

ワンウェイ型MEVシェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析

溝上 章志¹・中村 謙太²・橋本 淳也³

¹正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: 143d8823@st.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 熊本高等専門学校准教授 (〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627)

E-mail: j-hashii@as.yatsushiro-nct.ac.jp

近年、環境負荷低減意識の高まりからカーシェアリングサービスの普及が進みつつある。乗り捨てが可能なワンウェイ型のシェアリングサービスでは、利便性が高い反面、需要の偏りによる車両の偏在が問題となっている。本研究では、再配車を行わないワンウェイ型シェアリングシステムの導入可能性をトリップの置き換えモデルの構築、運用シミュレーション分析によって検討する。そのために、熊本市内におけるMEVによるシェアリングを想定したSP調査を設計・実施した。さらにモデルを用いた運用シミュレーションプログラムを開発し、導入可能性の検討を行う。

Key Words : *micro electric vehicle , "one-way type" car-sharing system, simulation analysis*

1. はじめに

近年、環境負荷低減意識の高まりや自動車総数の削減のため、会員間で車両を共同利用するカーシェアリングサービスの普及が進みつつある。ドイツのcar2goなど欧米を中心にカーシェアリングシステムが定着してきた。日本でも1990年代後半から各所で実証実験が続けられており、2013年10月には横浜市は日産自動車と連携して100台のMEVによるワンウェイ型のカーシェアリング“チョイモビ”の社会実験を開始した。利用する車両にも変化があり、現在のカーシェアリングでは燃費の良い車両の利用を目玉とすることが多い。その例として、近年、MEV (Micro Electric Vehicle) を利用したシェアリングシステムへの注目が集まっている。MEVは、国土交通省が平成25年から新たに認定制度を制定し導入を促進している超小型電気自動車である。MEVはあらゆる世代に手軽な足を提供し、生活・移動の質の向上をもたらす少子高齢化時代の「新たなカテゴリー」の乗り物として位置づけられており、初期費用の高額なMEVとシェアリングは相性が良いと考えられている。

シェアリングサービスは、貸出し場所と返却場所が同一である“ラウンドトリップ”型と貸出し場所と返却場所が異なる“ワンウェイトリップ”型に大別されるが、

後者は利便性が高い反面、需要の偏りにより車両が偏在してしまうことによって予約が受けられないとか、目的地での駐車スペースが不足するとかいった問題が生じる恐れがある。一般的なカーシェアリングシステムでは、再配車を行うことによってこうした問題を回避しているが、再配車には経費がかかるため採算面で大きな問題ともなっている。本研究では、再配車を行わないワンウェイ型シェアリングシステム（以後、OWSシステム:One-Way type Sharingと記す）の導入可能性を、(1)トリップのOWSシステムへの置き換えモデルの構築、(2)(1)のモデルを組み込んだ運用シミュレーション分析によって検討ことを目的とする。

2. ワンウェイ型共同利用交通の現況と研究

(1) 次世代型モビリティMEVの導入

次世代のモビリティとして期待されているMEVは、自動車よりコンパクトで、地域の手軽な移動の足となる1人～2人乗り程度の車両として定義されている。省エネ・環境性能に優れているため、抜本的な省エネ、生活交通における新たな交通手段として、子育て世代や高齢者の移動支援に有効であると期待されている車両である。

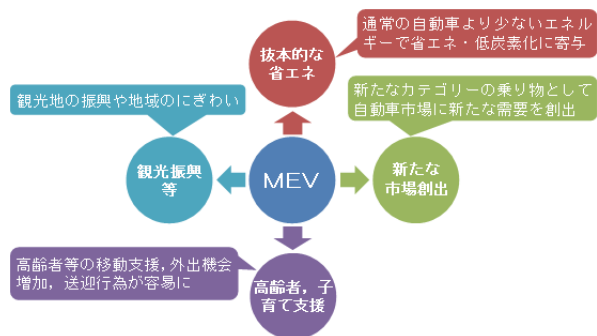


図-1 MEVの導入効果

MEVは、近距離（5km圏内程度）の日常的な交通手段として利用され、まちなかにおける利活用場面としてシェアリングサービスへの利用が期待されている。なぜなら現在のシェアリングサービスは、買い物、業務、観光目的といった様々な利用者のニーズに合ったトリップのための交通手段として展開されており、MEVはそのデバイスとして有用と考えられるためである（図-1参照）。

国土交通省はMEVの有効性、導入可能性等に関する検証のため、6つの自治体で実証実験^{1),2)}を行ってきたが、その中で行ったMEVの利用形態についての意向の調査では、被験者の約7割がカーシェアリング、セカンドカーとして利用したいという回答が得られている。MEVは従来にない全く新しいカテゴリーの乗り物であるため、国土交通省では、現在、MEVを市場に試行導入するための安全基準等関連制度などの検討を進めており、野心的な規制改革の取り組みとして、MEVに一定の大きさ、性能、運行地域等の制限を付すことで、安全を確保しつつ、公道走行をより簡易な手続きで可能とするための認定制度の創設を予定している。

(2) カーシェアリングの現況と研究課題

表-1に示すように、カーシェアリングは導入地域と対象需要から、シティーカー型とセカンドカー型とステーションカー型の3種類に分類される。シティーカー型は主に都心部・市街地での日中の生活・業務での利用を対象とし、セカンドカー型は郊外住宅地などで主に買い物での利用を対象としている。ステーションカー型は郊外通勤駅で通勤と業務利用を対象としている。欧米において拡大傾向にあるのは、都市部の業務・居住近接地域や都市部近郊の居住地域において、駐車場コスト、自動車保有コストの両方を削減できる利点を重視したシティーカー型である。2013年10月に横浜市で開始されたワンウェイ型のカーシェアリング“チョイモビ”も都市圏を対象としたシティー型のカーシェアリングである。本研究でも、シティーカー型のワンウェイ型共同利用交通を対象にしている。

日本でもカーシェアリングは、タイムズやオリックス

表-1 カーシェアリングの分類

システム	導入地域	対象
シティーカー型	都心部・市街地	業務・買物利用
セカンドカー型	郊外住宅地	買物利用
ステーションカー型	郊外通勤駅周辺	通勤・業務利用

などの企業によって運営されているが、欧州を中心に実際に運用が行われているカーシェアリングサービスはcar2goである。car2goはワンウェイ型のカーシェアリングで、会員登録さえしていればいつでも予約なしで利用できる。利用可能なcar2goの車両を見つけたら、認証装置に会員証をかざして車両に乗り込み、暗証番号を入力すればそのまま運転を始められる。利用料金が1分単位の課金であり、乗車から降車までの利用時間がそのまま利用料金になることも特徴の1つである。car2goが他のカーシェアリングサービスと大きく異なるのは、スマートフォンなどの移動体通信システムを利用して利用可能な車両の位置を検索して簡単に見つけられる点である。したがって、利用者はカーシェアリングの予約時間に自分のスケジュールを合わせる必要がない。利用者はフレキシブルに自分のスケジュールに合わせてカーシェアリングを利用できる。

このようなカーシェアリングに関する既存研究は、共同利用システムの挙動に関するシミュレーション分析から始まり、潜在需要に関する分析、効率的なデポ配置や料金プランに関する分析などがなされている。共同利用システムの挙動に関するシミュレーション分析では、山本ら³⁾は、ワンウェイトリップの利用を認めた場合のシステム挙動に関して、京都市で実施されたカーシェアリング実験の利用実態データを用いたシミュレーション分析を行っている。その結果、単純にシステムの規模を拡大しても規模の効果は得られないこと、駐車スペース数は車両数の1.5倍程度必要であること、一定の総駐車スペース数を用いる場合、駐車場を増加させるより駐車場あたりの駐車スペース数を増加させた方が効率的であることなどを明らかにしている。共同利用システムの潜在需要に関する分析に関しては、山本ら⁴⁾は、セカンドカー型自動車共同利用システムを対象として、世帯構成員間での自動車利用の最適化を行うと、平日で約35%、休日で約55%の保有自動車を削減可能であることを示している。料金設計に関する研究として、斉藤・羽藤⁵⁾は長期的選択であるシェアリングサービスへの加入行動と短期的な選択であるシェアリングの利用行動に着目し、短期的な選択の繰り返しが加入プランの選択に及ぼす影響を評価した。その結果、対象地域における活動頻度や活動パターンによって個人間の反応の異質性が存在しており、これを考慮することにより、長期的選択に与える影響を適切に表現できることを示している。



図-2 説明に用いたパンフレット

表-2 調査の概要

配布対象		熊本市13小学校区（龍田，春日，桜木，尾ノ上，託麻原，出水，春竹，白山，帯山，健軍，託麻南）
調査方法		訪問留置法
配布数		363
回収数（回収率）		270 (73.8%)
調査内容	個人属性	世帯構成，性別，年代，職業
	OWSの利用意向	一日のトリップの中で置き換えてよいトリップに対し，いくつかのプロファイルの提示による転換意向

表-3 LOS 要因表

要因	高水準	低水準
時間料金（円/h）	500(600)	1000(1200)
デポまでの距離（分）	1	5
事前予約条件	10分前（30分前）	1時間前（2時間前）
デポに MEV がない確率	1/10(1/5)	1/2

注）トリップにより，（ ）内の値を用いる

このように，既存研究では，(1)カーシェアリングの利用意向に関する分析，(2)実証実験データをもとにしたシステムの運用シミュレーション分析，(3)共同利用による車両台数削減などの最適化分析をテーマとしている。しかし，現在行っているトリップチェーンのうちのどのトリップをOWSシステムに置き換えるかといった分析や，OWSシステムの弱点である乗り捨てによる車両の偏在により予約が受けられないというリスクを考慮した意志決定行動の分析を行った例はない。

本研究では，(1)発デポでの利用可能な車両の有無や着デポでの返却可能なデポの有無といった，他者の行動に依存する利用者間相互作用を記述し，(2)予約が受け付けられなかったことによる経験（リスク）の逐次更新プロセスを導入したOWSシステムの運用シミュレーション

モンモデルを構築する。また，(3)熊本市都市圏パーソントリップ調査のデータを用いて実際のトリップの挙動をシミュレートし，OWSシステムの導入に必要な要件を検討している点も特徴である。

3. OWSシステム選択モデルの推定

(1) アンケート調査の内容と方法

本研究では，熊本市におけるMEVによるOWSシステムに対する利用意向を把握すること，OWSシステムへのトリップの置き換えモデルを推定することを目的として，SPデータを得るための選好意識調査を行った。本調査は，熊本市中心部から半径10km圏内の校区からランダムに13校区を選び，各校区ごとに任意抽出した約30世帯への訪問留置法によって実施した。調査の概要を表-2に示す。

調査では，まず通常の都市圏パーソントリップ調査と同様に平日の1日の全トリップを回答してもらう。次に，MEVの特徴，およびOWSシステムとはどのようなサービスであるかを，図-2に示す独自に作成したパンフレットを用いて詳しく説明し，先に回答した1日のトリップのうち，OWSシステムに置き換えてよいトリップを尋ねた。置き換えてよいと回答したトリップに対し，表-3に示す4要因2水準の 2^4 の組み合わせプロファイルから，実験計画法により $L_8(2^7)$ の直交表を用いて作成したプロファイルの中からランダムに選択した4つのプロファイルを示して，被験者にOWSシステムの利用意向を回答してもらうという方法でSPデータを収集している。

(2) 単純集計分析の結果

調査には，270世帯430人が回答し，その約3割がMEVによるOWSシステムを「ぜひ利用してみたい」，「条

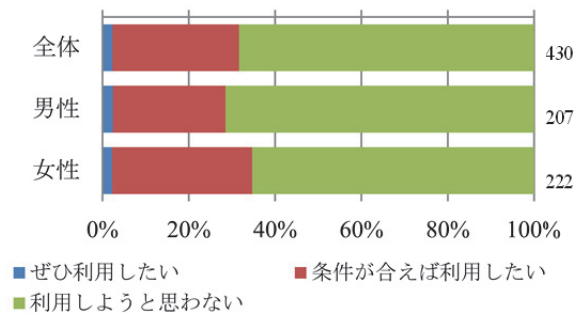


図-3 男女別利用意向

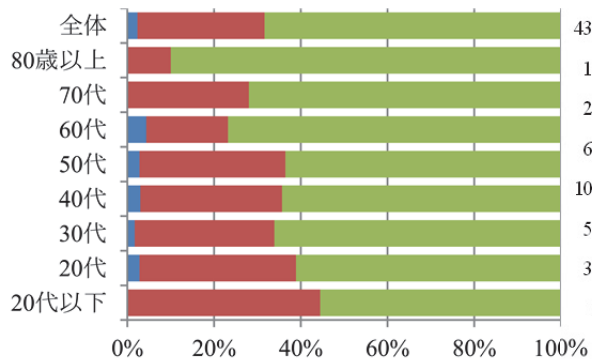


図-4 年齢別利用意向

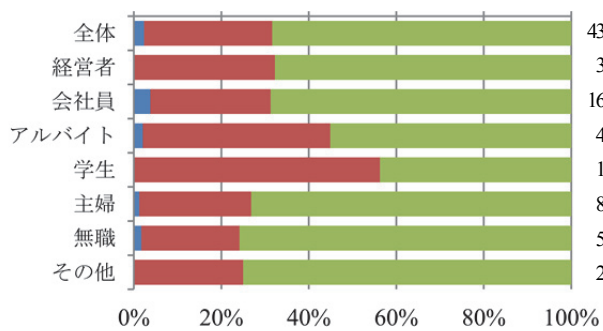


図-5 職業別利用意向

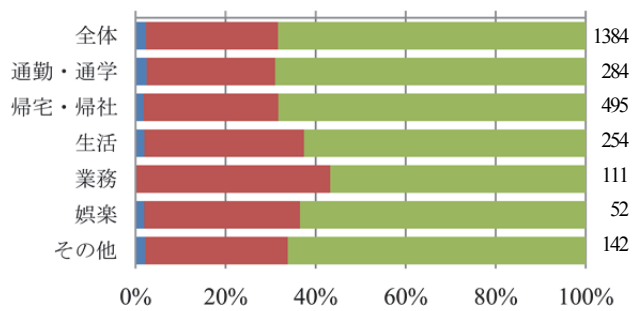


図-6 トリップ目的別利用意向

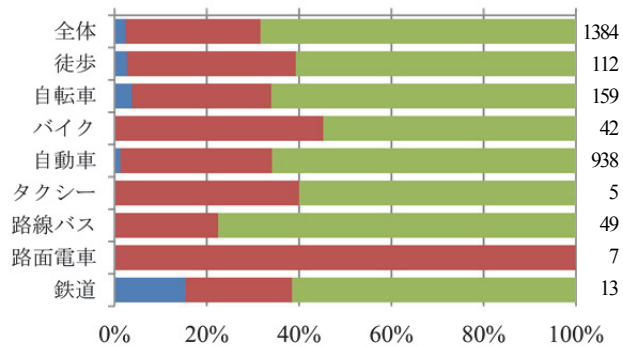


図-7 現利用手段別利用意向

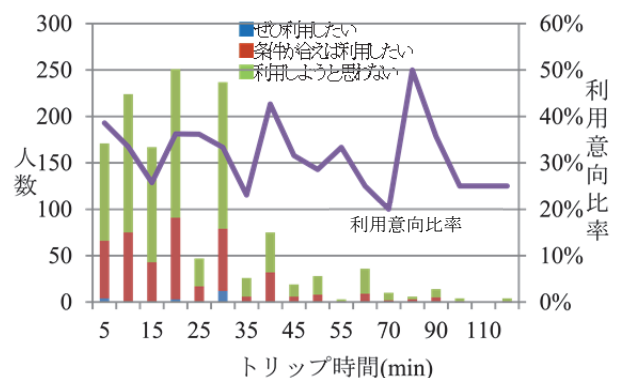


図-8 トリップ時間別利用意向

件が合えば利用してみたい」と回答している。図-3に男女別利用意向を示す。女性の方が利用意向が高い。図-4は年齢別、図-5は職業別の利用意向を示す。20代から50代で利用意向は高く、職業ではパート・アルバイトや学生、会社員の利用意向が高い。図-6にはトリップ目的別の利用意向を示す。利用目的では生活、業務目的のトリップに対して利用意向が高い。図-7には現利用手段別の利用意向を示す。現在、路面電車、鉄道を利用しているトリップに対して利用意向が高い。トリップ時間ごとの利用意向を図-8に示す。トリップ時間が30分以内のトリップに対する利用意向が高いが、1時間以上のトリップに対してもOWSシステムへの利用意向があるという結果が得られた。なお、図-3～図-7の右側の数字はサンプル数を示している。

(3) OWSシステム選択モデル

OWSシステム選択モデルは、OWSシステムに置き換えをするか否かを選択する2項ロジットモデルである。モデルの推定には、「置き換える」、または「条件によっては置き換えても良い」とした現在のトリップごとに、前述した方法で設定したOWSシステムのサービスプロファイルに対して「利用する」か「利用しない」を回答したSPデータを用いた。モデルの推定結果を表-4に示す。尤度比、的中率ともに大きく、モデルの適合度は高い。各変数のパラメータの符号条件も論理的であり、 t 値も高く統計的に有意である。トリップ属性としては、私用・業務目的ほど、トリップ時間が長いトリップほど、OWSシステムの事前予約可能時間が短い（予約締切時間が遅い）ほど、「デポにMEVがない確率」が低いほど、

ど、既存トリップは現利用手段からOWSシステムに置き換えられる確率が高くなる。なお、「デポにMEVがない確率」にはその確率の逆数をデータとしている。また、個人属性では、男性の方が、年齢は高くなるほどOWSシステムへの転換の効用は高いことがわかる。

4. OWSシステムの挙動シミュレータの概要

(1) 導入地域の設定と潜在需要の抽出

本研究では、図-9に示すように、熊本市中心部から東は熊本県庁、北はJR上熊本駅、南はJR平成駅、西はJR熊本駅までの約半径5km圏内の29の熊本都市圏PT調査CゾーンをOWSシステムの導入地域とし、シミュレーション分析によるOWSシステムの導入可能性の検討を行う。まず、PT調査のマスターデータから導入対象地域内に発着の両方を持つトリップを抽出し、OWSシステム選択モデルを適用する潜在需要とする。これにより151,040のトリップが抽出された。シミュレーションには熊本市のネットワークデータを用いる。対象地域内でのノード数は263あり、PT調査データには発着ゾーンに1つのセン

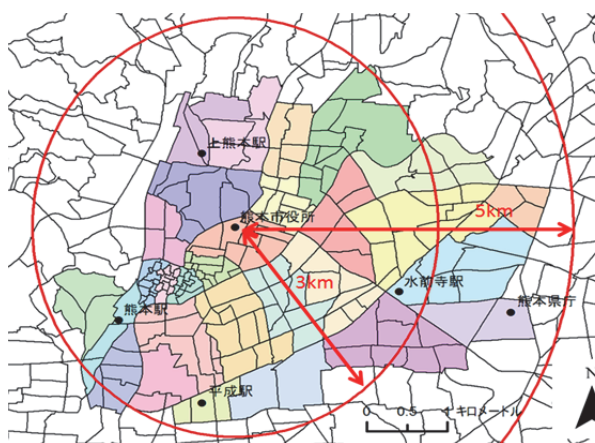


図-9 シミュレーション分析の対象地域

表-4 OWS選択モデルの推定結果

	説明変数	推定値	t値
置き換える	時間料金(円/min)	-0.188	-10.33
	事前予約時間 (分)	-0.0046	-1.83
	デポにMEVがない確率	0.047	1.96
置き換えない	トリップ所要時間 (分)	-0.016	-3.26
	私用・業務目的ダミー	-0.415	-2.20
	性別 (男性=1)	-0.318	-1.68
	年齢	-0.011	-2.07
サンプル数		784	
尤度比		0.31	
的中率		0.74	

トロイドしかないので、発着ゾーン内にあるすべてのノードをトリップの発着ノードとしてランダムに割りあてることにした。

(2) シミュレーションの手順

シミュレーションでは、トリップ開始時刻の早いトリップから順にOWSシステムへ転換するか否かの判定を行い、1分ごとにすべてのMEV車両の挙動を追跡していく。図-10に示す手順に従ってシミュレーションを行う。以下に各段階について説明する。

Step-1 初期条件の設定：デポ数、デポ配置、1 デポ当たりの駐車台数、総 MEV 数、MEV 初期配置台数、料金、予約条件などのデフォルト値を設定する。

Step-2 利用可否判断：トリップごとの OWS システムへの置き換え確率 pr を算出し、その確率が発生させた一様乱数 p よりも大きいとき、OWS システムを利用すると判定する。

Step-3 発デポの選択肢集合の決定：ここでは発ノードから 300m 以内の距離にデポがあるかを探索し、さらにその中で利用可能な MEV が 1 台以上あるデポを探索し、発デポの選択肢集合 S を決定する。

Step-4 着デポの選択肢集合の決定：着ノードから 300m 以内の距離にデポがあるかを探索し、さらにその中で駐車台数に空きがあるデポを探索し、着デポの選択肢集合 S' を決定する。

Step-5 発着デポの決定：発デポの選択肢集合 S 、着デポの選択肢集合 S' の中で最短距離のデポを決定し、当該ト

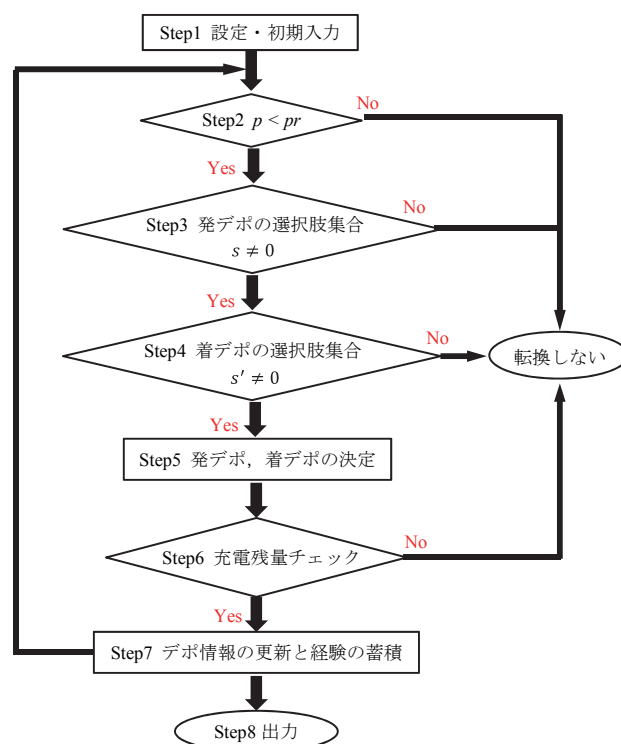


図-10 シミュレーションフロー

リップに用いる発着デポを決定する。

Step-6 充電残量チェック：利用する車両の充電残量をチェックする。

Step-7 デポ状況の更新：発着デポでの MEV 台数情報の更新，および個人ごとに予約が受け付けられたか否かの経験を蓄積する。

Step-8 出力：すべての OWS システムの潜在利用者に対して発生時刻順に Step-2以降の操作を繰り返す。

最終的に総利用回数，予約受付率，MEV 稼働率などの OWS システム導入可能性の評価指標を出力する。

シミュレーション内でどの MEV を利用するかは，MEV すべてに固有の番号を割り振り，利用可能な発着デポ内にある最も小さい車両ナンバーの MEV を利用するものとする。トリップの開始時刻が早いトリップから OWS システムへの転換処理を行っていくが，図-12 に示すように，着デポが同じである 2 つのトリップがあった場合，A が先にトリップを開始するにもかかわらず B の方が先にデポに到着することもありうる。仮に着デポに空きが 1 つしかないとき，B が返却した時点で空きがなくなり，A は別のデポを探して返却しなければならない状況が生じる。これを避けるため，A の発着デポが決定した時点で，A は着デポの空きスペースを予約したとし，B が転換するか否かの判定を行っていくときには，A の予約により更新された着デポの情報の下で転換するかどうかの判定処理を行っていく。本来なら，OWS システムへの転換によって目的地までの所要時間に変化する場合，その後の活動や活動を行う目的地までの利用手段などが変化するはずである。しかし，それらを予測するためには別途，連続する活動やその活動時間を記述するアクティビティ分析モデルが必要となる。そこで，今回のシミュレーションでは，簡単のために OWS システムへの転換トリップの着時刻は転換前の交通手段が何であろうと，以前と同じになると仮定している。

このシミュレーションでは，個人が独立に仮のトリップを OWS システムへ置き換えるのではなく，多数の OWS システム利用者間での相互作用，例えば，発着デポでの利用可能な MEV の有無や着デポでの返却可能性はそれ以前の他の利用者の選択結果に依存するなどを考慮して OWS システムへの置き換え選択行動がなされる点が新しい。このような個人間の相互作用を毎回考慮しており，特徴の異なる利用者間での相互作用を考慮したマルチエージェントシミュレーションになっている。

(3) OWS システム選択モデルの組み込み

シミュレーションに組み込んだ OWS システム選択モデルでは，トリップごとの OWS システムへの置き換え確率を算出し，発生させた一様乱数がその値より小さい場合には置き換えると判定する。この OWS システムへ

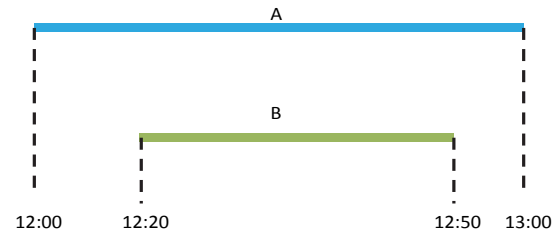


図-11 着デポが同じ転換トリップ

の置き換え確率は一日ごとに更新するが，OWS システム選択モデルには車両の偏在のために借りたいデポの MEV が予約ができないというリスクを表す「デポに MEV がない確率」という変数が導入されているため，日を更新する毎に，予約が受けられなかった経験が更新され，デポに MEV がない確率の値が考慮された置き換え確率が算出されることになる。したがって，OWS システム選択モデルをシミュレーションに組み込むことで利用可能な MEV が不在であったり，着デポへの駐車ができないなど，予約が受けられないことが続くと，トリップの置き換え確率は小さくなっていくという構造になっている。SP 調査で尋ねている「デポに MEV がない確率」は客観的確率であるのに対して，シミュレーションの中でのそれは予約が受けられない経験の蓄積によって逐次更新される主観的確率であり，本質的には異なるものである。しかし，ここでは，更新される主観的確率が選好に影響を与える閾値を SP 調査では客観的確率として提示したと考える。

5. OWS システムの挙動に関するシミュレーション分析

(1) デポ，配車数/デポ，MEV 総数，料金，予約条件の基本設定

デポ数，駐車台数，配車数，料金，予約条件の初期条件の設定値を表-5 に示す。1 デポ当たりの駐車台数，配車数，料金，予約条件は，現在運用されているカーシェアリングのサービス水準を参考にして設定した。シミュレーションを実施する分析対象エリアのトリップの発着ゾーンを図-12 に，デポの配置位置を“●”で示す。デポは熊本都市圏 PT 調査 C ゾーンの 29 のゾーンに対してはゾーン内の駅や電停付近に 1 箇所ずつ配置し，中心市街地には町丁目ごとに 1 箇所，配置した。

基本条件のもとでシミュレーションを 90 日間実行したときの平均利用トリップ数や予約受付率などの結果を表-6 に示す。予約受付率とは置き換え意向のあるトリップから実際に OWS システムに置き換えたトリップの比率である。予約不可トリップとは予約時に発着デポに利用可能な MEV がないために予約が受け付けられなかったト

表-5 基本設定

デポ	駐車 スペース	配車数	料金 (円/分)	予約条件
42箇所	5/デポ	3/デポ	20	30分前

表-6 基本設定での出力結果

	平均	標準偏差	変動係数
予約受付トリップ数	1841.3	76.26	0.04
予約受付率	0.46	0.02	0.04
車両不在による予約不可トリップ数	954.2	94.24	0.10
駐車不可による予約不可トリップ数	1169.0	110.41	0.09
車からの転換数	444.1	25.67	0.06
徒歩からの転換数	941.4	41.94	0.04
バスからの転換数	95.04	10.73	0.11
使用台数	124.67	1.29	0.01
稼働率	0.99	0.01	0.01
利用時間(分)	28541.3	1265.45	0.04

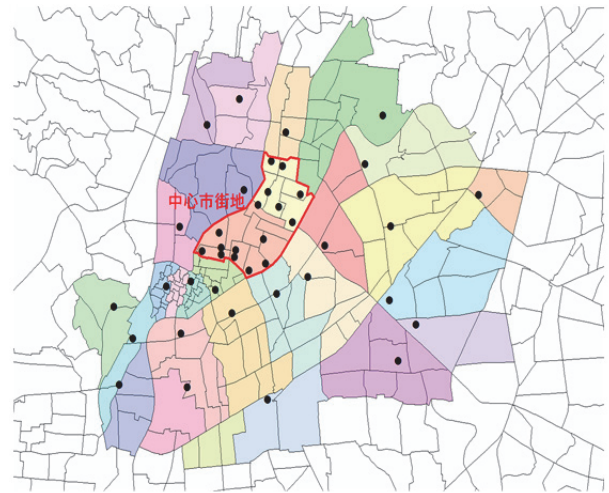


図-12 デポの配置

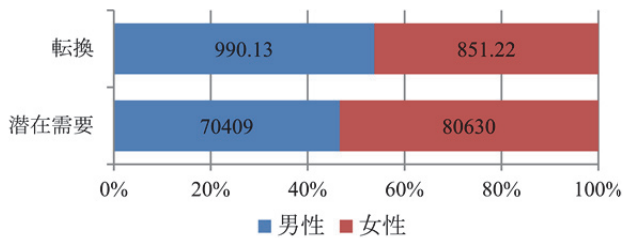


図-13 男女別のOWSへの転換

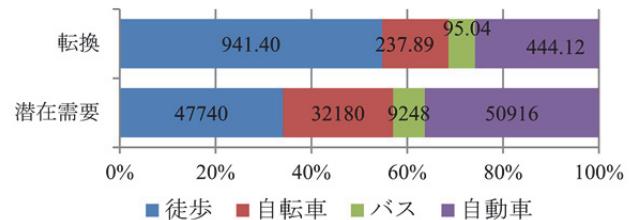


図-15 交通手段別のOWSへの転換

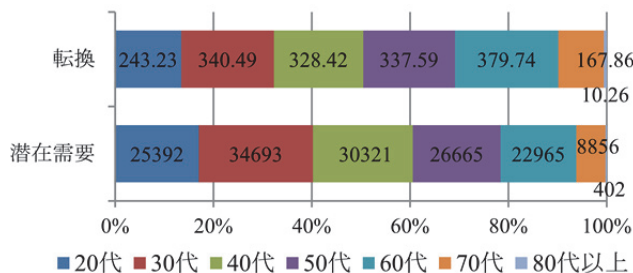


図-14 年齢別のOWSへの転換

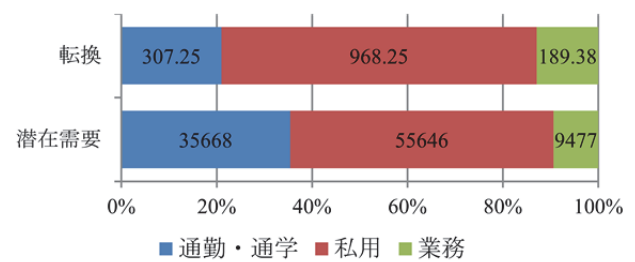


図-16 目的別のOWSへの転換

リップと、予約時に着デポに駐車スペースの空がないために予約を受け付けられなかったトリップの両方がある。使用台数とは総MEV台数126のうちで利用された台数である。稼働率とは総MEV台数のうち使用された車両台数の比率であり、全車両が1日に1回でも使用されれば100%となる。この値が高いほど効率的な運用となっていることを示す。利用時間はOWSシステムに転換した全てのトリップのトリップ時間の合計である。

潜在需要のうち1,841トリップ（約12%）がOWSシステムを利用するという結果が得られた。図-13、図-14にOWSシステムへの男女別、年齢別の転換割合を示す。転換の割合は男女でほぼ等しく、20代から60代の各年代でほぼ等しい。図-15に現利用交通手段別の転換割合を示す。徒歩からの転換の割合が高い。図-16に目的別の転換割合を示す。私用目的での利用が高い。図-17には

デポごとの平均発着回数を示す。また利用頻度が高いODを矢印で示した。中心市街地のデポでの利用頻度が高いこと、デポごとに利用頻度がかなり異なること、特定のOD内での利用が多いことが分かる。利用頻度が多いのは、水道町一下通2丁目、手取本町一新市街、下通一内坪井町などのデポ間であり、距離的には60m～1,500m程度の短距離トリップである。図-18に90日間の個人の予約不可回数を示す。着デポでの駐車不可での予約不可の回数が多く、最大23回、発デポでの車両不在で最大22回、予約が受けられない利用者が生じている。

(2) OWSシステム導入による環境負荷削減効果

基本条件のもとでのOWS導入による環境負荷削減効果を検討する。CO₂排出量を算出するためには、ガソリン、電力の排出係数とMEVの電力量消費率を定義する

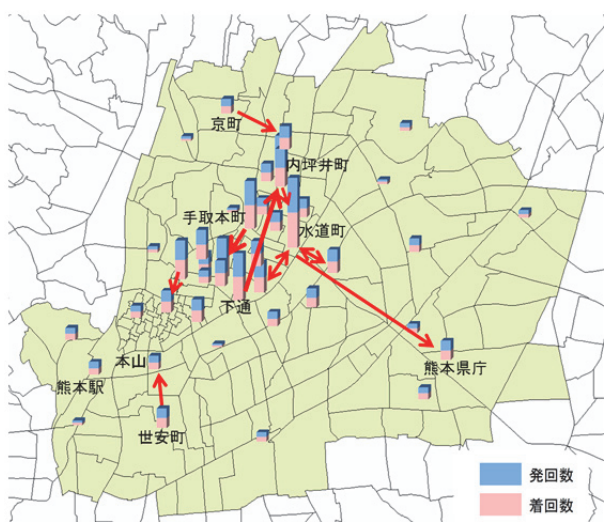


図-17 デポの平均発着回数

表-7 排出係数と MEV の電力量消費率	
ガソリン	0.0183 tC/GJ
電力	0.000387 tCO ₂ /kWh
電力量消費率	0.106 kWh/km

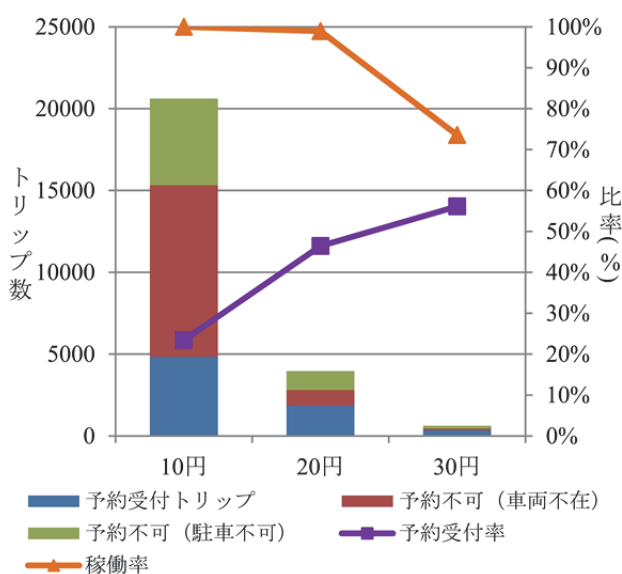


図-19 料金設定の各ケースの比較

必要がある。CO₂排出係数は環境省が定める CO₂ 排出係数を使用し、MEVの電力量消費率は現在販売されている電気自動車でも最低の電力量消費率を使用し、それぞれ表-7のように定めた。OWS導入前のCO₂排出量は、自動車からOWSに転換したトリップが転換前と同様に自動車によるトリップを行った場合の排出量である。OWS導入後のCO₂排出量は、OWSに転換したトリップがMEVを利用した場合の排出量である。

OWS導入前後のCO₂排出量を表-8に示す。90日間で5.53 (tCO₂) のCO₂削減効果がみられた。熊本市の運輸

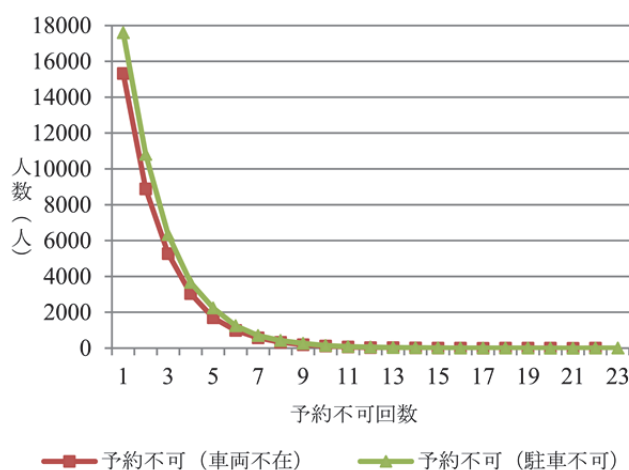


図-18 90日間の予約不可回数

表-8 OWS システム導入前後の CO₂排出量と削減効果

	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
OWS 導入前	1577.51
OWS 導入後	1571.97
削減効果	5.53

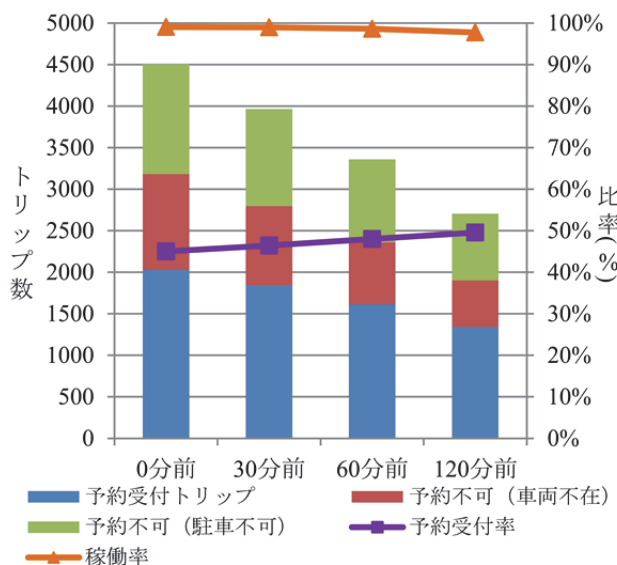


図-20 予約条件の各ケースの比較

部門におけるCO₂排出量が年間958 (千tCO₂) であるから、わずかではあるものの、 $0.234 \times 10^{-2}\%$ 程度のOWSによる環境負荷削減効果が確認された。

(3) 各要素に関する感度分析

料金、事前予約条件、デポの駐車台数や配車数がOWSシステムの運用に与える影響を感度分析する。以下では、運用の効率性を表す指標として利用トリップ数、予約受付率、および稼働率を用いる。

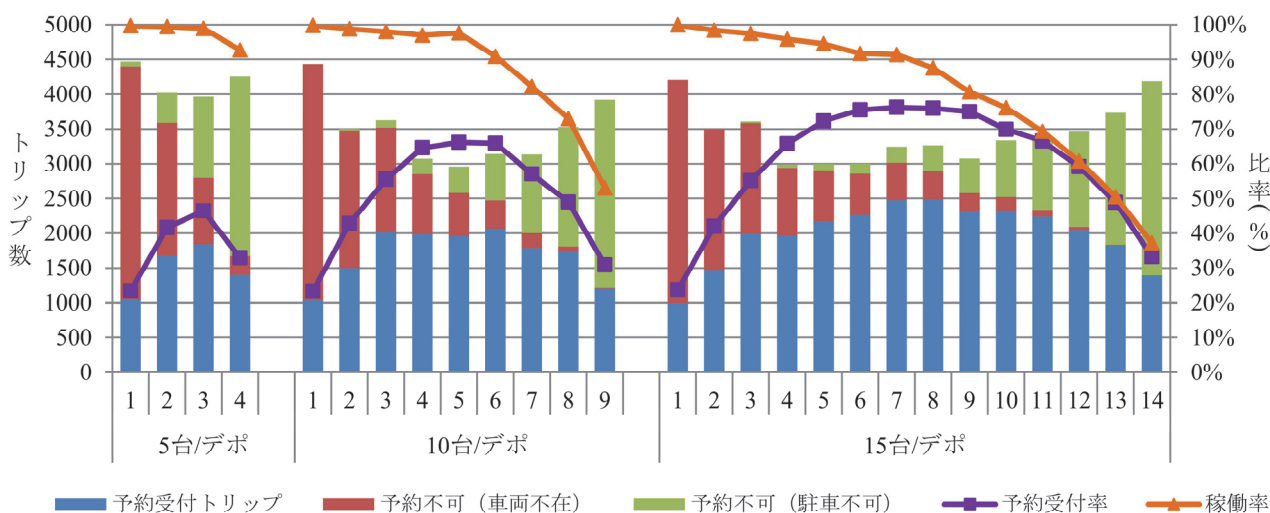


図-21 駐車台数別の効率性の比較（5台、10台、15台時）

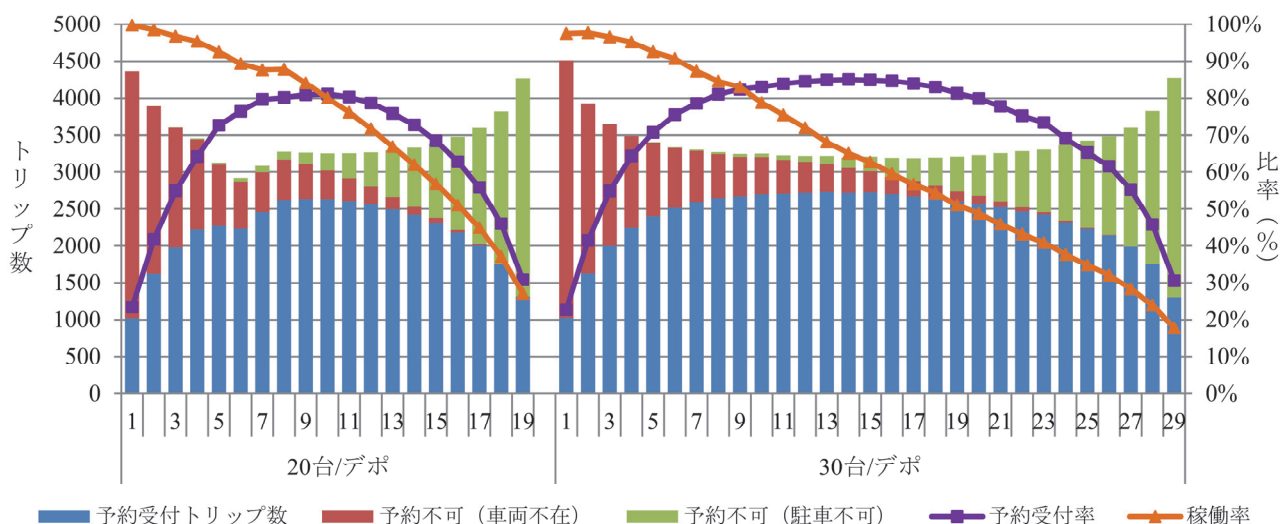


図-22 駐車台数別の効率性の比較（20台、30台時）

a) 料金

他の条件は初期条件のままにして、料金設定だけを基本条件20円から10円安価の10円、10円高価の30円の3ケースでシミュレーションを行って料金に対する感度を分析した。図-19にケースごとの効率性評価指標値を示す。実際に運用されているカーシェアリングの一般的な料金は20（円/分）程度であるが、料金設定を10（円/分）と安値に設定した場合、平均利用トリップ数は20（円/分）時の約2倍に増大し、30（円/分）に引き上げた場合は6分の1に減少する。料金設定が利用数に与える影響は非常に大きいことがわかる。これら3ケースの間で予約受付率には大きな差は見られないが、利用意向のあるトリップ数が大きく異なるために、車両不在や駐車不可のために予約を受け付けられないトリップ数は多くなる。稼働率は需要量が多い10（円/分）で100%となるが、30

（円/分）では70%程度に低下する。

b) 事前予約条件

30分前が基本であった事前予約条件を、0分前から、60分前から、120分からの3ケースでシミュレーションを行った。図-20にケースごとの効率性評価指標値の比較を示す。予約条件の設定は、料金ほどには利用トリップ数や予約受付率に与える影響は大きくないが、予約条件が緩い0分前ではOWSシステムの需要は増加する。料金設定に関するシミュレーション結果と同様に、利用トリップ数が減少するにつれて稼働率は低下する傾向がある。

c) 駐車スペースと配車数

デポ当たりの駐車スペースを5、10、15、20、30台の5ケース設定し、それぞれのケースで配車数を1台ずつ増やしていった場合のOWSシステムの運用効率性評価指

標の挙動を検討する。図-21、図-22に駐車スペース別の効率性評価指標値を比較したものを示す。1デポ当たりの配車数が少ないと、発デポでの車両不在が増えるために予約受付率は低くなる。一方、配車数が増えると、着デポでの駐車不可が増えるため予約受付率が低くなる。予約受付トリップ数や予約受付率の観点からは、駐車スペースに対して0.4～0.6倍の配車にしておくことが望ましいと考えられる。一方、稼働率は、駐車スペースと配車数の増加につれて低下していく。稼働率も考慮すると駐車スペースの0.2～0.3倍の配車数が望ましいが、配車数が0.4～0.6倍の時よりも車両の不在が増えることになる。さらに、油脂を燃料とする車両と違って、MEVは駐車デポで充電が必要であり、その間、車両は存在しても実際に利用できる車両は少なくなる。稼働率は低下するものの、配車数には一定の余裕が必要であり、その意味でも駐車スペースに対して0.4～0.6倍の配車数にしておくことが望ましい。

(4) フランスautolib'との比較

ここで提案したOWSシステムの導入可能性分析結果

と安藤ら^{7,8)}がフランスパリにおけるカーシェアリングautolib'のサービス開始前後で行った利用意向調査の結果とを比較する。autolib'は2011年12月より運用を開始したパリ市を中心にサービスを提供するワンウェイ型のカーシェアリングである。アンケート調査は運用開始前の2011年11月と、開始後1年を経た2013年1月の2時点で実施されている。比較の結果を表-9に示す。サービス範囲はautolib'が50km圏域と広い。駐車スペース、配車数を見るとautolib'とOWSシステムの規模に大きな違いはないが、デポ数を見るとautolib'は1,000箇所であり、OWSシステムの42箇所と比較すると規模が大きい。料金体系はautolib'では短時間利用を促すシステムになっているのに対し、OWSシステムでは分単位で料金を加算している点が異なっている。サービスの仕様において最も特徴的な違いは、autolib'がデポ配置場所が駐車場だけでなく、「路上」空間を活用している点である。これは近年欧米で拡大傾向にある「フリーフロート型」のカーシェアリングであり、限りなく自家用車に近い感覚で利用できる点と豊富な車両台数を提供できる点が特徴である。OWSシステムでもこの特徴を取り入れるとより利便性が増すことが

表-9 autolib'とのサービス比較

		autolib'	OWS システムシミュレーション
サービスの仕様	サービス範囲	パリ市及び周辺市の 50km 圏域	熊本市中心部半径 5km 圏域
	サービス形態	One-way 事前予約により返却駐車場の予約必要	One-way 事前予約により返却駐車場の予約必要
	充電方法	予約時に充電残量を確認する	予約時に充電残量を確認する
	投入台数	250 台 (2011.12) 1,000 台 (2012.3)	126 台 (基本設定時)
	デポ数	1,000 箇所 (400m 間隔)	42 箇所
	駐車台数	6 台/デポ	5 台/デポ (基本設定)
	配車数	3 台/デポ	3 台/デポ (基本設定)
	料金体系	会費 : €144/年 (約 20,000 円) 利用時 : 最初€5/30 分 (約 700 円/30 分) 次 €4/30 分 (約 560 円/30 分) その次 €6/30 分 (約 840 円/30 分)	20 円/分
事前調査結果	個人属性	男性の利用意向が高い 若年層の利用意向が高い	男性の利用意向が高い 20代から 50 代の利用意向が高い
	日常の移動特性	マイカーの稼働時間 5% (95%が駐車時間)	「自動車」 73% 「自転車」 11.2%
	自動車利用特性	週 5-6 日以上ほぼ毎日利用が過半数 「通勤手段としてのクルマの利用」 72%	「通勤手段としてのクルマの利用」 55% 「買い物手段としてのクルマの利用」 20.3%
	利用意向	「是非利用しようと思う」 5% 「機会があれば利用したい」 11%	「是非利用しようと思う」 2.6% 「条件が合えば利用しようと思う」 30.3%
	想定利用形態	通勤・通学	「業務」 43.2% 「買い物」 37.4%
	利用しない理由	「所有しているマイカーで十分」 19% 「最寄りのデポまで行くのが面倒」 15% 「返却先の予約が面倒」 14%	「今の交通手段が便利」 18.5% 「最寄りのデポまで行くのが面倒」 24.4% 「事前の予約が面倒」 27.7%
autolib'の利用実態との比較	利用目的	買い物、レジャー、娯楽	買い物
	特徴的な利用形態	深夜帰宅のタクシーの代わり	30代～60代の転換割合が高い 中心市街地内のデポの利用頻度が高い
	主な効果	「マイカーの利用回数が減った」 67.4% 「EV に対する評価や認識が変わった」 69.8%	OWS による環境負荷削減効果

考えられる。

事前調査結果を比較すると、どちらも男性の利用意向、20代から50代の若年層の利用意向が高いことが共通している。日常の移動・自動車利用特性を見ると、両者ともに通勤手段として自動車の利用が高く、日常的に自動車への依存度が高いことがわかる。利用意向はautolib'が「是非利用しようと思う」、「機会があれば利用したい」と約16%が回答したのに対し、OWSシステムでは約30%が「是非利用しようと思う」、「条件が合えば利用しようと思う」と回答しており、OWSシステムへの利用意向の方がやや高い。利用しない理由として、順番は異なるものの、いずれも上位3つの回答が同じで、「今の交通手段が便利」、「デポまでのアクセスが面倒」、「事前予約が面倒」を挙げている。

autolib'とOWSシステムとも、主な利用目的は買い物が多い。特徴的な利用形態として、autolib'では深夜帰宅のタクシーの代わりといった利用形態が多い。OWSシステムでは、30代から60代の転換割合が高いこと、中心市街地での利用頻度が高いことが挙げられる。シェアリングサービス導入による主な効果は、autolib'では「マイカーの利用回数が減った」、「EVに対する評価や認識が変わった」といった効果があった。OWSシステムではシェアリングサービスによる環境負荷削減効果を確認できた。

6. おわりに

以下に、本研究で得られた主な成果と今後の課題を併記する。

- 1) 車両の偏在により予約が受けられないリスクを考慮したモデルを構築した。このモデルを組み込んだシミュレーションを行うことによって、OWSシステムの挙動を予測することができた。
- 2) 料金、事前予約条件、デポの駐車スペース、配車数がシステムに与える影響について検証し、料金設定の変動がシステムに与える影響が大きいこと、利用トリップ数、予約受付率を考慮した場合、駐車台数に対し0.4~0.6倍の配車数にすることが効率的であることを明らかにする

ことができた。

- 3) デポは今回任意に配置したが、需要の偏りを考慮したデポの配置について検証していくことが必要である。また、デポの位置やデポごとの配車台数の最適化が求められる。
- 4) システムの挙動は表現できたが、OWSシステムの効率的な運用のためには、利用者に適切にサービスを配分することが必要であり、需要と供給をマッチングさせるシステムの開発などが今後の課題である。
- 5) 本シミュレーションモデルは、同様のシェアリングサービスを行っている自転車シェアリングシステムにも適用可能であり、近年、多くの都市圏でその導入が拡大している都市型自転車シェアリングシステムの駐輪ロットの配置や規模の決定などへも応用できる。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局街路交通施設課、国土交通省自動車交通局技術安全部環境課：超小型モビリティの利活用に関する実証実験等による調査業務，2011.
- 2) 国土交通省都市局・自動車局：超小型モビリティ導入に向けたガイドライン，2012.
- 3) 山本俊行，中山昌一朗，北村隆一：再配車を用いない複数ステーション型共同利用システムの挙動に関するシミュレーション分析，土木学会論文集，No.786/IV-67，pp.11-20，2005.
- 4) 山本俊行，木内大介，森川高行：自動車共同利用による自動車保有削減可能性に関する分析，土木学会論文集，Vol.63，No.1，pp.14-23，2007.
- 5) 斉藤いつみ，羽藤英二：時間的選択構造に着目したEVシェアリングの加入・利用選択モデル，都市計画論文集，Vol.46，No.3，pp.271-276，2011.
- 6) 平石浩之，中村文彦，大蔵泉：カーシェアリング社会実験の現状と導入に向けた計画手法の課題，土木学会論文集，No.786/IV-67，pp.3-10，2005.4.
- 7) 安藤章，山本俊行，森川高行：EU諸国のEVカーシェアリングの最新動向と市民の利用意向に関する分析，都市計画論文集，Vol.47，No.3，pp.757-762，2012.
- 8) 安藤章，山本俊行，森川高行：路上乗り捨て型EVカーシェアリングが市民意識と交通行動に及ぼす影響分析ーパリ市・autolib'を例としてー，都市計画論文集，Vol.48，No.3，pp.465-470，2013.

(2015. 2. 27 受付)

SIMULATION MODEL FOR INTRODUCTION OF ONE-WAY MICRO ELECTRIC VEHICLE SHARING SCHEME

Shoshi MIZOKAMI, Kenta NAKAMURA and Junya HASHIMOTO

The concept of car sharing is becoming popular all over the world because it greatly lessens environmental impact and provides individuals with an alternative transportation mode. One-way car sharing is convenient because users can access vehicles in one depot at any time and then return them to another. This “one-way car sharing” has spread globally. However, problems can arise, mainly as a result of the uneven distribution of vehicles, which can make it impossible to reserve a vehicle in some locations.

In this research, we set out to verify the possibility of introducing one-way car sharing by creating a model of such a scheme, which we applied to an analysis of the scheme’s operation. The results of our study revealed that the scheme will be most efficient when the number of allocated vehicles is equal to approximately half the capacity. We also confirmed the reduction in the environmental impact.