログ $S_t(S_t = (t, p_t, e_t))$ を生成する.

(4) E_{min} の決定: ルート上の S_t を集計し E_{min} を決定
 する.

(5) *E_{max}*の決定: *E_{min}* に *N* 回の加減速により生じた消費電力量 *E_{acc}* を加えることで *E_{max}* を決定する.

(2),(3) および (5) の詳細は以下に記述する.

4.2 仮想の走行ログ生成

走行ルート上を一定速度で走行する仮想の走行ログを生成す る.入力された出発地と目的地からは既存のナビシステムで経 路が決定できるので,連続した道路リンクが取得できる.この 連続した道路リンク上を速度 vc で走る EV を想定する.(図 6) ログ生成時の各パラメタを表 2 に,ログ生成のアルゴリズムを Algorithm 1 に示す.

Algorithm 1 の各行の詳細を以下に列挙する. 番号は, Algorithm 1 の各行番号に該当する.

- 1:時刻 t = 0 における初期値を設定する.
- 2: 現在地が目的地に到達したかを判別する.

Algorithm 1 定速走行の仮想の走行ログを生成

Require: p_o, p_d, v_c Ensure: L

1: $t \leftarrow 0, p_t \leftarrow p_o, i \leftarrow 1, r_d \leftarrow l_i, d_c \leftarrow v_c * 1000/3600$

2: while $d_c t \ge \sum_{i=1}^n l_i$ do

3: **if** $d_c > r_d$ **then**

- 4: if i < k then
- 5: $r_d \leftarrow r_d + l_i d_c$
- 6: $i \Leftarrow i + 1$
- 7: else
- 8: $r_d \Leftarrow 0$
- 9: end if

10: **else**

- 11: $r_d \Leftarrow r_d d_c$ 12: **end if**
- 13: $p_t = Hubeny(p_t, r_d, \theta)$ 14: $s_t = (t, p_t)$
- 15: $L.add(s_t)$
- 16: $t \leftarrow t+1$
- 16: $t \leftarrow t +$

17: end while

18: return L



図 6 仮想の走行ログの生成

3: 現在地から *d_c* 進むと道路リンクをまたぐかどうか判別する.

4: 3:で道路リンクをまたぎ,更に最終道路リンク k に
 至ったかを判別する.

5-6: 3:で道路リンクをまたぎ 4:で k には至っていない
 場合, r_dを更新し,道路リンク番号をインクリメントする.

8: 3:で道路リンクをまたぎ更に 4:で k に至った場合, r_d
 を 0 にする.

• 11: 3:で道路リンクをまたがない場合, 更に d_c 進む.

13: *p_t*および *r_d*, *θ* から Hubeny の式を用いて *p_t* から *d_c* 進んだ地点の座標を求める.

14–15: 経過時間 t と現在地の座標 pt の組 st をリスト L
 に追加する.

16: 経過時間 t を 1 秒追加する. これを目的地に到着するまで繰り返す.

• 18: 目的地に到達した場合, リスト L を返す.

仮想の走行ログ s_t は図 7 に表されるように生成され, s_t は 走行ログ (図 2) と同じくタイムスタンプと座標(緯度経度) の組になっている.



図 7 生成された s_t

4.3 EV モデル適用

4.2 で求められた st は各時点において通過した座標値を持 つ.ここから,標高データを参照し,該当する座標の勾配 α を 決定する.標高データとしては,国土地理院の整備する基盤地 図情報数値標高モデル (10m メッシュ)[21]を使用した.そし て,消費エネルギー推定システムの EV モデル (式(1))を適 用することで,図 3 と同様の消費エネルギーログ St を算出す る.St = (t, pt, et) となっており, et はその1 秒間の消費電力 量 [kWh] である.これを出発地から目的地まで集計すること で, Emin を求めることができる.

4.4 最大消費電力量 *E*max の決定

消費電力量最大となる走行では、0km/h(停止状態)から発 進し、速度 v_c まで加速して定速走行に移行する.その後,指 定した停止ポイント前で停止するために減速を行い停車する. この発進・定速走行・停車を N 回繰り返す。この走行のエネ ルギー計算は、簡単のために定速走行時の消費エネルギーを E_{min}、加減速時の最大消費エネルギーを E_{acc} とする.この時, E_{max} は式 (2) で示される.

$$E_{max} = E_{min} + E_{acc} \tag{2}$$

加減速時の消費エネルギー *E*_{acc} は、以下の 2 つの条件をもとに計算を行う.

(1) 最悪状態を想定し,減速時に EV の特長の一つである 回生ブレーキを一切使用せず,摩擦ブレーキのみで減速を行 う¹こととする.電気エネルギーとして回収されるはずだった 運動エネルギーは回収できずに熱として放出される.

(2) 電気-運動エネルギー変換効率 η は最悪時の消費電力
 を見積もるために,経験的に η = 0.7 とした。

すなわち,式 2 の *E_{acc}* は運動エネルギーに変換効率 η と停 止回数 *N* を乗算した式 (3) で示される.

このモデル上では、登り坂での加速で消費されるエネルギー (加減速時の位置エネルギーの変化)を考慮していない.しか し η を最悪の状態を想定した値にすることで、これらを含めて も E_{real} が E_{max} を超えないように設定している.

表 3 評価トリップの全体構成

ルート ID	総距離	距離種別	経由する充電器	特徴
kitami_1	$163 \mathrm{km}$	長	121km 地点	標高差小
kitami_2	$126 \mathrm{km}$	長	67km 地点	標高差大
kitami 1'	162lm	E	85km 地点,	栖直差小
kitumi_1	TOSKIII	IX.	121km 地点	你间左右,
kanagawa 1	59km	th.	<i>t</i> el.	消費エネルギー大,時間小,
kanagawa_1	52KIII	т	120	高速料金高
kanagawa 2	57km	th.	721.	消費エネルギー中,時間中,
kanagawa_2	57KIII	т	,	高速料金中
kanagawa 3	56km	th.	721.	消費エネルギー中,時間大,
Kanagawa_3	wa_3 56km		,	高速料金安
outward	27km	短	なし	
homeward	24km	短	なし	



図8 各評価トリップの標高と距離

$$E_{acc} = N \times \frac{1}{2} (M + M_i) v_c^2 \times \frac{1}{\eta}$$
(3)

5 提案システムの実験と評価

5.1 評価トリップの全体構成

提案システムで生成した *E_{max}*, *E_{min}* と実際にそのルートを 走行した *E_{real}* を比較する.評価用に長・中・短距離の3つの トリップを決定した.それぞれの特徴は表3のようになってお り,標高と距離を表したものが図8である.距離種別ごとに提 案システムで見れるものが異なってくるので,それぞれについ て見ていく.

5.2 長距離トリップの全体構成

5.2.1 場所の説明

長距離トリップとしては北海道内の移動を設定し,2017年 に走行実験を行った.トリップは図9および図10のように なっており,2種類のルートが存在する.CPは充電ポイント (Charging Point)を表す.

北海道は、日本の中で最も充電スポット同士の間隔が広いエ リアが存在する.このようなエリアでは、EV が充電スポット から次の充電スポットに到達できるかがルート選択の上で大き な問題となる.

kitami_1 は総距離は長いが標高差が小さい.一方 kitami_2 は標高差が大きいが総距離は短い.標高差は登坂抵抗として

^{1:1.} バッテリ残量が満充電に近いとき,2. バッテリが低温のとき,3. 強い減 速を行うときに回生ブレーキが作動しないことがある[2]



図 9 評価用トリップ(長距離) 北海道大域



図 10 評価用トリップ(長距離) 2017 年詳細



図 11 評価用トリップ(長距離) 2018 年詳細

表 4 長距離トリップ 事前シミュレーション値							
	Origin	Origin	CP ⇒	CP ⇒	$CP \Rightarrow$	$CP \Rightarrow$	
ルート ID	\Rightarrow CP	⇒ CP	次の CP	次の CP	Destination	Destination	
	Emar	Emin	Emax	Emin	Emax	Emin	
						mun	
kitami_1	19.17kWh	15.27kWh			6.62kWh	5.88kWh	
kitami_1 kitami_2	19.17kWh 12.20kWh	15.27kWh 9.18kWh			6.62kWh 5.95kWh	5.88kWh 5.75kWh	

EV の消費電力量に大きな影響を及ぼす. これらの理由から, どちらのルートを通るのが適切かを事前に判断するのは難しい. これに対し,提案システムを用い,想定されるバッテリ残量で どのルートが通れるかを判別することができる.

なお,2017年の走行実験後に *kitami*_1 上に新たに充電器が 設置された. CP が増えた同ルートを *kitami*_1'とし(図 11), これもシミュレーションの対象とする.

5.2.2 E_{max}, E_{min}

2017 年と 2018 年の走行実験前のシミュレーションの結果, *E_{max}* と *E_{min}* は表 4 のようになった.

5.2.3 実走行データとの比較

シミュレーション結果を元に,2017年・2018年に日産・ LEAF [22] を用いた走行実験を行った. *E_{real}*の推定には,先 行研究である ECOLOG [6] の手法を利用し,スマートフォン

表 5 長距離トリップ 実走行値

	Origin	$\mathbf{CP} \mathrel{\Rightarrow}$	CP ⇒
ルート ID	\Rightarrow CP	次の CP	Destination
	E_{real}	E_{real}	E_{real}
$kitami_2$	$9.66 \mathrm{kWh}$		5.81kWh
$kitami_{-}1'$	13.04kWh	4.11kWh	6.40kWh



図 12 評価用トリップ(中距離) 神奈川

を設置して取得した走行ログを用いた. 2017 年の実験において スタート地点でバッテリを 80%充電(30 分充電を想定)まで 充電したとすると,残量は 13.4kWh であると想定された. こ こで事前シミュレーション値を見ると,*kitami*_1 を走破する には最低でも 15.27kWh 必要なのでこのルートは走行できない と判断し,*kitami*_2 を走行した. 一方, 2018 年の事前シミュ レーションでは充電器が増えたこともあり, 15.01kWh 以上あ れば確実に走行できることがわかった. 100%充電まですれば スタート地点でのバッテリ残量は 16.7kWh になるので, 2018 年の実験では *kitami*_1' を走行した. 実走行における *E*_{real} は, 表 5 のようになった.

いずれにおいても、 E_{real} は E_{max} と E_{min} の間に収まった.

5.3 中距離トリップの全体構成

5.3.1 場所の説明

中距離トリップとしては神奈川県内の移動を設定した.ト リップは図 12 のようになっており、3 種類のルートが存在して いる. この 3 種類のルートはルートを通るのにかかる時間の長 さと通行するのにかかる料金がそれぞれ異なる. これにシミュ レーション結果に基づく消費電力量の大小を加えると,それぞ れの要素はルートごとにトレードオフの関係になっていること がわかる (3). つまり、中距離トリップでは提案システムを用 い、現在のバッテリ容量でのルートの選択肢とトレードオフの 関係を見ることができる.

5.3.2 E_{max}, E_{min}

2018 年と 2019 年の走行実験前のシミュレーションの結果, *E_{max}* と *E_{min}* は表 6 のようになった.

5.3.3 実走行データとの比較

シミュレーション結果を元に 2018 年と 2019 年に日産・LEAF

表 6 中距離トリップ 事前シミュレーション値

ルート ID	E_{max}	E_{min}
kanagawa_1	$9.35 \mathrm{kWh}$	$8.82 \mathrm{kWh}$
kanagawa_2	8.40kWh	$6.60 \mathrm{kWh}$
kanagawa_3	9.54kWh	6.59kWh

表	7	中距離	\mathbb{P}	IJ	ッ	プ	実走行値
---	---	-----	--------------	----	---	---	------

ルート ID	E_{real}
$kanagawa_1$	$9.27 \mathrm{kWh}$
$kanagawa_2$	$6.85 \mathrm{kWh}$
kanagawa_3	7.02kWh

表	8 短距離トリップ シミュレーション								
	ルート ID	E_{max}	E_{min}						
	outward	$5.00 \mathrm{kWh}$	$3.10 \mathrm{kWh}$						
	homeward	4.08kWh	2.83kWh						



図 13 短距離トリップ outward

と ICV による走行実験を行い,取得した走行ログから *E*_{real} を 集計した.結果は,表7のようになった.

いずれにおいても, E_{real} は E_{max} と E_{min} の間に収まった.

5.4 短距離トリップの全体構成

5.4.1 場所の説明

我々は ECOLOG システムで EV の走行ログと消費電力量ロ グをデータベース上に蓄積してきた.これらのうち,最も件数 の多いある被験者の通勤トリップを「未知の道路」だとして, シミュレーションで E_{max} と E_{min} を求める.そして,DB に 蓄積された消費電力量 E_{real} と比較することで,提案システム の精度を確認する.なお,通勤トリップの総件数は 786 件,う ち outward が 434 件, homeward が 352 件である.

5.4.2 *E*_{max}, *E*_{min}

シミュレーションの結果, E_{max} と E_{min} は表8のようになった.

5.4.3 実走行データとの比較

シミュレーション結果と通勤トリップの消費電力量を比較す ると,図 13,14 のような結果が得られた.

いずれにおいても, E_{real} は E_{max} と E_{min} の間に収まった.



図 14 短距離トリップ homeward



図 15 トリップ全体評価

5.5 全体評価

以上より,長中短の3つの評価用トリップについてそれぞれ E_{real} が E_{max} と E_{min} の間に入ることが確認できた.(図 15) なお,outward と homewardに関しては E_{real} の値は平均値 である.すなわち,同じ推定システムを用いる限りは,最大値 と最小値が妥当に推定されていたことを確認することができた.

6 まとめと今後の展望

本稿では、未知の道路を EV で走行する際の消費電力量の最 小値と最大値を推定するシステムを構築した.最小値を定速で 止まらない走行をした場合の消費電力量,最大値を定速で走る が,設定した地点(観光地やお店など)で減速を行った場合の 消費エネルギーの最大値を加えた消費電力量,と定義した.

EV の実走行試験を行った結果,実消費電力量は最小値と最 大値の間に入った.今後は,過去に ECOLOG システムで蓄積 してきたログを活用することで個人やルートに特化した消費電 力量の最大値・最小値が推定可能になるよう提案システムを拡 張していく.また,エアコンの消費電力量などを加えることで, 消費エネルギー推定システムがより実際の EV の消費を再現す るようにしていく. 本研究の一部は JSPS 科研費 (課題番号 18K11750) による.

文 献

- 資源エネルギー庁, "平成 29 年度エネルギーに 関する年次報告(エネルギー白書 2018)", URL: http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper /2018pdf/(最終閲覧日:2019.03.18)
- [2] 廣田幸嗣,船渡寬人,三原輝儀,出口欣高,初田匡之,"電 気自動車工学",森北出版,2017.
- [3] 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", Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 32, No. 6, pp. 14–18, 2011.
- [4] 自然エネルギー財団, "EV 普及の動向と展望", URL: https://www.renewable-ei.org/activities/reports/img /pdf/20180627/REI_EVreport_20180627.pdf (最終閲覧日:2019.03.18)
- [5] B. K. Sovacool, L. Noel, J. Axsen, and W. Kempton, "The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition: a critical and systematic review", Environmental Research Letters 13.1, pp. 1–19, 2018.
- [6] 植村智明,石原有紗,磯部康太,齋藤祐亮,河西秀作,富井尚志,"正規化道路データに基づく EV エネルギーライフログの可視化と精度検証",第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2018), H7-2, pp.1–8, 2018.3.
- [7] M. Eshani, Y. Gao, S. Gay, and A. Emadi, "Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles 2nd. Edition", Power electronics and applications series, CRC press, 2010.
- [8] 岩坪哲四郎,池谷知彦, "電気自動車の性能評価技術-電費シミュレーション基本モデルの開発". Energy Engineering Research Laboratory, Rep.No.M11023, August, pp. 1–19, 2012.
- [9] S. Grubwinkler, M. Hirschvogel, and M. Lienkamp, "Driver and situation specific impact factors for the energy prediction of EVs based on crowd-sourced speed profiles", IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, pp. 1069–1076, 2014.
- [10] M. Ito, T. Shimoda, and K. Maema, "Prediction Method of Cruising Range using Probe Data for Electric Vehicle", 20th ITS World Congress, pp. 1–10, 2013.
- [11] Y. Zhang, W. Wang, Y. Kobayashi, and K. Shirai, "Remaining Driving Range Estimation of Electric Vehicle", 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference, pp. 1–7, 2012.
- [12] A. Styler, A. Sauer, I. Nourbakhsh, and H. Rottengruber, "Learned Optimal Control of a Range Extender in a Series Hybrid Vehicle.", IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, Vol. pp. 2612–2618, 2015.
- [13] D. Karbowski, V. Sokolov, and A. Rousseau, "Vehicle Energy Management Optimisation through Digital Maps and Connectivity", 22nd ITS World Congress, pp. 1–10, 2015.
- [14] C. Kurtulus and G. Inalhan, "Model Based Route Guidance for Hybrid and Electric Vehicles", 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 1723–1728, 2015.
- [15] M. De Souza, M. Ritt, and A. Bazzan, "A Bi-objective method of traffic assignment for electric vehicles", IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, pp. 2319–2324, 2016.
- [16] J. Felipe, J. C. Amarillo, J. E. Naranjo, F. Serradilla, and A. Diaz, "Energy consumption estimation in electric vehicles considering driving style", IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 101–106, Sept 2015.

- [17] Y. Fei, W. Guoyuan, K. Boriboonsomsin, and M. Barth, "A hybrid approach to estimating electric vehicle energy consumption for ecodriving applications", 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 719–724, 2016.
- [18] M. Martinez, A. Gardel, A. Wefky, F. Espinosa, J. Lazaro, I. Bravo, and P. Revenga, "Electric Vehicle Consumption Estimation based on Heuristics and MLP Arti cial Neural Network", EEVC European Electric Vehicle Congress, pp. 1–7, 2012.
- [19] Q. Yang, K. Boriboonsomsin, and M. Barth, "Arterial roadway energy/emissions estimation using modal-based trajectory reconstruction", 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 809–814, Oct 2011.
- [20] 国土交通省 国土地理院, "数值地図(国土基本情報20万)", URL: http://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40082.html (最終閲覧日:2019.03.18)
- [21] 国土交通省 国土地理院, "基盤地図情報サイト", URL: http://www.gsi.go.jp/kiban/ (最終閲覧日:2019.03.18)
- [22] 日産自動車, "日産:リーフ [LEAF] 電気自動車 (EV)", URL: https://ev2.nissan.co.jp/LEAF/ (最終閲覧日:2019.03.18)