コントローラのモーションコントロールシステムへの適用

相田　忠勝（あいだ　ただかつ）　　島田　喜秋（しまだ　よしあき）　　田尻　賢二（たじり　けんじ）

1　まえがき

サーボモータによるモーションシステムは工作機械やロボットだけでなく，一般産業機械分野でも広範に使用されてきている。それに伴い，モーション用コントローラには「目標位置への位置決め」動作だけでなく，従来は機械的に行っていた高精度の同期動作やトルクによる圧力制御など多様な機能が要求されている。代表的なモーション用コントローラには数値制御（NC）装置やロボットコントローラ（RC），モーションコントローラ（MC），およびプログラマブルコントローラ（PLC）用の位置決めモジュールなどがあるが，富士電機では統合コントローラ「MICREX-SX シリーズ」（以下，SX と略す）で下記 3 種類の方式を用意している。本稿では各方式によるモーションコントロールシステムについて紹介する。

(1)　ネットワークでの分散方式

位置決め機能を内蔵したサーボアンプをネットワークにより分散設置するので，長距離分散と省配線システムに適している。

(2)　高機能な多軸の MC モジュール方式

大容量のモーションプログラム登録と最大 8 本のモーションプログラムを独立・同時実行することができるので，複数台の機械制御に適している。

(3)　SX で実行するファンクションブロック（FB）方式

SX の CPU モジュールでモーション演算を実行するため，専用の位置決めモジュールが不要である。

豊富なモーションコントロール FB により，位置決め動作と同期動作などの複合動作に適している。

2　サーボシステムの基本構成

サーボシステムの制御ブロックを**図 1** に示す。サーボシステムは，コントローラとサーボアンプ，サーボモータで構成されるが，制御は 3 段の調節器と関数演算部（狭義の意味でのモーション演算部）に分割される。最近のサーボアンプでは，関数演算器からの位置指令完了（パルス列指令では「分配完了」）から目標点でモータが停止するまでの制定時間を短縮する機能や，機械側の共振を抑制する機能，各調節器のパラメータを自動的に調整するオートチューニング機能など，多様な機能が組み込まれているが，基本的な制御は関数演算部と 3 段調節器で構成されている。サーボアンプはどこまでの機能を内蔵するかにより，下記のように分類される。

①　トルク指令のサーボアンプ〔ACR（電流調節器）〕
②　速度指令のサーボアンプ〔ASR（速度調節器）＋ ACR〕
③　パルス列指令のサーボアンプ〔APC（位置調節器）＋ ASR ＋ ACR〕

図 1　サーボの制御ブロック図

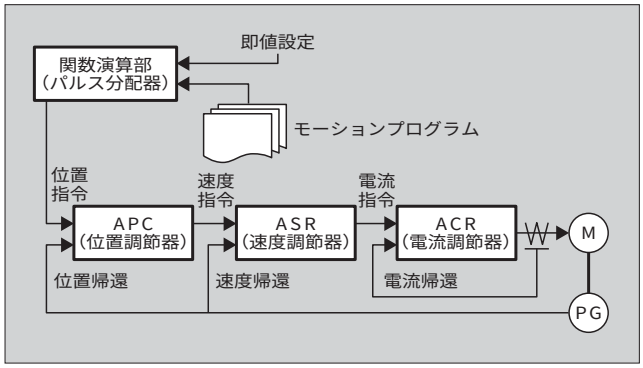


表 1　関数演算実行部と指令値の比較

関数演算実行部	アンプへの指令値	特　徴
サーボアンプ	即値指令 移動量，速度，起動ステップ	○位置決め機能内蔵アンプ ○動作はアンプごとの独立運転
MC モジュール	位置指令 単位時間ごとの目標位置（仮想パルス指令）	○モーションプログラムでの補間動作 ○8軸/モジュールで複数機械制御可
CPU モジュール（FB方式）		○モーション演算をアプリケーションプログラムで実行 ○機械に合わせた制御のカスタマイズ可

相田　忠勝

サーボシステムの汎用・専用位置決め装置の開発に従事。現在，機器・制御カンパニー技術統括部システム技術第一部担当課長。

島田　喜秋

制御機器，可変速駆動機器のシステムエンジニアリング業務に従事。現在，機器・制御カンパニー技術統括部システム技術第一部担当課長。

田尻　賢二

制御機器，可変速駆動機器のシステムエンジニアリング業務に従事。現在，機器・制御カンパニー技術統括部システム技術第一部。

④　位置決め機能内蔵のサーボアンプ（関数演算部＋APC ＋ ASR ＋ ACR）

一方，関数演算部に注目すると，1章で提案している3方式は**表1**のように分類される。

(1)　ネットワークでの分散方式
　関数演算をサーボアンプで実行
(2)　高機能な多軸の MC モジュール方式
　関数演算は MC モジュールで実行
(3)　SX で実行する FB 方式
　関数演算は SX の CPU モジュールで実行

3　ネットワークでの分散方式

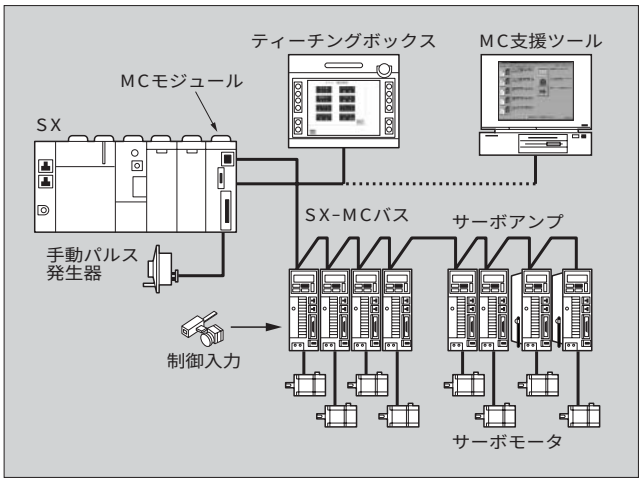
本方式ではモーションコントロール用の関数演算をサーボアンプ側で実行する。上位コントローラからは即値の移動量・移動速度，あるいはサーボアンプ側に登録されているモーションプログラムのステップ No.を指定し，起動する。本方式ではコントローラからサーボアンプへの指令が比較的低速でもかまわないため，富士電機の長距離伝送用 T リンクのほか，オープンネットワークの DeviceNet，汎用通信の RS-485 などにより長距離分散が可能となっている。

本方式の長所は，専用のモーションコントロールモジュールが不要であり，SX を使用した場合に SX のアプリケーションプログラムが簡単な点である。しかし，モーション用の関数演算がサーボアンプに分散されるため，アンプ間での補間動作や同期運転には適していない。

4　高機能な多軸の MC モジュール方式

SX の MC モジュールは 2001 年度に製品化された高機能な多軸制御モーションコントロールのためのモジュールである。MC モジュールを使用したサーボシステム構成例を**図2**に示す。MC モジュールに格納するモーションプログラム作成用としてのパソコン支援ツールソフトウェア，および現場型のティーチングボックスが用意されている。

図2　MC モジュールでのサーボシステム構成例



4.1　MC モジュール

MC モジュールの基本仕様を**表2**に示す。制御軸数は最大 8 軸/モジュールで，アクチュエータとは高速なシリアルバスである SX-MC バスで接続する。SX-MC バスは，SX バスをモーションコントロールに特化させたものであり，接続機器を富士電機製サーボアンプ「FALDIC-**α**（VSS)」（パルス列および速度指令対応，SX バス接続タイプ）に限定している。（FALDIC-**α**は SX バス直結の VSS タイプを共用）。SX の CPU モジュール側からみた占有ワード数は合計 56 ワード（入力 28 ワード，出力 28 ワード）であり，1 系統の SX バスに複数モジュールが実装できる。1 系統の SX バスの入出力点数は最大 512 ワードであり，計算上は 512 ワード÷ 56 ワード＝ 9 モジュールまで接続可能であるが，実際のシステムではランプ表示や近

表2　MCモジュールの基本仕様

	項　目		仕　様
性能仕様	外形・形状		モジュール形（1スロット占有）
	占有ワード数		入力28ワード，出力28ワード，合計56ワード
	制御軸数		8軸/モジュール
	アクチュエータインタフェース		○SX-MCバスでFALDIC-α（VSS）と接続 ○FALDIC-α（VSS）はSXバス直結タイプと共用
	通信ポート		RS-485 1チャネル/モジュール（MC支援ツールとティーチングボックスとの併用）
	外部出力パルス（モジュール間同期）	指令周波数	500kHz（1てい倍での値）
		出力形態	ラインドライバ，90°位相差（A相，B相）
	外部入力パルス（手動パルサ）	入力周波数	500kHz（1てい倍での値）
		入力形態	ラインドライバ，90°位相差（A相，B相）
	モーションプログラム容量		合計12,500ステップ
	プログラム本数		500本（最大2,500ステップ/プログラム）
	プログラム同時実行処理		最大8プログラム（8タスクの同時実行）
	プログラムの制御軸数		最大4軸（X，Y，Z，U軸）
モーションプログラム仕様	動作命令		早送り，直線補間，円弧補間（半径，中心点） 原点復帰，割込み位置決め
	位置管理命令		絶対位置指定・相対位置指定 円弧平面指定（X-Y，Z-X，Y-Z）
	プログラム管理命令		プログラム停止，プログラム終了 プログラム終了ー先頭待機 サブプログラム呼出し，サブプログラム終了
	処理制御命令		無条件分岐 条件分岐 '=', '≠', '<', '>', '≦', '≧' ラベル
	演算式（32ビット長の整数値演算）		'+', '−', '×', '÷'
	設定値		直値設定・関節メモリ参照
	その他		汎用Mコード，ドウェルタイマ

接スイッチなどの実入出力信号が必要なため，MC モジュール用の入出力点数を最大で 512 ワードの 2/3 で約 340 ワード，すなわち 6 モジュール（48 軸）としている。

MC モジュールでは登録されたモーションプログラムによりモジュール内で関数演算を実行する。登録できるモーションプログラムは最大 500 本，1 本のプログラムステップは最大 2,500 ステップ（1 ステップが 1 動作），プログラムステップの合計は最大 12,500 ステップであり，例えば 500 本のプログラムを登録するならば 1 本あたりの平均は 25 ステップとなる。

MC モジュールでは，モーション用の関数演算をモジュール内で実行するため，直線・円弧の補間運転が可能である。モーションプログラムでの軸指定は X，Y，Z，および U 軸の最大 4 軸単位であり，最大 8 本のプログラムを同時実行できる。そのため，1 台のモジュールで 4 軸制御の機械を 2 台，あるいは 3 軸の機械を 2 台と 2 軸の機械を 1 台など，任意の軸組合せで複数台の機械を制御することができる。

表 3 に MC モジュールの入出力領域割当て例を示しているが，56 ワードの入出力領域データはモジュールに登録する入出力パラメータにより選択可能である。8 軸接続した場合には必要最小限のデータ割付となるが，接続軸数が少なければ軸あたりのデータを増やすことができる。工場出荷時の初期値では 4 軸 2 タスク（2 本のモーションプログラムを同時に実行できる）の設定となっている。8 軸 4 タスクの設定では現在値データとして各軸の下位ワード（16 ビット長データ）のみが SX の入力領域に割り付けられているが，SX アプリケーションプログラムで以下の演算により 32 ビット長に変換できる。

［データ拡張演算］

(1)　差分演算：（今回入力値）－（前回値）
(2)　今回入力値を前回値領域に退避
(3)　差分値を INT 型→ DINT 型に符号拡張
(4)　現在値更新：（前回演算値）＋（DINT 型差分値）

MC モジュール方式では，SX のアプリケーションプログラムとモーションコントロールは独立しているため，SX のアプリケーションプログラム側からはプログラム No.を指定して MC モジュールへ起動指令を行うことで

表３　MCモジュールの入出力領域割当て例

I	4軸 2タスク構成（デフォルト設定）	8軸 4タスク構成	Q	4軸 2タスク構成（デフォルト設定）	8軸 4タスク構成
＋0	第1軸ビット情報	第1軸ビット情報	＋0	第1軸ビット指令	第1軸ビット指令
＋1	第2軸ビット情報	第2軸ビット情報	＋1	第2軸ビット指令	第2軸ビット指令
＋2	第3軸ビット情報	第3軸ビット情報	＋2	第3軸ビット指令	第3軸ビット指令
＋3	第4軸ビット情報	第4軸ビット情報	＋3	第4軸ビット指令	第4軸ビット指令
＋4	第1軸指令位置Ｌ	第5軸ビット情報	＋4	第1軸速度/オーバライド比率	第5軸ビット指令
＋5	第1軸指令位置Ｈ	第6軸ビット情報	＋5	第2軸速度/オーバライド比率	第6軸ビット指令
＋6	第2軸指令位置Ｌ	第7軸ビット情報	＋6	第3軸速度/オーバライド比率	第7軸ビット指令
＋7	第2軸指令位置Ｈ	第8軸ビット情報	＋7	第4軸速度/オーバライド比率	第8軸ビット指令
＋8	第3軸指令位置Ｌ	第1軸指令位置Ｌ	＋8	第1軸トルク設定値	第1軸速度/オーバライド比率
＋9	第3軸指令位置Ｈ	第2軸指令位置Ｌ	＋9	第2軸トルク設定値	第2軸速度/オーバライド比率
＋10	第4軸指令位置Ｌ	第3軸指令位置Ｌ	＋10	第3軸トルク設定値	第3軸速度/オーバライド比率
＋11	第4軸指令位置Ｈ	第4軸指令位置Ｌ	＋11	第4軸トルク設定値	第4軸速度/オーバライド比率
＋12	第1軸帰還位置Ｌ	第5軸指令位置Ｌ	＋12	第1軸プリセット値Ｌ	第5軸速度/オーバライド比率
＋13	第1軸帰還位置Ｈ	第6軸指令位置Ｌ	＋13	第1軸プリセット値Ｈ	第6軸速度/オーバライド比率
＋14	第2軸帰還位置Ｌ	第7軸指令位置Ｌ	＋14	第2軸プリセット値Ｌ	第7軸速度/オーバライド比率
＋15	第2軸帰還位置Ｈ	第8軸指令位置Ｌ	＋15	第2軸プリセット値Ｈ	第8軸速度/オーバライド比率
＋16	第3軸帰還位置Ｌ	第3，4　多軸情報	＋16	第3軸プリセット値Ｌ	第3，4多軸指令
＋17	第3軸帰還位置Ｈ	第3，4タスクMコード	＋17	第3軸プリセット値Ｈ	第3，7起動No.
＋18	第4軸帰還位置Ｌ	第3タスク実行ステップ	＋18	第4軸プリセット値Ｌ	第4.8起動No.
＋19	第4軸帰還位置Ｈ	第4タスク実行ステップ	＋19	第4軸プリセット値Ｈ	（未使用）
＋20	第1，2多軸情報	第1，2多軸情報	＋20	第1，2多軸指令	第1，2多軸指令
＋21	第1，2タスクMコード	第1，2タスクMコード	＋21	第1，5起動No.	第1，5起動No.
＋22	第1タスク実行ステップ	第1タスク実行ステップ	＋22	第2.6起動No.	第2.6起動No.
＋23	第2タスク実行ステップ	第2タスク実行ステップ	＋23	（未使用）	（未使用）
＋24	モジュールビット情報	モジュールビット情報	＋24	モジュールビット指令	モジュールビット指令
＋25	読出しアドレス	同左	＋25	書込み・読出しアドレス	同左
＋26	読出しデータ下位	同左	＋26	書込みデータ下位	同左
＋27	読出しデータ上位	同左	＋27	書込みデータ上位	同左

モーション動作を実行する。

4.2　MC モジュール支援ツール

MC モジュール支援ツールはパソコン用のソフトウェアであり，下記の機能がある。

(1)　パラメータの編集
(2)　モーションプログラムの編集
(3)　現在値や信号のモニタ
(4)　試運転操作

MC モジュール支援ツールでのモーションプログラム編集画面は**図 3** のようになっており，表形式でコマンドを選択し必要なデータを入力していく方式である。軸のけたで空白となっているセルは，そのステップ実行時に制御対象とならない。例えば MC モジュールで 2 軸の機械 1 台のみを制御している場合，X 軸と Y 軸の値だけを入力し，Z 軸と U 軸は空白とする。

支援ツールで作成したモーションプログラムは MC 本体に転送するだけでなく，パソコン側でファイルとして登録可能である。パソコンに登録したモーションプログラムファイルは市販の表計算ソフトウェア Excel〈注〉で読み出すことができる。**図 4** は Excel で読み出した画面である。読み出したファイルを Excel 側で編集し，カンマ区切りの CSV（Comma Separated Value）形式で書込みしたファイルを MC 支援ツールで読み込み，MC 本体へ転送することができる。

〈注〉Excel ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図 3　MC 支援ツールのモーションプログラム編集画面

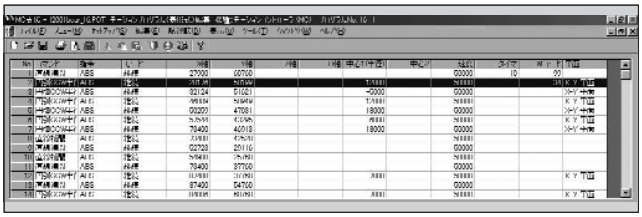
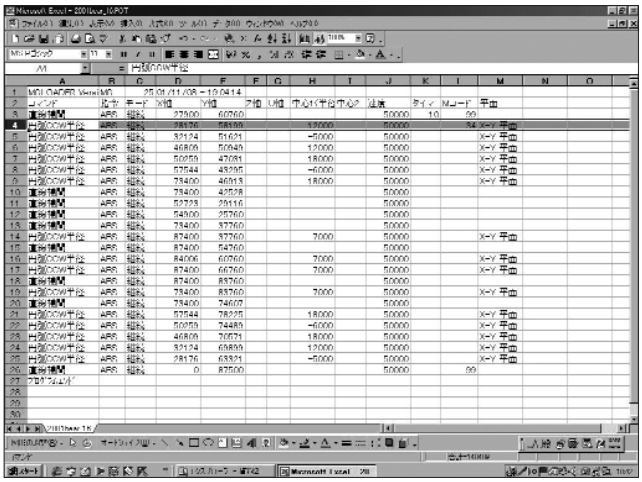


図 4　Excel でのモーションプログラム編集



4.3　ティーチングボックス

ティーチングボックスは MC モジュールと接続して使用する現場型のローダであり，支援ツールと同等の機能を持っており，さらにティーチングボックスでのモーションプログラム編集ではテンキー操作での数値入力のほかに，ジョグ運転による機械操作を行いながら各軸の現在位置を設定値として登録する方法がある。

ティーチングボックスの本体は，プログラマブル操作表示器（POD）UG20 シリーズのハンディタイプを使用しており，ティーチングボックス用の画面データを読み込むことでティーチングボックスとなる。ティーチングボックス用の画面データは，CF（コンパクトフラッシュ）カードで提供される。

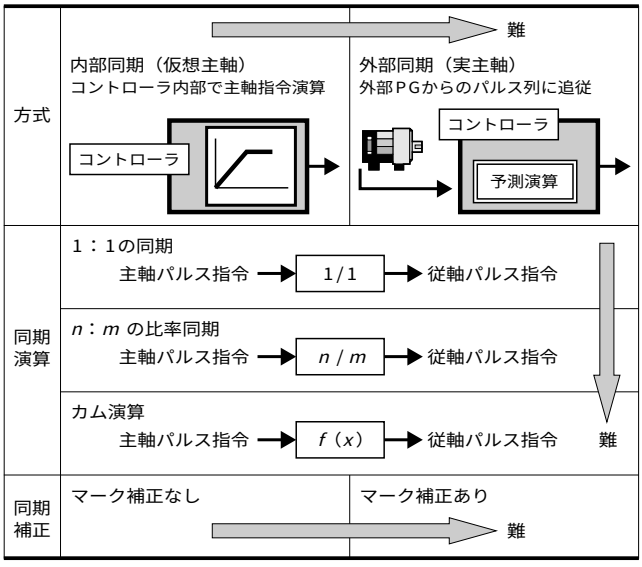
5　SX で実行する FB 方式

FB 方式では，SX の CPU モジュールのアプリケーションプログラムで関数演算を実行する。本方式では，モーション機能組込み時には CPU モジュールのリソースが必要であり，プログラムメモリやデータメモリの占有，およびユーザーアプリケーション実行時間への影響などへの考慮が必要であるが，必要な FB 組合せにより機械に合わせた機能組込みができることが最大の特徴である。特に機械カムなどの組合せにより特殊な同期運転を行う装置の場合，サーボシステム化するには要求される同期運転機能・性能が多様であり本方式の特徴が発揮できる。本章では FB 方式での同期運転対応について説明する。

5.1　同期運転の制御方法

従来から富士電機では同期運転用の走行切断ユニットや電子カムモジュールを製品化しているが，機械に合わせた特殊機能対応の要求も多い。**表 4** に同期運転機能の分類を示しているが，実際の機械制御は各機能の組合せとなる。

表 4　同期運転機能の分類



(1)　主軸方式

同期運転での主軸は，コントローラ内部に持つ仮想主軸と，外部に設置される PG（パルスジェネレータ）を主軸とする場合に大別される。仮想主軸で制御する場合，位置指令（仮想パルス）に対する主軸と従軸の遅れ量が一致しているならば同期がとれる。例えば APC（位置調節器）に偏差パルスがたまっていても，両方の軸の位置調節器ゲインを一致させて偏差パルス量を整合させれば同期がとれる。一方，外部同期では主軸側の実位置に対しての追従同期であり，主軸位置検出→関数演算→従軸への指令となるが，この間の演算時間による遅延（入出力応答時間）を補償する必要があり，制御が難しくなる。

(2)　同期演算

同期演算方法には，最も基本的な 1：1 の同期，n：m の同期，および主軸 1 サイクルごとに従軸が設定された動作を行うサイクル同期（電子カム演算など）がある。**図 5** にサイクル同期の考え方を示しているが，同期演算 f（x）n の部分がカム演算やダイナミックの演算処理となる。

(3)　同期補正

例えば走行切断装置の場合，切断材料を一定の長さに切断（定長切断）するだけでなく，材料に印刷されたマークを検出して切断長を補正（定位置切断）するものもある。

あるいは 1 枚ずつ送られてくる材料の先端を検出して同期加工する場合もある。マーク補正ありではマーク検出により主軸の同期点を補正するため，マーク補正なしの場合より処理が複雑となる。

図 6 は外部同期でマーク補正ありのシステム構成例である。主軸 PG のパルスは FALDIC-**α**（VSS）のうちの任意の 1 軸へ接続する。同時に高速カウンタ（NP1F-HC2）へも接続している。マーク検出センサは高速カウンタへ接続している。FALDIC-**α**は 1 チャネルの 16 ビットリングカウンタを内蔵しており，SX の FB ではカウンタ値を読み込み主軸現在位置を演算する。また，高速カウンタではマークセンサ立上り時のカウンタ値をラッチするため，SX のタクト周期に影響されずにマーク検出時の主軸位置を正確に検出できる。

一般の同期運転コントローラではできるだけ多様な機械に対応できるよう，多くの機能を組み込んでおいてパラメータなどで機能を選択するため，コントローラが比較的高価で使用方法も複雑になってしまう。一方，FB 方式では必要な機能の FB をアプリケーションとして組み込めばよいため専用ハードウェアが不要であり，かつ富士電機で提供する FB だけでなく，同期演算の FB をユーザー側で作成が可能であり，同期運転と位置決め機能を組み合わせるなど機能の組合せが柔軟に行える点に特徴がある。

5.2　電子カム

図 7 は電子カム機能を FB 方式に組み込んだ例である。電子カムはカムパターンデータを参照しながらモーションコントロールの関数演算を行うシステムであり，下記の特徴がある。

(1)　360 個/パターンのカムパターンが 8 個
(2)　主軸分解能は 1 °，0.5 °，0.25 °，0.125 °から選択
(3)　動作中のカムパターンの切換が可能（サイクルごと）
(4)　動作中の主軸 1 サイクルパルス数の更新が可能

FB はカムパターン演算部とカム運転用の関数演算部に大別され，関数演算部には主軸位置の演算 FB 群（外部同期用の予測演算 FB を含む）とカム軸位置演算 FB 群がある。**図 9** の構成では，カムパターン編集を POD で行い，カムパターン演算 FB で関数演算部が参照するカムパター

図 5　サイクル同期の考え方

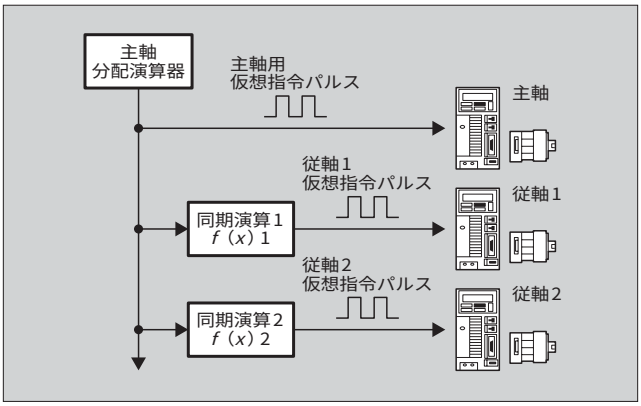


図 6　同期運転システム例

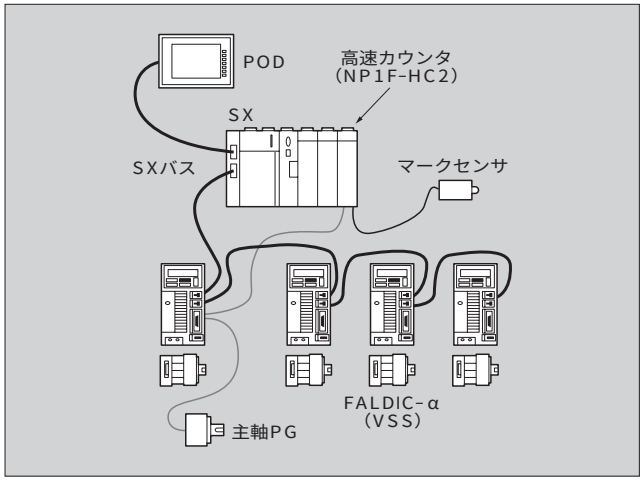


図 7　電子カム制御ブロック

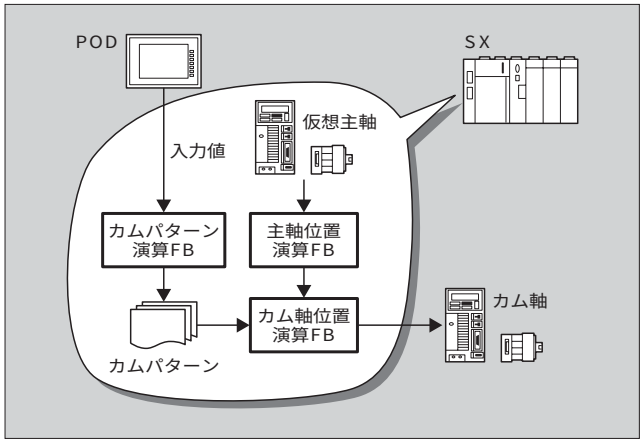


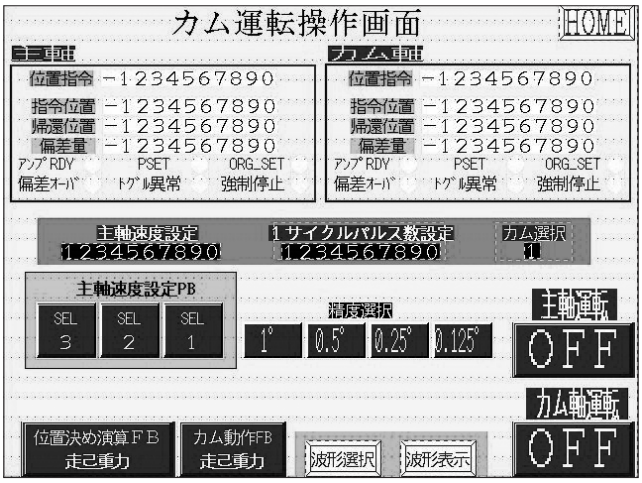
図８　POD でのカムパターン編集画面

図９　カムパターン演算条件設定画面

ンを作成している。カムパターンは SX のデータメモリ領域に割り当てられており，パソコンから SX へ直接書き込むことも可能である。パソコンからカムパターンを書き込む場合，カムパターン編集 FB を使わなければ SX のアプリケーションプログラム領域とデータメモリを節約することができる。また，ユーザー側で有しているカム形状の演算プロトコルを SX のアプリケーションプログラムに組み込んでパターン演算を独自のものとすることも可能である。

図８は POD でのカムパターン編集画面である。設定値は主軸角度のカム軸位置，あるいは主軸が１°変化する間のカム軸位置増分量を設定する。選択キー操作で有効とした設定値のみが有効となり，未登録領域のデータはカムパターン演算 FB で近似演算を行って 360 個/パターンのカム軸位置データに展開する。**図９**はカムパターン演算条件設定画面であり，増分値設定の場合は近似演算方法を直線，S 字，sin 近似から選択できる。また，増分値の近似によ

図10　カム運転操作画面



るカム位置演算では演算誤差が生じるため，主軸角度チェックポイントでのカム軸位置登録が最大５点と，主軸 360 °でのカム軸位置を設定できる。カムパターン演算で計算されたカム軸位置のデータは選択されたバッファに書き込まれる。

図10は仮想主軸による内部同期のカム運転操作画面であり，主軸の精度選択，１サイクルの主軸パルス数，およびカムパターンを選択して起動操作を行う。主軸速度については３個のプッシュボタンで８段に切り換えられるようになっている。

⑥　あとがき

富士電機で提案している３種類のモーションコントロール方式について紹介した。ネットワーク方式では対応するネットワークの拡充をさらに進め，また MC モジュール方式では高精度化と高機能化とともに，さらなる使いやすさを追求していく所存である。一方，FB 方式では SX の支援ツールで FB を開発できるのでユーザーの加工ノウハウを反映したモーションコントロールを行うことも可能である。モーション演算 FB については，現在までに同期運転用 FB や位置決め用 FB などを整備してきているが，今後さらに充実させていく所存である。

これら３種類の方式は個別に適用するだけでなく組み合わせてのシステム構築もできる。実機への適用に際し本稿が参考になれば幸いである。

参考文献

(1)　相田忠勝ほか．統合コントローラ「MICREX-SX」のモーションコントローラへの適用．富士時報．vol.73，no.2，2000，p.108-113.

＊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。