

審査の結果の要旨

氏名 金 相源

本論文は「**Evaluation of Multi-Terminal VSC HVDC Systems by Stability Constrained Optimal Power Flow in a Power System with Large-Scale Wind Power Plants** (大規模風力連系電力システムにおける安定性制約を考慮した最適潮流計算による多端子自励式直流送電システムの評価)」と題し、6章よりなる。

第1章は「**Introduction** (序論)」で、まず、再生可能エネルギー電源の電力システムへの大量導入という最近の電力システムを取り巻く環境変化、そして、その再生可能エネルギー電源からの発電電力の送電のための HVDC (高圧直流) 送電システムの必要性、その基礎理論について述べている。次に、先行研究の紹介および本論文の目的と構成について述べている。

第2章は「**Models of Mixed AC/Multi-Terminal VSC HVDC System with Wind Power Plants** (風力発電所が設置された交流・多端子自励式高圧直流送電システム併設システムのモデル)」と題し、本研究で用いる電力システムの構成要素である同期発電機、負荷モデル、大規模風力発電所のモデリング、直流送電システムの自励式変換器およびその制御システムのモデリング、多端子自励式 HVDC 送電システムでの直流電圧制御 (電圧マージン制御、直流電圧 droop 制御) 方式とその適用の考え方、そして、直流システムにおける事故に対する保護動作などについて説明している。また、本研究での数値シミュレーションに用いるモデルシステムについて述べている。

第3章は「**Stability Constrained Optimal Power Flow in Mixed AC/Multi-Terminal VSC HVDC Systems with Wind Power Plants** (風力発電所が設置された交流・多端子自励式高圧直流送電システム併設システムにおける安定性制約付き最適潮流計算)」と題し、大規模風力発電出力の送電のために、どのように既存の交流送電システムを強化したり多端子自励式 HVDC 送電システムを新設したりすべきかを、総需要、風力発電の変動を考慮した複数の代表的な季節、昼夜潮流断面を通して最適化し、加えて運用面から、風力発電が高出力の場合は新規増設の送電設備を用いて主に風力発電の送電を行い、風力発電が低出力の場合はその送電設備をシステム全体の火力発電の運用コスト最小化に用いるなど、総コストとして設備形成費用、設備運用費用の双方を考慮した 2 段階最適潮流計算アルゴリズムを提案している。また、この最適潮流計算では、大規模風力発電出力の送電の際に発生するシステムの小擾乱安定性、過渡安定性問題を回避するための安定性制約を考慮できるようになっている。

第4章は「**Economic Benefit Analysis** (経済的便益解析)」と題し、まず、HVDC 送電

システムの多端子構成に対して、システムの定態安定性のみを制約として考慮し、風力発電設備のホスティングキャパシティーを求め、定態安定性制約を考慮する場合は、考慮しない場合より必要な新設送電設備の容量が増加することを確認し、自励式 HVDC 送電システムの新設を行う場合は、交流送電システムの増設に比べて必要な送電設備の容量は少なく済むことを示している。次に、経済的な利益を評価する指標として、系統運用コストの削減、自励式 HVDC 送電システムの託送料金収入を考慮した Net present value (NPV) および Profitability Index (PI) を提案し、HVDC 送電システムの最適な多端子構成、最適な風力発電設備導入量を見出すことができることを明らかにしている。

第 5 章は「Evaluations with Transient Stability Constraints (過渡安定性制約を考慮した評価)」と題し、第 4 章で風力発電設備の最大ホスティングキャパシティーが得られた 4 端子 HVDC 送電システムを交流系統に導入したモデル系統に対して、システムの過渡安定性を制約として追加考慮した場合の送電システムの増設、運用費用、風力発電設備のホスティングキャパシティーの検討を行っている。その結果、過渡安定性制約を考慮する場合は、考慮しない場合より必要な HVDC 送電システムの設備容量が増加することを確認し、交流および直流側の送電線の想定事故に対して安定に運用することのできる増設・運用費用の最適解が得られることを示している。加えて、様々な風力発電の出力パターンに適用できる多端子自励式 HVDC 送電システムの制御システムの必要性を述べている。

第 6 章は「Conclusions and Future Works (結論と将来課題)」と題し、各章の結論と将来の研究課題をまとめている。

以上を要するに、本論文は、再生可能エネルギー電源の一つである風力発電からの大容量の電力を安定に大消費地まで輸送する交流・多端子自励式 HVDC 送電システム併設系統について、システムの小擾乱安定性と過渡安定性を維持しつつ、交流、HVDC 送電設備の新規増設費用と火力発電の燃料費を最小にする 2 段階安定性制約付き最適潮流計算を用いた費用便益解析手法を提案し、電気学会東日本モデル系統での数値シミュレーションにより、本提案手法が、HVDC 送電システムの最適な多端子構成、風力発電設備導入量の検討に有効であることを明らかにしたもので、電気工学、特に電力システム工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。