

再配車を用いない複数ステーション型自動車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*

Simulation Model Performance Analysis of
a Multiple Station Shared Vehicle System without Redistribution*

山本俊行**・中山晶一郎***・北村隆一****

By Toshiyuki YAMAMOTO**・Shoichiro NAKAYAMA***・Ryuichi KITAMURA****

1. はじめに

環境問題に対する関心の高まり、情報技術(IT)の発展、政府による新産業創造のための取り組み等の中で、近年、我が国で電気自動車の共同利用に対する期待が高まっている¹⁾。特にここ数年は、各地で電気自動車共同利用システムの実験プロジェクトが実施されている。ここで、自動車共同利用そのものは新しいものではなく、欧州では草の根的な自動車共同利用が古くから行われている^{1),2)}。伝統的な自動車共同利用システムは数台の自動車を用いた会員制のレンタカーシステムに近いものであった。近年では、他の公共交通機関との連携を主眼としたステーションカーや、片道利用を可能とする複数ステーション(デポ)型共同利用システム等、利便性の向上や、より大きな環境負荷削減効果を可能とする共同利用システムが誕生している。また、ITの発展により予約システムや車両管理の高度化が進んでいる。

一方、電気自動車も自動車による環境負荷を削減するものとして開発が進んでいる。しかしながら、車両価格が未だガソリン自動車に比べて高く、航続距離も限られている等、政府による購入補助金制度にも関わらずその普及は進んでいない。自動車共同利用システムでは、車両の購入費用の負担が複数の会員によって軽減されるため、車両価格が高いという電気自動車の欠点を補うことが可能であり、電気自動車を用いることにより共同利用による環境負

削減効果も増大する。しかしながら、航続距離が短く車両の充電状態の管理と利用距離に応じた利用受付を行う必要があり、システム運営費が高くなるという問題がある。

システム運営費を押し上げる要因としては、上記の他に複数デポ型共同利用システムに固有の問題として、車両の偏在による利用予約の受付可否判断、あるいは車両の回送(再配車)が必要となるという問題がある。再配車には人件費がかかる一方、予約の受付可否判断を行うためには予約受付システムを高度化する必要がある。また、予約受付可否を行う場合、会員に受け入れられるかという問題もある。よって、複数デポ型共同利用システムでは車両の偏在を減少させるための方策をまず検討すべきである。

本研究では、複数デポ型電気自動車共同利用システムを対象として、再配車をを行わない場合のシステムの挙動を把握することを目的とする。具体的には、デポ数、車両数、駐車スペース数、予約申し込み数、片道予約申し込み率が利用トリップ数、予約受付率、総利用時間等に与える影響を定量的に明らかにする。複数デポ型電気自動車共同利用システムの挙動に関しては、阿部ら³⁾、Barth and Todd⁴⁾、Blosseville et al.⁵⁾、島崎⁶⁾、下原・島崎⁷⁾の研究がある。阿部ら、及びBarth and Toddでは、再配車を前提として、車両数と再配車ルールを変更することによって利用者がデポで車両を待つ必要のある確率、及び平均待ち時間がどのように変化するかを明らかにしている。一方、Blosseville et al.では、再配車を実施しているシステムの実利用データを用いて、再配車をを行わない場合の必要車両数を算出している。また、島崎、下原・島崎では、再配車をを行わないシステムを対象として、利用希望者は車両がデポになくても利用をあきらめないという仮定の下で車両数とデポ毎の初期配置台数が待ち時間、車両の稼働率に及ぼす影響を明らか

* キーワーズ：自動車保有・利用，自動車共同利用，公共交通計画，地球環境問題

** 正員，博(工)，名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻(愛知県名古屋市千種区不老町，TEL: 052-789-4636，E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp)

*** 正員，博(工)，金沢大学工学部土木建設工学科(金沢市小立野2-40-20，TEL: 076-234-4614，E-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

**** 正員，Ph.D.，京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻(京都市左京区吉田本町，TEL: 075-753-5134，E-mail: rkitamura@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

にしている。

本研究では、従来の研究で検討されてきた要因に加えて、デポ数、駐車スペース数、片道予約申し込み率による影響を考慮することによって、より総合的なシステム挙動を把握することが可能となる。既に著者ら⁸⁾は、上記の要因を操作変数、予約受付率50%以上を条件とし、車両1台あたりの平均トリップ数を目的関数とした最適化問題について分析し、デポ数より駐車スペース数の方が車両1台あたりの平均トリップ数に与える影響が大きい等の知見を得ている。しかしながら、この分析では、京都パブリックカーシステムの実際の運営状態を基本とする入力変数の設定範囲での最適化を行っており、得られた知見は限られた解空間での計算結果に過ぎない可能性がある。本研究では、幅広い解空間を網羅的に分析することにより、より一般的な知見を得ることを目指す。

2. シミュレーションモデルの概要

(1)概要

本研究では、共同利用システムの挙動をシミュレーションモデルで表現することにより、各操作変数がシステム挙動に及ぼす影響を定量的に分析する。シミュレーションモデルの構造は著者らの先行研究⁸⁾と同様のものであるが、今回の分析では解空間を網羅的に探索するためGAによる最適化部分は用いず、予約発生からシステムによる予約受付、実際の利用状況再現に至る部分を用いたシミュレーションを行う。

シミュレーションでは、まず、全ての予約を発生させ、発生順に予約受付可否を判断し、受け付けた予約のリストを作成する。その後、車両の返却遅れ等を含む実際のシステムの挙動を、5分毎の各車両の状態量を逐一再現するピリオディック・スキャン (periodic scan) 方式によりシミュレートする。

(2)シミュレーションの手順

(a)設定値の入力

デポ数、駐車スペース数、車両数、予約申し込み数、片道予約申し込み率を入力する。

(b)予約の発生

予約申し込み数、片道予約申し込み率の設定に

じ、各予約の利用開始予定時刻、返却予定時刻・出発地・返却地・予定走行距離を決定する。

(c)予約受付可否判断

予約発生順に、それまでに受け付けた予約を前提として当該予約の受付により以下の2つの条件が満たされるかを計算し、予約受付可否を決定する。

- ・ 出発地、返却地条件のチェック：出発地に車両があるか、及び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。
- ・ 充電条件のチェック：出発地の利用可能な車両が予定走行距離に対して十分充電されているか。

(d)実際の車両挙動の再現

受け付けた予約のリストに基づき、返却遅れや予約キャンセルを発生させた上で、各車両の挙動を再現する。

(e)出力

総利用回数、予約受付率、総利用時間、車両待ち確率、総待ち時間を出力する。

3. データの概要

本研究では、シミュレーションで用いる予約の利用開始予定時刻等の属性の設定にあたり、京都パブリックカーシステムでの実際の予約申し込みデータを用いる。

(1)京都パブリックカーシステム

京都パブリックカーシステムは、平成12年に京都市で運用が開始された複数デポ型電気自動車共同利用システムである。平成13年度終了時点での会員数は470人となっている。利用料金は、当初無料であったが、平成13年9月以降は20円/分(12月に15円/分に値下げ)である。平成13年度は京都駅前を含む7カ所(9月以前は6カ所)のデポで運営されており、営業時間は8:00~21:00、1回あたりの最大利用可能時間は4時間、予約開始日は時期によって変更されているが、最長時で7日前からであった。

車両は2人乗り小型電気自動車であるトヨタのe-comと日産のハイパーミニを合計35台用いている。両車両を単一のシステムで管理しており、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。充電時間は2,3時間程度である。予約申込はiモードやEZweb等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行う。また、貸出・返却時はデポにある端末で各会員が持つICカードにより手続きを行う。このICカードは車両の鍵の代わりでもある。

(2)利用属性分布

平成 13 年度の利用データを対象として、無料実験期間/有料実験期間別、かつ片道トリップ利用/往復トリップ利用別に利用開始予定時刻、利用時間、返却遅れ時間を集計した結果を図 - 1 ~ 3 に示す。図中の％は無料/有料別に片道と往復を足した総利用トリップを 100%としたものである。全体の片道トリップ率は無料実験期間では 32%，有料実験期間では 59%となっており、有料化によって利用パターンが大きく変化したことを示している。

図 - 1 より、無料期間では 8 時台と 18 時以降のみ片道トリップが往復トリップを上回り、これらの時間帯での通勤利用の卓越が見られるのに対して、有料期間では 12 時台のみ往復トリップが片道トリップを上回っており、12 時台での昼食のための往復トリップの卓越をうかがわせる。図 - 2 では、料金の有無に関わらず片道トリップの利用時間の短さが示されている。図 - 3 からは、料金の有無に関わらず 15 分以上の返却遅れはほとんどない事、また、無料実験期間の往復利用時では 60 以上も早く返却するケースが多く見られ、実際の利用予定時間よりも長めに予約していたケースが多いものと考えられる。

4. 分析結果

シミュレーションの操作変数として、デポ数は 10, 20, 50, 100ヶ所の 4通り、駐車スペース数は 1デポあたり 10, 20個の 2通り、車両数は 1デポあたり 1~8台の 8通り、予約申し込み数は 1デポあたり 10~100まで 10刻みで 10通り、片道予約申し込み率は 30~70%まで 10%刻みで 5通り設定し、各組み合わせについて 10日分のシミュレーションを行い、1日あたりの平均値を算出した。シミュレーションは無料期間/有料期間のそれぞれについて行っており、各予約の利用開始予定時刻、返却予定時刻、実返却時刻、予定走行距離は、2(2)で分布を示したサンプルから無料期間/有料期間別、片道/往復トリップ別に乱数により発生させ、予約キャンセル率は 5%と

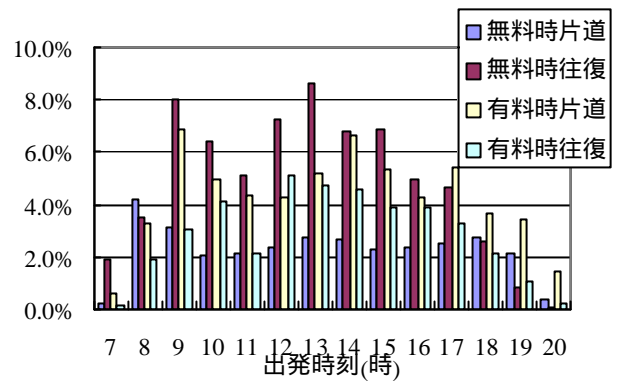


図 - 1 出発時刻分布

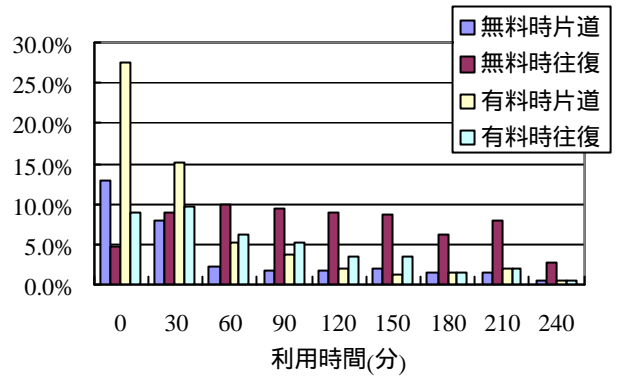


図 - 2 利用時間分布

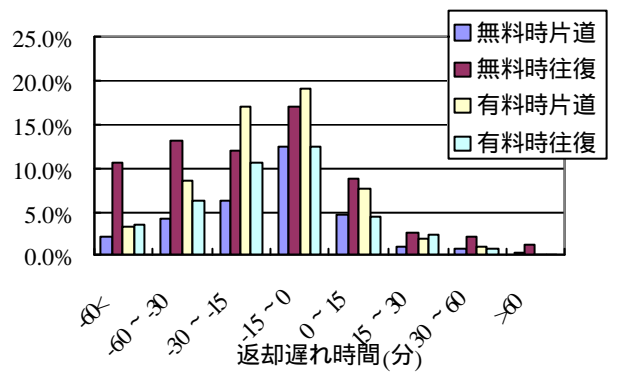


図 - 3 返却遅れ時間分布

した。また、出発地、及び片道利用トリップの場合の目的地は等確率とした(デポ数が N の場合、それぞれの確率は $1/N, 1/(N-1)$ となる)。

このような予約属性の設定はデポ毎の需要の相違やデポ間距離の相違を捨象したものであり、操作変数の設定を各デポ共通とすることが出来るため、操作変数の組み合わせ数を大幅に減少させることが可能である。これらの相違によるシステム挙動の分析は今後の課題である。

(1)片道予約申し込み率

無料実験期間中のデータを用い、デポ数を 10ヶ所、1デポあたり駐車スペース数を 10個、予約申し込み数を 100とした時の総トリップ数を図 - 4 に示

す。図より、1 デポあたりの車両数が増えるにしたがって片道予約申し込み率の増加による総トリップ数の低下が見られる。

(2) 料金賦課の有無と規模の拡大

1 デポあたりの駐車スペース数を 10 個、片道予約申し込み率を 50% とし、無料期間/有料期間それぞれのデータを用いた場合、及び有料時にデポ数と予約数を 10 倍にした場合の車両 1 台あたり平均トリップ数を表 - 1 に示す。有料時の方が平均トリップ数が多く、増加率は予約申し込み数が多いほうが顕著である。また、規模を拡大しても平均トリップ数は変化せず、規模効果は得られないことが示された。

(3) デポ数と駐車スペース数

有料期間のデータを用い、片道予約申し込み率を 50%、総駐車スペースを一定とし、デポ数とデポあたりの駐車スペースの組み合わせを 20×10、10×20 とした時の予約受付率を表 - 2 に示す。表より、一定の総駐車スペース数を用いる場合、デポ数を増加させるより 1 デポあたりの駐車スペース数を増加させた方が 10% から 20% も効率的であることが示された。

5. まとめ

本研究では、複数デポ型電気自動車共同利用システムを対象として、再配車を行わない場合のシステムの挙動をシミュレーションによって分析した。分析結果より、単純に規模を拡大しても規模効果は得られないこと、及び、デポ数よりもデポあたりの駐車スペース数の増加の方が効果が大きいことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 特集：交通社会における新しいクルマの使われ方 - 共同保有・共同利用の取り組み - ,交通工学 ,Vol. 36, No. 2, pp. 1-42, 2001.
- 2) Shaheen, S., Sperling, D. and Wagner, C.: Carsharing in Europe and North America: past, present, and future, *Transportation Quarterly*, Vol. 52, No. 3, pp. 35-52, 1998.
- 3) 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.
- 4) Barth, M. and Todd, M.: Simulation model performance analysis of multiple station shared vehicle system, *Transportation Research*, 7C, pp. 237-259, 1999.
- 5) Blossville, J.M., Massot, M.H. and Mangeas, M.:

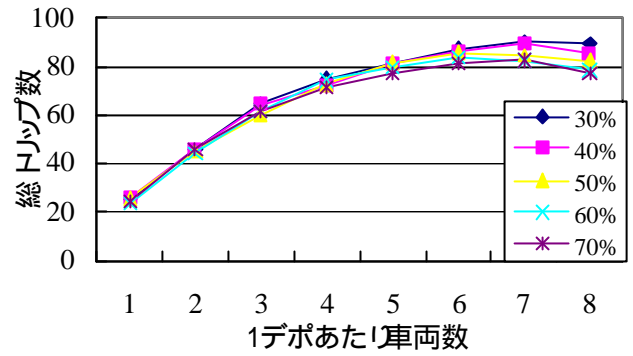


図 - 4 片道予約申し込み率別総トリップ数

表 - 1 料金・デポ数別
車両 1 台あたり平均トリップ数

料金 デポ数	無料			有料			有料			
	10	10	100	10	10	100	100	2000	4000	
予約数	100	200	400	100	200	400	1000	2000	4000	
車両数 / デポ	1	2.5	3.4	4.1	2.9	3.8	5.0	2.8	3.8	4.9
	2	2.4	3.1	3.9	2.5	3.7	4.7	2.5	3.5	4.7
	3	2.0	3.0	3.8	2.3	3.3	4.5	2.1	3.2	4.4
	4	1.8	2.8	3.6	1.9	3.0	4.3	1.9	3.0	4.2
	5	1.6	2.6	3.6	1.7	2.8	4.1	1.7	2.7	4.0
	6	1.4	2.4	3.4	1.4	2.6	3.8	1.4	2.5	3.8
	7	1.2	2.1	3.1	1.2	2.2	3.6	1.2	2.2	3.5
	8	1.0	1.9	2.9	1.1	1.9	3.1	1.0	1.9	3.1

表 - 2 デポ数とデポあたりの駐車スペース数の
組み合わせ別予約受付率

デポ数 駐車マス 予約数	20 デポ 10 台 / デポ			10 デポ 20 台 / デポ			
	200	400	800	200	400	800	
	車両数	20	28%	19%	13%	36%	24%
40		51%	35%	24%	60%	43%	28%
60		67%	49%	34%	79%	58%	39%
80		76%	61%	43%	88%	70%	49%
100		83%	70%	51%	94%	81%	57%
120		87%	75%	57%	95%	86%	66%
140		86%	79%	63%	95%	89%	72%
160	83%	76%	63%	89%	86%	74%	

- 6) Technical and economical appraisal of Praxitèle trial, presented at the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, November 6-9, 2000.
- 7) 島崎敏一：車輛共同利用システムの車輛配備台数の最適化, 土木計画学研究・講演集 No. 24, CD-ROM, 2001.
- 8) 下原祥平, 島崎敏一：車両共同利用システムにおける車両の最適配車, 土木計画学研究・講演集, No. 24, CD-ROM, 2001.
- 9) 中山晶一郎, 山本俊行, 北村隆一：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, 土木計画学研究・論文集 (投稿中).