

# EVTour: 電気自動車の乗換スケジューリング法の提案

上田 知幸<sup>1,a)</sup> 孫 為華<sup>2</sup> 柴田 直樹<sup>1</sup> 伊藤 実<sup>1</sup>

**概要:** 近年、環境問題対策として電気自動車 (EV) が注目されているが、短い航続可能距離や、長い充電時間が原因となり普及に至っていない。一方、会員で車両を共有するカーシェアリングが注目されている。本研究では EV と片道利用可能なカーシェアリングを組み合わせ、ユーザが EV を共同利用する環境で、EV を効率的に運用するシステム EVTour を提案する。ユーザは任意の目的地で EV を利用、返却でき、残り電力量の少ない EV を乗り換えて移動を継続できる。EVTour は遺伝的アルゴリズムを利用し、ユーザの予約内容を満たす巡回経路と目的地における行動 (乗換や充電) を含むスケジュールを算出する (ユーザスケジュール算出部)。またユーザの片道利用により EV の分布が偏り、予約受率率が低下しないよう、EV 台数に余裕のある目的地から不足している目的地へ EV を配車する (再配置スケジュール算出部)。再配置スケジュール算出部では、隣接目的地から配車する方法と、焼きなまし法を利用し EV 台数の分布を修正する方法の二段階の手法を提案する。提案手法の有効性を確認するためシミュレータを実装し、500~700 人のユーザに対して評価を行った。実験の結果、EVTour は配車を実行しない場合と比較して、最大 9 % 程度の予約受率率向上が確認できた。また、従来手法と比較して 4 % 程度の予約受率率向上を達成し、さらに配車回数を最大 15 % 程度削減できることを確認した。

## 1. 序論

近年、地球温暖化の原因の一つとして、自動車による温室効果ガスの排出が問題となっており、その一対策が電気自動車 (EV) である。EV は走行時に排出ガスを出さない、ガソリン車よりエネルギー効率が低い、振動や騒音が少ない、家庭の電力貯蔵装置として利用可能といった長所を持ち、環境負荷の少ない自動車である。しかし、ハイブリッド車の保有台数が約 300 万台であるのに対し、EV の保有台数は約 6 万台であり、EV が普及に至っていないことがわかる [1]。これは EV がガソリン車と比べて航続可能距離が短く、充電時間が長いという欠点が原因と考えられる。

一方、国内の車両保有台数は 800 万台まで増加し、さらに人口の都市部集中が原因で渋滞や駐車場不足が大きな問題となっている [2]。このような問題に対して、登録を行った会員間で特定の自動車を共同利用するカーシェアリングが注目されており、国内におけるカーシェアリング会員数、車両台数は年々増加している [3]。しかし、タイムズカープラスなどをはじめとした国内のカーシェアリングサービスは、利用者に対して借りた場所に車両を返却する往復利

用を前提としている [4]。一方、欧州や北米の都市では、既にカーシェアリングが広く普及しており、片道利用を許容した autolib や car2go などのカーシェアリングサービスが展開されている [5], [6]。autolib はフランスにおける EV を対象としたカーシェアリングサービスで、利用者は路上に駐車された車両に乗り込み移動し、指定範囲内の駐車スペースに車両を停車させる。これらのサービスでは都市部にある多数の路上駐車スペースを利用しているが、日本国内では路上駐車が認められておらず、駐車スペースの確保が困難である。しかし、国内でも片道利用可能なカーシェアリング (以下 片道カーシェアリング) を試みる実証実験がなされている [7]。平成 25 年 10 月から横浜都心エリアにおいて、低炭素交通の推進を目的とした実証実験チョイモビが実施されている。チョイモビは小型 EV を対象とした片道カーシェアリングを前提とし、貸渡返却箇所は 45 箇所、車両台数 30 台で開始された。

片道カーシェアリングに関する研究も盛んに行われている [8], [9]。片道カーシェアリングの場合、車両の分布が偏り、車両数が少ない駐車場では利用者が車両を確保できないといった問題が予想される。Barth らは、車両の再配置を事業者が行うという前提で、駐車場に停車している車両台数に基づき再配置を実行する条件を提案している [8]。この手法を南カリフォルニアのコミュニティに適用し、タクシーなどの交通手段と競争し得ると分析している。Uesugi

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

<sup>2</sup> 大阪大学 サイバーメディアセンター  
Cybermedia Center, Osaka University

<sup>a)</sup> tomoyuki-u@is.naist.jp

らは、カーシェアリング運営者が利用者にも車両分布の修正に参加させる手法を提案している [9]. 運営者は利用者に対して、通常乗車または分割乗車を割り当てることで、駐車場から流出する車両数を制御し、車両の再配置回数を削減することができる。一方、武内らは過去のカーシェアリングのデータに対してシミュレーションを行い、カーシェアリングに小型 EV を導入したときの CO<sub>2</sub> 削減効果を分析している [10]. 分析の結果従来のガソリン車と比較して、CO<sub>2</sub> 排出量を 1/5 に削減できるとしている。このようにカーシェアリングと EV を組み合わせることで環境負荷低減の効果が期待できる。さらに、片道カーシェアリングと EV を組み合わせた場合、残り電力量が少なくなった EV から別の EV へ乗換が可能となる。乗換により EV の短い航続可能距離、長い充電時間といった欠点を補うことができると考える。しかし、片道カーシェアリングに関する研究のほとんどは、共同利用する車両としてガソリン車を想定している。

そこで本研究では EV と片道カーシェアリングの仕組みを組み合わせた環境で、EV を効率的に運用するシステム EVTour を提案する。EVTour の想定環境では、ユーザは任意の目的地で EV の利用、返却が可能であり、残り電力量の少ない EV を乗り換えて移動を継続できる。このシステムを利用するユーザは複数の希望目的地や到着時間帯を入力し、システムから提示された巡回経路と目的地における行動（乗換や充電）を含むスケジュールに従い移動する。このような環境で EVTour はユーザの予約受理率（予約総数に対する受理された予約数の割合）を最大化を目指す。しかし、片道カーシェアリングを想定しているため、EV の分布が予約受理率を左右する重要な要因となる。提案手法では目的地に停車中の EV 台数に基づき、予約可能な EV に余裕のある目的地から不足している目的地へ EV を配車し EV の分布を修正する。システムの有効性を確認するためシミュレータを実装し、500~700 人程度のユーザに対して評価実験を行った。従来の再配置方法と比較すると、提案手法は少ない配車回数で、高い予約受理率を達成できることを確認した。

## 2. EV をとりまく環境

本章では EV、充電インフラ、カーシェアリングの現状について述べる。

### 2.1 国内の電気自動車

近年、地球温暖化など環境問題が報じられており、EV はその一対策として注目されている。国内で販売されている主な EV は三菱自動車工業が発売している i-MiEV と日産自動車が発売しているリーフである [11], [12]. これら二種類の自動車の特徴を表 1 にまとめる。EV は走行中に排気ガスを出さない、ガソリン車よりエネルギー効率が

表 1 国内自動車メーカーから発売されている主な EV

メーカー	三菱自動車工業	日産自動車
車種	i-MiEV	リーフ
急速充電	約 30 分で 80 %	約 30 分で 80 %
バッテリー容量	16kWh	24kWh
航続可能距離	180km	200km

振動や騒音が少ないといった長所を持ち、環境負荷の少ない自動車である。さらに、EV を自動車としての役割だけではなく家庭の電力貯蔵装置として利用できるという利点もある。しかし、ハイブリッド車の保有台数が約 300 万台であるのに対し、EV は約 6 万台である点からも EV が本格的な普及に至っていないことがわかる [1]. これは表 1 に示すように、航続可能距離が 200km 程度で、充電にも 30 分の時間を要するといった EV の欠点が原因と考えられる。

### 2.2 国内の充電インフラ

国内の充電施設の特徴と規模について述べる。EV の航続可能距離は高速走行やエアコン使用などの運転方法や、渋滞や勾配などの道路状況に影響を受ける。EV は自宅などでの普通充電が基本だが、EV の充電切れの不安感の軽減や利便性を担保するために街中・出先で充電できる充電インフラの整備が重要となる。国内の急速充電器の規格には CHAdeMO があり、平成 26 年 2 月時点で国内には約 2,000 台の急速充電器が設置されている [13]. しかし、CHAdeMo 方式の急速充電ができない EV も存在する。

### 2.3 カーシェアリング

平成 25 年の国内における車両保有台数は約 8,000 万台であり、都市部では駐車場不足や車両の維持費の高騰が大きな問題となっている [2]. このような問題に対して、登録を行った会員間で特定の自動車を共同利用するカーシェアリングが注目されている。カーシェアリングの車両台数、会員数は年々増加しており、平成 25 年における国内車両台数は約 9,000 台、会員数は約 30 万人に達している [3]. しかし、タイムズカープラスなどをはじめとした国内のカーシェアリングサービスは、利用者に対して借りた場所に車両を返却する往復利用を前提としている [4].

一方、欧州や北米の都市では、既にカーシェアリングが広く普及しており、片道利用を許容した autolib や car2go などのカーシェアリングサービスが展開されている [5], [6]. autolib はフランスにおける EV を対象とした片道カーシェアリングサービスで、2012 年 9 月時点の会員数は 37,000 人、車両数は 1,800 台、駐車スペースは 3,900 箇所、充電ステーションは 670 箇所まで普及している。利用者は路上に駐車された車両に乗り込み移動し、指定範囲内の駐車スペースに車両を停車させる。これらのサービスでは都市部にある多数の路上駐車スペースを利用しているが、日本国内では路上駐車が認められておらず多数の駐車スペースを

確保することは困難である。

しかし、国内でも片道カーシェアリングを試みる実証実験がなされている [7], [14], [15]。平成 25 年 10 月から横浜都心部において、低炭素交通の推進を目的とした実証実験「チョイモビ」が実施されている。チョイモビは小型 EV を対象とした片道カーシェアリングを前提とし、貸渡返却箇所は 45 箇所、車両台数 30 台で開始された。その他にも、豊田市での都市交通システム Ha:mo や大阪 EV アクションプログラムなどの実証実験が実施されている。

### 3. 関連研究

本章では、本研究に関連する研究について述べる。

#### 3.1 カーシェアリングに関する研究

カーシェアリングに関する研究が盛んに行われている [16]。ここでは片道カーシェアリング、環境負荷低減効果の定量化、カーシェアリングと公共交通機関の連携に関する研究について説明する。

**片道カーシェアリング** 利用者に対して、車両を借りた場所に返却する往復利用を前提としたカーシェアリングは事業者にとって車両の管理が手軽というメリットがあるが、片道利用したい利用者にとっての利便性は低い。カーシェアリングの利便性を向上するため、片道カーシェアリングが研究されている [8], [9], [17], [18], [19], [20]。片道カーシェアリングでは、車両分布が偏り、利用者が車両を確保できないといった問題が予想される。この車両分布の偏りを修正するためにステーション間で車両の再配置が必要となる。関連研究の中には事業者による再配置を前提としたものと、利用者も車両の再配置に参加することを前提とした研究がある。

まず、事業者による再配置を前提とした研究では、スタッフが定期的に車両の再配置を行う [8], [17], [18]。Barth らは、ステーションに停車している車両台数に基づき再配置を実行する条件を提案している [8]。この手法を南カリフォルニアのコミュニティに適用し、タクシーなどの交通手段と競争し得ると分析している。Kek らは片道カーシェアリングにおける再配置方法として車両数の多いステーションから少ないステーションへ再配置を実行する手法を提案している [17]。これらの手法をカーシェアリング事業者のデータを用いて検証し、利用者へのサービスレベルを低下させることなく、約 12.8% のコスト削減、約 10% の駐車スペース削減、約 25% のスタッフ削減などの効果を得ている。Smith らは、再配置に利用する車両数と運転手数を最小化する手法を検討している [18]。出発地点に到着した利用者は、タクシーを利用するように、スタッフが運転する車両に乗車して目的地まで移動する。シミュレーションの結果、必要な運転手は車両数の 1/4~1/3 程度まで抑えられることがわかっている。

次に事業者だけではなく、利用者も再配置に参加することを前提とした研究について説明する。これらの研究では利用者に対して分割乗車や乗り合い乗車を提示し目的地から出発する車両数や、目的地へ到着する車両数を制御することで車両分布を修正する。Uesugi らは、車両の分布に従って、通常乗車または分割乗車を利用者に割り当てることでステーションから出発する車両数を制御し、車両の再配置回数を削減する手法を提案している [9]。車両数の多いステーションから出発する利用者グループに対して、分割乗車を割り当てることで、車両数の少ないステーションに車両を再配置できる。Barth らは、ステーションに停車している車両数に基いて、利用者へ分割乗車や乗り合い乗車を促し、再配置回数を減らす手法を提案している [19]。利用者がカーシェアリング運営者の要求を受け入れた場合、価格の割引を受けられる。この手法はカリフォルニア大学におけるカーシェアリングの実証実験に適用されている。Febbraro らはステーションの代わりに任意の路上駐車スペースを利用できる環境におけるカーシェアリングを提案している [20]。都市をブロックに分割し、車両はステーションではなくブロック内の任意の駐車スペースに駐車される。利用者は、運営者から割引付きの提案を受け入れ、車両数が不足したブロックで移動を終了するか、提案を拒否し、利用者自身が希望するブロックで終了するか選択できる。

**環境効果** カーシェアリングでは、会員間で車両を共同利用するため、車両数や駐車スペースの削減、温室効果ガス低減などの効果が期待されており、これらの環境負荷低減の効果を定量化する研究がなされている [10], [21], [22]。武内らは過去のカーシェアリングのデータを利用し、カーシェアリングに小型 EV を導入したときの CO<sub>2</sub> 削減効果をシミュレーションで評価している [10]。評価の結果従来のガソリン車と比較して、CO<sub>2</sub> 排出量を 1/5 に削減できると分析している。Martin らは北米における調査で、カーシェアリングにより 1 年あたりの車両の平均移動距離を約 27% 削減でき、さらに 1 年で世帯あたり 0.84t の温室効果ガス削減が期待できると分析している [21]。さらに、Martin らは、北米における調査で、カーシェアリング実施により世帯あたりの車両保有台数を 0.47 台から 0.24 台に削減できるとしている [22]。

**カーシェアリングと公共交通機関の連携** 伊志らは、通勤車を利用したカーシェアリングと公共交通機関を連携した交通システム「通勤車利用型カーシェアリング (CSCC)」を提案し、公共交通機関へのモーダルシフト効果の検証を行っている [23]。CSCC では、通勤者の車を公共交通機関の駅周辺に配置し、昼間時に駐車場で遊休化している間近隣住人が共同利用する。車両提供者は、自家用車から公共交通機関へのパークアンドライドを促し、カーシェアリングによる利益で自家用車の維持費を抑えられる。一方、共

同利用者は自家用車よりも安価に車を利用することができ、公共交通機関だけでは網羅できない目的地への移動が可能となる。沖縄県那覇市周辺においてモノレール駅をカーシェアリングステーションとして CSCC を導入した場合、昼時間帯においてモノレール利用者数の増加、自家用車利用者数の減少を確認している。

### 3.2 EV に関する研究

EV に関する研究では、EV 向けの経路探索、消費電力のモデル化といった研究がなされている。

**EV 向け経路探索** 木山らは EV の問題点である航続可能距離の短さなどの不安を取り除く方法として、EV のアシストルートを提案している [24]。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。

**EV の消費電力モデル化** EV の実走行距離は運転方法や、渋滞や勾配などの道路状況に影響を受け、自動車メーカーが発表している航続距離と一致しない場合がある。そのため、EV の航続距離を正確に推定する研究がなされている [25], [26]。出縄らは自動車に搭載したセンサから得られた運転ログを蓄積し、EV の消費電力推定手法を提案している [25]。このモデルを利用して、時間帯や道路区間毎に消費電力量の可視化を行うシステムを開発している。清水らは道路勾配が EV の消費電力に与える影響を考慮した EV 向けの経路問題を解いている [26]。この中で、道路勾配を考慮した EV の消費電力算出モデルを作成し、道路勾配と消費電力量の関連性に定量的な評価を行っている。その結果、同じ巡回経路でも走行方向による勾配、消費電力量、回生ブレーキ機能により消費電力量が変化することがわかっている。

## 4. 問題設定

### 4.1 EVTour の想定環境

本研究では EV と片道カーシェアリングの仕組みを組み合わせた環境で、EV を効率的に運用するシステム EVTour を提案する。EVTour の複数のユーザは任意の目的地で EV の利用、返却が可能であり、残り電力量の少ない EV を乗り換えて移動を継続できる。

図 1 は EVTour で設置するサーバの役割を表す。ユーザが各目的地に設置されたシステムの予約用端末、またはユーザ自身の携帯端末を利用して予約を行うと、予約内容はサーバに送られる。サーバはユーザの予約を満たす巡回経路と目的地における行動（乗換や充電）を含むスケジュールを算出しユーザに提示する（図 1 サーバの役割 その 1）。ユーザはサーバから提示されたスケジュールに従って目的地を巡回・滞在し移動を終了する。このような環境で EVTour はユーザの予約受率（予約総数に対する受理

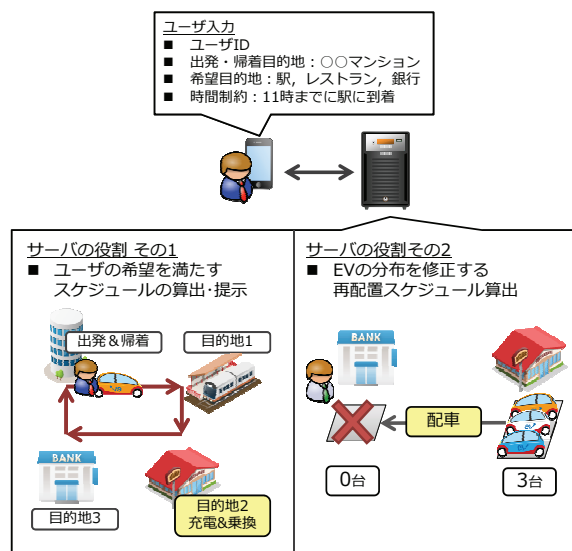


図 1 EVTour で設置するサーバの役割

された予約数の割合)を最大化することを目指す。しかし、片道カーシェアリングを想定しているため、EV の分布が予約受率を左右する重要な要因となる。従ってサーバは定期的に目的地に停車中の EV 台数を確認し、EV の配車が必要な場合は予約可能な EV に余裕のある目的地から、不足している目的地へ配車するためのスケジュールを算出する（図 1 サーバの役割 その 2）。

### 4.2 想定する環境に対する仮定

**カーシェアリングに対する仮定**：ユーザは目的地に配置された EV を共同利用する。ユーザは EV を借りた目的地に EV を返却する必要はなく、任意の目的地へ返却が可能である。また、ユーザは目的地において、残り電力量の少なくなった EV を乗り換えて移動を継続できる。

**目的地に対する仮定**：EV を配置する目的地としてコンビニ、ショッピングモール、駅等を想定する。それぞれの目的地には EV を配置する駐車場、EV 充電用のブース、予約用端末、事業者専用の管理端末を設置している。

**ユーザに対する仮定**：ユーザには、前日までにあらかじめ予約を完了するユーザ（以下 **事前予約ユーザ**）と、当日 EV を利用する目的地を訪れ、予約を行うユーザ（以下 **現地予約ユーザ**）がいる。事前予約ユーザは自身の携帯端末から予約用のアプリケーションを利用して予約を行う。一方、現地予約ユーザは目的地に設置された予約用端末を利用して予約を行う。予約時、ユーザは出発・帰着目的地、希望目的地、目的地の重要度、滞在時間、時間制約などの情報を入力する。

**EV に対する仮定**：想定する環境における車両は全て同モデルの小型 EV とする。

**スタッフに対する仮定**：スタッフは各目的地に待機し、管理端末で指示された EV の配車を実行する。

### 4.3 EVTour の使用イメージ

ユーザとサーバ、EV の配車を実行するスタッフの視点から EVTour の使用イメージについて説明する。

**ユーザ視点のシステム使用イメージ** 事前予約ユーザと現地予約ユーザの予約から移動終了までの流れについて説明する。

- **事前予約ユーザの行動**：事前予約ユーザは携帯端末の予約用のアプリケーションを利用して、前日までに希望目的地などの必要な情報を入力し予約を行う。直後にユーザは携帯端末に予約の結果（受理または破棄）を受け取る。もし予約が受理されていた場合は希望目的地の巡回経路も一緒に受け取る。当日の出発時刻になると、ユーザは最初に乗車する EV の情報をサーバから受け取り、指定された EV に乗車後、巡回経路に従い移動する。その後、**共通する行動**に示す行動をとる。予約を破棄されたユーザは予約を諦める。
- **現地予約ユーザの行動**：現地予約ユーザは移動当日、出発地へ向向き、予約用端末を利用し必要な情報を入力後、予約を行う。直後にユーザは予約用端末に予約の結果を受け取る。もし予約が受理されていた場合は巡回経路と最初に乗車する EV の情報を受け取る。ユーザは指定された EV に乗車し移動を開始する。その後、**共通する行動**に示す行動をとる。予約を破棄されたユーザは予約を諦める。
- **共通する行動**：ユーザは目的地到着後、用事を済ませ次の目的地へ移動する。目的地に到着した際、乗車してきた EV に充電が必要な場合、ユーザの携帯端末に充電を指示される。ユーザは目的地に設置された充電ブースで充電を開始する。用事後、次の目的地へ出発するユーザは各自の携帯端末で乗車する EV を確認して移動する。このとき、ユーザは乗車してきた EV へ再度乗車指示される場合と、別の EV へ乗り換えを指示される場合がある。ただし出発する際、乗車する EV が確保できない場合、乗車可能な EV が到着するまで待機の指示を受ける。また、次に目指す目的地がないユーザは移動を終了する。

**スタッフ視点のシステム使用イメージ** 各目的地で待機しているスタッフは、サーバからの配車指示を目的地に設置された管理端末を通じて確認する。スタッフはサーバに指定された EV に乗車後、指定された配車先へ移動する。目的地到着後、管理端末を通じて充電を指示された場合は、充電を開始して配車を完了する。

**サーバ視点のシステム使用イメージ** 想定環境において事業者はサーバを設置し、ユーザの情報、EV の位置や残り電力量、充電ブースの状態を管理する。サーバの役割は二つあり、一つはユーザの希望を満たすスケジュールを算出・提示することである。もう一つは EV の分布を修正するためのスケジュールを算出し、スタッフに配車を指示す

表 2 サーバがユーザへ提示する情報

提示される情報	
予約完了時	予約受理結果、巡回経路（受理の場合）
目的地出発時	乗車 EV 情報
目的地到着時	充電情報

ることである。ここでは、サーバがユーザとスタッフに対してスケジュールを提示する方法について説明する。

- **事前予約ユーザ出発までのスケジュール提示手順**：サーバは事前予約ユーザの予約を受け取ると、ユーザの希望を満たすスケジュールの算出を試み、結果（受理または破棄）と巡回経路（受理の場合）をユーザの携帯端末に送信する。受理されたユーザの出発時刻になると、サーバはユーザが最初に乗車する EV を指示する。ユーザの出発後は、**出発～移動終了までのスケジュール提示手順**に従う。
- **現地予約ユーザ出発までのスケジュール提示手順**：サーバは現地予約ユーザの予約を受け取ると、ユーザの希望を満たすスケジュールの算出を試み、結果（受理または破棄）、巡回経路、乗車 EV（受理の場合）を指示する。ユーザの出発後は、**出発～移動終了までのスケジュール提示手順**に従う。
- **出発～移動終了までのスケジュール提示手順**：ユーザが目的地に到着すると、サーバはユーザが乗車していた EV の残り電力量を確認する。充電が必要な場合、ユーザの携帯端末に対して充電を指示する。さらに、サーバはユーザの出発時刻に合わせて、ユーザの携帯端末に次に乗車する EV 情報を送信する。ただし、ユーザの出発時刻になっても、EV を確保できない場合、サーバは**スケジュールの変更手順**に示す手順に従いスケジュールを変更する。
- **スケジュールの変更手順**：予約を受理した段階でユーザに割り当てた EV が渋滞などの影響で目的地に到着していないという状況が考えられる。ユーザの出発時刻、乗車予定の EV が到着していない場合、サーバは目的地にある別の EV を割り当てるためにスケジュールの再算出を試みる。スケジュールが算出できれば、ユーザに乗車する EV を指示する。しかし、スケジュールが算出できない場合、割り当て可能な EV が到着するまで待機を指示する。

このように、サーバはユーザのスケジュールを随時変更する。表 2 にサーバがユーザに情報を提示するタイミングと内容をまとめる。サーバがスケジュールを柔軟に変更できるように、ユーザの予約受理段階では予約の結果と巡回経路のみを提示し、ユーザが乗車する EV や乗換、充電といったスケジュールの詳細は提示しない。

最後に配車を実行するスタッフに対するスケジュール提示方法について説明する。

- スタッフに対するスケジュール提示方法：サーバは定期的に各目的地の予約可能な EV 台数を確認する。このとき、配車が必要な目的地があれば、EV を提供する目的地を決定し、該当する目的地のスタッフに対して、EV と配車先を指定し、配車を実行させる。

#### 4.4 問題の定式化

##### 4.4.1 入力

入力は、あらかじめ与えられたデータベース入力とユーザ入力からなる。

###### データベース入力

- 地図データ：道路網を示すグラフ  $G = (N, A)$  として与えられる。道路網を構成する交差点をノードを  $n_i \in N$ 、交差点間の道路をリンクとする。グラフ  $G$  は以下の項目を持つ。
  - $dist(n_i, n_j)$ ：ノード  $n_i, n_j \in N$  間の距離 (km)
  - $speed(n_i, n_j)$ ：ノード  $n_i, n_j \in N$  間の法定速度 (km/h)
- 目的地データ：ユーザが巡回する目的地の集合を  $D = \{d_1, \dots, d_n\}$  で与える。各目的地  $d_i \in D$  は、以下の項目を持つ。
  - $n_i \in N$ ：目的地  $d_i$  に対応するグラフ上のノード
  - $D_{neighbor}$ ：目的地  $d_i \in D$  に隣接する目的地の集合
  - $B_i \in B$ ：目的地  $d_i$  の初期配置ブースの集合
  - $evNum$ ：目的地  $d_i$  の初期配置 EV 台数
- 充電ブースデータ：EV の充電を行う充電ブースの集合を  $B$  とする。それぞれの充電ブース  $b_i \in B$  は以下の項目を持つ。
  - $d_i \in D$ ：ブース  $b_i$  が設置されている目的地
  - $chargePower$ ：単位時間の充電によって得られる電力量
- EV データ：全 EV の集合を  $E$  とする。各 EV,  $e_i \in E$  は以下の項目を持つ。
  - $d_i \in D$ ：初期配置目的地
  - $initPower$ ：システム開始時における残り電力量 (kWh)
  - $VOLUME$ ：バッテリー容量 (kWh)
  - $COST$ ：電費 (km/kWh)

**ユーザ入力** 全ユーザの集合を  $U$  と表記する。各ユーザ  $u_i \in U$  は以下の 6 つのデータを入力とする。

- $t_s$ ：希望出発時刻
- $t_g$ ：希望帰着時刻
- $d_s \in D$ ：出発目的地
- $d_g \in D$ ：帰着目的地
- $D_u \in D$ ：巡回を希望する目的地の集合
- $stayTime(d_j)$ ：目的地  $d_j \in D_u$  の滞在時間
- $imp(d_j)$ ：目的地  $d_j \in D_u$  の重要度
- $desiredTime(d_j)$ ：目的地  $d_j \in D_u$  の希望到着時間

##### 4.4.2 出力

提案手法の解となるスケジュールは、全ユーザのユーザスケジュール、全 EV の EV スケジュール、全充電ブースの充電ブーススケジュールで構成される。これら 3 つのスケジュールについて詳しく述べる。

**ユーザスケジュール** ユーザスケジュールはユーザの目的地の巡回順序、出発・到着時刻、乗車 EV など定めているスケジュールである。全ユーザのユーザスケジュールの集合を  $Su$  とし、ユーザ  $u_i \in U$  のスケジュール  $Su^i$  は  $Su^i = [su_1^i, su_2^i, \dots, su_j^i, \dots, su_n^i]$  と表記する。ここで、ユーザスケジュールを構成する要素をユーザスケジュールノードと呼び、 $su_j^i$  は  $u_i$  の  $j$  番目のユーザスケジュールノードである。ユーザスケジュールノードは次の項目を持つ。

- $destId$ ：現在の目的地 ID
- $evId$ ：次乗車する EV の ID
- $t_a$ ：現在目的地の到着時刻
- $t_d$ ：現在目的地の出発時刻

**EV スケジュール** EV スケジュールは、EV の時刻毎の所在目的地、出発・到着時刻、乗車ユーザなど定めているスケジュールである。全 EV の EV スケジュールの集合を  $Se$  とし、EV  $e_i \in E$  のスケジュール  $Se^i \in Se$  は、 $Se^i = [se_1^i, se_2^i, \dots, se_j^i, \dots, se_n^i]$  と表記する。ここで、EV スケジュールを構成する要素を EV スケジュールノードと呼び、 $se_j^i$  は  $e_i$  の  $j$  番目の EV スケジュールノードである。EV スケジュールノードは次の項目を持つ。

- $userId$ ：乗車ユーザ ID
- $destId$ ：現在の目的地 ID
- $t_a$ ：現在目的地の到着時刻
- $t_d$ ：現在目的地の出発時刻
- $energy_a$ ：到着時の残り電力量
- $energy_d$ ：出発時刻の残り電力量

**充電ブーススケジュール** 充電ブーススケジュールは、どの EV をいつ充電するかを表すスケジュールである。全充電ブースの充電ブーススケジュールの集合を  $Sb$  とし、充電ブース  $b_i \in B$  のスケジュール  $Sb^i \in Sb$  は、 $Sb^i = [sb_1^i, sb_2^i, \dots, sb_j^i, \dots, sb_n^i]$  と表記する。ここで、ブーススケジュールを構成する要素をブーススケジュールノードと呼び、 $sb_j^i$  はブース  $b_i$  の  $j$  番目のブーススケジュールノードである。ブーススケジュールノードは次の項目を持つ。

- $evId$ ：充電する EV の ID
- $t_s$ ：充電開始時刻
- $t_e$ ：充電終了時刻

##### 4.4.3 制約条件

EV  $e_i \in E$  が目的地  $d_j, d_{j+n} \in D$  間を走行した場合に必要な消費電力量について考える。目的地  $d_j$  から  $d_{j+n}$  までに通過するノードのリストを  $N_{pass} = [n'_0, n'_1, n'_2, \dots, n'_k]$  とする。  $n'_k \in N$  は目的地  $d_j$  を出発してから  $k$  番目に通過す

るノードを表す。従って、 $n'_0, n'_k$  は目的地  $d_j, d_{j+n}$  に対応する。このとき目的地  $d_j$  から  $d_{j+n}$  までに必要な電力量は  $Cons(d_j, d_{j+n})$  は次のようになる。

$$Cons(d_j, d_{j+n}) = \frac{\sum_{n'_0 \in N_{pass}}^{n'_k} dist(n'_m, n'_{m+1})}{e_i \cdot COST} \quad (1)$$

出発目的地  $d_j$  における  $e_i$  の残り電力量を、 $RemPow(d_j)$  とした場合  $EVe_i$  は次の制約式を満たさなければならない。

$$RemPow(d_j) - Cons(d_j, d_{j+n}) > 0 \quad (2)$$

この式は、 $EVe_i$  が目的地  $d_j$  から  $d_{j+n}$  まで移動する場合、途中で残り電力量が負にならないことを表している。

#### 4.4.4 目的関数

複数ユーザから予約申請があったとき、予約受率率を最大化することが本研究の目的である。予約受率率は全ての予約申請に対する、受理された予約の割合である。全ユーザのユーザスケジュールの集合  $Su$  のうち、予約が受理されたユーザのユーザスケジュールの集合  $Su_{accepted} \in Su$  とすると、目的関数は次のようになる。

$$Maximize \frac{n(Su_{accepted})}{n(Su)} \quad (3)$$

## 5. 提案手法

### 5.1 概要

EVTour の二つのスケジュール算出部（ユーザスケジュール算出部、再配置スケジュール算出部）について詳しく述べる。

### 5.2 ユーザスケジュール算出部

**概要** ユーザスケジュール算出部では、ユーザが乗車する EV を確保し、ユーザの希望する時間帯に目的地へ到着できるように、複数の目的地を巡回する順序を決定する。これは、巡回セールスマン問題に出发・帰着点や EV の残り電力量、充電時間、時間制約等を含めたものであり探索空間が指数的に増大するため、現実的な時間で最適解を求めることは困難である。そこで、提案手法では実用的な時間で計算を行うために遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を利用する。GA は、探索空間の集団内に複数の近似解を持っているため、解探索を一定時間で打ち切っても解候補が得られるため、実用的な時間に合わせた探索が可能になる。

#### ユーザスケジュール算出部の詳細

- **染色体表現** ユーザの希望目的地を遺伝子とした、遺伝子の変長リストを染色体とする。
- **評価関数** 提案手法ではユーザ  $u_m \in U$  のユーザスケジュール  $Su^m$  の評価関数を式 (4) に定義する。巡回経路に含まれた目的地と、時間制約を満たした目的地に指定されている重要度の合計し、遠回りする巡回経

路が高い評価地を持たないよう移動距離を減算する。ここで、 $d'_i$  は  $Su^m$  に含まれる目的地であり、 $imp(d'_i)$  は目的地  $d'_i$  の重要度である。また、 $d''_i$  は  $Su^m$  に含まれるユーザの時間制約を満たす目的地である。a, b, c は各項に対する重み係数 (定数) である。つまり、巡回経路にユーザの希望目的地が含まれる程、ユーザの時間制約が満たされるほど、移動距離が短いほど評価値は高くなる。

$$f(Su^m) = a \sum_{i=1}^k imp(d'_i) + b \sum_{i=1}^j imp(d''_i) - c \sum_{i=1}^{k-1} dist(d'_i, d'_{i+1}) \quad (4)$$

- **アルゴリズム** 巡回経路を決定する GA のアルゴリズムについて説明する。

- (1) 初期化処理：ユーザの希望目的地をランダムに並べた染色体を個体数分生成する。
- (2) 評価：評価関数 (4) に従って、個体の評価を行う。
- (3) ルーレット選択：集団内で最大の評価値を持つ個体をエリートとして保存する。続いてルーレット選択によって選択された個体を集団に加え新しい集団とする。
- (4) 一点交叉：両親となる個体を集団からランダムに選び一点交叉を行う。このとき、交換する染色体に同じ目的地が含まれていたら削除する。これによって同じ目的地が複数含まれないようにする。
- (5) 突然変異：同一個体の染色体で遺伝子の順番をランダムに変更する。
- (6) (2) から (5) を世代数繰り返す

### 5.3 再配置スケジュール算出部

再配置スケジュール算出部では、偏った EV の分布による予約受率率低下を防ぐため、どの目的地からどの目的地へ EV を配車するかを指定したスケジュールを算出する。

**諸定義** この算出部で利用する用語の定義を行う。

- **余裕度**：ある目的地の予約可能な EV 台数
- **供給可能目的地**：他目的地へ配車可能な目的地
- **需要目的地**：EV の配車を必要とする目的地。

**再配置スケジュール算出部の概要** 提案手法では、供給可能目的地と需要目的地を決定後、二段階の再配置アルゴリズムに従い配車を実行する。一段階目は、需要目的地の隣接目的地を調べ、供給可能目的地が隣接していれば配車を実行する。隣接目的地から EV を配車することで、できるだけ短い時間で余裕度の小さい目的地をなくす狙いである。二段階目では、供給可能目的地と需要目的地から EV のバラつきが小さくなるような組み合わせを探索し配車を実行する。供給可能目的地と需要目的地が複数ある場合、これらの組み合わせは指数的に増加する。提案手法では、

実用的な時間で適切な組み合わせを探索するため焼きなまし法 (Simulated Annealing : SA) を利用する. SA を用いた手法では, 一つの目的地に集中した EV を別の目的地へ配車することで, EV のバラつきを小さくすることが狙いである.

### 再配置スケジュール算出部の詳細

- **個体表現** 供給可能目的地数分の長さを持ったリスト. 各要素で配車先となる需要目的地または 0 (配車しない) を選択する. 例えば個体  $R = [demand, 0]$  であれば供給可能目的地数は 2 であり, 最初の供給可能目的地から需要目的地  $demand$  へ配車, 次の供給可能目的地からは配車しないことを表している.
- **評価関数** SA で利用する個体  $R$  の評価関数  $f(R)$  を式 (5) に示す. 配車を実行する時刻を  $t$ , 供給可能目的地を  $D_s \in D$ , 需要目的地を  $D_d \in D$  とする.

$$f(R) = \frac{1}{a \times var(t, D) + b \sum_{i=1}^k dist(sp_i, dm_i)} \quad (5)$$

ここで,  $var(t, D)$  は時刻  $t$  における全目的地の余裕度の分散を表し,  $dist(t, sp_i, dm_i)$  は目的地  $sp_i \in D_s$  と  $dm_i \in D_d$  の移動距離であり,  $a, b$  は各項に対する重み係数 (定数) である. つまり, 各目的地の余裕度のバラつきが小さい程, 配車に伴う移動距離が短い程, 評価値は高くなる.

### ● アルゴリズム

- (1) 初期化処理: 各目的地の余裕度を初期化し, 供給可能目的地と需要目的地を決定する.
- (2) 全ての需要目的地について, 隣接した供給可能目的地から配車を実行する. 供給可能目的地が複数隣接している場合は最も余裕度の高い目的地を選択し, 供給可能目的地が隣接していない場合は配車を実行しない.
- (3) SA で算出した供給可能目的地と需要目的地の組み合わせに従い, 配車を実行する.

## 6. 評価実験

本章では, EVTour の予約受理率, EV 一台あたりの配車回数, 予約破棄率をシミュレーションにより評価する.

### 6.1 概要

一定数の事前予約ユーザを発生させた後, 8:00-18:00 まで現地予約ユーザをランダムな目的地に発生させシミュレーションを行う. 各目的地には 5 台ずつの EV を配置した (総 EV 台数: 340). 地図データは日本道路交通情報センター (JARTIC) が公開している東京都心部の地図を利用する [27]. JARTIC の地図データの交差点をノード, 交差点を結ぶ道路をリンクとしたグラフで表現し利用する. 道路網には JARTIC より取得した渋滞情報を反映させた.

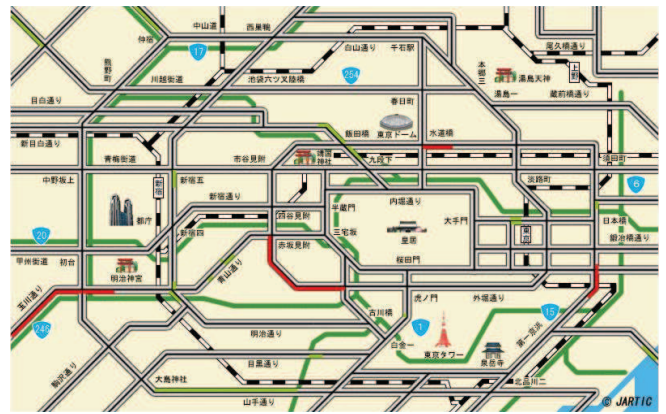


図 2 JARTIC が公開している東京都心部の地図データ

実験で利用した JARTIC の地図データを図 2 に示す. その他実験で使用するパラメータを表 3 にまとめる.

### 6.2 評価項目

シミュレーションにより評価する項目について述べる.

- **予約受理率**: 全予約に対する, 受理された予約の割合
- **配車回数**: シミュレーションで実行された EV 一台あたりの配車回数
- **予約破棄率**: 渋滞が発生しない理想的な道路網で発生させたユーザを, 渋滞が発生する道路網で発生させ, 予約受理数の差を評価する. 予約破棄率は理想的な道路網で受理された予約数 (以下 理想予約受理数) に対する, 渋滞のある道路網で破棄された予約数 (以下 予約破棄数) の割合である. 例えば理想予約受理数 100, 予約破棄数 10 の場合, 予約破棄率は 0.1 となる. この値が低いほど渋滞に対して頑健性があると言える.

### 6.3 比較手法

提案手法と比較を行う手法を二つ用意した.

- Do-Nothing(DN) 法: 配車を実行しない方法
- Max-Allowance(MA) 法: 従来手法 [17]. 供給可能目的地の中で余裕度が最大の目的地から, 需要目的地の中で余裕度が最小の目的地へ配車する方法.

### 6.4 実験環境

以下の環境でシミュレーションのプログラムを実行した.

- CPU: Intel Core i7 920 (2.66GHz)
- Memory: 12GB
- OS: Windows 7 Professional x64
- Language: Java SE 1.6

### 6.5 実験結果

シミュレーションの平均計算時間 表 4 にシミュレーションの平均計算時間 (ms) を示す. ユーザ数が最大の 700 人の場合でも 4 秒程度と実用的な時間でシミュレーション



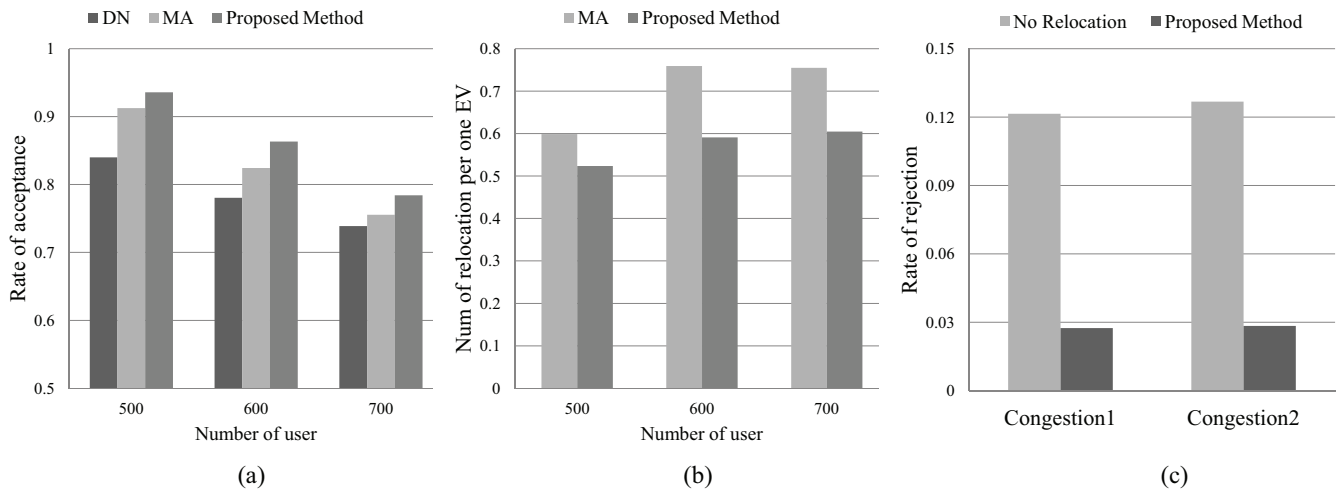


図 3 実験結果 (a) ユーザ数と予約受理率 (b) ユーザ数と配車回数/台 (c) 予約破棄率

表 3 実験のパラメータ

パラメータ	値	パラメータ	値
ノード数	68	通常時移動速度	40km/h
リンク数	221	混雑時移動速度	20km/h
目的地数	68	渋滞時移動速度	10km/h
充電時間	120 分	バッテリー容量	16kWh
電費	5km/kWh	ユーザ目的地数	0-5
EV 台数	5 台/目的地	目的地滞在時間	60-90 分
ユーザ数	500-700	事前予約	全予約の 1 割

表 4 シミュレーションの平均実行時間 [ms]

ユーザ数	500	600	700
シミュレーション平均実行時間	2716	3044	4106

が終了している。

**スケジュール具体例** ここでは、ユーザによる予約、EVTour が算出したユーザスケジュール、EV スケジュールの具体例を示す。表 5 に示すように、ユーザは出発・帰着地 ID、複数の希望目的地 ID、滞在時間、希望到着時間帯を入力している。この予約内容に対し EVTour は、表 6 に示すようなユーザスケジュールを算出した。このユーザは出発地 27 を EV131 で出発し、最初の目的地 5 へ到着する。目的地 5 の滞在時間を経て、再び EV131 で出発し、希望した到着時間帯に目的地 39 へ到着する。ここでは、乗車してきた EV131 の充電を行う。目的地 39 の出発時刻になっても、EV131 は充電中のため EV191 に乗り換え、帰着地まで移動し終了する。一方、表 7 は EV131 のスケジュールを示している。EV131 はユーザ 12 を乗車させ目的地 27 を出発し、目的地 5 へ移動する。さらに、目的地 39 では充電を行い、充電終了時刻から再び予約可能な状態となる。

**予約受理率** ユーザ数を 500 人から 700 人と変化させたときの予約受理率の変化を見る (図 3(a))。提案手法は DN 法、従来手法と比較して常に高い予約受理率を達成している。DN 法と比較して最大 9% 程度、MA 法と比較して最大 4% 程度予約受理率が向上することが確認できた。

表 5 ユーザによる予約の具体例

予約項目	予約内容
ユーザ ID	12
出発時刻	08:06
出発・帰着地 ID	[27, 43]
希望目的地 ID	[57, 5, 39]
滞在時間 (分)	[72, 78, 75]
希望到着時間帯	10:06-11:06 (目的地 39)

表 6 ユーザスケジュールの具体例

時刻	スケジュールの詳細
08:06	出発: 目的地 27(EV131)
08:44	到着: 目的地 5 滞在: 目的地 5
10:02	出発: 目的地 5(EV131)
10:34	到着: 目的地 39 充電開始: EV131 滞在: 目的地 39
11:49	出発: 目的地 39(EV191)
11:58	到着: 目的地 57 滞在: 目的地 57
13:10	出発: 目的地 57(EV191)
13:29	到着: 目的地 43

表 7 EV スケジュールの具体例

時刻	スケジュールの詳細
08:06	出発: 目的地 27 (ユーザ 12, 残り電力量 16.0)
08:44	到着: 目的地 5 (ユーザ 12, 残り電力量 11.4)
10:02	出発: 目的地 5 (ユーザ 12, 残り電力量 11.4)
10:34	到着: 目的地 39 (ユーザ 12, 残り電力量 7.6) 充電: 目的地 39 (充電中, 残り電力量—)
12:34	待機: 目的地 39 (予約可能, 残り電力量 15.6)

**配車回数** 予約受理率同様、ユーザ数を 500 人から 700 人と変化させたときの EV 一台あたりの配車回数の変化を見る (図 3(b))。提案手法は MA 法と比較して最大 15% 程度少ない配車回数で高い予約受理率を達成している。また、ユーザ数増加に対して配車回数の増加が少ない。これは、

MA 法が常に余裕度の高い目的地から、余裕度の低い目的地へ配車するのにに対し、提案手法では需要目的地への配車を隣接目的地に限定している点 (5.3 アルゴリズム (2)), 全目的地における EV の分布を修正するために必要な配車を実行しているためであると考えられる (5.3 アルゴリズム (3)).

**予約破棄率** 提案システムがどの程度渋滞の影響を受けるか評価するため、渋滞が発生する道路網で配車を実行しない場合と、提案手法を適用した場合の予約破棄率を比較する。ここでは、JARTIC より取得した二日分の渋滞情報を利用した。図 3(c) はユーザ数 700 人に対してシミュレーションを行った場合の予約破棄率を示している。配車を実行しない場合、予約破棄率は 12 % 程度であるのに対し、提案手法では 3 % 程度に抑えられており配車の効果が顕著に表れている。これは渋滞で遅れたユーザが、別のユーザに影響を与えないような状況を提案システムが作り出しており、渋滞に対する頑健性があると言える。

## 6.6 考察

本章では、提案システムを予約受理率、配車回数、予約破棄率という項目についてシミュレーションによる評価を行った。その結果、提案手法は比較手法よりも少ない配車回数で高い予約受理率を達成していることを確認した。実験結果から、提案システムの効率性について考察する。

提案手法は 700 人のユーザに対し、340 台 (目的地数 68, EV5 台/目的地) の EV で 78 % 程度の予約受理率を達成している。これは一台の EV あたり 1.6 人程度のユーザを乗車させていることになる。仮に受理された予約と同数のユーザがそれぞれ自家用車を所有した場合と比較すると、提案システムはより少ない車両数で効率的にユーザの予約を満たしていると言える。また、提案システムは片道カーシェアリングを取り入れることで、表 6 に示したように、ユーザは EV の充電終了を待たず、別の EV へ乗り換えて移動を継続できる。これらの結果から、提案システムは EV の短い航続可能距離や長い充電時間という欠点を補いながら効率的に EV を運用できていると言える。一方で、提案システムのユーザは出発地で EV を確保できることを保証されていないため、時間制約の強い出勤などの用途ではなく、比較的時間に余裕がある用途 (観光や買い物など) を想定したユーザが向いていると考える。

## 7. 結論

本稿では、EV と片道カーシェアリングを組み合わせ、複数のユーザが EV を共同利用する環境で、EV を効率的に運用するシステム EVTour を提案した。ユーザは任意の目的地で EV の利用・返却ができ、残り電力量の少ない EV を乗り換えて移動を継続できる。EVTour はユーザの予約に対し、遺伝的アルゴリズムを利用し巡回経路と目的地に

おける行動 (乗換や充電) を含むスケジュールを算出する (ユーザスケジュール算出部)。さらに提案システムは EV の分布が偏り、予約受理率が低下しないよう、EV 台数に余裕のある目的地から不足している目的地へ EV を配車する (再配置スケジュール算出部)。再配置スケジュール算出部では、隣接目的地から配車する方法と、焼きなまし法を利用し EV 台数の分布を修正する方法の二段階の手法を提案した。

シミュレーションによる評価実験の結果、提案システムは従来手法より少ない配車回数で高い予約受理率を達成できることを確認した。また EV 一台あたり 1.6 人程度のユーザを乗車させている点や、ユーザが EV の充電終了を待たずに別の目的地へ移動できる点から提案システムはカーシェアリングの特徴を活かし、EV を効率的に運用していると言える。

今後はより少ないスタッフ、配車回数でシステムを運用する工夫が必要である。例えば、パークアンドライドによる公共交通機関との連携が考えられる。パークアンドライド導入によりユーザによる EV の占有時間が減少し、予約受理率の向上だけでなく、スタッフや配車回数の削減も期待できる。一方で、ユーザは公共交通機関を利用するための料金を払う必要があるが、支払う料金が增えることは一般的に望ましくない。したがって、パークアンドライドを導入する場合、ユーザが支払う料金を考慮し、公共交通機関を利用するユーザに割引を適用するなどの工夫が必要である。

## 参考文献

- [1] 一般社団法人次世代自動車振興センター: 電気自動車等保有台数統計 (推定値), (オンライン), 入手先 (<http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai1.html>) (参照 2014/02/06).
- [2] 一般財団法人自動車検査登録情報協会: 自動車保有台数統計データ, (オンライン), 入手先 (<http://www.airia.or.jp/number/index.html>) (参照 2014/02/06).
- [3] 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団: わが国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移, (オンライン), 入手先 (<http://www.ecomo.or.jp/>) (参照 2014/02/06).
- [4] タイムズ 24 株式会社: カーシェアリングのタイムズカープラス, (オンライン), 入手先 (<http://plus.timescar.jp/>) (参照 2014/02/06).
- [5] autolib: Autolib 公式サイト, (オンライン), 入手先 (<https://www.autolib.eu/en/>) (参照 2014/02/06).
- [6] car2go: car2go 公式サイト, (オンライン), 入手先 (<https://www.car2go.com/en/austin/>) (参照 2014/02/06).
- [7] 日産自動車株式会社, 横浜市: チョイモビ, (オンライン), 入手先 (<http://www.choi-mobi.com/>) (参照 2014/02/06).
- [8] Barth, M. and Todd, M.: Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 7, No. 4, pp. 237-259 (1999).

- [9] Uesugi, K., Mukai, N. and Watanabe, T.: Optimization of Vehicle Assignment for Car Sharing System, *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Vol. 4693.
- [10] 武内博孝, 谷内利明: カーシェアリングにおける小型EV導入によるCO<sub>2</sub>削減効果, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 65, pp. 37-42 (2010).
- [11] 三菱自動車工業:iMiEV, (online), available from <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/i-miev/> (accessed 2014/02/06).
- [12] 日産自動車株式会社:日産リーフ Web カタログ, (オンライン), 入手先 <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/> (参照 2014/02/06).
- [13] CHAdeMO: 世界のCHAdeMO 急速充電器, (オンライン), 入手先 <http://www.chademo.com/jp/> (参照 2014/02/06).
- [14] トヨタ自動車株式会社:Ha:mo, (online), available from <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/its/hamo/> (accessed 2014/02/06).
- [15] 大阪府:大阪EVアクションプログラム, (オンライン), 入手先 <http://www.pref.osaka.lg.jp/energy/akusyom/> (参照 2014/02/06).
- [16] Jorge, D. and Correia, G.: Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review, *European Journal of Transportation Infrastructure Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 201-220 (2013).
- [17] Kek, A., Cheu, R. and Chor, M.: Relocation simulation model for multiple-station shared-use vehicle systems, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1986.
- [18] Smith, S., Pavone, M., Schwager, M., Frazzoli, E. and Rus, D.: Rebalancing the rebalancers: optimally routing vehicles and drivers in mobility-on-demand systems, *American Control Conference (ACC), 2013*, pp. 2362-2367 (2013).
- [19] Barth, M., Todd, M. and Xue, L.: User-Based Vehicle Relocation Techniques for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems, *Transportation Research Board 80th Annual Meeting January 2004 Washington, D.C.* (2004).
- [20] Febbraro, A. D., Sacco, N. and Saeednia, M.: One-Way Carsharing: Solving the Relocation Problem, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 4, No. 2319, pp. 113-120 (2012).
- [21] Martin, E. and Shaheen, S.: Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, Vol. 12, No. 4, pp. 1074-1086 (2011).
- [22] Martin, E., Shaheen, S. and Lidicker, J.: Impact of Carsharing on Household Vehicle Holdings. Results from North American Shared-Use Vehicle Survey, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2143, pp. 150-158 (2010).
- [23] 伊志嶺拓人, 赤嶺有平, 遠藤聡志: 通勤車利用型カーシェアリングシステムによるモーダルシフト効果のシミュレーション分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 10, pp. 1986-1994 (2010).
- [24] 木山 昇, 小林雄一, 青島弘和, 白井啓介, 柏山正守: 航続可能距離と充電時間を考慮した電気自動車向けルート探索手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 156-165 (2013).
- [25] 出縄 誠, 出口 達, 富井尚志: EV エネルギー消費ログDBを用いた多様な可視化システムと運転状況に基づく情報の提示, 日本データベース学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 127-132 (2013).
- [26] 清水太郎, 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).
- [27] 公益財団法人日本道路交通情報センター: 日本道路交通情報センター: JARTIC, (オンライン), 入手先 <http://www.jartic.or.jp/> (参照 2014/02/06).