

修士学位論文要約（令和4年3月）

超高速スイッチトリラクタン্সモータに関する研究

三ツ谷 和秀

指導教員：中村 健二

A Study of Ultra High Speed Switched Reluctance Motor

Kazuhide MITSUYA

Supervisor: Kenji NAKAMURA

In recent years, as electrification is rapidly advancing in various fields, the demand for electric motors is increasing, and they have become indispensable in societies. Therefore, research and development of the motors have been actively conducted from all aspects. In particular, research and development of ultra-high-speed motors with a rotational speed of over 50000 rpm are underway for their practical application because of their potential for remarkable miniaturization. A switched reluctance (SR) motor discussed in this study consists of only iron and copper, is inexpensive, and has a robust structure that allows an ultra-high-speed operation. Because of these features, the SR motor is considered a promising next-generation ultra-high-speed motor. A 4/2 SR motor with a speed of 80,000 rpm was designed to demonstrate its usefulness in a previous study. In this study, prototype tests of the 4/2 SR motor are conducted, and also investigated the reduction of iron loss by using low core loss materials to further increase the efficiency of the ultra-high-speed SR motor.

1. はじめに

自動車, 航空, 土木建築など, 様々な分野で電動化が急速に進む現代において, その原動力となるモータの需要は高まる一方であり, 我々の生活に欠かせないものとなっている。そのため, 近年はモータの高性能化に関する研究開発が盛んに進められており, なかでも本研究で取り上げるような回転数が50000 rpmを超える超高速モータ¹⁾については, 著しい小型化が期待できるため, 注目が集まっている。

これに対して, スwitchトリラクタン্স(SR)モータは鉄と銅のみで構成されるため, 安価かつ堅牢という特長を有する。したがって, 超高速運転も容易であり, 次世代の超高速モータとして有力視されている。

先行研究では, 超高速SRモータの有用性を実証すべく, 回転数80000 rpm, 計算効率88%の超高速4/2 SRモータが設計された。

そこで本研究では, このモータの実証実験を行い, 性能を評価するとともに, さらなる高効率化を目的として, 超高速SRモータに最適な低鉄損材料について検討したので報告する。

2. 超高速SRモータに適した軟磁性材料の評価

本章では, 超高速モータの主損失である鉄損の低減について述べる。一般に鉄損を抑える策として有効であるのは低鉄損材料の利用であり, 実際にこれまで数多くの材料の適用が検討されてきた^{2), 3)}。一方, これらの材料同士での比較検討例は少なく, 超高速モータに最も適した材料については, 未だ明確になってい

い。

そこで以降の検討では, 代表的な低鉄損材4種と一般的な無方向性ケイ素鋼板の計5つの材料について, それぞれ超高速SRモータに適用し, このときの特性について比較検討することで, 超高速SRモータに最適な材料を明らかにする。

図1に, 考察に用いた12/8SRモータ⁴⁾の諸元を示す。なお, 材料の評価指標は鉄損に加えて, 加工・組み立てによる鉄損特性の劣化度合いの2点とした。

図2に, 各材料を適用したSRモータの鉄損の実測値を示す。この図よりNANOMET[®]積層や極薄電磁鋼板(ST050, ST080)が優れていることがわかる。

図3に, ワイヤ放電加工による鉄損増加率を示す。この図を見ると, 低鉄損な材料ほど鉄損増加率が高い傾向が認められる。そのなかでNANOMET[®]積層は鉄損増加率が2倍程度に抑えられており, 図2の鉄損も最も小さいことから, 超高速SRモータに最適であると結論付けられる。

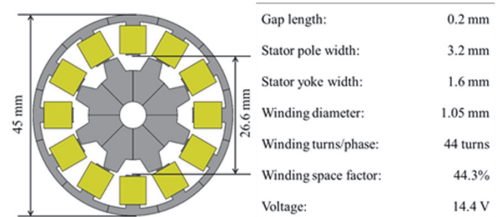


図1 12/8 SRモータの諸元

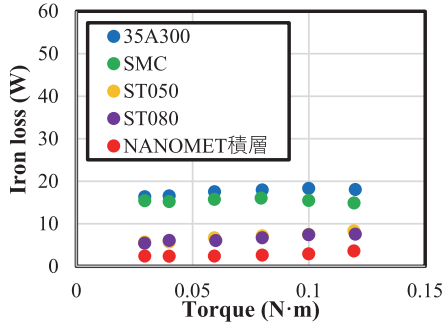


図2 トルク対鉄損特性

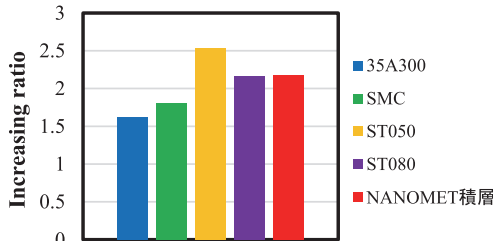


図3 ワイヤ放電加工による鉄損増加率

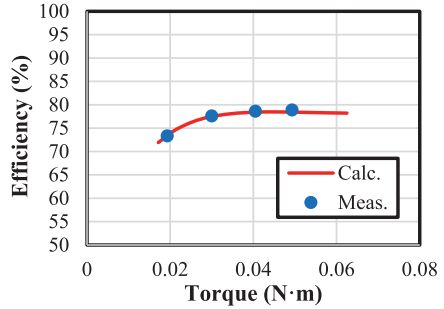


図5 トルク対効率特性

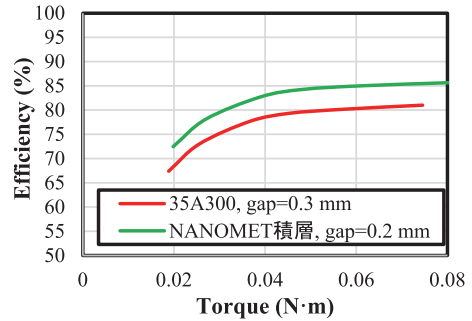


図6 改良した4/2 SR モータの効率特性

3. 試作された超高速 SR モータの性能評価

本章では、先行研究で設計試作された超高速 4/2 SR モータの実証実験を行い、計算値との比較を行った。図4に、4/2 SR モータの諸元を示す。

図5に、超高速 4/2 SR モータの効率特性を示す。この図より、計算値と実測値が良好に一致していることが了解される。一方、効率は80%を下回っていることがわかる。

そこで次に、超高速 4/2 SR モータの高効率化を目的として再設計を行った。具体的には、4/2 SR モータに用いる軟磁性材を、前章で最も優れていると結論付けられた NANOMET[®]積層に変更した。加えて、ギャップ長も 0.3 mm から 0.2 mm に変更した。

図6に、上述の改善案を取り入れた 4/2 SR モータの効率特性を示す。この図より、改善案を取り入れたことで最大効率が 85%まで向上したことがわかる。

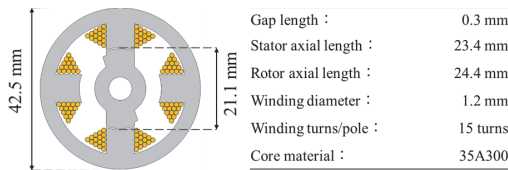


図4 超高速 4/2 SR モータの諸元

4. まとめ

以上、第2章、第3章の検討を通して、高効率な超高速 SR モータが実現可能であり、コストや強度における SR モータの特長も踏まえ、超高速 SR モータが有用であることを明らかにした。

今後の課題としては、さらなる高性能化を目的とした超高速 SR モータの検証や、瞬時相トルク分配 (IPTDC) 制御による振動・騒音の低減などが挙げられる。特に後者については、超高速 SR モータの代表的な課題であるため、実証できれば超高速 SR モータの有用性がさらに向上することが期待される。

文献

- 1) 深尾正, 松井幹彦, 千葉明, 電気学会論文誌 D, vol. 108, no. 4, pp. 403-8408 (1988)
- 2) 林寛朗, 千葉明, 深尾正, 電気学会回転機研究会資料, RM-06-40 (2006)
- 3) 榎本祐治, 床井博洋, 小林金也, 天野寿人, 石原千生, 安部恵輔, 電気学会論文誌 D, vol. 129, no. 9, pp. 1004-1010 (2009)
- 4) 熊坂悠也: 「高速回転用 SR モータと電動工具への応用に関する研究」, 平成 28 年度 修士学位論文 (2016)