

汎用インバータ・サーボシステムの最新技術

Latest Technology for General-purpose Inverters and Servo Systems

酒井 利明 SAKAI Toshiaki

井本 博幸 IMOTO Hiroyuki

汎用インバータは、搬送装置、空調装置および工作機械など幅広い産業分野に適用されている。同期ドライブシステムではオートチューニングやベクトル制御を用いたシステム構築の容易性を実現し、空調専用インバータでは温度差一定制御と推定末端圧制御の機能で省エネや電力削減を実施し、高性能ベクトル制御形インバータでは高速・多軸制御への適用範囲拡大などの要求に応えた新たな製品をラインアップした。サーボシステムでは、用途別オートチューニングによる最適調整の実現や旧型機種からの置換え手段の充実、ならびに使いやすさを考慮したパッケージの製品化など新たな製品を開発した。

General-purpose inverters are used in a wide range of industrial fields, including transportation machinery, air conditioners, and machine tools. Fuji Electric offers a lineup of new products that meet various needs. We have realized easy system construction with auto tuning and vector control for synchronous drive system, and enforced energy savings and reduced electric power for air conditioning dedicated inverters using temperature difference constant control and estimated end pressure control functions, and lined up a new product expanding the range of applications to high-speed and multi-axial control for high-performance vector control inverters. For servo systems, we have developed new products that realize optimal adjustment through application-specific auto tuning and enrich replacement methods from older models, as well as packaged products designed for ease of use.

1 まえがき

汎用インバータおよびサーボシステムの市場は、ここ数年リーマンショックによる縮小から立ち直ったかに見えたが、2011年に発生した東日本大震災、さらには中国の金融引締めなどの影響により谷間の局面を迎えつつある。これらの駆動機器に対して、性能向上だけではなく、使い勝手の向上がますます市場要求として高まっている。このような市場要求に応えるため、汎用インバータ・サーボシステムの技術動向を踏まえて取り組んだ最新技術と適用事例を紹介する。

2 製品ラインアップ

2.1 汎用インバータ

図1に汎用インバータの製品ラインアップを示す。

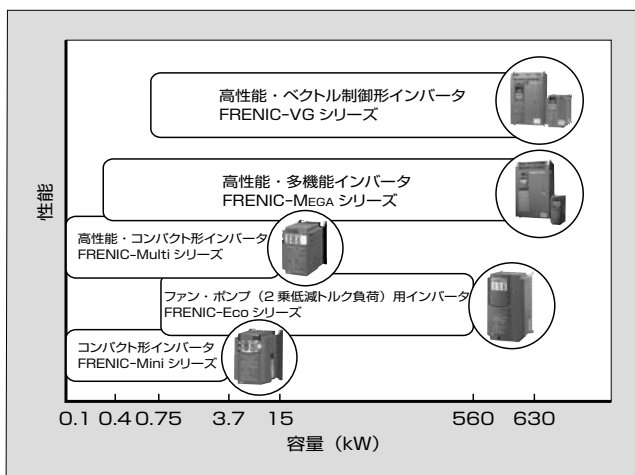


図1 汎用インバータの製品ラインアップ

汎用インバータは、「FRENIC-Mini」「FRENIC-Multi」「FRENIC-Eco」「FRENIC-MEGA」およびベクトル制御形である「FRENIC-VG」の5系列を提供している。主な製品の特徴と用途を表1に示す。

表1 汎用インバータの特徴と用途

インバータシリーズ名称	主な特徴と用途
FRENIC-Mini	3.7 kW以下の可変速制御用コンパクト形
FRENIC-Multi	15 kW以下の可変速制御用コンパクト形、定トルク負荷用
FRENIC-Eco, FRENIC-Eco Puls	560 kW以下の可変速制御用スタンダード形、2乗低減負荷用
FRENIC-MEGA	630 kW以下の可変速制御用スタンダード形、定トルク負荷用
FRENIC-VG	630 kW以下の高性能・ベクトル制御形インバータ



図2 サーボシステムの製品ラインアップ

2.2 サーボシステム

図2にサーボシステムの製品ラインアップを示す。

「ALPHA5シリーズ」の機能限定版「ALPHA5 Smartシリーズ」を開発した。容量は0.05～3kW、周波数応答は1,500Hzであり、ALPHA5シリーズと同等の性能を持ち、USB端子の削除など機能を限定して価格メリットを出した。主に海外での展開を意識した製品である。

3 汎用インバータの最新技術と適用事例

汎用インバータは、三相誘導モータの可変速制御用として適用されている。近年、同期モータへの適用や特定用途向け制御機能への対応と、機種バリエーションが拡大している。

3.1 同期ドライブシステム「FRENIC-MEGAシリーズ」

モータ回転子に永久磁石を内蔵したIPMの同期電動機は、損失が少なく、小型化・高効率化が可能である。概要を表2に示す。

各シリーズの同期モータは、1台のインバータによりセンサレスベクトル制御またはセンサ付きベクトル制御で駆動される。一般の誘導モータ用インバータと同期モータ用インバータでは、モータの磁石の有無により次の点が大きく異なる。

(1) 同期モータのオートチューニング

同期モータのベクトル制御においては、モータの電気定数（電気子抵抗、インダクタンス、逆起電圧）の情報が必要である。インバータで同期モータを駆動するには、モータの形式と容量を指定することで、全ての電気定数が自動的に設定される。

また、モータに対しては、オートチューニングを行うことで、インバータ側から電気定数の読み込みが可能である。これにより、最大効率の同期システムを簡単に構築できる。

(2) 同期モータのベクトル制御

同期モータの電気定数が設定されても、実際のモータの回転角度（磁極位置）を知る必要がある。センサレスベクトル制御ではセンサがないため、モータ起動時に磁極位置の検出を行う。磁極位置により、モータ内部に軸が回転しないように一定方向を向いた高周波で交番する磁束を発生

表2 同期電動機の概要

シリーズ	容量範囲	形状	効率レベル	制御方式
GNS形	5.5～200kW	誘導機互換	IE4	センサレスベクトル制御
GNP形	5.5～90kW	誘導機互換	IE4	センサレスベクトル制御
GNB形	5.5～540kW	小型化	IE3	センサレスベクトル制御
GNF形	5.5～425kW	小型化	IE3	センサ付きベクトル制御

させ、巻線に流れる電流値から推定演算を行う。センサ付きベクトル制御の場合には、一度、磁極位置の検出を行えばモータは停止状態から定格回転速度まで最大トルクを出力することができる。このため、押出機など従来直流モータが適用されていた分野への同期モータの適用が可能となった。

3.2 空調専用インバータ「FRENIC-Eco Plus」

商用電源で駆動されている誘導モータにインバータを適用し、回転速度を下げることで省エネルギー（省エネ）を行う方法は広く知られている。さらなる省エネや使用電力削減が可能な自立制御形のインバータが、「FRENIC-Eco Plus」である。このインバータは、温度差一定制御と推定末端圧制御の機能を持ち、ファン・ポンプの最適制御を実現している。表示設定は、流量、圧力の単位で指定できる。

(1) 温度差一定制御

冷凍機などの空調設備では、入口と出口の温度差を一定に制御している場合がある。温度差が一定になれば必要以上に冷却水を循環させず、モータの回転速度を下げて省エネを行うことが可能である。図3の適用例で示すように、FRENIC-Eco Plusでは二つの温度センサの入力を持ち、この温度差を一定にできる。

図4に、温度差一定制御による電力量の実測値を示す。特に冬季に消費電力が大幅に削減できているのは、冷却水の温度が外気温度によって下がるため、必要以上に循環させないことによる効果である。

(2) 推定末端圧制御

ポンプで水を送り出す場合、経路末端での圧力（水圧）を一定にする方法がある。末端まで到達する間に配管抵抗によって水圧が低下する。水の配管抵抗は流量との相関が強いので、流量と圧力の特性をインバータに登録してポンプの回転速度を制御する。このため、吐出圧一定（ポンプの出口での圧力一定）制御よりも大幅な省エネ運転が可能である。推定末端圧制御では末端に圧力センサを必要としないため、設置作業の低減、メンテナンスが不要なシステムを構成できる。

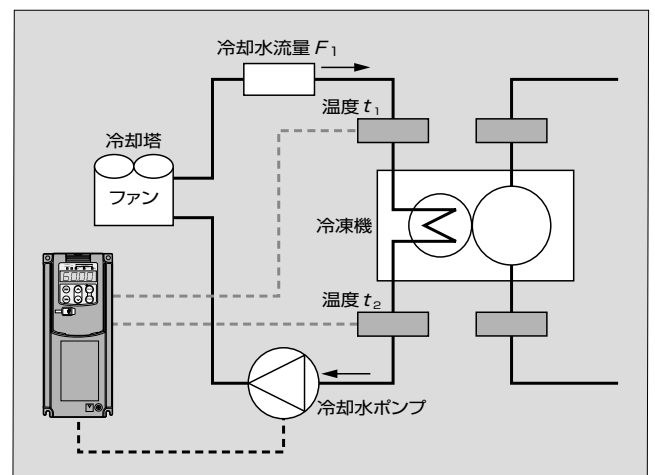


図3 「FRENIC-Eco Plus」の適用例

FRENIC-Eco Plus では、この他に比例制御、温度圧力一定制御が選択でき、従来の単なるPID制御以外のシステム構成が可能である。このように、他の調節器を必要としない自立制御形インバータは、日本では製品化の例がない。

3.3 高性能ベクトル制御形インバータ「FRENIC-VG」

FRENIC-VGは、周波数応答600Hzの性能を持ち、従来機種と互換性のある1,024パルスエンコーダだけでなく、サーボシステムで使用している17ビットシリアルエンコーダ（分解能131,072パルス）にも対応している。次に示す制御方法により、さまざまなシステム構成が可能である。

(1) 精密同期制御

複数のモータで一つの機械を駆動する場合、各モータは加減速時を含めて常に回転量を一致させる必要がある。FRENIC-VGでは、「MICREX-SX」の「E-SXバス」により精密同期制御を容易に構成できる。MICREX-SXのCPUモジュール「SPH3000MM」の最小タクトタイムは0.25msであり、タクトの揺らぎは1μs以下である。このため位置制御側での同期性は完全に確保され、機械側の慣性モーメント、位置調節系および速度調節系が同期精度に影響を与えるレベルである。

E-SXバスは、100Mbps/s、局間100m、総長1kmの

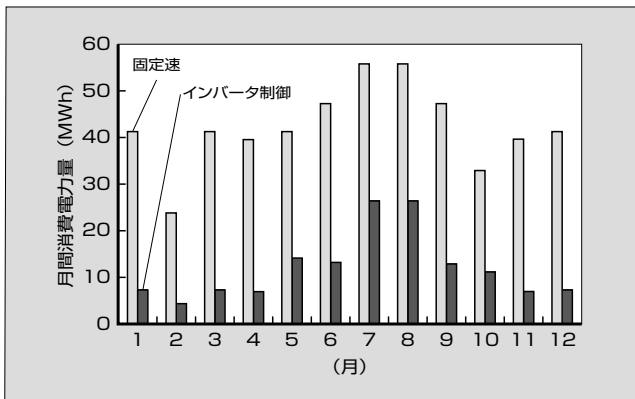


図4 温度差一定制御による消費電力実測値



図5 E-SXバスのシステム構成

システムであり、大容量の精密同期制御システムにおいてもインバータおよびモータを自由に配置でき、制御盤の配置に関する制約も少ない。図5にE-SXバスのシステム構成を示す。

(2) 多軸制御

半導体製造装置や金属加工装置では、主軸制御、トラバース制御、ダンサ制御、PTP位置決め制御、巻取り制御などの非常に多くのモーション制御を必要とする。モータの制御としては、位置制御、速度制御、トルク制御に分類されるが、これらが混在している装置も多い。MICREX-SXシステムではこれらの制御を混在させてプログラムを組むことができ、かつ制御軸数の制限が少ない。ベクトルインバータもサーボシステムも、ともに従来のSXバスシステムに直結できるため、サーボシステムの最小容量0.05kWからベクトルインバータの最大容量630kWまで混在したシステムを容易に構築できる。

SXバスは25Mbps/s、局間25m、タクトタイム1msのシステムであり、汎用インバータ、その他の機器においても高速通信インタフェース（SXバスインタフェース）を用意している。

4 サーボシステム「ALPHA 5 Smartシリーズ」の最新技術と適用事例

「ALPHA5 Smartシリーズ」に採用した最新技術とPCローダの技術、ならびにPODとMICREX-SXを使用した包装機パッケージの適用事例を紹介する。

(1) 用途別チューニングモード

サーボシステムは、機械系を最適に駆動するため内部ゲインの調整が必要である。従来は、オートチューニングによる調整方法が一般的であった。移動量が高いベルト駆動の場合は移動途中で共振や振動が発生する場合があります。

技術者が個別にパラメータを調整する必要があった。海外の顧客の装置を調整するには、訪問するだけでも時間を要し、迅速な対応ができない場合があった。

ALPHA5 Smartシリーズでは、これらの課題を解決するために新しく用途別チューニングモードによる最適調整

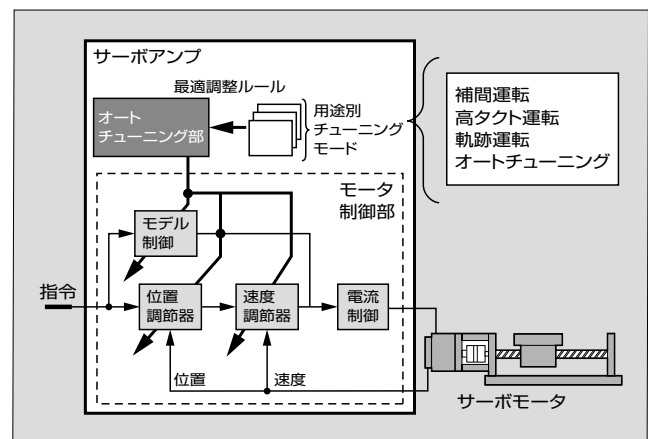


図6 用途別チューニングモードのブロック図

のルールを確立した。用途別チューニングモードのブロック図を図6に示す。機械の構成に応じて内部のゲイン調整を自動的に変えるもので、オートチューニング以外に補間運転・高タクト運転・軌跡運転の三つのモードを設けている。機械系の種類別（ボールねじ、ベルトなど）によりチューニングの設定方法を変える方式であり、顧客が用途で選ぶのか機械系の種類で選ぶのかを選択できる。通常調整を実施する担当者は電気系の技術者が多いため用途で選択できる方法を本シリーズに採用した。

(2) PC ロードによるパラメータ変換技術

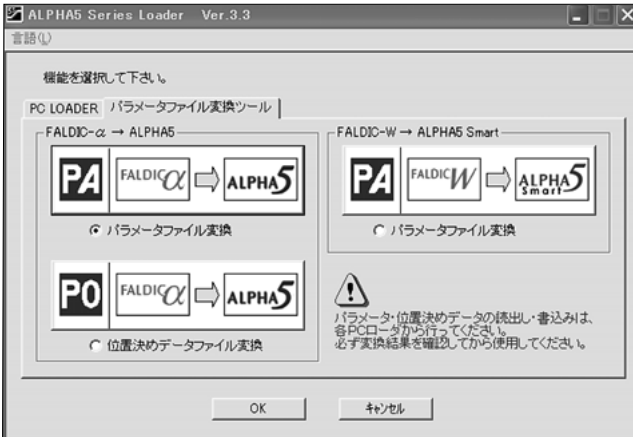


図7 パラメータ変換ツールのPCロード画面

旧型機種を現行機種に置き換える方法として、従来はパラメータデータを読み出し、それを現行機種に移し変えていた。この方法は、人が一つずつパラメータの値を確認し、該当する現行機種のパラメータに値を変換して設定する必要があり、誤記および値の換算ミスが発生が危惧されていた。置換えを行う対象機種が1台だけであればパラメータを順番に確認し置換えを行うことで完了できる。一つのシステムで数十軸を置き換える場合は非常に手間がかかり、ミスが発生する確率も高くなる。そのため慎重な対応が必要となり膨大な時間を要していた。

そこで新たにパラメータ変換ツールを製作した。パラメータ変換ツールのPCロード画面を図7に示す。本ツールを使用すれば、旧型機種から読み出したパラメータをそのまま現行機種のパラメータに変換できるので、変換後のパラメータを現行機種へ転送するだけで作業が完了する。

人を介さないためミスが発生する可能性はほとんどなく、軸数が多い場合でも短時間で確実にパラメータの置換えが可能となった。本機能は、旧型機種との互換性を取るためのものである。

(3) 包装機用パッケージの適用事例

包装機械は、縦型間欠式、縦型連続式および横型連続式の三つに大別できる。それぞれ、ペットボトルの表面シート、粉末の薬および食パンなどを包装するものである。

富士電機は、国内での豊富な実績と制御技術のノウハウ

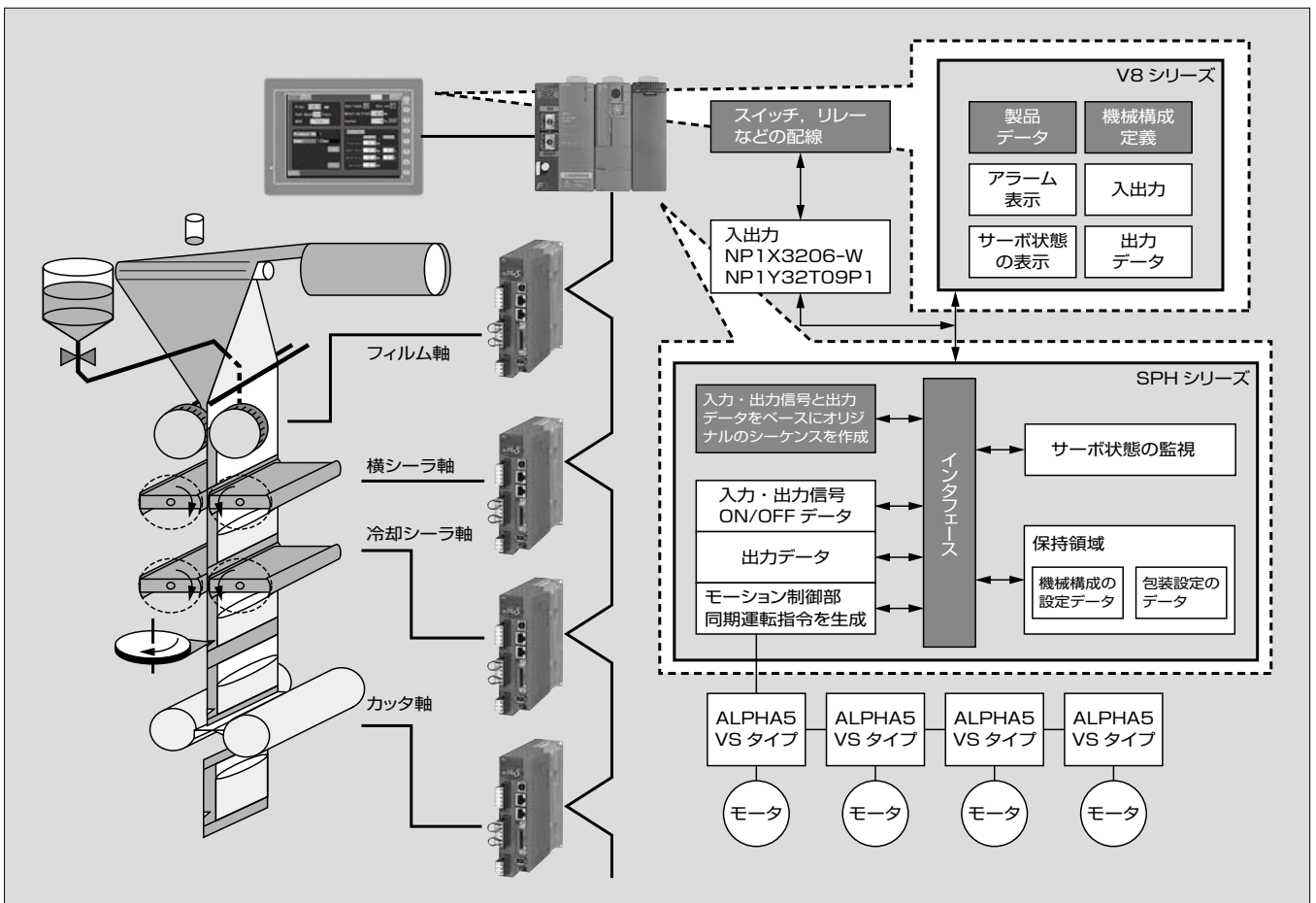


図8 パッケージを使用した縦型包装機への適用事例

がある。これまでの顧客に密着した技術支援に加え、海外の顧客自身が安心かつ容易にシステムの構築ができるように、制御システムのノウハウをパッケージ化して手離れの良いシステムを提供できるようにした。

縦型包装機への適用事例を図8に示す。POD, MICREX-SX および4軸のサーボシステムで構成し、葉などの粉体や調味料などの液体を包装するのに使用する装置である。

従来は、この縦型包装機を制御するためにPODの画面とMICREX-SXのプログラムを製作しなければならなかった。PODでは、製品データ設定・機械構成定義(サーボシステムの軸数分が必要)・入出力設定などの画面を製作する必要があった。また、MICREX-SXでは、入出力データ・モーション制御部・機械構成設定データなどプログラムの製作が必要であり、開発に膨大な時間を要していた。

今回製作したパッケージは、サーボシステムを制御する基本的なモーションコントロール部分をパッケージ化し、そのまま適用できるようにしている。顧客は、残りの包装機固有のプログラム部分を製作するだけでよい。包装機固有のパッケージ化によって、従来開発に要していた時間と比較すると、開発時間が約40%短縮できた(図9)。

さらに、海外の電気制御式包装機に参入しようとする機

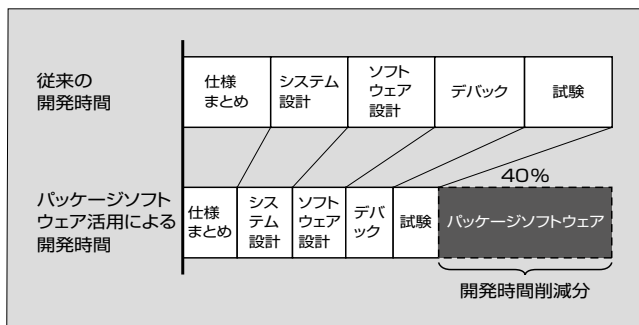


図9 プログラム製作時における開発時間の比較

械メーカーにとって、従来はシステムの構築が参入の障壁であったが、初めて開発する場合でも容易に構築できるというメリットをもたらした。このようなある業種に特化したソフトウェアのパッケージは、富士電機独自の画期的なものである。

5 あとがき

汎用インバータとサーボシステムの最新技術と適用事例を紹介した。

汎用インバータは、効率の高い同期モータと組み合わせ、省エネルギーや使用電力削減となる機能を装備し、用途別にさらに特化していくと考えられる。サーボシステムでは、単なるモータの制御性能の向上ではなく、機械の振動抑制機能や機械自身の立上げ時間の短縮化が実現できるシステム提案が必要となっている。これらのニーズに十分応えられる製品開発を今後とも行っていく所存である。

参考文献

- (1) 酒井利明ほか. 汎用インバータとサーボシステムの最新技術. 富士時報. 2009, vol.82, no.2, p.133-139.



酒井 利明

サーボシステムの開発、企画、エンジニアリングに従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部産業プラント事業部回転機・駆動機器技術部課長。



井本 博幸

汎用インバータの開発、企画、エンジニアリングに従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部パワーサプライ事業部パワーサプライ技術部主査。



*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。