

航続可能距離と充電スタンドの位置を 考慮した電気自動車向けルート探索手法

木山 昇[†] 小林 雄一[†]
青島 弘和[†] 柏山 正守^{††}

本稿では、適切な充電スタンドを経由し充電することで目的地に到達可能なルートを探査する、電気自動車向けのルート探索手法を提案する。提案手法では、現在のバッテリー残量と出発地や目的地の位置関係から、目的地に直接到達できる場合、途中で1回充電する場合、複数充電が必要な場合に分けて探索を行う。充電スタンドを経由する場合は、まず経由候補の充電スタンドを抽出し、次にダイクストラ法を用いてそれらの充電スタンドを経由するルートから、もっとも移動コストが小さいルートを算出する。充電スタンド間の移動コストとしては、走行距離と走行時間及び到着後に必要となる充電時間を算出して用いる。この提案手法の実用性を確認するため、従来手法からのルート探索時間の増加量を確認した。その結果、提案手法では経由する充電スポットを探査するために検索時間が増加したが、その時間は従来手法によるルート探索時間と同程度であることが確認できた。

A Route Search Method for Electric Vehicles in Consideration for Cruising Range and Locations of Charging Stations

Noboru Kiyama[†] Yuichi Kobayashi[†]
Hirokazu Aoshima[†] and Masamori Kashiya^{††}

In this paper, we propose a new route search method for electric vehicles (EVs), which calculates a route with stopping over charging stations to have extra battery charge. In this method, firstly we divided cases into three; the case of reaching the destination straight from the departure point, the case of stopping at one charging station and the case of stopping at several charging stations. In the cases of stopping over at least one charging station, potential charging stations are selected first, and then a route is obtained by Dijkstra's algorithm from routes with some of those stations. Travel distance, estimated travel time between charge stations and time to fully charge after the EV's arrival at each charging stations are calculated and also used for the calculation of travel cost between charging stations. In order to confirm the impact of increased

execution time by this method, we implemented the method and compared its execution time with that of conventional route search method. As a result, we confirmed that the search of charging stations with this method requires extra execution time, but the time increases is comparable with the time required for the search of the route with some of these stations by conventional method.

1. はじめに

近年、地球温暖化や化石燃料枯渇の対策として、電気自動車 (EV : Electric Vehicle) の開発・販売が積極的に取り組まれている。ガソリンを消費する内燃機関車 (ICEV : Internal Combustion Engine Vehicle) とは異なり、EV は走行時に電気を消費する。原子力発電や太陽光発電などの発電方式では、発電時に化石燃料を使用せず、また二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量が少ない。さらに、内燃機関を搭載する ICEV はエネルギー変換効率が悪いことから、利用車種を ICEV から EV へ変更することは、環境問題への対策に繋がる。そのため、各国政府が進める環境問題対策の一環として、EV の普及に向けた活動が進められ、EV 購入者に対する補助金制度や製造者に対する販売台数義務化政策などが実施されている。

一方で EV には、普及に向けた課題がまだいくつか存在している。例えば、(1) 搭載されているバッテリーの容量が少ないため、航続可能距離がガソリン車と比べて短い、(2) ガソリンスタンドの代わりとなる充電スタンド (Charging Station) の普及が進んでいない、などが挙げられる。充電スタンド不足に対する EV ユーザの不安を取り除く方法としては、各地に配備された充電スタンドの情報を提供するサービス [1,2] が開始されている。このサービスは、ユーザが所有するスマートフォンや EV に搭載されたカーナビゲーションに対して、充電スタンドの位置情報や施設利用情報 (満空情報) を提供する、EV 向けのテレマティクスサービスである。しかしながら、充電スタンドの情報を提供するだけでは、ユーザ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がら EV を運転しなければならないため、EV ユーザの不安を完全に取除いていないとは言えない。

本稿では、航続可能距離の短さや充電スタンド不足に対する EV ユーザの不安を取り除く方法として、EV 向けのルート探索手法を提案する。提案手法では、EV のバッテリー残量及び走行履歴から導出される、1kWh 当たりの航続可能距離である電費 (Electric Mileage) を基に、各ユーザの航続可能距離を算出する。次に、従来のルート探索結果では目的地に到着する前にバッテリーが切れてしまうような状況において、現在の航続可能距離で到達可能な充電スタンドを選定する。さらに、出発地、目的地

[†] 株式会社 日立製作所 横浜研究所
Hitachi, Ltd., Yokohama Research Laboratory
^{††} 日立オートモティブシステムズ 株式会社
Hitachi Automotive Systems, Ltd.

や充電スポット間を移動する際に必要となるコストとして、各地点間の走行距離、走行時間及び到着後必要となる充電時間を算出する。そしてダイクストラ法を用いて、経由可能な充電スタンドを経由する複数のルートの中で、最も移動コストが低いルートを導出する。提案手法によるルート探索結果をEV向けテレマティクスサービスとしてEVの運転者に提供することで、バッテリー切れや充電スタンド不足などのEVに対する不安を払拭し、その結果、EV普及促進に貢献することを目的としている。

この提案手法の実用性を確認するために、提案手法を実装し、仮想的に配置された充電スタンドを利用してルート探索を実行した。そして、ルート検索結果の妥当性と、検索時間に与える影響を確認した。その結果、提案手法によるルート探索結果では、航続可能距離を考慮して到達可能な充電スタンドを経由したルートを導出していることが確認できた。また、従来手法と比較した結果、提案手法では経由する充電スポットを探索するために検索時間が増加したが、その時間は従来手法によるルート探索時間と同程度であることが確認できた。

2. 関連研究

2.1 テレマティクスサービス

近年のITS (Intelligent Transportation Systems) の高機能化に伴い、テレマティクスと呼ばれる自動車向けサービスが展開されている。自動車に携帯電話などの移動通信システムを搭載することで、現在地に応じた渋滞情報や天気予報などの情報配信サービスや、エアコンやドアロックのリモート操作機能などを提供するものであり、利用者に対して車の利便性を向上させている。これらのテレマティクスサービスはガソリン車向けとして車メーカー各社から提供されている。例としては、トヨタ自動車のG-BOOK [3][a]やゼネラルモーターズのOnStar [4][b]などが挙げられる。

2.2 ルート探索手法

VICS (Vehicle Information and Communication System) [5]やTPEG (Transport Protocol Experts Group) [6]などの道路交通情報インフラの発達に伴い、従来の最短経路を導出するルート探索アルゴリズムの精度向上やリアルタイムな道路情報を反映したルート探索結果の導出に関する研究が進められている。

UTOSPF [7]では、各道路に配備された端末により構築されるセンサネットワークを用いて、リアルタイムな道路交通量を取得し、それを利用した最適なルート探索アルゴリズムを提案している。

文献 8) では、リアルタイムに得られる渋滞情報と、道路の勾配などに関する地理的情報を活用することで、走行距離ではなくガソリンの消費量を最小にするルート探

索アルゴリズムを提案している。

また、電気自動車向けとしては、出発地から目的地に向かうルートの内、最もバッテリー消費量が少ないルートを探索する手法が提案されている。

文献 9) では、電気自動車の特徴である回生ブレーキによる発電量を考慮した上で、各道路の移動コストを消費（あるいは発電）電力で表現し、バッテリー残量及びバッテリー容量を踏まえた制約付き最短経路問題として解くことで、最小消費電力ルートを導出している。

文献 10) では、大規模道路ネットワーク情報に対して事前計算を実施することにより、最小消費電力ルートの導出を高速化している。事前計算では、高さを含めた地図情報に対してモデル化された式を基に回生ブレーキによる発電量を推測している。

3. 提案手法のアルゴリズム

提案するルート探索手法では、適切な充電スタンドを経由するルートとしてEVアシストルートを提供する。EVアシストルートとは、現在のEVのバッテリー残量では出発地から目的地まで直接到着できないような状況において、バッテリーが切れる前に充電スタンドを経由するルートのことである。EVユーザは、その充電スタンドで充電を行うことで、道中でバッテリー切れを起こすことなく目的地に到着できる。航続可能距離の範囲内で、目的地あるいは充電スタンドに必ず辿り着かなければならないため、提案手法ではまず経由する充電スタンドの抽出を行い、その後経由充電スタンドを経由地としたルート探索を実行する。

このEVアシストルートを提供するにあたり、提案手法は、各充電スタンドを経由する複数のルートのうち、最も移動コストが小さいルートを選択する必要がある。ここでの移動コストとは、移動距離や移動時間のことであるが、詳細は3.2節にて記載する。出発地から目的地の間に存在する充電スタンドが数箇所程度であれば、通り得る全ての充電スタンドを経由するルートを探索したとしても、ルート探索時間に対する影響は小さい。しかし、今後の充電設備の拡充を考慮すると、道中に数十ヶ所以上充電スタンドが存在することも考えられる。したがって、提案手法ではあらかじめ各充電スタンド間の移動コストを算出し保持することで、ルート探索処理の高速化を実現する。また、出発地、充電スタンド、目的地の各地点間のルート探索には一般的なルート探索アルゴリズムを用いている。このルート探索関数をFと定義すると、Fの入力は2つの地点であり、出力結果は2地点間のルート、走行距離及び走行時間である。以降では、従来手法により導出される、ある地点 P_1 から別の地点 P_2 へのルートを $R(P_1, P_2)$ 、走行距離を $D(P_1, P_2)$ 、走行時間を $T(P_1, P_2)$ と記述する。また、ルートの結合を“+”演算子にて表記する。すなわち、出発地Sから経由地Tを通して目的地Gに向かうルートは $R(S, T) + R(T, G)$ と表す。

a) G-BOOKは日本またはその他の国におけるトヨタ自動車の商標または商標登録である。

b) OnStarは米国またはその他の国におけるOnStarの商標または商標登録である。

表 1 提案手法における入力値及び出力値

区分	パラメータ名	表記
入力	バッテリー残量	BL_R (kWh)
	バッテリー容量	BL_F (kWh)
	電費 (1kWh 当たりの航続可能距離)	EM (km/kWh)
	充電スタンド位置	CS_i ($i = 0, 1, 2, \dots$)
	充電スタンド充電効率	CE_i (kW)
	出発地	Dep
	目的地	Des
出力	EV アシストルート	$EVR(Dep, Des)$
	走行距離	$EVD(Dep, Des)$ (km)
	走行時間	$EVT(Dep, Des)$ (h)
	到着時のバッテリー残量	BL_A (kWh)
	経由する充電スタンド位置	SCS_j ($j = 0, 1, 2, \dots$)

提案手法のアルゴリズムに対する入力値と出力値は、表 1 に示すものと定義する。入力のうち「バッテリー残量 (BL_R)」や「バッテリー容量 (BL_F)」は EV から取得することを想定している。また、電費 (EM) は、該当 EV の走行履歴から導出可能であるものとする。充電スタンド情報としては、配置された充電スタンドの位置情報 (CS_i) や充電方式などが考えられる。現在では充電方式は大きく 2 分化され、「通常充電」と「急速充電」が存在する。通常充電は、一般的に普及した家庭用コンセントでの充電が可能である一方で、充電時間は数時間以上と非常に長く、移動中の充電には向いていない。急速充電では、その充電時間を 30 分程度に大幅に短縮することができるが、専用の設備が必要となるため普及が進んでおらず、急速充電に対応したスタンドの数が少ない。提案手法では、通常充電と急速充電の違いを、その充電スタンドの出力電力に相当する充電効率 (CE_i) で表現し、充電効率はバッテリー情報と同様、データベースなどから得られるものとした。

また、EV の航続可能距離は電費とバッテリー残量を用いることで導出できる。すなわち、現在のバッテリー残量における航続可能距離 (CR_R) は

$$CR_R = BL_R \times EM$$

により導出される。同様に、満充電時の航続可能距離 (CR_F) は

$$CR_F = BL_F \times EM$$

により導出される。

以下では、提案手法によるルート探索結果が「3.1 1 度も充電する必要がないルートの場合」、「3.2 1 度だけ充電するルートの場合」、「3.3 2 度以上充電するルートの場合」、「3.4 目的地に到着するための適切な充電スタンドが存在しない場合」に分けて、アルゴリズムの詳細を説明する。

3.1 1 度も充電する必要がないルートの場合

現在の航続可能距離にて出発地から目的地に到達可能な場合は、従来のルート探索と同様の結果を返しても EV の走行に影響は出ない。したがって、通常のルート探索結果 $R(Dep, Des)$ 、走行距離 $D(Dep, Des)$ 及び走行時間 $T(Dep, Des)$ と走行後のバッテリー残量を導出し、EV アシストルート探索結果として提供する。走行後のバッテリー残量 BL_A は

$$BL_A = BL_R - \frac{D(Dep, Des)}{EM}$$

により導出される。

目的地に直接到着できない場合には、次節に定める方法により 1 度だけ充電スタンドを経由するルートを導出する。

3.2 1 度だけ充電するルートの場合

現在の航続可能距離では出発地から目的地に直接到達できない場合には、まず下記の 2 円の重複領域を導出する。

1. 出発地 Dep を中心に、半径を航続可能距離 CR_R に定めた円
2. 目的地 Des を中心に、半径を最大航続可能距離 CR_F に定めた円

これらの重複領域に充電スタンドが存在した場合には、出発地からその充電スタンドを経由し、バッテリーを満充電することで、目的地に到達できる。ただし、出発地と経由充電スタンド、経由充電スタンドと目的地の実際の距離は直線距離も長いため、2 点間のルート探索を実施し、通行可能な道路に沿った走行距離と航続可能距離を比較し、到着可能であるかどうかを判断する。該当する充電スタンドが 1 つだけであった場合は、この充電スタンドを経由するルート探索結果を EV アシストルートとして返す。該当する充電スタンドが複数存在した場合には、距離や時間におけるコストが最も低いルートを EV アシストルートとして返す。

1 度だけ充電するルートにおける、適切な充電スタンドの選択例を図 1 を基に説明する。図 1 は、経由する充電スタンドの候補として通常充電スタンド CS_1 と急速充電スタンド CS_2 の 2 つがある状況を示している。距離優先でルート探索を実行した場合は、 CS_1 を経由するルート $Route1$ の方が走行距離が短いため、 $Route1$ を EV アシストルートとして返す。一方、時間優先でルート探索を実行した場合は、 CS_2 を経由するルート $Route2$ を結果として返す。これは、普通充電と急速充電の間に大幅な充電時間の差があるため、走行距離の増加に伴い走行時間が増加した場合でも、急速充電を経

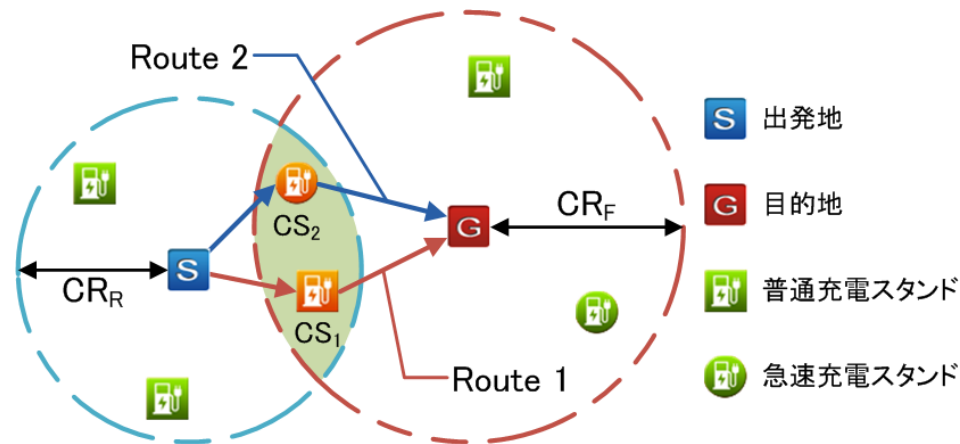


図 1 充電スタンドを1度経由する例

由することで充電時間を短縮することで走行時間が短くなるためである。このため、時間優先におけるルート探索では、走行距離の増加による走行時間の増加と充電設備の違いによる充電時間の短縮の優劣を判断する必要がある。そこで提案手法では、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、各地点間のルートの走行時間に加算している。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における、 CS_i での充電時間 $CT(A, CS_i)$ は、

1. A が出発地点 Dep である場合は

$$CT(Dep, CS_i) = \frac{BL_F - BL_R + \frac{D(Dep, CS_i)}{EM}}{CE_i}$$

2. A が充電スタンド CS_h ($h = 0, 1, 2, \dots$) である場合は

$$CT(CS_h, CS_i) = \frac{D(CS_h, CS_i)}{EM \times CE_i}$$

となる。したがって、充電時間を考慮した各ルートの走行時間 $EVT(Dep, Des)$ は、

$$EVT(Dep, Des) = T(Dep, CS_i) + CT(Dep, CS_i) + T(CS_i, Des)$$

となる。この走行時間を比較することで、走行距離が長い場合でも急速充電スタンドを経由するべきかどうかの判断を行う。

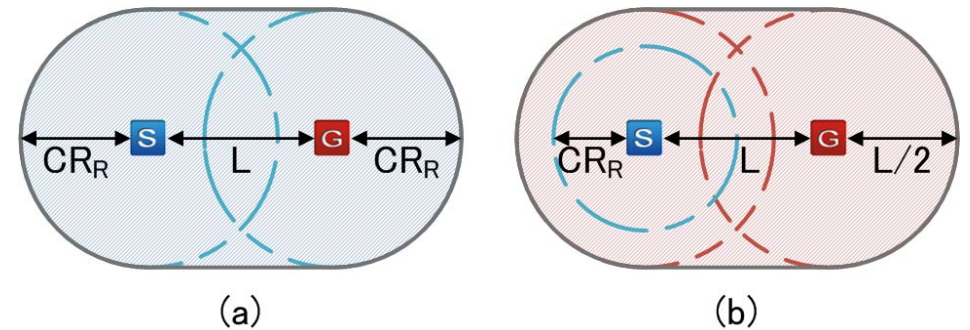


図 2 経由充電スタンドを探索する領域 (a) $CR_R > L/2$ の場合 (b) $CR_R < L/2$ の場合

経由する充電スタンド SCS_1 が決定した場合には、その充電スタンドを経由する従来手法のルート探索結果、その走行距離、上記 $EVT(Dep, Des)$ 、及びバッテリー残量を EV アシストルート探索結果として返す。EV アシストルート、走行距離及びバッテリー残量は

$$EVR(Dep, Des) = R(Dep, SCS_1) + R(SCS_1, Des)$$

$$EVD(Dep, Des) = D(Dep, SCS_1) + D(SCS_1, Des)$$

$$BL_A = BL_F - \frac{D(SCS_1, Des)}{EM}$$

により導出される。

重複領域に経由可能な充電スタンドが存在しない、あるいは重複領域が存在しない場合には、次節に定める方法により複数の充電スタンドを経由するルートを導出する。

3.3 2度以上充電するルートの場合

出発地から目的地に直接到着できず、かつ 3.2 節にて述べた 2 円の重複領域内に到達可能な充電スタンドが存在しない場合には、複数の充電スタンドを経由するルートを探索する。まず、経由対象となりうる充電スタンドを選定する。出発地-目的地間の直線距離 L の半分と航続可能距離 CR_R を比較し、大きい方を半径とした円を出発地及び目的地を中心として 2 つ描く。対象となる充電スタンドは、上記の 2 円及び平行な共通接線によって囲まれた領域に存在するものと定める (図 2)。 $L/2 > CR_R$ の場合に半径を $L/2$ とする理由は、 CR_R が短いために検索対象となる充電スタンドの数が減少することを防止するためである。一方、 $CR_R > L/2$ の場合に半径を CR_R とする理由は、出発地から現在のバッテリー残量で到着可能な充電スタンドを全て経由対象の候補とするためである。検索対象となる充電スタンドの数を増やすほど検索精度は向上するが、

一方で検索時間は増加するため、提案手法では上記の通り経路対象を限定している。
次に、出発地 Dep 、目的地 Des 及び経路対象となる充電スタンド CS_i に対し、隣接する地点間の移動コストを求め、ダイクストラ法[11]により出発地からの最小移動コスト及びその移動経路を導出する。2 地点間が隣接していると判断する条件は、出発地からは航続可能距離、その他の場合は最大航続可能距離の範囲内にて到達可能なことである。移動コストは、優先する項目に応じて変化する。距離を優先する場合は移動距離が該当する。時間を優先する場合は移動時間及び充電時間となる。時間優先の場合における、隣接する地点 A, B 間の移動コスト $C(A, B)$ は

1. 一方が出発地 Dep である場合は

$$C(Dep, CS_i) = CT(Dep, CS_i) + T(Dep, CS_i)$$

2. 一方が目的地 Des である場合は

$$C(CS_i, Des) = T(CS_i, Des)$$

3. 両方も充電スポット CS_h, CS_i である場合は

$$C(CS_h, CS_i) = CT(CS_h, CS_i) + T(CS_h, CS_i)$$

となる。

2 度以上充電するルートにおける、適切な充電スタンドの選択例を図 3 を基に説明する。図 3 の場合、距離優先の場合は CS_1, CS_2 を通るルート Route1 を EV アシストルートとして返すが、時間優先の場合は急速充電の充電スタンドが多い CS_3, CS_4, CS_5 を通るルート Route2 を EV アシストルートとして返す。

経由する充電スタンド $SCS_{1...j}$ が決定した場合は、それらの充電スタンドを経由する従来手法のルート探索結果、その走行距離及び走行時間とバッテリー残量を EV アシストルート探索結果として返す。EV アシストルート、走行距離、走行時間及びバッテリー残量は

$$EVR(Dep, Des) = R(Dep, SCS_1) + R(Dep, SCS_1) + \dots + R(SCS_j, Des)$$

$$EVD(Dep, Des) = D(Dep, SCS_1) + D(Dep, SCS_1) + \dots + D(SCS_j, Des)$$

$$EVT(Dep, Des) = T(Dep, SCS_1) + CT(Dep, SCS_1) + T(SCS_1, SCS_2) + CT(SCS_1, SCS_2) + \dots + T(SCS_{j-1}, SCS_j) + CT(SCS_{j-1}, SCS_j) + T(SCS_j, Des)$$

$$BL_A = BL_F - \frac{D(SCS_j, Des)}{EM}$$

により導出される。

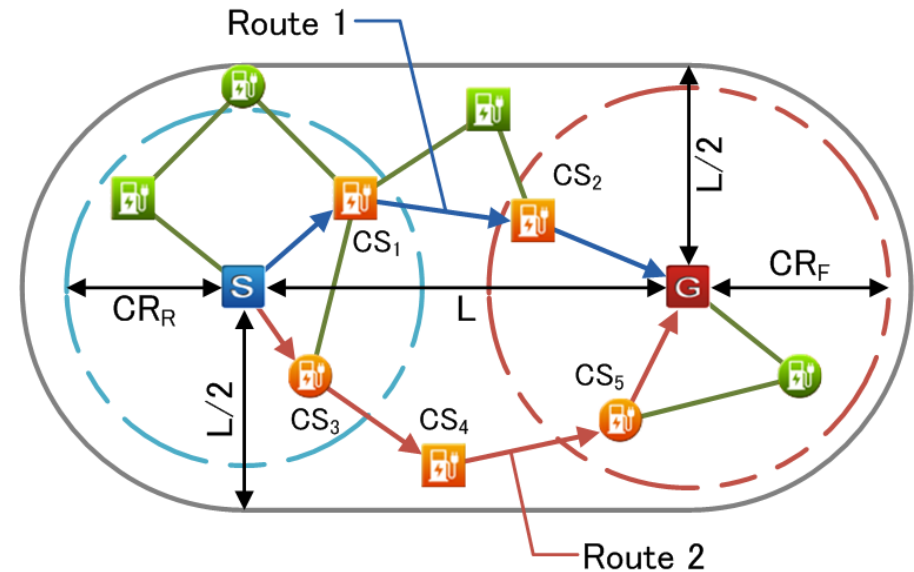


図 3 2 つ以上の充電スタンドを経由する例

3.4 目的地に到着するための適切な充電スタンドが存在しない場合

以下の 2 つの場合においては、出発地から目的地に対して現在のバッテリー残量では到着できない。

1. 出発地から航続可能距離の範囲内に目的地は存在せず、かつ充電スタンドも存在しない
2. 2 つ以上の充電スタンドを経由する場合において、ダイクストラ法により導出した出発地から目的地までの移動コストが無限大である

この場合は、出発地から目的地に対して現在のバッテリー残量では到着できないことを示した上で、参考情報として、出発地と目的地に対して通常のルート探索によって得られた結果 $R(Dep, Des)$ 、 $D(Dep, Des)$ 、 $T(Dep, Des)$ を EV アシストルート探索結果として返す。ただし、途中で EV がバッテリー不足に陥ることを示すため、走行距離が航続可能距離以上となる地点からルートの色を変更するなど、その地点までしか到達できないことを示す。

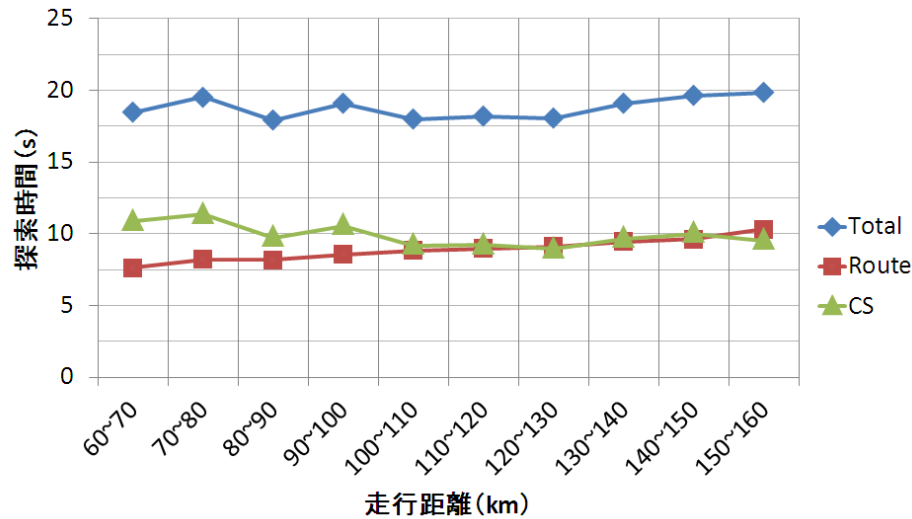


図 4 経由する充電スタンドが1つの場合のルート探索時間

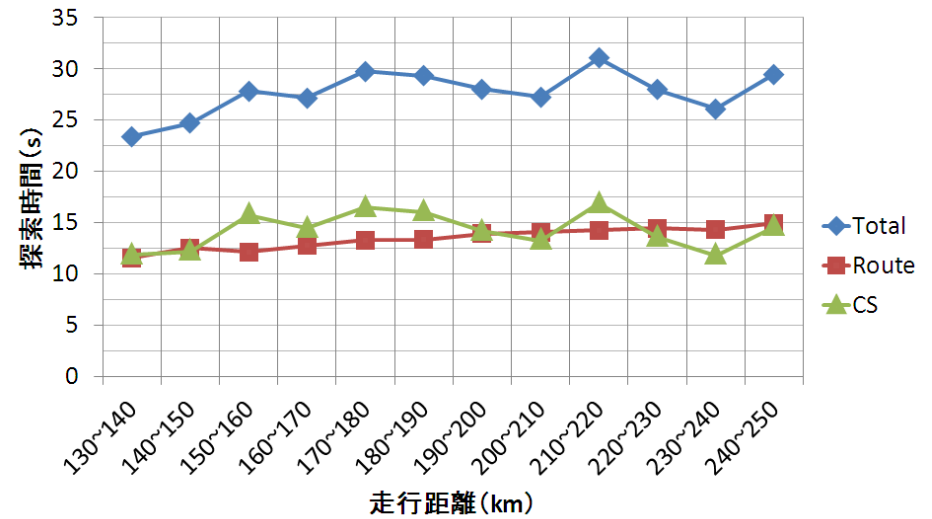


図 5 経由する充電スタンドが2つの場合のルート探索時間

4. シミュレーション実験

4.1 実験環境

提案する EV アシストルートの実用性を確認するために、仮定の充電スタンド群と充電効率を用いて、ルート探索結果を地図上に示すシステムを実装した。システムは「時間優先」に基づくアルゴリズムにて実装し、ルート探索対象国は日本とした。また、都市部に充電スタンドが多く配置されている傾向を再現するため、充電スタンドには日本全国に点在する約 4 万箇所のガソリンスタンドから無作為に抽出した 2500 箇所のガソリンスタンドを利用した。その内、2200 箇所のガソリンスタンドに対して通常充電スタンドを、300 箇所のガソリンスタンドに対して急速充電スタンドを配置した。実験では、バッテリー容量を 24kWh、電費を 5km/kWh (最大航続可能距離 120km) とした上で、出発時のバッテリー残量を 12kWh (航続可能距離 60km) と定義した。また、充電効率は通常充電の場合は 2kW、急速充電の場合は 48kW と設定し、満充電に必要な時間をそれぞれ 12 時間、30 分と定義した。

作成したシステムに対して、アルゴリズムがルート検索時間に対してどの程度影響を与えるかを調べるために、四国地方に存在する道の駅 78 件について、出発地及び目的地をそれぞれ道の駅と設定したルートを、総当たり形式で約 6000 件実行した。その

際、提案アルゴリズムを用いて適切な充電スタンドを選択するために必要な時間と、従来手法を用いて経由充電スポットを経由地としてルート探索するために必要な時間の 2 つに分けて実行時間を測定した。

なお、提案手法により作成したシステムでは、アルゴリズム実行の高速化のため、一定距離以内に存在する 2 つの充電スタンド CS_p , CS_q に対して、2 点間の移動距離 $D(CS_p, CS_q)$ 、移動時間 $T(CS_p, CS_q)$ 及び到着後の充電時間 $CT(CS_p, CS_q)$ を事前に算出している。一定距離としては、満充電時の航続可能距離の変化に対応するため、320km と定めている。EV アシストルート探索時には、移動距離が最大航続可能距離以下である 2 つの充電スタンド間の移動コスト等の計算に従来手法のルート探索関数 F を利用せず、これらの事前計算による数値を利用している。これにより、提案手法におけるルート探索関数 F の実行回数を減少させている。

4.2 結果と考察

各ルートが経由する充電スタンドの数に応じて分類した実験結果を図 4~図 6 に示す。なお、充電スタンドを経由しない場合の EV アシストルート探索時間は、従来手法とほとんど差がないことを確認した。

図 4 は、経由する充電スタンドの数が 1 つの場合のルートについて、経由充電スタンドの探索時間 (CS)、従来手法によるルート探索時間 (Route)、両方を合計した EV

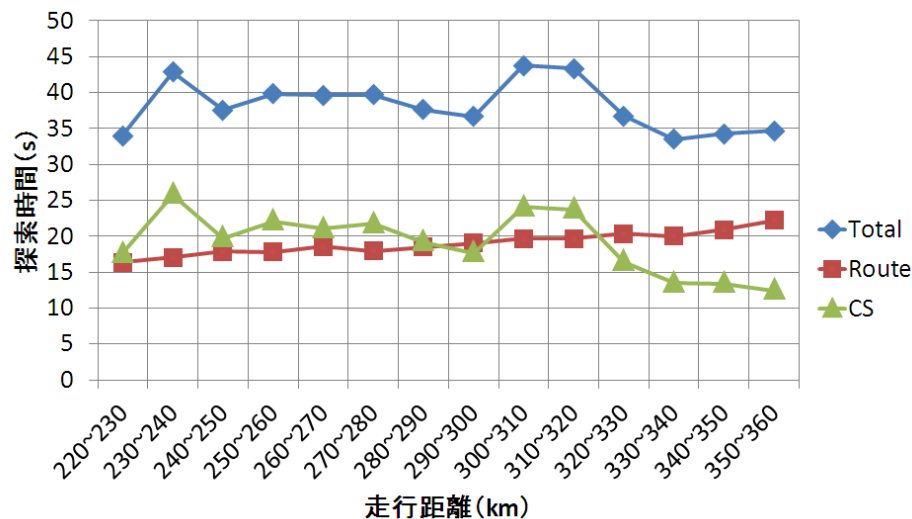


図 6 経由する充電スタンドが3つの場合のルート探索時間

アシストルート探索時間 (Total) と走行距離との関係を示している。実験より、経由充電スタンド探索時間とルート探索時間はほぼ同程度であり、EV アシストルート探索時間は従来手法の2倍程度の時間が掛かることが判明した。また、ルートの走行距離が増えるにつれてルート探索時間は増加しているが、経由充電スタンドの探索時間は減少していることが判明した。これは、出発地と目的地の距離が離れるにつれて、図 1 に示す2円の重複領域が小さくなり、経由候補対象となる充電スタンドが少なくなったためだと考えられる。

図 5 は、経由する充電スタンドの数が2つの場合のルートについて、各探索時間と走行距離との関係を示している。図 4 と同様、EV アシストルート探索時間は従来手法の2倍程度の時間が掛かることが判明した。また、ルートの走行距離が増えるにつれてルート探索時間は増加しているが、経由充電スタンドの探索時間は依存関係がないことが判明した。これは、充電スタンド間の移動コストを事前に計算しているため、経由充電スタンドの決定には出発地とその付近の充電スタンド、目的地とその付近の充電スタンドの移動コストの計算のみが必要となり、走行距離に影響を受けないためと考えられる。

図 6 は、経由する充電スタンドの数が3つの場合のルートについて、各探索時間と走行距離との関係を示している。各時間の増加傾向は図 5 と同様であるが、経由する



図 7 ルート探索結果表示例

充電スタンドが2つの場合と比較して、充電スタンド探索時間が増加していることが判明した。これは、経由する充電スタンド数の増加は走行距離の増加によるものだが、走行距離の増加により経由候補となる充電スタンドの数が増加し、ダイクストラ法に基づく最小移動コストの導出の計算量が増加したためと考えられる。

以上の結果より、提案手法によるルート探索の実行時間は、経由する充電スタンド候補の抽出と、バッテリー切れを起こさないように充電スタンドを経由する制約を加えた探索のために、従来手法と比較して長い。しかし、経由する充電スタンドを探索する時間は、経由充電スタンドを経由地とした従来手法によるルート探索の実行時間と同程度であることが判明した。EV ユーザが航続可能距離を考慮し、経由する充電スタンドを経由地として決定した後、従来手法にてルートを探索するよりは十分に短い時間で実行しており、手法として実用的であると言える。さらに、充電スタンド間の移動コストに対する事前計算の実行時間は、今回利用した充電スタンド2500個の場合は1時間程度であり、充電スタンドが頻繁に追加される状況下でも、1週間に1回程度の更新頻度であれば十分に実用性があると言える。

また、ルート探索結果の妥当性については、日本全国から出発地あるいは目的地を無作為に設定したルート探索を相当数行い、その結果であるルート探索結果の位置座標群から、航続可能距離で到達可能な充電スタンドを経由して目的地に到着していることを確認した。一例として、ルート探索結果画面を図 7 に示す[c]。

c) 図中の地図に関する権利は、株式会社ゼンリン及び株式会社ゼンリンデータコムに帰属する。
(許諾番号: Z111LE 第 232 号)

5. まとめ

本稿では、EV の問題点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 アシストルートを提案した。提案手法では、距離や時間など優先する項目に合わせて経由する充電スタンドを適切に選択し、目的地までバッテリー不足を起こすことなく到着可能なルートを提供している。評価実験の結果、経由する充電スタンドの数に応じて、ルート探索実行時間に増加傾向が見られたが、それらの増加量は従来手法のルート探索時間と同程度であり、実用性が十分にあることが判明した。

提案手法の発展事項としては、長距離にわたって高速道路を移動する際に、バッテリー不足のため高速道路を途中で降りるような結果が出ているため、高速道路を走行する前に充電するなどの料金重視のルート探索結果を導出することや、充電スタンドの営業時間及び満空情報を考慮するといったことが考えられる。さらに、現在の気温、渋滞情報、道路の勾配など、バッテリーの性能や電費に影響を与える要因を考慮することで、より正確な航続可能距離を導出する必要があると考えられる。また、アルゴリズム高速化のために、充電スタンド間の移動コストをあらかじめ算出して利用したが、検索の高速化に向けた改善の余地はまだあると考えられる。

参考文献

- 1) NAVITIME Available: <http://www.navitime.co.jp/pcstorage/html/evcharge/>
- 2) EV 充電サーチ Available: http://www.iid.co.jp/news/detail/2010/1224_02.html
- 3) G-BOOK Available: <http://g-book.com/pc/default.asp>
- 4) OnStar Available: <http://www.onstar.com/web/portal/home>
- 5) VICS Available: <http://www.vics.or.jp/english/vics/index.html>
- 6) TPEG, Available: <http://www.tpeg.org/>
- 7) K. Faez, and M. Khanjary, "UTOSPF: A Distributed Dynamic Route Guidance System Based on Wireless Sensor Networks and Open Shortest Path First Protocol," IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems 2008, p.p. 558-562, 2008.
- 8) T. Kono, T. Fushiki, K. Asada and K. Nakano, "Fuel Consumption Analysis and Prediction Model for "Eco" Route Search," 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2008.
- 9) A. Artmeier, J. Haselmayr, M. Leucker, and M. Sachenbacher, "The Optimal Routing Problem in the Context of Battery-powered Electric Vehicles," 2nd International Workshop on Constraint Reasoning and Optimization for Computational Sustainability, 2010.
- 10) J. Eisner, S. Funke, S. Störandt, "Optimal Route Planning for Electric Vehicles in Large Networks," 25th AAAI Conference on Artificial Intelligence, p.p. 1108-1113, 2011.
- 11) E.W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," Numerische mathematik, vol. 1, num. 1, p.p. 269-271, 1959.