

巻頭論文

FAコントローラ・駆動制御機器の最新技術動向



小山健一*

R & D Activities Related to Factory Automation Controllers and Drive Components

Kenichi Koyama

要 旨

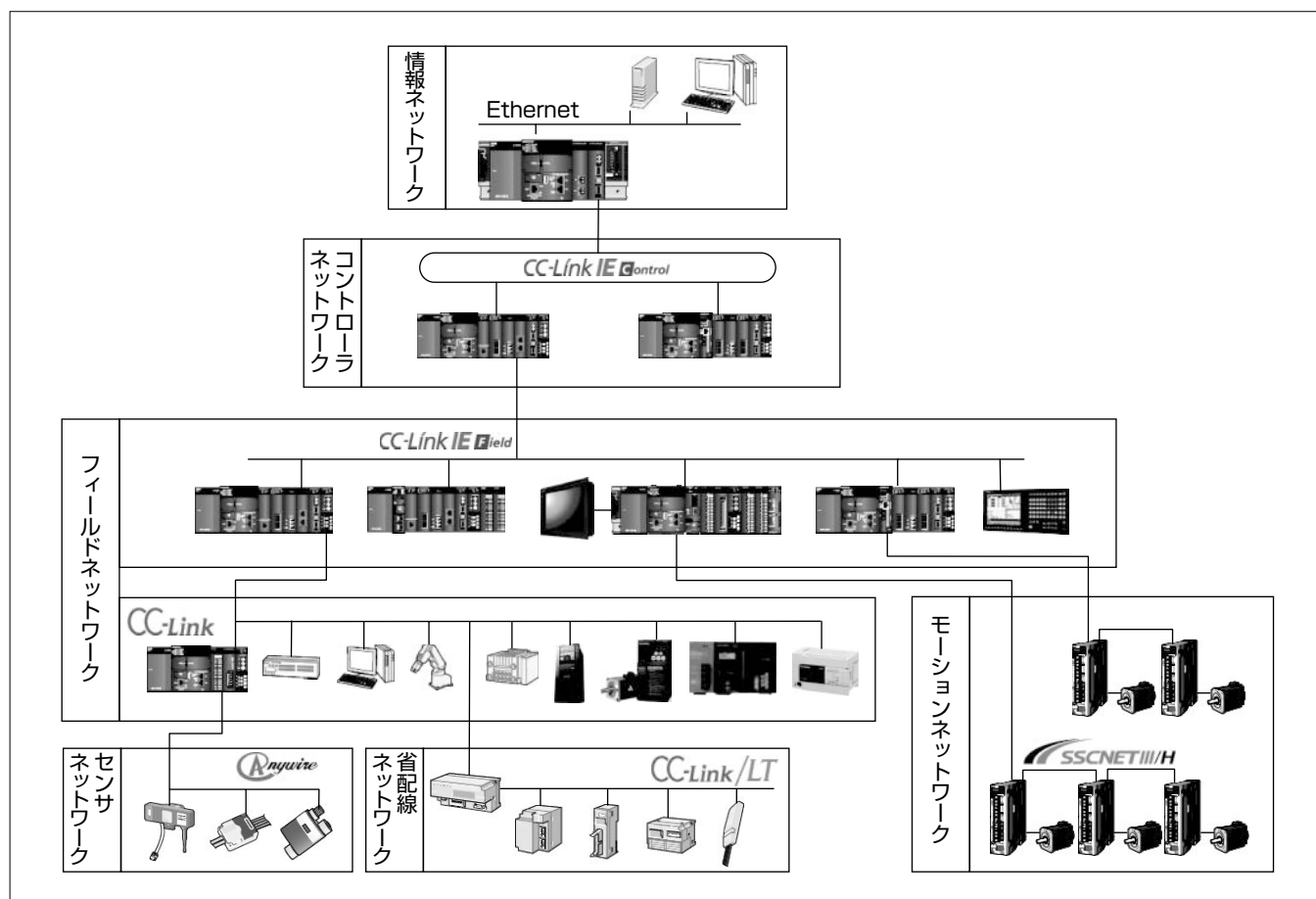
生産及び消費のグローバル化、製品のライフサイクルの短期化が進み、製造業では、更なる競争の激化が予想される。このような状況の中で、製造業の競争力を高めるためには、製造設備や製造装置の生産性向上に加え、それらの開発期間の短縮が求められている。三菱電機のFAコントローラ・駆動制御機器では、市場の変化に柔軟に対応できる生産システムの構築を支えるために、製造設備及び装置の開発における“使いやすさ(easy to use)”“作りやすさ(easy to make)”を追求したFA製品群の開発を行っている。

easy to useの実現に向けては、設定作業の簡単化やプログラミングを容易にする機能の開発を進めている。これらには、センサレスサーボにおける設定作業の簡単化やイ

ンバータへのシーケンス制御機能の内蔵などがある。また、easy to makeの実現に向けては、複雑化・多様化する装置を高速・高精度で制御する機能や立ち上げを容易にする機能の開発を行っている。これらは、FA統合コンセプト“iQ Platform”によるコントローラ間の高精度な同期機能や連携機能、Ethernet^(注1)や“CC-Link”を組み合わせたシームレスなネットワークによって実現している。

本稿では、シーケンサ、モーションコントローラ、C言語コントローラ、汎用インバータ、センサレスサーボ、サーボシステム等のFAコントローラ・駆動制御機器の最新技術動向について述べる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。



“easy to use”と“easy to make”を追求した最新のFAコントローラ・駆動制御機器

当社のFAコントローラと駆動制御機器群は、世界標準のオープンフィールドネットワーク“CC-Linkファミリー”を中心とするネットワーク群によってシームレスな連携が可能であり、市場の変化に柔軟に対応できる生産システムの構築に貢献している。

1. ま え が き

生産及び消費のグローバル化、製品のライフサイクルの短期化が進み、製造業では、更なる競争の激化が予想される。このような状況の中で、製造業の競争力を高めるためには、製造設備や製造装置の生産性向上に加え、それらの開発期間の短縮化が求められている。当社FAコントローラ・駆動制御機器では、市場の変化に柔軟に対応できる生産システムの構築を支えるために、製造設備及び装置の開発における“使いやすさ(easy to use)”“作りやすさ(easy to make)”を追求したFA製品群の開発を行っている。

easy to useの実現に向けては、設定作業の簡単化やプログラミングを容易にする機能の開発を進めている。また、easy to makeの実現に向けては、複雑化・多様化する装置を高速・高精度で制御する機能や立ち上げを容易にする機能の開発を進めている。本稿ではこれらの技術動向について述べる。

2. FAコントローラの最新技術動向

シーケンサ、モーションコントローラに代表されるFAコントローラは、製造装置の高度化・複雑化に対応するために性能・機能の向上が進められている⁽¹⁾。ここではシーケンサ、モーションコントローラなどに関する技術開発動向を述べる。

2.1 FAコントローラのシステム化

2.1.1 FA統合コンセプト

当社シーケンサ“MELSECシリーズ”では、処理速度の向上、プログラム容量・データ容量の増加などの基本性能の向上に加え、制御の種類に合わせてラダー、SFC(Sequential Function Chart)、ST(Structured Text)等のIEC(International Electrotechnical Commission)61131-3に代表される複数の制御プログラム言語に対応してきた。また、モーションコントローラは、制御周期の高速化、同期軸数の増加などで、装置の生産性向上、装置の複雑な制御を実現してきた。さらに、CNC(Computerized Numerical Controller)、ロボットコントローラなども継続的な性能向上、機能向上を図っている。

これらのFAコントローラは、FA統合コンセプト“iQ Platform”上で動作し、連携して装置を制御することができる。iQ Platformでは、システムのI/O点数、軸数等に合わせて、各種のコントローラを組み合わせる柔軟に制御システムを構築することが可能である(図1)。これらのコントローラは、高速システムバスによって接続され、複数種類の制御機能を高精度に同期させている。今後は、より複雑化する装置の開発に対応するために、更なる同期精度の向上を行っていく。

この他にも、“MELSEC-Lシリーズ”“FXシリーズ”では、

ベースレスの構造によってコンパクトなレイアウトが可能である。これらのコントローラ製品群によって、多様な製造設備、装置の開発を支援していく。

2.1.2 汎用プログラミング言語の活用

製造設備及び装置で、複雑な動作を実現するためには、従来用いられてきた制御用の言語だけでなく、C/C++言語のような汎用プログラミング言語の利用も重要となる。C言語コントローラでは、リアルタイムOSを搭載し、C/C++などを用いて装置を制御することができる。これによって、複雑な計算を伴う制御や、多様なデータ形式を扱う通信プログラムなどの開発が容易となる。

今後、制御分野でも従来のリアルタイムOSに加え、組み込み分野で広く使われているLinux^(注2)系OSの活用が増加すると見込まれる。OSにLinuxを用いることで、既存のライブラリの活用や、ソースコードの移植が容易となり、設備開発の短期化が可能となると考えられる。

(注2) Linuxは、Linus Torvalds氏の日本及びその他の国における商標又は登録商標である。

2.2 CPU技術の動向

2.2.1 シーケンサCPU

シーケンサCPUはラダーに代表される論理制御を高速に実行することができる。近年の組み込みCPUの高性能化によって、FAコントローラ分野でも処理性能が格段に向上している。図2はシーケンサCPUの性能の推移と、それを実現する技術についてまとめたものである。半導体

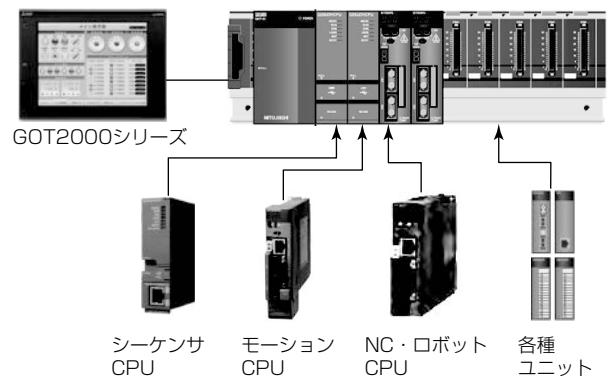


図1. FA統合コンセプト“iQ Platform”

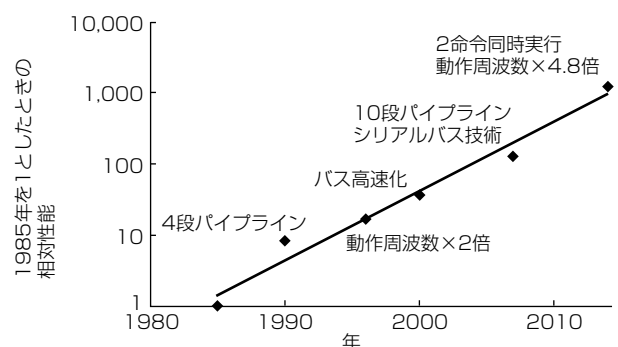


図2. シーケンサCPUの性能

プロセスの微細化に伴う動作周波数の高速化に加え、パイプラインの段数増加、命令の同時実行数の増加等を組み合わせて、総合的に性能向上を進めている。現在では、CPUの処理速度は1基本命令の処理が1980年代の μs (マイクロ秒)オーダーから ns (ナノ秒)レベルのオーダーに向上し、最新のシーケンサCPUでは 1.9ns を実現している。

今後は、スマートフォンなどの分野で急速に性能が向上している汎用の組み込みCPUコアの活用や、単なる周波数向上からマルチコア化への移行等が考えられる。また、現場における情報処理の比率が増えるにつれて、ビット演算を中心とした制御命令以外のデータ処理速度の向上や、データの転送能力の向上が重要となると考えられる。

2.2.2 モーションコントローラCPU

図3はモーションコントローラCPUの性能の推移を示す。モーションコントローラは定周期のリアルタイム処理を基本とし、演算周期の短縮、同期軸数の増加を進めている。モーションコントローラは1990年代に比べ、演算周期が $1/4$ 、同期軸数が6倍に性能向上している。これによって、装置の高速・高精度な制御を実現してきた。今後も継続的に演算周期の短縮と同期軸数の増加を進めていく。

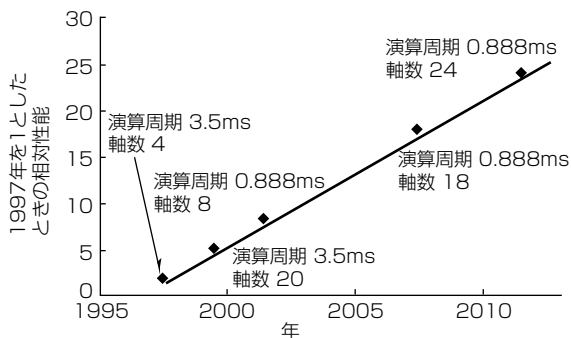


図3. モーションコントローラCPUの性能

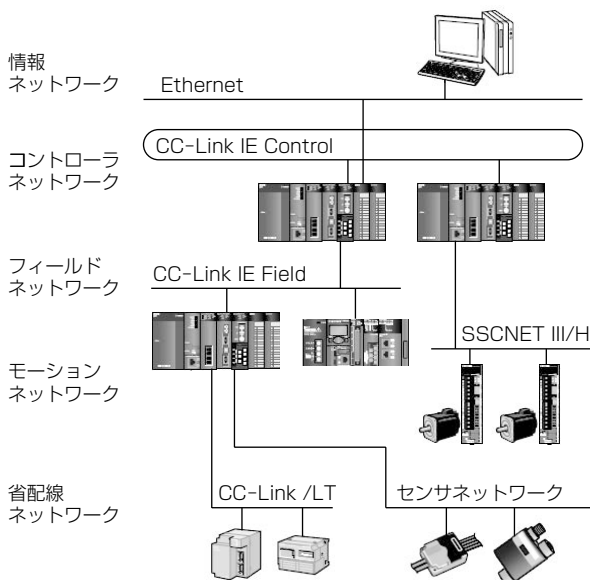


図4. ネットワークシステム

2.3 ネットワーク技術の動向

FAコントローラは製造現場における中核的な存在であり、“見える化”を実現するキーコンポーネントとなっている。このため、ネットワークの接続性が重要となる。当社FAコントローラでは、CC-Link IE フィールドネットワークを用いたリアルタイムネットワークから、FAトータルソリューション“e-F@ctory”によるIT (Information Technology) レベルの接続まで、シームレスなネットワークをサポートしている(図4)。特に制御ネットワークは、リアルタイム性に加え、製造現場の見える化を実現するためのデータ転送能力や、立ち上げ・運用の際の接続性・保守性の更なる向上を進めている。

今後は、各種デバイスの接続性強化や診断機能強化による開発・保守コストの更なる低減と、プロファイル技術などを用いたデバイスの簡単な設定が考えられる⁽²⁾⁽³⁾。また、センサネットワークの活用によって、生産設備をより簡単に構築できるソリューション対応力の強化が重要となる。

3. 駆動制御機器の最新技術動向

当社では、工作機械や搬送機等の産業機械に用いられる駆動制御機器(図5)を製品展開しており、顧客の幅広いニーズに応えるための製品開発を進めている⁽⁴⁾。ここでは汎用インバータ、センサレスサーボ、サーボシステムに関する技術開発動向を述べる。

3.1 汎用インバータの技術動向

汎用インバータは1980年代初頭に実用化されて以来、制御性能の向上と高信頼化に向けた開発が進められてきたが、近年では“easy to use”の視点から設定・操作の簡略化やシステム対応力を強化する機能を備えるようになってきている。ここでは当社の最新機種“FREQROL-A800シリーズ”(以下“A800シリーズ”という。)(図6)を例に、汎用インバータの技術動向について述べる。

3.1.1 モータ駆動性能の向上

汎用インバータでは一般的に回転センサを用いずにモータを駆動するケースが多く、ベクトル制御などのセンサレス制御機能を備えている。A800シリーズでは独自開発の進化したハイスピードドライブプロセッサを用いることで、センサレス制御の高応答性及び高速運転対応を実現してい



図5. 当社の駆動制御機器



図 6. 汎用インバータA800シリーズ

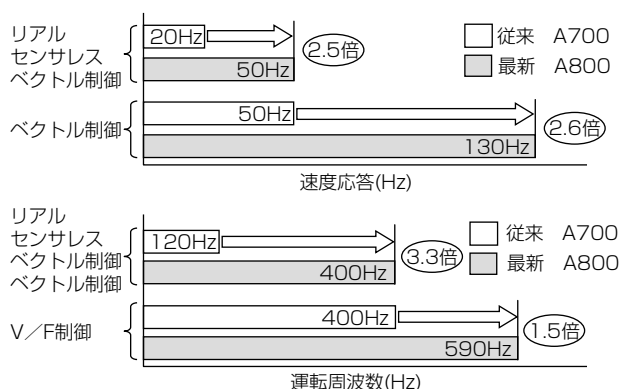


図 7. 汎用インバータの高応答化・高速運転対応

る。代表的な運転条件での従来機種A700と最新機種A800の違いを図7に示す。

また、A800シリーズでは新たに、装置のタクトタイム短縮に役立つ制御機能を搭載している。制振制御は、クレーン走行軸の停止時の搬送物の揺れを抑制し、強め励磁減速は、ブレーキ抵抗器なしで搬送ラインなどの減速時間を短縮できる。

3.1.2 安全・保守性の向上

汎用インバータは駆動性能だけでなく、より安全で安心して使用できるよう進化を続けている。A800シリーズは、IEC61800-5-2の安全機能であるSTO(Safe Torque Off, SIL2)に標準対応している。内蔵オプションを使用することで、SIL3へのレベルアップも可能である。また、ユニット内部に搭載したセンサで温度を監視し、制御盤内の冷却ファン故障や運転条件変更に伴う周囲温度上昇の検知に活用することができる。さらに、万が一のトラブル発生時には、保護機能発生直前の出力周波数などの状態データを内蔵RAM(Random Access Memory)に記憶し、USB(Universal Serial Bus)メモリを介して外部パソコンに伝送することで、迅速な原因解析に活用することができる。

3.1.3 “使いやすさ”の向上

A800シリーズは、“使いやすさ”を向上させる各種新機能を搭載している。例えば、新しく搭載したシーケンス制御機能を用いることで、外部からの入力信号に応じて、起

動／停止や速度変更等インバータ動作のカスタマイズが可能であり、インバータの動作状態を反映した信号の外部出力も可能である。小規模の装置であれば、インバータ単体で制御が可能であり、制御機器の分散配置が実現できる。また、RS-485やCC-Link等多様なネットワークに対応しており、ユーザーニーズに応じたシステム構築が可能となる。さらには、過負荷電流定格が異なる4つの定格(超軽負荷・軽負荷・標準負荷・重負荷)をパラメータで選定可能であり、用途に合わせた最適な容量が選択できる。ユーザーインターフェースに関しては、操作パネルに見やすい5桁×12セグを採用している。パラメータ構成も、従来の3桁から、大分類1桁+小分類1桁+パラメータ番号2桁の分かりやすい4桁構成に変更可能であり、使いやすさを向上させている。

3.1.4 省エネルギー性能・環境適合性の向上

省エネルギーは汎用インバータの重要な性能指標の一つであり、従来主流であった誘導モータより効率の高い永久磁石モータの採用や、制御方式の工夫によって性能向上が図られている。A800シリーズでは、励磁電流を常に最適に調整してモータ効率を向上させる最適励磁制御機能を新たに搭載している。一例では、負荷トルク10%での運転時に、従来のV/F(Voltage/Frequency)制御に比べて15%効率が向上することが確認されている。また、外部からのDC24V給電で動力部以外の制御回路を動作させることができるようになっており、メンテナンスや設定変更時に不要な動力用電源供給を停止させることで、待機電力が削減可能である。

環境適合性に関しては、欧州EMC(Electro Magnetic Compatibility)規格やUL(Underwriters Laboratories)等の国際規格に適合している。また、400Vクラス0.4kWから160kWではIP55対応製品を新たにラインアップ予定であり、機械によって近い場所にインバータを設置可能となる。DCリアクトル内蔵と合わせて、省スペースと省配線が実現可能である。

3.2 センサレスサーボの技術動向

グローバル競争の進化に伴い、駆動制御機器が適用される装置・機械のニーズは多様化してきている。そこで、当社では高精度なサーボシステムと安価な汎用インバータの中間に当たるセンサレスサーボ(図8)を新たに製品化している。センサレスサーボは、専用のドライブユニットと専用のセンサレスPMモータ(永久磁石モータ)を組み合わせたもので、エンコーダなしで高精度な運転を実現し、省エネルギーに貢献できる信頼性の高い駆動システムが構築可能である。

3.2.1 PMセンサレスベクトル制御

ドライブユニット内部の仮想モータモデルに基づいて、モータの電圧と電流からモータの速度／磁極位置を推定す

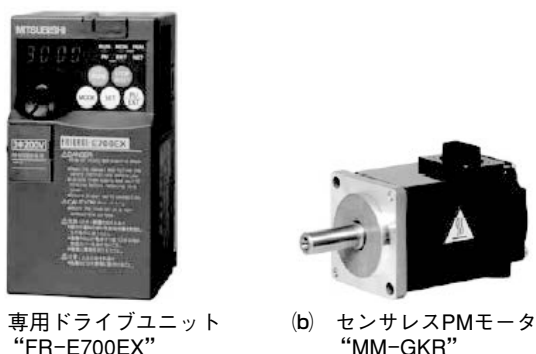


図 8. センサレスサーボ

る適応磁束オブザーバを用いることで、エンコーダを使用せずに高精度な制御を実現している。

- (1) 速度変動率 $\pm 0.05\%$
- (2) 速度制御範囲 1 : 1,000
- (3) 速度応答 100Hz (100Wモータ)

ゼロ速制御・サーボロック機能によって、モータ停止時に保持トルクを発生させ、外力による移動を防止できる。

また、接点信号やネットワーク通信で選択するポイントテーブルを用いて、目標位置・回転速度・加減速時間を指定した位置決め運転(位置決め精度 $\pm 1.8^\circ$)が可能である。

3.2.2 センサレスPMモータ

センサレスPMモータは、エンコーダを持たない小形軽量モータである。汎用インバータでよく用いられる誘導モータに比べて一例では体積が約96%減少(100Wでの比較例)している。また、冷却ファンがないため低騒音で、クリーンルームでの使用も可能である。さらには、永久磁石を用いているため効率が24%向上(200W、定格回転速度、定格トルクでの比較例)している。

サーボモータと比べても体積が約26%減少している。電子部品を使用するエンコーダがないため、故障の心配が少なく信頼性が向上する。

3.3 サーボシステムのパソコン・C言語コントローラ連携

サーボシステムは、パソコンやC言語コントローラとの連携が可能となり(図9)、システム構築の自由度が高まっている。これによって、これまでパソコンやマイコンボードを使用していたユーザーは、プログラム資産を活用しつつ、最新の高精度で高機能なサーボシステムへの移行が可能である。代表的な機能を次に述べる。

設定が容易なポイントテーブル方式の位置決め機能や、自由曲線をユーザープログラムで実現する逐次位置指令方式のインタフェースモードを使用可能である。また、ソフトウェア開発を効率化するための各種API(Application Program Interface)関数ライブラリとテストツールが用意されている。さらに、マスタ軸にスレーブ軸が追従する並列駆動、ある軸の動作内容に基づいて別の軸を起動する他

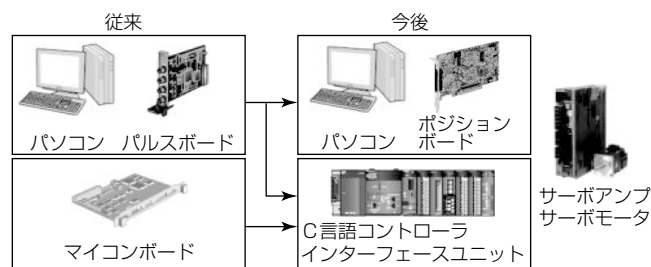


図 9. パソコン・C言語コントローラとサーボシステムの連携

軸起動機能、動作中に目標位置を変更する位置変更機能、他軸との衝突を回避するための干渉チェック機能等多彩な制御機能が使用可能である。

3.3.1 C言語コントローラインタフェースユニット

C言語コントローラとI/Oシリアルインタフェース“PCI Express”で接続されたユニットを介して、ユーザーのC言語プログラムから光サーボネットワーク“SSCNET III/H”に対応したサーボアンプを制御可能である。

3.3.2 パソコン組み込み型PCI対応ポジションボード

パソコンのPCI(Peripheral Component Interconnect)バスに挿入されたボードを介して、パソコン上で動作するユーザープログラムからSSCNET III/Hに対応したサーボアンプを制御可能である。

4. む す び

ものづくりを支えるシーケンサ、モーションコントローラ、C言語コントローラ、フィールドネットワーク、汎用インバータ、センサレスサーボ、サーボシステム等FAコントローラ・駆動制御機器の最新技術動向について述べた。

製造業のグローバル競争が激化する中で、市場の変化に迅速かつ柔軟に対応可能なものづくりの実現に貢献するための、今後も当社はeasy to use/easy to make視点に立脚し、より高性能で使いやすい製品の研究・開発・製造を行っていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 瀬尾和男：FA機器及びFAエンジニアリング環境の技術展望，三菱電機技報，**84**，No.3，157～161 (2010)
- (2) Noguchi, S., et al. : FDT technology for CC-link network, Proceedings of SICE Annual Conference 2011, 1560～1565 (2011)
- (3) Kanamaru, H., et al. : Safety field network technology and its implementation, Proceedings of SICE Annual Conference 2008, 1487～1490 (2008)
- (4) 田中健一，ほか：FA機器・産業用加工機を支えるモーション制御技術，三菱電機技報，**86**，No.4，206～210 (2012)