

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Takashi Takeda

氏名 武田 隆
学位の種類 博士 (工学)
学位記番号 博 甲 第 49 号
学位授与 平成 28 年 1 月 21 日
学位授与条件 学位規定第 3 条第 3 項該当
論文題目 太陽光発電システムと蓄電設備の調和技術に関する研究
論文審査委員 (主査) 教授 雪田 和人¹
(審査委員) 教授 依田 正之¹ 教授 一柳 勝宏¹ 教授 大澤 善美²

論文内容の要旨

太陽光発電システムと蓄電設備の調和技術に関する研究

太陽光発電システムは、1950 年代に発明された後、実用化に向けた取り組みが進められてきた。2012 年度から 2013 年度にかけて国内における年間導入量は約 2 倍伸びを見せる。2030 年には、日本の電源構成のうち再生可能エネルギーが占める割合が最大 24% まで増加すると予想され、そのうち太陽光発電システムは、国内電源構成の 7% を占める。このような状況下、わが国のエネルギー政策は、長期エネルギー需給における基本的視点として「3E+S」、すなわち安全性 (Safety)、安定供給 (Energy Security)、経済効率性 (Economic Efficiency)、および環境適合 (Environment) を掲げる。このうち、安定供給 (Energy Security) の実現手段として、太陽光発電システムの出力平準化、また商用電力停電時の電力供給継続 (給電バックアップ) について、太陽光発電とエネルギー蓄積要素の複合設備の検討が求められている。このような国全体としての電源構成の見直し、再生可能エネルギーの導入促進、蓄電池の社会実装の拡がりが進むなか、各要素技術としての研究、技術開発は進んでいるものの、それらを調和させ、システム全体としてコーディネート (相互調整) する研究については、必ずしも十分であるとは言えない。

そこで本研究では、太陽光発電と蓄電設備の調和技術として、発電容量と蓄電設備の容量設定や運用コスト低減 (電気料金低減や蓄電池劣化抑制) を目的とした需給制御技術について一提案を行うものである。

本論文は、6 章からなり、第 1 章では本研究の背景について記している。

第 2 章「太陽光発電装置と蓄電装置が導入された小規模系統における次世代自動車の充電制御」では、電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド自動車 (PHV) といった次世代自動車と据置蓄電池による小規模需要地系統での分散型電源の出力平滑化を検討し、電力システム側からの要求で次世代自動車の充電を制御する、いわゆる可制御負荷としての運用方法、実証結果を報告している。従来、次世代自動車による電力システム安定化、電力品質維持への寄与の概念は提唱されていたものの、特に EV 用充電装置のコネクタの物理的構造、充電制御のために充電装置と車両間でやり取りされる論理信号 (インタフェース条件)、およびその制御則について明らかにしている研究は無かった。本研究ではこれらを整理したうえで、実証のための EV 用充電装置を試作し、受電容量が 50kW 程度の小規模な需要地系統 (マイクログリッド) に連系させて、据置蓄電池と EV との分担制御による太陽光発電の出力平滑化を実証している。

第 3 章「太陽光発電の需給調整に用いる鉛蓄電池の劣化抑制に電気自動車の充放電電力を活用した実証実験」では、第 2 章で得た成果、知見をさらに発展させて、EV と据置蓄電池によるマイクログリッドでの分散型電源の出力平滑化を目的として、EV への充放電電力量を制御することで、制御弁式鉛蓄電池の充放電に伴う劣化 (短寿命化) を抑制するとともに、マイクログリッド全体として安定的な

¹ 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

² 愛知工業大学 工学部 応用化学科 (豊田市)

運用を目指した検討および実証結果を報告している。実証に用いた EV 用充放電器では、充電から放電、放電から充電といった電力潮流が反転するタイミングでデットタイム（ゼロ潮流の状態を保持する期間）が設定されていること、また、制御周期などの制約により外部からの指令値への応答性に制約があることを突止め、これらの制約条件から据置蓄電池（鉛蓄電池）と EV との分担を決定している。さらに、鉛蓄電池は大きな充放電率にて使用すると正極格子の腐食量が増加して劣化することが報告されているが、今回の EV と据置蓄電池との分担により、据置蓄電池の劣化抑制が期待できることを報告している。

第 4 章「太陽光発電を用いた無停電給電システムにおける受電点電力制御の検討」では、太陽光発電と蓄電設備を有する小規模需要地系統（マイクログリッド）の電力会社との連系点（受電点）潮流制御を検討している。現行の電気料金制度のうち時間帯毎に電力量単価が異なる、「時間帯別電気料金契約」において、基本料金の低減、および従量料金の削減を目的とした実証結果を報告する。本実証では、受電点電力の制御目標を 3 種類設定し、任意の一日を想定した需給条件のもと、蓄電池の充放電電力を制御することで、それぞれのパターンについて電気料金削減効果および蓄電池のサイクル使用による劣化の傾向について定量的に分析し、報告している。

第 5 章「太陽光発電を有する需要家間における直流電力融通に関する一検討」では、太陽光発電と蓄電設備などから構成されるマイクログリッドを複数構築し、マイクログリッド間の電力融通について検討している。蓄電設備の創設費はマイクログリッドを構築する際の障壁の一つになっている。本研究では、電力融通により蓄電池の総容量を低減する方法を提案し、その効果を報告している。また、直流融通制御の実証試験結果についても合わせて報告している。

第 6 章では、研究を総括して今後の展望について記している。

論文審査結果の要旨

近年、温室効果ガスなどによる地球温暖化現象が懸念されている。このため、低炭素化社会の実現が期待されており、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーを用いた発電システムが注目されている。このため、様々な発電容量の太陽光発電システムや風力発電システムなどが、電力系統内に点在しながら増加しつつある。特に国内における太陽光発電システムは、2012 年度から 2013 年度にかけての年間導入量は約 2 倍の伸びを見せている。さらに

2030 年には、日本の電源構成のうち再生可能エネルギーの占める割合が最大 24%まで増加すると予想され、そのうち太陽光発電システムは、国内電源構成の 7%を占めると報告されている。

このような状況下、わが国のエネルギー政策は、長期エネルギー需給における基本的視点として「3E+S」、すなわち安全性（Safety）、安定供給（Energy Security）、経済効率性（Economic Efficiency）、および環境適合（Environment）を掲げている。このうち、安定供給（Energy Security）の実現手段として、太陽光発電システムの出力平滑化、また商用電力停電時の電力供給継続（給電バックアップ）について、太陽光発電とエネルギー蓄積要素の複合設備の検討が求められている。現在、電源構成の見直し、再生可能エネルギーの導入促進、蓄電池の社会実装の拡がりが進むなか、各要素技術としての研究、技術開発はなされているものの、それらを調和させ、システム全体としてコーディネート（相互調整）する研究については、必ずしも十分であるとは言えない。

本研究は、このような問題を解決するため太陽光発電と蓄電設備の調和技術として、発電容量と蓄電設備の容量設定や運用コスト低減（電気料金低減や蓄電池劣化抑制）を目的とした需給制御技術について提案している。

本論文は、合計 6 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と本論文の構成について述べている。

第 2 章「太陽光発電装置と蓄電装置が導入された小規模系統における次世代自動車の充電制御」では、電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド自動車（PHV）といった次世代自動車と据置蓄電池による小規模需要地系統での分散型電源の出力平滑化を検討し、電力システム側からの要求で次世代自動車の充電を制御する、いわゆる可制御負荷としての運用方法、実証結果について述べている。これまでの研究において、次世代自動車による電力システム安定化、電力品質維持への寄与の概念は提唱されていたものの、特に EV 用充電装置のコネクタの物理的構造、充電制御のために充電装置と車両間でやり取りされる論理信号（インタフェース条件）、およびその制御則について明らかにしている報告は無かった。本研究ではこれらを整理したうえで、実証のための EV 用充電制御装置を試作し、受電容量が 50kW 程度の小規模な需要地系統（マイクログリッド）に連系させて、据置蓄電池と EV との制御による太陽光発電システムの出力平滑化効果について実証結果を述べている。この結果、EV を蓄電池として利活用できることを明らかにしている。

第 3 章「太陽光発電の需給調整に用いる鉛蓄電池の劣

化抑制に電気自動車の充放電電力を活用した実証実験」では、第2章で得た成果、知見をさらに発展させて、EVと据置蓄電池によるマイクログリッドでの分散型電源の出力平滑化を目的として、EVへの充放電電力量を制御することで、制御弁式鉛蓄電池の充放電に伴う劣化(短寿命化)を抑制するとともに、マイクログリッド全体として安定的な電力供給を目指した検討および実証結果を述べている。

特に実証に用いたEV用充放電装置は、これまで充電制御のみであったものを放電制御可能にし、より細かい充放電制御指令をできるものに改良している。このとき、充電から放電、放電から充電といった電力潮流が反転するタイミングでデットタイム(ゼロ潮流の状態を保持する期間)の設定、また、制御周期などの制約により外部からの指令値への応答性に制約があることを突止め、これらの制約条件から据置蓄電池(鉛蓄電池)とEVとの制御分担について検討し、最適化を図り決定した。さらに、鉛蓄電池は大きな充放電率にて使用すると正極格子の腐食量が増加して劣化することが報告されているが、今回のEVと据置蓄電池との分担により、据置蓄電池の劣化抑制が期待できることを明らかにした。

第4章「太陽光発電を用いた無停電給電システムにおける受電点電力制御の検討」では、太陽光発電と蓄電設備を有するマイクログリッドの電力会社との連系点(受電点)電力潮流制御を検討した。特に、現行の電気料金制度のうち時間帯毎に電力量単価が異なる「時間帯別電気料金契約」において、基本料金の低減および従量料金の削減を目的とした実証結果について述べている。この本実証では、受電点電力の制御目標を3種類設定し、任意の一日を想定した需給条件のもと、蓄電池の充放電電力を制御することで、それぞれのパターンについて電気料金削減効果について述べている。さらに、受電電力を一定とすることにより、マイクログリッドにおける蓄電池への制御分担が軽減され、蓄電池のサイクル使用による劣化の傾向について定量的に分析している。

これらの結果、受電電力制御を計画的に実施することで、マイクログリッドの経済的な運用手法について明らかにしている。

第5章「太陽光発電を有する需要家間における直流電力融通に関する一検討」では、太陽光発電と蓄電設備などから構成されるマイクログリッドを複数構築し、マイクログリッド間の電力融通について検討した結果について述べている。特に、マイクログリッドを構築する際に、蓄電設備の導入に関しては経済的な負担が大きくなる。しかしながら、複数のマイクログリッドが相互に連系しながら電力供給を実施できれば、スケールメリットが得られるものと

期待できる。そこで、本研究では、複数のマイクログリッド間において電力融通により蓄電池の総容量を低減する方法を提案し、その効果について述べている。

また、近年注目されている直流給配電技術分野についても検討し、太陽光発電システムを直流母線に連系させ直流融通制御の実証試験結果について述べている。この結果、発電システムの構成や需要パターンの異なるマイクログリッドが連系した場合には、蓄電設備の相互利用や太陽光発電システムの稼働率向上が期待できることを明らかにした。

第6章では、研究を総括して今後の展望について述べている。

以上に述べたように、本論文は、太陽光発電と蓄電設備の調和技術として、発電容量と蓄電設備の容量設定や運用コスト低減(電気料金低減や蓄電池劣化抑制)を目的とした需給制御技術について、一解決手法を提案している。また、太陽光発電と蓄電設備の調和技術として、災害発生時に重要視されている事業継続計画(BCP)の分野にも、本研究成果は応用できるものと大きく期待される。

このように本研究の成果は、学術上、工学に寄与するところが大きい。よって、審査委員会は本論文提出者武田隆氏を、博士(工学)の学位を受けるのに十分な資格を有すると判定した。