

「リニアサーボモータシステム」の紹介

鈴木 信二 村山 良知 杉田 聡 藤沢 健一
Nobuji Suzuki Yoshitomo Murayama Satoshi Sugita Kenichi Fujisawa

1. まえがき

リニアサーボモータは、直線運動のダイレクトドライブとして、高速制御性がよい点が注目され、将来性を期待されてきたが、汎用性の無さ、コスト高などから市場はなかなか広がらず、OA分野、および半導体分野が主流であった。

産業用のリニアサーボモータは、用途、目的から比較的短いストロークの位置決め用と、それ以外の主に搬送用に大別される。

位置決め用リニアサーボモータは半導体、液晶関連装置がほとんどであったが、ここ2～3年工作機械市場での用途開発への動きも活発化してきた。世界最初の開発品は、1993年にインガソール社がアノラッド社のリニアサーボモータを搭載した応用工作機械である。その後、国内でも、リニアサーボモータ応用工作機械LMT96(マシニングセンタ)が'96JIMTOFで発表された。さらに、「ハノーバーEMO97」では、実に21台ものリニアサーボモータ搭載機が出展され、各社がリニアサーボモータを工作機械へ搭載し実用研究段階に入ったことをうかがわせている。

一方の搬送用リニアサーボモータは、半導体製造装置、医療診断装置および自動車関連などの比較的軽量物の高速搬送用として使用されているが、最近では比較的長距離のロボット走行装置への採用の意向が見受けられる。

このような応用工作機械へのリニアサーボモータの採用への動きは、工作機械関連および他産業への波及効果となり、リニアサーボモータ市場の拡大が期待できる。

2. 開発の背景

製造産業の高効率化の動きの中で、機械装置メーカーから、高速化(タクトタイムの短縮)、小型化に合致したアクチュエータへの強い要望がだされている。アクチュエータの用途の大半は直線運動用途であり、現在主流である回転型で追求した場合、回転運動を直線運動に変換する、カム、ギア、リンクなどの機構が必要であり、高速化への追求に限界が生じる。この限界をこえた高速化と小型化を同時に実現するためには、リニアサーボモータシステムが最適である。

リニアサーボモータに関しては、当社の[サーボモータの長・中期開発の取り組み]の重要なテーマの一つであり、大学などの研究機関の援助を得て、調査段階を経て開発の模索をしていたところであった。

リニアサーボモータの先行開発メーカーとして世界には、アノラッド社、インドラマット社、およびコールモルゲン社の3大メーカーがあるが、この時点にコールモルゲン社と出会ったことは絶好の機会であった。

コールモルゲン社からのプレゼンテーション・カタログなどの資料を分析した結果、他社より優れた特長があることが理解できた。当社としても、開発資源の効率化を図り、コールモルゲン社と販売契約を結ぶこととした。コールモルゲン社の開発したリニアガイド方式コア付き型およびリニアガイド方式コアレス型の2種類と、当社独自で開発するシリンダ方式コア付き型の合わせて3シリーズを'97年10月の「システムコントロー

ルフェア97」、「'97国際ロボット展」に発表した。[\(写真\)](#)

3. リニアサーボモータの特徴

(1)リニアサーボモータはダイレクトドライブ方式であり、機械のバックラッシュレスで高剛性の装置が構成できるため、高応答・高精度位置決めが可能である。しかし回転型のように減速機を使用出来ないため、外乱には弱い欠点がある。この欠点を補うためには、一般の回転型モータ用サーボアンプに、フィードフォワード制御などの制御方式の追加が必要である。

(2)変換機構がないため、発塵が少なくクリーン度を要求する装置には適しているが、モータ自身は全閉(気密)構造の保持が困難である。むき出しの永久磁石への切り粉や鉄粉の付着、油や粉塵による汚れなどに対する対策が必要である。本件はリニアスケールの取り付けに関しても同一の対策が必要である。

4. 製品紹介

4.1 リニアサーボモータの位置付け

開発製品を明確にするため、回転型に対する3機種的位置付けを[図1](#)に示す。今回の開発機種は3機種とも、LSM(リニア同期モータ)である。

4.2 リニアガイド方式コア付き型

リニアガイド方式コア付き型は、比較的重量が大きく、大推力の性能があり、発熱量も従来品に対し50%である。

この新製品の特徴は下記の通りである。

(1)大推力

(2)低コギング

[仕様] 最大推力 300~16000N

連続推力 150~8000N

[用途] ロボットの走行軸、長距離搬送装置

リニアガイド方式のリニアモータの速度は1~3m/s、加速度は2~3G程度が一般的である。負荷の質量に左右されるが、このモータは速度5m/s以上、加速度5G以上の性能を持っている。[図2](#)の推力密度比較グラフに示すようにこの機種は永久磁石型の他社製品に比較し、推力密度が1.6倍以上ある。従って同一推力のモータでは寸法が60%以下に小型化されていることを意味している。[図3](#)の推力/消費電力特性比較グラフからわかるように同一推力のモータで比較すると、損失が60%程度である。機械装置メーカーにとって、小型で損失の少ないリニアモータは最大のメリットである。

実使用に対して、リニアガイド方式コア付きモータは、コギング推力、磁気吸引力、およびコイルとマグネット間の空隙の設定などの問題がある。

当社製品のコギング推力比率は他社製品(最大推力の8%)に比較し3%程度である。

磁気吸引力の大きさは概略瞬時最大推力の5倍である。この磁気吸引力はリニアガイドで受けるため、リニアガイドの選定にあたっては、許容荷重など十分に考慮する必要がある。また組み込み方法に関しては安全性を第一に考え、特殊な工具など準備が必要である。

コイルとマグネット間の空隙の設定は基準値は0.8mmである。

空隙の変化と推力定数の関係は、0.1mm大きくなると概略2%低減する。[図4](#)に外形図面と概略仕様を示す。

4.3 リニアガイド方式コアレス型

リニアガイド方式コアレス型は、軽量、高加速の特徴をいかし、光軸移動型レーザー加工機、半導体製造機械、光学機械、および計測器などにすぐれた能力を発揮する。

この新製品の特徴は下記の通りである。

- (1)小推力
- (2)高加速

[仕様] 最大推力 120～800N

連続推力 38～245N

[用途] 光軸移動型レーザー加工機、半導体製造機械、光学機械、計測器

本モータの特徴である加速性能は、可動部(コイル)の5倍の質量の負荷で、概略10Gの性能がある。

コア付きのような磁気吸引力は発生しないため、軽荷重用のリニアガイドが使用できるメリットがあり、組み込みに関しても、危険な作業は発生しない。

コア付きでは、コイルとマグネットの空隙は推力に影響するが、コアレスでは、コイルとマグネットの空隙は両側に0.4mmづつの設定であるが、コイルが機械的に干渉しない範囲で、両側の空隙に空隙偏差があっても、推力特性にはほとんど影響しない利点がある。

[図5](#)にリニアガイド方式コアレス型の仕様と外形寸法を示す。

4.4 シリンダー方式コア付き型

ショートストローク、ハイヒットレートの性能をもつ、シリンダー方式は、高速化、小型化を実現し、IP55の防塵規格をクリアしている。この新製品の特徴は下記の通りである。

- (1)小型
- (2)ショートストローク

[仕様] 最大推力 200～1000N

連続推力 100～420N

[用途] 穴明け機、マウンタ、編み機

シリンダー方式はリニアガイド方式と比較し下記のような特徴を有している。

- (1)モータ・センサが、回転型と同様に一体構造であり、回転型と同様に使用しやすい。
- (2)出力軸を除くと防水性能はIP55相当である。
- (3)可動部がマグネット部であり、コイルが固定のため、可動ケーブルがなく、高い信頼性を保持する。
- (4)可動部のマグネットが固定子のコイルの内径にバランス良く配置されているため、回転型と同様にボールスプライン軸では磁気吸引力が相殺され、軸受けの寿命を伸ばす効果がある。
- (5)巻線構造がボビン巻構造で有り、作業性に優れてる。
- (6)構造上長いストロークの製品開発は困難である。
- (7)LPM(リニアパルスモータ)のシリンダー方式に比較して、大きな推力が得られる。
- (8)可動部の質量が小さいことから、高い加速性能が得られる。
- (9)リニア同期モータ(LSM)のシリンダー方式として、構造特許申請中である。

[図6](#)にシリンダー方式コア付きの外形図面と概略仕様を示す。

5. むすび

今後リニアモータ市場の拡大を図るためには、リニアモータ本体の低価格化、低熱損失化、小型化、および制御技術は勿論のこと、リニアモータを使用する装

置の周辺技術の開発が大きな鍵となる。

制御技術に関しては、耐外乱性、高速化、位置決め精度、高精度、速度変動、同期制御、などの問題があり、対応として下記のような方向で進めている。

- (1) ダイレクトドライブ制御の問題をクリアするリニアモータ用のアンプを開発し回転型にも採用し共用化する。
- (2) SERCOSインタフェース版を開発しS-MACに接続する。
- (3) セットアップソフトの開発をする。

周辺技術としては、

- リニアガイド: 許容速度・許容加速度・剛性・振動・騒音
- リニアスケール: 低価格・高精度・高分解能・高応答・防塵・防油対策・制動、保持ブレーキ・組み込み技術

などが上げられる。これらの対応のためには、「機械装置と一体となったリニアモータ」を基本的な考えで、技術開発に取り組み問題解決をしていく必要がある。

鈴木 信二

1966年入社

サーボシステム事業部

村山 良知

1980年入社

サーボシステム事業部 サーボ技術部

サーボシステムの設計・開発に従事

杉田 聡

1995年入社

サーボシステム事業部サーボ技術部

リニアモータの設計・開発に従事

藤沢 健一

1992年入社

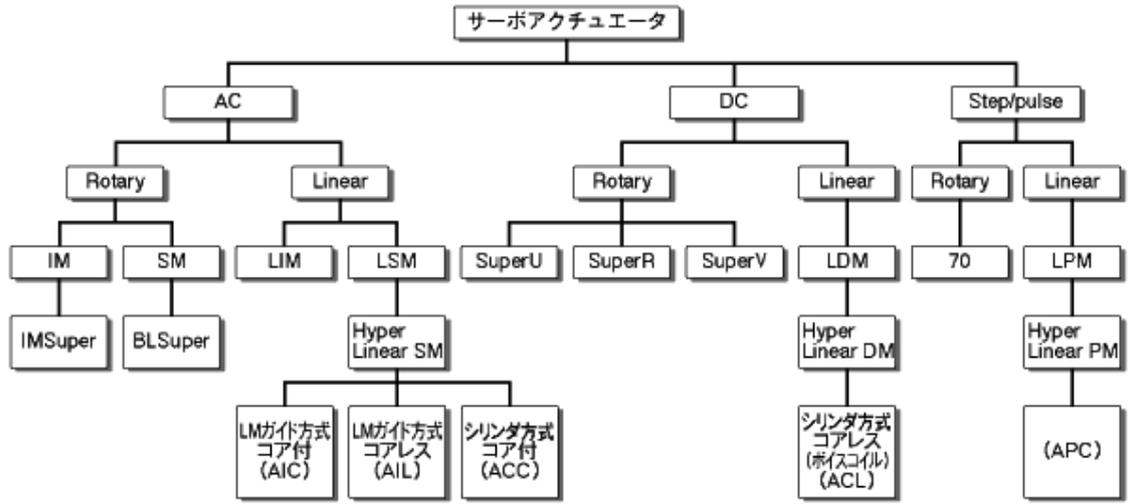
サーボシステム事業部 サーボ技術部

サーボアンプの設計・開発に従事

リニアサーボモータ外観(3シリーズ)



図1 リニアサーボモータの位置付け



“Hyper Linear”は、リニアサーボモータの呼称
 “Super”は、回転型サーボモータの呼称

図2 他社との推力密度比較

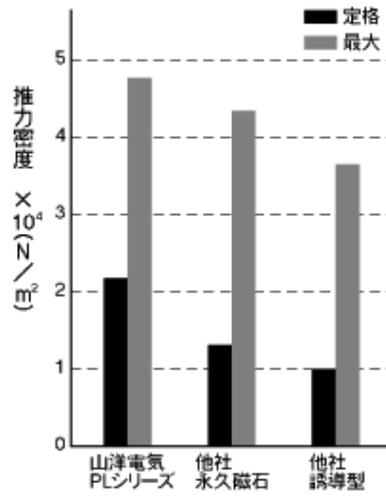


図3 他社との推力／消費電力特性比較

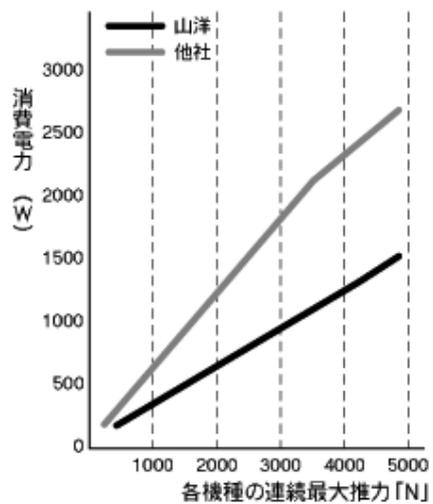
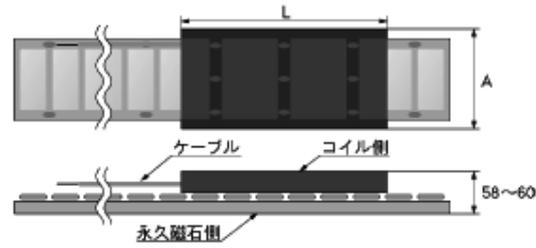
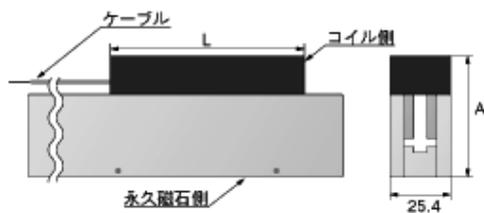


図4 リニアガイド方式コア付型・AICシリーズ外形図



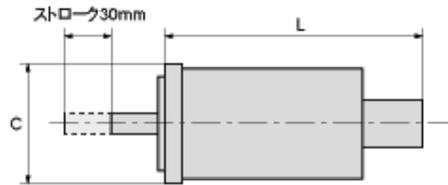
タイプ	最大推力 (N)	連続推力 (N)	L (mm)	A (mm)
1	300	147	200.2	65
2	500	270	200.2	85
3	600	294	376.2	65
4	900	441	552.2	65
5	1000	590	200.2	135
6	1000	540	376.2	85
7	1200	810	552.2	85
9	2000	1280	200.2	235
10	2000	1179	376.2	135
11	2000	1080	728.2	85
12	3000	1767	552.2	135
13	4000	2474	376.2	235
14	4000	2358	728.2	135
15	6000	3711	552.2	235
16	8000	4947	728.2	235
17	16000	9890	1104.4	335

図5 リニアガイド方式コアレス型・AILシリーズ外形図



タイプ	最大推力(N)	連続推力(N)	L (mm)	A (mm)
1	120	38	110.7	78.0
2	200	61	110.7	98.0
3	240	76	206.7	78.0
4	360	114	302.7	78.0
5	400	123	206.7	98.0
6	480	152	398.7	78.0
7	600	184	302.7	98.0
8	800	245	398.7	98.0

図6 シリンダー方式コア付型・ACCシリーズ外形図



型番	寸法「mm」		最大連続推力 F _c [N]	瞬時最大推力 F _p [N]	可動部質量 Kg
	角C	全長L			
ACC07-094	76	295	100	200	1.7
ACC08-094	86	305	200	400	1.95
ACC08-136	86	350	300	600	2.35
ACC12-094	120	305	420	1000	2.4