

氏名・(本籍)	TRIPATHI RAVI NATH (インド)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	生工博甲第278号		
学位授与の日付	平成29年3月24日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Solar Photovoltaic Power Generating System & Grid Integration – Modeling, Controller Design and Optimization (太陽光発電システムと系統連系に関する研究 –モデリング、制御器設計、最適化)		
論文審査委員会	委員長	教授	内藤 正路
論文審査委員		〃	花本 剛士
論文審査委員		〃	玉川 雅章
論文審査委員		〃	三谷 康範

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

現在の電力供給は、火力・水力・原子力といった既存の発電方式によったものが大部分を占めているが、近年では多くの再生可能エネルギーに着目が集まりその一部は既に実用化されている。これら再生可能エネルギーは地球温暖化の原因となる二酸化炭素を排出しない、環境負荷が小さいといった特徴を有している。しかしながらエネルギー密度が低く運転状況による出力変動も大きいいため安定して運転するには電力用半導体を使用したパワーエレクトロニクス技術を用いた制御が必要不可欠となる。これら再生可能エネルギーの中でも最も注目を浴びているのが太陽エネルギーであり太陽熱発電や太陽光発電が実用化されている。太陽光発電は出力が直流であるため、交流電源として使用するためにはインバータを用いて変換する必要がある。また、小規模なシステムでは単独で使用されることもあるが、その大部分は電力系統と接続されて使用されるため、起動や出力変動に対する系統連系制御が必要となってくる。

そこで本論文では、太陽光発電システムの系統連系に関しての研究を行っている。まずシミュレーション精度を向上させ、特性解析を容易に行えるように、太陽光発電モジュールの数式モデルに使用されるパラメータを与えられた情報より算出する方法を提案している。つぎに、既存電力系統に連系する太陽光発電システムについて、太陽光発電機の出力電力制御器の起動時や負荷変動、電力変動などに対し、安定動作する制御器ゲイン設計法について新たな方法を提案しており、以下の6章から構成されている。

第1章は世界の再生可能エネルギーの発展動向について記載しており、特に太陽光エネルギーに着目する理由について言及している。さらに先進国である日本と発展途上国であ

るインドを例にとり再生可能エネルギーの現状と将来動向について文献調査を行っている。次に太陽光発電システムに要求される仕様を整理し現状の制御手法では解決すべき問題点が残っていることを示し、本論文で提案するデータ駆動形の制御器設計の有効性を提案している。

第2章では、太陽光発電素子の原理と特性についての詳細を記述している。まず、素子特性について数式モデルを基に解析している。次に、素子を組み合わせた太陽光発電モジュールモデルで発電システムのシミュレーションを行う際に必要なモデルパラメータの計算手法を提案している。ここでは、メーカーから与えられた基本的な数値から素子モデルに必要なパラメータ値を短時間で計算する手法を提案し、実データと比較することで提案手法の有効性を確認している。つぎに、この太陽光発電モデルを用いて、部分的な日陰が発電に与える影響について、最大電力点追従(Maximum Power Point Tracking: MPPT) 機能を考慮したシミュレーション解析を行っている。

第3章では系統連系された太陽光発電システムのモデリングと制御について言及している。太陽光発電システムは、入力フィルタ、インバータを用いて変換した交流電圧と系統電圧との同期を取る位相同期回路(Phase Locked Loop: PLL)、電流指令値発生回路、直流電圧制御回路、電流制御回路等から構成されており、各種回路の詳細について言及している。特に、インバータで発生する高調波抑制に使用される LCL フィルタ設計手法を示し、フィルタパラメータの影響やフィルタ性能について検討している。また、電圧制御器として 2 自由度制御器を用いることで起動や負荷変動に対してロバストな制御が実現できることを示している。

第4章では、前章で提案した 2 自由度制御器設計に、データ駆動型の手法を用いることを提案している。ここでは、擬似参照信号反復調整法(Fictitious Reference Iterative Tuning: FRIT)を用いた方法について記載している。FRIT で設計した制御器を太陽光発電システムの系統連系制御に使用することで、線形及び非線形負荷に対して、起動や指令値変化、出力変化に対してロバストな制御器設計ができることをシミュレーションにて確認している。

第5章では提案する制御器を含む太陽光発電システムの実時間シミュレータへの実装に関して言及している。ここでは FPGA(Field Programmable Gate Array)と呼ばれる、書き換え可能な素子を用いることを検討している。設計に専用のツール(Xilinx System Generator)を用いることで、ハードウェア記述言語の深い知識が無くても、同期回路や制御器、PWM 発生装置等が作成できることを示し、その有効性を確認している。

第6章では、結論として提案手法の統括と今後の課題について述べている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文は、太陽光発電システムと系統接続に関する安定化制御手法の研究であり、まず、

太陽光発電素子の数式モデルパラメータ算出において、簡便で正確な計算手法を提案している。さらに 2 自由度制御器のパラメータ設計に FRIT を使用する新しい手法を提案し、非線形な太陽光発電システムの起動や出力変動に対して安定でロバストな制御ができることをシミュレーションにて確認している。このため、実用的で今後産業への貢献も期待できる。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、提案手法を用いた場合の効率やインバータを構成するスイッチングデバイスでの損失評価方法、電力系統の線路定数の影響、FRIT で設計した制御器のロバスト性、スイッチングデバイスの違いによるコストや性能の比較、2 自由度制御器の比例ゲイン配分パラメータについて等、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。