

# レーザー光を基準に用いた磁気浮上装置 —— 5 自由度能動制御型リニアスライダ ——

A Laser Guided Magnetic Suspension System for a linear Slider  
—— 5 Degree of Freedom Control ——

川 勝 英 樹\*・ハネス プロイレル\*・渡 邊 道 仁\*  
Hideki KAWAKATSU, Hannes BLEULER and Michihito WATANABE

## 1. 要 旨

今までに、1 自由度磁気浮上機構を用いてレーザー光を基準とした磁気浮上制御が可能であることを確認している<sup>1)</sup>。本研究では、1 自由度での実験で得られた指針に基づき、5 自由度能動制御型のリニアスライダを設計試作し、その性能を評価した。本報では、リニアスライダとしての案内の真直度の測定を除く、浮上精度の測定結果について報告する。実験では、長時間スケールにおいて0.5 $\mu\text{m}$  (p-p)、短時間スケールで0.1 $\mu\text{m}$  (p-p)の浮上精度を確認している。採用した光学系の選択基準などについても言及する。

## 2. 緒 言

前報<sup>1)</sup>ではレーザー光を基準に用いた磁気浮上機構についてその基本構想、光学系の比較を述べ、1 自由度実験を行い、リニア浮上機構の可能性を確認した。本報では、リニア浮上機構を実現するための、光学系の例を示し、どのようにリニア浮上機構の位置や姿勢を検出し制御するのかを論じる。また、試作した5 自由度能動制御型浮上機構において、案内の真直度の測定を除く浮上精度の測定を行ったので報告する。

## 3. 基本構想

前報において比較した光学系は次の3つである。(a)受光素子を浮上体に固定する形式、(b)浮上体にプリズム(コーナーキューブ)を固定する形式、(c)浮上体に直角プリズムを2つ固定する形式。これら光学系の特徴は次のように考察される。

- (1) リニア浮上体が案内方向へ移動したときの浮上の真直度を考慮すると(a)と(c)が優れている。
- (2) (b)と(c)は浮上体から配線の必要がない。
- (3) (b)において反射機構としてコーナーキューブを使用することにより、反射光を確実に受光素子で検出できる。

また、装置全体の小型化が可能である。

光学系設計の注意点を次に挙げる。

- (1) 一本のレーザー光からなるべく多くの浮上体の姿勢や位置の情報を得ること。
- (2) 浮上体のローリングやピッチングなどの姿勢変化によって反射体の姿勢が変化しても、浮上体のギャップ方向の浮上位置の情報が正確に検出されること。

これらの観点から光学系を設計する。本報で試作した光学系を図1に示す。この光学系は形式(b)に基づいたものである。レーザー光はビームスプリッターとプリズムによって3本の平行光に分割される。これら3本のレーザー光によって浮上体を浮上させる面を定義する。3本の

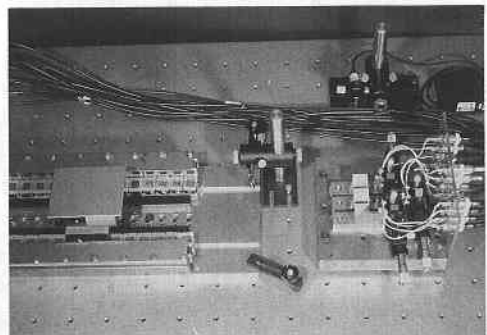
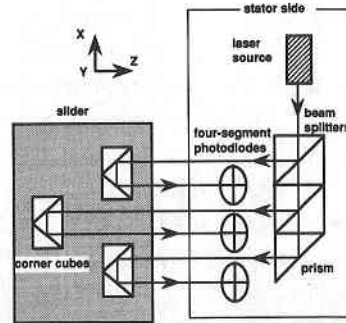


図1 リニア磁気浮上装置光学系。(a)光学系概略図。3本の平行光をコーナーキューブに入射し、姿勢を検出する。

\*東京大学生産技術研究所 第2部

レーザ光はそれぞれ浮上体に固定された3個のコーナーキューブで入射光と平行な方向に反射される。反射光はそれぞれ固定側に設置した四分分割型フォトダイオードにあたり、各コーナーキューブの変位を検出する。

光学系に形式(b)を採用した理由を次に示す。

(1)コーナーキューブの入手性。(2)コーナーキューブは、その姿勢によらず反射光と入射光が平行である。そのため受光素子は反射光を確実に検出でき、浮上体のローリングやピッチングに干渉されることなく反射体の  $x, y$  方向の並進変位を検出できる。コーナーキューブを用いた図1の光学系の構成で浮上体の案内方向 ( $z$  方向) の位置を除くすべての位置と姿勢の情報が得られるので、リニア浮上機構の制御が実現できる。なお、本報の実験で採用しなかった形式(c)については、より高い案内の真直度が期待できる。今後の研究課題としたい。

4. 実 験

4.1 実験装置

実験装置の外観を図2に、装置構成図を図3に示す。浮上体は寸法84×60×10mmのアルミの本体に、20×60×9mmの鉄芯磁極を2個両側に固定したものである。浮上体の上面に3個のコーナーキューブが固定されている。浮上体の下面と固定側には永久磁石を固定し、浮上体の  $y$  方向の荷重を支える。電磁石は  $x, \theta_y$  方向浮上制御用に1対、 $y, \theta_x, \theta_z$  方向浮上制御用に1対設置し、

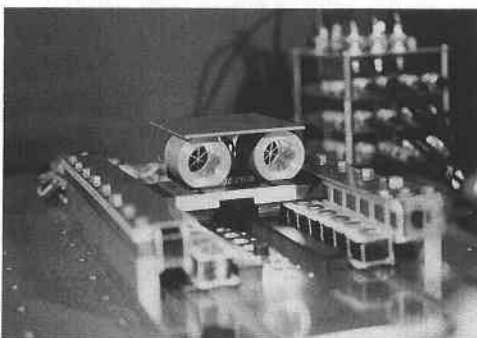
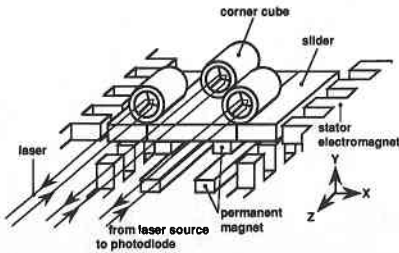


図2 5自由度能動型磁気浮上機構実験装置図  $x, y$  各一對の電磁石により、浮上体の5自由度の姿勢制御を行う。

浮上体を吸引制御する。固定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。受光素子には四分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固定点での2方向の変位 ( $x, y$  方向) を検出する。3つのフォトダイオードの各出力は電流・電圧変換後、所定の演算を行い、入射スポットの位置を算出する<sup>2)</sup>。その出力は姿勢分離回路に入力され、 $x, y, \theta_x, \theta_y, \theta_z$  の5自由度の姿勢に分離される。得られた各自由度の変位信号を用いて比例微分制御を行う。

4.2 実験結果

浮上ギャップは  $x, y$  方向それぞれ0.3mmにした。コーナーキューブ固定点における  $y$  方向の浮上体の変位を分解能0.1 $\mu$ mの静電容量型ギャップセンサで測定した。測定結果を図4に示す。

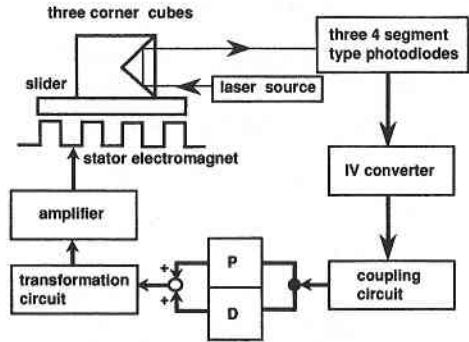
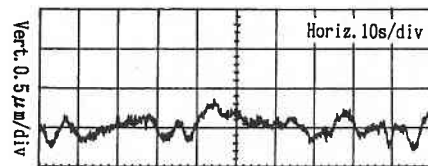
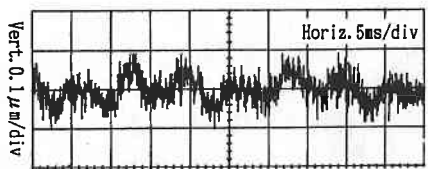


図3 5自由度能動型磁気浮上機構実験装置構成図フォトダイオードにより検出された各変位を姿勢分離回路により5自由度に分離し、比例微分制御を行う。



(a)



(b)

図4 測定結果 空气中(断熱箱)で測定。ビームスプリッタから反射体までの距離約400mm。(a)縦軸0.5 $\mu$ m/div, 横軸10s/div, (b)縦軸0.1 $\mu$ m/div, 横軸5ms/div。

## 研究速報

## 5. 今後の課題

以下に今後の課題を列挙する。

- (1) 空気のゆらぎの低減。これには励磁コイル、光学系の配置を検討する。
- (2) 光の面を定義する手順の確立。フォトダイオードを用いた治具を作製する。
- (3) 案内の真直度の測定。磁極から磁極への乗り移りを行う際の浮上精度や案内の真直度を測定する。
- (4) 光学素子の加工精度に影響されない光学系(形式(c))によるリニア浮上機構の実現。
- (5) 今までの光のスポットの変位を直接計測する方法に加え、レーザ干渉を用いた浮上案内制御について研究する。
- (6) 平面案内型、回転型の研究。

## 6. 結 言

本報では、リニア浮上機構の光学系を設計し、5自由度能動型磁気浮上装置を試作し、浮上実験を行った。実験の結果、100sの時間間隔では $0.5\mu\text{m}$ (p-p)、50msの

時間間隔では $0.1\mu\text{m}$ (p-p)の浮上精度を確認した。長期時間間隔における浮上の変動は、電磁石からの熱による空気のゆらぎによるものと考えられる。この変動は光学素子位置の配慮や作動環境を真空にすることなどにより低減されると考えられる。

本浮上方法は、超高真空、超クリーン環境に対応し、かつ高い案内精度が得られる。そのため、科学分析器や精密加工、プロセッシングへの応用が期待できる。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、御協力いただきましたセイコーエプソン(株)・植高康徳様、日本精工(株)・堀越敦様、小森竜夫様に深く御礼申し上げます。

(1993年3月11日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 川勝英樹, 川合稔, 渡辺道仁, 1992年度精密工学会秋季大会講演論文集
- 2) 浜松ホトニクス(株)カタログ