

# 共鳴型非接触給電を用いた小型ベアリングレスモータの開発

## Development of small bearing-less motor using resonance type contactless power supply

知能機械工学コース

機械システム制御研究室 1275022 中川 拓海

### 1. 緒言

現代社会では、モータは電化製品から、産業・農業機械まで幅広く利用されている。その中で、半導体製造では薬品搬送用ポンプにモータが使用されており、クリーンなモータが求められている<sup>(1)</sup>。一般的なモータは、回転を支えるために機械軸受けを使用する。しかし、機械的接触による塵の発生や、潤滑剤の汚損が問題となりクリーンな環境には適さない。クリーンな特性を持つモータとして、磁気軸受けモータがある。これは、通常の軸受けを使わず、磁気浮上で非接触支持する方式である。非接触のため、塵や潤滑剤による汚損がなく、クリーン性が高い。ただし、磁気浮上機構を持つため、通常のモータより大型化しやすいという短所がある。これを解決するため、小型・低コストで磁気軸受けの特性を活かせるベアリングレスモータが研究・開発されている。これは、磁気浮上用と駆動用の電磁石を一体化し、磁気浮上制御と駆動制御を統合したモータである。<sup>(2)</sup>また、現在のベアリングレスモータの多くは回転子に永久磁石を使用している<sup>(3)</sup>。しかし、永久磁石は外部磁界や温度が要因で減磁や磁力の喪失が起こる。そこで本研究では、使用可能な環境の拡大を目標に電磁石のみで駆動する小型ベアリングレスモータの開発を目的として、試作機に対して、電磁界解析ソフトを用いてその制御性の検討を行い、回転子の水平方向の移動に関する制御実験を行った。

### 2. 試作機の概要

#### 2.1 試作機の構造

本稿で扱う試作機の構造を図1に、仕様を表1に駆動時の側面図を図2に示す。回転子の中心の受電用コイルとその直下の送電用コイルにより、回転子部分に電力を供給している。浮上方法については図2に示すように、固定子のコイルによって回転子の歯を吸引することで、回転子を吊り下げることで支持する。また、回転子と固定子の歯にタオレをつけることで浮上力を上昇させている。回転子に電流が流れた時の磁力の方向と磁極を図3に示す。隣り合う歯の発生磁力を反対方向にし、対角線上の歯を同方向に励磁した。コイルの巻き数は軽量化を考慮し、50回巻とした。固定子は、コイルの巻き数を100回巻とし、三相交流を印加することで浮上と回転の両方を行う。

### 3. FEM 解析

#### 3.1 高さ方向の浮上制御性

コイルに電流を流した際に得られる浮上力を解析した。解析には電磁界解析ソフト JMAG を用いた。回転子と固定子の上面が水平になる位置を基準として、回転の軸方向に-2.5mm から 0mm までの浮上力を 0.5mm ごとに解析した。条件として、固定子を図4のように U, V, W に分け、それぞれの相に 3A の三相交流を想定した電流を流し、回転子のコイルには 1A の直流電流を流すこととし解析を行った。

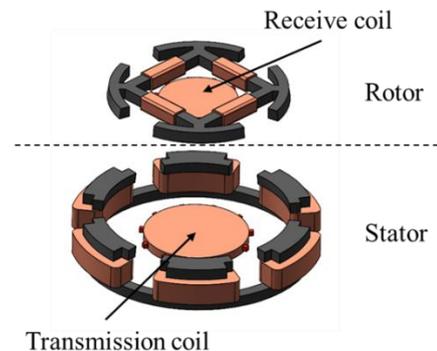


Fig.1 The structure of bearing-less motor

Table.1 Specifications of bearing-less motor

Parameter	Rotor	Stator
Material	SS400	
Teeth number	4	6
Winding number of coils	50	100
Mass	93g	-
Outside	φ78mm	φ100mm
Inside	38mm	φ80mm
Thickness	5mm	
Air gap	1mm	
Taper angle of teeth edge	7.5°	



Fig.2 The schematic view of bearing-less motor

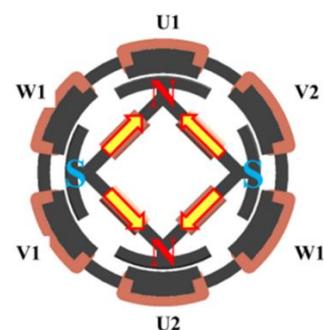


Fig.3 The top view of bearing-less motor showing magnetic power

その結果を図5に示す. 2.1節の表1より, 必要な浮上力は約0.91Nと計算できることから, 約-0.4(mm)の位置で浮上力と重量が釣り合い, その点を中心に受動的に浮上制御が可能であると考えられた.

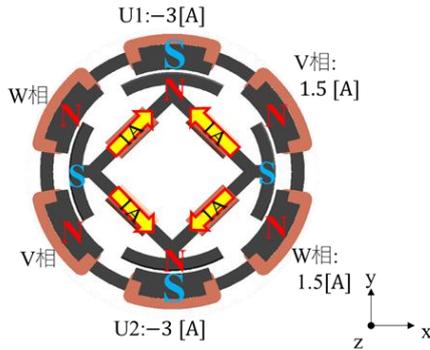


Fig.4 Situation of analysis

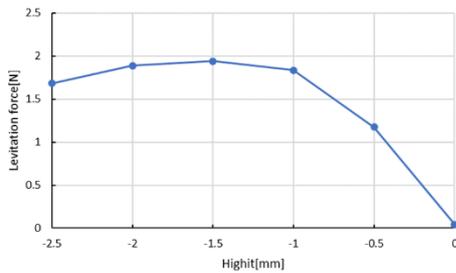


Fig.5 Analysis result of Levitation power

### 3.2 水平方向位置制御に関するシミュレーション

回転子の水平方向位置を固定子の中心に固定する制御が必要である, そこで三相交流とは別の制御電流  $i_y$  (A)  $i_x$  (A) を図6に示すように設定し, これを用いて水平位置制御することとした. それに伴い, 電磁界解析ソフト JMAG を用いて, 制御電流を変えることにより発生する磁力の変化と, 三相交流によって発生する磁場の中で回転子が移動することで発生する磁力の変化を解析した. さらにその結果を用いて, 水平方向の位置制御シミュレーションを行った. 制御方法については, PD 制御を用いることとした. 図7に示すのは, 1Aの三相交流を想定した場合の y 方向についての結果である. この結果から水平方向の位置制御について PD 制御による制御が可能であることが確認できた. さらに, x 方向についても同様のシミュレーションを行った結果こちらも制御が可能であると分かった.

### 4. 水平方向位置制御に関する実験

3.2節に示したシミュレーション結果より, 水平方向の位置制御ができることが示された. そこで, 試作機を用いて同様の実験を行った. このとき, 実験の第1段階として高さ方向の位置については, 固定して実験を行った. 1Aの三相交流を想定した電流を流し, x 方向についての制御を行った結果を図8に示す. 回転子は, 0.3(s)付近で急激にその位置を x 軸マイナス方向に変える結果となり, 約 0.5(s)で完全に回転子の歯が固定子に吸着してしまった. PD 制御のゲインをシミュレーションと変えるなどして, 何度か実験を行ったが, 回転子が固定子に吸着してしまう結果となった. また, y 軸の水平制御についても同様の結果となった.

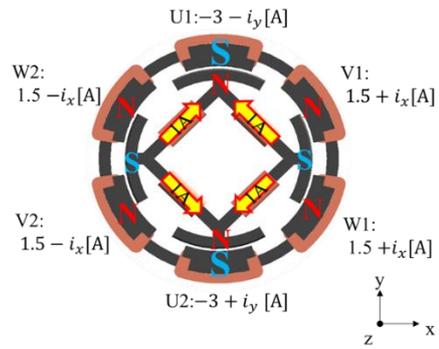


Fig.6 Control current  $i_y$ (A) and  $i_x$ (A)

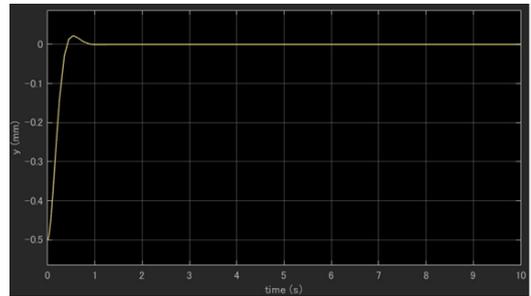


Fig.7 y-axis rotor position

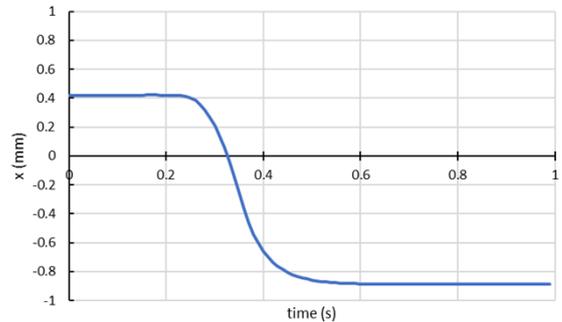


Fig.8 Rotor position in x-axis

## 5. 結言

非接触給電を用い, 電磁石のみによって構成されたベアリングレスモータの具体的な設計, 仕様とその動作方法についての提案を行った. また, 電磁界解析ソフト JMAG を用いて, 設計したベアリングレスモータに三相交流を流した場合に得られる浮上力を解析することで, 浮上が可能であることが分かった. 水平方向の位置制御シミュレーションを行い制御が可能であることを示した. また, 高さ方向の移動を固定しながら, 試作機を用いて, 実際に水平方向位置制御の実験を行った. 今後は実験条件や実験装置を見直ししながら, 試作機の回転子を完全に浮上させることを目指す.

### 文献

- (1) 株式会社イワキ: 製品の活躍分野 半導体・液晶分野 [https://www.iwakupumps.jp/application/semi\\_lc/](https://www.iwakupumps.jp/application/semi_lc/)
- (2) 電気学会磁気浮上応用技術調査委員会(編), “磁気浮上と磁気軸受”, コロナ社(1993)p.153
- (3) 千葉明, 深尾正, “ベアリングレスモータの開発動向”, 電気学会論文誌 D, 産業応用部門誌, Vol.121, No.7, 724-729, (2001)