

京都大学	博士 (工学)	氏名	Rutvika Nandan Manohar
論文題目	Design of Distributed Stand-alone Power Systems using Passivity-based Control (受動性に基づく制御による自律分散型電源の設計)		

(論文内容の要旨)

本論文は、小型電源を用いた自律分散型電源の制御に基づき、需要家に近接した地域における電力供給システムの設計を論じている。再生可能エネルギーを用いた自律分散型電源は、未だ電力配電網が完備されていない地域や、隔絶された地域において利用が期待されている。このような地域で独立した電源を用いて、地域連系を可能とする電力供給システムの設計を実現することは、再生可能エネルギーの利用促進に加え、新しいシステム運用技術となりえる。本論文は7章からなっている。

第1章は序論であり、自律分散型電源について、研究の背景、意義、関連研究の状況をまとめている。そして、本論文が理論的に拠って立つ受動性に基づく制御法とポートハミルトニアンモデルの概要についてまとめている。さらに、本論文の目的と構成を示している。

第2章では、太陽光発電に代表される直流電源を直流電力網として結合した系を検討するに当たって、昇圧コンバータであるブーストコンバータに受動性に基づく制御法を適用するため、システムのポートハミルトニアン表現を用いてモデル化している。それにより、電気回路の受動要素の役割を考慮してエネルギー関数が構成でき、電気回路の構成行列の構造によりシステムの安定性が議論できることを示した。

第3章では、第2章で導入したブーストコンバータからなるループ直流電力網を対象として、分散型電源の安定性について考察している。受動性に基づく目標状態を平衡状態とするエネルギー関数を導くことにより、システムの定常状態、過渡状態を数値計算によって検討した。それぞれのコンバータが不平衡な負荷を担った場合、直流電源出力が不平衡な場合、さらに電源出力が過渡的に変化する場合に対して、いずれもシステムの全体の動作を目標状態に漸近させることができることを明らかにした。

第4章は、直流電源を降圧型インバータで連系したループ交流電力網に、第3章でループ型直流電力網に対して導いた受動性に基づく制御法を拡張している。交流電力網は交流出力の周波数および位相の同期を達成する必要がある。種々の初期状態に対して受動性に基づく制御に減衰を付加する手法を適用した結果、周波数および位相同期がほぼ達成できるが完全な同期は難しいことを示した。しかしながらこれに対して、位相同期回路(PLL)を併用することで自律的に安定な同期が達成できることを示した。

第5章は、地域の直流電力網・交流電力網を、交流連系線を介して連系し地域を越えた相互供給システムの提案を行っている。第3章、第4章で検討したループ型電力網が混在した電力網に対して、一連の制御法が拡張できるか否かについて議論している。その結果、ポートハミルトニアンに基づく電力網の表現、受動性に基づく制御法は一般化可能であり、多自由度のハイブリッド系においても構成行列に基づく安定性の検討が可能であることを明らかにした。特に、直流ループ電力網と交流ループ電力網間の電力の補償動作に着目し、受動性に基づく制御はこれらのループ間の電流を抑制し、それぞれが安定に動作するようにふるまうことから、提案手法の有効性を与えている。

第6章では平衡状態が複数存在する太陽光パネル電源について検討している。これま

京都大学	博士 (工学)	氏名	Rutvika Nandan Manohar
<p>での議論は目標状態が単一な電源の場合についてのみ、目標状態を平衡状態とするエネルギー関数を用いてきた。しかしながら、太陽光パネル電源とコンバータの組み合わせにおいて設定によっては、複数の平衡状態が現れることが知られている。そのような場合に対して、受動性に基づく制御を適用するためにエネルギー関数をどのように定義するかは明らかではなかった。まずこの系では、ループ電力網内でエネルギーの波動的な伝搬が生じることを見出した。次に、高次のエネルギー関数を設定して受動性に基づく制御が適用でき、それにより一つの平衡状態において複数電源が群として安定状態で運転でき、その群が異なる状態を取り得ることを示した。ここに得られた結果は、多様な電力網の設計に寄与する可能性を与えている。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の展望を述べている。</p>			

氏名	Rutvika Nandan Manohar
----	------------------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、小型電源を用いた自律分散型電源の制御に基づき、需要家に近接した地域における電力供給システムの設計を論じている。再生可能エネルギーを用いた自律分散型電源は、未だ電力配電網が完備されていない地域や、隔絶された地域において利用が期待されている。このような地域で独立した電源を用いて、地域連系を可能とする電力供給システムの設計を実現することは、再生可能エネルギーの利用促進に加え、新しいシステム運用技術となりえる。以下に本論文で得られた結果の要約を示す。

- (1) 太陽光発電に代表される直流電源の多様な出力を直流電力網として結合した系に関して、受動性に基づく制御法を適用した。システムのモデル化に当たりポートハミルトニアンを用いて、電気回路要素の役割を考慮したエネルギー関数が構成できることを確認し、その構成行列の構造が、システムの安定性に大きく関与することを明らかにしている。
- (2) ループ直流電力網を対象として、受動性に基づき目標状態を平衡状態とするエネルギー関数を導き、数値計算によりシステムの定常状態、過渡状態を検討し、提案する制御により目標状態に漸近させることができることを確認している。
- (3) 次に提案制御手法を拡張し、直流分散電源を交流変換して結合した系の同期連系について検討している。直流、交流が混在した系においてその過渡応答を検討すると共に、系の同期を維持し、漸近安定性が確保できることを確認している。
- (4) さらに、地域の直流電力網・交流電力網に交流連系線を介して連系し、地域を越えた相互供給システムの設計を行っている。これにより、ボトムアップに電力供給網を構築する設計手法を提案するとともに、自律分散型の電源システムの新しい提案を行っている。
- (5) 最後に、複数の平衡状態を有する電源のループ電力網に関して、受動性に基づく制御法が複数電源の群を構成し、電力の伝搬を抑えると共に、多様な電力網の設計に寄与する可能性を示した。

本論文は、非線形制御として知られる受動性に基づく制御を具体的な小型電源からなる自律分散電源の設計に適用し、それに基づく電力網を検討したものである。その検証結果は、再生可能エネルギーの利用促進と、新しい電力供給網の設計に資するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年12月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。