UDC 621.382.3.026+621.314.5+621.313.3-523

パワーエレクトロニクス・可変速制御技術の現状と展望

長谷 三千雄(はせ みちお)　　堀 重明(ほり しげあき)

1 まえがき

パワーエレクトロニクスは，従来，産業用エレクトロニクスとも言われ，パワー半導体素子を主回路に，マイクロエレクトロニクスデバイスを制御回路に用いて，電気エネルギーの変換と制御を自在に行う技術分野と定義されている。パワー，エレクトロニクス，コントロールの三つの技術分野が有機的に結合・融合して成立し，過去三十有余年の伝統と歴史を有している。

この分野の最近の進展は，特にGTOサイリスタやパワートランジスタに代表される自己消弧形素子の出現と，高速演算機能を有する超高集積度マイクロコンピュータの経済的量産の実現に負うところ大である。

パワーエレクトロニクスの応用分野の拡大と多様化は顕著であり，工場の自動化，省力，省エネルギーはもとより，電動力応用分野（ドライブエレクトロニクス）においても直流可変速ドライブから交流可変速ドライブへの技術移行が進められたり，電鉄，新エネルギー設備，新加工技術における要素技術としての用途などに重要な役割を果たしつつある。本稿では，パワーエレクトロニクスの現状，特に交流可変速ドライブを中心とした技術の現状と動向について述べる。

2 パワーデバイス

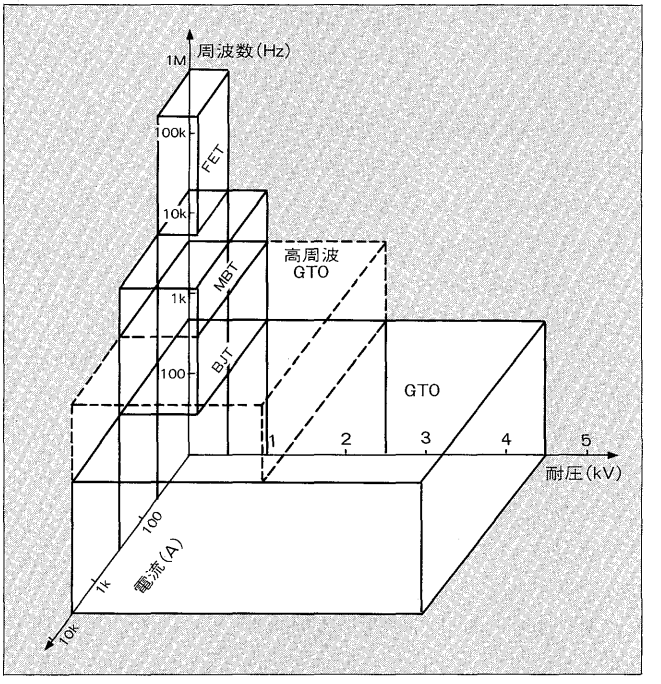
昭和32年に米国GE社で開発・商品化された電力用半導体素子SCRがパワーエレクトロニクスの開幕を告げ，旧来の水銀整流器，回転変流機，可飽和リアクトルなどの電気機器がまたたく間に姿を消した。パワー素子としてのシリコンダイオード，サイリスタは，この後高耐圧化，大容量化の方向で，冷却媒体，冷却方式の工夫と相まって製造技術をも含めた開発が進められている。更にターンオフタイムの短い高速サイリスタや，サイリスタ部分とフリーホイリングダイオード部分を同一ペレット内に有する逆導通サイリスタ，一つのゲート信号により両方向の制御を行うトライアック，光信号でゲートをトリガする光サイリスタといった種々の特定用途に適したサイリスタも開発・実用化されてきた。今日，光サイリスタでは4,000V 1,500A定格素子が実用化されている。

その間アプリケーション技術者は電力変換方式とその主回路構成技術として，素子定格に対する電流・電圧マージンの合理的設定，転流現象の正確な把握，過渡電流・電圧の時間微分値への配慮，冷却方式と冷却効果，素子の機械的・熱的強度，フューズとの保護協調，キャリヤ蓄積効果とスナバ回路の問題など，ダイオード，サイリスタにかかわるアプリケーション上の諸技術を，製作実績を重ねることに学んできた。

電力変換器の技術に大きなインパクトを与えた半導体素子は，昭和50年代中ごろまでに量産化を見た自己消弧形素子，すなわちバイポーラパワートランジスタとGTOサイリスタである。

図1に自己消弧形電力用半導体の適用範囲を示す。GTO

図1　自己消弧形電力用半導体の適用範囲



長谷 三千雄

昭和33年入社。電機・制御システムの産業応用エンジニアリングに従事。現在，電機システム統括部長。

堀　重明

昭和40年入社。電動力応用，産業電子応用装置とシステムのエンジニアリングに従事。現在，電機システム統括部FA技術部副部長。

サイリスタは大容量化が進み，現在では4,500V 3,000A 級の逆導通形のものまで実用化されており，パワートランジスタでは複合化とモジュール化が進み，バイポーラで1,200 V 300A 級のものまでが各種用途の PWM 制御インバータに使用されている。GTO サイリスタについては今後，高耐圧，大電流の特性を経済的に維持しながら，スイッチング周波数を上げる方向の開発と製品化が意欲的に進められる。その他パワー MOSFET は，例えば高キャリヤ周波数（10kHz 以上）の PWM 制御インバータに使用し，電動機の低騒音運転を実現している。

最近の動向としては，MBT のごとくバイポーラ・MOS 複合デバイスの出現であり，これはバイポーラトランジスタの高電力化と MOSFET の低制御電力特性及び高速スイッチング特性の両方の長所を併せ持ったものである。

パワーデバイスは，今後も大容量化と特に，高スイッチング周波化の方向に進むであろうし，制御に要する電力の極小化とともに，機能・構造的には更にモジュール化と複合化が進められ，論理回路などを同一モジュール内に包含したインテリジェントデバイスとしての商品化が追究されるであろう。

3 高圧・大容量変換装置

無効電力補償装置，系統連系用周波数変換装置，大容量回転機始動装置など高圧・大容量装置への適用を対象として，逆阻止 3 端子サイリスタの直列接続による高圧変換装置が1970年代初めより実用化されていたが，1980年には空気絶縁・直接水冷・光間接点弧方式によるサイリスタバルブが66kV 級まで完成し，標準化された。

無効電力補償装置は，電力用では系統の安定化，電圧変動の抑制，産業用では瞬時電圧変動，照明フリッカ抑制を主目的に使われる。電力用としては TCR（Thyristor Controlled Reactor） 方式で50MVA，TSC（Thyristor Switched Capacitor）方式で80MVA，産業用として TCR 方式120MVA をはじめ数多くの実績を重ねている。

また，他励変換装置としては250MVA 発電電動機用始動装置21.8MW，20MW 系統連系装置などを納入している。

光点弧サイリスタは特に高圧変換装置において，部品点数の削減，絶縁構造の簡素化による信頼性向上，寸法縮小の効果が大きい。富士電機では4 kV 1.5 kA 光点弧サイリスタ素子をいち早く開発し，66kV 級までのバルブの標準化を終えている。この結果，光間接点弧方式に比較し，部品点数で1/8，体積で64%，故障率1/3となった。現在更に，6kV 級素子によるバルブについても計画中である。

ファン・ポンプなど大容量電動機駆動の可変速化省エネルギー運転，大容量・高速コンプレッサなどのタービン駆動から電気駆動への転換による省保守，経済性の向上が注目され，大容量交流可変速駆動用高圧自励変換装置実用化の要求が高まっている。

富士電機ではこれにこたえるべく，逆導通 GTO 2.5kV 2kA 素子を 4 個直列接続した GTO バルブを開発し，3.3 kV 3 MVA 級の可変速駆動を可能とした。逆導通 GTO としては4.5 kV 3kA 素子も開発完了しており，一層の大容量化も容易である。

上記高圧自励変換装置は電動機可変速駆動だけでなく，燃料電池発電システム用インバータや自励式無効電力補償装置への適用も可能であり，今後の発展が期待されている。

4 電力変換方式と交流可変速ドライブの変遷

交流可変速装置のうち，電力を動力に変換する交流電動機は，同期電動機と誘導電動機に大別される。電力変換器と前者との組合せがサイリスタモータ装置であり，後者の特にかご形誘導電動機との組合せがインバータモータ装置である。ここでは特に交流機による可変速ドライブの歴史を応用分野と関係づけてたどってみる。

半世紀以上も前から，半導体電力変換装置にかかわりなく使用されていたのは，三相巻線形誘導電動機の二次抵抗制御方式である。この方式では定トルク電流制限加速が可能であり，古くはクレーン，巻上機などの駆動に適用され，なかでも始動トルクの大きい定トルク特性負荷（ボールミル，クラッシャ，シュレッダなど）及び慣性モーメントの大きな二乗低減トルク特性負荷（誘引ファン，押込みファン，ミルセパレータなど）の可変速駆動に使用され，現在に至っている。ところが，この方式にはすべりに比例した二次すべりエネルギーをすべて抵抗損として発生するという欠点がある。いつの時代においても，技術者とその製品に要求される条件は，高効率で，信頼性に富み，しかも経済性を有することである。すなわち，前述の欠点を解決する方式として，セルビウス方式とクレーマ方式が考案され，前者は二次すべりエネルギーを電気的出力として一次側電源に返還するもので，定トルク特性を有している。昭和40年代前半からサイリスタ変換器を応用した静止セルビウスシステムが，大容量ポンプやブロワの可変速駆動に使用され，経済的でかつ制御装置の故障時の対策が比較的立てやすいという理由から，現在でも広く採用されている。後者は二次すべりエネルギーで，主電動機に直結された電動機を駆動することにより，機械的出力として加算するもので，定出力特性を有している。昭和30年代には押出機や，焼結ペレットクーラの駆動に適用された。

昭和30年代後半になると，特に合繊工業分野において可変電圧可変周波数変換を行う電圧形自励サイリスタインバータが開発され，負荷として複数台の永久磁石形同期電動機又はかご形誘導電動機を揃速駆動するシステムが運転開始され，それまでの電動発電機設備などと置換されていった。この時，交流電動機の一次周波数制御によるブラシレス可変速駆動が初めて静止形変換器により実現されたと言える。

同時代には，かご形誘導電動機に渦電流継手を直結し，直流励磁された磁極を通して負荷と結合して，可変速制御を行う方式が一般に普及した。これはコンベヤ設備の駆動や，ブラシレスを志向する防爆形可変速電動機設備として

化学工業分野での押出機やカッタなどにも適用された。この方式は伝達トルクと相対速度差（＝電動機速度－継手負荷速度）の積に比例する損失を発生する欠点があるが，当時としては定トルク特性負荷の可変速手段として，イニシャルコストが低廉故に，盛んに使用された。また，小容量出力ではあるが，かご形誘導電動機の交流電力調整器による一次電圧制御も実用化され，汎用用途に普及した。

昭和40年代前半から中ごろ過ぎまでの間には交流可変速装置の適用技術の研究開発も急激な立ち上がりをみせ，装置としての信頼度も向上した。電流形自励サイリスタインバータも，この時代に出現し，小容量のポンプ負荷駆動用に適用され始めた。

昭和40年代後半には，同期電動機とサイリスタ変換器との組合せからなる無整流子電動機（サイリスタモータ）が実用化された。当初は，フィルムライン駆動などの比較的出力容量の小さなライン設備の可変速駆動に適用されたが，昭和50年代前半には，定磁束・定余裕角制御技術が確立されて，同期電動機の体格が経済的にデザインされるようになると，原理的に直流機のレオナード制御と同等の制御性能を発揮できることから，製鉄工業の圧延機，製紙工業の抄紙機ライン，リワインダなどのブラシレス交流可変速駆動にも使用された。また，大容量機が経済的に製作できるため，鉄鋼分野の高炉ブロワ電動機，あるいは揚水発電電動機のスタータ用として，高圧大容量のサイリスタモータ装置が製作納入された。

昭和50年代後半に入って，低速大容量の鉄鋼圧延主機駆動用として，低速領域における脈動トルクの発生が少ないサイクロコンバータと同期電動機，又は誘導電動機の組合せによる可変速装置が実用化されており，本装置の制御にはオールディジタル化のDDC（Direct Digital Control）が適用されている。なお，国外では，サイクロコンバータは既に昭和40年代後半ごろから低速大容量のセメントミルや鉱石ミルのギヤレスドライブに使用され，粉砕の最大効率点を示す回転速度での運転が行われている。0～約15rpmの変速が可能で，インチング装置も不要である。

昭和48年と52年の二次にわたる石油危機を乗り越える手段として，産業分野では特に，流体機械（ファン，ポンプ，ブロワ，コンプレッサなど）を可変速駆動して省エネルギー目的を達成しようとする動きが盛んになり，インバータによる大・中容量の交流可変速装置が広く普及していった。

昭和50年代中ごろからサイリスタインバータのベクトル制御方式が合理的なコストで実現されるようになり，従来直流機駆動が専ら使用された鉄鋼，製紙，化学工業分野の可変速駆動装置が，交流ブラシレス化されるようになった。

これと期を同じくして，パワートランジスタの優れたスイッチング特性と自己消弧機能をフルに活用した電圧形PWM制御トランジスタインバータが汎用的に使用されるようになった。この電圧形PWM制御トランジスタインバータは，ベクトル制御を付加することにより直流機のレオナード制御と同等の性能が得られるようになったので，特に昭和50年代後半ごろには，工作機械，鉄鋼プロセスライン，合繊シート・フィルムライン，荷役運搬設備などの駆動用として，標準化されたベクトル制御用電動機との組合せで，盛んに適用されるようになった。

昭和60年代に入って超高速・大容量電動機によるコンプレッサや高圧ポンプの駆動用としてGTOサイリスタを適用した電圧形インバータや200kW 20,000rpmのターボブロワ直接駆動用電動機とインバータも製品化され，小容量のものではあるが，MOSFET素子を適用した低騒音形のPWM制御インバータも市場に出された。

今後の電力変換技術の中心課題は，高周波スイッチング素子とPWM制御技術による出力波形の改善及び高調波の低減であり，可変速装置に関して言えば，低速領域でのトルクリプルの問題をいかに解決するかである。いずれの問題を解決するにも，変換器の三相出力を平衡させ波形を限りなく正弦波に近づけることが必要であるが，PWM技術の一層の進歩にその解決の糸口が見いだされるようである。

5 制御技術の動向

最近のマイクロプロセッサ，LSIなどに代表されるマイクロエレクトロニクスの進展は目覚ましく，高機能ディジタル処理回路が経済的に実用化できるようになってきている。制御分野においても，その制御理論が正しく，理論的に成立することがまず証明されれば，複雑なアルゴリズムであっても，比較的容易にその理論をディジタル制御回路で実現できる時代となった。つまり，集積度が極めて高く，高速演算が可能なマイクロエレクトロニクス技術の所産であるマイクロプロセッサ，周辺LSI，ロジックIC，更にはDSP（Digital Signal Processor）などのハードウェア技術と，そのハードウェアを所望の制御，保護，診断機能を有した制御装置にするためのソフトウェア技術とが一体化して，従来の古典制御理論に加えて，ベクトル制御や現代制御理論などの新たな制御技術の導入を可能にした。なかでも，特に高機能，高性能を要求する可変速駆動システムに対するディジタル化の傾向は世界的な流れであり，確実に近い将来の主流となろう。**図2**に最近の富士電機の制御技術を示す。

5.1 ディジタル化

表1にディジタル化の効果を示す。電動機の可変速制御をディジタル化した場合，従来のアナログ制御と比較して制御性能，機能，信頼性，保守性が向上する。温度，電源変動，経年変化によるドリフトのためにアナログ制御では困難であった制御の高精度化，高安定化や，半導体電力変換装置と電動機の有する非線形性の補償とか，各変数の相互干渉性の非干渉化は，現代制御理論の導入とマイクロプロセッサによる高度な演算処理，メモリを利用することにより容易に実現している。保護・監視機能については，オンライン，オフラインで自己診断，ハードウェア，ソフト

図2　新しい制御技術

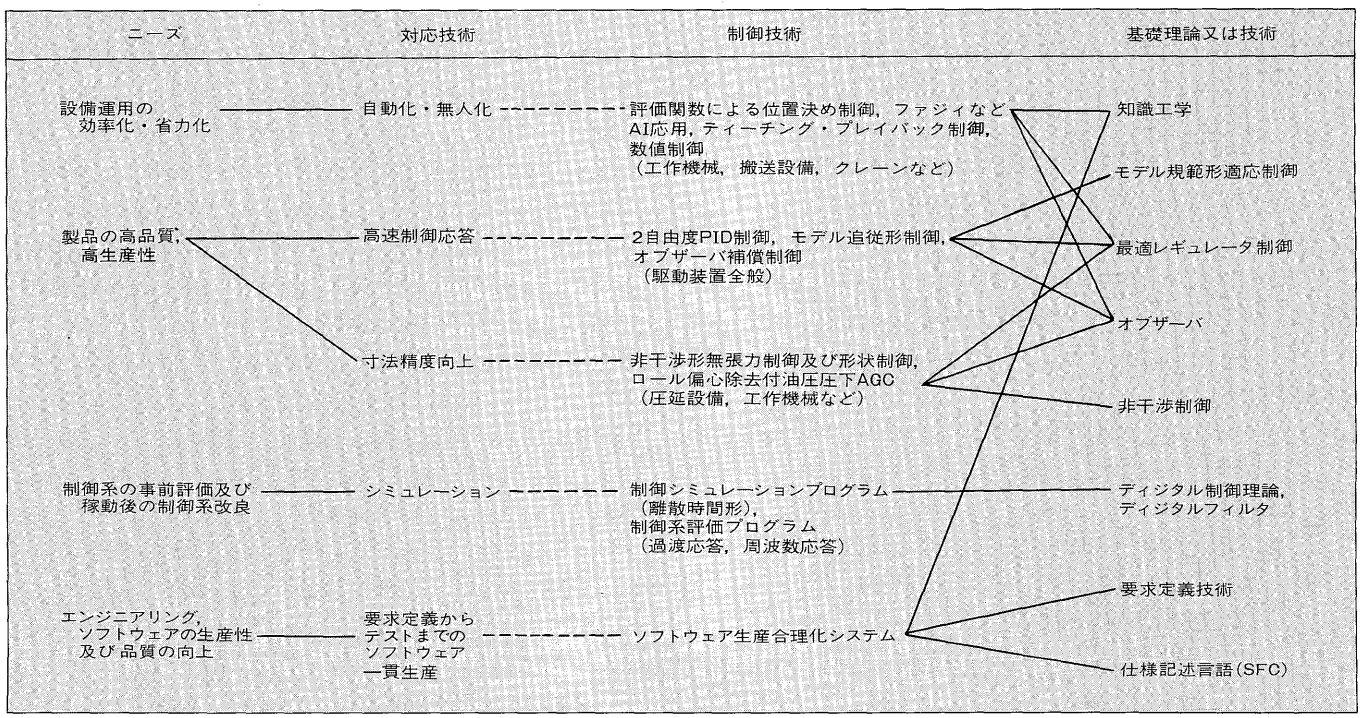


表1　ディジタル化の効果

効　　果	具体的な内容
制御性能・機能の高度化	高精度 安定性が良い 制御範囲の拡大 現代制御理論の適用 非線形補償 上位システムとのリンケージ
保護・監視機能の充実	自己診断 トレースバック 保護の二重化 故障発生順位の表示
装置の標準化・低コスト化	ハードウェア標準化 ASIC，1チップCPUの採用

ウェアでの保護の二重化，故障発生前後の制御データを記録するトレースバック機能などを実現している。

5.2　演算処理速度

電動機制御系において，電流制御では数ms～十数ms，速度制御では数十ms程度の応答性が要求されるので，電流制御，速度制御のサンプリング周期は，それぞれ1～3ms，5～10msを必要とする。高性能な交流駆動システムでは電流制御を交流量にて制御しているため，サンプリング周期を1けた速くする必要がある。またディジタル制御は離散値系であり，取り扱うデータは検出信号を量子化したディジタル量であるため，量子化幅とサンプリング周期は装置の精度，安定性，応答性などの性能に大きな影響を及ぼす要因となる。8ビット，16ビットの汎用プロセッサ自体の高処理能力と，DSPを使用することにより高速演算処理を行うか，それとも，今日ではマスタ，スレーブの階層形，又は共通バス形のマルチプロセッサシステムとしてトータルの演算処理速度の向上を図っている。

5.3　ベクトル制御の汎用化

三相かご形誘導電動機のインバータによるベクトル制御は，昭和46年ごろに西独シーメンス社にて〝トランスベクトル制御〟として実用化されたもので，原理的には相当昔から提唱されていた。電動機の三相入力電流，電圧を検出して，三相（a，b，c）/二相（α，β）変換を施し，直交したα，β軸上の電圧，電流に変換し，この値から磁束の各成分，及び励磁電流成分とトルク電流成分を演算すると同時に，回転磁界の位置（電動機二次磁束の向き）を同定しなければならない。励磁電流とトルク電流の指令値は各々検出演算値と比較され，α，β軸での電流指令となり，この値を二相（α，β）/三相（a，b，c）変換して誘導電動機の各巻線への電流指令値とし，この値に従って電力変換器が制御される。

磁束位置の同定法により磁束検出形ベクトル制御とすべり周波数形ベクトル制御に大別されるが，前者は磁束の直接検出に実用上の難点があり，現在実用化されているベクトル制御は，特殊な誘導電動機を必要とせず，制御回路だけで高性能な制御ができる後者のすべり周波数形ベクトル制御の方である。

今，Φ_2：二次磁束，M：一次，二次相互インダクタンス，L_2：二次インダクタンス，i_{1q}：一次q軸電流，i_{2q}：二次q軸電流，e_{2q}：二次速度起電圧，R_2：二次抵抗，ω_s：すべり角速度，とすれば次式が成立する。

$$0 = Mi_{1q} + L_2 i_{2q} \quad \cdots\cdots(1)$$

d軸を二次磁束の方向に選んだので，q軸方向の軸束は零である。

$i_{2q}=e_{2q}/R_2=-\omega_s\Phi_2/R_2$ ……(2)

二次磁束と回転子は ω_s（$=\omega_0-\omega_r$）のすべり角速度で相対回転し，速度起電圧 e_{2q} により二次q軸電流 i_{2q} が流れる。式(1)と式(2)から，

$\omega_s=(M\ R_2/L_2\Phi_2)\times i_{1q}$ ……(3)

この式は，二次磁束 Φ_2 と一次トルク電流が決まるとすべり角周波数 ω_s が算定できることを示している。二次磁束の角速度 ω_0 はスピードセンサの検出値（回転子角速度）に，すべり角周波数 ω_s を加えたもので，この ω_0 を積分した値 θ_0 を磁束位置として同定し，制御するのがすべり周波数ベクトル制御で，電動機定数を用いて演算制御する一種の予測制御でもある。ベクトル制御はまた，別の見方をすれば，高速なトルク応答を得るために磁束とトルク電流を独立に制御し，互いに干渉しないようにする制御ということから，非干渉制御の一種ということもできよう。

直流駆動から交流駆動への大きな流れを支える制御技術として，ベクトル制御は既に定着しつつあり，汎用的に使用可能な標準シリーズ商品も市場に投入されてきた。最近では，電動機に速度センサや磁束センサを取り付ける必要のないセンサレスベクトル制御方式が種々検討されており，ベクトル制御の有する優れた動特性を最大限に利用することを志向している。

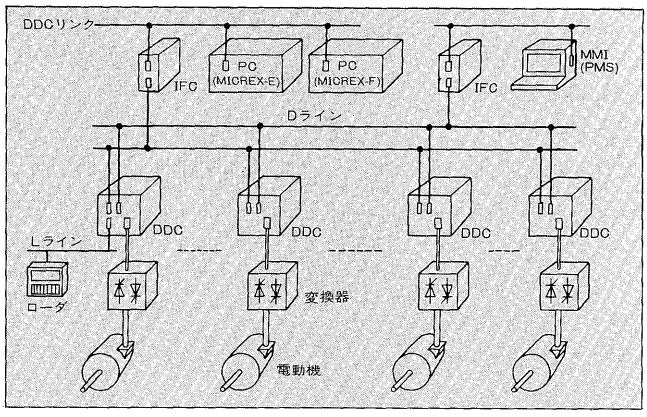
ベクトル制御では電動機定数の変動により制御特性が大きく影響されることから，今後は特に高精度のトルク制御を行う必要のある場合などには，電動機定数が温度，周波数，電流などの変動に伴いどのように変化するのかを正確に推定できるアルゴリズムと，これに対応した制御パラメータの適応化を究める必要がある。

5.4 オブザーバと適応制御

オブザーバ（状態観測器）は制御対象の入力と出力から内部の状態変数の時間応答を再現するもので，この状態変数を再現して制御に使用する。つまり，直接，間接に検出が困難な量を推定するための，現代制御理論に基づく制御手法の一つである。富士電機は既に昭和50年代の中ごろから，リューエンベルガーのアナログオブザーバで負荷外乱を推定し補償する方法を直流機のレオナード制御に適用してきたし，最近では機械的共振系のねじり振動の状態をディジタルオブザーバにより推定し，機械振動を抑制する制御方法をトランジスタインバータのベクトル制御に採用した例もある。

適応制御は環境条件の直接測定を行うことなしに制御対象の入出力特性から対象が変動したことを検出し，コントローラのパラメータを自動調整する適応機能を有する制御のことで，セルフチューニング（STR）とかモデル規範形適応制御（MRAC）があり，理論も体系化されている。例えば，プラント駆動用インバータの工場出荷時調整の簡略化と，現地での調整期間の短縮と費用低減を主目的として，オフラインでインバータと電動機の結合運転をすれば，直ちに電動機定数と負荷の慣性モーメントを同定し制御パラメータを設定できる装置の開発が進められているが，実用化には多少の時間を要する。

図3　DDCシステム構成



5.5 上位システムとのリンケージ

産業プラントのライン駆動制御システムのDDCは，**図3**に示すシステム構成となる。上位にPC（Programmable Controller）が位置し，DDCリンクにより各コントローラ間及び1個のIFC（Interface Controller）を介して，Dライン（データライン）レベルで計64台までのインバータ装置と伝送結合されている。Dラインは運転指令をはじめ，上位PCで演算された制御信号の授受用伝送ラインである。これとは別にドライビング装置全体の集中モニタリングを行うために，個々のインバータは上位の監視制御装置MMI（Man Machine Interface）とIFCを介して伝送結合され，入力電力，出力周波数，電動機電流，出力電圧，回転速度，その他のロギング，監視表示に必要な値と，故障時の異常内容などの信号のやりとりを行う。また個々のインバータにはLライン（ローカルライン）レベルでローダが接続でき，ソフトウェアプログラムのローディングのほか，故障前後のトレースバックデータが取り出せるようにしている。

このようなシステム構成により，設備全体にかかわる制御のフレキシビリティの向上，すなわち生産方式や製造品質の変更，材料特性の変更に伴う運転方法や制御特性の変化に，ソフトウェアで対処することが可能となっている。ただし，ソフトウェアの変更には当然その変更内容に見合った適正時間と費用を必要とするものであることを忘れてはならない。

6 あとがき

パワーエレクトロニクスの各要素技術（パワーデバイス，電力変換技術，電磁機械技術，検出技術，マイクロコンピュータ技術，制御技術，故障診断技術，伝送技術，AI技術など）はそれぞれに思うがままの進歩を続けてきた。異なる専門分野の技術者やその成果である製品は，相互に有益な刺激と影響を与え合いながら日夜前進を期している。今やパワーエレクトロニクスは，これら個別専門技術間の整合性をとり，コーディネートして技術的にも経済的にも，

バランスのよい最適なシステムを提供するというエンジニアリング能力を必要とする複合的な技術分野となっている。

複合技術分野は常に高付加価値製品，すなわち知識集約的製品を創出してゆく可能性を有しているもので，ハードウェアに比してソフトウェアあるいはエンジニアリングの比重がかなりの速度で増大してゆくのは間違いない。したがって今後は，これまで以上の勢いでディジタル化が進行するなかで，主回路変換装置の種類が何であれ，制御ハードウェアは標準化された同一モジュールコンポーネントの組合せで構成され，ローディングされるべきソフトウェアと制御パラメータのみ，用途や負荷の特性に応じて変えるという形態の製品群が出現し，ソフトウェア技術主導の時代を迎えるのもそう遠くないように思える。

参考文献

(1) 大内茂人・栃木勉：電動力応用プラントへのオブザーバの適用，富士時報，Vol.61, No.4, pp.286-289 (1988)

(2) 高橋浩ほか：現代制御理論の可変速駆動システムへの応用，富士時報，Vol.58, No.11 pp.692-698 (1985)

(3) 河野哲雄：インバータ応用の最近の動向，オートメーション，Vol.31, No.3, pp.33-40 (1986)

(4) 細田博美ほか：大容量ACドライブシステムの性能と特長，電気計算，Vol.55, No.5, pp.33-39 (1987)

(5) 電気学会ドライブエレクトロニクス技術調査専門委員会：電気学会技術報告（II部）第235号，ドライブシステムにおける整合化技術 (1986-11)

(6) 電気学会製鉄工業における新可変速システム調査専門委員会：電気学会技術報告（II部）第211号，製鉄工業における新可変速駆動システムの現状と動向 (1985-11)

(7) 電気学会産業用ドライブエレクトロニクス調査専門委員会：電気学会技術報告（II部）第186号，ドライブエレクトロニクスの最近の技術動向 (1985-4)

(8) 電気学会交流可変速駆動方式調査専門委員会：電気学会技術報告（II部）第109号，交流可変速駆動方式の技術動向 (1981-4)

(9) Luenberger, D.G. : An Introduction to Obserbers, IEEE, Transaction on Automatic Control (1971-12)

最近公告になった富士出願

〔特　許〕

公告番号	名称	発明者	公告番号	名称	発明者
特公昭63- 809	流体圧力制御方法	竹内　実 福本　武也 平林　悟	特公昭63- 3431	誘導炉の湯漏れ検出装置	楯野　正雄
特公昭63- 829	情報処理装置	武井　孝憲 野尻　裕昭	特公昭63- 3524	交流電気車の電力変換方式	木下　繁則
特公昭63- 990	撮像方式	宮川　道明 柚木　裕	特公昭63- 3354	電動機の速度制御装置	石田　紘一 高橋　浩
特公昭63- 1032	多相半導体整流装置	中村　豊忠	特公昭63- 3555	電動機速度の制御装置	石田　紘一 高橋　浩
特公昭63- 1625	命令先取り制御方式	田ノ下　勝 武井　孝憲	特公昭63- 3556	直流電動機の速度制御装置	石田　紘一 高橋　浩 竹山　良雄
特公昭63- 1635	ホテルベンダーシステム	渋田　博士	特公昭63- 3558	交流電動機駆動装置	中野　孝良
特公昭63- 1824	蓄電池の充電制御方式	高林　泰弘	特公昭63- 4347	セレン感光体の蒸着装置	石曽根稔直 中田　和夫
特公昭63- 1825	蓄電池の充電制御方式	高林　泰弘	特公昭63- 4413	電機子コイルの製造方法	深井恭次郎 植戸　敏一
特公昭63- 1839	電動機の速度制御装置	石田　紘一 高橋　浩	特公昭63- 4428	インバータ回路	皆元　正博
特公昭63- 2047	流体漏洩検知方式	島田　耕司	特公昭63- 4429	電流形インバータの制御方法	皆元　正博 高坂　憲司
特公昭63- 2359	原子炉燃料交換機のホールドダウン機構	小林　修	特公昭63- 4430	インバータの電流制御装置	皆元　正博 橋井　眞
特公昭63- 2450	エンジンの吸気流量計	三好　紀臣 鶴岡　亨彦 南雲　睦	特公昭63- 4431	負荷給電回路	古田　政美
特公昭63- 2451	カルマン渦流量計	鶴岡　亨彦 南雲　睦	特公昭63- 4615	Ag-W 焼結接点の製造方法	松本　浩造
特公昭63- 2680	生物学的脱窒法における炭素源注入制御法	田沼　良平 佐々木康成 財津　靖史	特公昭63- 4658	クレアチニン定量用溶存酸素電極およびその使用方法	久保いづみ
特公昭63- 2884	オゾン発生方法	虎口　信	特公昭63- 4661	酵素電極法による α-アミラーゼの定量法	中川いづみ

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。