

モーションコントローラ「MICREX-SX SPH5000M」

“MICREX-SX SPH5000M” Motion Controller

下川 孝幸 SHIMOKAWA, Takayuki

宮下 裕史 MIYASHITA, Hiroshi

久保隔 創 KUBOSUMI, Hajime

モーションコントローラには、より多くの制御軸で、かつ、より高速な制御周期で同期制御を行えることが求められている。富士電機は、この要求に応えるために「MICREX-SX シリーズ」の新 CPU モジュールとして「SPH5000M」を開発した。マルチコアマイコンにより従来機種に対してアプリケーションの実行性能が3倍向上した。また、シーケンス制御やモーション制御をマルチ CPU に分散して並列・同期実行を行うことにより、アプリケーションプログラム実行周期を高速化した。これにより、従来と同様のシステム構成のままで、機械のさらなる高機能化と高速化を行うことが可能である。

Motion controllers are required to have capability to perform synchronous control with more control axes and shorter cycle. To meet these requirements, Fuji Electric has developed the “SPH5000M” as a CPU module of our “MICREX-SX Series.” Its multi-core microcomputer improves application execution performance threefold that of conventional models. The application program execution cycle has also been sped up by distributing sequence control and motion control to multiple CPUs and executing them synchronously in parallel. As a result, this controller enables machinery to have higher functionality and speed even when the same system configuration is used as previous systems.

1 まえがき

モーションコントローラは、産業用ロボットをはじめとする産業用機械や装置のモーション制御を行うものである。産業用機械や装置には、複雑で高精度な動作や加工への対応および工程時間の短縮の要求がある。モーションコントローラには、より多くの制御軸で、かつ、より高速な制御周期で同期制御を行えることが求められている⁽¹⁾。

富士電機では、これらの要求に応えるため、統合コントローラ「MICREX-SX シリーズ」の新 CPU モジュールとして、「SPH5000M」を開発したので、その内容を述べる。

2 「SPH5000M」の特徴

SPH5000M をモーションコントローラとして使用したとき、モーション制御プログラムは従来機種の「SPH3000MM」と比べて3倍の速度で実行できる。

SPH5000M のモーションコントロールシステムの構成例を図1に示す。

SPH5000M の新プロセッサバスによる高速制御の連携例を図2に示す。SPH5000M の主な特徴を表1に、外観を図3に示す。また、従来機種の「SPH3000」とSPH3000MM とのアプリケーション実行性能の比較を図4に示す。

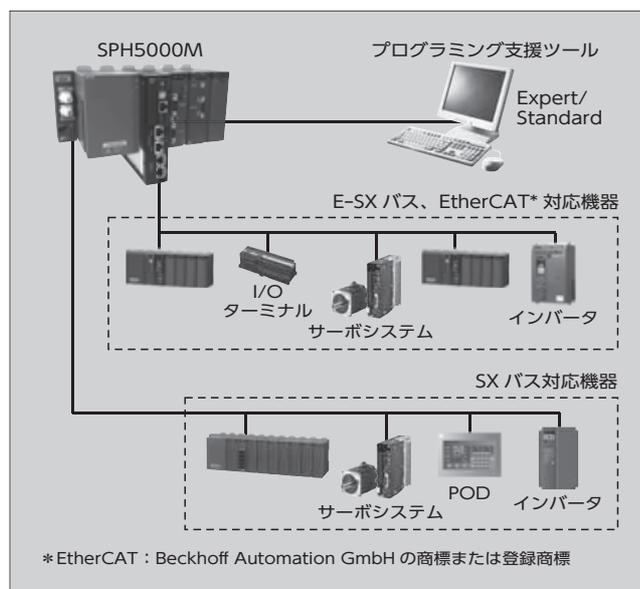


図1 「SPH5000M」を使用したモーションコントロールシステムの構成例

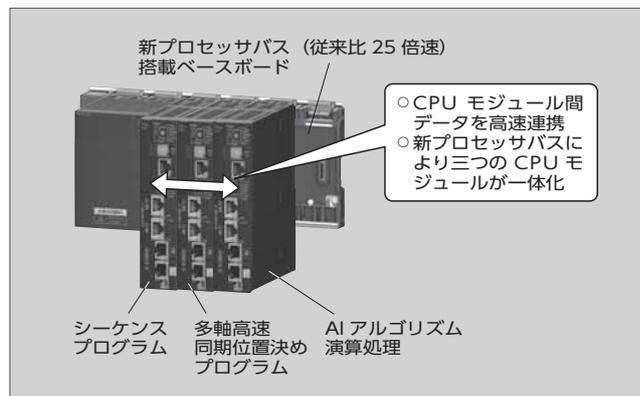


図2 新プロセッサバスによる高速制御連携例

表1 「SPH5000M」の主な特徴

項目	特徴
アプリケーション実行性能	マルチコアマイコンによる従来機種SPH3000MMに対して3倍高速化
大容量メモリ	プログラムメモリ : 512 Kステップ データメモリ : 5,120 Kワード
データバックアップ	バッテリーレスデータバックアップ方式によるバッテリーのメンテナンスフリー
情報ネットワーク	Gigabit Ethernet*1による高速通信
モーションバス	富士電機製E-SXバスまたはEtherCAT*2をサポート
C言語アプリケーション実行機能	PLCアプリケーションプログラムとC言語アプリケーションプログラムの並列実行が可能 【C言語機能の適用例】 ○C言語によるユーザ専用の命令をPLCアプリケーションプログラムから読み出して実行する。 ○PCなどで実行していた情報処理ソフトウェアをPLCに内蔵して実行する。 ○C言語アプリケーションプログラムの読出し機能を持たせていないため、アプリケーションプログラムの不正コピーが防止できる。
マルチCPU間データ伝送	新プロセッサバスにより従来比25倍の伝送速度高速化 SPH5000Mの3台並列実行による高速制御が可能
I/O局間出力同期機能	E-SXバスによるI/O機器の局間出力同期およびE-SXバス系統間同期が可能

*1 Ethernet : 富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標
*2 EtherCAT : Beckhoff Automation GmbHの商標または登録商標

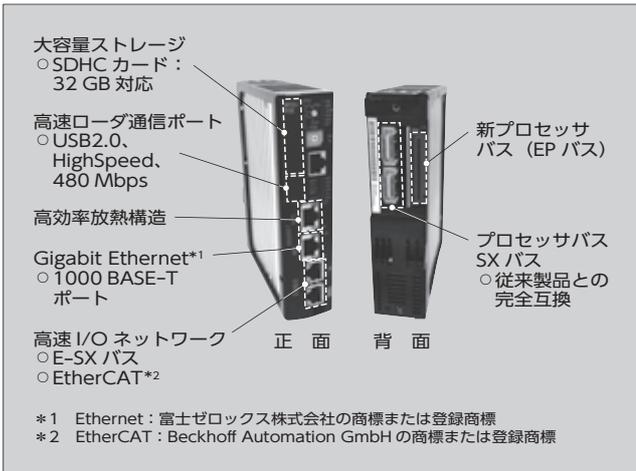


図3 「SPH5000M」の外観

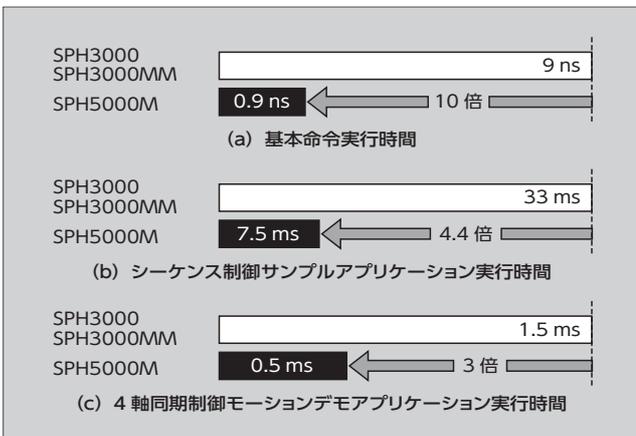


図4 アプリケーション実行性能比較

③ 高速化を支える技術

3.1 プログラムの並列・同期実行技術

SPH5000Mには、マルチコア演算実行エンジンアーキテクチャを採用した(図5)。

このアーキテクチャは、二つの演算実行エンジンをマルチコアマイコン上で並列に動作させ、コア間で共有可能な高速大容量のキャッシュメモリ上にアプリケーションプログラムのデータや各種のユーザデータを配置し、高速な内部バスでメモリを共有可能とするものである。二つの演算実行エンジンには、それぞれ専用のデータメモリ領域と共有して使う共有データメモリ領域がある。これらのメモリはデータ量に応じて、データメモリと共有データメモリの総容量の範囲内でメモリ領域を増減できる。また、アプリケーションプログラムメモリは、合計して512 Kステップの十分なメモリサイズがあり、さまざまなアプリケーションプログラムに対応できるように、二つの演算実行エンジンに割り当てるメモリ量を総容量512 Kステップの範囲内で増減できる。さらに、これらのデータメモリ、アプリケーションプログラムメモリを1 GHzで動作するキャッシュメモリ上に配置しているので、最速0.9 ns/命令でアプリケーションプログラムが実行できる。

従来機種では、キャッシュメモリに配置できないアプリケーションプログラムは実行時間が長くなってしまっていた。本機種では、十分なサイズのキャッシュメモリを確保することによって、アプリケーションプログラムのサイズによるアプリケーション実行性能低下の影響のない仕組みとなっている。

演算実行エンジンの制御周期をSXバスまたはE-SXバスのどちらに同期するかを選択することができるので、既設の制御システムにおいて、SXバスに同期する「SPH2000」、SPH3000、E-SXバスに同期するSPH3000MMなどからSPH5000Mへ容易に置き換えることができる。演算実行エンジン間のデータ交換は内部バスによって同期性を維持するので、一般的には煩雑になる二つのエンジン間でのデータの受渡しが非常に簡単になっている。これにより、分散アプリケーションを作成すると

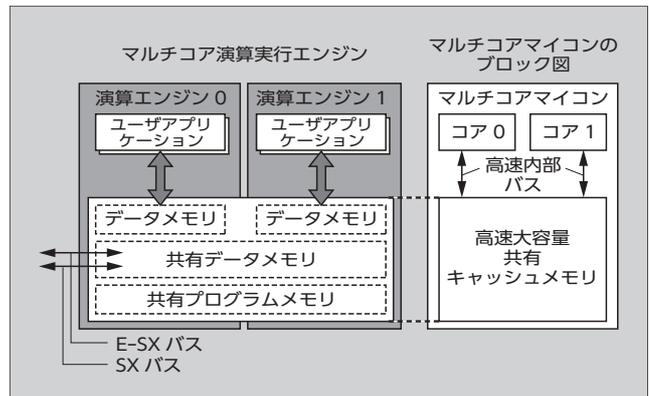


図5 マルチコア演算実行エンジンアーキテクチャ

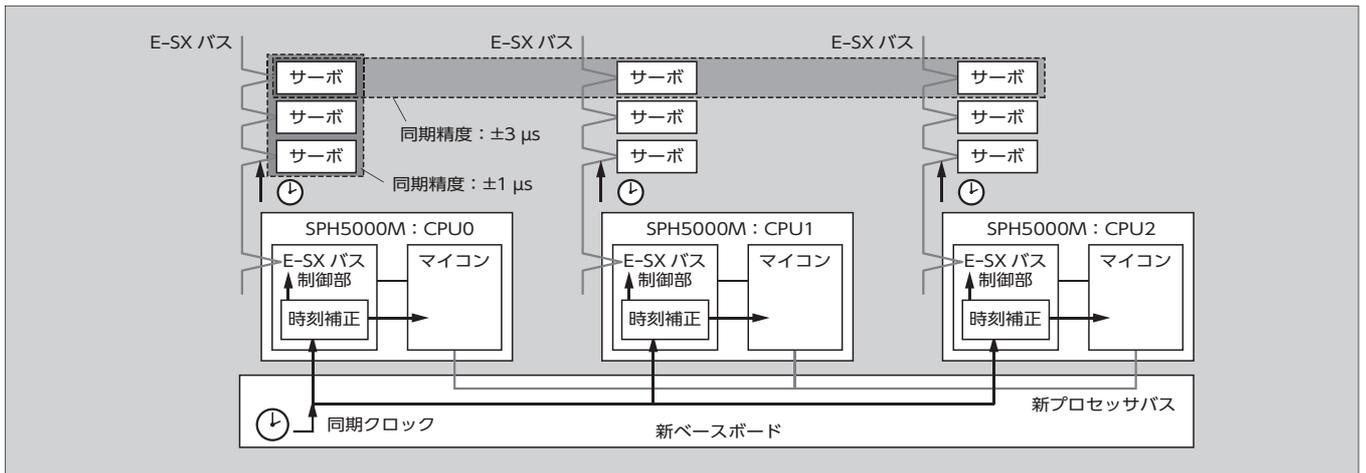


図6 マルチ CPU 間の時刻同期

きに、ユーザーは処理の同期を意識する必要がない。また、一方の演算実行エンジンでシーケンス制御を実行し、もう一方の演算実行エンジンでモーション制御を並列で実行して、処理時間を短縮することも容易に実現できる。また、制御周期の精度は $\pm 1 \mu\text{s}$ 以下（E-SXバスを指定時）であり、揺らぎのない制御を行うことができる。

3.2 マルチ CPU 間の同期実行技術

SPH5000Mは新ベースボードに設置し、最大3台のマルチCPUで構成して制御周期を同期することができる。マルチCPUで構成した各SPH5000MのE-SXバス制御部は、この新ベースボードが内蔵する同期用のクロックに合わせて時刻を補正する（図6）。CPUモジュール内の演算エンジンとE-SXバスは、 $\pm 1 \mu\text{s}$ 以下の精度で実行周期を同期し、かつSPH5000M間で演算実行エンジンとE-SXバスが $\pm 3 \mu\text{s}$ 以下で同期する。これにより、各SPH5000MのE-SXバスに96台（1台当たり32台）の入出力機器を接続しても、システム間の出力タイミングは $\pm 3 \mu\text{s}$ 以下で同期できる。

シーケンス制御やモーション制御をマルチCPUに分散して並列実行することで、アプリケーションプログラム実行時間の高速化が可能である。例えば、制御周期を最小0.25msとしたときは、最大12軸（1バス当たり4軸で3台のSPH5000Mを使用）までの多軸モーション制御が可能である。図7にマルチCPUを用いた処理の分散例を示す。

さらに、3台のCPUモジュールの一部を最短周期の整数倍の周期に設定することで、最短周期で実行するモーション制御アプリケーションプログラムと最短周期の整数倍長の周期で実行する大容量入出力データを扱う機械制御アプリケーションプログラムを、一つのシステム上で同時に実行することも可能である。

新ベースボードに設けた従来比25倍のデータ伝送性能の新プロセッサバスを用いてCPUモジュール間の大容量かつ高速なデータの受渡しが可能なので、ユーザーは処理の同期を意識せずにアプリケーションが作成できる。図8



図7 マルチCPUを用いた処理の分散例

に新プロセッサバスのマルチCPU間データアクセスの仕組みを示す。

このように、制御対象に合わせてマルチコアおよびマルチCPUでの分散処理機能を活用することで、柔軟にシステム構築を行うことができる。

3.3 ハードウェア技術

プログラムの並列実行処理を実現するため、SPH5000Mはマルチコアマイコンを搭載し、かつ共有メモリの動作を従来の130MHzから1,600MHzに高速化した。これに伴う発熱量の増加と搭載部品の高集積による小型化を実現するため、放熱フィン表面を外気に露出させる筐体（きょうたい）構造を採用した（図9）。

この放熱構造により、従来のSPH3000MMに比べて発熱量が6%増加しているにもかかわらず、モジュール体積を15%縮小し、占有スロットサイズを従来の2スロットから1スロットに収めながら、従来と同様に自然空冷方式で最高使用周囲温度55℃を実現した。

次に、従来は電源遮断時の設定値などのデータ保持に

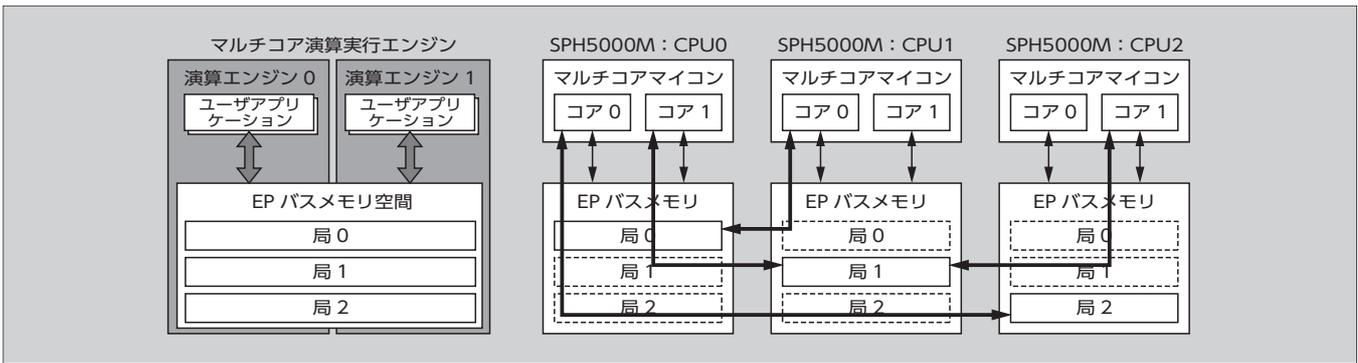


図8 新プロセッサバスのマルチ CPU 間データアクセス

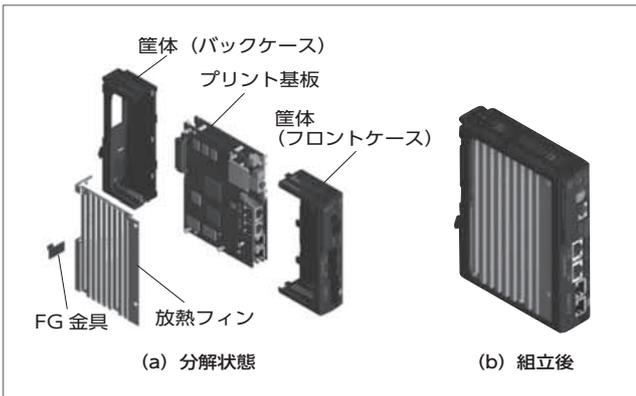


図9 「SPH5000M」のCPUモジュール構造

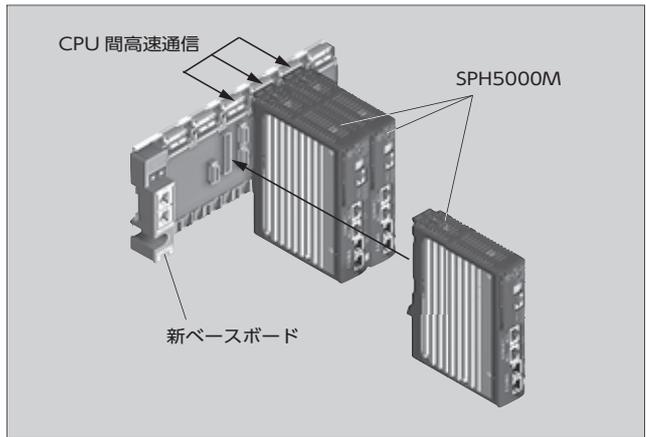


図10 「SPH5000M」のCPU間高速通信構成

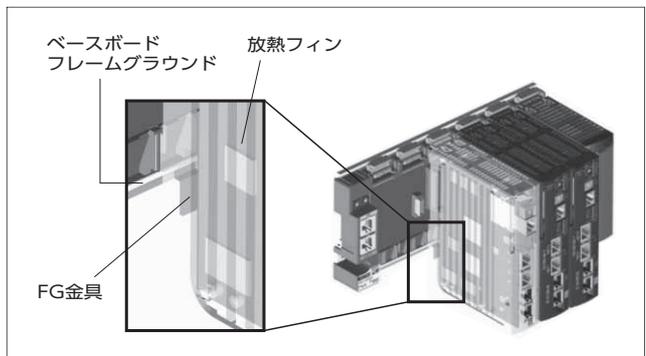


図11 耐ノイズ性能の確保

使用していた SRAM (Static Random Access Memory) のデータのバックアップにはバッテリーが必要であった。このバッテリーの寿命は 5 年であるため、定期的な保守が必要であった。SPH5000M は、不揮発メモリを採用したので、データバックアップ用のバッテリーが不要となった。これによりバッテリー交換の保守作業が不要になり、メンテナンス性が向上した。なお、電源投入時には不揮発メモリに保存したデータを高速な DRAM (Dynamic Random Access Memory) にコピーしてプログラムの実行を高速化した。電源遮断時に DRAM のデータを不揮発メモリにコピーするため、電気二重層コンデンサを搭載している。

新プロセッサバスの伝送速度は、5 Gbits/s である。高周波の電気信号がプリント基板の配線パターンを伝送する場合、インピーダンス不連続点において反射や共振が生じて信号が減衰し信号を正常に伝達できなくなったり、外来ノイズの影響を受けやすくなったりすることがある。このため新プロセッサバスを搭載するベースボードでは新プロセッサバスの伝送信号のインピーダンスマッチングのために、モジュールの接続コネクタをプリント板挿入部品から表面実装部品に変更して内層パターンの配線領域を確保した上で、信号の差動ペア同士の配線パターンの等長化や、異信号間のクリアランスを確保してクロストークの干渉を抑制した。さらに、プリント板単体ではなく、SPH5000M を 3 台、ベースボードに搭載した状態で、コネクタを介して接続される複数のプリント板でのパターンの複合伝送線路解析モデルを作成し、高速信号の信号品質

を検証して最適となるように各プリント基板の配線パターンを設計し、5 Gbit/s の通信を実現した (図 10)。

SPH5000M のプリント板には外来ノイズの影響を受けやすい高速で動作する部品 (マイコン、メモリ、通信 LSI など) を多数搭載している。SPH5000M の放熱フィンに装着した金具がベースボードのフレームグラウンド (FG) に電氣的に接触させる構造とし、これらの部品が外来ノイズの影響を受けて誤動作しないように耐ノイズ性能を確保し、高い信頼性を確保した (図 11)。

4 適用例

SPH5000M の適用事例として印刷機システムについて

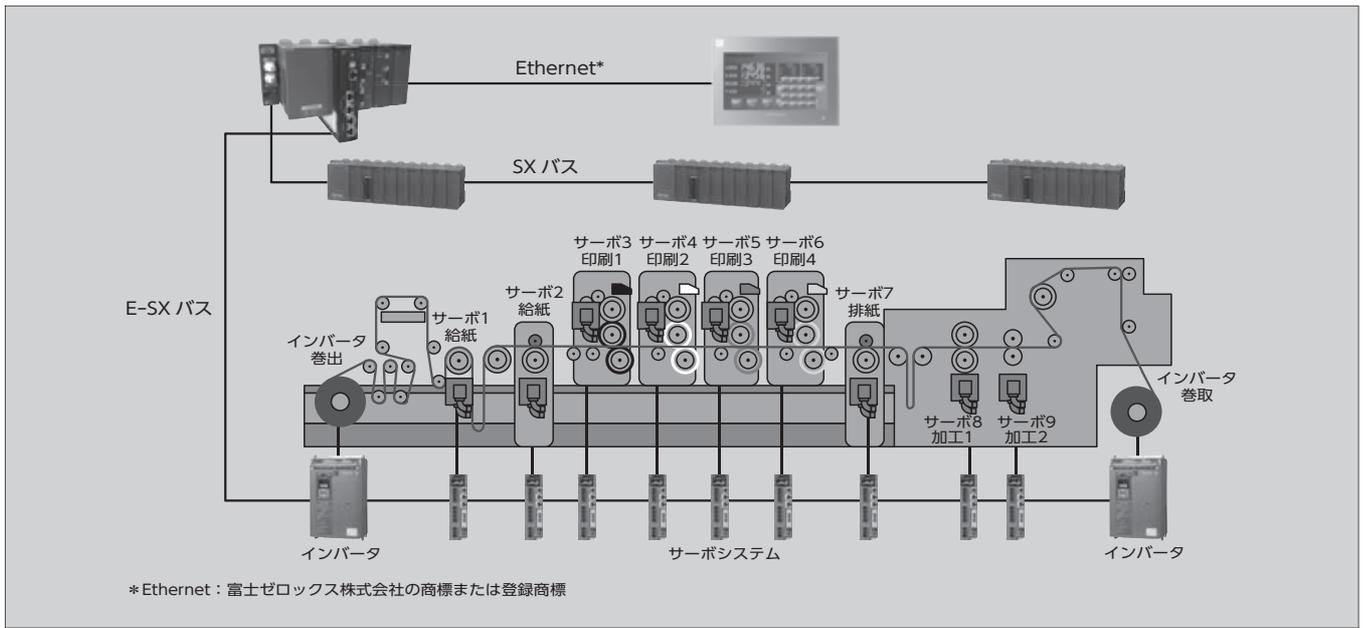


図12 印刷機システムの適用例

述べる。

印刷機システムは、複数のセンサやアクチュエータを使用してシーケンス制御やモーション制御を行っている。特に、生産性や品質を向上するために、高速・高精度のモーション制御が要求されている。

従来のSPH3000MMを使用した印刷機システムでは、内蔵する二つのCPU機能の一方のCPU機能でシーケンス制御を行い、他方のCPU機能でモーション制御を行っていた。SPH5000Mでは、さらにシーケンス制御の機能の高度化と高速・高精度のモーション制御の要求に対応するため、マルチコア演算実行エンジンを活用したシステム構成とした。図12にSPH5000Mを使用した印刷機システムの適用例を示す。

一方の演算実行エンジンでシーケンス制御を行い、もう一方の演算実行エンジンでモーション制御を行うことで、従来と同様のシーケンス制御とモーション制御の一体化を継承しつつ、シーケンス制御の高度化と高速・高精度のモーション制御の要求を満足し、従来と同様のシステム構成のまま高機能化と高速化を行うことが可能である。

5 あとがき

モーションコントローラ「MICREX-SX SPH5000M」について述べた。

「SPH5000M」をモーション制御に適用することで、シーケンス制御と多軸高速同期制御の高性能化による機械のさらなる高速化・高精度化の実現と生産効率の向上を実現できる。さらに、C言語アプリケーションプログラムに

よりAIアルゴリズムを組み込むことで、FAシステムの不具合予兆診断にも適用できる。

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) 福島幸治, 下川孝幸, 「MICREX-SXシリーズ」のモーションコントローラ「SPH3000D」, 富士電機技報, 2016, vol.89, no.4, p.296-298.



下川 孝幸

プログラマブルコントローラの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部コントローラ開発部マネージャー。



宮下 裕史

プログラマブルコントローラの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部コントローラ開発部主任。



久保岡 創

制御システム、プログラマブルコントローラの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部コントローラ開発部主任。



*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。