

待ち行列とシミュレーションを用いたサービスエリアの充電設備数の研究

2020SS084 若原和寿

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

地球温暖化の影響で異常気象が世界各地で起こっている。そのため、世界全体で地球温暖化対策が求められている。日本では 2050 年までに温室効果ガスの排出を実質 0 にするカーボンニュートラルを目指している [1].

カーボンニュートラルの実現を目指す取り組みの一つが「電気自動車の普及」である。

2 日本の電気自動車の現状と普及にむけた課題

日本では、2012 年から 10 年間で電気自動車保有台数は約 10 倍増加している [2]。しかしながら、2022 年度新車販売台数における EV 車 (プラグインハイブリッド車を含む) の割合は 3% 程度である [3].

日本で電気自動車が普及しない理由は様々あると考えられるが、理由の 1 つとして考えられるのは「充電設備の不安」である。現状では電気自動車の数に対して公共の充電設備の数が圧倒的に足りていないため、混雑する場所などでは充電待ちが発生する可能性が高い [1]。そこで本研究では、充電する車の数に応じた充電設備数を待ち行列とシミュレーションを用いて研究する。

3 M/G/s シミュレーション手順

シミュレーションモデルは、 s 台の充電設備があり、ランダムに充電したい車が来ると仮定する。利用者は空いている充電設備を順番に利用し、利用後は速やかに車を移動するものとする。充電時間は指数分布以外の分布を与えるものとする。

シミュレーションモデルに基づき、以下の手順で Excel を用いて 5000 回シミュレーションを行う。

1. 利用者の到着間隔と充電時間を決めるための乱数をそれぞれ発生させる。
2. 発生させた乱数から到着間隔と充電時間を決定する。
3. 1000 台の車が充電を終えるまでを 1 サイクルとし、301 台目から 1000 台目までの合計待ち時間を台数で割ることで平均待ち時間を求める。

4 到着間隔の発生方法

到着間隔をランダムに発生させる方法は以下の通りである。

1. 利用者の到着間隔を決めるための乱数を発生させる。
2. 到着間隔を決めるための乱数を利用して到着間隔を決める。その際、到着間隔は指数分布に従っていないければ

ならない。

指数分布の確率密度関数 $f(x)$ は以下の通りである。

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x > 0 \quad (1)$$

したがって (1) を積分することで累積分布関数 $F(x)$ が求まる。

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda x} \quad (2)$$

到着間隔にあたる x は (2) より $x = \frac{-\log(1-F(x))}{\lambda}$ となる。また、累積分布関数 $F(x)$ は 0 から 1 の値を取ることから $F(x)$ には発生させた乱数の値を代入する。

5 待ち行列で用いる記号の定義

λ : 充電したい車の平均到着率

s : 充電設備数

μ : サービス率 [台/時間]

c : 変動係数 (=標準偏差/平均)

$EW(M/G/s)$: M/G/s 待ち行列の平均待ち時間

$EW(M/M/s)$: M/M/s 待ち行列の平均待ち時間

$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$: トラフィック密度

6 計算式

M/M/s(到着間隔と充電時間がランダムであり、窓口が複数あるとき)の待ち時間は以下の式で表される [4].

$$EW(M/M/s) = \frac{(s\rho)^s}{s!s\mu(1-\rho)^2} \left\{ \sum_{k=0}^{s-1} \frac{(s\rho)^k}{k!} + \frac{(s\rho)^s}{s!(1-\rho)} \right\}^{-1} \quad (3)$$

また、 $\rho < 1$ が成り立つ。

7 近似式

公共の充電設備は充電時間がある程度制限できることから、充電時間が一般形である場合を考えていく。しかし、充電時間が一般形である M/G/s 待ち行列の待ち時間を正確に求めるのは困難である。そこで本研究では近似式を使うことで M/G/s 待ち行列の待ち時間を求めていく。使用する近似式は以下の通りである [4].

- 窓口が複数

$$EW(M/G/s) \simeq \frac{1}{2}(1+c^2)EW(M/M/s) \quad (4)$$

また、近似式を使用する際は、求められている精度にしたがって近似精度の確認を行う [4]. M/G/s 待ち行列の場合

は変動係数がそこまで大きくない ($c^2 \leq 2$) ことを確認したうえで以下の不等式で近似精度を確認する [4].

- 誤差 10%

$$1 \leq s \leq \left[\frac{1+\rho}{1-\rho} \right] \quad (5)$$

8 海老名サービスエリア (下り)

利用者が多く、待ちが発生しやすいと思われる公共施設海老名サービスエリア (下り) の待ち時間についてシミュレーションと待ち行列を用いて考える. シミュレーションモデルは 3 台の充電設備があり, 利用者は空いている充電設備を順番に利用する. 利用者の到着間隔 λ は 6 分から 10 分までの場合を考え, 利用時間は 1 回 5 分から 30 分までの連続一様分布に従うとする. また, 計算で使用する値はシミュレーションと同じ条件の値を使用する. 到着間隔とトラフィック密度の関係を表 1 に示す.

表 1 代入値

到着間隔 (分)	6	7	8	9	10
ρ	0.97	0.83	0.73	0.65	0.58

9 結果まとめ

シミュレーション結果と計算結果を図 1 に示す.

表 1 と図 2 より, トラフィック密度が 1 に近いほど待ち時

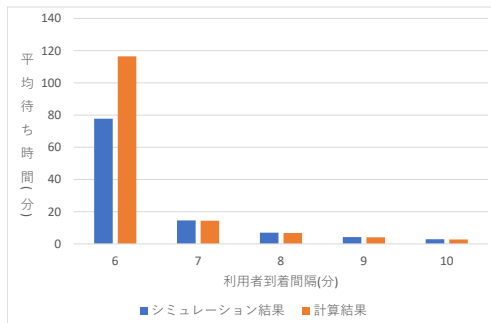


図 1 一様分布である場合の待ち時間

間の待ち時間は増える. また, 到着間隔が 6 分の場合に, 計算結果とシミュレーション結果に大きな差が存在するため, シミュレーション結果をヒストグラムに示す.

図 2 から, 得られた結果に幅があり, 良いシミュレーション結果ではないと考えられる.

10 充電設備を増やしたときの改善予測

到着間隔が 6 分のときに, 充電設備を式 (5) 範囲内で増やした場合の改善度を図 3 に示す.

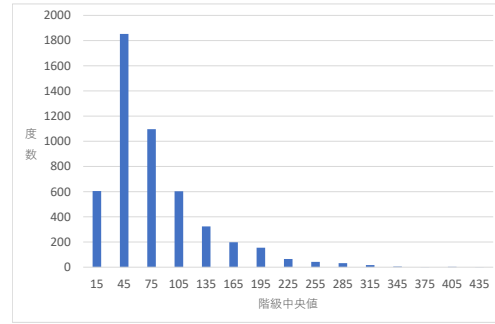


図 2 到着間隔が 6 分の場合のシミュレーション結果

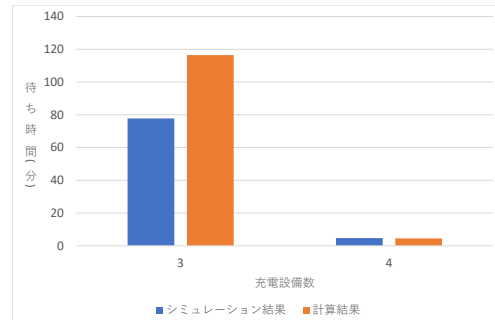


図 3 充電設備を増設したときの改善予測

11 おわりに

今回の結果では, トラフィック密度が 0.7 程度となるように充電設備を配置するのが良いと考える. 利用者と利用時間の分布が分かれば, 理想の充電設備数が求められることが電気自動車の普及につながれば幸いである.

参考文献

- [1] 充電インフラの普及に向けた取り組みについて 2022 年 11 月 11 日 経済産業省 自動車課, <https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20221111/221111energy13.pdf>, 閲覧日 2024 年 1 月 9 日
- [2] 自動車検査登録情報協会 令和 4 年 (2022 年) ハイブリッド車・電気自動車の保有台数推移表, https://airia.or.jp/publish/file/r5c6pv0000010qsk-att/04_HV_EV.pdf, 閲覧日 2024 年 1 月 9 日
- [3] IEA - International Energy Agency, <https://www.iea.org/>, 閲覧日 2024 年 1 月 9 日
- [4] 木村俊一, M/G/s 待ち行列の近似式の有効性について, オペレーションズ・リサーチ, 33 巻, 5 号 (1988), 226-229