

新シリーズ汎用インバータとその応用

Standard Inverters and Applications

最近、省エネルギー、省メンテナンスに対するニーズが急速に高まってきている中で、これに対応して汎用インバータのシリーズ系列を見直し、新形化、機種拡大などを行なった。

新形化されたLSI制御インバータは、ジョギング運転、異常診断機能、自動復帰機能、加減速時の保護機能などが追加され、高性能化されている。なお、中容量400V級受電GTOインバータも新たにシリーズ化を完了した。

インバータの需要は各方面に拡大されており、ファン・ポンプの省エネルギー関連をはじめとして、各種製造機、工作機、鉄鋼補機、繊維・フィルム機械、化学プラントなどに多用されている。これらの市場は今後も幅広い製品需要の拡大が期待できる。

石橋 耀* Akira Ishibashi
長戸悠一郎* Yûichirô Nagato
服部元信* Motonobu Hattori
松田靖夫** Yasuo Matsuda

1 緒 言

インバータによる電動機の回転数制御は、電力用の半導体の進歩と制御用素子の急速な進歩に伴い、近年急速に普及してきた。第1は石油ショックを契機とし盛り上がってきた省エネルギーを目的としたファン・ポンプなどへの適用がある。また第2は機械装置の高性能化、高機能化を図り省メンテナンスを目指す各種自動加工機、搬送機への適用があり、これらが大きな柱となっている。更に、インバータ化によって電動機の設置スペースが小さくて済むこと、設置場所の環境条件の制約が少なくなることから、各種プラント用駆動源としても急速に需要が拡大しつつある^{1),2)}。

以下、日立製作所の汎用インバータの製品系列及び新シリーズの特長、機能を説明し、併せて最近の応用例についても言及する。

2 標準インバータのシリーズ

電動機駆動用インバータは、主回路方式、制御方式により、また適用電動機により各種のシリーズがある。これらはそれぞれ得失があり用途に応じて選定できる。このうち、各種の負荷電動機に幅広く対応できるものとして、電圧制御形インバータを主体として他の汎用標準インバータについても述べる。

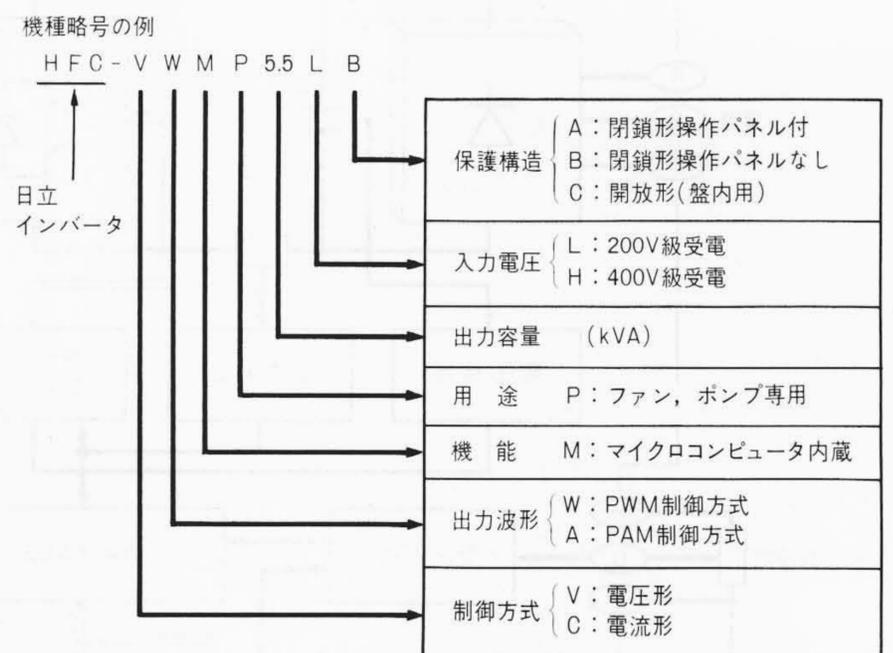
まず、機能説明に先立ち標準インバータのシリーズ名を全面的に改訂し、特性、機能の見直しを行なったのでその概要について説明する。従来シリーズでは形名を一連番号で呼んでいたが、これを廃止して機種略号から直接ハードウェア構成、主な機能が分かるようにして製品体系を明確にした。図1に略号の実例を示す。なお、標準インバータとして量産している製品系列は、表1に示すとおりである。

HFC-VWMシリーズは、デジタル制御方式でインバータ出力を得るもので、いわゆる不等PWM(正弦波Pulse Width Modulation)制御によって正弦波に近い出力波形が得られる。このパルス幅は、電動機駆動に有害な高調波が少なくなるように設定する。このために専用設計されたカスタムLSI、及びマイクロコンピュータが用いられている。制御内容は種々盛り込まれているが、これに比べてハードウェア構成はシン

プルであるため信頼性が高く、小形・低価格の汎用インバータである。次章で詳細を述べるが、従来のHFC-10シリーズに新機能を追加したシリーズである。400V級受電用も新たに追加した。VWMPシリーズは特にファン・ポンプに必要な制御性と省エネルギー効果に重点を置いた機種である。

HFC-VWシリーズは、アナログ制御方式で不等PWM波形のインバータ出力を得るものである。従来の200V級受電インバータに加えて、GTO(ゲートターンオフ)サイリスタを使用した400V級受電インバータも系列に加えた。

HFC-VAシリーズは、いわゆる6ステップの三相出力を得るPAM制御(振幅制御)方式方形波インバータであり、PWM制御では対応が困難な120Hz以上の高周波領域で、高周波電動機駆動用などへの適用が多い。標準品では最高60Hz, 120Hz,



注: 略語説明 PWM(Pulse Width Modulation)
PAM(Pulse Amplitude Modulation)

図1 インバータの機種略号 機種略号からハードウェア構成、主な機能が分かる。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 標準インバータシリーズ 標準インバータとして量産している製品系列を示す。

制御方式	シリーズ名	受電電圧	インバータ (kVA)			特 長
			1	10	100	
電 圧 形	制 デ ィ ジ タ ル 御 不 等 P W M	HFC-VWM L	200V級	←→	←→	カスタムLSI, マイクロコンピュータ使用 正逆転, ジョギング可能
		HFC-VWM H	400V級	←→	←→	
		HFC-VWMP L	200V級	←→	←→	カスタムLSI, マイクロコンピュータ使用, ファン・ポンプ用
	ア ナ ログ 制 御	HFC-VW L	200V級	←→	←→	高精度用 正逆転可能
		HFC-VW H	400V級	←→	←→	
電 流 形	P A M	HFC-VA L	200V級	←→	←→	高周波可能 低騒音運転
		HFC-CA L	200V級	←→	←→	電源回生可能
		HFC-CA H	400V級	←→	←→	

240Hzの切換が可能であるが、要求によって最高2,500Hzまで対応できるので二極の電動機と組み合わせると150k rpmもの高速が得られる。また、PWM制御では、出力波形のパルスに基づく電動機の磁気音が問題となる場合がある。変調方式の改良、電動機自体のスロット形状の改良などによってかなり騒音低減が可能であるが、更に低騒音化を必要とする場合は、このVAシリーズを適用し目的を達している。

HFC-CAシリーズは電流形インバータで、速応性と負荷からの帰還エネルギーを電源に回生できる点が大きな特長である。製鉄補機、大形搬送機械への適用が多く、また、上下水道ポンプや各種流体、粉体の圧送などにも用いられている。

なお、表1には記載されていないが、電圧形インバータ、電流形インバータにベクトル制御を適用したHFC-VWV、HFC-CAVシリーズもあり、これらは汎用インバータではないが、製品化され多数製作納入されている。この適用例としては、本特集号の別論文「高性能交流可変速制御システム」を参照されたい。

3 カスタムLSI, マイクロコンピュータ制御インバータ (HFC-VWMシリーズ)の概要

HFC-VWMシリーズは、昭和56年に発売したHFC-10シリーズの電子サーマルリレーをはじめとする各種機能に加えて、更に新機能を追加するとともに信頼性を向上させた新製品で^{3),4)}ある。新たに追加された機能として、複数の電圧・周波数パターンを内蔵していること、ジョギング運転機能、トルクブースト機能、異常原因別診断機能、自動復帰機能などがあり、使いやすくなっている。

3.1 構成と動作

ハードウェアとソフトウェアの構成、動作について図2に示す。主回路は集積化部品を使用したインバータ部とコンバータ部とで構成され、制御回路はカスタムLSIをはじめマイクロコンピュータ、メモリ、検出保護回路、周波数設定回路などで構成されている。特に演算素子としては、高機能ワンチップマイクロコンピュータを採用して、高速処理化、回路簡略化などを行なった。過電流、過電圧系統の割込を行なっ

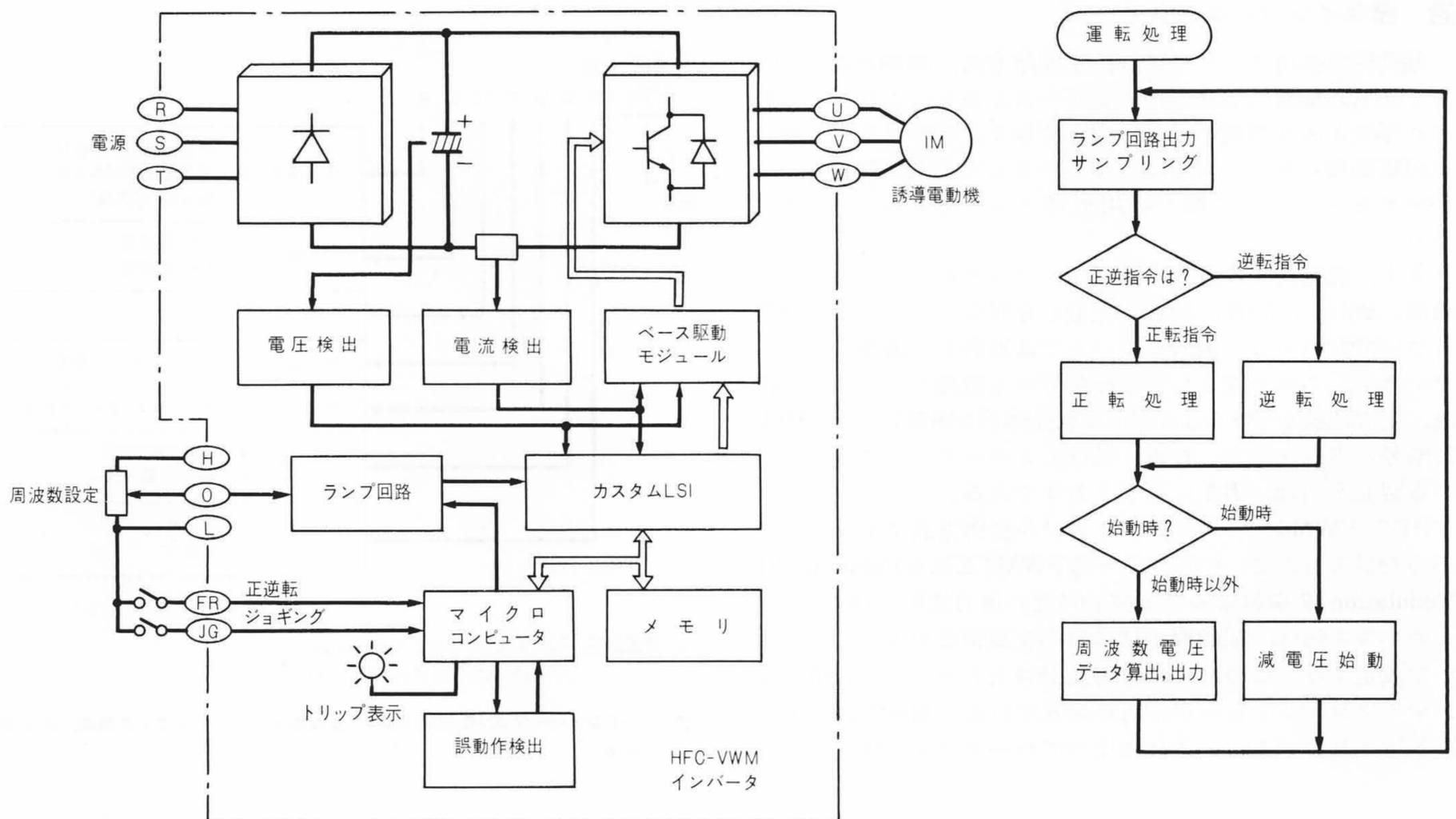


図2 ハードウェア構成とソフトウェアの動作 HFC-VWMインバータの基本構成と基本動作を示す。

て異常回避運転機能、保護機能を充実させた。周波数設定方式は、従来のカスタムLSI内蔵のA-D変換器に入力し、ソフトウェアで演算によって加減速時間を管理する方法をやめて、ハードウェアによって加減速時間を出し、ソフトウェアによって、その指令値をサンプリングにより読取り出力周波数を決定する方式とした。これによってストール防止をはじめ保護の高速化、ダイナミック特性の改善がなされた。また、万一のマイクロコンピュータ誤動作に対しても、検出回路の働きによって自動復帰させる方式とした。このため、信頼性が大幅に向上した。

一方、ソフトウェアについては、可能な限り高速に回答できるようにマルチタスク構成を採用していること、割込処理機能を強化したこと、従来より拡張された命令語体系をもつこと、制御処理を一部ハードウェアに分担させてマイクロコンピュータの負荷率を低減したことなどによって高速処理を実現している。特に、周波数、電圧データの算出は強化された命令語を十分活用している。

3.2 追加された機能と性能向上

従来タイプがもっていた電子サーマル機能や正逆転機能などのほかに、VWMシリーズとして新たに追加された機能あるいは向上した性能の主要項目について以下に述べる。

(1) 4種類内蔵された電圧周波数パターン

従来から特に需要の多い電圧周波数パターン4種を選び、これらを内蔵した。パターンの選択は端子接続切換で行なえるため、切換スイッチのように接触不良の心配がない。

(2) ジョギング機能

これは機械を位置決めするため約 $\frac{1}{10}$ の周波数で行なう寸動運転であり、ジョギング運転指令端子のオン・オフで行なう。通常運転時(設定値に従って周波数を出しているとき)に、この指令入力があってもそれは無視される。

(3) トルクブースト

低周波域の出力電圧を可調整として電動機トルクを増大させ、加速特性を良くするためのもので、可変抵抗器で調整できる。図3に概要を示す。

(4) 異常原因別診断

インバータによる電動機駆動システムで発生する主な異常としては、出力過電流、急減速時の回生過電圧、受電不足電圧、電動機過負荷、インバータ温度上昇などがあるが、これらの異常時に出力を遮断して原因別表示を行なう。これによってどのような対策をとるべきかが直ちに分かるので、システムのダウンタイムが短縮できる。表2に表示内容を示す。これは、インバータのトリップを表示する盤面のLED(発光ダイオード)の点滅によっており、本シリーズインバータのユニークな特徴の一つである。

(5) 減電圧始動機能

始動時の突入電流防止の処理の後、所定の電圧周波数に沿って時間に比例的に周波数を上げてゆく。この処理はソフトウェアが実行する。この機能によって主回路半導体、電動機の過渡的なストレスが低減できる。

(6) 自動復帰機能

マイクロコンピュータの制御回路が、外乱で万一異常を起こした場合でも出力遮断させないで誤動作前の周波数を高い確率で予測し、減電圧再投入させている(リトライ機能)。

以上をまとめて新旧シリーズの比較を表3に示す。

3.3 運転特性

上述のような制御機能、保護機能で運転されるインバータのダイナミック特性を図4に示す。ジョギング運転指令が入

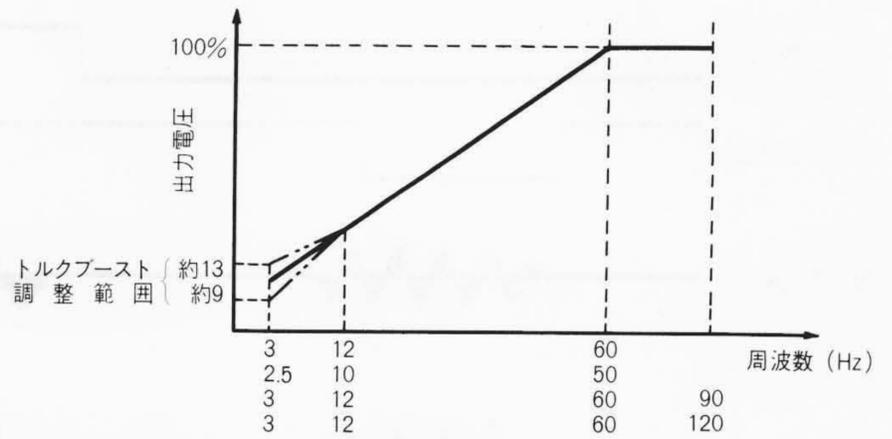


図3 電圧周波数パターンとトルクブースト インバータに内蔵されている出力電圧周波数パターンを示す。トルクブーストは12(10)Hz以下で調整可能で、60(50)Hz以下は定トルク特性である。

表2 異常時の原因別表示 インバータその他に異常が発生して、インバータがトリップした場合、トリップランプの点滅時間の違いで原因別表示を行なう。

No.	異常の種類	トリップランプの点滅
1	瞬時過電流	点滅 (1.0秒点滅、1.0秒点滅) (秒)
2	回生過電圧	点滅 (0.7秒点滅、0.3秒点滅)
3	受電不足電圧	点滅 (2.0秒点滅、0.5秒点滅)
4	電動機過負荷	点滅 (0.5秒点滅、1.0秒点滅)
5	インバータ温度上昇	点滅 (0.5秒点滅、2.0秒点滅)

表3 カスタムLSI、マイクロコンピュータ制御インバータの新旧比較 HFC-VWMシリーズ(新形)は機能が向上している。

機能	シリーズ名	HFC-VWM	HFC-10
保護	(瞬時過電流, 回生過電圧, 受電不足電圧, 電動機過負荷, ストール防止)	あり	あり
電圧周波数パターン	4種	(3~60Hz, 2.5~50Hz, 3~60~90Hz, 3~60~120Hz)	1種(3~60Hz)
ジョギング		あり(1a接点で可能)	なし
トルクブースト		可調整	固定
異常原因別表示		あり(LEDの点滅)	なし
減電圧始動		あり	なし
自動復帰		あり	なし

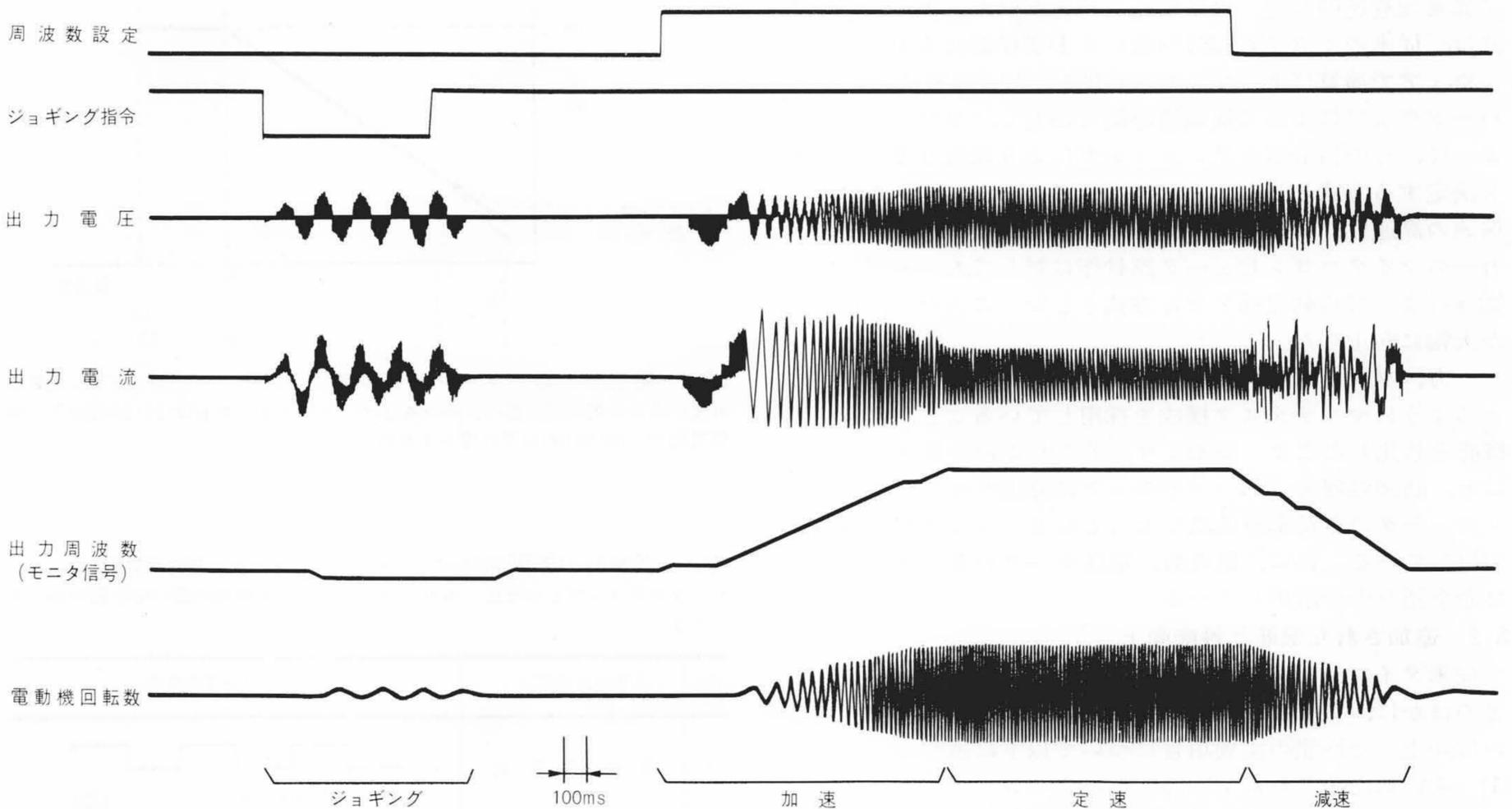


図4 運転特性 運転条件は、インバータはHFC-VWM 5.5kVA、電動機は3.7kW HCモートル、定格負荷運転であり、運転内容は、ジョギング(寸動)運転と通常の加速、定速、減速運転である。

力されると約6 Hzで始動して一定運転に入り、指令がある限り、そのままの周波数で運転されている。また、始動時突入電流が抑えられているのが分かる。インバータはHFC-VWM 5.5kVA、電動機は3.7kW四極を使用して定格負荷で運転を行った。慣性は電動機負荷軸で電動機慣性の約8倍である。

なお、本インバータの組立ラインは図5に示すとおりで、年々増加する需要にこたえている。



図5 HFC-VWMインバータの外観 量産中の標準形HFC-VWMインバータを示す。

4 汎用GTOインバータ

HFC-VWシリーズ400V級受電インバータについては、GTOサイリスタを採用して機種拡大を図った。最近特に工場、ビルの400V化が進んでいるので、このニーズに応じたシリーズである。GTOは逆耐電圧が高く過電流耐量が大なため、電動機の過酷な運転に対するマージンが大きく信頼性が高い。また、ゲートに短時間トリガ電流を流せばオン電流が流れ続ける、いわゆるラッチング作用によって、駆動回路容量が少なく済むなどの利点^{5),6)}がある。図6に400V級33kVAインバータの外観を示す。

なお今後、GTOの素子ファミリーが拡大され、中・大容量のインバータの主流になるものと思われる⁷⁾。

5 インバータの応用

5.1 省エネルギー分野への応用

一般に定速電動機で駆動するファン・ポンプのような風・水力機械では、季節、時間、あるいは生産状況によって大きく負荷が変動する場合、これらの変動に応じるためバルブやダンパで調整するか、余分の風・水力をバイパス通路により処理している。

このような場合、電動機の回転数制御を行なうと所要動力が回転数の三乗に比例して増減するので、大きな省エネルギー化を実現できる。特に、可変周波インバータによる電動機の回転数制御は省エネルギー効果が大きく、また、既設の電動機を直接制御できるなど多くの利点がある。

図7でポンプを制御した場合の例について説明する。速度制御を行わずに調節弁で吐出し量を Q_1 から Q_2 に絞った場合、揚程はA点からB点に移動し、揚程が上昇してしまう。このとき、軸動力は P_1 から P_2 と変化し若干低下はするが、吐出し量の減少の割には減らない。これに対してインバータで速度

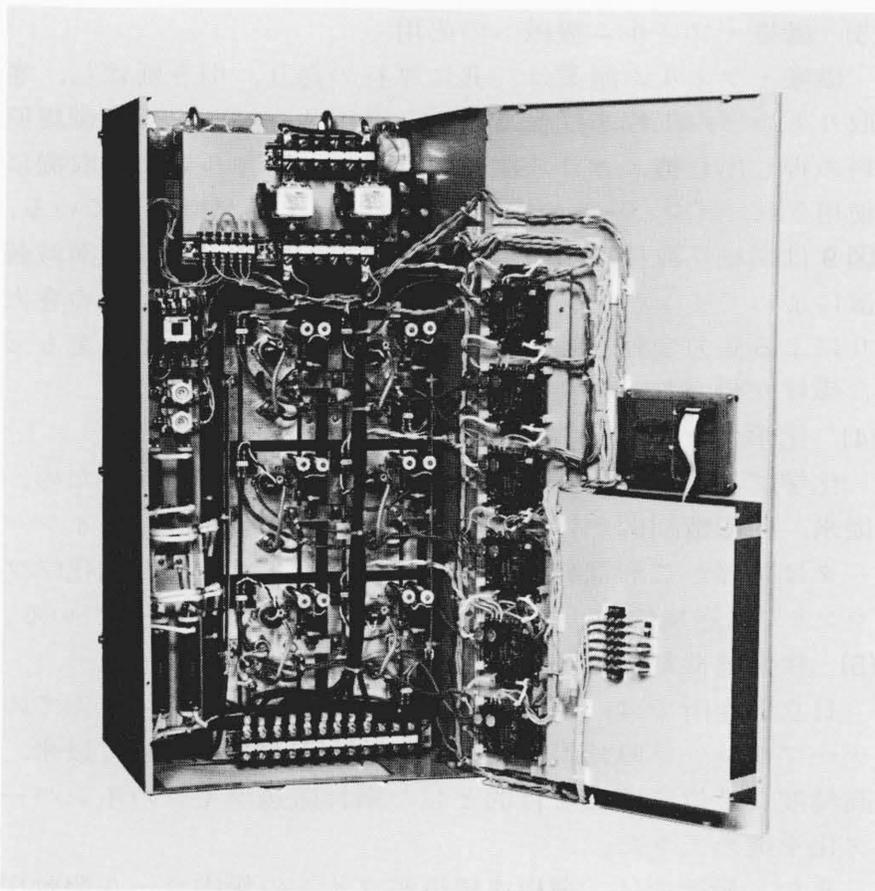


図6 HFC-VW 400V受電33kVAインバータ 主回路にGTOを使用し、信頼性を向上している。

制御を行なった場合は、管路抵抗曲線は $R(I)$ のまま、軸動力は P_3 となる。すなわち、 P_2-P_3 に相当する動力の節約ができ省エネルギーとなる。

(1) ポンプの省エネルギー

日立製作所では昭和50年から、都市上下水道ポンプ速度制御システムに汎用インバータが採用されて以来、年々増加し順調に稼働している。

また一般企業でも、単体あるいは複数台のポンプを速度制御によって省エネルギー効果を挙げており、これからの需要が期待される。

(2) ファン・ブロワの省エネルギー

製鉄所に見られる大形のファン・ブロワのインバータ化は昭和54年から始まり、現在既設の大形機に関しては省エネルギー対策はほぼ完了し、小・中形ファンの省エネルギー対策が汎用インバータの製品化とともに進められている。

特に最近では、ビル空調ファン、クーリングタワーといった一般の設備に多く採用されるようになった。これらは、室内設置とか、市街地設置のため騒音が問題となることがあり、電動機騒音発生が少ないPAM方式インバータ(HFC-VAシリーズ)が使用される場合がある。

5.2 高機能化としての応用

汎用インバータの価格低減に伴い、プーリ、極数変換電動機による有段階制御から機能増大としての連続可変速化、機械式変速機から効率、制御性向上としての置き替え、直流機からメンテナンス性向上としての置き替えというように、インバータ化が急速に進んできた。

一般産業では、食品工業で作業性向上、品質向上を目的に、コンベヤ、ミキサ、材料の押し出し機に使用され、漁業関連では、網の巻取、船搭載コンベヤなどに使用されている。

また、パルプ工業、セメント工業、石灰、穀物製粉工業では、原材料搬送ラインのフィーダ、セパレータ、スクリーコンベヤなどでインバータ化が進んでいる。

その他、各産業分野にインバータ化が進められているが、

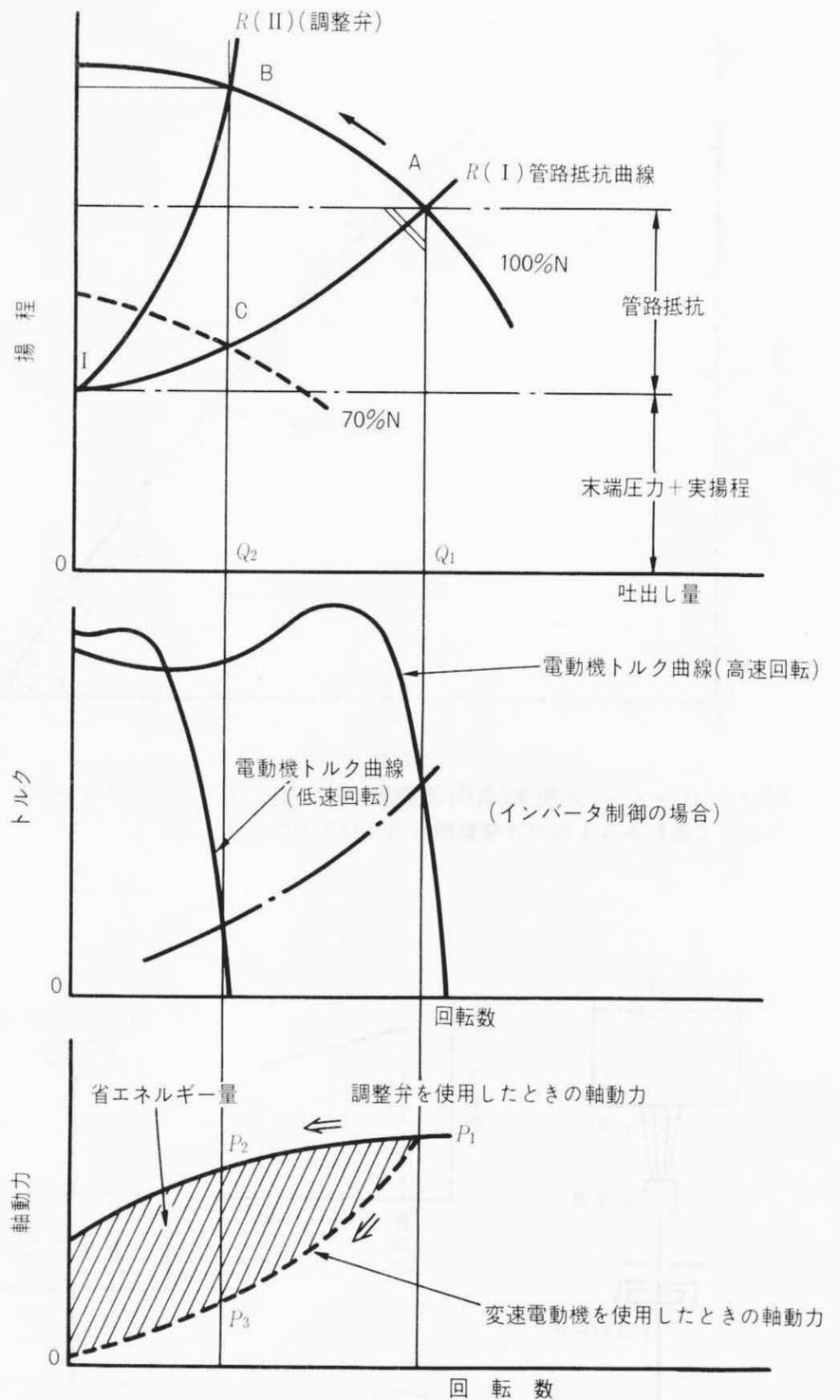


図7 ポンプの回転数制御 流量を一定に制御した場合の省エネルギー効果を斜線で示す。

以下、インバータの導入が早くから進められ現在のインバータ化の中心となってきた応用例を示す。これらは標準インバータとオプションとの組合せによって対応している。

(1) 汎用工作機主軸への応用

汎用工作機の主軸は定速電動機のプーリ切換、あるいは極数変換電動機によって有段階制御を行なっていた。しかし、可変速による機械の性能向上指向とインバータの低価格化があいまって、インバータ制御が多く採用されるようになった。

特に、マイクロコンピュータを採用した機種は外部からデジタル信号によるデータリンクが容易に行なえるため、NC(数値制御)装置から直接制御ができ大きなメリットがある。

(2) 高周波電動機への応用

高速研削盤、超高速フライス盤、高速ボール盤、木工機械などに高周波電動機が使われている。高周波電動機駆動電源として高周波発電機とインバータがあるが、近年インバータが主流となっている。日立製作所では、高周波電動機駆動用にはPAM方式を主として適用している。図8にこれまでインバータ化した高周波電動機の容量・周波数マップを示す。

高周波電動機は工作機のほか、超遠心分離機、真空ポンプ、真空分子ポンプ、高速ガスブロワなどに使用されている。

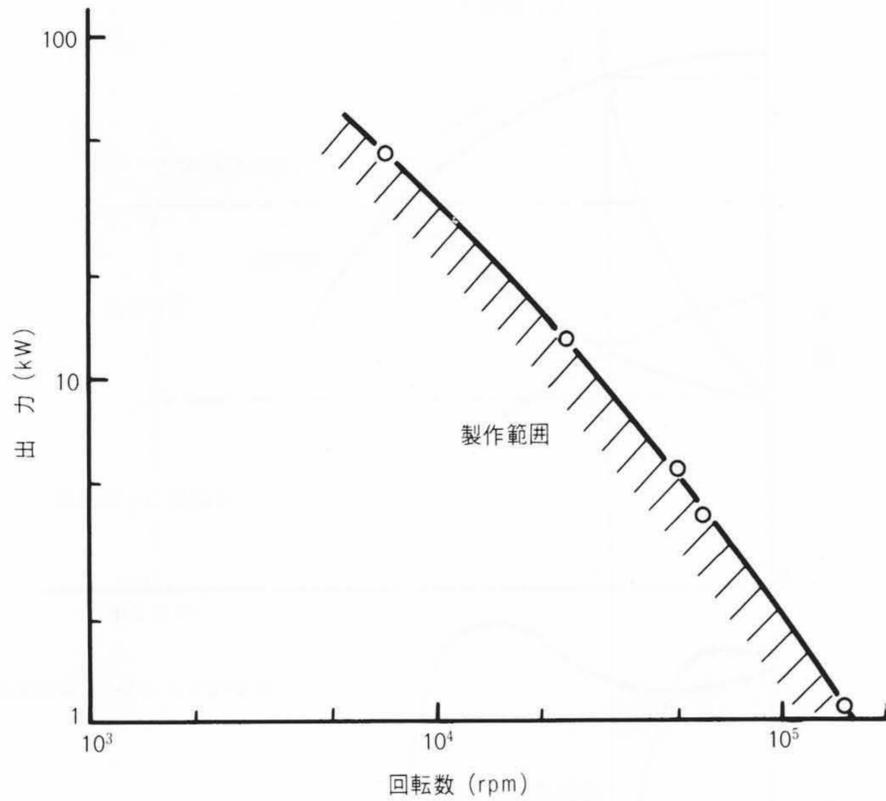


図8 インバータ駆動高周波電動機のマップ PAM方式インバータによって運転される高周波電動機出力及び周波数を示す。

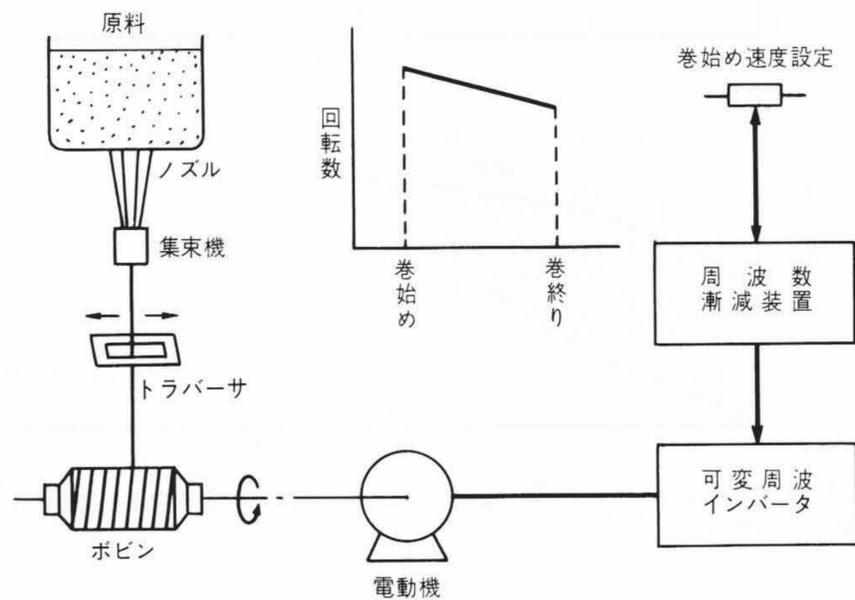


図9 繊維巻取機への適用 巻き取ってポビンが太くなるにつれて、ポビンの回転数を低くし、糸の速度を一定にしなければ均一の繊維ができない。

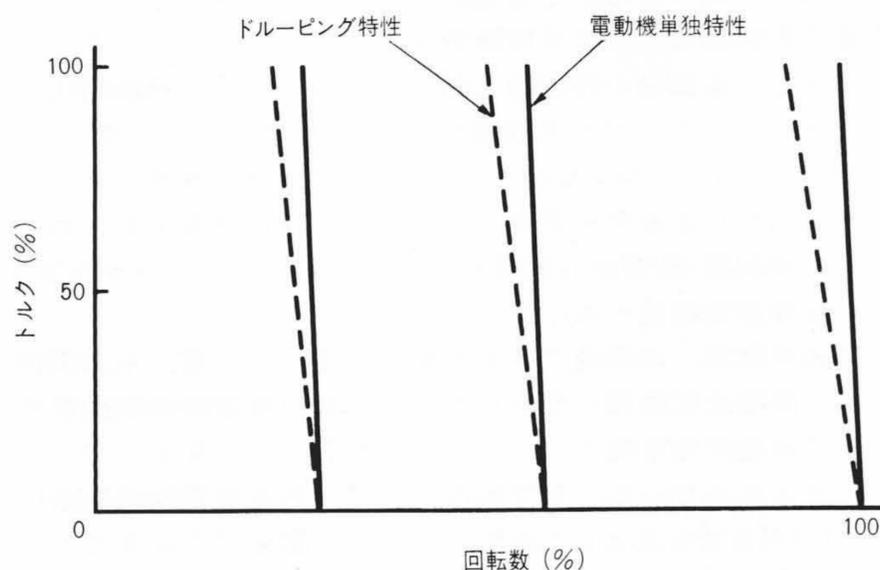


図10 かご形電動機のドループ特性 電動機の負荷電流の大きさによって周波数を低減し、電動機単体の滑り以上の速度レギュレーションをもたせる。

(3) 繊維・フィルム機械への応用

繊維・フィルム産業は、共に原料の送り、引き延ばし、巻取りといった工程を採っている。汎用インバータは、繊維原料の押し出し機、ガラス繊維の巻取機、フィルムの巻取機に使用され、インバータの性能向上に伴い需要が増加している。図9は繊維巻取機応用の一例を示したもので、周波数漸減装置によってインバータの周波数制御を行ない、ポビンの巻取りによる張力変動を補正することによって均一な太さをもった繊維が得られるメリットがある。

(4) 化学プラントへの応用

化学プラントでは電動機設置場所が防爆指定地域のため、従来、回転数制御が行ないにくいケースが多かった。インバータは防爆かご形電動機を直接制御できるため、石油化学プラントでは送風機、ポンプ、かくはん機などで利用されている。

(5) 鉄鋼補機電動機への応用

日立製作所では、昭和51年に鋼材自動仕分けシステムでのテーブルローラ駆動用に電流形インバータを納入して以来、高精度な定位置停止を目的とした鋼材搬送ラインのインバータ化を進めてきた。

また、最近では、薄板連続焼鈍ラインの炉内ロール駆動用として、汎用インバータにオプション機能を追加して納入した例がある。本システムは、負荷トルクが変化した場合に、電動機の設計定数で決まる固有の滑り特性以上にトルク特性を傾斜させる方式で、高精度の張力制御が可能で、高度なライン制御に応用できる。図10にこの特性の概念を示すが、従来、直流電動機で行なっていた領域であり、省メンテナンスの点からインバータ化のメリットは大きい。

その他、ミルロール圧下用、連続鋳造設備のモールド幅変更用、ショットブラスト用といった機械にも続々採用されている。

6 結 言

以上、標準インバータとして、マイクロコンピュータ制御インバータ、GTOインバータ、方形波インバータ及び電流形インバータの各製品系列の特長、機能及び応用例について述べた。今後インバータの需要はますます多方面に拡大するものと考えられ、いっそうの発展が期待できる。これらのニーズに対応して、シリーズの拡充、性能向上、小形・軽量化などに更に努力を重ねてゆく考えである。

参考文献

- 1) 松平, 外: インバータによる電動機の制御, 日立評論, 60, 6, 415~420(昭53-6)
- 2) 石橋, 外: LSI制御モジュール化インバータの完成, 日立評論, 63, 6, 393~396(昭56-6)
- 3) 森永, 外: 不等パルス幅変調信号発生 of デジタル化, 昭和56年電気学会全国大会, 593, 726~727(昭56-4)
- 4) S. Morinaga, et al.: "Microprocessor Control System with I/O Processing Unit LSI for Motor Drive PWM Inverter," in Conf. Rec. IEEE/IAS Annual Meeting, pp.1197~1202 (1981)
- 5) A. Ishibashi, et al.: "GTO Inverter for General Purpose Motor Drive," Hitachi Review 31, 185(1982)
- 6) 松田, 外: 交流電動機用PWMインバータへのGTOサイリスタの応用, 日立評論, 63, 6, 379~384(昭56-6)
- 7) Y. Matsuda, et al.: "Development of PWM Inverter Employing GTO," in Conf. Rec. IEEE/IAS Annual Meeting, pp. 1208~1216(1981)