

V2X 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

V2X 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ことを本研究課題の達成目標とする。V2X とは、Vehicle to Home、Vehicle to Building、あるいは Vehicle to Grid など、EV が保持するエネルギーをいずれかに運ぶことを意味する。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、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。このデータベースを検索することによって、ベテラン経験者が持つ「暗黙知」を含むいわゆる「集合知」を明示的・定量的に提示することが可能となる見込みである。本研究課題では、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 V2X Application

Takashi Tomii

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

We have constructed a database that contains daily logs of moving information of vehicles acquired by smart phones with built-in sensors. By using appropriate queries for the database, it is realized that various estimations of effects by replacing electric vehicles (EVs) are performed quantitatively. In scope of individual drivers, they can understand how much energy might be consumed in EVs, by calculating their own driving data. On the other hand, from the viewpoint of vehicle to X (V2X) application, quantitative amount of movable electric energy can be estimated in advance. We developed a prototype system, and evaluated the results of the estimations by using a real EV.

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。このように、EV に充電された電気エネルギーを別の場所 (家庭・建物) や時間に移動させて利用することを総称し V2X と呼ぶ。

ところで、現状において EV はガソリン自動車 (GV) やハイブリッド自動車 (HV) ほど普及が進んでいない。その理由の一つとして、EV への置換え効果を事前に把握することが難しいことが挙げられる。EV へ置換

えた場合にどの程度のエネルギー消費が発生し、V2X によってどの程度のエネルギー移動が実現できるのかについては、個々の自動車の利用状況に依存する。このため「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。

そこで本研究では、既存の GV や HV にスマートフォンなどの簡易な情報端末を設置するだけでデータを収集し、EV に置換えた場合の効果を定量的に示すようなデータベースの構築を目指す。このデータベースには、日常移動データを基に EV のモデルに当てはめて算出したエネルギー消費状況ログを蓄積する。それらを集約し、運転者個人の日常のエネルギー消費状況の推定見積、あるいは、通勤先固有の V2X 提供可能電力量の推定見積を定量的に示すような検索を実現する。

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

EV の普及や V2X の実現に際し、「実際にやってみないとわからない」という問題が存在する。特に、「家庭で夜間に充電し、昼間の通勤先で電力ピークシフト実現のために V2X によって電力提供（買取）する」という社会的貢献を重視したシナリオに対し、我々は次のような課題があると考えた。

- 個人運転者は GV・HV から EV に置換えられた時に、具体的にどのようなエネルギー消費になるか、事前に定量的な見通しを立てたい
- V2X で電力提供を受ける事業者は、通勤用自動車を EV に置換えた時に、トータルでどの程度の電力供給が得られるかを概算で見積りたい
- 以上の定量的見積りを、大掛かりな装置なく運転者にも負担をかけずに算出したい

2 研究経過

これらの課題に対し、本研究では後付可能な簡易な車載センサでデータ（走行ログ）を収集し、エネルギー消費状況に関するデータベースを構築することを提案する。提案システムの全体像を図 1 に示す。アイデアとして GV や HV と比較して、EV は運動のモデル化が容易であるため、外界から観測された量から電気エネルギー消費量の推定が可能であることに注目した。まず、既存の GV や HV に「後付で簡易に」センサ内蔵型スマートフォンを搭載し、走行ログを収集する（図 2）。これによって、運転者への負担を軽減する。集めたデータから、EV のモデルにしたがって瞬間のエネルギー消費量の推定を行う（図 3）。我々は、この推定データを ECOLOG（Energy Consumption Log）と名付けた。ECOLOG に対し有効な検索処理（集計クエリなど）を高速に実施するデータベーススキーマを構築した。スキーマの中で最もプリミティブな情報を表す ECOLOG テーブルの構成を図 4 に示す。

3 研究成果

3-1 実車を用いた長期データ取得

データベースや V2X の効果の検証のために長期的なデータ取得を行った。実験の概要とその結果を

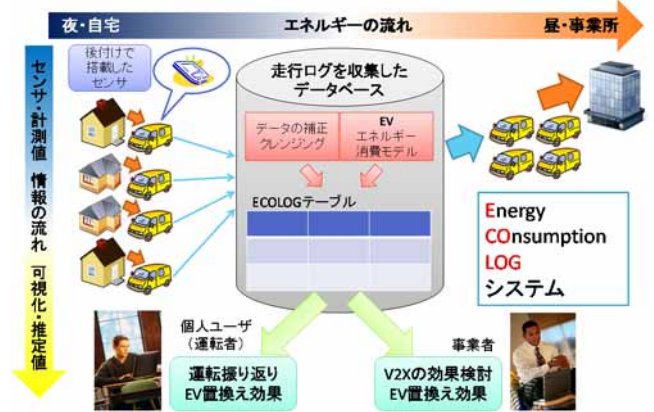


図 1 ECOLOG システムの概要



図 2 車載センサの搭載状況

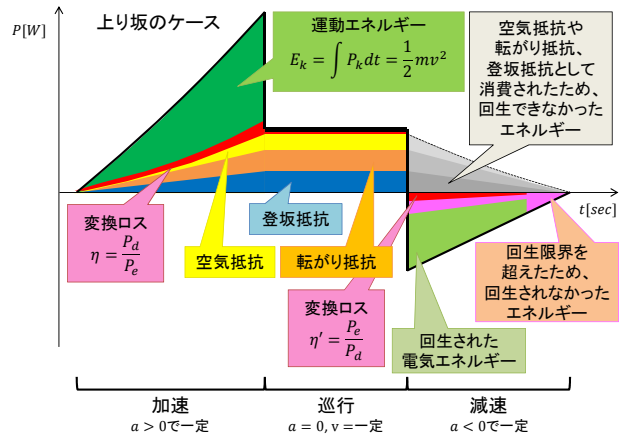


図 3 EV 走行時のパワーモデル

ECOLOG		主な属性の説明
PK,FK5	TRIP_ID	※ すべて瞬時値(1秒区間値) ・トリップIDと日時(主キー) ・緯度・経度(GPSで計測) ・速度(GPS地から計測) ・地点別標高差(地図から計測) ・進行方向加速度 (加速度センサで計測・補正) ・空気抵抗による損失 ・転がり抵抗による損失 ・登坂抵抗に対するエネルギー (位置エネルギーとして回収可能) ・加速抵抗に対するエネルギー (運動エネルギーとして回収可能) ・力行時のエネルギー変換損失 ・回生時のエネルギー変換損失 ・回生エネルギー ・エネルギー損失の総和 ・モータの変換効率 ・電気エネルギー消費量の総和
FK	JEI	
FK1	DRIVER_SENSOR_ID	
FK2	CAR_ID	
	LATITUDE	
	LONGITUDE	
	SPEED	
	HEADING	
	DISTANCE_DIFFERENCE	
	TERRAIN_ALTITUDE	
	TERRAIN_ALTITUDE_DIFFERENCE	
	LONGITUDINAL_ACC	
	LATERAL_ACC	
	VERTICAL_ACC	
	ENERGY_BY_AIR_RESISTANCE	
	ENERGY_BY_ROLLING_RESISTANCE	
	ENERGY_BY_CLIMBING_RESISTANCE	
	ENERGY_BY_ACC_RESISTANCE	
	CONVERT_LOSS	
	REGENE_LOSS	
	REGENE_ENERGY	
	LOST_ENERGY	
	EFFICIENCY	
	CONSUMED_ELECTRIC_ENERGY	
FK3	MESH_ID	
FK4	LINK_ID	
	SEMANTIC_LINK_ID	

図 4 ECOLOG テーブルの構成

表 1 に示す。第 1 期として 1 名の被験者の GV にセンサ内蔵スマートフォンまたはデータロガーを搭載した。第 2 期として EV を用いたデータ取得を行った。第 3 期には同一の駐車場に通勤する複数名の被験者数からデータ収集を行った。

3-2 蓄積情報を活用した情報提示実験

運転者による振り返りのための画面を図 5 に示す。運転者は、Google Maps 上に表される軌跡やその地点における消費エネルギー、ある時点における各瞬時値やカメラ画像、その前後のパワーグラフ(図 6)を連動して確認することができる。消費エネルギーは地図上に赤色(実線)の面積で表され、平均を示す青色(破線)の面積と比較することでこれまでの運転と今回の運転を比較することができる(平均からの幅は標準偏差を表す)。これらのグラフを用いることで、消費されたエネルギーの要因や回収可能か否かを知ることができる。

また事業者向けとして、発生する残余電力を 1 日ごとにまとめたカレンダー表示を実装した(図 7)。残余電力とは、その日の往復運転で消費されたエネルギーを 12kWh から引いた値である。この根拠は次の通りである。まず、バッテリー容量の上限を 24kWh と定める。日々の充電上限を 80% とし、トリップ完了時のバッテリー残量を 30% とすると、 $80\% - 30\% = 50\%$ が往復トリップと V2X で利用できる総量となる。よって、 $24\text{kWh} \times 50\%$ から往復トリップで使用するエネルギーを引いた量が V2X 提供可能量となる。

同一の駐車場に通勤してくる自動車は個々に経路が異なり、また日によって台数が変化することもある。これに対して、これらの自動車を EV に置換えた場合の残余量を、その日の被験者のデータから算出できることが確認された。

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。

3-3 実際の EV を用いた評価実験

導入した EV のエネルギー消費モデルの評価として、実際の EV を用いて実験的評価を行った。実験は以下のような流れで行った。

1. 被験車両である EV にデータロガーを搭載し、往復の走行ログを取得する。取得したログを基に消費電力(ECOLOG)の推定を行う。
2. 往路の出発時は EV が満充電の状態から運転を行い、復路の運転終了後に充電する際に、充電量を電力計によって測定する。

表 1 長期データ取得実験概要と結果

データ収集期間	2011/07/12～ 2013/03/31
被験者	4 人
ECOLOG レコード数	2,785,354
EV のレコード数	340,285
トリップ数	842



図 5 運転者向け情報提示

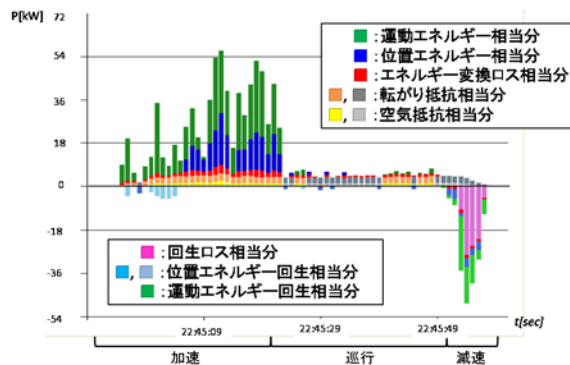


図 6 実データから作成したパワーグラフ



図 7 V2X 効果予測カレンダー

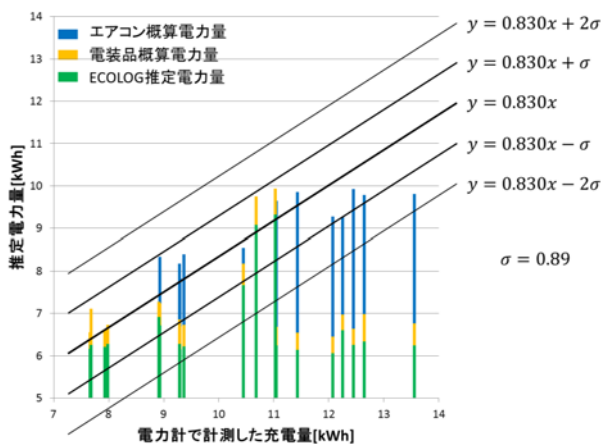


図 8 ECOLOG 推定値と充電量の比較

3. 推定した消費電力と電力計によって測定した電力とを比較し、相関を求める。

2012年9月24日～10月18日、2013年2月4日～8日の期間で被験者1名、被験車両1台(日産LEAF)による往復トリップ19件を取得した。実験の結果を図8に示す。図8において、縦軸は本研究において構築したモデルによる推定消費電力量、横軸は電力計で測定した充電量を示す。棒グラフの緑の部分がある往復トリップにおける ECOLOG による推定消費電力量を示す。ここで、ECOLOG では電装品やエアコンによる消費電力は考慮されていない。そこで、実車のEVに表示される電装品・エアコンの消費電力計の値を読み、トリップ時間や気象条件を考慮に入れた簡易な電装品・エアコン消費電力モデルを導入した。図8の棒グラフにおける橙の部分が電装品、青の部分がエアコンの推定消費電力量を示す。これらの影響を考慮した結果、推定消費電力量 y と測定充電量 x の間には、 $y = 0.830x$ の相関を得た。バッテリーの充電効率はおおよそ 80%～90% とされているため、おおよそ妥当な相関であると考えられる。

また、おおよそ 10kWh 程度の領域における推定消費電力量と測定充電量の差の標準偏差 σ が 0.89[kWh] となった。この結果、 $\pm 1\sigma$ の範囲の推定誤差は 9% 程度であり、また、 $\pm 2\sigma$ の範囲に収まるということが確認された。

4 今後の課題と発展

プロトタイプを用いた実験により複数名の被験者から長期データ収集を行い、多様な集計検索が可能であることを示した。今後は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。

また、電力を単純に移動させる V2X だけでなく、バッテリーの空き容量が移動しているとみなす V2G の導入効果を推定する用途に利用することも見込まれる。今後は、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] 萩本真太郎, 河野弘樹, 笛田尚希, 出口達, 富井尚志, “スマートフォンを用いた自動車走行ログ収集とEVモデルに基づくデータベースの構築”, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-DBS-155, No.20, pp.1-10, 2012.11
- [2] 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 Proceedings, 2-C-01, pp.433-438, 2012.12
- [3] 富井尚志, 萩本真太郎, 笛田尚希, 出口達, 河野弘樹, 出縄誠, 林拓也, “自動車の日常移動ログデータベースの構築とEVへの置換えによるV2X効果推定”, 第11回ITSシンポジウム2012 Proceedings, 1-B-08, pp.103-108, 2012.12
- [4] 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”, 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), D6-6, 2013.3
- [5] 笛田尚希, 萩本真太郎, 林拓也, 讚井峻, 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, 2013.3
- [6] 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, 2013.6 (掲載予定)
- [7] Takashi Tomii, Shintaro Hagimoto, Naoki Fueda, Toru Deguchi, Makoto Idenawa, Takuya Hayashi, “A Long Term Experiment of the ECOLOG Database Capable to Estimate V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress Tokyo 2013, to appear