

マイクロコンを中心とした研究室自動化

LABORATORY AUTOMATION BASED ON MICROCOMPUTER

山岸 一郎 尾上 守夫

Ichiro YAMAGISHI Morio ONOE

東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

(1) まえがき

研究所においては、社会の要求あるいは将来に起りうる要求に対処できるように、多種多様な研究が行なわれている。これらの研究を効率よく行なうためにラボラトリー・オートメーションは重要な位置をしめていると思われる。

最近のマイクロコンピュータの性能や機能は著しく向上し、それと各種のLSI, ICなどを組合せて種々のデータ収集および制御などを経済的かつ柔軟性に富んでオンラインで行なうことが容易になり、できている。

当研究室ではマイクロコンピュータを中心とした研究室における各種計測器および実験機器とのオンラインデータ収集システムを開発し、これを当所の多次元画像処理センター(1)と伝送線を介して接続して、実時間処理を実現している。また、入出力機器の制御はCPUチップとPROMによる制御に移しているが、その機器とのオンライン動作が可能にようにシミュレータが接続されており、書き込み器と併せて自己増殖ができるようにシステムが組まれている。

ここでは、マイクロコンピュータを中心とした現在におけるシステム概要を、具体的な利用状態を例に示しながら報告する。

(2) ラボラトリー・オートメーション

従来使用されてきた方法は図1に示すように、-

台のミニコンヒュータ(以下MCと略す)を中心に入出力装置や実験機器が接続され、情報管理からデータ収集、処理まで集中して行なう方法であった。そしてMCが長時間専有されることを避けるために、一般に実時間処理よりモシテム全体のスループットが重要視されていた。

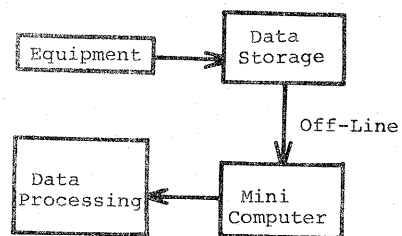


図1 従来のデータ収集処理システム

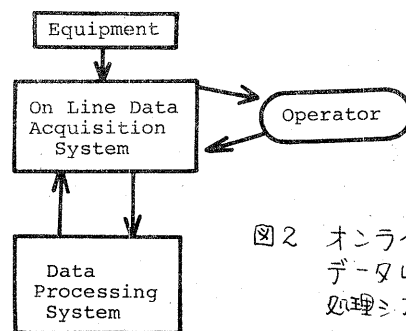


図2 オンラインデータ収集処理システム

ところが規模が拡張されコンピュータの利用台数が増加しユーザーからの依頼が多くなると、このような集中形では能率が悪くなり、分散化が行なわれるようになる。また分散処理では、システムの他の部分にあまり大きな影響を与えずに、新しいアプリケーションを追加できる利点がある。そして被測定物とコンピュータの距離が物理的に離れているような実験室にもリモート・ターミナルを設けることにより、中央のリソースを有効に利用することができる。また研究室自動化に対しては、マイクロコンピュータ（以下MCと略す）の出現により安価に研究対象の変化に応じて、信頼性の高い柔軟性を持ったシステムが容易に組めるようになった。

このようなシステム（図2）にすると、装置の調整あるいはデータのチェックなどをオンラインで行なうことができ、研究開発の時間的短縮が図れると同時に、センターの端末に接続することによりオンラインデータ収集および処理が容易に行なえるようになる。(2)

〔3〕 LAにおけるマイクロコンピュータの意義

MCとMCとの大きな差はMCは自己増殖ができることであろう。すなわちMCの構成がきまり、ソフトの開発が完了すればそれをP-ROMに書込んで全体を数枚のプリント板にまとめることができる。価格も安いから各実験装置ごとに新しく専用のMCを設けることができる。

しかしこれを能率よく行なうためにはソフトの開発のためにかなりの支持環境が必要である。簡単なソフトならばMC自身を開発、試験することができるが、少し複雑なものでは大変手間と時間がかかる。そのため大型計算機によるクロス・アセンブラ、エディタ、シミュレータなどの支援がよく使われているが、LAにおいて最も必要とされている入力などの制御はタイミングなどの問題があり、完全なシミュレーションは困難である。

一番便利なのは十分なデジタル入出力(DI/DO)およびアナログ入出力(AD/DA)を附設したMCで専用システムを開発し、ソフトが固定したS-P-ROMにより、自己増殖する

という方式である。これならば入出力を実際と同じ構成にできるし、タイミングを同じCPROおよび命令を使うので問題ない。このためにはMCにかなりの記憶容量とアセンブラ、エディタ、ディバグなどのシステム開発プログラムが整備されていることが必要になる。幸にしてフロッピー・ディスクのような安価な補助記憶がMC用に得られるので、それに基づいたディスクベースのシステムプログラム(FDOS)が容易に入手できるようになってきた。

一方、MCはMCに比べて処理機能や速度は劣っている。たとえば、浮動小数点演算機能が欠けている。LAでは、共用のセンターや大型のMCなどを利用できることが多いので、少し高級な処理はMCで無理に行なおうとせずにとちらへ送って処理し、結果を送り返してもらう方が効率的である。そのためのオンライン接続ができることが望ましい。

〔4〕 マイクロコンピュータを中心としたオンラインデータ収集処理システム

図3がわねわねで開発したシステムである。さらにこのシステムは当所の多次元画像処理センターの端末であるMC(CHP-2108)を介してオンラインでつながっており、複雑な処理や画像表示はそちらで行なうことができるようになっている。MCを直接MCの開発に使用していないのは、MCの周辺機器がはるかに安価であること、それとこのシステムプログラムがほぼ独立に使える両者の連携が最少の労力で行なうことができること、前述のMCの自己増殖ができることなどの理由による。

MCとしては普及度やセカンドリースの点から8080を選んだ。したがって、データ収集の中心をなすMCとしては命令体系を同じにするSMP-80/20を使用した。これは一見MCに見えるがCPUは8080を使用している。入出力は、図示のAD、DI/DOのモジュールより構成されていて、各種のアナログ量、デジタル量が扱える。DAは必要ならばDA変換器を外附することになっている。

2軸のフロッピー・ディスクにより、システムプログラムおよびデータが収録され、キーボード

ドつきディスプレイで対話型処理が可能とな
ている。(3), (4), (7)

書き込み器もオンラインで接続されており

CPUの主記憶上で開発したプログラムは番地
算の必要な情報を变换後一旦ディスクに収められ、
P-ROMに書き込むようになっている。

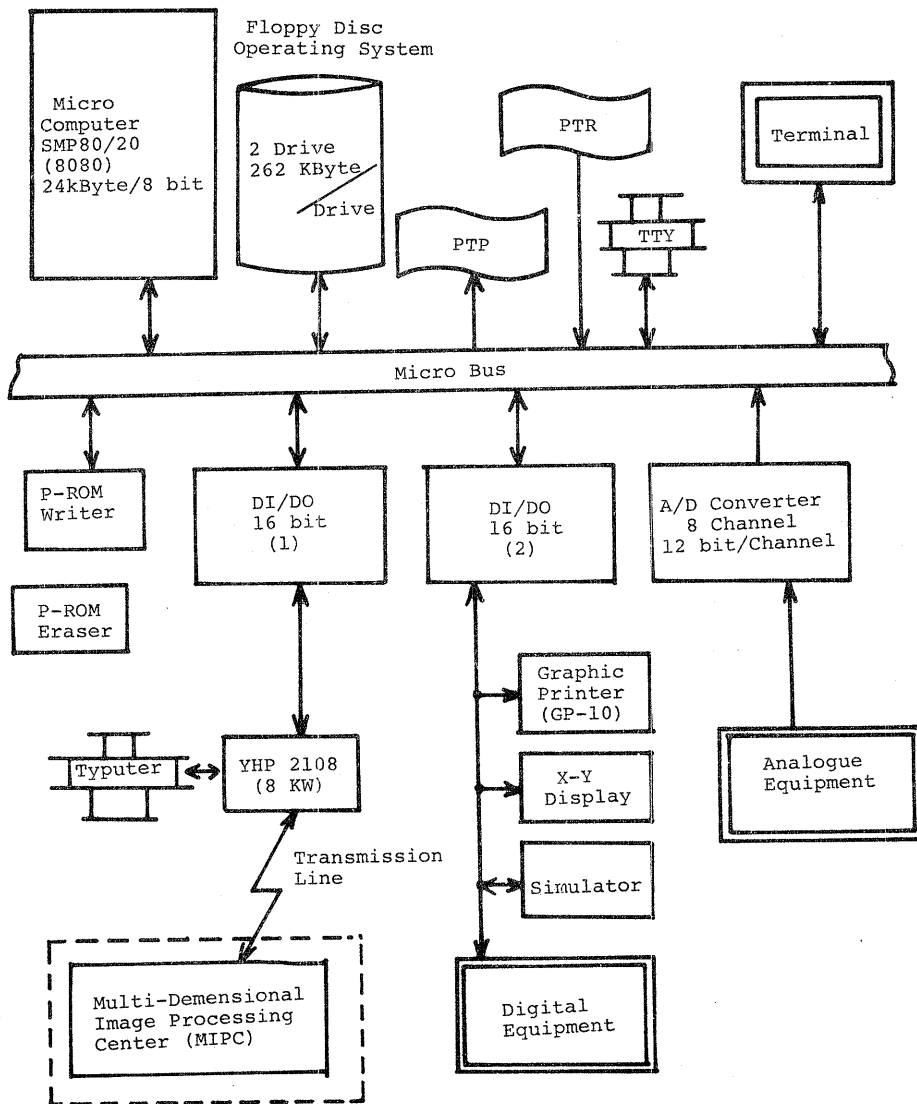


図3 マイクロコンピュータを中心とした
LAシステム全容

(4-1) シミュレータ

本システムにはMC内蔵機器の開発を能率的に行なうために、別個のCPUを有するシミュレータを接続してある。本体(SMP 80/20)で開発したプログラムをシミュレータのRAMに送り、直接その機器あるいはこれが別の入出力装置に接続されている場合も、これように試作したI/Oボードをシミュレータのスロットに挿入するだけで、オンライン動作のチェックができる。そして修正が終り、正常に動作することが確認されたら、このプログラムをその機器用に番地などをえてP-ROMに書き込むことによりソフトの開発は完了する。

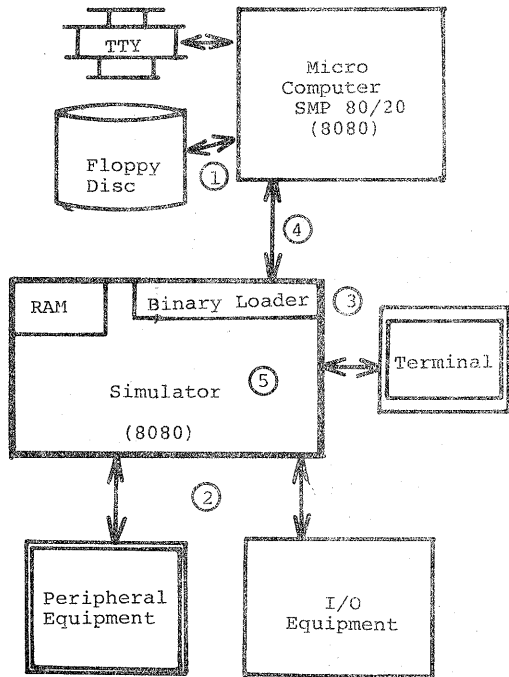


図4 シミュレータの概念図
(数字は図5に対応している)

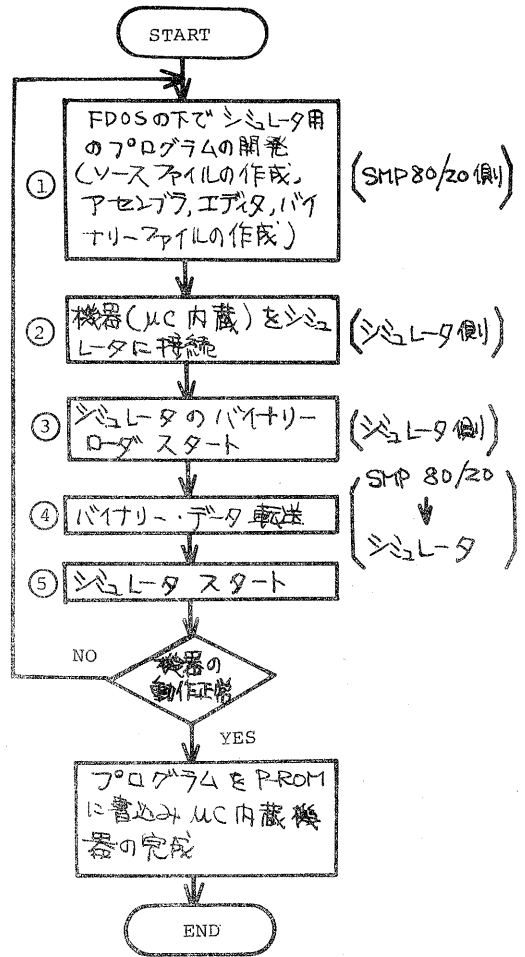


図5 シミュレータ動作フロー
(数字は図4に対応している)

図4にシミュレータのオンライン構成を示す。8080としてはごく標準的な構成であり、図6に示すようにT-バス(非同期共通母線方式)にCPU、メモリー、およびI/Oの全てが接続される。参考のためにT-バスの信号線を記しておく。

T-バスの構成

- (1) アドレスバス (16本)

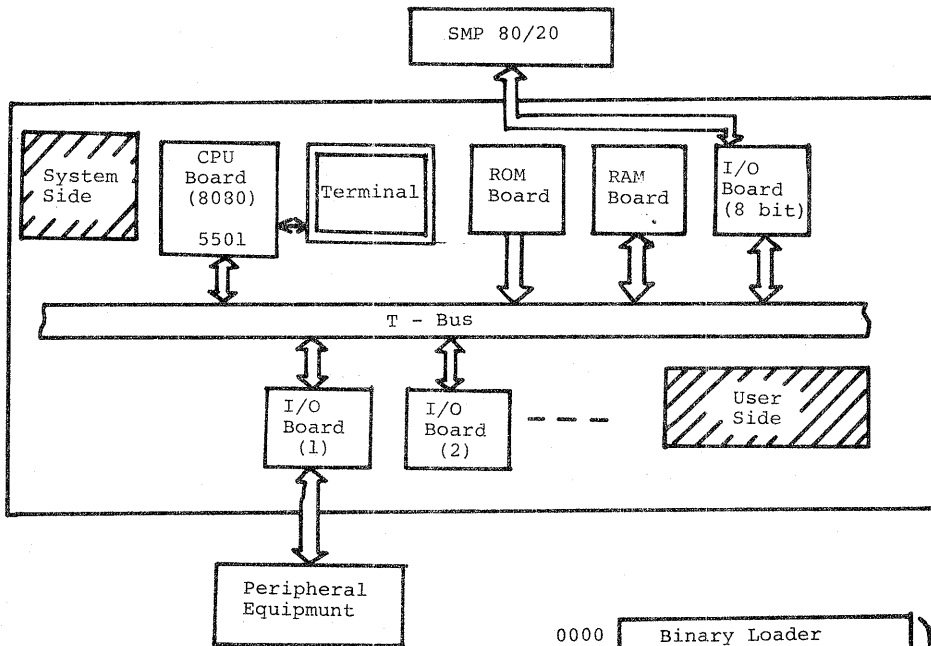


図6 シミュレータ
ハードウェア構成

(2) データバス (8本)

(3) コントロールバス (17本)

- メモリコントロール (2本)
- スピードコントロール (1本)
- インタラプトコントロール (2本)
- DMA コントロール (2本)
- CPU コントロール (2本)
- CPU ステータス (8本)

またI/Oもメモリ(メモリ・マップドI/O)領域内に設定されている。メモリマップは図7のように、ROM、RAM、I/O領域を定める。まずROM領域は0000~3FFF(16進数)に割り振られており、最初にバイナリローダが収められている。その後、共通に使えるライブラリ、サブルーチンを入れてある。RAM領域としては4000~7FFFとして先頭はレジスタの特定および割り込み処理アドレスなどのシステム領域に使われ

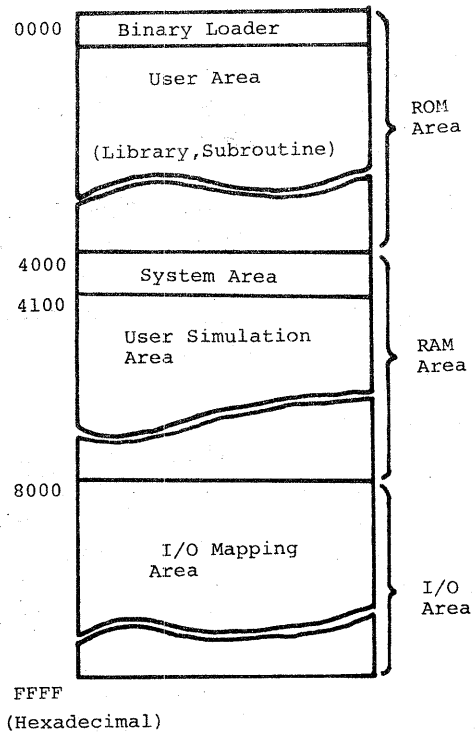


図7 シミュレータ・メモリマップ
(メモリ・マップドI/O)

ている。実際には+100以降がシミュレーションに使われる。

図5が実際のシミュレータの動作手順である。数字は図4のそれに対応している。上記組込み機器が完成するまでの流れを説明すると、

- ① FDOsの下で、シミュレータのRAM領域、E/O領域(実際に使用しているアドレス)用にソースプログラムを作成し、アセンブリし修正があればエディタにかけ、バイナリーファイルとしてフロッピーディスクに格納する。
- ② 試作したE/Oボードをシミュレータの slots に挿入し、機器を動作状態にセットする。
- ③ シミュレータのバイナリーロードを起動する。
- ④ ①で作成したバイナリープログラムを SMP 80/20 側のロードによりシミュレータへ転送する。
- ⑤ シミュレータ側では転送が終了するとターミナルに、START OR RETURN TO MONITOR と聞いてくるようになり、それぞれの装置に異常がなければプログラムを実行してみる。

以上のルーチンを繰り返し、E/Oボードのチェックなども行ない、設計通りの機能が正常に働くことが確認されたら、最終的に制御用プログラムおよびデータなどをP-ROMに書き込み、CPU(8080)、ROM、RAM、およびこの機器用のE/Oボードのシステム構成にすることにより、マイクロプロセッサ内蔵機器が完成する。

また、ここで用いた構成でなくても同じCPU(8080)であれば、RAMを必要に応じて増やすれば入出力の制御も含めてシミュレーションが容易に行なえる。

(4-2) オンラインP-ROMライター

オンラインP-ROMライタープログラムには表1に示すように現在13の機能が用意されている。一端プログラムが起動されると、ターミナルに MODE: と聞いてくるので必要に応じて、キーインし正常に各機能が実行されると、END とプリントされ、次のファンクションに移るといふようになっている。

その主な機能をあげると、次のようなものがある。

- ① BNPF フォーマットデータの書込み
- ② BYTE フォーマットデータの書込み

```

*****
* ON LINE P-ROM (1702A) WRITER PROGRAM
*
*
* MODE 1 : READ DATA FROM PTR TO MEMORY
*           (BNPF FORMAT)
*
* MODE 2 : LOAD DATA FROM DISC TO MEMORY
*           (BNPF FORMAT)
*
* MODE 3 : LOAD DATA FROM DISC TO MEMORY
*           (BYTE FORMAT)
*
* MODE 4 : STORE DATA FROM MEMORY TO DISC
*           (BYTE FORMAT)
*
* MODE 5 : ERASE CHECK
*
* MODE 6 : WRITE ROM
*
* MODE 7 : WRITE AND VERIFY
*
* MODE 8 : READ AND VERIFY
*
* MODE 9 : PRINT OUT ROM DATA ON TTY
*           (HEXADECIMAL FORMAT)
*
* MODE 10: DUMP ROM DATA TO MEMORY
*
* MODE 11: PRINT OUT MEMORY DATA ON TTY
*           (HEXADECIMAL FORMAT)
*
* MODE 12: READ/WRITE BUFFER CLEAR
*
* MODE 13: RETURN TO FDD MONITOR
*
*
*
* DATE - 1977.4 ( REVISION)
*
*****

```

表1 オンラインP-ROMライター
ファンクションモード

- ③ イーズ チェック
- ④ P-ROMのコピー
- ⑤ P-ROMの内容をプリントおよび
チェック
- ⑥ P-ROMの内容をディスクに格納

BNPF, およびBYTE フォーマットのデータが扱えるようになっており, 他の利用者からの依頼にも応じることができる。

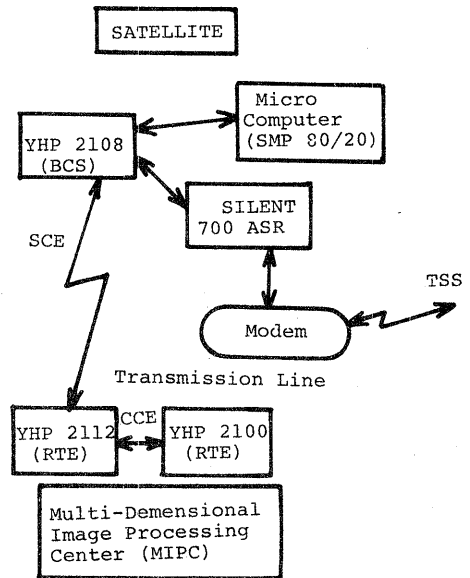
そして, 画像処理センターとも接続されているので, そちらの大記憶容量を使い, フォートランなどの高級言語によって計算されたデータなどもオンラインで自由に書込みが可能である。(8)

なお現在のところP-ROMライターで扱えるのは, 書込み回路の都合でIntel の1702Aとその同等品に限られているが, 近く拡張の予定である。

[5] ディストリビューテッド・システム

MCの急速な発展と応用範囲の広がりに伴って, 種々のOSが開発され, LAにも多く使われている。特にリアルタイムマルチプログラミングシステムは1台のコンピュータで複数個の相互に独立したプログラムを実時間で並列処理を行なうためのOSである。このようなOSのもとでは, 相互に独立した複数個のプログラムに優先順位を与え, タイミング的に正確なデータ収集, 処理を行っている。そして研究, 開発の過程においては周囲の状況の変化に応じるため入出力の変更, 新しいプログラムの追加などが常に必要となる。このようなとき, 多数のジョブを1つのシステムで実施することは, システム全体を複雑なものにしてしまひ, 変化に対する柔軟性が失われることになる。このような現象を避けるためにLAシステムの分散化が行なわれる。

当所の多次元画像処理センター(以下センターと略す)は3台のMCがいわゆる分散システムを形成している。(1) センターの2台のMC



CCE: Central Communication Executive
SCE: Satellite Communication Executive
RTE: Real Time Executive
BCS: Basic Control System

図8 ディストリビューテッドシステム

は独自にリアルタイムシステム(RTE)で働いており, また相互にセントラルコミュニケーションシステムが準備されている。そして, 研究室側のMC(YHP 2108)はセンターに対して, サテライトコミュニケーションシステムが絡まれている。

研究室自動化の仲介とするこのサテライトは標準エ/0としては現在のところセンターとサテライトのコミュニケーションを行なうためのインターフェース(シリアル転送)とサテライト用コンソール(タイヒュータ)しか設置されていない。このように物理的に制限されたハードウェア構成であっても, センターに接続されている高価な周辺装置をコミュニケーションラインを介して自由にアクセスできるので, センターと同様の活動が行なえる。

サテライトでは, 予めセンターでサテライト用に(BCS)システムが作られ, ディスクに格納されているこのSCE用のローダにより,

サテライトのメモリーにロードする。そしてオペレータは対話形式で処理ができる。しかし現在のところ、サテライトで実行されるプログラムは全てセンターで準備しておく必要があるが、容量が増加され、新しくOSが追加されるとこの問題は解決されるであろう。図9はサテライトで実行されるまでの概念を示したものである。

またこのサテライトにはMCの他に静電プリンタを備えたキーボード端末(サイレント 700 ASR)が接続されている。これはTSSS用として音響カップラーにより電話回線を使、て他のセンターとの情報交換を目的とするもので、今のところ一度サイレント 700 に内蔵されているカセットテープを介して、当所の画像処理センターと他のセンターとのコミュニケーションができる。将来はオンライン接続にする予定である。

(5-1) データ転送

センターの端末であるMC(YHP 2108)とMC(CSMP 80/20)間のコミュニケーションはここで解説したものであり、16ビットパラレル転送で行なっている。以下、双方のデータのやりとりについて述べる。

(1) マイクロコンピュータ側

MCはセンターの端末に対してスレーブとなっており、一度プログラムを起動させておくと後は全てMCの方より転送の開始および終了の制御情報、ファイル名(最大7文字)、ユニット(0~1)、チャンネル(0~3)番号、ブロック数(256バイト/ブロック)などの情報を送ることによりコミュニケーションが可能のようにソフトウェアを組んである。

さらに、MCはメモリー構成がROMとRAM領域に分れているので、このデータ転送用のプログラムはP-ROMに書き込みROM領域に収めてある。したがって、パネルよりアドレスを指定するのみでプログラムを起動させることができる。

(2) サテライト(センター)側

この端末はMCとセンターの仲介をなす部分であり、メモリー8KWの内殆どがOS、あるいはプログラム領域にとられてしまい、データは一時記憶であるが、転送時間を気にしなければ転送しながらデータのチェックも行なうことができる。

図10は双方のデータ転送の概念をブロック転送の一例として示したもので、数字は同図(a)、(b)のそれに対応しており、矢の方向は制御情報およびデータの流しを示している。

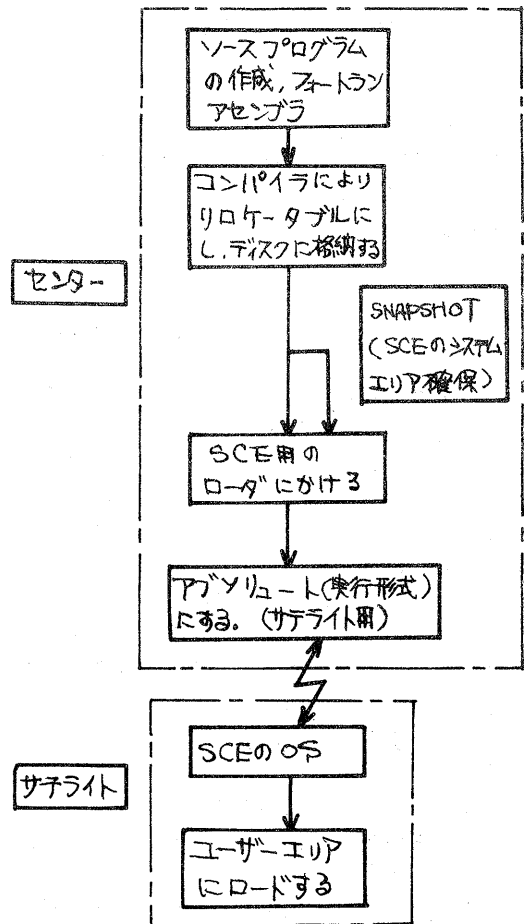
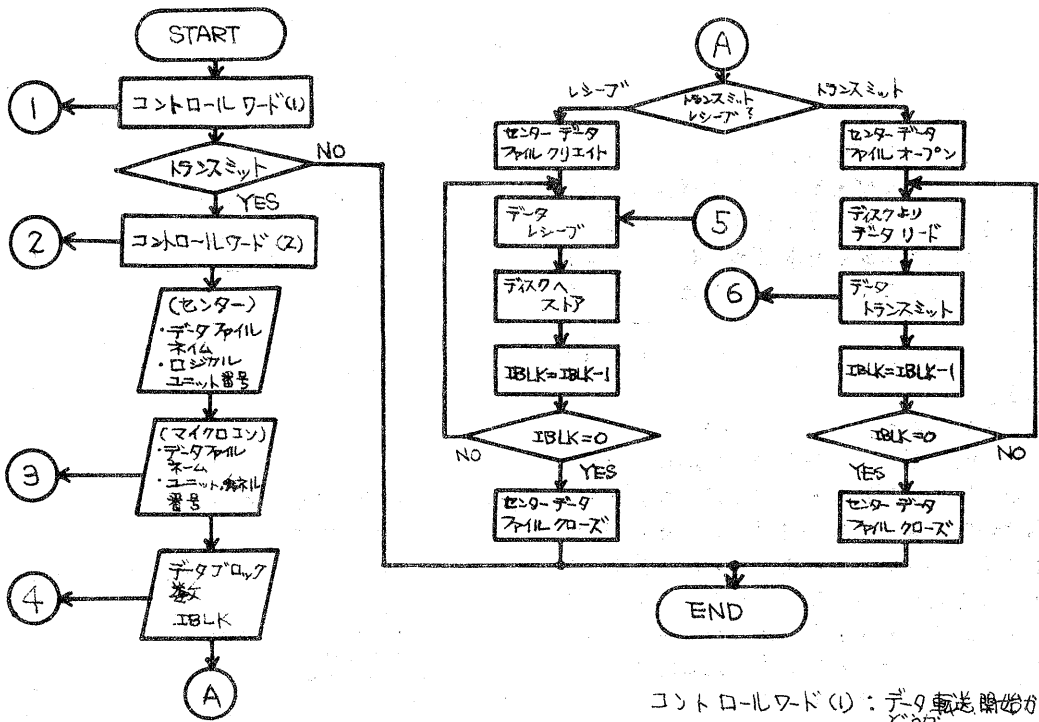


図9 サテライト実行プログラムの動作フロー



(a) サテライト側

コントロールワード(1) : データ転送開始の
 コントロールワード(2) : データ転送開始の
 データ : ブロック転送 (128ワード (256ビット))

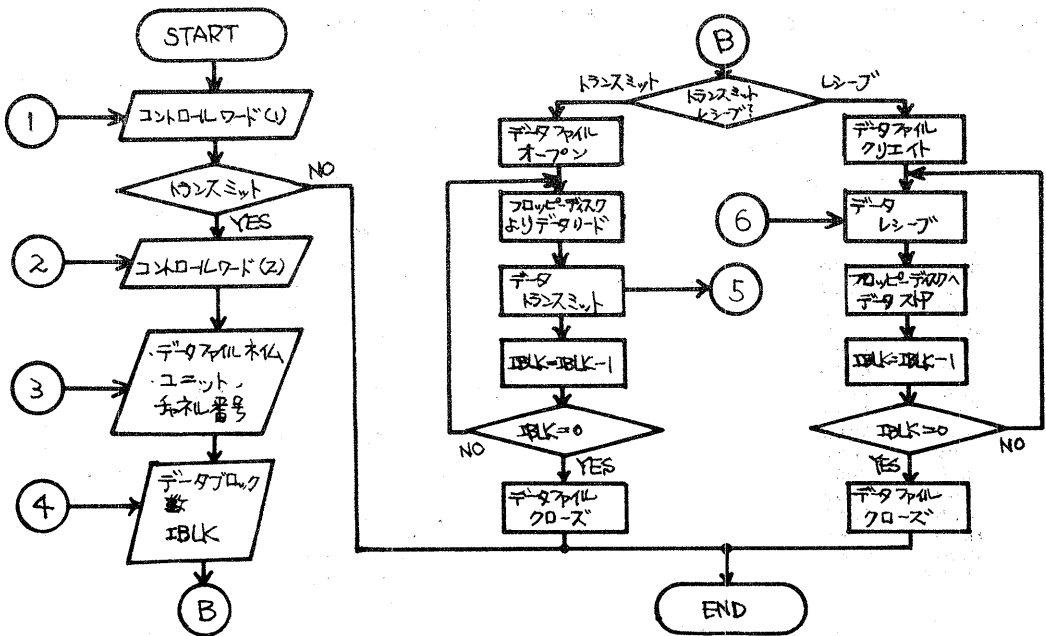


図10 データ転送フローチャート (b) マイコンコンピュータ側

(5-2) 転送例

LAにおいては、実験機器を必要に応じてオンライン接続し、実時間で処理し測定データの結果により、次の実験の条件を変化させながら行なっていくことがある。そして慣れない者にとっても使い易いシステムであることが望しい。

ここでは、標準的な作業である本システムで収集してフロッピーディスクに収めたデータをセンターに送り、そして処理されたデータを逆にMCのフロッピーディスクに送り返す過程を示す。

表2に示すように、MCのユニット NO.0 のフロッピーディスク内にファイル名 P97R から Q07N まで名66ブロックづつデータが格納されている。この中でファイル名 Q07N のデータをセンターの処理システムへサテライトを介して送り、次に処理されたデータとしてセンターのディスクから、MCのユニット NO.1 のフロッピーディスクに送り返した時のオペレーションリストを図11に示す。

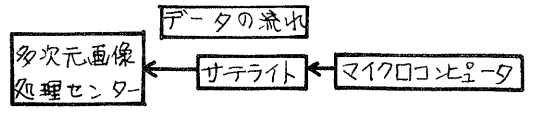
実際にオペレータが入力したのはサテライトのターミナルからであり、MC側のターミナルは正常に転送が行なわれているかどうか、チェックのためにサテライト側から送られてきた情報をプリントし、モニター代わりに使っている。

```

SMP80/20 FDD MONITOR
REV. 01-21D

READY
LIST
UH1      0030
UH2      0013
AUH1     0011
AUH2     0008
P97R     0066
P98R     0066
P99R     0066
FOOR     0066
Q01U     0066
Q02U     0066
Q03U     0066
Q04U     0066
Q10N     0066
R06N     0066
Q07N     0066
READY
    
```

表2 フロッピーディスクリスト



```

(サテライト側)
:RUN,PS300

DATA TRANSFER(CENTER<-MICROCOMPUTER)

*** CENTER SIDE ***
FILE NAME=Q07N
DISC LU=-10

***MICROCOMPUTER SIDE ***
FILE NAME=Q07N
UNIT NO.=0
CHANNEL NO.=1
BLOCK COUNT=66

TRANSFER TIME=1'39.80"
    
```

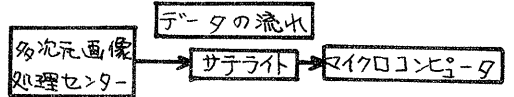
```

(マイクロコンピュータ側)

DATA TRANSFER

*** MICROCOMPUTER---->CENTER ***

*START*
READ FILE NAME=Q07N
UNIT NO.=0
CHANNEL NO.=1
*END*
    
```



```

(サテライト側)
:RUN,PS301

DATA TRANSFER(CENTER->MICROCOMPUTER)

*** CENTER SIDE ***
FILE NAME=R06N
DISC LU=-10

*** MICROCOMPUTER SIDE ***
FILE NAME=R06N
UNIT NO.=1
CHANNEL NO.=1
BLOCK COUNT=64

TRANSFER TIME=1'51.26"
    
```

```

(マイクロコンピュータ側)

DATA TRANSFER

*** MICROCOMPUTER<---CENTER ***

*START*
WRITE FILE NAME=R06N
UNIT NO.=1
CHANNEL NO.=1
*END*
    
```

図11 オペレーションリスト

—:オペレータ入力

ここでは転送時間を求めてあるが、これは殆ど双方のディスクの機械的動作に費した時間である。

比較のためにCPU間だけの転送時間を付加しておく。センターとサテライト間は直列転送方式で、1Mビット/秒である。またMCとMC間は16ビット並列転送方式で、MC側のソフトに依存するわけであるが、本システムでは13KW/秒程度で行なっている。

[6] 応用例

図13は超音波ホログラムのオンラインデータ収集・処理システムを収集側から眺めたシステムの概観図である。(6.4) 超音波ホログラムのハードウェア構成については、ここでは省略しデータ収集ならびにその後のデータ処理の一例を示す。

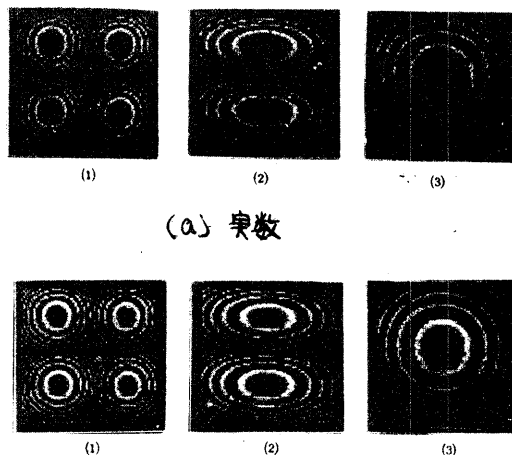
まずMCのFDOSの下で装置からA/B交換されたデータをフロッピーディスクに格納する。そして、ディストリビューテッドシステムによりサテライトを介してセンターへ送り処理される。

一旦センターへ送られると、後はC/Eにより他のMCへも転送できどちらの入出力装置を自由に使う処理できる。処理されたデータは表示したり、MTにも保存できる。また必要があれば処理されたデータをMCへ送り返すことにしている。勿論、収集と同時にセンターへ転送できる。

つぎにセンターへ送られたフレネルのゾーンプレートデータのデータをディスプレイした例を図12に示す。収集されたデータは64×64であるけれども、(1)はアレー間隔2mmの検出器を用い、走査を1mm間隔で、2回目の走査はアレー方向に1mm移動して収集したデータをそのままディスプレイした。(3)がメモリー内で実際の像となるように解列しなおしたものである。

[7] あとがき

研究室自動化の試みとして、マイクロコンピ



(a) 実数

(b) 虚数

図12 フレネルのゾーンプレート

タを中心としたオンラインデータ収集・処理システムの概要を報告した。まだ発展段階の途上ではあるが、超音波ホログラム装置の例に示したように、従来のオフライン処理と比較して労力、時間が節約され処理にも柔軟性が発揮されている。

また画像処理センターの画像入出力制御装置の開発にもこのシステムは有効に使用されている。

最後に、日頃御助言いただく高木助教授ならびに研究室の各位に感謝する。

[文献]

- 1) 尾上, 高木: 東京大学生産技術研究所におけるイメージプロセシングの研究, イメージプロセシング, 3-3 (1975.12)
- 2) FACOM ミニコンピュータアプリケーションシンポジウム, ラボラトリ・オートメーション研究会, (1976.2)
- 3) 石田: マイクロコンピュータの使い方, 産報出版社, (1975)
- 4) SMP 80/X マイクロコンピュータハンドブック, ソード電算機システム, (1975)
- 5) 尾上, 山岸, 孫: マイクロコンピュータによる超音波ホログラムのオンライン収集装置

- 音響学会講演論文集, 2-5-17, (1976)
- 6) 尾上, 孫: 超音波ホログラフィ用Aレー受信子のばらつき補正による画質向上, 音響学会講演論文集, 2-5-18, (1976)
- 7) 尾上, 山岸: 研究室自動化の一形態, 通信学会全国大会 1251, (1977.3)
- 8) 尾上, 成相: マイクロプロセッサを用いた水晶共振器の温度補償, 電気学会全国大会 535, (1977.7)

図13 超音波ホログラムのオンラインデータ収集・処理システム

