

K4-63

弾性長軸の完全浮上を目指すアクティブ磁気軸受システムの開発
磁気軸受を用いた弾性長軸の非接触アクティブ制振

Development of an Active Magnetic Bearing System aiming Perfect Levitation of an Elastic Long Shaft
Active Non-Contact Vibration Control of an Elastic Long Shaft by Using a Magnetic Bearing

○鈴木将司¹, 木村祐平², 根本光貴², 渡辺亨³

Masashi Suzuki¹, Yuhei Kimura², Mitsutaka Nemoto², Toru Watanabe³

This paper discusses on non-contact vibration control of an elastic long shaft by using active magnetic bearing (AMB) system. An experimental system is built. An elastic shaft is supported by two ordinary bearings with an AMB is located in the middle of the shaft to suppress vibration computer simulation and control experiments are carried out. As a first trial simple Proportional-Derivative (PD) feedback controllers are applied and vibration suppression of the shaft is succeeded, as for rest shaft.

1. 序論

磁気浮上軸受は本来、剛性の大きいロータを用いるのが常である¹⁾。しかしながら高速で回転するときは弾性振動およびジャイロ効果²⁾の影響は無視できない。そこで本研究では細長比 0.012 とこれらの影響が大きく表れる軸での、危険速度の通過を目指している。

先行研究において、両端を磁気軸受で支持し浮上制御と制振制御を同時に加えた場合の静浮上は実現できたのだが、その場合磁気軸受が弾性 1 次モードの節近くに位置するため、弾性 1 次モードの減衰は難しいことが判明した。よって今年度は、制振制御の的を絞る軸中央部を磁気軸受で支持し、両端は転がり軸受で支持するように実験装置を改良し 2 つの実験を行った。

2. 実験装置

2.1 弾性ロータ

実験ロータの概略図を Figure1 に、そのパラメータを Table 1 に、そしてモード形の概形を Figure2 に示す。

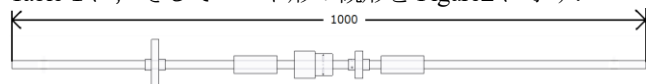


Fig.1 Schematic diagram of designed flexible rotor

Table1 Parameters of flexible rotor

Mass [kg]	2.383
Diameter [mm]	12
1st mode [Hz]	21.8
2nd mode [Hz]	91.4

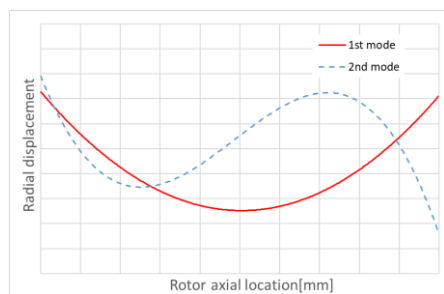


Fig.2 Modal shape

軸は弾性を強調し固有振動数を小さくするため、全長 1000[mm], シャフト径は 12[mm] と細く長い形状とした。これにより低い回転数で危険速度に達することができる。

2.2 磁気軸受装置

製作した磁気軸受装置の写真を Figure3 に、概略図を Figure4 に示す。装置は横置き型になっており、電磁石およびセンサを X 字状斜め対向に配置してある。

昨年度は両端を磁気軸受支持であったが、今年度は両端を転がり軸受、中央部に磁気軸受で支持した。そして、回転実験のためのモーター、スラスト方向の変位を無くすためのフライホイールを配置した。そして昨年同様、磁気軸受の保護、電磁力の非線形化の防止などのために軸と電磁石間にスペーサーを導入した。

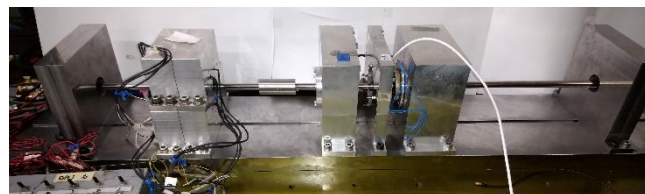


Fig.3 Diagram of designed magnetic bearing device

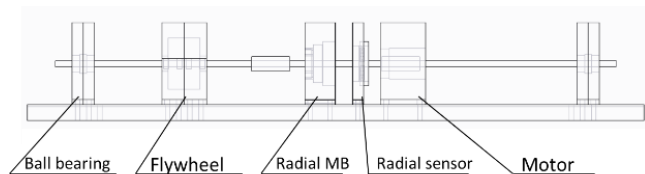


Fig.4 Schematic diagram of designed magnetic bearings

3. 制振実験

3.1 ハンマリング加振実験

浮上実験を行い、ハンマリングで加振した。その時の周波数応答を Figure5 に示す。

1:日大理工・学部・機械 2:日大理工・院(前)・機械 3:日大理工・教員・機械

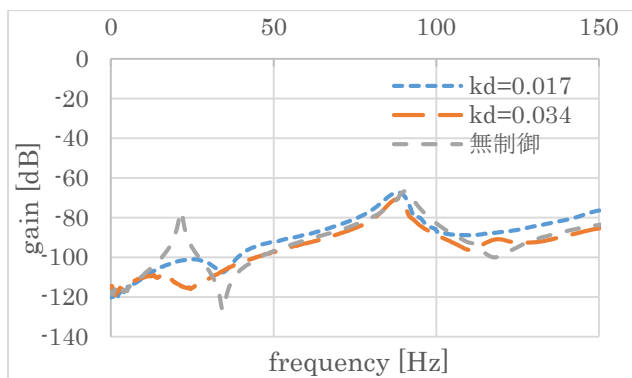


Fig.5 Frequency response in levitation

Figure5 より、減衰を強くすることで弾性 1 次モードのピーク値が減少していることがわかる。また、 K_d が 0.017 と 0.034 の時を比較すると、弾性 1 次モードの周波数がずれていることがわかる。

3.2 回転実験

良好な減衰が確認されたので、回転実験を行った。 K_d を 0.020 に設定し、極低速で回転させたところ、反時計回りに 90[deg]程度は回転させられるが、それ以上回そうとすると発散してしまった。発散後、ゲインを上下させて様子を見たが振動が収まる様子はなかった。以下から、無制御時に軸を回転させた際の結果を示す。

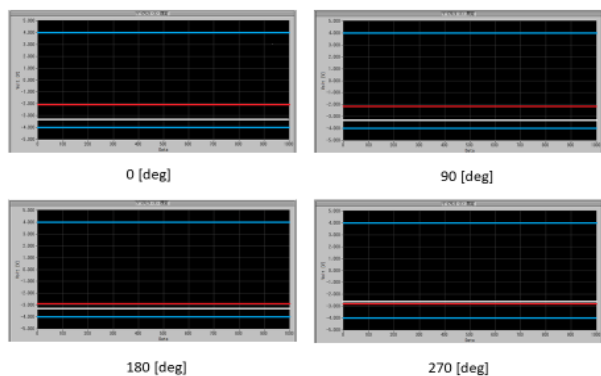


Fig.6 Displacement of axis under no control

45 度ずつ計測した 8 つの変位を以下に示す。

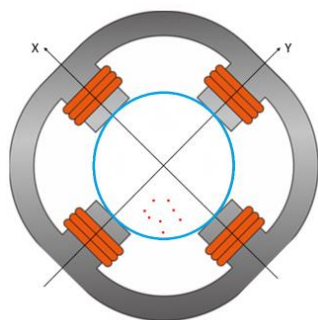


Fig.7 Displacement of eight axes measured at 45 degree increments

さらに、軸の変位を拡大したものを以下に示す。

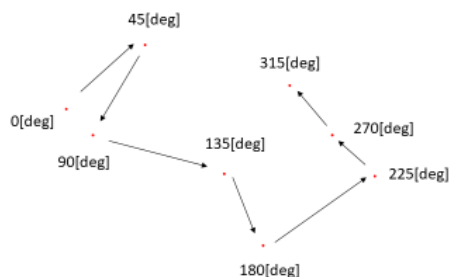


Fig.8 Axis movement path

通常の軸なら自重によって撓んだとしても、回転させると恐らく楕円形のような変位過程になると思われるのですが、Figure8 より少し不自然な経路を辿っていることが判明した。

4. 考察

軸中央部は弾性 1 次モードの腹に当たるので良好な減衰が得られた。しかし弾性 2 次モードに関しては軸中央部が振動の節に当たるのであまり減衰は見られなかった。しかし弾性 2 次モードに関しては、両端を磁気軸受で支持することで減衰されることが先行研究より確認されているので、両端と中央部の 3 点を磁気軸受で支持することで安定した浮上が可能であると考えられる。次に K_d の値が 0.017 と 0.034 の時の弾性 1 次モードのピーク周波数が変化しているのは、 $K_d=0.034$ ではゲインが強すぎて発散寸前であるからだと考えられる。

最後に、極低速回転時にすぐ軸が発散してしまっ原因として、軸の偏心・軸自体の磁化が考えられる。これは Figure6.7.8 よりセンサの値から軸の変位を可視化した際に、軸が常時撓んでいると判明した。さらに、軸の素材のステンレスは撓むことにより磁化することがある。これより軸の撓みと磁化より、軸の回転角ごとに制御値を変更させないと制振ができないと考えられる。

5. 結論

Figure5 のボード線図より、今後の両端・中央部の 3 点を磁気軸受で支持した時には、 K_d の値を高めると位相余裕が増える。また、先行研究の結果と照らし合わせると、両端と中央部の 3 点を磁気軸受で支持することでさらに安定した静浮上を目指せると考えられる。しかし、回転実験では、軸の偏心により極低速回転でさえすぐに発散してしまったので、まだ高速回転での実験は困難と考えられる。

6. 今後の展望

次年度は軸の回転角を 0~360[deg]まで一定の角度で変化させ、各々の場合での静安定を確保していく。その後、回転実験を行い回転時の制振効果を検証していくとする。

7. 参考文献

- 1) 社団法人電気学会, 磁気浮上と磁気軸受, コロナ社(1993)
- 2) 松下修己 他, 回転機械設計者のための磁気軸受ガイドブック, 日本工業出版(2004)