

「SANMOTION R1」ACサーボモータ 100角1kW～130角5kWの開発

長田 啓亮

Keisuke Nagata

村田 和義

Kazuyoshi Murata

佐藤 隆史

Takashi Sato

松嶋 健太

Kenta Matsushima

1. まえがき

工業製品の安定供給やコストダウンのためには生産性の向上は不可欠な要素となっている。近年、工業製品の製造現場ではマシンによるオートメーション化が急速に進み、マシンのサイクルタイムが生産性に大きく影響するようになった。その中で、ばね成形機やプリント基板穴あけ機、小型マシニングセンタ等の用途ではサイクルタイムの短縮を目的として、材料の送りや加工の位置決めの高速化が求められている。

これらの装置に搭載されるサーボモータには、さらなる高回転速度化と、瞬時に最高回転速度に到達するための高トルク化、すなわち出力領域の拡大が要求される。また、装置の省エネルギー化、省スペース化のニーズも強く、サーボモータには高効率化、小型・軽量化が求められている。

本稿では、こうした市場のニーズに応えるために開発した「SANMOTION R1」ACサーボモータの特長を紹介する。

開発品は残留磁束密度が高いマグネットの採用と電機子鉄心形状の最適化、プリント配線板の採用により、従来品に対して、小型・軽量化、出力領域の拡大、高効率化、および低コギングトルク化を実現した。

フランジ角サイズは100mmと130mmの2枠、定格出力は1kW～5kWの7種類で、最高回転速度6000min⁻¹タイプ(以下、6000min⁻¹タイプ)と、低速域の瞬時トルクを上げた最高回転速度3000min⁻¹タイプ(以下、3000min⁻¹タイプ)の2種類をラインアップした。

なお、開発品は当社従来製品である「SANMOTION Q1」ACサーボモータ⁽¹⁾の後継機種である。

2. 性能向上のための設計ポイント

2.1 開発品における設計ポイント

開発品は従来製品に対して小型・軽量化、高効率化、出力領域の拡大および低コギングトルク化を実現している。本稿では、これらの性能向上のために実施した設計のポイントとそれぞれの性能について、従来製品と比較しながら紹介する。

本開発において性能向上のために実施した設計ポイントを図1に示す。

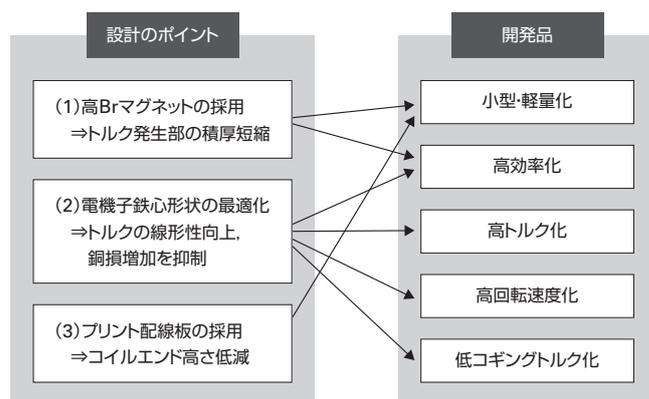


図1 開発における設計ポイント

(1) 残留磁束密度 (Br) が高いマグネットを採用

開発品は従来品に対して残留磁束密度 (Br) が高いマグネットを採用したことで、トルク発生部の積厚を短くでき、全長短縮と軽量化を実現した。

また積厚短縮に伴い、電機子を構成している電磁鋼板とマグネットワイヤの使用量を少なくでき、鉄損と銅損を低減して高効率化を達成した。

(2) 電機子鉄心形状の最適化

図2に開発品の電機子鉄心形状の概略図を示す。開発品では、ティース部を磁束が飽和しやすいバックヨーク側から内径側にかけて細くなるテーパ形状とした。これは磁束の飽和を緩和して高トルク化を図りつつ、巻線空間面積を確保し、銅損の増加を最小限に抑えるためである。

また、磁束密度を下げたことで鉄損も低減するため、高効率化にも寄与している。

さらに、鉄心の歯先形状はコギングトルクが極小となるように最適化した。

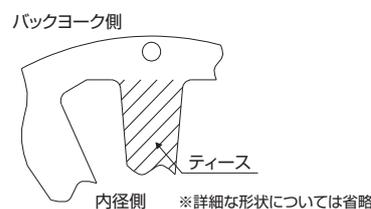


図2 開発品の電機子鉄心

(3) プリント配線板の採用

図3に従来品と開発品のコイルエンド部の断面図を示す。従来品はコイルエンド結線を渡り線で行っており、結線スペースが必要であった。開発品はコイルエンド結線にプリント配線板を採用し、コイルエンドの高さを抑え、全長を短縮した。

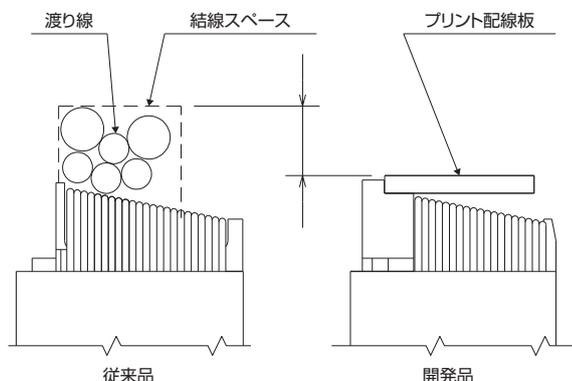


図3 従来品と開発品のコイルエンド結線部

2.2 性能の向上 (従来製品との比較)

2.2.1 出力領域の拡大

図4に定格出力1.5kWモータのトルクと電機子起磁力の関係を示す。

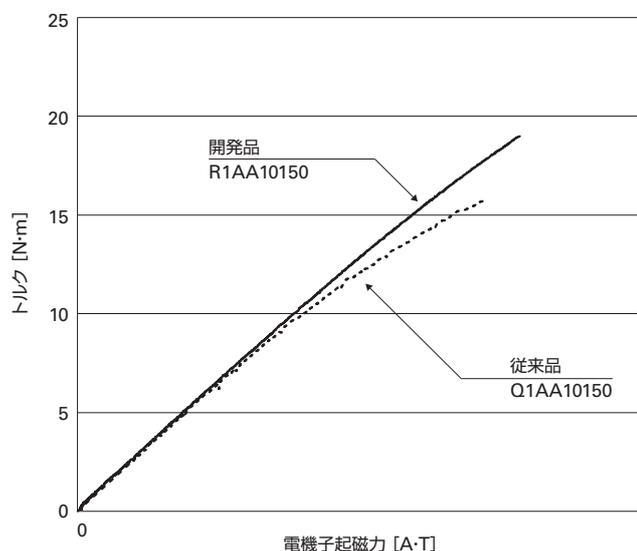


図4 トルクー電機子起磁力 (1.5kW)

開発品は電機子鉄心形状を最適化したことで、従来品に対して電機子起磁力に対するトルクの線形性が向上し、さらなる高トルク化が可能となった。

表面磁石型モータの一相分の端子電圧は(1)式で表され、高回転速度化を実現するには、(1)式右辺第2項のリアクタンスによる電圧降下を小さくすればよい。

$$\dot{V} = R_{\phi} \dot{I} + X_L \dot{I} + \dot{E} \quad [\text{V}] \quad (1)$$

ただし、
$$X_L = 2\pi \frac{NP}{120} L_{\phi} \quad [\Omega] \quad (2)$$

ここに、

- \dot{V} : 一相分の端子電圧 [V]
- R_{ϕ} : 相抵抗 [Ω]
- \dot{I} : 電機子電流 [A]
- X_L : リアクタンス [Ω]
- \dot{E} : 逆起電力 [V]
- N : 回転速度 [min⁻¹]
- P : 極数
- L_{ϕ} : 相インダクタンス [H]

図4に示すように開発品はトルクの線形性が向上したため、従来品と同じトルクを発生させる場合に電機子巻線の巻数を少なくできる。したがって、相インダクタンスを小さくでき、リアクタンスによる電圧降下を抑え、高回転速度化が可能となった。

図5に定格出力1.5kWモータにおける、従来品と開発品のトルクー回転速度特性を示す。

開発品は、従来品に対して6000min⁻¹タイプは最高回転速度が33%向上、3000min⁻¹タイプは瞬時最大トルクが22%向上した。なお6000min⁻¹タイプと3000min⁻¹タイプの特長は後述する。

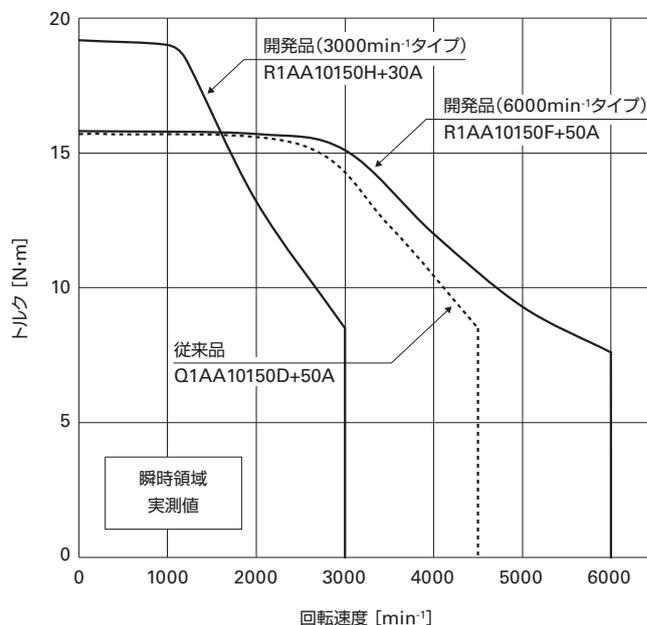


図5 トルクー回転速度特性 (1.5kW)

2.2.2 高効率化

図6に定格出力1.5kWに従来品と開発品の定格運転時の電力損失比較を示す。

開発品は従来品に対して定格運転時の電力損失は25%低減、効率は2.4%上昇し、装置の省エネルギー化に貢献する。

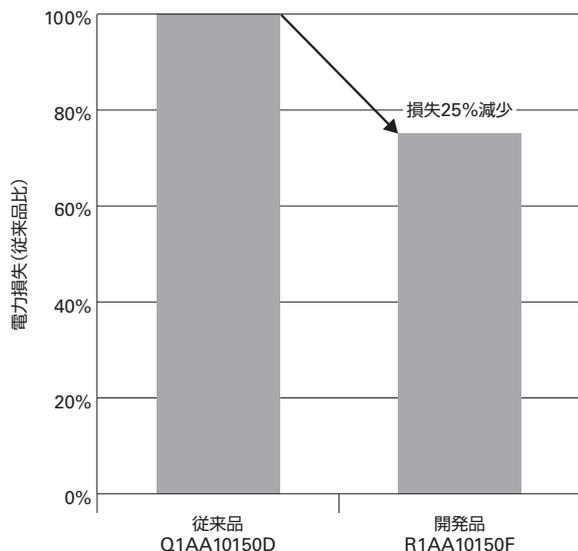


図6 電力損失比較 (定格運転時, 1.5kW)

2.2.3 小型・軽量化

表1に開発品と従来品の全長と質量の比較を示す。また、定格出力2.5kWモータを例に、従来品との全長比較を図7に示す。

開発品は従来品の同フランジ角サイズ、同出力のモータに対して全長は平均18%、最大で60mm短縮した。また、質量は平均21%低減した。

表1 サーボモータの全長・質量比較一覧

| 定格出力 | モータ全長 [mm] | | モータ質量 [kg] | |
|------|------------|-----|------------|------|
| | 開発品 | 従来品 | 開発品 | 従来品 |
| 1 | 145 | 184 | 3.8 | 5.4 |
| 1.5 | 168 | 209 | 5.0 | 6.5 |
| 2 | 179 | 234 | 5.7 | 8.7 |
| 2.5 | 199 | 259 | 6.7 | 9.4 |
| 3 | 184 | 205 | 9.7 | 11.4 |
| 4 | 208 | 232 | 12.2 | 14.4 |
| 5 | 232 | 269 | 14.3 | 18.1 |

※ブレーキ無し仕様で比較

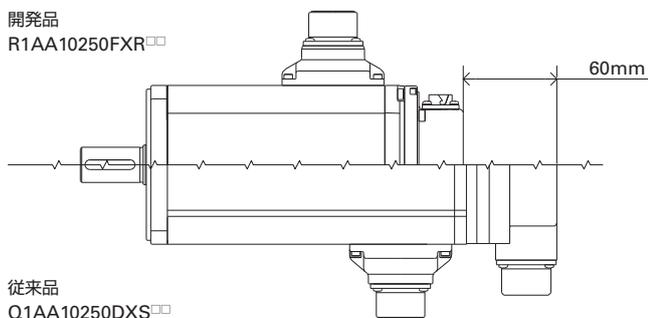


図7 モータ全長比較 (2.5kW)

2.2.4 低コギングトルク化

図8に定格出力1.5kWモータの従来品と開発品のコギングトルク波形を示す。開発品はコギングトルクを従来品の1/3程度に低減した。このため、より滑らかな運転が可能となり、装置の加工精度の向上や、振動低減に貢献する。

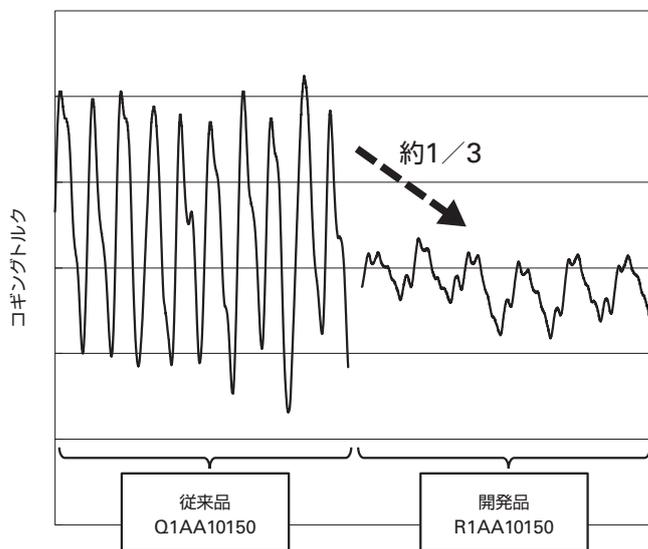


図8 コギングトルク波形 (定格出力 1.5kW)

3. 製品仕様・特長

図9, 図10に開発品の外観を示す。また、表2, 表3に開発品の仕様一覧を示し、図11~図24にそれぞれのトルク-回転速度特性を示す。

開発品は定格出力1枠につき、最高回転速度が6000min⁻¹タイプと、3000min⁻¹タイプの2種類をラインアップしている。2つの仕様の特長は以下の通りである。

- ① 6000min⁻¹タイプ
最高回転速度が6000min⁻¹ (従来機種比20~33%向上) で、装置を高速に駆動でき、サイクルタイムの短縮に貢献する。
- ② 3000min⁻¹タイプ
6000min⁻¹タイプに対して瞬時最大トルクを1.1倍~1.2倍に向上した。さらに、電機子電流を下げる仕様としたことで、6000min⁻¹タイプに対して組み合わせアンプ容量を小さくしている。これにより、ショートピッチ駆動の用途において、さらなる加減速時間の短縮とアンプ容量ダウンによるコストメリットが得られる。



図9 開発品の外観 (フランジ角サイズ 100mm)



図10 開発品の外観 (フランジ角サイズ 130mm)

表2 6000min⁻¹タイプの仕様一覧

| 組合せサーボアンプ容量 | | 50A | | 75A | | 100A | 150A | |
|----------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| モータ型番 | 単位 | R1AA10100F | R1AA10150F | R1AA10200F | R1AA10250F | R1AA13300F | R1AA13400F | R1AA13500F |
| 定格出力 | kW | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| 定格回転速度 | min ⁻¹ | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| 最高回転速度 | min ⁻¹ | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| 定格トルク | N・m | 3.2 | 4.8 | 6.37 | 7.97 | 9.7 | 12.8 | 16.0 |
| 瞬時最大トルク | N・m | 10.5 | 15.0 | 20.0 | 24.0 | 29.0 | 39.0 | 48.0 |
| 回転イナーシャ | ×10 ⁻⁴ kg・m ² | 1.4 | 2.0 | 2.3 | 2.8 | 7.0 | 8.8 | 10.6 |
| 質量 (ブレーキなし/付き) | kg | 3.8/5.3 | 5.0/6.6 | 5.7/7.2 | 6.7/8.2 | 9.7/11.8 | 12.2/14.7 | 14.3/16.8 |

表3 3000min⁻¹タイプの仕様一覧

| 組合せサーボアンプ容量 | | 30A | | 50A | | 75A | 100A | |
|----------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| モータ型番 | 単位 | R1AA10100H | R1AA10150H | R1AA10200H | R1AA10250H | R1AA13300H | R1AA13400H | R1AA13500H |
| 定格出力 | kW | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| 定格回転速度 | min ⁻¹ | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| 最高回転速度 | min ⁻¹ | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| 定格トルク | N・m | 3.2 | 4.8 | 6.37 | 7.97 | 9.7 | 12.8 | 16.0 |
| 瞬時最大トルク | N・m | 12.6 | 18.0 | 24.0 | 27.5 | 34.8 | 47.0 | 55.0 |
| 回転イナーシャ | ×10 ⁻⁴ kg・m ² | 1.4 | 2.0 | 2.3 | 2.8 | 7.0 | 8.8 | 10.6 |
| 質量 (ブレーキなし/付き) | kg | 3.8/5.3 | 5.0/6.6 | 5.7/7.2 | 6.7/8.2 | 9.7/11.8 | 12.2/14.7 | 14.3/16.8 |

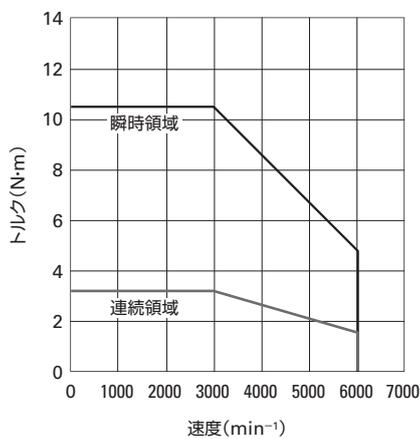


図11 トルクー回転速度特性 (R1AA10100F)

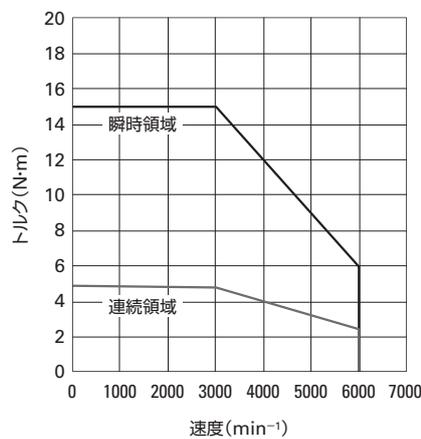


図12 トルクー回転速度特性 (R1AA10150F)

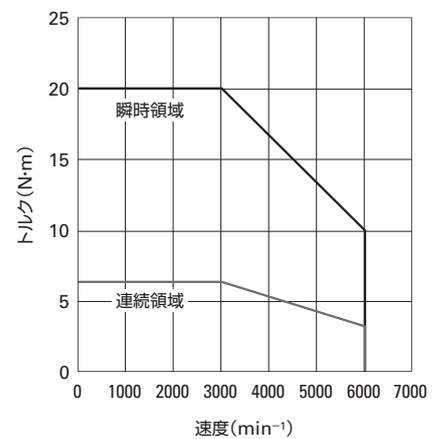


図13 トルクー回転速度特性 (R1AA10200F)

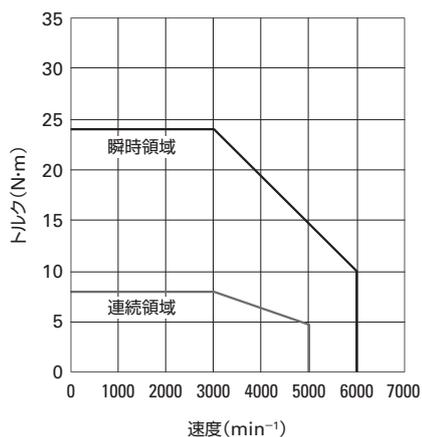


図 14 トルクー回転速度特性 (R1AA10250F)

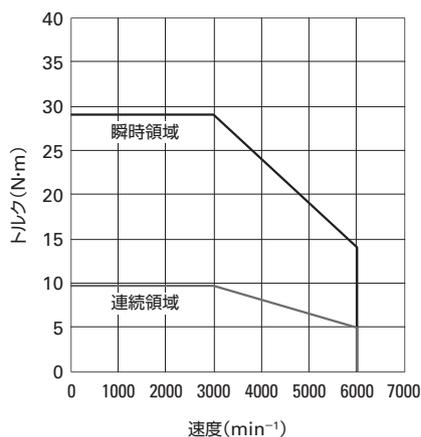


図 15 トルクー回転速度特性 (R1AA13300F)

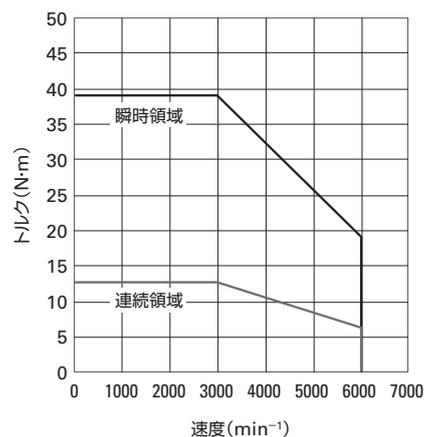


図 16 トルクー回転速度特性 (R1AA13400F)

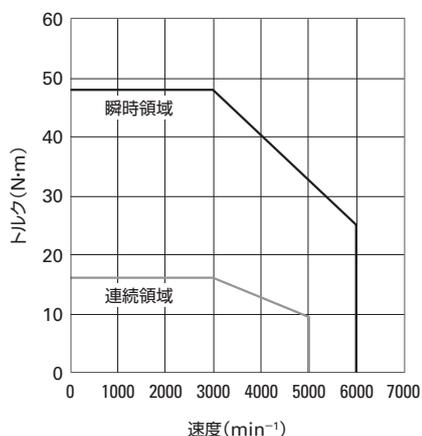


図 17 トルクー回転速度特性 (R1AA13500F)

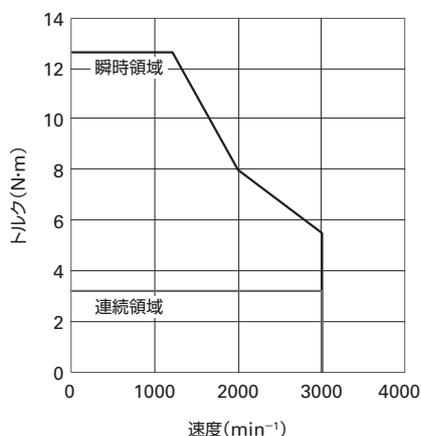


図 18 トルクー回転速度特性 (R1AA10100H)

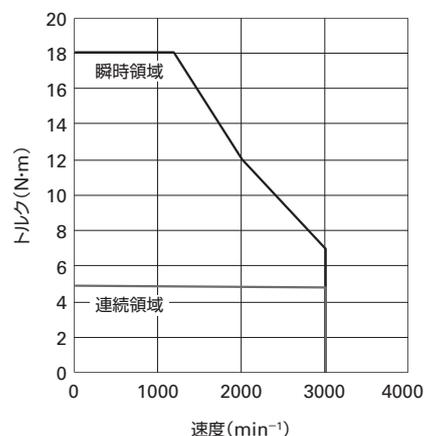


図 19 トルクー回転速度特性 (R1AA10150H)

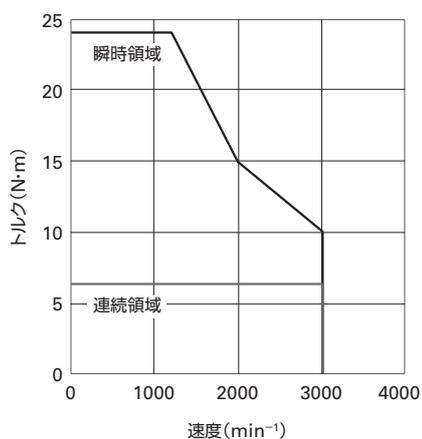


図 20 トルクー回転速度特性 (R1AA10200H)

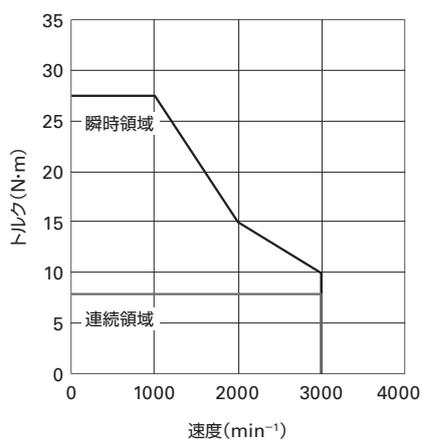


図 21 トルクー回転速度特性 (R1AA10250H)

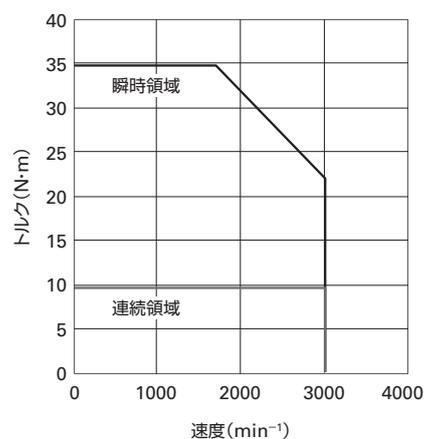


図 22 トルクー回転速度特性 (R1AA13300H)

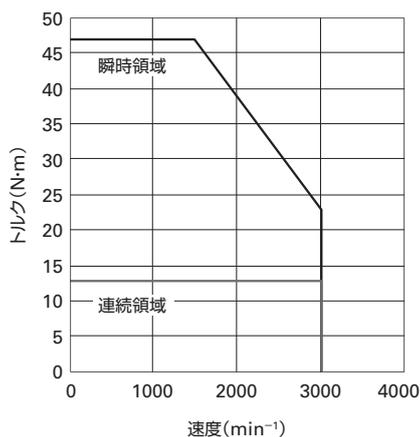


図23 トルクー回転速度特性 (R1AA13400H)

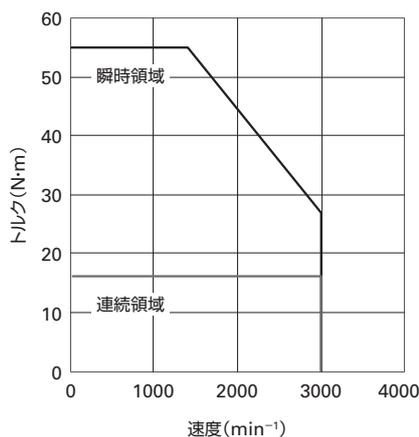


図24 トルクー回転速度特性 (R1AA13500H)

4. むすび

本稿では、「SANMOTION R1」フランジ角サイズ100mmと130mmのACサーボモータを紹介した。

開発品は残留磁束密度が高いマグネットの採用と電機子鉄心形状の最適化、プリント配線板の採用により、従来品に対して、小型・軽量化、出力領域の拡大、高効率化、および低コギングトルク化を実現した。

開発品は最高回転速度が6000min⁻¹タイプと3000min⁻¹タイプの2種類をラインアップし、用途によって適切なモータを選定でき、お客さま装置のサイクルタイム短縮と省エネルギー化、省スペース化に貢献する。

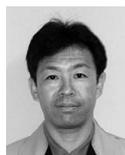
文献

- (1) 宮下利仁ほか：「ACサーボモータ Qシリーズ」
SANYODENKI Technical Report, No.14 (2002)



長田 啓亮

2013年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの設計開発に従事。



村田 和義

1991年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの設計開発に従事。



佐藤 隆史

2005年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの設計開発に従事。



松嶋 健太

2015年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの設計開発に従事。