

レーザー光を基準に用いた磁気浮上機構

——5 自由度制御型磁気浮上リニアスライダ——

A Laser Guided Magnetically Suspended Slider

川 勝 英 樹*・ハネス ブロイレル*・斉 藤 孝 史*・八 尋 威 久*
Hideki KAWAKATSU, Hannes BLEULER Takashi SAITO and Takehisa YAHIRO

1. 要 旨

我々は以前からレーザー光を基準にした磁気浮上機構について研究してきた。現在までにこの磁気浮上が可能であることを確認し、5 自由度制御による浮上にも成功している。本研究ではこれまでの実験で得られた指針に基づいて新しいステータを考案し、5 自由度制御型磁気浮上リニアスライダを設計試作した。

2. 基 本 構 想

現在までの研究では、浮上体がステータ磁極の複数の磁極歯の間を順次乗り移るように移動する（以下、コミューテーション）もので実験を行った。しかしこの方法ではコミューテーションによる $10\mu\text{m}$ オーダのギャップ変動が生じており、高精度の浮上を追求するためには問題があった。そこで本研究では、

(1) コミューテーションをなくし、案内上の全ての位置で姿勢制御用行列の切り替えなしに 5 自由度制御で浮上できる、

(2) 高い浮上精度、浮上剛性を持つ、
ということを目標にして新しい型のステータを考案した。

電磁石の原理は、図 1 のような形状のステータ鉄芯に縦方向にコイルを巻く。コイルに電流を流して磁極を近づけると図 1 のような磁路が構成され磁極を吸引する。この電磁石の特徴は案内方向の位置によらず吸引力が変化しないという点にある。この電磁石を組み合わせることで磁気浮上機構を構成する。ここでは図 2 のような断面のステータ鉄芯に 7 本のコイルを巻いて 7 個の独立に吸引力を制御し得る電磁石をつくる。x, y, z の方向は図 2 のように定義する（水平方向が x, 鉛直方向が y, 案内方向が z）。このような形状にした理由は、一体構造にすることにより比較的簡

単に高い加工精度が得られることによる。またコイルは互いに干渉しあうことなく独立に吸引力を制御し得る。浮上の際には各コイルが浮上体にとりつけられた磁極を吸引する。コイル 1, 2, 3 がそれぞれ磁極 1, 2, 3 を吸引し、y 軸方向の制御を行う。またコイル 4, 5, 6, 7 が磁極 4, 5, 6, 7 を吸引し、x 軸方向の制御を行う。コイル 4, 5 が浮上体前方に働く力の制御、コイル 6, 7 が浮上体後方に働く力の制御を行う。各コイルに浮上体の位置と姿勢を一定に保つような磁気吸引力が得られるよう電流を制御する。この構成により x, y, ピッチング θ_x , ヨーイング θ_y , ローリング θ_z を一定に保つように制御することができ、z 軸方向を除く 5 自由度制御が可能になる。以上によりステータのすべての範囲での浮上が可能になる。

3. 実 験 装 置

実験装置の概略図を図 3 に、制御装置構成図を図 4 に示す。浮上体はアルミ製で、7 個の軟鉄の磁極がとりつけてある。浮上体の下面に 3 個のコーナーキューブが固定されている。ステータは軟鉄製で案内方向長さ 990mm の棒状のもので、両持ちの形で固定されている。ステータには y 方向制御用に 3 個、x 方向制御用に 2 対の電磁石が設置され、浮上体を吸引制御する。ステータ側にはビームスプリッタ、プリズム、受光素子などの光学素子が固定される。受光素子には 4 分割型フォトダイオードを用い、浮上体のコーナーキューブを固定した点での x, y 方向の変位を検出する。3 個のフォトダイオードの各出力は電流/電圧変換後、各軸独立の演算を行い、比例微分制御により 3 個のコーナーキューブの位置が一定に保たれるように制御を行う。浮上ギャップは x 方向は 0.5mm, y 方向は 0.3mm として実験を行った。

*東京大学生産技術研究所 第 2 部

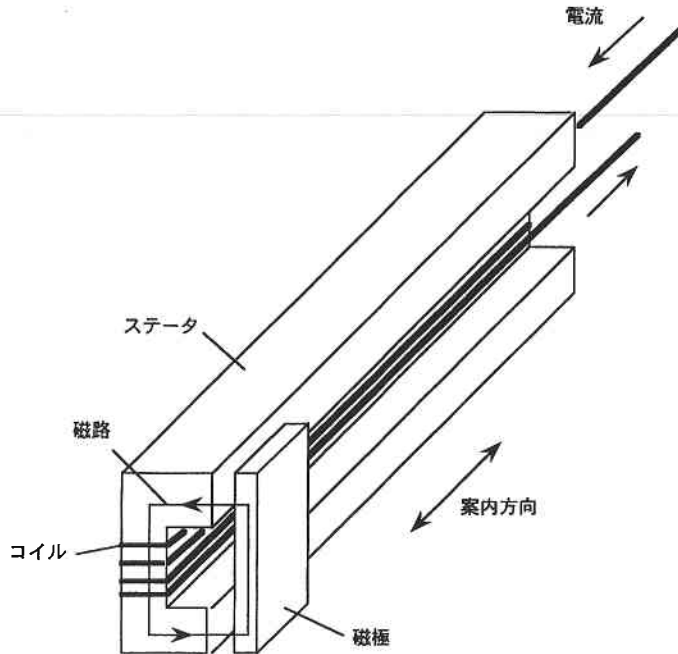


図1 電磁石の原理 図のような磁路ができ、吸引力が発生する。

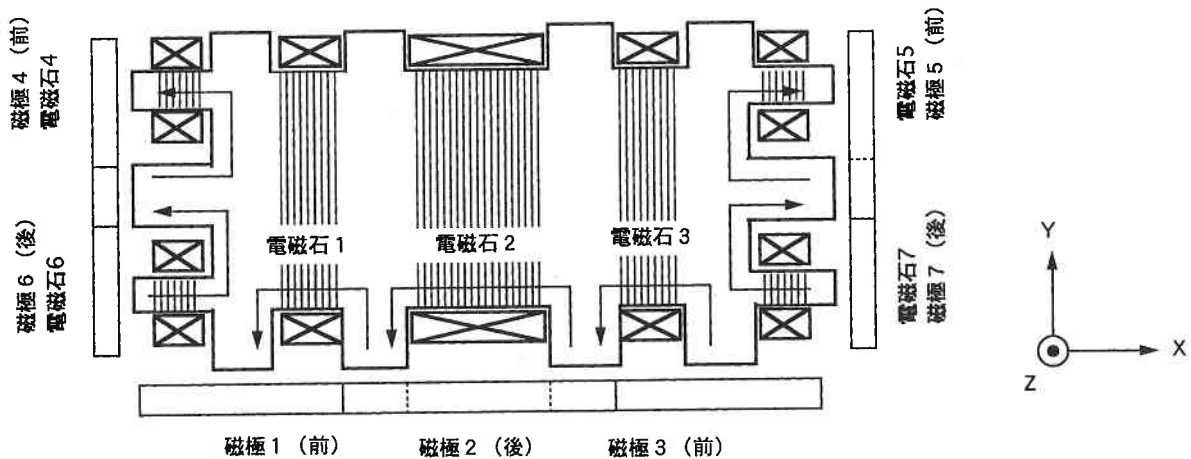


図2 電磁石の構成. 矢印は磁路を表す。

4. 実験結果. 考察

実験により案内のすべての範囲で浮上に成功し、なめらかな浮上と案内を確認した。本構成により次のような利点が期待できる。

- (1) 乗り移りがなくステータ上のどの点でもまったく同じように浮上でき、制御系の切り替えの必要がない。
- (2) センサの分解能どおりの浮上精度が期待できる。
- (3) ステータを比較的高い精度、真直度で加工でき、さらにレーザー光を案内面の基準にするため非常に高い真

直度で浮上できる。

また、問題点としては

- (1) コイルがそれぞれ30Ω～50Ωの抵抗を持つので効率に問題がある。また制御帯域を広くするためにコイルを駆動するアンプの電源電圧を通常の50V程度より高くする必要がある。
- (2) コイルからの発熱。
- (3) ステータが棒状で、両持ちの形で固定されているので機構が固有振動数を持ちやすい、などがあげられる。

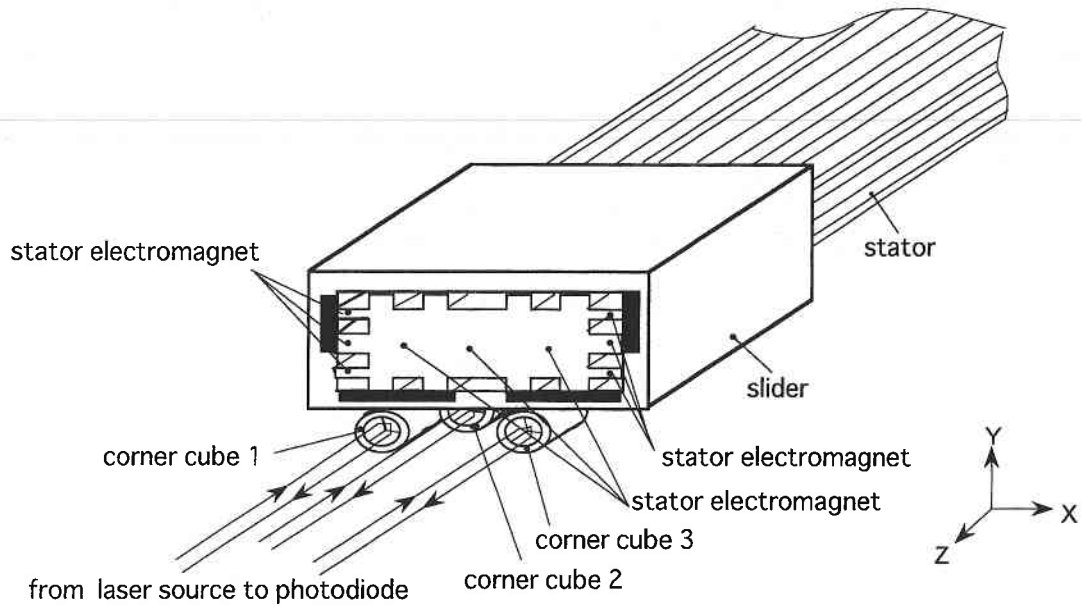


図 3 5 自由度磁気浮上リニアスライダ実験装置概略図

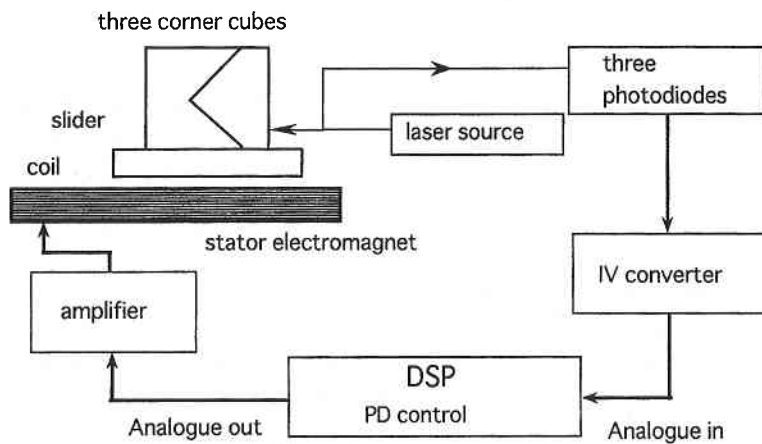


図 4 5 自由度磁気浮上制御装置構成図。フォトダイオードにより検出されたコーナーキューブの位置を一定に保つ制御をする

5. 結 言

本報では5自由度リニアスライダを製作し浮上実験を行った。その結果、乗り移りのないなめらかな浮上、案内が確認された。

今後の課題としては

- (1) 浮上精度, 案内の真直度の測定,
- (2) z 方向の位置情報を用いて意図した面や曲面に沿って浮上する機能の実現,

などがあげられる。

本浮上方法は超高真空, 超クリーン環境に対応し, かつ, 高い精度が得られるので, 精密加工, プロセッシング, クリーンルーム内搬送などへの応用が期待できる。

謝 辞

本研究の実施にあたりご協力頂きました光洋精工株式会社の上山様, 高畑様, 生産技術研究所試作工場のみなさんに御礼申し上げます。
(1994年 9 月 19 日 受理)