

## 平面型リニアパルスモータの閉ループ精密位置決め

### A Close Loop Positioning System of a Dual-Axis Linear Motor

新宮博康\* 鷲見哲雄\*

Hiroyasu SHINGU Tetsuo SUMI

野平重光\*\* 古橋秀夫\*\*\* 内田悦行\*\*\* 山田 諄\*\*\*\*

Shigenitsu NOHIRA Hideo FURUHASHI Yoshiyuki UCHIDA Jun YAMADA

**Abstract** A dual-axis positioning system of high accuracy has been developed using two Sawyer linear motors. The fundamental positioning characteristics of the motor have been described. Maximum absolute positioning errors on the positioning plane were mechanically improved within  $12[\mu\text{m}]$ . A Fizeau-type laser interferometer with a resolution of  $0.2[\mu\text{m}]$  was used for displacement measurement. The positioning accuracy has been improved within  $1[\mu\text{m}]$  by using a microstep electric operation and a computer controlled close loop operation.

#### 1. はじめに

半導体検査装置や工作機械等の直線形精密位置決め装置に対して速度、精度の向上が求められている。しかし従来用いられてきた回転機では、回転運動を直線運動に変換するため、高速化に問題があった。リニアパルスモータを位置決め装置の駆動源として用いた場合、複雑な運動変換機構が不要なため、速度特性や信頼性に優れている。その反面、分解能や精度を上げるためには精密な加工技術を要し、そのために限界があった。そこでこの問題を制御技術により解決する方法が検討されている<sup>1)</sup>。著者らは、平面2軸永久磁石型リニアパルスモータの高速化を図り<sup>2)</sup>、マイクロステップ駆動の電子制御システムを試作し、分解能を向上させた<sup>3)</sup>。また、フィゾー型レーザ干渉変位計を用いて位置決め特性を測定し、

周期性誤差を見出した<sup>4)</sup>。この周期性誤差を制御信号とする開ループ制御を試み、位置決め精度の向上を図った<sup>5)</sup>。

本論文では、位置決めセンサとしてフィゾー型レーザ干渉変位計を用い、閉ループ制御で位置決め精度の向上を図った<sup>6)</sup>。

#### 2. 位置決め制御システム

##### 2.1 リニアパルスモータの構造

対向した2つの磁性体間に磁界がかかると、両者に磁気吸引力が発生する。この吸引力を利用して直線的駆動力を発生させるのがリニアパルスモータである。図1に本研究で使用したソーヤ原理に基づく永久磁石型リニアパルスモータの構造を示す。可動子は1つの永久磁石と2つの電磁石で構成されている。固定子は等ピッチで歯が並んだ構造になっている。このモータは電磁石に交互にパルス電流を流し、永久磁石の磁力を順次切り替えることにより1/4ピッチステップで移動する。またパルス電流のかわりに位相差 $90^\circ$ をもつ2つの正弦波駆動電流を流すこ

\* 電気工学科

\*\* 大学院 電気工学専攻

\*\*\* 情報通信工学科

\*\*\*\* 電子工学科

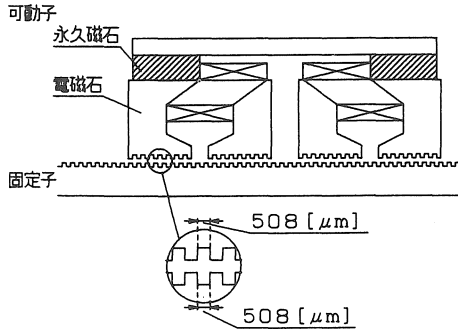


図1 リニアパルスモータの構造

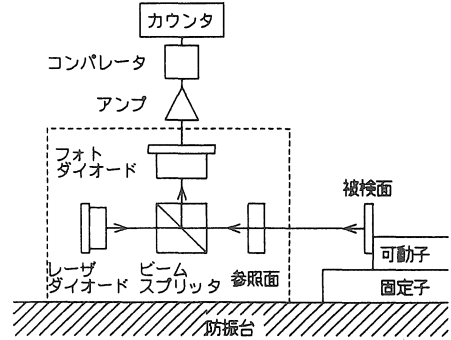


図2 変位計の構成

とにより、リニアパルスモータを同期モータとして駆動させることができる。本研究で試作した制御器ではこの正弦波駆動電流を1周期あたり508分割し、可動子を $1[\mu\text{m}]$ ステップで駆動させた。そのときの同期駆動の最大速度は負荷 $1[\text{kg}]$ に対して $350[\text{mm/s}]$ である。

## 2.2 変位計の構成

可動子変位を精密に測定する変位計に、フィゾー型レーザ干渉変位計<sup>7)</sup>を用いた。構成を図2に示す。半導体レーザからのレーザ光を測定ヘッド内の参照面と可動子上の被検面で反射させ、それぞれの反射光を干渉させる。この干渉光の光強度を光検出器で検出する。レーザの波長を $\lambda$ とすると検出された光強度信号は可動子の変位 $1/2\lambda$ 周期で周期的に変化する。この信号を2値化計測することにより、 $1/4\lambda$ 周期で可動子変位を測定することができる。この変位計は光を用いるため、非接触で変位測定ができ $\lambda=780[\text{nm}]$ のレーザを用い、測定分解能 $0.2[\mu\text{m}]$ 、応答速度 $20[\text{mm/s}]$ の特性をもつ。

## 3. 位置決め誤差特性

変位計を位置決めセンサとする位置決めシステムを構築し、リニアパルスモータの位置決め誤差特性を測定した。測定結果の一例を図3に示す。可動子を $1[\mu\text{m}]$ ステップで距離 $5[\text{mm}]$ を往復運動させた。誤差約 $12[\mu\text{m}]$ は、約 $8[\mu\text{m}]$ の周期性位置決め誤差、約 $4[\mu\text{m}]$ のバックラッシュならびに約 $1[\mu\text{m}]$ のランダム誤差に分けられる。

## 4. 閉ループ位置決め制御による精度の向上

可動子の位置決め精度を向上させるには、発生磁力が線形になるように可動子の構造を最適化したり磁性材料の見直しが考えられる。しかし可動子の加減問題がある。このことから、制御的に精度を向上に高い精度が要求されるなど、価格や信頼性の面させる手法が望まれる。本研究では変位計により測定された可動子位置と指令値の差を帰還させる閉ループ位置決め制御を行い、誤差の低減を図った。図4に可動子の理想的な等間隔の位置決め点と誤差を

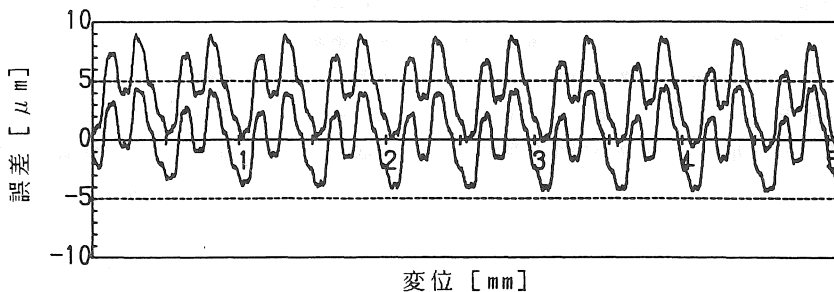


図3 位置決め誤差特性

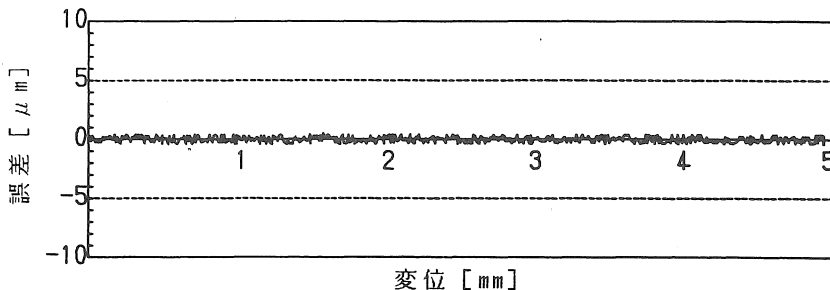


図5 位置決め特性

含む実際の位置決め点のモデルを示す。可動子のステップ変位は誤差を含み一定間隔ではないため、両者は一致しない。そこで、理想的位置決め点の前後にある実際の位置決め点のうち理想的位置決め点に近い方を選び、その点を新たな位置決め点とする。この手法により 10[ $\mu\text{m}$ ]ステップで位置決めを行い、誤差を測定した結果の一例を図5に示す。この結果、誤差を約1[ $\mu\text{m}$ ]まで低減させることができた。

しかしこの方法では可動子の変位を常時モニタする必要がある、また可動子の変位速度が変位計の応答速度20[mm/s]により制限される。

5. まとめ

試作した平面2軸永久磁石型リニアパルスモータの位置決め誤差約 12[ $\mu\text{m}$ ]を、開ループ位置決め制御により、モータの分解能と同じ約1[ $\mu\text{m}$ ]まで低減させた。位置センシングには分解能0.2[ $\mu\text{m}$ ]のフィゾー型レーザ干渉変位計を用いた。

謝辞

本研究の一部に、平成3年度中部電力基礎技術研

究所研究助成ならびに平成4年度文部省科学研究費補助金総合研究(A)の援助を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1)野平：電磁駆動リニアパルスモータの精密位置決め技法に関する研究，平成4年度愛知工業大学修士論文，1993。
- 2)野平，内田，新宮，鷺見，張：リニアパルスモータを用いた高速位置決め制御，電気学会リニアドライブ研究会資料，No.LD92-16，pp.1-5，1992。
- 3)新宮，張，野平，内田，鷺見：平面型リニアパルスモータの位置決め制御システム，愛知工業大学研究報告，Vol.27B，pp.217-220，1992。
- 4)Y.Uchida, S.Nohira, Y.Seike, H.Singu, T.Sumi, H.Furuhashi, J.Yamada：A Control System for Dual-Axis Linear Motor, Proc. of 1992 Korean Automatic Control Conference, International Sessions, (Seoul, Korea), pp.340-343, 1992.
- 5)Y. Uchida, H. Singu, T. Sumi, S. Nohira, H. Furuhashi, J. Yamada, J. Zhang, L. Zhou：Computer Controlled Positioning System for Electromagnetic Linear Motor, The Second Asian/Pacific International Symposium on Instrumentation, Measurement and Automatic Control, (Xi'an, China), 1993 (accepted).
- 6)野平，新宮，鷺見，香田，内田，山田：リニアパルスモータの位置決め誤差補正，平成5年電気学会全国大会，No.858，1993。
- 7)古橋，内田，山田，三宅，飯田，後藤：フィゾー型レーザ干渉変位計の開発，レーザ研究（投稿中）。

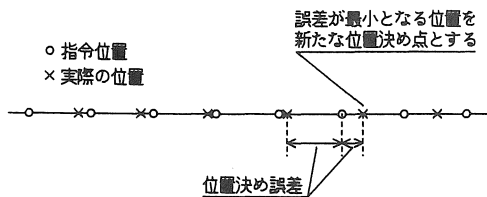


図4 位置決め点モデル

(受理 平成5年3月20日)