

工作機械主軸用誘導電動機 & サーボアンプ 「SANMOTION S」シリーズの開発

関口 孝 木藤 昌宏 志村 祐介
Takashi Sekiguchi Masahiro Kidou Yuusuke Shimura

井出 勇治 小山 雅久 北原 通生 小池 宏明 千野 晴彦
Yuji Ide Masahisa Koyama Michio Kitahara Hiroaki Koike Haruhiko Chino

宮崎 俊一 春日 規明 山崎 悟史 福地 寛之
Shunichi Miyazaki Noriaki Kasuga Satoshi Yamazaki Hiroyuki Fukuchi

1. まえがき

工作機械の主軸では、広い定出力特性を持つサーボシステムが必要であり、その特性が容易に得られる誘導電動機が従来から使用されている。最近の工作機械では、生産性をより高くするために、主軸サーボシステムに対して、高トルク化と高速化の両立が要求されている。

本稿では、このような要求を踏まえ、高速動作に適した誘導電動機とそのサーボアンプの開発を行ったので、その特徴、技術内容について概説する。

2. 製品の概要

2.1 誘導電動機

誘導電動機は、簡単・堅牢な構造であり、高価なマグネットも不要であるので、低コスト化に適している。

また、マグネットを用いる同期電動機と比較すると、弱め界磁領域の磁束の制御が容易なため、巻線仕様を最適化することにより広い定出力特性が得られ、工作機械の主軸用モータに適している。

開発した主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズはそれらの特徴を活かしながら、最大トルクを高め、ロータイナーシャの低減により、最大角加速度を向上させ、高速動作に適したモータにした。図1に主軸用誘導電動機(4.5kW)の外観を示す。また表1に主軸用誘導電動機の仕様を示す。

2.2 サーボアンプ

開発したACサーボアンプ「SANMOTION S」シリーズは、電源一体、単軸型で、回生抵抗外付けタイプである。指令形態としては、パルス列入力とアナログ電圧入力に対応したアナログパルス列インタフェースタイプ、そしてEtherCAT通信に対応したEtherCATインタフェースタイプの2機種をラインナップしている。また、適用エンコーダとしては、パルスエンコーダに対応している。

サーボアンプは、ACサーボアンプ「SANMOTION R」シリーズAdvanced Modelと取付け互換、寸法互換になっている。小型チップ部品や新世代パワー半導体の採用により、従来の誘導電動機用

サーボアンプSZシリーズと比較すると大幅な小型化を実現している。

コネクタ関係は、使い勝手を重視し、上位コントローラと接続するコネクタ、エンコーダコネクタ、モニタ用コネクタ、セットアップソフトウェア接続用コネクタはACサーボアンプ「SANMOTION R」シリーズAdvanced Model互換とし、エンコーダコネクタ信号は誘導電動機ドライブ専用になっている。

図2に出力容量150Aタイプの外観を示す。また、表2にサーボアンプ仕様を示す。



図1 主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズの外観



図2 ACサーボアンプ「SANMOTION S」シリーズ150Aの外観

表1 主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズ仕様

	4.5kW	3.2kW
モータサイズ(mm)	□160×367L	□160×432L
質量(kg)	31	36
定格出力(kW)	4.5	3.2
最大出力(kW)	13.5	9.6
基底回転速度(min ⁻¹)	3000	1500
最高回転速度(min ⁻¹)	15000	12000
定格トルク(N・m)	14.3	20.4
最大トルク(N・m)	43.0	61.1
保護等級	IP55	IP55
ロータイナーシャ (kg・m ²)	0.00483	0.00686

表2 ACサーボアンプ「SANMOTION S」シリーズ仕様

電源電圧	AC200V
アンプ出力容量	150A
適用モータ容量	3.2kW, 4.5kW
対応エンコーダ	500～65535×4 P/R (A,B,Zパルス)
制御機能	位置, 速度, トルク制御, オリエンテーション制御
制御方式	正弦波PWM制御
速度制御範囲	1:5000(内部指令)
周波数特性	200Hz
シーケンス信号	アナログパルス列アンプ: 入力8ch, 出力8ch EtherCATアンプ: 入力6ch, 出力2ch
使用周囲温度	0～55℃
構造	トレイタイプ
準拠規格	UL, CE, RoHS指令

3. 製品の特長

主軸モータは、大きなトルクでの低速重切削や、中速での送り軸との同期加工、そして高速での切削加工を実現するため、

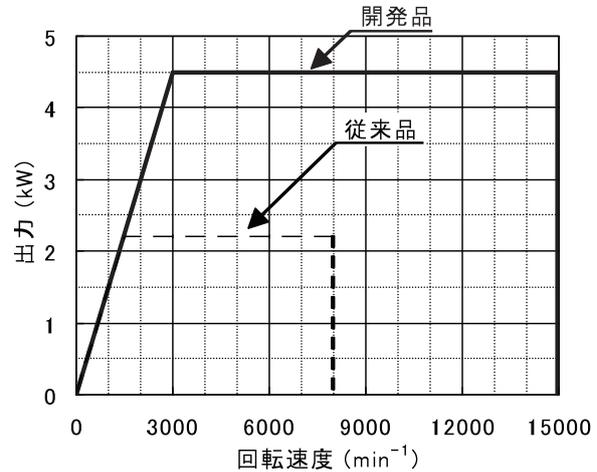
- (1) 低速のトルクが大きいこと
- (2) 高速回転できること
- (3) 高速応答が得られること
- (4) 加減速時間が短いことが求められる。

3.1 低慣性

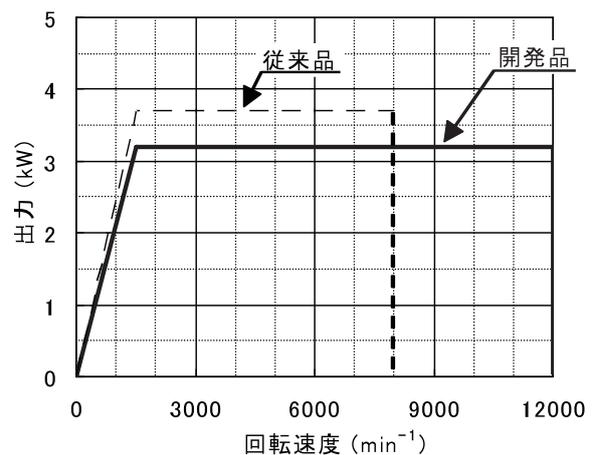
主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズでは、ロータ外径の最適化とロータスロットを工夫しロータ導電体をアルミにする事で、従来モータよりロータイナーシャを大幅に低減した。また、ロータをアルミダイカストにする事で、コスト低減の両立を図った。

3.2 広い定出力領域

主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズでは、巻線仕様の最適化により、広い定出力領域を実現した。これにより、最高回転速度を従来比1.5倍～1.9倍に高めている。図3に連続領域の出力-回転速度特性を示す。



(a) 4.5kW

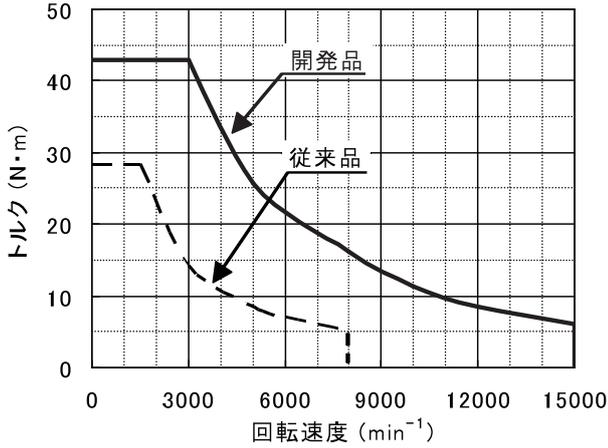


(b) 3.2kW

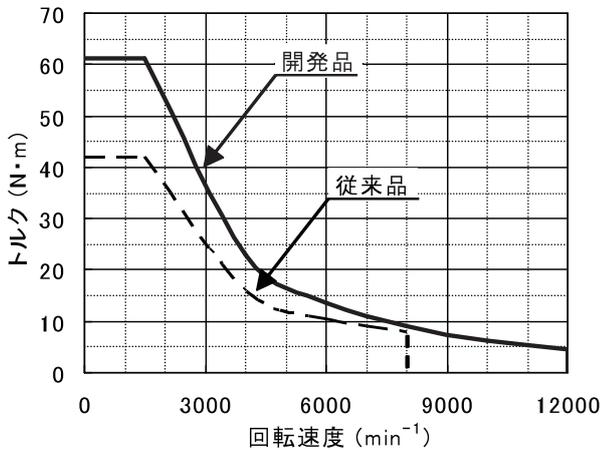
図3 連続領域の出力-回転速度特性

3.3 高トルク化

主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズでは、サーボアンプの最大電流を最大限に活かし、瞬時トルクを従来比1.5倍に向上させた。図4に瞬時領域のトルク-回転速度特性を示す。



(a) 4.5kW



(b) 3.2kW

図4 瞬時領域のトルク-回転速度特性

3.4 高い最大角加速度

主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズでは、ロータイナーシャの低減と広範囲な高トルク化で、最大角加速度を従来より大幅に向上させた。図5に、従来品との最大角速度比較を示す。

3.5 高速磁束制御

誘導電動機は、励磁電流を流して磁束を作る必要がある。そして、高速時は励磁電流を小さくして磁束を弱め、インバータの出力電圧飽和を抑制する弱め界磁制御を行う。しかし、磁束は励磁電流に対して遅れをもって動作するため、急峻な加減速を行う用途では、回転速度の変化に対して磁束の変化が遅れ、安定したトルク制御を行う事ができない。ACサーボアンプ「SANMOTION S」シリーズでは、この弱め界磁の制御方法として、励磁電流に代わって磁束を直接制御する方法を開発した。モータパラメータを用いて磁束を推定し、磁束制御ループを構成した。これにより、磁束応答が高速になり、急峻なモータの加減速に伴う弱め界磁に、磁束が追従できるようになっている。

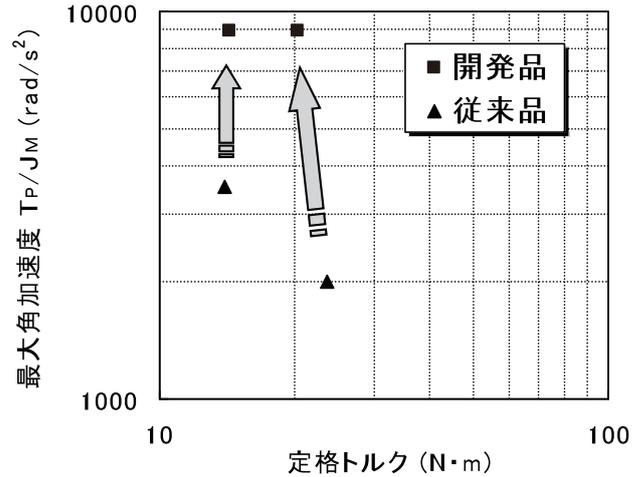


図5 最大角加速度-定格トルク特性

3.6 トルクアップ制御

誘導電動機は、トルク電流と励磁電流の制御が必要になる。従来は、この励磁電流とトルク電流を独立に制御していたため、インバータの最大出力電流を有効に生かしていなかった。「SANMOTION S」シリーズでは、インバータの最大出力電流を有効に生かすため、励磁電流を考慮したトルク制御を行っている。これにより、従来は、弱め界磁に伴いモータに供給する最大電流が低下していたが、「SANMOTION S」シリーズでは弱め界磁をしてもモータに供給する最大電流が低下しないようになり、高速域のトルクを2割程度増加させる事ができている。

3.7 トルク定数補償制御

汎用的な誘導電動機制御では、弱め界磁により、中高速になるとトルク定数が低下する。トルク定数の低下は速度応答の低下につながるため、送り軸との同期加工精度が低下してしまう。「SANMOTION S」シリーズでは、中速域までのトルク定数を補償する制御を開発し、送り軸との同期加工精度が低下しないような工夫を行っている。

3.8 高速ベクトル制御

磁束制御ループを適用した高速磁束制御、励磁電流を考慮したトルクアップ制御、トルク定数補償制御などにより、誘導電動機のトルク制御の中心となるベクトル制御を高速化した。図6は、本制御による速度周波数応答であり、200Hzの高速応答を実現している。なお、エンコーダを高分解能化する事により、この応答は500Hzまで高める事ができる。

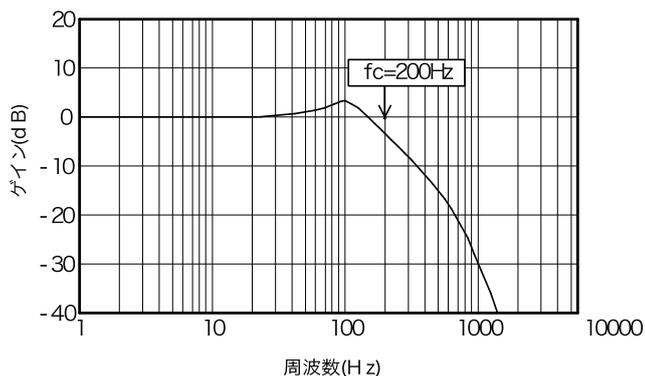


図6 速度周波数応答

また、この高速ベクトル制御と低慣性高トルク誘導電動機により、最高回転速度までの加減速時間が300～500msと、従来の2～3secに対して非常に短くなっている。図7に、4.5kWモータの15000min⁻¹までの加減速特性を示す。

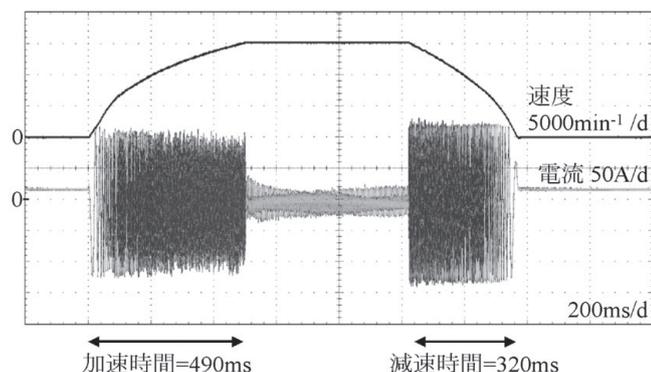


図7 最高回転速度までの加減速特性

3.9 高速オリエンテーション

主軸モータを所望位置に位置決めするため、一定の速度(オリエンテーション速度)まで速度制御で運転し、制御モードを速度制御から位置制御に切り替え、指令停止位置に基づいて定位置停止制御を行うオリエンテーション機能を搭載した。図8は、この動作を示したものである。

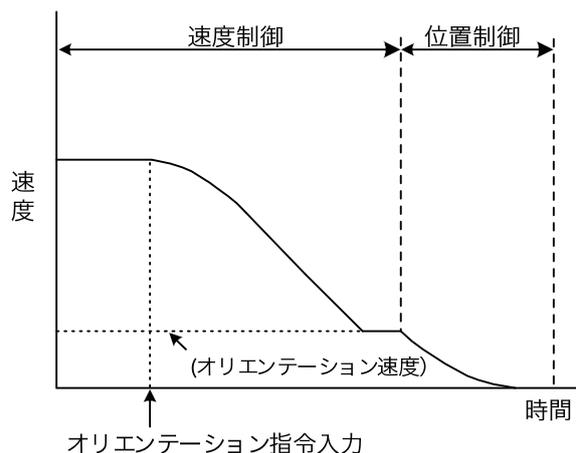


図8 オリエンテーション動作

4. むすび

本稿では、主軸用誘導電動機「SANMOTION S」シリーズ、及びACサーボアンプ「SANMOTION S」シリーズについて概説した。

この誘導電動機、及びサーボアンプを機械に搭載した場合、次の効果が得られる。

- (1) 低慣性高トルク誘導電動機及び高速ベクトル制御により、主軸の加減速時間を短くでき、サイクルタイムが短縮される。
- (2) 本開発機は広い定出力領域をもつため、低速重切削と高速切削加工を両立できる。
- (3) 高速ベクトル制御とトルク定数補償制御により、送り軸との高精度同期制御が実現できる。
- (4) 誘導電動機を取り付ける機械や、サーボアンプを取り付ける制御盤を小型化でき、機械の省資源化が図れる。

以上の様に、ACサーボシステム「SANMOTION S」シリーズは、高速動作を必要とする工作機械に適しており、従来機と比較して機械の性能を格段に向上できるものと考えている。

今後は、容量ラインナップの拡充や、誘導電動機ドライブ機能の拡張を行っていく予定である。また、より使いやすく、高品質で生産性が向上するための技術開発を積極的に進める所存である。



関口 孝
1990年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの開発, 設計に従事。



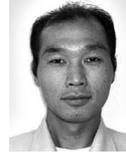
木藤 昌宏
2004年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの開発, 設計に従事。



志村 祐介
2010年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータの開発, 設計に従事。



井出 勇治
1984年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



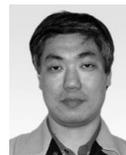
小山 雅久
1990年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



北原 通生
1991年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



小池 宏明
1988年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



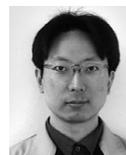
千野 晴彦
1983年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



宮崎 俊一
1990年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



春日 規明
2007年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



山崎 悟史
2001年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。



福地 寛之
2010年入社
サーボシステム事業部 設計第二部
サーボアンプの開発, 設計に従事。