

小型大推力・低磁気吸引力 リニアサーボモータの開発

佐藤 寛之

Hiroyuki Sato

三澤 康司

Yasushi Misawa

高橋 昭彦

Akihiko Takahashi

木口 泰孝

Yasutaka Kiguchi

1. まえがき

リニアサーボモータは、露光装置や表面実装機など、高速駆動、高精度位置決めが必要な装置に、不可欠な製品となり、年々、需要が拡大している。リニアサーボモータを用いた駆動システムの利点は、ボールねじなどの直動変換機構を使用せず、負荷を直接リニア駆動することで、装置の高速・高精度化および省エネルギー化が可能となることである⁽¹⁾。

高速化、高精度化をさらに追求するためには、リニアサーボモータの推力特性の向上や軽量化と同時に、コア付型リニアサーボモータ特有の課題である磁気吸引力を低減する必要がある。磁気吸引力は、モータを固定する装置機構に作用して、装置の変形や破損を引き起こす要因となるので、装置の機械強度を上げる必要があり、装置の軽量化を妨げる要因となっている。

これらの課題を解決するために、小型大推力・低磁気吸引力リニアサーボモータを開発した。開発品は、コア付型センターマグネットタイプ（以下、「C-Magタイプ」と略す）と、コア付型ツインタイプ（以下、「ツインタイプ」と略す）である。なお、「C-Magタイプ」は、新しく考案した構造である（Pat.P）。

本稿では、まず本開発品の仕様諸元と外観を示す。次に、「C-Magタイプ」「ツインタイプ」それぞれの構造と特性を説明し、さらに本開発品をX-Y直交ロボットに適用した事例を紹介することで、本製品の特長を述べる。

2. 製品概要

図1に本開発品の外観を、表1には仕様諸元を示す。

新しく考案した「C-Magタイプ」は、リニアモータ設置部の中央にマグネットレールを垂直に配置し、その両側を樹脂モールドした電機子コイルで挟み込む構造である。それに対し「ツインタイプ」は、「C-Magタイプ」とは逆に、リニアモータ設置部の中央に樹脂モールドした電機子コイルを配置し、その両側を2枚のマグネットレールで挟み込む構造である。

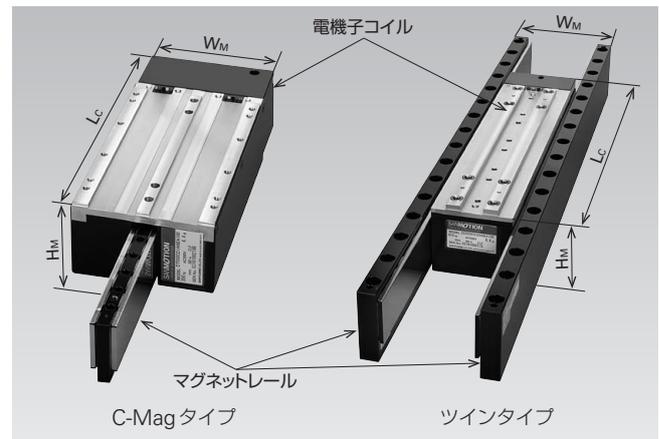


図1 開発品の外観

表1 開発品の仕様諸元

項目	記号	[単位]	C-Magタイプ	ツインタイプ
電機子コイル型番	—	—	DT030CD1AN	DD035CC2AN
マグネットレール型番	—	—	DT030M	DD035MB
定格推力	F_c	[N]	350	610
最大推力	F_p	[N]	650	1400
電機子コイル長さ ^{*1}	L_c	[mm]	145	253
モータ幅	W_M	[mm]	86	105
モータ高さ	H_M	[mm]	55	70
モータ体積 ^{*2}	V_M	[mm ³]	6.86×10^5	1.86×10^6
電機子コイル質量	M_c	[kg]	2.4	5.0
マグネットレール質量	M_{mr}	[kg/m]	3.7	14.6

*1 ホールセンサ部を除く

*2 モータ体積=電機子コイル長さ×モータ幅×モータ高さ

3. 開発品の仕様

3.1 「C-Magタイプ」

3.1.1 構造, 特長

図2に、一般的なコア付型リニアサーボモータの構造断面と磁気吸引力の方向を示す。コア付型リニアサーボモータは、電機子コイルの鉄心(コア)とマグネットとの間に磁気吸引力が作用する。この吸引力は、推力と垂直方向に働き、最大推力の約5倍の力になる。この吸引力を支持するために、リニアサーボモータを固定する装置機構(可動スライダおよび固定ベース)には、機械強度の確保が必要になる。

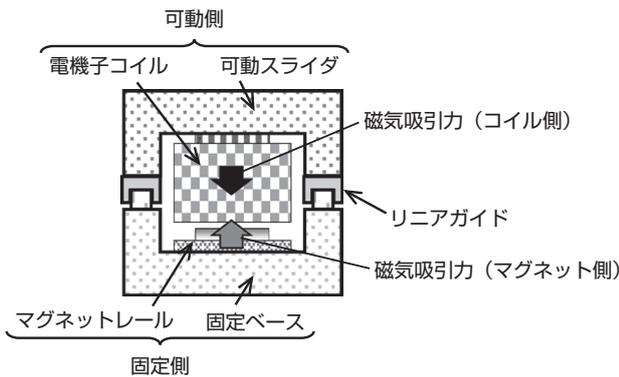


図2 一般的なコア付型リニアサーボモータの構造断面と磁気吸引力の方向

図3に新規考案した「C-Magタイプ」の構造断面と磁気吸引力の方向を示す。モータの外側に配置した電機子コイルには、中央のマグネットレールの方向に磁気吸引力が作用し、中央のマグネットレールには、外側の電機子コイルの方向に磁気吸引力が作用する。それぞれの磁気吸引力は方向が反転しているため、磁気吸引力を打ち消すことができる。

このように、「C-Magタイプ」は、モータ自身で磁気吸引力を打ち消せる構造を有している。したがって、このモータを取り付けた装置機構(可動スライダおよび固定ベース)は、可動側と固定側、両方とも磁気吸引力の影響を受けないので、モータを組み付ける装置機構全体を簡素化(薄肉化)でき、軽量化が容易となる。

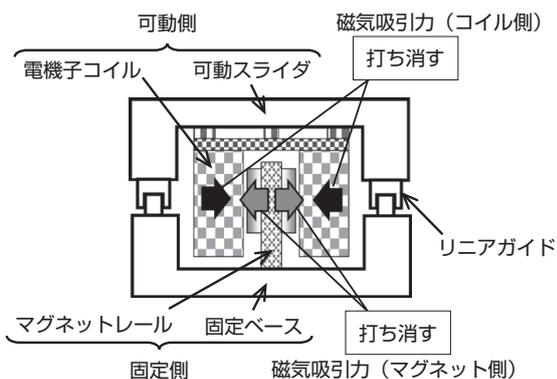


図3 「C-Magタイプ」の構造断面と磁気吸引力の方向

3.1.2 推力密度, 最大加速度

図4に「C-Magタイプ」の推力密度比較を示す。推力密度とは、「モータ単位体積あたりの発生推力」であり、この値が大きいほど小型で大推力のリニアサーボモータであることを意味する⁽²⁾。

「C-Magタイプ」は、磁気回路を最適化するとともに、コイルエンド体積を最小化し、巻線配置と結線方法を最適に設計した。その設計によって推力密度が向上し、同等推力のツインタイプ従来品と比較して、定格推力密度は198%、最大推力密度は142%に向上した。

図5に「C-Magタイプ」の最大加速度を示す。加速度は「推力÷可動部質量(電機子コイル質量+負荷質量)」で算出した値である。開発品は推力密度が向上し、さらに小型、軽量化したことで、負荷質量ゼロのもとで25G以上、電機子コイルの8~10倍の負荷質量のもとでも、約3Gの高加速駆動ができる。

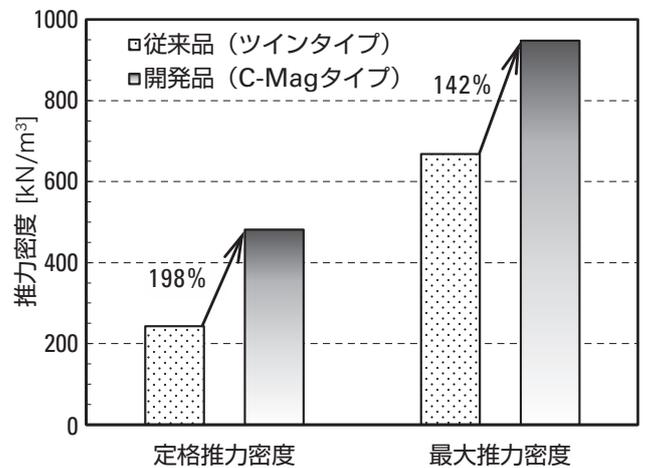


図4 推力密度比較 (C-Magタイプ)

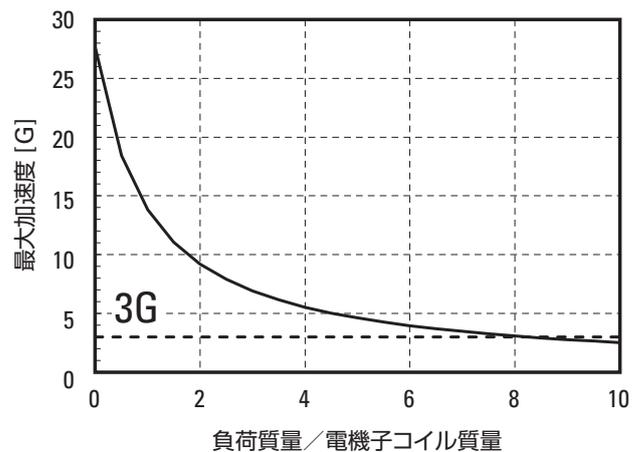


図5 最大加速度 (C-Magタイプ)

3.2 「ツインタイプ」

3.2.1 構造, 特長

図6に、「ツインタイプ」の構造断面と磁気吸引力の方向を示す。モータの中央に配置した電機子コイルには、外側のマグネットレールの方向に磁気吸引力が作用し、外側のマグネットレールには中央の電機子コイル（鉄心）の方向に磁気吸引力が作用する。電機子コイルに作用する磁気吸引力は方向が反転しているため打ち消すことができ、電機子コイルを固定する可動スライダの簡素化（薄肉化）と軽量化が容易となる。一方、マグネットレールには磁気吸引力が一方向にのみ作用するので、磁気吸引力を打ち消すことができない。磁気吸引力が作用する固定ベースとマグネットレールは機械強度を上げる必要があるため、「ツインタイプ」を使用する際はその点に配慮する必要がある。

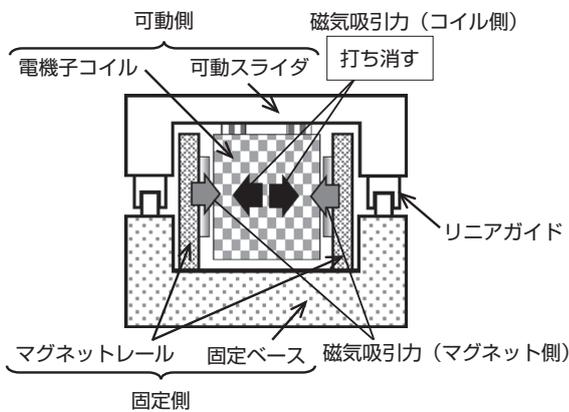


図6 「ツインタイプ」の構造断面と磁気吸引力の方向

3.2.2 推力密度, 最大加速度

図7に「ツインタイプ」の推力密度比較を示す。

「ツインタイプ」開発品は、電機子のコア形状を改良し、損失を低減できるよう磁気回路を最適化した。さらに、推力に寄与しない構造体を軽量化したことで、定格推力密度は従来品に対し137%、最大推力密度は113%に向上した。

図8に「ツインタイプ」開発品の最大加速度を示す。「ツインタイプ」開発品も推力密度が向上し、さらに小型・軽量化したことで、負荷質量ゼロのもとで25G以上、電機子コイルの8～10倍の負荷質量のもとでも、約3Gの高加速駆動ができる。

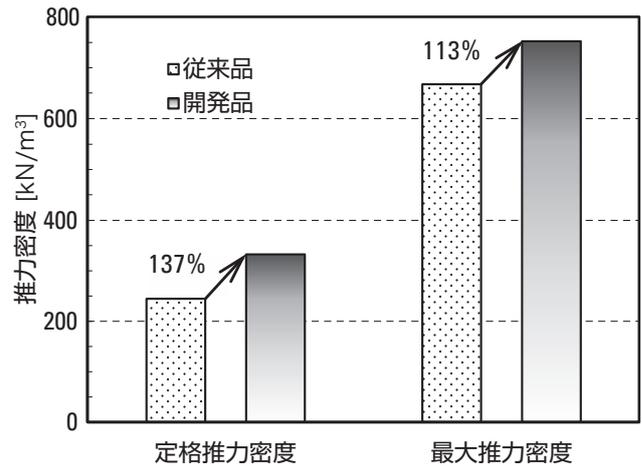


図7 推力密度比較 (ツインタイプ)

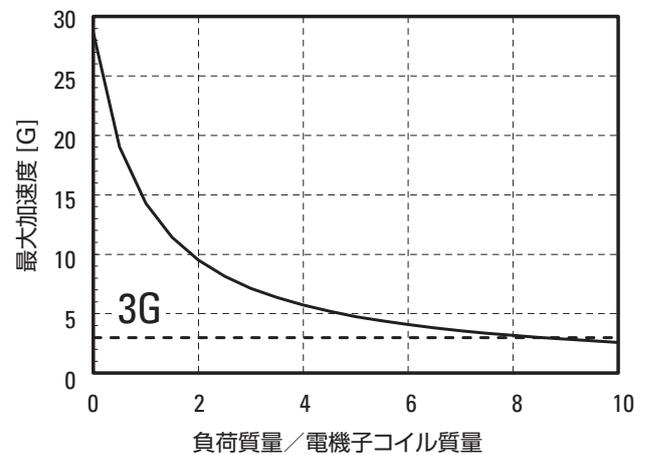


図8 最大加速度 (ツインタイプ)

4. 適用例

図9に、本開発品の適用例として、「C-Magタイプ」を上軸、「ツインタイプ」を下軸に適用したX-Y直交ロボットの外観イメージを示す。

表2に示すように、上軸の「C-Magタイプ」は可動スライダ、固定ベース両方に磁気吸引力が作用しないので、可動スライダと固定ベースを簡素化、軽量化できる。上軸全体を軽量化できるので、上軸モータだけでなく、下軸モータに作用する負荷も軽減でき、モータを高加速度化できる。このように、「C-Magタイプ」は、装置機構全体が動く箇所での使用に最適である。

下軸の「ツインタイプ」は、可動スライダには磁気吸引力が作用しないので、可動スライダは簡素化、軽量化でき、下軸モータを高加速度化できる。一方、固定ベースには、磁気吸引力が作用するので、機械強度を上げる必要があり、軽量化できない。しかし、固定ベースは装置に固定されて動かない箇所なので、重くても駆動特性には影響ない。むしろ、下軸の固定側を軽量化すると振動等の問題が生じやすくなる。このように、「ツインタイプ」は、固定側を動かさない箇所での使用に適している。

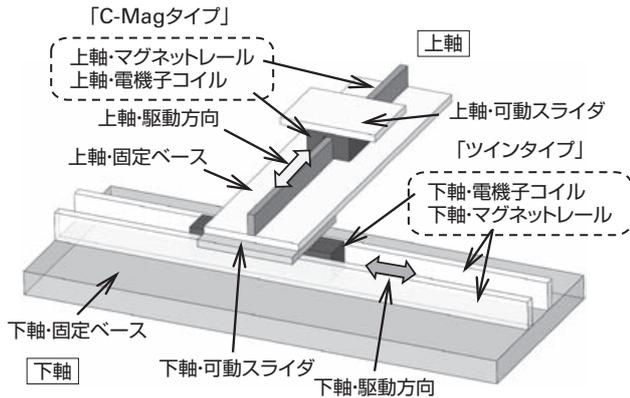


図9 X-Y直交ロボットのイメージ図(リニアガイドは除く)

表2 装置機構に作用する磁気吸引力比較

	可動スライダ	固定ベース
C-Magタイプ	磁気吸引力が作用しない	磁気吸引力が作用しない
ツインタイプ	磁気吸引力が作用しない	磁気吸引力が作用する

「C-Magタイプ」を図9に示す上軸で使用した場合の軽量化効果の試算例を図10に、試算用に仮定した上軸可動スライダと固定ベースの仕様を表3に示す。本例は、「C-Magタイプ」と「ツインタイプ」の「装置機構質量+モータ質量」を比較した。「C-Magタイプ」と「ツインタイプ」では、固定ベースに作用する磁気吸引力に差があるため、固定ベースの肉厚が両者で異なる。さらに「ツインタイプ」は、マグネットレールの変形、たおれを抑えるため、マグネットレールを「C-Magタイプ」より肉厚にする必要がある。この固定ベースとマグネットレールの厚みの違いが両者の質量差に大きく影響する。本例では「C-Magタイプ」を使用すると、「ツインタイプ」より62%軽量化できる。

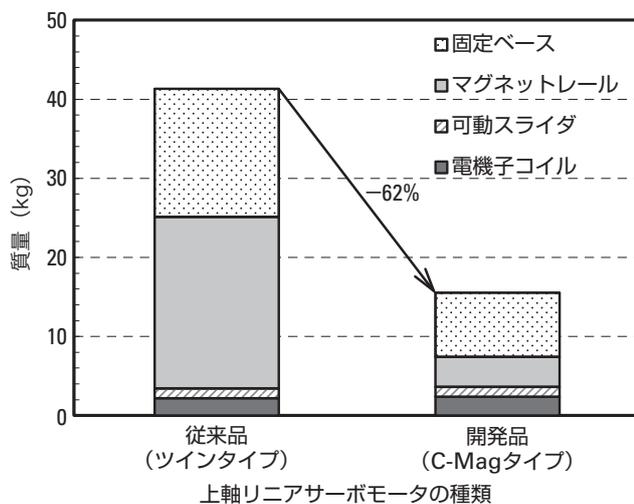


図10 「C-Magタイプ」使用による軽量化効果の一例 (図9の上軸に適用した場合の上軸質量)

表3 上軸可動スライダと固定ベースの仕様

	従来品 (ツインタイプ)	開発品 (C-Magタイプ)
上軸可動スライダ	150 × 200 × 15t (1.2kg) アルミ	
上軸固定ベース	1000 × 200 × 30t (16.2kg) アルミ	1000 × 200 × 15t (8.1kg) アルミ

5. むすび

本稿では、新規開発したリニアサーボモータ、「C-Magタイプ」および「ツインタイプ」の構造、特長および適用例を紹介した。本新製品の特長は、以下のとおりである。

(1) 推力密度が大きい (小型・軽量で大推力)

従来品に対し、「C-Magタイプ」の定格推力密度は約2倍、最大推力密度は約1.5倍に向上する。「ツインタイプ」の定格推力密度は約1.4倍、最大推力密度は約1.1倍に向上する。

(2) 高加速度 (高応答) が実現できる

小型・軽量で推力が大きいので、最大加速度が高い。2機種ともに、電機子コイルの8～10倍の負荷質量のもとで、約3Gの高加速駆動ができる。

(3) 磁気吸引力が小さい

推力と垂直方向に作用する磁気吸引力をモータ自身で打ち消すことができる構造であり、装置機構を簡素化・軽量化できる。特に新規考案した「C-Magタイプ」は、装置に作用する磁気吸引力をゼロにできる。

このように、本新製品は、「高加速度と使いやすさ」を兼ね備えたリニアサーボモータであり、お客さまの装置の小型化、低コスト化や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) 杉田, 三澤, 唐, 高橋: 「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, 5-S24-2 (2014)
- (2) 三澤, 高橋, 佐藤: 「リニアサーボモータ コア付小型タイプの開発」 SANYODENKI Technical Report. No.37 (2014)



佐藤 寛之

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。



三澤 康司

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。

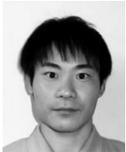


高橋 昭彦

1995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。



木口 泰孝

2014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。