

非接触給電を用いたベアリングレスモータの回転機構

Rotational Mechanism of Bearing-less Motor with Non-contact Power Supply

システム工学群

機械・航空システム制御研究室

1180149 蒔田和磨

1 緒言

回転型モータの回転軸は機械的にベアリングにより支持されており、摩擦によって粉塵等が発生することや、潤滑が必要なことからクリーンルームでの利用やメンテナンスの必要性などの問題を持つ。これらの問題の解決のため、磁気浮上機構を用いたベアリングレスモータの開発がなされてきた。これまでに開発されたベアリングレスモータの多くは永久磁石と電磁石を用いたものがほとんどである。しかし、永久磁石は小型化や効率を図る点には優れている一方、高温環境や外部磁界により減磁するという問題を持っている。そこで、固定子、回転子ともに電磁石を使用することでこれらの問題を解決するベアリングレスモータが提案されている。[1]

現段階での試作機では回転子を非接触で浮上させることに成功しているが、回転には成功していない。原因として回転子に巻かれているコイルの巻数に問題があると考えられた。今回は、電磁界解析ソフト JMAG14.0 を用いて回転子に働くトルクを調べた。

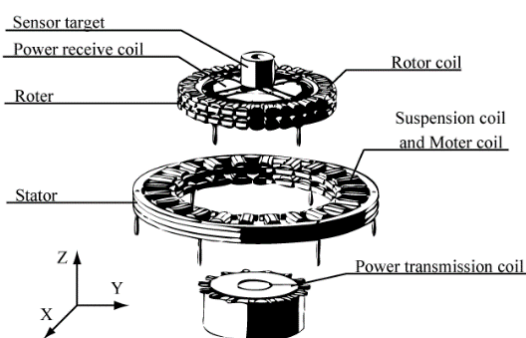


Fig. 1 Over view of bearing-less motor

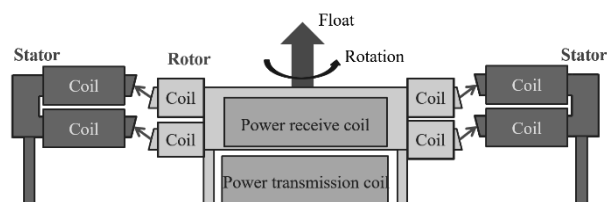


Fig. 2 Side view of bearing-less motor

2 試作機の構造と動作原理

試作機の構造を図1に、側面図を図2に示す。本装置は非接触給電により電力を供給し、回転子の磁極を磁化させることによって浮上力や回転力を得る構造となっている。回転子の中心に受電部が、直下に送電部があり、回転子への電力供給が非接触で行われる。浮上方法は、図2に示すように、固定子コイルで回転子コイルを吸引し、回転子を吊り下げる形で浮上させる。歯にタオレをつけることで、浮上方向の力を増大させている。固定子コイルの電流を調節して、浮上制御する。回転方法は、固定子と回転子の歯の数の違いを利用して、固定子コイルの電流を調節して回転を制御する。

3 試作機における回転制御の考察

本装置を用いて回転子を浮上させた状態で回転制御の実験を行った。制御方法としては上下のコイルを1対と考え、図3のように固定子をそれぞれU、V、Wと分割した。順に電流を流すことにより、固定子と回転子の吸引する磁極の組み合わせを利用して回転子を回転させる。しかし、実験では逆回転などの現象が見られた。

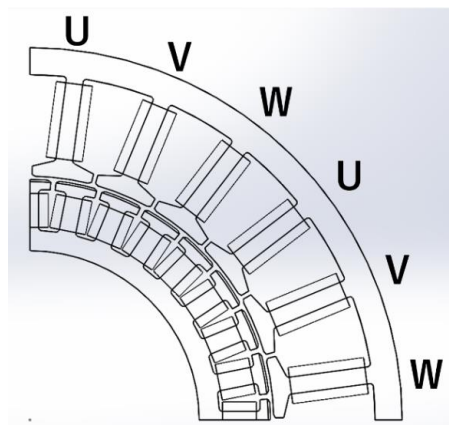


Fig. 3 Image of 90 degrees of bearing-less motor

スムーズに回転しない原因は現在、回転子に巻かれているコイルの巻数がすべて100回巻きで作成されていることが原因と考えた。この原因を確認するために電磁界解析ソフト JMAG14.0 を用いてトルクの解析を行った。解析条件としては固定子のUにのみ電流を流し、回転子を4対分、45度回転させた。その時、回転子にトルクがどのように発生した

かを解析した。結果を図4に示す。解析結果より同じような大きさの電磁力がすぐ隣にあることで、磁界に強弱が無くなり、正しく動作できない原因であると考えられた。

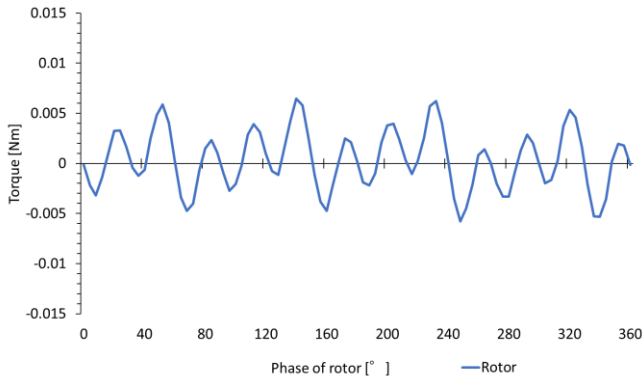


Fig. 4 Torque when all of the rotor coil are wound 100 turn

4 回転子の再製作

原因であった回転子における隣同士の電磁力の差を出すために、回転子に異なる2つの巻数のコイルを用意し、それを交互に配置することで電磁力に強弱を生み出すことができるのではないかと考え、回転子のコイルの巻数を一部変更することにした。試験機の構造の問題により巻数は最大100回巻であるために、100回巻と違う巻数を組み合わせることにした。

上記の提案を確認するために前述と同じ条件で電磁界解析ソフトJMAG14.0を用いて解析を行った。その結果が図5のようになった。この解析結果より、巻数を減らして隣り合うコイルとの差が大きくなると、より大きなトルクが発生し、また巻数の少ない回転子の歯と回転用電流を流した固定子の歯が向き合う箇所での乱れが小さくなるので制御が容易になることが分かった。

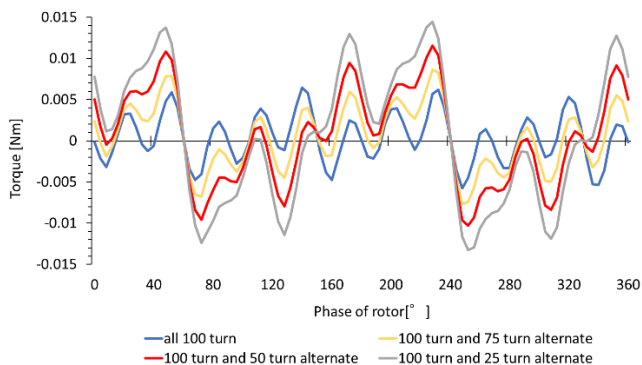


Fig. 5 Relationship between number of turn of rotor coil and torque

また、巻数を減らすことで浮上力がどのように変化するかを上記と同じソフトを用いて解析を行った。解析条件は水平位置で浮上した状態を基準としてZ軸方向に-1.0[mm]の位置から0.1[mm]ごとに上昇させた時の回転子の浮上力を計算した。このとき、固定子コイルに浮上用電流2[A]、回転子コイ

ルに1.0[A]をそれぞれ印加した。その結果が図6のようになった。回転子を浮かせるためには約7.0[N]の力が必要であるため50回巻や25回巻を入れた回転子では浮上力が足りないことが分かった。そこで固定子コイルに流している浮上用電流を2[A]から2.5[A]にして上記と同様に解析したところ、回転子コイルに50回巻を組み合わせたときの浮上力は図6では茶色の線のようになった。25回巻を組み合わせたとときでも同様に解析を行うと、図6では緑色の線のようになった。この結果より25回巻では浮上力が足りず、水平位置まで浮上できないと考えられる。

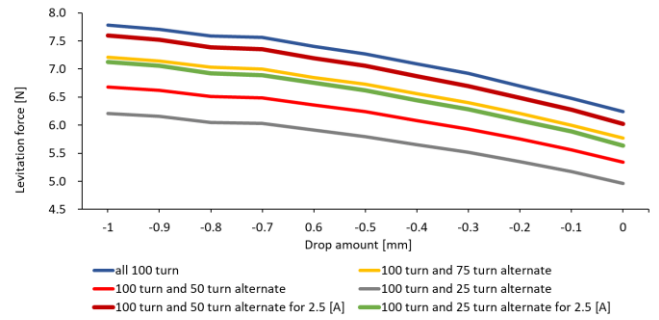


Fig. 6 Relationship between number of turn of rotor coil and levitation force

以上2つの解析結果より、回転子コイルの巻数は100回巻と50回巻の交互に巻くことが最適であると考えた。

5.3 相交流を用いた回転制御の検討

回転制御に関しては現在、1層ずつ電流を流すことで回転子の任意の歯を吸引しようと考えている。しかし、この回転制御を3相交流で行うことで回転子を強く連続的に制御できるのではないかと考え、JMAG14.0を用いて解析を行い確認した。解析条件としては回転用コイルに流す電流に位相差を持たせた状態で、今までと同様の解析条件で解析を行った。また、回転子のコイルの巻数は100回巻と50回巻を交互に巻いている。この解析結果は図7及び図8のようになった。図7は解析結果を3次元で示し、図8は図7を上から見た図となっている。この解析結果での安定点の位置は緑色と水色の境界線上で、山の右側にあると考えられた。図8では赤線で安定点の位置を示す。しかし、浅い谷や低い山があり、正の値から負の値への変化が小さくなっている部分や同じ電流の位相で安定点が2か所存在する位置があった。そのため、この位置での制御が不安定になることが予想される。

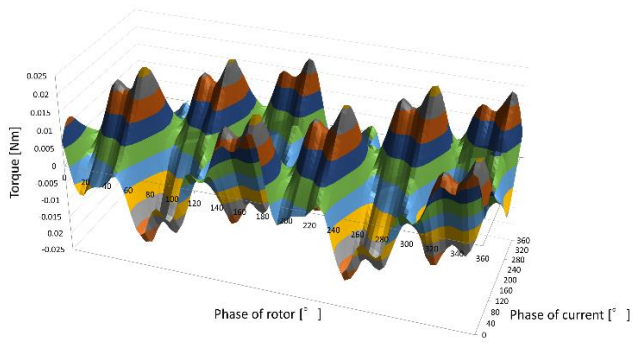


Fig. 7 Relationship between phase of current and Phase of rotor and torque

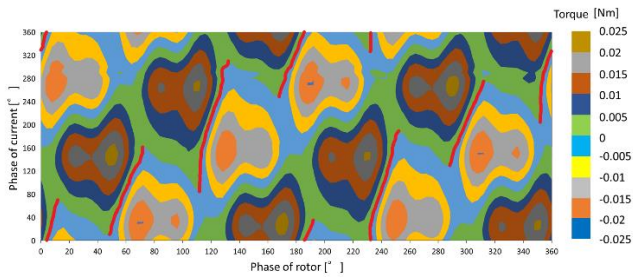


Fig. 8 Relationship between phase of current and Phase of rotor and torque as viewed from above

6 結言

解析結果より検討している回転子を用いることで試作機での回転が可能になると考えられるが、今後はこの回転子を用いての浮上ができるのかを検討及び解析、実験を行い、さらに3相交流での回転制御も考慮してベアリングレスモータの回転を実現する。

7 謝辞

本研究は JSPS 科研費基盤研究(B)25289052 の助成を受けたものです。

8 参考文献

- [1]電気学会磁気浮上応用技術調査専門委員会 (編), 磁気浮上と磁気軸受, コロナ社, (1993)
- [2]立花邦彦, 整流コイルを用いたベアリングレスモータの研究, 高知工科大学 博士論文, (2014).
- [3]森光利至, 共鳴給電によるロータ磁化方式ベアリングレスモータ, 高知工科大学 修士論文, (2015).
- [4]蒔田和磨, 非接触給電を用いたベアリングレスモータの回転制御, 計測自動制御学会四国支部学術講演会, (2017).