

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

萩本 真太郎^{1,a)} 河野 弘樹^{1,b)} 笛田 尚希^{1,c)} 出口 達^{1,d)} 富井 尚志^{2,e)}

概要: 近年 GPS や加速度センサを内蔵したスマートフォンの普及により日常のログ収集が容易になった。我々はスマートフォン内蔵センサを用いたデータロガーを実装し、一年以上に渡って自動車走行ログの収集を行った。また電気自動車 (EV) モデルに基づく走行ログデータベースの設計を行った。このデータベースによって EV への置換え効果やエネルギー消費状況の視覚化など多様なデータ利用が可能となる。結果としてデータロガーが実用可能であること、および多量のデータを蓄積したデータベースが実用的時間で検索可能であることがわかった。

キーワード: スマートフォン, 自動車走行ログ, センサデータベース, 電気自動車

Collecting Driving Logs using Smartphones and Construction of a Database System based on Electric Vehicle Model

SHINTARO HAGIMOTO^{1,a)} HIROKI KOUNO^{1,b)} NAOKI FUEDA^{1,c)} TORU DEGUCHI^{1,d)}
TAKASHI TOMII^{2,e)}

Abstract: In recent years, it is easy to collect many logs of various daily activities by using intelligent devices such as smartphones equipped with a GPS and an acceleration sensor. We implemented the data logger using smartphones, and also we have collected logs of car driving in daily commutes for more than one year. In addition, we designed appropriate database schema for storing the driving logs, in which all data are regulated by an electric energy consumption model of electric vehicles (EVs). By using the database, we can use the driving data in a variety of ways such as estimating energy consumption by replacing ICVs with EVs, anticipating an amount of rest electric energy in daily commute, and so on.

Keywords: Smart Phone, Driving Log, Sensor Database, Electric Vehicle

1. はじめに

現在, 温室効果ガスの排出量の増加による地球温暖化や

¹ 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
Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

² 横浜国立大学大学院環境情報研究院
Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

a) hagimoto-shintaro-tw@ynu.ac.jp

b) kouno-hiroki-dn@ynu.ac.jp

c) fueda-naoki-yd@ynu.ac.jp

d) deguchi-toru-mk@ynu.ac.jp

e) tommy@ynu.ac.jp

化石燃料の枯渇などから省エネルギーの要求が高まっている。エネルギー消費量のうち4分の1が運輸部門からであり、その4分の3が道路交通分野であるため道路交通分野での省エネルギーが必要とされている。

道路交通分野における省エネルギーの手段の1つとして、個々の運転者の運転改善が考えられる。しかし、自分の運転を振り返る際に、ガソリン給油量による満タン法で計算される全体のエネルギー消費量や、瞬間燃費計から出力される瞬間のエネルギー消費量だけでは、運転者にアクションを促すような有用な情報になり得ていない。

最近では自動車のカーナビゲーションから送信される走

行データを集約し、統計データとして表示するプローブ情報サービスも存在する。その情報はある時点での道路全体の傾向を示すため、その場でのルート選択に役立つが、自分の運転を振り返ることには向いていない。また、自動車内に流れているCAN(Control Area Network)データを直接取得することで自動車内部のデータを取り出して利用することも可能である。しかし、機械に寄りすぎたデータであるため、粒度が細かすぎ、運転改善に直接役立つのは難しい。このように、自動車内のデータや走行データを収集して情報として役立つことが行われているが、情報の利用法には課題が残る。

一方で、道路交通分野における省エネルギーなモビリティとして、電気自動車(Electric Vehicle: EV)が注目されている。EVはガソリン車に比べ、燃料コストや二酸化炭素排出量が大幅に削減される。また、EVは電気を蓄積するためのバッテリーを積んでいるため、運転に使用しないバッテリーの余剰電力を他の場所に供給するV2X(Vehicle to X)への利用が考えられている。V2Xを行うことで通勤先で使用する電力の一部をEVのバッテリーから使うことができる。EVでV2Xを実施するときに注意すべきことは、EVのバッテリー容量自体が小さいことである。このため、V2Xにより電力を消費したために、走行に必要なエネルギーが不足することが考えられる。

このように、EVは新たなモビリティとして注目を集める一方で、導入コストが高いことや充電インフラが十分に整っていないこと、ならびに、実際に使用・移動可能な電力エネルギーの見通しが立ちづらいなどの問題もある。このため、普及が進まないことやインフラ整備が遅れるなどの悪循環の恐れもある。

以上のことから本研究では自動車にセンサを搭載して走行データを収集する。そのデータをデータベースに蓄積して、走行に必要なエネルギー量や運転者が自分の運転を振り返りに利用できるようにする。この際、必要となるエネルギー量はEVのモデルを用いて算出する。これによって、EVへの置換え効果を、実際の個々の運転状況を基に推定できるようにする。以上より、本研究では次の2点について実証実験を行う。

- (1) 自動車の後付けのスマートフォンを設置するだけで運転状況のログを収集する
- (2) 収集したデータをEVのモデルに基づくデータベースとして構成し、多様かつ有用な検索を実現する

2. 背景, 関連研究

2.1 関連研究

2.1.1 EVとV2X

EVはバッテリーを搭載し、モータによって駆動する新たなモビリティである。例えば日産の電気自動車LEAFは24kWhのバッテリー容量を持ち、最大200kmの走行が可

能とされる[1][2]。EVの特徴としては走行時の排気ガスが一切ないこと、騒音を出さないこと、夜間電力による充電を行うことによって電力コストが低く済むことが挙げられ、今後より一層の普及が進むと考えられる[3][4][5]。

またEVに搭載されたバッテリーに充電した電力を、電力網(Grid:V2G)や家(Home:V2H)、ビル(Building:V2B)に提供するV2X(Vehicle To X)という技術が注目されている。Kemptonら[6][7]はV2Gをアメリカの電力市場に投入した際にどの程度の効果と利益を得られるかの検証を行った。Kambojら[8]は送電網にEVを組み込むためにマルチエージェントシステムを適用し、実際の市場において収入が見込めることを実証した。Jansenら[9]は既存の電力網にV2Gを投入した際、V2Gが果たす役割について論じた。太田ら[10]はEVを家庭の電力網に接続することで、再生可能エネルギーのような不安定な電源の補助として活用できることを検証した。また本年には日産自動車がLEAF to Home[11]として、V2Hの製品化を行った。

しかし、V2X実現のためには様々な課題がある。その中でもEV搭載のバッテリー容量の小ささはEVの普及においても問題とされている。この問題に対して、Zhangら[12]はテレマティクスシステムの中でも重要な残余走行距離推定を、計算資源の節約を行いながらも達成する手法を提案した。その他にも課題として、充放電の繰返しによるバッテリー寿命の短縮、新技術ゆへの社会制度、十分な充電インフラの整備などがあり、これらに関してはEVの普及とともに官民が協力して解決すべき課題といえる。

2.1.2 センシング

近年の情報技術の発達により、無線ICタグやGPS、加速度センサのようなセンサ類を搭載した高度で安価な情報端末が登場した。これによりいつでもどこでも誰でも計算機の恩恵を受けられるユビキタス環境が実現された[13]。

その発展として、上述したセンサ類を自動車に搭載することで自動車自体を一つのセンサとする「プローブカー」に関する研究も行われている。Manzoniら[14]はバスのような運転スタイルによって燃費が大きく影響される車両にセンサを搭載し、運転者別や時間帯別でエネルギー消費に差があることを確認した。森川ら[15]はプローブカーデータに気象状況や道路状況を組み合わせた動的経路案内システムを開発し、その性能評価を行った。

これらの自動車からの情報収集も、近年著しく普及しているスマートフォンにより実現できる。我々はこのスマートフォンを自動車に搭載することで、自動車走行ログの収集を行った。

スマートフォンを自動車に搭載してデータを取得する研究は様々行われている。八木[16]はスマートフォンの加速度センサを用いて走行時の段差の検出を行う研究に加え、先の東日本大震災において発生した路面段差の調査も行った。佐藤ら[17]はスマートフォンがプローブ情報取得セ

ンサとして十分使用可能であることを検証した。Sawadaら [18] は自動車に搭載したスマートフォン同士で Wi-Fi 通信を行うことで、車々間通信を行うシステムを提案した。

2.2 本研究で解決すべき課題

前節で述べたように、自動車から計測した情報を集約して、エネルギー環境の改善に寄与する試みが現実化している。また、EV はエネルギー環境に寄与するものであるが、個々の自動車利用者にとってどのような効果が生じるのかわかりづらいという問題を持つ。そこで、本研究では個別の運転状況を収集したデータベースを構築し、V2X を視野に入れた EV への置換え効果を導出するデータ利用を実現する。ここで、本研究で解決すべき課題を定義する。

- 後付けのスマートフォンだけで運転者に負担をかけずにデータを収集できること
- 集めたデータから、特に消費エネルギーについて多様な視点でのデータ利用がなされること

以上の課題を解決する情報システムとして、“ECOLOG データベース” の設計・実装を試みた [19]。また、1 年以上にわたって実際にデータを収集を行い、実用性と有用性の評価を試みた。

3. ECOLOG データベースの設計

3.1 ECOLOG システム全体の要求事項

本研究のシステムの全体像を図 1 に示す。自動車に搭載したスマートフォンのセンサデータを自動車走行ログとして収集し、データベースに蓄積する。データベース内ではセンサデータに補正や正規化を行ったデータに対し、消費エネルギー推定が行われる。運転者は自分の運転を振り返るための情報を検索することでこのデータを利用することができる。我々はこのデータ 1 レコードを ECOLOG (Energy Consumption LOG) と名付けた。ユーザはデータベースに対し多様な検索が可能となる。ECOLOG を生成し、蓄積するために必要な要件を表 1 に示す。本章ではこれらの機能を備えたコンポーネントであるデータロガーとデータベースの設計について説明していく。

3.2 データロガーの設計

本節では自動車走行ログデータを収集するためのデータロガーの設計について説明する。このデータロガーは自動車内に設置し、自動車走行ログを記録する。この際、運転者に余計な機器操作を強いないことが望ましい。このため、データロガーそのものが運転状況に応じて ON/OFF の切り替えやデータのアップロードを能動的に実行する必要がある。そのために必要な機能を以下に述べる。

自動車の運動状態のセンシング

次節で述べるように、EV の電気エネルギー消費状態は物理的な運動状態から推定することが可能である。そ

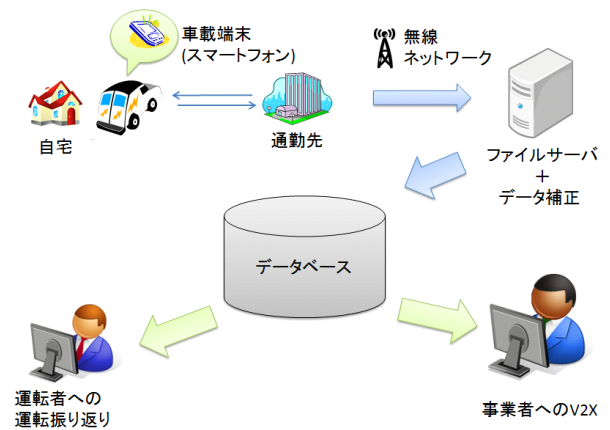


図 1 ECOLOG システム概要図

で、自動車走行ログの記録に GPS と加速度センサを用いる。この 2 種類のセンサで計測した速度・加速度から、運動方程式を用いて自動車の物理的な運動状態を算出する。また、緯度経度の情報は地図上にデータを表示する際に利用する。データロガーは加速度値取得のため自動車内に固定され、自動車の加減速を直接計測するものとする。

自動ロギングと省電力化

自動車の運転者が運転の開始・終了時にデータロガーの起動・終了操作を行うのは運転者への負担が大きい。そこで、それぞれのイベントを検知し自動的に実行制御する機能が求められる。また、運転中のみログの記録をすることで、データロガーのバッテリーを節約することができる。

自動アップロード

データロガーに記録した走行ログをデータベースに蓄積するために、ファイルサーバにアップロードする。アップロードに利用する手段としては 3G や Wi-Fi などの無線ネットワークを用いる。これも自動ロギングと同様に、自動的に実行制御をする機能が必要である。

熱対策

データロガーは GPS の衛星からの電波を取得できるような位置に固定する必要がある。このため、夏場に自動車内の気温上昇と直射日光の両方にさらされる場合が考えられる。このような高温状態において動作させることは故障につながるため、データロガーの内部温度を監視し、必要に応じてデータロガーを保護する機能が必要である。

3.3 データ補正とエネルギー消費モデル

3.3.1 加速度計測の軸の補正

データロガーから収集されたデータにはノイズなどの異常データやセンサ固有の出力値の傾向などがある。加速度センサは固定の仕方によって、センサの出力値が異なる軸の値を示す場合がある。特に 3 軸加速度センサを固定した向きと自動車の進行方向、水平方向、垂直方向の軸の対応をデータロガーの設置時に正確にとるのは困難である。このため、任意の向きに固定をすればよいという方針にした。

表 1 システムに要求される機能

コンポーネント	役割	要求機能	実装方法
車載端末	センシング	内蔵センサの値をローカルに記録	Android 端末の GPS+加速度センサ
	自動ロギング	運転状況に応じてロギングの管理	Android OS の電源検知イベント
	省電力化	ロギング中&ロギング OFF 時に省電力化	Android OS の電源管理
	熱対策	炎天下時の車内の熱からロガーを保護	Android 端末の内部電池温度を取得
	自動アップロード	ネットワークを利用して ローカルのデータをサーバにアップロード	Wi-Fi の無線通信
ファイルサーバ + データ補正	ログ検知	更新データをデータベースに挿入	前回更新時との差分
	補正	センサデータの補正	加速度センサの軸補正
	EV モデルの適用	EV の運動モデルからエネルギーを計算	EV の運動方程式を適用し 消費電力を推定
データベースサーバ	検索	蓄積したデータを検索	多様な検索が可能な可視化システム

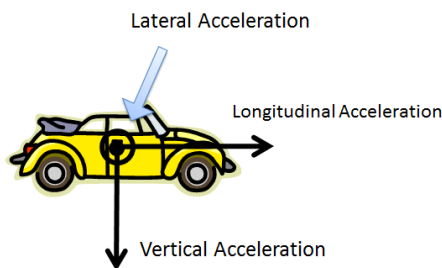


図 2 自動車にかかる加速度の定義

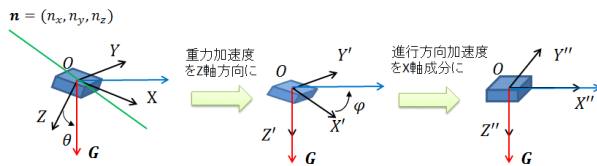


図 3 加速度軸補正のイメージ

これにより、データ収集後に軸補正を行って、自動車の進行方向、水平方向、垂直方向の各成分の加速度値を算出する方法が必要である。

自動車にかかる加速度を図 2 に示す。平坦な道を走る場合、Vertical Acceleration(垂直方向加速度)として常に重力加速度がかかる。発進や停止などは Longitudinal Acceleration(進行方向加速度)、ハンドル操作による右左折は Lateral Acceleration(水平方向加速度)に加速度がかかる。自動車のエネルギー消費は主に進行方向の運動に対して発生する。したがって、進行方向加速度を正確に取得するための補正はシステムの信頼性に関わる重要な要素である。

この値を自動車の動きの軸に対応させるための手順として 2 段階の軸の回転で補正することを考えた。図 3 に加速度軸補正のイメージを示す。

- 第 1 段階：重力加速度が加速度センサにおける Z 軸成分に対応するように回転する
- 第 2 段階：自動車の進行方向が加速度センサの X 軸成分に対応するように回転する

水平な道路に停止した自動車における加速度センサの値は重力加速度のみを含む。そこで道路に停止時の加速度値

G_i が n 個あるとき、その平均重力加速度値 \bar{G} とすると

$$\begin{aligned} \bar{G} &= (\bar{g}_x, \bar{g}_y, \bar{g}_z) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i \end{aligned} \quad (1)$$

これを $G' = (0, 0, 9.8[m/s^2])$ に回転させる回転角 θ と回転軸 $n = (n_x, n_y, n_z)$ は

$$\theta = \arcsin\left(\frac{|\bar{G} \times G'|}{|\bar{G}||G'|}\right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} n &= (n_x, n_y, n_z) \\ &= \bar{G} \times G' \end{aligned} \quad (3)$$

で求められる。このとき、計測された任意の加速度ベクトル $a = (a_x, a_y, a_z)$ を n 軸上に θ 回転する回転行列^{*1} $\Theta(\theta, n)$ によって補正された $a' = (a'_x, a'_y, a'_z)$ は

$$\begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix} = \Theta(\theta, n) \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

によって求められる。 a' は速度 $v = 0[km/h]$ のときに、理想的には $(a'_x, a'_y, 9.8[m/s^2])$ である。

第 2 段階目の補正では、進行方向と水平方向の加速度の切り分けを行う。そのために、ブレーキをかけたときの加速度を利用する。自動車は信号などで停止するために何回も再的に減速を行う。このときの減速方向に加速度を強く受けることを利用する。ブレーキをかけたときの加速度値 B_j が m 個あるとき、その平均重力加速度値 \bar{B} とすると

$$\begin{aligned} \bar{B} &= (\bar{b}_x, \bar{b}_y, \bar{b}_z) \\ &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m B_j \end{aligned} \quad (5)$$

これを減速方向への加速度値のみを含む単位ベクトル $B' = (-1, 0, 0)$ に Z 軸まわりに回転させる回転角 ϕ は

$$\phi = \arccos\left(\frac{|\bar{B} \times B'|}{|\bar{B}||B'|}\right) \quad (6)$$

*1 回転行列の詳細は本稿では省略する。

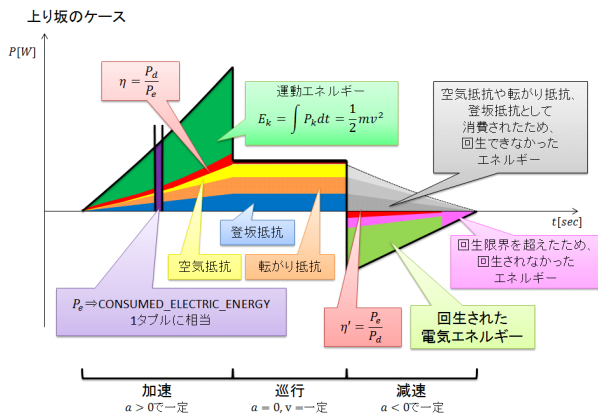


図 4 EV 電力消費モデル

で求められ、第 1 段階の補正を行った $\mathbf{a}' = (a'_x, a'_y, a'_z)$ を補正する回転行列の式は以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} a''_x \\ a''_y \\ a''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

式 (7) により自動車の進行方向、水平方向、垂直方向の 3 軸に対応した加速度 $\mathbf{a}'' = (a''_x, a''_y, a''_z)$ を算出できる。

3.3.2 EV の消費エネルギー計算モデル

EV が走行する際にかかる力は以下の運動方程式で表される [20]。また式 (8) における各パラメータを表 2 に示す。

$$\begin{aligned} F_d &= R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC} \\ &= \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 + \mu M g \cos \theta \\ &\quad + M g \sin \theta + M(a + g \sin \theta) \end{aligned} \quad (8)$$

それぞれの項は、速度や大気の状態による空気抵抗 R_{AIR} 、路面やタイヤの状態による転がり抵抗 R_{ROLL} 、斜面の上り下りによる登坂抵抗 R_{SLOPE} 、加速による加速抵抗 R_{ACC} の 4 種類の抵抗である。それらの総和に釣り合うようにしてモータが駆動力 $F_d[N]$ を出力する。GPS、加速度センサから得られる緯度経度と加速度値からこの式で速度 v と加速度 a を算出する。モータの仕事率 $P_d(t)[W]$ は $P_d(t) = F_d(t) * v(t)$ で求められる。EV の場合 P_d が正の値の時はエネルギーを消費し、負の値の時はエネルギーの回生が行われる。図 4 に EV 走行時のパワーグラフを示す。図の縦軸は仕事率、横軸は時間を示す。この図では EV が坂を上りながら加速、巡行、減速しながらエネルギーを消費する様子を表す。モータの仕事率に機械 - 電気エネルギー変換効率マップ (モータの効率マップ) を適用し、消費電力エネルギーの推定を行う [20]。

3.4 データベースの設計

本節では、ECOLOG を蓄積するためのデータベースの設計について説明する。本システムはデータロガーから得られるセンサデータを蓄積し、運転者が運転の振り返りをはじめとする様々な検索ができるように設計する。このた

表 2 運動方程式のパラメータ

パラメータ	単位	意味	取得方法
ρ	kg/m^3	空気の密度	定数
C_d		空気抵抗係数 (CD 値)	カタログ値
A	m^2	自動車の正面面積	カタログ値
v	m/s	自動車の走行速度	GPS から算出
μ		転がり抵抗係数	定数
M	kg	車両総重量	カタログ値
g	m/s^2	重力加速度	定数
θ	rad	坂路勾配	地図データから
a	m/s^2	進行方向加速度	加速度センサから

めに重要なことは過去のデータから統計的な検索を高速にできることが要求される。すなわち、多様な視点から情報を集約、演算できることが必要である。以下データベーススキーマについて説明する。

図 5 に ECOLOG データベースのスキーマ図を示す。図 5 に基づいて、スキーマの概要を説明する。まず、赤の部分のテーブル群では車載端末の各種センサが出力する値をそのまま蓄積する。これによって、後からデータ補正の必要性が生じて、データを利用できるようにした。

赤の部分のテーブル群に格納した生データは車載端末はたとえ同じ現象を計測したとしても、センサ固有の特性などにより、個別の補正処理を必要とする場合が考えられる。そのため、センサの個別の特性差を吸収するラッパーとしての役割を担うテーブルが必要となる。そこで、青の部分のテーブルでは軸の補正やセンサの固有の特性の補正を行ったデータを格納する。車載端末で得る生データはできるだけ詳細にデータを収集するため、サンプリング周波数が高い。また、GPS と加速度センサのサンプリング周波数は異なるため、2 種類のセンサ値が表す情報の粒度は異なる。しかし、この様な異種のデータが多数存在すると、集約演算を伴う検索処理に時間を要することになる。そこで、自動車の運動を表すのに適した情報の粒度を持ったデータにするため、GPS・加速度センサ値を時間方向に正規化 (1Hz にリサンプル) する。緑の部分のテーブルでは正規化を行ったデータを単一のテーブルに格納した。我々はこのテーブルを ECOLOG テーブルと名付け、運転者はこのテーブルから多様な情報を高速に演算、検索することができる。ECOLOG テーブルの構成については次章でさらに説明する。黄の部分のテーブルでは運転者やトリップのデータを格納した。このデータベースではここで定義されたデータで運転者別の検索や車種別の検索を行える。橙の部分のテーブルでは標高*2や道路情報などの車載端末からは取得できない地理データやモータの効率マップなどエネルギー算出に必要な要素や検索の集約単位に用いる外部データを格納した。

*2 国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを使用した。

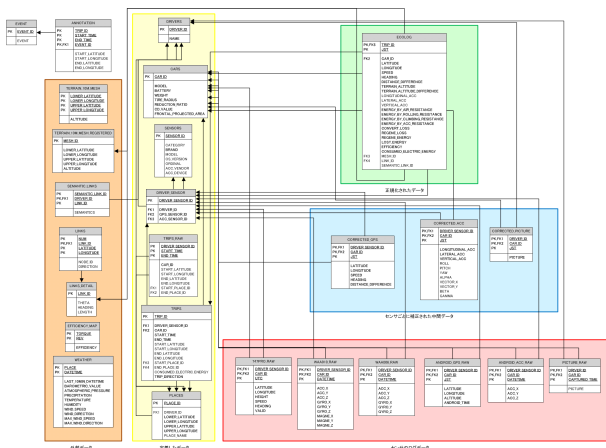


図 5 データベーススキーマ図

表 3 実機に用いた Android 端末およびセンサログのスペック

機種名	Android OS バージョン	GPS の サンプリング 周波数	加速度の サンプリング 周波数
TOSHIBA REGZA Tablet AT3S0	3.2	1Hz	16.7Hz
TOSHIBA REGZA REGZA Tablet AT570	4.0	1Hz	25Hz
MOTOROLA XOOM	4.0	1Hz	14.3Hz
SAMSUNG GALAXY Tab SC-01C	2.3	1Hz	16.7Hz
Transystem 747Pro (GPS ログ)	—	5Hz	—
ワイヤステクノロジー社 小型無線ハイブリッドセンサ II WAA-010 (加速度センサログ)	—	—	30Hz

4. ECOLOG データベースの実装

4.1 データロガーの実装

前章での設計に基づいて、データロガーを実装した。実装にはスマートフォンの代わりに、Android OS を搭載したタブレット型情報端末 (以下 Android 端末) を用いた。

自動車の運動状態のセンシング

Android 端末には標準で GPS および、加速度センサが搭載されているものがあり、これらのセンサ値を Android 端末内部のストレージに記録する。実装したログのスレッド構成を図 6 に示す。また、実装に用いた機種とスペックを表 3 に示す。センサとして用いた Android 端末の GPS は全て 1Hz で取得した。加速度センサは Android OS で定義されているサンプリング周波数の「UI」を用いたところ、14Hz から 25Hz のサンプリング周波数が存在した。このことから、用いる機種によって異なるサンプリング周波数で記録されることが分かった。

自動ロギング、省電力化

運転者の運転開始と終了を検知する仕組みとして、シガーライター用のソケット端子からの電力供給をトリガとして、ロギングの開始、終了を定義した。Android 端末には電力供給の開始、終了を検知し、OS 側から各イベントを Android のシステム全体にブロードキャストする機能が存在する。これを利用することで、自動車のエンジンをかけた時からロギングを開始し、エンジンを止める時に対応してロギングを終了させることができる。また、ロギング中は電力を供給し続け、運転終了とともにロギングを止めて端末をスリープ状態にすることで Android 端末の電力消費を抑えることが可能となる。Android 端末はスリープの電力消費が低いので自動車内に置いたままにしても、数日以内であれば電池が切れることはなかった。

自動アップロード

Android ストレージ内のログをネットワーク通してアップロードする。通勤先に到着すると通勤先の Wi-Fi アクセスポイントを利用して、ファイルサーバにログをアップロードするようにした。

4.2 加速度計測の軸補正の実装

3.3 節における軸補正のために用いる G_i , B_j をそれぞれ以下の条件で抽出した。

- G_i : 速度 $v < 1\text{km/h}$ の加速度値; 本来は「静止時 ($v = 0\text{km/h}$) の加速度値」であるが、GPS から速度を算出すると誤差の影響により停止時でも 0km/h にならないことがあるためこのようにした。
- B_j : 速度 $v < 10\text{km/h}$ かつ、前 10 秒間が $v \geq 10\text{km/h}$ である加速度値; 本来は「直線的に一定の減速状態である時点の加速度値」である。自動車の減速方向の加速度が強くなる時は一定以上の速度からブレーキを踏み続けるときであるので、 10km/h 以上の速度から減速したときの加速度値を使用した。

これらの補正結果を用いて算出された消費エネルギーの分布を図 7 に示す。

この分布の 1 点は、ある被験者の片道 1 回の通勤トリップの加速度値から、そのトリップで消費されるであろう電力エネルギーを推定したものである。赤のプロット点が Android 端末、青のプロット点が加速度センサログ専用機の WAA-010 により取得された加速度値を用いたものである。縦軸は推定消費エネルギー量 [kWh]、横軸はそのデータセットの進行方向加速度の時間平均である。ここで、自動車の加速度 a は静止 ($a = 0$) → 加速 ($a > 0$) → 巡航 ($a = 0$) → 減速 ($a < 0$) → 静止 ($a = 0$) のサイクルを繰り返しながら目的地に達するものである。したがって本来であれば加速度値の総和 (時間平均) は 0 となる。しかし、図 7 では横軸方向に広がる分布がみられる。この原因は、軸補正の第 1 段階 (重力加速度の軸補正) が、自動車の振動、

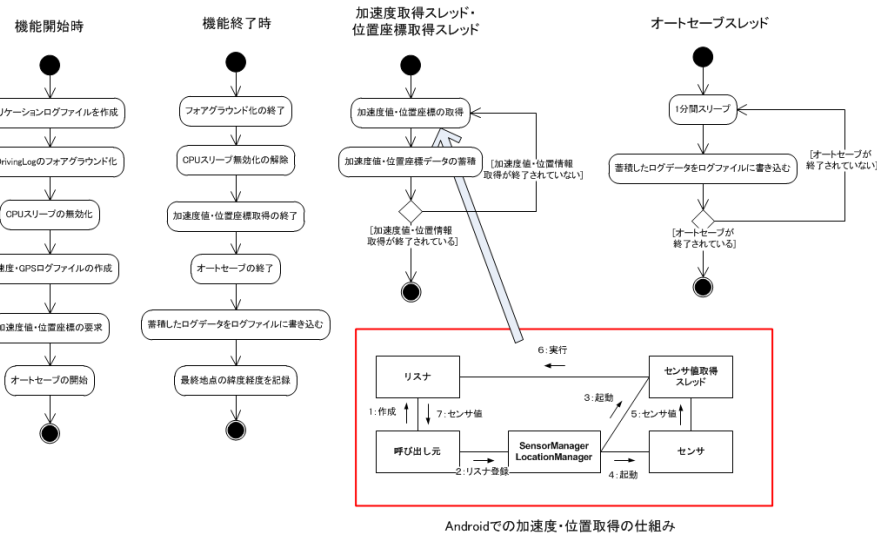


図 6 ログャーのスレッド構成

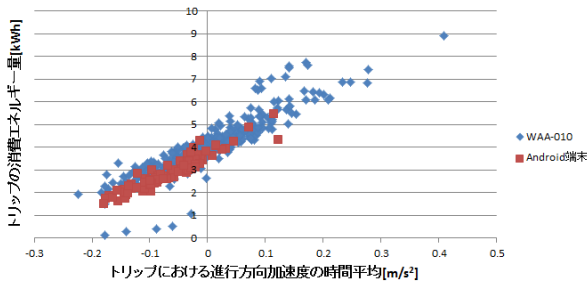


図 7 加速度の時間平均と消費エネルギー量

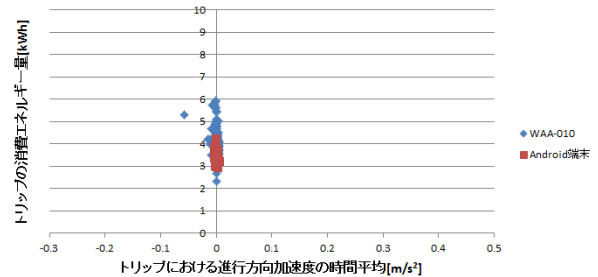


図 8 加速度の時間平均と消費エネルギー量 (第 3 段階補正後)

停止時における路面の状況などのノイズの影響により誤差を含んだためである．また，図 7 の縦軸方向の分布は横軸方向の分布と強い相関があることを示す．つまり，第 1 段階の軸補正で生じた誤差の影響により，推定された消費エネルギー量が正しく算出できていないことを表す．

このため，第 3 段階目の補正として進行方向加速度の時間平均 \bar{A} を 0 になるように Y 軸まわりに回転させる．この回転角 ψ はベクトル $A' = (0, 0, 9.8[m/s^2])$ を用いて

$$\psi = \arccos\left(\frac{|\bar{A} \times A'|}{|\bar{A}||A'|}\right) \quad (9)$$

で求められ，第 2 段階の補正を行った $a'' = (a''_x, a''_y, a''_z)$ を補正する回転行列の式は以下ようになる．

$$\begin{bmatrix} a'''_x \\ a'''_y \\ a'''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a''_x \\ a''_y \\ a''_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

このように，第 3 段階の補正を行った加速度から算出された消費エネルギーは図 8 に示す．この補正によって補正後の進行方向加速度のばらつきを抑えることができた．

4.3 ECOLOG データベースの実装

ECOLOG データベースの実装には，次に示す構成のデータベースサーバを用いた．また，図 5 に示したスキーマ

に基づいて収集した全データを蓄積した．本節では特に ECOLOG テーブルの実装結果について説明する．

- OS : Windows Server 2008 R2
- CPU : Intel Core i7 2600
- メモリ : 16GB
- DBMS : Microsoft SQL Server 2012
- HDD : Western Digital WD30EZR

図 9 に ECOLOG テーブルの詳細構成を示す．SQL の検索文でこのテーブルに格納された GPS，加速度センサから算出された消費エネルギーや地点ごとの集約ができる．1 レコードが表す情報は 1 秒ごとの自動車の運動状態であるため，情報の粒度が細かい．一方で，このテーブルに格納された値を集約するクエリにより任意の量のデータ集計が可能となる．集約クエリを 1 テーブルのみを対象とすることで，検索の高速化を望むことができる．また，ECOLOG テーブル 1 レコードを 1Hz で格納することで，Android 端末のセンサのサンプリング周波数の差を吸収できる．

表 4 に ECOLOG データベースに蓄積されたデータの概要を示す．このデータは 1 名の被験者を対象に，実装したデータロガーを用いて 1 年以上に渡って収集した．レコード数は ECOLOG テーブルに格納されたレコード数であり，1 レコードは 1 秒のデータを保持する．つまり，トータルで 1,431,804 秒のデータが ECOLOG テーブルに格納され

ECOLOG	
PK,FK5 PK	TRIP_ID JST
FK1 FK2	DRIVER_SENSOR_ID 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 9 ECOLOG テーブル

表 4 ECOLOG データベースのデータ量

データ収集期間	2011/07/12 ~ 2012/09/06
被験者	1 人
全体のレコード数	1,431,804
電気自動車のレコード数	71,298
トリップ数	436
1 トリップあたりの平均レコード数	3,137

たことを示す。また期間中に、モデル検証のために EV にもデータロガーを搭載し、消費エネルギーを算出したデータも存在する [20] *3。このデータベースに蓄積されたデータから次のような情報を抽出できる可能性がある。

- (1) このデータは 1 名の被験者の通勤往復時 (片道 30km 弱、約 1 時間) に収集されたものである。同一の始点・終点についてほぼ毎日、同一の経路上での地点別、時点別のエネルギー消費状況を表す。
 - (2) このデータベースに対して、エネルギー消費状況に関する多様な統計的集約や比較が可能である。
 - (3) V2X を実現する観点からは、使用車両を EV に置換えた場合の日々の電力エネルギー残余を実際の運転データを基に算出できる。
 - (4) 今後、被験者を増やすことで他者との比較も可能となる。また、複数台の EV による V2X(V2G) の概算を実現できる。
 - (5) データレコード数は多数に上るため有用なデータ可視化手法と組み合わせる必要がある。
- (4) については今後の課題とし、(2)、(3) については 5 章で評価する。また、(5) については 6 章で評価する。

*3 推定されたエネルギーと実際の消費エネルギーの比較・検証については本稿では述べないがおおむね一致する傾向であった。

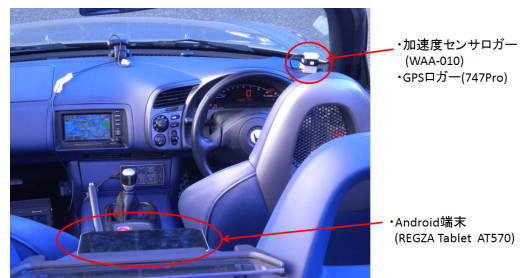


図 10 被験車両実験の様子



図 11 EV 実験の様子

5. ECOLOG データベースの評価

前章までに述べたデータロガーおよびデータベースを用いて、データ収集と検索・可視化実験を行った。図 10、図 11 に実際にロガーを搭載した自動車の様子を示す。

5.1 データロガーの評価

表 3 に示した通り、Android 端末には様々な機種が存在する。本節では、いくつかの Android 端末で取得されたセンサ値を比較し、Android 機種間の差を評価する。4 機種 of Android 端末に加え、参考として GPS、加速度を測定する専用のセンサも評価用に用いた (スペックは表 3 の下の 2 行)。評価に使用したデータは自動車に各 Android 端末と評価用センサを固定して得られた走行ログを用いた。

5.1.1 Android 端末の GPS 比較

各 Android 端末で GPS のロギングを行い緯度経度の変位から移動速度を算出した。図 12 はあるトリップにおける各 Android 端末の GPS から算出された移動速度である。取得された緯度経度は大局的にはどの Android 端末でも大きな差はみられない。しかし、端末によっては局所的に GPS 衛星をロストすることや、一度ロストした後に回復しないなどの現象が存在した。このために、速度で見ると GPS の性能が悪いものだと瞬間的に 100km/h を超えるデータが計算される。このような結果から Android の GPS は専用のセンサと同様に位置を検出するセンサとして利用できるが、性能の悪いセンサが存在し使えないものがあることがわかった。

5.1.2 Android 端末の加速度比較

図 13 に REGZA Tablet AT570 と比較した自動車の進行方向における加速度値を示す。この比較結果から Android 端末同士の比較では、GALAXY SC-01C との比較で強い一

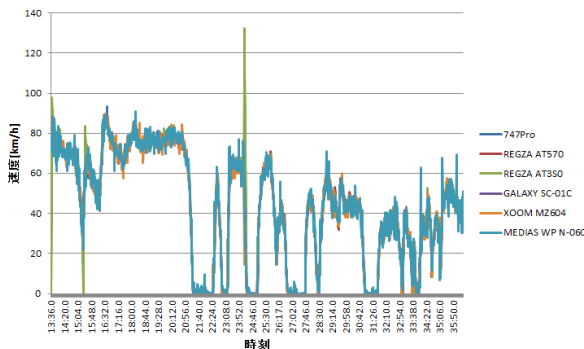


図 12 GPS の緯度経度から計算された速度

致がみられ、他の Android 端末においても比較的安定して同一の加速度値が計測された。参考用に用いた WAA-010 との比較が最も悪いという結果になったが、この理由として図 11 にあるように WAA-010 の設置条件が GPS ロガー (747Pro) の上に固定していたため、他の Android 端末よりも動きを敏感に検知する状態であった。このため、自動車の振動の影響を常に受けるなどノイズの影響を強く受けたためであると考えられる。

6. ECOLOG データベースの検索と可視化実験

6.1 データベースのパフォーマンス実験

ECOLOG データベースに蓄積されたデータの検索速度を示す。データベースを用いることによる利点であるインデックスを使った場合と使わなかった場合で以下のクエリの検索時間を比較した。

- 条件：今日の走行に消費したエネルギーの瞬間値と過去のすべてのデータの平均値と標準偏差を検索する

100 万件付近までのプロットは今まで蓄積した実データを 2 か月ごとに増やしていき検索速度を計測した。200 万件以降のプロットは実データを複製し、何年もデータを蓄積した場合あるいは複数人の被験者からデータを収集した場合に検索速度の推移を示す。100 万件まではインデックスの有無に関わらず 3 秒以下で検索が可能であった。インデックスを使う場合 1000 万件のデータにおいても 10 秒以下で検索可能であることがわかった。

6.2 可視化実験

ECOLOG データベースの検索結果で見ることができる情報の例を示す。図 15 では、瞬間の消費エネルギー量 (赤) を GoogleMap 上に重ね表示することで通勤経路上のどの地点でエネルギーを多く消費したかを示す。また、データベースに蓄積された過去の走行ログから同じ地点における平均の消費エネルギー量 (青) や標準偏差 (緑) も共に表示することで、その日の運転を過去の平均と比較することができる。また、車載カメラで撮影した画像を表示することで信号や周囲の車の状況を再現的に視覚化する。瞬間のパ

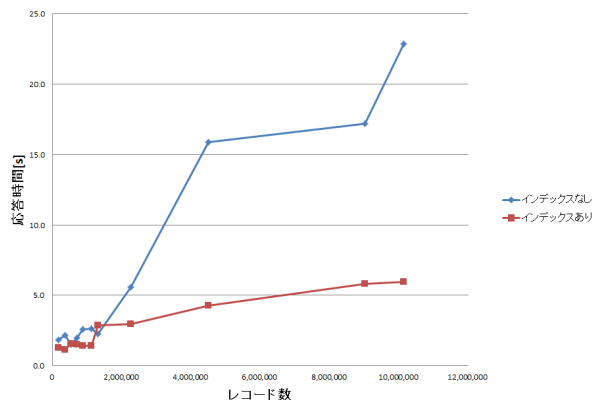


図 14 クエリパフォーマンス

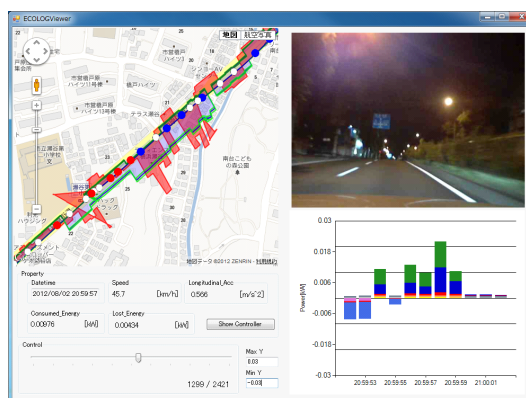


図 15 ビューアの画面

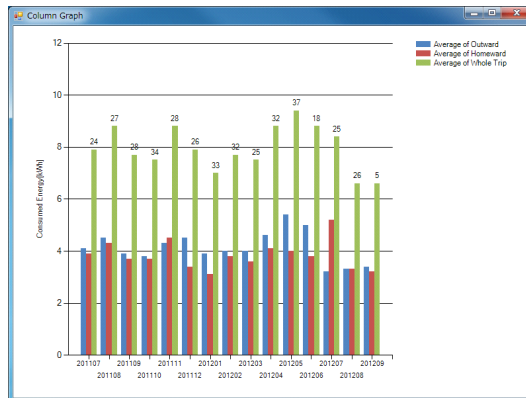


図 16 月別エネルギー消費量グラフ

ワーグラフを表示することで、運転者はエネルギー消費やエネルギー回生の細かい要因を知ることができる。

図 16 では、毎日の通勤トリップにおける消費エネルギー量を月別に集約した結果をグラフ化したものである。月別集約を行うことで月別の傾向や運転者のライフスタイルを明らかにすることができ、それに応じた運転改善の要因を発見することに繋がる。また、企業などの事業者向けとしても、ある運転者の月ごとの平均電力残余量を把握しやすくなり、V2X に提供可能な電力量を予測しやすくなるメリットがある。このように、可視化システムを用いることで個人の運転者や EV が集まる通勤先の事業者に対して様々な情報を提示することが可能になる。

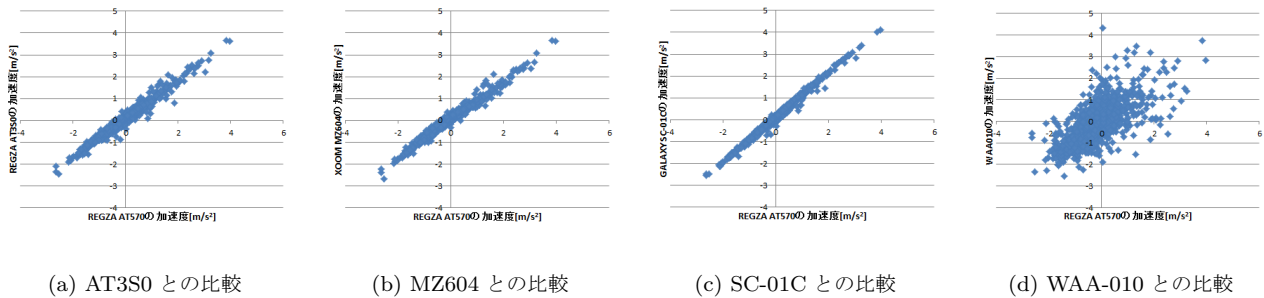


図 13 同一のトリップにおける加速度計測値の比較 (REGZA Tablet AT570 を基準とする)

7. まとめと今後の課題

本稿では、後付けのスマートフォンによる自動車走行ログを収集するデータロガーとそのログに対し多様な視点からの検索を可能とする ECOLOG データベースの実装について述べた。Android 端末においてデータロガーを実装して利用者への負担をかけずにデータ収集を行うことを実現した。また、実際にデータベースに蓄積した1年以上のレコードに対する検索において、数秒で検索ができることを評価した。今後は被験者を増やし、ECOLOG データベースで提示できる情報を増やすことを行っていく。

謝辞 本研究の一部は公益財団法人日産財団研究助成による。また、横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究推進プログラム「家庭における省エネ行動メカニズムの分析と効果的な対策の提案」、および同研究院基軸プロジェクト「信頼と納得の情報学」の支援を受けた。

参考文献

[1] 廣田 幸嗣, 小笠原 悟司編著, 船渡 寛人, 三原 輝儀, 出口 欣高, 初田 匡之 著, “電気自動車工学”, 森北出版, 2010.
 [2] 日産 LEAF Web カタログ, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>
 [3] 自動車技術ハンドブック 第10分冊 設計 (EV・ハイブリッド) 編, 自動車技術ハンドブック編集委員会, 自動車技術会, 2011.
 [4] 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 高木 雅昭, 岩船 由美子, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦, “車種別パターンを考慮したプラグインハイブリッドと電気自動車の導入評価”, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.31, No.6, pp.7-15, 2010.
 [5] 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”, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.32, No.6, pp.14-18, 2011.
 [6] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, Journal of Power Sources, Vol.144, Issue.1, pp.268-279, 2005.
 [7] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy”, Journal of Power Sources 144, pp.280-294, 2005.
 [8] Sachin Kamboj, Willett Kempton, Keith S. Decker, “Deploying Power Grid-Integrated Electric Vehicles as a Multi-Agent System”, In Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Autonomous Agents and

Multiagent Systems (AAMAS 2011), pp.13-20, 2011.
 [9] Bernhard Jansen, Carl Binding, Olle Sundstrom, Dieter Gantenbein, “Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant”, Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on, pp.149-154, November, 2010.
 [10] 太田 豊, 谷口 治人, 中島 達人, K. M. Liyanage, 馬場 旬平, 横山 明彦, “ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの提案 -電気自動車の自律分散型 Vehicle-to-Grid-”, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol.130, No.11, pp.989-994, 2010.
 [11] 日産 LEAF to Home, <http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>
 [12] Yuhe Zhang, Wenjia Wang, Yuichi Kobayashi, Keisuke Shirai, “Remaining Driving Range Estimation of Electric Vehicle”, Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International, pp1-7, 2012.
 [13] 清水 隆司, 古賀 浩史, 富井 尚志, “大量の RFID データを扱う概念共有環境 CONSENT の運用による実用性の評価”, 日本データベース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.41-46, 2009.
 [14] Vincenzo Manzoni, Andrea Corti, Pietro De Luca, S. M. Savaresi, “Driving Style Estimation via Inertial Measurements”, 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2010), Madeira Island, Portugal, pp. 777-782, 2010.
 [15] 森川 高行, 山本 俊行, 三輪 富生, 王 立暁, “動的経路案内システム「PRONAVI」の開発と性能評価実験”, 交通工学, Vol.42, No.3, pp.65-75, 2007.
 [16] 八木 浩一, “加速度センサを用いた路面段差検出手法の改善と東北地方太平洋沖地震後の観測データへの適用”, 第10回 ITS シンポジウム 2011, 1-A-05, 2011.11.
 [17] 佐藤 雅明, 和泉 順子, 松井 香奈, 上田 憲道, 植原 啓介, 村井 純, “スマートフォンを活用したプローブ情報システムの構築”, 第12回インターネットテクノロジーワークショップ, 2011.
 [18] Dan Sawada, Masaaki Sato, Keisuke Uehara, Jun Murai, “iDANS: A Platform for Disseminating Information on a VANET Consisting of Smartphone Nodes”, International Conference on ITS Telecommunications (ITST2011), pp252-257, August, 2011
 [19] 富井 尚志, 萩本 真太朗, 出口 達, 笹田 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.
 [20] 笹田 尚希, 萩本 真太朗, 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.