

2019年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	金沢工業大学 工学部 電気電子工学科
職位または役職	講師
氏名	津田敏宏

1. 研究題目

永久磁石内蔵による可変速誘導モータの高性能化に関する研究

2. 研究目的

環境負荷低減に対する意識の高まりから、石油化学等の産業分野や船舶・電気自動車に代表される輸送機器の分野において「電動化」が盛んに進められている。

本研究は、上記の分野で用いる可変速モータの高性能化を目標に、かご形ロータに永久磁石ロータ(PM)ロータを内蔵した誘導モータ(PMIM)について取り上げる。PMIMは図1のように、誘導モータと同様な固定子とPMロータを内蔵したかご形ロータからなる。かご形ロータはシャフトに直接連結し、内蔵したPMロータは二重ベアリング構造によって、シャフトに対して独立して回転する。

本研究は、PMIMの性能解析を通じて、内蔵した磁石を有効活用するための電磁気設計法について検討する。

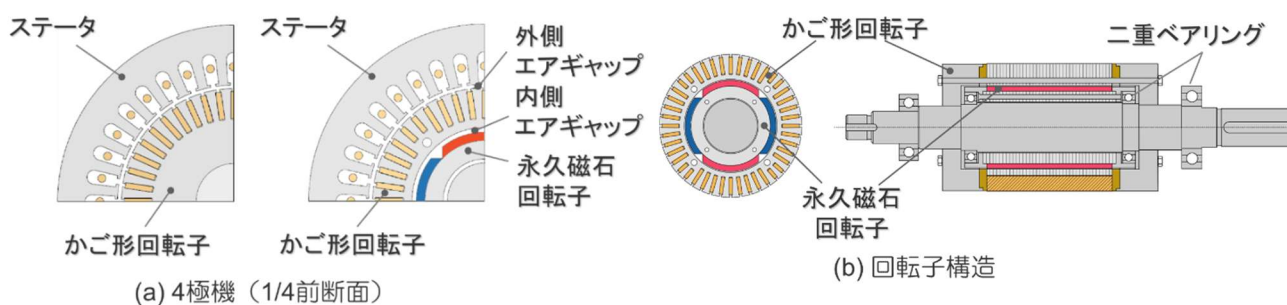


図1 PMIMの構造

3. 研究内容及び成果

(1) PMIM の性能確認と設計

PMIM の電磁気設計法を構築する前提として、まずは内蔵した PM ロータの効果を実証した。4P、200V、2.2kW の PMIM を設計し、これと同一体格の従来形 IM のモータ動作時における性能を、二次元有限要素解析(2D-FEA)により比較した。図 2 及び図 3 にその結果を示す。図 2 から、例えば滑り 0.03 でみると、PMIM のトルクは 11.2 [N・m] であり、IM の約 2.16 倍の向上が確認できた。また同じ滑りにおいて、図 3 のように PMIM の力率は 0.93 であり、小規模サイズとは言え、かなり高い力率が得られた。

(2) 多極 PMIM の設計とその性能

上記のとおり PM ロータを挿入することでトルクと力率の向上が見られた。可変速の IM においては、トルク密度を高めるために、極数を増加する方法が採用されている。通常、同一寸法のまま極数を増加させると、力率が悪化する傾向にある。しかし、上述したように、PMIM は PM ロータを有するため、力率改善効果によって、その低下が防止できるものと考えた。

そこで、一般的な IM と同じ設計理論である D^2L 法に基づき、8 極 PMIM を設計し、その性能を確認した。図 4 はその結果の一例を示す。8 極 PMIM では 4 極 PMIM と体格、トルク特性及び空隙磁束密度が同じになるよう、固定子巻線を増加させている。

8 極 PMIM のトルク特性を同一体格の従来形 IM と比較した結果、図 4 のとおり、変化は確認できなかった。また、図 4 の結果と同様に力率の改善も認められなかった。

(3) PM ロータの効果とその設計法に関する考察

多極化した際に PM ロータの効果を得られなかった要因を明確にするため、4 極 PMIM における空隙磁束密度の大きさを、固定子巻線及び PM ロータについて、発生起源別に分けて考察した。

この結果、4 極 PMIM において、PM ロータが起源となる空隙磁束密度の基本波成分は全体の約 78.4 [%] を占めていることがわかった。これと同様な解析を 8 極 PMIM に対して行ったところ、この場合における PM ロータ起源の磁束密度は全体の 39.6 [%] に過ぎないことがわかった。

ここで、空隙磁束密度の大きさは PMIM と従来形 IM とで差は認められなかった。異なる点は空隙磁束密度中に占める PM ロータ起源の磁束密度である。

4 極 PMIM の二次電流を計算したところ、空隙磁束密度の大きさに差は無いが、二次電流の大きさは従来形 IM のそれに比べて大きくなっていることがわかった。以上のことから、内蔵した PM ロータを有効活用するには、PM ロータ起源の磁束密度の割合をより多くし、より高い二次電流が得られるように設計する必要があるとの結論に至った。

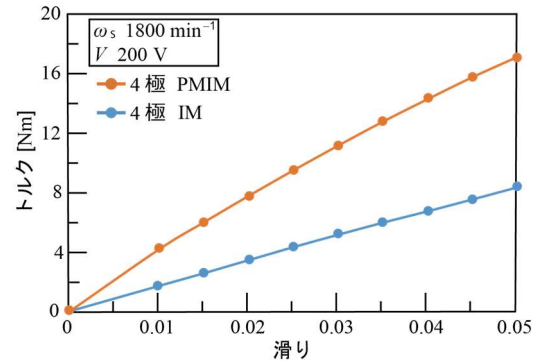


図 2 PMIM の滑り-トルク特性
(従来 IM との比較)

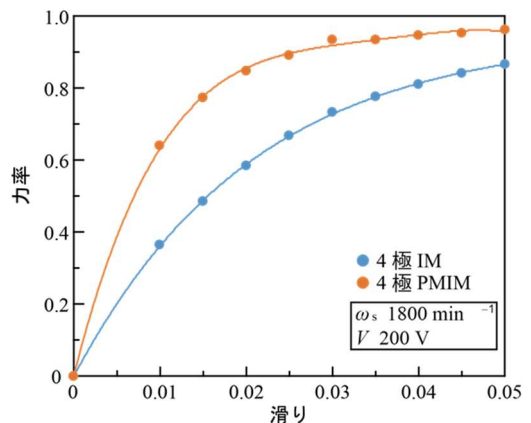


図 3 PMIM の滑り-力率特性
(従来 IM との比較)

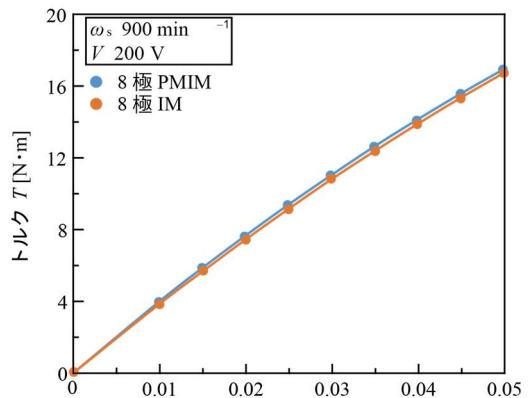


図 4 D^2L 法に基づいて設計した 8 極 PMIM の滑り-トルク特性
(従来 IM との比較)

4. 今後の研究の見通し

今年度は4極PMIMをベースに性能解析を行い、小形機において比較的高い力率と高トルク化が可能であることを確認した。一方、1.1kW、8極のPMIMを設計したが、従来のIMのトルク特性と大差がない結果となった。8極PMIMは、従来のD₂L法に基づいた電磁気設計法により設計したが、この方法をそのまま適用すると、内蔵したPMロータによる性能改善効果は得られない。この効果が得られるよう、今後はPMIMに内蔵した永久磁石回転子がトルク向上に寄与するメカニズムを理論的・実験的に解明していく。

なお、本研究は可変速誘導モータの高性能化を目指すものであった。この理由としては、PMIMが自己始動できないことに起因している。しかしながら、本助成に関わる研究過程において、この自己始動の問題を解決しつつ、構造の単純化を実現したので、前述した課題の解明と共に検討を進めていきたい。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

- (1) 津田敏宏・疋田一馬・深見 正:「自己始動単相同期リラクタンスモータの検討」, モータドライブ・回転機・リアドライブ合同研究会, RM-20-115, pp.71-72 (2020)
- (2) 得田直紀・津田敏宏・深見 正:「二重巻線式リラクタンスモータの始動特性の解析」, 電気設備学会全国大会, D-15, pp.198-199 (2020)
- (3) 疋田一馬・津田敏宏・深見 正:「二重巻線形誘導モータの運転特性の計算方法」, 北陸地区学生による研究発表会, No. 1-1-4, pp.1-1 (2020)
- (4) T.Tsuda and F.Kato: “Development of a New Topology of Line-start Permanent Magnet Machines; Analysis of the starting transients”, INTERMAG 2021 (in preparation)
- (5) 津田敏宏・加藤史也:「タイトル未定」, 令和3年度電気学会全国大会 (発表予定)
- (6) 特許申請1件

以上