

待ち行列を用いたEVステーションの最適設備数の検討

卜部 静香[†]奥田 隆史[‡]井手口 哲夫[‡]田 学軍[†]愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科[†]愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科[‡]

1 はじめに

自動車は、我々の生活の中でなくてはならないものである。ガソリン車はCO₂を排出しており、先進国におけるCO₂排出量の大部分となっている[1]。また、ガソリン車は都市部で深刻化している大気汚染の原因にもなっている。

このような背景の下、各自動車会社から電気自動車(以下、EV)が販売されている。EVは、バッテリーに蓄えた電気でモーターを回転させて走るため、排気ガスを全く出さず、走行騒音も大幅に減少され、ガソリン車よりはCO₂排出量は少ない[2]。しかし、EVには連続航続距離の短さ、バッテリーの充電時間の長さ、充電設備などのインフラ整備等の問題がある。これらの問題を解決することがEVの普及の鍵となる。そこで、本研究ではEVのバッテリーを充電、または交換をおこなうEVステーションの構成を提案し、それぞれの設備のサーバー数について確率モデルによって検討する。

2 EVステーション

本研究で提案するEVステーションは大別すると、(1)急速充電器でEVのバッテリー充電をおこなう充電スタンドと、(2)EVのバッテリー交換をおこなうバッテリー交換ステーションで構成されている。(図1参照)

(2)には(a)バッテリー交換スペースと(b)充電システムが備えられている。(a)では、交換設備でEVのバッテリー交換をおこなう。(b)では、(a)で交換されたバッテリーの充電を充電器を用いておこなう。

よって、EVステーションは急速充電器、交換設備、充電器のサーバーを用いており、各サーバー数によって、各設備でのEVの待ち時間が変動する。このように考えると、EVステーションは待ち行列システムとしてモデリングすることができる。本研究では、最適なサーバー数の検討をする。

次に、(1)と(2)について詳しく説明する。

(1) 充電スタンド

EVのバッテリー充電方法は、2種類ある[3]。1つは、一般家庭用電源と同じ交流電源(单相100ボルト(普通充電)あるいは单相200ボルト(倍速充電))を用いた充電器で満充電する方法である。この充電方法では、バッ

テリーが満充電状態になるまでおおよそ4~8時間程度要する。2つは、急速充電器でバッテリーを急速充電する方法である。EV用の急速充電器は、一般的に約30分でEVの空のバッテリーを約80%充電することができる。

充電スタンドでは、急速充電器でバッテリー充電をする。EVは充電スタンドに到着したら、(I)急速充電器が空くまで待機し、(II)急速充電器が空き次第、充電をおこなう。EVは充電終了次第、充電スタンドから去る。

ただし、充電スタンドで充電待ちが可能なEVの数は、急速充電器の数までとする。もしEVが充電スタンドに到着した時点で、急速充電器と同数のEVが充電待ちをしていた場合、充電スタンドを利用することができないので(充電スタンド非利用率: P_{L1})、バッテリー交換ステーションを利用することとする。

(2) バッテリー交換ステーション

ここでは、(a)と(b)について説明をする。

(a) バッテリー交換スペース

バッテリー交換ステーションに到着したEVは、バッテリー交換スペースへ移動する。バッテリー交換スペースでは、そこに到着するEVの消耗したバッテリーを交換設備によって取り外し、満充電状態のバッテリーと交換する仕組みになっている[4]。交換作業は全て機械によっておこなわれ、その交換時間はガソリンスタンドでの給油よりも短時間で完了する。

EVはバッテリー交換スペースに到着したら、(i)交換設備が空くまで待機し、(ii)交換設備が空き次第、バッテリー交換をおこなう。交換終了後、EVはバッテリー交換スペースから去る。

(b) 充電システム

充電システムでは、(1)で述べた充電器でバッテリー充電がおこなわれる。

(ii)の時、EVから取り外したバッテリーは、充電システムの収納棚Aに収容される。①バッテリーは、充電器が空くまで収納棚Aで待機し、②充電器が空き次第、バッテリーを収納棚Aから取り出し、充電を開始する。③充電終了後、満充電状態となったバッテリーは収納棚Bに収容される。よって、バッテリー交換スペースに到着したEVのバッテリーは、収納棚Bから取り出した満充電済みのバッテリーと交換される仕組みとなる。

なお、収納棚Aにバッテリーが収容されると同時に、収納棚Bからバッテリーが取り出されるので、充電システム内に存在するバッテリー数は常に一定であり、その数を N 個とする。また、(i)と(ii)の時のEVの合

Optimal Servers of Electric Vehicle Station Using Queueing Model

[†]Shizuka URABE, Xuejun TIAN

[‡]Department of Information Systems, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

[‡]Takashi OKUDA, Tetsuo IDEGUCHI

[†]Department of Applied Information Science and Technology, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

計数は、③の時の収納棚 B に収容されている満充電済みのバッテリー数までとする。よって、収納棚 B に収容されているバッテリー数より多くバッテリー交換スペースに EV が到着した時は、バッテリー交換ができないので (バッテリー交換スペース非利用率: P_{L2})、充電スタンドを利用することとする。

3 数値例

EV ステーションに到着する EV の到着間隔は、平均 λ^{-1} の指数分布に伴うポアソン到着とする。EV は、EV ステーションに到着した時、確率 p で充電スタンドを利用する。この時、すでに急速充電器と同数の EV が充電待ちをしていた場合、バッテリー交換スペースを利用する。また、EV は確率 $1-p$ でバッテリー交換ステーションを利用する。この時、すでに収納棚 B に収容されているバッテリー数と同数の EV が交換待ちをしていた場合、充電スタンドを利用することとする。なお、どちらも利用できない場合もある (EV ステーション非利用率: P_{L3})。

充電スタンド、バッテリー交換スペース、充電システムの3つの設備には、各サーバーの急速充電器、交換設備、充電器をそれぞれ計 $s_c, s_r, s_{c'}$ 個保有している。各サーバーの処理時間は、平均 $\mu_c^{-1}, \mu_r^{-1}, \mu_{c'}^{-1}$ の指数分布、一定分布、指数分布に伴うものとする。

本研究では、 $\lambda^{-1} = 3, \mu_c^{-1} = 30, \mu_r^{-1} = 240, \mu_{c'}^{-1} = 1.25$ とした。単位時間は [分] を想定してある。

シミュレーション結果を表 1~3 に示す。シミュレーションには、離散シミュレータ Csim20 を利用した [5]。

表 1~3 は、 $N = 130, 140, 150, s_c = 2, 3, s_{c'} = 77 \sim 81, p = 1/10, s_r = 1$ の時の $P_{L1} \sim L3$ を示している。なお、利用率 $\rho = \lambda/s\mu$ であり、 $\rho < 1$ が定常分布の成立条件であることから、 $s_r = 1$ とした [6]。

本研究では、最適サーバー数を求めるにあたって、 P_{L3} に着目する。 P_{L3} が発生すると、EV ステーションに到着した客はどちらの設備も利用できない。表 2 に着目すると、 $s_c = 3, s_{c'} = 80$ の時に P_{L3} の確率は 0 となる。また、表 3 に着目すると、 $s_c = 2, s_{c'} = 79$ の時に P_{L3} の確率は 0 となる。よって EV ステーションの最適サーバー数は、 $N = 140$ の時は $s_c = 3, s_{c'} = 80, s_r = 1$ であり、 $N = 150$ の時は、 $s_c = 2, s_{c'} = 79, s_r = 1$ であることがわかった。

4 まとめ

本研究では、充電スタンド、バッテリー交換ステーションを兼ね備えた EV ステーションの構成を提案をし、それぞれの設備の最適サーバー数を求めた。今後の課題は、各設備にかかる費用を明らかにし、さらなる最適サーバー数を求めることである。また、実際に EV ステーションを建設するためにかかる初期費用やスペースの検討等が挙げられる。

参考文献

[1] ベタープレイスジャパン, “EV ネットワークとサービスのグローバル・プロバイダー”, <http://japan.betterplace.com/>.

[2] 大久保隆弘, 『「エンジンのないクルマ」が変える世界』, 日本経済新聞出版社, 2009.

[3] 高砂製作所, “電気自動車 (EV) 用急速充電器”, http://www.takasago-ss.co.jp/products/power_electronics/sp/tqvc/index.html/.

[4] 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”, 社団法人 日本オペレーションズ・リサーチ学会, vol. 55, No. 6, pp. 347-352, 2010.

[5] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com/>.

[6] 森村英典, 大前義次, 『応用待ち行列理論』, 日科技連出版社, 1975.

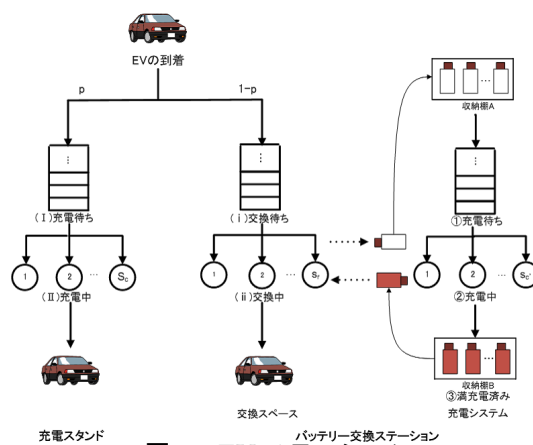


図 1 EV ステーション

表 1 各設備の非利用率 ($N = 130$)

$s_{c'}$	$s_c = 2$			$s_c = 3$		
	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}
77	0.045	5.40×10^{-4}	5.78×10^{-4}	2.47×10^{-3}	4.02×10^{-4}	24.3×10^{-5}
78	0.044	2.20×10^{-4}	2.26×10^{-4}	1.92×10^{-3}	3.42×10^{-4}	17.0×10^{-5}
79	0.041	2.11×10^{-4}	2.20×10^{-4}	2.46×10^{-3}	0.64×10^{-4}	2.40×10^{-5}
80	0.043	0.82×10^{-4}	0.56×10^{-4}	2.28×10^{-3}	1.60×10^{-4}	7.60×10^{-5}
81	0.042	0.51×10^{-4}	0.16×10^{-4}	2.18×10^{-3}	0.13×10^{-4}	2.00×10^{-6}

表 2 各設備の非利用率 ($N = 140$)

$s_{c'}$	$s_c = 2$			$s_c = 3$		
	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}
77	0.045	2.91×10^{-4}	3.72×10^{-4}	2.59×10^{-3}	1.77×10^{-4}	9.6×10^{-5}
78	0.044	2.66×10^{-4}	3.04×10^{-4}	1.76×10^{-3}	1.37×10^{-4}	6.4×10^{-5}
79	0.042	1.20×10^{-4}	1.12×10^{-4}	2.40×10^{-3}	0.33×10^{-4}	1.6×10^{-5}
80	0.043	0.33×10^{-4}	0.18×10^{-4}	2.28×10^{-3}	0	0
81	0.042	0.73×10^{-4}	0.46×10^{-4}	2.37×10^{-3}	0	0

表 3 各設備の非利用率 ($N = 150$)

$s_{c'}$	$s_c = 2$			$s_c = 3$		
	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}	P_{L1}	P_{L2}	P_{L3}
77	0.044	1.06×10^{-4}	1.36×10^{-4}	2.73×10^{-3}	1.48×10^{-4}	19.0×10^{-5}
78	0.042	1.55×10^{-4}	0.06×10^{-4}	1.88×10^{-3}	1.06×10^{-4}	7.00×10^{-5}
79	0.041	6.66×10^{-4}	0	2.40×10^{-3}	0	0
80	0.042	0	0	2.31×10^{-3}	0	0
81	0.043	0.24×10^{-4}	0.28×10^{-4}	2.37×10^{-3}	0	0