

超伝導体の運動を制御することによる非接触制振機構

Noncontact vibration suppression mechanism by motion control of superconductor

○学 氏原 孝節 (高知工科大), 正 岡 宏一 (高知工科大)

Kosetsu UJIHARA, Kochi University of Technology, 185 Miyanoguchi, Tosayamada, Kami, Kochi, 782-8502 Japan

Koichi OKA, Kochi University of Technology, 185 Miyanoguchi, Tosayamada, Kami, Kochi, 782-8502 Japan

Key Word: Superconductor, Magnetic bearing, Noncontact vibration suppression mechanism

1. 諸言

磁気軸受は、高速化やメンテナンスフリーのためにロータを非接触で浮上させ回転させる装置である。浮上体支持のために常電導磁石を用い、その吸引力を電流によって制御している方式がほとんどである。

これに対し、超伝導体を用いた方式は無制御でよいため装置の小型化や簡便さが期待できる。しかし、超伝導体を用いた磁気軸受の欠点は、減衰力が不足するため回転により発生した振れ回りを抑制する力が弱いことである⁽¹⁾。

本研究では、超伝導体の振れ回りの問題を解決するため、超伝導体を運動制御することにより振れ回りを抑制することを提案する。今回の報告では、基礎実験として超伝導軸受のモデル化を行い、シミュレーションを行った。

2. 試作装置

試作装置を上から見た写真を図1に示す。超伝導体は、第一種超伝導体によるマイスナー浮上では浮上力が小さいため、工業分野で多く使用され、比較的安定な浮上が得られる第二種超伝導体のピン止め効果を用いた浮上を用いる。

実験装置は図1に示すように、平面2自由度のロボットの先端に超伝導体を取り付け、その上に回転体である永久磁石が浮上し、回転する構造となっている。超伝導体の大きさは直径50[mm]、厚さ10[mm]の第二種超伝導体であり、浮上体である永久磁石は直径25[mm]、厚さ10[mm]の軸方向に着磁されたネオジウム磁石である。浮上のためには、10[mm]のスペーサを用いて磁場中冷却した。永久磁石の変位は上から光学式変位測定器で測定した。制御装置にはDSPを用いたコントローラを用いた。

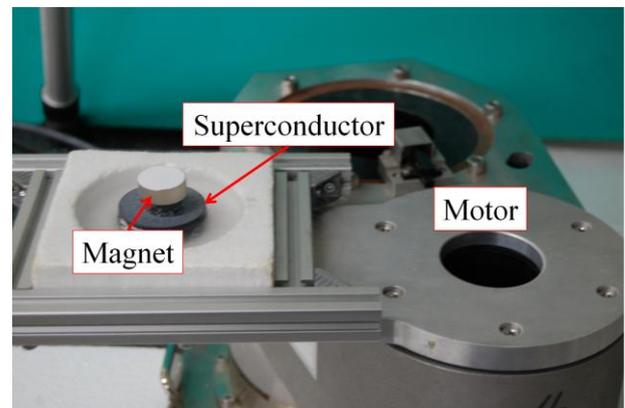


Fig.1 Experimental model

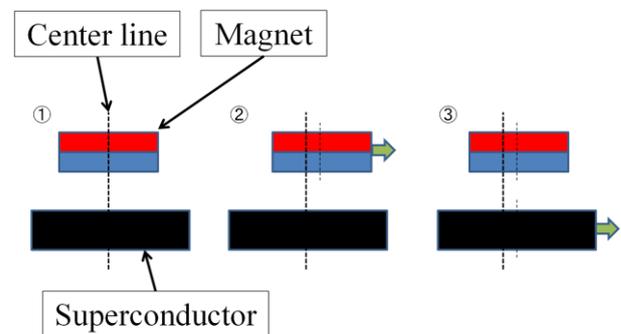


Fig.2 Noncontact vibration control mechanism

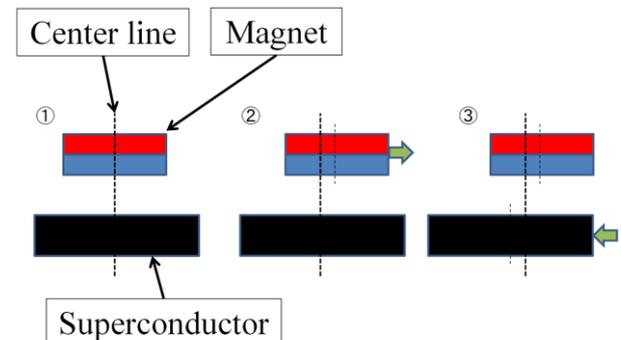


Fig.2 Noncontact vibration control mechanism

3. 振動抑制方法

超伝導軸受の浮上では、浮上体が平衡状態である磁気中心軸からずれると磁力線がピン止めされているため、復元力での元の位置に戻ろうとする。この受動的な復元力による抑制では減衰力が不足するため振動が長く続く。今回、図2、3に示すような超伝導体の運動制御による振動抑制方法を2つ提案する。

3.1 提案1（浮上体と超伝導体の中心軸を制御）

図2の方法では、ピン止め効果により浮上した永久磁石が磁気中心軸から右に移動したとき、超伝導体を右に移動させる。同様に、浮上体が磁気中心軸から左に移動した場合は超伝導体を左に移動させる。超伝導体を能動的に動かし、磁気中心軸からずれることで発生する復元力を緩和することで振動を抑制できると考えられる。

3.2 提案2（復元力を制御）

図3の方法では、浮上体が磁気中心軸から右に移動したとき、超伝導体を左に移動させる。同様に、浮上体が左に移動した場合、超伝導体を右に移動させる。この方法では、復元力を増加させることによって素早く元の位置に戻すという方法である。これら2つの方法を用いたときの振れ回りの抑制効果を確認する。

4. 試作装置のモデル化および周波数応答に基づく性能評価

4.1 モデル化

超伝導軸受のモデルを図4に示すような1次元のバネ・マス・ダンパ系と考え、運動方程式を導く。今回のシステムでは超伝導体の位置を入力とし、浮上体である永久磁石の位置を出力とした。また、浮上体は上下方向の揺れを考慮しないものとし、左右方向の動きのみを考える。質量 m の永久磁石の位置を y 、永久磁石に発生する振れ回り力を外力 f 、超伝導体の位置を u とすると、運動方程式は次式として表せる。

$$m\ddot{y} + c(\dot{y} - \dot{u}) + k(y - u) = f$$

ただし、 f は主に遠心力と考え、周波数とともに変化すると考えた。

4.2 制御方法

制御システムを図5に示す。コントローラ K は超伝導体の移動量を制御するゲインである。提案1では永久磁石と超伝導体を同じ方向に移動させるため K の値が負となり、提案2では逆方向に移動させるため K の値は正となる。図6は、外力 f を入力、永久磁石の応答 y を出力とする伝達関数に、コントローラ K の値を -1 から 1 まで変化させた周波数応答を示している。縦軸はゲイン、横軸は周波数である。

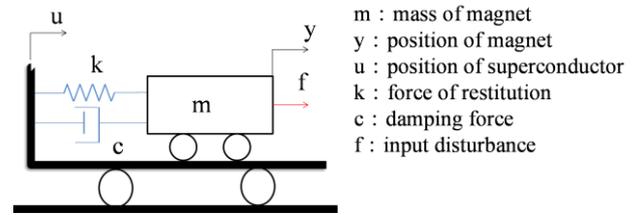


Fig.4 modeling of system

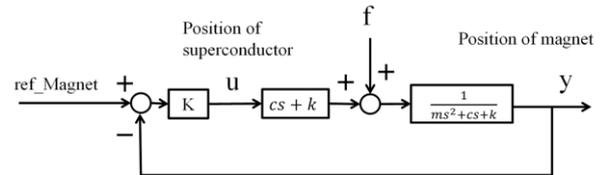


Fig.5 Control diagram of vibration suppression mechanism

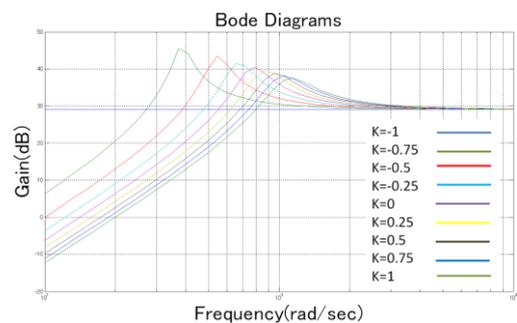


Fig.6 Bode Diagrams

提案1の方法では $K=-0.75$ のとき、ピークゲイン 46.4 [dB] であった。提案2の方法では $K=1$ のとき、ピークゲイン 37.6 [dB] となり、提案1に比べてゲインが小さい、無制御の場合では $K=0$ のとき、ピークゲイン 40.5 [dB] であることから、提案2の方法は振れ回りの抑制効果があると考えられる。しかし、低周波領域では提案1の方法が提案2に比べてゲインが小さくなるので、振れ回りの抑制効果があると考えられる。

このことから、提案した2つの振動抑制方法は回転周波数によって使い分ければよいと考えられる。

5. 結言

超伝導軸受の問題点である振れ回りを、超伝導体の運動を制御することで振動抑制を行う機構を考案し、周波数応答に基づく制御系の性能評価を行った。今後は、周波数応答の結果から2つの方法をそれぞれ用いて試作装置での振動抑制実験を行っていく。

参考文献

- (1) 電気学会 磁気浮上応用技術調査専門委員会 編, 磁気浮上と磁気軸受, コロナ社, (1993)