

第14回 MAGDA コンファレンス in 岐阜
電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス
講演論文集



会期：2005年3月14日（月）～15日（火）

会場：岐阜大学工学部

主催：日本 AEM 学会

協賛：岐阜大学，日本機械学会，日本応用磁気学会，日本シミュレーション学会，日本生体磁気学会，計測自動制御学会，システム制御情報学会，日本非破壊検査協会，IEEE Magnetic Society (Japan Chapter)，プラズマ核融合学会，日本原子力学会，電気学会，日本保全学会

インパクト駆動を用いた超伝導浮上位置決め機構の開発

田口寛貴[高知工科大]

岡宏一 [高知工科大] 正員

小松茂久[高知工科大]

坂本真人[高知工科大]

Hiroki Taguchi [Kochi University of Technology]

Koichi Oka [Kochi University of Technology]

Shigehisa Komatsu [Kochi University of Technology]

Masato Sakamoto [Kochi University of Technology]

Member

Abstract

In this paper, a new type of positioning mechanism for superconduct magnetic levitation system is proposed. The proposed mechanism is using an impact driving technique for positioning. When a magnet is levitating over a superconductor, a impulse force for the superconductor drives a superconductor and a magnet. The movement, however, are different. The movement of superconductor is larger than the magnet movement. When the superconductor returns to the origin by slow movement, the position of the levitated magnet is changed slightly. The iteration of the impact force and soft returning makes the levitated magnet to be positioned. First, we describe a typical positioning mechanism is described. Then the principle of the positing mechanism are explained. Finally, some basic experimental examinations are introduced and the possibility of the proposed positioning mechanism is examined.

Keyword: rectified superconductor, magnetic levitation, positioning, impact drive

1.緒言

磁気浮上機構は、摩擦・摩耗の問題の減少によりシステムが半永久的になること、メンテナンスが容易にできること、振動・騒音の問題が低減されること、高速化が可能になること、などの大きなメリットがある。しかし、静的な常伝導の磁気浮上では閉ループ制御が必要であり、装置が複雑になる。それに対し超伝導磁気浮上機構は能動的な制御なしでも安定な浮上を得ることが可能であり、簡単に浮上を実現することができる。本研究では、超伝導体を用いてピン止め浮上させた永久磁石の精密位置決めシステムを提案する。その手法として、超伝導体のインパクト駆動による浮上磁石の位置制御について考察した。

2.位置決め機構

2.1 第一種超伝導体と第二種超伝導体

超伝導体には大きく分けて第一種超伝導体と第二種超伝導体の二つに分けることができる。この二つの大きな違いは超伝導体を作るとき材料にある。アルミニウム、スズ、インジウム、タングステンといったもので超伝導体を作ると第一種超伝導体になり、ニオブ・チタン合金やニオブ・スズ合金、セラミックスといったもので作ると第二種超伝導

体となる。違いは材料だけでなく、大きな性質の違いを持っている。第一種超伝導体では完全なマイスナー効果を示し、臨界磁場をかけると、全体の超伝導が壊れてしまう。しかし、第二種超伝導体においては不完全なマイスナー効果が見られ、部分的に超伝導が壊れて内部に磁束線を通すことができる。

2.2 ピン止め浮上

第二種超伝導体には Fig.1 のように結晶の境界や歪み、不純物などの数々の要因によって作られたピン止め点と呼ばれるものが存在する。このピン止め点は非超伝導部分となるので、磁束が通りやすい点となる。

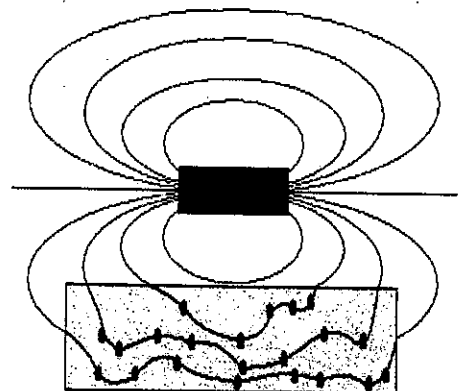


Fig.1 Noncontact positioning

連絡先: 田口 寛貴, 〒782-8502, 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185, 高知工科大学知能機械システム工学科, e-mail: 050141f@ugs.kochi-tech.ac.jp

ピン止め点で磁束をほそくすることができると考えられているこの現象はピン止め効果と呼ばれている。超伝導体を冷却し超伝導状態を実現すると、磁束はピン止め点に保持され、その磁束を補足することによって浮上の復元力を得るシステムがピン止め浮上である。

ピン止め浮上が行われている場合、その復元力は磁場が変化したときに、トラップされた磁束と遮蔽電流によって発生するローレンツ力によって得られていると考えられる。このローレンツ力は超伝導体内ではピン止め力と釣り合っている。磁場が大きく変化しローレンツ力がピン止め力の限界を超えるとときには、磁束は次のピン止め点に移ると考えられている。

このことは大きなローレンツ力を発生させることができれば、ピン止めされている磁束のピン止め点をずらし、能動的な位置決めをする可能性があると考えられる。本研究では、インパクトメカニズム⁽¹⁾による駆動を行うことによって大きなローレンツ力を発生させて、磁束を保持しているピン止め点をずらすという超伝導位置決め機構について考察する⁽²⁾。

2. 3位置決め原理

Fig.2のように高温超伝導体の上で永久磁石が非接触で安定に浮上しているものとする。高温超伝導体に対して右方向にインパクト力を加えると、高温超伝導体は瞬間的に右方向に移動する。このとき高温超伝導体が保持している磁束のピン止め点がずれることが期待できる。同時に永久磁石は、超伝導体の運動による磁束の変化により力を受け、超伝導体の運動を追従すると考えられるが、ずれた磁束の影響でわずかながら超伝導体より移動量は少ないと考えられる。この後ゆっくりした運動により高温超伝導体を元の位置に戻すと、永久磁石は相対的にわずかに左に移動したことになる。この動作を繰り返すことによって位置決めが可能であったと考えられる。

3. 実験装置

3. 1 実験装置概要

実験装置の外観をFig. 3, Fig4に示す。図より分かるように、装置はFig. 5の変位拡大機構つきピエゾアクチュエータに超伝導体を載せ、ピエゾアクチュエータの出力端を壁に接着したものである。ピエゾアクチュエータにステップ電圧を加えると、ピエゾアクチュエータは急速に伸び、超伝導体がインパクト駆動される。

3. 2 インパクト駆動部の構成

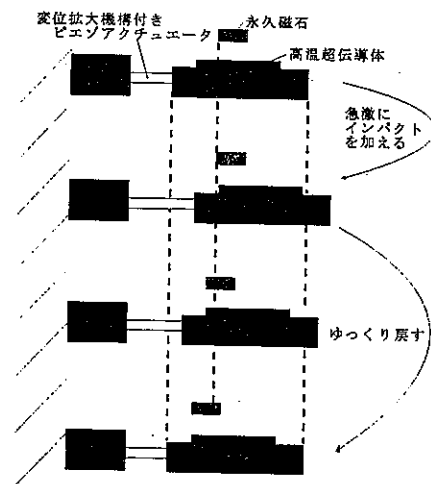


Fig.2 Positioning mechanism for superconduct magnetic levitation system using impact drive

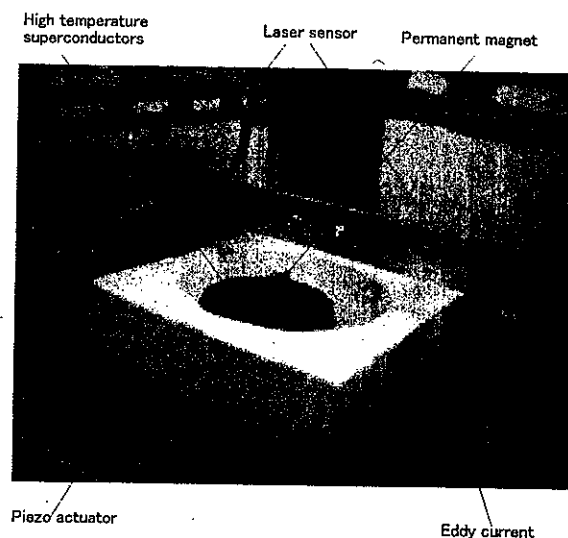


Fig.3 Externals of experimental apparatus

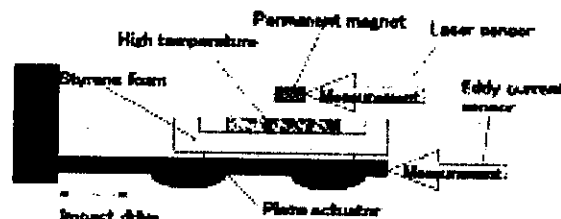


Fig.4 Experimental apparatus

本実験では、高温超伝導体をインパクト駆動させるために、Fig.5 に示す変位拡大機構つきピエゾアクチュエータを使用した。Fig.5 の写真の真ん中の円柱をしたものがピエゾ素子であり、上部が変位拡大機構となっている。このアクチュエータは、銅製の半球を3つ取り付けてある。半球を取り付けた側を床におくことで、変位拡大機構つきピエゾアクチュエータが3点支持で運動することが可能になり、摩擦の変動を少なくできると考えられる²⁾。

4. 実験結果

4. 1 実験方法

まず、高温超伝導体を冷却し、超伝導状態を実現し、永久磁石をピン止め浮上させた。ピエゾアクチュエータにステップ状の電圧をかけ、インパクト駆動させた。また、かける電圧は1.0V～9.0Vの間で変化させた。9.0Vを印加したときの入力波形をFig.6 に示す。このときの永久磁石と超伝導体の運動をそれぞれ、レーザーセンサと渦電流センサによって測定した。

4. 2 結果・考察

印加電圧が、1.0Vまたは2.0Vのときには、高温超伝導体の動きにほとんど変化が見られなかった。当然ではあるが、浮上中の永久磁石にも動きは見られなかった。これは変位拡大機構つきピエゾアクチュエータの変位拡大機構部分の伸びが、かける電圧に比例して伸びているため、微電圧では伸びが極小すぎてインパクトとしての力が不十分であるためと考えられる。3.0Vから超伝導体の動きが確認でき、永久磁石の動きも追従していることが確認できた。高い電圧をかければ、永久磁石の運動も大きくなることも確認できた。

ピエゾアクチュエータに4.0Vの電圧をかけ、インパクト駆動させた時の結果をFig.7に、9.0Vの電圧をかけ、インパクト駆動させた時の結果をFig.8に示す。4.0Vの電圧を加えたFig.7では、永久磁石は高温超伝導体の動きにあわせて追従しているが、浮上位置は変化していないのがわかる。それに対して9.0Vを加えた結果のFig.8では、永久磁石が高温超伝導体の動きにあわせて追従しているとともに、除々に永久磁石が一方に変化していることがわかる。Fig.9のグラフはアクチュエータに9.0Vを加える実験の時間を長くした時の結果である。図からわかるように、強いインパクト力（高電圧）をかけることを繰り返すことにより、永久磁石は一定方向へ移動することが確認でき、

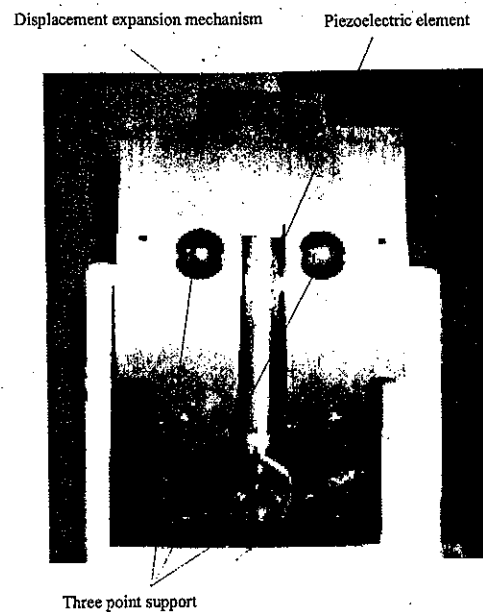


Fig. 5 Piezo actuator

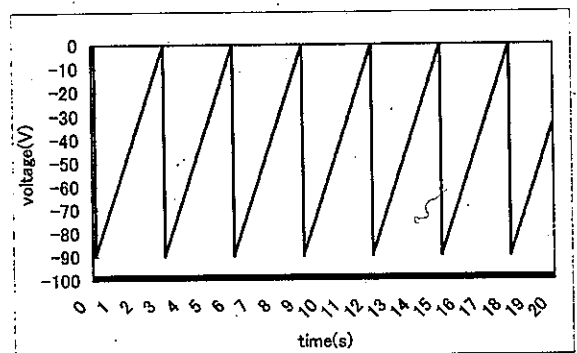


Fig.6 Shape of waves (90V/20s)

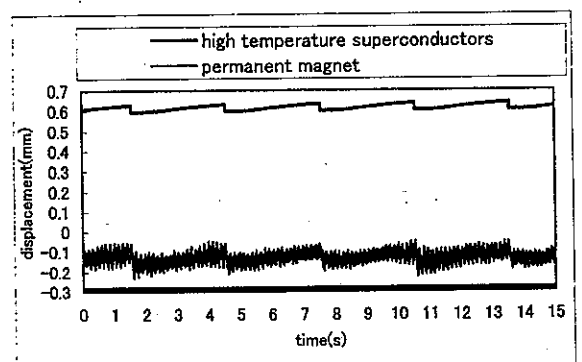


Fig.7 Experiment result(40V/15s)

前章で述べた原理を実証することができた。

5. 応用

応用として、この位置決め原理を用いて高温超伝導磁気浮上を鉛直方向に応用することを提案する。これまで、鉛直方向でピン止め浮上している浮上体は、時間がたつにつれて浮上体の位置が下がってくることが知られている。そこでインパクト力を用いることによって浮上体の高さの位置制御が期待できる。装置の一例を、Fig. 10 で示す。高温超伝導体の周りに永久磁石が非接触で安定に浮上しているものとする。このとき、鉛直方向にインパクト力を加えると、高温超伝導体は瞬間的に鉛直方向に移動する。このとき高温超伝導体が保持している磁束のピン止め点がずれることが期待できる。一方永久磁石は、超伝導体の運動による磁束の変化により力を受け、超伝導体の運動を追従すると考えられるが、ずれた磁束の影響でわずかながら超伝導体より移動量は少ないと考えられる。この後ゆっくりした運動により高温超伝導体を元の位置に戻すと、永久磁石は相対的にわずかに下に移動したことになる。

4. 結言

今回は高温超伝導体を用いたピン止め浮上において、インパクト力により永久磁石の磁束が保持されているピン止め点をずらすという原理を提案した。この原理に基づいて、実験装置を開発し実験を行った。実験により、強いインパクト力を繰り返しかけることにより永久磁石が一定方向に移動することが確認でき、位置決め機構の可能性を実証した。しかし、そのためには永久磁石の残存振動の問題や、浮上力の違い、超伝導体ごとのピン止め点の違いなど、今後の課題が多いことも分かった。位置決め機構の実現には、まずこのような課題を解決する必要があると考える。

今後は超伝導体にかかる波形を変更しながら実験を重ね、精密位置決め制御の実現を追及していく予定である。

参考文献

- [1] <http://www.intellect.pe.u-tokyo.ac.jp/japanese/>
- [2] 岡宏一, 小松茂久, インパクト駆動を用いた超伝導浮上位置決め機構における提案, 電気学会資料 P19~P22

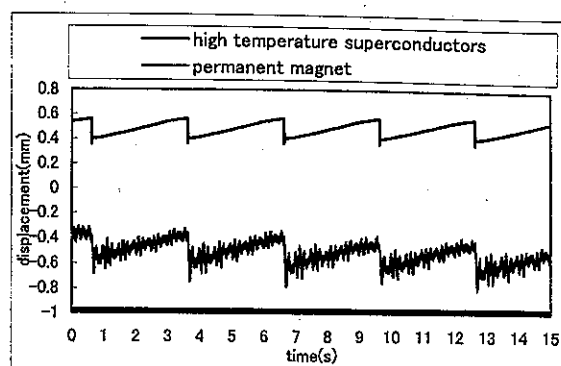


Fig.8 Experiment result(90V/15s)

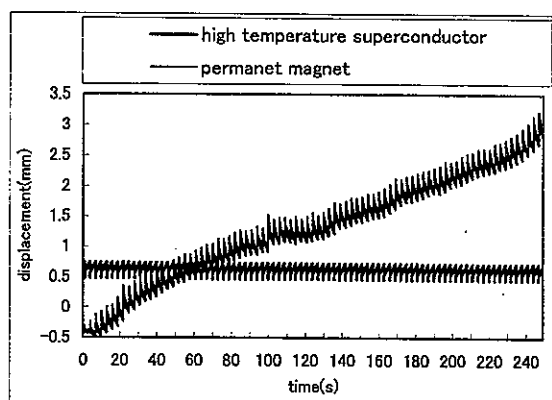


Fig.9 Experiment result(90V/240s)

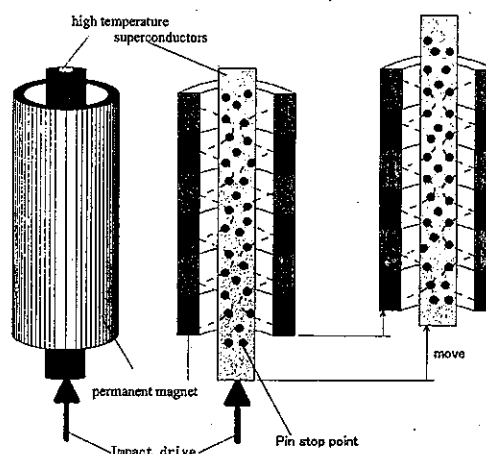


Fig.10 Application in perpendicular direction