

非接触給電を用いたベアリングレスモータの開発

機械・航空システム制御研究室 1170093 谷井 勲

1. 研究背景

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。⁽¹⁾

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。永久磁石は小型化や効率を図る点には優れているが、高温環境や外部磁界により減磁するという問題がある。

そこで本研究では固定子、回転子ともに電磁石を使用することによってこれらの問題を解決するベアリングレスモータを提案する。

2. 実験機

試作機の構造を図 1 に示す。本装置は非接触給電によりロータの磁極を磁化させることにより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、回転子の直下に送電部があり、回転子へ非接触で電力供給が行われる。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、固定子を二層構造にすることで、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を行い、固定子と回転子の歯の数の違いを利用し、固定子コイルの電流を調節して回転を制御する。^{(2) (3)}

3. ロータ運動検出用センサの設置

センサはロータの水平方向変位と水平軸回りの回転の 4 つの自由度を測定できるものとする。センサの配置を図 2 に示す。ロータの水平方向変位をレーザーセンサで、鉛直方向高さ、および水平軸の傾きを 3 つの渦電流センサで測定する。ロータとステータのギャップはそれぞれ 1mm である。

3.1 渦電流センサ

鉛直方向変位、および水平軸回りの回転を検出するための角度の算出には図に示すように、3つの渦電流センサを使用している。それぞれのセンサによりロータ上部に設置したセンサターゲットとの距離を測定し水平軸回りの回転と鉛直方向の高さを算出する。

渦電流センサ 1, 2, 3 によって測定された距離をそれぞれ d_1, d_2, d_3 とする。渦電流センサ 2 と 3 の距離を d_4 、渦電流センサ 2 と 3 の中間点と渦電流センサ 1 との距離を d_5 とする。これらより、X 軸、Y 軸回りの回転、鉛直高さを以下の式を使用して求める。

X 軸回りの回転

$$d_6 = \frac{d_2 + d_3}{2}$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{d_1 - d_6}{d_5} \right)$$

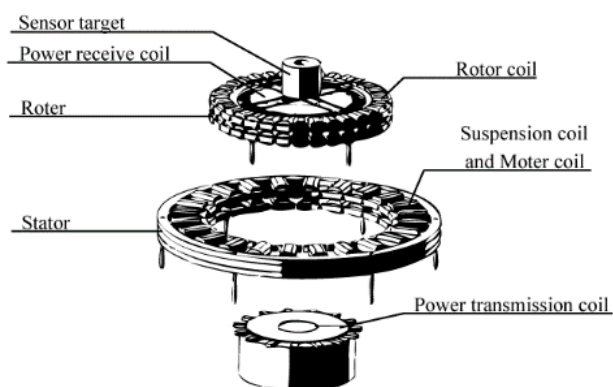


Fig.1 Configuration of Bearing-less motor

Table.1 Experimental conditions

Parameter	Rotor	Stator
Material	SS 400	SS 400
Teeth number	32×2	24×2
Winding number of coil	100	100+100
Mass	772 g	-
Outside diameter	142 mm	220 mm
Inside diameter	100 mm	144 mm
Suction force coefficient	2.56 Nmm ² /A ²	
Bias current	1.2 A	
Air gap	1 mm	
Taper angle of teeth edge	7.6°	

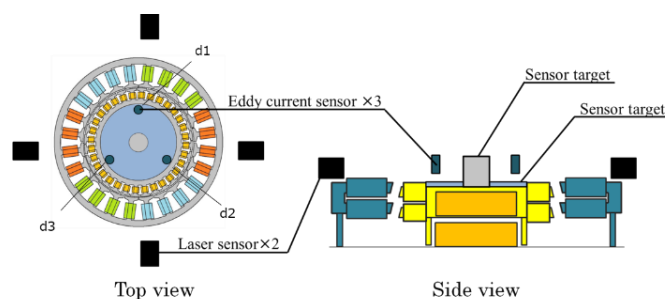


Fig.2 Position of sensor

Y 軸回りの回転

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{d_2 - d_3}{d_4}\right)$$

鉛直高さ

$$z = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

測定用分度器を用いて計測した結果を示す. 図 3 は X 軸方向に回転させた場合だが, Y 軸もほぼ同様の結果だった. 誤差は 3 度傾いた時に最大で 0.2 度であった. いずれの場合でも, 回転を与えない方向で ±0.1 度確認された. しかし, 使用する範囲は ±1.5 度程度の範囲である. その範囲中では, 誤差は最大でも 0.08 度であるので, 使用上問題はないと考えた.

3.2 レーザーセンサ

水平方向変位を検出するために用いた透過型レーザーセンサの実験を行った. 回転子に傾きが生じると, レーザーセンサの受光量が変化するため, 回転子に傾きを与えて実験を行った. 回転子に傾きが生じると, レーザーセンサの受光量が変化するため, 傾きによる測定部の変位を考慮するプログラムを作成し, 測定した. 結果を図 4 に示す. ロータの移動量 ±1mm の範囲では十分な精度が確保できている.

4. 浮上実験

ワイヤで回転子をつるした状態での水平方向に対する制御に成功した. そこで, ワイヤを外した状態での浮上実験を行った. バイアス電流を大きくしていくと制御できないことが分かった. その様子を図 5 に示す. 図 5 より, 回転子の水平方向の変位が収束していないことと同時に, 傾きも不安定であることが分かる. そこで傾き制御を行うことで安定した浮上を実現することを試みた.

傾き制御は, 固定子の upper と lower を別々のコントローラーによって作動させることにより回転子の傾きを戻す方向にモーメントを発生させるよう, 吸引力を発生させ, 制御する. その結果を図 6 に示す. 回転子に傾きを与えても収束していることが分かる.

しかし, 傾き制御を行った場合でも同様に振動することがあり, 十分にバイアス電流を大きくすることができなかった. これは, upper と lower でバイアス電流をかけた時の平衡位置が微小に異なり, 回転子を平衡位置で安定させることができないことが原因ではないかと考えられた.

5. 結論

取り付けしたセンサ類の精度については仕様を満たしていると考えられた. しかし, 回転子を浮上させるには至っていない. 傾き制御のプログラムを見直すとともに, 回転子の upper と lower による平衡位置の違いについて実験を行い, 回転子の安定した浮上を成功させることをめざす.

6. 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).

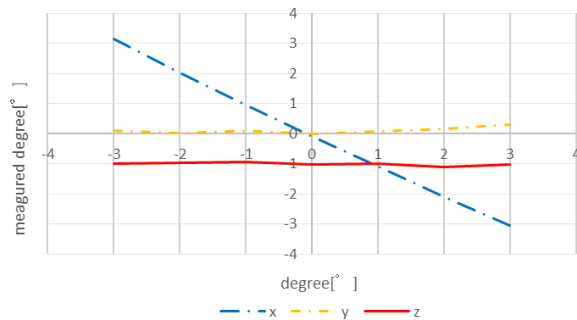


Fig.3 Rotation Around X-Axis

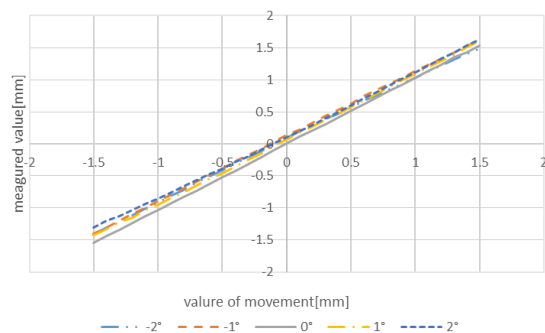


Fig.4 Result of laser sensor value

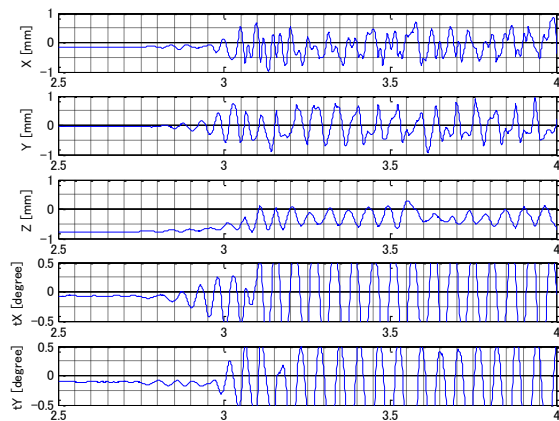


Fig.5 Result of levitation experiment 1

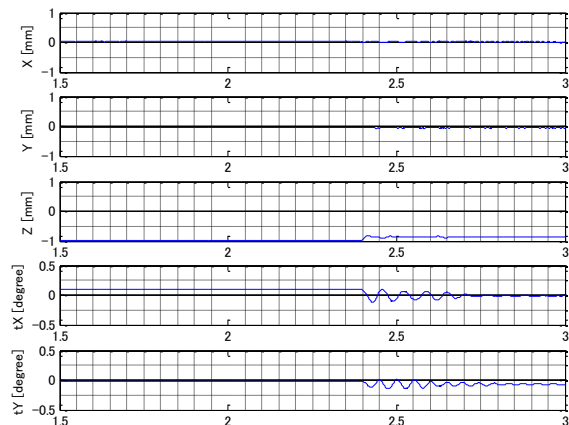


Fig.6 Result of levitation experiment 2