

2020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トルク解析に関する研究

2. 研究目的

先に4極PMIMに対しての性能解析を行い、PMIMは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とが判明した。

本研究では上記で述べた新たな課題を解決するため、研究対象機である永久磁石内蔵誘導モータ(PMIM)のトルク特性を明確にする。具体的には、PMIMにおけるトルクをその発生起源別に分解し、内蔵した永久磁石(PM)回転子がトルクに与える影響を二次元有限要素解析によって明確にするものである。

PMIMにおけるトルクはステータ側の巻線が作る回転磁界、PM回転子からの磁束のそれぞれに起因しているものと考えている。そこでこれらのトルクを発生起源別に分解するために、FP(Frozen Permeability)法の適用を試み、PM回転子からの磁束とこれに起因したトルクの間関係を定量化する。

3. 研究内容及び成果

(1)発生起源別に分解したトルク

PM を起源としたトルク, 固定子巻線で作られる回転磁界を起源としたトルクを二次元有限要素解析 (2D-FEA) に基づいて, それぞれ算出した。検討対象機は, 8 極, 200V の PMIM である。検討の結果, 対象機におけるトルクは, PM を起源とするトルクがほとんど発生しておらず, 固定子の回転磁界を起源としたトルクのみが発生していることがわかった。

この理由としては, 図 1 のように, 極数を増加した PMIM では, かご形導体底部における磁気飽和が顕著となり, トルク増加をもたらすような PM 磁束が低下したことに起因するものと考えられる。

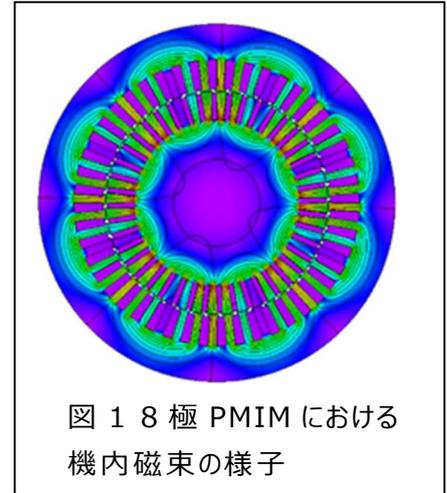


図 1 8 極 PMIM における機内磁束の様子

(2)新構造の提案とその動作解析

当初は, PMIM のトルク増加の要因を明確にすることを目的としていたが, 前述のとおり, かご形導体の存在により, PM 磁束の発生が妨げられることから, 構造の改良が必要であると考えた。これに加え, PMIM はダブルギャップ構造を有することから, 空隙部の起磁力の消費が大きくなる問題があり, その改善を図ることにした。

そこで, かご形導体部分における磁気飽和の問題を解決するため, PMIM のケージレス化を検討することにした。検討したモータは, 図 2 のように, 固定子は 4 極と 8 極の固定子巻線が備えられ, 回転子は PM と鉄心部が交互に配置されたコンシクエント極を持つ構造である。このようにかご形導体がない(すなわち, ケージレス)構造とすることで, 導体間のような, PM 磁束の通過を妨げる磁路を除去することができる。

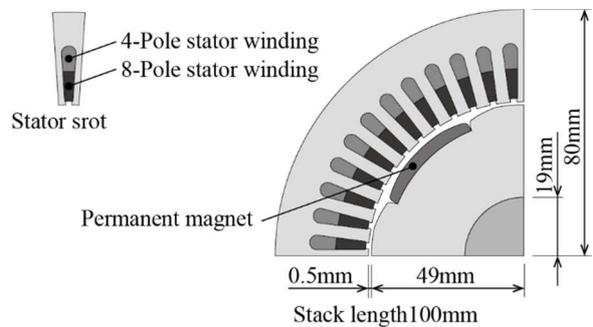


図 2 ケージレス化した PMIM の断面図

図 3 はケージレス化した PMIM を電源へ接続した際における回転子の挙動を示す。同図から, 今回検討したケージレス機においては, 電源に直入すると回転子が自己始動できるなど, 従来の PMIM にはない特性を有することがわかった。この理由は, 図4のように回転子上に設けた磁気突極性によって, 逆相磁界 Φ_b が発生し, ゲルゲス現象に類似した事象が発生したためである。このような事象によって, 非同期トルクが発生し, 図2のケージレス PMIM は誘導モータのように電源から直入始動が行え, 始動後は PM 同期モータとして動作する。

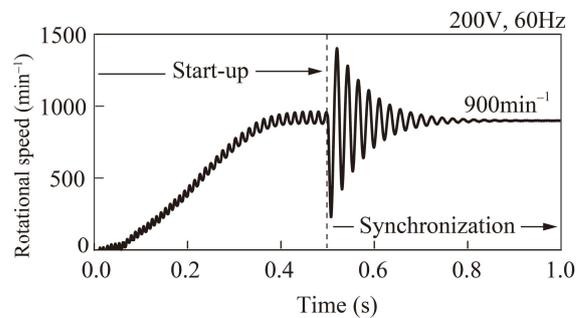


図 3 電源に直入した際の回転子の挙動

以上のようにケージレス化を図ることで, 従来の PMIM における構造で懸案となっていた磁気飽和の問題を解決しながらも, 構造はより簡素化されており, 実用性に優れるものと考えている。また, 今回検討したモータであれば, 電源に直接接続するだけで, 回転子の自己始動が実現できるなど, 従来の PMIM にはない特長を有することが明らかとなった。

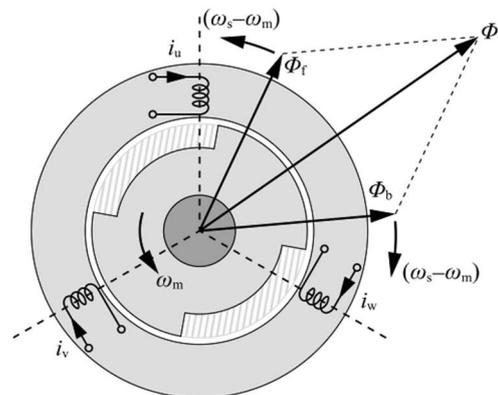


図 4 始動トルク発生 の原理

4. 今後の研究の見通し

今回の研究対象機における特長を整理すると、以下のとおりである。

- 1) かが形導体のない(すなわち、ケージレス)構造であるため、PMIM や類似の汎用機に比べ、構造は著しく簡単になる。また、かが形導体を挿入あるいはダイカストで形成するための製造プロセスを無くすることができるなど、製造に費やすコストや労力が軽減できる。
- 2) 従来の PMIM とは異なり、電源に接続するだけで自己始動できる。このため、ファンやポンプ等の産業用機器としての応用が検討できる。

研究対象機はインバータによる可変速駆動も可能であるが、当面は直入始動するモータとして検討を進め、

- ・起動過渡特性の検証と巻線切替え条件の明確化
- ・定常特性の評価

を行い、実機評価のための試作機の製作を行う。

現在、市販のモータ(100L, 200V)と同じ鉄心サイズの試作機を設計しており、実機製作後に、研究対象機の動作を実証していきたい。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

◇ 学術論文 (査読付き)

- 1) 津田敏宏・得田直紀：「二重巻線式リラクタンスモータの動作解析」, 電学論 D(投稿中)
- 2) T.Tsuda, S.Imura, K.Hikida: “Line-Start Single-Phase Synchronous Reluctance Motor: Experimental Verification of the Operating Principle, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol.10, No.5, pp.575-576.

計 2 件

◇ 特許

- 1) 津田敏宏・深見正：「回転電機, 回転電機を備える回転電機システムおよび回転電機の制御方法」

他 1 件申請中含 計 2 件

◇ 学会発表

- 1) 津田敏宏・加藤史也：「自己始動形永久磁石同期モータの一始動法：構造の提案と原理検証」, 令和 3 年電気学会全国大会, 5-036, (2021-3)
- 2) 加藤史也・津田敏宏：「自己始動形永久磁石同期モータの一始動法：回転子形状が始動トルクに与える影響」, 令和 3 年電気学会全国大会, 5-037, (2021-3)
- 3) 加藤史也・津田敏宏：「自己始動形永久磁石同期モータの一始動法：PM 磁束が始動トルクに与える影響」, 2021 年電気学会産業応用部門大会, Y-69, (2021-8)
- 4) 津田敏宏・得田直紀：「二重巻線式リラクタンスモータの動作解析」, 電気学会回転機研究会, RM-21-117, (2021-11)
- 5) 津田敏宏・深見 正：「磁束変調同期機の自己励磁現象」, 電気学会回転機研究会, RM-21-113, (2021-11)
- 6) 加藤史也・津田敏宏：「ケージレス方式の自己始動形永久磁石同期モータの特性」, MAGDA2021, OS-3-1, (2021-12)
- 7) 坂根弥樹・津田敏宏：「集中巻半速同期リラクタンスモータの設計と基本特性」, 2021 年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会, A3-8, (2021-9)

他 2 件含 計 9 件