

清水建設研究所設備のコンピュータ制御システム（その2）

— コンピュータ・システム —

小西康之

山田邦夫

§ 1. はじめに

昨今のコンピュータの利用は高度に複雑化する情報化時代にあつて、その応用分野は各方面で多様化し特にDDC (Direct Digital Control) によるオンライン・リアルタイム制御の分野における普及は著しい。こうした制御におけるコンピュータ利用は従来のプロセスの走査、監視、諸データの収集、記録といった個々の利用技術から、プロセスの総合制御を目指したシステムへと移行する傾向を示している。当社では、これらの新しいコンピュータ利用のひとつとして、ミニ・コンピュータによる建築設備の総合制御システムを独自に開発し、当研究所に導入した。

本報告はビル制御におけるハードウェアの基本構成、およびリアルタイム制御に不可欠なモニタ・システムを中心に、コンピュータ・システムの最も基本的な諸機能について述べるとともに、従来とは異なった幾つかの新しい試みを含めて紹介する。また、これらの重要な点は次に示す項目によって要約されよう。

A. ハードウェアについて

- (1)ビル制御における応用面の拡大をねらった大型ビル設備のシュミレータ機能を有する。
- (2)ビル制御に必要な膨大な情報を1台のコンピュータに集中化することによる、高度で複雑な総合制御システムを目指した。
- (3)各種情報伝送制御装置の開発、あるいはシステムのバックアップ機能などによるシステムの信頼性、安全性、経済性を追求した。
- (4)ローカル制御および中央監視盤を廃止することにより、従来とは異なった汎用性の高い新しい形態のビル制御を指向した。

B. ソフトウェアについて（モニタ・システム）

- (1)リアルタイム処理機能とバッチ処理機能の共存によるモニタ・システムの機能の拡充、および高効率利用をミニ・コンピュータによって実現した。

(2)システム・ドラムの採用により応用プログラムの利用領域の拡張をはかり、大規模システムへの適応を実現した。

(3)設備制御向きのマクロ言語を利用できる言語処理プログラムの開発により、高度なプログラムの作成を容易に可能とした。

(4)各種システム・サービスの拡充によりプロセスとのインターフェイス入出力を確実に、また容易に可能とした。

§ 2. ハードウェアの概要

建築設備の総合制御システムをコンピュータによって実現するためには、電気通信あるいは情報処理といった新しい技術の導入が要求され、従来とは異なったハードウェアへの指向が必要になってくる。ここでは情報処理という観点から見たコンピュータ・コントロールのハードウェアについて、その機能、特長およびシステムの基本構成について述べる。

2.1 機能と特長

2.1.1 DDCによる中央集中制御

DDCは、1台のデジタル・コンピュータによって多数の制御ループを、多重時分的に処理する制御方式で、従来のアナログ調節器で行なっているような各系統ごとにクローズした系と異なり、高度で複雑な制御に向いている。したがってフィードバック制御をはじめとして、フィードフォワード制御、さらには予測制御などの高度な制御方式がひとつのシステムで実現できる。

また、DDCにおいては空調、電気、衛生、防災といった諸設備からの広範囲な情報のすべてを1台のコンピュータに集中化することによって、各分野を統括したビル設備の総合管理が可能である。したがってハードウェアは、これらのすべての設備情報をもとに制御を行なう

ことにより、各系統単位の諸設備と中央のコンピュータとが一体となったネットワークが形成される。

2.1.2 大型ビル設備のシュミレータ機能

当研究所の建物規模は一般のビルに比較して小規模ではあるが、こうしたコンピュータ制御システムの商品化にあたっては、大型ビル設備の制御が可能な程度の設備規模を必要とする。本システムでは大型ビル設備の幾つかの制御モデルを想定しシュミレーションが行なえるようなハードウェアの構成となっている。すなわち当該設備をひとつの実験設備として、それぞれの建物に応じた制御方式の決定やシステムの設計仕様、あるいはソフトウェアの開発、さらには基本データの収集、解析などが可能となっている。

2.1.3 各種情報伝送制御装置の開発

中央のコンピュータとフィールド機器との情報の通信は伝送系を通して行なわれる。これらの情報の伝送方式としては各系統ごとの制御盤を1本のデータ・ラインで結ぶデータ・ハイウェイ方式と、個々の機器と1対1で結ぶ直結方式などがあり、前者は回線数が少なくて済むが伝送制御装置に変復調器を備える必要があり、非常に高価になる。本システムでは、後者の直結方式を採用した。ところがひとつの建物で扱う設備情報は膨大な数に達し、直結方式による伝送システムでは施工上、あるいは保守といった面から問題が生じやすい。そこで同じ性質の信号形態をひとつのブロックにまとめ、コンピュータからのアドレス情報によって任意の機器を選ぶといった選択機能を有する各種伝送制御装置を開発し、直結方式と組合わせた伝送系を構成している。

2.1.4 システムダウン時のバックアップ機能

各設備機器の故障や事故は設備情報としてコンピュータの入力となる。したがって、これらの情報に基づいた処理プログラムを用意しておくことによって、未然に発見、処置が可能である。また、こうしたフィールド機器のダウン対策とは別に中心となるコンピュータダウン時のバックアップをハードウェアの機能として考えておかなければならない。本システムではCVCF (Constant Voltage Constant Frequency) によるコンピュータ電源の無停電化、またウォッチドッグ・タイマによるプログラム・エラーの検出機能、あるいはリレーによる各機器の状態保持機能などにより、コンピュータの障害対策にあたっている。

2.1.5 ローカル制御および中央監視盤の廃止

従来のローカル制御と、中央監視盤による制御方式では、その機能が初期の段階で確定してしまう。とくに昨今のエネルギー危機あるいは公害問題と目まぐるしく移り

変わる社会情勢によって、こうした制御方式もミニマム・エネルギーとか最適環境の確保といった具合に変化する。このようにシステム全体として柔軟性が要求されると、ハードウェアとしての機能の拡張や変更は、ソフトウェアのそれと比べて費用の面だけを考えてもむずかしい。本システムでは、ローカル制御を実験的に廃止し、従来のローカル制御とコンピュータ制御の違いを明確化し、トータルな意味での分析ができるようなハードウェアの構成となっている。

もちろんローカル制御を全面的に廃止するというだけではなく、これらの問題点を明らかにし今後の設計仕様の資料とする方向を目指している。また、中央監視盤をも廃止し、柔軟性に富んだカラー・ディスプレイ装置に置換えることにより、コンピュータとのマンマシン・コミュニケーションの場を提供している。

2.2 システム構成

コンピュータ制御システムの体系を概念的に示すと図-1のようになる。これらは、それぞれの機能によって分類すれば、コンピュータを中心に伝送系およびフィールドによって構成される。すなわちコンピュータはフィールドで発生する種々の状態量を入力し、あらかじめ与えられた制御目的、あるいは評価要素にしたがってフィールドに対して操作量を送出する。コンピュータは、こうした多数の制御ループを時分割的に処理し、システム全体を総合的に管理する。図-2には本システムの構成を示す。この図に示すようにコンピュータは中央処理装置、記憶装置、周辺装置およびインターフェイス制御装置から構成され、伝送系はMDFを介して各系統ごとに配置されたコントロール・パネル、および各種の伝送制



図-1 コンピュータ制御の概念図

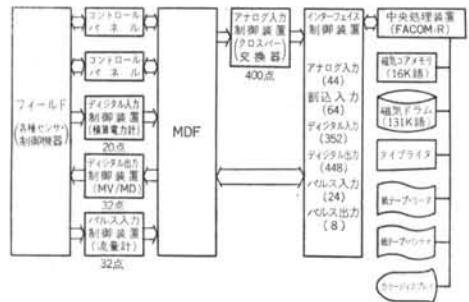


図-2 システム構成

方 式		プログラム記憶式
記憶装置	素子	磁気コア
	語長	16ビット+1パリティビット(計17ビット)
	サイクルタイム	1.5 us
	容量	1~32K語(本システムでは16K語)
演算制御	演算方式	並列2進法、負数は2の補数表示、固定小数点
	命令数	基本28種
	演算速度	加減算6 us(アドレス修飾なし) 7.5 us(アドレス修飾あり)
	アドレス方式	5種(直接、間接、相対、相対間接、インデックス)
	インデックスレジスタ	4個(記憶装置上)
	割込	1レベル(2個の命令カウンタを使用)
入出力制御	制御モード	2種(プログラム制御モード、インタレースモード)
	情報伝送速度	最高800Kバイト/秒(インタレースモードの場合)
	入出力装置数	最大255台
	入出力インターフェイス	プログラム制御、インタレースの両モードに共通
設置条件	温度	0℃~40℃
	湿度	10%~80%(相対湿度)
	電源	AC100V 1φ0.5KVA 50/60 Hz

表一1 基本ユニットの性能

御装置からなっている。さらにフィールドにおいては、それぞれの設備情報をコンピュータに送るための各種センサ、あるいはコンピュータ制御のもとに、その手足となる各種端末制御機器によって構成される。

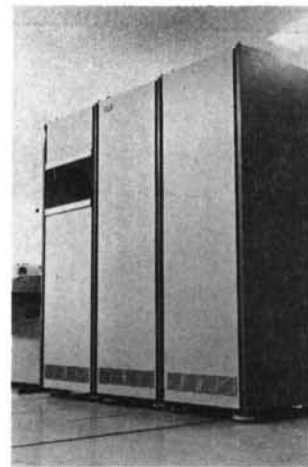
2.2.1 コンピュータ

本システムで使用したコンピュータは富士通製のFACOM-Rで、最近の集積回路技術による小形かつ廉価な制御向きのミニ・コンピュータである。表一1にはFACOM-Rの基本ユニットの性能を示す。また、こうした制御に利用されるコンピュータは、一般のビジネス・マシンとは異なった性能がハードウェアに要求される。これらの主な機能を列記すれば次のようになる。

- (1)割込機能、タイマ機能などのリアルタイム処理機能を有している。
- (2)プロセスとのインターフェイスが容易に可能である。
- (3)各装置の信頼性が高い。
- (4)温度、湿度等の厳しい設置条件で運転が可能である。

A. 中央処理装置

設備制御における演算、判断、制御のすべての中核となり、あらかじめ記憶装置に貯わえられているプログラムを、1命令ずつ読出して実行するといった過程を数マ



写真一1 コンピュータ本体

イクロ秒で順次遂行し、コンピュータ組織の全体を管理する。

B. 記憶装置

記憶装置には設備制御の実行に必要な命令群およびデータが貯わえられ、本システムでは16K語の記憶容量を持っている。また1語は17ビット(16データビット+1チェックビット)の構成からなる磁心記憶装置である。

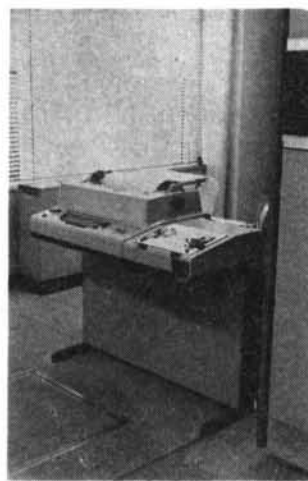
C. 周辺装置



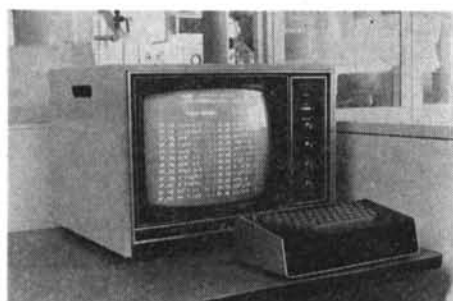
写真一 紙テープ読取装置



写真二 紙テープ穿孔装置



写真三 タイプライタ装置



写真四 カラー・ディスプレイ装置

本システムに接続されている周辺装置は、磁気ドラムをはじめとして紙テープ読取装置、穿孔装置、タイプライタ装置およびカラーディスプレイ装置からなり、これらの入出力装置は外部記憶装置として、あるいは外部とコンピュータ内部との会話の手段として利用される。

D. インターフェイス制御装置

コンピュータ制御システムを構成するためには、オンライン・リアルタイム入出力制御装置としてフィールド機器との結合を容易に行なわなければならない。インターフェイス制御装置はフィールドで発生する種々の信号をコンピュータに合ったデジタル信号に置換える機能を持ち、フィールド機器とコンピュータとの信号の橋渡しを行なう。本システムに導入したインターフェイス制御装置の機能および構成を列記すれば次のようになる。

- (1) 割込機能の拡張：コンピュータとして1レベルの割込機能を4レベルまで拡張でき、本システムでは各レベルごとに16点合計64点の割込入力を持っている。
- (2) リアルタイム・クロックによる処理機能：インターフェイス制御装置内蔵形のリアルタイム・クロックにより発生するタイムパルスを割込入力として、定時間

間隔処理を行なうことができ、本システムでは10m秒、100m秒、1秒、10秒のクロックを持っている。

(3) 制御時計による定時刻処理機能：定時刻処理を行なわせるための制御時計を付加することにより月日、時分の時刻情報をコンピュータに入力できる。

(4) ウォッチドッグ・タイマ処理機能：プログラム・ミスによるプログラム・ループへの落込みをウォッチドッグ・タイマにより検出できる。

(5) 各種アナログ入力信号の処理機能：各種1次変換器からの電圧入力(10mV~10V)をA-D変換器によってデジタル信号に変換するアナログ入力信号の処理を行なう。またこれらはマルチプレクサと組合わせて多チャンネルの入力が可能である。本システムでは44点のマルチプレクサと1台の低速A-D変換器を持っている。

(6) 各種デジタル入出力信号の処理機能：スイッチ、パルス信号などの接点信号を受信したり、各種制御機器、表示器などへのオン・オフ信号の送信を行なう。本システムではデジタル入力352点、デジタル出力448点、パルス入力24点、パルス出力8点を持っている。

2.2.2 情報伝送制御

コンピュータとフィールドとの情報伝送は直結方式により一部選択機能を持った伝送制御装置を併用し、直結方式による欠点を補っている。ここでは新しく開発した各種伝送制御装置を中心に述べる。これらは実験的に、その選択機能としてクロスパー形、電子回路形および継電器形の3種類のそれぞれのマルチプレクサを用いた性能あるいは信頼性の比較を行なっている。

A. CP (Control Panel)

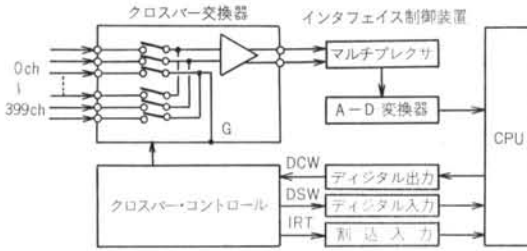


図-3 ブロック・ダイアグラム (アナログ入力制御)

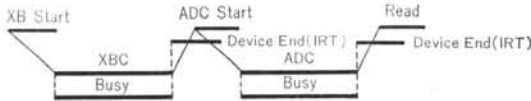


図-4 タイム・チャート (アナログ入力制御)

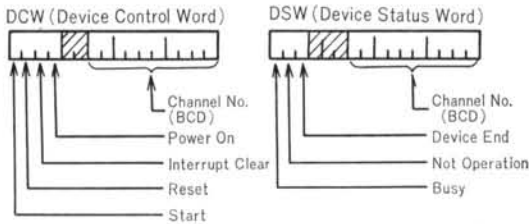


図-5 デバイス制御出力/デバイス状態入力 (アナログ入力制御)

コントロール・パネルは建物内の各系統ごとに配置されフィールド機器とコンピュータとの入出力仕様に合うようなデータ変換を行なうとともに、ゾーン単位の信号の分類を行なう端子盤である。

B. MDF (Main Distributing Frame)

コントロール・パネルでまとめられた各系統ごとの情報線は一括MDFに接続される。MDFは、こうしてコントロール・パネルごとにまとめられた信号線を、コンピュータ入出力向きに分類に合わせる調整機能を持った端子盤である。

C. アナログ入力制御装置

フィールドで発生する種々の状態変化量は、建物内外の各種センサからコンピュータに送られる。これらの数百点に及ぶ入力のほとんどはアナログ信号でこれをコンピュータで処理するためには、デジタル量に変換するといった過程を必要とする。インタフェース制御装置は、こうしたアナログ入力処理用のマルチプレクサA-D変換盤という機能を有しているが、マルチプレクサ1チャンネル当りのコストが高つくき、またアナログ入力となる温度、湿度等の現象の変化は緩慢で高速のサンプリングを必要としないなどを考慮し、クロスバー交換器の利用を考えた。このクロスバー交換器を利用したアナログ入力制御装置は、多数のセンサとの結合が可能(本シ

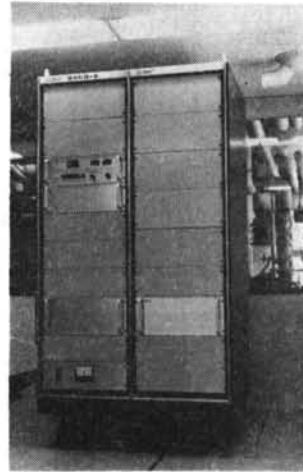


写真-6 クロス・バー交換器

ステムでは400点)で、1点当りのコストが安価、さらにランダム・アクセス処理が可能、また割込機能を利用することによってコンピュータと非同期で動作し、その間に並行処理が可能といった種々の特長を持っている。

装置のブロック・ダイアグラムは図-3に示すように、これらの制御に使用されるインタフェース制御装置は1チャンネルのマルチプレクサおよびA-D変換器、1語のデジタル入力およびデジタル出力さらに1点の割込入力が必要とし、この動作シーケンスは図-4のタイム・チャートに示すとおりで、1点のアナログ量の読込みはコンピュータからの任意のチャンネル・アドレスとスタート信号によって動作を開始し、接点の選択動作が終了した時点で割込みによりコンピュータへ動作終了の信号を送出する。さらに選択されたチャンネル・アドレスが正常かを確認した上でA-D変換を開始する。この入力ゲインはプログラムで指定されたゲインにより行ない、同様に動作終了は割込みを使用してコンピュータに知らされる。1点当りのスキャン時間は約100m秒である。また図-5にはクロスバー交換器制御用のDCWおよびDSWの内容を示す。

D. デジタル入力制御装置

本システムに設置された約20台の積算電力計は、それ自身の持つ4桁のカウンタからデジタル信号(BCDコード)を送出する。デジタル入力制御装置は電子回路形のマルチプレクサを内蔵し、コンピュータから送られるチャンネル・アドレスとスタート信号によって動作を開始する。選択動作の終了は割込みによってコンピュータに通知され、これによりデジタル・コードの読込みを行なう。これらのブロック・ダイアグラム、タイムチャートおよびDCW、DSWの仕様は図-6、7、8に

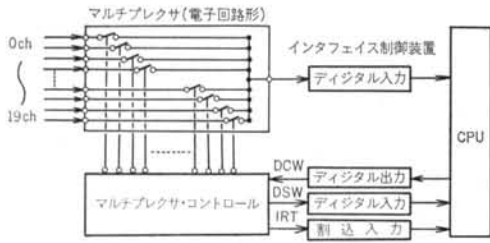


図-6 ブロック・ダイアグラム (デジタル入力制御)

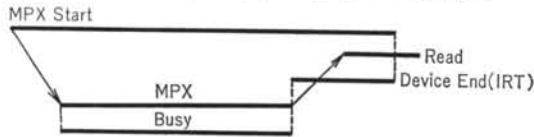


図-7 タイム・チャート (デジタル入力制御)

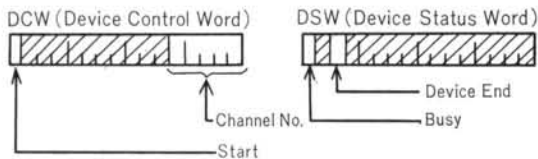


図-8 デバイス制御出力/デバイス状態入力 (デジタル入力制御)

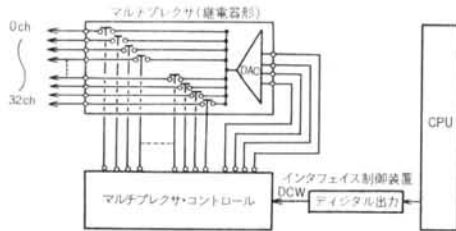


図-9 ブロック・ダイアグラム (デジタル出力制御)



図-10 タイム・チャート (デジタル出力制御)

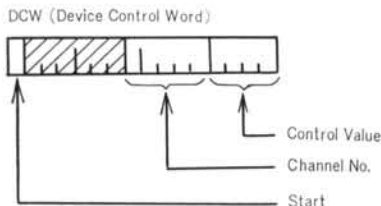


図-11 デバイス制御出力 (デジタル出力制御)

示す。

E. デジタル出力制御装置

本設備における流量および風量制御はモータバルブお

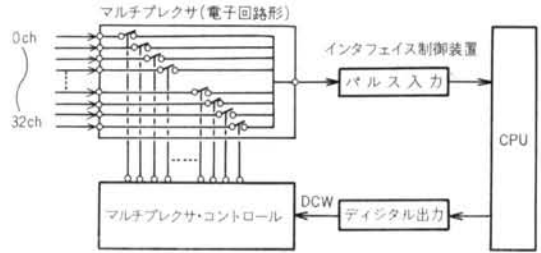


図-12 ブロック・ダイアグラム (パルス入力制御)

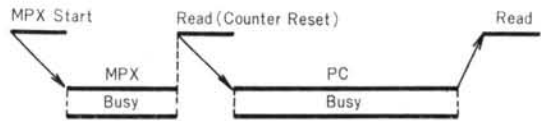


図-13 タイム・チャート (パルス入力制御)

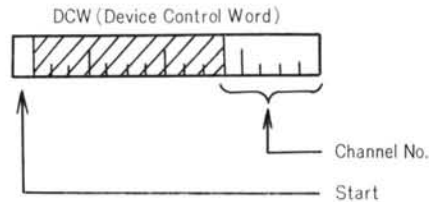


図-14 デバイス制御出力 (パルス入力制御)

よびモータダンパによって行なわれる。デジタル出力制御装置はコンピュータから出力されるチャンネル・アドレス、制御量、スタート信号によって動作を開始し、モータバルブ、ダンパの開度量は4ビットの制御量によって16段階のうちの一つの状態を設定できる。マルチプレクサはリレーロジックにより、また割込機能を省略することによって装置は低価格で製作され、コンピュータとのタイミングはソフトウェアに依存する形態となっている。図-9, 10, 11には、これらのブロック・ダイアグラム、タイムチャートおよびDCW, DSWを示す。また1チャンネル当りの選択動作時間は約300m秒で最大32チャンネルのモータバルブおよびモータダンパの接続が可能である。

F. パルス入力制御装置

フィールドに設置された30数台の流量計は単位流量当りのパルスを出力する。コンピュータは単位時間に入力されるパルス数の積算値によってその流量を計測することができる。本装置で使用したマルチプレクサは、ICロジックによりコンピュータのチャンネル・アドレスとスタート信号により動作し、それ以後はインタフェース制御装置の1チャンネルのパルスカウンタにパルス数が積算される。それぞれの仕様は図-12, 13, および図-14に示す。

2.2.3 フィールド

A. 各種センサ

フィールドに設置された各種センサは大別してアナログ型、デジタル型およびパルス型の3種に分類され、それぞれについて内容を分類すれば次のようになる。

- (1)アナログ型—周波数、力率、直流電圧、直流電流、交流電圧、交流電流、温度、湿度、風速、風向、日射、圧力
- (2)デジタル型—運転、動作、投入、着床、故障、欠相、圧損、火災、満水、減水などの検知、積算電力計。
- (3)パルス型—流量

B. 各種端末制御機器

フィールドにおける端末制御機器はコンピュータからのデジタル信号によって動作し、これらはデジタル信号の形態によって分類すれば、オン・オフ信号とコード信号に分けることができよう。

- (1)オン・オフ信号—NFB (No Fuse Breaker)、コンデンサ、放送用アンプ、ポンプ、ファン、電磁弁。
- (2)コード信号—モータバルブ、モータダンパ、可変速モータ。

§ 3. ソフトウェアの概要

本システムにおける制御のすべてはソフトウェアにより、これらの優劣が全システムの制御性に大きく影響する。このようなコンピュータ制御システムでは末端の設備機器情報が即時に制御に反映するようリアルタイム処理機能や、同時に幾つかの制御を行なうための多重プログラミングなどの手法がソフトウェアに要求される。したがってプログラムは実際の設備制御を行なうためのアプリケーション・プログラムと、これらを有機的に結合し各処理プログラムの実行を管理するための制御プログラム、すなわちモニタ・システムが必要となる。ところで、こうしたモニタ・システムは従来メーカ側から提供され、実際のプログラムはこれらの仕様にもとづいたプログラム設計を進めなければならない。この場合、機能の追加あるいは拡張といった仕様変更がむずかしく、利用分野に応じた最適なシステムを構成するためには、設備制御向きのモニタ・システムの開発が必要になってくる。ここではとくに、このモニタ・システムを中心にその機能および特長について述べる。

3.1 機能と特長

3.1.1 リアルタイム処理機能とパッチ処理機能

設備制御システムにおいてはオンライン・リアルタイ

ム処理機能を必要とし、こうした要求に基づくプログラムの優先処理、あるいは並行処理機能を備える必要がある。モニタは端末の設備機器からの情報を適確に捕え、この処理結果を即時に設備側に制御情報として送出しなければならない。また、こうした要求とは別にプログラムの開発過程においてはパッチ処理機能を必要とする。モニタ・システムはリアルタイム処理機能を有するリアルタイム・モニタと、パッチ処理機能を持つプログラミング・モニタに大別され、本システムでは、これらの2つの性質の異なった制御プログラムを1台の処理装置内に共存させ、プログラムの開発、運用を自由に行なうことが可能である。すなわち完成したプログラムによって設備系を制御すると同時に、並行して新しいプログラムの開発が実施でき、効率良くコンピュータを利用することができる。

3.1.2 プログラムの優先処理と並行処理

リアルタイム・モニタのもとではプログラムは多重動作をしている。もちろん処理装置は1台しかないのに、ある時点を取らせれば幾つかのプログラムのうち、ひとつのプログラムしか動作していないが、マクロ的に見れば複数個のプログラムが処理装置を時分割的に使用し、多重動作をしていると考えることができる。とくに設備制御システムにおいては、プロセスからの起動要求がどういった時点で発生するかは不明であり、同時に幾つかの要求が重なり合うことも考えられ、この場合そのプログラムの緊急度によって優先順位の高いプログラムを先に実行させる必要がある。また、プログラムが実行中であっても、それより優先順位の高いプログラムの起動要求があれば、モニタはそれを中断し、その時の状態を保存して優先順位の高いプログラムを起動する。本システムでは4レベル、256通りの優先順位を各プログラムに割当てることができる。

またプログラムが入出力装置などを利用することによって何らかの条件（入出力動作の終了など）が整わないと先へ進めない状態、すなわち事象待ちの状態になることがある。リアルタイム・モニタは、こうして生じた空き時間をすでに起動要求のあったプログラムを実行させることによって処理装置の稼働率を高めている。この場合、プログラムは見掛上並行して動作するリアルタイム・モニタのもとでは16本のプログラムの並行処理が可能である。

3.1.3 各種情報伝送制御装置と入出力制御プログラム

各種情報伝送制御装置には多数のフィールド機器が接続されていて、これらはプログラムによって簡単にコントロールされなければならない。しかしながら、それぞ

れ仕様の異なった制御装置をタイミングをとって制御することは非常に困難な面が多く、これらは各制御装置にあった入出力制御プログラムで管理する方が能率が良い。リアルタイム・モニタは、こうした各種制御装置を管理する入出力制御プログラム・パッケージとの結合が容易にできるように考慮され、幾つかのプログラムが同時に1台の装置を使用することを避けるため、プログラムの優先順位にしたがって待ち行列を形成し、多数のプログラムが1台の装置を能率良く共有することができるよう作成されている。またアプリケーション・プログラムはマクロ命令によって、簡単にこれらの入出力制御プログラムを利用できる。

3.1.4 システム・ドラムの採用

一般的に制御を目的とするアプリケーション・プログラムは小単位のプログラム群から構成され、これらは緊急度の高いプログラムを除いては主記憶に常駐させる必要はなく、低価格でしかも大容量の補助記憶装置を利用して主記憶装置を効率良く管理する方が望ましい。本システムでは131K語のシステム・ドラムを採用し、プログラムやデータのほとんどはドラム内にファイルして、必要な時にだけ主記憶装置にロードし実行する方式をとっている。こうしたシステム・ドラムを採用することにより、ミニ・コンピュータを中心とする小規模な構成であっても、機能面から見れば高層ビルを含む大型ビル設備の制御にも十分適用することができる。

3.1.5 プログラムの実行過程とジョブ管理

プログラムの実行過程は、大別してコーディング、翻訳、編集、実行の4段階に分けられる。プログラミング・モニタは、こうしたプログラムの実行過程の連続処理を制御し操作の能率化を計るためめのジョブ制御機能（ジョブとはプログラムの翻訳、編集、登録、実行などのジョブ・ステップを構成要素とする仕事の単位）を持っている。これらの制御はジョブ制御文あるいは実行指示制御文によって行ない、オペレーションの多くを自動化しコンピュータの利用効率を高めている。またこれらのプログラム開発は実際の設備のコントロール中に並行して、しかも1K語の主記憶装置のみを利用してリアルタイム・モニタのもとで行なわれる。

3.1.6 マクロ・アセンブラと豊富なユーティリティ・プログラム

プログラムの翻訳処理はジョブ制御ルーチンによって管理される主記憶占有領域1K語の1パスのマクロ・アセンブラによって行なわれる。またプログラムの編集や運用にあたって必要な各種のユーティリティ・プログラムを完備し、これらは簡単な実行指示制御文を与えるこ

とによって行なわれる。なおジョブ管理を中心とするプログラミング・モニタは通常システム・ドラムにファイルされていて、バッチ・ジョブが必要な時にだけ呼び出されて実行される。

3.2 ソフトウェアの体系

本システムにおいては、その制御の主体がソフトウェアによるため、それぞれのプログラムは安全にまた容易に開発、運用ができ、さらに個々のプログラムと設備機器あるいはプログラム相互間の連係、プログラムとデータなど密接に結合され確実に動作しなければならない。

したがってソフトウェアはモニタ・システムを中心とする制御プログラム群と、それをとりまく処理プログラム、すなわちアプリケーション・プログラムとが有効に結びついて大きな効果が期待される。このようにソフトウェアは、その核となるモニタ・システムとアプリケーション・プログラから構成される。図-15には本システムにおけるソフトウェアの体系を示す。



図-15 ソフトウェアの体系

3.3 記憶装置の利用形態

記憶装置の利用は、それぞれ性質の違ったプログラムやデータを適当に主記憶装置あるいは補助記憶装置に配置するのではなく、各プログラムの緊急度、使用頻度、大きさ、共通性など十分考慮し設備制御システムに最適な利用領域を決定しなければならない。

3.3.1 主記憶装置の利用形態

図-16には主記憶装置の利用形態を示す。これらはシステム用領域としてリアルタイム・モニタ領域、プログラミング・モニタ領域およびシステム・サブルーチン領域の10K語が、また、アプリケーション用領域として共通データ領域、常駐プログラム領域、非常駐プログラム領域の6K語が割当てられている。常駐プログラム領域に格納されるプログラム群は緊急度または使用頻度の高い、あるいはプロセスとのタイミングが厳しいプログラムがシステム編集時に配置される。ところが非常駐プロ



図-16 主記憶装置の利用形態



図-17 補助記憶装置の利用形態

プログラム領域は、前者と全く異なった利用域として使用され、この場合プログラムあるいはデータは補助記憶装置に配置され、システム運転時にダイナミックにこの非常駐領域にロードされ実行される。また共通データ領域は設備制御に必要な諸データが格納され、これらはどのプログラムからでも参照することができプログラム相互間の関係を高めている。

3.3.2 補助記憶装置の利用形態

補助記憶装置の利用形態は図-17に示すようにシステム領域、プログラム領域、データ領域、サブルーチン領域の4つの領域から構成され、システム領域を除く他の領域はアプリケーション用領域として利用される。

また、このアプリケーション用領域に配置されている個々のプログラム、データおよびサブルーチンはシステム領域内のシステム・テーブルによって管理される。

3.4 モニタ・システム

一般に、制御用システムはプログラムの作成を行なう開発段階と、作成された多数のプログラムを用いて実際にシステムを動作させる実行段階に分けられる。プログラムの開発段階においては、コーディングから実行までの処理過程を能率良く行なうためのプログラミング・モニタが、また、作成された多数のプログラムを実行する段階にあっては、円滑にこれらのプログラムを管理しシステムを効率良く動作させるためのリアルタイム・モニ

タが必要である。ミニ・コンピュータ・システムでは、こうした2つのモニタをひとつの処理装置に共存させることは、記憶容量から見てむづかしく、開発段階にはプログラミング・モニタを、実行段階ではリアルタイム・モニタを、といった具合にモニタを入れ直してシステムを運用するケースが一般的である。この場合システム運転時に新しいプログラムの開発が困難になってしまう。本システムでは補助記憶装置を利用して主記憶占有領域1K語のプログラミング・モニタを開発し、2つのモニタ・システムの共存を実現している。ところで、こうした要求は本システムが実験設備として制御方式の変更や解析を制御システム運転中に容易に行なおうとするため、柔軟性に富んだシステムづくりを目指している。ここではソフトウェアの基本となる2つのモニタ・システムについて述べる。

3.4.1 リアルタイム・モニタ

リアルタイム・モニタは割込管理、タスク管理、入出力管理、タイマ管理およびモニタ・サービス管理プログラムから構成され、これらは互に関連し多重プログラミングの手法により最も基本的なリアルタイム処理を行なう。これは処理装置や入出力装置のハードウェアの状態や、プログラム中の特殊な命令によってプログラムの正常な実行を中断させる例外的な機能があるため、この特別な状態を割込みと呼んでいる。これらは処理装置の動作に起因するものと、外部装置によるものとに分けられ、処理装置の割込みは電源異常割込み、メモリバリエイ・エラー割込み、タイマ割込みおよびプログラム割込みが、また外部割込みとしては入出力装置の動作終了割込みと、インターフェイス制御装置からのプロセス割込みとがある。リアルタイム・モニタは、この割込み機能を十分に利用してプログラムの優先処理および並行処理を実現している。

A. 割込管理

FACOM-Rの割込みは2個の命令カウンタを用いて、割込み発生により通常モードからのモード切替えをハードウェアによって行ない割込み処理を実行する。割込み処理ルーチンは割込み発生により必ず起動され、通常モードで走行していたプログラムのレジスタ類の退避、およびどの装置のどの原因によって割込みが発生したかといった割込み原因の調査を行なう。これらは処理装置割込み、入出力装置割込みおよびインターフェイス制御装置割込みに大別され、割込み処理ルーチンは、それぞれの割込み原因に応じた各処理ルーチンに制御を渡す。

B. タスク管理

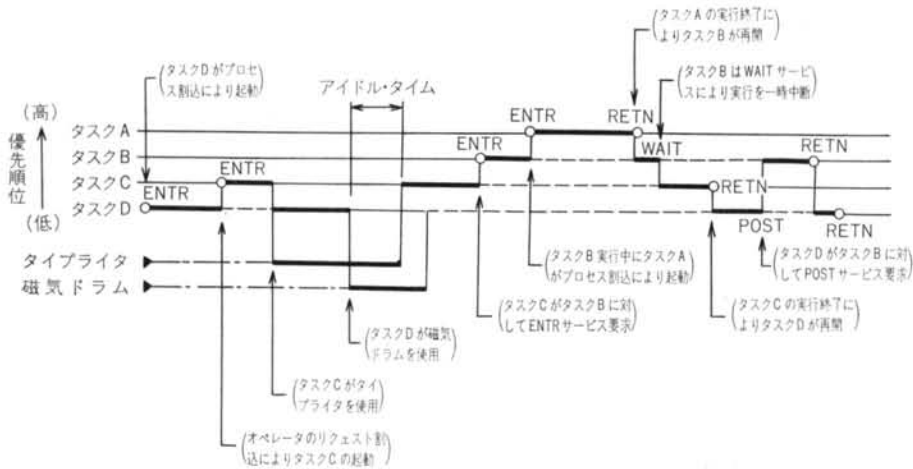


図-18 タスクの動作シーケンス

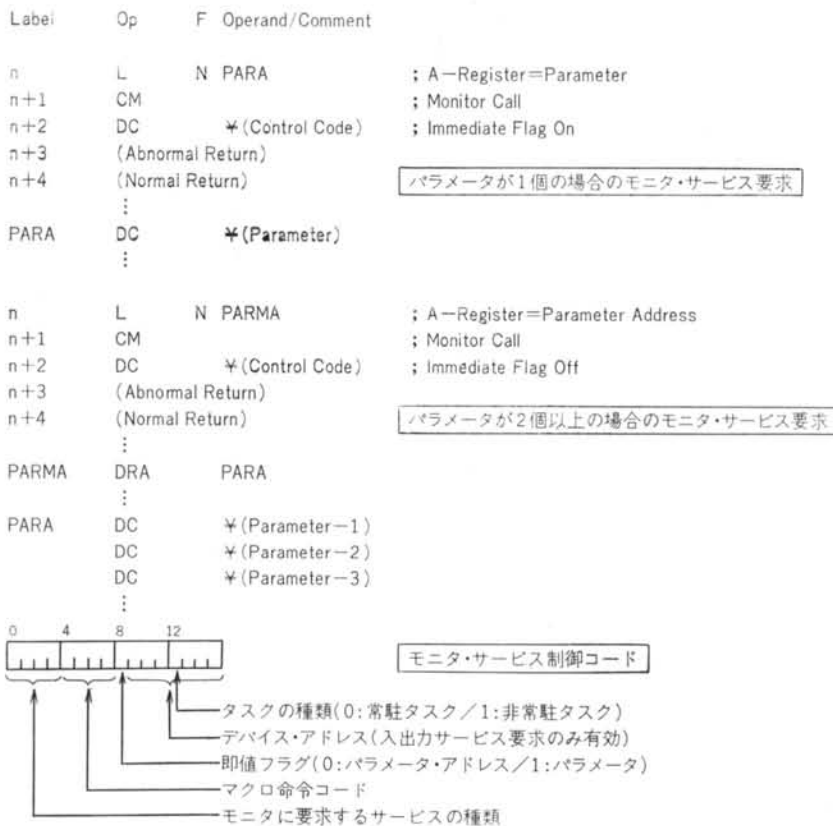


図-19 モニタ・サービスの呼出形式と制御コード

プログラムの実行におけるひとつの処理単位をタスクと呼び、モニタはタスクを実行単位としてプログラムの管理を行なう。リアルタイム処理では、あるタスクの実行中にそれより優先度の高いタスクを実行させたり、ま

た、あるタスクが実行途中で特定の条件が整うまで先へ進めない事象待ちによる空き時間に、他のタスクを動作させるといった具合に、タスクの優先処理および並行処理を行なわなければならない。タスク管理はひとつのタ

スクにタスク制御テーブルを割当て、これによって実行可能待ち行列を形成し、各タスク管理を行なう。タスク管理ルーチンは、こうした待ち行列中の最も優先度の高いタスクを選び、レジスタ類の復元を行なって割込みによって中断したタスクを通常モードで実行させる。図-18には優先処理および並行処理におけるタスクの動作シーケンスの例を示す。

C. 入出力管理

本システムに接続される入出力装置は、大別して基本入出力、ファイル入出力および制御用入出力に分けられる。一般に入出力装置の動作時間は処理装置のそれと比べて遅く、処理装置はこの入出力装置の動作中にすでに起動要求のあった他のタスクを並行して動作させ、処理

速度のアンバランスを是正している。また1台の入出力装置を多数のプログラムが共有するため、こうした共有資材の占有使用を入出力管理ルーチンに入出力待ち行列によって管理する。

D. タイマ管理

本システムに内蔵されているタイマは2種類あり、ひとつは処理装置の持つインターバルタイマで、もう一方はインターフェイス制御装置の持っているリアルタイム・クロックである。タイマ管理ルーチンは、こうしたハードウェアの持っているクロック・パルスによってソフトウェア・クロックを更新し、タスクの定時間間隔処理や定時刻処理、あるいは定時間待ちといった種々のタイマ・サービスを管理している。

モニタ・サービスの種類	マクロ命令コード	制御コード	機能概要
プログラム・サービス I	RETN	¥0000	タスクの実行終了をモニタに通知する
	PAUS	¥0900	タスクの実行を指定した任意の時間だけ待ち状態にする
	WAIT	¥0A00	タスクの実行を一時休止して待ち状態に入ることを宣言する
入出力・サービス	WRTW	¥1001	タイプライタ印字処理を制御する
	RDKB	¥1002	鍵盤読込処理を制御する
	WRPT	¥1003	紙テープ穿孔処理を制御する
	RDPT	¥1004	紙テープ読込処理を制御する
	DMIO	¥1010	磁気ドラムとの高速の情報転送を行なう
	RLC0	¥1700	アルチプレクサ・A-D変換処理を制御する
	WRVD	¥1600	カラーディスプレイ表示処理を制御する
	RDVD	¥1900	カラーディスプレイ鍵盤読込処理を制御する
プログラム・サービス II	ERSE	¥2000	主記憶にロードされていてかつ停止状態のタスクを解放する
	ENTR	¥2100	指定されたタスクを実行可能状態にする
	LOAD	¥2200	タスクを主記憶にロードする
	EXEC	¥2300	タスクを主記憶にロードして起動する
	STOP	¥2400	実行中のタスクを強制的に終了させる
	POST	¥2700	待ち状態にあるタスクを再開させる
タイマ・サービス	CLCL	¥4400	リアルタイム・クロックによるタイマサービス STCL/SICL の取消を行なう
	STCL	¥4600	1日1回指定した時刻にタスクを ENTR または POST する
	SICL	¥4700	指定した一定時間間隔でタスクをサイクリックに ENTR または POST する
	CLTM	¥4800	インターバル・タイマによるタイマ・サービス STTM/SITM の取消を行なう
	STTM	¥4A00	1日1回指定した時刻にタスクを ENTR または POST する
	SITM	¥4B00	指定した一定時間間隔でタスクをサイクリックに ENTR または POST する
ICU・サービス	RDXB	¥5000	クロス・バー交換器からのアナログ・データを A-D変換して読込む
	WRSV	¥5100	指定したサーボ・バルブを指定した制御量だけステップ制御する
	RDPC	¥5200	指定したパルス入力に対して指定時間だけパルスを積算する
	RDAC	¥5400	指定したデジタル積算計の1語のデータを読込む

表-2 モニタ・サービスの種類と機能

サブルーチンの種類	サブルーチン名	番号	記号	大きさ(語)	必要作業領域(語)
固定小数点演算 サブルーチン	固定小数点2語演算	00	DPAT	248	4
	2語シフト	01	SHIFT	111	6
	1語2進-10進変換	08	IBDC	75	5
	1語10進-2進変換	09	IDBC	81	3
	2語2進-10進変換	10	IBDCD	155	18
	2語10進-2進変換	11	IDBCD	138	18
	1語2進-擬似10進変換	12	BBCDC	48	4
	1語擬似10進-2進変換	13	BCDBC	37	4
浮動小数点演算 サブルーチン	浮動小数点演算	16	FLOAT	439	23
	余弦関数/正弦関数	18	COSI	210	40
	逆正接関数	19	ATAN	133	39
	平方根	20	SQRT	109	38
	指数関数	21	EXP	216	36
	対数関数	22	LOG	210	41
	浮動2進-10進変換	28	FBDC	194	36
	浮動10進-2進変換	29	FDBC	220	38
	2進浮動-2進固定変換	30	FLFX	124	28
2進固定-2進浮動変換	31	FXFL	93	29	
データ変換 サブルーチン	バック-アンバック変換	32	PUCON	58	4
	2進浮動-ISO変換	36	FBISO	105	57
	ISO-2進浮動変換	37	ISOFB	66	64
プロセス制御用 サブルーチン	ディジタル出力制御オン	48	PWON	256	7
	ディジタル出力制御オフ	49	PWOFF	256	7
	ディジタル入力制御	50	DIGIN	55	5
	時刻印字	60	TMTYP	66	11

表-3 システム・サブルーチン一覧

E. モニタ・サービス管理

リアルタイム処理に必要な各種サービスを提供する。これらのサービス要求はプログラム中のマクロ命令、あるいはCM (Change Mode) 命令によるプログラム割込みによってモニタに依頼する。表-2にはモニタ・サービスの種類とそれぞれの機能を、また図-19にはCM命令による呼出形式と制御コードを示す。

F. システム・サブルーチン

本システムで利用できるシステム・サブルーチンは、固定小数点演算サブルーチン、浮動小数点演算サブルーチン、データ変換サブルーチン、プロセス制御用サブルーチンに大別され、これらはリロケータブル(主記憶に再配置可能)、リエントラント(多数のプログラムからの同時使用可能)な構造になっていて、主記憶に常駐した形で配置されている。すなわち、ひとつのサブルーチン

ンが多数のプログラムによって共有されても、その論理がくずれないようなリアルタイム処理向きの構造となっている。表-3には本システムで使用可能なサブルーチンを示す。

3.4.2 プログラミング・モニタ

プログラミング・モニタはプログラムの実行過程を制御し、プログラムの開発、デバッグが容易に行なえるようなジョブ管理機能を持っている。プログラミング・モニタはリアルタイム処理中であっても、要求があれば動的に主記憶装置へロードされ実行される。また補助記憶装置内のシステム領域に配置されたモニタ本体は、各セグメントに分割され、1K語の主記憶装置をオーバレイによって能率良く利用している。

A. ジョブ管理

コーディングされたプログラムは翻訳、編集、登録、

制 御 文	ス テ ー ト メ ン ト	機 能 概 要	
ジョブ制御文	//JOB //EOJ	ジョブの開始 ジョブの終了	
実 行 指 示 制 御 文	翻訳処理	/ASMBL, [NAME], [NODECK], [NOLIST], ¥(PNO)	原始プログラムを機械語に翻訳し実行形式プログラムを作成
	モニタ・サービス	/ERSE, ¥(PNO) /ENTR, ¥(PNO) /LOAD, ¥(PNO) /EXEC, ¥(PNO) /STOP, ¥(PNO) /POST, ¥(PNO) /CENTR, ¥(CPNO) /CSTOP, ¥(CPNO) /CPOST, ¥(CPNO)	非常駐プログラムの消去 非常駐プログラムの実行 非常駐プログラムのロード 非常駐プログラムのロード, 実行 非常駐プログラムの停止 非常駐プログラムのポスト 常駐プログラムの実行 常駐プログラムの停止 常駐プログラムのポスト
	編集ユーティリティ	/LOBJ, ¥(LODADR) /LSUB, ¥(LODADR) /ROBJ /WOBJ /PFILE, ¥(PNO) /DELETE, ¥(PNO) /LFOBJ, ¥(PNO) /EDIT	実行形式プログラムを主記憶装置にロード システム・サブルーチンを主記憶装置にロード 紙テープ上の実行形式プログラムの読込み 実行形式プログラムを紙テープ上に書込み 非常駐プログラムの登録 非常駐プログラムの取消し 非常駐プログラムを実行形式プログラム領域にロード 原始プログラムの編集
運 用 ユ ー テ ィ リ テ ィ	/DUMP, ¥(FSTADR), ¥(FNLADR) /MOVE, ¥(FSTADR), ¥(FNLADR), ¥(MOVADR) /CLEAR, ¥(FSTADR), ¥(FNLADR) /READ, ¥(FSTTRA), ¥(FNLTRA), ¥(CORADR) /WRITE, ¥(FSTTRA), ¥(FNLTRA), ¥(CORADR) /DISP, ¥(DSPADR) /STORE, ¥(STRADR) /SYSDMP, ¥(FSTTRA), ¥(FNLTRA)	主記憶装置の任意の領域の内容をダンプ 主記憶装置の任意の領域のデータをムーブ 主記憶装置の任意の領域をクリア ドラム内のデータを主記憶装置の任意の領域に読込み 主記憶装置内のデータをドラムの任意の領域に書込み 主記憶装置の指定されたアドレスからのデータを1語ずつ表示 主記憶装置の指定されたアドレスに1語ずつデータを格納 ドラム内のデータを紙テープにダンプ	

表一4 ジョブ制御文および実行指示制御文

実行といった処理過程が必要で、この各処理をジョブ・ステップと呼んでいる。ジョブ管理ルーチンはジョブ制御文および実行指示制御文によって、これらのジョブ・ステップの連続処理を制御する。表一4にはジョブ制御文および実行指示制御文を、また図一20には実行過程と各制御文の例を示す。

B. マクロ・アセンブラ

制御用システムにおいてはFORTRANなどの高級コンパイラ言語を使用してプログラムを作成することは、命令体系やミニ・コンピュータの持つ記憶容量などを考えるとむずかしく、どうしても機械語に結びついたアセンブラ言語によらなければならない。アセンブラ言

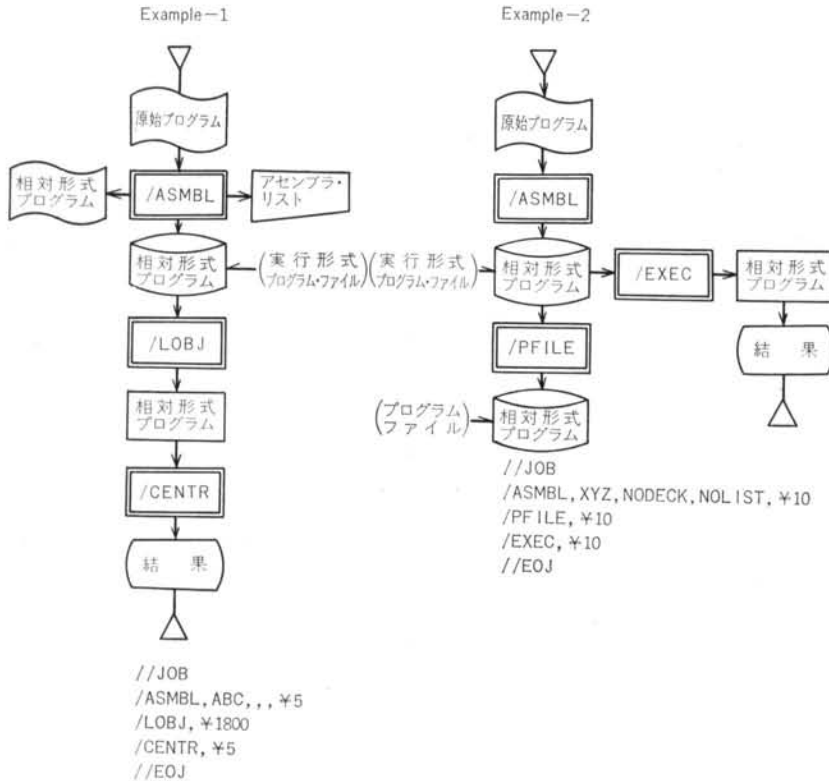


図-20 プログラムの実行過程とジョブ制御文

語は機械語と1対1の対応関係にあり、その意味でコンピュータの持つ機能を余すところなく発揮させることができる一方、コーディングに特殊な技術を必要とし、プログラム開発の能率が低下する。本システムにおいては、こうしたリアルタイム制御に特有な各種サービスをマクロ化して、マクロ命令を利用してコーディングができるようなアセンブラを開発した。このマクロ・アセンブラで使用できる命令は表-5に示すとおりで、大別して実行命令、擬似命令およびマクロ命令に分類でき、プログラム開発が容易にできるように考慮されている。

C. ユーティリティ・プログラム

プログラミング・モニタはコンピュータの操作作業を補助し、アプリケーション・プログラムの作成、デバッグなどをサポートするための各種ユーティリティ・プログラムを用意している。各種ユーティリティ・プログラムは実行指示制御文によって使用でき、表-4にはこれらの制御文と機能を示してある。

命令の分類	命令の種類	Mnemonic	Instruction Name
実行命令	置数・格納命令	L LCR ST	Load A-Register Load CA into A-Register Store A-Register
	演算命令	A S AND EOR	Add Subtract And Exclusive Or
	分岐命令	BL B	Branch and Link Branch
	テスト命令	TMI TMD TAP TAZ TAO TCR	Test Memory Zero and Increment Test Memory Zero and Decrement Test A-Register Positive Test A-Register Zero Test A-Register Overflow Test Carry
	入出力命令	RDA WRA SNS CTL SNI SIO	Read to A-Register Write from A-Register Sense Control Sense Interrupt Start I/O
	制御命令	AKI CM HLT HLE	Acknowledge Interrupt Change Mode Halt Halt in an Emergency
	シフト命令	SRL SLL SRA SLC	Shift Right Logical Shift Left Logical Shift Right Arithmetic Shift Left Circular
擬似命令	翻訳制御命令	BGN ABS END	Define Begin Address Absolute Assembly End of Source Program
	番地制御命令	ORG	Define Origin
	領域定義命令	DS	Define Symbol
	定数定義命令	DC	Define Constant
	番地定義命令	DRA DAA	Define Relocate Address Define Absolute Address
	サブルーチン定義命令	DSE	Define Subroutine Entry
マクロ命令	プログラム・サービス命令	RETN PAUS WAIT ERSE ENTR LOAD EXEC STOP POST	Return Pause Wait Erase Enter Load Execution Stop Post
	入出力サービス命令	WRTW RDKB WRPT RDPT WRVD RDVD DMIO RLC0	Write to Typewriter Read from Key Board Write to Paper Tape Puncher Read from Paper Tape Reader Write to Video Display Read from Video Display Drum I/O Read from Low Speed A-D Converter 0
	タイマ・サービス命令	CLCL STCL SICL CLTM STTM SITM	Clear Timer Service for Realtime Clock Set Time for Realtime Clock Set Time Interval for Realtime Clock Clear Timer Service for Interval Timer Set Time for Interval Timer Set Time Interval for Interval Timer
	ICU・サービス命令	RDXB WRSV RDPC RDAC	Read from Cross-Bar Scanner Write to Servo Valve Read from Puls Counter Read from Accumulator

表-5 マクロ・アセンブラ命令一覧表

