

## 2021年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	宇都宮大学 工学部 基盤工学科 情報電子オプティクスコース
職位または役職	助教
氏名	春名 順之介

### 1. 研究題目

パレートフロントカーブと3レベルインバータによる航空機用発電システムの最適化

### 2. 研究目的

近年、航空機産業の需要拡大と共に、航空機内の電力需要量が増大している。航空機のジェットエンジンは推進と発電を兼ねており、電力需要量が増大していくと、現行の発電システムではジェットエンジンの負荷に対して発電量が非常に大きくなり、安定的な電力供給や航行に影響を及ぼす可能性がある。そこで、ジェットエンジンの改良も含めた航空機のさらなる電力の高出力化と、電力変換器を用いた航空機内の電動化が検討されている。本研究では電力変換器を積極的に活用した、航空機の電力高出力化、および、電動化を検討する。航空機の電力システムは一般的な商用システムと比較すると、システムの小型化を狙って周波数が高く設定されている点、および、上空飛行時の空気の薄さに起因して絶縁耐力が低いことから低電圧大電流系であることが知られている。さらに、搭載体積、重量は航空機の航行性能に大きく依存することから、電力変換器には効率の高さに加え、重量と体積の低減が大きく求められる。

以上をふまえ、本研究は高周波数、低電圧大電流系に対応した航空機用電力変換器の高効率、小型、軽量化の達成を目的とする。

3. 研究内容及び成果

本研究では航空機用電力変換器として、SiC-MOSFETを用いた図1に示すT型3レベルインバータが適していると考え、これまで研究を行ってきた。3レベルインバータは従来の2レベルインバータと比較して、電圧レベルの増加による出力電圧高調波を低減できることから、400Hz以上の三相交流電圧を必要とする航空機内の電力変換回路に適している。また、2系統の直流電圧を生成する必要がある関係からも3レベルインバータが適していると考えられるが、一方で、3レベルインバータを使用する場合、直流電圧リップルが大きくなる課題が存在する。本研究の開始初旬においては、この課題に対応可能な制御が必要と考え、解決方法としてマトリクスコンバータの制御の適用を検討している。マトリクスコンバータは三相交流電圧源を用いて、電源と異なる周波数、振幅の三相交流電圧に直流を介さず直接電力変換できる回路方式である。本研究ではこれまでに電源電圧の三相交流をある位相で固定することでマトリクスコンバータを3レベルインバータとして動作できることを確かめており、3レベルインバータの性能を最大限に発揮することが可能な制御の検討を行ってきた。マトリクスコンバータは1278のスイッチングパターンが存在し、その中からマトリクスコンバータの出力電圧ひずみを低減する場合、入力電流ひずみを低減する場合など、いくつか考えられる評価関数に応じて最適なスイッチングパターンを選択する方式を検討することで、マトリクスコンバータをどんなアプリケーションにも最適な出力ができるよう制御可能であることがわかった。本研究ではマトリクスコンバータを航空機用3レベルPWM整流器として動作することを考えており、その中においては入力電流ひずみを低減することが最適であると判断してその制御性能を検討している。また、昨年度まで行ってきた研究では入力力率の調整が3レベルインバータの直流電圧を安定化することがわかっていたため、2021年度は入力電流ひずみを低減でき、かつ、幅広い入力力率範囲を持つマトリクスコンバータの制御について検討し、従来法以上の入力力率の調整範囲を持ち、かつ、入力電流ひずみも低減できることを確認した。図2はシミュレーションによる検討結果であり、図2(b)最下図において、出力が1となっている部分が設定した入力力率で制御不能となっている状態を表すが、同じ条件において提案手法である(a)においては制御が可能であることがわかっており(研究成果1, 2)。

一方、航空機に適した発電機の形状について、本研究では多相交流発電機が適しているのではないかと考え、その構造の検討、および、横流抑制効果についても検討している。その結果、航空機特有の条件である、低圧大電流に適した構造であることと、可能な限りトルクリプルなどが出ない構造であるべきと考え、試作機として多相交流の中でも最も三相交流発電機と近い構造だと考

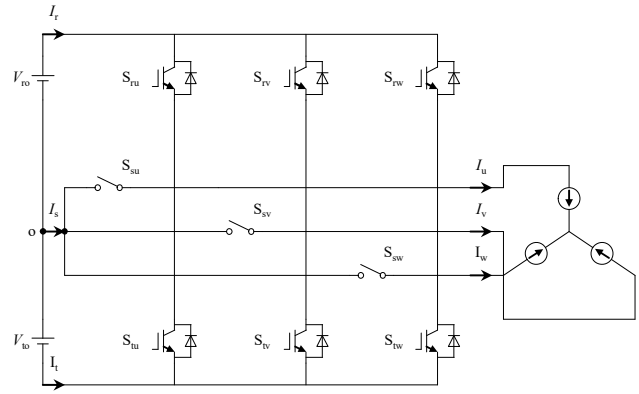


図1 3レベルインバータ

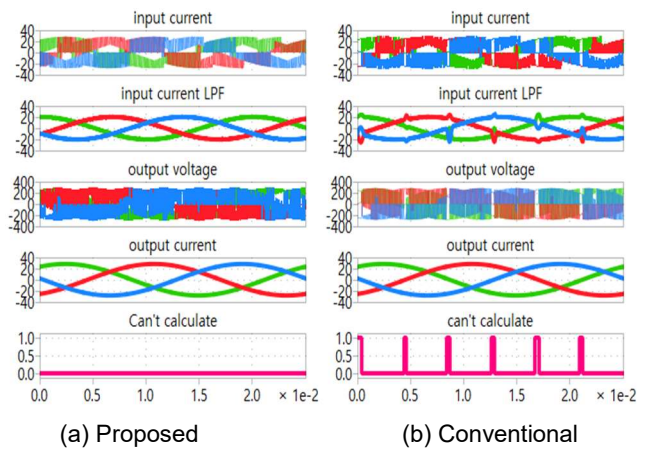


図2 シミュレーション比較結果



図3 試作した三相/六相モータ

えられる三相/六相モータ(発電機)を試作した(図 3)。この発電機は従来の三相交流発電機と比較できるように、巻線構造を三相/六相の間で切り替えられる構造としている(研究成果 3)。

#### 4. 今後の研究の見通し

本研究では、航空機用電力変換器、および、航空機に適した発電機の構造について検討しており、航空機用電力変換器として 3 レベルインバータを提案している。この性能の評価には、三相交流電圧/電流のひずみや、直流電圧リップルの評価に加えて、重量密度、体積密度の低減を検討する必要がある。重量密度、体積密度の検討にはパレートフロントカーブによる検討が有効であると考えており、今後は、パレートフロントカーブによる検討を行っていく。また、試作した三相/六相モータの駆動も研究課題となっている。以上を踏まえ、1. 実験装置による 3 レベルインバータの実証、2. パレートフロントカーブによる重量密度、体積密度の最適化、および、3. 六相モータの有用性の検証の 3 つの課題を検討していく。

実験装置による 3 レベルインバータの検討に関しては、図 4 に示す通りすでにその回路の試作に取り掛かっており、回路が完成次第、マトリックスコンバータの制御を導入して動作を確認していく予定である。ここで動作が問題なく行われたところで、様々なスイッチング周波数に対して回路中の各素子を重量、体積が小さくなるように選定していき、スイッチング周波数を変数とする効率と重量をパレートフロントカーブにて検討し、本研究で検討する重量と体積に密度を最適化していく。また、実験装置が完成後は、三相/六相モータの駆動試験を行い、特に電流の大きさとトルクを重点的に検討し、航空機に適した電力変換回路方式、および、発電方式を多方面から検討する予定である。



図 4 試作 3 レベルインバータ

#### 5. 助成研究による主な発表論文、著書名

1. Junnosuke Haruna, Hirohito Funato : "Comprehensive Analysis of Switching Patterns of Matrix Converters under Various Input Power Factors and Load Power Factors", 2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEC), 220059, pp.1-7 (2021)
2. 山本智史・春名順之介・船渡寛人:「並列インバータと多重巻線発電機を用いた航空機向け発電システムの検討」, 令和 4 年電気学会全国大会, 4-094, pp.146-147 (2022)
3. 林駿大・春名順之介・船渡寛人:「全スイッチングパターン探索によるマトリックスコンバータの制御の最適化に関する一考察」, 第 12 回電気学会群馬支所・栃木支所合同研究発表会, ETG-22-64, ETT-22-64 (2022)