

SANMOTION Rシリーズ 小径20角ACサーボモータの開発

宮下 利仁

Toshihito Miyashita

堀内 学

Manabu Horiuchi

恩田 祐樹

Yuki Onda

北島 純

Jun Kitajima

清水 麻衣

Mai Shimizu

1. まえがき

工業製品の進化はますます加速しており、それを支える製造装置の発展も、必要不可欠なものとなっている。サーボモータはそうした製造装置の基幹部品であり、その性能・品質が装置にとって重要な位置付けとなっている。こうした中で半導体製造装置は、特に実装プロセスがアジア市場を中心に急速に発展し、高機能携帯端末に適用される小規模実装だけではなく、高機能家電・車載などの中・大規模実装市場も増加し、実装速度向上・多機能実装など、実装装置への要求が高く、それに伴ってサーボモータへの要求性能も高くなっている。

こうした背景から当社では新たに「SANMOTION R」シリーズのフランジサイズ20角モータ(図1参照)を次世代製品として位置付けて開発を行った。従来品であるPシリーズでは20, 28角をラインアップしていたが、開発品はフランジサイズが20角のままで28角モータのトルク領域を包含し、高速実装から多機能実装まで同時に実現できる新しい製品である。本稿では以下3項目について述べる。

- (1) 開発コンセプト
- (2) 性能向上の技術概要
- (3) モータ性能の比較

2. 開発コンセプト

本開発品のコンセプトを、図2の装置搭載イメージを用いて説明する。実装装置ではヘッドに十数台の小径モータが搭載され、ボールねじなど直動機構を介してZ方向に動作する。さらにそのヘッドをリニアモータなどのXYステージに搭載し、ヘッドを高速で動作させて作業を行う⁽¹⁾。この場合、サーボモータとしての機能要件は装置を「速く」動作させることである。ここで「速い」を3つの機能に分類した。

- (1) モータ軸動作が「速い」
- Z軸の加減速時間、往復運動時間を短くして、ワークの位置決め時間を短縮するためには、モータの高トルク化によって加速度を高めることはもちろんだが、ロングストロークで動く軸の場合は、加速しきって等速で動く動作パターンも考えられるため、高回転域まで高トルクが持続する、広範囲の出力領域を有するモータが望まれる。

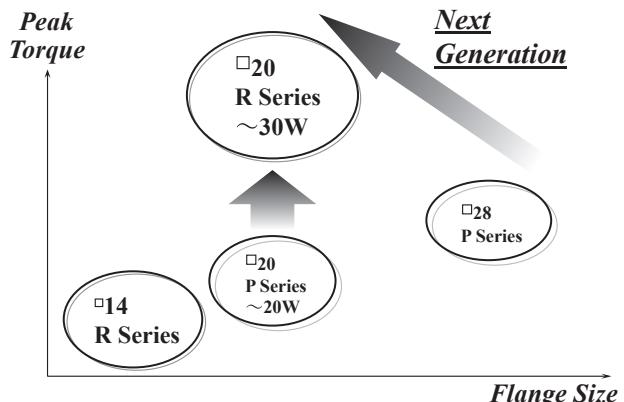


図1 新製品 SANMOTION R □20 の位置づけ

(2) ヘッド動作が「速い」

ヘッドを動作させるXY軸の負荷を軽減し、加速性能を向上させるためには、ヘッド自身の軽量化が必須になる。このため、ヘッド中の構成部品として十数台分の質量をもつモータにも軽量化が望まれる。

(3) 繰り返し動作が「速い」

ヘッド軸は常に加減速の繰り返しパターンで運転されることが多いため、モータの損失による発熱を抑えることが必要である。さらにモータの損失が多ければ多大な電力を消費してしまい環境の側面から問題となる。よって装置の発熱を低減し、省エネルギー化に貢献できる低損失なモータが望まれる。

すなわち本製品のコンセプトは3つの「速い」を実現できる、広範囲な出力領域を有し、軽量でかつ低損失なモータである。

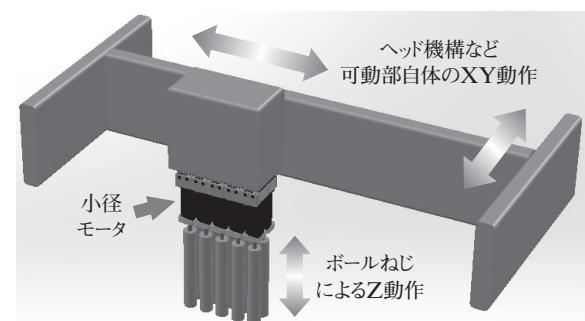


図2 装置搭載イメージ

3. 性能向上の技術概要

3.1 出力領域の拡大と低損失化のための技術

図3にフェーザ図を示す。従来品と開発品でモータの誘起電圧が同じになるように巻線仕様を統一した場合を想定している。従来品では抵抗分による電圧降下が非常に大きいことが分かる。半導体製造装置や実装装置では、インバータドライブ回路のバス電圧をDC48VやDC24Vなど、低電圧で駆動させることが多い⁽²⁾。低電圧でも高トルク、高回転速度までモータを駆動させるために、抵抗分による降下を極力減らす必要がある。さらに抵抗を下げれば銅損を低減し、発熱を抑制することができる。

よって出力領域の拡大と低損失化のためには、巻線を挿入するスペースを十分に確保し、さらにスロット占積率を極限まで高め、巻線抵抗を低減させることが必要である。これを達成するため以下2つの技術を適用した。

(1) 磁気回路兼用フレーム構造

通常のモータでは、ステータコアの周りに何らかの構造体でケーシングする構造が一般的である。手法としてはアルミフレームの中にコアを入れるか、コアをインサート成形でモールドしてしまうなどの手法がとられる。こうしたフレームにもアルミの強度や樹脂の流動を考慮してある程度の厚みを持たせる必要があるため、トルク低下や巻線スペースの減少に作用してしまう。

そこでフレームを磁性体にして磁気回路の一部としてすることで、磁気回路を構成するスペースをφ20まで十分に確保した。これによって巻線を挿入できるスペースを十分に確保した設計を行うことができる。

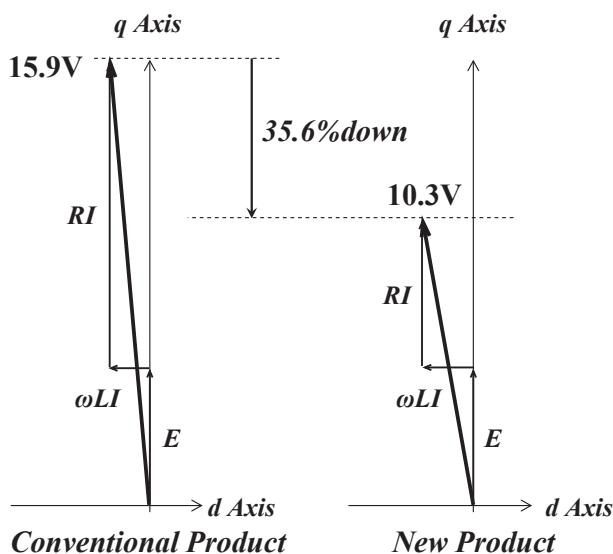


図3 フェーザ図
(N=3000 min⁻¹)

(2) 高占積率巻線の適用

従来品ではインナーノズル方式で巻線していた。一般的に広く用いられており、生産性も良い手法ではあるが、巻線の整列性の悪化や、ノズル路の確保による占積率の低下などのデメリットもあり、占積率を極限まで上げて導体を詰め込みたい場合に不向きである。

そこで開発品では空芯で一旦巻線し、それを円弧形状に機械的に曲げたものをコアに挿入することで、高占積率化を達成している。空芯で巻くことによって高密度化でき、さらに円弧形状に成形することで巻線スペースを極限まで有効に活用している。

以上の2つの技術を用いて巻線抵抗の大幅な低減を図った。図3において開発品の電圧降下は従来品の15.9Vに対して10.3Vとなり、35.6%と大幅に低減することができた。これによって励磁電流の大きい領域でも高速回転領域でも、電圧降下を低減することができ、広範囲な出力領域を達成することができる。

3.2 軽量化のための技術

図4はモータの構成部品ごとの質量をパレート図で表している。従来品の構成部品のうち、ステータとロータで全体質量の62.5%を占めている。さらにステータのうち、約78%はステータコアの質量であった。

よって軽量化のためには、電磁力発生部において磁気回路を構成する磁性体部分の無駄を極力減らし、コアの質量をいかに低減するかがポイントとなる。

ただし電磁力発生部を単純に減らせば、トルクは小さくなる。このように目的とする複数の出力パラメータがトレードオフになる問題においては、最適化支援ツールと電磁界シミュレーションを連成解析することで、問題の解決に取り組んでいる⁽³⁾。開発品ではこうした手法を用いながら、以下の技術を適用した。

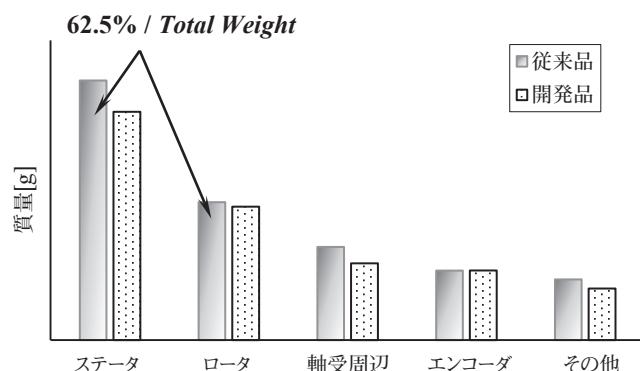


図4 部品ごとの質量パレート分析



図5 従来品のステータコア形状

図5に従来品のステータコア形状を示す。コアは正方形で磁気回路を構成しているが、四隅は磁気回路として無駄な領域である。この無駄な部分の面積が、ステータコア断面積の約30%もの領域を占めており、質量の増加につながっている。そこで図5の斜線部にある磁気回路として無駄になっている部分を取り除き、ステータの外周を丸くした。これにより磁気回路の無駄なスペースを削減することができる。図4において開発品の質量は従来品より少なく、特にステータの質量を削減できていることが分かる。これにより軽量化を達成することができる。

4. モータ性能の比較

図6にトルクー回転速度特性を示す。開発品の特性を実線で、従来品の特性を破線で記載している。従来品と比較して開発品は、高トルク化と高回転速度化しており、広範囲の出力領域を実現している。

図7には開発モータの外観を示す。フレームの外周が丸形状となっており、これによって全体の質量を従来品の140gから128gまで、約8.5%低減させることに成功した。

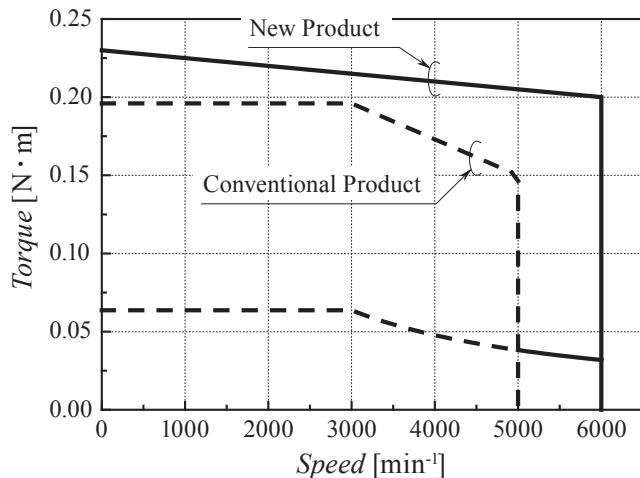


図6 トルクー回転速度特性
(当社アンプ組合せ, DC48V)

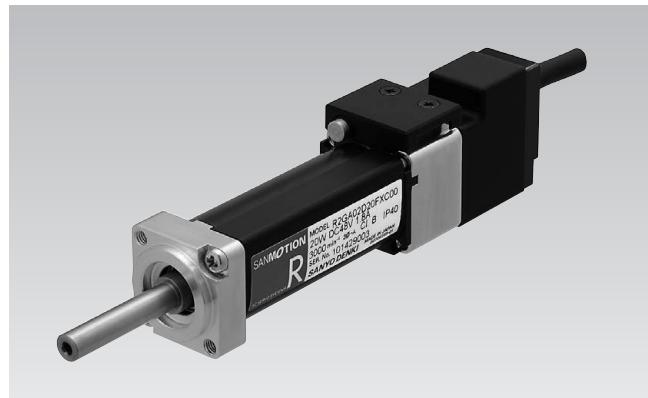


図7 開発モータの外観

モータの性能を当社ラインアップと比較する。モータ定数密度は次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$\frac{K_m}{Wt} = \frac{T_R}{\sqrt{W_c}} \cdot \frac{1}{Wt} = \frac{T_R}{\sqrt{3RI_R^2} \cdot Wt} \quad [(Nm/W^{0.5})/kg] \quad (1)$$

ここに,	K_m	: モータ定数	[Nm/W ^{0.5}]
	Wt	: モータ質量	[kg]
	T_R	: 定格トルク	[N·m]
	W_c	: 銅損	[W]
	R	: 熱時相抵抗	[Ω]
	I_R	: 定格電流	[A _{rms}]

ただしモータ質量は、ステータコア、巻線、マグネット、シャフトで構成されたトルクを発生させる構成部品の総和とする。

(1) 式を用いて図8に同じ低電圧アンプによって駆動する当社モータのラインアップ⁽²⁾の特性を比較した。

従来品の20角モータと比較して73.5%向上している。モータフランジサイズが小さくなる程、加工精度や組立精度など構成部品の制約により、トルクを大きくすることが難しく、また放熱面積が小さくなるため、損失による温度上昇はさらに厳しくなる。開発品では従来品と比較して大幅な損失低減を達成している。

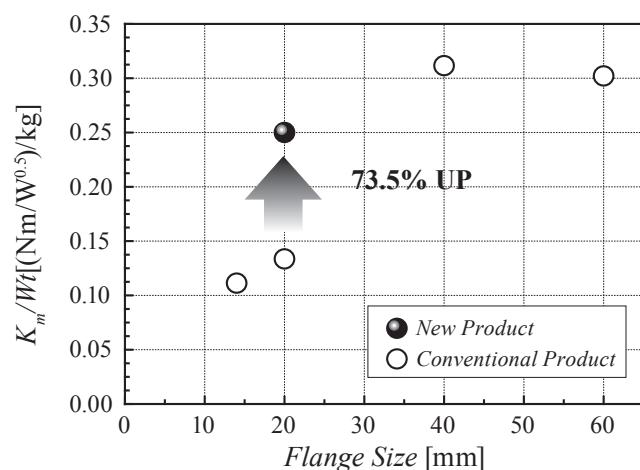


図8 モータ定数密度による比較

5. むすび

本稿では、新規開発品である「SANMOTION R」シリーズ小径20角ACサーボモータの技術成果を示した。

広範囲な出力領域を有し、軽量でかつ低損失なモータというコンセプトで次世代小径モータを開発した。磁気回路兼用フレーム構造と、高占積率巻線を適用することにより、出力領域の拡大と、軽量化を同時に達成した。また銅損の低減により、モータの発熱を抑えることができ、省エネルギー化にも貢献できる。

本開発品によって、お客様の次世代製品開発などにおいて、新たな価値の創造に少しでも貢献できれば幸いである。

文献

- (1) 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)
- (2) 油井、村田、林、宮澤、石崎：「小型・低電圧ACサーボアンプの開発」，SANYODENKI Technical Report, No.30 (2010)
- (3) 曲置、宮下、堀内、恩田：「小容量高精度ACサーボモータの開発」，SANYODENKI Technical Report, No.35 (2013)
- (4) 長坂：「制御用小形電動機」，電学誌、110号3巻 (平成2年)



宮下 利仁

1997年入社

サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。



堀内 学

2006年入社

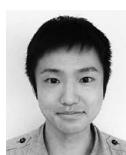
サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。



恩田 祐樹

2009年入社

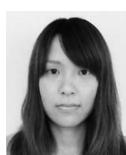
サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。



北島 純

2014年入社

サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。



清水 麻衣

2012年入社

サーボシステム事業部 設計第1部
サーボモータの設計開発に従事。