

電気自動車バッテリーに対する在庫シミュレーション
—電池交換によるバッテリー充電の時間短縮—
The inventory simulation to an electric vehicle battery
—The time crunch of the battery charge by battery exchange—

○森本脩平¹, 後藤悠², 泉隆³

*Shuheji Morimoto¹, Yu Goto², Takashi Izumi³

Abstract: The charging time of the battery which is a fault of an electric vehicle paid its attention to this research at a long time. Shortening of time is attained by exchanging a charged battery. Therefore, in this research, the simulation of the safety stock and the loss was performed by the technique of having used queuing.

1. はじめに^[1]

現在,地球上で起こっている環境問題の 1 つに地球温暖化がある.その原因は主に二酸化炭素であると言われている.日本の二酸化炭素排出量のうち,19.5%を運輸部門が占めており,その部門のうち 88.1%をバス,タクシーを除いた自動車が占めている.また,このような状況に加え,近年では石油の価格高騰や枯渇も問題となっている.地球温暖化やエネルギー不足がある中,排気ガス・燃費は自動車の利用量とともに増加傾向にあり,二酸化炭素排出の削減および,石油に代わるエネルギーの変更が重要とされている.このような背景からエネルギーの代替として電気を用いた自動車の開発が進められている.

電気自動車の問題点として充電時間が長い,充電走行が短い,高性能電池を積載するため車自体の価格が高い等が挙げられる.特に充電時間では電気自動車の車種によって違いがあるが 100V 電源での充電では 8~14 時間,200V 電源では 5~8 時間の充電時間が必要になり,急速充電の場合ではバッテリーの 80%の充電に 30 分かかる.しかし,バッテリー自体を充電済みのバッテリーと交換することで交換時間約 5 分で充電したと見なすことができる.

本報告では充電時間が長いという欠点に注目し,充電時間の短縮を図るため自動車のバッテリー交換の提案,及びそれに伴う待ち時間,バッテリー在庫量に関する問題を待ち行列を用いたシミュレーションでの検討を行ったので報告する.

2. 待ち行列

待ち行列とは,サービスを提供する窓口で消費者が到着し,並んで待つ状況をモデル化したものである.

バッテリー交換をする際,自動車のバッテリーの他にスタンドまでの到着時点での間隔や退去間隔について確率的な挙動と考えられる.また,バッテリーを交換している時間,完了時間などの流れがある.このような流れを確率的に決めるために待ち行列の手法^[2]を利用する.

3. バッテリーの在庫の確率

スタンドには,交換に応じて充電済みバッテリーが常に用意されている必要がある.そのバッテリーがどれほど必要か知るため安全在庫数を求める.交換ステーションでのバッテリー在庫として,充電済みバッテリー,充電中のバッテリー,空バッテリーの 3 つの状況が考えられるので,これらのバッテリーの総数を検討する.

表 1 に式(1)~(4)で用いるパラメータを示す.

Table 1. Correspondence of a waiting line model

スタンド	記号
総バッテリー数	N
車両の到着間隔	1/λ
充電スロット数	s
充電時間	1/μ
空バッテリー	n

スタンド内のバッテリー在庫の確率過程について定式化する.

スタンド内の状況を以下の条件の時を考える.

- ①空バッテリーがスロット数より少ない時($n < s$)
- ②空バッテリーが総バッテリー数より少なく,スロット数より多い時($s \leq n \leq N$)

このときの定常分布の式は式(1),(2)となる.

$$P_0 = \left(\sum_{n=0}^s \frac{(s\rho)^n}{n!} + \frac{s}{s!} \sum_{n=s+1}^N \rho^n \right)^{-1} \quad (1)$$

$$P_n = \begin{cases} \frac{(s\rho)^n}{n!} p_0 & (n < s) \\ \frac{s^s}{s!} \rho^n p_0 & (s \leq n \leq N) \end{cases} \quad (2)$$

p_n は充電しているバッテリー数, ρ^n はバッテリーが n 個以上充電を待っている状態を示す。式(1)の P_0 はスタンド内に消費者がいない状態を示し、式(1)の左側はすぐに交換可能な確率、右側は全てのスロット数が塞がり待機状態となる確率を示す。式(2)は上記の条件①,②を示す。

また、混み具合(利用率)を ρ とすると式(3)となる。

$$\rho = \lambda / s\mu \quad (3)$$

$\rho < 1$ のとき定常分布が成立するので、到着率や充電時間に応じてスロット数が決まる。

4. 安全在庫数

バッテリー交換を行うために必要となるバッテリー在庫を求めるために式(1)~(3)を用いてスタンド内バッテリー数の定常分布を求めた。

条件を車両間隔 10 分、充電完了時間 30 分、スロット数 100 台、総バッテリー数 150 個として求めた場合のスタンド内バッテリー数の定常分布図を図 1 に示す。

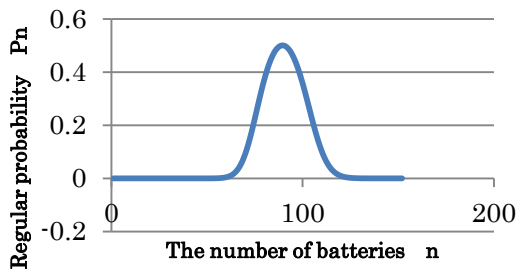


Figure1. Stationary distribution

図 1 よりスロット数を 100 台にした場合、空バッテリーが 90 個の時ピークとなっていることが分かる。これより、今回の条件下では最低でもバッテリー 90 個用意できれば安全在庫数としてバッテリーが確保されたことになる。

5. 損失確率^[3]

スタンドに到着しても待ってしまう状況を損失と定義する。スタンド内に充電済みバッテリーが枯渇してはならないので、4 節で使用した条件下で損失確率を

求める。損失が発生する場合は、充電済みバッテリー数 $N-n$ が 0 であること、つまり $N=n$ のときである。このときの式が(4)となる。

$$P_N = \frac{s^s}{s!} \rho^N p_0 \quad (4)$$

この式(4)に $N=90$ で固定したときの混み具合、スロット数による損失を図 2 に示す。

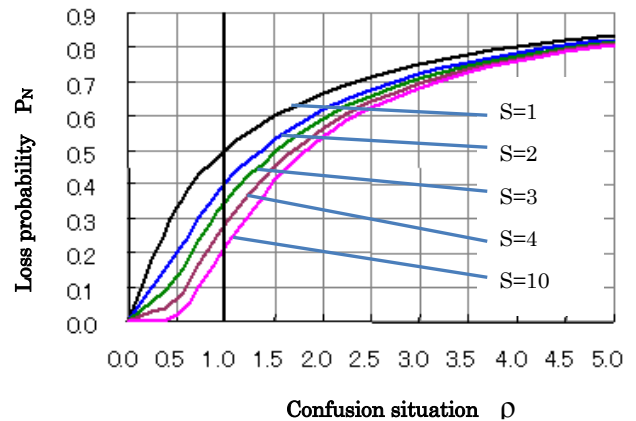


Figure 2. Loss probability

図 2 より今回の条件では、 ρ は 0.16 となり、損失確率は 4.2[%]となる。これは 4.2[%]の確率で充電待ちに遭うことを示す。同じ ρ であっても、窓口数 s が増加するにつれて、スロット数が塞がっている確率は小さくなり、サービスを受けられる確率が增大することが分かる。

6. まとめ

スタンドに必要とされるバッテリーの安全在庫数をシミュレーションで検討し、ある条件下で必要とされるバッテリー数の分布結果から損失確率を求めた。

今後は、実際のガソリンスタンドでの車両到着時間のデータを基に実際に必要とされるバッテリー数、そのときに生じる損失を検討する。それより得た結果から地域ごとで条件に合う在庫数を特定する。

7. 参考文献

- [1]本間裕大, "EV バッテリー交換ステーションにおける安全在庫モデル", オペレーションリサーチ (2010)
- [2]河西憲一, "待ち行列理論の応用", オペレーションリサーチ (2009)
- [3]高橋幸雄, 森村英典, "混雑と待ち", 経営科学のニューフロンティア, 朝倉書店 (2001.7.1)