

K4-66

弾性ロータのための磁気軸受装置とその制御システムの改良

Improvement of Magnetic Bearings equipment and its controller for a flexible rotor

渡辺研究室

○藤崎浩之¹, 鄔正傑¹, 志賀雅光², 岡田幸人², 渡辺亨³, 背戸一登⁴

Watanabe Lab. *Hiroyuki Fujisaki¹, Wu Zhengjie¹, Masamitsu Shiga², Sachito Okada², Toru Watanabe³, Kazuto Seto⁴

This paper presents a new modeling method and a control system design procedure for a flexible rotor with many elastic mode using magnetic bearings. The purpose of our research is to rotate the rotor for passing through critical speeds caused by flexible modes. In this time, we aim to levitate the elastic rotor stably by using Local Jerk Feedback Control system and phase-lag compensator.

1. 序論

磁気軸受とは電磁石の磁気力により非接触でロータを浮上支持する軸受である^[1]. 利点は、高速で軸を回転させられることや、高温・真空等の特殊な環境での使用が可能なことである. 本研究では、その磁気軸受に対して、高速回転するときの問題となる弾性体としての振動を抑える制御方法の提案や、サーボ剛性の向上を目指し、最終的には実機を回転させ、弾性ロータの危険速度通過を目指す.

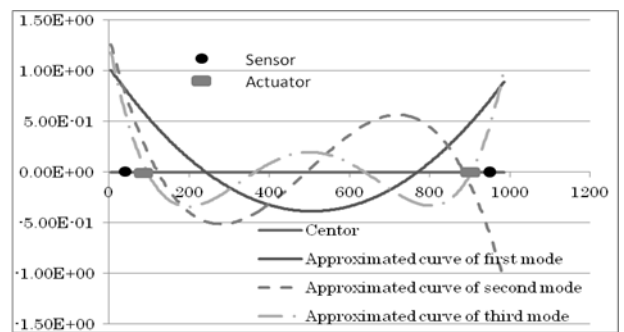


Fig.3 Vibration mode shapes of a flexible rotor

2. 実験装置

2. 1 弾性ロータ

製作した弾性ロータの概略図を Fig.1 に示す.



Fig.1 Schematic diagram of designed flexible rotor

2. 2 磁気軸受装置

製作した磁気軸受装置の概略図を Fig.2 に示す.

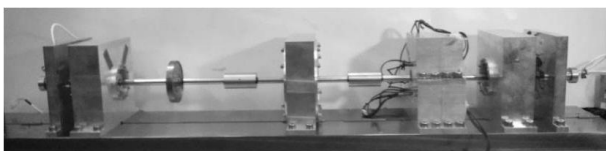


Fig.2 diagram of designed magnetic bearing device

3. 弾性ロータのモード形

弾性ロータの 1 ~ 3 次のモード形を Fig.3 に示す^[2].

Table1. Parameter of flexible rotor

1st mode	24.8[Hz]	2nd mode	73.2[Hz]
3rd mode	127[Hz]	/	

4. 加々速度ローカルフィードバック制御

加々速度ローカルフィードバック制御^[3]のブロック線図を Fig.4 に示す.

変位センサから得られる変位を入力とし、電磁石のアンプに流す電流を出力とする. 入力を変位であるため、一回微分により速度、二回微分により加速度、三回微分により加々速度を得る.

そして、変位と計算によって得られる各値にそれぞれ制御ゲインをかけシステムの制御を行う.

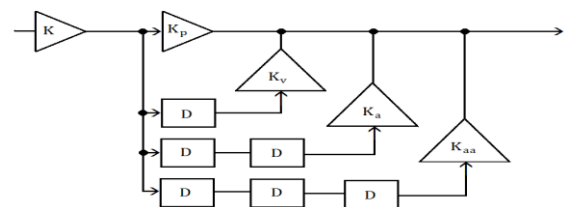


Fig.4 Block diagram of control system

Fig.4 のブロック線図から伝達関数は次式である.

$$G_C = K_{aa}s^3 + K_a s^2 + K_v s + K_p \quad (1)$$

4. 浮上実験

前章から、安定となった時の制御ゲインを用いて浮上実験を行う。その時の時刻歴応答を Fig.5 に示す。

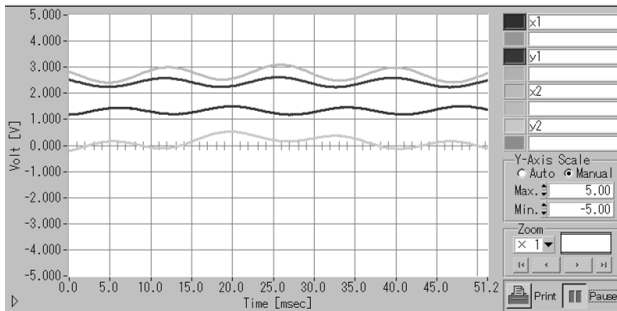


Fig.5 Time Response

Fig.5 より、ラジアル方向に磁気軸受系を安定化できていることがわかる。

6. サーボ剛性の向上

6. 1 位相遅れ補償器の設計

実機での浮上には成功したが、低周波数領域での制御力、即ちサーボ剛性が弱いことが実験で確認されている。そこで位相遅れ補償器を設計した^[3]。この補償器の伝達関数及びボード線図を以下に示す。

$$K = \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} \quad (\alpha > 1) \quad (2)$$

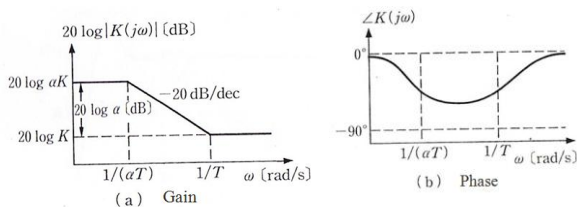


Fig.6 Bode diagram of compensator

Fig.6 から位相遅れの影響を考慮して係数 α , T を設定することにより、低周波数領域でのゲインを $20\log \alpha[\text{dB}]$ 持ち上げることができる。

6. 2 実験装置全体の伝達関数

位相遅れ補償器を設計するため、実験装置の電磁石部分とロータ部分を取り出してモデル化し、伝達関数を求め、式(1), (2)を含めた実験装置全体の伝達関数と実験装置全体のブロック線図を以下に示す。

$$G = \frac{KG_c G_m G_p}{1 + KG_c G_m G_p} \quad (3)$$

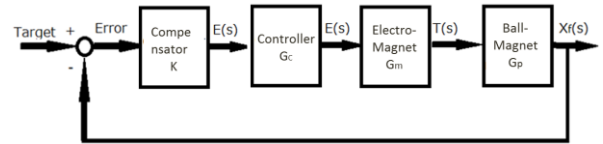


Fig.7 Block diagram of the closed-loop system among experimental system

6. 3 シミュレーション結果

位相遅れ補償器の効果を確かめるために、シミュレーションを行った。その結果を以下のボード線図に示す^[4]。

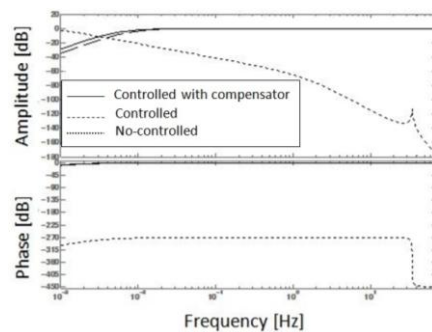


Fig.8 Frequency Transfer function of the closed-loop system among rotor, compensator and controller

Fig.8 より、補償器の導入によって低周波数域におけるゲインが 0dB に近づき、目標追従性が向上することがシミュレーションによって確かめられた。

5. 結論及び今後の展望

弾性軸の浮上に成功した。また、安定浮上の課題であった低周波数領域でのサーボ剛性の低さを、位相遅れ補償器を導入することで、サーボ剛性の向上をシミュレーションによって確認することができた。今後は補償器を実際に取り組み、安定浮上させた上で、ロータを回転させ危険速度を通過させる。

6. 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] 山本敏男, 石田幸男, 回転機械の力学, コロナ社 (2001)
- [3] 背戸一登, 渡辺亨, フィードバック制御の基礎と応用, コロナ社(2013)
- [4] 舟越大輔, 弾性ロータに対する磁気軸受の浮上・制振制御システム, 日本大学博士論文(2012)