積載荷重の変化と勾配を考慮した電気自動車の巡回路問題のSA法による解法

松本 修一[1]・清水 太朗[2]・國府方 久史[3]・大門樹[4]・川嶋 弘尚[5]

[1]正会員　慶應義塾大学講師　理工学部（〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1）
E-mail: shuichi@ae.keio.ac.jp

[2]学生会員　慶應義塾大学大学院　理工学研究科（〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1）
E-mail: taro-smz@a8.keio.jp

[3]非会員　慶應義塾女子高等学校教諭（〒108-0073 東京都港区三田2-17-23）
E-mail: kokubu@a5.keio. Jp

[4]非会員　慶應義塾大学教授　理工学部（〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1）
E-mail: daimon@ae.keio.ac.jp

[5]正会員　慶應義塾大学名誉教授（〒212-0032　川崎市幸区新川崎7-1）
E-mail: kawashima@co-mobility.com

本研究では、電気自動車(EV)の消費電力量を最小化する配車配送問題におけるより効率の良い巡回路算出のために、配送計画問題であるVRPにおけるメタヒューリスティクス解法の一つであるSA法の基本的な枠組みを用いて、積載荷重の変化、道路の勾配を考慮した最少消費電力巡回路算出アルゴリズムの作成を行った。

この手法を用いて、現実の道路ネットワークにおける標高を考慮した問題を解いたところ、最少消費電力巡回路は最短巡回路と比較して消費電力量についてより良好な解を出力することができた。これらのことから、本研究で提案した配送計画問題において積載荷重の変化、道路の勾配を考慮する手法の有用性を示唆することができた。

Key Words : *ELECTRIC VEHICLES, VECLE ROUTING PROBLEM, GRADIENT*

1.　はじめに

現在、多くの自動車メーカーが電気自動車（以下「EV」と記す）の販売を発表しており、環境に優しい次世代自動車として注目されている。経済産業省は新車販売台数に占めるEVの割合を2030年までに約3割に高める計画を立てている。また、2020年までにEVの充電に用いる普通充電器を現在の約2万基から200万基に、急速充電器も現在の160基程度から5,000基に増やす等EVが我々の日常の足となる日はそう遠くないと考えられる（**図-1**参照）[1]。EV普及における課題として，以下の3点が指摘されている[2]。

１．EVは走行距離が短い
２．EVの本格的な市場導入が控えているのにも関わらず充電施設数が少ない

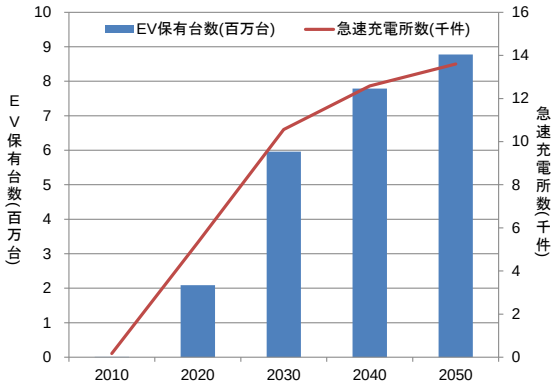

図-1　EV保有台数と急速充電所数の見通し

３．充電施設情報などを一元的に集約し、確実に情報を流通させる仕組みが必要

また、EVの走行可能距離に関しては、2011年の段階では、従来の自動車に比べ短く、エアコンの利用、勾配

等の走行条件によって走行可能距離は変化する。また、EVは減速時、下り坂走行時にモーターが発電機となり電気が回収される回生ブレーキ機能を備えている点で従来の自動車と異なる。

このEVに関しては、リチウムイオン電池を活用した車両の開発[3]やEVの走行性能に関する研究[4]、非接触給電装置などの要素技術開発[5]など機械分野、電気分野で多くの研究がなされてきた。

土木計画学の分野では、高精度位置測定技術を用いて、EVの電力消費量推計式をモデル化した研究[6]、EV導入によるシェアリングサービスに関する研究[7]、電気自動車の料金や購入意思に関する研究[8]EVの航続可能距離と観光行動から充電施設配置を検討する研究[9]、EVの購入意向調査に関する分析[10]などが行われている。これらの研究は2000年代初頭にはじまったものが多く、今後着手すべき課題の多いテーマである。

本研究では、配車配送計画問題における道路勾配と積載荷重を考慮した場合のEVの消費電力量との関係に焦点を当て、複数の地点を巡回する際の最短巡回路と最小消費電力巡回路に関して、消費電力量および経路の違いに関して検討を行った。

2. 消費電力量推計モデル

EV の消費電力量に関しては、自動車の燃料消費量推定式を参考に、加速抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、転がり抵抗の４項目を実測の電気自動車の消費電力量をもとにモデル化した兵藤らの電力消費推計式における回生ブレーキを考慮しなかったモデル [6]（式 1 参照）と考慮したモデル [13]（式 2 参照）を参考にした。

$$Es = 1.091(Mv\alpha + \alpha Mg\Delta h + \tau Mgv) + 0.70\frac{1}{2}\rho C_D A v^3 \quad if\ \ \Delta h < 0, \alpha = 0 \tag{1}$$

$$Es = 0{,}939(Mv\alpha + \frac{1}{2}\rho C_D A v^3 + \alpha Mg\Delta h + \tau Mgv) + 0.569\beta Mg\Delta h \quad if\quad \Delta h > 0, \alpha = 0; else\ \beta = 0 \tag{2}$$

ここで、E_s は電力消費量[Ws]、M は質量[kg]、v は速度[km/h]、α は加速度[m/s^2]、ρ は空気密度[kg/m^3]、C_D は空気抵抗係数、A は車体投影面積[m^2]、g は重力加速度[m/s^2]、Δh は標高差[m]、τ は転がり抵抗係数である。また、$Mv\alpha$ は加速抵抗、$1/2\,\rho C_D A v^3$ は空気抵抗、$Mg\Delta h$ は勾配抵抗、τMgv は転がり抵抗である [14]。

3. 消費電力を最小にする配車配送計画問題の定式化と近似解法

配車配送計画問題は、VRP(Vehicle Routing Problem)と呼ばれ、与えられたすべての配達地点に対して積載量制約を持つ複数の車両で巡回し、その配達デマンドを満たす最適巡回経路を決定する組合せ最適化問題の一つである。規模が大きく複雑になるにつれて計算量が飛躍的に増大し最適解を求めることは困難となることが知られており、最適に近い解を短時間で効率よく探す近似解法の研究が進んでいる。多くの近似解法は、許容解から出発し、その解の一部の要素を確率的に選んで変形して近傍解を作ることを繰り返す反復改善法を取り入れている[15]。

道路勾配を考慮する際には、２つの配達地点を結ぶ道路網に含まれるノード区間における勾配から決まる消費電力の総和を計算してノード間のコストとする。さらに、本研究では、積載荷重の変化を考慮した配車配送計画問題を扱うので、配送センターを出発したときには、各車両は配達すべきすべての荷物を積載しているが、各配達先で荷物を降ろしていくので、同じノードのペアについても、巡回する順序によって積載荷重が変化するため、ノード間の消費電力であるコストは巡回路に依存する。

積載荷重の変化を考慮した配車配送計画問題を定式化すると以下のようになる。

目的関数

$$min \sum_k \sum_i \sum_j c_{ij}(A_i(R_k))x_{ijk} \tag{3}$$

制約条件

$$\sum_i a_i y_{ik} \le w_k,\ k = 1, \cdots, K \tag{4}$$

$$\sum_i \sum_j c_{ij}(A_i(R_k))x_{ijk} \le B \tag{5}$$

$$\sum y_{ik} = \begin{cases} K & i = 0 \\ 1 & i = 1, \cdots, K \end{cases} \tag{6}$$

$$y_{ik} = 0\ or\ 1$$
$$i = 0, \cdots, n \quad k = 1, \cdots, K$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{jk} \tag{7}$$
$$j = 0, \cdots, n \quad k = 1, \cdots, K$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{ik} \tag{8}$$
$$i = 0, \cdots, n \quad k = 1, \cdots, K$$

$$\sum_{ij \in S} x_{ijk} \le |S| - 1 \tag{9}$$
$$S \subseteq \{1, \cdots, n\}$$
$$i = 0, \cdots, n \ \ , \ \ j = 0, \cdots, n\ , \ \ k = 1, \cdots, K\ ,$$
$$2 \le |S| \le n - 1\ ,\ x_{ijk} = 0\ or\ 1$$

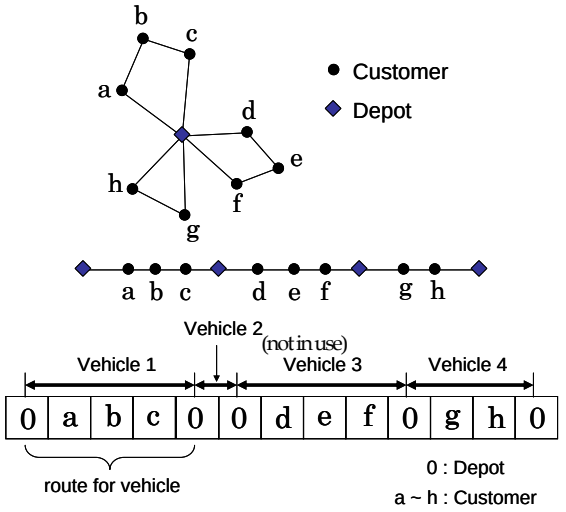

図-2　ＶＲＰのためのストリングモデル

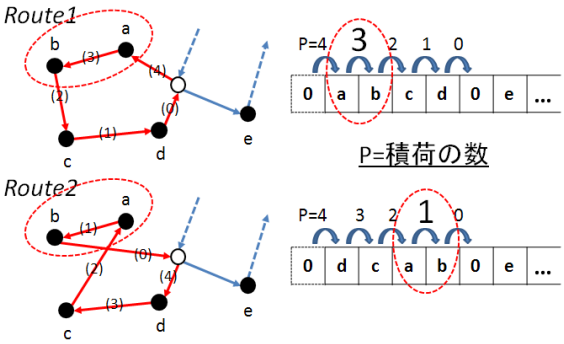

図-3　積載荷重と経路、ストリングモデルの例

ここで、k：車両総数、n：顧客数、w：最大積載量、a_i：配送先iのデマンド貨物量、c：コスト、B：バッテリー容量、A_i:ノードiでの積載荷重、R_k：車両kの巡回路、y_{ik}：配送先iの車両kへの割り当て、x_{ij}：アーク(i,j)の使用有無とする。

本研究で提案する近似解法における近傍解の生成は、Kokubugata and Kawashima[16] によって考案されたＶＲＰのためのストリング形式のデータモデルにおいて行った。一般にＶＲＰの解は各車両のルートが車両の出発地かつ最終到着地（以下「デポ」と記す）を中心に結びついた形をしている。利用者の利用地点を示す記号“ａ～ｈ”とデポを示す記号“０”から成る各車両のルートを紐状に展開し、図-2のように横１列の１次元配列で表現したものがストリングモデルである。

解の変形は、ストリングにおける、２つの文字の一対一交換、１つの文字の削除と別の位置への挿入、部分文字列の反転であり、これらを等確率で適用して、近傍解を作成する。ストリングモデルに対して、両端以外の“０” を他の文字と同等に扱う文字列の変形を行うことで、利用者の車両への割り当て（クラスタリング）と巡回順の決定（ルーティング）を同一の手順内で行う

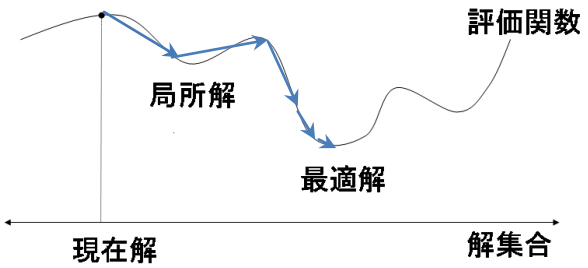

図-4　SA 法における最適解探索のイメージ

ことができる。Kokubugata and Kawashima[16] が指摘するように、ストリングモデルは基本的なVRPだけでなく、車両の回転利用が可能なケース、時間帯制約付きの問題等に対しても応用可能であることが示されており、拡張性、発展性の高い解の表現方法である。

配車配送計画問題において積載荷重を考慮した際の配送を考えたのが図-3である。２通りの巡回路があり、それぞれのルートが図左のようになっていると仮定する。各ルートの巡回路は、図右のストリングモデルでも表されている。配送における積載荷重を考慮すると、すべてのノードで同じ重さの荷物を１個ずつ配送し、積載数をPと仮定した場合、各ノード間で輸送する積荷の数は、アーク上のカッコの中の数値（図-3左参照）、ストリングモデルでは上部のPの数値となる（図-3右参照）。図-3より同じアークを移動する場合でも、積載荷重が異なることが分かる。例えば、ノード１からノード２へのアークでも、ルート１では積荷の数が３個、ルート２では積荷の数が１個とある。積荷の数が違うので、式１および式２によって計算される消費電力量は、同じノード間でも異なることになる。

4　シュミレーテッド・アニーリング（ＳＡ）法

最適解を近似的に求める反復改善法において、近傍解のうち常にコストの小さい解に向けて変形を繰り返していくと、一般的には局所的最適解にとどまり、大域的最適解に到達できない。これを避けるために、VRP 等の組合せ最適化問題では、メタヒューリスティクスと呼ばれる汎用的な最適化手法が利用されることが多い。その中には、遺伝のメカニズムを参考にして作られた GA 法、同種の変形を繰り返すことを避ける TS 法、蟻の集団の行動を参考にして考案された ACO 法等がある[15]。

筆者らはメタヒューリスティクスに属するシュミレーテッド・アニーリング法（以下「SA 法」と記す）を用いて最適巡回路を探索する計算法（図-4 参照）を開発している[16)~18)]。

SA 法は、熱した固体を徐々に冷却すると完全格子をもつ構造に再結晶できるという金属工学における原理を取り入れた確率的探索手法である。SA 法では、繰返し

計算における現在の解の近傍解のうちの１つをランダムに選んで次の時点の解の候補とするが評価関数の値を改善する場合だけでなく、評価関数が改悪する場合にも温度に対応する変数 T の値に従う確率 $\exp(-\Delta E/T)$でその解を次の時点の解として許容する。解探索の初期では、温度変数 Tの値を大きく設定し、解の改悪を実行する確率を高くして局所最適解に陥らないようにする。更に Tの値を低くしていった探索の後期には、改悪の確率を減らし大域的な最適解への収束を促す。これら本提案手法で適用した SA 法のアルゴリズムは以下のように表現できる。

1　初期解xを生成
2　評価関数の値$E(x)$を最良値E^*として記録
3　同一温度での平均探索近傍数Nを指定
4　温度変数 Tを $INITTEMP$ に設定
5　試行回数$trials:=0$、解変形実施回数$changes:=0$に設定
6　xの近傍解x'をランダムに生成し、
$trials := trials + 1 : \Delta E := E(x')-E(x)$
7　$\Delta E<0$のときは必ず、そうでないときもTの値に従う確率$\exp(-\Delta E / T)$で解変形を実施し、$changes := changes + 1, x := x'$,
$E(x)<E^*$ならば、$E^*:=E(x)$, $x^* := x$
8　$trials<SIZEFACTOR \cdot N$かつ
$changes<CUTOFF \cdot N$なら step6へ
9　$T:= T \cdot TEMPFACTOR$
10　$T>INITTEMP / FINDIVISOR$なら step5へ
11　最良解 x^* の出力

ここで、アルゴリズム中の Johnson et al.[19]によるパラメタ (大文字斜体標記) は以下の意味をもつ。
N：問題の大きさ
$SIZEFACTOR$、$CUTOFF$：１つの Tの値での繰返しの回数を定めるパラメタで、試行回数が $trials \geqq SIZEFACTOR \cdot N$ または解の受理回数が $changes \geqq CUTOFF \cdot N$ となるまで繰り返す
$INITPROB$：初期の受理確率であり、初期温度 $INITTEMP$ は、$changes / trials = INITPROB$ となるように定める
$TEMPFACTOR$：温度を下げる係数
$FIN_DIVISOR$：最終温度を決めるパラメタで、$T \leqq INITTEMP / FIN_DIVISOR$, となるとき、すべての繰返しを終了する
本研究の計算実験では、Johnson et al. [19]による推奨値と予備実験による結果を考慮して、$TEMPFACTOR = 0.95$, $SIZEFACTOR = 8$, $CUTOFF = 0.2$, $INIT_PROB = 0.4$, $FIN_DIVISOR = 80$ として計算を行った。

図-5　計算機実験における道路ネットワークの概要

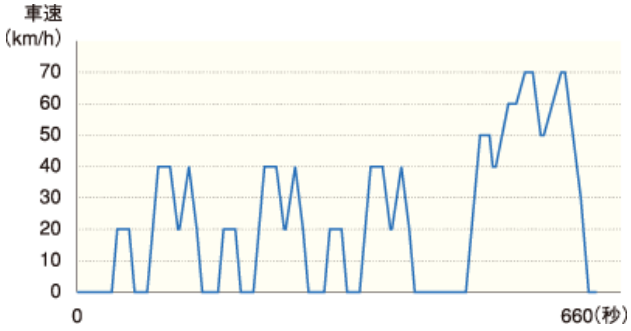

図-6　10・15モードの速度変化

表-1　計算機実験における車両の主要諸元

寸法・重量	車両重量(kg)	1,120
	乗車定員(人)	2
	最大積載量(kg)	350
性能・バッテリ	走行距離(km)	160
	総電力量(kWh)	16.0

5.　計算機実験の概要

(1)　計算機実験の概要

計算機実験では、軽商用車EVとして販売されているminicab-MiEVの諸元を参考に以下のような諸元の車両を活用することとした（**表-1**参照）。

また、計算機実験に関しては、平島らの研究[20]を参考に横浜市鶴見区の道路を模擬したネットワークを対象とした（**図-5**参照）。このネットワークの対象地域は、南北、東西5kmで、ノード130、有効エッジ375本で構成される。この130個のノードに対応する顧客に各10kgの荷物を配送する問題を考える。

またEVの走行に関しては、道路の縦断形状等によらず一定の速度変化パターンと仮定した。この速度変化パターンは、本来交通状況や車種、道路線形等によって異なるものであるが、詳細な実測値が存在しないので便宜上10・15モード（**図-6**参照）で走行すると仮定した。

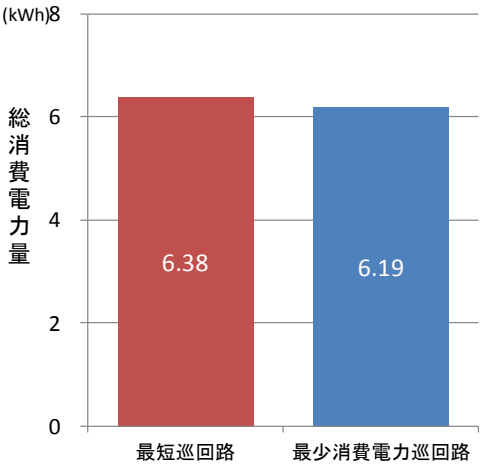

図-7　総消費電力の比較（式１）

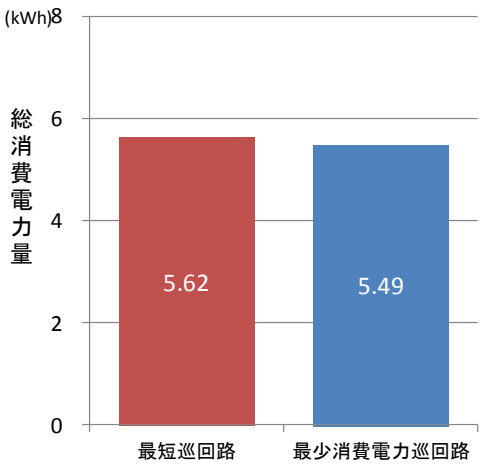

図-8　総消費電力の比較（式２）

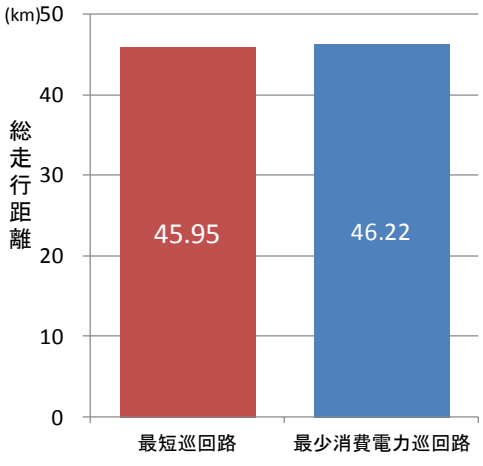

図-9　総走行距離の比較（式１）

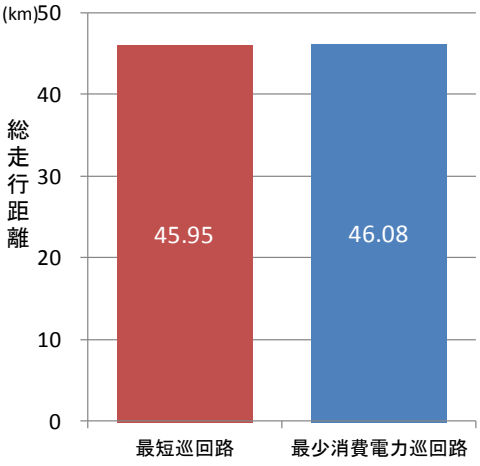

図-10　総走行距離の比較（式２）

(2)　リンク勾配の設定

１章においても指摘したように、EVは回生ブレーキによって、下り坂時に電力を回収するため道路勾配を考慮することは非常に重要である。また、デジタル道路地図（以下「DRM」と記す）においては、安全や環境面への配慮のため、勾配情報等の更なる整備が必要であると言われている[21]。特に勾配に関しては、筆者らは、道路勾配を定量的に把握するために、GPSロガーを活用して緯度、経度、高度に関する情報を収集し、高度情報に関して移動平均法を用いたデータ補正を試みてきた[12]。一方で栗栖ら[9]は、Google Maps JavaScript API V3を用いて任意の間隔における緯度・経度・標高を取得し道路勾配を求める手法を開発している。

本研究では、栗栖らの手法[9]を活用し、5m間隔で緯度・経度・標高をリンク毎にデータベース化した。その後、ノード間の詳細な標高を加味した場合の最小消費電力量やその走行距離、走行経路等に関して考察を行う。

6.　計算機実験結果および考察

(1)　総消費電力量と総走行距離の比較

まず、**図-7、8**として、電力消費推計式において回生ブレーキを考慮しないモデルと回生ブレーキを考慮するモデルにおける総消費電力量を示す。この結果から最短巡回路および最小消費電力巡回路の比較においては、回生ブレーキを考慮することで、消費電力量がそれぞれ13.4%、12.7%程度消費電力量が削減できることが分かる。また、最短巡回路と最小消費電力巡回路の比較では、消費電力量が回生ブレーキを考慮しない場合3.1%、回生ブレーキを考慮した場合2.5%程度、最小消費電力巡回路の方が消費電力量が少ないことが分かった。回生ブレーキを考慮した場合と回生ブレーキを考慮しなかった場合における違いは、道路の下り勾配における電力回収が最大の要因であると考えられる。また、**図-9、10で総走行距離を指標にして比較すると、**回生ブレーキを考慮した場

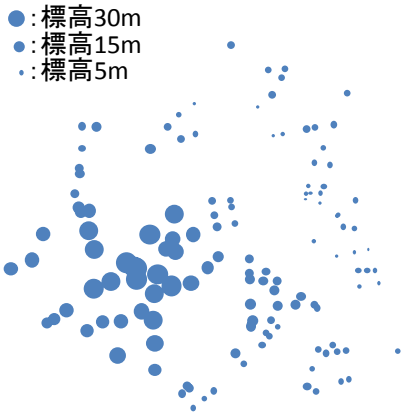

図-11　標高の分布

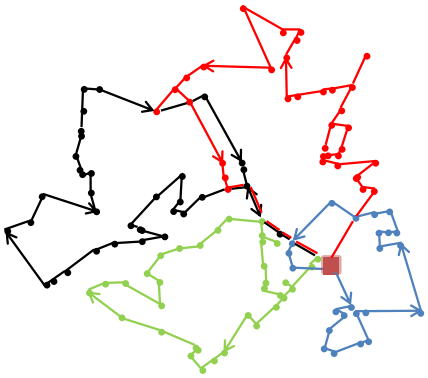

図-13　最小消費電力巡回路（式１）

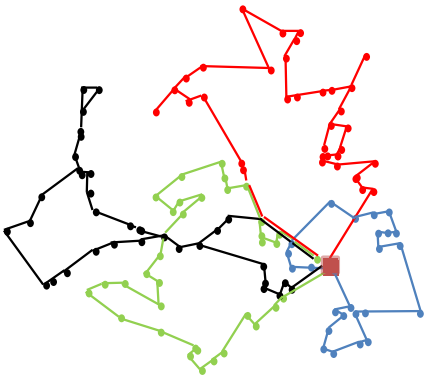

図-12　最短巡回路

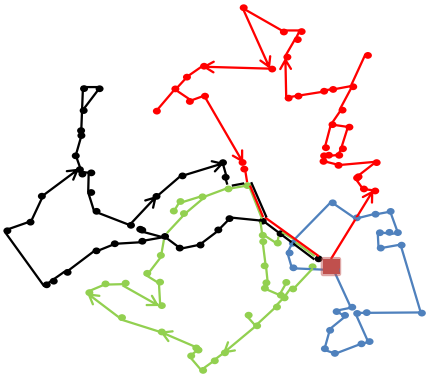

図-14　最小消費電力巡回路（式２）

表-2　各車両の標高差に関する比較（単位 m）

	最短巡回路	最小消費電力巡回路(式1)	最小消費電力巡回路(式2)
車両１	5.45	4.45	5.25
車両２	4.84	4.25	4.12
車両３	1.64	1.56	1.57
車両４	1.32	1.37	1.37
平均	3.31	2.91	3.08

合と回生ブレーキを考慮しなかった場合における最短経路は評価関数が同じため同一であり、最小消費電力巡回路に関しては、0.3%程度回生ブレーキを考慮した場合の方が短くなった。

(2)　走行経路と標高に関する比較

次に5章で説明した手法で経路が決まった各車両に対して、巡回したノード間における標高の差の絶対値をとりまとめた結果を**表-2**に示す。

表-2より最短巡回路の場合と比較して、回生ブレーキを考慮した場合、考慮しない場合共に標高差の少ない経路を選択することが分かった。次に各巡回路における上りおよび下りにおける標高差を**表-3**としてとりまとめる。

表-3　上り、下りにおける標高差に関する比較（単位m）

	最短巡回路	最小消費電力巡回路(式1)	最小消費電力巡回路(式2)
上り	3.42	2.80	2.93
下り	-3.47	-3.21	-3.57

この表より最短巡回路の場合、上り勾配での勾配抵抗による消費電力量を考慮しないで良いため、他の巡回路と比較して、上りによる標高差が大きくなる傾向が見て取れる。また、回生ブレーキを考慮する最小消費電力巡回路（式２）においては、下り勾配が大きな経路を優先的に選択していることが分かる。

このように各巡回路に関しては、消費電力量モデルの特性や巡回路の評価関数等によって巡回する経路が異なる。これらの巡回路の違いを可視化するために**図-11**として、各ノードの標高をプロットしたものを示し、**図-12～14**に各巡回路における経路を示す。

これら**図-12～14**において、各巡回路が異なることを示すことが出来た。その一方で、各車両の巡回路と標高の関係等に関しては、明確な関係を見い出すことが出来なかったので、この点に関しては今後更なる検討を行う

必要がある。

5. まとめ

電気自動車の普及期に入った現在、電気自動車およびそれに関連するインフラ整備に関する研究は非常に重要である。本研究では、電気自動車の回生ブレーキが下り坂等で稼働することに着目し、VRP で計算した経路における地図の標高データの変化が既存の回生ブレーキを考慮した消費電力量推計モデルおよび回生ブレーキを考慮しなかった消費電力量推計モデルに与える影響に関し定量化を行った。

この結果、最短巡回路と最小消費電力巡回路において、消費電力量および走行経路の違いを定量化することが出来た。また、回生ブレーキを考慮した消費電力量推計モデルと回生ブレーキを考慮しなかった消費電力量推計モデルにおける消費電力量および走行経路に関する関係も定量化することが出来た。

また、各巡回路における走行経路と標高に関する関係に関しても、基礎的な知見を得ることが出来た。

今後は、本研究で得られた知見をもとに、消費電力量推定モデルと消費電力量の関係やや今回実装したアルゴリズムの改善を行う予定である。

謝辞：本研究にあたっては、東京海洋大学兵藤哲朗教授、北見工業大学高橋清教授から様々な有益なアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 環境省：次世代自動車普及戦略 http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/index.html
2) 国土技術政策総合研究所：充電施設の情報流通仕様（案）に関する検討会資料，2010.
3) 清水浩：電気自動車 Eliica の開発，日本機械学会誌 Vol.108 ,No.1039, pp.450-451, 2005.
4) 鈴木亨，藤本博志：車体速度と加速度検出不要な電気自動車の減速時におけるスリップ率推定と回生ブレーキ制御，電気学会論文誌 D，Vol.130, No.4, pp..512-517, 2010.
5) 金子裕良，江原夏樹，岩田卓也，阿部茂，保田富夫，井田和彦：電気自動車用非接触給電装置のトランス巻線方式による特性比較，電気学会論文誌 D，Vol.130, No.6, pp.734-741, 2010.
6) 兵藤哲郎，渡部大輔，橋本太夢，澤木健一郎：電気自動車の電気消費量推計式の検討，交通工学研究発表会論文集，Vol.30, CD-ROM, 2010.
7) 原祐輔，羽藤英二：EV シェアリングのサービス加入・利用モデルを用いたサービス料金設計，都市計画論文集, Vol.45-3, pp.445-450, 2010.
8) 桑野将司，塚井誠人，岩本真由子：社会的同調行動を考慮した電気自動車の普及要因分析，交通工学研究発表会論文集，Vol.30, CD-ROM, 2010.
9) 栗栖嵩，高橋清，松久浩，井上秀行，大波拓也：EV の航続可能範囲の視覚化と観光周遊行動分析に基づく充電施設配置に関する研究，第 44 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM, 2011.
10) 酒井大輔，三輪富生，森川高行，山本俊行：電気自動車普及要因に関する基礎的研究，第 44 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM, 2011.
11) 鈴木高宏：長崎 EV&ITS プロジェクト，土木計画学研究･講演集，Vol.40, CD-ROM, 2010.
12) 清水太朗，國府方久史，松本修一，川嶋弘尚：道路勾配などを考慮した電気自動車の最適経路問題，社会技術研究論文集，Vol.8，pp. 53-59，2011.
13) 橋本太夢：電気消費量推計式を用いた電気自動車のエコドライブに関する考察，東京海洋大学修士論文，2012.
14) 電気学会：電気自動車の最新技術・電気自動車駆動システム調査専門委員会編，オーム社，1999.
15) Toth P. & Vigo, D. (Ed), The Vehicle Routing Problem, SIAM, Philadelphia, USA., 2002
16) H. Kokubugata, H. Kawashima" Application of simulated annealing to routing problems in city logistics, in 'Simulated Annealing'", Cher Ming Tan (Ed.), I-Tech Education and Publishing, Vienna, pp.131-154, 2008.
17) 松本修一，平島浩一郎，國府方久史，川嶋弘尚：積載量制約のある複数車両による辺巡回配送計画問題の模擬焼きなまし法を用いた近似解法，社会技術研究論文集, Vol.7，pp.131-138，2009.
18) 松本修一，國府方久史，清水洋一郎，川嶋弘尚：デマンドバス配車配送計画の実用的解法，土木計画学研究・論文集，Vol.26，pp.59-66，2009.
19) Johnson,D.S., Aragon,C.R., McGeoch, L.A. and SchEVon,C. Optimization by simulated annealing:an experimental EValuation, part II, graph coloring and number partitioning，Operations research，39, pp.378-406，1991.
20) 平島浩一郎，古屋秀樹，川嶋弘尚：自動車排出ガス量低減のための車両巡回計画問題に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.19, No2, pp.275-282 , 2002.
21) T. Yasuda, S.Yagi, Y. Oda, A. Yaguchi " Enhanced Digital Road Map of Next-Generation for Safety and Environment", Proceedings of 16th World Congress on Intelligent Transport Systems,, CD-ROM，2010.

ELECTRICAL CONSUMPTION OF ELECTRIC VEHICLE CONSIDERING ROAD GRADIENTS

By Shuichi MATSUMOTO, Taro SHIMIZU, Hisafumi KOKUBUGATA , Tatsuru DAIMON, Hironao KAWASHIMA

Electric Vehicle (EV) is coming up as an eco-friendly next-generation vehicle. A lot of companies release plans to sell EV, and then it is expected that EV becomes a means of transportation in daily life in the near future. This study aims to pose an optimal routing problem of EV considering gradients (slopes) of roads. An optimal routing problem of EV differs from that of conventional cars, because electricity consumption and cruising range vary with inner states (battery performance and weight) of EV and the use of regenerative brake. In this study, a calculation model of electricity consumption of EV considering gradients is proposed. The influence of road gradient on an optimal routing of EV is also evaluated.