

再配車によらない電気自動車の共同利用システムの効率化に関する研究 A Study for Efficient Management of an Electric-Vehicle Sharing System without Vehicle Dispatching

中山晶一朗¹, 山本俊行², 北村隆一³

by Shoichiro NAKAYAMA, Toshiyuki YAMAMOTO, Ryuichi KITAMURA

1 はじめに

近年, 地球温暖化など環境問題が深刻に報じられている。その一対策が電気自動車(Electric Vehicle, 以下EV)の利用であり, 現在では市場販売も開始されている。EVは車輛そのものからは排気ガスを一切排出しない, エネルギー効率が良い, 振動・騒音が少ないといった特長をもち, 環境負荷の少ない自動車である。しかし, 従来のガソリン車に比べて1回の充電での航続距離が短い, 充電に時間・手間がかかる, 車両価格が高いなどの短所を持つ。このような理由により, EVの普及は思うようには進んではいないのが現状である。

EVの短所を補う方法の一つとして, 近年, EVの共同利用に注目が集まっている^[1]。これは, EV専用の充電器を備えた駐車場を高層集合住宅地, 鉄道駅, 公共施設等に設置し, これら駐車場のどこからでも貸出・返却を可能とするシステムである。共同利用システムはレンタカーシステムとは異なり, 会員は自動車を1日や半日単位ではなくトリップ単位で利用することが可能であり, より多くの人が一台の自動車(EV)を利用できる。このような共同利用システムでは, 環境負荷の少ないEVを用いることで自動車の排気ガス問題を解決し, 1台のEVを複数人により使い回すことで, EV購入費用の(一人当りの)負担や駐車場にかかわる諸費用を軽減することができる。また, 共同利用システムは, 長期的には自動車の生産台数を削減することをも可能とし, 資源の節約, 自動車生産に伴う二酸化炭素排出量の抑制につながる^[2]。複数の場所に充電施設を設置することにより, 航続距離が短いというEVの欠点を補填することが可能である。

この様な認識の下, 京都市では平成12年12月より, 「京都パブリックカーシステム」という名称で, 2人乗り超小型EVの共同利用が開始されている。京都パブリックカーシステムは会員制であり, 会員は予約が受け付けられれば複数ある駐車場のうちいずれの駐車場からでもEVの貸出・返却ができる。本研究で取り上げる事例は京都パブリックカーシステムであるが, 京都パブリックカーシステムの

ほかにもEV共同利用システムは横浜, 多摩, 大阪, 神戸などでも実施されている。海外でも, カリフォルニアでのUCR IntelliShare^[1]やCarLink^[2], フランスでのPraxitéle Trial^[3]やLISELEC, スイスのCityCarなどのEV共同利用のプロジェクトが実施されている。

共同利用システムの多くは利用者の利便性の向上などのため, 複数の駐車場を持っている。しかし, それによって幾つかの問題も生じている。まず, 特定の駐車場にEVが集中するなどのために希望通りにEVを利用できなかったり, 駐車場が満車でEVを駐車・返却することができないことにより運用効率が低下することがあげられる(利用偏在による効率低下)。また, 利用予約のキャンセルや返却の遅れによって見込んでいた貸し出しが不可能になることなどの問題も考えられる。システムの運用にはEVの充電量の考慮も必要となる。これらの問題に対処し, システムを効率的に運用するためには, 各駐車場の充電器数, 駐車スペース(京都パブリックカーシステムの場合充電器数と同じ), EV配置台数などを最適な値に設定することが必要と考えられる。

EV共同利用の(車輛挙動を中心とした)運用に関しては, Barth & Todd^[4], 安部ら^[5], Blossville et al.^[6]の研究があり, いずれも複数の駐車場を用いたシステムの効率性について検討を加えている。これらの研究では, 需要の偏りに対してシステム側で運用時間中に配車を行う(不足している場所へシステム側がEVを運ぶ)ことが前提となっている。しかし, 運用時間中の配車に要する費用は, システムの採算性向上の足かせとなる。また, 海外や離島での例であることもあり, 駐車スペース(1台の車輛が駐車可能な空間)の数などが考慮されていない。本研究では, 費用削減のために運用時間中の配車を行わないことを前提としたシステムの効率化を検討する。配車がないため上記の3つの既往研究では考慮されていなかった会員属性の分散による需要の均一化や予約を選定すべきか(車輛が特定駐車場に集中するような予約は受け付けない方が良いのか)などの問題を駐車スペース問題とともに考慮した総合的なシステム効率化がこれまで以上に重要となる。しかし, このように総合的に様々な要因を考慮してシステムを設計すると変数が膨大となるという問題が発生する。そこで, 本研究では遺伝的アルゴリズム(GA)^[7]を用いることにより総合的なEV共同利用システムの最適化のシミュレー

Key words: 自動車保有・利用, 電気自動車, GA, 共同利用システム

¹ 正員 博(工) 金沢大学工学部(〒920-8667 金沢市小立野2-40-20, Tel: 076-234-4614, Fax: 076-234-4632)

² 正員 博(工) 名古屋大学大学院工学研究科

³ 正員 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科

シモン分析を行い、その効率化について考察する。

2 京都パブリックカーシステムの概要

京都パブリックカーシステムは、平成 12 年 12 月 18 日より京都市において運用が開始された会員制の EV 共同利用システムである。会員数はシステム開始時点で 198 人で、以降、幾度かの会員の追加募集を行っている。会員の EV の利用は当初無料であったが、平成 13 年 9 月以降は有料となっている。また、京都パブリックカーシステムは最近開設された 2 ヶ所駐車場を含め、京都市内全域をカバーするように 7 ヶ所の専用駐車場を設置している。

システムは 2 人乗り小型 EV であるトヨタの e-com と日産のハイパーミニを合計 35 台保有している。両方とも同じシステムで運営しており、性能もほぼ同一で、一回の充電で約 100km 走行することが可能である。小型 EV であることの利点は、1) 駐車スペースが少なくすむ、2) 狭い街路でも走行可能、3) 環境への負荷が小さい、4) ランニングコストが低くすむ(夜間充電で約 1 円/1km)ことである。

会員が EV を利用するには、i モードや EZweb などを含むインターネット、もしくは各駐車場に設置された端末により、予約をあらかじめ行う必要がある。この際、出発駐車場、返却駐車場、出発予定時刻、返却予定時刻、予定走行距離などを申告することになっている。この申請に基づき、システム運用側は予約を受け付けるかどうかを決定する。予約の受け付けが許可されると、会員は EV の利用が可能となる。その後、会員は申告した時刻および駐車場から EV に乗車し、申告した時刻および駐車場に EV を返却する。有料後(平成 13 年 9 月以降)は申告した時刻を大幅に遅れたり、申告と異なった駐車場に返却すると罰金が科せられる。また、貸出・返却時には駐車場にある端末(デポターミナル)で各会員が持つ IC カードにより貸出・返却の手続きを行う。この IC カードは EV の鍵の代わりでもある。

以上の京都パブリックカーシステムの特徴をまとめると以下ようになる：

- 1) 2 人乗りの小型 EV、
- 2) インターネットのみによる予約(予約受け付けの自動処理)、
- 3) 無人貸出・返却、
- 4) 短時間の貸出(4 時間以内)。

3 最適化問題の定式化およびシミュレーションの概要

(1) 最適化問題の定式化

プロジェクトを成功させ将来の事業化を図るためには、システムの収益性を確保することが必要であり、1 日当り EV がどれだけの回数利用されるかということは非常に重

要な要因である。一方、利用者側(会員)にとっては EV の利用回数は必ずしも高い方が良いとは限らない。つまり、システム運用側が総利用回数向上のために会員数を増やした場合、EV 利用の予約申込の絶対数が増加し、そのために予約が受け付けられる確率が低くなり、会員の満足度が低下する、という状況が危惧される。

本研究では、このようなトレードオフを考慮するために、1 日における 1EV 当たりの利用回数(1EV 利用回数)を最適化問題の目的関数とし、これを最大化するが^[3]、システムへの会員の満足度を最低限確保するため、全予約申込数に対する実際の予約成立回数の割合(以下、予約充足率)が 50%以上となることを制約条件とする^[4]。EV 一台当たりの利用回数に影響を及ぼす要因として、本研究では、総 EV 台数および各駐車場での EV の初期配置台数(その日の開始時刻での配置台数)、会員数、会員構成比、各駐車場の増設充電器数(充電器増設の場合)、EV 偏在を許容するかどうか、それを許容しない場合の EV 偏在規定値(次段落を参照)などを考慮する。

EV の利用に対する需要に時間的、方向的な偏りがあると、特定の駐車場に EV が集中したり、逆に特定の駐車場で待機する EV 台数が極端に少なくなる、「EV の偏在」が発生することが考えられる。EV が偏在すると、効率的な運用が阻害されることになる。したがって、受付可能である予約であっても、EV が偏在するようになる場合は、あえてその予約を受け付けないことによって、システムの効率性を向上させることが可能となる場合があると考えられる。例えば、午前中は偏在を許容せず、バランスの良い配車を保っておき、需要の大きい午後に備えるとともに、午後は偏在を許容することで、EV 貸出回数を増やすなどである。本研究では、偏在の定義について、以下の条件を満たすとき偏在が発生しているものとする。

出発地 駐車 EV 台数 < (出発)偏在規定値
返却地 空き駐車スペース < (返却)偏在規定値

つまり、出発地である駐車場において残りの駐車 EV 台数が偏在規定値を下回った場合、あるいは返却地である駐車場において残りの空き駐車スペースが偏在規定値を下回った場合、偏在が発生しているとするものである。

(2) シミュレーションモデルの概要

本研究では、最適化計算を行うにあたって、時間を離散化し、離散化した各時点での各 EV の状態量を逐一再現していく、ピリオディック・スキャン(periodic scan)方式に基づくシミュレーションアプローチを採用する。シミュレーションでは、各 EV の各時点での状況を、以下の二つの変数によって表現した：1) EV の位置(待機している駐車場番号で表記、ただし、貸し出し中は 0)、2) EV の充電量(単

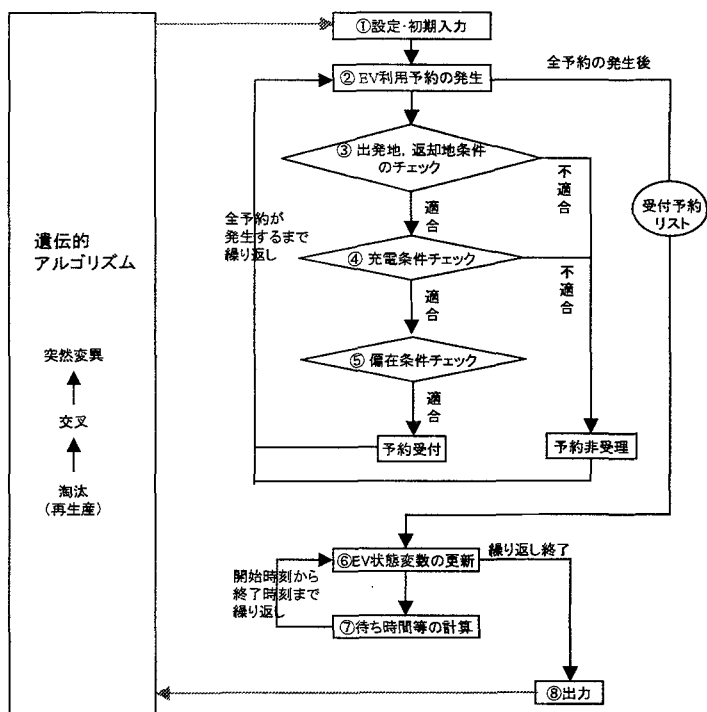


図1 シミュレーションの流れ

位:%)。なお、スキャンニングの間隔は5分としている。

個々の予約の、予約発生からその予約の遂行と終了に至るまでのシミュレーションの計算手順を図1に示す。シミュレーションでは、まず、全ての予約を発生させ、受け付けられた予約のリスト(受付予約リスト)を完成させる。EVの返却遅れ等を含む実際のEVの挙動などは受付予約リストを元にピリオディック・スキャン方式によりシミュレートする。

シミュレーションモデルの手順

①設定および初期値入力

駐車場数、各駐車場の充電器数、総EV数、各駐車場のEV初期配置数、会員数、会員構成比等を入力。

②EV利用予約の発生

会員が予約するEV利用開始予定時刻、EV返却予定時刻・出発地・返却地・予定走行距離を決定。

③出発地、返却地条件のチェック

出発地にEVがあるか、EV返却予定時刻において返却地に空き駐車スペースがあるか、の2条件が満たされているかどうかを調べる。

④充電条件のチェック

時間軸上においてEVの充電状況を予測計算し、出発地の利用可能なEVが充電されているかどうかをチェックする。

⑤偏在条件のチェック

偏在を許容しない場合は、その予約を受け付けると、前節で述べた偏在を起こすのか、起こさないのかを調べる。③④⑤の条件が満たされれば予約が受け付けられることになる。逆に、それらの条件が満たされなければ予約は受け付けられず、その予約は消滅する。予約が受け付けられれば受付予約リストにその予約は追加される。

⑥EV状態変数の更新

受付予約リストに基づき、各EVの状態変数(位置変数、充電量)を計算する。ここで、受け付けられた予約への返却遅れや予約キャンセルを発生させる。

⑦待ち時間の計算

返却遅れやキャンセルの発生により、予約が受け付けられたにもかかわらず、EV利用のためにEV到着を待つ時間等を(逐次)計算する。

⑧出力

1EV当りの延べ利用回数、予約充足率、1EV当りの時間稼働率(総貸し出し時間/システム運営時間)などを出力する。

最適化に際しては既に述べたように遺伝的アルゴリズム⁷⁾を用いる。遺伝的アルゴリズムの適用にあたり、最適化を行う変数を2進法にコード化した遺伝配列の数は50とし、上述の目的関数である1EV当たりの利用回数により適応度を算出した。また、最適解が求まりやすいように上位5位の遺伝配列を無条件に再生するエリート戦略を用い、交叉は一点交叉法、突然変異率は0.1%とした⁸⁾。

(3) シミュレーションのケース

EVの共同利用システムを新たに立ち上げる時には、当然のことながら、EV利用への需要が分からない状態で計画を立てなければならない。本研究では、一会員が一日にEVを利用する回数は他のEV共同利用システム(多摩での実験)での数値である0.2回を用い、会員が何時にEVを利用するかやどの駐車場からどの駐車場まで行くのかという需要の時間的・空間的分布をパーソントリップ調査から得ることとした。何時にどの駐車場からどの駐車場へ行くのかという予約の内容はパーソントリップ調査からの1時間毎の集計値から分布を作成し、シミュレーションではそれに基づき確率的に決定した。このようなシステム運営前でのシミュレーションを事前シミュレーションと呼ぶこととする。

次に、各要因を最適化することによって運営効率をあげることが出来るのかなどをより現実的に検討するために、実際の京都パブリックカーシステムの運用データを用いて

シミュレーションを行う。これを事後シミュレーションと呼ぶこととする。この事後シミュレーションではシステム開始直後の平成 13 年 1 月時点でのデータを用いており、駐車場数などシミュレーション設定もそのときのものである。

最適化パラメータの中には、短時間で簡単に変更が可能であるものもあれば、工事などが必要で時間的にも費用的にも変更に大きな負担がかかるものもある。そこで、どの要因を最適化パラメータとして取り上げるかについては、以下の 4 つのケースを設定し、それぞれのケースにおいて最適化を行うこととした：ケース 1) 配置される総 EV 数(京都パブリックカーシステムが利用権を持つ 35 台を最大とする)、初期 EV 配置、偏在に関するものなど比較的容易に変更可能な要因のみに関して最適化を行なう。したがって、このケースの結果は極めて実行可能性が高いものとなっている；ケース 2) ケース 1 での最適化パラメータに加え、会員数および会員構成比も最適化パラメータとする。この会員数や会員構成比の変更は多少の時間や費用を要するものの、比較的执行可能なものである。このケースを検討することにより、会員数や会員構成比を変更すべきかどうかの判断材料となると考えられる^[6]；ケース 3) 既存の駐車場に計 6 基の充電器(駐車スペース)を増設する場合を想定し、ケース 2 での最適化パラメータに加え、各駐車場の増設充電器数を最適化パラメータとする。駐車場に関するパラメータの変更は、不動産所有者や駐車場管理者等との協議が必要であることや、多額の費用が必要とされるため、概して困難である；ケース 4) 既存の 5 ヶ所の駐車場は変更されず、新駐車場(充電器数：6 基)が増設された場合を想定し、最適化を行う。なお、ケース 4 における新駐車場の位置としては、京都パブリックカーシステムにおいて実際に運用開始を計画している京都ホテル地下駐車場に設定した^[7]。ケース 3 とケース 4 を比較することにより、充電器数を増やす場合、既存の駐車場に増設する方が良いのか、新たな駐車場を設置し、そこに配置する方が良いのか、を検討することが出来る。

4 シミュレーション分析の結果

(1) 事前シミュレーション

様々な制約のために、システム開始前に駐車場の数やそれらの位置、会員数はそれぞれ決定していたため、システムの開設前に焦点になったのは会員の構成をどのようにするのかであった。事前シミュレーションでの設定とその結果は表 1 の通りである。表 1 のように 1EV 当たりの利用回数は 1.39 となった。このような低い値となった原因は、返却する駐車場に駐車スペースが無かったり、利用できる EV が無かったりなどの出発地・返却値条件によって予約が受け付けられないことが多かったことが原因と考えられる。実際の京都パブリックカーシステムの運用開始時では、

会員数 198 人、1EV 利用回数は 1.26 であった。また、会員構成は主婦・学生・業務関係の 3 つであり、その比は 3:12:85 であった。会員数が 198 人であることを考えると、事前シミュレーションよりも、実際の運用状況の方が利用回数は多かったと考えられる。このような結果の違いは、パーソントリップ調査でのトリップと EV 利用でのトリップでは異なっていることが一つの原因と考えられる。通常のトリップのうちシステム利用に適したトリップが単に EV へ転換しただけではなく、システム利用に適するようにトリップの発生時刻や目的地等が変化することがあることが考えられる。実際、京都パブリックカーシステムでは、予約が受け付けられない場合、そのままの予約を再度申し込むこともあったものの、その予約を変形させた予約を再び申し込むことが多くみられた。

図 2 は事前シミュレーションで会員構成比を変化させたときの 1EV 利用回数の変化である。主婦の割合が 5%増加した場合、学生および業務の割合が 2.5%ずつ減少するという設定となっている。白抜きのプロットは有意に最適値と異なる場合である^[8]。この図より会員構成比が共同利用システムの効率性に統計的に有意に影響を及ぼしていることがわかる。

(2) 事後シミュレーション

前節で述べた 4 つのケースについて、それぞれ事後シミュレーションを行った^[9]。前提条件となる諸パラメータの設

表 1 事前シミュレーションの設定および結果

前提条件		結果	
予約発生回数	0.2	1EV 利用回数	1.39
キャンセル率	5.0	総利用回数	40.3
返却遅れ率	17.0	時間稼働率(%)	25.9
駐車場数	5	予約充足率(%)	57.6
会員数(人)	350	会員構成比 ^a	55:5:40
総 EV 台数	29	EV の偏在	認める
駐車スペース合計	29		

a: 会員構成比は主婦：学生：業務

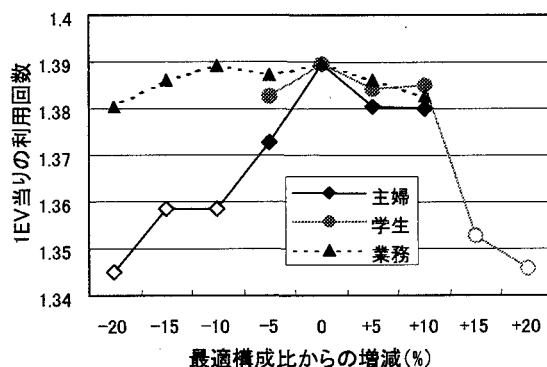


図 2 会員構成比の最適化への影響

表2 事後シミュレーションの設定および結果

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース1
			充電器増設	駐車場新設	総利用回数 最大化
前提条件	予約発生回数	0.2	0.2	0.2	ケース1 と同じ
	キャンセル率	11	11	11	
	返却遅れ率	26.8	26.8	26.8	
	駐車スペース合計	29	29	35	
	駐車スペース配置	P1 ^b	P1 ^b	P3 ^b	
	駐車場数	5	5	5	
	会員数(人)	198	— ^c	— ^c	
	会員構成比	3:12:85	— ^c	— ^c	
結果	1EV利用回数	1.86	2.27	2.29	1.33
	総利用回数	20.5	34.2	48.1	30.6
	時間稼働率(%)	31.6	35.0	40.7	23.7
	総EV台数	11	15	21	23
	予約充足率(%)	51.9	50.2	50.1	77.5
	待ち確率(%)	3.88	4.92	4.95	3.79
	待ち時間(分)	16.5	22.5	23.2	16.0
	会員数(人)	— ^d	340	480	— ^d
	会員構成比 ^a	— ^d	25:25:50	25:25:50	— ^d
	EVの偏在	認める	認める	認める	認める

a: 会員構成比は主婦:学生:業務

c: 最適化される変数

b: スペースの関係上省略

d: 前提条件として外生的に代入

定、最適化パラメータおよびその最適解、最適解におけるEV利用状況を表2の左部分に示す^[10]。なお、前提条件は事前シミュレーションと異なり、全て実際の京都パブリックカーシステムでの運用データに基づいている。

ある程度最適化を行ったケース2からケース4においては、それぞれの駐車スペースに対し、EV配置台数が0.52, 0.60, 0.51となり、EVの数は駐車スペースに対しておよそ半分強となる場合が最適解となった。これより、少なくとも京都パブリックカーシステムについては、共同利用システムを効率良く運用するためには、車両台数に対し2倍弱程度の駐車スペースが必要となると考えられる。また、EVの偏在を許容せず、偏在をなくすように予約を制限すべきかについては、いずれのケースでも予約制限をすべきではないことが分かった。

ケース3とケース4を比較すると、利用状況を表す指標(1EV当たりの利用回数、システム全体でのEVの総利用回数)においてケース3の方が高い値をとっている。これより、今回の設定では、充電器を増設して新たに駐車スペースを確保する場合、新しく駐車場を設置するよりも既存の駐車場に充電器(駐車スペース)を追加の方が、より高いシステム効率の向上が期待できると言える^[11]。ただし、利用者が予約しておいた時刻にEVを利用できなくて待たねばならない確率および待ち時間はケース3の方が若干悪い。なお、待ち時間は5分以上待った人の平均である。

ケース1に関して、目的関数を全EVの利用回数の合計(総利用回数)にした結果が表2の右に記載されている。

このような総利用回数はEVの数が増えることで追加的にコストがかからない場合に採用する目的関数と考えられる。1EV利用回数での結果と比較すると、配置EV数が11から23に増加し、1EV利用回数は低くなっているものの、総利用回数は大幅に大きくなっている。また、予約充足率も大きくなっている。この結果は、目的関数の取り方によって最適化のあり方が大きく異なることがあり、目的関数の設定には細心の注意が必要であることを示唆していると考えられる。

事後シミュレーション

でも事前シミュレーション

と同様に確率的な要素が含まれているため、最適化による利用回数の向上について検討するためには統計的検定が必要となる。検定に際し、京都パブリックカーシステム運用開始時のパラメータ設定をケース0とし、各ケースにおいて最適化を行った際のパラメータ設定との間の1EV当りの利用回数の差異に関するt検定を行った。また、総利用回数の差に関しても同様のt検定を行った。表3および表4は各ケースの目的関数値の平均および分散とともにケース間の検定結果を示している。この結果、ケース0とケース1～ケース4とのいずれの間でも、EV利用回数に有意な差が見られた。これは、シミュレーションを用いた最適化によって得られたパラメータ設定を現実化することによって、システムの効率化がもたらされる可能性を示唆している。また、ケース1とケース2～4とのいずれの間でも有意な差が見られたが、このことは会員構成比のみならずその他の要因も最適化することがEVの利用回数の向上をもたらす可能性を示している。また、ケース3とケース4の間では、ケース3の方が1EV当りの利用回数が多い傾向が見られ、総利用回数では有意水準0.01でケース3の方が多い。また、ケース2とケース4を比較すると、新たな駐車場を増設したケース4の方が1EV当りの利用回数は小さくなり、新駐車場を建設してもEV利用が促進されるとは限らないことが分かる。ただし、表2から分かるようにケース4の方がケース2よりも総EV台数が多く、その結果、EV総利用回数はケース4の方が大きくなっている。また、ケース2とケース3の差が有意となっていないが、こ

表 3 1EV 利用回数に対する t 検定結果

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	平均	分散
ケース0	-4.04 ***	-9.72 ***	-10.48 ***	-9.73 ***	1.26	0.079
ケース1		-2.88 ***	-3.08 ***	-2.15 **	1.86	0.190
ケース2			-0.16	1.60	2.27	0.051
ケース3				2.00 *	2.29	0.036
ケース4					2.15	0.021

***: $p < 0.01$, **: $p < 0.05$, *: $p < 0.1$ 検定での自由度は全て22

れは充電器の追加により 1EV 当りの利用回数の増加を図ることは出来るとは限らないことを示していると考えられる。ただし、総利用回数はケース 3 の方が大きく、総利用回数という観点からは有効であると思われる。

ケース 2~4 のように会員構成比の調整である程度 EV 利用需要を偏りが無いものとした場合でも、総駐車スペースに対する総 EV 台数は約半分(0.5~0.6)で最適となっており、複数駐車場を持つ共同利用システムでは EV に対して少なくとも二倍弱程度の駐車スペースが必要と考えられる。このように駐車スペースが多く必要であることは、営業開始時刻で特に顕著になると考えられる。例えば、各ステーションに 1 台の空きスペースしかない場合、営業開始時刻から 2 番目の予約が 1 番目の予約と同じ目的地だった場合、同時に目的地を出発する EV が無い限り、予約不可となる。

ケース 3 やケース 4 から分かるように駐車スペースの増設や駐車場の新設により 1EV 当りの利用回数は増加するとは限らない一方、総 EV 利用回数は、配置出来る EV 数が増えるため、増加する。したがって、EV や駐車場がリースの場合、駐車スペースや駐車場新設のような拡大路線は好ましいとは限らない。一方、EV や駐車場を購入もしくは無償貸与の場合、拡大することにより、収益をあげることが可能であると言える。

5 おわりに

本研究では、京都パブリックカーシステムを事例として、EV 共同利用システムの効率性に関する分析を行った。本研究では、EV 共同利用システムの効率化を、会員数や会員構成比、EV 初期配置台数などの要因の最適化問題として捉え、シミュレーションを用いて種々の要因の最適化を行った。最適化問題の目的関数として、1 日における 1EV 当りの利用回数を取り上げると共に、予約充足率 50%以上という制約条件を定義した。

システム開設前の事前シミュレーションとして、パーソントリップ調査や既に行われた実験でのデータを用いて、最適化を行い、会員構成比を変えることにより運営効率が増えることなどが分かった。

京都パブリックカーシステムでの実際の運用データを用

表 4 総利用回数に対する t 検定結果

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	平均	分散
ケース0	-0.88	-9.72 ***	-17.39 ***	-13.81 ***	18.9	17.8
ケース1		-8.01 ***	-15.29 ***	-11.53 ***	20.5	23.0
ケース2			-9.22 ***	-3.71 **	34.2	11.5
ケース3				6.80 ***	48.1	15.8
ケース4					38.7	6.8

***: $p < 0.01$, **: $p < 0.05$, *: $p < 0.1$ 検定での自由度は全て22

いたシミュレーション(事後シミュレーション)の結果、会員構成比のみならず、その他の要因を総合的に最適化することで、EV 共同利用システムの効率性がより向上することが確認された。また、EV 配置数と充電器数(=駐車スペース数)との関係について、EV 配置台数に対し充電器数が 2 倍弱程度必要であるという知見が得られた。これは、一般的に EV の数は多ければ多いほど良いというものではなく、駐車スペース数に照らし合わせ適切な数に設定することが必要であることを示唆している。また、現在 5 ヶ所に設置されている駐車場を新たに 1 ヶ所増設したとしても運営効率が上がるとは限らないことが示され、駐車場数は多ければ多いほどよいとは限らないと考えられる。むしろ、現存の駐車場での充電器数を増加すれば運営効率が増加することが分かった。以上の結果は京都パブリックカーシステムを対象としたシミュレーション結果ではあるものの、これからの EV 共同利用システム開設にあたり、注目に値すると思われる。

注

- [1] 自動車(ガソリン車)の共同利用システム自体は古くから行われてきている⁹⁾。
- [2] EV に変化したトリップの多くが公共交通や自転車トリップである場合は必ずしも EV 共同利用により環境負荷が小さくなるとは言えない。どのようなトリップが EV へ転換したのか、EV 利用が新規に発生したトリップであるのか、などの問題は交通行動を詳しく分析する必要があり、今後の課題である。
- [3] 本研究では、EV1 台当たりの利用回数を目的関数としている。しかし、目的関数の設定にはのべ利用時間や費用便益を考慮した諸目的関数など他にもさまざまなものが考えられる。なお、比較のために全 EV の利用回数の合計を目的関数としたシミュレーション結果の一部も後に記載している。
- [4] 分析対象としているのは利用が無料である時点でのシステムである。利用が無料であるため、会員は予約が受理されないことへの抵抗が少ないと考えられるため、予約充足率を 50%とした。実際の予約充足率は約 70%であった。また、予約がその時に受理されなくとも後で同じ予約を行うことも可能であり、予約内容を部分的に変更した予約を再度申請することも可能である。実際、そのような予約の再申請は多く行われている。これも予約が拒否されることへの抵抗が小さくなる原因と考えられる。
- [5] 比較的組み合わせ数の少ないケース 1(3(3)節参照)について総当り法により厳密解を求めたところ GA の解と一致した。

したがって、本文で述べたGAの設定は適切であったと推測することが可能である。

- [6] 個人属性によってトリップ発生時刻などの交通行動特性は大きく異なるものであり、どのような属性の会員をどれほど集めるかという会員構成比はEV利用を時間的に偏りなく獲得するためには重要な要因である。
- [7] 新駐車場に関しては最適化のために用いる利用予約データが存在しない。そこで、京都ホテルを出発地、返却地とする予約データは、共にオフィス街、地下鉄駅に近く、また位置的に近いという理由から、京都商工会議所を出発地、返却地とするデータより作成し、これを利用予約データに追加することとした。また、新駐車場設置により、システム全体としても利便性が向上し、EV利用が増加したり、トリップのODパターンが変化したりすることが考えられるが、本研究では、それらは変化しないと仮定し、シミュレーションを行う。
- [8] シミュレーションには、EV利用申し込み、キャンセルや到着遅れなど日々の変動を考慮するために、確率的要素が含まれている。したがって、シミュレーションごとの数値自体は厳密には毎回異なっている。検定では、20回のシミュレーションの目的関数値(IEV利用回数)の平均はそれ以上の回数の平均と有意に異なることはなかったため、シミュレーション回数は20回とし、この20回で図2での検定を行っている。
- [9] 事後シミュレーションの結果の一部は既に発表されたものである⁹⁾。しかし、読者の理解のために再度記載した。
- [10] シミュレーション結果として、環境負荷の減少量なども重要と考えられる。しかし、注[2]でも触れたようにEV利用へ変更されたトリップがもともとどのような交通機関のものであったのか、また、EV利用が新規に発生したトリップであるのか等が今の所明らかにされておらず、環境負荷減少量の検討は今後の課題としたい。
- [11] この問題に関しては、新しい駐車場をどこに設置するか、また、注[7]で述べたように新駐車場設置によるEV利用の増加や時間・空間的なODパターンの変化など、本研究では考慮していない要因が多大な影響を及ぼす可能性があると考えられるため、さらなる分析が必要であることは言うまでもない。

い。

参考文献

- 1) Barth, M. & Todd, M.: User Behavior Evaluation of an Intelligent Electric Vehicle System, Presented at the 79th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2000.
- 2) Shaheen, S.A.: Commuter-Based Carsharing: Market Niche Potential, Presented at the 79th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2000.
- 3) Blasseville, J.M., Massot, M.H. & Mangeas, M.: Technical and Economical Appraisal of Praxitéle Trial, Presented at the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, November 2000.
- 4) Barth, M. & Todd, M.: Simulation model performance analysis of multiple station shared vehicle system, Transportation Research, 7C, pp. 237-259, 1999.
- 5) 阿部直樹, 谷下雅義, 鹿島茂: 屋久島における共同利用レンタカーシステムの提案(屋久島カーフリーアイランド構想 Vol.4), 土木計画学研究・講演集, No.20(2), pp.61-64, 1997.
- 6) Blasseville, J.M., Massot, M.H. & Mangeas, M.: Technical and economical appraisal of Praxitéle trial, presented at the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, November 6-9, 2000.
- 7) Goldberg, D.G.: Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Massachusetts, 1989.
- 8) Shaheen, S.A., Sperling, D. & Wagner, C.: Carsharing in Europe and North America: Past, Present, and Future, Transportation Quarterly, Vol. 52, pp. 35-52, 1998.
- 9) Nakayama, S., Yamamoto, T. & Kitamura, R.: A Simulation Analysis for the Management of an Electric-Vehicle Sharing System: The Case of the Kyoto Public-Car System, Transportation Research Record, (forthcoming), 2002.

再配車によらない電気自動車の共同利用システムの効率化に関する研究

中山晶一朗, 山本俊行, 北村隆一

環境負荷の小さい電気自動車の普及のために、近年、電気自動車の共同利用が注目されている。複数の駐車場を持つ共同利用システムは、特定の駐車場に車両が集中するなどの問題があり、それを効率的に運営するためには車両・駐車スペースの配置をはじめとする様々な変数を最適値に設定する必要がある。そこで、本研究では、京都パブリックカーシステムを取り上げ、遺伝的アルゴリズムを用いて諸変数の最適化を行い、その効率的な運営について考察した。結果として、車両数の約2倍の駐車スペースが必要であることや新規に駐車場を開設することは必ずしも運営効率を上げるとは限らないことなどが分かった。

A Study for Efficient Management of an Electric-Vehicle Sharing System without Vehicle Dispatching

Shoichiro NAKAYAMA, Toshiyuki YAMAMOTO, Ryuichi KITAMURA

A promising approach for expedient market penetration of electric vehicles is a multi-station electric vehicle sharing system. Such a system, however, contains several problems, e.g., vehicles may concentrate at particular stations, deterring efficient operation of the system. The parameters that define system operation must be set at their optimal values for efficient operation. Genetic algorithms are used in this study along with a simulation model of the vehicle sharing system to optimize system operation and to examine ways to attain efficiency in system operation. It is founded from the results that the total number of parking slots needs to be twice as many as the number of vehicles and that adding a new station does not necessarily improve the efficiency of system operation.
