

## 科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号	: 12601
研究種目	: 若手研究(B)
研究期間	: 2011~2012
課題番号	: 23760254
研究課題名(和文)	スマートグリッドにおける電気自動車のスマート充電・充放電技術に関する研究
研究課題名(英文)	Study on Smart Charging and V2G Technologies for Cooperation of Smart Grid and Electric Vehicles
研究代表者	太田 豊 (OTA YUTAKA)
	東京大学・大学院工学系研究科・特任助教
	研究者番号 : 50372537

## 研究成果の概要(和文):

電気自動車を電力システムにとっての高速デマンドレスポンス資源, 分散型電力貯蔵として活用するための自律分散制御手法を確立した。また, 地域エネルギーマネジメントと集約蓄電池としての運用を意識したアグリゲータによる協調制御手法を提案した。電気自動車の走行・充電パターンと電力システムの諸特性を連成させたシミュレーションにより有効性を検証するとともに, 電気自動車の充電インターフェースに実装することで, 制御・通信性能や実現性を明らかにした。

## 研究成果の概要(英文):

The autonomous distributed smart charging and V2G control schemes were established for integrating the electric vehicles into power systems as fast demand response resources and distributed energy storages. Cooperative strategies for the regional energy management and the aggregated storage operation by the aggregator were also proposed. Effectiveness of the proposed control schemes were evaluated by the simulation considering both the driving and charging behavior of the multiple electric vehicles and the power system operation and control. The proposed smart charging and V2G control schemes were implemented to a commercialized electric vehicle and its charging interface system. Specifications of communication and control and feasibility of the system were evaluated.

## 交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野: 工学

科研費の分科・細目: 電気電子工学, 電力工学・電力変換・電気機器

キーワード: スマートグリッド, 電気自動車, 充電インターフェース, スマート充電, Vehicle-to-Grid, 高速デマンドレスポンス, バッテリマネジメント, アグリゲーション

## 1. 研究開始当初の背景

プラグインハイブリッド自動車・電気自動車を電力システムにとっての分散型電力貯蔵として活用する V2G (Vehicle-to-Grid) は, スマートグリッドの中心技術として注目を集め, 研究開発が世界中で進められている。米国では, 電気自動車の充電インフラと配電システムをデマンドレスポンスも考慮しながら

経済的に設計すること, 欧州では, 再生可能エネルギーと電気自動車を統合したスマートグリッドの枠組みを作り上げ, 国際標準化も志向している。そして, 電気自動車市場の中心となる中国でも, 充電インフラの V2G 対応に関する研究開発が進められている。電気自動車とその充電インフラが, 世界に先駆けて開発されている背景がある日本

において、スマートグリッドの将来像を想定した研究開発を行うことは、欧米の国際標準化や中国の低コスト化への対応に不可欠であろう。電力需給・送配電の制約を扱う電力系統工学と充電インフラ・バッテリーの充放電技術の知見に基づいて、学術的かつ現実的な再生可能エネルギー、電気自動車、電力系統をシステム統合化するスマートグリッド像を国内外に先駆けて発信することが求められている。

## 2. 研究の目的

再生可能エネルギーの天候による出力急変や電力系統事故時の一斉解列・並列に対しては、通信を介すことなく、電力系統全体の需給バランスに応じた周波数変動を、電気自動車がプラグインしているコンセントから検出することによる自律分散型充放電制御が有効となることが期待できる。

加えて、電力系統の需給調整を司る中央給電指令所が多数台の電気自動車を直接取り扱うのではなく、アグリゲータが介在することで、ある程度の規模を縮約した一つの仮想的なストレージとして扱い、火力・水力発電所との協調を確保しながら需給調整を分担させる方法が考えられる。

一方で、電気自動車が長時間停車する住宅地周辺の配電系統の地域エネルギーマネジメントシステムと電気自動車は、スマートメーターや車載通信など双方向情報通信で結ばれ、家庭・地域の分散型電力貯蔵としての役割を期待されることも想定できる。

本研究では、電気自動車のユーザ利便性である、①充電要求、を最優先に、②電気自動車群の充電需要が周辺の配電系統に与える影響の緩和(地域エネルギーマネジメントシステムとの協調)、③集約ストレージとしての運用と需給調整への貢献(アグリゲータとの協調)、④自律分散型充放電制御(電力系統全体の周波数制御との協調)、の目的を実現するスマート充電・充放電制御手法についてシミュレーションによる検討を行うとともに、電気自動車の充電インターフェースへの実装について実験的に検討する。

## 3. 研究の方法

電気自動車の電力系統・配電系統への影響評価とスマート充電・充放電制御設計への知見を得るために、十数万台のまとまった規模の自動車オーナーへのインタビュー調査を基にした電気自動車群の走行・停車パターンを生成し、その統計的特徴を明らかにする。そして、充電インフラ構成を想定した電気自動車群の充電電力を解析する。

走行までの充電とその間の待機時の充電状態管理に留意しながら、電力系統全体の需給バランスを表す周波数に応じた充放電

を提供する自律分散型の制御手法を基本とする。その上で、アグリゲータ・地域エネルギーマネジメントシステム・中央給電指令所との現実的な制御・通信系を意識した協調制御手法を併装するような構成とする。

電気自動車群の走行・充電パターンを入力した電力系統・配電系統シミュレーションを実施することにより、自律分散/協調型のスマート充電・充放電制御手法の電力系統の需給制御、周波数制御への効果を確認する。

そして、電気自動車実車とその充電インフラを想定した実験システムを構成し、提案制御手法を実装することで、電気自動車、充電インフラ、電力系統の間の制御・通信インターフェースの性能・仕様や実現性を明らかにする。

## 4. 研究成果

自家用乗用車を想定した電気自動車の走行・停車パターンとして、36[%]は走行せず駐車場に常駐し、走行するものでは朝夕の通勤利用が支配的で10[%]強が同時に走行し、1日の平均走行距離/時間は26.6[km]/67.8分となるような一例を生成した。1日の走行電力量を帰宅後家庭の普通充電器で充電する場合、夕方から夜にかけて平均280[W]程度家庭におけるピーク電力を押し上げることを明らかにし、朝方へのピークシフトを促すようなスマート充電が有効となる可能性を指摘した。また、平均充電時間は52.5分で、走行時間と充電時間をあわせても、22時間程度は待機状態に有り、走行しない36[%]とあわせて分散型電力貯蔵としてのポテンシャルがあることを明らかにした。

上記の電気自動車の走行・停車パターンに対して、帰宅後からは中間領域の充電状態での待機時間を長くすることでバッテリー劣化防止と待機時間中の周波数制御のための充放電の繰り返しを提供する余地を作り出すとともに、走行直前の朝方に充電タイミングをシフトさせる、スケジュール充電を設計した。そして、電力系統の周波数制御体系を模擬したシミュレーションにより、ユーザの充電要求、待機時のバッテリーマネジメント、電力系統への貢献が同時実現できることを検証した。

次に、電気自動車の充電電力の総和を待機中の他の電気自動車からの電力供給で相殺する地域エネルギーマネジメント手法を設計した。電気自動車群を統括するアグリゲータでは、走行電力量を再生可能エネルギーや電力系統の状況に応じたタイミングで一括充電するとともに、集約蓄電池としての運用を可能とするようなサーバアルゴリズムについて検討した。数値シミュレーションにより、大型蓄電池や揚水発電所と競合でき、柔軟かつ持続可能な運用が可能とな

る可能性を確認した。

以上のようなスマート充電・充放電制御手法を電気自動車の充電インターフェースに実装するために、電気自動車バッテリー試験装置、充放電制御パワーコンディショナ、自律分散/協調制御・通信統括用スマートインターフェースコントローラ、電力系統リアルタイムデジタルシミュレータを連携した独特な実験システムを構築した。

系統周波数に応じた 90[%]を超える効率での秒単位のシームレスな充放電制御や、電気自動車の利用スタイルを想定したスケジュール充電、バッテリーマネジメントの実証試験を実施した。なお、制御に不可欠な情報である系統周波数は、プラグイン端子における電圧瞬時値から高速・安定的に検出できること、バッテリー充電状態については、急速充電口を経由した標準的な通信プロトコルを利用することで電気自動車のバッテリーマネジメントシステムから受信できることを確認した。アグリゲータ・電力系統との協調を想定した遠隔制御試験の準備も進めており、電気自動車を高速デマンドレスポンス資源、分散型電力貯蔵として柔軟に活用するための制御・通信実証への展開が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- (1) 太田豊, 電力システムと電気自動車の協調, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), 査読無, Vol.133, No. 6, 2013, pp. 497-500, 10.1541/ieejpes.133.497
- (2) 太田豊, スマートグリッドにおける V2G 制御, 技術雑誌スマートグリッド, 査読有, Vol. 3, No. 2, 2013, pp. 3-7
- (3) 太田豊, スマートグリッド実現のための EV 搭載蓄電池の利用, 電気評論, 査読無, Vol. 97, No. 10, 2012, pp. 42-46
- (4) Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, J. Baba, and A. Yokoyama, Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) Satisfying Scheduled Charging, IEEE Transactions on Smart Grid, 査読有, Vol. 3, Issue. 1, 2012, pp. 559-564, 0.1109/TSG.2011.2167993
- (5) 太田豊, ユビキタスパワーネットワークと V2G (Vehicle-to-Grid), システム/制御 / 情報, Vol. 55, No. 6, 2011, pp. 245-249

[学会発表] (計 11 件)

- (1) 太田豊, 集約蓄電池としての運用を可能とする EV・アグリゲータの分散協調制御手法, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2013/8/27(予定), 朱鷺メッセ, 新潟県
- (2) Y. Ota, Implementation of Load Frequency Control Scheme to Electric Vehicle and Supply Equipment System, IEEJ P&ES - IEEE PES Thailand Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, 6 Mar. 2013, Bangkok, Thailand
- (3) 太田豊, PHEV/EV と電力システムの協調に関する課題と展望, 電気学会自動車研究会, 2013/2/22, 名古屋大学, 愛知県
- (4) 太田豊, スマートグリッドにおける電気自動車の応用技術, 電気学会茨城支所講演会, 2013/01/29, 茨城大学, 茨城県
- (5) 太田豊, スマートグリッド実現のための電力システムと電気自動車の協調, 電力技術懇談会講演会, 2013/01/25, 早稲田大学, 東京都
- (6) 太田豊, 電気自動車と電力システムのシナジーをねらう V2G (Vehicle-to-Grid), 熊本大学エコ・エネ講演会, 2012/12/14, 熊本大学, 熊本県
- (7) Y. Ota, Implementation of Grid-Friendly Charging Scheme to Electric Vehicle Off-Board Charger for V2G, IEEE PES ISGT Europe, 14-17 Oct. 2012, Berlin, Germany
- (8) 太田豊, 電気自動車/充電インフラの V2G (Vehicle-to-Grid) テストシステムの構築, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2012/9/12-14, 北海道大学, 北海道
- (9) 太田豊, スマート充電・V2G 制御手法の電気自動車/充電インフラへの実装, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2012/8/6-8, 東京大学, 東京都
- (10) 太田豊, 系統周波数制御のための電気自動車群のスマート充電・V2G (Vehicle-to-Grid) の組み合わせ制御手法, 電気学会電力系統技術研究会, 2012/1/27, 名城大学, 愛知県
- (11) 太田豊, V2G (Vehicle-to-Grid) の電気自動車用充電器への実装についての基礎的検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2011/8/30-9/1, 福井大学, 福井県

[図書] (計 2 件)

- (1) 太田豊 (分担執筆), S&T 出版, 分散型電源導入系統の電力品質安定化技術, 第 4 章第 4 節: EV/PHEV による V2G の制御手法とインターフェース, 2013, pp. 153-163
- (2) 太田豊 (分担執筆), NTS 出版, スマート

エネルギーネットワーク最前線, 第1編  
第2章3.5節:電気自動車(V2G, V2H, G2V),  
2012, pp. 205-212

[その他]

東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育  
研究センター(APET)ホームページ

[http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/kenkyu\\_taniguchi.html](http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/kenkyu_taniguchi.html)

パワーアカデミー研究者コラム

<http://www.power-academy.jp/human/researcher/vol11/>

日経Automotive Technology “明日を読む”

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/H0NSHI/20110726/193641/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

太田 豊 (OTA YUTAKA)

東京大学・大学院工学系研究科・特任助教  
研究者番号: 50372537