

論文審査の結果の要旨

氏名 ケバル ロイキ ヤン セデリック

本論文は「Modeling and Simulation of Grid-connected Superconducting Wind Turbine Generators (電力系統に連系された超電導風力発電機のモデリングとシミュレーション)」と題し、電力変換器によって制御され、電力システムに連系された大型超電導風力発電機の様々な条件でも振る舞いや特性が解析可能となるシミュレーションモデルと手法を構築するため、有限要素法ベースの非線形の発電機解析モデルと MATLAB/Simulink ベースのシステム解析モデルを結合し、さらに超電導テープ線材内の電磁現象の解析を含むマルチスケールの解析法を研究したものである。論文は 5 章から構成される。

第 1 章は「Introduction」であり、風力発電の現状と発電機システム構成、コスト構造などについて説明した後、超電導風力発電機システムの設計とシミュレーションに関わる課題について整理し、その上で本研究の目的と論文の構成について述べている。

第 2 章は「Superconducting WECS design and modeling」と題し、まず洋上風力発電のための超電導同期発電機システムの設計において十分に検討しなければならない事項、例えば、極低温部損失、超電導コイルのクエンチ、同期リアクタンス、出力周波数、冷却電力、重量、系統連系要件等について整理している。その上で、発電機と電力システムを連系する電力変換器構成とその制御について議論し、MATLAB/Simulink ベースのシミュレーションモデルを構築している。設計した従来型の 2MW 風力発電機システムにより、発電機立ち上げ、風速変化、LVRT (Low Voltage Ride Through) シミュレーション条件でシステムの振る舞いを評価した。

第 3 章は「Superconducting machine modeling」と題し、風車、発電機、変換器、電力システムなどから構成される、MATLAB/Simulink ベースの超電導発電機システムの発電機部のモデルとして、空間高調波や磁性材料の非線形性（飽和）の影響なども考慮した数値解析モデルを構築している。有限要素法に基づく非線形電磁界数値解析の結果から、超電導風力発電機の各コイルの鎖交磁束と回転子回転角および各コイル電流値との関係を N 次の参照テーブルとして記述し、そのテーブルを系統連系発電機システム解析ツールに読み込むという、フレキシビリティの高いシミュレーションツールとなっている。

第 4 章は「Grid-connected superconducting wind turbine generator simulation and analysis」と題し、系統連系された超電導発電機システムのマルチスケールシミュレーシ

ョン法とそれを使った解析結果について記述している。 μm オーダの厚さの多数の超電導テープ線材で構成される数十 cm オーダの断面をもつ超電導コイル、そしてそのようなコイルが複数含まれるメートルオーダの発電機、およびさらに規模の大きな電力システムがモデルとして組み込まれ、相互に結合したシミュレーションモデルとなっている。まず、10MW の界磁超電導風力発電機システムについて、発電機立ち上げ、風速変化、LVRT (Low Voltage Ride Through) シミュレーション条件でシステムの振る舞いを解析し、さらにマルチスケールシミュレーションの具体的適用例として、超電導コイルでのヒステリシス損失を評価している。空間高調波や PWM 制御のコンバータによる時間高調波が原因となるヒステリシス損失成分が解析結果として得られている。

第 5 章は「Conclusions」であり、本研究の成果を総括している。

以上これを要するに、本論文は、洋上ウィンドファームなどへの導入を目指して研究開発が進む大型超電導風力発電機について、電力変換器によって制御された現実の運転条件での振る舞いを詳細に解析するために、超電導テープ線材から発電機、さらに風車や連系用電力変換器などを含むマルチスケールシミュレーションモデルを構築し、それによって PWM 制御電力変換器による高調波磁界等が原因となるヒステリシス損失の評価が可能となり、超電導風力発電機システムシミュレーションモデルと手法の有効性を示したものであり、先端エネルギー工学、特に超電導工学に貢献するところが少なくない。

なお、本論文第 2 章から第 4 章は、大崎博之、関野正樹との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析と実験および考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1 9 8 1 字