



| | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title | Advanced Technologies of Photovoltaics Power Generation System |
| Author(s) | 朴, 敏遠 |
| Citation | 大阪大学, 2002, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/43473 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名 | 朴 敏 遠 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 第 17092 号 |
| 学位授与年月日 | 平成14年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気工学専攻 |
| 学位論文名 | Advanced Technologies of Photovoltaics Power Generation System (太陽光発電システムの進歩的な技術) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 辻 賀一郎 |
| | (副査) 教授 熊谷 貞俊 教授 平尾 孝 教授 山中 龍彦 教授 斗内 政吉 教授 河崎善一郎 教授 伊藤 利道 教授 佐々木孝友 教授 中塚 正大 助教授 伊瀬 敏史 |

論文内容の要旨

本論文は、「太陽光発電システムの進歩的な技術に関する研究」の成果をまとめたもので、以下の6章により構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的ならびに概要について述べた。

第2章では、太陽電池の表面温度を用いた制御を行う新しい基準電圧制御に関して述べる。太陽電池の最適電圧は太陽電池の表面温度と反比例関係であることを使い、基準電圧最大電力追従制御方式を提案した。そして、実際、その方式を現場で用いた場合の問題点なども述べており、さまざまな天候条件のデータに基づき実験を行った。提案した基準電圧制御を用いた場合、システム全体的な効率はどれくらいになるかを実天候条件で解析を行った。解析の結果、(1)制御で使用する平均表面温度と実際の表面温度に誤差が生じても、それが±5°C程度ならば電力変換効率に大きな影響を与えないことが確認された。今回の結果では、悪くとも98%以上の効率を維持できている。(2)提案制御方式は、1日の平均日射強度が強い方がより高い変換効率で動作できるという特徴が明らかになった。

第3章では、実際の天候条件を用いた太陽光発電システムの新しいシミュレーション方法を提案し、実験結果との比較検討を行った。得られた結果は、(1)系統連系解析も可能とするため、シミュレーションツールとしてEMTP/A TP、EMTDCを用い、ツール上で新しい太陽電池アレイの詳細なモデルを示した。(2)フォートラン言語とのインターフェース法を導入することにより、ノンリニアな外部パラメータである日射量や表面温度をデータとしてツールに読み込み、実際の天候条件を考慮したシミュレーション解析が行えるようになった。(3)実際に設置した太陽電池アレイの出力電流、電圧の測定結果とシミュレーション結果とを比較したところ、よく一致することが確認され太陽電池の詳細なモデル化の妥当性が示すことができた。(4)電力変換装置、最大電力追従制御、系統連系を含んだ太陽光発電システムの特性解析を行った結果、実験結果ともよく一致し、制御系の違いによる動作の特徴も捉えることが可能であることが確認された。以上の結果より、実天候条件を用いた新しいシミュレーション方法の有効性および妥当性が確認された。提案したシミュレーション方法を利用すれば、太陽電池の容量や規模、電力変換装置、最大電力追従制御など様々な条件下での解析が容易に安価で行えることになる。そして、実際の天候条件を用いることでより現実に近いシミュレーション解析が行えることになったことが大きな成果の1つであると思われる。

第4章では、第2章で述べた基準電圧制御方式の出力電圧安定度について述べる。提案方式の安定性や特徴を確認するために第3章で述べたシミュレーション方式を用い短期間の過渡的解析と長期間の解析を行った。得られた結果

は、提案方式は急激に変化する日射強度に対しても、安定した出力電圧で効率良く電力を得ることが確認された。出力電圧を安定するということは、追従失敗はまず起こらないということになる。以上のことから、提案する基準電圧制御方式の有効性と特徴は十分に示唆できたものと考える。

第5章では、太陽電池の細かいパラメータを取り出す新しい太陽電池電圧電流特性方程式追尾方式を提案した。提案方式を用い実太陽電池のパラメータ解析結果、実験による太陽電池の出力結果と取り出したパラメータからのシミュレーション結果がよく一致した。以上のことから、提案する方式の有効性は十分に示唆できたものと考える。

第6章は、結論であり、本研究で得られた結果の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本論文は太陽光発電システムの新たな最大電力追従制御である基準電圧制御の提案と太陽光発電システムの新しいシミュレーション方式に関する研究の成果をまとめたものである。太陽電池からの電力は、負荷や日射強度の変化により急変する。このような状況の下でも安定した電力を得るためにには、高い変換効率と安定性を同時に実現できる電力変換装置と最大電力追従制御が不可欠となる。現在、最大電力追従制御としてはBoeringer教授が提案した山登り制御方式が最も一般的となっている。これは、電力変換装置の動作電圧点を常に微小変化させ、太陽電池から得られる電力の最大電力点に一致させる制御方法であり、常に最大電力点の近くで動作できるという長所がある。しかしながら、微小変化させる動作点の変化率や制御系のサンプリング時間がシステムによって異なるためその設定が難しく、制御系も複雑化する傾向にありコスト的な問題も生じてくる。さらに、山登り制御方式では日射強度の急変により追従失敗となる可能性が高くなるという問題点がある。これらに関しては、動作点の変化率による影響の報告や改善された制御方式などの報告もなされているが、太陽電池出力電圧の動搖や追従失敗が完全に克服されたというまでには至っていない。これを完全に克服できる制御方式として、一定電圧制御方式も提案されたが、最大電力点での動作は行えないため、変換効率が低下してしまうという問題点を抱えている。

本論文は太陽電池の表面温度が太陽電池の最適電圧と逆比例すること、表面温度は日射強度の時定数と比べ大きく急激な変化をしないということに着目し、表面温度から得られる最適電圧を基準として行う最大電力追従制御方式（基準電圧制御）を提案している。本論文では、提案した基準電圧制御の安定性及び有効性を確認するため、短期間の過渡現象解析評価と長期間の定常現象解析評価の両面から検討している。過渡現象解析では、山登り制御方式との比較検討を行い提案制御方式の特徴について述べている。また、定常現象解析では、変換効率の評価について報告している。

さらに、制御装置や電力変換装置、太陽電池モジュールを必要とする太陽光発電システムは、実用化はもちろんのこと研究段階においても実験的に検証を行おうとすればかなりの費用がかかることになる。特に研究段階では、太陽電池の種類や規模、インバータの構成、最大電力追従制御方式など様々な組み合わせを考えられ、それについてシステムを製作し、安定性や効率などの評価をしなければならない。また、制御方式など新たな提案を行った場合、その有効性を明らかにするには従来方式との比較検討が必要となるが、同じ天候条件で比較検討を行おうとすれば、同一規格の装置を最低でも2台以上準備しなければ同時に実験を行い評価することは不可能である。このように、信頼性の高い実験、評価を行うにはかなりの設備投資が要求され、決して経済的であるとはいえない。

そこで、実験に代わる評価方法としてシミュレーション解析がある。シミュレーション手法は主にその使用する目的によって、定常状態シミュレーションと過渡現象シミュレーションに分けられる。定常状態シミュレーションは、実際の天候データを瞬時値として取り扱うのではなく、短くても10分程度の期間でこれらを積算し、その積算値を環境データとして用いることで太陽光発電システムの提案や経済的評価、デザインや規模の評価などを目的としている。この手法は、広く普及しており多くの研究報告もなされている。しかしながら、この手法では積算期間内に実際に天候が急変したとしても考慮されないため、MPPT制御の提案や追従性、制御性などの評価はできない。これらを評価するには、天候条件を秒単位で取り扱う過渡状態シミュレーションが不可欠となる。太陽光発電システムにおいて、MPPT制御を含む制御方式の検討は、システムの高効率化や性能を評価する上で重要であるにも関わらず、現在の

ところ過渡状態シミュレーションに関する報告はほとんどないと言っても過言ではない。そこで、著者らは太陽光発電システムの制御性や系統への影響等の評価を可能にするため、太陽電池の詳細なモデル化を提案し、天候条件の瞬時値を用いる新しい過渡状態シミュレーション法を提案している。この特徴は、太陽電池を特性方程式を用いて詳細にモデル化することにより、太陽光発電容量や太陽電池の種類（単結晶や多結晶など）を自由に設定できるようにしたところである。また、過渡的に変化する実際の天候条件をデータとして読み込み、そのデータからシミュレーションを行うことで、最も現実に近い太陽光発電システムの過渡現象解析を実現させている。さらに、シミュレーションツールとしては、電力システムの過渡現象解析プログラムとしてもっとも信頼性が高いとされているEMTP型シミュレータであるEMTP/ATP、EMTDCを用いている。これらのツールを使用したのは、過渡現象解析プログラムとして一般性が強いこと、太陽光発電システムの系統への影響など発電から系統までのトータルな解析が行えることが大きな理由である。本論文では、提案するシミュレーション方法を示し、得られた解析結果と実験結果との比較検討を行いその妥当性について述べる。また、最大電力追従制御方式や電力変換装置の構成を変化させ、得られた結果を示すとともに、提案シミュレーション方法の汎用性と有効性について述べる。全体的に次のような成果を得ている。

- (1)太陽光発電システムの新しい最大電力追従制御方式である基準電圧制御方式を提案し、その制御方式の高い効率と安定性を証明している。
- (2)太陽光発電システムの新しいシミュレーション方式を提案し、得られた解析結果と実験結果との比較検討を行い、その妥当性について述べた上、最大電力追従制御方式や電力変換装置の構成を変化させ、得られた結果を示している。
- (3)提案した太陽光発電システムのシミュレーション方法をRTDS(Real Time Digital Simulator)を用い、リアルタイムでの太陽光発電システムのシミュレーションを実現している。
- (4)太陽電池の細かいパラメータを取り出す新しい太陽電池電圧電流特性方程式追尾方式を提案した。提案方式を用いた太陽電池のパラメータ解析結果、実験による太陽電池の出力結果と取り出したパラメータからのシミュレーション結果がよく一致している。

以上のように本論文は、太陽光発電システムの新しい最大電力追従制御方式である基準電圧制御方式を提案すると共に太陽光発電システムの新しいシミュレーション方式を提案している。その成果は、分散型電源システムである太陽光発電システムの研究に大きく貢献している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。