

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

太陽光発電設置住宅群の出力抑制回避手法  
に関する研究

Study on output suppression avoidance methods  
for high penetration of residential PVs

申請者

宮本	裕介
Yusuke	MIYAMOTO

電気・情報生命専攻 先進電気エネルギーシステム研究

2016年 2月

我が国では2012年の再生可能エネルギー固定価格買取制度の導入により、国の導入目標を大幅に上回るスピードで太陽光発電（Photovoltaic:PV）システムの導入量が飛躍的に増加しており、2015年7月現在の導入量は全国で約26.5GWにまで到達している。とりわけ、我が国の特徴として、住宅用のPVシステムの導入比率が諸外国に比べて圧倒的に多い。そのため、同一配電線に対して住宅用PVシステムが多数台連系された場合に、逆潮流による電圧上昇が発生し、快晴時であっても、配電系統の電圧を適正範囲（ $101\pm 6V$ 内）に維持するため、住宅用PVシステムの発電電力を抑制せざるを得ない（以下、出力抑制）という課題が存在する。しかしながら、PVシステムが導入された住宅群全体での電圧上昇に基づくPVの出力抑制を回避するシステムと実現手法については未だ確立されていない。

そこで、本論文では、住宅用PVシステムが同一配電系統に多数台連系された場合の電圧上昇によるPVの出力抑制を住宅側から実施する対策技術により効果的に回避する手法を提案している。提案手法は、PV用パワーコンディショナを用いた無効電力制御方式、ヒートポンプ給湯機を用いた有効電力制御方式、ならびに、ヒートポンプ給湯機と定置型蓄電池を用いた有効電力制御方式であり、これらの有効性を検証するために、新エネルギー・産業技術総合開発機構事業「集中連系型太陽光発電システム実証研究（FY2002-FY2007）」にて実測されたPV設置住宅553軒の発電・負荷の実測データにもとづき配電系統モデル（コミュニティモデル）を構築し、提案手法を適用した場合のコミュニティ全体のPV出力抑制回避効果等を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

本論文は、PV設置住宅群の発電出力抑制回避手法による一連の成果をまとめたものであり、六つの章から構成される。以下に、各章での研究成果の概要とその評価を示す。

第1章では、本論文の背景と目的、全体概要、及び各章の構成について説明し、第2章では、PVシステム多数台連系時の課題と提案する出力抑制回避手法の概要を示している。また、本論文で対策装置として使用する住宅用のヒートポンプ給湯機と住宅用の定置型蓄電池の導入量予測について記載し、本論文で採用する対策装置の導入率について定義している。

第3章では、住宅用PVシステムが多数台連系されたコミュニティ全体の注入無効電力量の最小化を目的として、電圧が上昇しやすい住宅のみを対象として無効電力制御を実施する「無効電力量最小化制御方式」及び、コミュニティ内の各住宅の注入無効電力量を均一化することを目的とし、電圧が上昇しにくい住宅の無効電力制御動作開始電圧を低く設定し、電圧が上昇しやすい住宅の無効電力制御動作開始電圧を高く設定する「無効電力量均平化制御方式」を提案している。現在、一般的に採用されている無効電力制御方式では、全軒で同一の無効電力制御動作開始電圧を採用して電圧上昇時に無効電力を注入する方式（以下、標準方式）と、電圧とは無関係にPVの発電電

力に応じて一定割合の無効電力を注入する「力率一定制御方式」が採用されているが、これらの方式は、コミュニティ全体の注入無効電力量の最適化が考慮されていないため、住宅間の注入無効電力量のばらつきの発生や不必要な注入無効電力量の増加が課題となっている。そこで、注入無効電力量の最小化方式と均平化方式の二つの手法を提案し、PVシステムが多数台連系された4つのコミュニティモデル（住宅軒数：855軒、900軒、1404軒、2160軒）を構築し、発電量が多い5月の一ヶ月間分の実測データを用いて、数値計算により提案手法の評価を実施している。その結果、標準方式と比較して、無効電力量最小化制御方式により注入無効電力量を最大で約4%低減可能であること、無効電力量均平化制御方式により注入無効電力量の標準偏差を最大で約80%低減可能であることを明らかにしている。提案する無効電力制御方式により、従来手法と比較して、コミュニティ全体の注入無効電力量の最小化や住宅間の不平等性の低減に向けた道筋が明らかになったことは評価に値する。

第4章では、住宅用PVシステムが多数台連系されたコミュニティ全体の出力抑制回避のため、各住宅のヒートポンプ給湯機を用いた有効電力制御方式について提案している。一般的には、ヒートポンプ給湯機は電気料金が安価な深夜時間帯に運転するが、提案手法においてはこれをPVの出力抑制が発生する昼間時間帯に運転する。しかしながら、ヒートポンプ給湯機の消費電力・消費電力量はPVシステムからの逆潮流電力量を全て吸収できるほど大きくないため、住宅毎にヒートポンプ給湯機の運転時間帯を最適化する必要がある。また、逆潮流電力量に対する売電単価が電力会社からの買電単価よりも高く設定されていること、ならびに昼間時間帯の買電単価が深夜時間帯よりも高く設定されていることもあり、悪天候時のヒートポンプ給湯機の昼間運転による逆潮流電力量の低減や順潮流電力量の増加は運用コスト面で望ましくない。そこで、住宅用PVシステムが多数台連系されたコミュニティモデル（住宅軒数：1404軒）を構築し、季節別（2月、5月、8月、11月）に、逆潮流電力量の低減や順潮流電力量の増加を回避しつつコミュニティ全体の出力抑制量を最小化するための天気予報を用いたヒートポンプ給湯機の運転方法を提案し、数値計算により提案手法の評価を実施している。その結果、天気予報を利用しない場合と比較して、PVの出力抑制量が新たに大幅な対策装置を導入することなく最大で約2%改善されることを明らかにしている。天気予報を用いて各住宅のヒートポンプ給湯機の運転時間帯を最適化することにより、PVの出力抑制量が改善されることを明らかにした点は評価できる。

第5章では、2014年度に認定された10kW未満のPVシステムに適用される逆潮流に対する売電単価とオール電化住宅を対象として、電力会社の買電単価を採用する前提の下で、住宅用PVシステムが多数台連系されたコミュニティ全体の出力抑制回避による年間電気料金収益の最大化を目的とし、各

住宅の定置型蓄電池とヒートポンプ給湯機の二つを用いた有効電力制御方式について提案している。ただし、定置型蓄電池は将来においても PV やヒートポンプ給湯機ほどの導入率増加が見込めないため、複数の定置型蓄電池導入率を設定し、住宅用 PV システムが多数台連系されたコミュニティモデル（住宅軒数：1404 軒）を構築し、それぞれ数値計算により提案手法に関する評価を実施している。電圧が上昇しやすい住宅において、天気予報にて好天が予想される場合には、定置型蓄電池は日中の出力抑制回避のために PV が発電を開始する朝の時間帯の充電状態を低くし、ヒートポンプ給湯機は深夜時間帯の運転を実施しない制御を実施し、悪天候が予想される場合には、従来手法として採用されている定置型蓄電池とヒートポンプ給湯機を深夜時間帯に稼働させるロードレベリング運転を実施することにより、1 軒平均の年間電気料金収益をロードレベリング運転のみで得られる 1 軒平均の年間電気料金収益に対して最大約 2 倍に改善できることを明らかにしている。定置型蓄電池とヒートポンプ給湯機を用いて、年間電気料金収益を改善する手法の効果を一層明らかにしたことは評価に値する。

第 6 章は結論であり、本論文の研究成果について総括している。

以上を要約するに、本論文は、同一配電線に住宅用太陽光発電システムが多数台系統連系されたコミュニティにおいて、電圧上昇に起因する太陽光発電の出力抑制を効果的に回避するため、住宅側から実施する「無効電力制御方式」、「ヒートポンプ給湯機を用いた有効電力制御方式」、「ヒートポンプ給湯機と定置型蓄電池を用いた有効電力制御方式」を提案し、従来手法と比較して、コミュニティ全体の太陽光発電出力抑制量が低減可能であることと、電気料金収益が改善可能であることを、現実の発電・負荷実測データを用いて計算機による数値計算により検証し、提案手法の有効性を明らかにしたものである。

本論文で得られた成果は、今後も増加が予想される太陽光発電設置住宅が多数連系された配電系統において、住宅群全体での電圧上昇起因の太陽光発電出力の抑制をどう回避するかという方法論の確立に貢献するものであり、住宅用太陽光発電の最大限の利活用と電圧品質確保に資することから、電気エネルギーシステム工学の発展に寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）に値するものと認める。

2015 年 12 月

審査員

（主査） 早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 林 泰弘  
早稲田大学教授 工学博士 早稲田大学 岩本 伸一  
早稲田大学教授 工学博士 早稲田大学 石山 敦士  
早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 若尾 真治