

# 博士学位論文審査要旨

2020年1月8日

論文題目： 蓄電池併設型太陽光発電用パワーコンディショナを活用した  
エネルギーマネジメントシステムに関する研究

学位申請者： 遠藤 浩輝

審査委員：

主査： 同志社大学大学院理工学研究科 教授 井上 馨

副査： 同志社大学大学院理工学研究科 教授 加藤 利次

副査： 同志社大学大学院理工学研究科 教授 長岡 直人

要 旨：

太陽光発電システムの大量導入に伴い、太陽光で発電したエネルギーが電力系統に逆潮流することで系統の電圧が上昇する問題が顕在化し、系統に連系するパワーコンディショナ (Power Conditioning System、以下 PCS) には力率一定制御を具備することが義務付けられた。出力容量が皮相電力で決まる PCS では、力率制御により有効電力が減少するため、負荷への電力利用率が低下する問題がある。また、複数の PCS が一斉に無効電力を注入することで、系統電圧が適正範囲を逸脱する事象も報告されている。以上より、系統電圧を適正範囲に確保しながら、負荷への電力利用率を向上する PCS の制御方法が必要とされている。また、PCS には電力需要量を増減する上げ下げ DR (Demand Response) に対応することで、需給バランスの調整に寄与することが期待されている。

本論文では、電力利用率向上と需給バランス調整に寄与する蓄電池併設型太陽光発電用 PCS の新たな制御法について検討を行い、その有効性を確認している。まず、外部トランスデューサーにより計測した受電点の潮流に応じて PCS の力率を制御することで、逆潮流時には系統電圧の上昇を抑制しつつ、順潮流時には負荷への電力利用率を向上する手法を提案した。実際の集合住宅を用いたフィールド試験により提案手法の有効性の検証を行い、電力利用率の向上を定量的に評価した。次に、需給バランスの調整については、系統からの受電電力を可変とする制御を用い、この目標値を最適に設計することで、新たな機器を付加する必要なく上げ下げの DR に対応する制御手法を提案した。そして、その有効性をシミュレーションおよび実機により検証した。

本論文は、蓄電池併設型太陽光発電用 PCS を活用したエネルギーマネジメントシステムに関する先駆的かつ実用的な研究であり、これらの成果はこの分野の発展に多大なる貢献をなすものである。よって、本論文は、博士 (工学) (同志社大学) の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

## 総合試験結果の要旨

2020年1月8日

論文題目：蓄電池併設型太陽光発電用パワーコンディショナを活用した  
エネルギーマネジメントシステムに関する研究

学位申請者：遠藤 浩輝

審査委員：

主査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 井上 馨

副査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 加藤 利次

副査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 長岡 直人

要 旨：

本論文提出者は、本学大学院理工学研究科電気電子工学専攻博士課程（前期課程）を2003年3月に修了し、2017年4月に本学大学院理工学研究科電気電子工学専攻博士課程（後期課程）に入学して現在在籍中である。

本論文の主たる内容は、International Power Electronics Conference 2018にて発表、電気学会論文誌D（2019年1月）に掲載され、電気学会論文誌D（2020年5月）に掲載が決定しており、十分な評価を得ている。提出論文に関する学術講演会が、2019年12月23日午前10時より約2時間にわたって開かれ、種々の質疑・討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。講演会終了後、審査委員により学位論文に関連した諸問題につき口頭試問を実施した結果、論文提出者の十分な学力を確認できた。なお提出者は、国際会議に筆頭著者として論文を提出して英語による発表を行ったほか、英語の語学試験に合格しており、十分な語学力を有しているものと認められる。以上より、本論文提出者の専門分野に関する学力および語学力は十分であることが確認できた。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士学位論文要旨

論文題目： 蓄電池併設型太陽光発電用パワーコンディショナを活用した  
エネルギーマネジメントシステムに関する研究

氏名： 遠藤 浩輝

要旨：

太陽光発電システムは2012年のFIT制度（Feed-in Tariff：固定価格買取制度）により普及が爆発的に拡大し、2018年で設備容量が約4450万kWに達している。経済産業省の「長期エネルギー需給見通し」では、2030年の導入量として6400万kWを目標としており、我が国では2030年までに温室効果ガスを2013年比で26%削減することを目標としている。太陽光発電システムの大量導入に伴い、太陽光で発電したエネルギーが電力系統に逆流することで系統の電圧が上昇する問題が顕在化し、系統に連系するパワーコンディショナ（Power Conditioning System, 以下PCS）には力率一定制御を具備することが義務付けられた。出力容量が皮相電力で決まるPCSでは力率制御により無効電力を注入することで有効電力が減少するため、負荷への電力利用率が低下してしまう問題がある。また、当時（2017年）の系統連系保護装置の認証制度では逆流の有無に関わらずPCSが逆変換していれば力率制御をおこなう必要があったため、負荷への電力利用率が低下してしまう問題もある。さらに、複数のPCSが一斉に無効電力を注入することで系統電圧が低下し、電圧適正範囲を逸脱する事象も報告されている。以上より、電力系統の電圧上昇を抑制し電圧適正範囲を確保しながら、電力の利用率を向上するPCSへの対応が急務となっている。

2018年7月には経済産業省の「第5次エネルギー基本計画」が閣議決定され、長期的に安定した持続的かつ自立的なエネルギー供給により、経済社会のさらなる発展と国民生活の向上、世界の持続的な発展への貢献を目指すという指針が示された。2030年に向けた基本的な方針として、エネルギー供給の効率化を促進するDR（Demand Response）により、電力需要量を増減する「上げ下げDR」に対応することで需給バランスを確保するとともに、蓄電池などの組み合わせにより長期安定的な電源システムの構築が必要不可欠となっている。近年では、エネルギーマネジメントシステム（Energy Management System, 以下EMS）による再生可能エネルギーの自家消費システムや、分散型電源を統合的に制御することで一つの発電所のように利用するバーチャルパワープラント（Virtual Power Plant, 以下VPP）といった、次世代の電力マネジメント技術が注目を集めている。蓄電池には、これまで定置用の鉛蓄電池などを使用するのが一般的であったが、電気自動車（Electric Vehicle, 以下EV）の普及により、EV搭載蓄電池の活用が検討されている。蓄電池にEVなどの‘動く電池’を使用することで、災害時のバックアップにもより柔軟に対応することができるため、EMSへの適用範囲の拡大が期待されている。

本研究は、蓄電池併設型太陽光発電用パワーコンディショナを活用したエネルギーマネジメントシステムについて論究したものである。論文の前半では、本研究の背景や系統連系、EMSの概要について述べ、系統連系における課題と蓄電池併設型太陽光発電用PCSの従来技術について述べる。論文の後半では、系統連系の課題を解決する2つの提案制御手法について述べ、EMSへの展開や将来展望について述べる。

太陽光発電システムの大量導入に伴う電力系統の電圧上昇に対しては、先行研究においてスマートメータ（通信機能を備えた次世代型電力メータ）の情報を活用して住宅用 PCS の出力力率を制御する手法が報告されている。この研究は、住宅用 PCS の力率一定制御の改良として、逆潮流による電圧上昇を抑制しつつ、自家消費時の無効電力過剰出力による電圧低下抑制を両立するという優れた内容であるが、スマートメータ情報を活用するという点で用途が住宅用 PCS に限定され、スマートメータが普及していない産業用 PCS にはそのまま適用できないという課題が残る。

一方、「第 5 次エネルギー基本計画」で掲げられている需給バランスの確保と長期安定的な電源システムの構築という課題に対しては、専用の EMS コントローラを使用することにより需給バランスを確保する事例が紹介されている。EMS コントローラを使用することで太陽光や風力、ガスコージェネなど多数の分散電源を一括で管理でき、広範囲に渡ってエネルギーマネジメントが可能になる。従って、柔軟なシステム設計が実現できるという点で将来さらなる活用が期待されるが、専用の EMS コントローラが必須となるため、追加の設備導入によりシステムコストが高騰するという課題が残る。これらの課題を解決する 2 つの制御手法を提案し、蓄電池併設型太陽光発電用 PCS を活用した DR 対応と EMS への展開について検討する。

提案手法の 1 つ目は電力系統の電圧上昇に対し受電点の潮流に応じて PCS の力率を制御する手法である。この手法により、住宅用 PCS や産業用 PCS といった用途に制約を設けることなく、受電点の潮流が逆潮流の時には PCS より無効電力を注入し力率を減少させることで系統の電圧上昇を抑制し、受電点の潮流が順潮流の時には PCS からの無効電力注入を停止し力率を上昇させることで構内負荷への電力の利用率を向上することが可能となる。提案手法に対して、実機を用いて動作検証をおこない、フィールド試験により提案制御手法による効果を定量的に評価する。ただし、この手法には系統からの受電電力を一定にする制御（受電電力一定制御）を用いているため、これだけでは前述の需給バランスの確保や長期安定的な電源システムの構築に寄与することができない。

従って提案手法の 2 つ目として、受電電力の制御目標値を「一定値」から「可変値」とする制御（受電電力可変制御）を提案する。この手法により、専用の EMS コントローラを用いずに上げ下げの DR に対応することが可能となり、蓄電池を併設することにより長期安定的な電源システムを構築するとともに、受電電力の制御目標値を最適化することで、経済的なメリットも創出できることをシミュレーションおよび実機により検証する。

本研究により提案した制御手法を用いれば、専用の EMS コントローラを使用せずに上げ下げの DR に対応できるため、蓄電池に EV などの‘動く電池’を使用することで、災害時のバックアップにもより柔軟に対応することが可能になる。従って、本研究にて提案した制御手法は、蓄電池併設型太陽光発電用 PCS の付加価値向上に有効な手段であると考えられる。