

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710183

研究課題名(和文)電気自動車の社会的普及に向けたEVステーションの整備・運用方策に関する数理的研究

研究課題名(英文) Mathematical Analysis on the Optimal Management of EV Stations for Electric Vehicle's Diffusion

研究代表者

本間 裕大 (HONMA, Yudai)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号：40514055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電気自動車(EV)の社会的普及に向けたEVステーションの整備・運用方策について、オペレーションズ・リサーチ手法に基づいた数理的分析を行った。近年、EVに対する注目が高まっているが、その本格的な普及に当っては、車載バッテリーを充電(あるいは交換)するEVステーションを整備することが必須である。本研究では、EVステーションの適切な整備・運用方策を模索すべく(Ⅰ)各EVステーションの安定運用に関する分析、(Ⅱ)複数EVステーションの連携的整備に関する分析、という2視点から解析を行い、その数理的特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Electric vehicles (EV) have attracted an increasing amount of attention. However, the continuous cruising distance of an EV is limited to around 160 km, which is insufficient for everyday use. Battery capacity is the limiting factor in long-distance EV travel. In planning the EV infrastructure, an appropriate number of stations must be installed in cities. In this study, on the basis of the widespread EV use, we proposed a mathematical model for optimal management strategy of EV infrastructure.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：社会システム 電気自動車 支援ステーション 整備方策 運用方策

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化防止・脱炭素化など、環境意識の高まりも後押しし、電気自動車(EV: Electric Vehicle)に対する注目が高まっている。ここ数年は相次いで市販用EVの発売も開始されており、今後ガソリン車に取って代わり、社会全体への本格的な普及が期待されている。しかしながら、その本格的な普及に際しては、未だ課題も多いのも現状である。特に、バッテリー性能の限界による航続距離の短さと、その再充電に要する時間の長さは、大きな障壁と考えられる。現状では連続航続距離が160km程度と、十分な性能を有しておらず、その再充電には、急速充電でも1時間弱、完全充電には10時間以上かかる場合も多い。この問題に対しては、“バッテリー交換方式”という新たな電気自動車の運用形態が、Better Place社によって提案されている。これは、EVのバッテリーを“充電”するのではなく、“交換”することによって、わずかな停止時間でEVを利用可能な状態へ戻すアイデアである。ただし、当該アイデアでは、交換するための予備バッテリーを準備する必要があり、その追加費用負担という新たな問題も指摘されている。

このように、交通手段としてのEV性能は未だ発展途上であり、本格的な普及を果たすためには、技術発展のみならず、EVの具体的な利用方法についても議論することが必須である。このとき、特に重要となるのが、EVを支援するためのインフラ整備である。具体的には、ガソリン車に対するガソリンスタンドのように、EVに対しても、車載バッテリーを“充電”あるいは“交換”するためのステーション(以下EVステーションと呼ぶ)を、十分に整備しなければならない。これは、EVの使い勝手が大きくEVステーションの運用方策に依存していることを意味する。EVが真の意味で社会的に普及するためには、EVステーションを適切に整備し、運用していくことが極めて重要となる。

EVそのものの普及方策については、NEDOを始めとする様々な組織によってロードマップや技術的目標が掲げられている。しかしながら、EVを活用するための必要な基盤とも言えるEVステーションの運用方策については、必要ステーション数の試算がある程度であり、積極的な議論はなされていないのが実情である。前述のようにEVの特性がガソリン車と大きく異なる以上、EVステーションも従来のガソリンスタンド等とは全く異なる、新たな運用方策を追求しなければならない。また、EVの社会的普及は、都市活動に対し様々な副次的変化をもたらすことが予想される。ガソリン車が、現在社会において必要不可欠な移動手段であることは明らかである。したがって、ガソリン車からEVへの転換は、移動手段選択の変化によるCO<sub>2</sub>削減など都市生活における様々な局面に対し、影響を及ぼす重要な要素となり

得る。このように、EVという新たな移動手段が、都市生活の将来像にどのような変化をもたらすのか分析することには、大きな意義があるものと考えられる。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、EVとその支援インフラであるEVステーションの整備・運用に焦点を当て、オペレーションズ・リサーチ手法に基づいた数理的分析を試みる。具体的には、(I)各EVステーションの安定運用に関する分析、(II)複数EVステーションの連携的整備に関する分析、という2視点から解析を行うことを目的とする。これらはそれぞれ、EVの普及初期・中期に着目した研究項目としても整理できる。

EVの普及初期段階を想定した視点(I)の分析では、個別のEVステーションの運用方策に焦点を当てる。EVステーションの運営に当っては、ガソリンスタンドの運営とは全く異なるノウハウが求められる。そこで本研究ではまず、バッテリー交換式EVステーションにおける安全在庫モデルを、複数のバッテリー種別や、ステーション規模などの観点から拡張し、バッテリー交換式EVステーションにおける最適運用方策を明らかにする。次に、EVの普及がある程度進み、多くのEVステーションが運用される局面を考える。当該状況では、複数のEVステーションが互いに連携し、戦略的に配置・運用することが重要となる。本研究では、高速道路網ならびに二次元平面におけるEVステーション配置モデルを活用し、実交通データならびに道路ネットワークに基づいた、EVステーションの適正配置案と需要推定分析を提案する。

### 3. 研究の方法

まず、バッテリー交換式EVステーションにおける安全在庫モデルに関する数理的分析の研究方法について、まとめる。当該項目では、バッテリー交換ステーションにおける運営形態を分析するために、待ち行列ネットワークに基づいた基本モデルを定式化し、また安全在庫数の評価を行った。定式化に当たっては、「ステーション内の総バッテリー数は常に一定である」という性質を用いて、(i)満充電済みと、(ii)充電フェーズの、2状態のバッテリーがそれぞれ何本あるかによって、ステーション内のシステム状態が記述されるものとした。当該モデルは、結果としてよく知られたM/M/s/N待ち行列モデルとなる。さらに、それら各ステーションを、待ち行列ネットワークとして、複数、連携させたときに、如何なる社会的変化が起きるのかについても考察を行った。

次に、高速道路網におけるEV支援インフラ分析に関する数理モデルについてまとめる。当該項目では、z変換を用いて、高速道路における給電間隔と需要パターンの数理的關係に関する理論モデルを構築した。また、

当該モデルを全国高速道路ネットワークへと適用し、SA や PA に EV 急速充電器を配置した際の、需要予測を行った。

最後に、二次元平面における EV 支援インフラ分析に関する数理モデルについてまとめる。当該項目では、複数回の給電を考慮した、EV の経路選択に関する理論モデルを構築した。当該モデルは、非集計行動モデルをマルコフモデルの等価性を考慮することによって、計算量の面でも、実用的である。また、当該モデルを全国詳細 GIS ネットワーク（道路・流動・スタンド配置）と適用し、現存の EV スタンドに対する、需要予測を行った。

#### 4. 研究成果

まず、バッテリー交換式 EV ステーションにおける安全在庫モデルに関する数理的分析の研究成果についてまとめる。ここでは、一例として、社会に二種類のバッテリータイプが存在した場合の、バッテリー交換式 EV ステーションの最適在庫数についての分析結果について示す。

図1は、その計算結果であり、二種類のバッテリーの比率を様々に変化させながら、そのときのステーションにおける最適在庫数と、それに伴う呼損率を示したものである。

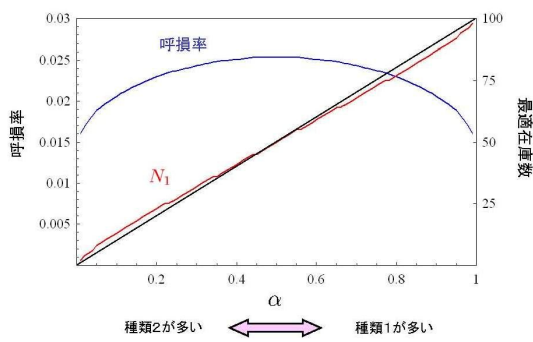


図1 二種類のバッテリーがある場合

これを見ると分かるように、各種類のバッテリーがちょうど半々ずつ社会に普及しているとき、呼損確率が最大となっていることが分かった。そして、その値はいずれか一方のみの場合 ( $\alpha = 0$  or  $1$ ) に比べ、およそ 1.5 倍程度にも達した。以上の分析より、バッテリー交換方式において多種類のバッテリーが存在する状況は、(充電設備の対応など) ステーション側の負担という意味でも、(個損確率という) ドライバーへのサービスという意味でも好ましくないことが判明した。

次に、高速道路網における EV 支援インフラ分析に関する数理モデルの研究成果についてまとめる。ここでは、やはり一例として、全国高速道路網の SA に EV 急速充電器を設置したと仮定した際の、各スタンドへの需要数予測を示す。

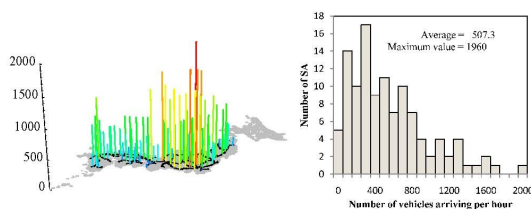


図2 各 SA への EV 需要数分布

図2を見ると、東京・大阪さらには福岡といった大都市部に近い SA で EV の到着台数が多くなっていることが見て取れた。また、東京-名古屋-大阪を結ぶ、いわゆる東名阪地域の EV 到着台数が多いことも、合わせて確認できた。東北、あるいは山陰といった地方部に目を転じて、大都市部ほどではないにせよ、1000 台前後の EV 到着台数が予想される SA が数多くあり、このことから、全国規模でのインフラ整備が重要であることが示唆された。

最後に、二次元平面における EV 支援インフラ分析に関する数理モデルの研究成果についてまとめる。ここでは、当該モデルを全国詳細 GIS ネットワーク（道路・流動・スタンド配置）と適用し、現存の EV スタンドに対する、需要予測を行った計算結果を示す。

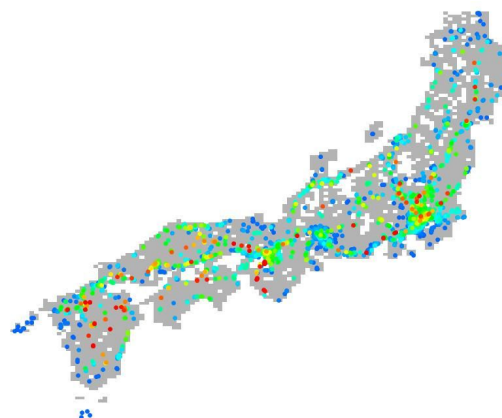


図3 各 EV ステーションへの到着数分布

図3に示した各 EV ステーションへの 1 日当り EV 到着数より、大都市圏の周囲や幹線道路近くに位置する充電施設へ、多くの EV が到着する様子が見て取れた。また、充電施設への 1 日当り EV 到着数のヒストグラムを分析すると、2151 施設ある EV ステーションのうち、約 63% はその EV 到着数が 1000 [台/日] 以下、また、各充電施設への平均到着数は 1097.2 [台/日]、最大値は 46031.3 [台/日] であることなどが判明した。一般に、高々 1 台の急速充電器しかない EV ステーションで対応できる EV 数は、15 [台/日] 程度と考えられるので、これから、逆算すると、EV 普及率が、約 1.5% 以下ならば、現状の EV ステーション規模でも、賄える可能性が判明した。一方で、EV ステーションへの EV 到着数の最大

値は 46031.3[台/日]となっており,高々1 台の急速充電器では全く,不十分な施設が存在することも推計された.

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計5件)

Yudai Honma, ``Modeling of Electric Vehicle Movement to and from Battery Charging Stations Allowing for Multiple Charging'', In Proceedings of EURO Working Group on Locational Analysis XX, Turkey, April 18 2013. 査読有.

本間裕大, ``複数回の給電を考慮したEV充電施設への到着数の見積もり'', 日本オペレーションズ・リサーチ学会2012年秋季研究発表会アブストラクト集, pp.170-171, 2012年9月. 査読無.

本間裕大, ``計算の効率性に着目した周回トリップチェーンのための空間相互作用モデル'', 早稲田大学高等研究所ディスカッション・ペーパー, WIAS DP-2012-001, 2012年8月. 査読無.

本間裕大, ``EV普及に向けたバッテリー交換方式に関するモデル分析 - 安全在庫数に着目した支援インフラの運営形態評価 -'', 早稲田大学高等研究所ディスカッション・ペーパー, WIAS DP-2011-008, 2012年3月. 査読無.

本間裕大, ``高速道路におけるEV充電インフラ整備に関するモデル分析 - 到着台数に着目したEV充電スタンド数の概算 -'', 早稲田大学高等研究所ディスカッション・ペーパー, WIAS DP-2011-007, 2012年3月. 査読無.

### [学会発表](計5件)

Yudai Honma and Shigeki Toriumi, ``Determining the Number of Battery Stations and its Charger for Electric Vehicles Based on Japanese road networks'', INFORMS Annual Meeting 2013, Minneapolis, USA, October 7, 2013.

Yudai Honma and Shigeki Toriumi, ``Estimating the Number of Electric Vehicles to Battery Charging Stations Allowing for Multiple Charging'', 24rd European Conference on Operational Research, Rome, Italy, July 1, 2013

本間裕大, ``電気自動車の社会的普及に向けたEVステーションの整備・運用方策に関する数理的研究'', 日本オペレーションズ・リサーチ学会「政治と社会と行政のOR」研究部会第19回研究会, 2013年1月28日.

Yudai Honma, ``An Optimal Management of Battery Switch Stations for Electric Vehicles Based on Queueing Network Theory'', International Conference on

Operations Research 2011, Switzerland, September 1, 2011.

Yudai Honma and Shigeki Toriumi, ``An Analysis for the Required Number of EV stations in Highway Networks Based on Z-transform'', 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies, Melbourne, Australia, July 15, 2011.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

本間 裕大 (HONMA, Yudai)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号: 40514055