

超小形電子計算機HITAC 10を利用した ラボラトリオートメーション向け コントロールプログラムの開発

Development of Control Program for Laboratory Automation Using Hitachi Computer System 10

The design target for this program was set at achieving such functions as multi-programming and a simultaneous mode for input/output unit as well as flexibility to cope with the change of system configuration, small capacity, small pass time, etc., and these functions and features have been achieved by adopting unified interrupt service withheld to minimum limit, an arrangement by which program priority and system configuration can be changed by simply changing the position of indication, an arrangement by which routines can be inserted into optional positions by connecting them by a program switch, etc. All of these are arranged to be resident in the main memory, and a basic system configuration needs 1 k words, while four to eight k words are required in the case of a large scale configuration. Pass time for each interrupt is several hundred used and a sampling time of 1 msec is made possible at 16 channel analog data acquisition at the same point.

村松淳彦* *Atsuhiko Muramatsu*

土居慶司* *Keiji Doi*

1 緒 言

計測関係における自動化への過程は、

- (1) 固定的な実験計測機器類(以下、機器類と略す)を測定者が直接操作、測定する段階
- (2) 機器類の機能が上がり、ある程度の自動計測を行ない、動作設定と結果の取込みを測定者が行なう段階
- (3) 機器類に計算機を接続して柔軟性のある自動計測を行ない、動作手順の設定と結果の取出しを任意に楽に行なう段階であり、今日では、これら3段階が混在して使われている。
- (4)の段階はようやく始まったばかりであり、簡単な計測のみを行なっているのが現状である。

その理由は、計測関係における実験手順が、不確定であり、かつ、コンピュータシステムにおけるコントロールと処理の分離という概念が確立されていないものが大部分であることによる。さらに、そのことがコンピュータシステムにおけるコントロールという概念の欠如であることは、容易に理解されることである。このため、特に基本的と思われる計測関係の計算機利用の問題点を抽出して、この解決を図るためのコントロールプログラムの構成方法の原理を示し、この原理に従ったコントロールプログラムの構成方法と動作について述べ、実際の応用例における試験結果を示した。

2 応用範囲の設定

実験計測関係における情報処理システムとしてのラボラトリオートメーションの内容は、大別すると計測と解析に分けられる。計測と解析は表裏一体であり、計測結果を解析し、その結果を計測手順にフィードバックさせ、この過程をくり

返すことで目的結果を得る方法が一般的である。図1はこの過程を示したものである。このうち、現在は超小形機で行なっているのは計測が主体であり、一般的な処理概要は、実験計測機器類からの計測データを直接計算機に取り込み、スムーズイング(Smoothing)、フィルタリング(Filtering)、スケールリング(Scaling)などの処理を行ない、解析に利用できる程度の整理されたデータファイルを作成することである。このためには、入出力装置類の同時動作と、処理プログラムの並行処理が可能なコントロールプログラムのもとで行なわれる処理形態が一般的となる。

実験計測の処理手順は確立されていないものが多く、計測中に実験段階と計測条件を任意に指定できることが必要であり、各種実験計測機器類と容易に接続できることが望まれている。

それらのことから、計測関係には簡単に、自由に扱え



図1 結果を引き出す段階からシミュレータまでの過程 現象を単にとらえる段階から解析を含む段階を経てシミュレータ的段階に至る過程を示す。

Fig. 1 Process from Data Gathering to Simulator

* 日立製作所コンピュータ第二事業部

る超小形機が比較的適している。

従来の超小形機による計測では、たとえば波形処理では100 Hz程度以下の比較的低速の定常状態における現象の計測のみが可能となっているだけであり、それ以上の高速の現象および過渡現象などの解析計測は現在のところ不可能に近いとされている。このため、処理とデータ取込みの連絡を効率よく行なうことによって、従来の低速の定常状態とそれ以上の高速現象までの範囲の解析計測を応用対象とした。

3 問題点の抽出と解決原理

3.1 問題点の抽出

従来のコントロールプログラムで計測関係を行なった場合、高速のデータ取込みが不可能であり、各種実験計測機器類を任意の組合せで計算機システムに接続できる自由度がないといった不都合を生じていたが、それらの最大の原因は、計測関係の実験手順が不確定であるため、処理内容を規定できないことにあった。それらのことは、データの取込みと処理の連絡を効率よく制御することをほとんど不可能にすることを意味する。それら欠点を持つ従来のコントロールプログラムの問題点は次の2点に集約しうる。

- (1) 処理ブロックとコントロールプログラムが一体であり、両者の連絡機能が不明確であり、これはコントロールプログラム内部の各ルーチン間についても同様であり、コントロールプログラムの拡張性を阻害している。
- (2) 多数の入出力装置を処理と結合して高速に同時動作させる方法が確立していない。

3.2 解決原理と応用手順

今までに述べた種々の問題点の解決を図るための基本原理は、次に述べるように簡単、かつ一般的なものである。

すなわち、

表示類を統一することによって、表示類の一括判定処理が可能である。

この原理を応用するためのコントロール各要素の統一化は次に示すとおりである。

(1) インタラプトの機能統一

実際の計測システムでは多数のインタラプトを使い、その意味もさまざまであるが、ここではインタラプトの意味を限定して、すべてのインタラプトを二つの要素に対応させることにより機能の統一を図る。その要素の一つは入出力装置であり、他は処理プログラムである。

したがってインタラプトは、すべて入出力装置、または処理プログラムに対応する。これらの本質的な意味の相違は、前者が処理に無関係であり、後者が処理に関係するという点である。分離されたおのおののインタラプトを、装置インタラプト、処理インタラプトと呼ぶ。

(2) 入出力装置類の機能統一

装置類はその動作の相違から、低速装置と高速装置に分類される。低速装置とは、1回の動作指定によって一順の動作しか行なわないものであり、高速装置とは、1回の動作指定によって一順の動作を指定量だけくり返す装置である。入出力処理の方法は、低速装置に対しては複数回の動作指定により、高速装置に対しては1回の動作指定によって行なう。入出力動作は低速装置か高速装置かの相違のみとなり、おのおのはすべて同一手順にて動作される。

(3) 処理とコントロールの連絡機能の統一

処理ブロックの手順を変化させる唯一の原因は、処理インタラプトであり、使われ方が固定的な通常の入出力装置を除い

た他のすべてのインタラプトが含まれる。

したがって、コントロールより与えられる処理インタラプト情報によって、処理ブロックは自身の開始、終了を含めたすべての動作手順の管理を行なう。

逆に、処理よりコントロールへの連絡機能は、入出力処理の動作指定であり、これは装置類の番号と動作量を指定することによってなされる。

4 コントロールプログラム能力の設定と各部構成技術

4.1 コントロールプログラム能力の設定

コントロールプログラムの能力程度を次のように定めた。すなわち、

- (1) 計測データを連続して多量に取り込みながら他の入出力装置が利用でき、複数の処理ブロックの同時処理が行なえる。
- (2) 計測システムの機器構成が変化しても、容易に拡張、縮小が行なえる。

4.2 各部の特長的構成技術

4.2.1 表示の構成法

コントロールプログラムの各要素に対応する表示構成は、以下に示すとおりである。

(1) 装置関係

装置関係において必要とされる変数(情報)は、装置番号と処理ブロック番号である。装置動作管理で用いられる(未済)、(未使用)、(開始)、(待ち)各表示の形式を図2(a)で示し、各表示の意味を述べる。

(a) 未済

この意味は処理ブロックが装置動作を要求していて、装置動作が完了していないことを示す。完了しているときは(済み)となる。

(b) 未使用

装置動作が要求された場合、その装置が他の処理ブロックによって要求され使用されていないことを示す。使用されているときは(使用中)となる。

(c) 開始

装置動作開始時に初期設定が行なわれていないことを意味する。初期設定とは、高速装置であれば動作開始指定そのものになるが、低速装置ではくり返し動作量の設定と第1回めの動作指定となる。

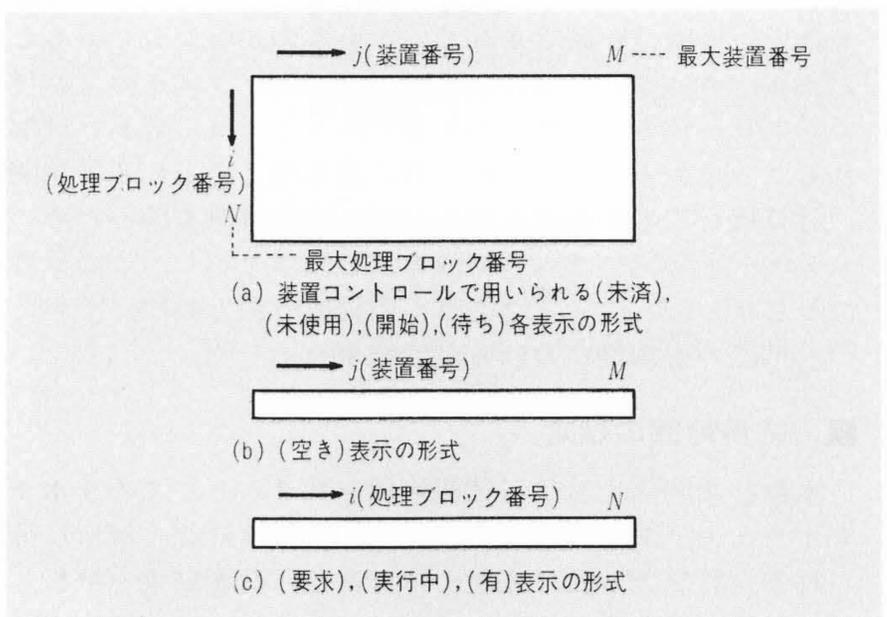


図2 表示の形式 実際には横軸(j)はコアメモリの1語のビット方向を用い縦軸(i)は語方向を用いる。

Fig. 2 The Format of Each Indication

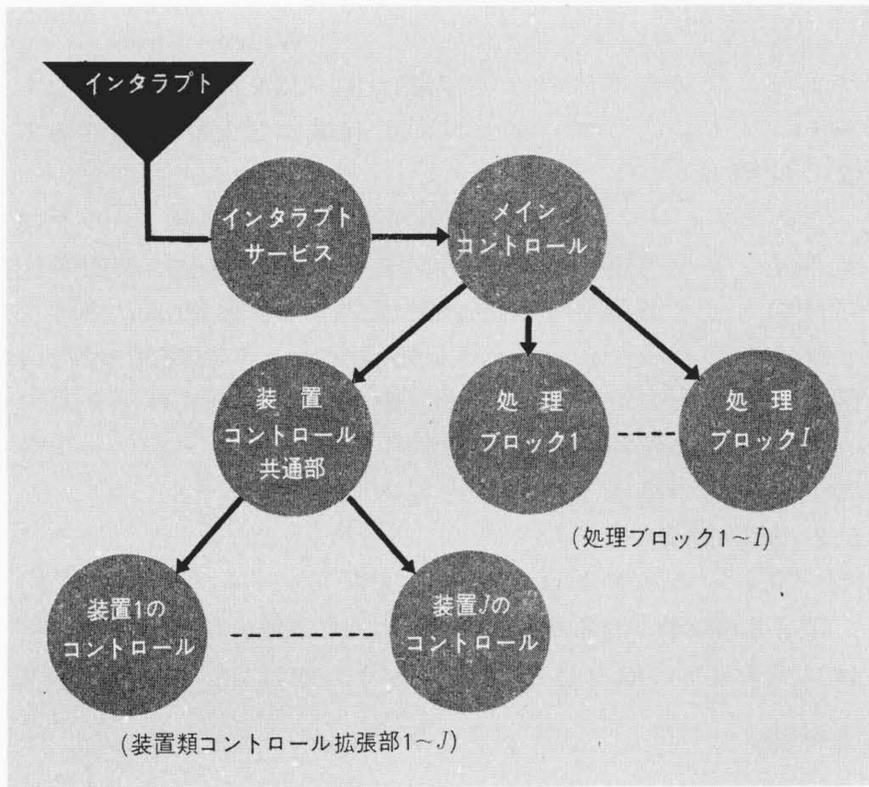


図3 コントロールにおける各ルーチンの構成 拡張性を得るために装置コントロール部は分離されている。

Fig. 3 The Flow Connection of Routines Concluding this Control Program

(d) 待ち

装置動作が行なわれているとき、その処理ブロックを実行することができない。処理ブロックが動作終了を待つ状態を意味する。

(2) インタラプト関係

装置インタラプトの表示は(空(あ)き)と呼ばれ、変数は装置番号である。処理インタラプトの表示は(要求)でありその変数は処理ブロック番号である。(空(あ)き)、(要求)の意味は次のとおりである。

(a) 空き

装置が動作していない状態を意味する。すなわち、装置インタラプトを装置動作の終了と考える。

(b) 要求

処理ブロックの動作起動が要求されていることを示す。図2(b)、同(c)は、(空(あ)き)、(要求)の表示形式をそれぞれ示すものである。

(3) 処理ブロック関係

複数処理ブロックの同時動作ではインタラプトの待避、回復が行なわれる。このための表示(実行中)、(有)の変数は処理ブロック番号である。

(a) 実行中

処理ブロックが実行されていることを示す。処理ブロックで要求された装置動作が動作中は、(実行中)は取り消される。

(b) 有

インタラプトによって処理ブロックが中断されている状態を意味する。

4.2.2 コントロール各部の構成と連絡方法

コントロール プログラムを構成しているおもなルーチンは、インタラプト サービス、メイン コントロール、装置コントロールである。図3はそれらの構成を示すものである。各ルーチンの構成を次に述べる。

(1) インタラプト サービス

インタラプトの待避とすべてのインタラプトの表示への登録を行なう。インタラプト サービスとメイン コントロールの

連絡は(要求)のみによって行なわれる。図4は、インタラプト サービスの流れを示すものである。

(2) メイン コントロール

(未済)、(待ち)、(要求)の各表示から得られるシステムの状態を判定して、装置コントロール、処理ブロックのいずれかへ制御を渡す。

したがって、メイン コントロールと装置コントロールの連絡は(未済)、(待ち)によって行なわれる。図5はメインコントロールの流れを示したものである。

(3) 装置コントロール

装置コントロールは、コントロールプログラムの拡張性を得るために共通部と拡張部より成る。共通部は(未済)、(未使用)、(待ち)、(空き)より必要装置番号を選択して該当する拡張部へ制御を渡す。したがって、拡張部は装置番号に対応し、装置の動作実行を行なう。図6、7はそれぞれ共通部、拡張部(高速装置の例)の流れを示したものである。

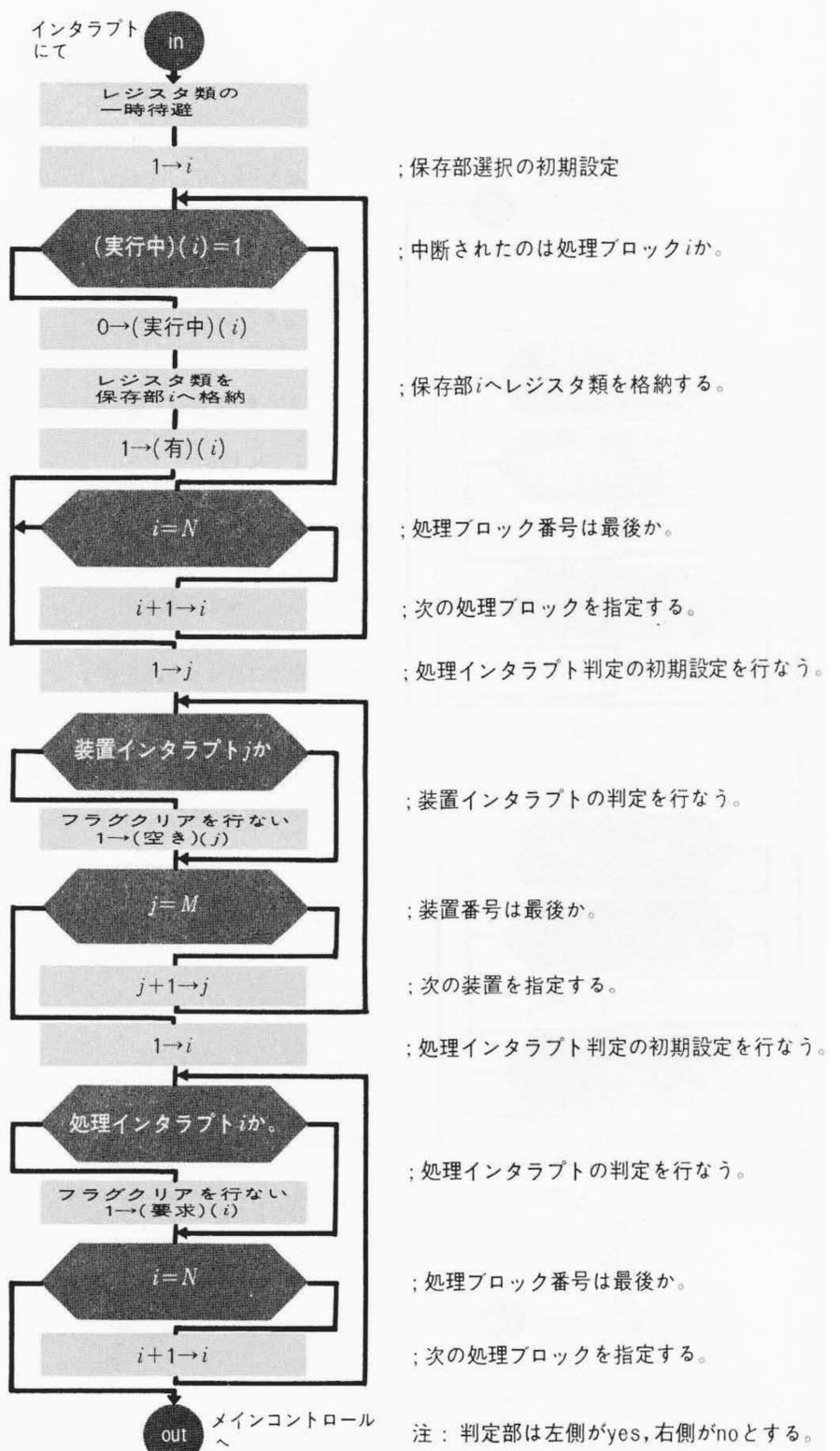


図4 インタラプトサービス部の流れ図 j番めの装置を(空き)にするのを1->(空き)(j)のように示す。m, nはそれぞれ最大装置番号, 最大処理ブロック番号を示す。

Fig. 4 The Flowchart of Interrupt Service

5 応用例の試験結果

5.1 応用例

(1) 概略仕様

今回開発されたコントロールプログラムの概略仕様は次のとおりである。

- 同時動作を行なう処理ブロック数…………… 3 本
- 同時動作を行なう入出力装置数…………… 8 台

装置の内訳は、

(i)A/D変換器(16チャンネル)	Read	低速
(ii)磁気ドラム	Read/Write	高速
(iii)磁気テープ	Read/Write	"
(iv)ラインプリンタ	Write	"
(v)カードリーダー	Read	"
(vi)紙テープリーダー	Read	低速
(vii)タイプライタ	Read/Write	"

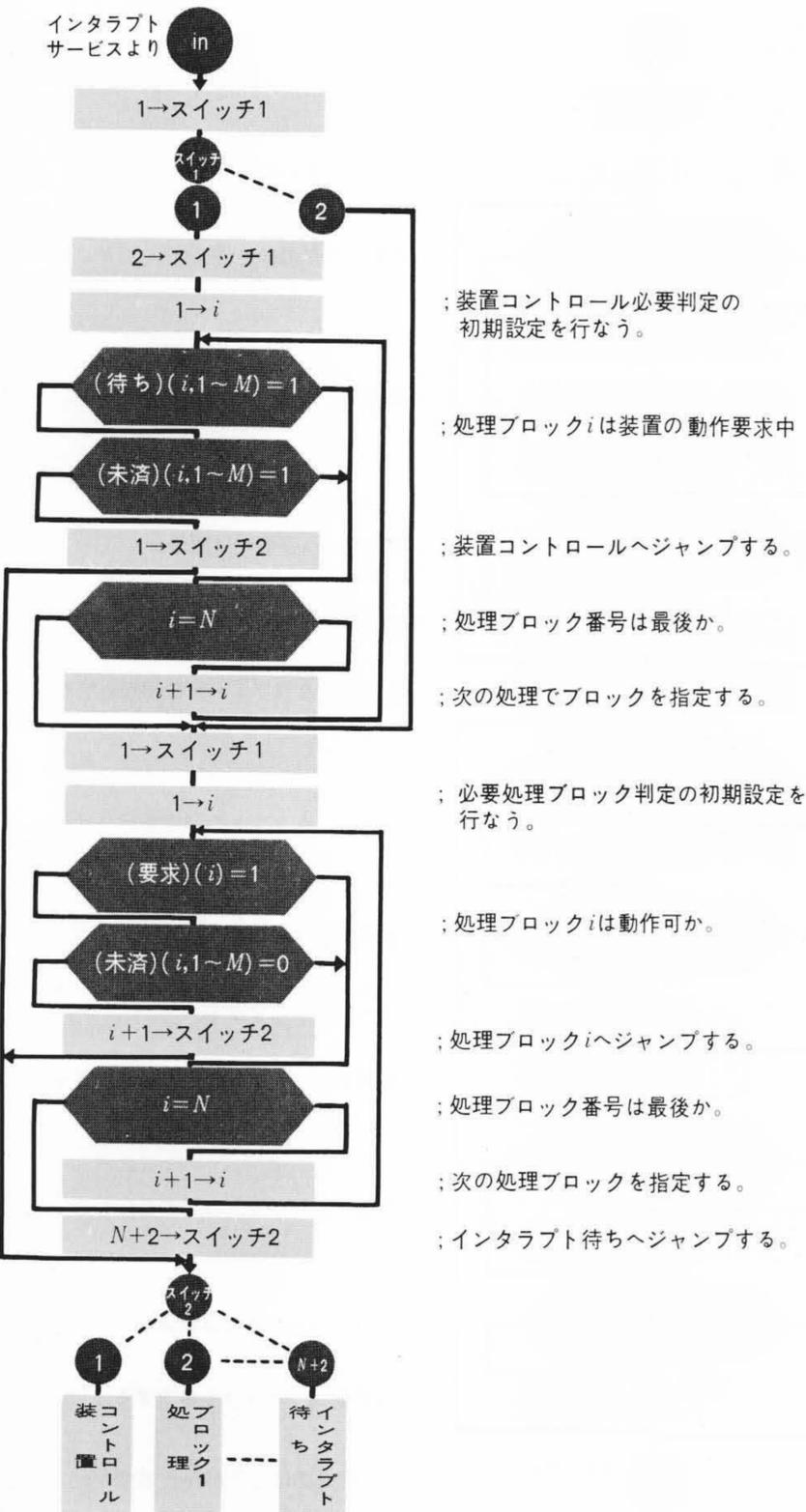


図5 メインコントロール部の流れ図 スイッチ1は装置コントロールに計算機が占有されるのを防ぐ。

Fig. 5 The Flowchart of Main Control

(ii) X-Yプロッタ

Write 低速

であり、計算機本体のコア容量は8~32k語で使用可能である。コントロールプログラムの占有量は3k語程度である。

(2) 使用方法

このコントロールプログラムのもとで動く処理ブロックは、処理インタラプトの管理、インタラプトの回復、装置動作終了後のもどり位置判定などの処理ブロック制御部と処理ブロック本体から成り立っている。処理ブロック制御部の流れは、図8に示すとおりである。また表1は、処理ブロックにおける低速装置の使用手順と装置動作実行中のコントロール各部の表示動作の様子を表わしたものである。

5.2 試験結果

(1) 多チャンネルアナログ同時取込み

電子計算機によるアナログ取込みの形態は二つある。一つはコアメモリに取り込む形態であり、他はコアメモリを介して

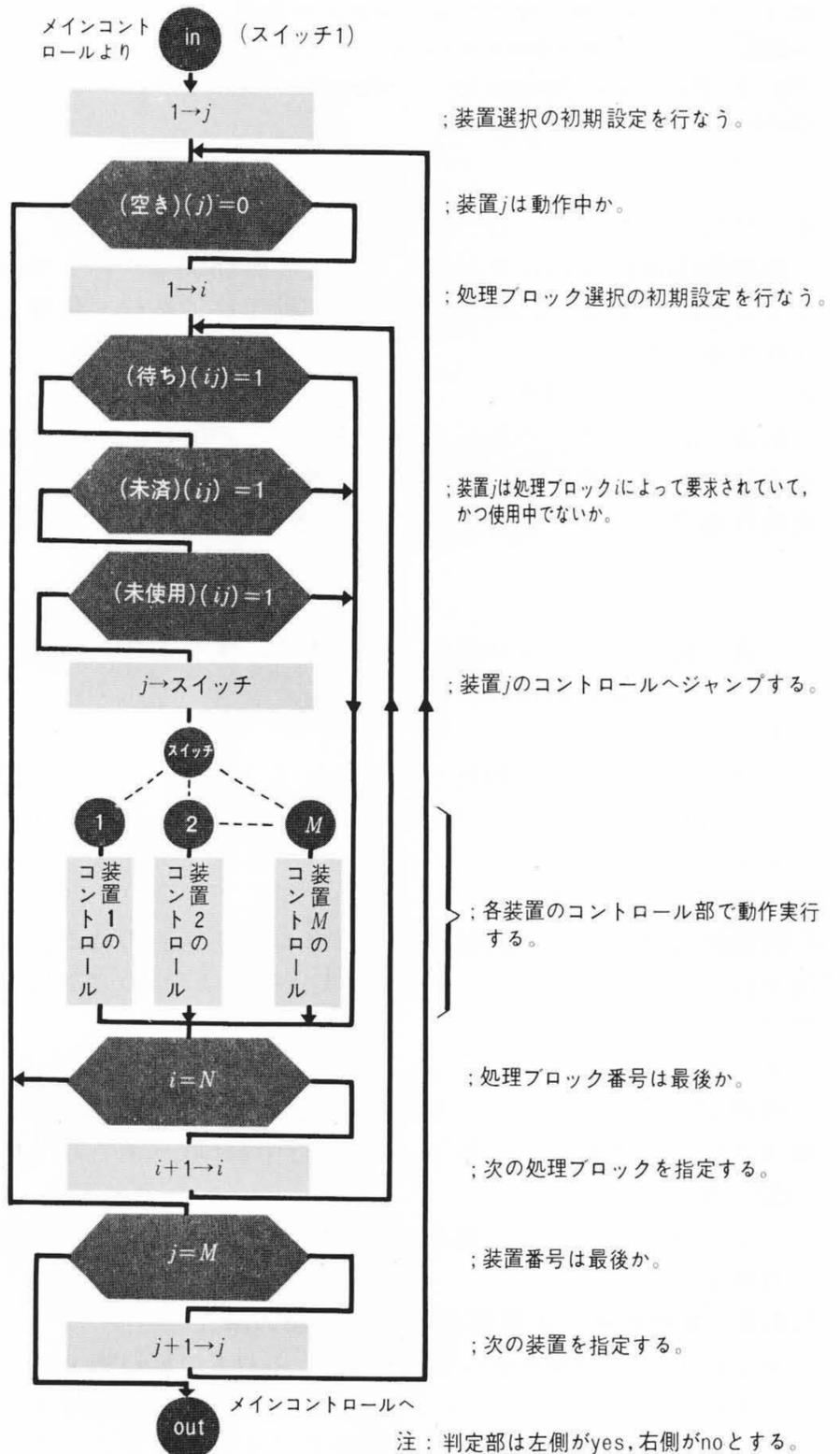


図6 装置類のコントロール共通部の流れ図 処理ブロックより装置動作指定が行なわれている装置番号を選択して制御を渡す。

Fig. 6 The Flowchart of its Common Part Controlling Input-output Units

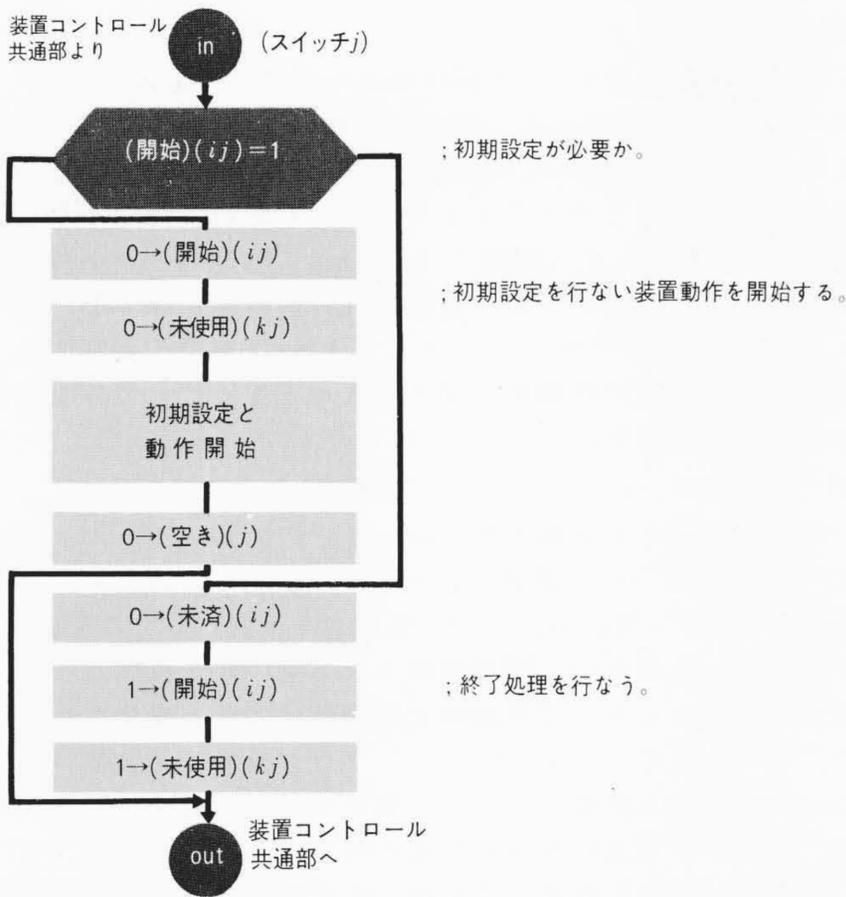


図7 装置コントロール拡張部の流れ図 高速装置の動作実行過程を示す。

Fig. 7 The Flow Chart of Variable Part in its Input-output Control (Example of Continuous)

補助記憶装置に取り込む形態である。コアメモリのみを利用する形態では、高速に取り込むことが可能となるが連続して多量のデータを取り込むことはできない。また、補助記憶装置に取り込む形態では、連続的に多量のデータを取り込むことが可能となるが、A/D変換器と補助記憶装置の同時動作が行なわれるため、取り込み速度はわずかに下がる。一方、多チャンネル同時取り込みでは、チャンネル数が増すほどコントロールプログラムの通過時間も増す。コアメモリ取り込みにおけるサンプルタイムと計算機本体使用率の関係は図9に示すとおり

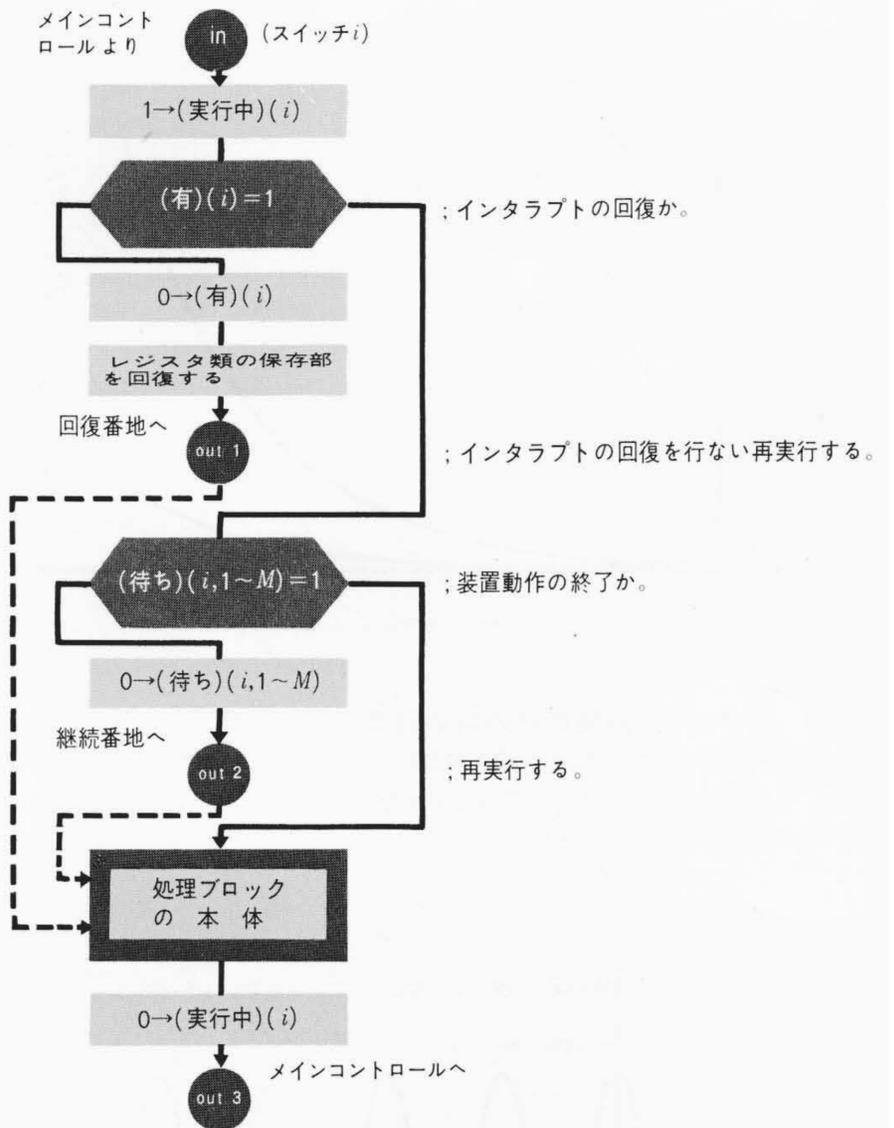


図8 処理ブロックの流れ図 処理ブロック制御部におけるインタラプトの回復、装置動作終了処理を示す。

Fig. 8 The Flowchart of Processing Blocks⁽¹⁾ Note (1) : An Unsegmentable Users Program

である。これは、計算機本体にHITAC 10IIを使った場合の理論値である。これから、コアメモリ取込みでは、サンプルタイム1ms、16チャンネル同時で、使用率94%となり、取込み

表1 処理ブロックiにて低速装置jの動作要求を行なった場合のコントロール各部の流れと表示動作
低速装置では④→⑤→⑥→④を装置インタラプト数(データ転送数)だけくり返す。

Table 1 The Flow and Expression of its Works of Each Part Concluding Control Program on Request of "j-th" non-Continuous Unit

動作ルーチン名	表示動作	条件	説明
① 処理ブロック i	1→(待ち)(ij) 1→(未済)(ij)	—	装置 j の動作要求を行なう。②へ
② メインコントロール	—	(待ち)(ij)=1 (未済)(ij)=1	装置コントロールへジャンプする。③へ
③ 装置コントロール (j)	0→(開始)(ij) 0→(未使用)(kj) 0→(空き)(j)	(待ち)(ij)=1 (未済)(ij)=1 (未使用)(ij)=1 (開始)(ij)=1 (空き)(j)=1	初期設定を行ない、第1回目の動作を開始する。④へ
④ インタラプトサービス	1→(空き)(j)	—	装置終了インタラプトによる。⑤へ
⑤ メインコントロール	—	(待ち)(ij)=1 (未済)(ij)=1	装置コントロールへジャンプする。⑥へ
⑥ 装置コントロール (j)	くり返しなら、 0→(空き)(j) 終了なら、 0→(未済)(ij) 1→(開始)(ij) 1→(未使用)(kj)	(待ち)(ij)=1 (未済)(ij)=1 (未使用)(ij)=1 (開始)(ij)=1 (空き)(j)=1	くり返しなら第n回目の動作を行ない、終了インタラプトを待つ。④へ 終了なら終了処理を行なう。⑦へ
⑦ メインコントロール	—	(要求)(i)=1 (未済)(il)=0 **	条件に従って、処理ブロック i へジャンプする。⑧へ
⑧ 処理ブロック i	0→(待ち)(ij)	(待ち)(ij)=1	処理を継続する。

注：* k=1, 2, …, N ただし k ≠ i (処理ブロック i を除いたすべて)
** l=1, 2, …, M (装置のすべて)

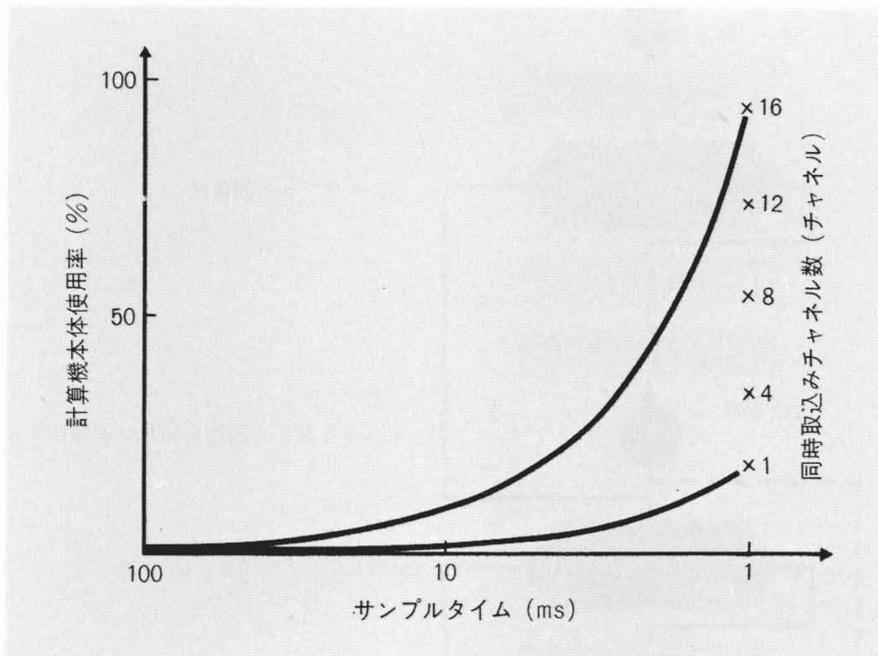


図9 多チャンネル同時取込み時の計算機本体使用率 HITAC 10II による理論値を示す。HITAC 10の場合、使用率が1.4/0.9倍になる。

Fig. 9 Actual Machine Time on Multi Channel Analog Data Acquisition at Same Point

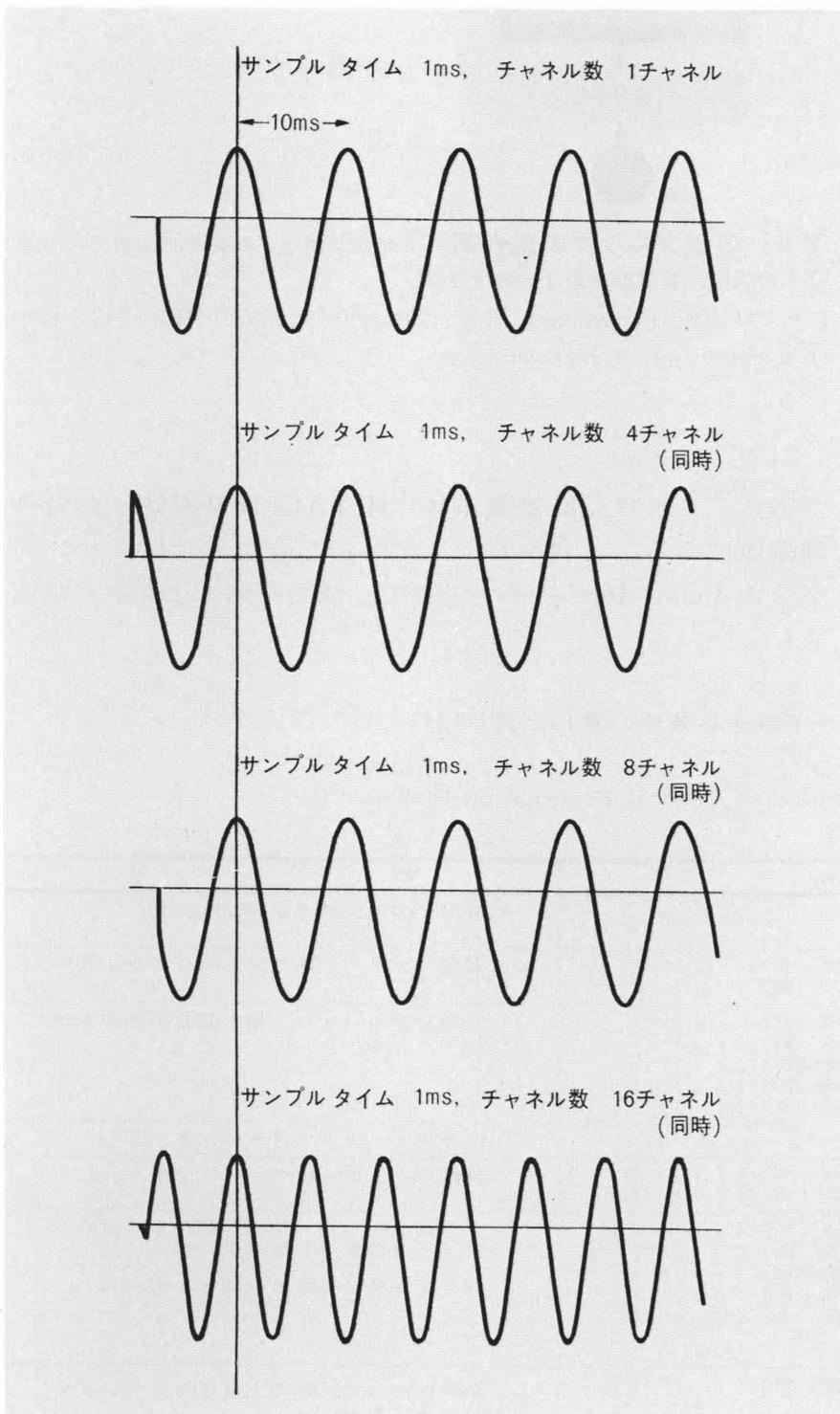


図10 多チャンネル同時取込みの実際データ 100Hzのsine波を、同時取込みチャンネル数を1, 4, 8, 16チャンネルと変えて取り込んだもの、16チャンネルで遅れが生じている。

Fig. 10 Example Data on Multi Channel Analog Data Acquisition at Same Point

可能となっている。

図10は実際の多チャンネル同時取込みデータを、X-Yプロッタに書かせたものである。測定波は100Hzの定常波形であり、これをサンプルタイム1ms、同時取込みチャンネルは1, 4, 8, 16チャンネルでのコアメモリ取込み形態にて行なわれた結果である。16チャンネル同時では、1msで取り込みが不可能となっていることがわかる。これは計算機本体がHITAC 10であるため、これのサンプルタイム1msにおける同時取込み可能チャンネル数の計算値は10チャンネルとなっていて、実測値と合うことが示される。

(2) コントロールプログラムの拡張性

実際のルーチン各部の作成は、インタラプト サービス、メインコントロール、装置コントロールの順序であった。これらのテストラン方法は、一つの装置コントロールができると、テストランを行ない、順次装置コントロールを拡張してゆく方式がとられたが、この過程で問題はほとんど発生しなかった。したがって、本コントロールプログラムは、装置コントロールに関する拡張性を十分に備えていると考えられる。

(3) 処理ブロックの作成容易度の改善

処理ブロックを作成する場合、まず処理ブロック制御部を作成する必要がある。これは装置類の動作指定、処理インタラプトの判定、インタラプトの回復などに関して表示類を直接操作するため、一般ユーザーにとってはかなり困難なものとなり、かつ誤りを起こしやすいものである。

このため、従来のコントロールプログラムで行なわれているマクロ命令による動作指定を含めた、標準的な処理ブロック制御部を作成付加した。これによって、コントロールプログラムの処理能力を落とすことなく、処理ブロックの作成容易度を改善することができた。

しかしながら、このことによってコントロールプログラムの拡張性が阻害される可能性がでてきた。

超小形機程度のコントロールプログラムでは、操作性を上げると拡張性が失われる傾向があり、これは、ハードウェア体系を含めて、計算機システム全体を検討することにより解決されるべき問題であると思われる。

6 結 言

アナログデータの取込み速度と拡張性に関する設定能力について、取込み速度はサンプルタイム1ms、16チャンネル同時までが可能となった。また装置コントロールに関する拡張性が得られたことによって、機器構成の変化に容易に対応できるものとなった。

一方、処理プログラムの作成容易性については改善され、インタラプトを全く考慮することなしに処理プログラムを組むことが可能となったが、拡張性がいくらか失われる結果となった。

計測関係における計算機システムの応用は始まったばかりの段階であり、高度の能力が要求される対象が大半で、処理手順の組合せの複雑なものが多いのが特徴である。

このような状況のもとでは、従来の単純な計測処理ではなく解析までを考慮した解析計測を行なう必要がある。それには計算機システムの使われ方の標準化を行なうことが不可欠となり、標準言語を規定して操作性を向上させることが必要となる。

終わりに臨み、それらの中心となるものの一つとしてコントロールプログラムに関する識者各位のご高見をいただきたく念願するものである。