

プローブ情報を活用したEV電費推定と経路探索への応用

Estimation of EV Power Consumption and Route Planning Using Probe Data

矢野 純史*

Junji Yano

中島 正浩

Masahiro Nakajima

西村 茂樹

Shigeki Nishimura

山田 浩之

Hiroyuki Yamada

福永 邦彦

Kunihiko Fukunaga

森口 雅弘

Masahiro Moriguchi

世界的な燃料規制の強化が進む中で、電気自動車（以下EVと記載）の需要は爆発的に増加すると予測される。しかしながらEVはガソリン車と比較して航続距離が短いという課題を抱えており、バッテリー性能向上以外でも様々な方法で課題解決を図ろうとしている。例えばEVに対して、車両が消費する正確な電力量を推定するエンジンや、走行中の電力消費量や途中の充電ステーションでの充電を考慮した走行経路を提供するためのEV経路探索プラットフォーム等が望まれている。本論文では、分散処理基盤上で動作する消費電力量推定エンジン、具体的には道路リンク固有の特性を考慮したモデル式を使い、消費電力量を推定するエンジンを開発したので報告する。またEVに対して種々の機能を提供することでEVの普及を推進し、温室効果ガス排出を削減することで持続可能な社会の実現に貢献できる「EV経路探索プラットフォーム」を開発したので合わせて報告する。

Against the global backdrop of increasingly strict fuel regulations, the number of electrical vehicles (EV) is expected to rise dramatically. However, EVs have less mileage than gasoline vehicles. While efforts have been made for the improvement of battery performance, we also use different approaches to this issue. In this study, we developed an engine that can estimate EV power consumption by building a model formula corresponding to the characteristics of each road link. To devise this formula, a distributed processing platform was adopted. We also developed an application platform that supports route planning by providing the drivers with information about power consumption and battery charging stations. These developments will contribute to the creation of a sustainable society by promoting the use of EVs and reducing CO₂ emissions.

キーワード：電気自動車 (EV)、分散処理基盤、消費電力推定モデル、プローブ

1. 緒 言

現在、CO₂排出による地球温暖化対策に代表される環境意識の高まりと共に、環境に優しい次世代自動車として電気自動車 (EV) が注目されている。世界的に燃料規制の強化が進む中、欧州では2020年までにCO₂排出量を95g/kmまで減らすことが義務付けられ¹⁾、ますます電動化技術が不可欠になりつつある。自動車メーカー各社も、ガソリン車のダウンサイジング化、電動化 (EV/HEV) を推進している。しかし、EVには、航続距離が短い、充電インフラの数が少ない、充電時間が長い等の課題があり、そのため、人々は走行中にバッテリー切れになってしまうのではないかという不安を強く感じている。

このような課題に対して、バッテリー性能向上以外でも様々な方法で課題解決を図ろうとしており、例えば目的地までの正確な「消費電力量推定」や、人々の不安を軽減するような「サービスの提供」が挙げられる。

前者のEVの消費電力量推定に関して、消費電力量は道路状態、例えば勾配等の条件により変化し、加えて減速時、下り坂走行時にモーターが発電機となり電力を回収する回生ブレーキ機能を備えているため、走行する道路リンク^{*1}に

より消費電力量は変化を受ける。既に販売されているEVには、バッテリー残量と走行可能距離を示すことができるものも多く存在するが、その消費電力量は前述の通り、走行する道路リンクにより大きく変化する。更に消費電力量を推定するための元データとしてEVが発信するプローブデータ^{*2}を利用することが考えられるが、そのプローブデータの量も、EVの爆発的な増加と共に増加すると予想されることから、迅速かつインテリジェントなデータ処理／解析が要望されている。

また後者のサービス提供に関して、EVを普及させるためには、何らかの手段で人々の不安を軽減する必要がある。その手段の1つがITSである。EVが途中の充電なしでどこまで走行可能か、どこで充電すれば良いかといったEVの経路に関する情報を、ITSの主要なサービスの1つであるテレマティクスによって人々に提供することができれば、人々のEVに対する不安は大きく軽減されるであろう。一方、テレマティクスの分野では、従来からある据え付け型のカーナビゲーションシステムに加えて、近年では、スマートフォンによるカーナビゲーションアプリケーション

の普及が進んでいる。スマートフォンによるカーナビゲーションアプリケーションには、車内だけでなく、自宅やオフィス等の車外でも利用可能であるという利点があり、EVの経路に関する情報提供に適していると考えられる。

本書では、EVの消費電力量推定に関して、転がり摩擦抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、加速抵抗といった走行抵抗、及び回生エネルギーがEVに与える消費電力の算出に焦点をあて、走行抵抗、回生エネルギーと消費電力に関するモデル式を構築し、当該モデル式を学習させて各道路リンクの消費電力量を推定し、実績消費電力量との比較を行うことで、その妥当性を検討した。またEVの経路に関する情報を利用者に提供するサービスについて検討し、スマートフォンのアプリケーションとして提供するためのサービスプラットフォームを開発したので合わせて報告する。

2. EV消費電力量推定エンジン概要

図1はEV消費電力量推定エンジン（以下 推定エンジンと記載）を含んだ経路探索サービスシステムのイメージを示している。本推定エンジンはスケールアウト可能な分散処理技術を使った基盤上で動作するため、将来的に車両から取得できるプローブデータがペタバイトオーダクラスになっても問題なく動作できる仕組みとなっている。

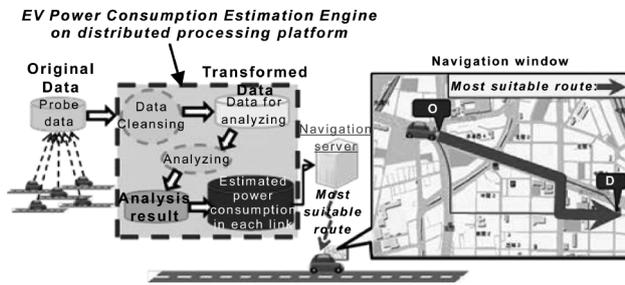


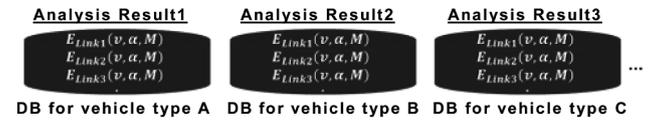
図1 経路探索サービスシステムイメージ

推定エンジンは集約プローブデータ（Transformed Data）を解析した結果を用いて、各リンクの消費電力量推定を実施する。手順は以下の通りである。

- ① EVより収集したプローブデータ（Original Data）を道路リンク毎に、解析しやすいデータに成形。
- ② 道路リンク毎の集約プローブデータ（Transformed Data）を使って、各リンク（Link1, Link2, Link3, …）の特性を解析。
- ③ 解析結果（Analysis Result）を用いて各道路リンクの消費電力量を推定。

解析結果は各リンクの消費電力量を推定する基となるリンク毎の消費電力量推定式（以下 モデル式と記載）である。

また解析結果は車種毎、ドライバ毎といった属性単位で構築しており、適宜最適な解析結果を利用することで、精度高い推定を実現することが可能となる。



DB for vehicle type A DB for vehicle type B DB for vehicle type C

$E(v, \alpha, M)$ model formula for power consumption estimation

v : Velocity, α : Acceleration, M : Gross vehicle mass

図2 解析結果イメージ

2-1 モデル式概要

車両が消費する電力量は、走行する際にかかる空気抵抗、転がり抵抗、勾配抵抗、加速抵抗といった走行抵抗に深く関係があることが知られている。本モデル式はそれらの関係を基に、加速時、減速時に分け、独自に構築したものである。また減速時にはEV特有の回生機能も考慮した式としている（図3）。

■ Power consumption dependency

$$P(v, \alpha, M) \text{ — depend on } \begin{cases} F_d = R_{air} + R_{roll} + R_{slope} + R_{acc} \\ \text{and} \\ \eta, \varepsilon \end{cases}$$

F_d : Driving force, R_{air} : Air resistance, R_{roll} : Rolling resistance, R_{slope} : Slope resistance, R_{acc} : Acceleration resistance, η : Power train transmission efficiency, ε : Motor – Controller efficiency

■ The amount of power consumption per unit time

$$E_{acc} = \int P dt (W \cdot s) \quad (F_d \geq 0) \quad (1) \text{ : Model formula for acceleration}$$

$$E_{acc} = \int P dt \cdot \phi (W \cdot s) \quad (F_d < 0) \quad (2) \text{ : Model formula for deceleration}$$

ϕ : Recovery efficiency of regeneration energy

図3 モデル式イメージ

3章にて本モデル式を活用した推定エンジンの検証結果を記載する。

3. 推定エンジンの検証

我々は構築した推定エンジンの精度を確認するため、以下の手順で検証を実施した。

- ① 車両減速時の回生率推定
- ② 構築したモデル式の検証
- ③ 推定エンジンの検証

モデル式の検証のためには回生率の推定が必要で、推定エンジンの検証にはモデル式の検証が必要である。

検証は、最高出力47kW、車両重量1080kg、バッテリー容量16kWのEVを用いて勾配路を含む経路で往復走行したデータを用いて実施した。走行は2012年9月～10月に行い、車両総走行時間は約150時間である。

3-1 回生率推定

EVでは、加速時に蓄えた運動エネルギーを減速時に電気エネルギーとして回収する回生エネルギー機構が存在するため、減速時のモデル式では、この回生エネルギーを考慮する必要がある。今回の検証では集約プローブデータを解析して、車両毎の回生エネルギーを推定した。

同じ速度帯で走行している車両の加速時消費電力量と減速時消費電力量に着目して、回生率を走行モード毎に推定した。走行モードにはDrive mode、Eco mode、Brake modeがあり、それぞれ回生率が異なる。

推定結果を図4に示す。

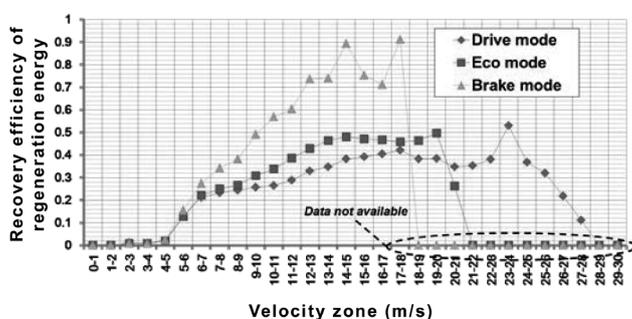


図4 各モードでの回生率

この結果から速度の上昇と共に回生率も上昇していることがわかる。更に速度帯0m/sから5m/sではほとんど回生しないことがわかる。

3-2 モデル式の検証

検討したモデル式の精度を検証するために、集約プローブデータを使って評価を実施した。検証はリンク単位で実

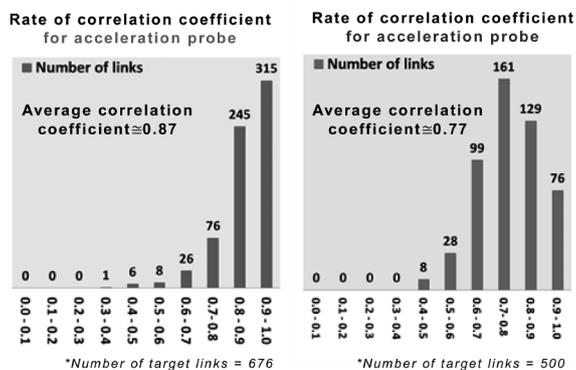


図5 モデル式評価結果

施し、単位時間当たりの実測消費電力量 (Real) と、モデル式で算出した単位時間当たりの推定消費電力量 (Est) を比較している。その結果、加速 (巡航) のモデル式を使った推定値消費電力量と実測消費電力量の平均相関係数は0.87、減速のモデル式を使った推定値消費電力量と実測消費電力量の平均相関係数は0.77であった (図5)。

3-3 推定エンジンの検証

開発した推定エンジンの精度を検証するために、集約プローブデータを使って評価を実施した。集約プローブデータを10km単位で分割したものをTRIPと定義し、TRIP単位での実測消費電力量と、推定エンジンが出力する推定消費電力量の差分を評価した。

全TRIPの中から、1TRIPを評価対象として、残りのTRIPを訓練データとし、モデル式のパラメータを算出した。そしてそのパラメータを使って評価対象TRIPの消費電力量推定を実施した。これをTRIP数だけ繰り返して評価した。評価対象となった総TRIP数は6,557TRIPである。

評価の指標としては、式(1)を利用した。値は100までの値を取り、値が大きいほど実績値と推定値の差分が小さく、精度が良い。

$$P_c = \left(1 - \frac{|M_v - E_v|}{M_v}\right) \times 100 (\%) \quad (P_c \leq 100) \quad (1)$$

P_c : precision, M_v : actual measured value, E_v : estimated value

評価結果を表1に示す。

表1 TRIP評価結果

TRIP average precision (%)	TRIP maximum precision (%)	TRIP minimum precision (%)
88.4	99.9	47.3

また代表的なTRIPを抽出し、単位距離当たりの消費電力量 (Wh/km) を計算した結果を図6に示す。

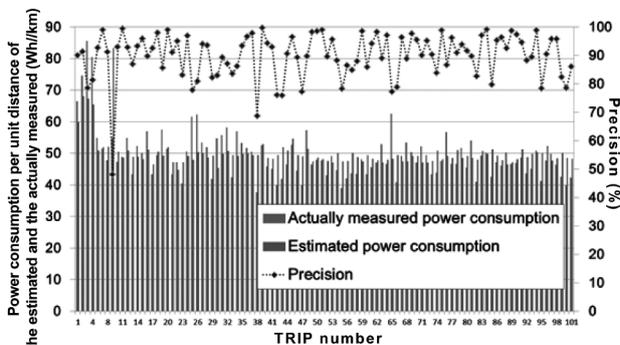


図6 単位距離当たりの消費電力量評価結果

平均推定精度は88.4%であるが、一方で精度の悪いリンクも存在している。精度の悪いリンクを解析したところ、訓練データに含まれないパターンのデータが評価データに出現するリンクが存在する等の現象を確認しており、これらのリンクに対しては、訓練データを増やすことで精度改善できると考えている。

4. EV 経路探索プラットフォーム

EV 経路探索プラットフォームは経路探索を実行するサーバアプリケーション（以下サーバと記載）とスマートフォンによるカーナビゲーションアプリケーションであるクライアントアプリケーション（以下クライアントと記載）で構成される。クライアントは地図表示機能、位置検出機能、経路探索機能、経路案内機能、施設検索機能を持ち、これらの機能を実現するため、地図データ、経路データ、施設データ、交通情報をサーバに対して要求し、獲得する。サーバはクライアントからの要求に応じて必要なデータを生成、配信する。クライアントの経路探索機能がEVの経路に関する情報の要求及び出力を行い、サーバの経路探索機能はその計算を行う。EVの経路に関する情報を求めるためには、通常の経路探索に必要な道路ネットワークデータ、リアルタイム交通情報、予測交通情報の他に、道路勾配データ、充電ステーション情報および車両の充放電特性テーブルが必要となる（図7）。

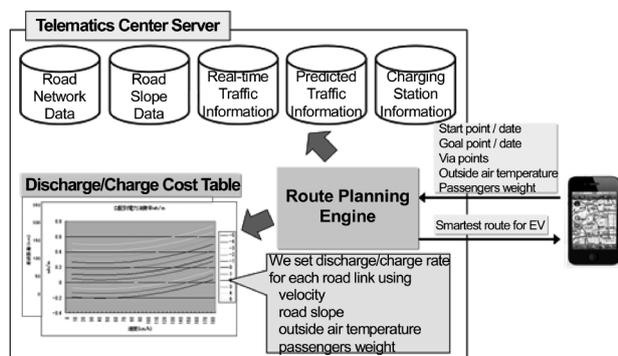


図7 EV 経路探索プラットフォームのシステム構成

我々はEVの利用者にどのような情報が役立つかについて検討し、「EV到達圏探索機能」「充電ステーションへの立ち寄り経路探索機能」「バッテリー残量予測機能」といった3種類のEV経路探索機能を開発した。本節では、それら3種類の機能について述べる。その前に、次節ではそれらの機能を実行する際に設定が必要となる経路探索条件について述べる。

(1) 経路探索条件

今回開発したEV経路探索プラットフォームでは、精度の良い情報を算出するため、EVの電力消費量への影響の大きい以下の条件を設定する（図8）。

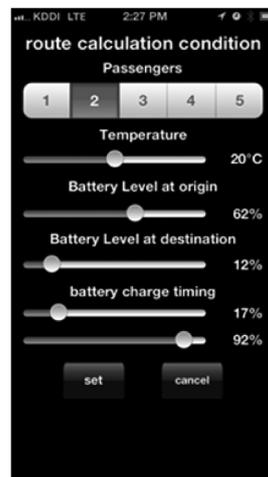


図8 経路探索条件設定画面

(a) 乗車人員

乗車人員が増加すると重量が増加するため、EVの電力消費量に影響を与える。

(b) 外気温

外気温はエアコンの使用等、EVの電力消費量に様々な影響を与える。

(c) 出発時のバッテリー残量

出発時のバッテリー残量は、EVの利用に必要な各種情報を算出するために必須の情報である。

(d) 目的地到着時の最低バッテリー残量

目的地の周辺で充電が可能な場合は、目的地到着時のバッテリー残量は特に問題とはならないが、目的地の周辺で充電が不可能な場合には、目的地到着時に次の移動に備えてある程度のバッテリー残量を残しておく必要がある。そのため、目的地到着時に残しておきたいバッテリー残量の下限値を指定する。

(e) バッテリーの充放電深度

バッテリーの過放電、過充電はバッテリーの劣化を進めてしまうため、バッテリーの劣化を防ぐためには、過充電、過放電を避けて、バッテリー残量を一定の範囲内に保つことが望ましい。そのため、バッテリー残量に対して下限値と上限値を指定する。バッテリー残量が指定された下限値を下回る前に充電ステーションに立ち寄り、充電ステーションでは指定された上限値までバッテリーが充電されるように計画する。

(2) EV 到達圏探索機能

EV の利用者やEV の利用を考えている人にとって、EV が自宅等の出発地から充電なしでどこまで走行できるかは関心の高い情報である。EV 到達圏探索機能はこのような情報を提供するための機能である。

EV 到達圏探索機能は出発地および出発時のバッテリー残量を指定すると、指定されたバッテリー残量で出発地から途中での充電なしで到達可能な道路を高速に探索する機能である。クライアントでは、この探索結果を各道路の色を到達時のバッテリー残量に応じて変えて表示する。図9は到達圏の表示例である。図9のような地図を見れば、出発地から各地へ走行するのに必要な電力消費量を一目で把握することができる。

EV 到達圏探索機能を実現する上での課題は計算時間と、計算結果を見やすくすることである。我々は出発地近くの道路はEVによって充電なしで到達可能なことが利用者にとってほぼ自明であることに着目して、出発地から近い領域では幹線道路のみを経路探索及び表示の対象とし、出発地から遠い領域では、細街路も含めた全道路を経路探索及び表示の対象とすることで、高速な計算と計算結果の見やすい表示を実現している。

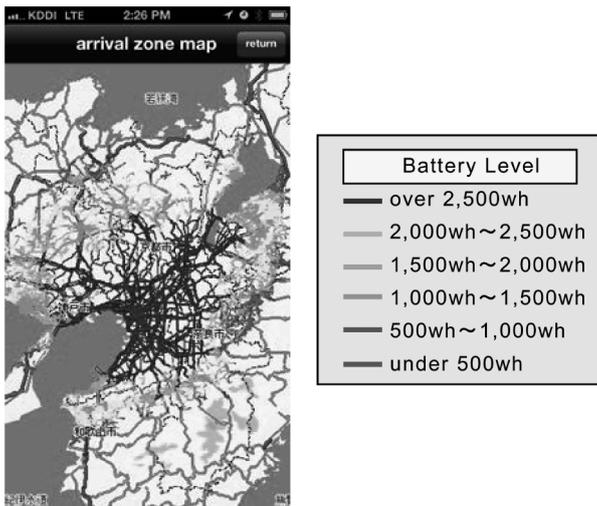


図9 EV到達圏探索機能の出力例

(3) 充電ステーションへの立ち寄り経路探索機能

EVで比較的長距離を走行する場合には、途中で充電する必要があり、どこで充電するのが良いかは、利用者が知りたい情報である。しかしながら、EVで目的地に向かう途中で充電が必要となる場合、どこの充電ステーションに立ち寄って充電すれば目的地までの所要時間等の目的コスト^{*3}が最小となるかはドライバーにとって自明な問題ではない。途中での充電回数が複数回になると、問題はより一層

複雑になる。更に、EVの充電に関しては、(1)項で述べたような様々な条件を考慮する必要がある。我々の開発した充電ステーションへの立ち寄り経路探索は、これらの条件を考慮し、出発地、目的地、出発時バッテリー残量、到着時バッテリー残量、バッテリーの充放電深度を指定すると、出発時バッテリー残量、到着時バッテリー残量、バッテリーの充放電深度を満たす出発地から目的地までの充電ステーションへの立ち寄りを含めた最適な経路を探索する機能である。最適化のコストとしては、時間の他に距離、エネルギー消費量やこれらの加重和等が選択可能である。我々の開発したアルゴリズムは立ち寄る充電ステーションの候補を効率良く評価するので、充電ステーションの数の多い地域を走行する場合や目的地へ到達するまでに複数回の充電が必要な場合でも、高速に最適な経路を求めることが可能である。図10は充電ステーションへの立ち寄り経路探索の探索結果の例である。



図10 充電ステーションへの立ち寄り経路探索の例

(4) バッテリー残量予測機能

EVの利用者にとって、走行中のバッテリー残量は非常に気になる情報である。EVは走行によりバッテリーの電力を消費するため、事前に何の情報もなしに走行した場合、目的地まで十分走行可能であっても、途中の上り坂でバッテリー残量が少なくなるために、目的地まで走行できないのではないかと不安になってしまうことがある。一方で下り勾配では回生エネルギーによってバッテリーに充電することもあり、事前に、目的地までの経路に対して、経路上の各地点における、回生エネルギーによる充電を考慮した消費電力量やバッテリー残量の情報を把握していれば、目的地まで走行できないといった事態を避けることができ、利用者は目的地まで安心して走行することができる。

バッテリー残量予測機能は目的地までの経路に対して、経

路上の各地点におけるバッテリー残量を予測して出力する機能である。サーバで経路上の各地点における電力消費量、発電量とバッテリー残量を算出し、クライアントで、これらの情報をグラフに可視化して利用者に分かりやすく提供する。図11は図10の経路に対するバッテリー残量予測機能の出力例である。経路上の各地点における標高、出発地からの電力消費量およびバッテリー残量はそれぞれ異なる色で表示され、走行済みの区間はそれぞれ濃い色で表示されており、経路上の各地点における電力消費量、バッテリー残量を一目で把握できるようになっている。

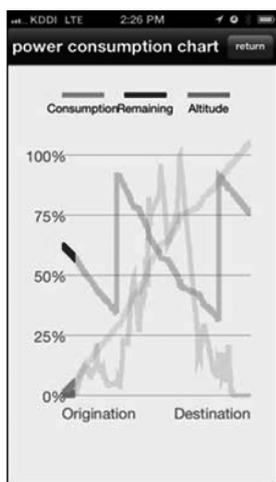


図11 バッテリー残量予測機能の出力例

5. 結 言

EV消費電力量推定エンジンの性能と、EV経路探索プラットフォームの各機能について紹介した。特にEV経路探索プラットフォームにおける「EV到達圏探索機能」は消費者がEVの実力を理解するのに役立つ機能であり、「充電ステーションへの立ち寄り経路探索機能」と「バッテリー残量予測機能」はドライバーが実際にEVを利用する際に役立つ機能である。我々はこれらの機能がEVの普及とそれに伴う二酸化炭素等の温室効果ガス削減に貢献できると考えている。

用語集

※1 道路リンク

道路を構成する単位。

※2 プローブデータ

GPSを搭載した移動体から得られる移動軌跡情報（緯度経路、時刻、車両ID等）。

※3 コスト

ある物事を達成するためにかかった物理量（時間、エネルギー等）。

参 考 文 献

- (1) "Road transport: Reducing CO₂ emissions from vehicles",
http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm
 (30th Jul. 2012)

執 筆 者

矢野 純史*：インフォコミュニケーション・
 社会システム研究開発センター
 主査



西村 茂樹：住友電工システムソリューション(株)
 ソリューション事業本部 課長



福永 邦彦：住友電工システムソリューション(株)
 ソリューション事業本部 主席



中島 正浩：住友電工システムソリューション(株)
 ソリューション事業本部 課長



山田 浩之：インフォコミュニケーション・
 社会システム研究開発センター



森口 雅弘：インフォコミュニケーション・
 社会システム研究開発センター
 グループ長



*主執筆者