

学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術 () 号	氏名	中島 篤志
論文題目	DC-DC コンバータの基礎検討とその応用システムの研究		
論文審査委員会	委員 (主査) D○合	枘川 重男	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	腰塚 正	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	加藤 政一	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	吉田 俊哉	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	杉元 紘也	准教授 (電気電子システム工学専攻)

研究の背景

近年、化石燃料による CO₂ を原因とした地球の気候変動が問題となっている。この気候変動を含む様々な問題を解決し、持続可能な社会を実現するために、持続的な開発目標 (SDGs) が 2015 年 9 月の国連サミットによって採択された。しかし、世界の再生可能エネルギーの割合は、資源エネルギー庁の統計によると 2018 年現在で約 4% となっており、再生可能エネルギーのさらなる利用拡大が求められている。

研究の目的

SDGs を背景に、再生可能エネルギーによる電気の普及および有効利用の課題を整理すると、①エネルギーの利用率向上、②小さい電力で大きな価値、③インフラが整っていない地域への再生可能エネルギーの提供が課題となる。DC-DC コンバータは、この限られたわずかなエネルギーをも有効に変換する技術の要となる。本研究ではこれら課題に対応する新たな DC-DC コンバータを提案すると同時に、その応用システムの開発を目的とする。

研究の内容

第 1 章では、持続的な開発目標 SDGs を背景とし、再生可能エネルギーの有効利用の観点から、課題の整理とテーマの選定を行い、本論文の構成を述べた。

第 2 章では、筆者らが提案する降圧形、昇降圧形、直列昇降圧形、並列昇降圧形の単相高力率整流回路における DC-DC コンバータ部のスイッチング損失解析から、損失の内訳を比較検討する。提案する各方式の損失を整理すると、スイッチング損失の大きさは降圧形=並列形<直列形<昇降圧形となるため、降圧形と並列形が最も有利で次いで直列形となり、昇降圧形が最もスイッチング損失が大きいことが明らかとなった。

これらの比較結果を元に、小規模太陽電池応用システムに適した DC-DC コンバータを選定すると、電圧が変動する同システムには昇圧機能を有し、かつスイッチング損失が小さい並列形もしくは直列形が適している。ただし、並列形はスイッチング損失が最も小さい

が、出力電位変動が大きいと、放射ノイズ発生の可能性がある。その結果、小規模太陽電池応用システムには、直列形が最も適していることを明らかにした。この成果は、

- [1] 中島篤志, 柘川重男, 茂木進一, 出力電圧脈動を低減した各種単相電流形高力率整流器のスイッチング損失の比較, パワーエレクトロニクス学会誌, Vol.39, JIPE-39-11, pp. 73-80, (2014).
- [2] 中島篤志, 茂木進一, 西田保幸, 柘川重男, 出力電圧脈動を低減した単相並列形昇降圧形高力率整流器のスイッチング損失の検討, パワーエレクトロニクス学会誌, Vol. 40, JIPE-40-15, pp. 136-143, (2015).

としてまとめられている。

第3章では、1セル太陽電池向け DC-DC コンバータを提案する。本章の課題は「1セル太陽電池の低電圧からの起動」および「ウェアラブル機器に必要な電力の確保」である。そこで第2章での検討結果を元に、これを満足する新たな DC-DC コンバータを提案し、試作機により動作確認を行った。また、提案するコンバータの起動回路は、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲で運転できることを確認した。さらに、コンバータの入力電圧が 0.5V の低電圧でも、ウェアラブル機器の電源として必要な $5\sim 12\text{V}$ の出力電圧、 7W 以上の出力電力を得ることが可能であることも示した。この成果は、

- [3] Atsushi Nakajima and Shigeo Masukawa, Practicality of Boost-type DC-DC Converter for Single Solar Cell, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol.10 No.4, pp. 417-427, (2021).

としてまとめられている。

第4章では、太陽電池とペルチェ素子を用いた水生成システム向けの DC-DC コンバータについて検討する。本章の課題は「太陽電池、ペルチェ素子、2つのファンの4デバイスの個別制御」および「インフラのない地域への普及を考慮し主回路の部品点数削減」である。そこで、第2章での検討結果を元に、これら課題を満足する1入力3出力の直列形 DC-DC コンバータを提案する。シミュレーションより、4デバイスの個別制御が可能であること、部品点数を削減できることも示した。また、試作した水生成部の性能を確認し、好条件下では 321g/kWh の水生成が可能であることを明らかにした。この成果は、

- [4] 中島篤志, 太陽電池とペルチェ素子を用いた水生成システム向けの3出力 DC-DC コンバータ, パワーエレクトロニクス学会誌, Vol.47, JIPE-47-2, pp. 99-107, (2022).

としてまとめられている。

第5章では、以上の検討についての総論と今後について述べた。

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、提案する DC-DC コンバータが不安定な再生可能エネルギーを有効利用する応用システムに極めて有用であると判断できることから、本論文の価値は工学的、産業応用の観点からも十分に評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。