

未来社会創造事業（探索加速型）  
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域  
終了報告書（探索研究）

令和 2 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名: 赤津 観]

[所属: 横浜国立大学 大学院工学研究院・教授]

[研究開発課題名: 銅損 9 割低減可能な新パルス駆動永久磁石同期モータ  
(MRM)]

実施期間: 令和 2 年 11 月 1 日～令和 6 年 3 月 31 日

## §1. 研究開発実施体制

(1)「赤津」グループ(横浜国立大学)

① 研究開発代表者:赤津 観 (横浜国立大学 工学研究院、教授)

② 研究項目

- ・MRM の磁気回路設計
- ・MRM の磁石磁束密度動作点の測定

(2)「和田」グループ(東京都立大学)

① 主たる共同研究者:和田 圭二 (東京都立大学 システムデザイン学部、教授)

② 研究項目

- ・パルス電流発生回路の並列動作研究
- ・パルス電流発生回路の連係動作研究

(3)「大村」グループ(九州工業大学)

① 主たる共同研究者:大村 一郎 (九州工業大学 大学院生命体工学研究科、教授)

② 研究項目

- ・大電流パルス用パワーモジュール開発
- ・大電流パルス用実装技術開発

(4)「高宮」グループ(東京大学)

① 主たる共同研究者:高宮 真 (東京大学 生産技術研究所、教授)

② 研究項目

- ・過電流・サージ電圧センサの開発
- ・パワーデバイス破壊回避ゲートドライバ IC

## §2. 研究開発成果の概要

本研究開発においては CO<sub>2</sub> の大幅削減を目的とした油圧システムの高効率化を達成すべく、銅損を大幅に低減可能な新規モータおよびその駆動システムを実現することを目的としている。銅損を従来モータの 1/10 とする MRM を Flux Switching Motor により実現し、500A パルスドライブによる連続駆動実験によって MRM の銅損低減を実証した。MRM 駆動用インバータとして、インバータに用いる 1000A 通電可能なパワーデバイスおよびパワーモジュールを開発し、本デバイスを用いて 500A 100μsec のパルス駆動回路ならびに正弦波駆動を実現した。さらにパワーデバイスの駆動ゲートドライバとして、過電流・過電圧監視機能をもつ SOA センサを開発、IGBT および MOS-FET に適用できた。なお大容量モータの設計ならびに駆動実験は本テーマが 4 年目で終了となったため未実施である。

各テーマの主な成果は以下である。

#### 【1、赤津グループ(横浜国立大学)の研究成果】

ロータに磁石を埋め込んだ IPMSM タイプの MRM において特に低速領域で通常 IPMSM よりも高効率であることを明らかにし、ロータに磁石を用いないモータである Flux Switching Motor の MRM 適用を検討し、実機を制作し 500A パルスでの安定駆動を確認した。さらに使用磁石材料を FeCrCo に変更して磁石のヒステリシス損失が低減されることを同様の Flux Switching Motor の実機実験にて示した。

#### 【2、和田グループ(東京都立大学)の研究成果】

MRM 駆動のための共振回路を用いた正負の三相パルス電流発生回路の提案と大電流化に向けた並列化方式の実験検討を行った。さらに、モータの高速回転に対応可能なように正弦波電流出力方式を提案した。並列化技術については、モータが2巻線から構成されていることを想定し、2並列回路によって回路が動作可能であることを明らかにした。また、同一回路において、正弦波電流出力できる手法を検討し、その制御方法を明らかにした。最後に、パルス電流と正弦波電流を切り替えて流すことを実験により示した。

#### 【3、大村グループ(九州工業大学)の研究成果】

モジュールの小型化とゲート配線の低インダクタンス化を両立できる TopCool 型要素 IGBT モジュールが完成、コンデンサ、ゲートドライバ、絶縁電源等を高さ約 10mm に集約するハーフブリッジ MRM モジュールを作成。200A のパルス発生を確認。さらに 500A 通電可能な IGBT の要素モジュールが完成し動作確認済み。500A 要素モジュールの並列化し PCB 両面に実装することで 1000A MRM モジュールを可能とした。

複数コイルの並列動作モジュール並列駆動時に問題となる電流アンバランスを駆動電圧調整により均一化できることを明らかにした。

#### 【4、高宮グループ(東京大学)の研究成果】

前年度(2022年度)は、MRM 向けに、ゲート端子から測定可能、かつ、IGBT がオン中の過電流が検出可能な世界初の過電流検出手法を提案・実証した。さらに、この過電流検出/保護機能を全て 1 チップに集積した世界初のゲートドライバ IC を提案・実証した。2023 年度は、上記のゲートドライバ IC を SiC MOSFET に適用し、過電流検出/保護動作の実証に成功した。さらに、IGBT では過電流検出のしきい値は一定で変更できなかったが、SiC MOSFET では放電するゲート電荷を変えることで過電流検出のしきい値を変更できることを世界で初めて明らかにした。

#### 【代表的な原著論文情報】

なし