

# 高性能サーボシステム「ALPHA5 シリーズ」

中山 智晴 (なかやま ともはる)

津崎 加代 (つざき かよ)

松本 寛之 (まつもと ひろゆき)

特集(1)

## ① まえがき

近年、サーボシステムは、半導体・液晶製造装置、電子部品加工装置など産業機械全般に用途を広げている。その中で、いっそうの高速・高精度化、立上げ調整時間の短縮、小型化、メンテナンス性の向上といったニーズが高まっている。

「ALPHA5 シリーズ」は、これらのニーズに応えるサーボシステムである。高速・高精度化といった基本制御性能の向上、小型化に加え、パルス平滑機能、オートノッチフィルタ、新制振制御といった機能を搭載することにより、立上げ調整時間の大幅な短縮を可能にしている。さらに、パソコン支援ツール（パソコンロード）の機能を一新し、使い勝手の向上にも傾注した。

以下に、本サーボシリーズの仕様、特徴について紹介する。

## ② 基本仕様

ALPHA5 シリーズの外観を図1に示す。

サーボアンプ、サーボモータともに従来よりも小型化している。サーボアンプでは、取付け面積を当社従来比で

図1 ALPHA5シリーズの外観



表1 サーボモータの基本仕様

項目	型式		GYCモータ（低慣性）		GYGモータ（中慣性）	
	GYSモータ（超低慣性）					
定格出力 (kW)	0.05~0.75 5機種	1.0~5.0 6機種	0.1~0.75 4機種	1.0~2.0 3機種	0.5~2.0 5機種	0.5~1.3 3機種
定格回転速度 (r/min)	3,000				2,000	1,500
最大回転速度 (r/min)	6,000	5,000	6,000	5,000	3,000	
最大/定格トルク比	300%					
エンコーダ	20ビットシリアルエンコーダ（インクリメンタル） 18ビットシリアルエンコーダ（アブソリュート/インクリメンタル）					
保護通風	全閉・自冷（IP67）					
取付け方式	フランジ取付け IMB5（L51）, IMV1（L52）, IMV（L53）					
設置場所	屋内、標高1,000m以下					
周囲温度・湿度	-10~+40℃, 90%RH以下（結露なきこと）					
対応規格および指令	UL/cUL（UL1004）準拠, CEマーキング <sup>1</sup> （EN60034-1, EN60034-5）準拠, RoHS <sup>2</sup> 指令					

\*1 CEマーキング：欧州の製品安全規格に合格していることを認証するマーキング

\*2 RoHS：電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限



中山 智晴

サーボシステムの開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部。電気学会会員。



津崎 加代

サーボシステムの開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部。



松本 寛之

モーション制御の研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジ株式会社エレクトロニクス技術研究所。電気学会会員。

25～30%削減している。また、従来と同様に、サーボアンプの密着配置が可能であり、機械のいっそうの小型化が実現可能である。

このシリーズの仕様について、以下に紹介する。

### 2.1 サーボモータの基本仕様

サーボモータの基本仕様を表1に示す。サーボモータは慣性帯の異なるGYS, GYC, GYGの3タイプがあり、それぞれ定格出力、定格回転速度、ブレーキの有無により全52機種で構成されている。ALPHA5シリーズ用モータでは、新たに小型・高分解能の20ビットインクリメンタルと18ビットアブソリュートのエンコーダを採用した。これにより高精度な制御を実現することに加え、全長が当社従来比で約15%削減できた。また、750W以下の機種では最高回転速度を5,000r/minから6,000r/minに引き上げたことにより、機械のタクトタイム短縮に貢献する。モー

タ構造においても従来同様の保護等級IP67に全機種標準対応しており、高い耐環境性を有している。

### 2.2 サーボアンプの基本仕様

サーボアンプの基本仕様を表2に示す。サーボアンプは、汎用インタフェース、高速シリアルバス(SXバス)、位置決め機能内蔵SXバスの3タイプがある。現在、最も多く用いられるパルス列やアナログ電圧の汎用インタフェースと、今後主流となると思われる高速シリアルバス接続のタイプを、先行してラインアップした。

アンプ内部の回路は、寿命部品であるアルミ電解コンデンサ、冷却ファンを長寿命化している。また、USB(Universal Serial Bus)を標準搭載した。市販のケーブルでパソコンローダと接続できるため、より使いやすいものになっている。

表2 サーボアンプの基本仕様

項目	型式	VV	VS	LS (位置決め内蔵タイプ)
指令インタフェース		汎用インタフェース (パルス列・アナログ電圧)	高速シリアルバス (SXバス)	
制御モード		位置制御/速度制御/トルク制御		位置制御
適用モータシリーズ		GYS, GYC, GYGモータ		
容量		0.05～5.0kW		
電源	主電源	単相または三相 AC200～240V (1.0kW以上は三相のみ)		
	制御電源	単相 AC200～240V		
機能・性能	制御	IGBT PWM正弦波駆動		
	フィードバック	20ビットシリアルエンコーダ (インクリメンタル, 1回転分解能1,048,576) 18ビットシリアルエンコーダ (アブソリュート/インクリメンタル, 1回転分解能262,144)		
	過負荷耐量	300%/3秒		
	周波数応答	1,500Hz (モータ慣性モーメント=負荷慣性モーメント)		
インタフェース	通信インタフェース	RS-485	SXバス	
	シーケンス入力	8本	5本	
	シーケンス出力	5本	2本	
	パルス列指令	差動入力：最大入力周波数1.0MHz オープンコレクタ入力：最大入力周波数200kHz パルス列形態：指令パルス/指令符号 正転パルス/逆転パルス } いずれかの形態をパラメータで選択 90°位相差2信号		
	パルス列出力	差動出力：最大出力周波数1.0MHz パルス列形態：90°位相差2信号		
	アナログ指令	速度指令入力 範囲：-10～+10V 分解能：15ビット/フルスケール トルク指令入力 範囲：-10～+10V 分解能：14ビット/フルスケール	なし	
	アナログモニタ	範囲：-10～+10V, 分解能：14ビット/フルスケール 出力内容は内部パラメータによる		
環境	設置場所	屋内、標高1,000m以下、じんあい、腐食性ガス、直射日光なきこと CEマーキング対応の場合：汚染度2、過電圧カテゴリーⅢ		
	周囲温度・湿度	-10～55℃/10～90%RH (結露なきこと)		
	耐振動、耐衝撃	4.9m/s <sup>2</sup> , 19.6m/s <sup>2</sup>		
対応規格および指令	UL/cUL (UL508c) 準拠, CEマーキング (低電圧指令IEC61800-5-1) 準拠, RoHS指令			

特集(1)

③ 高性能化

3.1 高速・高精度位置決め

生産性向上のため、タクトタイム短縮の要求がますます高まっている。また、電子部品の小型化などに伴い、機械加工の高精度化の要求も増加している。

ALPHA5シリーズでは、CPUと専用LSIから成る新開発の高速演算回路を採用することに加え、従来のサーボシステムで培ってきた制御アルゴリズムをさらに進化させることにより、周波数応答1,500Hzと、高速な位置決め動作を実現した。また、20ビットの高分解能・高精度エンコーダ採用により、滑らかでかつ精密な位置決め動作を可能とした。

図2に、10mmのボールねじでの位置決め動作波形例を示す。1μm以下の位置決めを、指令からの遅れ（位置決め整定時間）1.5msで実現している。高タクトと高精度が要求される半導体製造装置などに使用することにより、機械性能を向上させることができる。

3.2 使いやすさをコンセプトに進化した制御機能

(1) オートチューニング

前述の高速演算回路と、高分解能エンコーダを採用することで、負荷慣性モーメントの推定精度を向上することができた。それに加えて、以下に示すオートノッチフィルタ、自動制振制御、パルス平滑機能を使うことにより、ベルト

図2 位置決め動作波形

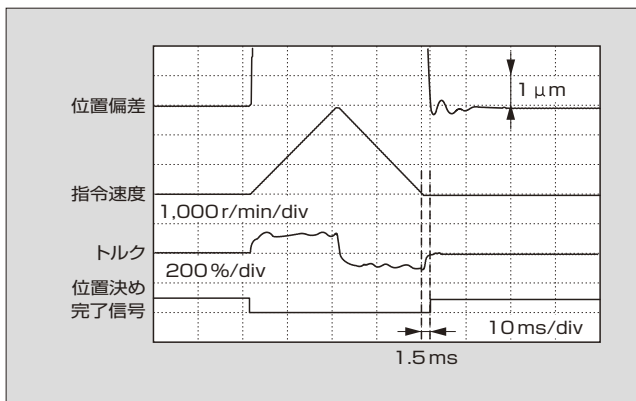
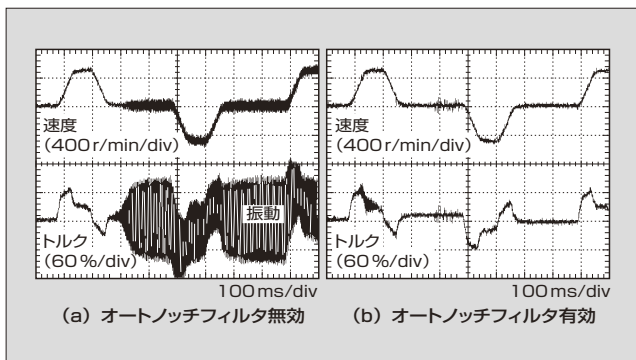


図3 オートノッチフィルタ



機構などの低い剛性の機械や、粗いパルス指令の機械でも、オートチューニングで容易に高応答を得ることができる。

(2) オートノッチフィルタ

ノッチフィルタとは、指定した周波数成分のみを減衰させるフィルタである。サーボシステムでは、機械共振周波数を設定することで全体の応答を損ねることなく、振動成分のみを抑制することができる。

ALPHA5シリーズでは、トルク振動を常時監視し、振動周波数を自動的に設定するオートノッチフィルタを新たに搭載した。従来は、機械系の周波数特性を解析し、共振周波数をマニュアルで設定する必要があった。その手間を不要とし、立上げ調整時間の短縮を図った。また、複雑な機械システムや、機械の経時劣化により、共振周波数が増加する場合に対しても、常に適切な共振周波数を自動設定している。

図3にオートノッチフィルタを有効にした場合と、無効にした場合の動作波形例を示す。オートノッチフィルタを無効にした場合、振動が持続するのにに対し、有効にした場合、振動が検出されると瞬時に、トルクおよび速度の振動が抑制されている。

(3) 新制振制御

制振制御は、ロボットアームの先端などで、位置決め動作後の残留振動を抑制する機能で、剛性の低い機械でのタクトタイム短縮を可能とするものである。従来は、アーム先端の振動周波数を、机上計算や周波数解析などにより求めて、手動で設定する必要があった。しかし、今回は、オンライン学習機能を搭載し、振動周波数を自動設定する自

図4 新制振制御と従来の制振制御の比較

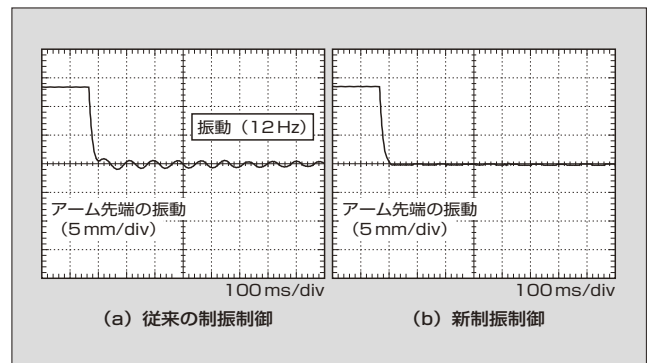
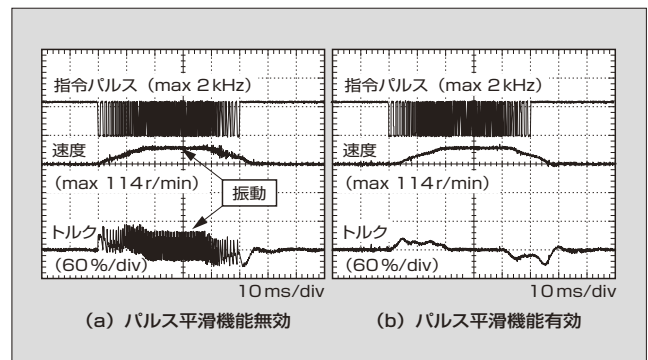


図5 パルス平滑機能



特集①

動制振制御機能を設け、従来の手動設定に比べて調整時間の短縮を図っている。

また、ALPHA5シリーズでは、ロボットアーム先端部分の慣性（ワーク慣性）をパラメータで設定することにより、従来に比べて振動抑制性能を向上することができる。図4に、位置決め動作の時間が125msの場合、アーム先端の振動をレーザ変位計で測定したときの動作波形例を示す。従来の制振制御では、約83ms周期の振動が持続している。従来、このように振動周期が位置決め動作の時間に近いような振動を抑制することは困難であったが、今回の新制振制御では、残留振動を抑制できている。

(4) パルス平滑機能

ステッピングモータから、サーボモータへ置き換える場合などにおいて、指令パルスの周波数が粗いためにトルクが振動し、機械振動や大きな動作音を生じることがある。そのような場合のため、パルス平滑機能を設けた。図5にパルス平滑機能無効時と有効時の波形を示す。この機能により、トルクと速度を滑らかにしており、スムーズで高速な位置決めが可能になっている。

4 使い勝手の向上（パソコンローダ機能）

4.1 モニタ機能の向上

サーボアンプの高性能化・多機能化に伴って、パラメータの数が増えている。また、それらの調整時にサーボシステムの動作を確認するための波形モニタにおいても、より高速で大きなデータを転送する必要が出てきた。従来の汎用通信では、データ転送に時間がかかり、立上げ調整時など、データの設定と確認を繰り返すような場面で、作業効率が非常に悪くなってしまふ。

ALPHA5シリーズではUSB通信に対応し、データ転送を高速に行うことができるため、ユーザーにストレスを感じさせず、より使い勝手のよいローダになっている。

表3に波形モニタ機能（トレース機能）の基本仕様における従来品とALPHA5シリーズとの比較を示す。より正確にデータを観測するため、サンプル周期を短くし、かつサンプルポイント数を大幅に増やした。また、立上げ調整を助けるための機能として、測定カーソルの改良や、波形

表3 トレース機能の基本仕様

項目	分類	従来品	ALPHA5シリーズ
リアルタイムトレース		50msサンプル 30,000ポイント	1msサンプル 60,000ポイント
ヒストリカルトレース		1msサンプル 100ポイント	0.125msサンプル 500ポイント
測定カーソル		縦カーソル1本	縦横カーソル2本
波形の比較表示		—	あり
パラメータ情報		—	あり
周波数分析 (FFT)		—	あり
グラフ表示のカスタマイズ		—	あり

比較機能、周波数解析（FFT）機能などが追加されている。

波形比較表示機能では、二つの波形データを重ねて表示可能とした。パラメータの違いによる動作の差異を容易に評価できるため、立上げ調整時間の短縮につながる。また、過去に保存した波形データとの比較も可能で、図6のトレース波形比較表示例のように、機械の立上げ調整時の波形と現在の波形を比較し、機械の経時劣化の影響を見ることが可能である。また、同種の機械ばらつきの確認などにも利用できる。

周波数解析（FFT）機能では、波形データを周波数解析し、トルクの振動などの周波数を測定でき、ノッチフィルタや制振制御に関するパラメータ設定を容易に行える。

4.2 簡単セットアップ

(1) イージーチューニングとパターン運転

サーボシステムの立上げ調整時において、動作にかかわるパラメータ設定や、機械に適した制御ゲイン調整、運転時の負荷率確認などを行うためには、サーボモータを機械に組み付けたうえで、上位コントローラから運転指令を与えて動作させる必要があった。

富士電機では、「FALDIC-Wシリーズ<sup>(1)</sup>」から、図7に示すように上位コントローラがない状態でも、サーボアンプが設定されたパターンで運転を行う「パターン運転」機能と、パターン運転中に制御ゲインを自動調整する「イージーチューニング」機能を搭載している。ALPHA5シリーズでも、これらの機能を継承しており、上位コントローラの準備前に、サーボシステムの立上げを行うことができるため、システム全体の立上げ調整時間を短縮できる。さらに、前述の高性能化や、またオートノッチフィルタや自動制振制御などの機能と組み合わせることにより、性能が向

図6 トレース波形比較表示例

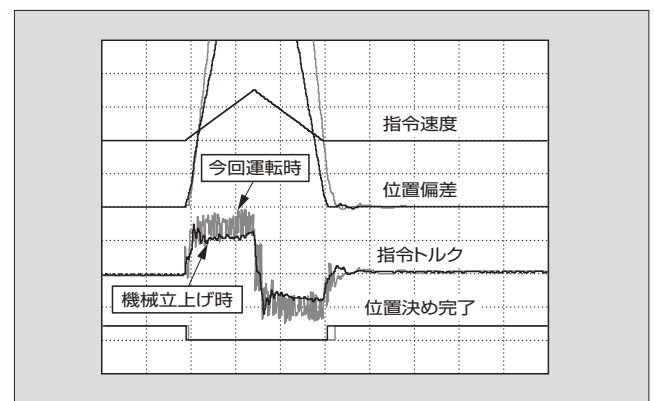


図7 イージーチューニング/パターン運転のシステム構成

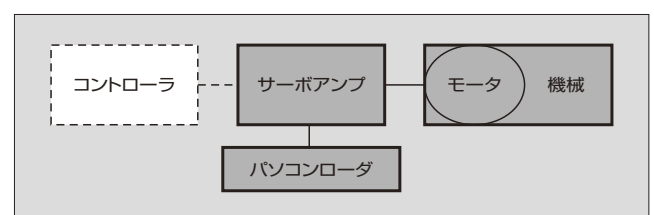


図 8 シーケンステストモードのシステム構成

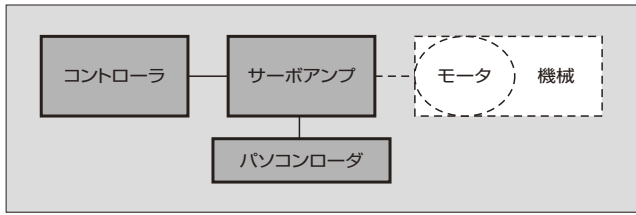


図 9 アラーム履歴付帯情報画面



上している。多くの機械において、イージーチューニングのみで十分な応答を実現可能であり、使いやすさと立上げ調整時間の短縮に貢献する。

(2) シーケンステスト

上位コントローラのプログラムをデバッグするためには、サーボモータを機械に組み付けて、その機械が動作できる状態でなければならなかった。

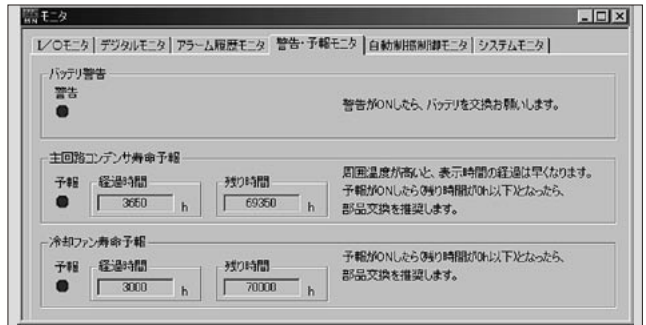
ALPHA5 シリーズでは、図 8 に示すように、機械やサーボモータがなくても、サーボアンプだけで上位コントローラのデバッグが行える「シーケンステスト」モードを新たに搭載した。上位コントローラからの指令に応じて、サーボアンプは、機械に取り付けられたサーボモータがあたかも動作しているような信号やモニタデータを生成し、上位コントローラに出力する。

この機能により、機械が完成する前に、サーボアンプ単体で上位コントローラのプログラムを実行し、デバッグできるため、システム全体の立上げ調整時間を短縮することができる。

4.3 メンテナンス機能の充実

(1) アラーム付帯情報

図 10 警告・予報モニタ画面



アラームが発生した場合、その原因を調査するには、アラーム発生時の運転状態を知る必要がある。

ALPHA5 シリーズでは、アラーム履歴に、アラーム発生時の速度、トルクや累積通電時間など、原因調査に有効と思われるデータを付帯情報として追加した。図 9 にアラーム履歴付帯情報画面を示す。これらの付帯情報により、発生要因の解析が容易になり、調査に要する時間を短縮することができる。

(2) 警告・予報モニタ

サーボアンプには、冷却ファン、主回路コンデンサ、アプソリュート用バッテリーといった消耗部品があり、その交換時期は、サーボアンプの稼動時間などに依存する。

ALPHA5 シリーズでは、これらの交換時期を知らせるために、警告・予報モニタ機能を設けた。図 10 に警告・予報モニタ画面を示す。警告・予報信号に加えて、経過時間や交換までの残り時間などを表示しており、メンテナンス性の向上を図っている。

5 あとがき

「ALPHA5 シリーズ」についてその仕様と特徴を紹介した。ALPHA5 シリーズは、業界トップレベルの高性能と使いやすさを実現している。

今後、容量系列拡大、モータラインアップの充実、Modbus-RTU 通信、フルクロード対応などの機能拡充、既存製品からの置換えに対応していく所存である。

参考文献

(1) 伊藤彰浩ほか、新型サーボシステム「FALDIC-W シリーズ」、富士時報、vol.78, no.5, 2005, p.389-392.

〈注〉 Modbus : Gould Modicon 社の登録商標