

駐車場の滞留分布と電気自動車充電設備の整備方法に関する考察

吉田 龍一¹・高橋 文雄²・川本 邦男³・西田 純二⁴

¹株式会社システム総合研究所（〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-10-27）

E-mail: ryu@jriss.jp

²株式会社環境総合テクノス（〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町1丁目3-5）

E-mail: takahashi_fumio@kanso.co.jp

³株式会社環境総合テクノス（〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町1丁目3-5）

E-mail: kawamoto_kunio@kanso.co.jp

⁴正会員 株式会社システム総合研究所（〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-10-27）

E-mail: nishida@jriss.jp

現在、電気自動車は黎明期に入っており、今後ますます普及率が高まるものと予想される。電気自動車の普及に伴い、充電設備を備えた駐車場の整備が重要になってくることから、本論では実際の駐車場における車両の入出庫データを入手して当てはめた確率モデルをもとにモンテカルロシミュレーションを実施することで、駐車場への充電器の適切な設置台数の算出方法について検討した。

Key Words : EV・PHV, 電気自動車, 充電器, 駐車場, モンテカルロシミュレーション

1. はじめに

近年、電気自動車（EV）の普及に向けて様々な試みが始まっている。その中でも、とりわけ重要なのが充電インフラの整備である。充電器の種類には普通充電器（100V、200V）と急速充電器がある。現在のEVの電池容量については、200Vタイプ普通充電器では約8時間で満充電、急速充電器であれば約30分で80%充電が可能となっている。また、普通充電にはコンセントタイプとポールタイプの充電器がある。このように様々な種類の充電器がある中で、適切な場所に適切な種類の充電器を適切な台数設置することが今後の駐車場整備における重要な課題となる。

EVを所有している戸建住宅や事業所においては全数が充電器を設置すると想定されるが、それら以外の駐車場（賃貸駐車場、一時貸駐車場、商業施設駐車場等）においては、今後のEV普及に対応してどのような考え方にもとづいて充電施設を適切に整備したらよいか、その指針作りが必要となる。

本研究では、近年急速に普及してきた時間貸し駐車場を例に取り、EV利用者の観点から適切な充電器設置台数の算出方法について検討した。

2. 充電器の種類およびEVの対応

現在国産EVのラインナップとしては、三菱自動車工業のアイミーブ、日産自動車のリーフ、富士重工のプラグインステラがあり、これらに加えてモーターとエンジンを併用したPHVと呼ばれるトヨタ自動車のPHVプリウス等がある。また、エンジンで走る既存車両をEVに改造したものや、外国産のテスラロードスター等もある。

国産メーカーのEVは100Vおよび200Vの普通充電と急速充電器に対応しているが、テスラロードスターは日本が開発した電気自動車の充電規格であるCHAdeMO（チャデモ）方式（事実上の業界標準）の急速充電器には対応していない。また改造EVにおいてもCHAdeMO方式の急速充電器に対応しているかは不明である。

このような状況を踏まえ、本研究においては、車種を問わず使用でき、設置費用が安価な200V普通充電器を設置する場合を想定して適切な設置台数を検討した。

3. 解析方法

まず、車両が駐車場に入庫する時刻と駐車時間のデータを入手してモデル化するため、いくつかの駐車場を対

象に、インターバルカメラと呼ばれる設定時間間隔で定点撮影が可能なカメラを適当な観察場所に設置し、平日および休日別にそれぞれ10分間隔の定点撮影を24時間行なった。

撮影した駐車場の種類は、ビジネス街の時間貸露天駐車場、中規模スーパーマーケット付帯露天駐車場、一般月極露天駐車場、マンション付帯立体駐車場の計4箇所である。撮影した画像データをもとに、駐車マスごとの入出庫状況を調べ、滞在時間のデータを記録した。

図1（ビジネス街の時間貸露天駐車場）に駐車マスの配置例を示す。実際にはすべての駐車マスを撮影するのではなく、撮影できた一定数のマス（図中の表示番号の1～18まで）を観察して標本データを入手した。

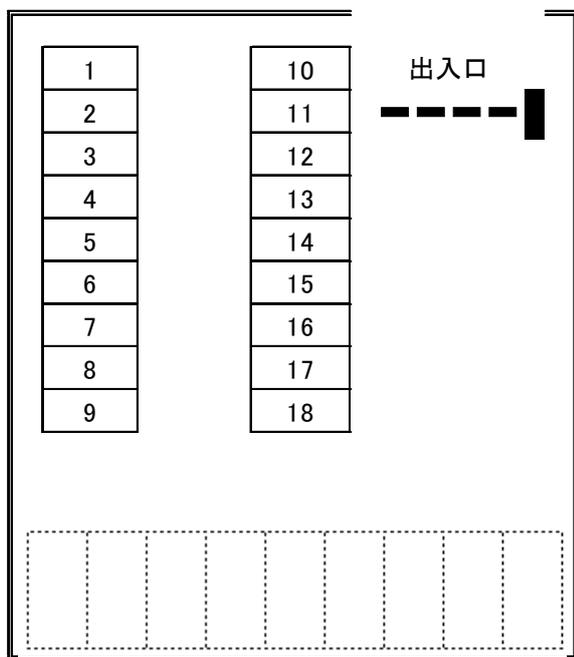


図1 駐車場の駐車マスの配置と撮影対象の例

つぎに、入手した入出庫データをもとに入庫時刻の分布および駐車時間の分布をモデル化するにあたり、ここでは駐車時間の分布や到着交通量の分布において適用事例のあるワイブル分布を用いた（塚井ら¹⁾、川浦^{2) 3)}）。適用したワイブル分布関数は以下のとおり。

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t^m}{t_0^m}}$$

$F(t)$ は累積分布関数であり、入庫時刻（午前零時からの経過時間）や駐車時間 t における累積確率分布を表す。関数に含まれる m と t_0 はワイブル分布の形状を定めるパラメータで、実際の観察データをもとにもっとも適合する値を決定した。

駐車場に入庫する車両が EV であるか否かに関する EV の普及率については、次世代自動車戦略研究会が掲げる新車台数に占める EV の比率に関する政府目標⁴⁾

（2020 年の最大値および 2030 年の最小値）を参考に 20%とした。

最後に、駐車場に入庫した EV の運転者が実際に充電器を使用したいと考えるかどうかに関係する要因としては、駐車時間、蓄電池残量、プライベート充電の本拠地（自宅や事業所）までの距離などが考えられるが、EV 運転者が駐車場で充電したいと考える確率が駐車時間とともに S 字曲線を描いて増加するものとし、ここでは仮に 30 分で 0.25、60 分で 0.5、90 分で 0.75 を通る以下のロジスティック方程式を適用した。

$$f(t) = \frac{1}{1 + 9e^{-0.0366t}}$$

以上、ある駐車場への 1 日の入庫台数を設定した場合、入庫車両の到着時刻、駐車時間、入庫車両が EV であるか否か、EV である場合に駐車時間中に充電するか否かという、4 つの確率変数の組み合わせにより、当該駐車場における 1 日のある時刻で充電を要望する EV 車両の駐車台数が決まることになる。

このような複雑な確率事象を解析するため、上記の 4 つの確率モデルに従う確率過程をモンテカルロシミュレーションで再現し、当該駐車場の毎正時における充電を要望する EV 車両の駐車台数、すなわち当該駐車場における充電器の需要台数を求めた。

4. 結果および考察

(1) 観測値とモデルとの適合性

調査した4種類の駐車場の総駐車マスの数と調査した駐車マスの数は表1のとおり。

表1 調査した駐車場の総駐車マス数と調査マス数

調査地区	駐車場の種類	駐車可能総台数	調査対象マスの数
大阪市	ビジネス街の時間貸露天駐車場	27台	18台
宇治市	中規模スーパーマーケット付帯露天駐車場	125台	28台
神戸市	一般月極露天駐車場	12台	12台
東大阪市	マンション付帯立体駐車場	219台	17台

4種類の駐車場の平日および休日の計8種類の観察結果と適合モデルによる理論値を以下に示す（図2～9）。

ビジネス街の時間貸露天駐車場と中規模スーパーマーケット付帯露天駐車場の観測値については平日休日ともにモデル予測によく適合していた（Kolmogorov-Smirnov検定）。一方、一般月極露天駐車場の平日とマンション付帯立体駐車場の休日についてはモデル予測に適合しなかった。

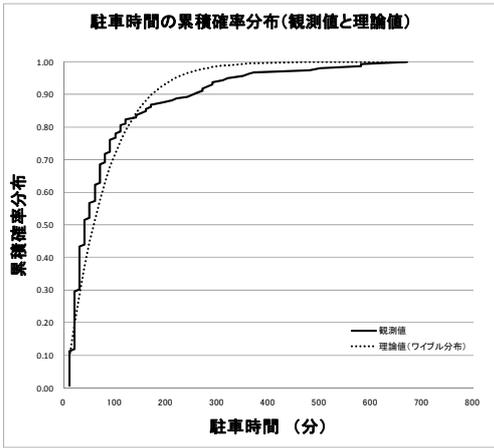


図 2 ビジネス街の時間貸露天駐車場（平日）

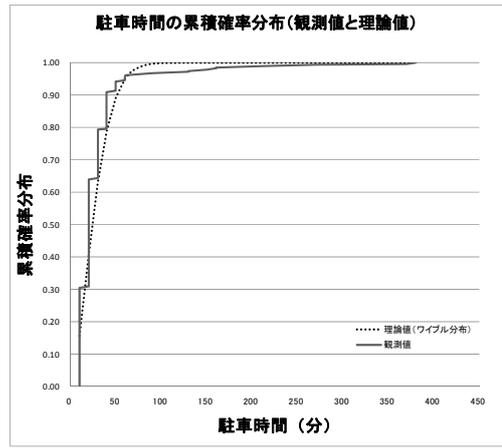


図 5 中規模スーパーマーケット付帯露天駐車場（休日）

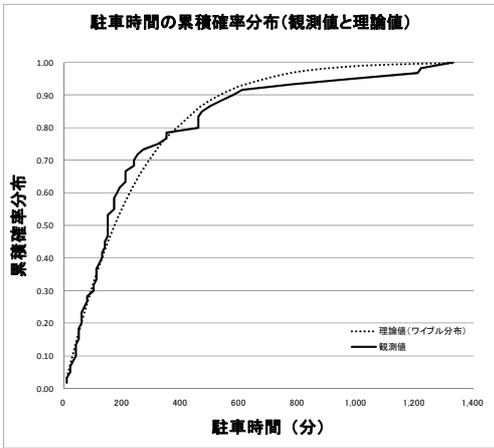


図 3 ビジネス街の時間貸露天駐車場（休日）

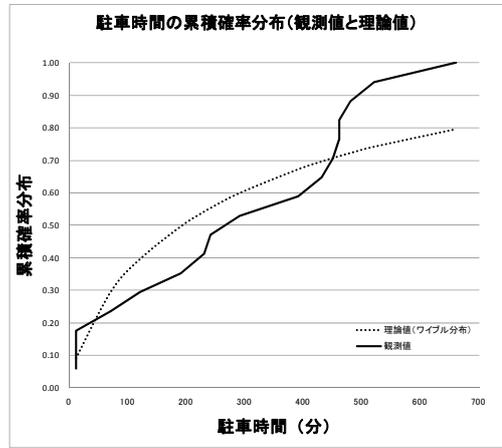


図 6 一般月極露天駐車場（平日）

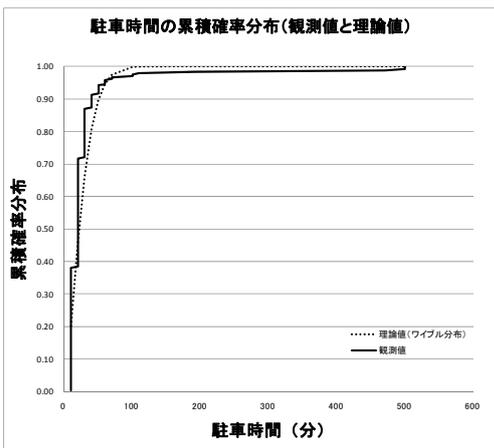


図 4 中規模スーパーマーケット付帯露天駐車場（平日）

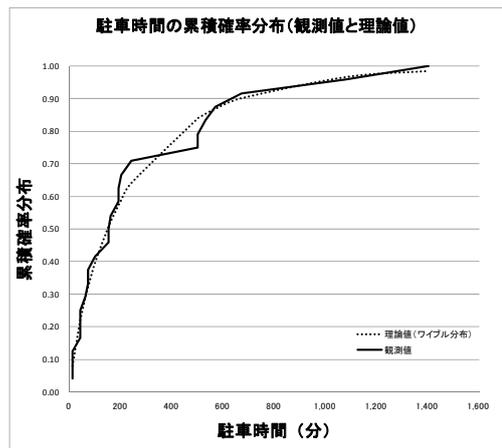


図 7 一般月極露天駐車場（休日）

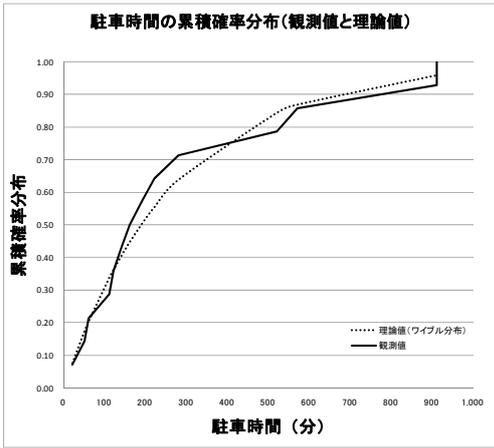


図 8 マンション付帯立体駐車場 (平日)

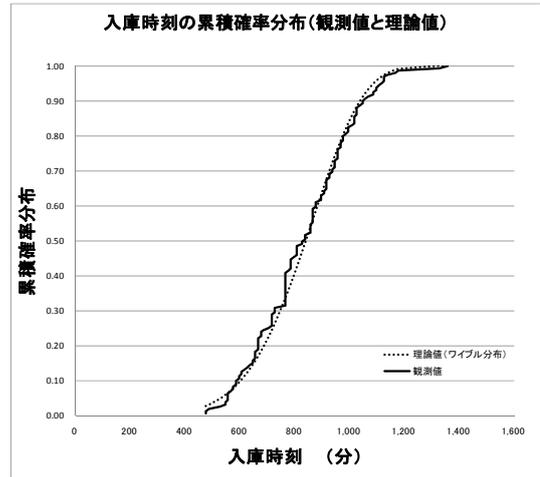


図 10 ビジネス街の時間貸露天駐車場 (平日) における
入庫時刻 (午前零時からの経過時間 [分]) の分布

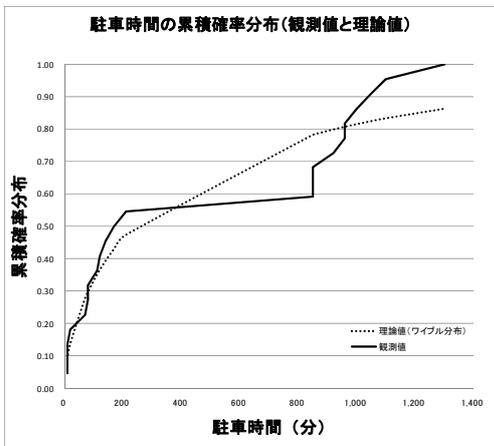


図 9 マンション付帯立体駐車場 (休日)

つぎに、観測値がワイブル分布による理論値とよく適合し、観測数も159と多かったビジネス街の時間貸露天駐車場の平日データ (図2) について、入庫時刻 (駐車場への到着時刻) のワイブル分布によるモデル解析を行った。その結果は以下のとおり。

このように、入庫時刻 (午前零時からの経過時間) についても観測値はワイブル分布でよく近似できた。

(2) モンテカルロシミュレーションによる解析

ビジネス街の時間貸露天駐車場の平日データ (観測台数159) をもとに構築した入庫時刻と駐車時間の確率モデル (それぞれワイブル分布)、EV車両である確率 (0.2)、EV車両である場合の充電確率 (ロジスティック方程式) に従う確率過程をモンテカルロシミュレーションにより20回再現する模擬実験を行った。なお、各模擬実験では1日の入庫台数を、実際の観測データ (総駐車マス数27のうちの18マスについて、1日の入庫数159台) から240台 (回転率8.89) とした。その結果を表2と図11に示す。

表 2 モンテカルロシミュレーションによる模擬実験結果

入庫時刻	毎正時におけるEV充電車両台数																							
	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時
第1回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	4	4	3	4	1	0	0	0	0	0
第2回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	2	4	2	3	3	1	1	1	1	0
第3回目	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	3	2	2	3	3	5	4	2	0	0	0	0	0	0
第4回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	4	5	6	5	3	4	4	2	0	0	0
第5回目	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	5	7	5	4	6	3	3	1	1	1	0
第6回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	3	3	4	5	4	2	2	0	0	0	0
第7回目	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	1	1	2	7	7	5	5	3	1	0	0	0	0
第8回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	3	0	0	0	0	0
第9回目	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	1	6	7	6	6	4	3	2	0	0	0	0
第10回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	1	2	3	3	3	2	2	1	0	0	0	0
第11回目	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	3	5	6	4	3	3	2	1	1	1	1	0	0
第12回目	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	5	3	4	3	3	1	1	4	3	0	0	0	0
第13回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	3	2	2	1	1	1	0	0	0
第14回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	4	4	3	2	1	0	0	0	0	0
第15回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	5	6	3	2	2	2	3	0	0	0	0
第16回目	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第17回目	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	4	2	4	1	1	0	1	0	0	0	0	0
第18回目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	7	7	7	8	6	4	2	0	0	1	1	0
第19回目	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	4	6	6	4	4	4	2	3	2	0	0	0
第20回目	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	0	0	0	0.05	0.05	0	0.15	0.4	0.45	0.6	1.1	1.95	2.9	3.9	4.1	3.9	3.05	2.6	1.9	1.3	0.45	0.2	0.15	0
最少	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
最多	0	0	0	1	1	0	1	1	3	4	3	5	6	7	7	8	6	6	4	4	2	1	1	0

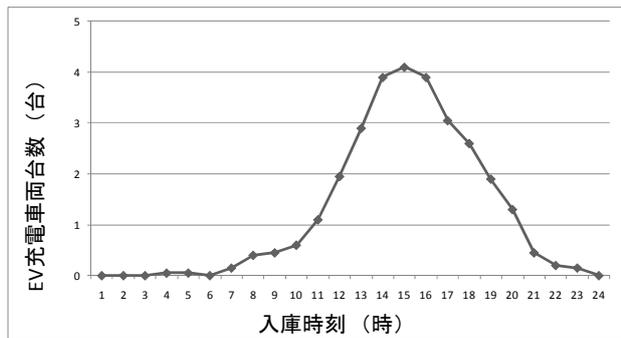


図 11 入庫時刻別の充電ニーズ (平均)

モンテカルロシミュレーションの結果から、平均的にもっとも充電ニーズが高かったのは15時の時間帯で、模擬実験20回の平均で4.1台の充電器が必要になることがわかった。これは当該駐車場の総駐車マス数である27台の約15%に相当する。また、20回の模擬実験の中では、最高8台のEV車両が充電する場合は16時の時間帯に観察された。

以上のシミュレーション結果をもとに、駐車場における充電器の必要台数について考察するならば、今回調査したビジネス街の時間貸露天駐車場については、回転率を9程度、EV普及率を20%とした場合、EV車両による充電ニーズに応えるために総駐車マス数の15%程度に充電器を設置することが一つの目安になる。なお、この充電ニーズは、駐車場の回転率（1日の入庫台数/総駐車マス数）に比例することから、実際には1日の回転率を確率変数として模擬実験に組み込む必要があるが、本研究では長期にわたる回転率のデータを入手できなかったため、調査した平日1日のデータをもとに定数とした。

1台の普通充電器（200V）の消費電力量は3kWであることから、駐車場に充電器を複数台設置する場合の最大消費電力量は3kWの設置台数倍となる。これに合わせて駐車場全体の電力設備容量を想定する必要があり、その点でも駐車場における充電器の必要設置台数の予想は、電力設備容量や契約電力量の設定にとって参考となる。

現実問題として、時間貸駐車場では充電器を設置した駐車マスに「電気自動車優先」などと表示したとしてもEV以外の車両が駐車することが十分に予想される。こ

れに対応して全駐車マスに普通充電器を設置する方が考えられるが、そのような状況においても、1日のうちで同時にEV車両が充電する台数の予想は、電力設備容量の設定、あるいは既存の電力設備容量の範囲内で複数のEV車両の充電を制御するシステムの設計にとって参考となる。

5. おわりに

本研究では、時間貸駐車場への入庫時刻および駐車時間の確率分布にそれぞれワイブル分布を適用した。また、EV運転者が駐車時間中に充電する確率をロジスティック方程式で近似した。一般的には様々なタイプの駐車場にはそれぞれ異なるユニークな関数が適合すると考えられる。本研究で採用したモデル（ワイブル分布、ロジスティック方程式）は、複雑な確率過程を再現するための模擬実験の手順を示すために適用した一つの事例である。また、1日の入庫台数は、EV普及率と同様に充電器の必要台数に直接影響する重要な要因であり、そのモデル化は今後の研究課題である。さらに、現実には駐車時間が入庫時刻に依存することも考えられることから、駐車場における車両の入出庫を再現するためのより複雑な確率モデルの適用も今後の課題である。

参考文献

- 1) 塚井, 奥村, 吉村: 施設利用交通の目的時刻別交通量への分解, 交通工学研究発表会論文報告集, pp237-240, 2006.
- 2) 川浦: 高速道路のサービスエリアにおける駐車場実態調査とその解析 (その2), 生産研究, pp50-52, 1968.
- 3) 川浦: 高速道路のサービスエリアにおける駐車場実態調査とその解析 (その3), 生産研究, pp40-43, 1969.
- 4) 次世代自動車戦略研究会: 次世代自動車戦略 2010, p11, 2010.

A STUDY ON THE DISTRIBUTION OF PARKING DURATIONS OF CARS ENTERING INTO A PARKING LOT WITH A SPECIAL THOUGHT ON A NUMBER OF CHARGING FACILITIES FOR ELECTRIC VEHICLES TO BE PLACED IN THE PARKING LOT

Ryuichi YOSHIDA, Fumio TAKAHASHI, Kunio KAWAMOTO and Junji NISHIDA