

2019年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	国立大学法人 宇都宮大学
職位または役職	准教授
氏名	後藤 博樹

1. 研究題目

直流励磁方式セグメント形リラクタンス電動機の開発

2. 研究目的

誘導発電機は、堅牢で交流系統との連系も容易なため、風力や小水力発電で多用されているが、効率と力率に難があり可変速運転も難しい。大型風車では可変速の巻線形誘導発電機も使用されるが、ブラシとスリップリングを有するため保守の問題が指摘される。永久磁石発電機は効率と力率に優れるため、小中容量の風力発電に利用されており、最近では MW 級の大型風車への適用も始まっている。しかし、高温や湿度に敏感で、機械的衝撃にも弱い。さらに、最近では沈静化しているものの、希土類磁石を使用するため資源リスクとコストの問題が付きまとう。スイッチトリラクタンス発電機(SRG)は、回転子に巻線や永久磁石を持たないため構造単純で堅牢であり、熱減磁やコギングトルクの問題も無い。しかし、SRG は励磁電流が大きく、低速では発電効率も限界があった。申請者は、SRG の固定子巻線の一部を界磁巻線とすることによりこれらの難点が克服できることを提案した。また、回転子を突極構造からセグメント構造にすれば、鉄心の利用率が向上するため出力増大が可能であることを見出し、さらにスイッチトリラクタンスモータに比較して低トルクリプルな電動機駆動が可能であることも明らかにした。

本研究では、昨年度補助金で開発した直流励磁方式セグメント形リラクタンス発電機(以下、セグメント形 DCRG と略称)を発展させ、電流波形の最適化と固定子の最適化を行うことにより、より実用的な直流励磁方式セグメント形リラクタンス電動機(以下、セグメント形 DCRM と略称)を開発する。本電動機は、メンテナンスフリーで、多極化も容易であることから、大容量の洋上風力発電などに適すると考えられる。また、形状の自由度が高いため、リニア化して波力発電などへの応用も期待される。さらに、昨年度の研究により低トルクリプルでの電動機動作も確認できたことから、電動機動作と発電動作の両方を要求されるガソリン自動車用のモータージェネレータやハイブリッド車や電気自動車の主機への適用可能性も考えられる。

本研究によって開発されるセグメント形 DCRM は、磁石レス、ブラシレスであり、さらに位置センサーでの発電動作が可能であるなど、ロバストなシステムが実現でき、高信頼で低コストが期待される。これらの特長から、セグメント形 DCRM は大容量の洋上風力発電機や電動化車両への適用でき、地球環境問題の解決に大きく寄与するものと考えられる。

3. 研究内容及び成果

1. 駆動特性の検証

2018 昨年度の補助金により試作した回転子と既存の SRM 用固定子を組み合わせることで DCRM を構成し、駆動特性の測定を行った。図1に駆動システムの概要を示す。このシステムでは位置エンコーダから得られる位置信号を FPGA によってポールセンサ信号に加工してサーボドライバに出力し、サーボドライバが電流ベクトル制御により電機子電流を制御する構成とした。実測した電流-トルク特性を図2に示す。図2より、実機のトルク特性が有限要素法による解析結果とほぼ一致することが確認された。一方で、三相交流電流の歪みが確認され、DCRM においては従来の電流ベクトル制御では電流の制御が困難であることが明らかとなった。

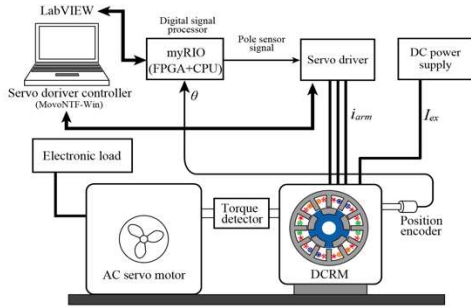


図1 DCRM 駆動システム

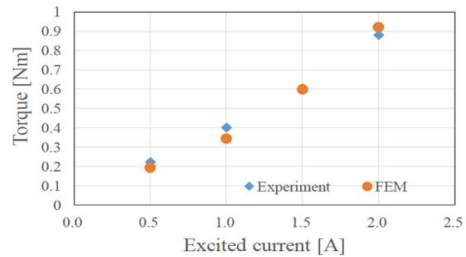


図2 DCRM の駆動特性

2. 固定子の最適設計

2018 年度補助金により試作したセグメント形 DCRM の回転子に対し、最適な固定子の設計を行った。有限要素解析により、最適なヨーク幅、極幅を検討したが、既存の固定子(SRM 用)に比べ、性能向上が得られる設計は得られなかった。その検討の中で、電機子電流波形が三相正弦波交流電流では最適ではない可能性が浮かび上がった。

3. 電流制御法の検討

1の既存のサーボドライバを使用した駆動実験により、通常の電流ベクトル制御では電機子電流波形の制御が困難であることが明らかとなった。そこで、制御に必要な数式モデルを構築し、Matlab/Simulink を用いて、電流の制御方法を検討した。その結果、通常速度 PI 制御器の出力を電流振幅として三角関数により瞬時電流指令値を生成し、電流ヒステリシス制御により電機子電流波形の制御が可能であることが明らかとなった。

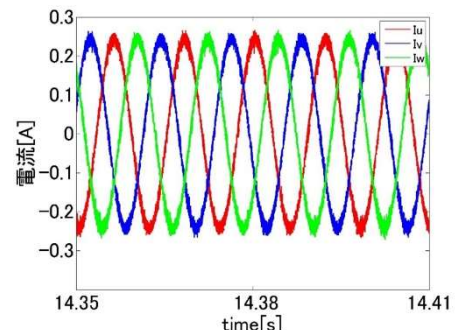


図3 提案制御法による電流波形

4. 最適電流波形の検討

任意電流波形をフーリエ級数として考え、それを3で構築した数式モデルに適用して電流実効値あたりの平均トルクが最大となる電流波形を求めた。2次成分までを考慮した最適電流波形を図4に、それによるトルク波形を図5に示す。この結果から電流の最適化により平均トルクが大きく改善されることが明らかとなった。

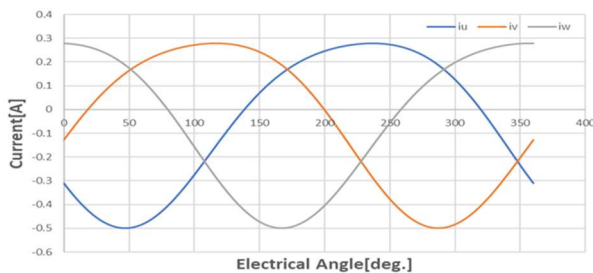


図4 最適電流波形

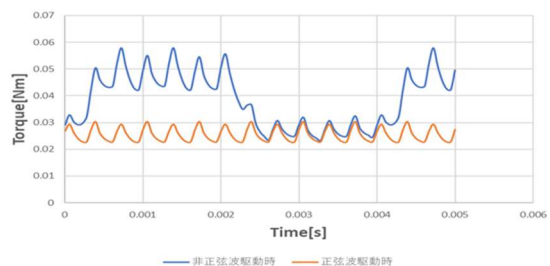


図5 トルク波形の比較

4. 今後の研究の見通し

今後の研究においては、提案電流制御法および最適電流を実機に適用して、その効果をしっかりと検証したい。また、電流波形の最適化を考慮したモータ設計法について検討し、SRM を上回るトルク密度の実現を目指す。

さらに、本電動機の特徴を見据えた応用について検討し、具体的な設計について検討したい。例えば、発電機として考えた場合、メンテナンスフリーで、多極化も容易であることから、大容量の洋上風力発電などに適すると考えられる。また、形状の自由度が高いため、リニア化して波力発電などへの応用も期待できる。一方で、昨年度の研究により低トルクリプルでの電動機動作も確認できたことから、電動機動作と発電動作の両方を要求されるガソリン自動車用のモータージェネレータやハイブリッド車や電気自動車の主機への適用可能性についても検討していきたい。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国際会議(査読付)

Ren Yamamoto, Akito Yamaguchi¹, Hiroki Goto, “Basic Study of Direct Current excited Reluctance Motor”, ICEMS2020, The 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2020), LS1D-4, 2020.

国際会議(査読なし)・国内会議

山口暁斗, 後藤博樹, “直流励磁型リラクタン্সモータの制御に関する基礎検討”, 電第 10 回群馬・栃木支所合同研究発表会, ETG-20-71, 2020 年 3 月