

テレマティクスシステムを活用した 電気自動車向け最短経路探索手法

Shortest Route Search Method for Electric Vehicles Using Telematics Systems

木山 昇

Kiyama Noboru

白井 啓介

Shirai Keisuke

長船 辰昭

Osafune Tatsuaki

柏山 正守

Kashiyama Masamori

日立は、EV（電気自動車）での長距離移動時に、適切な充電スタンドを経由して電欠（バッテリー切れ）を防止するルートを導出するため、EV向けの最短経路探索手法を考案した。この手法では、バッテリー残量と充電スタンドの位置関係を基に、充電スタンドを頂点とする重み付き有向グラフを作成する。各辺の重みには、移動時間に加えて充電スタンドでの待ち時間と充電時間を用いる。このグラフにダイクストラ法を適用することで、充電時間および待ち時間を含む移動時間が最短となるルートを導出する。ルート探索時にはテレマティクスシステムを活用することで、EVの最新のバッテリー情報や、システムで一括管理された最新の充電スタンドの配備状況を探索結果に反映することができる。このルート探索結果をユーザーに提供することで、より快適なEVでの移動を支援することを目的としている。

1. はじめに

近年、環境対応車（エコカー）の販売台数が世界中で増加している。エコカーとは、走行時の大気汚染物質の排出量が少なく、環境への負荷が少ない自動車のことである。ガソリン自動車においては一般的に燃費がよく、また近年はガソリン価格が高騰していることから、ユーザーはエコカーの購入に意欲的である¹⁾。さらに、政府は環境負荷低減を目的としてエコカーの普及を支援しており、減税や補助金に関する制度^{2)~4)}が展開されていることも販売台数の増加の原因となっている。

エコカーにはさまざまな車種が存在し、中でも特にEV（Electric Vehicle：電気自動車）は、搭載されるバッテリーの容量が多く、エネルギーマネジメントシステムとの連携に期待が寄せられている。そのため、次世代のエコカーとして注目されており、カーメーカー各社がその技術開発を推進している。

しかし、EVには普及への課題がまだ幾つか存在すると指摘されている。具体的には、(1) 1回の充電走行可能な

距離（航続可能距離）が200 km～300 km程度と、ガソリン自動車と比較して非常に短いこと、(2) ガソリンスタンドの代わりとなる充電スタンドは、日本においては約4,000台⁵⁾程度しか配備されておらず、ガソリンスタンドと比較すると7分の1程度であること、(3) 1回の充電に必要な時間が少なくとも30分間程度必要であること、などが挙げられる。ユーザーは、EVで長距離を移動する場合には、常にバッテリー残量と充電スタンドの位置を気にしなければならない^{6), 7)}。

ここでは、EVでの長距離移動に対する不安を払拭（ふっしょく）し、快適な移動を支援することを目的として、テレマティクスシステムを活用したEV向けの最短経路探索手法を提案する。提案手法では、まず、出発地、目的地および充電スタンドを頂点とする重み付き有向グラフを生成する。有向辺の生成基準にはEVのバッテリー残量を利用し、バッテリー切れを起こさずに移動可能な頂点間に辺を生成する。また、辺の重みには、頂点間の移動時間に加えて、経由する各充電スタンドでの充電時間および待ち時間も利用する。この重み付き有向グラフに対してダイクストラ法を適用することにより、バッテリー切れを起こさずに到達可能な充電スタンドを経由する複数のルートの中で、充電時間と待ち時間を含む移動時間が最短となるルートを導出する。

ルート探索時にはテレマティクスシステムを活用することで、ルート探索を要求したユーザーのEVのバッテリー情報や、システムにて一括で管理された地図情報、充電スタンドの配備状況および満空情報をルート探索結果に反映することができる。その結果、EVや充電スタンドの最新状況を考慮して最適なルート探索結果を導出し提供することで、ユーザーにとってより快適なEVでの移動を支援することを目的としている。

2. EV向けテレマティクスシステムのサービス

2.1 テレマティクスシステムの概要

EV向けのテレマティクスシステムの全体図を図1に示す。テレマティクスシステムは、情報を管理するテレマティクスセンターとEVに搭載されたTCU (Telematics Control Unit) が相互に通信する。TCUには携帯電話用のネットワーク網に接続する通信モジュールが搭載され、CAN (Controller Area Network) を流れるデータを収集し、それをテレマティクスセンターにアップロードする。一方、テレマティクスセンターはTCUに対して車両制御の命令を送信することで、EVを遠隔で操作することができる。EVのユーザーはスマートフォンなどの携帯端末からテレマティクスセンターに要求を送信することで、車両の遠隔操作を行う。EV特有の遠隔操作機能として、タイマー充電機能やリモートエアコン機能などを提供する。これらの操作により、バッテリー充電忘れの防止や、出発前にエアコンを始動することで運転中のエアコン消費電力量を抑えることができ、間接的に長距離移動の支援を行うことができる。

2.2 EVと充電スタンドの利用履歴の収集機能

EVには回生ブレーキ機能があり、下り坂を走行する際にはバッテリーを充電することができる。そのため、EVが各交差点間を走行する際の消費電力を推定するには、例えば地図の勾配情報を利用することで、回生ブレーキによる発電を考慮する必要がある。しかしながら、渋滞を走行する際には発進・停止回数が増えるため発電効率が悪くなる

場合がある。また渋滞に巻き込まれることで運転時間が長くなると、エアコンによる消費電力量の増加の影響も非常に大きくなるため、消費電力量を正確に推定することは難しい。

そこで、テレマティクスセンターではTCUを介してEVから走行履歴(プローブ情報)を収集することで、各交差点間の移動に必要な消費電力量の実測値を得る。さまざまなEVからプローブ情報を集めることにより、各交差点間の時間帯に応じた正確な移動時間と消費電力量の統計値を導出することが可能である。また、ユーザーごとのプローブデータを分析することで、ユーザーの運転傾向を導出することもできる。この運転傾向を基に、ユーザーにエコ運転のアドバイスを行うサービスを提供することができる。

またガソリン自動車とは異なり、ガソリンスタンドの代わりとなる充電スタンドは複数種類存在する。現在日本において普及している充電スタンドには、普通充電スタンド⁸⁾と急速充電スタンド^{9), 10)}の大きく2種類が存在する。普通充電スタンドは家庭用電源(100 V/200 V)での充電に対応しているが、満充電に必要な充電時間は数時間以上と長く、外出時の充電用途としては適していない。一方、急速充電スタンドの場合には満充電に必要な時間は30分程度と比較的短いですが、専用の電源設備が必要となるため高価であり、そのため普及が進んでいないのが現状である。

急速充電スタンドであっても充電には最大30分程度必要である。したがって、EVで走行中のユーザーにとっては、現在地から到達可能な複数の充電スタンドの、到着後に必要となる待ち時間は、充電スタンドの選択基準として重要な情報である。そこでテレマティクスセンターでは、充電スタンドの利用状況を確認するために、充電スタンドとネットワーク経由で通信し、現在の利用状況や過去の利用履歴に関する情報を収集する。収集した現在の利用状況に関する情報を配信することで、例えば運転中のユーザーのカーナビゲーションに対して、進行方向に位置する充電スタンドの利用履歴を地図上に表示することが可能である。また、収集した過去の利用履歴を分析することで、ある特定の日時に充電スタンドに到達した場合の、到着後から充電開始までの待ち時間の長さを推定することも可能である。

2.3 EV向けのルート探索機能

エコ運転のアドバイスや満空情報の配信は、EVユーザーの運転支援サービスであると言える。一方で、EVで長距離を移動する場合には、ユーザーは常にバッテリー残量と充電スタンドの位置を確認しながら走行しなければならず、長距離移動に対する不安は軽減できていない。そこで

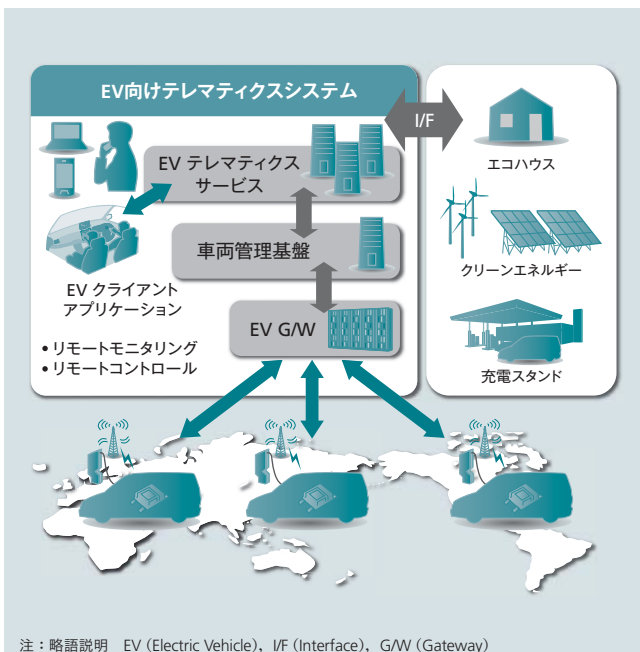


図1 | EV向けテレマティクスシステムの概要

テレマティクスセンターを介して、ユーザーが所有する携帯端末と電気自動車は相互通信を行う。テレマティクスセンターとの通信のため、電気自動車には専用の通信モジュールが搭載される。

提案するテレマティクスシステムでは、EVで長距離を移動する場合に、バッテリー切れが発生しないよう適切な充電スタンドを経由するルートを導出しユーザーに提供することで、長距離移動に対する不安を低減させる。

EV向けのルート探索サービスを提供するにあたり、充電スタンドの種別に応じて充電時間に大きな差が存在するため、できる限り充電時間の短い充電スタンドを経由するルートを導出する必要がある。また、ガソリンスタンドとは異なり充電スタンドは同時に1台しか充電できないことから、急速充電スタンドであっても数十分間以上待ち時間が発生する可能性がある。そのため提案手法では、EVの運転時間だけではなく、充電スタンドでの充電時間および待ち時間を含めた総旅行時間が最も短いルートを最短経路と定義し、そのルートを探索する。

以降では、出発地から目的地まで、複数の充電スタンドを経由しながら向かう場合における、移動に必要な時間、移動中に到着した充電スタンドでの待ち時間と充電時間の総和を移動コストと定義し、移動時間とは2地点間のEVの運転時間を表すものとする。

次に、このEV向けの最短ルート探索サービスを提供するために必要となる、ルート探索アルゴリズムの詳細について述べる。

3. EV向けルート探索手法のアルゴリズム

提案手法にて利用するパラメータおよび探索結果として得られる情報を表1にまとめる。EVのバッテリー情報SoCおよびBCは、ユーザーがルート探索要求として出発地Dep, 目的地Des, 出発時刻ToDを送信した際に、テレマティクスセンターがTCUを介して対象のEVから情報を収集する。センターでは、DB (Database)などに蓄積された充電スタンド情報CS_i, 電力EP_iを用いて最短ルートを探索する。また、充電スタンドの利用統計情報を活用することで、時刻tにおける充電スタンドCS_iの推定待ち時間WT(CS_i, t)は得られるものとする。同様に、各EVのプロブデータを分析することで、地点Pを時刻tに出発し、地点Qへ向かう場合の運転時間DT(P, t, Q), 移動に必要な電力量EC(P, t, Q)を得られるものとする。なお、プロブデータを使わない、すなわち渋滞情報を考慮しない場合には、充電スタンドを経由しない2地点間について、勾配に応じた消費電力量を考慮した従来のルート探索手法^{11), 12)}を用いることも考えられる。

ルート探索結果としては、バッテリー切れを起こさないよう充電スタンドSCS_j (j=1, 2, …)を経由しながら、出発地から目的地まで最小移動コストで向かうルート(以下、EVアシストルートと記す。)を探索する。出発地Depと目

表1 | ルート探索アルゴリズムで利用するパラメータ一覧

出発時のバッテリー残量, バッテリー容量はTCUを介してEVから情報を取得する。出発地, 目的地および出発時刻はユーザーのルート探索要求に含まれる。

Data	Parameter	Symbol
Input	出発時のバッテリー残量	SoC (kWh)
	バッテリー容量	BC (kWh)
	出発地	Dep
	目的地	Des
	出発時刻	ToD
	充電スタンド	CS1, CS2, …, CSi
	充電スタンドCSiの電力	EPI (kW)
	充電スタンドCSiに日時tに到着した場合の待ち時間	WT (CSi, t) (h)
	地点Pを日時tに出発しQに向かう場合の移動(運転)時間	DT (P, t, Q) (h)
Output	地点Pを日時tに出発しQに向かう場合の消費電力量	EC (P, t, Q) (kWh)
	EVアシストルート探索結果	AR (Dep, Des)
	EVアシストルートの移動コスト	AC (Dep, Des) (h)
	経由する充電スタンド	SCS1, SCS2, …, SCSj

注：略語説明 SoC (State of Charge), BC (Battery Capacity), Dep (Point of Departure), Des (Destination), ToD (Time of Departure), CS (Charging Station), EPI (Electric Power of CSI), WT (CSI, t) (Waiting Time at CSI After Arrival on Date "t"), DT (P, t, Q) (Driving Time from Point "P" to "Q"), EC (P, t, Q) (Energy Consumption from Point "P" to "Q"), AR (Dep, Des) (Search Result of EV Assist Route), AC (Dep, Des) (Travel Cost of EV Assist Route), SCS (Stopover Charging Stations)

的地DesのEVアシストルートはAR (Dep, Des)と示す。また、このEVアシストルートの移動コストはAC (Dep, Des)と表現し、これらの情報をルート探索結果としてEVユーザーに提供する。

3.1 充電スタンドを頂点とする有向グラフの生成

提案手法では、まず初めに経由する充電スタンドを決定し、次にその充電スタンドを経由するルートを導出することで、EVアシストルートを導出する。そこで、出発地、目的地および充電スタンドをノードとする充電スタンドグラフを生成し、このグラフに対して最短経路探索アルゴリズムを用いることで、経路に最適な充電スタンドを決定する。生成される充電スタンドグラフG=(V, E)は、V={Dep, Des, CS_i (i=1, 2, …, N)}にて表される頂点集合Vおよび有向辺の集合Eから成る。

ノード間の有向辺は各地点間を移動するルートと見なすことができる。したがって、あるノード間に有向辺を生成する条件とは、対象となるEVがそのノード間を移動できることである。すなわち、ノードAからノードBに向かう有向辺をe_{AB}と表現した場合、生成する充電スタンドグラフの有向辺の集合Eは、下記の条件式を満たすすべてのノードのペアに対して生成された有向辺にて構成される。

$$\begin{aligned}
 & \text{if } A \in \{Dep\} \text{ then} \\
 & \quad \text{if } SoC \geq EC(A, B) \text{ then } e_{AB} \in E \text{ else } e_{AB} \notin E \\
 & \text{else if } A \in \{Des\} \cup B \in \{Dep\} \text{ then} \\
 & \quad \text{if } BC \geq EC(A, B) \text{ then } e_{AB} \in E \text{ else } e_{AB} \notin E
 \end{aligned}$$

ノードOが充電スタンドである場合は、EVが充電可能であることから、満充電時のバッテリー残量BCを基準として用いている。また、目的地を始点あるいは出発地を終点とする有向辺は生成していない。

グラフ生成時にはまず、候補となる充電スタンド、出発地および目的地すべての組み合わせに対してルート探索を実行し、各ノード間の移動に必要な電力量を算出する。そして、導出した電力量がSoCあるいはBC未満であるかを判断し、有向辺を生成する。有向辺を生成した充電スタンドグラフの例を図2に示す。同図に示すとおり、各EVのバッテリー残量やバッテリー容量に応じて到達可能なノード間に有向辺を生成することで、複数の充電スタンドを乗り継ぎながらバッテリー切れを発生させずに目的地に到達可能なルートの候補を複数導出している。

なお、頂点Vに含まれる充電スタンドCS_iについては、世界各地に複数配備された充電スタンドのうち、どの充電スタンドを経由の候補対象とするかという問題がある。ここでは、出発地および目的地の国に配備された充電スタンドすべてを対象とすることで、適切な充電スタンドだけを経由の対象として限定している。

3.2 充電スタンドグラフに対する辺の重みの付与

生成した充電スタンドグラフに対して最短経路アルゴリズムを実行するため、有向辺の集合Eに含まれる各辺について移動（運転）時間に基づく重みを与える。しかしながら、実際の運転においては、遠回りをしたとしても急速充電スタンドを経由するほうが充電時間は少なく、結果として目的地へ到着するための移動コストが小さくなる可能性

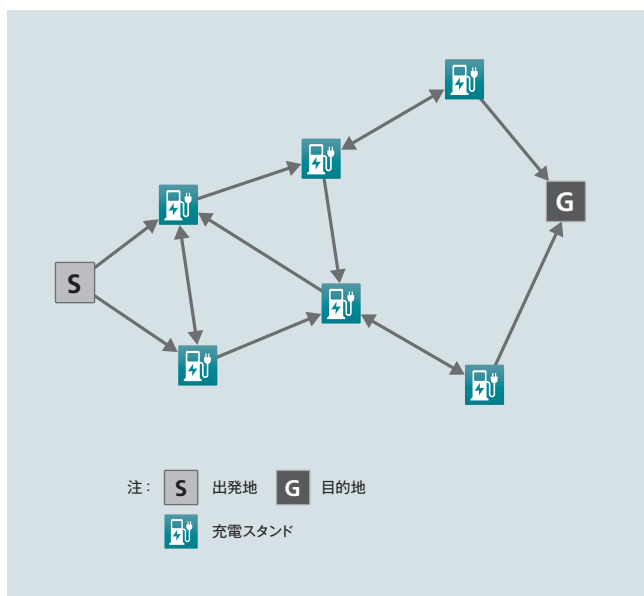


図2 | 充電スタンドグラフの例
バッテリー残量に応じて移動可能な頂点間に、有向辺を生成する。出発地を終点、あるいは目的地を始点とする有向辺は生成しない。

が存在する。同様に、遠回りをしたとしても別の急速充電スタンドを経由するほうが待ち時間が短く、結果として移動コストが小さくなる可能性も存在する。このような場合を考慮するため、辺の重みには充電スタンド到着時のバッテリー残量から満充電するまでに必要な充電時間を計算し、利用する。

時刻tに地点Aから充電スタンドCS_iに向かい、CS_iにて満充電する場合の充電時間CT(A, t, CS_i)は、以下の式に基づいて算出できる。

(1) Aが出发地Depである場合

$$CT(Dep, t, CS_i) = \frac{BC - SoC + EC(Dep, t, CS_i)}{EP_i}$$

(2) Aが充電スタンドCS_jである場合

$$CT(CS_j, t, CS_i) = \frac{EC(CS_j, t, CS_i)}{EP_i}$$

辺の重みとしては、この充電時間に移動（運転）時間と待ち時間を加えたものを利用する。地点Aを時刻tに出発し、地点Bへ到達する場合のAB間の移動に必要な時間TT(A, t, B)は、以下の式に基づいて算出できる。

(1) Bが充電スタンドCS_iである場合

$$TT(A, t, CS_i) = DT(A, t, CS_i) + WT(CS_i, t + DT(A, CS_i)) + CT(A, t, CS_i)$$

(2) Bが出发地Desである場合

$$TT(A, t, Des) = DT(A, t, Des)$$

各地点の出発時刻tは、後述の充電スタンドグラフにダイクストラ法を適用した際に、最小移動コストが確定したノードから順に判明するものである。したがって、辺の重みはダイクストラ法を実行する前に算出できるものではなく、ダイクストラ法を実行しながら順次算出し、各頂点の移動コストを算出することになる。

3.3 ダイクストラ法に基づく最短経路探索(経路に最適な充電スタンドの決定)

生成した充電スタンドを頂点とする重み付き有向グラフに対してダイクストラ法¹³⁾に基づく最短経路探索を実施することにより、充電スタンドを経由する複数のルートの中で、充電時間および待ち時間を含む移動時間が最短となるルートを探査する。提案手法における、ダイクストラ法に基づく最短経路探索手法を以下のとおり定義する。

(1) 初期化処理

出発地Depからの最小移動コストが算出されたノードを「確定」状態、まだ最小移動コストが算出されていないノードを「未確定」状態であると定義する。生成したグラフG=(V, E)に対して以下のとおり初期値を与える。

- (a) 出発地 Dep の移動コスト $C(Dep)$ を 0 に、その他のノード $p \in V$ の移動コスト $C(p)$ を $+\infty$ に設定する。
- (b) すべてのノードを移動コストが「未確定」の状態とする。

(2) 各ノードの移動コスト計算

初期化処理が完了したグラフに対して、「未確定」状態のノードがなくなるまで以下の処理を繰り返す。

- (a) 「未確定」状態のノード群から、移動コストが最小のノード $m \in V$ を選択し、「確定」状態に遷移させる。
- (b) ノード m とリンク $e_{mn} \in E$ で接続するノード n 、すなわちノード m から到達可能な他のノード n で、「未確定状態」であるノードの集合 $N \subseteq V$ を導出する。
- (c) すべてのノード $n \in N$ について、出発地からノード m を経由した場合のノード n の移動コストを計算する。移動コストは、次の式によって算出できる。

$$C(m) + TT(m, ToD + C(m), n)$$

ここで $C(m)$ は、ノード m が確定状態であることから、出発地 Dep からノード m へ移動する場合の最短移動時間である。したがって、 $ToD + C(m)$ はノード m の出発時刻と考えることができる。計算した移動コストが $C(n)$ に入力された値より小さい場合には、上書きして新しい移動コストとする。

以上 (1), (2) の処理によって、グラフ G に対して充電スタンドを経由しながら出発地から目的地に移動する複数のルートの中で、目的地の移動コストが最小となるルートを選出し、経由すべき充電スタンド $SCS_1, SCS_2, \dots, SCS_N$ を選出する。

充電スタンドグラフにダイクストラ法を適用した場合における、各ノードでの最小移動コスト更新処理の例を図3に示す。図3(a)では、新しくノードAが移動コストの最小なノードとして選択され、「確定」状態に遷移したことを示している。そして、ノードAに有向辺で接続するノード

BおよびノードCを抽出する。さらに、各辺の重みである移動コストを加算して、ノードAを経由した場合の出発地からの移動コストをそれぞれ算出する。算出した結果は、ノードBでは $359 + 52 = 411$ であり、ノードBにすでに入力された値361より大きいいため、移動コストを上書きしない。ノードCでは $359 + 420 = 779$ であり、すでに入力された値 $+\infty$ より小さいため、移動コストを上書きする [図3(b) 参照]。移動コストの計算が完了したため、再び「未確定」状態のノード群から移動コストが最小なノードBを選択し、「確定」状態に遷移させる [図3(c) 参照]。そしてノードBに有向辺で接続するノードCを抽出し、移動コストを算出する。ノードBを経由した場合の出発地からの移動コストは $361 + 387 = 748$ であり、すでに入力された値779より小さいため、移動コストを上書きする [図3(d) 参照]。

図3に示すような、各ノードの移動コスト計算を繰り返して適用することで、目的地のノードに対する最小移動コストを算出し、移動時間が最短となるルートを選出している。

経由する充電スタンド $SCS_1, SCS_2, \dots, SCS_N$ が決定した場合は、EVアシストルートの結果としてルート情報とその移動コストをユーザーに提供する。ルート $AR(Dep, Des)$ は Dep から $SCS_1, SCS_2, \dots, SCS_N$ を順に経由して Des に向かうルートである。また、 $AC(Dep, Des)$ は上記のダイクストラ法を実行した後の目的地 Des の移動コスト $C(Des)$ である。

なお、生成した充電スタンドグラフについて、次の2つのどちらかの場合には、EVアシストルートは存在せず、現在のバッテリー残量では出発地から目的地に到達できないと判断する。

- (1) 出発地を始点とする有向辺が存在しない、すなわち出発地から現在のバッテリー残量で到達可能な充電スタンドが存在せず、かつ目的地も存在しない。

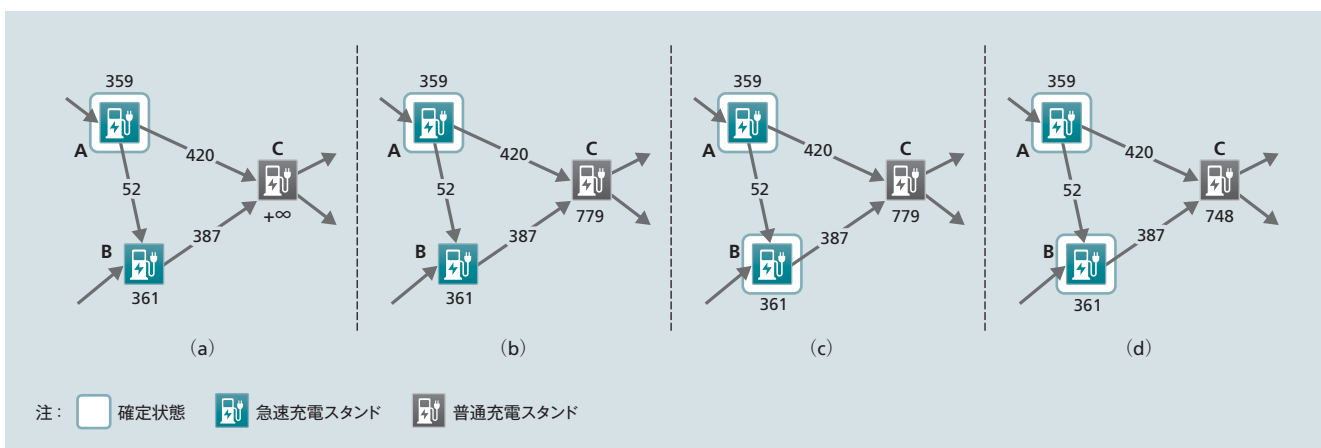


図3 | 充電スタンドグラフにおけるダイクストラ法の適用例

有向辺上の数値は、終点の充電スタンドに移動するまでの運転時間、到着した後の充電時間および待ち時間の和を表す。

(2) 目的地の移動コスト $C(D_{es})$ が $+\infty$ である，すなわち出発地からバッテリー切れを起こさずに充電スタンドを経由しながら目的地に向かう経路が存在しない。

4. 評価実験

4.1 実験環境

提案するEV向けルート探索手法が充電時間および待ち時間を含む移動時間をどの程度短縮させるかを確認するために，仮の充電スタンド配備データを用いてルート探索結果を地図上に表示するシステムを実装した。評価実験環境に関する各設定を表2に示す。

システムは日本国内でのルート探索を想定して実装した。また，充電スタンドには日本全国に点在する約3万か所のガソリンスタンドから無作為に抽出したガソリンスタンドを利用した。充電スタンドの配備数は2010年および2012年における日本国内での外部利用可能な充電スタンドの軒数⁵⁾を参考とし，年度順に普通充電スタンド2,200軒，3,000軒，急速充電スタンド300軒，1,000軒とした。評価実験では，バッテリー容量を20 kWh，出発時のバッテリー残量を10 kWhと設定した。また，仮の値として普通充電の出力は2 kW，急速充電の出力は40 kWと設定し，満充電に必要な時間をそれぞれ10時間，30分間と設定した。なお，この実験では簡易化のため，電費の値を6 km/kWhと設定し，ユーザーごとの電費の違いを考慮していない。急速充電スタンドでの待ち時間は，充電に最大30分間必要であることから，0分間～30分間のランダムな値として設定した。また，普通充電スタンドでの待ち時間は，台数が多く，外出時の利用頻度も少ないことから，0分間として設定している。

作成したシステムに対して，関東地方に存在する道の駅114件を対象に，出発地および目的地をそれぞれ道の駅と設定したルートを総当たりで実行した。ルート探索結果のうち，充電スタンドを1度以上経由する探索結果約1万件を評価として用いた。また，従来手法として，充電スタンドの種別を考慮しない，すなわちリンクの重みに充電時間

表2 | 評価実験における設定値

普通充電スタンドにおける満充電に必要な時間は最大10時間，急速充電スタンドにおける満充電に必要な時間は最大30分である。

Parameter	Symbol
出発時のバッテリー残量	10 (kWh)
バッテリー容量	20 (kWh)
普通充電スタンドの電力	2 (kW)
急速充電スタンドの電力	40 (kW)
普通充電スタンドの配備台数	2,200 (2010年) / 3,000 (2012年)
急速充電スタンドの配備台数	300 (2010年) / 1,000 (2012年)

を利用しない手法によるルート探索も実行し，その探索結果も評価として用いた。従来手法および提案手法それぞれのルート探索結果について，移動時間，充電時間および待ち時間の変化について確認した。

4.2 実験結果と考察

すべてのルート探索結果に対する提案手法と従来手法それぞれの移動（運転）時間，充電時間と待ち時間の平均を図4に示す。同図に示すとおり，提案手法は従来手法と比較して移動時間が平均して約13分間長く，また待ち時間も約19分間長くなる傾向が見られた。しかしながら，充電時間については提案手法のほうが平均して約11時間短くなる傾向が見られた。その結果，従来手法と比較した場合，提案手法では充電時間および待ち時間を含む移動時間が平均して約62%短縮されていることが確認できた。これは，従来手法では充電スタンドの電力出力を考慮しないため，配備台数が多い普通充電スタンドを経由するルート探索結果数が多いのに対して，提案手法では遠回りや待ち時間が必要な場合でも可能な限り急速充電スタンドを経由するルートを選択しているためである。

充電スタンドの普及台数に応じた提案手法におけるEVアシストルート探索結果の移動時間，充電時間，待ち時間の変化を図5に示す。同図に示すとおり，2010年における環境下のルート探索結果の平均と，2012年における環境下のルート探索結果の平均では，後者において移動時間および充電時間の短縮効果が見られた。移動時間が短縮した理由は，急速充電スタンドの台数が500軒から1,000軒に増えたことで，より遠回りの少ない急速充電スタンドを経由するルート探索結果が増えたためと考えられる。また，充電時間が減少した理由は，全充電スタンドに占める急速充電スタンドの割合が2010年における12%から2012

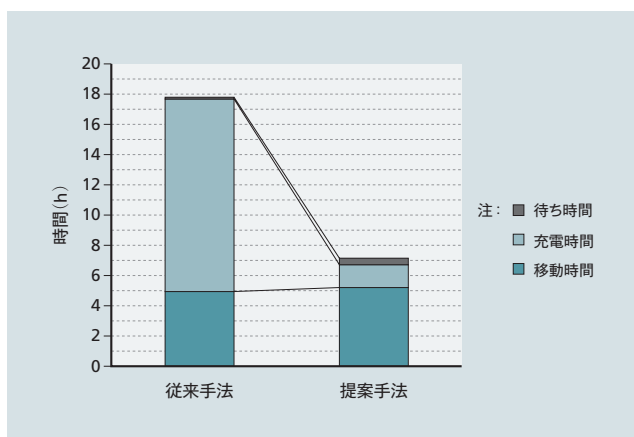


図4 | 提案手法および従来手法によるルート探索結果の移動時間，充電時間，待ち時間の平均

提案手法では，運転時間および待ち時間が長くなったとしても，それ以上に充電時間を削減できる急速充電スタンドを経由するルートを選出している。

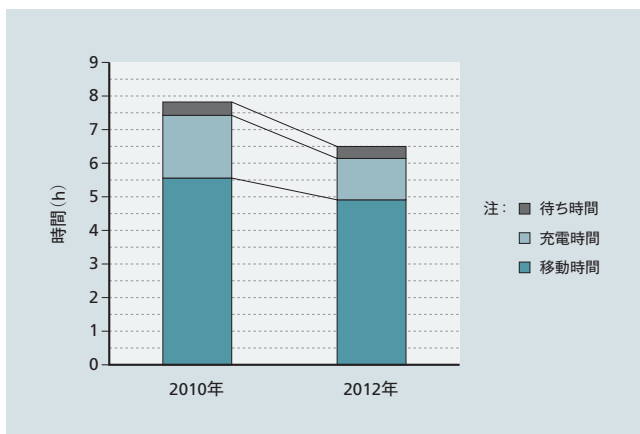


図5 提案手法における年度別のルート探索結果の移動時間、充電時間、待ち時間の平均

急速充電スタンドの普及に伴い、やむを得ず普通充電スタンドを経由していたルートが減少し、その結果平均運転時間が短縮されている。

年では25%に増加したことにより、バッテリー残量の都合上やむを得ず普通充電スタンドを経由していたルート探索結果数が減少したためと考えられる。このように、提案手法では急速充電スタンド数の増加に応じて、より移動コストの少ないルート探索結果を導出していることが確認できた。

5. おわりに

ここでは、EV普及の課題である航続可能距離の短さ、充電設備の少なさへの不安を取り除く方法として、EV向けの最短経路探索手法について述べた。

提案した手法では、バッテリー切れが起きないように充電スタンドを経由して出発地から目的地に移動する複数のルートの中から、充電時間と待ち時間を含む移動時間が最も短いルートを探している。またテレマティクスセンターを活用することで、最新の充電スタンド配備状況を考慮したルート探索を実行している。さらに、テレマティクスセンターを介してEVや充電スタンドの最新状態を管理することで、ユーザーごとの運転傾向や、各充電スタンドでのリアルタイムな待ち時間を考慮したルート探索を実行することも可能である。このようにテレマティクスセンターを活用することで、ユーザーにとって快適なEVでのドライブを提供している。

参考文献など

- 1) 大阪エコカー普及戦略検討部会、「エコカーに関するアンケート」調査結果、http://www.pref.osaka.jp/attach/5004/00045655/3_1-2.pdf
- 2) 国税庁、環境性能に優れた自動車等に対する自動車重量税の減免措置、<http://www.nta.go.jp/taxanswer/inshi/7194.htm>
- 3) 国土交通省、自動車運送事業用車両の低公害車導入に係る補助制度のご案内(平成24年度)、http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk1_000003.html
- 4) California Environmental Protection Agency, Zero Emission Vehicle (ZEV) Program, <http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevprog.htm>
- 5) スマート交通関連市場のグローバル展望2011：株式会社富士キメラ総研(2011.1)
- 6) 岡山県、「電気自動車に関するアンケート調査」の結果について、http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/41962_147020_misc.pdf
- 7) かながわ電気自動車普及推進協議会、電気自動車についてのアンケート実施結果について、<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/13266.pdf>
- 8) P. Bauer, et al. : Charging of Electric Vehicles and Impact on the Grid, IEEE 13th International Symposium, MECHATRONIKA 2010, pp. 121-127 (2010)
- 9) M. Etezadi-Amoli, et al. : Rapid-charge Electric-vehicle Stations, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 3, pp. 1883-1887 (2010)
- 10) CHAdeMO Association, <http://www.chademo.com/wp/>
- 11) A. Artmeier, et al. : The Optimal Routing Problem in the Context of Battery-powered Electric Vehicles, 2nd International Workshop on Constraint Reasoning and Optimization for Computational Sustainability (2010)
- 12) J. Eisner, et al. : Optimal Route Planning for Electric Vehicles in Large Networks, In Proceedings of 25th AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 1108-1113 (2011)
- 13) E. W. Dijkstra : A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numerische Mathematik, Vol. 1, No. 1, pp. 269-271 (1959)

執筆者紹介



木山 昇

2010年日立製作所入社、横浜研究所 ITシステムアーキテクチャ研究部 所属
現在、自動車向けテレマティクスの研究開発に従事
情報処理学会会員



長船 辰昭

1998年日立製作所入社、横浜研究所 ITシステムアーキテクチャ研究部 所属
現在、自動車向けテレマティクスの研究開発に従事
IEEE会員



白井 啓介

1991年日立製作所入社、情報・通信システム社 CIS本部 所属
現在、テレマティクスシステム開発に従事



柏山 正守

1983年日立製作所入社、情報・通信システム社 CIS本部 所属
現在、テレマティクスシステム開発に従事