真空雰囲気中で駆動する精密位置決め

リニアアクチュエータの製作

辻元 純*

(受付1992年12月5日, 掲載決定1993年5月8日)

A Linear Motion Actuator for High Vacuum

Jun TSUJIMOTO*

(Harmonic Drive Systems Inc., 6-25-3, Minami-Ooi, Sinagawaku, Tokyo, Japan)

(Received December 5, 1992, Accepted May 8, 1993)

1. はじめに

近年では真空中におけるミクロな分析, 作業が必要とされ, 高精度な位置決め技術が要求されるようになってきている. そのような真空中での位置決めは一般にチャンパーの外からベローズあるいはマグネチックカップリングを介して行っているのが実情である. このため, 装置が大型化し, さらに複雑な運動機能や高精度の位置決めを行う事ができないと言う問題を生じている. これに対し, この問題を改善する目的でいくつかのメーカより真空中で稼働可能なステップモータが開発・販売されている¹⁻⁴⁾. また, 実際に分析装置などにおいて, 高精度の位置決めを真空中において行っている例などもある^{5,6)}.

我々は数年前より分解能が $0.0174\mu\text{m}$ なる超精密リニアアクチュエータとハーモニックドライブ™を使用したロータリー・フィードスルー⁷⁾の製作を行い, 産業各分野において使用している. 本稿においては, 真空中で駆動する超精密リニアアクチュエータを試作したので, その実験結果を紹介する.

2. 真空リニアアクチュエータの製作

新型真空リニアアクチュエータは約 10^{-6} ないし 10^{-7}

Torr (1.33×10^{-4} から 1.33×10^{-5} Pa) の真空中での駆動が可能となる事を目標とした. Fig. 1 に真空用グリースを使用したタイプ (以下真空グリースタイプ Fomblin type という) の断面図を, また Fig. 2 には固体潤滑を用い, 真空用グリースを使用しないで構成したタイプ (以下 固体潤滑タイプ Nongrease type という) の断面図を示す. 固体潤滑タイプはアウトガスのクリーン化, ベーキング可能, 10^{-7} Torr (1.33×10^{-5} Pa) 以下の圧力への可能性を目標としている. これらのリニアアクチュエータは送りねじ機構を採用している. 以下両タイプの構造を説明する.

(a) 真空グリースタイプ

- ① モータは真空ステップモータ (山洋電気株式会社) を使用し, 1 ステップ 0.36° 度をさらに $1/250$ 分割するマイクロステップ駆動を使用する.
- ② 送りネジは 0.5 mm ピッチの通常大気中に使用されている鉄系の精密送りネジを真空グリース (Fomblin YVAC-2) にて潤滑する.
- ③ ベアリングは真空用グリース (Fomblin YVAC-2) にて潤滑する.
- ④ リニアガイドも真空用グリース (Fomblin YVAC-2) にて潤滑する.
- ⑤ 外側のフレームはステンレス, あるいはアルミを使用しているが, 内部の構成部品にはステンレスやアルミ以外の金属も使用している.

* 株式会社 ハーモニック・ドライブ・システムズ
(東京都品川区南大井6-25-3 ビリーブ大森 7F)

Fig. 1 Schematic view of Fomblin type Linear Motion Actuator for High Vacuum.

Fig. 2 Schematic view of non-grease type Linear Motion Actuator for High Vacuum.

(b) 固体潤滑タイプ

- ① モータは真空グリースタイプと同じ真空ステップモータを使用した。
- ② 送りねじは0.5 mm ピッチの SUS440C による精密送りネジを使用。歯面及び滑りキーによる回転止め部はデフリックコート™ (株式会社川邑研究所) による固体潤滑をおこなっている。
- ③ ベアリングは PTFE の吹き付けによるウルトラクリーンタイプ (NTN 株式会社) を使用。
- ④ リニアガイドは二硫化モリブデンのスパッタリングによる潤滑のボールプッシュ (NTN 株式会社) を使用。
- ⑤ ネジなどを除く金属部分の全てをステンレス、あるいはアルミにより製作している。

3. 大気中での精度評価

通常の精度評価をまず大気中にて行った。代表の精度データとして、真空グリースタイプ、推力 5 kgf の時の精度評価の詳細データを Fig. 3 に示す。ロッド押し出し速度は 0.5 mm/s であり、試験は旧 JIS B 6201-1987 に

準拠して行なった。

Fig. 3(a) (b) (c) は「一方向位置決め精度」である。

(a) は 10 mm に渡り、0.1 mm おき、

(b) は 50 μm に渡り、0.5 μm おきの誤差をプロットしたものである。

(c) は 5 μm に渡り、原点より 0.05 μm おきの目標停止位置に対する実際の停止位置をプロットしたものである。

(d) は (c) における誤差をプロットしたものである。マイクロステップ駆動の影響で 0.5 μm ピッチのうねりが生じているものの、概略滑らかな動きとなっている。これより分解能は 0.1 μm 以上あることが確認できる。

固体潤滑タイプの場合も同様な試験をおこない、同等の結果を得ている。

4. 真空中での対応

4.1 真空中での精度評価

真空チャンパー内での精度評価をした試験装置の概略図を Fig. 4 に示す。ベローズを使用したリニアフィードスルーを通して、チャンパー内部のリニアアクチュエ

Fig. 3 Positioning accuracy of Fomblin type Linear Motion Actuator with 0.75 A current.

Fig. 4 Schematic diagram of the test chamber for outgassing-rate measurement and apparatus measuring repeatability of linear motion in High Vacuum.

ータのロッドの動きをチャンバー外にて測定している。真空と大気の圧力差による吸引力がリニアアクチュエータのロッドにかからないようにするために、力を相殺するためのエア・シリンダーを取り付けている。Fig. 4のリニアフィードスルー両側の2つのエア・シリンダーがそれである。リニアアクチュエータのロッドへの押

しつけ荷重はその反対側に配置されたエア・シリンダーにより負荷される。

この結果真空グリースタイプでの繰り返し位置決め精度は0.72 μ mであった。固体潤滑タイプでもほぼ同様の値である。

Fig. 5 Pressure rise during the movement of Fomblin type linear actuator.

4.2 リニアアクチュエータ駆動時の圧力変化

真空グリースタイプのリニアアクチュエータを駆動及び停止したときの圧力の変化を Fig. 5 に示す。この時の駆動速度は 0.5 mm/s である。10⁻⁶ Torr (1.33 × 10⁻⁴ Pa) 程度まで圧力が上昇すると、このような変化は確認できない。

4.3 駆動速度

真空中内においてロッドの押し出し速度を少しずつあげていきステップモータが脱調する速度を測定した。

その結果最大 0.74 mm/s (7400 PPS) までステップモータは脱調しなかった。

5. 結 論

- ① 0.1 μm の分解能
- ② ±2 μm の繰り返し位置決め精度
- ③ 最大ロッド押し出し速度 0.74 mm/s

の特性を持ち、10⁻⁷ Torr (1.33 × 10⁻⁵ Pa) の圧力下で

駆動可能な、超精密リニアアクチュエータを試作する事が出来た。

〔文 献〕

- 1) 山洋電気(株): 超高真空用ステッピングモータ (カタログ)
- 2) 助川電気工業(株): 真空ステップモータ (カタログ) 1986
- 3) 楠ら: 超高真空用ステッピングモータの開発, 真空 第30巻 第7号 (1987) 619/623
- 4) 武松ら: 固体潤滑 AG (Axial gap) ステッピングモータの超高真空性能, 第34巻 第3号 (1991) 318/321
- 5) 初澤ら: マイクロパターン絶対測長装置の開発, 計測自動制御学会論文集 Vol. 26, No 9, 983/988 (1990)
- 6) 石丸ら: 極高真空中のボールねじの長寿命化, トライボロジスト 第36巻 第12号 (1991) 947-951
- 7) 林ら: ハーモニックドライブ・ロータリー・フィードスルーの開発, 真空 第31巻 第5号 (1988) 351/3