

機械制御から高度なモーション制御まで実現する統合コントローラ「MICREX-SXシリーズ」

Integrated Controller Realizing Machine Control and Advanced Motion Control, “MICREX-SX Series”

石井 靖 ISHII Yasushi

統合コントローラ「MICREX-SXシリーズ」は、小規模システムから大規模システムまで一貫して国際標準規格 IEC61131-3 に準拠したエンジニアリングが可能である。これによりソフトウェアの部品化が進み、制御システムの開発効率が飛躍的に向上することが期待できる。また、富士電機の駆動製品とネットワークで接続することにより、機械制御から多軸・高速・高精度なモーション制御まで実現できる。主な適用例には、サーボアンプやベクトルインバータと組み合わせたモーション制御と、鉄鋼プロセスラインの制御がある。

The “MICREX-SX” Series of integrated controller line allows engineering consistently conforming to the international standard IEC 61131-3 from small- to large-scale systems. This is expected to accelerate componentization of software and dramatically improve the efficiency of control system development. Various types of control ranging from machine control to multi-axis, high-speed and high-precision motion control can be realized by connecting with Fuji Electric’s drive products via a network. As main examples, motion control in combination with a servo amplifier and vector inverter and steel process line control are described.

1 まえがき

富士電機は、1970年代からFA分野や機械制御分野向けにPLC（Programmable Logic Controller）を開発、販売してきた。本稿では、監視制御をはじめ、印刷機械や包装機械などの一般産業の機械制御を実現し、さらにモーション制御も実現する統合コントローラ「MICREX-SXシリーズ」について述べる。特に、鉄鋼、製紙などの大規模プラント制御分野向けの「SPH3000MM」「SPH3000MG」について述べる。

2 「MICREX-SXシリーズ」の概要

2.1 「MICREX-SXシリーズ」の全体像

図1にMICREX-SXシリーズの全体像を示す。制御用コントローラは、CPUとネットワークの高性能・高機能化、プログラミング支援ツールの進化、ITとの融合などにより劇的に進化を続けている。MICREX-SXシリーズの主な特徴は、高速制御、オープン性（各国安全規格対応、プログラミング言語、各種オープンネットワーク対応）などである。MICREX-SXシリーズは、制御内容、規模、要求性能に対応して、小規模システム向けの低価格品から大規模システム向けの高性能品までラインアップしている。

MICREX-SXシリーズのエンジニアリング環境は、小規模システムから大規模システムまで一貫してグローバルなエンジニアリング環境（IEC61131-3準拠ツールExpert）で統合されており、国際標準プログラミングによるアプリケーションソフトウェアの作成が可能である。

また、旧製品で構築された顧客資産のスムーズな移行（マイグレーション）を補助するため、ハードウェアのリニューアルツールやアプリケーションソフトウェアの変換

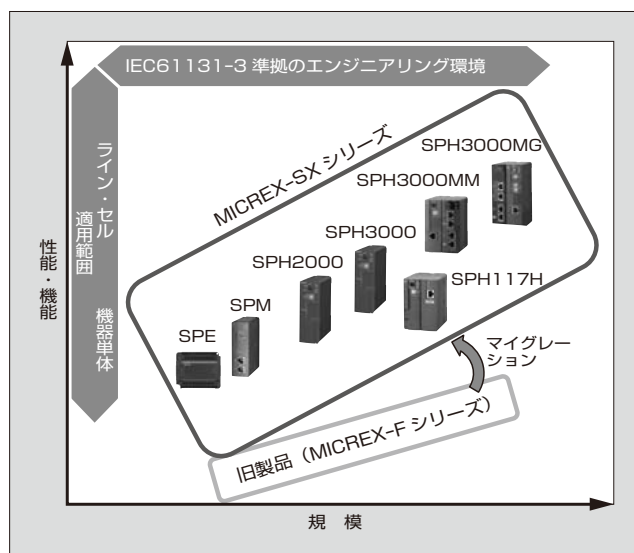


図1 「MICREX-SXシリーズ」の全体像

ツールなども用意している。

2.2 「MICREX-SXシリーズ」の特徴

(1) アプリケーションソフトウェアの開発効率の向上

制御システムを構築するときの大きな課題として、アプリケーションソフトウェアの開発工数の増加が挙げられる。この課題に対してMICREX-SXシリーズでは、国際標準規格 IEC61131-3 準拠のプログラミングツールによるファンクションブロックやブロックエンジニアリングを駆使し、ソフトウェアの階層化および部品化を行うことで、開発効率を向上させている。その結果、ソフトウェアの開発工数が大幅に削減でき、従来のコントローラに比較して半減する場合もある。このようなソフトウェア作成のエンジニアリング環境は、シリーズを通して一貫して利用することが

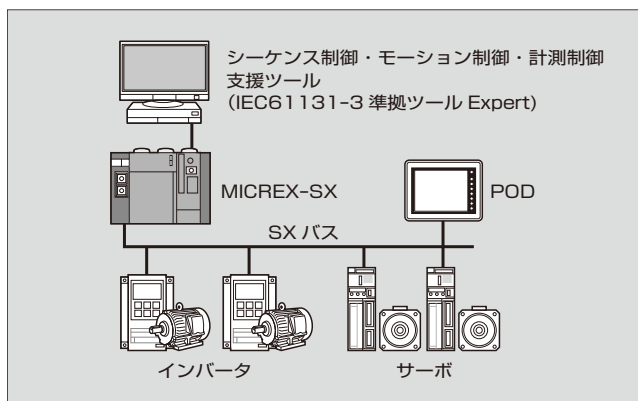


図2 高速バス直結システム

できる。

(2) 高速バス直結システム

図2に高速バス直結システムの例を示す。MICREX-SX シリーズは、サーボアンプやインバータ、HMI (Human Machine Interface) をシンプルにシステムを構成できるので、モーション制御システムや計測制御システムを容易に実現することができる。

一般的なモーション制御システムや計測制御システムでは、専用のCPUモジュールと支援ツールがそれぞれ必要であるが、MICREX-SXではシーケンス制御とモーション制御、および計測制御を、一つのCPUモジュールと一つの支援ツールで実行することができる。これは、CPUモジュールの高速性能のためであり、また、シーケンス制御、モーション制御、計測制御をIEC61131-3プログラミング環境で作成することで実現できる。

(3) Ethernet 接続

近年、増大する監視制御点数に対応するため、Ethernetによる通信を用いるようになってきている。MICREX-SXシリーズではCPUモジュールにEthernetを標準で装備し、加えてFTPなどの標準的なプロトコルも用意している。また、多岐にわたるアプリケーションに対応するため、多様なI/Oモジュールや通信モジュール、ソフトウェア部品をそろえている。さらに、旧製品からのマイグレーションに対応するため、ハードウェアのリニューアルツールやアプリケーションソフトウェアの変換ツールを充実させており、旧製品のユーザに対しても違和感なく使用できる環境を整えている。図3にリニューアルツールの例を示す。このツールを使用することにより、既設設備の配線をそのまま流用しつつ旧製品をMICREX-SXシリーズに置き換えることができ、置き換え作業の工数を大幅に削減することができる。

2.3 「SPH3000MM」の特徴

高精度の制御性能を必要とする機械制御分野には、「E-SXバス」を2系統搭載したSPH3000MMを用いる。E-SXバスは、物理層に100 Mbits/sのEthernet技術を適用

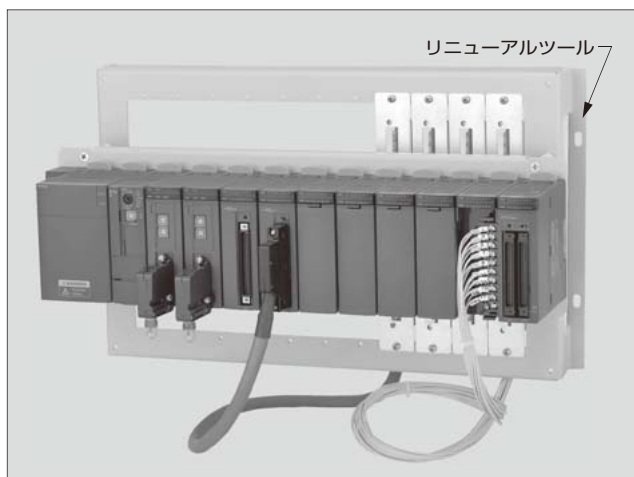


図3 リニューアルツールの例

した富士電機のオリジナルプロトコルネットワークである。SPH3000MMは、MICREX-SXシリーズのこれまでの特徴を継承しつつ次の機能を持ち、高速・高精度なモーション制御と大規模システムを実現する高速・高精度コントローラである。

(1) E-SXバスによる応答性能 25 μs の高速入出力

E-SXバスは、SPH3000MMの主用途であるドライブソリューションに必要な高速・高精度な同期通信機能や、大容量入出力データ転送機能、メッセージ通信機能、ループバック機能を実現した複合型モーション制御バスである。

- (a) 局間100mで総延長1km、接続局数最大238局、入出力サイズ最大4,096ワード（MICREX-SXシリーズの従来機種比8倍）で、小規模から大規模まで多様なシステムに適用が可能である。
- (b) 32台の入出力機器を接続した状態で、±1 μs以下の高精度同期制御が可能である。
- (c) 入出力データ容量は、アプリケーションの実行時間を考慮し、最速の制御周期0.25msの場合で67ワード、1msで512ワードである。最大4,096ワードを3msで更新処理を行うことができ、システム規模が大きくても高速制御を実現することができる。

SPH3000MMは、E-SXバスを2系統搭載しており、各系統のE-SXバスに32台の入出力機器が接続された場合でも、各系統間の出力タイミングを±3 μs以下で同期できる。最速の0.25msの制御周期の場合には、最大8軸（4軸×2系統）までの多軸モーション制御が可能である。

(2) 最速9ns/命令の高速演算機能

演算エンジンは、高圧縮コンパイラ技術との組合せで、最速9ns/命令の実行性能を持ち、さらに制御周期の誤差を±1 μs以下に抑え、従来機種に比べてぶれの小さい制御ができる。

(3) 2個の演算エンジンのアプリケーションプログラム間の同期実行

SPH3000MMのCPUモジュールには2個の演算エンジンによるアーキテクチャを採用した。2系統間の演算エンジンは内部同期バスに接続されており、演算エンジン間は

〈注1〉 Ethernet：富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標

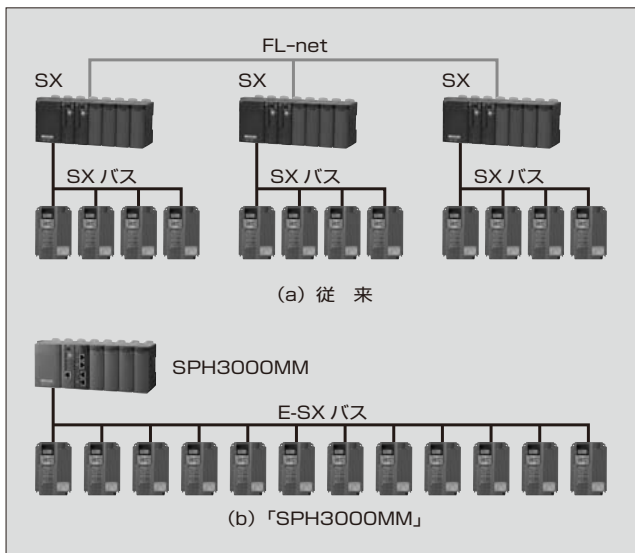


図4 システム構成の比較

$\pm 1 \mu\text{s}$ 以下の精度で実行周期が同期している。これらの特徴により、従来機種では性能上の理由によりシステム構成を分けざるを得なかったシステムが、SPH3000MMでシンプルなシステムとすることができる(図4)。

2.4 「SPH3000MG」の特徴

高速・大容量の制御通信を必要とするプラント制御分野には、「SX-Net」を搭載したSPH3000MGを用いる。SX-Netは、ギガビットEthernetを採用したコモンメモリ型の富士電機オリジナルプロトコルネットワークである(14ページ“高速コントローラ・大容量ネットワークによる駆動制御システムソリューション”参照)。SPH3000MGは、既存のMICREX-SXシリーズの持つ特徴を継承しつつ、次の機能に対応した高性能・大容量コントローラである。

(1) 高速・大容量制御ネットワークSX-Netの搭載

SX-Netは、設定された周期に応じて順次通信処理を行う時間確定型ネットワークとなっている。参加局は自局に与えられた送信タイミングにおいて、自局データを全局向けにブロードキャスト送信を行う。これにより、システム全体がSX-Net上のデータをコモンメモリで共有でき、各局では、アプリケーションネットワークを意識しない制御設計ができる。データの更新周期は、局数やコモンメモリのデータ容量により0.5～30msの範囲で選択可能であり、ブロードキャストで送受信されるコモンメモリのデータは、最大128Kワードのデータ領域が利用可能である。

また、SX-Net上のマスタ局は参加局に対して、送信タイミングを補正するための同期フレームを送信し、他局はマスタ局からの同期フレーム情報とその受信タイミングを基にマスタ局との周期のずれを補正して、各局は正確な同期を実現する。

(2) 高速・高精度モーション制御バスE-SXバスの搭載

2.3節で述べたとおり、E-SXバスの搭載により、入出力フレッシュ性能が512ワード/ms(32局時)という

高速・高精度なモーション制御が可能である。

(3) SX-NetとE-SXバス経由によるコントローラ間のユーザアプリケーションの同期実行による入出力応答高速化

SPH3000MGは、SX-NetとE-SXバスをモジュールの前面に搭載し、既存の基幹バスである「SXバス」を背面に持っている。この一体化したモジュール構造を最大限生かし、SX-NetとE-SXバスおよび演算周期を同期させている。

SX-Netのデータ更新周期は、E-SXバス制御周期の整数倍の設定が可能であり、SX-Netに接続されたSPH3000MGは、マスタ局から通知される同期フレームに基づいてE-SXバスの制御タイマを補正する。これにより、SX-NetとE-SXバス、さらにはアプリケーションの演算周期も同期させることができ、異なるコントローラで制御された複数の機器の出力タイミングを $\pm 80 \mu\text{s}$ の精度で同期できる。また、制御タイミングと制御データをシステム全体で同期して処理しなければならない大規模な高精度アプリケーションを、分散配置されたコントローラで容易に構築できる。

3 適用事例

3.1 「SPH3000MM」によるモーション制御への適用

(1) サーボアンプとの組合せ

高速・高精度な同期モーション制御が要求される用途として、ピロー包装機や精紡機、多色印刷機、フライングシャーカッター、フィルムラインなどがある(図5)。

SPH3000MMによるモーション制御システムでは、1系統当たり4軸で0.25ms、合計8軸の同期システムを構築でき、汎用コントローラとして高速・高精度のモーション制御が実現できる。0.25msの制御周期の中に0.12msのアプリケーションソフトウェアの実行時間を確保しており、同期制御や補間制御などの高精度位置決め制御が可能である。これらの制御をファンクションブロックとして部品化することにより、再利用によってアプリケーションソフトウェアの開発工数削減や品質向上が可能である。

多色印刷機では、従来の主軸による同期制御に代わり、主軸を不要としたセクショナル同期制御を実現している。従来、主軸を仮想した軸に対して、給紙、多色印刷、排紙などの工程を制御する従軸が高精度で同期することで、印刷むらのない高精細なカラー印刷を高速に処理していた。300m/minの印刷速度において0.015mm以下の印刷精度を実現するには、 $3 \mu\text{s}$ 以下の同期精度が必要となる。SPH3000MMでは仮想主軸および給紙・排紙部で1系統、多色印刷部でもう1系統を使用するなど顧客設備の機能ごとに柔軟に分割し、高速・高精度同期アプリケーションソフトウェアを容易に構築できる。

これらの機械に適用する「E-SXバス」対応モーション制御システムの構成例を図6に示す。SPH3000MMと富士電機のサーボアンプ「ALPHA5シリーズ」(E-SXバス

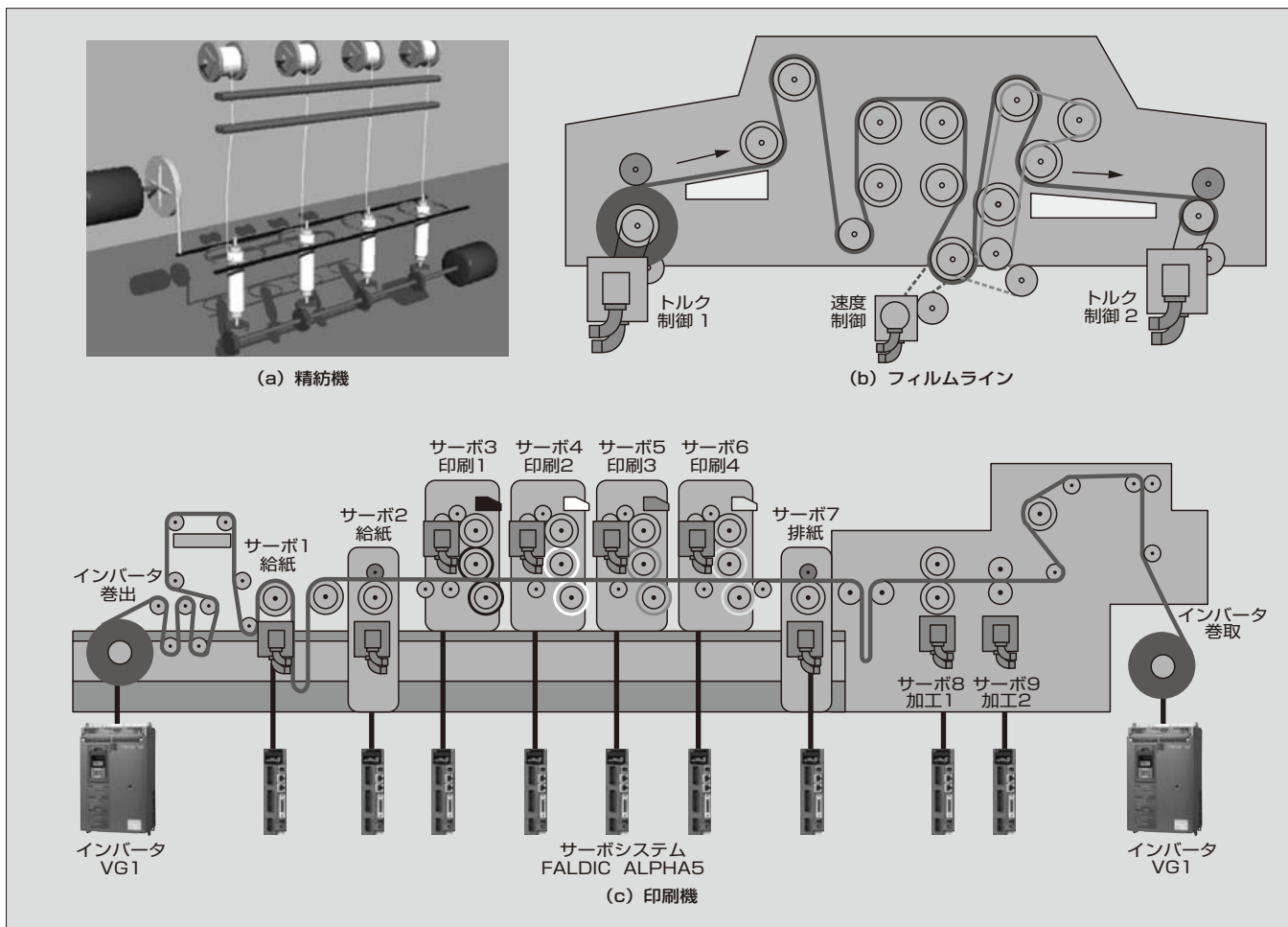


図5 モーション制御の用途例

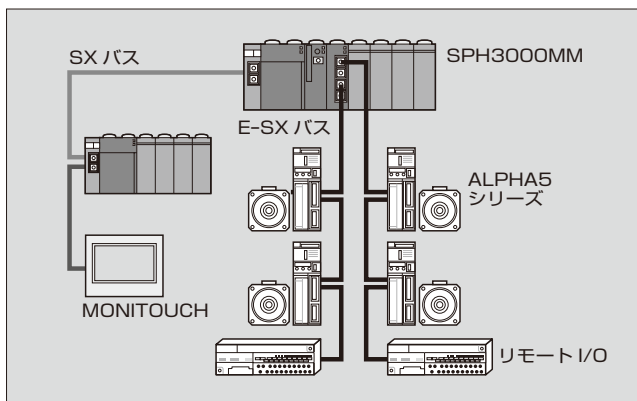


図6 「E-SXバス」対応モーション制御システムの構成例

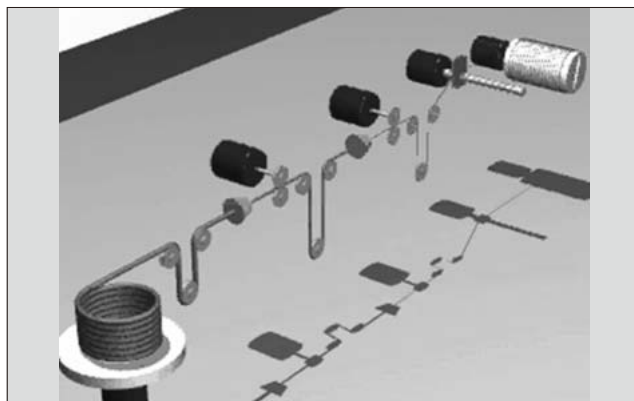


図7 伸線機の例

対応版開発中), POD「MONITOUCH」(HMI)により機械の制御を実現可能である。

(2) ベクトルインバータとの組合せ

ベクトルインバータと制御システムを組み合わせる例として、クレーンシステムやフィルムライン、伸線機、鉄鋼プロセスラインなどがある。図7に伸線機を、図8に鉄鋼

プロセスラインにおけるミル圧下制御システムの例を示す。

いずれも、SPH3000MMでテンション制御や振れ止め制御といった高度かつ高速制御を実現する。クレーンシステムなどでは数10台にも及ぶベクトルインバータで構成されるが、その際、SPH3000MMの持つ高速実行処理とE-SXバスの性能によって、図4(b)に示すように1台のコントローラでシステムの要求を満たすことが可能である。

圧延ロールを通過する材料の状態は刻一刻と変化するため、所定の厚さに制御するには材料・設備の状態をさまざまな検出器によって計測しながら最適に制御する必要があ

〈注2〉ベクトルインバータ：インバータの出力電流をベクトル演算によって負荷に見合った電流とし、モータの高低速トルク、高精度速度制御などを可能にするインバータをいう。

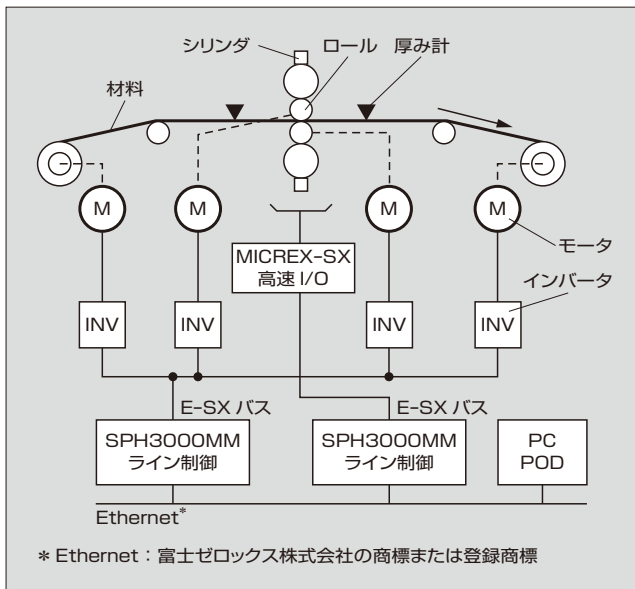


図8 ミル圧下制御システムの例

る。そのためには、検出器からの情報を正確に反映することが重要である。制御装置の要件は次のとおりである。

- (1) 検出器（磁気センサ、アブソリュートエンコーダなど）からの高速かつ確実な入力
- (2) 高速演算・高速周期
- (3) アクチュエータへの指令の高速同期出力

従来は、処理速度を確保するために専用制御装置を用いて制御機能を絞り込んでいた。SPH3000MM システムでは、演算の高速性に加えて E-SX バスによる高速・高精度同期機能と検出器・アクチュエータとの高速入出力により、高速性を保ちながら制御機能の絞り込みの制約の少ない高度な制御を実現している⁽¹⁾。

3.2 「SPH3000MG」による鉄鋼プロセスラインへの適用

適用例として、鉄鋼プロセスラインの制御システムを示す（図9）。数百台の電動機を駆動するドライブ装置、多数の電磁弁、検出器、監視操作機器などで構成する。鋼板を適切な速度・張力で搬送するためには、電動機の高精度な揃速（せんそく）制御、張力制御、負荷バランス制御などが要求され、制御周期は数 10 ms、入出力規模は数万点に達する。このようなシステムに求められる要件は、次の三つである。

- (a) システム規模に応じた拡張性
- (b) 分散配置された機器との高速接続

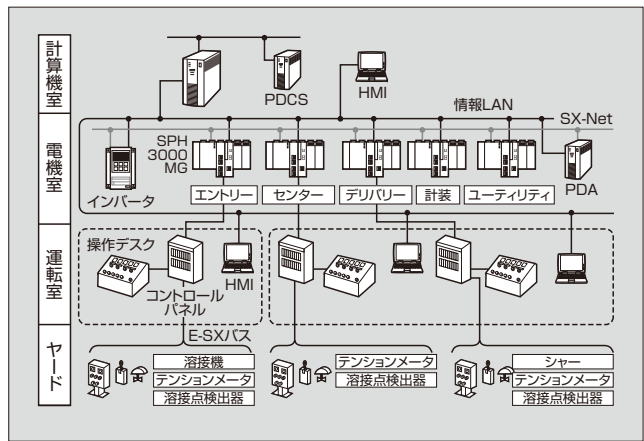


図9 鉄鋼プロセスラインへの適用例

(c) 制御データの高速・大容量収集

SPH3000MG は、MICREX-SX シリーズの従来機種⁽¹⁾の資産を活用することが可能である。既存の多様な入出力モジュールなどを活用することによりフレキシブルなシステムが構築できる。

4 あとがき

「MICREX-SX シリーズ」を適用することにより、機械制御に関するさまざまなアプリケーションを実現できる。特に、「E-SX バス」を搭載した「SPH3000MM」と「SX-Net」を搭載した「SPH3000MG」の適用によって高速・高精度、あるいは大規模なモーション制御システムを構築できるようになった。本稿で述べた内容が、各種プラントシステムや機械設備で要求される高品質な製品製造、ならびに安定操業・効率化に貢献できるものと考えている。

今後も、製造現場の課題解決に向けて、コントローラの適用拡大を図っていく所存である。

参考文献

- (1) 西村英二ほか. 高速・高精度なモーション制御を可能にする「E-SXバス」と「SPH3000MM」. 富士時報. 2011, vol.84, no.4, p.252-255.



石井 靖

PLC の設計開発、事業企画などに従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御事業部産業機器技術部主席。



*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。