

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

# 高速回転用 SR モータと電動工具の応用に関する研究

熊坂 悠也

指導教員：一ノ倉 理

## A Study on High Speed SR Motor and Application to Electric Power Tools

Yuya KUMASAKA

Supervisor: Osamu ICHINOKURA

A switched reluctance (SR) motor consists of only laminated-core and windings. The concentrated windings are coiled around each stator pole. The rotor is only made of laminated-core, while it has neither permanent magnets nor windings. Hence, the SR motor has simple and robust structure, low cost, and maintenance-free operation. It is expected to be put into various fields, especially to high-speed application. The aim of this paper is to develop the SR motor which is suitable for electric power tools. First, the performance of the designed 12/8 SR motor is proved by the experiments. Next, considerations of high speed rotation SR motor are described.

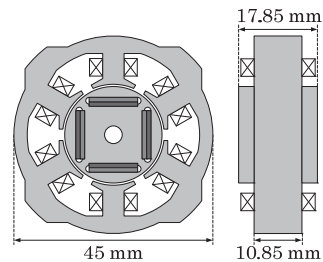
### 1. はじめに

従来、インパクトドライバや電動ドリルに代表される電動工具の駆動には交流整流子モータが主に用いられてきたが、最近では高出力密度に加えて、高効率化の要求も高まってきていることから、永久磁石 (PM) モータが用いられるケースが増えてきている。しかしながら一方で、現在、希土類磁石の製造に不可欠なレアアース (Nd, Dy) の価格高騰や供給不安が顕在化しており、省・脱レアアースモータの開発が強く望まれている。そこで本研究ではスイッチトリラクタンス (SR) モータに着目した。SR モータは、構造が極めて単純で堅牢、高速回転に適する、永久磁石を用いないため安価で熱に対する耐性も高いなどの特長を有し、特に電動工具などの高速回転用途に適したモータであると言える。

本研究では、SR モータの電動工具の応用のため SR モータの高トルク化に関する検討・実証実験及び、量産化のための高速回転化検討を行った。

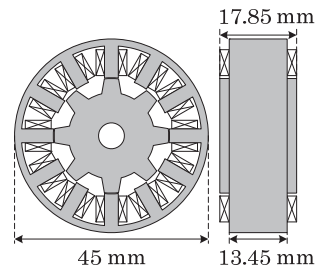
### 2. 12/8 SR モータの実証実験

図 1 に現状の電動工具用 PM モータの諸元を示す。図 2 に本研究で設計した 12/8 SR モータの諸元を示す。固定子 12 極、回転子 8 極の 3 相モータであり、固定子直径、回転子積み厚は現状の PM モータと同一である。十分なトルクを得るためにギャップ長は PM モータよりも短い 0.2 [mm]、巻線占積率は PM モータと比べて 44.3 [%]としている。固定子積み厚に関してはコイルエンドとの総和が回転子積み厚を超えない範囲で調整し、13.45 [mm]としている。また、図 3 に示すような巻線配置を想定しており、スロット内に全ての巻線が収まることが了解される。



Gap length:	0.5 mm
Core material:	35A300
Magnet material:	Sintered Nd-Fe-B
Exciting voltage:	14.4 V
Winding space factor:	24.0 %

図 1 現状の電動工具用 PM モータの諸元



Gap length:	0.2 mm
Core material:	35A300
Winding diameter:	1.05 mm
Number of windings / pole:	11 turns
Winding space factor:	44.3 %

図 2 試作 12/8 SR モータの諸元

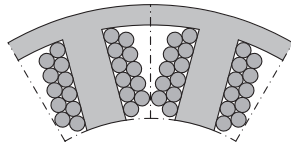


図3 12/8 SR モータの巻線配置

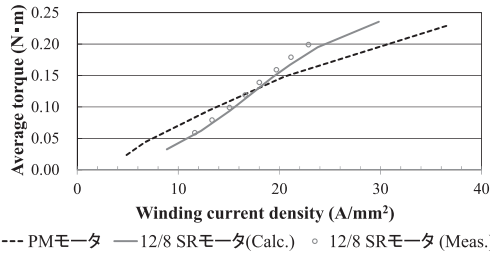


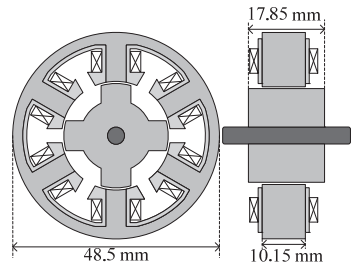
図4 巻線電流密度-トルク特性

図4に巻線電流密度-トルク特性の実証実験の結果を示す。同図より、設計したSRモータでは概ねPMモータと同等の特性が得られており、特に高負荷領域においてはPMモータを大幅に上回る特性が得られていることが確認できる。

### 3. SRモータの高速回転化検討

12/8 SRモータの実証試験により高トルク化検討の妥当性を示すことができた。一方で、量産には不向きな設計となっているため、量産化検討を行った。実際の電動工具用PMモータと同等の条件で設計したSRモータの諸元を図5に示す。ギャップはPMモータと同等の0.5 [mm]、またスロット内部には絶縁保護のためにインシュレータが格納されている。インシュレータを含む巻線配置を図6に示す。同図より、巻線巻機で量産することを考慮した設計で巻線が規則的に整列していることが確認できる。しかしながら、ギャップ長、巻線線占積率ともにPMモータと同条件下では、希土類磁石を用いないSRモータでは原理的にトルク不足となる。この改善のために、高速回転化による高トルク化を検討した。

電動工具は一般的に高速回転を減速ギヤにより減速することにより要求トルク・速度を得ている。そのため、高速回転化・高ギヤ比化により低電流、低トルクとすることにより、ギヤ換算後のトルク-電流特性の向上が見込める。従来の電動工具用のギヤ比9をギヤ比23まで上昇させたときの巻線電流密度対ギヤ換算トルク特性を図7に示す。同図より、PMモータを上回る良好なトルク特性が得られていることが了解される。これにより、PMモータと同条件下での、SRモータの高速回転化の妥当性が示された。



Gap length:	0.5 mm
Core material:	35A300
Winding diameter:	1.0 mm
Number of windings / pole:	19 turns
Winding space factor:	24.9 %

図5 量産化検討 6/4 SR モータの諸元

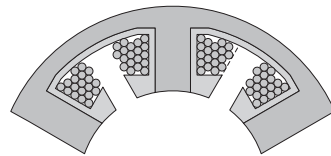


図6 6/4 SR モータの巻線配置

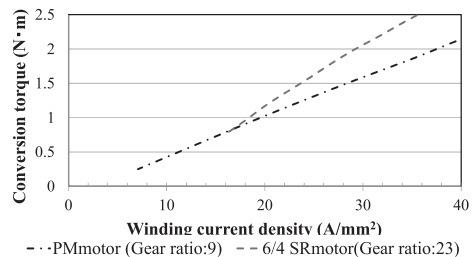


図7 巻線電流密度-ギヤ換算トルク特性

### 4. まとめ

本研究では電動工具への適用を想定したSRモータの設計、解析及び実証実験を行った。現状のPMモータと比較し、設計したSRモータは高トルク化のためにギャップ長の短縮、巻線占積率の向上、固定子積み厚の増加がなされた構造とした。また、実証実験によって高負荷領域において現状のPMモータを上回るトルクが得られたことから、設計したSRモータの有用性が確認された。さらに、量産化検討を行い、トルク不足分を高速回転化により補うことで、電動工具として量産化可能なSRモータを設計した。今後は、駆動回路構成の検討や実証試験の必要がある。

### 文献

1) 磯部開太郎：「電動工具用SRモータに関する基礎的研究」、平成26年度修士学位論文、2014