

シリンダ方式コア付型 リニア同期モータの駆動特性

牧内一浩
Kazuhiro Makiuchi

杉田 聡
Satoshi Sugita

藤沢 健一
Kenichi Fujisawa

村山 良知
Yoshitomo Murayama

鈴木 信二
Nobuji Suzuki

1. まえがき

近年、産業機械へのリニアサーボシステム採用の動きはますます活発になりつつある。当社でも1997年からリニアサーボシステムの販売を開始し、以来多くの引き合いをいただいている。当社のリニアサーボシステムは、リニアガイド方式コア付型、リニアガイド方式コアレス型、およびシリンダ方式コア付型の3種のラインナップからなり、このうち前2者はコールモルゲン社とのOEM契約により販売しているものである。一方、シリンダ方式コア付型(Cylindrical Linear Synchronous Motor ; 以下「CLSM」という。)は当社独自の開発製品であり、密閉されたロータリモータと同様の構造を採用したことにより、防水、防塵、および耐久性の面において高信頼性を得られるという大きな特徴を持っている。

本稿では、まずCLSMの構成を示すと共に、平板状リニア同期モータとの比較に基づくCLSMの特徴を示す。次いで、CLSMの静的駆動特性および動的駆動特性⁽¹⁾を実験的に検討し、高加減速駆動、高精度位置決め用途として十分な特性を有していることを示す。

2. シリンダ方式コア付型リニアモータの構成

図1はCLSMを超高速の穴あけ機のZ軸として適用した例である。X、Y、およびZ軸をそれぞれリニアガイド方式コア付型、リニアガイド方式コアレス型、およびシリンダ方式コア付型リニアサーボシステムで構成している。中央部に取り付けられているのがCLSMである。

CLSMは、高加減速駆動、高精度位置決めを目指し、さらに従来のロータリモータ同様の取り扱いやすさ、高信頼性を有することを主眼に開発を行った。

図2に開発したCLSM(型番ACC12-094)の構造を示し、表1に主な仕様を示す。ストローク30mm、最大推力1000N、速度1.5m/s、繰り返し位置決め精度は $\pm 5 \mu\text{m}$ である。

表1 CLSMの主な仕様

	項目	数値[単位]
一次側 (ステータ)	ヨーク材質 結線 巻線抵抗値(25°C) 定格連続推力 瞬時最大推力 定格連続実効電流 瞬時最大実効電流 最高速度 センサ分解能	ケイ素鋼 3相 スター結線 2.17 [Ω/相] 420 [N] 1000 [N] 4.6 [A] 11.0 [A] 1.5 [m/s] 1 [μm]
二次側 (可動子)	ヨーク材質 マグネット材質 マグネット外径 ポールピッチ 可動子質量	S45C Nd-Fe-B 58 [mm] 16 [mm] 2.63 [kg]
サーボアンプ	制御形態 指令方式 位置指令モード バス電圧(直流) 最大応答パルス周波数	PI 位置制御 パルス列入力 280 [V] 500 (×4) [kpps]

本CLSMは、推力密度を大きくしやすい永久磁石形同期モータとし、ケーブルが可動しないように一次側を固定子としている。外形寸法は□120mm×307mmであり、ラジアル着磁されたリング状永久磁石をヨークに配置した可動子をボールスプライン軸受によって支持している。平板状リニアモータの場合には、固定子と可動子間の磁気吸引力が非常に大きく、支持機構の剛性や摩擦に注意が必要である。一方CLSMは磁気吸引力が相殺され、支持機構を簡略化することができる。このことにより比較的小型の軸受けを採用でき、モータサイズを小型化できる利点がある。

永久磁石の外径は58mm、固定子歯とのエアギャップは0.8mm、ポールピッチは16mmである。可動子ヨークの材質はS45Cであり、固定子鉄心にはケイ素鋼を使用している。固定子は9スロットで、リング状の鉄心と円形に巻かれたコイルを各スロットごとに交互に重ねた構造になっている。

リニアセンサは、分解能1μmの光学式インクリメンタルエンコーダを使用し、リニアスケールを可動側、センサヘッドを固定側としてモータに内蔵している。

また、ダイレクトドライブで直動装置に直結できるので、装置機構が単純化できる利点がある。

3. CLSMの特徴と用途

従来からの直動機構として空気シリンダ、油シリンダおよびボールネジ機構があげられる。空気シリンダは比較的小推力の単純な往復運動に多く使用され、低価格であることが利点であるが490kPa程度の空圧設備が必要である。油圧シリンダは、通常大推力の用途に適し、0.1mm程度の位置決め精度と、ある程度の速度制御も可能であるが、油圧ポンプモータ設備での油温管理、油漏れ防止などが必要になる。この点、モータ駆動では電力ケーブルへの接続のみで高精度位置決め、および可変速運転が容易に実現できる利点がある。また、ボールネジ機構は比較的安価であり、高推力化が可能であるが、最近の高速化・高加速度化の要求に対しては、限界が見えてきている。この高速・高加速度の要求を満たし、さらに高精度化を実現する新しい直動機構として、リニアサーボシステムが注目され、搬送機械・レーザ加工機などに採用されている。

リニアモータと言えばリニアガイドを用いて構成される平板状リニアモータが一般的であるが、CLSMは平板状リニアモータとは異なる特徴を有する。CLSMと平板状リニア同期モータの比較を表2に示す。CLSMの特徴を以下にまとめる。

1. モータ・センサが、回転型と同様に一体構造であり、さらにフランジ面取付のため、装置への組み込みが容易である。
2. 出力軸を除くと全閉構造であり、防水・防塵性に優れている (IP55)。切削油がかかるような工作機械に組み込むことが可能である。
3. 永久磁石可動型を採用したことで巻線とケーブルがフレーム側に固定される構造である。このため放熱性がよく、信頼性が高い。
4. 永久磁石が可動子表面に360度リング状に配置されており、磁気吸引力が相殺される。この結果ボールスプライン軸の寿命を延ばすことができる。
5. 磁気吸引力が相殺されるため、可動子の剛性を高くする必要がなくなり、可動子質量を小さくすることができる。この結果、高い加速性能が得られる。
6. 構造上長ストローク化は難しい。

本CLSMは小型・高速でショートストローク、ハイヒットレートな性能をもち、主な用途として、穴明け機、マウンタおよび編み機などが考えられる。

表2 CLSMと平板状リニア同期モータの比較

	CLSM	平板状リニアモータ
取付	イケール	リニアガイド設置
防水性	IP55	開放型
可動部	永久磁石可動型	構成による
磁気吸引力	相殺される	定格推力の約5倍
ストローク	少ストローク	制限無し
主な用途	穴明け機 マウンタ	ロボットの走行軸 搬送装置

4. CLSMの駆動特性

4.1 CLSMの静特性

図3にCLSMの制御回路構成および測定構成を示す。リニアモータは回転型と違いストロークエンドが存在するため、位置制御が基本となる。CLSMはインクリメンタルリニアエンコーダからのフィードバック信号により、フルクローズドループ位置決め制御を実現している。位置指令はパルス列指令に対応している。推力はロードセルにて測定し、レーザ干渉計により速度と位置の測定を行なった。

図4に本CLSMの静推力ー励磁電流特性を、図5に励磁電流をパラメータとする本CLSMの静推力ー変位特性を示す。励磁実効電流を0、2.3、4.6Aと変化させ、ストローク30mmの範囲において推力を測定した。ディテント力は±15Nであり連続推力420Nの8%以下である。

4.2 CLSMの動特性

図6にCLSMの1μm送りステップ応答特性を示す。図6は指令値を階段状に変化させた場合の位置決め特性を示している。本CLSMは分解能1μmのリニアエンコーダを用いており、1μmは位置指令1パルスに相当する。停止位置の誤差が0.5μm程あるが、位置決め分解能1μmを実現していると言える。

図7にCLSMの無負荷時の往復駆動特性を示す。ストローク10mmを往復駆動させた時の速度、インポジション出力、および位置指令パルス列出力を測定した。この時、速度は

最大1.3m/sであり繰り返しの頻度は17Hzであった。速度1.3 m/sまでの加速時間が5msであることから、加速度25Gを達成していることがわかる。インポジション信号は位置決め完了時に出力され、本試験では目標位置に対し、 $\pm 10 \mu\text{m}$ への整定をもって位置決め完了とした。10mmストロークの位置決めに必要な時間は25msであり、高精度かつ高速な位置決めを実現していることがわかる。

5. むすび

本稿ではシリンダ方式コア付型リニア同期モータについてその構成を述べ、特徴についてまとめた。高加減速駆動、高精度位置決めを目指して開発し、 $1 \mu\text{m}$ の微小送りと、無負荷時において25Gの加速度で駆動することを実験により確認した。また、位置決め整定幅が $\pm 10 \mu\text{m}$ の時、10mm位置決め時間は25msであった。これらの値は高加速度、高精度ハイヒットレートマシンとして十分な値であると考えられる。

CLSMIは高加速度、高精度、高推力、取り扱いやすさの面において従来の直動機構であった空気シリンダ、油圧シリンダ、ボールネジ駆動にない優れた性能を持っていると言える。CLSMIはこれまでの直動機構では限界にあった性能を1ランク、いや2ランクアップさせるための新しい直動機構として提案することができる。

文献

(1) 杉田・藤沢・村山・鈴木:「円筒状リニア同期モータの駆動特性」、電気学会リニアドライブ研究会資料、LD-99-35(1998-2)

牧内一浩
1998年入社
サーボシステム事業部 設計第1部
リニアモータの設計・開発に従事。

杉田 聡
1995年入社
コントロールシステム事業部 コンポーネンツ技術部
リニアモータの設計・開発に従事。

藤沢 健一
1992年入社
コントロールシステム事業部 コンポーネンツ技術部
サーボアンプの設計・開発に従事。

村山 良知
1980年入社
コントロールシステム事業部 コンポーネンツ技術部
サーボシステムの設計・開発に従事。

鈴木 信二
1966年入社
サーボシステム事業部
回転機・リニアモータの設計・開発に従事。

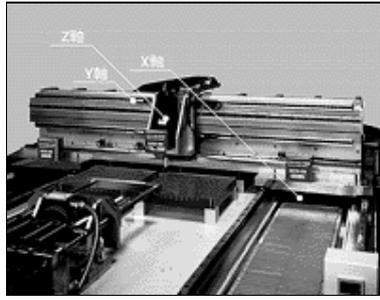


図1 CLSMを採用した超高速穴あけ機の外観

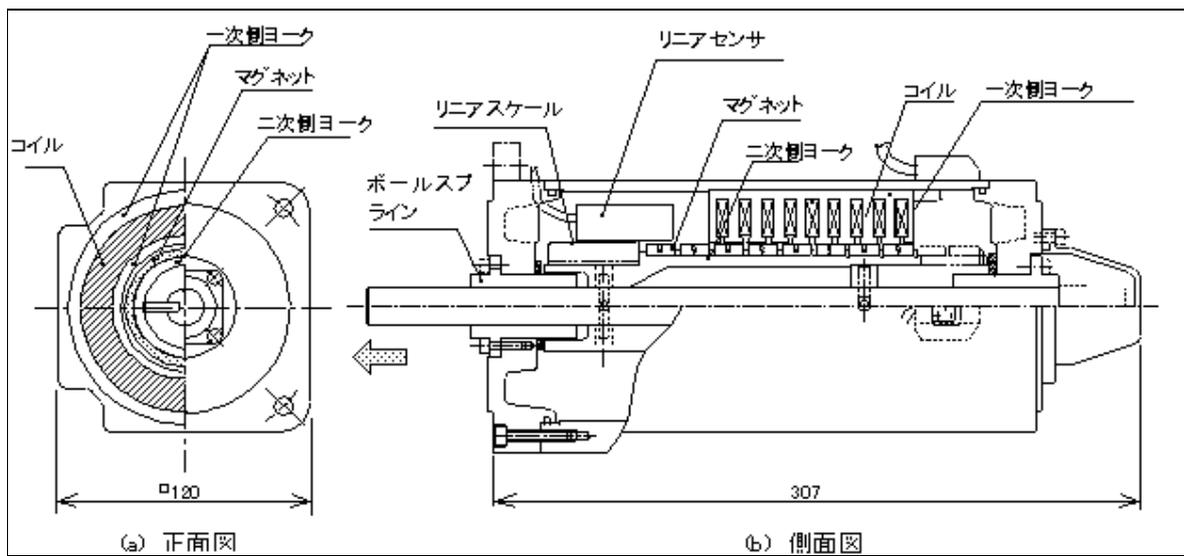


図2 CLSMの構造(単位:mm)

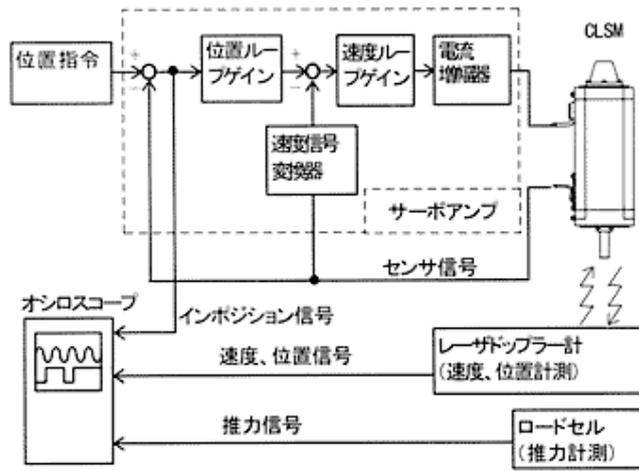


図3 CLSMの制御回路構成及び測定器構成

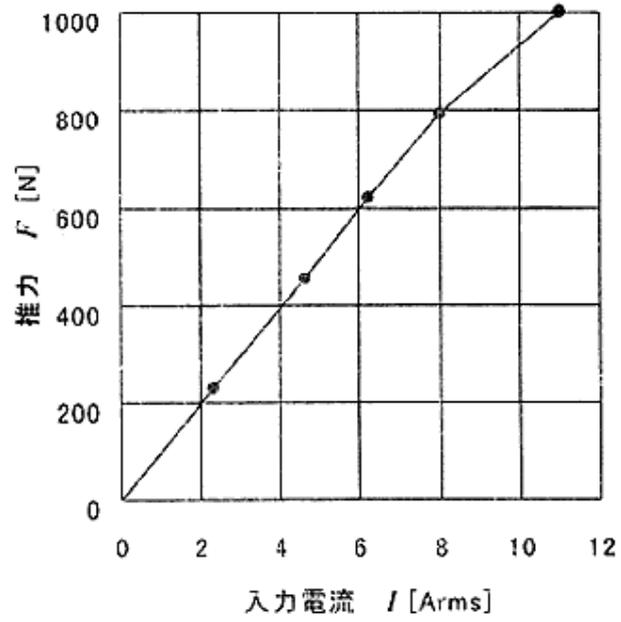


図4 CLSMの静推力-励磁電流特性

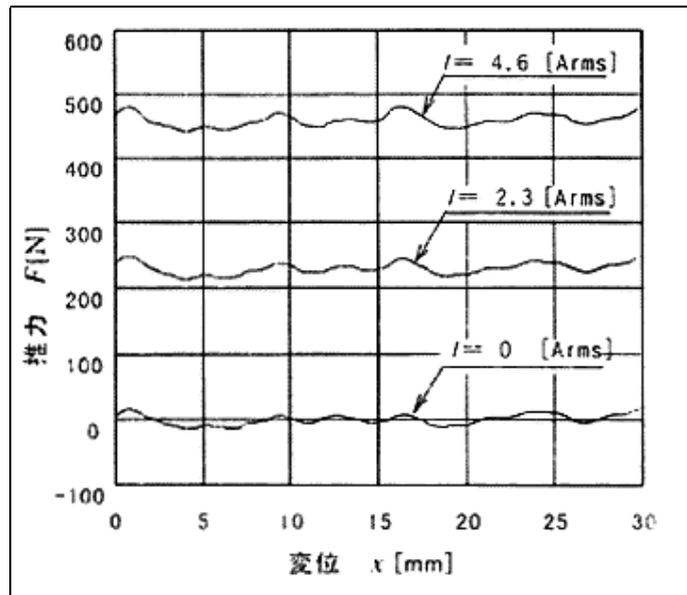


図5 CLSMの静推力-変位特性

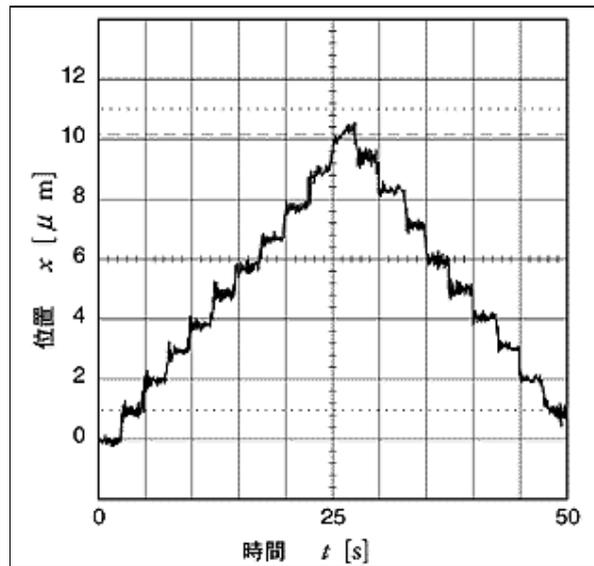


図6 CLSMの1[μm] 送りステップ応答特性

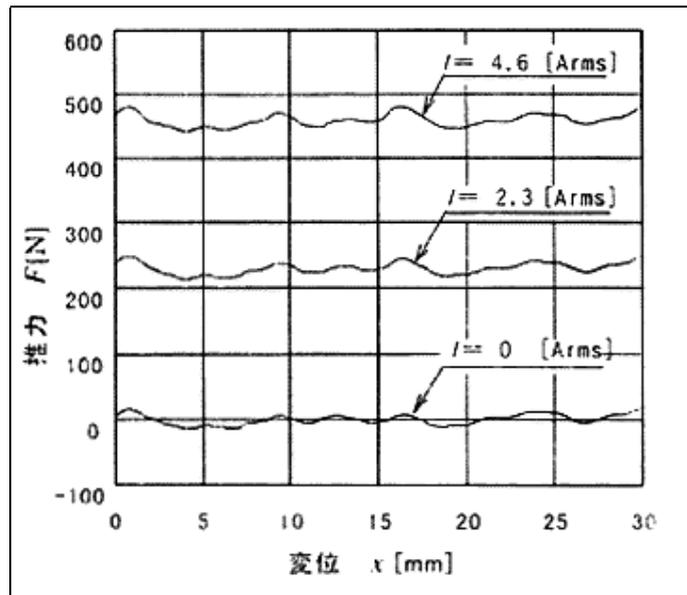


図7 CLSMの無負荷時往復駆動特性(インポジション幅 $\pm 10 \mu\text{m}$)