

K4-62

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

Development of an Active Magnetic Bearing System aiming Perfect Levitation of an Elastic Long Shaft

○根本光貴¹, 木村祐平², 渡辺亨³, 背戸一登⁴

Mitsutaka Nemoto¹, Yuhei Kimura², Toru Watanabe³, Kazuto Seto⁴

This paper proposes non-contact control of supporting of an elastic long shaft by using active magnetic bearing (AMB) system. We aimed to develop a magnetic bearing system that takes dynamic of the elastic body into consideration. An experimental system supporting the shaft with two AMBs is built and control experiments are carried out. As a first trial simple Proportional-Derivative (PD) feedback controllers are applied and levitation of the shaft is succeeded, while the 1st elastic mode of the shaft is appeared but undamped.

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。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。

先行研究により、制御による減衰ではなく、機械的な干渉により減衰が加えられているのではないかと考え検証を行った所、静たわみによる干渉が確認された。そこで今年度は弾性体の特性による問題を考慮した磁気軸受システムの開発を目指した。干渉のない浮上に成功したが一次モードが顕著に現れた。

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、そしてモード形を Figure2 に示す。軸は弾性を強調し固有振動数を小さくするため、全長 1002[mm]、シャフト径は 12[mm]と細く長い形状となっている。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。

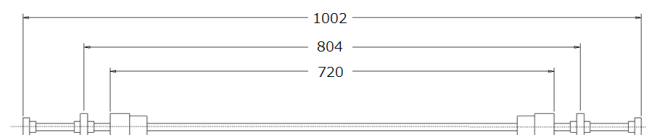


Fig.1 Schematic diagram of designed flexible rotor

Table1 Parameters of flexible rotor

mass[kg]	2.34	1st.Mode[Hz]	39.80
diameter[mm]	12.00	2nd.Mode[Hz]	103.00

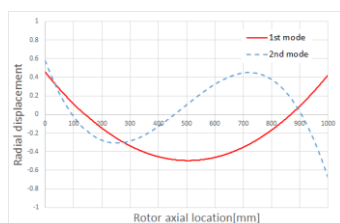


Fig.2 Modal shape

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。



Fig.3 Diagram of designed magnetic bearing device

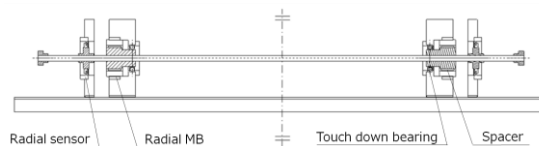


Fig.4 Schematic diagram of designed magnetic bearings

3. 弾性による問題

3.1 静たわみによる中央部の干渉

装置作製時よりも電磁石位置を外側にしたことで、軸中央のたわみがより顕著になり、フライホイールがケーシングに干渉していた。

3.2 静たわみによる軸と電磁石の干渉

本実験では、軸が電磁石に接触し非線形な系になってしまうこと、電磁石への衝突による破損という 2 つの問題を防ぐ目的でタッチダウンベアリングを設置したが、たわみによって電磁石と干渉していたため、系が非線形になり、制御が難しい状態になっていた。概略図を Figure5 に示す。

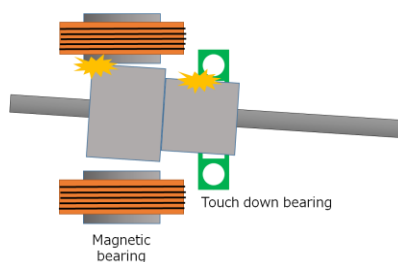


Fig.5 Problem with deflection

4. 問題点の解決策

4.1 軸の傾きによる問題

軸と電磁石の間にスペーサー（プラスチック板）を取り付けることで、軸と電磁石間のギャップと軸とタッチダウンベアリング間のギャップを一致させ軸の傾きを無くした。これにより、上記の系が非線形になってしまう問題とセンサ位置での軸変位のずれが解消された。これを Figure6 に示す。

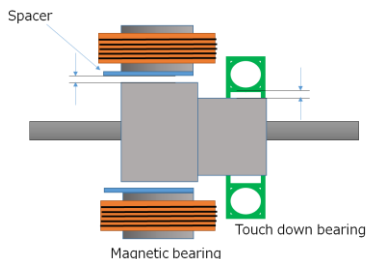
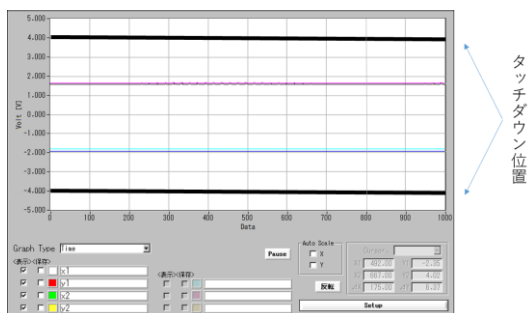


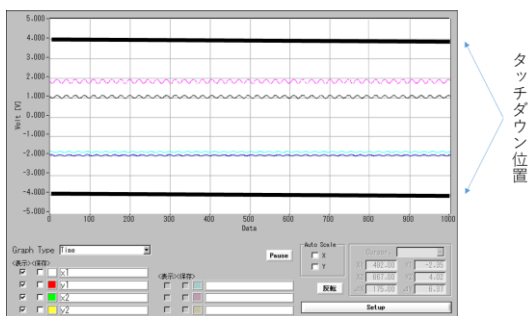
Fig.6 Add spacers to AMBs

5. 実験結果

今年度は PD 制御のみを用い、また軸と電磁石間にスペーサーを取り付けて浮上実験を行った。その結果を Figure7, 8 に示す。



(a)D=0.017



(b)D=0.034

Fig.7 Time response in levitation

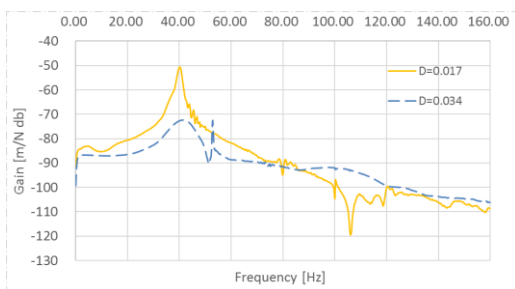


Fig.8 Frequency response in levitation

Figure7(a)は減衰である D ゲインが 0.017、(b)は D ゲインが 0.034 の時のロータ変位信号の時刻歴応答、Figure9 はハンマリング加振力に対する軸変位の周波数応答である。Figure7 より ± 4 V がタッチダウン位置であるので、軸が浮上していることが分かる。Figure8 においても減衰を強くすることで一次モードのピーク値が減少したことから、浮上していると言える。だが Figure7 を比較すると、減衰を強めると振動が出てきていることが分かる。

6. 考察

周波数応答(Fig.8)を見ると D ゲインが 0.034 の時、一次モードの後に別のピークが出ていることが分かる。これは、軸自体は浮上していたが、ハンマリングによる軸の変位でスペーサーに軸が接触し発生したものと考えられる。

実験結果で述べたように、減衰を強めると振動が出てきていることが分かる。考えられる原因として、アクチュエータの配置に起因する問題が挙げられる。現在アクチュエータは軸の両端に設置しており、モード形と装置の配置を見ると、二次モードの腹の付近にアクチュエータがあるので二次モードに対して減衰は与えられる。しかし一次モードに関しては電磁石による拘束によりアクチュエータ部が振動の節に近くなるので現在の実験装置では一次モードを抑えるのに限界があると考えられる。これにより減衰で一次モードをある程度は抑えることができるが、過度に減衰を強めると系が不安定になってしまい、振動が出てきてしまう可能性がある。

7. 結論

アクチュエータとセンサ以外の部品を外し、たわみを最小にすることで軸中央の干渉を無くし、また軸と電磁石の間にスペーサーを取り付けることで軸と電磁石の干渉と、タッチダウン時の軸変位とセンサ位置での軸変位が異なる問題を解消した。これにより、たわみによる干渉のない浮上に成功した。しかし、一次モードが顕著に現れた。また減衰を強めると振動が発生した。

8. 今後の展望

一次モードについては軸中央部にも電磁石を設置すれば改善されると考えられる。そこでまず第一歩として今年度は両端を転がり軸受で固定、軸中央部に磁気軸受を設置し、回転時の制振効果を検証していく。これで良好な結果が得ることができれば、最終的に両端と中央部の 3 点を磁気軸受で支持し危険速度の通過を目指していく。

9. 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)