

プロセス制御への応用*

黒 岩 重 雄**

1. はじめに

近年プロセス制御システムの対象である各種プラントは、大型化と多様化の傾向から、その省力化と安全性の確保のために制御システムに対して、管理と制御の全面にわたり、より調和のとれたトータルシステムを要求するようになってきた。従来もこの傾向に対して、アナログ計装、シーケンス制御、計算機制御を組み合わせたシステムが用いられてきた。特にプロセス制御用計算機の発展・普及は著しく、SCC (Supervisory Computer Control), DDC (Direct Digital Control) と制御の全面にわたり、また管理の面への適用から、ハイアラキシステムの構成へとその適用の範囲を広げている。

一方、マイクロコンピュータの出現以来、そのプロセスの計測制御分野への使用は増大しており、計測機器などへ組み込みまたはスタンドアロンの使用と、前述のトータルシステムに対する分散化制御システムとしてのマイクロコンピュータの適用がある。

本文では、これらマイクロコンピュータのプロセス制御への応用について、その構成方法、考え方、応用例について述べる。

2. マイクロコンピュータの適用の方法

2.1 マイクロコンピュータの応用分野

マイクロコンピュータのプロセスの計測制御への応用を分類すると、

- (1) 計測機器への応用
- (2) 制御機器への応用
- (3) 総合システムへの応用

に分けられる³⁾⁻⁵⁾。

- (1)としては、データ集録装置、クロマトグラフ、

* Application for Process Control System by Shigeo KURO-IWA (Fuji Electric Co., Ltd.)

** 富士電機製造(株)計測技術部

*** マイクロコンピュータを使用した制御機器・装置の意味に用いている。

放射線厚み計、各種測定器類などへの応用がある^{1),2)}。

(2)としては、シーケンス制御、数値制御、コンベアライン制御、原料配合制御、空調制御、パッチプロセスの制御、遠方監視制御など多岐にわたっている⁶⁾⁻¹⁰⁾。さらに各種端末機器への適用がある。これらの主な目的は、高密度部品使用による信頼性向上、ストアードロジックによる機能強化・改善、開発・製品化期間の短縮、コストダウンなどである。

(3)は、マイクロコンピュータを用いた分散化システムによる総合制御システムの実現であり、各種のシステムが発表されている^{6),7),12)-16)}。その目的は、機能向上と集中化に対する危険分散、さらにこれらを実現するための伝送技術、マンマシンインターフェースの強化、計装・計算機システムとの協調などである。

以下主に(3)に対するマイクロコンピュータの適用について述べる。この目的のマイクロコンピュータをマイクロコントローラ*** と呼ぶ。

2.2 マイクロコントローラの適用形態

マイクロコントローラの適用形態として、下記が可能である。

- (1) 従来システムの置換として

各マイクロコントローラの機能により、従来の計測制御装置または電子制御装置の機能の置換ないしは機能向上を目的として設置する。

- (2) 従来システムと共存して

従来のシステムの部分的置換ないしは従来機能が十分果たせなかった部分に対してマイクロコントローラの特長を生かして設置し、従来の計測制御装置および電子制御装置、さらに、プロセス計算機制御装置と共存、融合して用いられる。

2.3 マイクロコントローラの設置方法

マイクロコントローラの設置方法には、下記がある。

- (1) 単独設置

各マイクロコントローラの機能に応じて単独設置

(スタンドアロン)として使用する。

(2) 分散化制御システム

複数のマイクロコントローラを、各機能に応じて、分散して設置し、有機的に構成することによって、危険分散と機能アップをはかった分散化制御システムが構成できる。

(3) ハイアラーキシステム

プロセス計算機システムを上位(センタ)にもち、それとマイクロコントローラを結合することによるハイアラーキ制御システムの構成ができる。

以下、やや大規模な、(2)と(3)の組み合わせられた制御システムの構成方法を例にして、マイクロコントローラを用いたプロセス制御システムの適用方法について述べる。

3. システム構成方法と構成機器

3.1 構成の基本的考え方

制御対象プラントは、数組みのある程度独立したユニットプロセスまたは装置群から構成されていると仮定する(全体が、一つの装置群として扱った方がよいプラントでもよい。以後各装置群を系と呼ぶ)。

危険分散の考え(一つの制御装置が故障しても、他に波及しない)から、各ユニットプロセスまたは装置ごとに、機能別にマイクロコントローラを設置することを原則とする(分散化制御)。

機能別設置とは、各マイクロコントローラの機能として自己完結性の高い分割設置の仕方を意味し、システムデザインのキーになるものである。各マイクロコントローラはこれらに対処できるよう DDC (Direct Digital Control) 用マイクロコントローラも、小規模のシーケンス制御機能が組み込めるようになっており、またシーケンス制御用マイクロコントローラも、データ処理機能が組み込めるようになっていなければならない。

マンマシンインターフェイスとして、各系に対して、一組の CRT ディスプレイ(キーボード付)を、オペレータの設定・操作および監視、オペレータガイド用に設ける。オペレータはこの CRT コンソールにより、直接(センタのプロセス計算機を経由せず)各マイクロコントローラに対する指令およびデータの監視ができる。

全プラントに対して、センタにプロセス計算機(センタプロコンと呼ぶ)が設置され、プラント全体を考えて各系に対する監視・指令機能(データロギング、

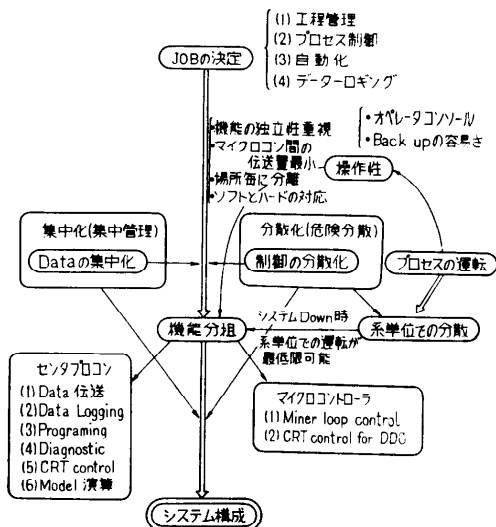


図-1 システム構成の基本的考え方

工程管理を含む)、および、さらに上位の管理レベルの計算機との結合を行うものとする。

すなわち、ローカルのマイクロコントローラとセンタプロコンとのハイアラーキシステムとなっている。

ローカルのマイクロコントローラは、通常のアナログ調節計、リレー、デジタル素子による制御装置、シーケンサなどの機能を、対象ユニットプロセスごとに部分的または全部おきかえ、さらにデータ処理能力、センタプロコンとのリンクなどの機能をアップしたものである。各コントローラは、統一されたハードウェアから構成でき、ストアードロジックにより、種々の機能が発揮できる。

従来のセンタプロコンの機能が、部分的にローカルコントローラに移管されているため、センタプロコンの能力は、従来より小さくてよい。または、その能力を他に使う。

伝送装置としては、センタプロコン—ローカルコントローラ間、ローカルコントローラ同士間のリンクが必要である。

以上のシステム構成の考え方を流れ図に示したのが図-1である。プラントの処理内容 JOB の決定から、データの集中化と制御の分散化をはかり、機能分担を行って、システム構成を行う。

3.2 構成機器

3.2.1 センタプロコン

適応プラントの処理内容およびマイクロコントローラのサポートを考え、ミニコンレベルのプロセス計算

表-1 マイクロコントローラの仕様例

マイクロコントローラ	仕 様
DDC- μ	小ループ DDC 用 制御ループ数: 8~16 ループ (標準) 制 御 演 算: PID 速度演算形 (基本) 制 御 モード: 定値, 比率, カスケード, プログラム制御 オ プ シ ョ ン: 測定値警報, 偏差警報, 変化率警報, 設定値警報, 出力リミッタ 演 算 周 期: 1秒サイクリック (標準) 伝 送: マイクロデータウェイ
SQC- μ	シーケンス制御用 命 令 種 類: 36 種 シーケンスステップ数: 500/1000 ステップ 入 出 力 点 数: 最大合計 512 点 伝 送: マイクロデータウェイ
LOG- μ	ロガー用 入 力 点 数: 128 点 (アナログ, パルス) デジタル入力: 128 ビット 伝 送: マイクロデータウェイ

機を用いる。

3.2.2 マイクロコントローラ

各機能に応じて, 下記を用いる。

- (1) DDC マイクロコントローラ
- (2) シーケンス制御用マイクロコントローラ
- (3) ロガー用マイクロコントローラ
- (4) デジタル演算器用マイクロコントローラ
- (5) センタプロコンとの結合用マイクロコントローラ

各マイクロコントローラの仕様例を表-1 に示す。

3.2.3 マンマシンインターフェイス

下記を必要に応じて使い分け, 構成する。

- (1) 通常のアナログ表示計器 (指示計, 記録計), およびバックアップ機器など。
- (2) マイクロコントローラ用各種オペレータコンソール (小規模用・中規模用および CRT コンソール)
- (3) センタプロコン接続機器 (ロギングタイプライタおよび各種 CRT など)

マイクロコントローラ用 CRT コンソールは, マイクロプロセッサを内蔵したインテリジェント化された CRT ディスプレイであり, プロセス情報の文字および棒グラフ表示, マイクロコンラに対する指令などに用いられる。

センタプロコン接続の CRT は, プラント全体の監視および操作を行うためのもので, 必要に応じて, グラフィックディスプレイ, 多文字ディスプレイなどを使い分ける。

3.2.4 伝送装置

統一的な伝送装置として, データウェイシステムが用いられるが¹⁷⁾, 分散化制御システム用として, 特に信頼性が高く, しかも簡単に適用できる必要がある。

データウェイシステムの特長として, 一般に

- (1) システム設計がフレキシブルに行えること。

拡張性が持てること。

- (2) 配線工事の合理化が計れること。

- (3) バックアップシステムなどの構成が可能となること。

などがある。

データウェイは, 1 : n ないし $n : m$ 結合であり, ラインシェアリングによる特長を生かして, 分散化制御システムに有効な方式である。工業用としては, 特に, 1 部の障害によって系全体がダウンしないなど, 信頼性に対する考慮が必要である。

データウェイの仕様例を表-2 に示す。MPCS は, 主としてプロコン間, プロコンと上位計算機間, プロコンとプロセス入出力 (PI/O), 端末間などを, 高速で共通に結ぶのに適した方式であり, DPCS- μ は, マイクロコントローラ間, マイクロコントローラとプロコン間の共通結合に適した方式である。

伝送装置としては, この他に一般的な PIO 結合, モデム結合, テレメータ・テレコンとの結合, チャネル結合などの方式がある。これらは, 主として 1 : 1 の結合であり, 部分的にこれらの伝送も使用される。

一般にマイクロコントローラ間の結合は, $n : m$ 結合が望ましく, CRT コンソールまたはセンタプロコンとマイクロコントローラ間との結合は, 1 : n である。

転送速度については, 適切な機能分散により, マイクロコントローラ相互間の伝送量は少なくてもよい。マンマシンインターフェイスとか, センタプロコンとの間は, どれだけのデータをどれ位のインターバルで必要とするか, プラントの規模, 操業方式, job の分担

表-2 データウェイシステムの仕様例

システム名	伝 送 速 度	変 調 方 式	交 換 機 能	ポ ー ト 数	ケ ー ブ ル	配 線 距 離
MPCS	MAX 1M ビット/S	FS	$n : m$	MAX 16	同軸ケーブル 2 本	MAX 3 km (ポート間)
DPCS- μ	MAX 9600 ビット/S	無変調	$n : m$	MAX 16	通信ケーブル 2 P	MAX 25 km (絶延長)

の仕方、転送速度に対する要求は異なってくる。また、マイクロコントローラ用として、適当なコストパフォーマンスの方式である必要がある。

3.3 システム構成例

3.3.1 構成例 (A)

DPCS- μ を主体に構成したシステムである (図-2)。

3.3.2 構成例 (B)

MPCS と DPCS- μ を機能別に分けて使用したシステムである (図-3)。

4. システム構成の検討

4.1 リンクの方法

センタプロコンは、高速データウェイ MPCS により、他プラントのプロコン、上位管理レベルの計算機と結合する。

ローカルのマイクロコントローラ間は、マイクロコントローラ用データウェイ DPCS- μ を用いて各系ごとに結合する。この構成は、リンクを各系ごとに独立性をもたせた方法である (実際には、各コントローラの配置その他の条件を考慮して、必ずしも各系ごとにしなくてよい)。

センタプロコンと各系との結合は、

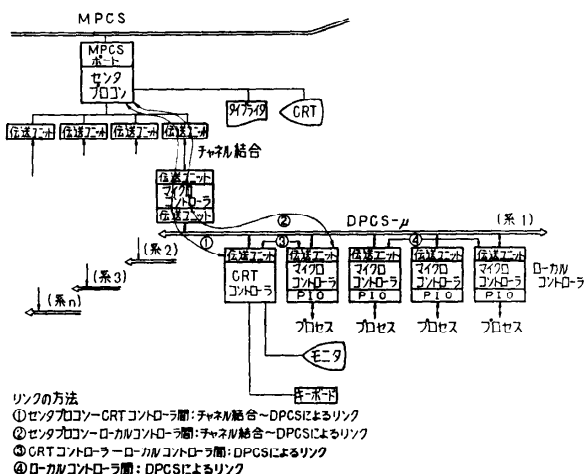


図-2 マイクロコントローラによるプロセス制御システム構成例 (A)

(A)はチャンネル結合方式を用いて 1:1 に、

(B)は、MPCS を用いて共通に、

行う。いずれの方式でも、センタプロコン、CRT コントローラ、ローカルのマイクロコントローラの各機器相互間のリンクが可能である。センタプロコンとの接続が統一されているので、従来のプロセス計算機のPIOにプロセス信号を個々に直接配線する方法に対して、配線の統一と削減が行われる。

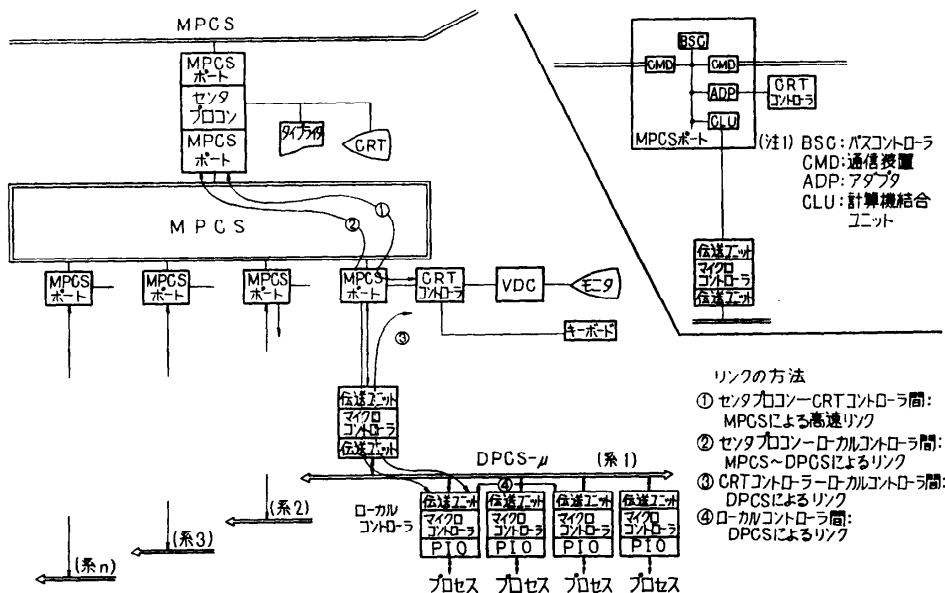


図-3 マイクロコントローラによるプロセス制御システム構成例 (B)

マイクロコントローラ間の結合は、センタプロコンとは無関係に DPCS- μ を用いて、インタロックその他プロセス情報の伝達が行える。

CRT コンソールと各マイクロコントローラ間も、センタプロコンとは独立に、DPCS- μ を介して、伝送が行え、各マイクロコントローラのデータの設定（設定値、制御定数の変更など）、データの表示、手動操作（マイクロコントローラ経由）が行える。

(A) でのセンタプロコンと DPCS- μ 、(B) での MPCS と DPCS- μ との結合には、マイクロコントローラが用いられており、伝送の受け渡しを行うインターフェイスとして用いられている。

他系との結合は、(A) はセンタプロコンを中継する必要があるのに対して、(B) は直接 MPCS 経由で可能であるので、他系との結合が必要なシステムに対しては有利である。

4.2 マンマシンインターフェイス

マンマシンインターフェイスの機能の強化がシステム設計の一つの目的となる。そのため下記の考慮が必要である。

(1) アナログ計装との一貫性

通常のアナログ計器による操作と一貫性のある方がオペレータにとって操作しやすい。そのためアナログ計器との結合の容易性による部分的なアナログ計器の使用、アナログ計器と同じフェイスのバックアップ操作機器、アナログ計器と類似のオペレータコンソール操作などの考慮がされている。

(2) 高密度計装への対処

プラントの大規模化と集中監視の増大による監視計器の増大に耐える方式として、CRT コンソールによる集中管理の容易化がはかられている。

(3) 操作性の向上

整理した必要情報の提供、警報処理方式、さらには例外管理方式などオペレータの操作性の向上がはかられる。

以上を考慮してプラントの計器パネル、操作デスクの設計が行われるが、それらに用いられる種々のレベルの機器、コンソールの用意が必要である。

4.3 プログラムの作成

各マイクロコントローラのプログラムは、パッケージ化され専用の問題向き言語 (POL) ないし空欄記入方式言語 (FIF) により、容易に作成・保守ができる必要がある。

マイクロコントローラのプログラム作成は、上記

POL ないし FIF を利用して、ミニコン、またはマイクロコントローラでセルフスタンディングに行われる。

一般のマイクロコンピュータのプログラム開発は、ミニコンなどホスト計算機によるサポートシステム（クロスアセンブル、シミュレーションなど）または、セルフスタンディングのサポートシステムを利用して行われるが、マイクロコントローラとして専用のシステムでは、できるだけ“プログラミング”を意識せずに、しかもアプリケーション毎にプログラム開発のマンパワーをかけないようにすることが望まれる。

4.4 故障診断および故障対策

各マイクロコントローラは単体としての信頼性向上、分散化制御により危険分散によるシステムとしての信頼性の向上が行われているが、さらに試験、保守を簡単にするため（分散化に伴う保守の手間を省くため）、故障診断機能、およびプラントの操業、安全性の点から故障対策を考慮しておく必要がある。以下にいくつかの方法を述べる。

4.4.1 故障診断

(1) オンライン

各マイクロコントローラに対して、ウォッチドグタイマによる全体のチェックが行われる。さらに詳細なチェックは、各マイクロコントローラに応じて適用する。

伝送装置については、MPCS、DPCS- μ 各システムに応じて種々の誤り制御および故障検出を行っており、故障ポートの伝送ラインからの切離しが、手動、自動で可能である。

(2) オフライン

テストプログラムをローカルまたは、センタプロコンからの伝送により登録して、CPU、メモリ関係カード、PIO 各カードのチェックが行われる。

伝送装置自体も、テストユニットにより、チェックが行われる。

(3) 対象プロセス

対象プロセスに基づくデータのチェック（上下限、変化率チェックなど）、シーケンスの論理性チェック、インタロックなどは、各マイクロコントローラのアプリケーションに応じて適用する。

(4) 故障表示

故障情報は、各マイクロコントローラおよび伝送により、各系の CRT、センタプロコン側のディスプレイに表示される。

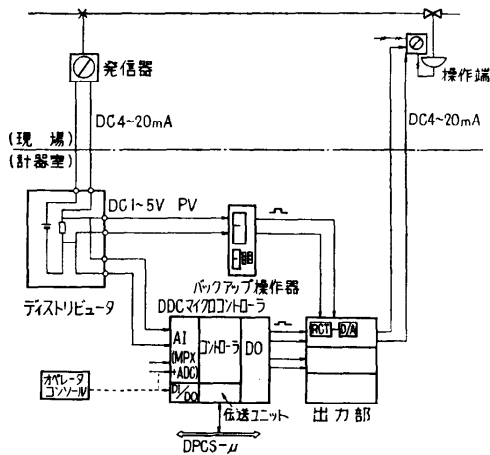


図-4 DDCマイクロコントローラを使用した計装システム構成例

4.4.2 故障対策

(1) マイクロコントローラの故障対策

(a) DDC の場合、出力部は DDC マイクロコントローラとは、独立しており、マイクロコントローラのダウン時も出力の現位置保持が必要である(図-4)。出力部は、個別ループごとに独立性を強調した設計となっており、故障の影響が他ループに波及しないように考慮する必要がある。

バックアップ操作器を設置することにより、測定値の直接指示を見ながらの手動操作が可能である。バックアップ操作器は全ループに1:1に設置しなくても、手動操作が必要な重要ループに対してのみ設置すればよい(オペレータコンソールより、マイクロコントローラ経由で各ループの手動操作は可能である)。

さらに出力部カードの保守などを考えて、選択部付のハードマニュアル操作器(EMU)を別に設置することができる。

アナログのバックアップ調節計を、従来のDDCと同じく重要ループに設けることも考えられるが、DDCマイクロコントローラは、少ないループだけを扱い、信頼性も高くなっているため、バックアップ調節計を設けることは、通常は考えなくてよい。

(b) シーケンス制御の場合は、部分的に専用の表示器(カウンタなど)、操作器を設けて、手動によるバックアップを考える。

(c) マイクロコントローラのダウン時(ウォッチドグタイマによる故障検出時とか停電時)、出力が安全方向に働らくよう、また現状維持の動作をするよう

(フェイルセーフ)、外部との関連を含めて設計する。

(d) マイクロコントローラ間のバックアップとして、ユニット(カード)の二重化、マイクロコントローラの二重化などが考えられるが、小規模、単純なマイクロコントローラに対して、切換部などの機能が増大し、コストアップ、大規模、複雑になること、マイクロコントローラを切り換えても、プロセス側との配線接続の切換えの考慮が別に必要であること、などから原則として採用しない。

(2) CRT の故障対策

(a) 専用の表示計器、操作器によるバックアップ
重要ループに対して、そのループ専用またはトレンドにて個別の指示計、記録計、数値表示器などの表示計器、および操作器を設けて、万一CRTがダウンしても、最小限の監視と操作を可能とする。

(b) 予備のCRTをもつ。

(3) センタプロコンの故障対策

(a) オペレータによる操作

CRTコンソールを利用して、オペレータが各マイクロコントローラに対して指令および監視を行うことにより、センタプロコンが故障してもマイクロコントローラを用いた操業は、続けられるようにする。

(b) プロコンの二重系、共通予備などのバックアップの方法もある。

(4) 伝送装置の故障対策

MPCS、DPCS-μとも、それ自体で種々の故障に対する対策がとられているが、さらに特別に重要な信号に対しては、専用の伝送ラインを、個別に配線することが考えられる(CRTの故障対策で述べた表示計器、操作器用個別配線など)。

瞬時停電に対する対策としては、下記のオートリスタート機能による。メモリとして不揮発メモリ(磁気)を採用することにより、停電保護オートリスタートの機能をもたせることができる。

DDCの場合、出力部の保持ジレスタの値は、瞬時消失するが、メモリに値が保持されているため、復電時ただちに出力が復帰でき、通常のアナログ調節計器と同様な動作とすることができる。

以上、各部の故障に対して、種々の故障対策、バックアップの方法を述べたが、

○ 故障マイクロコントローラをオフライン的にチェックし、早急に故障カードを予備カードと取りかえ、補修をすること。または、

○ コンプリットなマイクロコントローラの予備を

もっていて、故障マイクロコントローラと取りかえること。

がマイクロコントローラに適した単純で実際的な方法である。それ以上のバックアップをもつことは、特別な場合を除いてシステム構成が複雑になり、分散化制御システムのメリットが活かせない。

5. 応 用 例

総合システムとしての実施例は、未だ発表されていないので、個別の制御機器への応用例として、鉄鋼プラントの位置決め制御の例で、マイクロコントローラの一つの実施例を説明する。

5.1 応用例（位置決め制御）

鉄鋼プラントの圧延機のマイクロコントローラによる位置決め制御の構成例を図-5に示す。マイクロコントローラは、設定値を上位プロセス計算機、またはデジタルスイッチより与えられ、パルスジェネレータからの入力による現在位置と設定値との差により速度を算出し、電動機の制御装置へ速度指令として、アナログ出力を与える。正確に設定位置で停止させるために、ある減速開始点に到達したら、機械の特性に合った減速指令を出す。

マイクロコントローラを用いることにより、圧延ラインに必要な多数の位置決め制御に対してハードウェアの統一ができ、またプロセス計算機との結合が容易であることなどの利点がある。

5.2 従来方式に対するメリット

マイクロコントローラを用いる制御システムの従来方式に対するメリットを述べる。

アナログ計装装置、シーケンス制御機器に対して、

(1) より高度な演算制御機能・データ処理機能が向上する。

(2) CRT コンソールにより、監視、操作の集中、容易化が図られる。また、計器パネル、操作デスクの縮小ができる。

(3) ハードウェアのソフトウェア化により、開発、製作工程の短縮が可能となる。

プロセス計算機に対して、

(4) ハードウェアの統一、設計思想の統一による保守性の向上。

(5) ハードウェア（特に伝送装置）の統一により、個別、非標準インターフェイス部分がなくなる。

(6) 各装置、機能別にマイクロコントローラを設置することにより、危険分散が図られる。

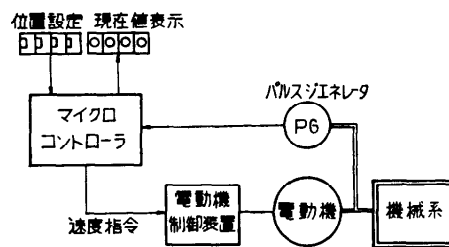


図-5 位置決め制御構成図

(7) 機能別にマイクロコントローラを設けることにより、設計の単純化が可能。

(8) 信頼性の向上。

6. おわりに

以上、マイクロコンピュータのプロセス制御への適用について、一般的な検討および一例の紹介を行なった。

マイクロコントローラの応用としては、デジタル演算器とか個別の制御機器としての使用は今後とも容易に行われて行くだろう。総合システムとしての応用は、適用例の拡大と共に方式の確立がなされて行くだろう。

マイクロコンピュータおよびその周辺の進歩は、その適用を単に制御装置の範囲だけでなく、検出端、操作端と接続される部分まで含めて拡大が期待される。さらに、サンプリングと量子化の特長を生かした制御方式¹¹⁾の確立も期待される。

参 考 文 献

- 1) 田辺共之：マイクロコンピュータのアナログ計測への応用，計測と制御，Vol. 14, No. 4, pp. 36~43 (1975)。
- 2) 高田慎三他：マイクロコンピュータの計測製品への応用，東芝レビュー，Vol. 30, No. 1, pp. 20~23 (1975)。
- 3) マイクロコンピュータの計装への展開〈特集〉，計装，Vol. 18, No. 4 (1975)。
- 4) マイクロコンピュータ応用機器 26 例〈特集〉，電子材料，(1975 年 9 月)。
- 5) マイクロコンピュータ応用実例集〈特集〉，オートメーション，Vol. 20, No. 10 (1975)。
- 6) 新総合計装制御システム〈特集〉，オートメーション，Vol. 20, No. 10 (1975)。
- 7) 富士マイクロコントロールシステム〈特集〉，富士時報，Vol. 48, No. 11 (1975)。
- 8) S. J. Bailey: A peek inside a Digital Computing Controller, Control Engineering, Jan. pp. 53~54 (1975)。

- 9) Bristol Fields Microprocessor-Based Process Controller, Control Engineering, April p. 15 (1975).
 - 10) J. F. Mason: With the micoprocoessor, industrial electronics will be working a lot smarter, Electronic Design, Vol. 23, No. 1, pp. 56~57 (1975).
 - 11) 野畑, 萩原, 寺尾: マイクロプロセッサを用いたプロセスコントローラの設計, 第 14 回計測自動制御学会学術講演会, 1705 (1975).
 - 12) 渡辺成一他: 分散形プロセス制御システム(1)~(11), 第 18 回自動制御連合講演会, 2001~2011 (1975).
 - 13) 大沢秀夫他: マイクロコンピュータを使用した分散形 DDC システム, 同上, 2012 (1975).
 - 14) 坂巻勲他: マイクロコンピュータの計測, 制御への適用, 同上, 2014 (1975).
 - 15) 宮添束他: マイクロ DDC システム, 同上, 2015 (1975).
 - 16) 大櫃憲三他: シーケンス制御システム, 同上, 2016 (1975).
 - 17) 工業用データウェイシステム技術動向調査, 日本電子工業振興協会, 50-A-93 (1975).
(昭和 50 年 11 月 26 日受付)
(昭和 51 年 2 月 4 日再受付)
-