

日立ACサーボシステム

AC Servo Systems

各種産業機械のサーボ駆動源として、これまでDCサーボモータが広く用いられていた。しかしメンテナンスフリーを要求される用途や、クリーン性、高速性、耐環境性を要求される用途に、サーボシステムのAC化が進んでいる。

このような背景のもとで、回転機の新しい技術とエレクトロニクス、デジタル制御技術により高性能ACサーボシステムを製品化したので、その概要について紹介する。

村松正治* Masaharu Muramatsu
 小林澄男* Sumio Kobayashi
 菅井 博* Hiroshi Sugai
 宮下邦夫** Kunio Miyashita
 立花恭三*** Kyôzô Tachibana

1 緒 言

FA(ファクトリーオートメーション)、メカトロニクスなどの言葉で代表される自動化社会を迎えて、さまざまな用途にサーボシステムが使用されるようになった。

これまでDCサーボシステムは、その制御性の良さから広く用いられていたが、ブラシや整流子をもつため使用条件に制約があり、この問題を解消した電動機が望まれていた。

ACサーボモータは、これにこたえられる電動機であり、最近ではエレクトロニクス技術、デジタル技術、制御技術の進歩によりサーボ特性、コストパフォーマンスの面からもDCサーボシステムをしのぐに至り、急速にDCからACへの切り換えが進んでいる。

日立製作所では、汎用性に富んだ速度サーボシステムと、デジタル制御でコンパクトにまとめた位置サーボシステムを製品化している。以下、これら日立ACサーボシステムの性能と製品の概要について紹介する。

2 日立ACサーボシステムの概要

サーボシステムは、さまざまな機械の駆動源として使用されるもので、速応性、低トルクリプル、広範囲速度制御などの基本性能を満足しなくてはならない。特に電動機は、これ

に加えて下記の性能が求められる。

- (1) メンテナンスフリーで取付位置に制約を受けないこと。
- (2) 高速回転が容易に可能であること。
- (3) ブラシ粉末など、じんあいを出さないこと。

ブラシや整流子をもつ直流電動機と異なり、ACサーボモータは、コントローラのパワーブリッジにより電子的に整流作用を行なうため、上記の要求を満たすことができる。

一方、用途からみると、

- (1) 単なる速度制御用
- (2) 位置決め機能を要求される位置制御用

に大別される。(1)は上位コントローラからの指令が一般的にアナログ速度指令であり、(2)はデジタル位置指令である。このような用途に対応して、図1に示すように2種類のサーボシステムをシリーズ化した。特に位置サーボコントローラ

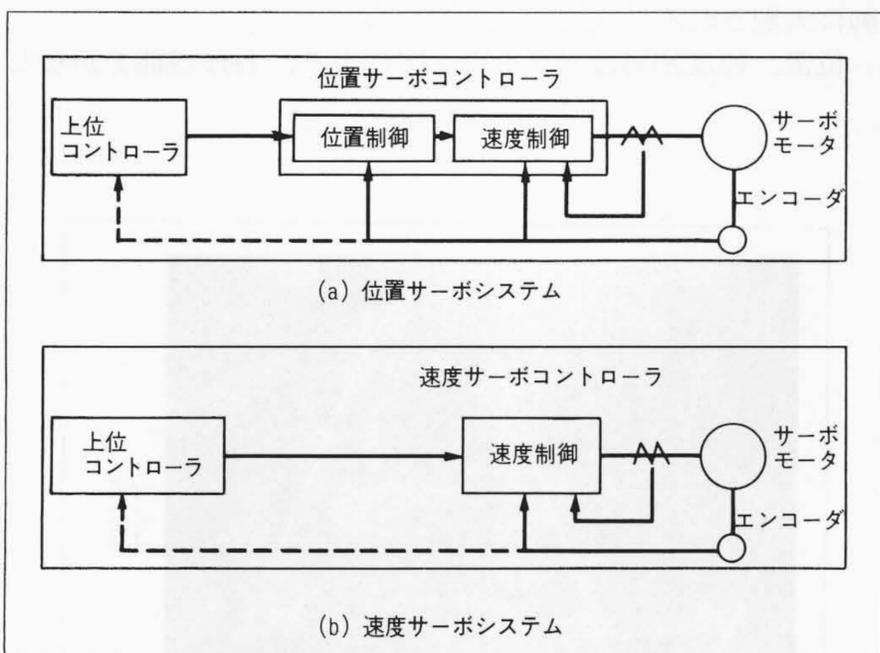


図1 サーボシステム構成図 制御目的により位置サーボシステム、速度サーボシステムの2種に大別される。

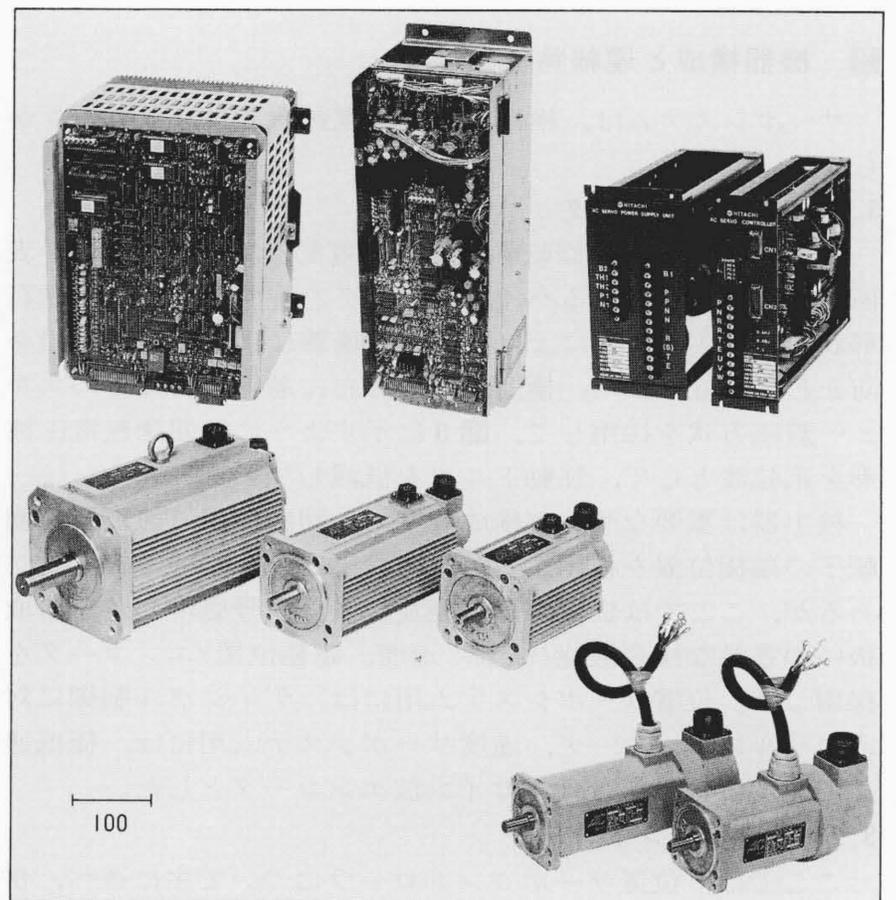


図2 サーボシステム外観 中、下段はサーボモータを示し、上段左から位置サーボコントローラ、速度サーボコントローラ(SAシリーズ用, RAシリーズ用)を示す。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所生産技術研究所

表1 ACサーボシステム仕様 位置サーボシステム, 速度サーボシステムの仕様を示す。

分類	項目	システム					位置サーボシステム					速度サーボシステム				
		モデル	S4	S8	S15	S22	S30	SA4	SA8	SA15	SA22	SA30	RA1	RA2	RA4	
電動機	定格出力(kW)	0.4	0.8	1.5	2.2	3.0	0.4	0.8	1.5	2.2	3.0	0.1	0.2	0.4		
	定格トルク(kg·cm)	26	52	97	143	195	26	52	97	143	195	3.3	6.5	13		
	定格回転数(rpm)	1,500					1,500					3,000				
	最高回転数(rpm)	2,000					2,000					4,000				
	ロータイナーチャ(kg·cm·s ²)	0.012	0.022	0.082	0.12	0.14	0.012	0.022	0.082	0.12	0.14	0.0009	0.0015	0.0085		
	パワーレート(kW/s)	5.5	12.1	11.3	16.7	26.5	5.5	12.1	11.3	16.7	26.5	1.2	2.7	2.0		
	重量(kg)	9	12	25	32	40	9	12	25	32	40	2.2	3.6	6.5		
	エンコーダパルス数(ppr)	2,500					1,500					1,000				
コントローラ	モデル	PB4L	PB8L	PB15L	PB22L	PB30L	NA4BL	NA8BL	NA15BL	NA22BL	NA30BL	NA1M	NA2M	NA4M		
	入力電源	三相200/220V 50・60/60Hz					三相200/220V 50・60/60Hz					単相100/110V 50・60/60Hz				
	機速度制御	速度制御範囲	1 : 2,000					1 : 3,000								
		速度指令	符号付き2進12ビット					0 ~ ±10V								
		速度変動率	±0.01%以下(負荷変動0~100%時)					±0.1%以下(負荷変動0~100%時)								
	位置制御機能	制御機能	PTP位置決め制御					—					—			
		原点復帰機能	あり					—					—			
		位置指令	符号付き2進21ビット					—					—			
		位置決め領域	原点から±100万パルス					—					—			
	その他	トルク制限(デジタル指令可能) バックラッシュ補正 オーバートラベル 他					トルク制限 オーバートラベル 他					トルク制限				
取付構造	開放壁掛形					開放壁掛形					トレイ式(ラック組込形)					

は、速度の予測制御法により、極めて滑らかな低速回転特性を得て、位置、速度制御部の全デジタル化を可能とした。

表1に仕様を、図2にサーボシステムの外観を示す。

3 機器構成と運転特性

サーボシステムは、検出器をもつ電動機とコントローラから成る。

3.1 ACサーボモータ

ACサーボモータは回転界磁形同期電動機である。回転子表面に、特殊材料によるバイディングを施すと同時に、磁石形状を工夫することにより遠心力や衝撃による磁石の破損を防止している。また、極間磁束の分布に着目した独得のスキュー着磁方式を採用して、図3に示すように線間誘起電圧波形を正弦波として、脈動トルクを低減している。

検出器は重要なサーボ構成要素で、回転位置、速度及び回転子の磁極位置を検出する。この検出器として種々の方式があるが、ここでは位置の分解能及び検出信号処理の点から取扱いの容易な複合機能(位置、速度、磁極位置)エンコーダを採用した。位置サーボシステム用には、デジタル制御に対応しパルスエンコーダ、速度サーボシステム用には、極低速まで速度情報の得られるサイン波エンコーダとした。

3.2 サーボコントローラ

ここでは、位置サーボコントローラについて主に述べ、併せて速度サーボコントローラについて紹介する。

3.2.1 位置サーボコントローラ

位置サーボコントローラは、汎用シーケンサや上位デジタルコントローラと容易に接続できる数値入力方式を採用した。また、位置及び速度制御部を一体とし全デジタル化した。

このため、各種の定数設定が容易にでき、オフセット、ドリフトのない安定な特性が得られるとともに、各種のコマンド対応が可能なソフトウェアサーボを実現した。

サーボ性能としては、指令に対する速応性と、負荷外乱に対しての高剛性が要求される。このために、広変速範囲、高応答及び滑らかなトルク特性が必要である。以下に、これらの特性を実現するための回路、方式について述べる。

(1) 回路構成

図4に回路構成を示す。主要部は位置、速度制御と電流制御に大別される。

位置、速度制御はソフトウェアにより、各種機能を追加し

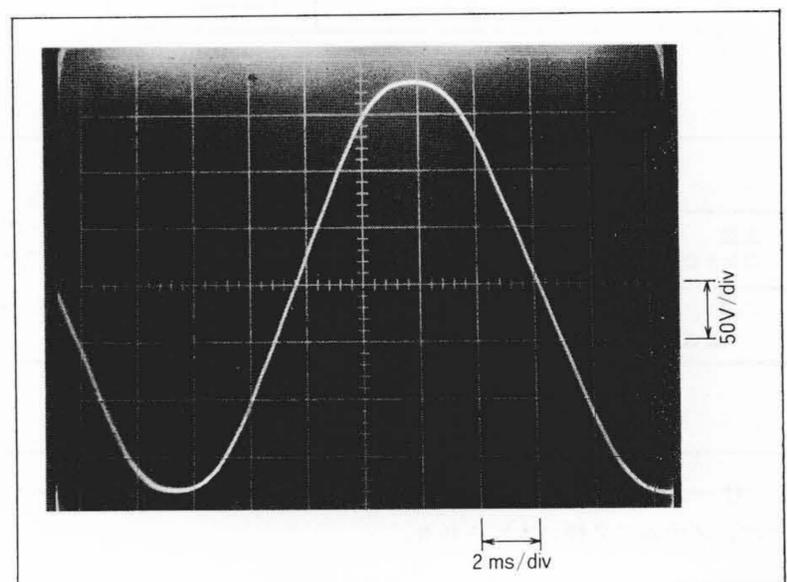


図3 線間誘起電圧波形 着磁特性を改善し、誘起電圧は正弦波となっている。

ている。構成要素として、各種演算を実行するマイクロコンピュータ(MPU)、メモリ及び入出力インタフェース、並びに位置、速度の検出回路、電流指令回路で構成される。エンコーダからの回転位置信号は、位置制御、速度制御のフィードバック信号として使われる。

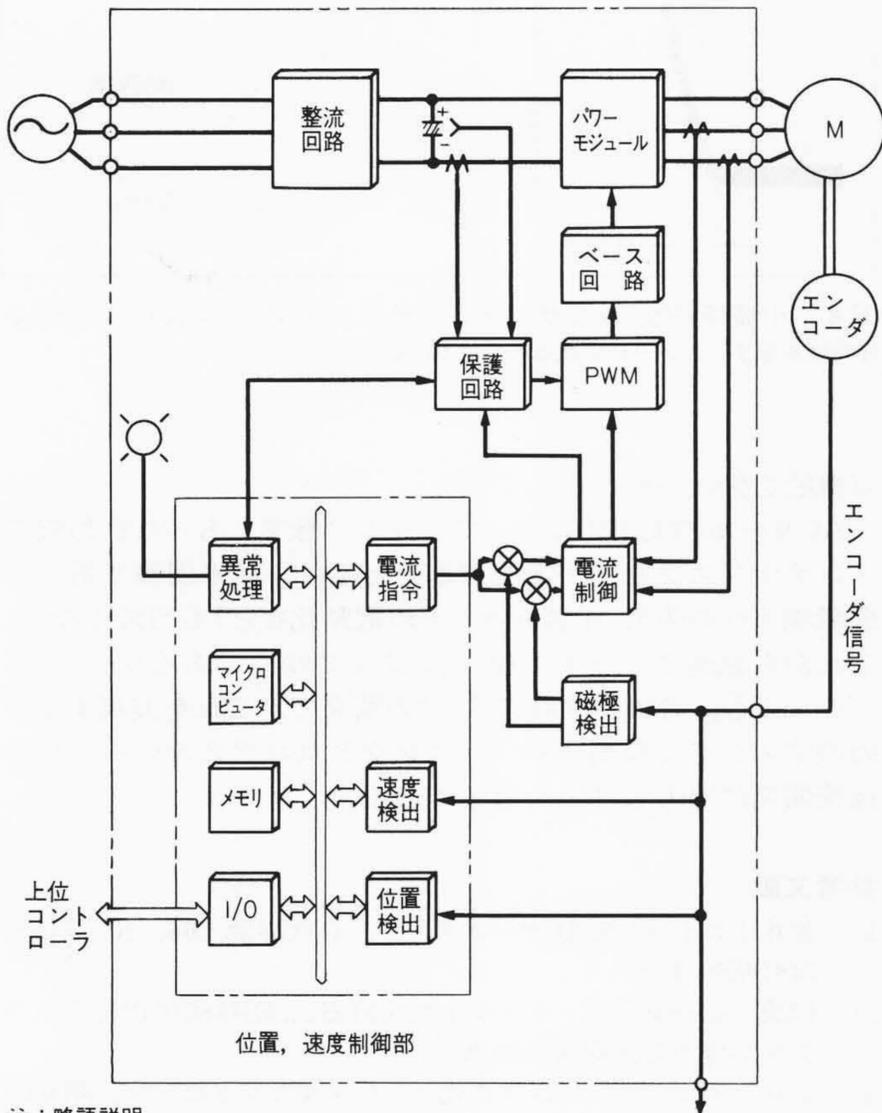
電流制御以降は、高速動作を必要とするため、ハードウェアで構成している。各相電流は、電流指令とROM(Read Only Memory)テーブル上の正弦波パターンとの積によって決定しているので、高応答でトルクリプルの少ない特性を実現している。

保護回路は、インバータ部に関しては瞬時的な異常を検出し、出力を遮断、停止する。マイクロコンピュータ制御部に関する異常は、ソフトウェアで監視し、保護回路を通して出力を遮断する。

(2) ソフトウェア

図5にソフトウェア構成を示す。マイクロコンピュータのメイン処理はタイマ割込みによる速度計測処理と運転制御処理に大別される。前者は、マイクロコンピュータと非同期で動作しているタイマからデータを取り込んでいる。後者は、運転に伴うすべての処理を行ない、タスク群として構成されている。

指令入力は、データとそのデータの性質を示すコードから成り、各種の指令パラメータの設定を可能とした。このコマンドにより、上位コントローラからの指令だけで、位置制御運転、速度制御運転の機能を容易に切り換えることができる。また、同様にバックラッシュ補正量やトルク制限なども、任意にパラメータで設定可能である。更に、指令や設定誤りを要



注：略語説明
PWM(Pulse Width Modulation), I/O(Input/Output)

図4 回路構成 位置コントローラへの外部信号は、すべてホットカブラによって絶縁し、耐ノイズ、信頼性を向上している。

因とする誤動作を防止するための入力エラー判別処理も行なっている。

一般にパルスエンコーダで速度制御を行なう場合、高速時はパルスを計測するだけで十分正確な情報が得られる。しかし、極低速ではパルス間隔が広がり、速度情報が離散化されるため制御が不安定となる。そこで、新しく速度信号の予測制御法^{1),4)}(逐次漸減補間法)を開発し好結果を得た。この方法は単なるサンプル値制御に比べ速度整定、過渡応答いずれに

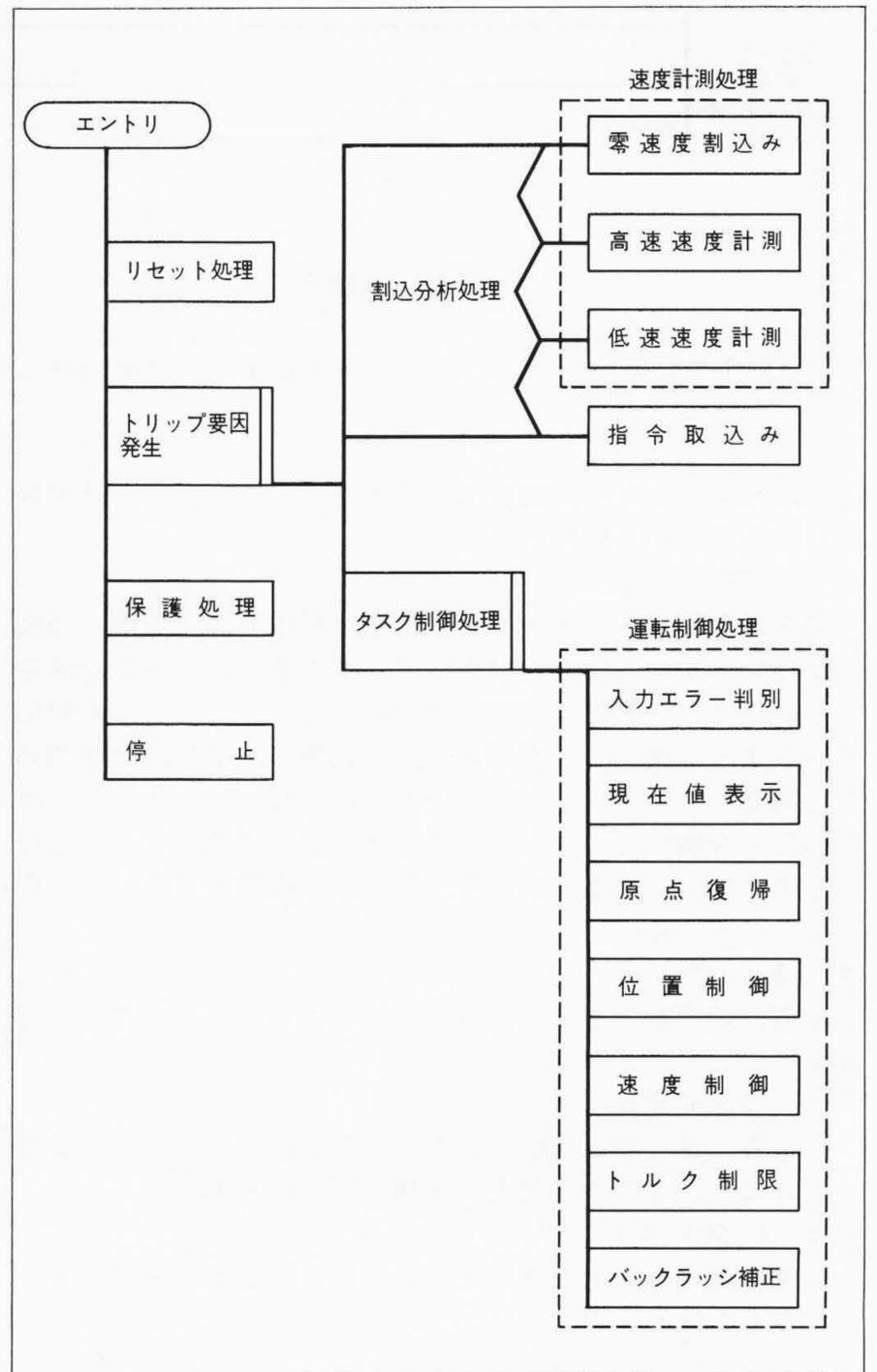


図5 ソフトウェア構成 速度計測処理は、運転制御処理に優先している。

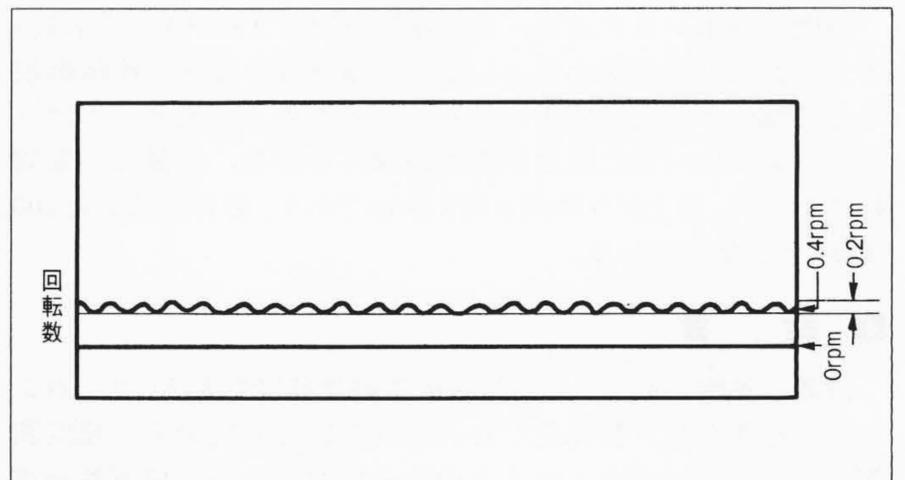


図6 低速特性(位置サーボシステム) 0.4rpmでの回転特性を示す。

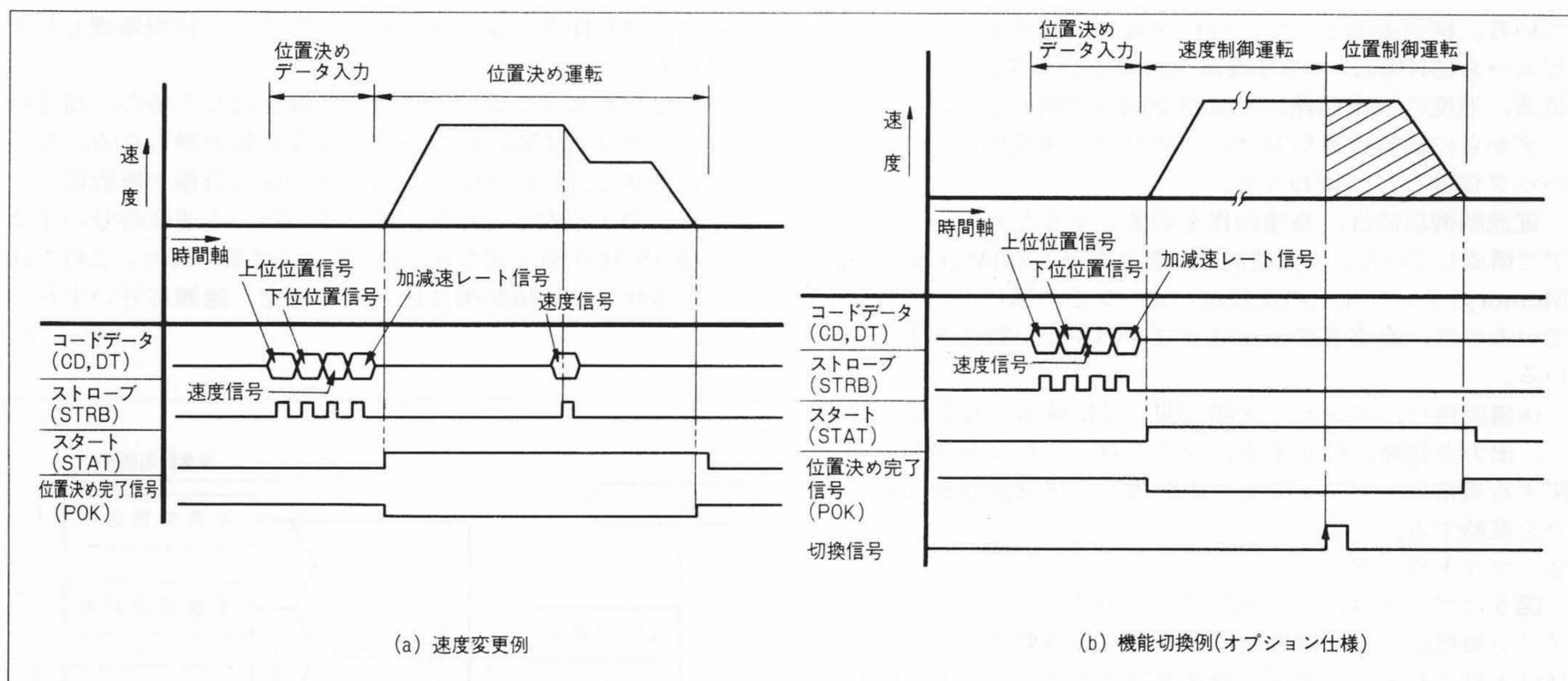


図7 動作タイムチャート (a)図は、位置決め動作中に速度変更をした場合、(b)図は、速度制御から位置制御へ機能切換えを行なった例を示す。

も優れた特性となる。図6に極低速時の特性を示す。予測制御により滑らかな特性が得られる。

(3) 運転例

図7に動作タイムチャートを示す。動作前に、位置、速度加減速レートの各信号を取り込み、基本運転パターンを決定する。クリープ運転や運転途中での速度信号の変更にも対応できるように速度、加減速レートを監視し、常時、減速開始点を演算している。また、マーク追従運転などのように、所定の信号を検出してから、一定量動いて位置決めする用途に対しても同図(b)のように速度、位置の切換信号を用いて対応可能としている。

(4) 特長

位置、速度制御をデジタル化したことにより、下記の特長をもつ。

(a) 多機能運転

位置、速度制御機能及びトルク制限機能を使い分けることにより、1台の電動機で多様な運転が可能である。

(b) 調整が容易

速度にドリフト、オフセットがなく調整が容易であり、安定した性能が得られる。

(c) コンパクトな構造

位置、速度制御をワンマイクロコンピュータで処理しているので、図2に示すようにコンパクトになっている。

3.2.2 速度サーボコントローラ

速度サーボシステムは、各種産業分野で上位の位置制御装置とともに、位置決め用として、あるいは単なる速度制御用として幅広い用途に使用される。このため、速度サーボは位置サーボに比べ更に高応答性能が求められる。図8に小振幅特性を示す。立上がり時間は約1.6msであり、応答周波数は100Hz以上となっている。

4 結 言

位置、速度の両システムから成る高性能同期形ACサーボシステムを開発し、製品化した。これらは位置制御用、速度制御用としてコンパクトにまとめられており、特に位置サーボシステムはソフトウェアサーボとして、各種の入出力及び演

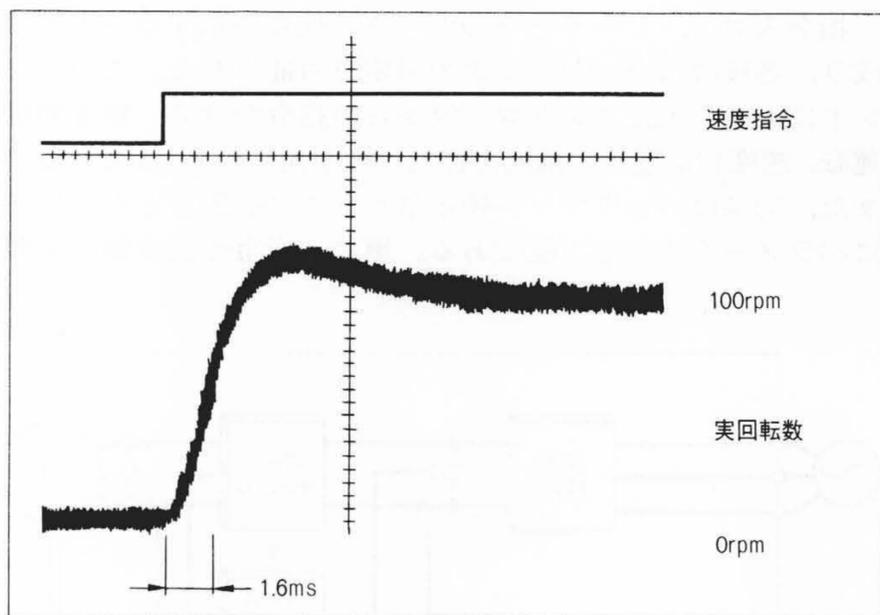


図8 小振幅特性(速度サーボシステム) 0rpmから100rpmへの小振幅特性を示す。立上がり時定数は1.6msである。

算機能を備え多機能化している。

ACサーボの実用化によって、長年の懸案であった電動機のメンテナンスフリーが実現するとともに、従来困難であった悪環境下への適用(塗装ロボットの電動化など)も可能となり、これから急速にサーボのAC化が進んでゆくであろう。

今後とも、各種の制御方式^{2),3)}の開発と、これを実現するためのデジタル技術、パワーエレクトロニクスといった技術開発に努力していく考えである。

参考文献

- 1) 菅井：ロボット用ACサーボモータ，日立評論，66，10，745～748(昭59-10)
- 2) 杉浦：高分解能デジタル速度検出方法，昭和60年12月電気学会産業電力応用研究会講演
- 3) 立花：セルフチューニング式デジタルコントローラ，昭和61年電気学会全国大会講演 資料1435
- 4) J. Mochizuki, et al. : A Microprocessor-Based Brushless Servomotor Controller Capable of Very Low Speed Drive : Proceeding of IECON '84, p. 1117～1121