

論文名

分散型電源の応用に関する研究

生産科学研究科

松尾 攻

近年、地球温暖化問題、エネルギー問題等の観点から燃料電池発電、太陽光発電等による再生可能なクリーンエネルギーである分散型電源が注目を集めている。

この分散型電力供給システムの導入により、電力系統へ逆流するエネルギーの双方化が生じ、電力潮流制御や出力変動による電力系統への影響が指摘されている。

燃料電池発電や太陽光発電等の分散型電源は直流で発電しており、殆どの電気・電子機器は交流を入力して機器内部で再度直流に変換して利用している。

一方、直流給電は交流給電に対して電力の変換回数が少なく、機器へ直流で供給出来るため高効率で電力供給ができる。また、交流と直流を連系しなければ高調波による歪みの問題は発生せず、無効電力の損失もなく、発生電力と消費負荷が一体となれば、送電・配電損失がなく、更に再生可能なエネルギーの増加で電源の多様化にも貢献する。

本研究では、分散型電源を電力系統と連系しない独立したシステムとし、再生エネルギーの活用、省エネルギーの推進、システムの高効率化・高信頼度・簡素化等により交流連系による諸問題の解決のため直流給電方式を提案し、高効率のコンバータ、制御技術を駆使したマイクロ燃料電池の電源システムを研究開発した。

第1章では、電源システムにおける分散型電源の現状の位置づけ、商用系統との連系による課題の整理、交流給電と直流給電の電力効率比較、電気電子機器の安全利用のための直流スイッチの開発、各種コンバータの概説と研究対象コンバータの位置づけをした。分散型電源は環境意識の高揚、規制緩和、技術の進展等と共に導入量が増加し、主系統への電圧、周波数、高調波等の影響がますます大きくなることが懸念されている。これらの問題は分散型電源を独立系統とすることで解決できる。また、交流給電システムとの電力効率は約8%の改善ができる試算結果を得た。更に、直流給電方式を確立するための半導体の高速スイッチング特性を利用した直流スイッチ、直流コンセントを開発し安全に使用できることを示した。

第2章では、4巻線リアクトル方式 AC-DC コンバータのソフトスイッチング回路を提案した。本コンバータは高調波電流に対して IEC 規格の D クラスを満足する入力高調波抑制回路として有用であるが、検討されていない高効率の要因となるソフトスイッチングと回生動作についてその効果を解析し、高効率を達成した。

また、補助スイッチの耐圧、主スイッチのソフトスイッチング条件、回生巻線の漏れインダクタンスの設定条件等を織り込んだ回生巻線の設計指針を明示した。

第3章では、直列共振形 DC-DC コンバータの出力電圧特性の解析をした。コンデンサ・インダクタと負荷抵抗の直列回路で構成される本回路の出力電圧特性は、回路解析が複雑なため共振電流を正弦波で近似する交流解析をしていたので、出力電圧はスイッチング周波数が共振周波数に等しいときが最も高く共振周波数を境にして次第に低下すると考えられていた。励磁インダクタンスを考慮して解析した結果、スイッチング周波数が共振周波数より低い場合に、出力電圧の最大が現れ入力電圧より高く、昇圧特性を有し、負荷抵抗と励磁インダクタンスに依存することを解明した。また、コンバータの最低のスイッチング周波数は共振周波数より低くすることで出力電圧の安定化が可能となり、コンバータの制御範囲の拡大、入力電圧の広範囲化が実現できた。

第4章では、複合発振型電流共振回路の動作を解析した。電流共振コンバータは、高効率、低ノイズ、小型化等著しい特徴を有しており、多くの電子分野で実用化されている。ところが、従来は周波数制御方式で出力定電圧を制御しているため軽負荷時に励磁電流が無効電力となり、軽負荷時で効率が悪化する。提案する本コンバータは電流共振コンバータの長所に着目してスイッチング回路に独自の駆動方式を導入した。即ち、2つの主スイッチのうち、一方のスイッチを変圧器の補助巻線により駆動し、他方のスイッチを低圧 IC で PWM 制御することにより自励制御と他励制御を組み合わせた複合発振型電流共振回路とした。軽負荷時における効率の改善を達成した。

第5章では、マイクロ燃料電池とリチウムイオン電池を組合わせたハイブリッドタイプ DC-DC コンバータについて提案した。携帯電話等の情報携帯機器は動作継続時間の改善や、使用済み電池の廃棄処理から生じる環境負荷の低減という観点から、マイクロ燃料電池システムの開発が急がれている。マイクロ燃料電池の諸特性に着目してその安定利用と負荷変化対策のために、マイクロ燃料電池とリチウムイオン電池を組合せて検証した。このシステムは、マイクロコンピュータを利用しており、負荷変化に対して供給電力を最適な出力に制御するため最適動作点追尾回路や余剰電力をリチウムイオン電池に充電する電力補償回路等の動作も良好な実証確認ができた。今回提案したシステムは、ユビキタス社会の一層の進展のため小型化を追及したが、電源容量を増加すると非常用電源や分散型電源システムとしての適用が可能である。

第6章では全体を総括し、併せて今後の課題を含めて整理した。