

定速走行時のEVの内部データを用いた エネルギー変換効率推定

曾我紗代子[†] 大橋 弘典^{††} 富井 尚志^{†††}

[†] 横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科 〒240-8501 神奈川県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 神奈川県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 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: [†]soga-sayoko-cz@ynu.jp, ^{††}ohashi-hironori-pc@ynu.jp, ^{†††}tommy@ynu.ac.jp

あらまし 本研究では、電気自動車 (Electric Vehicle: EV) の内部データを蓄積し、それを利用してエネルギー変換効率マップを推定する。EV はバッテリーに蓄積された電力を運動エネルギーに変換する過程で、インバータとモータを用いており、変換ロスが生じる。この変換効率は、モータ・インバータ総合効率と呼ばれる。本研究では、車間距離制御装置 (Adaptive Cruise Control: ACC) による定速走行条件下で収集された CAN データを用いることで、車種固有のモータ・インバータ総合効率マップを推定する。モータ・インバータ総合効率はモータの回転速度とトルクから算出できる。しかし、実際に収集したデータから算出したモータ・インバータ総合効率には多くのノイズが乗っているため、同じ回転速度、トルクでも値にばらつきが生じる。我々は、このばらつきが正規分布しているという仮定に基づき、同じ回転速度、トルクでもモータ・インバータ総合効率の値に幅を持たせることで、マップ推定を行った。我々の先行研究による消費エネルギー量推定において、モータ・インバータ総合効率マップを今回推定したものに置き換えることで精度評価を行った。置き換え前と置き換え後の RMSE は、前者が 0.200 [kWh], 後者が 0.177 [kWh] となり、マップの推定精度が高いことを確認した。

キーワード ライフログ, エネルギー変換効率, 電気自動車, CAN データ, クルーズコントロール

1 はじめに

近年、センサ技術やストレージ技術の発達により、実世界の膨大で多様なデータを取得・蓄積することが可能になった [1]。これにより、ヒトの生活に関する記録である「ライフログ」が容易に利用できるようになった。一般にライフログは、日常生活の中から負担なく収集することができるデータである。このデータを有効に活用することが課題となっている。

一方、地球温暖化の深刻化が世界的な問題となっている。2016年に発行されたパリ協定には、産業革命前からの地球の平均気温上昇を 2 度未満に抑えることが盛り込まれた。そのため、脱炭素化及び省エネルギー化が求められている。また、現在の日本では、消費エネルギーの 2 割以上が運輸部門を占めており、その大半が自動車に関するものである [2]。

そこで、省エネルギー化や CO₂ 排出量削減を実現する次世代自動車の候補として、電気自動車 (Electric Vehicle: EV) が挙げられる [2]。EV は走行時に CO₂ を排出せず、Well-to-Wheel 換算のエネルギー効率がガソリン車 (Internal Combustion Vehicle: ICV) よりも優れている。それだけではなく、EV はバッテリーを搭載していることから、非走行時に電力網 (Grid) との間で電力を融通する VGI (Vehicle-Grid Integration) への応用が期待されている [3]。

しかし、実際には EV の普及は進んでいるとは言えない。その原因として、EV の導入コストの高さや航続距離の短さ、充電

ステーションの少なさなどがあげられる。そこで、ユーザの走行に対する不安を取り除くため、EV のこれから走る道路の消費エネルギーを推定し、ユーザの走行計画を支援することは有用である。

以上に対し、我々の先行研究では、自動車に搭載したスマートフォンから取得した GPS のセンサデータをライフログとして収集し、EV に乗り換えた場合の消費エネルギーを推定する方法を提案した [4]。この推定方法は、EV が ICV と比べて内部構造が単純なことに基づいている。EV の走行に必要なエネルギーは、運動方程式に基づく物理モデルにより説明できるため、自動車の走行ログから推定消費エネルギーを計算した。さらに、その研究過程の中で、実際の EV を用いて内部データをライフログとして収集した [5]。

一般に、EV は電気エネルギーを力学的エネルギーに変換することで駆動力を作り出している。その際、インバータとモータの 2 つのエネルギー変換機構を介するため、エネルギーの変換ロスが生じる。この変換効率は、モータ・インバータ総合効率と呼ばれる [6]。モータ・インバータ総合効率は、モータの回転速度 (回転数) とその回転速度時の出力トルクによって決定される 2 変数関数であると捉えられる。この 2 変数関数を本稿ではモータ・インバータ総合効率マップとする。モータ・インバータ総合効率マップは車種固有のものである。そのため、EV の効率的な運転は運転傾向、運転する道路環境だけでなく、車種にも大きく依存する。しかし、公表される電費カタログ値は WLTC モードなどの規定化されたものであるため、その車種と

その運転者が実際に使用した場合の電費と異なることが多い。

一方、我々の先行研究では特定車種のモータ・インバータ総合効率マップを既知とした場合に、その運転者と道路環境固有のエネルギー消費量がある程度正確に推定することができた[4]。その結果、EVのメータ表示からでは読み出すことができない、道路固有のミクロなエネルギー消費要因を特定することができた[7]。ところで、これらの先行研究では、モータ・インバータ総合効率マップは文献[6]に示された例を用いたために、車種固有のモータ・インバータ総合効率マップではなかった点が不十分であった。一方、別の研究[5]で収集されたEVの内部データを用いれば、ライフログに基づく車種固有のモータ・インバータ総合効率マップを推定することが可能となる。

そこで本研究では、EVの内部データから、そのEV固有のモータ・インバータ総合効率マップを推定することを考えた。EVの内部には、制御情報を転送するための機構として、CAN (Controller Area Network) が使われており、バッテリー端の電力やモータのトルクなどの様々なデータがCANバスを流れている。モータ・インバータ総合効率は、モータの回転速度とトルクに依存した値であり、これらはCANデータから取得・算出が可能である。

本論文の構成を次に示す。2章では関連研究を示し、我々の研究との比較を行う。3章では定速条件下におけるモータ・インバータ総合効率マップの推定方法を示す。4章では、実験で利用するデータについて説明する。5章では、実験結果および考察について述べる。6章で結論を述べる。

2 研究背景

本章では、EVの消費エネルギー推定におけるモータ・インバータ総合効率の位置づけについて、他の研究と比較して示す。

2.1 関連研究

一般的にEVのエネルギー効率を表す数値として電費がメーカーにより公表されている。この電費は、WLTCモードなどで測定された代表値である。WLTCモードは、市街地、郊外、高速道路の3つの走行モードで構成された国際的な電費の試験法である[8]。しかし実際には、運転者や道路環境は様々であり、それに応じて電費は大きく変わる値である。これに対し我々が提案するマップは2変数関数であり、様々な走行に対するモータ・インバータ総合効率を網羅する。

また、近年、自動車より収集した走行ログを活用する研究が盛んにおこなわれている。特に、ITS (Intelligent Transport System: 高度道路交通システム) のための自動車内蔵センサの活用[9]は注目されており、多くの研究がみられる。しかし、高精度な自動車内蔵センサにより取得したデータは膨大であるために、その多くは事故回避や自動運転を目的とした自動車制御のために使われている。また、EVの消費エネルギー推定に関する研究[10]はあるが、車種ごとのモータ・インバータ総合効率は用いられていない。これに対し我々は、自動車制御のための内部データを利用して、簡易に運転者や道路環境に合った電費

を算出する。我々の先行研究でも、特定車種のモータ・インバータ総合効率マップを既知のものとして、EVの消費エネルギーを推定している[4]。本研究では、実際のEVの内部データから、固有のモータ・インバータ総合効率マップをより簡易に推定することを旨とする。

2.2 CAN データ

CAN (Controller Area Network) は複数の電子制御装置 (ECU: Electric Control Unit) 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 [11] 及び ISO11519 [12]) として、ほぼすべての自動車に採用されている。CANバスを流れるデータはメーカーや車種によって異なるが、ICVなら燃料噴射量、EVならバッテリーパックのセル電圧やバッテリー残量、モータのトルクといったデータが存在する。CANバス上を流れるデータは、個人でも容易に取得することができる。

CANデータを用いた研究として、田中らは、スマートフォンから取得した位置情報とICVのCANデータを利用して3次元道路情報の生成を行った[13]。これはプローブカーとしての運用を前提としており、CANデータをライフログとみなして利用する我々とは立場が異なる。一方、我々の先行研究[5]では、実際に使用されるEVのCANデータをライフログとして収集した。このデータを評価用データとして、EVのエネルギー消費推定を高精度に実現可能であることを導いた[7]。

2.3 EVの内部構造

EVの内部エネルギーの流れを図1に示す。

まず、バッテリーの電気エネルギーがインバータで直流から交流に変換される。次に、モータが電気エネルギーを力学的エネルギーに変換する。さらに、モータの作り出した力学的エネルギーを、減速ギアで増幅させてタイヤの駆動力にしている。この時、インバータとモータのエネルギーの変換過程で変換ロスが生じる。本稿では、モータ・インバータ総合効率は、この2つの変換機構における変換ロスをまとめたものを指す。この変換ロスを考慮した変換効率はモータ・インバータ総合効率と呼ばれ、文献[6]に図2に示すグラフで説明されている。モータ・インバータ総合効率は車種固有の分布を示す。本稿では、実際に走行するEVから収集されたデータを用いて、その車種固有のモータ・インバータ総合効率のマップを作成する。

2.4 運動方程式に基づくEV走行時に必要な駆動力

運動方程式に基づく車の走行に必要な駆動力 F は式 (1) のように、空気抵抗 F_{AIR} 、登坂抵抗 F_{SLOPE} 、転がり抵抗 F_{ROLL} 、加速抵抗 F_{ACC} の4種類から構成される[6]。4種類の抵抗力はそれぞれ式 (2)~(5) と表される。式中の変数を表1に示す。

表 2 EV のモータ・インバータ総合効率に関わる変数

変数	単位	意味	データ取得方法
a	-	減速比	カタログ値
v_c	m/s	車速	CAN データ
R	m	タイヤ周	カタログスペックから計算
N_1	rpm	モータの回転速度	CAN データ
N_2	rps	タイヤの回転速度	式 (10)
T	Nm	モータのトルク	CAN データから式 (11) で算出
V	V	バッテリー端電圧	CAN データ
A	A	バッテリー端電流	CAN データ
P_{AC}	W	エアコン出力	CAN データ
P_{AUX}	W	電装品出力	CAN データ

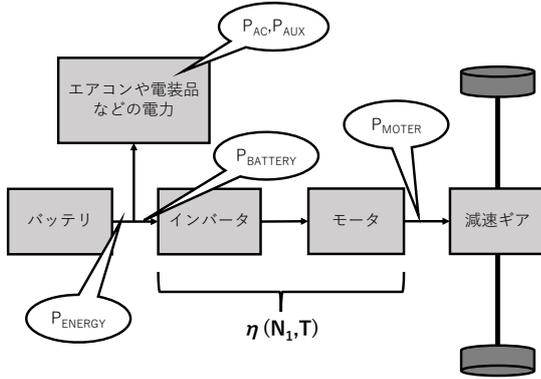


図 1 EV 内部のエネルギーの流れ

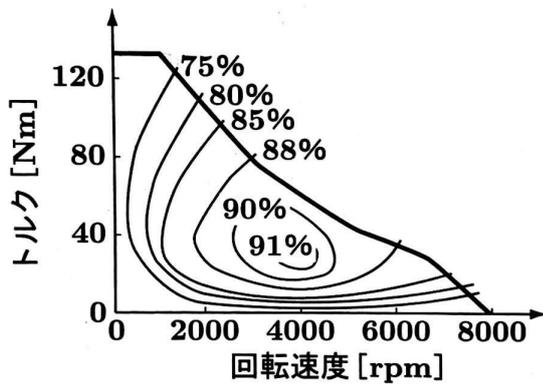


図 2 モータ・インバータ総合効率 (文献 [6] より引用)

表 1 EV の駆動力に関わる変数

変数	単位	意味	データ取得方法
ρ	kg/m ³	空気密度	定数
μ	-	転がり抵抗係数	定数
g	m/s ²	重力加速度	定数
C_d	-	空気抵抗係数	カタログ値
A	m ²	車両前面投影面積	カタログ値
M	kg	車両総重量	カタログ値
M_i	kg	慣性重量	車両総重量から換算
v_c	m/s	車両速度	GPS 計測
v_w	m/s	風速	0 とする
θ	rad	道路勾配	地図
t	s	時刻	センサ計測時点

$$F = F_{AIR} + F_{SLOPE} + F_{ROLL} + F_{ACC} \quad (1)$$

$$F_{AIR} = \frac{1}{2} \rho C_d A (v_c - v_w)^2 \quad (2)$$

$$F_{SLOPE} = Mg \sin \theta \quad (3)$$

$$F_{ROLL} = \mu Mg \cos \theta \quad (4)$$

$$F_{ACC} = (M + M_i) \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

3 定速走行時の EV の内部データを用いたエネルギー変換効率推定

本章ではモータのトルクと車速の値を利用したモータ・インバータ総合効率の算出方法を示す。

3.1 モータ・インバータ総合効率算出方法

モータ・インバータ総合効率の算出に利用する各パラメータは表 2 に従う。

モータ・インバータ総合効率 $\eta(N_1, T)$ は、モータの回転速度 N_1 [rpm] と出力トルク T [Nm] によって決定される 2 変数関数ととらえることができる [6]。そして、 $\eta(N_1, T)$ は EV のバッテリー側出力 $P_{BATTERY}$ [W] とモータ端出力 P_{MOTOR} [W] から算出される (式 (6))。ここで、CAN データに計上されるバッテリー端電圧 V [V] と電流 A [A] は、モータ駆動のための出力だけでなく、エアコンによる消費電力 P_{AC} [W] と電装品による消費電力 P_{AUX} [W] が含まれる。よって、バッテリー端によるモータへの出力電力 $P_{BATTERY}$ [W] は式 (7) のように求めることができる。さらに、モータ端出力 P_{MOTOR} [W] は、モータの回転速度 N_1 [rpm] とトルク T [Nm] を用いて、式 (8) のように算出できる。モータはタイヤと減速機を通じて繋がっているため、式 (9) の関係式が成り立つ。また、タイヤの回転速度 N_2 [rpm] は車速 v_c [m/s] と連動する (式 (10))。

$$\eta(N_1, T) = \frac{P_{MOTOR}}{P_{BATTERY}} \quad (6)$$

$$P_{BATTERY} = VA - (P_{AC} + P_{AUX}) \quad (7)$$

$$P_{MOTOR} = \frac{2\pi TN_1}{60} \quad (8)$$

$$N_1 = 60N_2a \quad (9)$$

$$N_2 = v_c R \quad (10)$$

3.2 CAN を用いた EV の内部データの取得

本研究では、道路勾配推定に必要な車の駆動力を導出するために EV の CAN データを使用した。実験用の EV として日産 LEAF (ZAA-ZE1 型 2020 年式) を用いた。CAN データの取

得には Android アプリ LeafSpy Pro²を使用する。また、OBD2 (On Board Diagnosis second generation) 接続用の Bluetooth 通信端末として Kiwi3 OBD2 Wireless Bluetooth Diagnostic Scannar³を使用した。これにより、EV の走行中のデータを日常的に収集した。

CAN データから取得できるバッテリー端電圧、電流などは瞬時値であり、様々な要因によって値が変動しやすい。この変動の要因の1つとして、加速や減速によるものがある。この加減速を原因とする変動を低減させるため、定速走行時のデータに着目した。日常走行の中に ACC (Adaptive Cruise Control) を用いた定速走行データが存在した。本研究ではこのデータを用いることとした。

4 モータ・インバータ総合効率マップ推定とその評価方法

本章では、3章で提案したモータ・インバータ総合効率マップ推定に利用するデータと、その評価方法を示す。

4.1 入力データの検証

3章で示したモータ・インバータ総合効率の入力データのうち、モータのトルク、バッテリー端電圧、バッテリー端電流、エアコン出力、電装品出力については CAN データから取得する。これらの CAN データは、LeafSpy Pro により最短で 2 秒程度のサンプリングレートで取得可能であるとされている。しかし、このサンプリングレートは環境依存であり、大きくなることがある。LeafSpy Pro により取得したそれぞれのデータについて検証を行った。

モータのトルクについては、CAN データから得た計測値 $T_{measure}$ [Nm] が理論値 $T_{theoretical}$ [Nm] とは異なる一方で、互いに連動することが我々の先行研究 [14] で示されている。また、検証実験により、線形の関係である式 (11) と仮定し、線形係数を 14.4 とした。本論文でもこれに従い、14.4 を n の値として、式 (11) の右辺を、本推定におけるモータのトルクの入力データとした。

$$T_{theoretical} = nT_{measure} \quad (11)$$

次に、バッテリー端電圧とバッテリー端電流については、以下の通り検証した。CAN データの1つであるバッテリー残量が妥当であることが我々の先行研究 [15] で示されている。また、エアコンや電装品の出力を含んだ EV の消費電力である P_{ENERGY} [W] は、バッテリー端電圧 V [V] とバッテリー端電流 A [A] から式 (12) のように算出される。

$$P_{ENERGY} = VA \quad (12)$$

2: "LeafSpy Pro", Google Play, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Lead_Spy_Pro&hl=ja&gl=US (参照 2021-1-11)。

3: Inc. PLX Devices, "PLX Devices model Kiwi3"

<https://www.plxdevices.com/Kiwi-3-OBD-Car-to-Smartphone-Connection-P-897346002832.html> (参照 2021-1-11)。

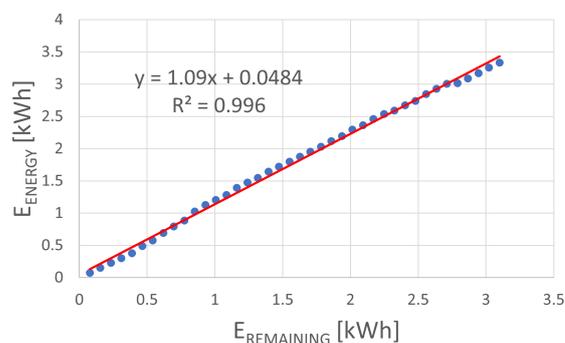


図3 Road3a 走行時のバッテリー残量から算出したバッテリー端出力量とバッテリー端電圧とバッテリー端電流から算出したバッテリー端出力量の比較

以上より、バッテリー残量から算出したバッテリー端出力量 $E_{REMAINING}$ [kWh] を正解データとし、バッテリー端電圧とバッテリー端電流から算出したバッテリー端出力量 E_{ENERGY} [kWh] との相関を見ることで、CAN データから得た計測値であるバッテリー端電圧 V [V] とバッテリー端電流 A [A] の妥当性を評価した。

得られた結果を図3に示す。今回の検証では、表3に示される Road3a における1件の走行データを対象とした。グラフは、横軸がバッテリー残量から算出したバッテリー端出力量 $E_{REMAINING}$ [kWh] であり、縦軸がバッテリー端電圧とバッテリー端電流から算出したバッテリー端出力量 E_{ENERGY} [kWh] である。バッテリー残量から算出したバッテリー端出力量 $E_{REMAINING}$ [kWh] について、0.0775 [kWh] ごとにプロットし、バッテリー端出力量を積算している。決定係数は 0.996 となったことから、バッテリー端電圧 V [V] とバッテリー端電流 A [A] は妥当な値であるといえる。

4.2 モータ・インバータ総合効率の可視化

3章で示した算出方法を用いて、表3に示される Road5 を対象区間としたときの定速走行時のモータ・インバータ総合効率を算出した。得られた結果を図4に示す。グラフは、横軸がモータのトルク、縦軸がモータインバータ総合効率を表す。EV の内部データから算出したモータ・インバータ総合効率は、様々な要因によるノイズが乗っているため、同じモータのトルク帯であっても値にばらつきが生じている。

図4に示されるように、モータのトルクが負の値、つまりエネルギーの回生時に、モータのトルクが正の値の時とは異なる値を示している。そのため、力行時と回生時ではモータ・インバータ総合効率の算出方法が異なると仮定し、今回は推定の対象から除外した。また、モータのトルクが正の値である時、低トルク帯については、同じトルク帯であってもモータ・インバータ総合効率にばらつきが生じている。これは、低トルク時にエネルギーの出力そのものが小さいため、ノイズの影響を受けやすいためであると考えられる。そのため、モータのトルクが 20 [Nm] 未満のトルク帯については、本研究では推定の対象外とした。

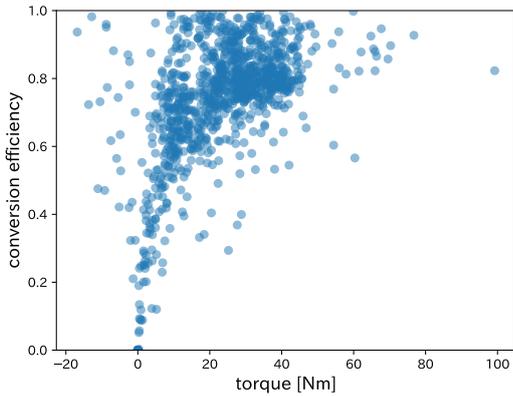


図4 Road5 走行時のモータ・インバータ総合効率

また、モータのトルクが 20 [Nm] 以上については、モータ・インバータ総合効率の分布に幅はあるものの、同トルクにおいてデータの偏りが見られる。そこでモータ・インバータ総合効率が正規分布していると仮定し、モータのトルクを 10 [Nm] ごとに集約し、平均値をとった。また、標準偏差も算出し、幅のあるモータ・インバータ総合効率マップを推定した。算出結果と考察については 5 章で述べる。

4.3 モータ・インバータ総合効率マップ推定の精度検証方法

精度評価においては、シャシダイナモを用いた正解データの作成などが考えられるが、本実験では入手できなかった。そこで、本論文では独自の方法でモータ・インバータ総合効率の精度評価を行う。

EV の内部構造が単純であることから、EV の消費エネルギーは 2.4 節で示した式から求めることができる。我々の先行研究では、自動車に搭載したスマートフォンから取得した GPS データをもとに、EV の消費エネルギー推定を行った [4]。その際、モータ・インバータ総合効率マップは [6] に示されたものを用いた。この時の消費エネルギー推定値をベースラインとする。ベースラインに対し、モータ・インバータ総合効率を本研究における推定マップに差し替えた場合の消費エネルギー推定値を、提案手法に基づく推定値とする。ただし、本研究ではマップの推定を 20 [Nm] 以上に限定して行ったため、推定しなかった範囲の効率マップは文献 [6] を参照した。以上の 2 つの推定値と正解データを比較することで精度評価を試みる。正解データは、CAN データから取得したバッテリー端電圧 V [V] と電流 A [A] から算出した E_{ENERGY} [kWh] とした。

手順を次に示す。

- (1) 正解データとベースラインとの比較
- (2) 正解データと提案手法に基づく推定値の比較
- (3) (1) と (2) における二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error: RMSE) を算出し、比較

(3) において RMSE を比較することで、提案手法を用いて推定した EV の消費エネルギー量が正解データにより近いことを

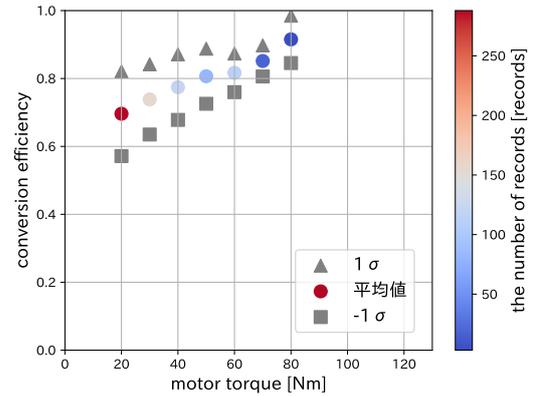


図5 Road1,2 におけるモータ・インバータ総合効率マップ

示す。ただし、(2) における RMSE は、本研究における推定マップの平均値を用いた場合の推定値を比較に利用した。

表 3 に示す道路を走行実験区間とし、推定、および、精度検証を行った。また、ACC で設定した速度帯ごとにマップの作成を行う。

さらに、精度検証では、走行 1 件ごとに消費エネルギー量の合計値を算出し、評価する。今回、表 3 の Road5 の走行データを精度検証に利用した。106 件のうち、82 件をモータ・インバータ総合効率マップ推定用データとして、残りの 24 件を精度検証用データとして分割した。

5 モータ・インバータ総合効率マップ推定およびその精度検証

本章では、4 章で示した方法を用いて、モータ・インバータ総合効率マップの推定と、その精度検証を行い、結果を示す。さらに、その考察を行う。

5.1 モータ・インバータ総合効率マップ推定結果

50 [km/h] 定速走行時の結果を図 5、70 [km/h] 定速走行時の結果を図 6、80 [km/h] 定速走行時の結果を図 7 に示す。横軸はモータのトルク、縦軸はモータ・インバータ総合効率を表す。色のついた丸のプロットが、そのトルク帯におけるモータ・インバータ総合効率の平均値、三角のプロットが平均値 + σ 、四角のプロットが平均値 - σ を示している。また、平均値のプロットの色が、そのトルク帯に属する、推定に用いたデータの件数を表す。

図 5~図 7 の結果をまとめたモータ・インバータ総合効率マップを図 8 に示す。図 8 では図 5~図 7 の平均値をプロットした。本研究では横軸のモータ回転速度を定速条件下で計測したため、横軸上の値は 50 [km/h]~80 [km/h] に相当するモータの回転速度に限定されている。また、4.2 節に示した通り、出力トルクは 20 [Nm] 以上に限定されている。推定したモータ・インバータ総合効率マップ (図 8) と、文献 [6] に示される効率マップ (図 2) を重ね合わせると、図 9 のようになった。結果として計測された範囲に限定があるものの、その範囲内では、2 つのマップは

表 3 走行実験区間

名称	区間	坂道条件	距離	条件	走行件数
Road1a	高速道路 1	上り坂	13.8 km	50 km/h 定速	2 件
Road1b	高速道路 1	下り坂	13.8 km	50 km/h 定速	2 件
Road2a	高速道路 2	上り坂・下り坂複合	13.8 km	50 km/h 定速	3 件
Road2b	高速道路 2	上り坂・下り坂複合	13.8 km	50 km/h 定速	3 件
Road3a	高速道路 3	上り坂	1.5 km	70 km/h 定速	156 件
Road3b	高速道路 3	下り坂	1.9 km	70 km/h 定速	91 件
Road4	高速道路 4	上り坂・下り坂複合	18.8 km	70 km/h 定速	2 件
Road5	高速道路 5	上り坂・下り坂複合	6.2 km	80 km/h 定速	106 件

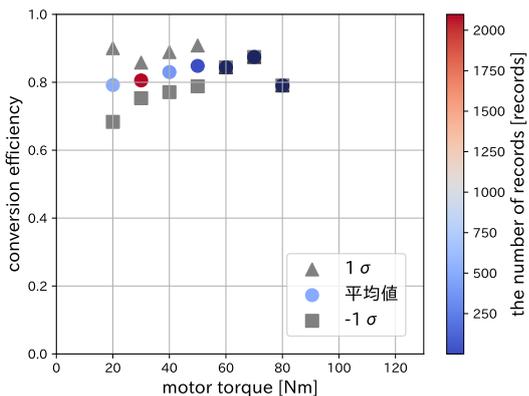


図 6 Road3,4 におけるモータ・インバータ総合効率マップ

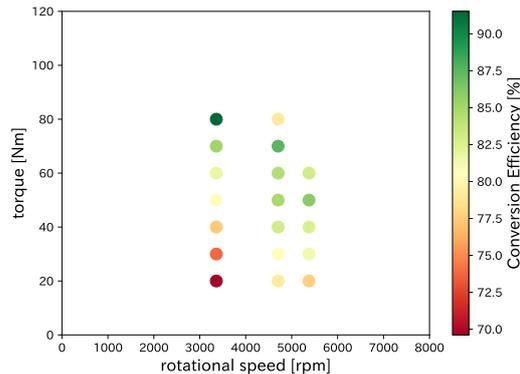


図 8 推定したモータ・インバータ総合効率マップ

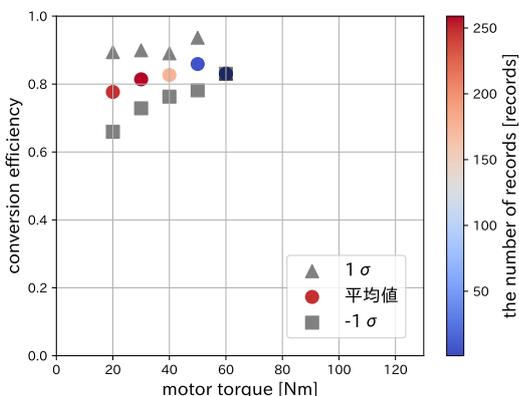


図 7 Road5 におけるモータ・インバータ総合効率マップ

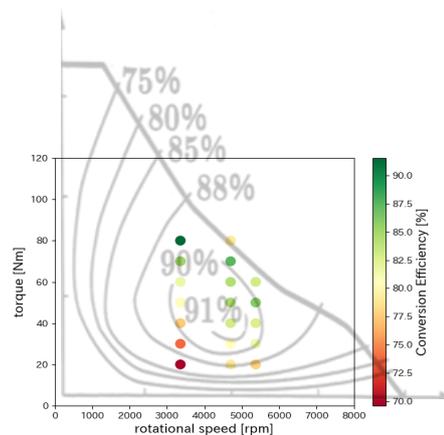


図 9 図 2 と図 8 を重ねた図

おおむね同様の傾向を示した。

5.2 モータ・インバータ総合効率マップ推定精度検証結果

5.1 節で示した精度評価の結果を図 10 に示す。横軸は各走行につけたラベル、縦軸は EV の消費エネルギー量を表す。プロットは、赤色が正解データ、橙色がベースライン、その他が提案手法である。提案手法のうち、青色の丸のプロットがモータ・インバータ総合効率の平均値を用いた場合、水色の四角のプロットがモータ・インバータ総合効率の平均値 - σ を用いた場合、水色の三角のプロットがモータ・インバータ総合効率の平均値 + σ を用いた場合を表す。正解データの消費エネルギーが小さい順に並べて、各走行にラベリングしている。

正解データとベースラインの比較における RMSE は 0.200 [kWh]、正解データと提案手法の比較における RMSE は 0.177 [kWh] となり、今回推定したモータ・インバータ総合効率を用いて推定した消費エネルギーの方が精度が高いことを確認した。

5.3 考 察

5.2 節から、文献 [6] に示されているモータ・インバータ総合効率マップよりも、EV の内部データから推定した固有のモータ・インバータ総合効率マップの方が、より、その EV 固有の効率マップに近いものが推定できたといえる。また、モータ・インバータ総合効率マップに幅を持たせることにより、消費エネルギー推定にも幅を持たせることができるようになった。これに

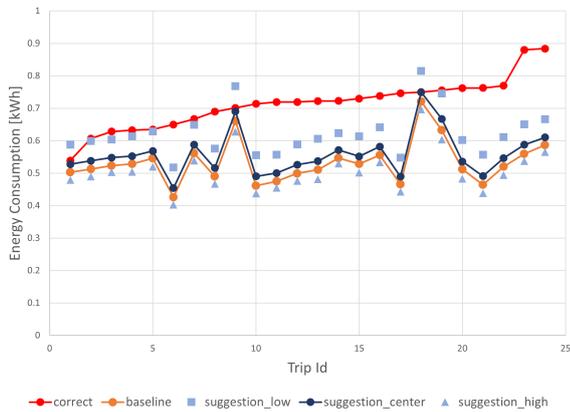


図 10 提案手法を用いて推定した EV の消費エネルギー量とベースラインと正解データの比較

より、ユーザは運転計画が立てやすくなったといえる。このマップは、EV の内部データである CAN データがあれば車種によらず推定が可能である。

しかし、図 9 に示した通り、今回推定したモータ・インバータ総合効率マップは、モータの回転速度帯、出力トルク帯のどちらも推定範囲が限定的であり、マップの網羅率が低い結果となった。トルク帯に関しては、道路勾配の急な道路のデータを収集することで埋めることができると考えられる。回転速度帯に関しては、データの速度帯を増やすことが必要となる。本論文では、ACC を用いた定速走行時のデータを利用することで、加減速による値の変動を低減させた。値の変動を抑えることができた一方で、定速走行データのみを対象とすることで、データの件数が少なくなっている。そこで、定速走行条件の緩和を行ったデータを対象に同じ推定を行うことにより、より日常生活から負担なく収集できるデータに近いものを利用できるとともに、対象データを増やすことができる。これにより、モータ・インバータ総合効率マップの網羅率を上げることができると考えられる。以上を今後の課題とする。

6 ま と め

本論文では EV の内部データからモータ・インバータ総合効率のマップを推定した。今回は ACC を使用した定速走行時のデータを対象に推定を行った。今後はこの条件を緩和することで、対象データを増やし、網羅率の高いモータ・インバータ総合効率マップを推定することを検討する。

謝 辞

本研究の一部は横浜国立大学令和 3 年度学長戦略経費の支援による。

文 献

- [1] 総務省. 令和元年版 情報通信白書. Last accessed: 11 January 2022.
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁. 令和元年度エネルギーに関する

年次報告 (エネルギー白書 2020). Last accessed: 11 January 2022.

- [3] Kang Miao Tan, Vigna K Ramachandaramurthy, and Jia Ying Yong. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 53, pp. 720–732, 2016.
- [4] 齊藤祐亮, 植村智明, 富井尚志. EV 消費エネルギーログデータベースにおける消費電力量推定の精度検証. *情報処理学会論文誌データベース (TOD)*, Vol. 12, No. 4, pp. 40–52, oct 2019.
- [5] 植村智明, 吉田顕策, 吉瀬雄大, 富井尚志. 試行錯誤を許容するデータ解析支援システムと電気自動車の走行ログ解析. *情報処理学会論文誌データベース (TOD)*, Vol. 13, No. 4, pp. 13–26, oct 2020.
- [6] 廣田幸嗣, 船渡寛人, 三原輝儀, 出口欣高, 初田匡之. *電気自動車工学*. 森北出版, 2017.
- [7] 植村智明, 能條太悟, 吉瀬雄大, 富井尚志. 解析者の興味に基づく道路区間集計が可能な EV 推定消費エネルギーデータ解析システムの構築と応用. *情報処理学会論文誌データベース (TOD)*, Vol. 14, No. 4, pp. 70–85, oct 2021.
- [8] 国土交通省. 乗用車等の燃費表示に走行環境毎の燃費表示が加わります! Last accessed: 24 January 2022.
- [9] Peter Arthurs, Lee Gillam, Paul Krause, Ning Wang, Kaushik Halder, and Alexandros Mouzakitis. A taxonomy and survey of edge cloud computing for intelligent transportation systems and connected vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–16, 2021.
- [10] 芳澤信哉, 坂井勝哉, 太田豊, 上田嘉紀, 香川公司, 岩田章裕. 実走行履歴データを活用した EV 電力消費推定モデルの評価. In *24.Sep.2021 Joint Technical Meeting on Vehicle Technology/Transportation and Electric Railway*, pp. 7–12, 2021.
- [11] ISO. Road vehicles—Interchange of digital information—Controller area network (CAN) for high-speed communication. ISO 11898, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1993.
- [12] ISO. Road vehicles—Low-speed serial data communication—Part 1: General and definitions. ISO 11898, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1993.
- [13] 田中成典, 外山諒, 上谷弘平. プローブデータを用いたサグ部とヒヤリ・ハット地点の 3 次元道路情報の生成に関する研究. 第 77 回全国大会講演論文集, 第 2015 巻, pp. 407–408, mar 2015.
- [14] 大橋弘典, 吉瀬雄大, 植村智明, 富井尚志. 日常的に大量に発生する EV の内部データの異目的活用に基づく実世界情報分析. 第 13 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2021), J24-1, pp. 1–6, 2021.
- [15] Toshiaki Uemura, Yuta Kashiwabara, Daiki Kawanuma, and Takashi Tomii. Accuracy evaluation by gps data correction for the ev energy consumption database. In *Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services*, MOBIQUITOUS 2016, p. 213–218, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.