

論文の内容の要旨

論文題目 電気自動車・プラグインハイブリッド車の充電制御による系統貢献度の評価

氏名 高木 雅昭

日本全体における CO₂ 排出量の約 20% は運輸部門が占め、そのうちの 90% は自動車由来となっている。従って、温室効果ガスの大幅な削減を達成するためには、低公害車の更なる普及が必要不可欠である。近年、石油依存度の低減および CO₂ 排出量を削減する自動車として、電気自動車 (EV: Electric vehicle) やプラグインハイブリッド車 (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle) が注目を集めている。PHEV とはハイブリッド車に搭載されている蓄電池の容量を増加することで、数十 km までの電気走行を可能とし、かつ家庭用電源からの充電が可能な車のことである。EV や PHEV の導入による環境負荷低減効果は、充電エネルギーの供給元である発電部門からの CO₂ 排出量も同時に考慮する必要がある。ここで、注意すべき点は、発電部門からの CO₂ 排出量は単に充電に伴う電力需要の増分だけでなく、充電を行う時間帯にも大きく左右されることである。従って、EV や PHEV による充電カーブが電源構成に与える影響を評価するモデルの開発が望まれる。

一方、発電部門においては、発電過程に CO₂ を排出しない原子力発電の発電比率向上が、今後も重要な要素になると考えられる。また、電力系統の負荷平準化には最低需要 (ボトム) 時間帯の充電が望ましく、負荷平準化によって原子力発電の導入量が増加した場合、更なる CO₂ 排出量の削減も期待できる。しかしながら、原子力の発電比率が系統電源に対してある一定割合を超えた場合、夜間に負荷周波数制御 (LFC: Load Frequency Control) 容量の確保が困難になるといった問題が生じてくる。これは、現状、原子力は出力一定運転を行っており、負荷に追従した運転を行っていないためである。

また、これと同時に発電部門では、太陽光発電 (PV: Photovoltaic) の大量導入が促進されており、「長期エネルギー需給見通し」の最大導入ケースにおいては、2030 年度までに約 5300 万 kW が導入されることを前提としている。しかしながら、自然エネルギーの出力は天候に左右されることから、PV の大量導入にあわせて系統安定化対策を講じる必要があることが指摘されている。特に、余剰電力対策として導入される蓄電池や揚水発電の設備投資費用が支配的であるという結論が得られており、PV の大量導入を実現するためにはこれらの課題を解決する必要があるといえる。

本研究では、PHEV の充電電力を制御することによって、負荷平準化や負荷周波数制御 (LFC: Load Frequency Control) の代替を実現する手法、ならびに EV の蓄電池を用いた PV の余剰電力対策を提案する。併せて、提案アルゴリズムの導入による系統貢献度を評価し、

電源構成の変化から生じるコストメリットから、提案システムの経済価値を算出する。

本研究で提案する制御システムに関しては、技術的には既の実現可能な領域に達しており、実際にシステムを導入するかどうかを決定する主な要因は費用対効果である。つまり、システムの導入によって得られる便益が、システムの構築に必要な投資費用をどれ程上回るかである。その為には、可能な限りシステムを簡便化し、投資費用を抑制することも重要な要素となる。また、提案システムのインフラ構築は EV や PHEV の普及割合や各コンポーネントの価格、制御効果（便益）をフィードバックしながら、段階的に行われると想定される。直感的には、片方向制御（充電側のみを制御）の段階を経た後、両方向制御（充放電制御）へとシフトするものと予想される。本研究で提案する充電アルゴリズムについてシステムの簡便さや通信頻度等を考慮すると、次に示す順番で段階的に導入することが望ましいと考える。

- ① PHEV のボトム充電（最低需要時間帯から優先的に充電）による負荷平準化
- ② PHEV の充電制御による LFC 容量の代替
- ③ EV の蓄電池を用いた PV の余剰電力対策

本論文は上記の導入ステップに沿った章構成としている。次に、各章の内容を概説する。

① PHEV のボトム充電による負荷平準化

第 2 章では、PHEV の負荷持続曲線に基づいたボトム充電アルゴリズムを提案する。本アルゴリズムでは、理想的にボトム充電した場合の負荷持続曲線の形状と、ある一定の充電電力で充電した場合の負荷持続曲線の形状が同一となるように、後者の充電電力の大きさを調整し、全ての PHEV に同一の充電電力を適用する。各 PHEV の充電電力量に応じて、電力需要の小さい時間帯から優先的に充電時間を選択することでボトム充電を実現する。本手法の最大のメリットは、一度充電電力の大きさを設定した後は通信による制御を必要とせず、自律分散的にボトム充電を実現できる点にある。PHEV の総充電電力量を理想的にボトム充電するケースを目標ケースとし、提案手法と目標ケースとの結果の差異を分析することで提案手法の有効性を確認した。

第 3 章では、電力価格を用いたボトム充電アルゴリズムを提案する。本アルゴリズムでは、理想的なボトム充電カーブの形状に基づき、各 PHEV がこの形状と相似に充電を行うことで電気料金が最小となるような電力価格の設定手法を提案する。各 PHEV は、提示された電力価格に対して電気料金が最小となるように各時間の充電電力の大きさを決定する。全ての PHEV の充電カーブを合計することで、理想的なボトム充電が実現される。本手法では、電力会社から PHEV の所有者に価格情報を伝達する必要があるが、第 2 章で述べる提案手法よりも高精度にボトム充電を実現できる。PHEV の総充電電力量を理想的にボトム充電するケースを目標ケースとし、提案手法と目標ケースとの結果の差異を分析することで提案手法の有効性を確認した。

② PHEV の充電制御による LFC 容量の代替

第4章では、PHEVの充電電力を制御することで、LFC容量の代替とする制御手法を提案する。地域内に多数存在するPHEVに需給バランスを保つために必要な変化量（地域要求電力）を一台ずつ割り当てるには、制御の複雑さや情報処理量の増大などの課題を克服する必要がある。提案手法では、PHEV一台ずつに周波数特性定数を持たせ、系統全体の負荷データを解析することによって、エリア内の全PHEVの周波数特性定数を推定する。推定された周波数特性定数に基づき、地域要求電力を各PHEVに配分することで、自地域の需給バランスを維持する。本手法の適用により、単一の制御情報を送信するだけで地域要求電力の大きさが各PHEVに適切に配分され、電力会社から所定の大きさの電力を制御することが可能となる。

第5章では、第4章で提案した充電制御手法の経済価値を算出する。提案システムの効果について、定性的にはPHEVの充電制御をLFC容量の代替とすることで、LFC運転を行っている高燃料費の石油火力や天然ガス火力等の発電電力量が削減されると解釈できる。つまり、出力調整可能な高燃料費の電源が、出力調整不可能な低燃料費の電源に代替されることによってコストメリットが生じることになる。提案システムの比較対象として、充電制御によるLFC容量の代替は行わず、1日の総充電電力量を各時間帯に最適配分するケースを考える。PHEVの普及率を変化させた時の各制御ケースの経済価値について比較、考察を行う。

③ EVの蓄電池によるPVの余剰電力対策

第6章では、EVの蓄電池を用いた充放電制御によるPVの余剰電力対策を提案する。本研究では、充電インフラの一つであるバッテリー交換ステーションの蓄電池をPVの余剰電力対策として活用することを提案し、その系統貢献度から経済価値を算出する。また、算出した経済価値について経済学的な解釈を与え、最適な導入容量の決定メカニズムについて論ずる。併せて、各天候における蓄電池の運用パターンについても明らかにする。