

ロボット用ACサーボモータ

AC Servomotors

近年、成長が著しい産業用ロボットのアクチュエータとして、電動サーボモータは重要な位置づけにある。電動サーボモータとしてDCサーボモータが広く用いられてきたが、高信頼化及びメンテナンスフリー化の要求の高まるなかで、ブラシレスを実現するACサーボモータが注目されている。

ACサーボモータは、電動機、検出器、制御方式により種々考えられそれぞれ特長があるが、ここではロータに永久磁石を、検出器にエンコーダを用いた同期電動機形ACサーボモータについて述べる。また、将来の主流と目されるデジタル技術の応用にも言及した。

菅井 博* *Hiroshi Sugai*
 二宮 壽一* *Hisakazu Ninomiya*
 宮下 邦夫** *Kunio Miyashita*

1 緒言

産業用ロボットのアクチュエータには、主としてDCサーボモータが使用されている。これは、DCサーボモータが他のアクチュエータに比べて、制御性、据付性、取扱い性の点で優れているため、広い分野に応用拡大されてきたことによる。

しかし、一面ではブラシの摩耗によるメンテナンス上の問題が指摘されるようになった。連続運転、無人化運転志向の中で、高信頼化、メンテナンスフリー化の要求は強く、最近では更にクリーン度も要求されるようになった。

そこで日立製作所では、長年蓄積された電動機設計製造技術の上に、最新半導体技術とAC可変速制御技術を結集して、高性能なACサーボモータを製品化したので紹介する。

2 サーボモータAC化の動向

2.1 ロボット用サーボモータに求められる性能

サーボモータは様々な機械に用いられるが、それぞれに適した性能が求められる。特にロボットの場合、他のものと相違している点が多い。このような性能を整理すると、

- (1) 小形、軽量であること。
- (2) 信頼性が高く、取付位置や使用環境に制約を受けないこと、特に点検困難な場所に取り付けることが多いので、できるだけメンテナンスフリーであること。
- (3) クリーンであること。
- (4) 頻繁な始動、停止、正逆運転などの厳しい条件で支障なく使用でき、過負荷耐量が大いこと、及びパワーレートが大きく、電氣的、機械的時定数が小さいこと。
- (5) 電動機特性が安定しており、サーボロック特性に優れていること。
- (6) 耐環境性構造化が容易であること。

現在、ロボット用サーボモータの主流はDCサーボモータである。しかし、DCサーボモータは応答性、制御性の面で優れている反面、整流機能をブラシと整流子にもたせているために火花発生面から最高回転数、瞬時最大トルクなどに制約を受ける。また、定期的なブラシのメンテナンスを必要とするとともに、耐環境性構造化が難しい一面も持っている。

一方、ACサーボモータはDCサーボモータの制御性の良さ

を維持しながら、そのブラシを取り除くことを目的としたもので、ここ数年急激な伸長を示している。これは上述の条件によるところが多い。特に(3)項は、最近急激に伸長している半導体製造産業など精密工業の分野で要求される例が多い。今後更にこれらの性能が強く要求されるようになると予想され、このようなことから、今後ロボット用サーボモータのAC化がいつそう促進されるものと思われる。

2.2 ACサーボモータの制御方式

ACサーボモータは、永久磁石を回転子界磁とし、電機子巻線を固定子とした回転界磁形同期電動機で、DCサーボモータに対しちょうど固定子と回転子が逆転した構造となっており、従来の位置、速度検出器に加えて永久磁石回転子の磁極位置を知るための磁極位置検出器を新たに追加したものとなっている。ブラシと整流子の役目は、この磁極位置検出器とトランジスタ、FET(電界効果トランジスタ)などによるスイッチング回路、いわゆるインバータと置き換えている。

(1) 速度検出器と磁極位置検出器

ACサーボモータに使われている速度検出器と磁極位置検出器の代表的なものを表1に示す。エンコーダは、サーボ系でよく利用されている検出器で、磁極位置、速度兼用検出器として利用できる。レゾルバはシンクロ発振器の一種で、その構造上耐環境性に優れ、磁極位置、速度兼用検出器として利用可能である。ブラシレスタコゼネレータは、ブラシを除いてスイッチング素子を用いたタコゼネレータである。磁極位置検出器として最も一般的なものがホール素子で、これは磁界強度を利用した優れたセンサである。

(2) パワー素子

高応答、高精度など制御性を高めるためには、インバータ回路のスイッチング周波数を高めることが要求される。従来のサイリスタ方式であると、スイッチング周波数に限界があったが、ここ数年のパワートランジスタの目覚ましい発達により、この問題も解決され、ACサーボモータが価格、性能ともDCサーボモータに近づいた大きな要因の一つとなった。今後はFETなど更に高速のスピードをもつ素子の発達とともに価格、性能面で大幅な改善が期待できる。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 代表的な速度検出器と磁極位置検出器 代表的な速度検出器と磁極位置検出器を、一覧表にまとめて示す。

検出信号	検出器
速度	エンコーダ
	レゾルバ
	ブラシレスタコゼネレータ
磁極位置	エンコーダ
	レゾルバ
	ホール素子

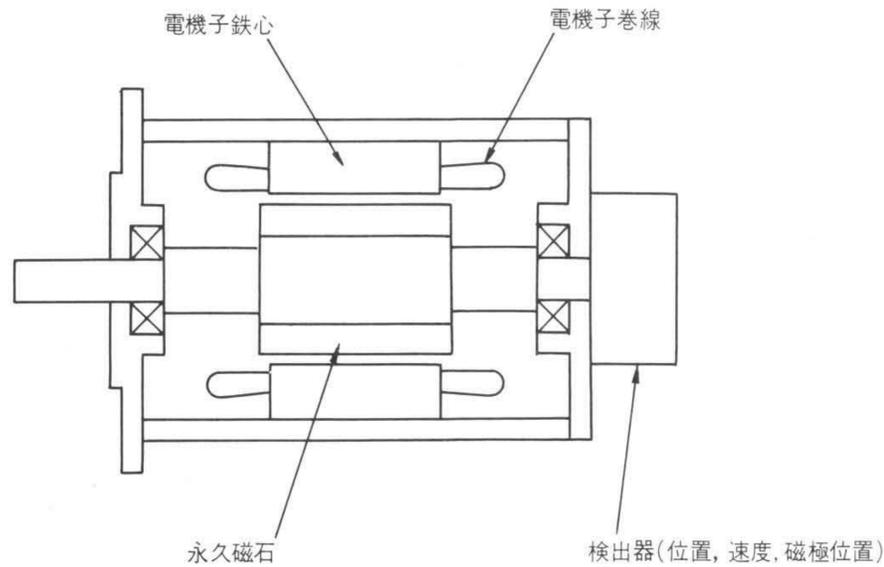


図1 ACサーボモータの構造 ACサーボモータは、DCサーボモータの固定子と回転子を逆にした構造となっている。

表2 ACサーボモータの仕様 ACサーボモータの主な仕様について示す。

項目	モデル	RA1	RA2	RA4	SA4	SA8
定格出力 (kW)		0.1	0.2	0.4	0.4	0.8
定格トルク (kg・cm)		3.3	6.5	13	26	52
定格回転数 (rpm)		3,000			1,500	
最高回転数 (rpm)		4,000			2,000	
ロータイナーシャ (kg・cm・s ²)		0.0009	0.0015	0.0085	0.012	0.022
パワーレート (kW/s)		1.2	2.7	2.0	5.5	12.1
重量 (kg)		2.2	3.6	6.5	9	12

以上、ACサーボモータは、パワーエレクトロニクス、検出器などの発達により、性能面ではDCサーボモータに追いつき、それにDCサーボモータにはない新しい特長ももつため、今後ロボット用アクチュエータとして大いに利用されるものと思われる。

3 日立ロボット用ACサーボモータ

3.1 ACサーボモータ

(1) 構造

ACサーボモータは図1に示すように、電動機と検出器の二つの構成要素をもつ。

電動機本体は、電機子巻線をもつ固定子と、永久磁石界磁をもつ回転子から構成されている。回転子は高速対応の必要性から、日立製作所では遠心力破壊や繰返し始動、及び熱履歴による破壊を十分考慮するとともに、磁石の有効利用のために種々の工夫を施した構造としている。また、永久磁石をもつ電動機では、隣極の磁位差と固定子のスロットとの相互作用により発生する脈動トルク(コギングトルク)が、回転性能に大きな影響を及ぼし問題となる。この解決策としては、固定子スロットの有効利用の面から固定子スロットをスクエアー(斜溝)しないで、回転子側で対処するのがよい。この場合、永久磁石の形状あるいは着磁などで対策するのが一般的であり、日立製作所では、極間磁束の分布に着目した独特の着磁方式を採用している。

検出器としては上位システムの情報となる位置検出、速度制御のための速度検出、及び回転子の磁極位置検出の三つの機能をコンパクトにまとめた、高精度な位置決めに適した複合機能エンコーダを用いている。

(2) 仕様

最高回転数がそれぞれ、4,000rpm、2,000rpmのRA、SAのモデル2シリーズを製品化した。標準仕様を表2に、外観を図2に示す。

3.2 ACサーボコントローラ

コントローラはトレイ式構造を採用し、ラックに多軸実装可能である。

(1) 制御方式

日立ACサーボモータは、回転界磁形同期電動機である。界磁磁束と直交する位置にあるコイルに電流を流してトルクを発生させるため、磁極位置検出器が必要となる。図3にブロックダイヤグラムを示す。サーボコントローラは、速度増幅器、電流分配回路、電流増幅器、PWM(Pulse Width Modulation)回路、ベース駆動回路、コンバータ回路及びインバー

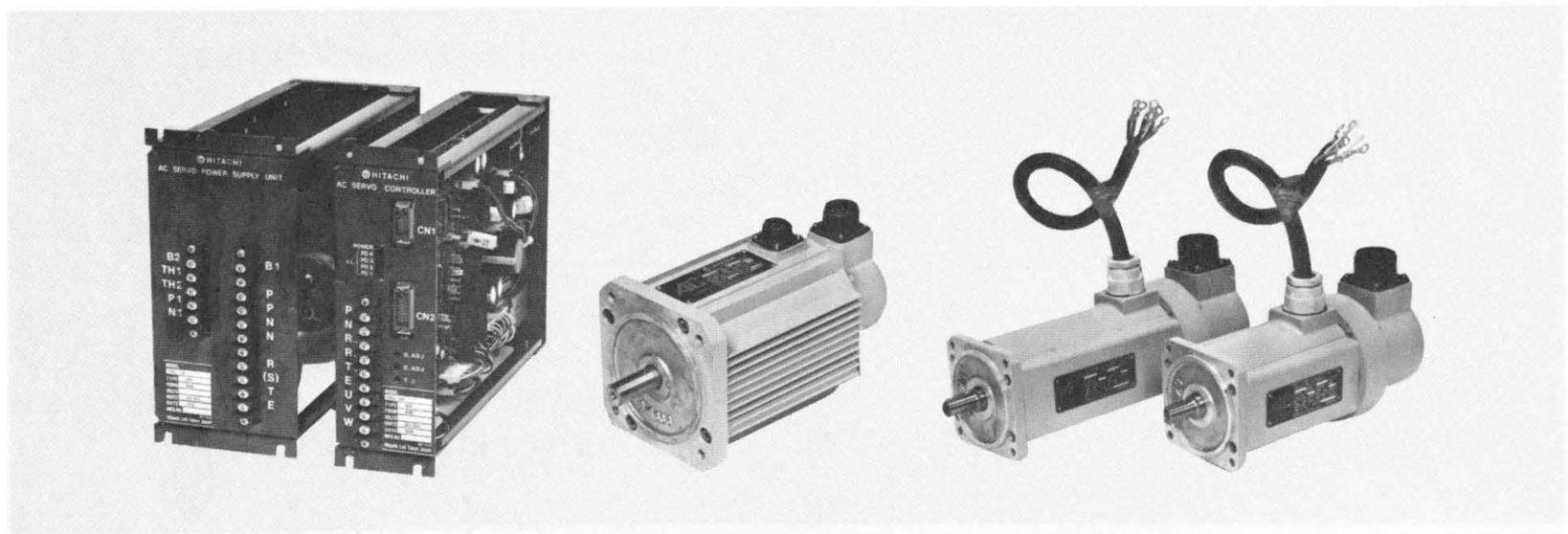


図2 ACサーボモータ外観 ACサーボモータ、コントローラの外観を示す。

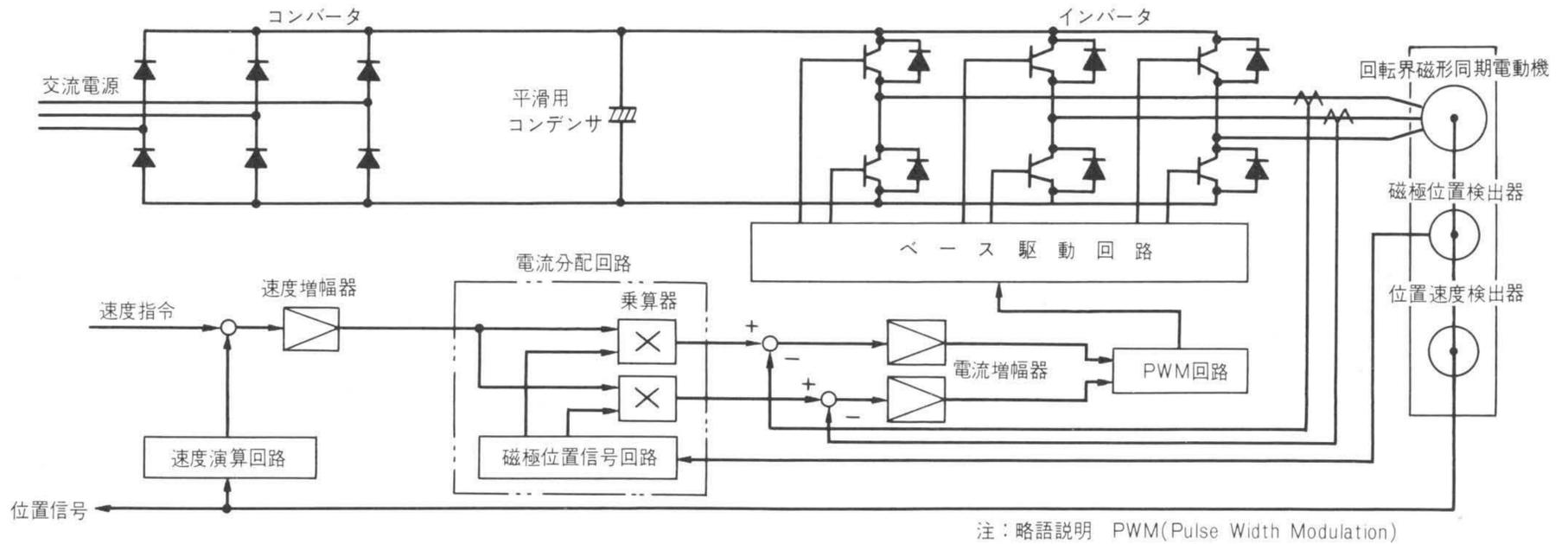


図3 ブロックダイアグラム ACサーボコントローラの機能ブロックダイアグラムを示す。

タ回路から構成されている。DCサーボモータに比較して顕著な差異は、電流分配回路をもっていることである。これは、DCサーボモータがブラシと整流子で行なっている整流作用を、コントローラ側で代替するための手段である。すなわち、界磁極位置を代表する磁極位置検出器の信号と、速度増幅器出力とを乗算して、その出力を電流指令とする。この結果、どのような負荷条件、回転速度でも常に磁束と電流が直交し、トルクを発生し続けることができる。

(2) コントローラ仕様

表3にACサーボコントローラの仕様を示す。小出力機種はAC100V受電とし、小形ロボットに適用している。

4 今後の動向

軽薄短小の時代を反映して、ロボットはエレクトロニクス関係をはじめとする精密組立ての方向に著しく伸長している。当然ロボットでも高速性、高精度、インテリジェンス性、フレキシビリティ、高信頼性などが要求されてくる。これらを実現する強力な手段として、今後デジタル技術が大いに採用されてくるものと思われる。

デジタル技術の採用により、このほか故障診断機能の充実、位置決め制御を含めての制御系の簡略化などの発展性もあり、その前途は明るい。

デジタル技術が有効である開発例について以下に紹介する。一般にパルスエンコーダを用いて速度制御を行なう場合、極低速領域ではフィードバックパルスが少なく、情報が離散

表3 ACサーボコントローラの仕様 ACサーボコントローラ的主要仕様を示す。

項目	モデル	NA1M	NA2M	NA4M	NA4L	NA8L
	適用電動機	モデル	RA1	RA2	RA4	SA4
	出力(kW)	0.1	0.2	0.4	0.4	0.8
制御方式	PWM制御					
電源	単相100V±10%, 50/60Hz±5%			3相200/220V±10% 50, 60/60Hz±5%		
速度制御範囲	1:1,000					
速度指令電圧	0~±10V 直流					
速度変動率	±0.2% (最高速に対し、負荷変動10~100%時)					
取付構造	トレイ形(ラック組込形)					

化されるため、速度制御自体が不安定になってしまう。ところが、マイクロプロセッサを用いた速度の予測制御を行なって対処すれば、滑らかな低速制御を実現できる。

低速の回転性能を予測制御あり、なしでそれぞれシミュレーションした例を図4に、低速回転性能の実測例を図5に示す。

5 結 言

産業用ロボットの高精度位置決めに適した100~800Wの同期電動機形ACサーボモータを開発し製品化した。

ロボットへのACサーボモータの適用は、今後ますます促進

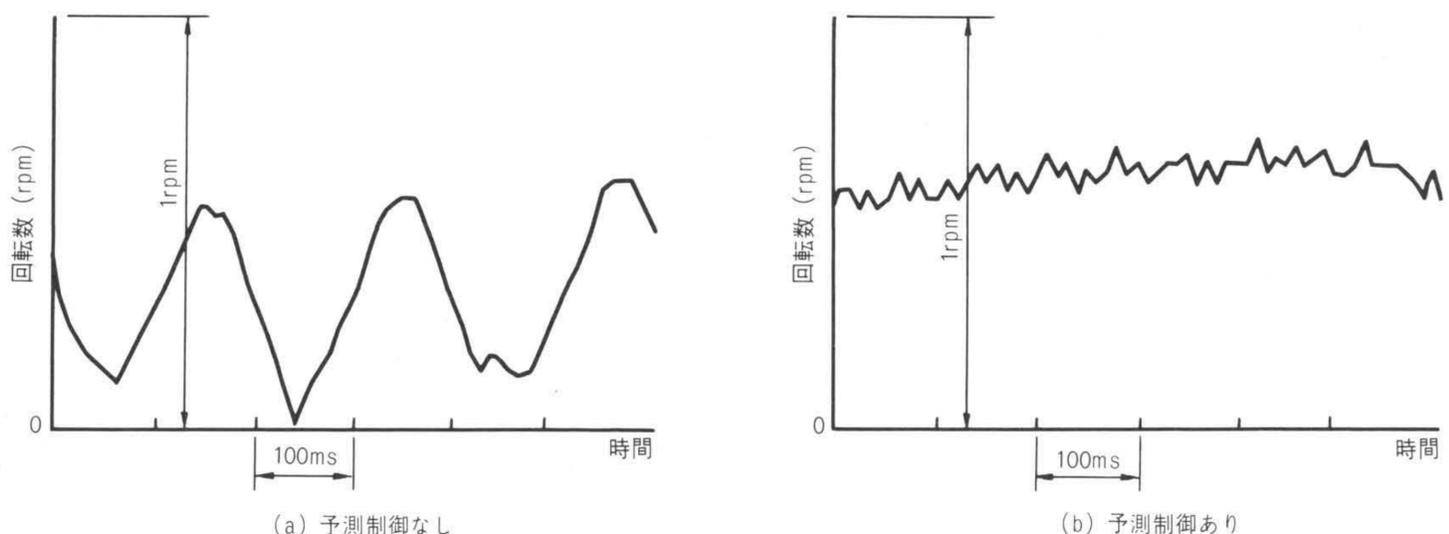
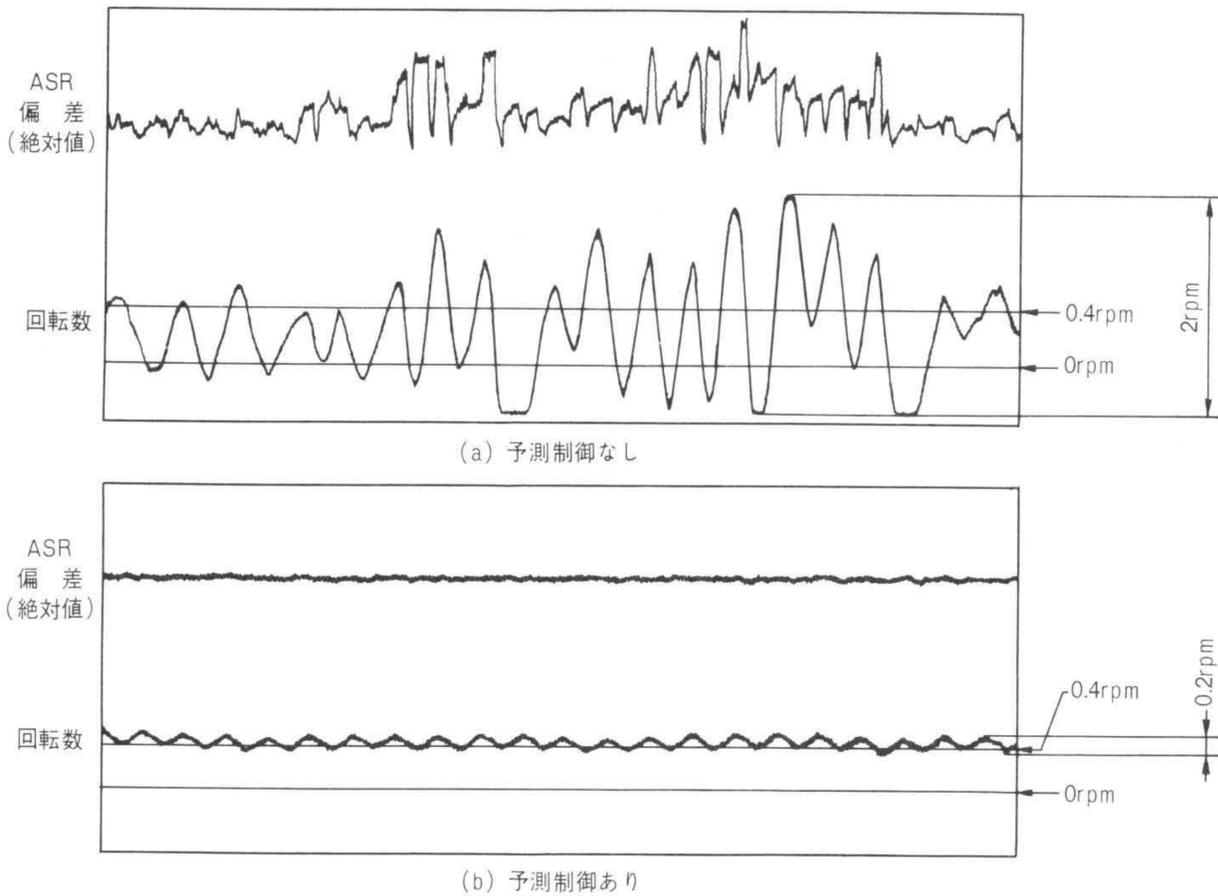


図4 低速特性(シミュレーション) 低速の回転性能を、予測制御あり、なしでそれぞれシミュレーションした。



注：略語説明
ASR(Auto Speed Regulator)

図5 低速特性(実測) 予測制御あり、なしの低速回転性能の実測例を示す。

されると予想される。マイクロプロセッサに代表されるパワーエレクトロニクスの進歩によるAC可変速技術の急速な発達、DCサーボモータとの制御性能面での差異を既に克服している。またコストの面でもパワー素子の量産化、マイクロプロセッサ、LSIほかの発達などで、身近なものになりつつある。今後ともロボットの機構、制御の進歩とともに、より望ましいアクチュエータを実現するために、ACサーボモータは

有力な要素になり得ると信じる。

参考文献

- 1) J. Mochizuki : A Microprocessor-Based Brushless Servomotor Controller Capable of Very Low Speed Drive, IECON'84
- 2) 森永：デジタル速度検出方法，昭和59年5月第28回システムと制御研究発表講演会 資料A20

論文抄録

ターボ機械の性能予測と内部流れ解析

日立製作所 植西 晃・池川昌弘
日本機械学会誌 87—785, 374—379 (昭59-4)

最近の大形コンピュータの進歩は目覚ましく、特に昭和58年末に0.63GFLOPSのスーパーコンピュータが稼動を始め、いよいよコンピュータによる流れの「数値実験」が現実のものになりつつある。ターボ機械の分野でも性能予測法あるいは内部流れ解析法は急速に進歩し、特に後者については、乱流解析がクローズアップされてきた。これら最近の状況について、蒸気タービンを例に取りあげて紹介した。

タービンの性能を高い精度で予測するには、流路内及び段落内の流れの挙動、損失の発生機構を明らかにしなければならない。実際の流れは極めて複雑な非定常3次元粘性流れであり、3次元ナビエ-ストークス方程式を直接解くことは極めて困難であるため、従来は、流れを軸対称、非粘性の定常流と仮定した準3次元理論を基礎として、これにエネルギー損失を組み合わせることで、内部流れを決める方法が長年研究されてきた。

これらの解法では、高い精度の性能予測

が困難である最大の理由は、壁近傍に発達する二次流れを考慮した各半径位置での損失分布が計算できないことであった。我々はこれを解決するために、多くの実験結果を基に実験式を提案し、モデルタービンで検証し、実用的に十分な精度で、しかも短い計算時間で効率予測できる方法を確立した。更に出力200~600MWの既設タービンで、効率の実測値のある高・中圧タービンの全体効率計算を行ない、計算値は実測値に対して±1%の範囲内で求められることを明らかにした。しかし、解析法に、よりいっそうの一般性をもたせるためには、流れ計算を精密にしなければならないことが課題であることを指摘した。

次に、乱流解析については、最近のコンピュータの進歩と数値解析アルゴリズムの発展とを考え合わせても、乱流現象が基礎式を直接解いて求められるのは、まだ先のことであって、現実に計算可能な乱流モデルを適用しなければならないのが実情である。日立製作所では昭和56年以来、はく離

流が扱える2方程式モデルに基づくターボ機械内の2次元、3次元の非圧縮、圧縮乱流解析プログラムを開発してきており、このうちの圧縮流についての概要を述べた。2次元翼列については損失を計算で求め、実験値と対比し、細かいメッシュ分割をすれば、計算精度は向上することを示し、3次元翼列内の流れでは、壁近傍に発生する二次流れの様子がよく表わされていることなどを明らかにした。この解析プログラムは、非定常解の漸近解として定常解を求めるタイムマーチング法を適用し、空間の離散化に関しては、任意形状流路内の流れ解析を行なえるように、Body-Fit形曲線座標系を導入し、Control Volume法と併用する手法を用いた。

これらのプログラムによる解析結果と実験結果の良好な一致は、ターボ機械内の本格的な流動シミュレーションの将来に明るい希望を抱かせるものである。