

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	スイッチトキャパシタ変換器をベースとした双方向非絶縁形DC-DCコンバータの制御法と高効率化・高電力密度化に関する研究
Title(English)	Study of Non-isolated Bidirectional DC-DC Converter Based on Switched-Capacitor Converter in terms of Control and Efficiency/Power Density Evaluations
著者(和文)	手崎和明
Author(English)	Kazuaki Tesaki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11749号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:萩原 誠,千葉 明,藤田 英明,竹内 希,清田 恭平,伊東 淳一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11749号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	手崎 和明	
		氏名	職名		
論文審査 審査員	主査	萩原 誠	准教授	清田 恭平	准教授
	審査員	千葉 明	教授	伊東 淳一	長岡技術科学 大学教授
		藤田 英明	教授		
		竹内 希	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「スイッチトキャパシタ変換器をベースとした双方向非絶縁形 DC-DC コンバータの制御法と高効率化・高電力密度化に関する研究」と題し、蓄電池を搭載した電車に適用される従来型双方向非絶縁型チョップ回路、もしくは昇降圧チョップ回路に使用するインダクタが大型・高重量であるためシステムの小型・軽量化が困難であるという技術的課題に着目し、双方向チョップセルをカスケード接続することにより構成される補助変換器を適用した非絶縁型スイッチトキャパシタ回路の提案を行い、制御法と高効率化・高電力密度化手法に関して数値解析と実験検証により有効性・妥当性を確認したものである。本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章「序論」では、世界的に環境問題やエネルギー問題解決が急務となる中で、輸送機関のエネルギー消費量低減が必要不可欠である点に言及し、輸送機関別エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の観点から、電気鉄道の更なる導入が有効であることを明確化している。また、鉄道の更なる省エネ化実現には車両減速時の運動エネルギーを電気エネルギーに変換する電力回生ブレーキの適用が有効であることを述べ、蓄電池電車の導入が必要不可欠な旨を説明している。また、1970年代以降における電気鉄道用電力変換器の技術推移に関して略説し、高効率化の歴史に関して述べている。さらに、前述の回生ブレーキ実現に必要な電力貯蔵システムの種類に関して概説し、特に2010年代以降に実際に運用を開始した蓄電池電車の例を述べている。最後に、架線と蓄電池間の電力変換器の問題点について概説し、最後に本研究の目的および研究方法に関して示している。

第2章「直流き電システムの省電力化技術と蓄電池電車の技術動向」では、国内外で発表された学術論文を調査しながら、蓄電池電車が直流き電システムの省電力化に貢献することを明確化し、その後蓄電池電車の導入拡大に必要な技術に関して論じている。初めに、一般的な直流き電システムの構成を述べ、回生電力を有効活用する際に要求される制約条件を述べている。次に、PWMインバータ、電力回生コンバータ、地上蓄電システムに代表される省電力化の技術動向や実用化事例を述べ、現行の地上設備による回生電力の有効活用法を整理している。最後に、蓄電池を車両に搭載した蓄電池電車について概説し、地上蓄電システムとの関連性・相違点に言及すると同時に、研究動向や実用化事例を述べている。その結果、蓄電池電車に搭載する DC-DC コンバータの高電力密度化が技術的課題として要求されることを言及し、高電力密度化への課題を整理した上本論文の位置づけを明確化している。

第3章「スイッチトキャパシタ変換器をベースとした回路トポロジー」では、高電力密度化に適した DC-DC コンバータ回路構成として、スイッチトキャパシタ変換器をベースとした双方向非絶縁型 DC-DC コンバータを提案している。提案回路は、4個のパワーデバイスから構成される主変換器と、複数台の双方向チョップ回路のカスケード接続により構成される補助変換器から構成されており、補助変換器の電流を適切に制御する必要がある。本章では、提案回路の動作原理に関して初めに言及し、次に変換器の電圧・電流制御法を提案し、制御法の妥当性は 200 V、2 kW ミニモデルを用いた実験検証により確認している。

第4章「パレートフロントカーブによる効率-電力密度評価」では、提案した DC-DC コンバータに関してパレートフロントカーブを適用して効率と電力密度の関係を評価している。具体的には、提案 DC-DC の設計指針を提案し、算出した設計値と効率モデルの妥当性に関して、ミニモデルを用いた実験により確認し、その後 MATLAB を用いた数値解析により 100 kW 級実スケールモデルの効率-電力密度評価を行い、最適な補助変換器設計指針を明らかにしている。

第5章「階調制御を適用した双方向非絶縁形 DC-DC コンバータの高効率化」では、提案した DC-DC コンバータの更なる高効率化を目的とし、補助変換器に階調制御法を適用している。具体的には、異なる変換器セルを補助変換器に適用し直流コンデンサ電圧とスイッチング周波数を適切に選定することで、同一セル適用時と比較し高効率化が実現できることを示している。提案方式の有効性・妥当性

は 150 V, 500 W ミニモデルを用いた実験により確認している。

第 6 章「結論」では、初めに本論文における結論に関して言及し、次に各章の成果を要約し、最後に今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文では従来型の蓄電池電车用直流-直流変換器に適用するインダクタが大型・高重量であり高電力密度化を妨げているという技術的課題に取り組み、上記を解決する手段としてスイッチトキャパシタ変換器をベースとした双方向非絶縁形 DC-DC コンバータに着目し、実験と数値解析を併用しながら上記変換器の妥当性を検証し、かつ有効性を提示したものであり、工学および学術貢献するところが大きい。よって本論文が博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。