

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

富井尚志

横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授

本研究では、V2G への適用を指向したデータ収集とデータベース化の実現可能性を明らかにする。電気自動車 (EV) に搭載されたバッテリー資源をスマートグリッドに接続させ、EV に蓄積された余剰電力をスマートグリッドに戻す方法 (Vehicle to Grid: V2G) のアイデアが提案され、研究が進められている。EV はセンサの集合体であるが、この多量のセンサデータをデータベース化し、情報共有用途に用いることが有効であると予想される。したがって本研究では、V2G 応用を最終的な目標とした、EV ログデータのデータベース化に関する Feasibility Study を行う。具体的な実施方法として、EV の位置や加速度などの基礎的なデータを収集・蓄積・検索できるデータベース設計手法を明らかにする。このデータベースに対し、実際の自動車移動のログデータを蓄積したデータベースを構築し、実用性を考慮して試験運用を行う。

A Study on Information Gathering from EVs and Storing into a Database for V2G Application

Takashi Tomii

Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Associate Professor

In this research, a feasibility study for information gathering from electric vehicles (EVs) is performed. In recent years, the idea of “V2G (Vehicle to Grid),” in which many batteries on EVs are connected to the smart grid and supply electric energy to it, is investigated by many researchers. For realizing V2G usefully, it is anticipated that developing an appropriate database, which stores massive sensing data collected from onboard sensors on the EVs, is much effective for sharing various information with participants and administrators of the grids. Therefore, at first, we introduce an estimation model for energy consumption of moving EVs. In addition, we designed an adequate database schema, which can store all of the collected and estimated data. By using the database, various useful queries can be performed. As a result, we developed a prototype system, and also executed a long term experimentation of data collection, that shows effectiveness and usefulness of the database.

1 研究目的

1-1 研究背景と目的

地球温暖化抑止や電力需要の増大への対応など、省エネルギー技術の向上が強く求められている。その中でも、スマートグリッドで地域・家庭の電気エネルギー需給の統合を図る試みや、電気自動車 (EV) の導入による日常消費エネルギー量削減は、一つの技術革新として近年大きく注目されている。

EV はバッテリーを搭載し、モーターで駆動される新たなモビリティである。この搭載バッテリーをスマートグリッドの一部とみなし、余剰容量や余剰電力をスマートグリッドに提供する V2G (Vehicle to Grid) は、新たなモビリティ社会をもたらす技術として期待されている。V2G の導入によって、EV は電気エネルギーを運ぶモビリティとしての役割へと変化する。その一方で個々の EV のバッテリー容量が小さいことやバッテリー寿命の問題から、現状では V2G は不安定であるとの見方が強い。したがって、V2G を安定的に実現するためには、ある程度のマス (数

量) をもって安定量とする試みが望まれる。すなわち、1 箇所に多くの EV が集合して十分な総容量をもたらすことが望ましい。日常の中では、通勤など一定の使い方をしている多数の EV それぞれが省燃費活動をし、個々にはできるだけ多くの容量を、かつ、それらが集結してスマートグリッドに接続されるようなスタイルが有効であると考えられる。

ところで、自動車の利用者個人の取り組みに目を向けると、満タン法などの簡易でおおざっぱな方法で燃費改善を試みており、個々の状況において実際にどの程度の省燃費効果があったのかを定量的に把握することは難しい。このため、エネルギー消費改善効果を地点ごとや道路ごとなどの「具体的に効果を得られそうな」単位で把握することは難しい。

そこで本研究では、自動車に設置された簡易なセンサによって燃費改善につながる日常のログを収集するとともに、そのログを EV の残容量評価に用いることができるデータベースを構築する。このデータベースにより、個人は自分の状況に応じたドライビ

ングの傾向を把握できる。また、このようなEVが多数集まった場合にどの程度のマスをもったエネルギー容量となるのかを評価できるようにする。すなわち、スマートグリッドに接続される多数のEVの日常のログを収集し、スマートグリッドに提供できる容量を事前評価できるセンシングデータベースを構築する。

1-2 センシング環境における問題点

近年ではユビキタス技術の発展により、日常生活の中に多数のセンサと埋込コンピュータを利用し情報を獲得するセンシング環境の研究が進んでいる。しかし、センサが出力する値は単なる生のデータであるうえにデータの量が膨大であるため、内容記述に多大な負担がかかる。さらに、蓄積されたデータを必要に応じて検索できるような機能がないと、アクセスされない無駄なデータとなる。

したがって、センサで収集したデータを蓄積する際には、有用な情報を検索できるようにするために、膨大なデータにどのように索引付けを行うかが重要な課題となる。

1-3 本研究で解決すべき課題

本研究では、自動車に搭載したセンサから日常のセンシングデータを収集し、それらのデータをV2Gに役立つ情報として提示するデータベースを構築することを目指す。より具体的に、本研究で解決すべき課題を設定する。

課題1) 各EVのバッテリー残量をどのように安定的かつ簡易に見積もるか

課題2) EV単体ではなく、ある程度の台数を集約したエネルギー量をどのように見積もるか

EVの搭載バッテリーに蓄積できる電気エネルギーは1台あたり最大24kWh程度で、移動に用いられる電力量や予備分を考慮すると、実際にスマートグリッドに提供できる電力量はもっと少ない。また、EVの消費エネルギーは、個々のドライビングスタイルや移動時の交通状況に応じて異なるため、個別の状況に応じた残容量の評価方法が必要となる。

課題3) 簡易センサを既存の自動車に搭載するだけでEVへの置換え効果をどのように見積もるか

EVは革新的なモビリティであるため、V2Gが実現されたとしても実際にどの程度の効果が得られるのかについては実証実験中であり、事前把握が難しい。そこで、既存の自動車の日常移動をセンシングし、EVの導入効果を事前評価できるとよい。

課題4) エネルギー消費の観点から、利用者の運転改善に役立つ粒度でセンサ値を集約できるか

燃費算出の考え方は、EVもガソリン自動車でも大きくは変わらず、単位一次エネルギー消費量あたりの走行距離（またはその逆）として換算される。もっとも簡易な満タン法による燃費算出では全体的な傾向を掴むことができる。ところが、ルートを選択や状況ごとのドライビング操作の影響で生じるエネルギー消費状況を把握することは難しい。一方、瞬間燃費計（電力計）を用いれば詳細なエネルギー消費状況を把握することが可能だが、値の変動が大きく、情報の粒度が細かすぎる。このように、既存の燃費算出方法には、情報の粒度に大きなギャップがあり、かつ、運転者にとって有用な情報にはなりにくい。逆にいえば、交通状況やEVの使用状況に関するテーマ（場所や時間帯、ルート選択など）をあらかじめ決めて、その条件を満たすデータだけを収集・集約できれば、有効な情報になり得る。

2 研究経過

上記の課題に対し、簡易なセンサでデータを収集するとともに、必要なデータだけを効率的に再編成して、ユーザの求める情報を生成できるデータベースを構築する。このデータベースを利用してある程度安定したエネルギー量を見積もることを本研究の全体的な目標とする。

データベース化が有効なのは「型」をもった事象、すなわち、何度も繰り返し行われるような事象である。そこで通勤を主体とした日常の移動に着目し、数量を集めることによって安定した量を算出できる情報収集を行う。本研究では、課題1～課題4に対して下記に示す解決方法を考案し、一部について実際に評価することを試みる。

課題1の解決方法：EVはモータだけで駆動されることから、エネルギー消費状況を後付のセンサ値から推定することが可能であると仮定する。したがって、簡易なセンサの計測値を利用してエネルギー消費状況の推測を行う。

課題2の解決方法：同じ場所へ通勤してくる数台分のセンサ情報を集約し、マスをもったエネルギー残量を算出できるようにする。

課題3の解決方法：スマートフォンのような簡易かつ能動的な追加センサを利用し、移動情報を収集する。この値から、EVに置き換えた場合のシミュレーション値（推測値）を導出する。

課題4の解決方法：地点ごと、時間ごと、車種ごとなど、運転者の勘にマッチした情報粒度を設定し、センサ値の集約演算を行えるようにする。

これらの解決方法はすべて、次の要件A、Bを満たすデータベースを構築することに帰着する。

要件A：センサ値に対し適切な単位（アトミックなデータ）を設定し、この単位のデータに索引をつけてデータベースに蓄積する。

要件B：要件Aの単位データに対し、有用なグループ化ができる集まりを設定し、データベースのグループ化演算を適用できるようにする。

これらの課題解決法に基づき、要件A、Bを満たすデータベースの試作を行い、評価を行った。

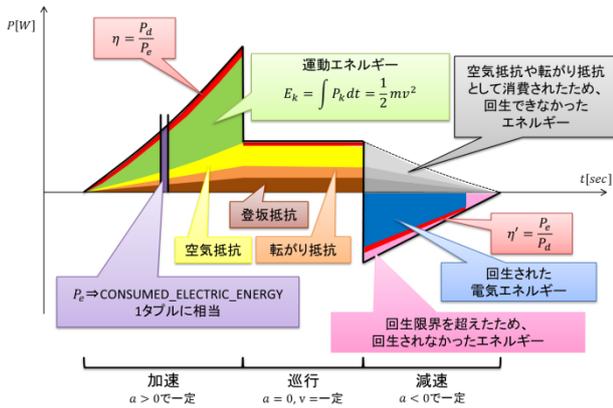


図1 EVのエネルギー消費モデル

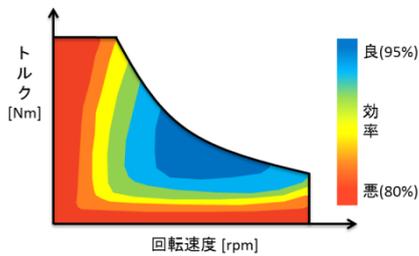


図2 電気エネルギー・運動エネルギー変換効率η

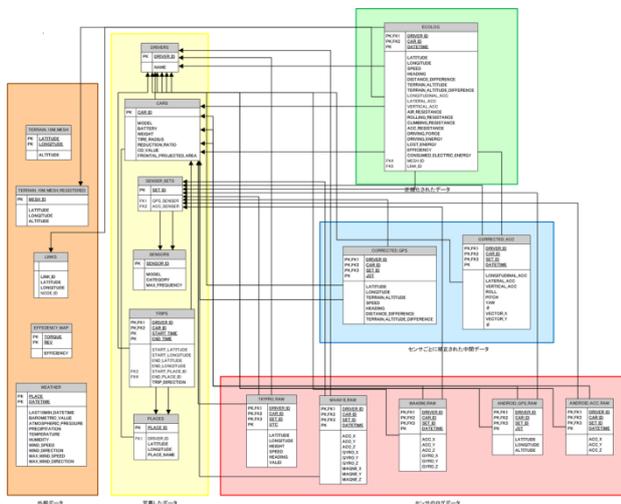


図3 ECOLOG データベースの構成

3 研究結果

3-1 センシング環境におけるEVのモデル化

自動車移動ログをV2Gのために利用するために、スマートグリッドに提供可能な電力量を定量的に予測する必要がある。そこで、EVの運動状態、および、モータの電気的特性について単純なモデルを導入し、簡易なセンサから得られる値だけでエネルギー消費状態の推定を行った。

モデルの詳細については発表文献に譲るが、加減速を伴って移動するEVのエネルギー消費状況を図1のようにモデル化した。このとき、EV固有の電気エネルギー・運動エネルギー変換効率η(図2)を考慮のうえ、情報の最小単位として1秒間の消費電力の推定値をデータベースに蓄積した。設計したデータベースのスキーマを図3に示す。図3において、車載センサから得られた推定値を蓄積したテーブル(ECOLOGテーブル)が、エネルギー消費状況に関する集計検索の対象となる。

3-2 蓄積情報を活用したデータベース検索

前節で述べたデータベースを用いれば、単なる選択操作と総和演算によって、エネルギーの状況を検索できる。この際、個々の運転者の視点からは、課題4に対する解決方法のように自己の運転軌跡上の該当データを集計し、比較可能にすればよい。またV2Gの視点では、課題2に対応するように、スマートグリッドに接続される複数のEVに関して該当データを総和集計すればよい。

これらの検索演算はSQL文によって記述可能であり、かつ、データベース管理システムの検索最適化が適用されるため、登録データが大量になったとしても、ある程度現実的な時間で検索を実行できる。



(a) センサ本体 (b) 設置状態
図4 車載センサ

¹ Energy Consumption Logの略をとり、ECOLOGと名付けた。



図5 道路地点別エネルギー消費状況の視覚化

表1 通勤に要するエネルギー消費と残余の集計

単位: kWh	平均E	標準偏差σ	最小	E-σ	E+σ	最大
往路	4.1	1.1	1.5	3.1	5.2	7.1
復路	3.8	0.9	1.7	2.9	4.7	6.2
合計	7.9	1.3	4.9	6.5	9.2	11.7
残余	4.1	1.3	7.1	5.5	2.8	0.3

3-3 搭載センサと移動ログ収集実験

実装したプロトタイプでは、Android OS 搭載のタブレット端末、および、GPS ロガー（747Pro; Transystem 社製）と加速度センサ（小型無線ハイブリッドセンサ II WAA-010; ATR-Promotions 社製）を被験車両（ガソリン自動車）のダッシュボードに設置してデータ収集を行った（図4）。2011年7月12日～2012年3月31日までに、被験者1名の通勤データ往路114件、復路118件が採集された。

3-4 データベース構築と検索による情報提示

採集したログから図1の推定モデルにしたがって各値を算出し、ECOLOG テーブルに蓄積した。このデータベースに対し、次に示す検索1および2を実行した。それぞれ、個人運転者の運転改善視点（課題4）、スマートグリッドで収集するエネルギー視点（課題2）からの集約検索の例である。

検索1: ある運転者個人の今回の通勤軌跡に対し、その運転者の同軌跡の全データについて、地点ごとのエネルギー消費状況の平均値と標準偏差を算出して比較せよ。

検索2: ある地点をゴールとする全軌跡に対し、スタート地点からのエネルギー消費総和を求め、その平均値と標準偏差を算出せよ。

検索1については、地図データ上での可視化を行った（図5）。図5においては、軌跡から進行方向に対して左側に各地点でのエネルギー消費量を示し、赤い線は今回データ、青い線は平均値、緑の幅は標

準偏差を表している。今回データと統計データとの差を見ることによって、どの地点での運転操作が自己のエネルギー消費傾向とどう違うのかを直観的に把握することができる。このデータは1名の被験者によるものであるが、データを登録すれば同一車種の別人との比較なども可能となる。また、検索2の結果を表1に示す。表1は、ある被験車両からV2Gに日々提供可能な電気エネルギー残量の見込みを示し、このケースでは $4.1 \pm 1.3 \text{ kWh}$ と集計している。集計元となるデータは個々の運転記録であることから、個別の状況に応じた集計を実現できる。また、被験者量が増えれば総体としての残余傾向を把握できるため、マスをを持ったデータとして集計結果を扱うことが可能となる。これらのような検索によって、自己・他者との比較や傾向を具体的・定量的に示すことが可能となり、「情報説明力」を有するデータ提示の一例と成り得る。

4 今後の課題と発展

プロトタイプを用いた実験では、1名の被験者を対象に長期のデータ収集を行い、地点別などの集計検索が可能であることを示した。今後は複数の被験者データを収集し、多様な検索を実現して、さらに有用なデータベースとしての評価実験を行う。また、推定して得られたエネルギー消費状況が、実際のEVのエネルギー消費状況と比較して正しかったのかについて、精度検証を行う。

プロトタイプではセンサ・ロガーの操作などの点で被験者に負担を強いるケースが見られた。この点についてはAndroid 端末等を活用し、一部を自動化して改善を図る。これにより今後の発展として、スマートフォンと「アプリ」を追加するだけで、多様な実験参加者からのデータ収集を試み、より一般的なデータベースとして有用性を示したい。

5 発表文献

- [1] 富井尚志, 萩本真太郎, 出口達, 笛田尚希, “電気自動車の日常ログを蓄積するV2G指向データベースの設計”, ITS Japan, 第10回ITSシンポジウム2011 Proceedings, 1-B-11, pp.91-97, 2011.11
- [2] 笛田尚希, 萩本真太郎, 出口達, 富井尚志, “電気自動車の走行ログを蓄積するDBの構築とEV消費電力推定手法”, 第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2012), C6-4, 2012.3