

電気自動車を用いた小規模事業所における カーシェアリングシステムの開発に関する研究

浅野 周平¹・森本 章倫²・長田 哲平³

¹ 学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail:mt146414@cc.utsunomiya-u.ac.jp

² 正会員 早稲田大学理工学術院教授 社会環境工学科 (〒169-8555東京都新宿区大久保3-4-1)
E-mail:akinori@waseda.jp

³ 正会員 宇都宮大学大学院助教 工学研究科 (〒321-8585栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail:osada-teppej@cc.utsunomiya-u.ac.jp

今日、地球温暖化対策の観点からEVが注目を集めている。EVは環境負荷が少ない自動車である一方、航続距離が短い、充電に時間を要するといった短所を持つことから、その普及は初期段階にある。EVの短所を補った利用方法に、一回の利用における走行距離、利用時間が短いカーシェアリングが考えられる。そこで本研究では、EVカーシェアリングの車両稼働状況の変化に影響を与える要因を会員数や運営時間、利用距離制限とし、モンテカルロ法を用いたシミュレーション分析によってその影響を考察することを目的とする。分析により、運営時間や利用範囲の設定に応じた最適会員数を導いた。加えて小規模事業所向けEVカーシェアリングシステムではEVの利用を短距離、短時間に限定することで、車両1台当りの1日の利用回数や稼働時間が増加するとの知見を得た。

Key Words : *Car Sharing, Electric Vehicle, Simulation, Demonstration Experiment, Reservation System*

1. はじめに

(1) 研究背景と目的

エネルギー制約の高まり、地球温暖化対策の観点から、エネルギー効率が良く、車両からはCO₂や排気ガスを一切排出しない電気自動車 (Electric Vehicle, 以下EV) は、今日世界中で注目されている。EVは環境負荷が少ない自動車である一方、ガソリン車に比べて航続距離が短い、充電に時間を要する、車両価格が高いといった短所を持つことから、その普及はいまだ初期段階にあるというのが現状である。このようなEVの活用方法の一つとしてカーシェアリングが考えられる。カーシェアリングは1回の利用における走行距離、利用時間が短く、EVの短所を補う可能性があると同時に、高価であるEVの購入負担を軽減することが出来る。しかし、ガソリン車と同等の活用が可能であるか不明瞭なEVを用いてカーシェアリングを行う場合、その特性を考慮した効果的な運用方法の検討が必要である。

そこで本研究ではまず、実証実験を通し、EVカーシェアリングの利用実態を詳細に把握する。その上でEVカーシェアリングシステムを効率化させる要因を会員数

や運営時間、利用距離制限とし、モンテカルロ法を用いたシミュレーション分析によって利用への影響を考察する。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

カーシェアリングシステムに関する研究はこれまでもいくつか成されている。島崎(2001)¹⁾はカーシェアリングシステムを複数窓口の待ち行列でモデル化し、いくつかのパラメータについて、利用者の待ち時間のコストと車両の配備コストの総コストが最小となる車両数を求めた。山本ら(2002)²⁾は、複数デポ型EVカーシェアリング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特に車両数やデポ数、駐車スペースに着目してシミュレーションによって分析した。その結果、単純に規模を拡大しても規模効果は得られないこと、デポ数よりもデポあたりの駐車スペースの増加の方が効果が大きいことを明らかにした。

また、特にEVカーシェアリングに着目した研究も見られる。中山ら(2001)³⁾は、京都パブリックカーシステムを事例として、EVカーシェアリング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なった。その結果、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カーシェアリングシステムの効率化が図れることを確認した。

EVの電力消費に関する研究としては、兵藤ら(2010)⁴⁾が高精度の位置測定技術を用いて、EVの電気消費量推定式を、実データを基に検討した。その結果、導いた推計式によって電気消費量が高い精度で推計できることを示している。

こうした既存研究を踏まえ、本研究では、小規模事業所におけるEVカーシェアリングシステムについてシミュレーション分析を行う。シミュレーションプログラムは実証実験のデータを基に、利用状況が推測可能なものを作成する。その上で特に会員数やEVカーシェアリングの運営時間、利用距離制限に着目した効果的な運用方法について考察を行う。

2. EVカーシェアリング実証実験

(1) 実証実験の概要

本研究では、2013年1月から8月に、栃木県と共同で、宇都宮大学の教職員及び学生を対象とするEVカーシェアリング実証実験を行い、詳細な利用実態データを収集した。表-1に実証実験の概要を示す。実証実験では栃木県より提供されたホンダ・フィットEVを2台使用した。この車両は一部の官公庁、自治体、法人に向けリース販売されている車両であり、市販されていない。表-2にホンダ・フィットEVの基本性能を示す。利用予約は作成した予約フォームで受け付け、利用開始予定時刻、利用終了予定時刻、利用人数、利用目的を入力して貰うこととした。また、利用者は、EV返却時に実際の利用時間や走行距離を記録する。これと予約データを利用実態データとして収集した。

表-1 実証実験概要

実施期間	2013年1月16日～2013年8月31日	
実施場所	宇都宮大学 峰キャンパス・陽東キャンパス	
実施規模	<ul style="list-style-type: none"> 電気自動車2台(ホンダ・フィットEV) 車両ステーション2カ所 	
車両ステーション配置	<ul style="list-style-type: none"> 宇都宮大学陽東キャンパス 宇都宮大学峰キャンパス 	
利用対象	宇都宮大学職員及び学生	
調査内容	乗車実態	走行距離、利用時間、走行ルート、使用電力、目的地等を記録
	利用者意識	利用者に対し、アンケート調査を実施

表-2 ホンダ・フィットEVの基本性能

性能	一充電走行距離(km)(JC08モード)	225
	交流電力量消費率(Wh/km)(JC08モード)	106
	充電時間	普通充電 満充電まで約6時間 急速充電 80%充電まで約20分
動力用電池	種類	リチウムイオン電池
	総電圧(V)	331
	総電力量(kWh)	20

(2) 走行距離

実証実験によって得られた、1回の利用におけるEVの走行距離の分布を図-1に示す。図を見ると10km以内の利用が250回で最も多く、全体の62%を占めている。また、20km以内の利用が全体の82%であった。平均走行距離は15.26kmである。EVの利用は短距離が中心であったことがわかる。

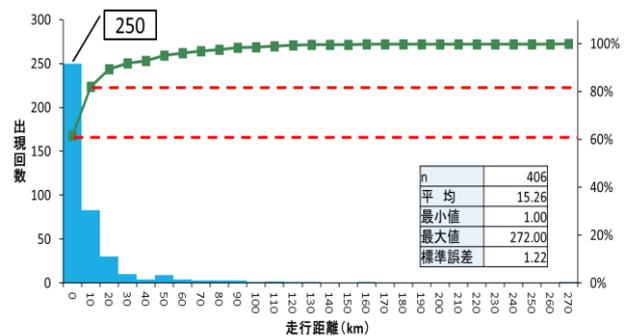


図-1 走行距離の分布

(3) 利用時間

同様に1回の利用におけるEVの利用時間の分布を図-2に示す。図を見ると1.5時間以内の利用が231回で全体の57%であることがわかる。また、3時間以内の利用が約80%を占めている。平均利用時間は2時間で、短時間の利用が中心であった。

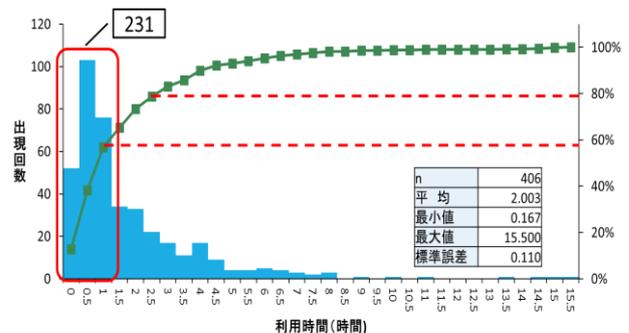


図-2 利用時間の分布

3. EV 特性を考慮した運用方法の検討

(1) シミュレーションの分析の目的

前章で述べた実証実験によって得られたデータを基にシミュレーション分析を行った。EV を用いてカーシェアリングを行う上では、EV の短所である、ガソリン車と比較して航続距離が短いこと、充電に時間を要することを考慮する必要がある。これは前利用者の行動が後利用者の航続距離に影響を与える可能性があるからである。よって、1 台の EV を何人でシェアすることが望ましいのか、運用方法によってどの程度利用が見込まれるのか、通常のカーシェアリングより重要になってくる。そこでシミュレーション分析では、複数のケースを設定し、ケースに応じた最適会員数を導く。その上で、ケース間の利用状況を比較することで会員数、運営時間、利用距離制限の設定が EV の稼働状況に与える影響を考察する。

(2) 作成したシミュレーションプログラムの概要

本研究におけるシミュレーションは、モンテカルロ法を用いており、プログラム作成にあたってはプログラミング言語として VBA を使用した。表-3 にシミュレーションの入力値、目的関数となる出力値及びシミュレーションの前提となる EV の性能を示す。ここで、出力値にある時間稼働率とはシステム運営時間に対する EV の稼働時間の割合、予約可能率とは全予約申込み数に対する受付けられた予約数の割合、予約重複率とは受付けられた予約数に対する受付け不可とした予約数の割合である。また、入力値にある予約発生確率は一人の会員が一日に EV を予約する確率を示している。ここでは入力値として実証実験で得られた予約発生確率の 14.7% を用いた。同じく入力値にある利用距離制限とは 1 回の EV 利用において利用距離に制限を設ける場合の設定を示している。

本実証実験で使用したホンダ・フィット EV の一充電走行距離はカタログスペック上 225km である。しかし、この値は道路環境や走行状態に大きく左右される。本シミュレーションでは安全に見積もりその 60% である 135km 走行すると設定した。前述の通り EV は充電に時間を要する。そのため、航続距離の残量の問題から予約を受付けられない場合が発生する。このことを考慮し、シミュレーションでは航続距離の消費量を計算し、予約の受付けが可能か判断を行う。EV の満充電状態からの航続距離を 135km として、利用が行われれば航続距離の残量が減少する。また利用されていない時間は充電されているとし、航続距離が回復するとして計算した。

カーシェアリングを運営する立場においては 1 日当たりの EV の利用回数や稼働時間は多いほうが良い。しかし、会員数増加等により利用予約の絶対数が増加した場合、個々の予約が受けられる確率が低下し、会員の利

便性が低下するという状況が危惧される。そこでシミュレーションにおいては、EV の利用回数及び時間稼働率で最適化判断を行うが、利用者の利便性を確保するという観点から予約可能率が 80% 以上という制約条件を設ける。

表-3 シミュレーションの出力内容と EV の性能

入力値	会員数、運営時間、利用距離制限、予約発生確率		
出力値	1日の利用回数、総稼働時間、時間稼働率、予約可能率、予約重複率		
EVの性能	一充電走行距離(km)		225(ただし安全に見積もり135kmに設定)
	充電時間	普通充電	満充電まで約6時間

(3) シミュレーションのフロー

作成したシミュレーションのフローを図-3 に示す。シミュレーションでは前述の実証実験から得られたデータを用いる。この結果が初期パラメータとして予約の発生、発生した予約の利用距離、利用時間に反映されており、仮想の利用者の予約内容は実証実験で得られた確率分布に従って決定する。以下にシミュレーションの手順を示す。

①設定値入力

会員数、予約発生確率、カーシェアリングシステムの運営時間、利用距離制限を決定。

②利用予約の発生

②、③では実証実験によって得られた確率分布に従って、利用時間、走行距離等の予約内容を決定する。

③利用距離・利用時間の決定

利用距離、利用時間を決定する。実証実験のデータより、利用距離 50km 未満は宇都宮市内における街乗りであり、50km 以上の利用は宇都宮市外へ出た利用であった。加えて 50km 以上の利用は 50km 未満の利用と比較して、時間当たりの走行距離が 233 倍という結果となった。市外へ出る利用は長距離、高速走行であるため時間あたりの航続距離の消費が大きくなる。このことを考慮してシミュレーションでは 50km 以上の利用は 50km 未満の利用に対して航続距離の消費量を 233 倍とした。

④EV の空きチェック

予約時間に EV を利用可能かチェックする

⑤航続距離のチェック

④を満たした予約について、EV の航続距離の残量を計算し、EV を利用可能であるか判断する。④、⑤の条件を満たした予約を受け、それ以外は受け付け不可とする。

⑥出力

EV の 1 日当たりの利用回数、1 日当たりの稼働時間、時間稼働率、予約可能率、予約重複率等を出力する。

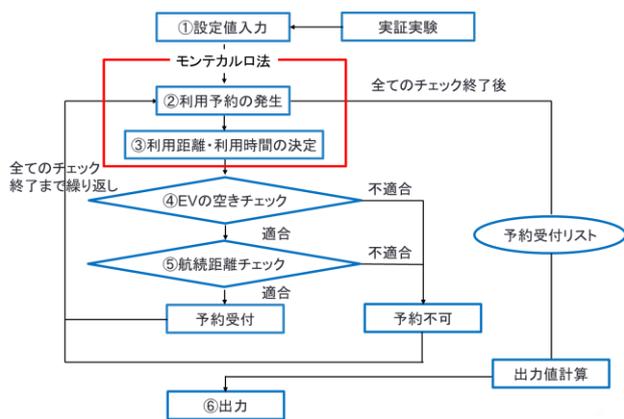


図-3 シミュレーションのフロー

(4) シミュレーションの再現性の確認

実証実験の期間中の 2013 年 2 月から 6 月の実測データと、シミュレーションによって発生させた予約データを比較することで再現性の確認を行った。表4に上記の期間の利用回数、総利用時間、総走行距離の実測値とシミュレーション値を示す。実測値は利用回数が 148 回、総利用時間 208.5 時間、総走行距離が 2000km であるのに対し、シミュレーション値は 138 回、185.3 時間、2028km となった。また、実測値とシミュレーション値の利用時間と走行距離の度数分布を図4に示す。図を見るとそれぞれの分布は近い形状を示しており、実際の発生確率を再現できていると判断する。

表-4 実測値とシミュレーション値の比較

	実測値	シミュレーション値
利用回数	148	138
総利用時間(h)	208.5	185.3
総走行距離(km)	2000	2028

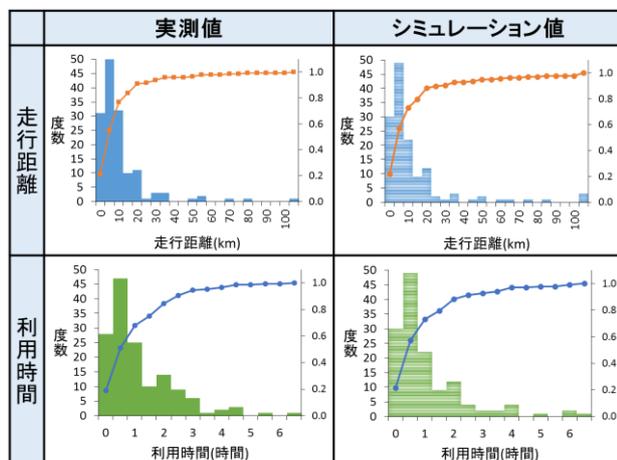


図-4 実測値とシミュレーション値の比較

(5) シミュレーションのケース設定

本シミュレーションでは表-5に示す4つのケースを設定し分析を行った。Case1は実証実験と同様の設定であり、Case2はそこに50km以内という利用距離制限を設けたケースである。実証実験のデータから50km以内はいずれも宇都宮市内の利用であったため、この利用距離制限を設けることで、EVカーシェアリングの利用を市内に限定した場合を再現している。ケースCase3は運営時間を8:00~20:00に延ばしたケースであり、ケースCase4はCase2同様に50kmの利用距離制限を設けた場合である。

表-5 ケース設定

	運営時間	利用距離制限
Case1	8:30~17:30	なし
Case2	8:30~17:30	50km以内
Case3	8:00~20:00	なし
Case4	8:00~20:00	50km以内

4. シミュレーション分析の結果

前章で述べた4ケースについて、シミュレーション分析を行った。最適会員数は予約可能率が設定した制限を上回っている会員数設定の中で、最も1日の利用回数が多いものを選択している。最適会員数、入力値設定、出力値を表-6に示す。Case1では15人、Case2、Case3、Case4では20人が最適会員数となった。

Case1とCase2を比較すると、同様の運営時間あっても、50km以内の利用距離制限を設けたCase2は最適会員数が多く、1日の利用回数、時間稼働率共に大きな値を示している。Case3とCase4を比較しても、最適会員数は同じであるものの、50km以内の利用制限を設けたCase4の方が、1日の利用回数、時間稼働率共に大きな値を示している。これより、距離制限を設けない場合、EVの利用回数が減るだけでなく、稼働時間も減少してしまうことが分かる。このことから、EVカーシェアリングは短距離、短時間の街乗りに適していると考えられる。

この結果はあくまで学内利用者という利用者属性が同一の限定的な利用環境下での結論である。利用者の属性が変化した場合、このような結果になるとは限らない。しかしシミュレーションの結果はEVカーシェアリングが都市内利用などその利用範囲を限定することで、多くの利用を受け付け、システムを効率化することが出来る可能性を示唆していると考えられる。

表-6 シミュレーション分析結果

	Case1	Case2	Case3	Case4	
入力値	最適会員数	15	20	20	20
	利用制限(km)	なし	50	なし	50
	利用開始時間	8:30		8:00	
	利用終了時間	17:30		20:00	
	発生確率(%)	14.7			
出力値	1日の利用回数	1.8	2.3	2.1	2.5
	1日の稼働時間(分)	113.5	130.7	149.9	151.0
	時間稼働率(%)	21.0	24.2	20.8	21.0
	予約可能率(%)	86.9	81.2	82.9	82.6
	予約重複率(%)	15.1	23.2	20.6	21.1

参考文献

- 1) 島崎敏一：車輛共同利用システムの車輛配備最適化，土木計画学研究・講演集，Vol.24，CD-ROM，2001
- 2) 山本俊行・中山晶一郎・北村隆一：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，土木計画学研究・講演集，Vol.25，CD-ROM，2002
- 3) 中山晶一郎，山本俊行，梅木亮，北村隆一：電気自動車の共同利用システムの効率化に関するシミュレーション分析：京都パブリックカーシステムを事例として，土木計画学研究・講演集 Vol.24，CD-ROM，2001
- 4) 兵藤哲郎・渡部大輔・橋本太夢・澤木健一郎：電気自動車の電機消費量推計式の検討，交通工学研究発表会論文集，Vol.30，pp153-156，2010

5. おわりに

本研究では栃木県と共同でEVカーシェアリング実証実験を行い，詳細な利用実態を把握した．その上で，得られたデータを基に，モンテカルロ法を用いたシミュレーション分析を行い，EVカーシェアリングシステムの効率化の考察を行った．結果としてケースに応じた最適会員数を導くと同時に，小規模事業所向けEVカーシェアリングシステムではEVの利用を短距離，短時間に限定することで，車両1台当りの1日の利用回数や稼働時間が増加するとの知見を得た．

作成したシミュレーションプログラムは実証実験のデータを基にしているが，これは特定の集団を対象として得たデータである．利用者の集団が異なれば，シミュレーション分析の結果も変化することを考慮しなければならない．しかし，本シミュレーションのアルゴリズムはEVカーシェアリングシステムの利用状況の再現が可能である．他のEVカーシェアリングについてもデータを入手し，予約発生確率等を変更することで考察が行えると考ええる．加えて，汎用性の高いシミュレーションプログラムにするためにはシェアリング対象の変更，拡大を行い，更に多くのデータを収集する必要もある．また，都市内に充電施設が増設された場合，充電環境が変化するためにこのような結果は得られない．充電環境の変化をシミュレーションに考慮していく必要がある．システムを運営する立場からは採算性の検討も重要である．今後は利用者の利便性の確保と運営者の利益確保の両方を考慮した場合のシミュレーション分析を行いたい．

謝辞：本研究におけるEVカーシェアリング実証実験は栃木県と宇都宮大学の共同事業である．研究遂行にあたり，車両の提供など多大な協力を頂いた栃木県環境森林部環境森林政策課環境立県戦略室の皆様ここに記して深謝する．