

# 「SANMOTION」 小型シリンダリニアサーボモータの開発

唐 玉琪

Yuqi Tang

田中 正軌

Masanori Tanaka

## 1. まえがき

産業用機械装置の駆動部は、高速化・高精度化の要求が年々増えている。特にスマートフォンやタブレットPCなどの普及により、小型・高性能な製品の製造に適した駆動用モータの需要が高まってきている。

リニアサーボモータは、ボールネジなどの「回転→直動変換」機構を介さずに、直接リニア駆動するため、機械装置の高速化と高精度化に大きく寄与することができる。当社リニアサーボモータも電子部品実装機や半導体製造装置など、多くの用途に採用いただいている<sup>(1)</sup>。

当社のリニアサーボモータは、シリンダタイプ、フラットタイプとツインタイプの3種類を製品化している。シリンダタイプは、主に加工装置の垂直軸（Z軸）向けに開発した円筒状リニアサーボモータである。一般的な回転モータと同様に、マグネットを可動側に配置した構造であり、給電ケーブルは固定されている。また、磁気吸引力がバランスされるように円筒形状を採用している。そのため、支持機構の簡略化や、可動子が軽量化できることから、ショートストローク、ハイヒットレートの用途に適している<sup>(2)</sup>。

本稿では、新規開発した小型シリンダタイプリニアサーボモータ（以下「小型シリンダリニア」と略す）について、開発背景、開発品の概要、性能・機能および開発品の特長を紹介する。

## 2. 開発の背景

電子部品実装機のチップ装着ヘッドなどの用途には、高加減速駆動、かつ高デューティの連続運転が求められる。それらを実現するために、駆動部にリニアサーボモータを採用し、ダイレクト駆動することは、有効な手段の一つである。

チップ装着ヘッド用Z軸リニアモータに対する市場要求を以下に示す。

- (1) 高加減速化を実現するための大推力化。
- (2) チップ装着ヘッドの小型・軽量化のためのモータの小型化。
- (3) 決められたスペースに複数のモータを並べることができるモータ幅寸法とモータ構造。

これらの市場要求に応えるために、小型・大推力を実現した12mm幅の小型シリンダリニアを開発した。

## 3. 開発品の概要

### 3.1 外観・構成

図1に開発した小型シリンダリニアの外観を、また 図2には小型シリンダリニアの構成詳細と寸法を示す。

本開発品は、12mm幅の小型化を実現しつつ、リニアエンコーダとリニアガイドを内蔵したオールインワン構造を有している。モータは、ステンレスパイプの中に磁石を内蔵した可動子と、強制空冷機構を設けたアルミフレームにバックヨーク付のコイルを配置した固定子で構成されている。

可動子は、固定子の両端に配置したリニアブッシュに支持されることでリニア駆動する。また、リニアエンコーダの検出スケールは回転止め用のリニアガイドに案内されながら、可動子に連結したことで、リニアエンコーダの信号ケーブルも動かない構造になっている。

固定子（電機子）は、円筒コイルの外側にバックヨークを設けることで、磁石の磁束をより効果的に利用することができると共に、モータを複数並べて使用する場合の、軸間相互の磁気干渉も防ぐことができる。

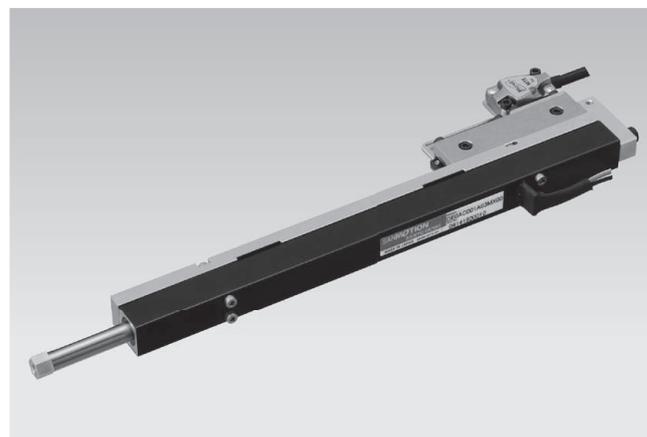


図1 小型シリンダリニアの外観

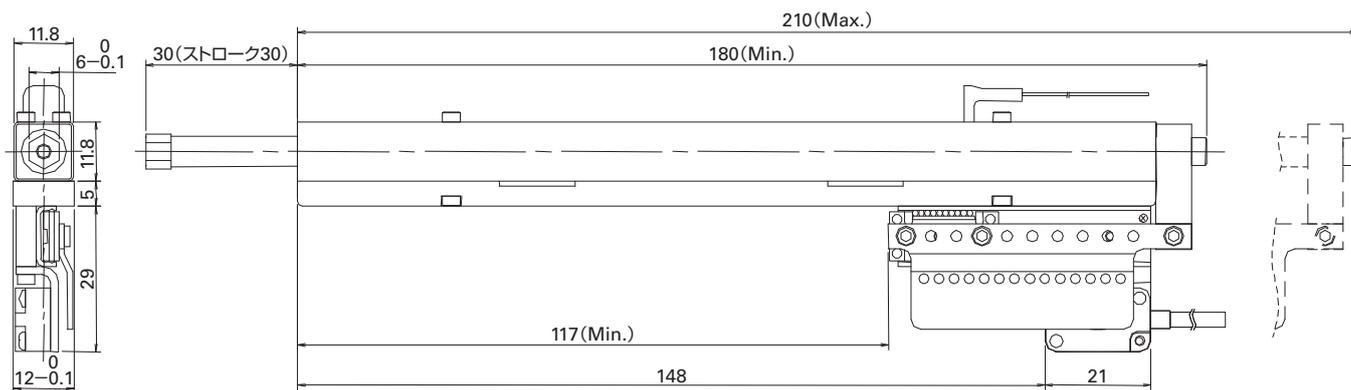


図2 小型シリンダリニアの構成と寸法

### 3.2 性能・機能

表1に小型シリンダリニアの仕様諸元を示す。

モータの最大推力は16.5N、定格推力は、自然空冷において5.1Nであり、モータの小型化と大推力化を両立した。また、無負荷最大加速度は37.4Gを達成できることから、高加減速化を実現した。さらに、モータ最大速度は2m/sであり、高速運転に適するモータの開発ができた。

表1 小型シリンダリニア仕様諸元

項目	単位	仕様
型番	—	DE0AC001A03MX00
駆動方式	—	正弦波
励磁	—	永久磁石
定格	—	連続
定格推力 $F_R$	[N]	5.1
連続ストール推力 $F_S$	[N]	5.1
最大推力 $F_P$	[N]	16.5
無負荷最大加速度 $a_{max}$	[G]	37.4
定格速度 $V_R$	[m/s]	1.0
最大速度 $V_{max}$	[m/s]	2.0
ストローク $S$	[mm]	30
可動子質量 $M_c$	[g]	45
モータ質量 $W$	[g]	185
リニアエンコーダ	—	インクリメンタル
リニアエンコーダ分解能 (4通倍後)	[ $\mu$ m]	1

## 4. 開発品の特長

### 4.1 大推力化

#### 4.1.1 磁束密度の向上

小型シリンダリニアの推力  $F$  は一般に比例定数  $K_F$  を用いて次式のように表すことができる<sup>(3)</sup>。

$$F = NBLI = K_F I \quad [N] \quad (1)$$

ここに、  
 $F$  : 推力 [N]  
 $N$  : コイルの巻数  
 $B$  : コイルに鎖交する磁束密度の平均値 [T]  
 $L$  : 1巻当たりのコイルの平均長さ [m]  
 $I$  : 電流 [A]  
 $K_F$  : 推力定数 [N/A]

式(1)に示すように、モータの推力は、コイルに鎖交する磁束密度と正比例関係になる。つまり、モータの推力を大きくするための最も重要な要素は、より多くの磁束をコイルに鎖交させることである。コイルに鎖交する磁束密度をアップするために、以下の項目を検討することで、モータ推力の向上を図った。

- 永久磁石の磁極を反発させながら同極対向配置し、磁極ピッチとコイル寸法を最適化。
- 同極対向した磁石と磁石の間にマグネットスペーサを入れることで、コイルに鎖交する磁束密度の増加と、永久磁石使用量削減を両立。
- コイルに鎖交する磁束密度が最大になる磁石長ささとマグネットスペーサ長さの比率を明確化。

図3に有限要素法で解析を行った磁石比率（磁石長さ/磁極ピッチ）の変化に伴うモータ推力特性を示す。

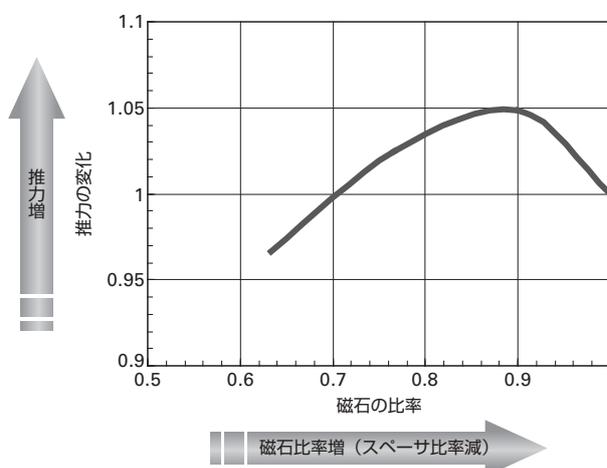


図3 磁石比率—推力特性(計算結果)

全磁石 (磁石比率=1) 使用時におけるモータの推力を“1”と仮定すると、

- 磁石比率が0.7以上の場合、モータの推力は全磁石使用時より大きくなり、永久磁石使用量の削減と大推力の両立が可能となる。
- 磁石比率は0.9近辺のとき、モータの推力が最も大きくなり、全磁石使用時の約1.05倍になった。

#### 4.1.2 推力特性

図4に、本開発品の電流 (I) - 推力 (F) 特性を、図5には、速度 (V) - 推力 (F) 特性を示す。

電流-推力特性は直線的な増加関係となり、電流が有効利用されていることが判る。また、速度-推力特性から、高速駆動と、広範囲な出力特性を有することが判る。

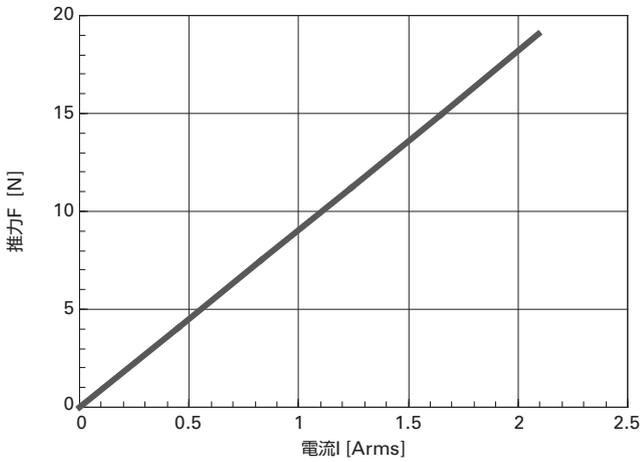


図4 電流 I - 推力 F 特性

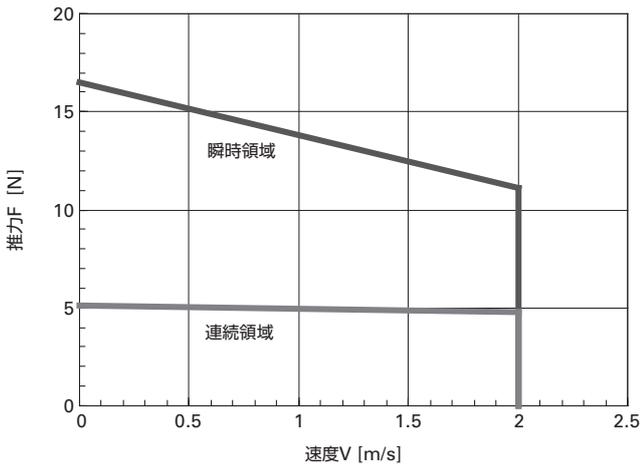


図5 速度 V - 推力 F 特性

#### 4.2 低損失化

モータ定数  $K_m$  を用いてモータの推力と損失との相関関係を評価する。小型シリンダリニアのモータ定数  $K_m$  は以下に示される。

$$\begin{aligned}
 K_m &= \frac{F}{\sqrt{P_c}} = \frac{K_F}{\sqrt{3R_\phi}} \\
 &= \frac{B}{\sqrt{3\rho}} \sqrt{\zeta A_c L} \\
 &= \frac{B}{\sqrt{3\rho}} \sqrt{\zeta V_c} \quad [N/\sqrt{W}] \quad (2)
 \end{aligned}$$

- ここに、
- $K_m$  : モータ定数  $[N/\sqrt{W}]$
  - $P_c$  : モータ銅損  $[W]$
  - $R_\phi$  : モータの相抵抗  $[\Omega]$
  - $\rho$  : 銅の抵抗率  $(= 1.673 \times 10^{-8} [\Omega \cdot m])$
  - $\zeta$  : コイルの占積率
  - $A_c$  : コイルの断面積  $[m^2]$
  - $V_c$  : コイルの体積  $[m^3]$

モータ定数  $K_m$  は磁気装荷としての磁束密度  $B$  と電気装荷としてのコイルの有効体積  $V_c$  との積であり、モータ定数が大きいほどモータは大推力・低損失となる。

モータ定数を大きくするためには、磁気装荷としての磁束密度を大きくする方法と、電気装荷としてのコイルの有効体積を大きくする方法がある。

磁気装荷としての  $B$  を大きくする方法は4.1.1に述べた通りである。また、モータの小型化要求により、コイルの体積が制限されるので、電気装荷を上げるためにはコイルの占積率を向上する必要がある。

本開発品では、整列巻でコイルの占積率アップを実現しながらコイルタップ線と、リード線などの配置と処理方法などの工夫により、コイルの巻きスペースを最大限に確保したことでモータの大推力と低損失を図った。

#### 4.3 強制空冷

本開発品は使用状況に応じ、圧縮空気をモータフレームに通し、強制空冷を行うことで連続推力を向上することができる。

図6に自然空冷と、流量6L/min (モータ1台当たり) 強制空冷時のモータの連続推力の比較を示す。

- モータ単軸 (1台) 使用時において、モータの連続推力は自然空冷の5.1Nから強制空冷の6.1Nとなり、120%向上した。
- モータ多軸 (3台) 使用時において、モータの連続推力は自然空冷の4.8Nから強制空冷の5.6Nとなり、118%向上した。

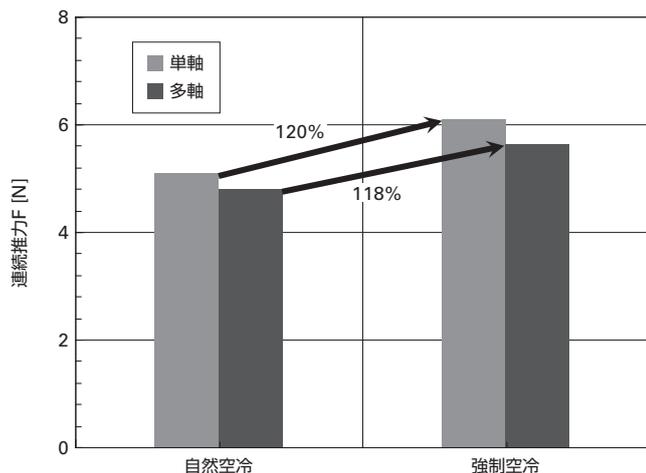


図6 使用条件によるモータ連続推力の比較  
(強制空冷圧縮空気流量：6L/min)



#### 唐玉琪

1999年入社  
サーボシステム事業部 設計第一部  
リニアサーボモータの開発、設計に従事。  
工学博士。



#### 田中正軌

2006年入社  
サーボシステム事業部 設計第一部  
リニアサーボモータの開発、設計に従事。

## 4.4 多軸配置の高性能化

図2に示したように、小型シリンダリニア電機子コイル部分は□11.8mmであり、フレーム幅の12mmより小さい。この構造は、モータを複数並べて使用する場合、以下の利点がある。

- フレーム幅に沿って、モータを簡単、かつ精度よく並べることができる。
- 強制空冷を行うとき、電機子コイルの間に隙間ができることから冷却空気の流路が確保でき、冷却効果を向上することができる。

## 5. むすび

本稿では、ショートストローク、ハイヒットレートの用途に適した小型シリンダリニアの特長を紹介した。

本開発品は、モータ幅12mmの小型でありながら、定格推力が5.1Nの大推力を実現し、リニアエンコーダ・リニアガイドを内蔵したオールインワンの構造を有している。また、単軸使用だけでなく、複数軸の並列使用も可能な構造とすることで、顧客装置の仕様にフレキシブルに対応することができる。

これらの特長は、電子部品実装機を始めとした、顧客装置の生産性向上に大きく寄与できるものと考えている。

### 文献

- (1) 小野寺悟：「SANMOTION リニアサーボモータ コア付小型タイプ」, SANYODENKI Technical Report, No.37, pp.28 (2014).
- (2) 杉田聡, 三澤康司, 唐玉琪, 高橋昭彦：「産業用リニアサーボモータの紹介」, 平成26年電気学会全国大会シンポジウム, S24-2 (2014).
- (3) 山田一：「産業用リニアモータ」, 工業調査会, pp.11 (1981)