



Title	再生可能エネルギー電源の導入拡大に貢献する高電圧直流送電システムの制御方式に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	中村, 綾花
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16022号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92449
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ayaka_Nakamura_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 中村 綾花

学位論文題名

再生可能エネルギー電源の導入拡大に貢献する高電圧直流送電システムの制御方式に関する研究
(Study on Control Strategies of HVDC Systems Contributing to Expanding the Introduction of Renewable Energy)

近年、洋上風力発電所 (Wind Farm:WF) は大量導入、コスト低減、経済波及効果が期待され、欧州や東アジアを中心に導入拡大が進められている。洋上 WF は広範囲で、かつ海岸線に沿って設置されるが、地域間の連系線容量は系統容量に比して小さいため、再生可能エネルギー電源の更なる導入には連系線の拡充が重要である。そこで、面的に分散して建設された複数の洋上 WF の発電電力を大需要地まで送電する手段として、複数の交直変換所から構成される、高電圧直流送電 (High Voltage Direct Current:HVDC) システムの活用が期待され、関連技術の開発が進められている。多端子 HVDC システムは、洋上に設置された複数の WF から発電される電力を、送電ロスが少ない直流で送電することが可能なため、効率的な長距離送電を実現できると考えられる。本研究では、再生可能エネルギー電源の導入拡大に貢献するため、洋上 WF の接続を想定した HVDC システムの活用に着眼した。

第 2 章では、多端子 HVDC システムの潮流制御手法を提案し、シミュレーション解析による有効性評価を行った。多端子 HVDC システムは、特定の 2 地点間を接続する従来の HVDC システムよりも回路構成が複雑であり、直流系統内の潮流をより綿密に制御することが必要となるなど、技術的な課題が多く残っている。なお、これまでにも多端子 HVDC システムの潮流制御手法に関する検討は行われているが、従来手法では端子脱落時における信頼性や、HVDC システムに接続される WF の急峻な出力変動に起因する端子間での制御の干渉のリスクがあるといった観点から課題が残る。そこで本論文では、再生可能エネルギー電源の大量導入に向けて新設されることが想定される、多端子 HVDC システムの可変電圧閾値に基づく有効電力・直流電圧制御手法を提案した。更に、端子脱落を想定したシミュレーション解析により、提案手法の有効性評価を行った。

第 3 章では、直流区間における故障発生を想定した多端子 HVDC システムの運用手法に着目した。多端子 HVDC システムの直流区間において故障が発生した場合には、予め定義された手順に従って直流遮断器により故障区間のみを遮断することで、システム全体を停止することなく事故の影響を大きく受けていない健全回路を用いた縮退運転に移行することができる。しかしながら、健全回路内の各端子の制御方式によっては、故障区間の遮断後に直流電圧を再確立できず、最終的にシステムが全停止に至ることが懸念される。このような背景から、本研究では、故障区間の遮断後においてシステムの運転継続を可能とすることを目的とした、緊急時制御への切替手法を提案した。更に、シミュレーション解析により、提案手法では故障発生時において従来の制御手法よりも信頼性の高い運転を実現できることを明らかにした。健全回路の運転継続の可能性を高めることができれば、HVDC システムに接続される WF の発電機会損失の減少や、地域間連系の継続によるレジリエンス向上に寄与できるものと考えられる。

第 4 章では、系統安定度向上に貢献する多端子直流送電システムの運用手法に着目した。多端子

HVDC システムは、2 端子 HVDC システムと同様、各端子の融通電力を調整することで、当該端子が接続している交流系統の周波数制御に寄与することが可能である。しかしながら、多端子 HVDC システムは直流区間を介して複数の陸上、洋上系統で相互に接続され、それらの系統間で電力融通を行う。従って、各端子における緊急時融通電力量の各端子での配分の決定方法や、周波数サポート時における各端子の運転特性の切替について考慮する必要がある、2 端子 HVDC システムを対象に開発された周波数制御手法をそのまま適用することは困難である。本研究では、周波数偏差に応じて決定した融通電力量の複数端子への適切な配分を可能とする緊急時周波数制御方式を提案した。更に、提案する周波数制御を多端子 HVDC システムに実装することで、効率的な端子間での電力融通を実現し、交流系統の安定度向上に寄与できることを明らかにした。このように、多端子 HVDC システムにおいては、再生可能エネルギー電源が大量導入された場合における地域間連系としての役割のみならず、システムに接続される既存系統のレジリエンス向上にも貢献することが期待される。

以上、本研究では WF に代表される再生可能エネルギー電源の導入拡大に貢献する HVDC システムの変換器制御方式の開発を目指し、可変電圧閾値に基づく潮流制御手法を基礎とした多端子 HVDC システムの運用手法を提案した。更に、提案手法を適用したシミュレーション解析により、これらの有効性を検証した。本研究で提案した変換器制御手法を用いることで、HVDC システムの更なる活用により効率的な電力融通を実現し、洋上 WF をはじめとした再生可能エネルギー電源の導入拡大や貢献するとともに、システムに接続される交流系統のレジリエンス向上に寄与することが期待される。