

# 整流回路を用いたベアリングレスモータの開発 回転機構に関する考察-

## Development of Bearingless Motors with Rectified Circuit Coil -Study of Rotation Mechanism-

学 荒谷広宣 (高知工科大) 陳麗 (高知工科大)  
正 岡宏一 (高知工科大)

Hironobu ARATANI, Kochi University of Technology, Tosayamada-cho, Kochi  
CHEN Li, Kochi University of Technology  
Koichi OKA, Kochi University of Technology

In this paper, a new type of bearingless motor is introduced and some basic experiments on the motor is examined. The feature of this motor is that the rotor has coils with rectified circuit. The rectifier circuit magnetize the rotor in a fixed direction by applying AC power of stator coils. The activated rotor will be rotated as a PM motor. First, the principle of the proposed motor is explained. Next, basic experiments of activation, such as the induced voltage of the rotor coil, the intensity of magnetization of the rotor, and the generating force of suspension and rotation is examined. From these results of experiments, the feasibility of the proposed bearing less motor is discussed.

**Key words:** Bearingless Motor , Rectified Circuit , Magnetic Levitation , Magnetic Bearing

モータにはロータを支持するために、通常ボールベアリングなどの機械的支持機構が用いられている。ベアリングレスモータは、ロータを磁気支持させて回転させる機構のモータである。磁気支持であるため非接触であり、無潤滑、高速回転が可能である。非接触により無保守化が可能であり、潤滑油による汚損もなくなり、整備保守の困難な場所や汚損を嫌う医薬品や食品製造機械用のモータなどへの応用が期待されている。

本研究の目的は、整流回路を用いたベアリングレスモータを開発することである。整流回路を用いたベアリングレスモータの基本的な構造を Fig.A1, Fig.A2 に示す。このモータの特徴は、ロータにコイルを取り付け、そのコイルに整流回路が接続してあることである。ロータコイルに誘導電流を生じさせ、その電流を整流し流れる電流の方向を一定方向にする。これによりロータの磁極が固定され永久磁石を取り付けたロータと同じようにあつかえるモータである。ステータコイルに流す電流を変化させロータに加わる磁力を制御することによって磁気支持する。ロータの磁極が Fig.A2 の位置にある場合、下側二つのステータでロータを支持し、上側のステータでロータを吊り下げるように力を働かせる。またステータの磁極を制御することにより、反発力と吸引力を適時反転させることでロータを回転させることができる。

ロータに生じる誘導電圧によって回転させるための力が十分に生じるか測定した。Fig.A3 にロータに生じた誘導電圧の測定結果を示す。ステータに交流電圧を 10V ~ 120V まで 10V きざみで加え、ロータ両端と各ステータの距離を 0 ~ 5mm の間、0.5mm きざみで測定した。ロータ-ステータ間の距離を小さくすることにより誘導電圧が大きくなることわかる。他の測定結果は本文中に示す。



Fig.A1: Side View of Motor

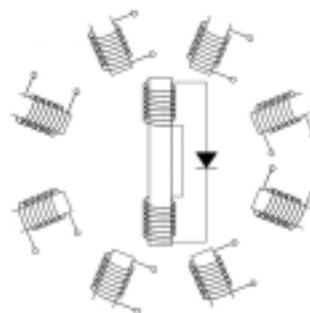


Fig.A2: Front View of Motor

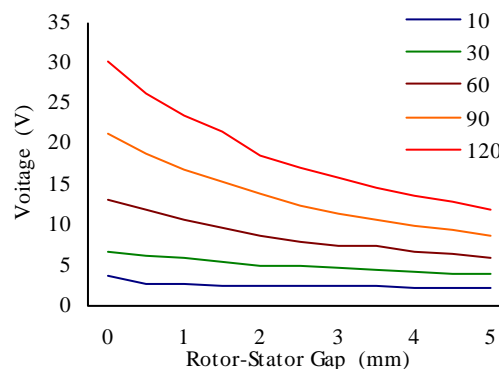


Fig.A3: Relation between Air Gap, Input Voltage Induced Voltage

## 1. はじめに

モータにはロータを支持するために、通常ボールベアリングなどの機械的支持機構が用いられている。しかし高速回転をする場合、機械的ベアリングは摩擦、磨耗、メンテナンスなどの問題が生じる。ベアリングレスモータは、ロータを磁気支持させて回転させる機構のモータである。磁気支持であるため非接触であり、無潤滑、高速回転が可能である。非接触により無保守化が可能であり、潤滑油による汚損もなくなり、整備保守の困難な場所や汚損を嫌う医薬品や食品製造機械用のモータなどへの応用が期待されている。

本研究の目的は、整流回路を用いたベアリングレスモータを開発することである。このモータの特徴は、ロータにコイルを取り付け、そのコイルに整流回路が接続してあることである。ロータコイルに誘導起電力を発生させ、流れる電流を整流することによってロータの磁極を固定する。ロータの磁極を固定させることにより有効な支持および回転を実現させる。

今回の発表では、ロータコイルに流れる電流と磁力によって生ずるロータ-ステータ間に働く力を測定し、その値を考慮し回転に関する考察を行った結果を報告する。

## 2. 整流回路を用いたベアリングレスモータの基本原理解

整流回路を用いたベアリングレスモータの基本的な構造を Fig.1, Fig.2 に示す。ロータコイルに誘導電流を生じさせ、その電流を整流し流れる電流の方向を一定方向にする。これによりロータの磁極が固定され永久磁石を取り付けたロータと同じようにつかえる。Fig.1 のようにロータに取り付けたコイルに整流器としてダイオードが取り付けられており、ステータに取り付けたコイルに交流電圧を加え、ロータ側に一定方向の誘導電流を流す。このときの誘導電流の大きさによってロータに生じる磁力の大きさがきまる。Fig.2 のように周囲にステータを配置した場合においても Fig.1 と同様な方法でロータの磁極を固定することができる。このときステータコイルに流す直流電流を変化させロータに加わる磁力を制御することによって磁気支持する。ロータが Fig.2 の位置にある場合、下側二つのステータでロータを支持し、上側のステータでロータを吊り下げるように力を働かせる。またステータの磁極を制御することにより、反発力と吸引力を適時反転させることでロータを回転させることができる。

## 3. ロータに生じる誘導電圧とロータ-ステータ間に働く力の測定

誘導電流によってロータ-ステータ間に働く力の大きさが、ロータを支持回転させるのに十分であるかを検証するため、実験装置を製作した。実験装置の外観を Fig.3 に示す。この実験装置によってコイルに生じる磁力とロータコイルに生じる誘導電圧、ロータ-ステータ

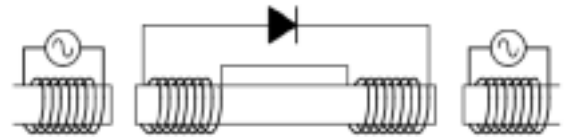


Fig.1: Illustration of Rotor and Stator

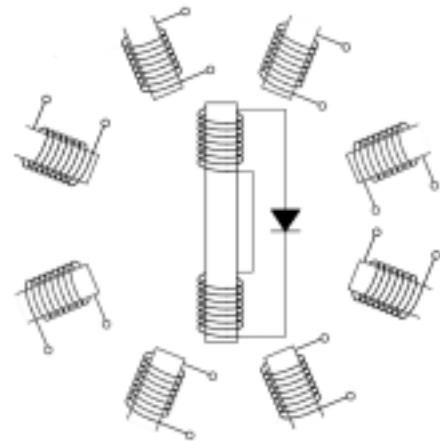


Fig.2: Illustration of 8 Poles Stator Arrangement

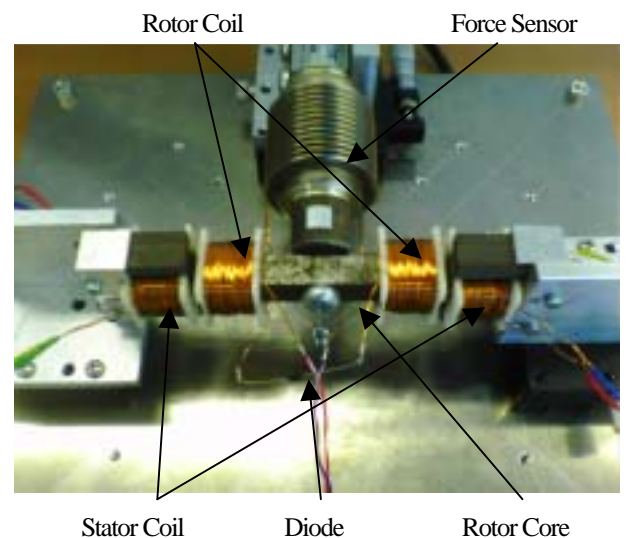


Fig.3: Photograph of Experimental Setup

間に働く吸引力と反発力の大きさを測定した。にステータコイルは可動式の台に固定した鉄心に装着し、ロータコイルは力センサに固定した鉄心の両端に装着した。ロータコイル、ステータコイルともに0.5mmのエナメル線をコイルひとつあたり200回巻いてある。

## 3.1 コイルに生じる磁力の測定

コイルに生じる磁力の大きさをステータの鉄心にコイルを取り付

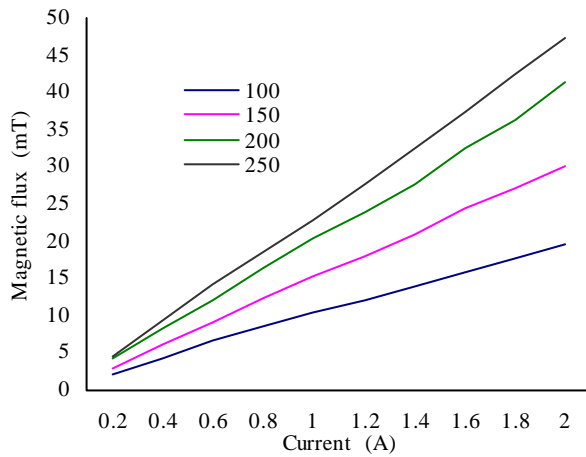


Fig.4: Magnetization about Coil Current and Turn

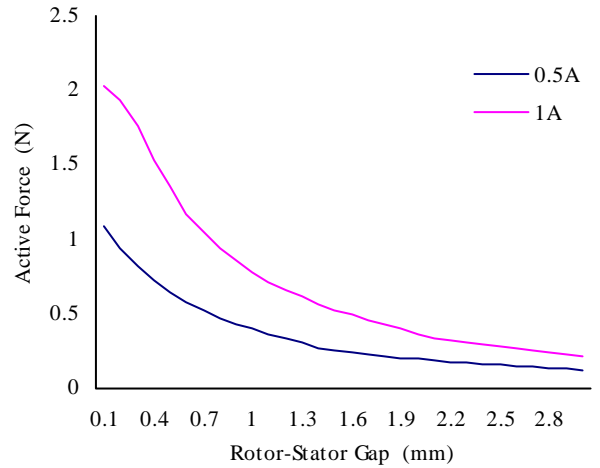


Fig.6: Genealogy Force about Gap and Current

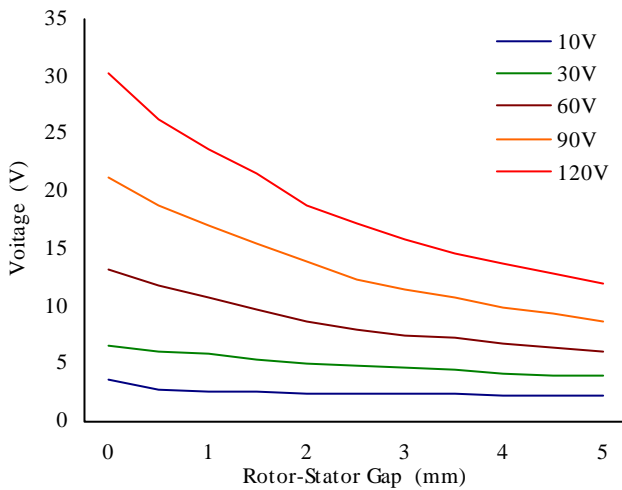


Fig.5: Excited Voltage

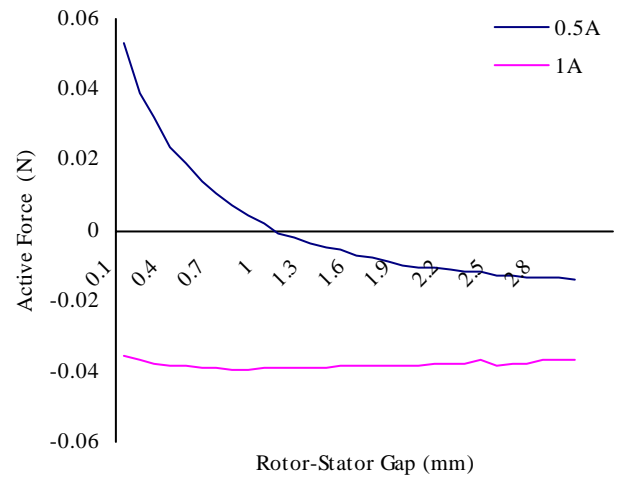


Fig.7: Suspension Force about Gap and Current

け、電流を0.2A 間隔で2A まで流して測定した。コイルの巻き数を100 回、150 回、200 回、250 回と変えて行った。結果をFig.4 に示す。

### 3.2 誘導電圧の測定

ステータコイルに交流電圧を加え、ロータコイルに発生する誘導電圧を測定した。ステータに加える交流電圧は10V～120V まで10V きざみで加え、周波数は1Hz として測定した。ロータコイルに発生する電圧をロータ両端と各ステータの距離を0～5mm の間、0.5mm きざみで測定した。結果をFig.5 に示す。

### 3.3 ロータ-ステータ間に働く吸引力、反発力の測定

ロータを力センサに固定し、その一端側のステータはロータから十分に距離をとっておき、もう一端側のステータとロータの間に働く吸引力と反発力の大きさを測定した。ロータコイルに直流電流0.5A と1A を流し、ステータコイルには直流電流1A を流した。ロータとステータの距離を0.1mm 間隔で0～3mm までの吸引力と反発

力をそれぞれ測定した。吸引力と反発力の測定結果をそれぞれFig.6、Fig.7 に示す。ただしFig.3 に示すロータの右方向を正とする。

### 3.4 測定結果

コイルに生じる磁力はFig.4 より流す電流の大きさとコイルの巻き数に比例して大きくなる。ロータコイルに生じる誘導電圧はFig.5 からわかるように、ロータ-ステータ間の距離を狭くし、高い電圧をステータコイルに加えることで大きくできる。またロータ-ステータ間に働く吸引力もロータ-ステータ間の距離を小さくすることとコイルに流れる電流を大きくすることで大きくできる。しかし、反発力の測定結果は0.5A の場合、ロータ-ステータ間の距離が小さいと吸引力が働き1mm より大きくなる付近から反発力が次第には働きだす。1A の場合は反発力が距離に関係なくほぼ一定になっている。また0.5A、1A ともにロータ-ステータ間に働く反発力の大きさは最大で0.04N から0.02N 程度と吸引力に比べ小さい。この状態ではロ

ータを吸引する力のみが働きロータを回転させるには不十分である。

#### 4. 回転に関する考察

整流回路を用いたベアリングレスモータを回転させるため、コイルの巻き数と電流、磁力の関係を調べた。また、ロータに誘導電流がどの程度流れ、ロータ-ステータ間に働く力が十分であるか測定した。その結果、ロータに誘導電流を多く流すにはロータ-ステータ間の距離を小さくしステータコイルに加える電圧を大きくすればよいことが Fig.5 からわかる。ロータ-ステータ間に働く力は、反発力が、吸引力に対して小さいため、十分な回転トルクが生じないことが予想される。Fig.7 に示した反発力を測定したグラフより、ロータコイルに 0.5A、ステータコイルに 1A 流した場合、ロータ-ステータ間の距離が小さいと吸引力が働く。このことも、回転トルクが生じないと予想される要素のひとつである。この原因として、ロータの鉄心がステータ側に生じた磁力によって磁化され、ロータに生じる磁極が反転していることが予想される。ロータに生じる磁力よりステータに生じる磁力が大きい場合、または逆にロータに生じる磁力が大きくステータに生じる磁力が小さい場合にこの現象が起きると考えられる。ロータとステータの磁力が釣り合わなければ、反発力以上に吸引力が働くため、ロータに生じる誘導電流の大きさによって、ステータに流す電流の大きさを変化させることが必要になってくる。この現象は、反発力が吸引力に比べ小さいことにも影響していると

予想される。ロータコイルによって生じる磁力が、ステータの磁力によって生じた磁力に減磁され、ロータ-ステータ間に働く反発力が小さくなっていると考えられる。よって現在の構成では回転できない。今後は、以上のロータ-ステータ間に働く力に関する問題の解決を行う必要がある、この問題の解決によってロータを回転させることができる。

#### 5. まとめ

整流回路を用いたベアリングレスモータの、ロータに流れる誘導電流とロータ-ステータ間に働く吸引力、反発力の測定実験を行った。現在のところロータに流れる誘導電流とロータ-ステータ間に働く吸引力については満足いく結果が得られたが、反発力については満足いく結果を得られていない。今後、十分な反発力を得られるよう、この問題の解決に当たっていく。問題が解決され次第、回転に関する実験を行い、その結果により、ロータの磁気支持に関する実験を行う。最終的には整流回路を用いたベアリングレスモータの安定した駆動を目指す。

#### 参考文献

- (1) Koichi Oka, BEARINGLESS MOTOR WITH RECTIFIER CIRCUITS, Proc. of The 8th Int. Symp. on Magnetic Bearings, pp.271-276, 2002