1ZF-5

電気自動車普及促進のためのインフラシステムの運用計画について -待ち行列理論による評価-

卜部 静香† 奥田 隆史† 井手口 哲夫† 田 学軍†

愛知県立大学大学院 情報科学研究科 情報システム専攻†

1 はじめに

地球温暖化の解決策として，CO_2 排出量やエネルギー消費量が少ない電気自動車 (以下，EV) を普及させることが急務となっている [1]．EV を普及させるために，我々の研究グループは充電設備などのインフラ整備が不十分であることに着目して，ガソリンスタンドに相当する EV のインフラシステムの構成の提案をしてきた [2]．提案インフラシステムは，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 (以下，交換ステーション) と，バッテリー充電をおこなう充電スタンドからなっている．ここでは，インフラシステムを運用するための鍵となる，交換ステーションで交換されたバッテリーを充電する充電器とバッテリー在庫の最適数を検討した．

しかしながら文献 [2] では，交換ステーションは 1 種類の EV のバッテリーしか対応していないと仮定している．一方で，複数の車種の EV に搭載されているバッテリーの種類は異なるため，限られた EV しか交換ステーションを利用することができないという問題点が挙げられる [3][4]．

そこで本稿では，EV には軽自動車 (以下，軽) と普通自動車 (以下，普通車) の 2 種類があるものとし，それぞれがもつバッテリーは異なるものとする．この条件の下，バッテリーの異なり方の様々なパターンを考慮した，EV の提案インフラシステムの運用方式を 2 つ提案し，待ち行列モデルとして表現し，両方式の性能の比較検討をおこなう [5]．運用方式は，バッテリーの種類，並びに在庫数に着目している．

2 EV のインフラシステム

本節では，EV の提案インフラシステムについて説明する．提案インフラシステムは，交換ステーションと充電スタンドから成り立っている．ただし，このインフラシステムは交換ステーションをメインとしている．充電スタンドを利用する場合は，交換ステーション内にフル充電済みのバッテリー在庫がなく，バッテリー交換をおこなうことができない場合のみとする (この時を，呼損と呼ぶ)．

本稿では，軽と普通車のバッテリーの異なり方は，①**バッテリーの総電力量がそれぞれ異なる場合**と，②**バッテリーの総電力量は同じだが，EV に搭載されているバッテリー数が EV の種類によって異なる場合**とする．以下では，①と②を考慮した，提案インフラシステムの 2 つの運用方式の説明をする (図 1 参照)．

方式 1:バッテリーの総電力量が異なる場合

本方式では，軽と普通車のバッテリーの総電力量が異なるので，軽用と普通車用の交換ステーションを設置する．軽が確率 p でインフラシステムに到着した時，軽用の交換ステーションへ行き，軽用のフル充電済みのバッテリー在庫がある場合のみ，バッテリー交換をおこなう．もしフル充電済みのバッテリー在庫がない場合 (**呼損率：**P_{L11})，充電スタンドでバッテリー充電をおこなう．

普通車が確率 $1-p$ でインフラシステムに到着した場合，軽と同様とする．普通車用のフル充電済みバッテリー在庫がない場合は，呼損となる (**呼損率：**P_{L12})．

なお，充電スタンドでは，どの種類のバッテリーにも対応しているものとする．

方式 2:EV に搭載されているバッテリー数が異なる場合

本方式では，バッテリーの総電力量は同じであるが，EV がもつバッテリー数が，EV の種類によって異なる．バッテリーの種類は同じなので，交換ステーションは 1 つのみ設置する．また，軽がもつバッテリー数は n_1 個，普通車がもつバッテリー数は n_2 個 とする．軽が確率 p でインフラシステムに到着したら，交換ステーションで n_1 個 のバッテリーを取り外し，フル充電済みの n_1 個 のバッテリーを取り付ける．同様に，普通車も確率 $1-p$ で交換ステーションで n_2 個 のバッテリーを取り外し，n_2 個 のバッテリーを取り付ける．

軽と普通車がインフラシステムに到着したときに，フル充電済みのバッテリー在庫がなく，充電スタンドで充電をおこなう呼損率をそれぞれ，P_{L21}，P_{L22} とする．

3 数値例

ここでは，以下に述べる数値例により，提案インフラシステムのシミュレーションをおこなう．そして，得られた結果から両方式の性能の比較検討をおこなう．

インフラシステムに到着する EV の到着間隔は，平均 $\lambda^{-1} = 2.0$[分] の指数分布に伴うポアソン到着とする．この到着間隔は，本大学の所在地である長久手市の自動車とガソリンスタンドの数をもとに，定めた [6][7]．確率 $p = 1/2$ とする．

方式 1 の軽用と普通車用の交換ステーションの，バッテリー交換をおこなうサーバー (交換設備) 数はそれぞれ s 軽$_{ex1} = 1$[台]，s 普$_{ex1} = 1$[台]，交換時間は μ 軽$_{ex1}^{-1} = 1.25$[分]，μ普$_{ex1}^{-1} = 1.25$[分] とする．各交換ス

Infrastructure System to Promote the Spread of Electric Vehicles -Evalution Using Queuing Theory-

†Shizuka URABE, Takashi OKUDA, Tetsuo IDEGUCHI, Xuejun TIAN

†Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Copyright ©2012 Information Processing Society of Japan. All Rights Reserved.

テーションで交換されたバッテリーを充電するサーバー (充電器) 数はそれぞれ s 軽$_{ch1}$台，s 普$_{ch1}$台，充電時間は μ軽$_{ch1}^{-1} = 240.0$[分]，μ普$_{ch1}^{-1} = 480.0$[分] とする．各交換ステーションのバッテリー在庫数はそれぞれ $N_{軽\,1}$ 個，$N_{普\,1}$個 とする．充電スタンドのサーバー (急速充電器) 数は $s_1 = 5$[台]，軽と普通車のバッテリー充電時間は，それぞれ μ軽$_1^{-1} = 15.0$[分]，μ普$_1^{-1} = 30.0$[分] とする．

方式 2 の交換ステーションの，バッテリー交換をおこなうサーバー数は $s_{ex2} = 1$[台] とする．$n_1 = 1$[個]，$n_2 = 2$[個] とし，軽と普通車のバッテリー交換時間はそれぞれ μ軽$_{ex2}^{-1} = 1.25$[分]，μ普$_{ex2}^{-1} = 2.50$[分] とする．交換ステーションで交換されたバッテリーを充電するサーバー数は s_{ch2}台，充電時間は $\mu_{ch2}^{-1} = 240.0$[分] とする．交換ステーションのバッテリー在庫数は N_2個 とする．充電スタンドのサーバー数は $s_2 = 5$[台] で，軽と普通車のバッテリー充電時間はそれぞれ μ軽$_2^{-1} = 15.0$[分]，μ普$_2^{-1} = 30.0$[分] とする．

なお，シミュレーションには，離散シミュレータ Csim20 を利用した [8]．

図 2，3 は，$\rho = \lambda/s\mu$ で，$\rho < 1$ となる定常分布の成立条件を満たしている時の両方式の呼損率を示す．図 2 は，バッテリー在庫数を $(N_{軽\,1}, N_{普\,1}) = (70, 140)$[個]，$N_2 = 210$[個] の時の両方式の交換ステーションがもつサーバー (充電器) 数を変化させた場合を示す．図 3 は，交換ステーションがもつサーバー (充電器) 数を (s 軽$_{ch1}$, s 普$_{ch1}$) = (70, 140)[台]，$s_{ch2} = 210$[台] の時の両方式のバッテリー在庫数を変化させた場合を示している．方式 1 の軽と普通車がもつバッテリー在庫数 (あるいはサーバー数) の割合は，軽:普通車=1:2 である．

両図とも，各呼損率はほぼ同じであることがわかるが，図 2 では，サーバー数がバッテリー在庫数より多い場合，余分にあるサーバーは使用されないため，呼損率は減ることなく，一定となる．図 3 では，バッテリー在庫数が増えるほど，呼損率は 0 に近づく．方式 1 は，EV が使用できる交換ステーションは制限されているが，方式 2 はどの種類の EV でも同じ交換ステーションを利用でき，制限されていないため，呼損率は方式 2 の方が低くなることがわかる．

図 4 は，利用率 ρ に対する両方式の呼損率を示す．両方式とも，交換ステーションのサーバー数とバッテリー在庫数は同じ数としてある．方式 1 の各交換ステーションがもつサーバーとバッテリー在庫数の割合は，軽:普通車=1:2 となっている．方式 1 では，どの ρ の値に対しても，P_{L11} と P_{L12} には差がほとんど見られない．これは，EV の種類，充電時間によって交換ステーションのサーバー数が考慮されているからである．しかし方式 2 では，$\rho > 1$ になると，P_{L21} と P_{L22} の差がどんどん広がっていく．これは，各 EV がもつバッテリー数の違いが影響していると考えられ，また，各 EV がもつバッテリー数の差が広がるほど，P_{L21} と P_{L22} の差は更に広がると考えられる．

4 まとめ

本稿では，複数の車種の EV に搭載されているバッテリーの種類が異なることを考慮した，EV のインフラシステムとその運用方式を提案した．そして運用方式の比較検討を，バッテリーの種類や在庫，システムのサーバー数に着目しておこなった．

今後の課題は，EV が家庭充電をおこなうことを考慮するなど，スマートグリッドの概念を用いた EV のインフラシステムの検討をおこなうことである [9]．

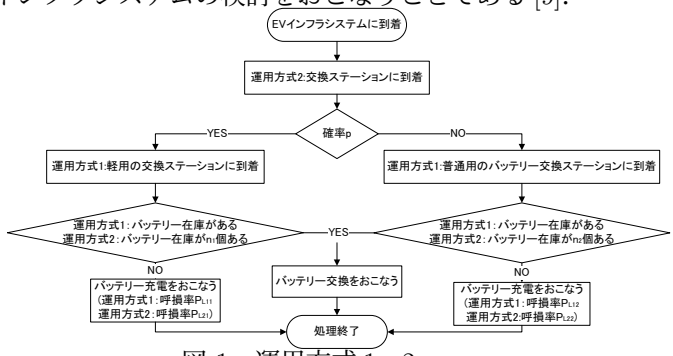

図 1　運用方式 1，2

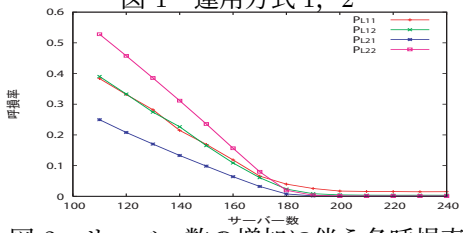

図 2　サーバー数の増加に伴う各呼損率

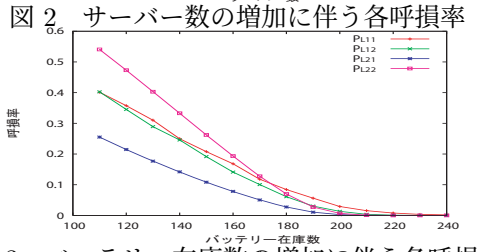

図 3　バッテリー在庫数の増加に伴う各呼損率

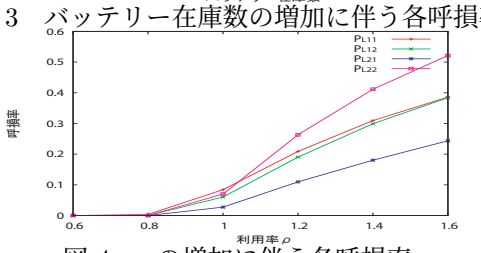

図 4　ρ の増加に伴う各呼損率

参考文献

[1] 池谷他, 電力中央研究所 “電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価”，電力中央研究所報告 研究報告 Q (08030), pp.1-35, 2009. [2] 卜部他，“電気自動車のインフラ整備計画手法の検討-待ち行列理論による-”，信学技報，vol. 109，no. 220，pp. 29-34，IN2009-67，2011 年 7 月．[3]EV ポータル，“-EV に関連する総合情報ポータルサイト-”，http://www.ev-life.com/．[4] 日産，“電気自動車 (EV) 総合情報サイト”，http://ev.nissan.co.jp/．[5] 村上,『わかりやすい情報交換工学』，森北出版株式会社，2009. [6] 本間，“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. [7] 長久手市，“平成 23 年度　ながくての統計」につい　て”，http://www.town.nagakute.aichi.jp/chosei/tokeideta/kikaku/ntoukei23.html. [8]Mesquite Software, http://www.mesquite.com/. [9] 百瀬，“スマートグリッドと ICT[I] -米国におけるスマートグリッド標準化動向”，電子情報通信学会誌，vol. 94，no. 12，pp. 1067-1071，2011.

Copyright ©2012 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.