

## 論文の内容の要旨

論文題目 固定力率出力方式電力変換装置を用いた異電源連系による新幹線き電システムの有効電力供給能力向上とき電電圧の安定化に関する研究

氏名 久野村 健

本論文では、電源インピーダンスと負荷電力が大きい回路における電圧維持に優位性のある、固定力率出力方式の交流電圧制御を行う電力変換システムを提案した。回路のインピーダンス条件と負荷条件によっては、無効電力供給だけでは交流電圧維持が困難となり、有効電力供給が必要となる場合のあることを理論解析により明らかにした。有効電力融通量の決定方法として、固定力率出力方式の交流電圧制御が有効であることを理論解析、ミニモデル試験、列車走行試験により確認した。

また、他の電力変換装置や定電力特性の負荷との協調運転を実現するうえで必要となる、交流電圧制御器の新しい設計方法について提案した。特に、有効電力供給を行う必要のある回路のインピーダンス条件と負荷条件では、提案する交流電圧制御器の設計方法に基づき、体系的に制御器設計を行う必要があることを解析により明らかにした。さらに、この設計方法により設計した交流電圧制御器が所期の性能を有することを、ミニモデル試験、列車走行試験により確認した。

本論文は以下の全9章で構成した。

第1章では、本研究の技術的背景として、高速鉄道の電源設備の国際的な動向と技術的要件をまず述べ、それと対比して、東海道新幹線の電源設備の特徴と技術的要件を述べた。また、東海道新幹線における電力変換装置の導入目的を整理し、東海道新幹線に導入されているき電電圧降下対策用電力変換装置の導入経緯について述べた。

また、本研究の必要性として、電源変電所からき電用変電所に対し長距離送電を行う場合や、き電用変電所を超高压受電とせず 77 kV 受電などの特別高压受電として、き電用変電所をコンパクトに設備する場合などのき電回路の背後インピーダンスの増大への対応が挙げられることを述べた。さらに、インバータ制御車への統一、列車ダイヤの高密度化、車両の加速性能向上などにより負荷の無効電力が減少し、短時間で見た場合の有効電力が増大した場合に、き電電圧降下が顕著となることへの対応が必要となっていることを述べた。

第2章では、新幹線鉄道の電源設備の概要について述べ、特に東海道新幹線に導入されている他励式 SVC (Static Var Compensator : 静止形無効電力補償装置)、自励式 SVC、網島周波数変換変電所の EFC (Electronic Frequency Converter : 静止形周波数変換装置) の機能と課題に関する概要をまとめた。また、これらの新幹線の電源設備について、き電電圧の解析にあたり必要となる EMTP (Electro-Magnetic Transient Program : 電磁過渡解析プログラム) におけるモデル化の方法の考え方を記述した。

さらに、列車負荷やき電用変電所の負荷の傾向についてまとめ、今後のき電システムの課題がき電電圧維持、電源電圧変動率抑制にあることを明らかにした。この二つの課題のうち、より重大な課題となると考えられるき電電圧維持について、P-V カーブを用いて対策の困難な点を検証するとともに、無効電力補償によるき電電圧維持の方法だけでは限界

に達しつつある現状を明らかにした。

第3章では、異電源からの有効電力融通による電圧降下補償の原理と固定力率出力方式の交流電圧制御を行う電力変換装置の考え方について述べた。

有効電力による電圧降下と無効電力による電圧降下の違いについて、簡易回路を用いて理論上の検討を行い、系統条件や負荷条件によっては、無効電力供給よりも有効電力融通を行ったほうが、電圧維持効果が大きいことを示した。

電力変換装置により有効電力融通を行う場合、電力供給システムの全負荷量を把握して有効電力融通量を決定する必要がある。電源変電所と電力変換装置が地理的に離れている場合、従来の方法で有効電力融通量を決定するためには、全負荷量の計測値等を電力変換装置に伝送することが必要となり、伝送遅れから信頼性の面で不利であることを明らかにした。そこで、電力変換装置の連系点電圧を計測し、電圧制御を行う過程で有効電力融通量を決定する手法を提案した。

第4章では、固定力率出力方式の交流電圧制御を行う電力変換装置について、新幹線き電システムに適用する場合の技術課題と解決手法をまとめた。

まず、全負荷の有効電力を計測せず電力変換装置接続点の電圧計測だけで有効電力融通量を決定する新しい手法に対し、電源変電所への逆潮流や電力変換装置の回生運転を発生させることがないかを反復法によるき電電圧計算により確認した。その結果、低負荷領域において、電圧指令値の設定や無限大母線電圧の変動によっては、電源変電所への逆潮流や電力変換装置の回生運転が発生する可能性があることを明らかにした。この対策手法として、電圧指令値に上下限值を設定する方法が有効であることを示した。この手法により電源変電所への逆潮流や電力変換装置の回生運転が防止できることを数値例を用いて確認した。また、負荷急減時の過渡過電圧発生時には、電力変換装置を介しての逆潮流が発生することについて明らかにした。これに対しては、有効電力指令値の下限値を0とすることで防ぐことができることを述べた。

次に、電力変換装置を接続しない場合、電力変換装置を接続し無効電力のみを供給した場合、電力変換装置を接続し有効電力と無効電力を供給した場合の三点についてPVカーブを計算した。これらの比較から、電力変換装置に有効電力と無効電力の両方を出力させる場合は、本来の有効電力供給限界を大きく超えた領域での電圧制御となることを述べた。このことから、提案する固定力率出力方式の電力変換装置の電圧制御の制御器設計においては、き電系統と列車負荷を含めたき電システム全体の電圧変化の過渡特性を明らかにしたうえで、具体的な安定限界を見極め、各種制御定数を決定する手法を構築する必要があることを明らかにした。

第5章では、定電力特性の列車負荷を伴うき電システム全体の、負荷変化時の過渡解析手法について述べた。き電システム全体の安定性評価方法および交流電圧制御の制御器設計方法の確立の基礎となる、き電システムの過渡特性の解析手法を確立した。

まず、電力変換装置の出力のステップ変化に対するき電電圧応答をEMTPにより計算し、その応答を線形な2次遅れシステムとして近似し、き電システム全体のブロック線図を算定することにより、新幹線き電システムの状態方程式を導出した。このき電システムの状態方程式からき電システムの極配置を算出し、この手法で算出した極配置が妥当であることをEMTPによる解析で確認した。

第6章では、第5章で明らかにしたき電システムの状態方程式に基づき、き電電圧を所要の応答速度で制御し、かつ、安定的に制御するための最適な交流電圧制御の制御器設計方法について提案した。負荷電流変化に伴うき電電圧の変化を電圧外乱としてき電システムの状態方程式に入力し、き電電圧応答、き電システムの減衰係数、電力変換装置の出力を求めることにより、電力変換装置の電圧制御の制御器設計を評価する手法を確立した。

第7章では、固定力率出力方式の交流電圧制御を行う電力変換装置の東海道新幹線における適用事例について、反復法によるき電電圧計算によるEFCの最適出力力率の決定と、き電システムの状態空間表現による線形モデル化手法およびその線形モデルを用いた電力変換装置の電圧制御の制御器評価手法による電圧制御の制御器設計のプロセスを示し、提案する制御器設計手法の優位性を検証した。

まず、EFCの出力力率とEFC連系点電圧の関係を算出し、熱海SS～沼津SS間のき電回路においてはEFCの出力力率を0.8付近とすることが効果的にき電電圧降下を補償できることを示した。

次に、熱海SS～沼津SS間のき電システムの状態方程式、出力方程式を算出し、提案する電力変換装置の電圧制御の制御器評価手法により、EFCの電圧制御の制御器設計を行った。設計した制御器に基づきEMTPの解析を実施し、制御器設計が妥当であることを確認した。

第8章では、EFCの製作にあたり、EFCの諸元と構成について述べた。また、実際に製作した制御装置を用いてミニモデル試験を行い、固定力率出力方式の交流電圧制御器の基本性能を確認したことを述べた。

次に、製作したEFCを沼津周波数変換変電所に設置し、想定する負荷条件に近づけるかたちでの列車走行試験を実施した。試験結果より、EFCの交流電圧制御が所期の性能を発揮することを確認した。

第9章では、本研究の結論と今後の課題について述べた。

結論として、まず、固定力率出力方式の交流電圧制御により有効電力制御を行う電力変換システムを提案し、有効電力融通量の決定方法として、固定力率出力方式の交流電圧制御が有効であることを解析と列車走行試験により明らかにした。

次に、交流電圧制御器の新しい設計方法について提案し、新幹線き電システムを線形モデル化することにより導出される状態方程式及び出力方程式を用いて、評価関数により体系的に交流電圧制御器の設計ができることを明らかにした。さらに、この設計方法により設計した交流電圧制御器が所期の性能を有することを、解析と列車走行試験により確認した。

今後の課題としては、車両のコンバータと電力変換装置の協調運転を行ううえで、今後の車両新製時においてもコンバータの制御器設計を安易に変更しない取り組みが必要であることを述べた。また、本研究で提案した電力変換装置の電圧制御器の設計手法では、パラメータとなる制御定数を一つに絞っているため、交流電圧制御の制御定数が複数ある場合の決定アルゴリズムの構築が必要であることを述べた。さらに、本研究が提案する固定力率出力方式の電圧制御により有効電力融通量を決定する電力変換システムでは、無効電力のみに起因する瞬時電圧低下が起こった場合に、一時的に有効電力の逆潮流を発生させることとなるため、この際にも逆潮流を発生させない制御の開発が望まれることを示した。