

学位論文題名

日射量予測情報および NAS 電池を活用した 大規模太陽光発電所の計画運転に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、地球温暖化や化石エネルギーの枯渇など環境問題への対策技術として、太陽光発電 (Photovoltaic generation, 以下 PV) が注目を集めており、わが国でも今後急速な導入拡大が想定される。また、2009 年 11 月 1 日より、住宅用 PV システムを対象に新たな余剰電力買取制度も開始され、PV の導入がより身近な話題になりつつある。しかし、2009 年 8 月の「長期エネルギー需給見通し(再計算)」では、2020 年までに 2005 年基準の 20 倍の導入量が掲げられており、これを達成するためには、住宅用 PV システムに加え、MW オーダーの発電容量を持つ事業用大規模 PV(メガソーラー) 発電所も並行して導入されることが重要である。

PV は再生可能エネルギーの形態の 1 つとして大きく期待される一方、発電出力の不安定性の問題を抱えることから、電力系統への大量導入に伴い電圧や周波数などの電力品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。また、発電出力の正確な予測が困難であるため、想定外の出力増減に備えて系統電源に予備力を確保しておくことが必要と考えられ、系統の運用計画に少なからず影響を及ぼす可能性が考えられる。従って、集中的に管理・制御することが可能なメガソーラー発電所においては、既存電源と同様に計画的・安定的な運用を可能とする制御性を具備させることが重要であると考えられる。

このような背景から著者らは、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が北海道稚内市で実施している「大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究」において、メガソーラー発電所による既存電源代替の可能性や、発電所としての事業性を明らかにすることを目的として、電力貯蔵装置および気象予測システムを活用したメガソーラー発電所の計画運転に関する研究を進めてきた。本論文では、それらの成果を取りまとめたものである。

本論文で行う計画運転では、日射量予測情報に基づいて翌日の 30 分毎の発電所出力 (30 分間一定出力を想定) を計画する「発電計画作成」と、作成した発電計画に実際の発電所出力を追従させる「発電所出力制御」によって達成される。本論文では、電力系統利用協議会で定められているルールに基づき、翌日の 24 時間分 (30 分単位であるため、48 時間帯) の発電計画を正午までに作成し、それを系統運用者に通告するという状況を想定している。また、発電所出力制御では、発電所出力を通告した発電計画に追従させるために、発電計画と実際の PV 出力のミスマッチ分を NAS 電池の充放電で補償することによって、間接的に発電所出力をコントロールする。これは、メガソーラー発電所からの電力を卸電力市場で取引することを念頭においているためである。

本論文の構成及び内容は以下のようにまとめられる。

まず、第一章では本論文の背景となる太陽光発電について、国内外における現状および導入促進施

策についてまとめている。さらに、それらから得られた太陽光発電システムが抱える課題を論じるとともに、過去にわが国で行われた実証研究の概要について述べている。

第二章では、研究で取り組んだ「大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究」におけるメガソーラー発電所のシステム構成について述べ、実証研究における特徴などについて論じている。

第三章では、提供される日射量予測に基づいて、線形計画法によりメガソーラー発電所の翌日の最適発電計画を決定する手法を開発した。提案する発電計画作成手法では、メガソーラー発電所の事業性を検討するため、特定規模電気事業者 (PPS) がメガソーラー発電所を建設・運用することを想定し、売電収益が最大となるような翌日の発電計画を作成することを目的としている。日射量の実績データを用いた運用シミュレーションにより、計画運転手法自体の有効性が確認され、計画運転を行うことによって経済的メリットが得られることが明らかとなった。また、予測誤差の発生がメガソーラー発電所の計画運転における経済性に与える影響について詳細に評価を行った。

第四章では、第三章で得られた予測誤差に対する問題への対応策として2つの手法を提案している。一つ目は、過去の予測誤差傾向を発電計画作成時に反映させる手法であり、特に、過去の予測誤差傾向をモデル化するために、クラスタリングを用いた手法および信頼区間予測を用いた手法を提案した。二つ目は、より精度が高いと考えられる直近の日射量予測値に基づき、前日に作成された発電計画を変更する手法を提案した。また、メガソーラー発電所設置者として PPS および一般電気事業者の2種類を想定し、それぞれの目的関数に基づき提案手法の有効性を評価した。その結果、提案手法を用いることにより、第三章で提案した手法と比べ、経済性および発電計画への追従性が向上することを明らかにした。

第五章ではメガソーラー発電所に導入する電力貯蔵装置の必要貯蔵容量ならびに経済性について、発電計画への追従性の観点から評価を行った。具体的には、電力貯蔵装置の kW 容量、kWh 容量をパラメータとし、本論文で提案した最適発電計画手法を用いてメガソーラー発電所の経済性と計画外出力の大きさの傾向を明らかにした。また、将来蓄電池の価格が低下することを想定し、計画運転未実施時の売電単価、利子率、NAS 電池 kWh 単価をパラメータとした NAS 電池投資コスト回収年数に関する評価を行い、NAS 電池を用いた計画運転が有利に働くような将来の状況について明らかにした。

最後に第六章では、本研究で得られた研究結果をまとめ、今後の展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	北	裕 幸
副 査	教 授	五十嵐	一
副 査	教 授	小笠原	悟 司
副 査	准教授	原	亮 一

学 位 論 文 題 名

日射量予測情報および NAS 電池を活用した 大規模太陽光発電所の計画運転に関する研究

再生可能エネルギーの導入拡大は、地球温暖化対策、エネルギー自給率向上等の観点から重要である。特に太陽光発電については、今後、大幅な発電コストの低下が期待され、潜在的な導入可能性が非常に大きいエネルギー源と期待されている。また、公益性の高い法人や自治体においては、MW オーダーの発電容量を持つ事業用大規模太陽光（メガソーラー）発電所の導入も計画されている。一方、太陽光発電は、発電出力の不安定性の問題を抱えることから、電力系統への大量導入に伴い電圧や周波数などの電力品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。また、発電出力の正確な予測が困難であるため、想定外の出力増減に備えて系統電源に予備力を確保しておくことが必要と考えられ、系統の運用計画に少なからず影響を及ぼす可能性が考えられる。従って、特に集中的に管理・制御することが可能なメガソーラー発電所においては、既存電源と同様に計画的・安定的な運用を可能とする制御性を具備させることが重要であると考えられる。

こうした背景から、本論文では、メガソーラー発電所による既存電源代替の可能性や、発電所としての事業性を明らかにすることを目的として、電力貯蔵装置および気象予測システムを活用したメガソーラー発電所の計画運転手法を開発し、その有効性を多面的に評価している。本論文における計画運転は、日射量予測情報に基づいて翌日の 30 分毎の発電所出力を計画する「発電計画作成」と、電力貯蔵装置の充放電制御によって、作成した発電計画に実際の発電所出力を追従させる「発電所出力制御」から成っている。したがって、前日の「発電計画作成」を適切に行わなければ、当日の「発電所出力制御」において、電力貯蔵装置に想定外の大きな負担を強いることとなり、ひいては、その運用制約によりメガソーラー発電所が計画通りに発電できない可能性がある。本論文では、メガソーラー発電所の収益最大化あるいは計画外出力最小化を目的とし、日射量予測の不確定性ならびに電力貯蔵装置の運用制約を考慮して、翌日の最適な発電計画を立案する手法が提案されている。

本論文で得られた主たる成果は以下のようにまとめられる。

(1) 提供される日射量予測に基づいて、線形計画法によりメガソーラー発電所の翌日の最適発電計画を決定する手法が開発されている。提案する発電計画作成手法では、メガソーラー発電所の事業性を

検討するため、売電収益が最大となるような翌日の発電計画を作成することを目的としている。日射量の実績データを用いた運用シミュレーションにより、計画運転手法自体の有効性が確認され、計画運転を行うことによって経済的メリットが得られることを明らかにしている。また、予測誤差の発生がメガソーラー発電所の計画運転における経済性に与える影響についても詳細に評価を行っている。日射量に応じて変動するメガソーラー発電所からの電力を、そのまま電力系統に注入するのではなく、電力貯蔵装置を併設してあらかじめ決められた計画通りに発電するという概念の提案は、世界的にほとんど例がなく、本研究の独創的な点である。

(2) 日射量予測の誤差を考慮するために二つの手法が提案されている。一つ目は、過去の予測誤差傾向を発電計画作成時に反映させる手法であり、クラスタリング手法および信頼区間予測手法を用いて予測誤差をモデル化している。二つ目は、より精度が高いと考えられる直近の日射量予測値に基づき、前日に作成された発電計画を変更する手法が提案されている。提案手法を用いて予測誤差を考慮することにより、経済性および発電計画への追従性が向上することを明らかにしている。日射量の予測誤差を確率的にモデリングし、数理工学的手法を用いて、より柔軟性の高い計画を立案する手法の提案は、本研究の学術的特色と言える。

(3) メガソーラー発電所に導入する電力貯蔵装置の必要貯蔵容量ならびに経済性について、発電計画への追従性の観点から評価を行っている。具体的には、電力貯蔵装置の kW 容量、kWh 容量をパラメータとし、本論文で提案した最適発電計画手法を用いてメガソーラー発電所の経済性と計画外出力の大きさの傾向を明らかにしている。また、将来蓄電池の価格が低下することを想定し、計画運転未実施時の売電単価、利子率、NAS 電池 kWh 単価をパラメータとした NAS 電池投資コスト回収年数に関する評価を行い、NAS 電池を用いた計画運転が有利に働くような将来の状況について明らかにしている。メガソーラー発電所用の電力貯蔵装置の必要容量の研究は、世界的にも未知の分野であり、本研究による具体的な試算結果は非常に大きな社会的影響を持っている。

これを要するに、著者は、日射量予測の誤差傾向を考慮して、電力貯蔵装置を用いたメガソーラー発電所の計画運転を行うための手法を開発すると共に、その有効性を経済性等の観点から定量的に示したものであり、電力系統工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。