

学位論文内容の要旨

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			

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、2030 年をターゲットとした持続的な開発目標(SDGs)が 2015 年 9 月の国連サミットによって採択された。

持続可能な社会の実現には再生可能エネルギーの有効利用が重要である。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る。

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である。そこで、本研究では新たな 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に取り組む。

各課題に対する取り組みは次の通りである。①エネルギーの利用率向上の課題に対しては、筆者が提案する DC-DC コンバータのスイッチング損失を検討し、再生可能エネルギーに適した DC-DC コンバータを整理する。②小さい電力で大きな価値を提供する課題に対しては、1セル太陽電池向け DC-DC コンバータを提案・検討する。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提供の課題に対しては、太陽電池とペルチェ素子を用いた水生成システム向け DC-DC コンバータの提案・検討する。本論文は全 5 章構成となっており、以下に本論文の各章の要旨を述べる。

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る。

第 2 章では、筆者が提案する降圧形、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。

これらの比較検討結果を元に第 3 章、第 4 章で検討する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くなるが、出力の電位変動が大きい。このため放射ノイズを発生する可能性がある。その結果、再生可能エネルギーのアプリケーションには、直列形が最も適していることを明らかにした。

第3章では、今後普及すると考えられるウェアラブル機器を想定し、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」であり、これら課題についての先行研究は見受けられない。そこで本研究では、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、提案方式の用いる起動回路は1セル太陽電池が低電圧でも、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲で、運転できることを明らかにした。さらに、DC-DC コンバータの主回路は太陽電池の劣化による地絡を考慮し入出力絶縁形とし、コンバータの入力電圧が 0.5V でも、ウェアラブル機器の電源として必要な 5~12V の出力電圧、7W 以上の出力電力が得られることを示した。

第4章では、インフラのない地域で、個人で飲料水を得ることを可能とする、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、本システムの先行研究は見受けられないためこれを検討した。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て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出力の新たな直列形 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を示した。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。

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る。

第2章：筆者が提案する単相高力率整流器の DC-DC コンバータ部分について、回路方式の違いによるスイッチング損失の違いを明らかにし、再生可能エネルギーのアプリケーションに適した回路方式を整理し、直列形が最も適していることを明らかにした。

第3章：1セル太陽電池を想定した新たな DC-DC コンバータを提案し、低電圧からの起動でも、ウェアラブル機器の電源として必要な 5~12V 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を示した。

第4章：水生成に必要なデバイスの制御を行う1入力3出力の新たな直列形 DC-DC コンバータを提案し、各出力ポートの独立制御と部品点数を削減可能であることを示した。

今後は本研究内容を発展させ、再生可能エネルギーを上手に扱うための電力変換技術の進歩に取り組む予定である。