高トルク・高応答を実現した汎用インバータ

—J300シリーズ—

High-Performance General-Purpose Inverter

藤井　洋*　*Hiroshi Fujii*　石田誠司**　*Seiji Ishida*
井堀　敏*　*Satoshi Ibori*　桜田修六***　*Shûroku Sakurada*

高機能・高性能汎用インバータ「J300シリーズ」とその周辺機器

最新制御技術を取り入れた「J300シリーズ」では多様化するニーズにこたえるため，豊富な機種とオプションを用意している。特に，オプションは各種オペレータおよびフィードバック，PID(比例，積分，微分)制御，アナログ・ディジタル入出力，通信と，豊富な品ぞろえとしている。

近年，インバータの普及は，その適用分野のすそ野を広げ，工業地帯からオフィス，商店街あるいは一般家庭など，その使用環境が大幅に変化している。このため，汎(はん)用インバータは低価格化，小型化，静音化，高トルク化，多様化など，さまざまなニーズに対応する必要性が出てきた。

日立製作所はこのような多様化するユーザーニーズにこたえるために，高機能・高性能汎用インバータ「J300シリーズ」を製品化した。

J300シリーズインバータは，独自のセンサレスベクトル制御，オートチューニング，ファジィ制御などの最先端技術を取り入れ，トルク性能の改善，使い勝手の向上を図った。また，インバータ本体としての基本部をスリム化し，用途別アプリケーション基板を整備することにより，顧客の専用化に十分こたえている。

* 日立製作所 産業機器事業部　** 日立製作所 日立研究所　*** 日立製作所 日立工場

1　はじめに

汎用インバータはその手軽さ，経済性から広い分野で利用され，その重要度はますます高まっている。当初，汎用インバータを利用する分野は限定されていた。しかし，その歴史の中で，経済性を維持しながらユーザーニーズを次々取り込んだため，出荷台数は急速な伸びを示し，社会に完全に定着した感がある。

汎用インバータの初期段階では機能は単純であり，ファン・ポンプの省エネルギー運転が中心であった。近年，多機能化，ディジタル化に伴い，搬送機分野に代表される自動化・省力化へ広がり，さらに医療分野，ビル内空調システムなど人に近い分野にも浸透し始めている。このため，ユーザーニーズは多様化してきており，小型化，低価格化，高始動トルク化，低騒音化などのさまざまなニーズが出てきた。これらのニーズはパワーデバイス，制御デバイス，制御技術など汎用インバータの要素技術の進歩によって実現されつつある。

ここでは，これら多様なニーズにこたえて，最新の汎用インバータ「J300シリーズ」でどのような技術的対応を図ったかについて述べる。

2　高機能・高性能汎用インバータ

汎用インバータはどの業種にも対応できることが基本となるが，それぞれの業種，システムで，その要求される仕様・ニーズはすべて異なっている。このため，しっかりした基本性能と，どの分野にも対応できる多機能インバータが望まれる。

日立製作所は，汎用インバータの経済性を保ちながら，高応答，高始動トルクなど基本性能を向上させ，多様化するニーズに対応できる高機能インバータ「J300シリーズ」を開発した。このインバータは高始動トルク，低騒音，小型，多機能そして低価格といったユーザーニーズを取り入れたパワフルなものである。その仕様を**表1**に示す。その特徴について以下に述べる。

(1)　小 型 化

中容量機種(5.5～55 kW)でも小型化指向は根強く，従来機種の寸法ではユーザーの要求に合わなくなっている。このため，徹底的な部品の削減はもとより，最適な冷却構造を用いることが必須(す)となってくる。

冷却フィン上にIPM(Intelligent Power Module)とダイオードモジュールを搭載し，定格負荷を印加した状態のフィン上1 mmの温度分布と，自然冷却下の風向および風速をシミュレーションした例を**図1**に示す。

表1　J300シリーズインバータの仕様
全18機種をシリーズ化した。欧州(380 V)，米国(460 V)仕様の電圧でも運転可能である。また，最高周波数は1,000 Hzまで出力可能(工場改造を要する)である。

項　目		内　容
入力電圧		200 V級・400 V級に対応
インバータ容量		5.5～55 kW　全18機種
定格電流		24～220 A(200 V級)・13～110 A(400 V級)
出力周波数範囲		0.1～400 Hz
周波数分解能		0.001 Hz
制御方式		センサレスベクトル制御，V/f制御
始動トルク		150%以上(1 Hzで)
加速・減速時間		0.01～3,000 s
制動トルク		・回生制動(コンデンサ帰還型回生制動) 5.5 kW，7.5 kWは回路内蔵 ・直流制動(任意周波数から起動可能)
入力信号	周波数設定	外部アナログ信号，3種のオペレータ，オプション
	運転・停止	外部アナログ信号，3種のオペレータ，オプション
	インテリジェント入力端子	19種類から8種類選択
出力信号	インテリジェント出力端子	速度到達信号，運転中信号，オーバートルク信号
	モニタ	アナログ周波数モニタ，ディジタル周波数信号，アナログ電流モニタ，アナログトルクモニタ
その他機能		AVR機能，データ一括設定，曲線加減速，トリップ来歴モニタ，ファジィ加減速，工程歩進，オートチューニング，省エネルギー機能など
異常検出機能		過電流，過電圧，瞬時停電検出，地絡電流，電子サーマルなど
オプション		リモートオペレータ，コピーユニット，5種類のアプリケーション基板

注：略語説明　AVR(自動電圧調整器)

従来，フィンの設計では簡単な熱計算と経験による，勘に頼る設計で何度か試作と試験を繰り返す方法が行われていたが，これでは開発期間が長期化し，また最適に冷却構造が設計されないという問題があった。しかし，近年のシミュレーション技術の向上により，フィンの構造でむだなく小型で最適な設計を行えるとともに，パワー素子の配置についてもシミュレーション技術で決定できるようになった。それに伴って開発期間の短縮も図ることができた。

主回路基板上の部品をモデル化し，定格負荷を印加した状態の基板上10 mmの熱分布と，自然空冷下の風向および風速をシミュレーションしたものを**図2**に示す。

従来，インバータ内部の部品温度については，設計時に特に注意が払われておらず，温度試験等によって部品個々の温度を測定し，許容値を超える部品があれば内部

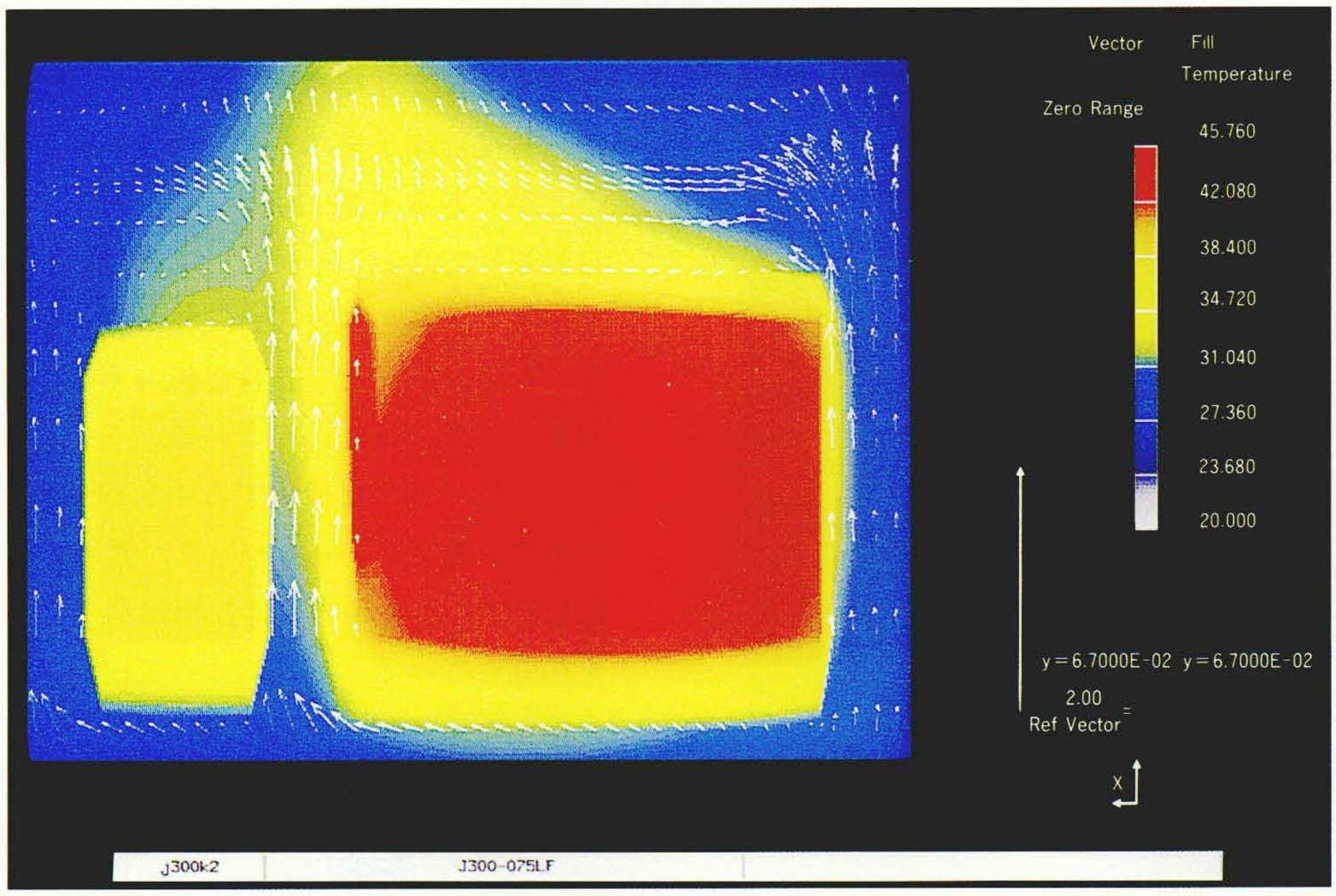


図1　フィン上の熱シュミレーション
　冷却フィン上に，IPMとダイオードモジュールを搭載し，定格負荷を印加した状態のフィン上1mmの温度分布と，自然空冷下の風向および風速をシミュレーションしたものである。

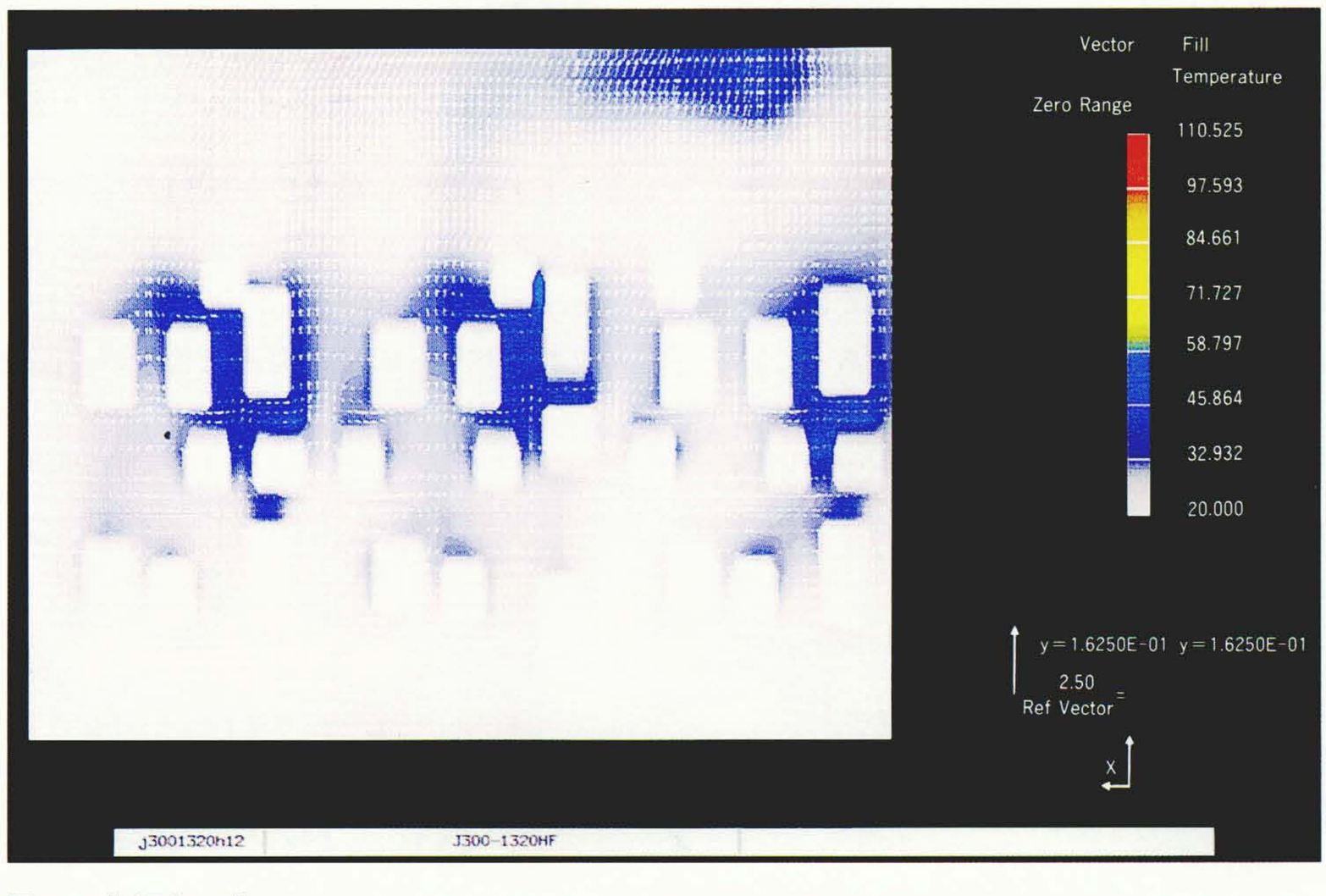


図2　基板上の熱シミュレーション
　主回路基板上の部分をモデル化し，定格負荷を印加した状態の基板上10 mmの熱分布と，自然空冷下の風向および風速をシミュレーションしたものである。

に小型ファンを用いるなど，カットアンドトライ的な設計となっていた。これもフィンの設計同様に，シミュレーションによって主回路部品をモデル化し，まず自然空冷下の風向をチェックし，次に風を妨げる部品の配置をなくし，極部温度が上昇することがないように配慮した。

　このように，シミュレーション技術および徹底的な部品削減を行うことにより，容積を従来機に比べて30%削減することができた(**図3**参照)。

(2)　高性能化

　日立製作所はいち早くセンサレスベクトル制御を汎用

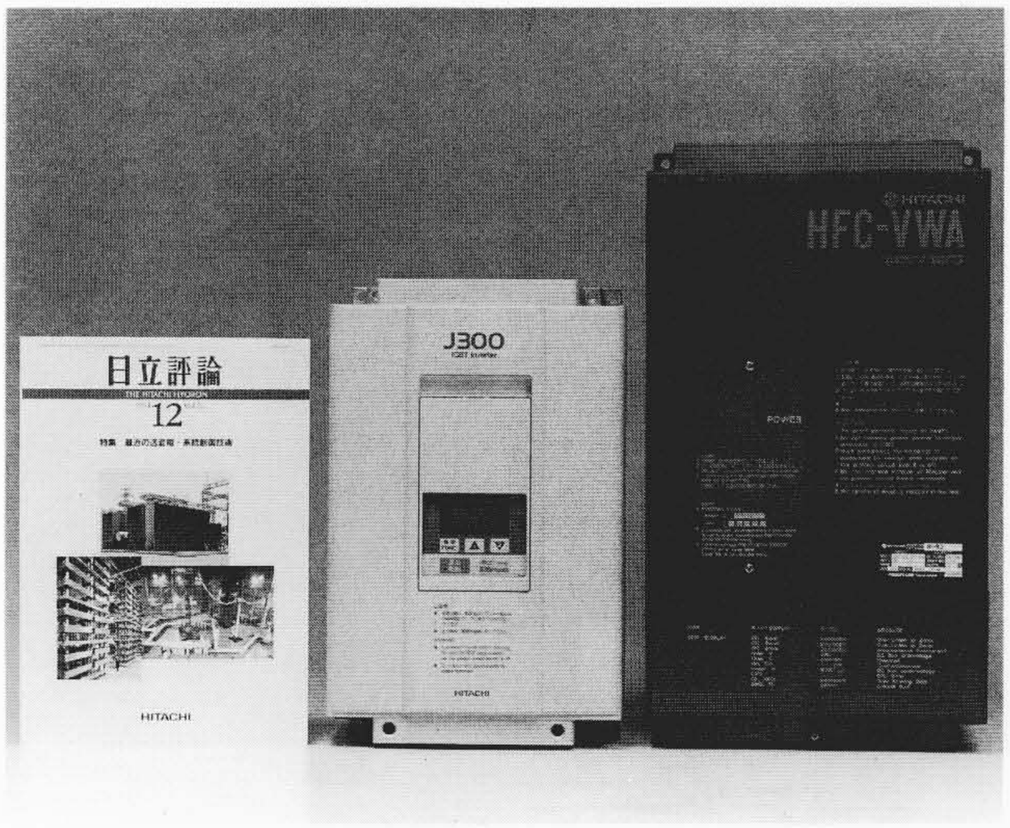


図3　J300シリーズと従来機との比較(同容量機種比)
写真中央がJ300シリーズインバータである。サイズの大幅な縮小化を実現した。

インバータに採用し，汎用インバータの欠点であった低速でのトルク特性の劣化を改善し，1 Hzで150%という直流電動機並みのトルク特性を持ったインバータを製品化した。J300シリーズインバータはこのセンサレスベクトル制御をさらに高応答にし，トルク応答0.1秒(5.5 kW代表特性，従来は0.3秒)といった高応答を実現した。

ベクトル制御の能力を最大限に引き出すためには，モータ定数を的確に把握する必要がある。日立製作所の汎用電動機以外の電動機を使用する際は，従来機ではユーザーが電動機の定数を調査して入力する必要があった。J300シリーズインバータはこのような煩わしさを取り除くために，どのような電動機でも自動的にその定数を検出できるオートチューニング機能を搭載した。

(3)　多 機 能

多様化するユーザーニーズに対応するインバータが望まれているが，インバータの機能が膨大となり，複雑で操作性が悪くなると問題が出てくる。J300シリーズインバータは顧客の設備立ち上げ時間を短縮するため，前述のオートチューニング機能，およびさまざまなシステムの慣性や負荷に合わせて最短時間が自動設定でき，面倒な調整や計算を必要とせず，システムの立ち上げが可能なファジィ最適加減速などの使い勝手を考慮した制御を採用した。

操作性の向上では，まず発光ダイオードを搭載し，遠方から見やすいオペレータ，パーソナルコンピュータやワードプロセッサで身近なスクロールタイプのオペレータ，およびワイドな液晶画面でテンキー入力の階層構造のオペレータと，ユーザーの要求によって使い分けができるように3種類のオペレータを準備している。そのほか，各機能端子をユーザーの使い勝手の良いように選ぶことができるインテリジェント端子，インバータ単独で自動運転できるシーケンサ的機能，およびファン・ポンプ用として省エネルギー運転になる動作点をインバータみずから自動探索する自動省エネルギー運転機能など，多数の機能を盛り込んでいる。

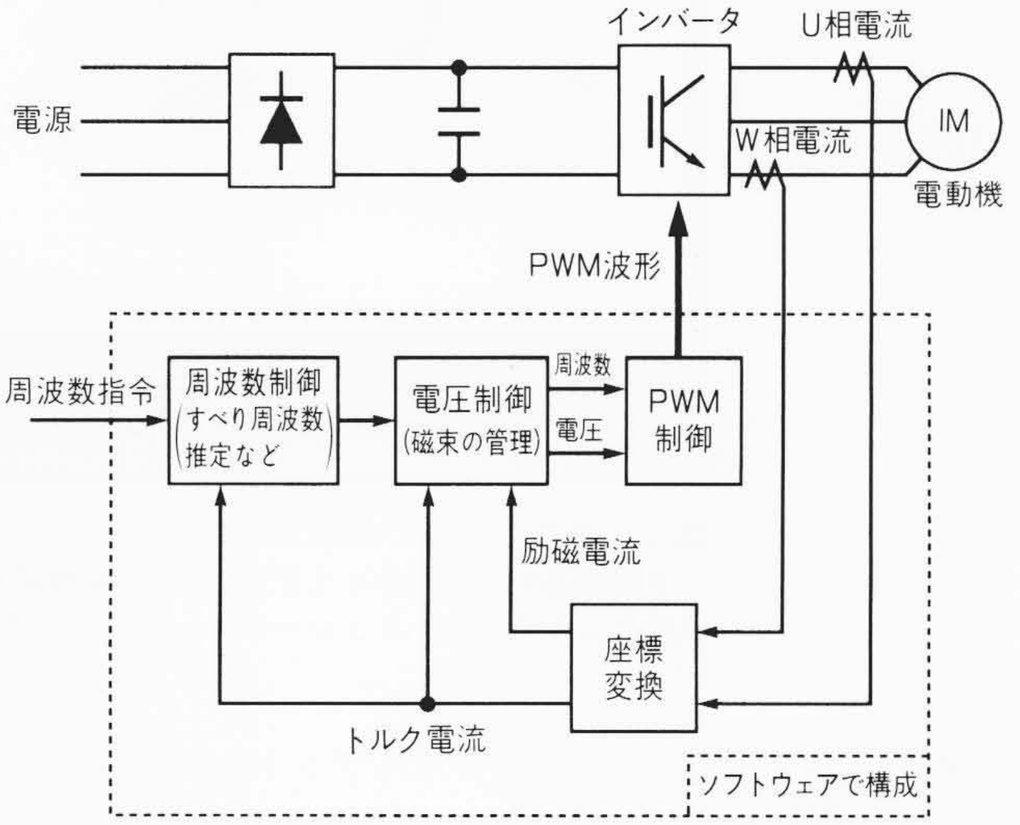
さらに，近年多様化するインバータの用途に対応するために，速度フィードバック，ディジタル入出力，通信，PID制御など各種の豊富な用途別アプリケーション基板を用意している。これによって，システムに応じてより高機能なインバータに簡単にグレードアップができ，ユーザーの専用化対応が可能な構成としている。

構造面では，インバータを内蔵する制御盤内部の発熱量を低減できるように，インバータの放熱フィンを制御盤の外に出すことができるようにしている。

このようにJ300シリーズインバータは，多様化し，変化するユーザーニーズに十分対応できる性能，機能および構造となっている。

3　J300シリーズインバータを支える要素技術

まず，あげられるのがIPMの採用である。パワートランジスタからIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)へ，そしてIPMへと，インバータにとって最重要技術であるパワー素子の発展は著しい。IPMは駆動回路，異



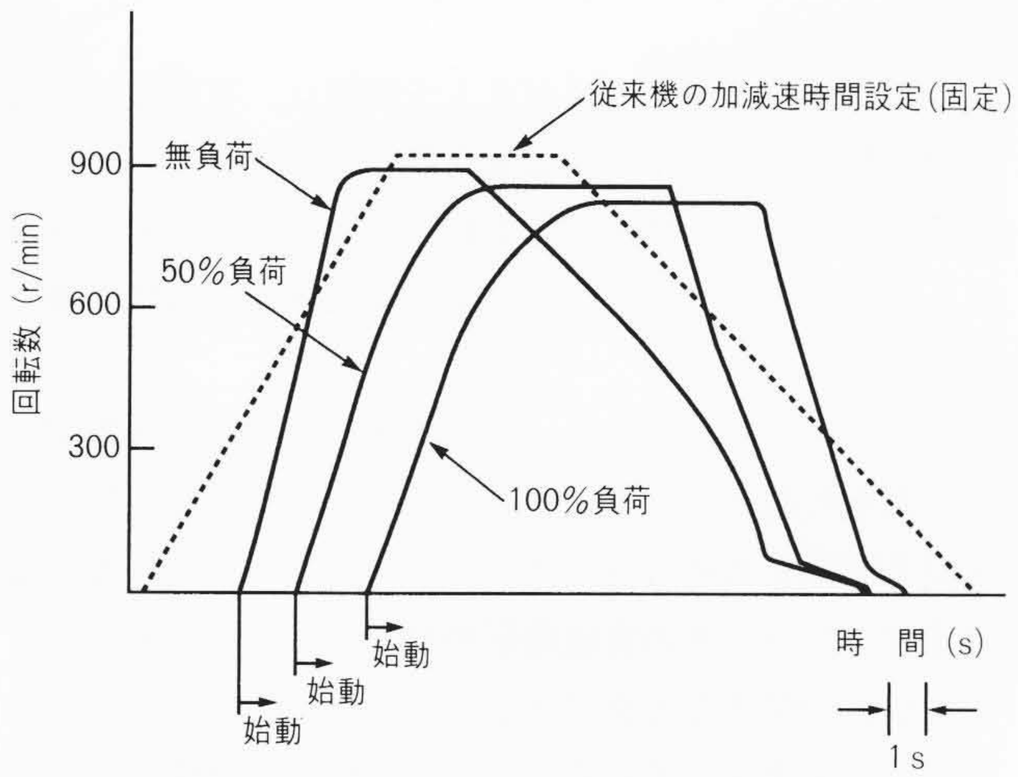
注：略語説明　PWM (Pulse Width Modulation)，IM (誘導電動機)

図4　センサレスベクトル制御の構成
電動機の速度情報を必要とせず，電流情報だけで演算してベクトル制御を行っている。

常検出回路を内蔵しているため，インバータの小型化に大きく貢献している。さらにIPM内部のパワー素子は低損失のIGBTが採用されており，冷却フィンの小型化，電動機の低騒音化が実現できた。

次に，制御技術の進歩について述べる。制御技術はマイクロコンピュータの進歩により，従来アナログ回路で構成した技術をソフトウェア化することができ，経済性，精度，信頼性ともに著しく向上した。その典型的な例がベクトル制御である。従来，汎用インバータはV/f制御という制御が行われていたが，この制御は低速でトルクを出すためにはV/f比を低速で持ち上げなければならず，電動機の励磁電流が増大する欠点があり，インバータの適用される用途が限られていた。

一方，鉄鋼システム，エレベーターなど高性能な制御が必要とされる用途では，速度センサから速度をフィードバックしたベクトル制御が行われていた。しかし，構成が複雑なうえにセンサを必要とするため，環境や用途に制約があり，汎用的ではなかった。日立製作所は，経済的でかつ高性能な汎用インバータを実現するために，業界でいち早くセンサレスベクトル制御を開発した。速度センサがなく，通常の汎用電動機でベクトル制御を実現している(**図4**参照)。この制御は，電動機電流から負荷トルクに対応した電流分と電動機の励磁に対応した電流分とを座標変換することによって算出する。周波数制御部では，トルクに比例した電流を基に電動機のすべり周波数を推定し，電動機の回転が同期回転数になるように制御することによって速度変動率を小さくし，ユーザーにトルク変動による速度の劣化が気にならないように



注：インバータ（J300-110LF），電動機（11 kW 4極）

図6　ファジィ最適加減速制御の加減速特性
負荷状態によって加減速時間が自動的に設定される。無負荷状態では加速が速く，減速はゆっくり，重負荷状態はその逆と，自動的に加減速時間が計算される。データを見やすくするため，始動点と目標回転数をずらして表示してある。

している。電圧制御部では，算出されたトルク電流と励磁電流から電動機に最適な磁束を発生させるために，インバータの出力電圧を演算する。これにより，必要トルクに対するインバータの出力電流を最小に抑えることができた。低速での電動機の発熱の抑制が可能となったため，100%トルクでの連続使用周波数範囲を大幅に改善することができた。このため，ユーザーにとって一枠下の容量の電動機を選択できる可能性が生じてきた。また，トルク電流および励磁電流を常に制御することにより，負荷の変動に対する電流の抑制と同時に，トルク変動および速度変動に対して高速応答が可能なインバータを実

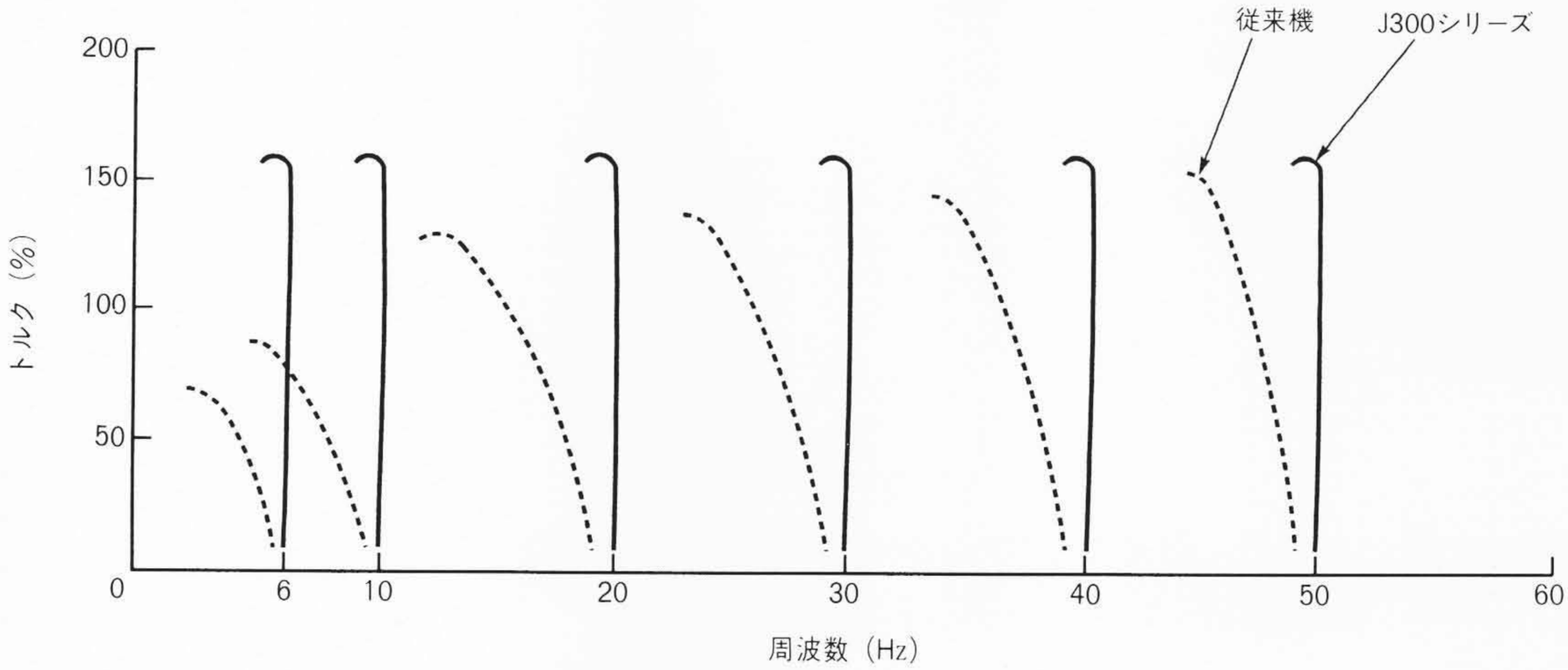


図5　J300シリーズと従来機のトルク特性
低速減でのトルク特性の改善が著しい。このトルク特性は低速での電動機発熱を少なくするので，従来のインバータに比較して電動機枠を1段小さくできる。

現している。

このようにセンサレスベクトル制御は，電動機に最適な周波数，電圧，および電流を供給する方式といえる。**図5**に示すトルク特性からもわかるように，従来の汎用インバータに比べ，トルク，速度変動率を大幅に改善している。

そのほか，オートチューニング機能やファジィ制御といった現代制御をソフトウェアで実現している。特にファジィ制御を初めて汎用インバータに適用した。電動機電流やインバータの直流電圧のリミッタ値までの距離，その成長の傾きなどをファジィルールに盛り込み，加減速レートを決定している。このため機械の慣性や負荷状態に関係なく，**図6**に示すように常にインバータの最大限の能力を生かした加減速運転ができる。

4 おわりに

ここでは，多様化するユーザーニーズにこたえる汎用インバータ「J300シリーズ」の特徴について述べた。

J300インバータは，これまで汎用インバータの適用が難しかった分野，例えばエレベーターやクレーンなどの昇降制御や繊維機械などの精密制御にも使われ，発売以来顧客から好評を得ている。今後ともJ300シリーズの採用が増えていくものと予想される。

参考文献

1) 石田，外：Sensorless Vector Control with Quick Response for General Purpose Inverter，PCC-YOKOHAMA(1993-3)
2) 藤井：インバータの技術的な諸問題，テクノインテグレーション，34～36(1993-5)
3) 奥山，外：誘導電動機の速度・電圧センサレスベクトル制御法，電学論D，191～198(昭62-2)
4) 奥山，外：速度・電圧センサレスベクトル制御における制御定数設定誤差の影響とその補償，電学論D，477～486(平2-5)