

## 2018 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名 (大学、大学院、研究所名)	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発電機の開発

### 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 は精密な回転子位置検出と高速な励磁用コンバータが必要になり、システム構成と制御の複雑化を招いていた。

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た。本研究では、これらの知見に基づいて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)を開発する。本発電機は、単純なチョッパ回路で出力制御が可能であり、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、電動機へ展開した場合、その鉄心の利用率向上により従来のスイッチトリラクタンスモータよりも高トルク化が期待される。

本研究によって開発されるセグメント形 DCRG は、磁石レス、ブラシレス、センサレスなため、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 DCRG は大容量の洋上風力発電に適し、地球環境問題の解決に大きく寄与するものとする。

### 3. 研究内容及び成果

#### (1) 発電動作の解析

図1に提案発電機の構成を示す。駆動回路として従来提案している全波整流回路(FRC)と三相交流回路の動作特性を図2に示す。三相交流回路のほうが最大出力及び効率どちらも大幅に改善されていることがわかる。また、トルクリプルについても三相交流回路の方が全波整流回路に比べて大幅に低減された。これは、全波整流回路の方では電機子巻線のインダクタンスにより電流が遅れているため出力が最大となる初期位相の電機子電流を印加している三相交流回路に比べて出力が低いと考えられる。

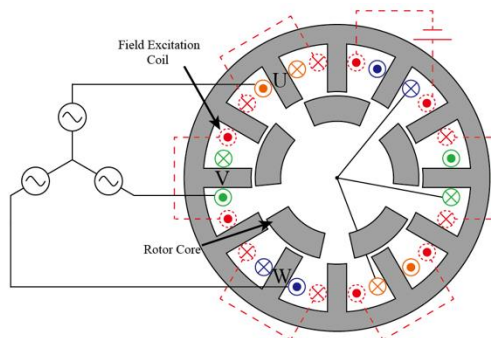


図1 提案発電機の構成

#### (2) モータ動作の解析

提案しているセグメント型リラクタンス発電機をモータに転用した直流励磁型リラクタンスモータを提案し、二次元有限要素解析により、動作原理を明らかにした。また、磁化曲線を解析したところ、図3に示すように、提案モータの動作領域が第1象限のみならず、全象限に渡っていることが確認でき、発電機動作時と同様に、スイッチトリラクタンスモータと比較して鉄心利用率が向上していることが確認できた。また、スイッチトリラクタンスモータと比較してトルクリプルが小さいことが明らかになった。

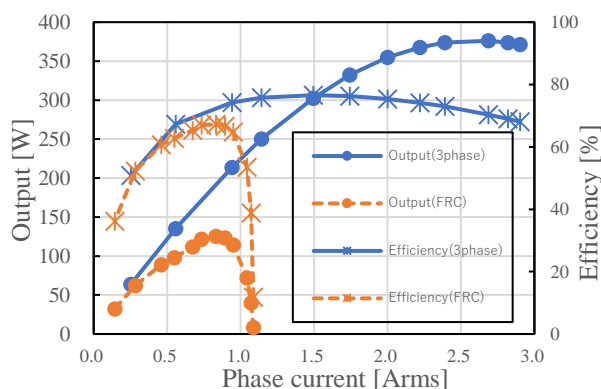


図2 駆動回路による発電特性の比較

#### (3) 回転子の試作

提案発電機を試作するため、現有のスイッチトリラクタンスモータの固定子との組み合わせにおいて、最適な回転子形状を探索した結果、回転子セグメント幅は完全対向時に固定子の励磁極と電機子極がそれぞれ1つずつに対向する長さで、かつ固定子鉄心間の距離が固定子極幅に比べ長い設計とすることが良いことが明らかになったため、実際に回転子を試作した(図4)。現在、発電特性、出力特性、効率特性を測定中である。

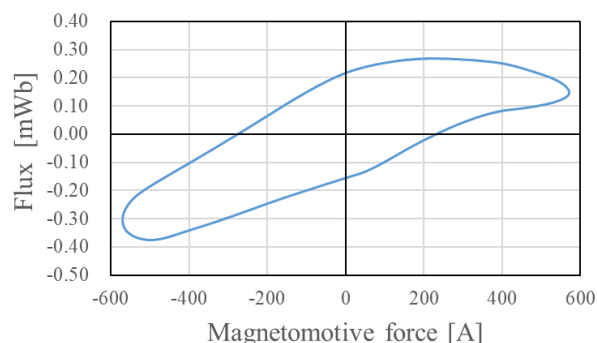


図3 モータ動作時の磁化曲線



図4 試作ロータの外観

#### 4. 今後の研究の見通し

---

今後の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。具体的には以下の3点について検討を行う。

1. 電流波形最適化
2. 固定子の最適設計と試作
3. 評価

本発電機は,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ッ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。

#### 5. 助成研究による主な発表論文,著書名

---

山元蓮,後藤博樹,“直流励磁型リラクタンスモータの回転子の検討”,電気学会マグネティックス・モータドライブ・リニアドライブ合同研究会, MAG-18-180/MD-18-121/LD-18-072, 2019.

山元蓮,後藤博樹,“直流励磁型リラクタンスモータの発電特性”,3-78,電気学会産業応用部門大会. 2019.