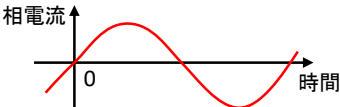
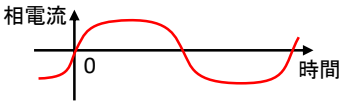
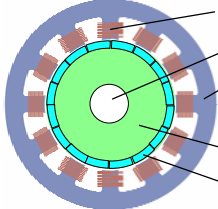
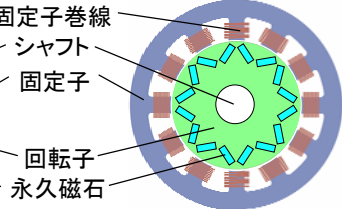


研究成果報告書

研 究 題 目		非正弦波電流波形による同期電動機の低トルクリプル・高トルク密度駆動技術の開発	実 施 年 度
			2022, 2023 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域	
	氏 名	梅谷 和弘	印
1. 研究の目的・背景 本研究は、小型ながらも高いトルクを出力できる電動機として知られる永久磁石型同期電動機に対してトルク密度をさらに向上する駆動技術を開発することを目的としている。 永久磁石型同期電動機は、大電流を通電すると永久磁石が磁力を失う減磁が発生するため、入力電流量に限界があり、これがトルク出力の限界となる。一般に電動機の駆動には、下記図 1(a)に示すような正弦波波形の相電流を通電するが、正弦波電流波形は電流実効値に対するピーク電流値が大きいいため、小さいトルク出力でも電流のピーク値において減磁する恐れがあり、高いトルクを出力することが難しい。そこで本研究では、正弦波の相電流波形に替えて、図 1(b)に模式的に示すように、より低いピーク電流値を持つ相電流波形で永久磁石型同期電動機を駆動する技術を開発する。 申請者は類似した式を扱った過去の研究を通じて、正弦波以外にもトルクリプルを排除できる相電流波形は無数に存在することに気が付いた。そこで、本研究ではトルクリプルを排除できる相電流波形を系統的に探索し、これらの波形から所定のトルク値を出力した時に最も低いピーク電流値となる波形を特定することで、減磁の影響を最小とする相電流波形を得る。さらに、このようは非正弦波相電流による駆動により、減磁を軽減することで従来の正弦波の相電流波形に比べて高いトルク密度が実現できることを実証する。 なお、永久磁石型同期モータは一般に、表面磁石型同期電動機（図 2）と埋め込み磁石型同期電動機（図 3）の 2 種類があるが、埋め込み磁石型同期電動機はマグネットトルクとリラクタンストルクの両方が発生し動作原理が複雑である。したがって、本研究では、表面磁石型同期電動機をターゲットに低いピーク電流値を持つ相電流波形を用いた新しい電動機の駆動技術を開発する。			
相電流↑  (a) 一般的な(従来の)相電流波形 相電流↑  (b) 提案する相電流波形のイメージ 図1 電動機の相電流波形		 固定子巻線 シャフト 固定子 回転子 永久磁石  図2 表面磁石型同期電動機 図3 埋め込み磁石型同期電動機	

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本助成による1年目の研究では、相電流導出法の理論定式化および動作解析モデルの構築を優先的に進めることにした。その結果、当初の想定通り、4相インバータを用いることで従来の正弦波電流によるモータ駆動法に対して相電流のピーク値を低減しつつ、トルクリプルを発生させない新しい相電流波形を系統的に導出できる方法を考案することに成功した。

ただし、効果的にトルク密度を向上するためには、このようにして導出した相電流波形のうち最もピーク値を低くできる相電流を探索して決定する必要がある。そこで、前述の相電流導出方法に基づいて最も相電流のピーク値を低くできる波形を探索するアルゴリズムを開発した。一般的な表面磁石型同期電動機のシミュレーションモデル（図4）をベースにこの手法を適用して相電流を探索した結果、従来の正弦波駆動（図5の従来相電流）の波形に対して同じトルク出力において、ピーク電流を9%低減できる新しい相電流波形（図5の提案相電流）を発見することができた。なお、この相電流波形は、モータの着磁状態が完全な正弦波ではないことを考慮したうえでトルクリプルを発生させないような波形という条件のもとで導出していることから、正弦波電流波形に比べてピーク電流を低減できるだけでなく、トルクリプルも低減できることが分かった。具体的には正弦波電流の場合は11%のトルクリプルが見られたのに対して、導出した相電流は4.6%のトルクリプルにとどまり、モータ駆動の品質自体も向上できることが明らかとなった。

2年目の研究では、1年目の成果を実験的に検証するための永久磁石同期モータのテストベンチの設計・構築を行った。申請時はテストベンチ設計・構築は1年目に実施する予定であったが、本プロジェクトの予算が申請時の想定より下回ったため、実験用の電動機として低価格な電動機を改めて調査してから調達する必要が発生した。このため、モータベンチの設計・構築は2年目となった次第である。幸いにも市販のモータのステータを流用しつつ、それに換装する永久磁石ロータを製作することで、本助成の予算範囲で実験用の永久磁石同期モータの実験機を購入することができた。また、ベンチに必要な部材も調達でき、評価用ベンチを構築することができた。ただし、当初計画は2年目において提案技術の実験評価がベンチにおいて完了する予定であったが、ベンチの構築に手間取ってしまい、実験評価にま

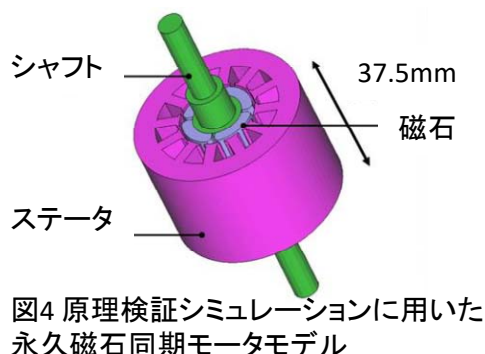


図4 原理検証シミュレーションに用いた永久磁石同期モータモデル

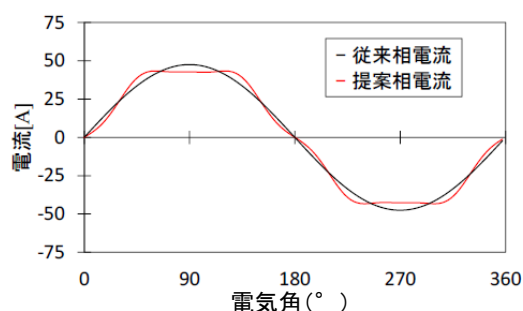


図5 従来および提案相電流波形

では至ることができなかった。実験評価は今後実施する予定である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

前述の通り、本プロジェクトの予算が申請時の想定より下回ったため、予算範囲で購入可能は電動機の調達方法を改めて検討する必要が生じた。このため、モータベンチなどの提案技術の評価実験設備は、当初計画から遅れて2年目に調達することとなり、経費使用計画には遅れが生じた。しかしながら、2年目には、想定よりも大幅に低価格で永久磁石同期モータを調達することができ、当初計画の通りモータベンチを組み立てることができた。永久磁石同期モータが低価格で購入できたことから、カップリングやモータベンチ用の鋼材、インバータ用電子部品など、当初計画において助成金外で購入することを予定していた物品も購入することができるようになった。

また、当初計画で記載していた負荷用誘導機および誘導機用インバータは別の研究で使用していたものを流用できることになったことから、購入しない状態で調達することができた。以上の通り、経費使用には大幅に遅れが生じたものの、当初想定した必要資材は購入することができた。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

当初の想定から研究が遅れてしまった結果、本助成期間の中で提案技術の検証実験を完了することができなかった。しかしながら、本助成のもとで、モータベンチの構築までは完了し、実験的に提案技術を実証する環境は整えることができたため、研究をこのまま継続できる状態となった。今後は、本助成で構築したモータベンチを用いて、提案技術の実証実験を完了させる予定である。

なお、1年目の研究において市販の特定の永久磁石同期モータで提案技術の有効性を検討した結果では、ピーク電流 9%低減と十分に意義のある効果ではあるものの期待より小さな効果しか得られなかった。これについて、研究代表者は、本研究において検討した市販の永久磁石同期モータより提案技術の効果を大きく発揮できる永久磁石同期モータ構造があるのではないかと考えている。したがって、今後は、提案技術による恩恵をより強く享受できるような新しい永久磁石同期モータ構造も併せて検討し、実用化を目指す予定である。

従来はインバータの性能の制約から、インバータが正弦波電流を出力することを前提としてモータ技術を構築する必要があったが、SiC-MOSFET 等の次世代半導体の登場によるインバータの進化により、この前提が変わろうとしている。提案技術の挑戦はその先鋒を成すものであり、今後一層、提案技術のアプローチは大きな技術の潮流になるものと思われる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

本研究はこれまでのところ、シミュレーションによる適用効果の試算にとどまっており、現時点では学会発表等の実績がない。しかしながら、現在構築したモータベンチでの評価結果が完了した時点で、国際会議での発表を検討している。具体的には、2025年に開催予定の世界的なパワーエレクトロニクスの国際会議での ECCE2025 での発表を検討している。