

「SANMOTIONリニアサーボモータ コア付小型タイプ」の開発

三澤 康司

Yasushi Misawa

高橋 昭彦

Akihiko Takahashi

佐藤 寛之

Hiroyuki Satou

1. まえがき

産業用リニアサーボモータは、ここ10年での進歩普及が著しく、露光装置などに代表される高精度が必要な装置や、表面実装機など高速位置決めが必要な装置に多数採用されている。ボールねじなどの直動変換機構を介さず、可動部をダイレクトにリニア駆動することで、装置の高速化、高精度化、および省エネルギー化に大きく寄与できることが、リニアサーボモータが採用される理由である⁽¹⁾。

高速位置決め用途の装置においては、常に生産性向上と、高品質生産を目指しており、それらの装置に搭載されるリニアサーボモータには、さらなる軽量化や高加減速度、および低発熱化の要求が高まっている⁽¹⁾⁽²⁾。

また、2011年のレアアース価格の高騰と供給不安を背景に、マグネット使用量の削減と、希少な元素である重希土類（ジスプロシウム、テルビウムなど）の使用量を削減することで、原材料価格の変動と資源調達に影響されにくい製品開発も望まれている⁽³⁾。

本稿では、このような要求に応えるために開発した新たなリニアサーボモータとして、コア付フラットタイプ（以下、「フラットタイプ」と略す）とコア付ツインタイプ（以下、「ツインタイプ」と略す）の特長を紹介する。

まず、本開発品と従来品の仕様緒元比較を示す。次いで、推力密度の向上、最大加減速度、損失低減量、およびマグネット使用量について、従来品と比較することで、本開発品の特長を述べる。

2. 開発品の仕様緒元

図1に、本開発品であるリニアサーボモータ コア付小型タイプの外観を示す。また、表1には、本開発品と従来品（推力同等品）との仕様緒元比較を示す。

本開発品は、「フラットタイプ」、「ツインタイプ」とも表面磁石型リニア同期モータである。「フラットタイプ」は、樹脂モールドされた電機子が永久磁石と対向して構成されており、「ツインタイプ」は、同じく樹脂モールドされた電機子が、永久磁石を貼り付けた2枚のマグネットレールに挟み込まれた構造となっている。「ツインタイプ」は、構造上、電機子鉄心と永久磁石の間に生ずる磁気吸引力を小さくでき、リニアガイドなど直動支持機構にかかる荷重を小さくできる特長がある⁽⁴⁾。

表1 仕様緒元比較

項目	記号	[単位]	型番・数値			
			フラットタイプ		ツインタイプ	
			従来品	開発品	従来品	開発品
電機子コイル型番	—	—	DS050C1N2	DS045CC1AN	DD050C2N2	DD045CB4AN
マグネットレール型番	—	—	DS050M	DS045MC	DD050M	DD045MB
定格推力	F_c	[N]	260	260	900	800
最大推力	F_p	[N]	580	500	2,100	2,200
電機子コイル長さ	L_c	[mm]	200	130	402	349
モータ幅	W_M	[mm]	85	65	140	118
モータ高さ	H_M	[mm]	58	48.5	90	80
モータ体積	V_M	[mm ³]	9.86×10^5	4.10×10^5	5.07×10^6	3.29×10^6
電機子コイル質量	M_c	[kg]	3.8	1.8	19.4	8.6
マグネットレール質量	M_{mr}	[kg/m]	7.6	2.9	23.4	21.7

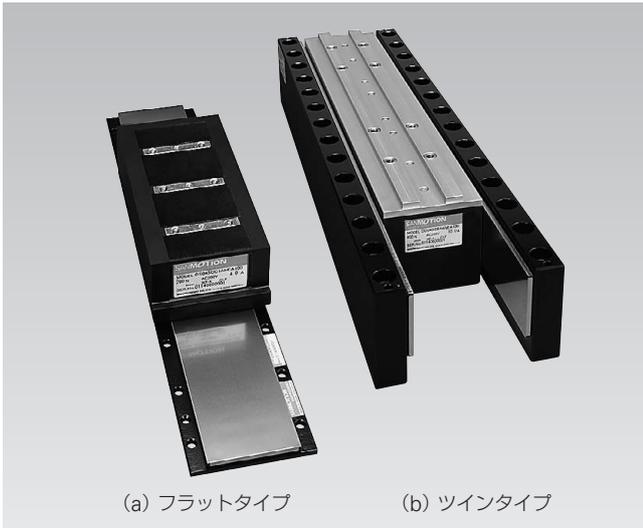


図1 リニアサーボモータ コア付小型タイプの外観

3. 開発目標

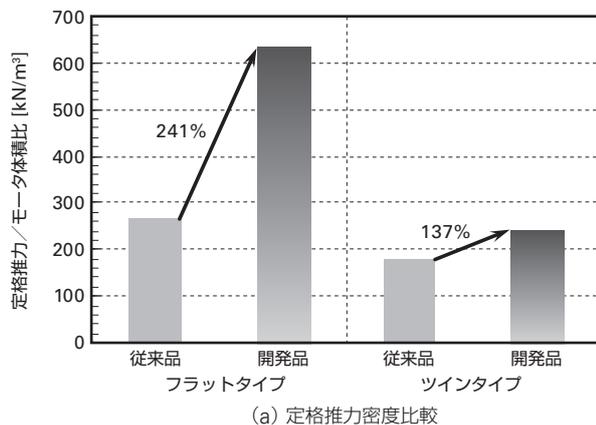
前述の市場要求を満足するリニアサーボモータを製品化するために、本開発品の開発目標は、下記の3項目とした。

- (1) 推力特性の向上
- (2) 小型軽量化
- (3) マグネット使用量の削減、および重希土類フリー化

これらの目標を達成するために、以下の項目を検討し、リニアサーボモータの特性向上を図った。

- ・ 装荷分配 (電気装荷と磁気装荷の比率) の最適化による推力特性の向上、および小型軽量化。
- ・ モータの磁気回路以外の機構、構造の縮小と肉抜きによる小型軽量化。
- ・ 推力特性と減磁耐量を考慮したマグネット形状の最適化とマグネットグレードの選択。

次章に、これらの効果について、従来品と比較した結果を述べる。



4. 従来品と開発品の比較

4.1 推力密度向上

図2に開発品と従来品の推力密度の比較を示す。これは、リニアサーボモータが単位体積あたりに発生する定格推力と最大推力を示す指標であり、この値が大きいほど、小型・高推力のリニアサーボモータである。

本開発品は、スロットコンビネーション (電機子鉄心のスロットピッチと界磁マグネットのポールピッチの比率) の見直し、電機子鉄心のスロット内巻線占積率アップ、および電機子鉄心と界磁マグネット間のエアギャップ磁束密度を向上することにより、推力密度を向上した。その結果、本開発品の定格推力密度は、従来品と比較して、「フラットタイプ」: 241%、「ツインタイプ」: 137% 向上し、最大推力密度は、「フラットタイプ」: 207%、「ツインタイプ」: 161% 向上した。

推力密度の向上により、本開発品は、装置の小型化に寄与することができる。

4.2 最大加減速度向上

図3に、最大加減速度の比較を示す。この図は、リニアサーボモータの電機子コイル質量に対する負荷質量を可変した場合の可能最大加速度を比較したものであり、この最大加減速度 a_{max} [m/s²] は、次式で表すことができる。

$$a_{max} = F / (M_L + M_c)$$

ここに、F : 推力 [N]

M_L : 負荷質量 [kg]

M_c : 電機子コイル質量 [kg]

本開発品は、推力密度の向上による最大・定格推力アップと、構造見直しによる小型軽量化、およびモータの磁気回路以外の部位の肉抜きによる軽量化により、最大加減速度を向上した。その結果、本開発品の最大加減速度は、従来品と比較して、無負荷状態で「フラットタイプ」: 182%、「ツインタイプ」: 236% 向上した。また、 $(M_L) / (M_c)$ 比が5倍程度の現実的な負荷を駆動する際においても、瞬時4~5 [G]、連続2~3 [G] の最大加減速度を得ることができる。

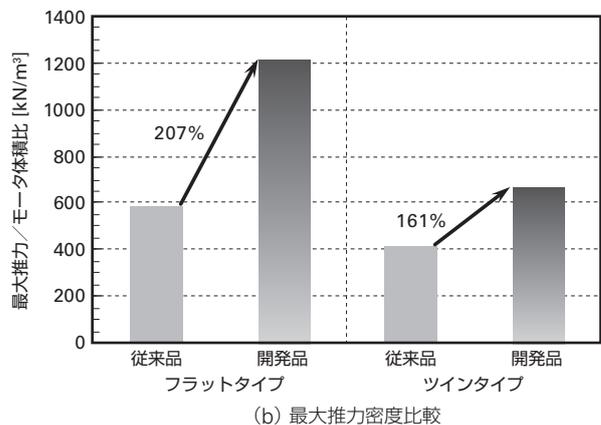


図2 推力密度比較

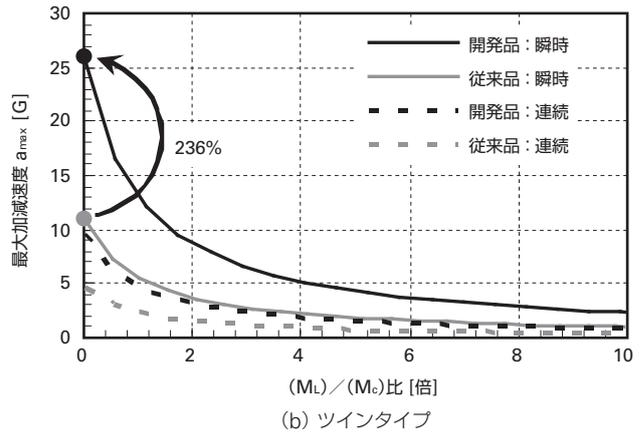
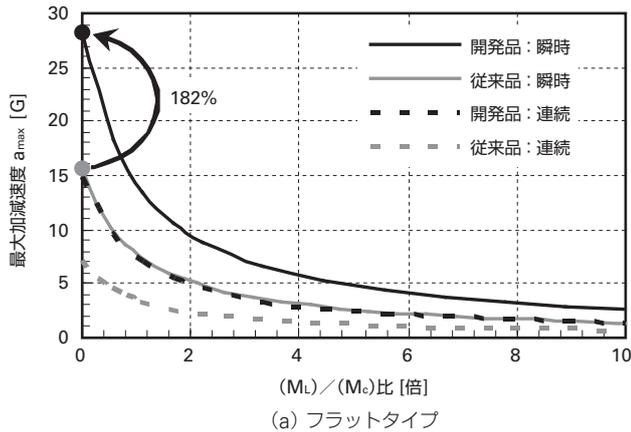


図3 最大加減速度比較

$$\left(\begin{array}{l} \text{瞬時最大加減速度：(最大推力 } F_p) / (\text{負荷質量 } M_L + \text{電機子コイル質量 } M_c), \\ \text{連続最大加減速度：(定格推力 } F_c) / (\text{負荷質量 } M_L + \text{電機子コイル質量 } M_c) \end{array} \right)$$

最大加減速度の向上により、本開発品は、駆動タクトタイム短縮による生産性向上に寄与することができる。

4.3 損失低減

図4に、損失低減率の比較を示す。

本開発品は、巻線占積率アップと、巻線仕様を最適化することにより、損失を低減した。その結果、本開発品の損失は、「フラットタイプ」：11%、「ツインタイプ」：15%低減した。

損失の低減により、本開発品は、モータ発熱による装置の熱膨張を抑制することができ、装置の高精度化に寄与することができる。

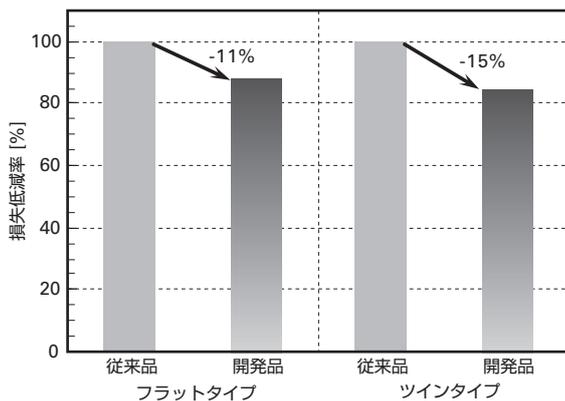


図4 損失低減率

4.4 マグネット使用量削減、重希土類フリー化

図5に、開発品と従来品のマグネット使用量の比較を示す。これは、リニアサーボモータが単位推力を発生するのに必要なマグネット質量を比較したものである。

推力特性の向上とマグネット使用量の削減は、トレードオフの関係があるが、本開発品は、従来品と同等の推力特性を確保しつつ、減磁耐量マージンを適正化することにより、マグネット厚

さを5%薄型化した。さらに、推力密度の向上効果と合わせることで、単位推力を発生するのに必要なマグネット質量を削減した。その結果、本開発品のマグネット使用量は、従来品と比較して、「フラットタイプ」：36%削減、「ツインタイプ」：26%削減した。

また、本開発品は、重希土類を含有しないマグネットを搭載した。重希土類は、高温時のマグネット特性を確保するために添加される元素であるが、産出量が希少であることと、素材単価が高額であることから、必要最小限の添加量が望ましい。従来品のマグネットには、数%の重希土類が含有されていたが、本開発品は、新素材である高保磁力の重希土類フリーマグネットを搭載した。新素材の採用にあたっては、モータ基本特性と、減磁耐量、素材強度、および耐食性などの信頼性を十分に評価した上で、製品採用した。

マグネット使用量の削減と重希土類フリー化を達成したことにより、原材料価格の変動と資源調達性に影響されにくい製品を開発することができた。

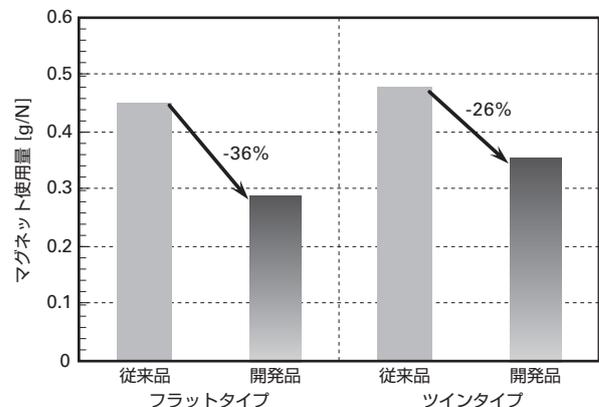


図5 マグネット使用量比較

5. むすび

本稿では、高速位置決め用途に対する小型軽量化と高推力化の要求に応えるとともに、マグネット使用量を削減したコア付リニアサーボモータ、「フラットタイプ」、「ツインタイプ」の特長を紹介した。

本開発品は、同等定格推力の従来品と比較して、モータ体積と電機子コイル質量は約50%低減、推力密度は「フラットタイプ」約2倍、「ツインタイプ」約1.5倍向上している。また、駆動可能な最大加減速度は約2倍に向上、損失は約10%低減、さらにマグネット使用量は約30%削減し、重希土類フリー化した。

これらの特長は、顧客装置の生産性向上と高品質生産に大きく寄与できるものと考えている。

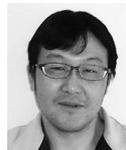
文献

- (1) 小野寺：「最新モータ技術の特徴と効果的な活用」機械設計、Vol.55, No.8, p.116-120 (2011)
- (2) 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)
- (3) 日置, 宮下, 堀内, 窓田：「小容量高精度ACサーボモータの開発」 SANYODENKI Technical Report, No.35 (2013)
- (4) 三澤, 杉田, 小野寺：「リニアサーボモータ コア付型両側式」 SANYODENKI Technical Report, No.15 (2003)



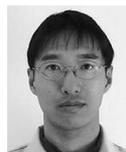
三澤 康司

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。



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。