

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330358

研究課題名(和文) ミクロとマクロの統合的算出が可能なV2X指向のエネルギー消費状況DBに関する研究

研究課題名(英文) A Study on V2X-oriented Energy Consumption DB enabling Integrated Calculation of Micro and Macro

研究代表者

富井 尚志 (Tomii, Takashi)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号：40313473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模な実データ収集によって、EVのエネルギー消費をミクロ・マクロの多様な観点で統計・解析することが可能なデータベースシステムの構築手法を提案する。実際のEVを用いて電力消費量の正解データと推定データを継続的に蓄積し、精度評価を行った。また、収集したデータを対象に、いくつかのデータ可視化手法の導入を行った。一つは「エネルギー損失と経過時間(運転時間)に有意な相関を示す道路区間」を可視化する手法で、道路の特徴によって相関が異なることが明らかになった。また別の可視化手法として、スマートグリッドでの需給マッチングを行うシミュレーションを行う手法を導入し、評価した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose a construction method of database system that can statistically analyze EV energy consumption from various viewpoints of micro / macro by large scale real data collection. Both correct answer data and estimated data of electricity consumption have been accumulated using actual EVs and accuracy evaluation was carried out. We also introduced several data visualization methods for the collected data. One is a method to visualize "road section showing significant correlation between energy loss and elapsed time (operation time)", and it became clear that the correlation varies depending on characteristics of road. As another visualization method, we introduced and evaluated a method to simulate demand-supply matching in smart grid.

研究分野：マルチメディアデータベース

キーワード：センサデータベース ライフログ 電気自動車 スマートグリッド Vehicle to X エネルギー消費

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) センシングとビッグデータ

計算機技術や情報通信技術の発展に伴い、近年ではスマートフォンなどの携帯データ端末によって多種多様なセンサデータを得られるようになった。しかし、これらのセンサデータは、いわば生のデータにすぎず、情報システム上でユーザが有用に扱うには困難を伴い、工夫を要する。その一方で、人ごと、モノごと、場所ごと、時間ごと、など、個別の状況に依存した「出来事」を記録した貴重なデータでもある。このため、隠された重要な状況を大量のデータの中から見つけ出して利用する「ビッグデータ」からの情報抽出の試みが、様々なアプローチからなされている。これらのデータを有効に活用するためには、次のように細分化された各テーマについて、それぞれ上手に取り組み必要性が生じる。

- ・必要なデータだけを上手に取捨選択する
- ・必要なデータだけを上手にモデル化し、効果的に蓄積・検索・再利用する
- ・蓄積されたデータを応用システムの中で上手に活用する
- ・特に、人ごと、モノごと、場所ごと、時間ごと、などのマイクロな状況に基づく実データを上手に解析し、有用なマクロな量として取りまとめる

### (2) エネルギー問題解決への情報技術の貢献

前記の「ビッグデータ」を実際の問題解決に応用し、イノベーション促進に役立てることが急務である。特に、CO<sub>2</sub> 排出量削減をはじめとするエネルギー問題解決に情報技術が貢献すべきことは多い。近年、エネルギー効率の良い電気自動車 (EV: Electric Vehicle) が注目されつつある。ここで、EV は単にガソリン自動車 (ICV: Inner Combustion Vehicle) の代わりになるだけのものではない、という点に留意すべきである。EV には大容量の二次電池 (バッテリー) が搭載されるが、充電した電気エネルギーを走行のためだけに使用するのではなく、別の電気機器の電力源や、残余電気エネルギーの一時的な蓄積場所として安全に利用できる機能も有する点で、EV と ICV は異なる。そもそも EV は移動するものなので、電気エネルギーを別の場所へ、あるいは、夜から昼へ移動させる役割を担うことができる。このように、EV に充電された電気エネルギーを家庭、建物、スマートグリッドに送る技術をそれぞれ V2H (Vehicle to Home), V2B (Vehicle to Building), V2G (Vehicle to Grid) と呼び、ここではそれらを総称して V2X と呼ぶ。しかし、EV を用いた V2X はエネルギー利用方法の根本的転換であり、新技術であるが故の理解不足はイノベーション推進の大きな妨げとなっている。すなわち、ICV から EV への置換えによって具体的にどれだけの効果 (エネルギー消費や CO<sub>2</sub> 排出だけでなく、エネ

ギー移動の効果を含む) が得られるのかは個人や団体ごとに異なり、「実際に導入してみないとわからない」という根源的な問題につきあたる。この問題の根幹は、エネルギー消費が人ごと、モノごと、場所ごと、時間ごとに個別に生じる「マイクロな」瞬時値の積算として計算される難しさにある。エネルギーの全体的な消費量は、これらの積算の「マクロ」値として算出されるが、「マイクロ」と「マクロ」の間に大きなギャップがあり、両者の上手に取り扱うのには困難を伴い、工夫を要する。

### (3) 研究開始までの経緯

研究代表者は、本研究課題に着手するきっかけとなった先行研究において、ICV と EV の違いを個別の実データを基に算出するデータベースの設計と運用を行った。このデータベースの特徴は、まず、EV の構造と原理が単純であることに着目し、簡易なモデルによって EV のエネルギー消費を推定したことにある。既存の ICV に簡易なセンサやロガーを搭載するだけで、自動的にデータが収集され、運転時の状況が記録される。その運転データを用いて、仮に EV に置換えた場合に生じるマイクロな電力消費を推定し、データベースに蓄積した。プロトタイプシステムでは、これまで2年を超える期間にわたり複数の ICV からデータ収集を行った。このデータベースによって、運転経路の特徴的な地点でのエネルギー消費状況をマイクロやマクロ統計量など、様々な集計スケールで提示できるようになった。さらに、自動車内部デバイス間でデータのやり取りをおこなう CAN (Control Area Network) から様々なデータを獲得した。これらの結果として、ICV を EV に置換えた際に生じるマイクロなエネルギー消費や、ICV と EV の道路状況に依存したマクロなエネルギー消費傾向の差、さらに、EV の電気エネルギー残量と移動可能量などを事前に把握できることが確認された。

## 2. 研究の目的

研究着手までの期間により、上記で示したデータベースの構築、および、データ収集、モデル化、検索手法などについて、実現可能性に関する小規模だがディープな実験的検証を行って、その有用性を示す目的が立った。そこで本研究課題では、これまでの成果の上に立ち、より現実的かつ規模の大きなデータベース構築と運用実験に取り組む。大規模な実データ収集によって、ICV と EV の置換え効果をマイクロ・マクロの多様な観点で統計・解析することが可能な情報システムのあり方を具体的に示す。具体的には、次の項目についてプロトタイプシステムを構築し、その有用性、および妥当性を実験的かつ定量的に評価していく。

目的1) EV モデルの長期的観点での精度評価  
実際の EV を用いて、長期的な運用の下で提案モデルのエネルギー消費量推定精度を実

測・定量評価する。

目的2) V2G のための実データに基づく状況シミュレーション

実際に蓄積された「マイクロ」な移動データを元データとして流用し、仮定の状況下でのエネルギー推定シミュレーションが可能であることを実証・定量評価する。また、スマートグリッドと連携することを想定し、実際の環境下においてエネルギー移動や空き容量利用が可能であることを実証・定量評価する。

目的3) データ分散化による大規模データへの対応

実際に蓄積された「マイクロ」なデータと集計済みの「マクロ」なデータを分散配置することによって、原データが大量に蓄積された場合でも、上記の2を適切に実行可能であることを実証・定量評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究開始時点までの準備状況

本研究は、公益財団法人日産財団による研究助成課題「V2X(V2G)応用を指向するEVからの情報収集とデータベース化に関する研究」(平成22年度~23年度)の実施によって着想を得た。また、助成終了後も独自の研究として継続し、本研究課題の着手時点までに次のような成果を得ている。

・エネルギー消費状況推定について、EVはICVと比較してモデル化しやすいことに注目し、運動方程式とモータ出力特性からエネルギー消費状況を推定するEVモデルを導入した。

・タブレットPC上において、内蔵GPSと内蔵加速度センサのデータロガーソフトウェアを実装し、自動車運転時の位置・速度・加速度の計測値を自動的に記録するシステムを開発した。

・データロガーをICVに搭載し、3名の被験者の移動ログを1年にわたって収集した。(うち1名は2年以上。)また、提案モデルに適用し、EVへの置換え時のエネルギー推定値を蓄積するデータベース(ECOLOG DB)を構築した。(図1)

・ECOLOG DBの検索結果視覚化方法として、地図上集計表示、エネルギー消費由来別集計表示、日別消費電力量・V2X推定量表示、月別V2X推定量表示など、マイクロ~マクロ、有用かつ多様、であるような、データ表示が可能であることを示した。これにより、短期的から長期的、局所的から大域的までのさまざまな観点で、個別データに基づくEVへの置換えシミュレーションが実現された。

・得られたV2X予想量が、建物側の電力需要のピークカットに貢献できることを確認した。

・同ロガーを実際にEVに搭載し、提案手法による推定量と、EVのメータで計測された量、および、電力計で計測した充電量を比較した。その結果、これらの間に有意な相関が確認され、提案手法による推定方法が有効であるこ

とが示された。

上記のように、複数名の被験者データを長期的にわたり収集して深く検証したところ、提案手法によってICVをEVに置換えた場合の様々な効果を提示できることがわかってきた。

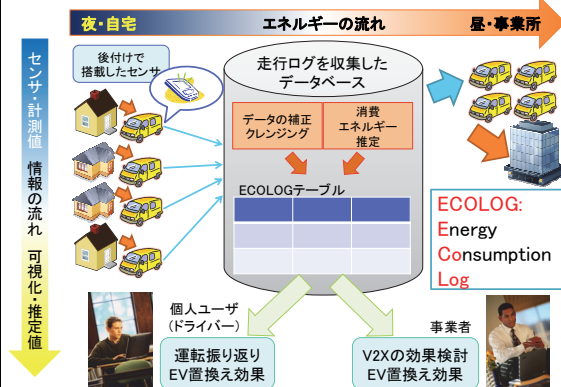


図1 ECOLOG DB概要

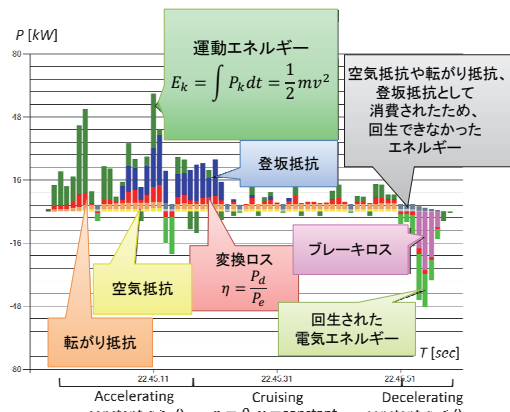


図2 推定エネルギー瞬時値の例

#### (2) 本研究課題の課題と実施概要

以上に示したように本研究課題では、エネルギー消費に関するマイクロな状況を多量に収集し、多様な観点でマクロに集計・提示できる新しいデータベースシステムの構築手法を提案する。特に、ICVからEVへの置換え効果を定量的に示すためには、現実の道路の状況から得られた実際のデータに基づくことが望ましい。実際に道路を走行した軌跡データから得られたエネルギー消費瞬時値の推定例を図2に示す。エネルギーの消費原因をより詳細に推定し、損失と回収できるエネルギーを分けて計算できるようになった。これらのデータを集約することによって、バッテリー残量や一時蓄電のための空き容量の傾向をある程度正確に把握できる。このように、エネルギーの消費や移動に関する有用な情報を、その時の状況に応じた適切な単位でマクロデータとして再編成するデータベースのプロトタイプシステムを実装・構築する。データベースの検索によってこれらの有用な情報を提示するために、本研究ではマイクロとマクロの量を縦断的に集計するための「状

況」の適切なモデル化を行う。これまで収集した大量のデータを分析した結果、「エネルギーの消費状況」だけでなく、「時間帯」「天候」「道路状況」「運転者の経験的知見」などの様々な状況がデータ集計の有意なキーとなり得ることがわかった。これらをデータベースエンジンによって Ad hoc かつ高速に取り扱えるようなデータモデリング手法の確立を目指す。さらに、リアルタイムでの情報提示や利用者からの情報フィードバックなど、利用者側の端末機能の充実を図る。

#### 4. 研究成果

(1) 目的1：「EV モデルの長期的観点での精度評価」に関する成果

研究期間中に実際の EV を用いて、正解となる電力消費量データと推定元になる自動車の移動軌跡データを継続的に蓄積した。これらのデータを比較することによって精度評価を行うことを試みた。この結果、当初 17.6%程度のエネルギー消費量推定誤差があることが明らかになった[7]。

この誤差の要因として、次に示す二つの影響を無視することができないことが明らかになった。

(要因1) エアコンによって消費されるエネルギー

(要因2) GPS 計測誤差

要因1については、モデル推定が困難である。そこで、実車 EV に搭載した CAN データロガーで収集した実測データを活用し、機械学習を用いて推定するアプローチをとった[6]。この結果、トータルでの推定誤差が大きく改善した。

要因2については、移動軌跡ログの対象を「あらかじめ通る道路がわかっていること」に限定することで改善する手法を提案した。エネルギー消費量を推定する際、精度に影響を与えるのは、位置の誤差と速度の誤差である。そこで、位置精度の向上についてはマップマッチングを用いた。この際、速度誤差を抑えるために、速度を保存しながらマップマッチングを行う手法を導入した[2]。

(2) 目的2：「V2G のための実データに基づく状況シミュレーション」に関する成果

ECOLOG DB を用いてどのようなデータ可視化ができるのかを様々な観点から検討した。本研究の結果、主に下記に示すデータ可視化が有効であることがわかった。

(可視化1) EV が実際の道路環境の中でどのような状況時にどのようなエネルギー消費傾向を示すか

(可視化2) V2G を想定する際に、需要側はどのようなエネルギー消費傾向を示すか

(可視化3) EV とスマートグリッドを組み合わせることによってどのようなエネルギー需給マッチングを図れるのか

可視化1について、「エネルギー損失と経過時間(運転時間)に有意な相関を示す道路区間」を可視化する手法を導入した[3]。相

関を示した例を図3に示す。この例では、エネルギー損失と区間通過時間の間に正相関がみられる。この区間では、運転者がスムーズに通過するよう心掛けることや、信号停止の少ない道を選び選択することが、結果として良い運転となることを示している。ほかに、負相関となる区間(高速道路)や、無相関となる区間が存在することが明らかになった。この可視化によって、EV の運転改善に有効な方法は、道路区間によって異なることが明らかになった。

可視化2について、V2G を想定するためには、まず、需要側(スマートグリッドの電力消費側)の実データを収集する必要がある。そこでまず、EV の移動先建物内の電力消費ログを収集し、集約・可視化できるデータベースを構築した[1, 5]。このデータベースは、主に、人の行動に関するエネルギーの極小化と、エネルギー消費時間帯のピークカットを目的としている。

そこで可視化3として、これらの成果を組み合わせ、スマートグリッドでの需給マッチングを行うシミュレーションを行う手法を導入し、評価した[4]。ここでは小規模なスマートグリッド(マイクログリッド)を想定し、エネルギーの地産・地消を目指す。マイクログリッドにおける需給マッチングの概念図を図4に示す。電力需要側は、人々の生活行動に同期して電力需要の増減がある。通常の電力系統では、電力供給元から一方的に需要側に供給される。電力供給元にとっては、電力需要のピークへの対応が最大の問題となる。ここに、太陽光パネルなどの再生可能エネルギー発電を導入すれば、需要量をキャンセルできる。しかし、再生可能エネルギーは天候に左右され不安定であるため、発電しすぎて余剰が発生したり、ピーク時の需要キャンセルに貢献できないなどの不都合が生じる。そこで、EV のバッテリー容量を活用する。発電しすぎた余剰電力を一時的に EV に充電し、需要ピーク時には放電する方法である。この需給マッチングに適切な太陽光パネル量や EV 台数をシミュレーションによって可視化するシステムを試作した。可視化例を図5に示す。余剰電力が余りなく使われ、かつ、ピーク時需要が余剰電力によってキャンセルされるのが良い。図5に示す通り、季節によって大きな差があることが明らかになった。結果として、本研究で収集・蓄積した実データに基づいてシミュレーションを行うことができることが示された。

(3) 目的3：「データ分散化による大規模データへの対応」に関する成果

上記に示したように、本研究の成果としていくつかの独立したデータベースを実装・運用した。その結果、研究機関の3年を通して収集された大規模なデータを検索可能なデータベースシステムが構築され、有用なデータ可視化を実現した。研究助成期間終了後も、引き続きデータ収集を継続し、さらなる規模

に対応できるシステムの構築を試みる。

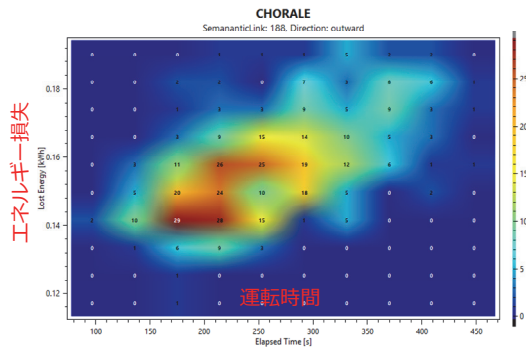


図3 エネルギー損失と運転時間の相関

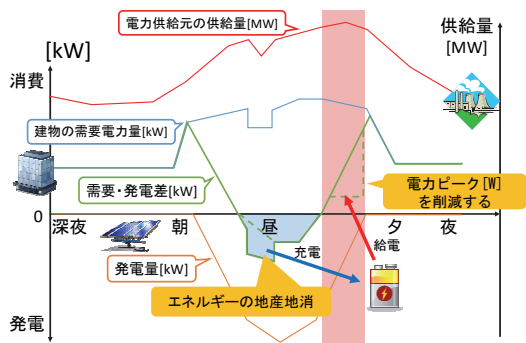


図4 マイクログリッドにおけるエネルギー需要と供給の概念図

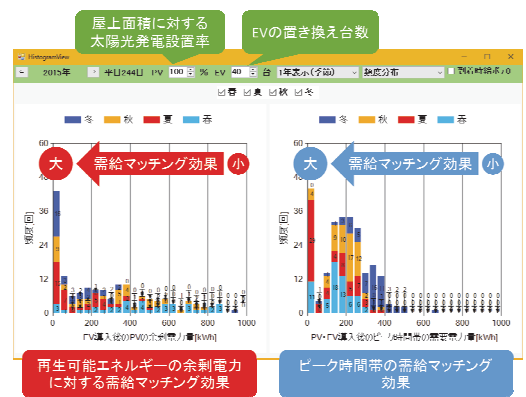


図5 マイクログリッドにおける需要と供給のマッチング評価

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計17件)

[1] 田中雄哉, 西山誠人, 北島大, 本藤祐樹, 富井尚志, “IoT環境におけるエネルギーライフログ取得モデルの構築とピークシフトのための情報提示”, 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2017), I7-4, pp. 1-8, 2017. 3. 7 (学生プレゼンテーション賞)

[2] 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 (Workshop MUSICAL2016, Hiroshima), pp. 213-218, 2016. 11. 28

[3] Daiki Kawanuma, Yuta Kashiwabara, Toshiaki Uemura, and Takashi Tomii, “Data Analysis Framework for Visualizing Correlation of Energy Consumption and Transit Time in Road Sections using the ECOLOG database”, In Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services (Workshop MUSICAL2016, Hiroshima), pp. 207-212, 2016. 11. 28

[4] 北島大, 西山雅人, 田中雄哉, 富井尚志, “ライフログを用いたマイクログリッド導入効果検討が可能なDBの構築と需給マッチング効果の提示”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-DBS-163, No. 21, pp. 1-6, 2016. 9. 15 (WebDBフォーラム2016学生奨励賞)

[5] 細澤直人, 高橋慶多, 本藤祐樹, 富井尚志, “ライフログデータを用いた利用者行動情報に基づく電化製品消費電力の可視化と予測”, 第7回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015), C3-4, pp. 1-8, 2015. 3. 2 (学生プレゼンテーション賞)

[6] 讚井峻, 萩本真太郎, 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対話セッション発表論文, 2-2C-01(査読付), pp. 1-6, 2014. 12. 5

[7] Shintaro Hagimoto, Ryo Sanui, Kota Yoshimoto, Takashi Tomii, “Accuracy Verification and a Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Storing EV Energy Consumption Logs”, The 6th International Workshop with Mentors on Databases, Web and Information Management for Young Researchers (iDB Workshop 2014), pp. 1-8, 2014. 8. 1

ほか10件

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tommylab.ynu.ac.jp>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

富井尚志 (TOMII, Takashi)

研究者番号: 40313473

(2) 連携研究者

本藤祐樹 (HONDO, Hiroki)

研究者番号: 90371210