

Whirling control for noncontact bearing using superconductor

○ 学 中村将吾 (高知工科大) 正 岡宏一 (高知工科大)

氏原孝節 (高知工科大)

Shogo Nakamura, Kochi University of Technology, Miyanokuchi 185, Tosayamada-cho, Kochi

Koichi Oka, Kochi University of Technology

Kosetu Ujihara, Kochi University of Technology

1. 緒言

磁気軸受は回転体を磁力によって非接触で支持する軸受である。超伝導磁気軸受は、超伝導コイルによる高磁場の発生やピン止め効果による安定浮上のため、常伝導磁気軸受では難しい大型化や低消費電力化が可能である⁽¹⁾。

近年、超伝導磁気軸受はフライホイール電力貯蔵装置の軸受として盛んに開発が行われている。しかし、共振点付近で振れ回り現象が発生する⁽²⁾。

本研究は、このような超伝導磁気軸受の振れ回り運動の制御を目的とする。以下では、円筒形の永久磁石が超伝導体上でピン止めされ自由回転している系について考える。まず、超伝導体を動かし復元力を変化させることで振れ回り運動を制御できると考え、対象のモデルについて運動方程式を導出する。そして、基礎実験として一軸の装置で振動制御をし、二軸の装置で振れ回り運動の確認を行なう。

2. 制御

ピン止め効果とは、超伝導体を磁場中で冷却した場合、磁束を超伝導体内部の常伝導部分で捕らえる現象である。ピン止め図を Fig.1 に示す。磁束のピン止めによって磁石は一定位置に固定されるように浮上し、変位した場合は復元力が働く。

今回は超伝導体上で円筒形の永久磁石がピン止めによって浮上し、自由回転している系を考える。モデルを Fig.2 に示す。回転軸は鉛直方向を向き、永久磁石の運動は軸まわりの回転と x 方向と y 方向の変位のみとする。また、永久磁石には重心 G と磁気中心 C の間に偏心 r があるとすると、このモデルでは、受動的な復元力によって振れ回り運動が発生し続けると考えられるため、能動的な制御が必要だと考える。

提案する制御原理を Fig.3 に示す。振れ回り運動を x 方向について考えた場合

①永久磁石が振れ回りにより右方向に変位したとする。

②左方向に復元力が働く。

③超伝導体を右方向に移動させ、永久磁石の変位を小さくし復元力を小さくする。

④振れ回りを小さくする。

y 方向について同様に行なうことで、振れ回り運動の制御が可能と考える。

このとき、永久磁石の質量を m 、超伝導体の質量を M とすると、運動方程式はそれぞれ

$$m\ddot{x} + k(x - X) = f_x \quad (1)$$

$$m\ddot{y} + k(y - Y) = f_y \quad (2)$$

$$M\ddot{X} + k(X - x) = F_X \quad (3)$$

$$M\ddot{Y} + k(Y - y) = F_Y \quad (4)$$

$$f_x = mr\dot{\theta}^2 \cos \theta + mr\ddot{\theta} \sin \theta \quad (5)$$

$$f_y = mr\dot{\theta}^2 \sin \theta - mr\ddot{\theta} \cos \theta \quad (6)$$

となる。ただし k は復元力係数、 f は永久磁石の遠心力、 F は超伝導体に加える力である。この運動方程式から伝達関数を求め、振れ回り運動を制御する。Fig.4 に x 方向のブロック線図を示す。

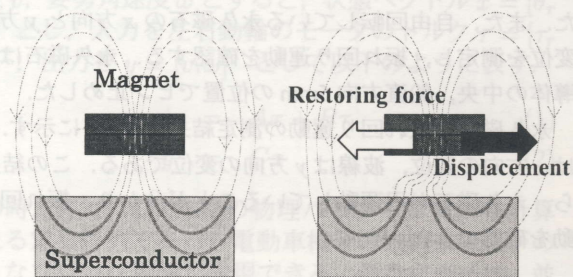


Fig. 1 Pinning effect

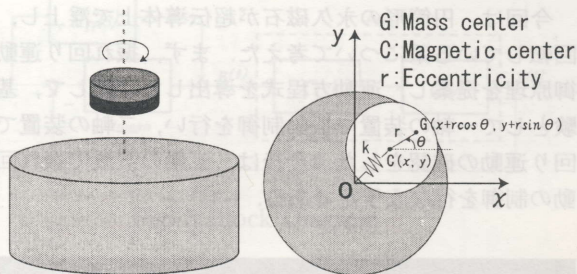


Fig. 2 Model

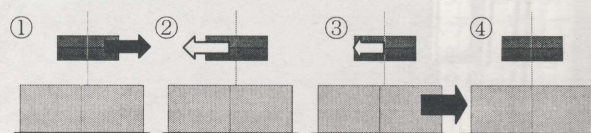


Fig. 3 Control principle

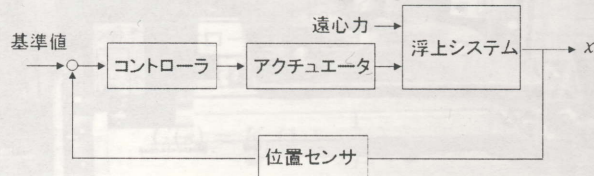


Fig. 4 Block diagram

3. 実験

使用する永久磁石は外径 25 mm, 幅 10 mm のネオジウム磁石, 超伝導体は外径 46 mm, 幅 15 mm のバルク超伝導体 (Gd-Ba-Cu-O 系) である. また, 超伝導体の冷却には液体窒素を使用する.

3. 1. 実験 1

基礎実験として x 方向の運動について考え, 一軸の装置を製作した. ここでは, ピン止めした永久磁石にインパクトを与え, 超伝導体を移動させることで振動を制御する.

試作装置を Fig.5 に示す. 永久磁石は超伝導体の中央, 鉛直方向 10mm の位置でピン止めした. 超伝導体をスライダに固定し, レーザセンサでスライダと永久磁石の x 方向の変位を測定する.

制御なしの結果を Fig.6, 制御ありの結果を Fig.7, 振れ幅の比較を Fig.8 に示す. 制御なしでは永久磁石の振動は 4 秒で収束していることが分かる. 制御ありでは永久磁石の振動は 3 秒で収束し, スライダは 0.5 秒まで永久磁石の変位と同方向に移動していることが分かる. 振れ幅の比較から制御によって振動は早く収束していることが分かる. これらの結果から, 永久磁石の変位方向に超伝導体を移動させることで振動の制御が可能であることが確認できた. また同様に y 方向について行なうことで振れ回り運動の制御が可能と考えられる.

3. 2. 実験 2

振れ回り運動の制御を行なうため, 二軸の装置を製作した. また, 自由回転している永久磁石の x 方向と y 方向の変位を測定し, 振れ回り運動を確認する. 永久磁石は超伝導体の中央, 鉛直方向 5mm の位置でピン止めした.

永久磁石の振れ回り運動の測定結果を Fig.9 に示す. 実線は x 方向の変位, 波線は y 方向の変位である. この結果から, 永久磁石が円運動していることが分かり, 振れ回り運動を確認できた.

4. 結言

今回は, 円筒形の永久磁石が超伝導体上で浮上し, 自由回転している系について考えた. まず, 振れ回り運動の制御原理を提案し, 運動方程式を導出した. そして, 基礎実験として一軸の装置で振動制御を行い, 二軸の装置で振れ回り運動の確認をした. 今後は, 二軸の装置で振れ回り運動の制御を行なう予定である.

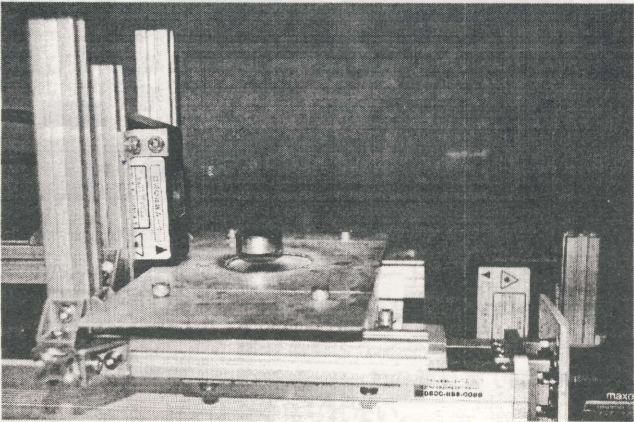


Fig. 5 Experimental device

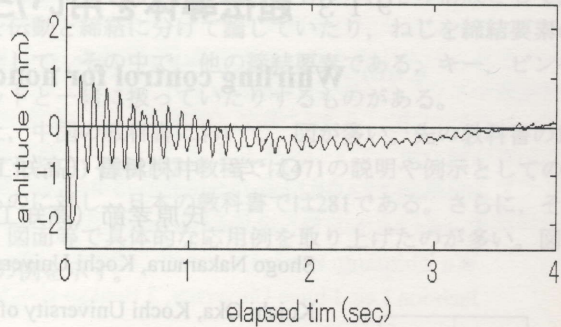


Fig. 6 Noncontrol result

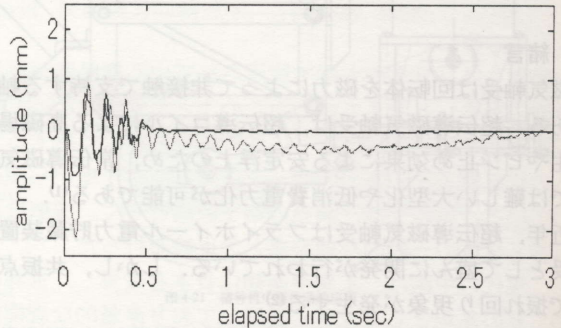


Fig. 7 Control result

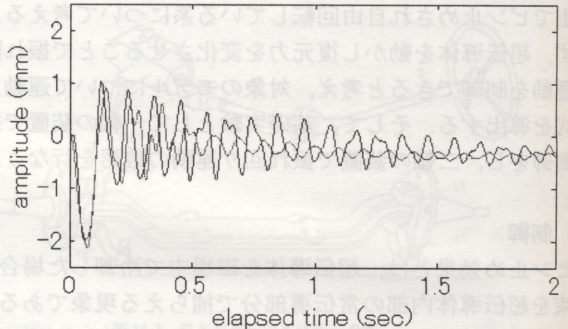


Fig. 8 Amplitude comparison

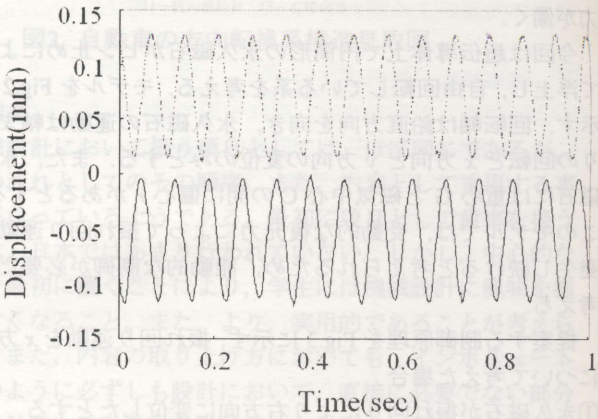


Fig. 9 Experimental result for whirling

参考文献

(1)清野寛, 長嶋賢, 超電導磁気軸受, 日本 AEM 学会誌 vol.16, No4(2008).
(2)黒田賢一, 杉浦壽彦, 釘谷琢夫, 高温超電導磁気軸受で支持された回転体の共振点通過現象, 機械力学・計測制御講演論文集:D&D2001.