



Title	ラボラトリ・オートメーションのための小型コンピュータ利用形態に関する研究
Author(s)	須崎, 寛則
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2012
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ラボラトリ・オートメーション
のための小型コンピュータ
利用形態に関する研究

昭和58年12月

須崎 寛則

目 次

緒 論	1
第1章 コンピュータ利用によるラボラトリ・オートメーション	3
1.1 科学計測における小型コンピュータの役割	3
1.2 マイクロプロセッサの利用	5
1.3 ラボラトリ・オートメーションとその利用形態	6
1.4 分散処理システムの形態	8
1.5 分散処理システムの目的とその問題点	9
1.6 分散処理とネットワーク	11
1.7 IEEE-488標準インターフェイス・バス	11
第2章 分散プロセッサを用いたモジュール型分光光度計	13
2.1 緒 言	13
2.2 機能分散マルチ・マイクロプロセッサ分光光度計システムの開発	14
2.3 システム・オペレーション	15
2.4 ハードウェア	16
2.4.1 分光光度計モジュール	16
2.4.2 コントローラ・モジュール	21
2.4.3 XYレコーダ・モジュール	22
2.4.4 ディスプレイ・モジュール	22
2.4.5 プロッタ・モジュール	28
2.4.6 フロッピ・ディスク・モジュール	30
2.5 実験によるシステム評価	32
2.6 結 言	33
第3章 インテリジェント機器群をもつ小型LAシステム	34
3.1 緒 言	34
3.2 システム・オペレーション	36
3.3 システム・コントローラと分光光度計サブシステム	39
3.3.1 システム・コントローラ	39

3.3.2	蛍光分光光度計サブシステム	40
3.3.3	赤外分光光度計サブシステム	41
3.3.4	可視・紫外分光光度計サブシステム	42
3.4	計測用標準化言語の開発	43
3.5	実験	46
3.6	結言	49
第4章	パーソナル・コンピュータを用いたマイコン内蔵分光機器群管理システム	50
4.1	緒言	50
4.2	試作システムの構成	50
4.2.1	試作目的	50
4.2.2	システム・コントローラ	51
4.3	実験結果	52
4.4	結言	53
第5章	水平分散型小型ラボラトリ・オートメーション・システム	55
5.1	緒言	55
5.2	システム構成	56
5.2.1	分光光度計サブシステム	57
5.2.2	フロッピ・ディスク・サブシステム	61
5.3	操作手順	62
5.4	リモート・モードにおけるプログラム例	63
5.5	結言	64
総括		66
謝辞		68
参考文献		69

緒 論

最近 OA, FA, LA などの略語で表現されているように、各方面へのオートメーション化の波は急速に広まっている。科学計測方面で発達した LA (Laboratory Automation) は、当初研究室、実験室などで用られている分析機器のデジタル化と共に、分析化学分野で試みられていた。また一方でバッチ処理専門に使用されていたコンピュータが、これら分析機器にオンラインで結合された。特に1960年代のミニコンピュータの出現により、この現象は明確になり、各種の LA システムに取り入れられた。最初ミニコンピュータは、高度な分析機器専用の専有システムとして利用され、次にそのオンライン、リアルタイム処理能力を活用するため、1台のミニコンピュータに各種の分析機器、測定装置を接続し、集中管理する集中共用システムへと発展した。このシステムの利点は各分析機器からの測定データを集中管理し、高価格であったプリンタ、プロッタディスプレイなどの周辺装置を共有する資源の有効利用が可能な点であった。その後、接続する分析機器の増加によるオーバ・ヘッド・タイムの上昇、その結果スループットの低下をまねき、また複雑な OS (Operating System)、またそれぞれの機器固有インターフェイスの設計、製作が、システムの拡張、保守を困難にしていた。マイクロプロセッサの出現は、これら諸問題に対しいくつかの解決法を与える、新しい LA システムが考えられている。最初ミニコンピュータの代替装置、つまりマイクロプロセッサを中心とした制御主目的の低価格処理装置に利用され、既存の機器に付属させた方式であった。しかし急速な半導体回路、製造技術の進歩による低価格化により、高機能電子部品として機器自体への内蔵化が進み、これにより分析機器の高機能化、インテリジェント化をソフトウェアにより実現でき分析機器単体による制御、データ収集などルーチンワークの自動化が可能となった。この結果、ミニコンピュータ集中共用システムの諸問題を、機器制御、データ収集機能をミニコンピュータから分離することにより解決し、システムの集中管理を行う分散処理システムへと発展していった。この分散処理システムの目的を次に示す。

- 1) 危険分散
- 2) 応答性の向上
- 3) データ、リソースの共有
- 4) スループットの向上
- 5) 可用性の向上

以上の各点を満足させるため分散処理システムは開発されているが、集中型の機器固有のインターフェイスが問題であったと同様、インテリジェント機器ゆえに、データのフォーマット、使用言語、通信媒体の互換性などが問題となる。また LA システムの多様化に伴い分析機器制御目的のシス

ムから、多目的の研究システムへのネットワーク化が図られ、ワークステーション化した端末を用い、すべての処理を実行しようと考えられている。このワークステーション化の傾向から、最初ホビー用として開発されたパーソナル・コンピュータ（Personal Computer）を無視することはできない。16ビット・マイクロプロセッサ、演算専用チップ、大容量メモリ、高解像度グラフィック・ディスプレイ、フロッピ・ディスクなどを備えたパーソナル・コンピュータの利用により、端末の高機能化が図られ、これらを積極的にLAシステムへ組み込むことが考えられる。このシステム化は、一般にローカル・エリア・ネットワーク（Local Area Network : LAN）と呼ばれているものに属し、各種の標準化が進んでいる。また最近のP BX網により、さらにシミュレーションや物質自動解析などのはか、LA用データベースを含む広域的な研究システムへの拡張が考えられている。

筆者は以上の点に留意し、ネットワーク・システムの末端に配される分光光度計を用いたLAシステムの標準化を目的とした分光計測システムの開発を行い、その有効性を示した。本論文はこれらの研究成果をまとめたものである。

第1章は、コンピュータ利用によるLAについて、その必要性、問題点をあげ、ネットワーク構造にする場合の互換性という面から、標準インターフェイス・バスの重要性について記述する。

第2章では、LAシステムの末端にある分光光度計機器内にマイクロコンピュータ・ネットワークを導入した、ビルディング・ブロック形式のシステムについて、そのハードウェアの詳細を示し、実験によりそのシステムの評価を行った結果について示す。

第3章においては、インテリジェント分析機器をLAシステムに導入する際問題となる、入出力および通信媒体の互換性と、データ・フォーマット、プログラム言語の統一によるハードウェア、ソフトウェア両面の標準化を達成するとともに、さらに負荷分散という目的からマスタ・スレイブ構成のシステムを試作した結果について述べ、その多様性と有効性について検討を行う。

第4章は、第3章同様マスタ・スレイブ構成の小型LAシステムに、最近一般に普及しているパーソナル・コンピュータを導入する試みに関するものである。インテリジェント型分光機器群管理システムの構成と、そのパーソナル・コンピュータの役割について述べ、今後の研究段階として、実験・研究システムの複合化に対応したローカル・エリア・ネットワークの導入に対する考察を行う。

第5章では、第3章で試作したシステム内の各スレイブ分光光度計サブシステムを独立したマスタ・コンピュータ化し、それを1つのシステムに導入したネットワーク構造の分散型分光計測システムについて詳述する。

第1章 コンピュータ利用によるラボラトリ・オートメーション

1.1 科学計測における小型コンピュータの役割¹⁾

最近科学計測分野では、多種多様の分析機器が複雑な物質情報収集のため、広く利用されている。しかし、分析機器は研究用として製作されたものが大部分であり、一般の計測装置と比べ、複雑で感度・精度とも極限状態で用いられることが多く、さらに数多くのパラメータに支配されている。このため、これら分析機器を中心とする計測システムでは、実験の前調整から、分析機器の操作、そして最後のデータ処理まで、多大な労力を要していた。さらに、分析機器のパラメータ設定や初期調整などは個人差によるバラツキを伴い、同一条件下での測定を困難にし、かつ複雑な分析機器の操作ミスなどを引き起こしていた。このため、ディジタル・エレクトロニクス技術の進歩による、分析機器のデジタル化への方向、およびそれらの制御用として汎用大型コンピュータの導入などにより問題解決を図る方向がすでに1960年以前にあった。しかし、コンピュータ自身非常に高価格であったためと、信頼性の問題のため一般に普及するまでにはいたらなかった。1960年代のDEC社のPDPシリーズに代表されるミニコンピュータの出現は、“sophisticated instruments”と呼ばれている分析機器を、一般に使用できる実用計測機器として定着させてきた。しかし、この場合でも高価格・高級分析機器に付属させた専用の制御・処理装置としてのミニコンピュータであった。しかし、このミニコンピュータの利用はやがて複雑な科学計測の自動化に不可欠なものとなり実時間性とオンライン制御を必要とする計測システムにおいて、ユーザに開放されたその入出力機能と、高速演算処理能力をフルに生かしてラボラトリ・オートメーションの主役にのし上った。当然、従来のバッチ処理にも利用されていたが、ミニコンピュータと分析機器との結合により、トランシスデューサからの出力データの収集、収集されたデータに対する加工、加工されたデータの表示・記録、試料測定前処理や導入部を含めた機器自体のシークエンシャルあるいはフィードバック制御などに対し威力を発揮した。この分析機器とコンピュータとの結合による利点を次に示す。

- (1) 機器操作の簡略化、自動化
- (2) データ収集、データ保存・管理
- (3) データ処理の自動化と高速化
- (4) データ表示・記録の多様化
- (5) 精度・信頼性の向上
- (6) ハードウェアのソフトウェア化

この様な利点は有ったものの、高度な科学計測機器を除いてデータ源に対するコンピュータのコス

ト比率が高く、独立専用型の機器は限られていた。このため稼動率の高い、中位・低位の分光光度計、原子吸光分析装置、ガスクロマトグラフ、液体クロマトグラフ、各種電気化学分析計などに対して、1台のミニコンピュータを用い、これらを群管理する、いわゆる集中共用システムへと発展した。この集中共用システムの利点を次に示す。

- (1) 低位の科学計測機器に対するコスト・バランスの点で有利である。
- (2) 低位の機種のため、比較的データの出力レートが低い場合が多く、オンライン・リアルタイム処理能力を有効に活かし、コンピュータの利用率が高められる。
- (3) ミニコンピュータの完備された周辺装置、たとえばプロッタ、プリンタ、グラフィック・ディスプレイ、またディスク、磁気テープなどの補助記憶媒体を、複数のデータ・ソースに対し共通に活用できる、資源の有効利用が可能である。
- (4) データの集中管理ができ、標準データ・ファイルを用いた情報検索や、構造解析などが効率的に実行できる。

1970年代になり、電卓用チップからスタートしたマイクロプロセッサの普及により、計測方面はもとより一般家庭内へもコンピュータが俗称“マイコン”として浸透してきた。ミニコンピュータを用いた場合のコスト上昇、また複数台の分析機器を用いたラボラトリ・オートメーションにおける拡張・保守などが問題となっていた頃、マイクロプロセッサの出現となったわけである。当初はミニコンピュータの代替えとしての安価なマイクロコンピュータとして使用されていた。次に分析機器内にマイクロプロセッサを内蔵させ、機器内の一部品として扱われたり、マイクロプロセッサを基にコンピュータ化したマイクロコンピュータを中心、小型のデータ処理装置を独立構成させ、これを機器に付属させ用いられた。現在では、複数のマイクロプロセッサを機器内に内蔵させる形も一般的になりつつある。また小型のデータ処理装置として、大型コンピュータ、ミニコンピュータ・メーカーから市販されている卓上型、つまりデスクトップ・コンピュータの利用、さらにホビー用として出発し、急成長を続ける俗に“パソコン”と呼ばれているパーソナル・コンピュータの活用により、これらを機器に付属させた形も一般的となってきた。さらに、これら両方式を結合した方式として、マイクロプロセッサ内蔵型分析機器においては簡単な前処理と機器制御のみに限定し、複雑なデータ処理などは、別のデータ・プロセッサ（デスクトップ形コンピュータ、またはそれ以上の能力をもつもの）に実行させる方式もある。この方式をさらに一步進めた形として、ラボラトリ・オートメーション・システムのワークステーション用データ・プロセッサ、俗にデータ・ステーションと呼ばれている汎用小型コンピュータが登場している。これは、通常のオール・イン・ワン型パーソナル・コンピュータとほぼ同じ構成であるが、ラボラトリ・オートメーション用にインターフェイス内蔵型か、もしくは、簡単なI/O機能を持っている。また強力なリアルタイム言

語により、科学計測用プログラムを簡単に組むことが可能となっている。

1.2 マイクロプロセッサの利用^{2)~7)}

マイクロプロセッサは、1971年米国インテル社4004誕生を出発点とし、現在にいたるまでめざましい発展をとげている。またこれらを含む半導体技術の進歩による集積度の向上、それに伴うコストダウン、また低消費電力化などにより急激に末端の生活用品にまで広まりつつある。一昔前、ミニコンピュータが登場した頃、それらの入出力機能が、われわれユーザに開放されていたため、特に計測制御を行っている研究者によりシステムに組み込まれていった。これと同じ事がマイクロプロセッサの場合も当てはまった。しかし、それ以上に低価格と周辺ファミリLSIの供給により、積極的に取り入れられてきている。これを助けた一要因として、非常に微細説明したデータ・マニュアルが完備供給され、ユーザ自身でインターフェイスを設計・製作し、マイクロコンピュータ化することが容易であった点が挙げられる。

現在では、低位マイクロプロセッサ（ここでは4~16ビット/語のプロセッサを指す）は、コンピュータとしてではなく、従来からの回路図（ハードウェア）をフローチャート（ソフトウェア）で置換する多機能ICと考えられ各機器に内蔵されている。この現象は特に、ROM、RAMならびに入出力信号線を同一チップ上に組み込んだ1チップ・マイクロプロセッサの登場により明確となった。実際、用途別にプログラムされたこれら1チップ・プロセッサが、周辺ファミリLSIとして別の型番で登場していることも多い。これらLSIを使用すれば、ユーザは無意識のうちにマルチ・プロセッサ・システムを設計・製作していることにはかならない。この事は、特に組み込み内蔵型のマイクロプロセッサに要求される高速応答性を満たす要因となっている。またマイクロプロセッサ自身の低価格性のため、複数個を組み合わせることにより処理能力を上げ、各機能ごとに負荷の分散を図ったマルチ・マイクロプロセッサ方式のシステムが誕生し、これにより信頼性の向上をも同時に達成している。これは複数台の機器を一つのシステムに導入した場合、また1台に各種の機能を持たせたオール・イン・ワン・タイプの分析機器内部でも実現されている。しかし、逆にマイクロプロセッサ導入により次の問題も起っている。

- (1) マイクロプロセッサのプログラマビリティゆえに、ハードウェアに対するソフトウェアの比重が増大する。その結果ソフトウェア・コストの上昇を引き起す。
- (2) 高機能化のため、多種機能をソフトウェアにより達成させている。このためバグによる信頼性の低下をまねている。

特に末端で活用されるマイクロプロセッサのソフトウェアは、アセンブラーにより記述される場合

が多く、電子回路などに比べデバッグに多大な労力を要している。このためマイクロプロセッサ応用システムの開発には各種のツールが必要であり、この開発ツールには、ソフトウェア、ハードウェア両面からのアプローチが重要である。因みに本論文研究用に筆者が開発し、活用したサポート・システムをあげる。

- (1) ミニコンピュータ TOSBAC-1Ø E を用いた 8Ø 8Ø 用クロス・アセンブラー
- (2) SDK-8Ø (Intel) を改良した汎用マイクロコンピュータ HIROCOM-8Ø (CPU 8Ø 8Ø)
- (3) HIROCOM-8Ø 上で走る SC/MP (NS) 用クロス・アセンブラー
- (4) CPU SC/MP-I を用いた簡易マイクロコンピュータ
- (5) TOSBAC-1Ø E を用いた 2758, 2716 用 PROM PROGRAMMER
- (6) CPU 8Ø 85 を用いた開発支援マイクロコンピュータ HIROCOM-85
- (7) HIROCOM-85 上で走る 8Ø 85 用セルフ・アセンブラー
- (8) 2704, 2708, 2758, 2716, 2532, 2732 及びそれら相等品用 PROM PROGRAMMER
- (9) CPU Z-8Ø を用いた開発支援マイクロコンピュータ HIROCOM-8Ø Z (CP/M 搭載)
- (10) CPU 68Ø 9 を用いた開発支援マイクロコンピュータ (FLEX-Ø 9 搭載)

このようにソフトウェア開発支援装置、PROMプログラマ (PROMライタ) は最低限必要な開発ツールである。⁸⁾ 最近は、CP/MなどのOSが搭載されるパーソナル・コンピュータおよびワンドボード・マイクロコンピュータが普及しているため、それらを中心に開発支援システムを組み上げる方法が楽かつ賢明な方法であろう。ソフトウェア開発に要する比重が増加し、さらにメモリのハードウェアに対する価格比低下のため、実時間性を必要とする部分のみアセンブラーで開発し、他は高級言語を用いリンクする方法を積極的に取り入れなければならないであろう。⁹⁾

1.3 ラボラトリ・オートメーションとその利用形態¹⁰⁾

コンピュータの発達と共にラボラトリ・オートメーション (Laboratory Automation : LA) という言葉は、狭義では分析機器の自動化から、広義では実験室、研究室さらにそれらを統括した自動化という意味にとられている。このLAは1960年以降のミニコンピュータの普及と並行し発展し、さらに1970年代におけるマイクロプロセッサの驚異的な進歩と共に、小規模レベルのユーザ層にまで深く浸透するようになった。

科学計測分野、特に分析機器を用いる実験では、以下の点を満足することが要求される。

- (1) 測定機器サイドで、測定データを処理する。
- (2) その処理結果を次の制御、または実験の判断材料として、測定パラメータの変更を行う。
- (3) 実験を再試行し、最適化を目指す。

このようにLAシステムでは研究者（オペレータを兼ねることが多い）が、中間処理結果を見ながら、コンピュータ、さらに分析機器を操作するインタラクティブ（interactive）方式が主流である。これは従来の汎用大型コンピュータ、またバッチ処理方式では不可能であり、ミニコンピュータ、マイクロプロセッサの普及により可能となっている。

マイクロプロセッサが出現する以前のミニコンピュータを中心とするLAシステムでは、高度な分析機器に付属する専有システム（dedicated system）や、高位のミニコンピュータや中型汎用コンピュータを中心に分析機器群を配し、データ処理や機器制御を行っていた集中型が一般的であった。これは、コンピュータ自身高価かつ物理的に大型であったため、すべての処理機能を集中化することに利点があった。またコンピュータ自体が特殊機器であったため、専門的なオペレータが必要であった。さらに周辺機器が高価であり、かつインターフェイスの問題もあり集中化せざるを得なかったこともある。しかし機能の集中化が進み、さらにリアルタイム・オンライン処理能力利用の増大、その処理の複雑化などにより次の問題が起った。

- (1) 信頼性の低下
- (2) 管理、保守性の悪化
- (3) 柔軟性、拡張性の悪化
- (4) システム異常時の影響範囲拡大と、その対応の複雑化
- (5) 応答性の悪化

これらの問題解決の方法とし、集中型LAシステムから、分散型LAシステムへ移行した。これを助けた要因として、半導体技術の進歩による価格／性能比の向上がある。この分散化により1970年代からコンピュータ・ネットワークの考え方方が導入された。これは、次の各3点の調和をとり、実現されるLAシステムである。

- (1) データ処理の分散
- (2) データ・ベースの分散
- (3) 通信制御処理の分散

この分散化の過程で、マルチ・プロセッサ・システム構成のLAを考えられるが、システムを完成させるためには、高度のオペレーティング・システム（Operating System: OS）が必要とされ、大きな障害となっている。本研究目的は、以上の観点から分析機器の自動化から始まったLAシステムを、複数の分析機器を1つのシステムに組み込んだ分散型マルチ・プロセッサLAシステ

ムへ発展させ、その試作したシステムの記述とそのシステムの有用性を示すことである。

1.4 分散処理システムの形態^{11) - 13)}

分散処理システムは性格上モジュール化が容易である。このため段階的に機能アップが実現できる、ビルディング・ブロック形式のシステムが構築でき、システムの信頼性を高めることができる(以下このモジュール化されたシステムとサブシステムとは同義に使用する)。

各サブシステムはコンピュータの形態により次の3種類に大別できる。

- A ……ディスクなどの補助記憶装置を有するマスター・コンピュータ
- B ……ディスクなどの補助記憶装置を有するスレイブ・コンピュータ
- C ……補助記憶装置を持たないスレイブ・コンピュータ

これらを通信媒体を介し接続する場合、次の3種類に分かれる。

- (1) A—A(第5章で述べる分散システム)
- (2) A—B
- (3) A—C(第3章、第4章で述べる分散システム)

さらに、これらサブシステムを組み合わせたネットワーク形態はいろいろ考えられるが、その代表例を図1.1に示す。¹⁴⁾

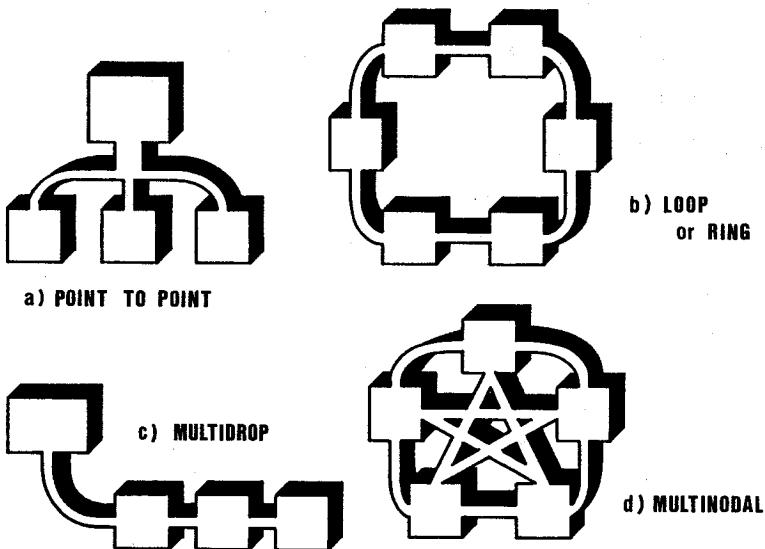


図1.1 ネットワーク形態

a) の Point-to-point Network はもっとも一般的な形態であり、スター (star) 型や、階層 (hierarchy) 型の構成をとる。普通上位コンピュータをマスタ・コンピュータ、下位をスレイブ・コンピュータとするマスタ・スレイブ型の垂直階層形分散システムとして知られている。処理機能、データなどをそれぞれ関連サブシステムに配置し、ローカル処理を加え、必要な情報、データのみをホスト側へ転送するシステムである。

b) のループ方式は古くからデータハイウェイなどの名前で知られていた形態であり、最近のローカル・エリア・ネットワーク (Local Area Network : LAN) により注目を集めている。これは主に数10m～数kmぐらいの中距離目的のシリアル・ネットワークに用いられている。最近では、外部雑音の誘導を受けない利点などから光ファイバによるネットワークも脚光を浴びている。

c) は IEEE-488 標準インターフェイス・バスに代表されるコモンバス方式のネットワークであり、スター型、デイジィー・チェイン型の構成がとられる。

d) はほぼ理想に近い形式で、すべてのサブシステムは対等な関係にあり、各種のジョブはリソースの空いているサブシステム上でシステム自身により配分され実行される。垂直階層構成に対し、水平形分散構成と呼ばれることがある。

最近の分散システムは、以上の各形態の複合体ネットワークもあり、見方では厳密に区別できないことが多い。

本論文の第3章および第4章のLAシステムは、マスタ・スレイブ構成による垂直階層構造を採用した上述(3)A-Cタイプであり、また第5章で示すLAシステムは(1)A-Aタイプと考えられる。

1.5 分散処理システムの目的とその問題点¹⁵⁾

(1) 危険分散

集中処理の場合、コンピュータ側の異常時には、システム全体の機能が停止する。しかし分散処理システムでは、各サブシステムにおいて処理が実行されるため、全機能停止になることはない。問題点は、分散化による冗長性のためシステム・コンポーネントの増大が故障率を引き上げる事がある点である。しかし、この冗長性ゆえに危険分散が可能なのである。また近年の半導体技術の進歩によるLSI化、低消費電力化さらに高密度実装・多層基板化などによる保守性 (maintainability) の向上により故障率の低減が図られている。

(2) 応答性の向上

集中化によるオーバ・ヘッドの問題も、機能分散、処理分散、負荷分散などを行うことにより、それぞれの分散化したサブシステムを専有システムとすることができます。この専有システムは、高

度な分析機器専用のコンピュータとしての専有システムとしてではなく、低位の各目的に対応させるための末端での専有システムである。これを可能にしたのはマイクロプロセッサを中心とする半導体の進歩による低価格化に依るところが大きい。この専有システムにより頻繁に繰返されるオペレータとのインタラクティブ処理が可能となり、またシステム全体の応答性、スループットの向上が実現できる。しかし、分散化により各サブシステム間を結ぶ通信オーバヘッドの問題が起きる。このため各種のネットワーク及びそのプロトコル（protocol）や有効的なトポロジーが考え出され、これに対処している。

(3) データ、リソースの共有

サブシステム間を通信媒体で接続する分散システムでは、高価格、あるいは頻繁に使用されない周辺装置を、全システム間で共有するリソース・シェアリング（resource sharing）が可能となる。これによりシステム内の一ヵ所にファイル・サーバ（file server）を置けば、システム間でファイル自身、又データ自身を共有することもできる。又上位コンピュータ上でクロスソフトなどを用い作製したプログラムをファイル化し、このプログラム自身を通信媒体を介し他の分散システムへ転送し実行させることも可能である。この機能付加により端末サブシステムの無人化、ハードウェアの簡略化が実現できる。

(4) スループットの向上

一台のコンピュータによる集中システムでは処理できない仕事を、分散システムでは複数のサブシステム内のコンピュータによる負荷分散、また並列処理が容易に実行でき、これによりシステムのスループットは上昇する。

(5) 可用性の向上

分散処理システムの性格上、モジュールに分割でき、この事は可用性（availability）に対し有利である。分散システムでは集中型のように、異常時に全システムが影響を受けることは少なく、一つのサブシステム内で収まることが多い。この場合、分散システムの冗長性より他のサブシステムによるバックアップが重要である。

(6) システムの柔軟性の向上

ネットワーク形式をとる分散システムでは、システムの拡張性が重要である。大は情報交換、リソース共有のため、他の分散システムとの結合、小は研究室レベルの、新しく開発された計測装置などのシステム内組み込みなどがある。この後者の場合は、分散システムの特長の一つである、モジュール化によるビルディング・ブロック形式という点で拡張は容易である。このシステムの拡張性という面から見た理想は、いかなる I/O 信号に対しても、またデータのフォーマット、回線転送速度の差異に対しても追従しうる柔軟性が必要である。しかし中規模レベル以下のシステムでは

無理があり、ここでは互換性という問題が重要である。このためシステム構築時には、データ・フォーマット、プログラム言語、通信媒体の互換性、プロトコルの統一など、ハードウェア、ソフトウェアに到る一連の標準化が最も重要である。

1.6 分散処理とネットワーク^{16)~18)}

近年になりLAシステムはその多様化に伴い、多目的のシステムへと変化している。最初機器の自動化に始まるオートメーション化は、研究システムのネットワーク化、さらに末端での専有システムをワーク・ステーションとする高度な実験・研究に対処するためのネットワーク化が進んでいく。さらに分析実験のみならず、ネットワーク間の分散リソースである各種装置をワードプロセッサ、電子メールなどに有效地に利用する方向が生まれている。この様な要求から、1980年代から始まるローカル・エリア・ネットワーク(LAN)システムの導入が必要である。現在、ISO(International Standard Organization:国際標準化機構)、CCITT(International Telegraph and Telephone Consultative Committee:国際電信電話諮詢委員会)、IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.:米国電気電子工学会)などによりLANに対するインターフェイスとプロトコルの標準化が進められている。このネットワーク化現象は、低価格のパーソナル・コンピュータなどを中心とするワークステーションの確立により進んでいくものと思われる。この結果、端末にどれだけのインテリジェンスを持たせるか、という機能分担の問題がさらに重要になる。これはパーソナル・コンピュータ自身16ビット、さらに32ビットの方向に進んでいる事、さらに周辺LSIの完備、大容量メモリ・デバイスの開発などにより、さらに低位レベルでの機能の拡充化が図られることにより、従来中型コンピュータ以上で実行されていた処理をもこなす能力を身に付けるからである。¹⁹⁾これにより各種分析機器、測定機器はそれぞれの現場からこれらワークステーションとオペレータのインタラクティブ処理により実験を行うローカル処理から、ネットワークを介し別の場所から実行するリモート処理など多目的に利用できるであろう。

1.7 IEEE-488標準インターフェイス・バス^{20)~27)}

筆者は末端での小形ラボラトリ・オートメーション・システム、特に分光光度計を中心とする科学計測システムの開発にあたり、独立に設計された機器を一つのシステムに組込む場合の、入出力統一化を問題とし検討を始めた。

一般的なインターフェイス・バスとして、コンピュータ分野を中心とするRS-232C、科学

計測分野では原子力、原子核関係など大規模な計測・制御システムで広く利用されているCAMA C (Computer Automated Measurement And Control, or Computer Aided Measurement And Control)^{24) - 27)}国際規格が発表されたばかりのI E E E - 4 8 8 標準インターフェイス・バスがあった。計測制御システムでは、データ、コマンド、プログラムなどの転送のほか、システムに接続されている機器自体をソフトウェアを介することなく直接制御できることが望ましい。つまり機器の初期化、通信相手に対するサービス要求などを行なう必要がある。このためR S - 2 3 2 Cではこれらを満足できない、C A M A Cは機械的、電気的規格が細かく規定されすぎ、小規模システムではインターフェイス部分が複雑に、また高価になりすぎる難点がある。このため、分光光度計を中心とする計測・制御システムでは、通信媒体としてI E E E - 4 8 8 標準インターフェイス・バスを用いることにした。このI E E E - 4 8 8 バス（一般にG P I B（General Purpose Interface Bus）と呼ばれている）は、1965年米国ヒューレット・パッカード社の社内規格により始まるH P - I B（Hewlett Packard Interface Bus）規格、さらに1972年に発表されたH P - I B原案を基に、I E E Eにより1975年規格化された標準インターフェイス・バスである。その後1978年、1980年に改良が加えられ現在に至る。またI E C（International Electro-technical Commission：国際電気標準会議）においても1977年正式に認められた。

第2章 分散プロセッサを用いたモジュール型分光光度計

2.1 緒言

従来から実験装置を中心とする科学計測システムでは、実験の前調整ならびに操作パラメータ設定から最後のデータ処理まで、多大な手数を要し、さらに複雑な分析装置の操作ミスなどを引き起し、測定を困難にしていた。これらの解決法として、ラボラトリ・オートメーション(LA)が考えられた。まず計測機器、記録装置、処理装置などのデジタル化に伴い、これらを1台のミニコンピュータに接続し、高度の分析機器を制御する専有システムとしての集中型LAシステムが使われるようになった。しかし接続している装置の台数増加、データ量の増大、複雑なデータ演算処理などにより、ミニコンピュータの利点である高速応答性、スループットが悪化する問題が起った。これにより、マルチ・ミニコンピュータ・システムが考えられたが、特別大規模なプロジェクトでもない限り経済的に実用不可能であり、また複雑なオペレーティング・システムのため容易に拡張できない欠点があった。

このようなミニコンピュータを中心とする一時代から、1971年発表された4004を原点とするマイクロプロセッサを中心とする半導体技術の進歩により、新しい方向が生まれてきた。マイクロプロセッサが登場すると、各分析機器に内蔵され、さらに処理能力の向上により、ミニコンピュータの置換えとしてのマイクロコンピュータが利用された。また一方で、機能分散型マルチ・プロセッサ・システムがLAの一手段として考えられた。この機能分散型マルチ・プロセッサ・システムは機能および負荷を各サブ・マイクロプロセッサ・システムに分散することを主目的に開発されている。²⁸⁾しかし、分散システムに独立に設計された装置を組込む場合、入出力の統一化が問題となる。計測における規格化されたインターフェイス・バスとしてRS-232C、CAMAC、さらにIEEEにより国際規格化が発表されたIEEE-488バスなどがあり、これらの標準バスにより装置間を接続していた複雑なインターフェイスが統一化された。しかしCAMACは細かく規格化されすぎ、装置が大がかり、かつ高価になる。またRS-232Cでは、直接計測装置の制御ができないなどの欠点があるため、筆者が分光光度計システムの設計・開発をする場合、IEEE-488バスをシステムの標準バスとすることを決定した。

本章では、最近の分光光度計の流行である多機能化による、記録、保存、表示、さらに複雑な数学的処理などの各機能を1台にまとめたオール・イン・ワン化の方向に対し、これらの分光光度計を構成する各機能部分をサブ・マイクロプロセッサ・システム（以下モジュールと呼ぶ）に分散させ、その各モジュール間をIEEE-488標準インターフェイス・バスにより接続した、機能分

散型マルチ・マイクロプロセッサ・システムの試作について述べる。またそのハードウェア、および実験結果による性能評価の記述を行う。

2.2 機能分散型マルチ・マイクロプロセッサ分光光度計システムの開発

図2.1にシステムのブロック図を示す。このシステムは、次の6モジュールから構成されている。

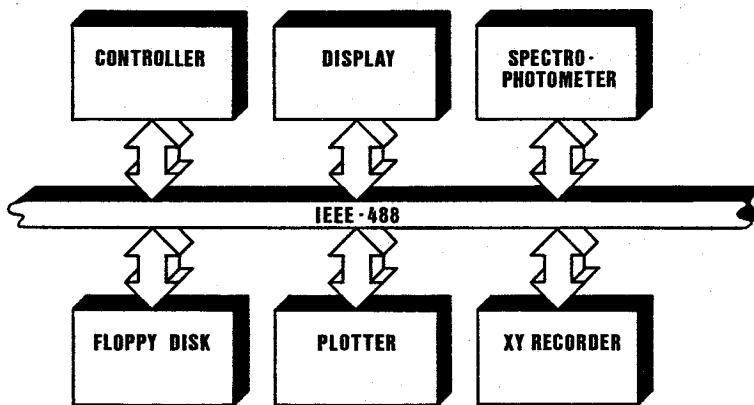


図2.1 機能分散型マルチ・マイクロプロセッサ
分光光度計システム

- (1) 分光光度計モジュール
- (2) コントローラ・モジュール
- (3) XYレコーダ・モジュール
- (4) ディスプレイ・モジュール
- (5) プロッタ・モジュール
- (6) フロッピ・ディスク・モジュール

このシステムの主な特長をつぎに示す。

- (1) ラボラトリ・オートメーション(LA)の端末にある分光光度計内部にマイクロコンピュータ・ネットワークを導入
- (2) ユーザが任意にシステムの拡張ができる、ビルディング・ブロック形式を採用。
- (3) (2)より分光光度計モジュールから出発し、予算、機能要求に照合し、システムを拡張できるコストパフォーマンスの高いシステムが組める。

- (4) 分光光度計モジュールのみによる独立動作も可能。
- (5) ディスプレイ・モジュールを介して行う、オペレータによるインタラクティブ処理。
- (6) モジュール化のため設計・保守の簡略化。

2.3 システム・オペレーション

本システムは次の2つの操作法がある。

1) ローカル動作

分光光度計モジュール単体による独立動作を示す。オペレータはモジュール内のマイクロコンピュータ・パネル面のテン・キーにより各パラメータを入力し測定を実行する。パラメータは測定開始波長、終了波長、サンプリング間隔、スリット幅の各値である。出力はXYレコーダ用にアナログ値として、X、Y各値が出力される。

2) リモート動作

分光光度計モジュール、コントローラ・モジュール、ディスプレイ・モジュールの最低基本構成以上による測定方法である。これはオペレータとの対話形式によるリアル・タイム処理を可能とし、測定結果からパラメータ変更による再試行や、波形処理などを簡単に実行できるリモート操作である。

本システムの特長の一つであるインタラクティブ処理によるリモート時の操作手順をつぎに示す。

- (1) コントローラ・モジュールは、ディスプレイ・モジュールをリスナに指定する。
- (2) オペレータは、ディスプレイ上に表示される質問に対し、各パラメータ（開始波長、終了波長、サンプリング間隔、スリット幅、そして測定データを出力するモジュールの指定）を順次、対話形式により、コントローラ・モジュール付属のキーボードより入力する。これらパラメータは、コントローラ・モジュール内に格納される。
- (3) コントローラ・モジュールは、分光光度計モジュールをリスナに指定し、(2)で得た測定用パラメータを転送する。パラメータはASCII文字列から成り、キャリッジ・リターンとEOI信号により転送終了を示す。このパラメータ転送終了時点で測定が開始する（このシステムではGET（group execute trigger）を測定開始に使用していない）。
- (4) 分光光度計モジュール内で512点の測定を終わると、コントローラ・モジュールに対しSRQ（service request）信号を出力し、サービスの要求を行う（この512点は、内部のデータ・メモリ容量による）。
- (5) コントローラ・モジュールは、SRQ信号によりシリアル・ポートに入る。

- (6) コントローラ・モジュールは自分自身をリスナに、分光光度計モジュールをトーカに指定し、収集したデータの転送を行う。このデータはバイナリ形式から成り、転送最終バイトはE O I信号により示される。
- (7) コントローラ・モジュールは、シリアル・ポール時のステータス・バイトにより測定が継続中か終了かの判断を行う。継続中ならば(4), (5), (6)をくり返す。
- (8) 測定が終了すると、コントローラ・モジュール内に転送された全測定データは、(2)で指定されたモジュールへ、パラメータと共に出力される（普通は、リアル・タイム性のためディスプレイ・モジュールを使用）。
- (9) オペレータは、この出力された波形を見ながら、パラメータを変更し再実験を行うか、また多项式適合による平滑化処理を実行するか決定する。²⁹⁾ 波形処理の場合、平滑化の点数を指定する。
- (10) この結果を残す場合、X Y レコーダ・モジュール、プロッタ・モジュール、あるいはディスプレイ画面のハードコピーならば、ディスプレイ・モジュールを指定し出力する。
- (11) さらに、生データ、処理データはフロッピ・ディスク・モジュールに記録することも可能である。

2.4 ハードウェア

本システムを設計・製作した時期は、半導体とくにマイクロプロセッサ、およびそれらのファミリー L S I 群の開発過渡期にあった。このため最新のデバイスを取り入れ改良を加えていった。特に I E E E - 4 8 8 制御用インターフェイスについては、汎用のプログラマブル・インターフェイス用チップをソフトウェアにより動作させていたが、その後登場した I E E E - 4 8 8 専用 L S I を用いた。この改良という面から見ても、分散処理システムによるモジュール化されたサブシステムは非常に有効である。^{30) - 32)}

2.4.1 分光光度計モジュール

分光光度計モジュールのブロック図を図 2.2 に示す。分光光度計は、レコーダ、ディスプレイなどのアクセサリが付いていない日立製ダブルビーム型可視・紫外分光光度計モデル 200-20 を用いた。光学系は焦点距離 300 mm のリトロー型モノクロメータ、回折格子 (1440 本/mm) から構成されている。光源はタンクステン・ランプ (可視域用)、重水素ランプ (紫外域用) を使用し、190 ~ 900 nm の波長領域を波長精度 0.2 nm で測定可能である。

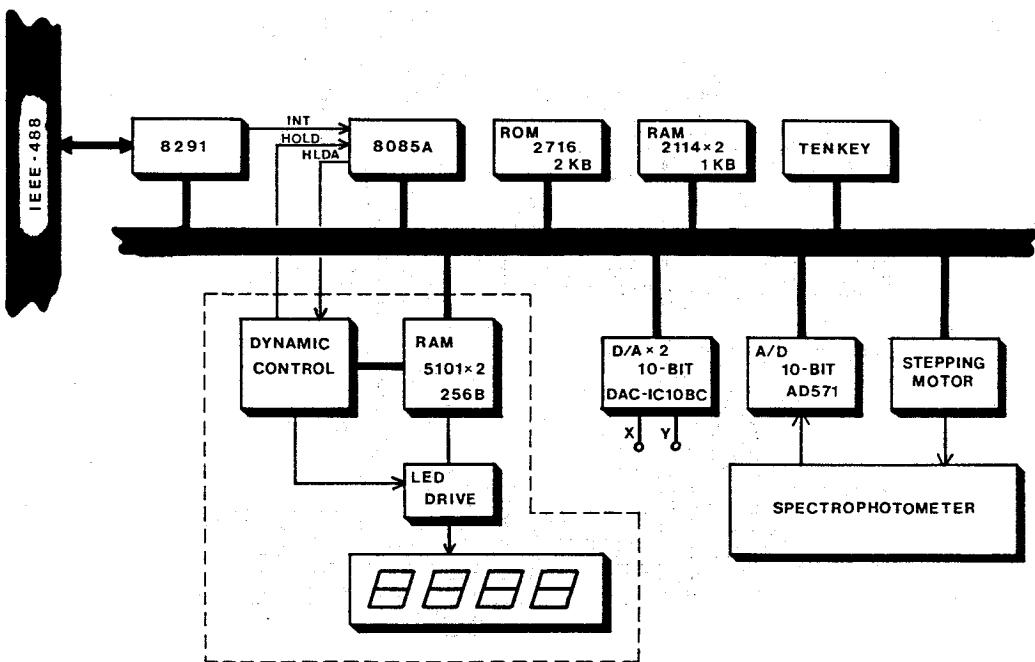


図 2.2 分光光度計モジュール

分光光度計のマイクロコンピュータによる制御、およびデータ収集を可能にするため、内蔵されていたシンクロナス・モータ、アナログ系回路を、ステッピング・モータ、ディジタル系部品に交換した。さらに、この分光光度計モジュール単体での独立ローカル動作に必要な、フロント・パネル面からのマニュアル操作用インターフェイスを加えた。

(a) C P U, メモリ回路

図 2.3 に C P U, メモリ部の回路図を示す。C P U は 8 ビット・マイクロプロセッサ 8085 A (Intel) を用いた。メモリ部は、制御プログラム格納用に 2 K バイト ROM 2716, 分光光度計からの測定データ記録用に 1 K バイト RAM (2×2114), そして分光光度計用パラメータ、プログラム・スタック, LED 表示データの格納用に 256 バイト RAM (2×5101) から構成されている。LED は、現在のスキャニング波長、サンプリング間隔、スリット幅の各値をダイナミック表示する。

(b) L E D 駆動回路³³⁾

図 2.4 に、図 2.2 において破線で囲んだ LED 駆動回路を示す。タイマ用 IC (NE555) により、一定時間間隔毎に C P U に対し HOLD を入力し、DMA モードによりメモリから順次 L E

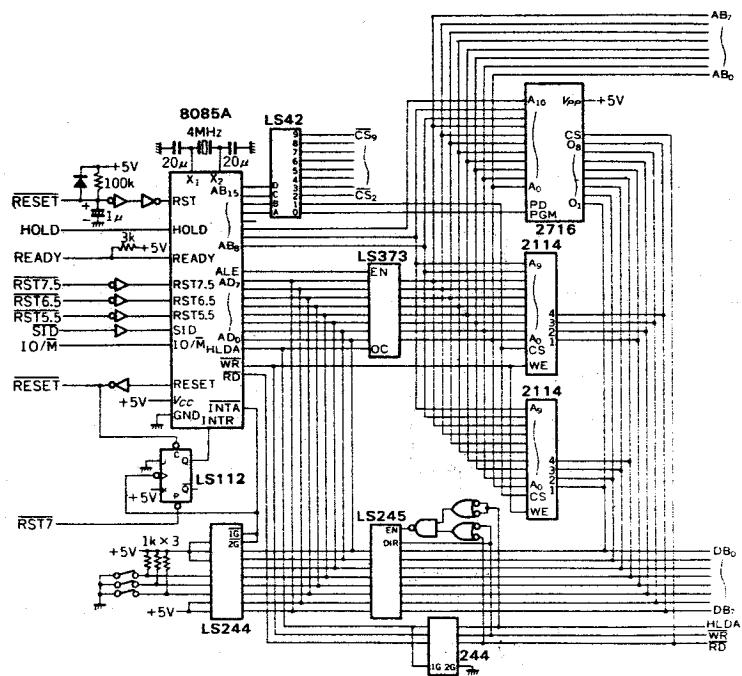


図 2.3 C P U, メモリ回路

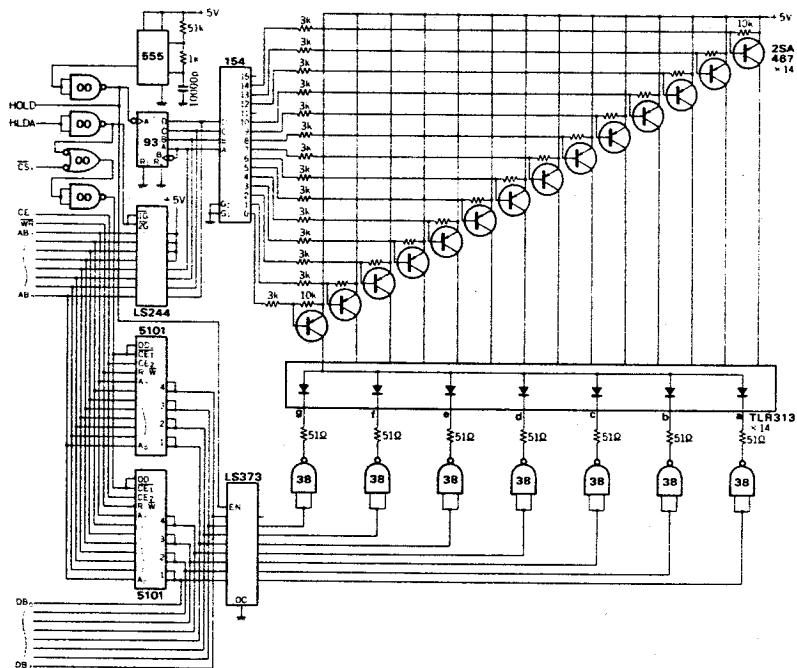


図 2.4 L E D 駆動回路

D用ビット・パターンを74LS373にラッピングさせ、ダイナミック点燈させている。

(c) A/D変換とテン・キー入力回路

図2.5に分光光度計からアナログ信号をデジタル変換する、10ビット・A/DコンバータAD571K(Analog Devices)を用いたA/D変換部、ローカル動作時のパラメータ入力用テン・キー回路部を示す。A/Dコンバータ制御、テン・キー・スキャン共ソフトウェアによるセンス方式を採用している。

(d) I-V変換とサンプル・ホールド回路

図2.6にオペアンプLM312(National Semiconductor)を用いた、光電子増倍管からの電流信号を電圧変換するI-V変換回路と、その電圧出力信号をホールドするサンプル・ホールド用IC SHM-LM-2(Datel)を用いた回路図を示す。

(e) D/A変換とステッピング・モータ制御用回路

図2.7に、10ビットD/AコンバータDAC-IC-1ØBC(Datel)を用いた2チャンネルD/A変換部と、ステッピング・モータ駆動回路に加えるパルス発生部の回路図を示す。D/Aコンバータは、ローカル動作時に使用するXYレコーダ用アナログ信号に使用する。

一般にステッピング・モータ駆動を行う場合、オーバショット、アンダーショットが問題となる。³⁴⁾⁻³⁷⁾普通、ス

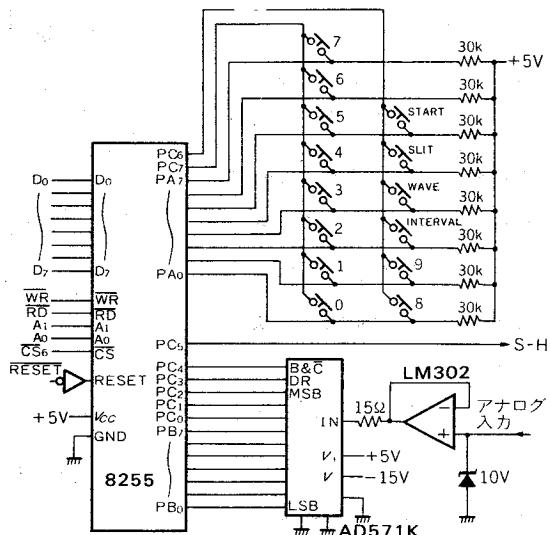


図2.5 A/D変換とテン・キー入力回路

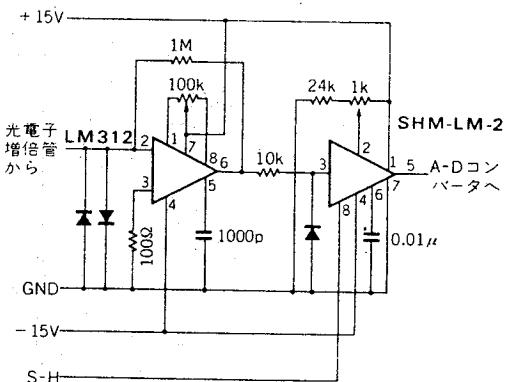


図2.6 I-V変換回路とサンプル・ホールド

テッピング・モータに加える加減速
パルス列により、これを避けている。
しかし、これをハードウェア・ロジックにより行うことは困難である。
これに対しソフトウェアによる方法は、マイクロプロセッサの普及により急速に広まりつつある。³⁸⁾ この場合、三角駆動、台形駆動のみならず、自由な形が組める利点がある。筆者は、この分光光度計による実験から、サイン波形に近い形で駆動し、波長ずれの問題解決を図っている。

(f) IEEE-488 インターフェイス

イス

図 2.8 に GPIB TALKER / LISTENER 8291 (Intel) と、
バス・トランシーバ MC3448 A

(Motorola) を用いた IEEE-488 インターフェイス用回路を示す。³⁹⁾

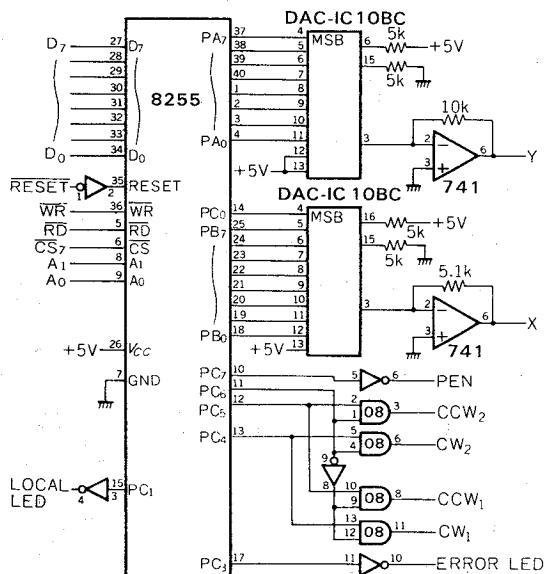


図 2.7 D/A 変換とステッピング・モータ制御回路

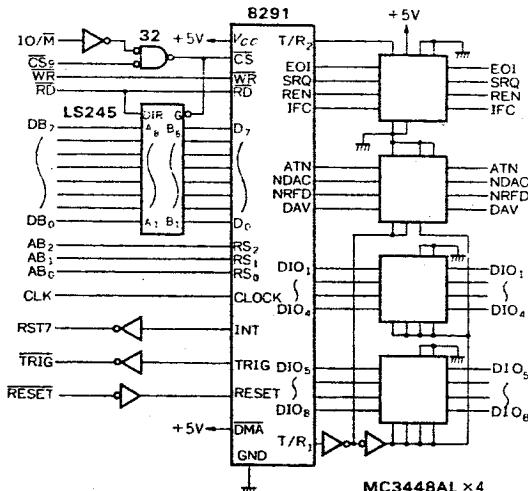


図 2.8 IEEE-488 インターフェイス回路

2.4.2 コントローラ・モジュール

図2.9にコントローラ・モジュールのブロック図を示す。このモジュールはCPU 8085, ROM 2716, 4 KバイトRAM

(8×7141) に、テレタイプ (T T Y), 紙テープ・リーダ (P T R), フル・キーボード, I E E E - 4 8 8 バス用の各インターフェイスを加え構成されている。T T Y, P T R は主にシステム開発中のデバッグに使用したが, 測定

データ、処理データの記録用として紙テープ出力、また入力用としても使用可能である。

(a) IEEE-488インターフェイス

図 2.9 コントローラ・モジュール

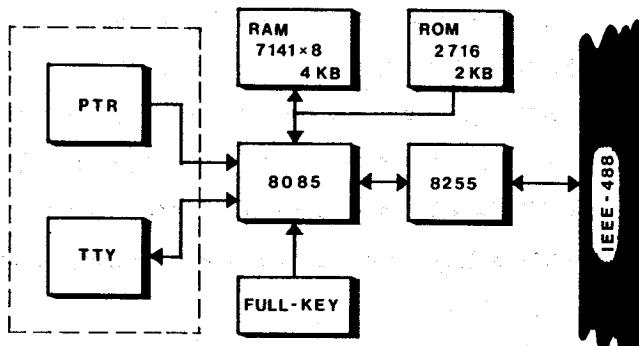


図2.10に汎用プログラマブルLSI 8255(Intel)を用いた、コントローラ用IEEE-488

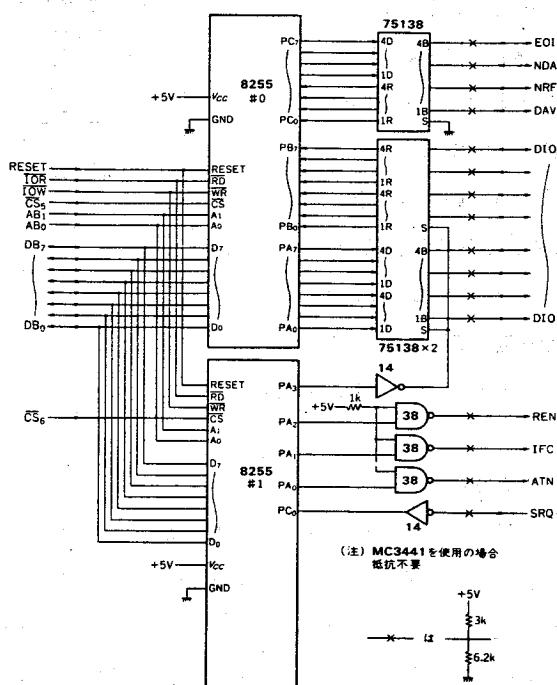


図2.10 汎用LSIを用いたコントローラ回路

インターフェイス回路図を示す。トランシーバとしてSN 75138 (T I) を用い、ターミネーション用プルアップ、プルダウン抵抗にそれぞれ $3\text{ K}\Omega$ 、 $6.2\text{ K}\Omega$ を各信号線に使用した。コントローラ機能（パラレル・ポール機能を除く）はすべてソフトウェアにより実行される。ただし、3線式ハンドシェイクの遷移など、すべてプログラム・センス方式で行うため、コマンド、データの転送速度を速めることができない欠点がある。また IEEE-488 規格の詳細を理解していかなければ、非常に困難である。プログラム・センス方式のためマイクロプロセッサの負荷が増大する欠点があるが、ハードウェアの変更なしにコントローラの開発ができる利点もある。ただし、プログラム・センス方式の回路をトーカ、リスナに用いる場合、ATN信号に対する応答が、規格以内（200 ns以内）に行えない。このため、この部分はTTL回路により組む必要がある。⁴⁰⁾

2.4.3 XYレコーダ・モジュール

図2.11にXYレコーダ・モジュールのブロック図を示す。IEEE-488バスの3線式ハンドシェイク・シーケンスなどの実験を、コントローラ・モジュールとこのモジュール間で行い、プログラムの開発を行った。

このモジュールは、CPU SC/MP-I (National Semiconductor)，256バイト ROM 1702 A，そして2個の12ビットD/Aコンバータ DAC-HZ12BGC (Datel) から構成される（汎用性を考え12ビットとした）。モジュール内部にRAMを使用していないため、一度データ転送が始まると、長時間 IEEE-488バスを専有してしまう。このため現在ではプロッタ・モジュールを主に使用している。

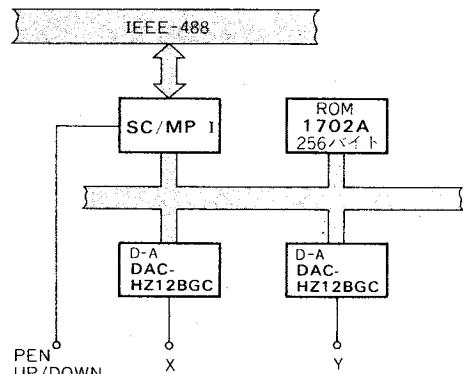


図2.11 XYレコーダ・モジュール

2.4.4 ディスプレイ・モジュール

図2.12にディスプレイ・モジュールのブロック図を示す。このモジュールは、オペレータとの対話、分光光度計モジュールから得られたスペクトルの表示、また表示されたスペクトル画面のハード・コピーを取る目的に使用される。画面のハード・コピーは、このモジュールに接続したプリンタMP-80 type-2 (EPSON) 上にビット・イメージとして出力される。

ディスプレイの表示方法は、原理的に市販のTVと同一のラスタ・スキャン方式を用いている。

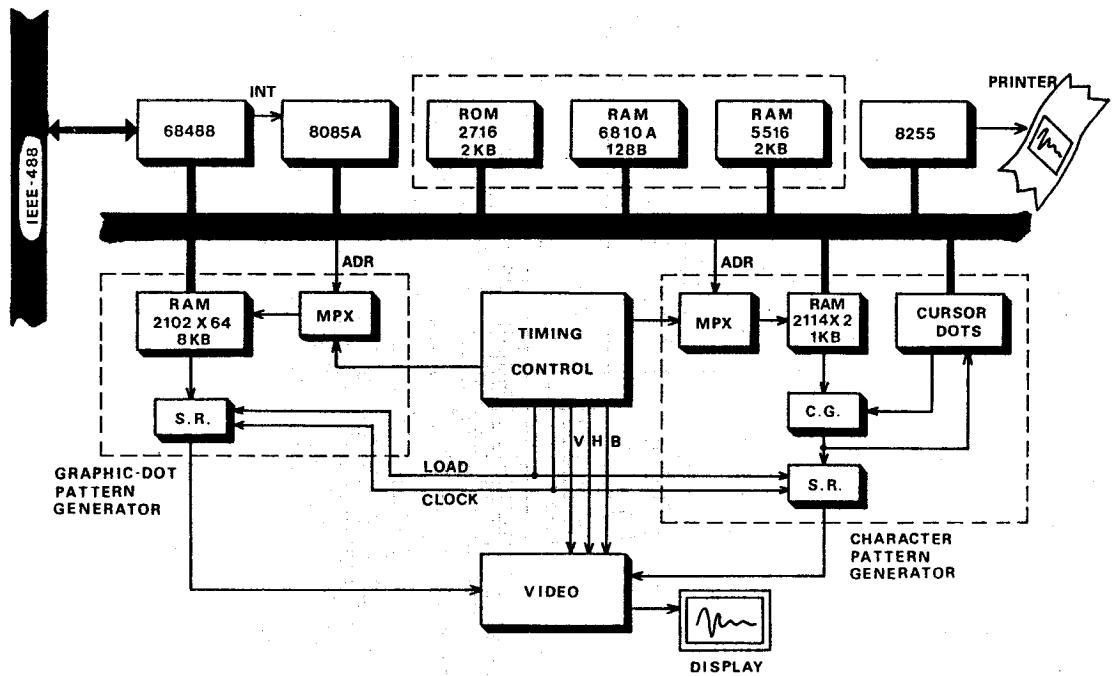


図2.12 ディスプレイ・モジュール

また図形は点の集合で表示されるため、ドット・パターン方式と呼ばれ、コンピュータにより発生させたディジタル情報を画像表示するのに適している。このディスプレイ・モジュールはグラフィック用画像メモリ8 Kバイトにより 256×240 （横×縦）、キャラクタ用メモリ1 Kバイトにより 32×16 （行×列）を表示できる。ただしキャラクタ画面は、2画面分の容量を持っている。

(a) C P U周辺回路

図2.13に、C P U周辺部の回路図を示す。C P Uは8085 A、メモリ部は2 KバイトROM 2716（制御プログラム用）、128バイトRAM MC 6810 A（パラメータ、スタック用）、2 KバイトRAM東芝製TC 5516（データ用）を使用している。

(b) タイミング制御回路⁴¹⁾

ラスタ・スキャン方式のディスプレイ管面上に縦M、横Nドットのエリアを表示する場合、全ドット数は $M \times N$ 個となり、このドットと対応する画像専用メモリが必要となる。同メモリの各ビットを、ディスプレイのラスタ・スキャンに同期させて順次読み出し、同期信号に従いディスプレイに出力させる。このタイミングを発生するのがタイミング制御回路であり、水平・垂直同期信号、グラフィック用画像信号を出力する。回路図を図2.14と図2.15に示す。

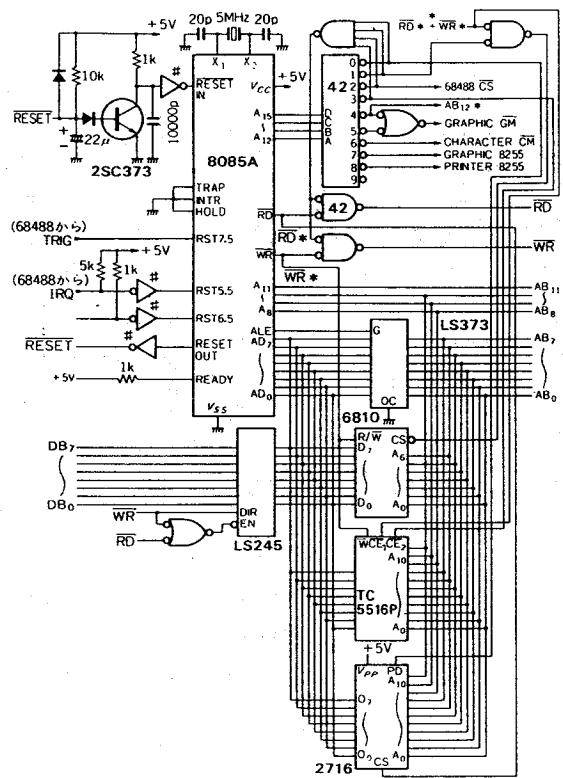


図 2.13 C PU周辺回路

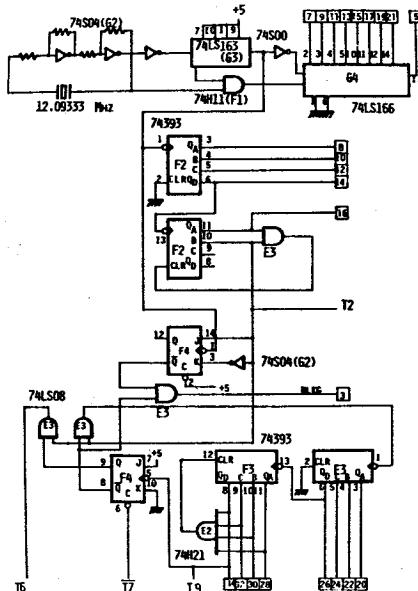


図 2.14 同期信号発生回路(I)

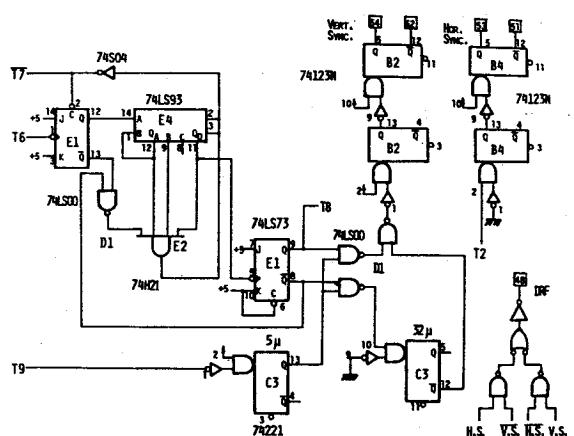


図 2.15 同期信号発生回路(II)

(c) キャラクタ用信号

図2.16に、キャラクタ用基準信号発生回路を示す。

図2.17に図2.16の回路を組込んだキャラクタ制御回路を示す。

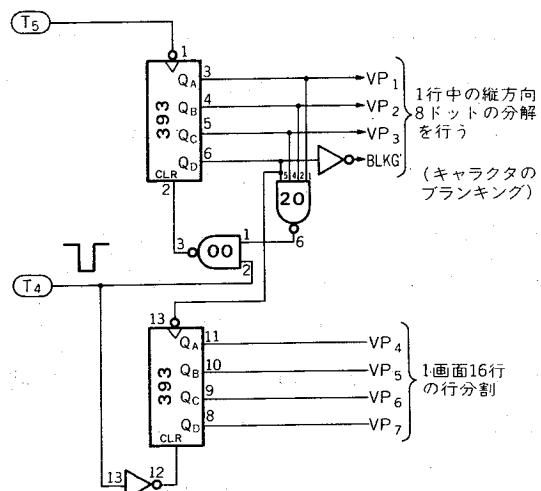


図2.16 キャラクタ用基準信号発生回路

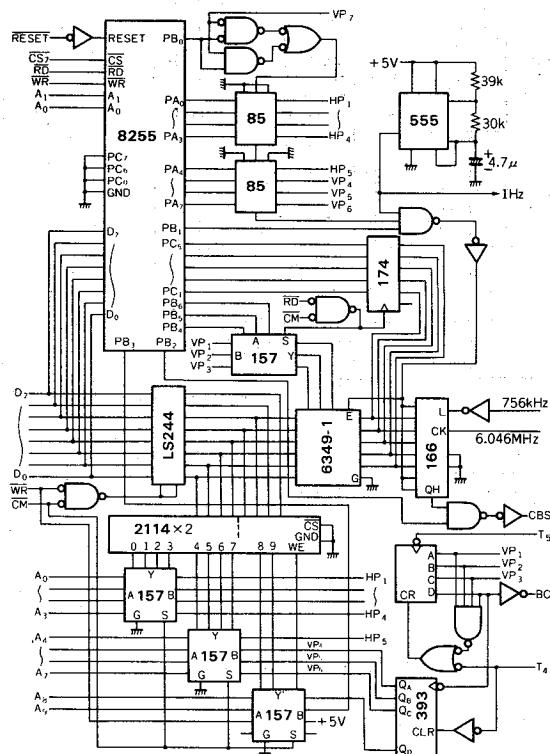


図2.17 キャラクタ用ドット・パターン処理回路

キャラクタ用メモリは1KバイトRAM (2×2114) から成り、その出力はキャラクタ・ジェネレータ (PROM 6349-1にプログラムしたもの) により、ドット・パターンに変換される。8255は、キャラクタ用カーソル制御と、 5×7 キャラクタ・ドット・パターン入力に用いる。通常は、グラフィック、キャラクタ画面はスーパーインポーズされ出力されているが、この回路によりキャラクタ画面を入力し、ソフトウェアによりグラフィック画面のみを構成できる。この機能により、プリンタ出力用ビット・イメージに容易に変換可能となる。⁴²⁾

(d) キャラクタ・メモリ回路

図2.18に示す回路図は、C P U、タイミング制御回路両方向からの信号を制御するマルチプレクサ回路である。

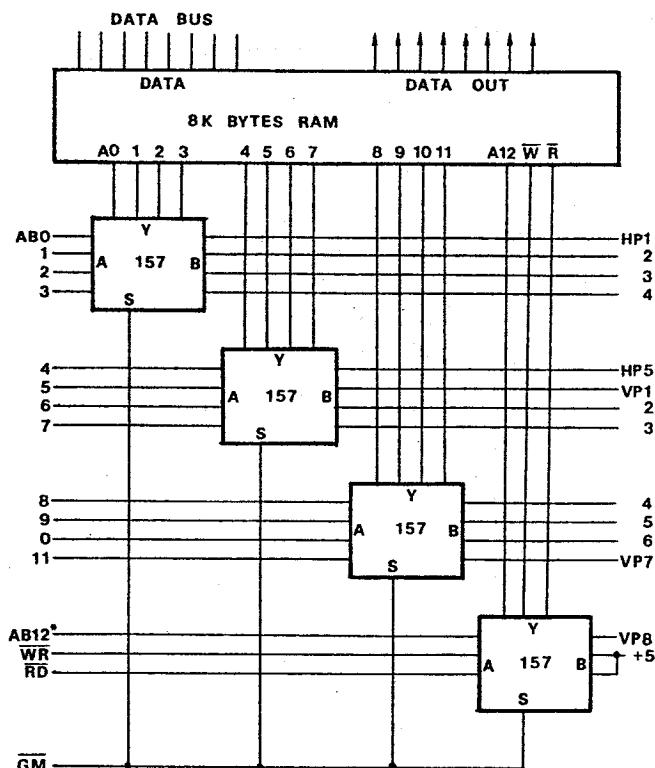


図2.18 マルチプレクサ回路

(e) ビデオ信号回路

グラフィック用、キャラクタ用の各ドット・パターン出力は、図2.19の回路により同期信号と合成され、ディスプレイに出力される。

(f) プリンタ用インターフェイス

図2.20の回路により、画面のハード・コピーをプリンタ上に出力する。

(g) IEEE-488インターフェイス

IEEE-488インターフェイス部は、専用LSI GPIA MC68488 (Motorola), 4×MC3448A (Motola) を用いた。⁴³⁾ その回路を図2.21に示す。

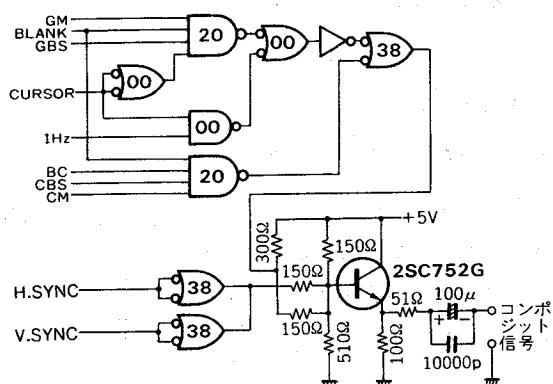


図2.19 ディスプレイ用合成信号発生回路

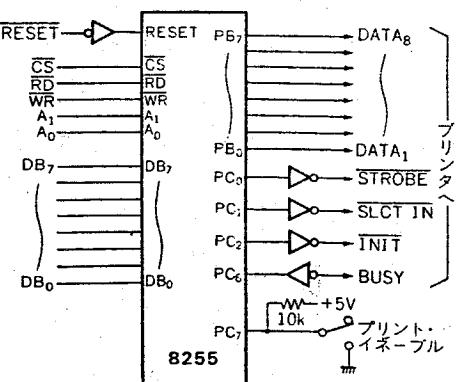


図2.20 プリンタ用インターフェイス

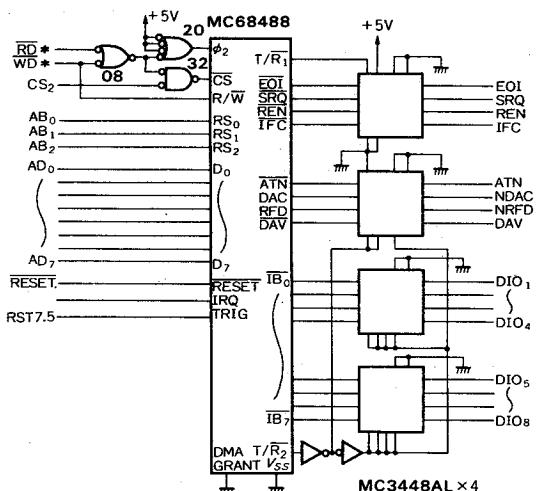


図2.21 IEEE-488インターフェイス回路

2.4.5 プロッタ・モジュール

図2.22にプロッタ・モジュールのブロック図を示す。このモジュールは渡辺計測器製マイプロットWX4671用に製作し、主にXYレコードの代わりに使用している。プロッタ・モジュール自身インテリジェント化してあるため、データとパラメータの転送により、自動的にA4サイズに調整し出力する。

(a) CPU, メモリ回路

図2.23にCPU, メモリ周辺の回路図を示す。CPUに8085A, メモリに2KバイトROM 2716 (制御プログラム用), 2KバイトRAM TC 5516 (データ用) を用いた。またパラメータ、プログラム・スタック用メモリには、8155 (Intel) 内部メモリを使用した。

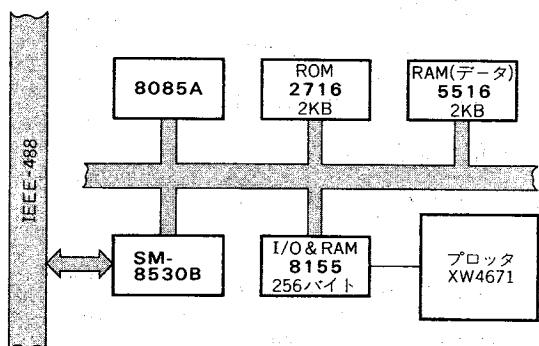
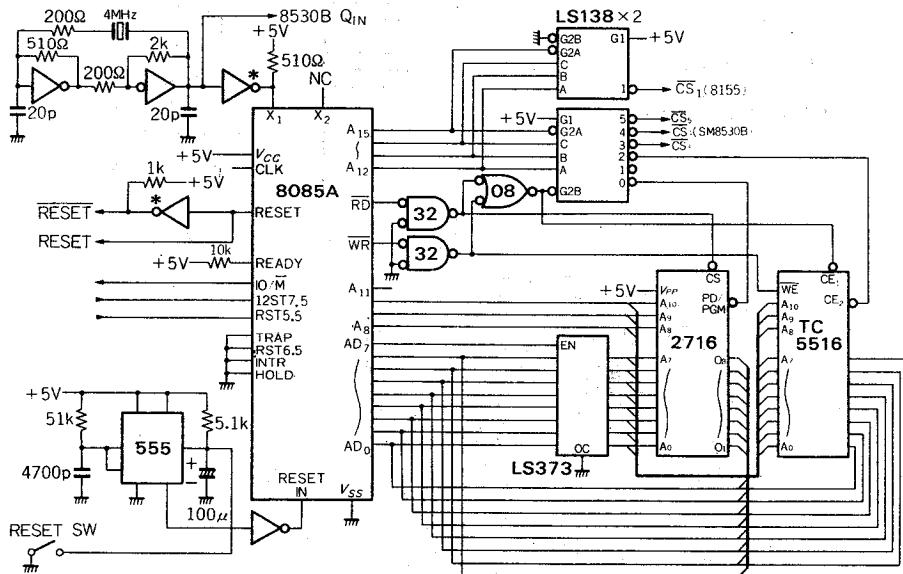


図2.22 プロッタ・モジュール

(b) プロッタ制御回路

図2.24にプロッタ用インターフェイス回路を示す。8155によるプログラム・センス方式により制御を行っている。

(c) IEEE-488インターフェイス

図2.25に示すIEEE-488インターフェイス部は、日本プレシジョン・サーキット製SM8530B, 4×MC3441A(Motorola)

を用いた。SM8530Bは本来マイクロコンピュータ制御機能を持たない計測システム用

に開発されたCMOSタイプのトーカ、リスナ専用LSI（パラレル・ポール機能を除く）である。⁴⁴⁾マイクロプロセッサ制御を行うため、外付回路を付加し割込みにより動作させている。

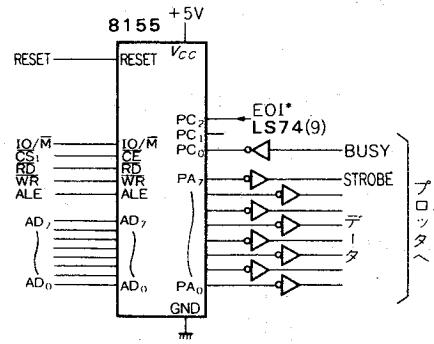


図 2.24 プロッタ制御回路

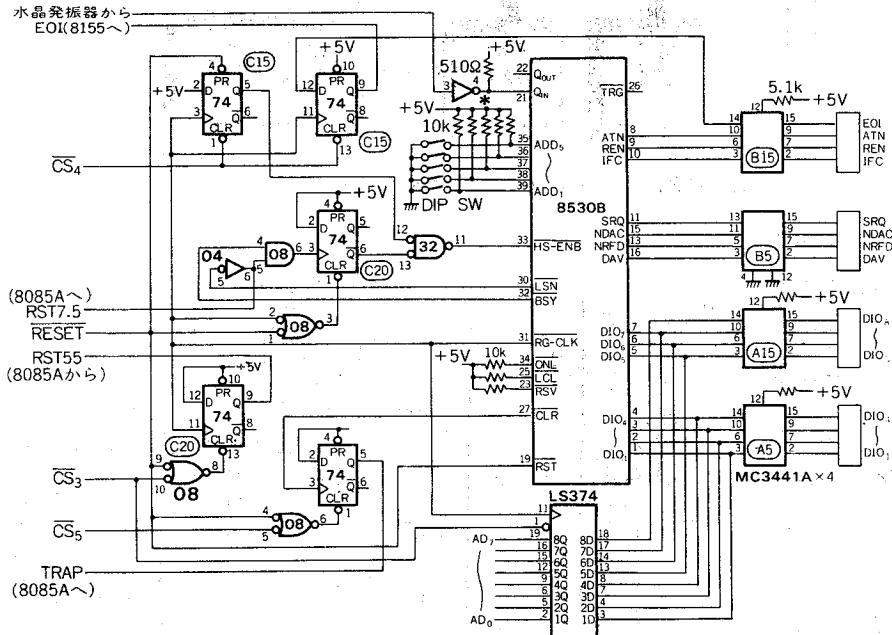


図2.25 IEEE-488インターフェイス回路

2.4.6 フロッピ・ディスク・モジュール

図2.26にフロッピ・ディスク・モジュールのブロック図を示す。このモジュールは、コントローラ機能も備えるデータ格納装置として製作された。CPUにZ80A、メモリに4Kバイト ROM 2532（モニタ、CP/Mブート用）、64Kバイト RAM（32×4116）、DMA用にZ80A-DMAを用いている。このモジュールの制御はCP/Mのシステム・コールを用いたプログラムにより実行されている。

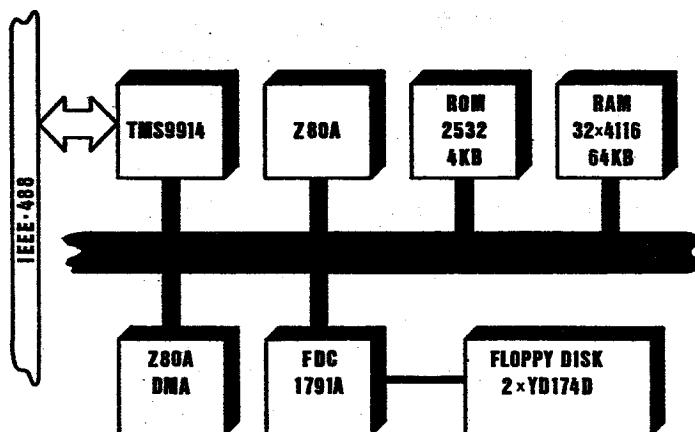


図2.26 フロッピ・ディスク・モジュール

(a) IEEE-488インターフェイス

IEEE-488インターフェイス部は図2.27に示した専用LSI TMS9914 GP IBアダプタ(TI), 専用バス・トランシーバ SN75160, SN75161(TI)により構成した。⁴⁵⁾

また, IEEE-488バス制御を割込み処理により実行するため,

Z80A-PIOを用い,

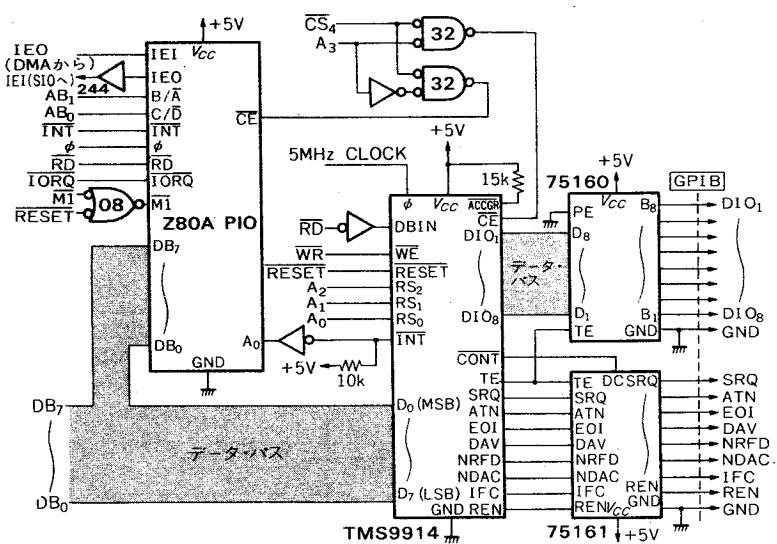


図2.27 IEEE-488インターフェイス

MODE 2割込みを有効に活かしている。

(b) フロッピ・ディスク・インターフェイス

フロッピ・ディスク・インターフェイスは、フロッピ・ディスク・コントローラ / フォーマッタ FDC 1791 A-02 (Western Digital: WD), 同じく同社製WD 2143-01, WD 1691, およびZ80A-P PIOを用いて製作した。この回路を図 2.28に示す。この回路により、8インチ標準フロッピ・ディスク・ドライブYD 174 D (YE-DATA) を2台制御している。

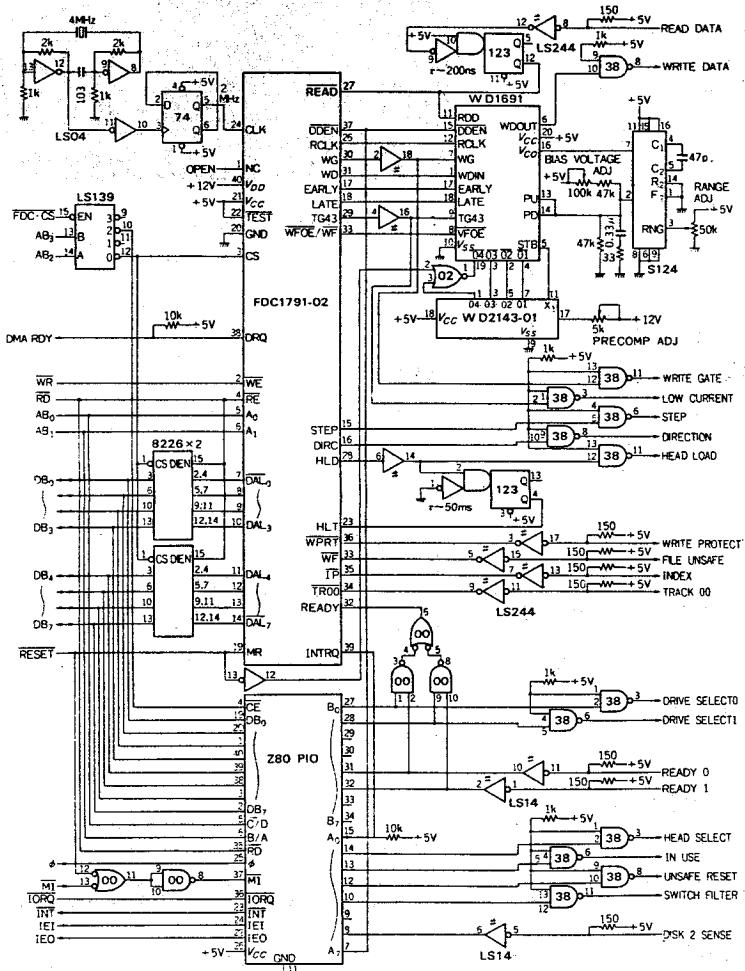


図 2.28 フロッピ・ディスク・コントローラ

2.5 実験によるシステム評価

システム評価のため、J I S 標準試料を用い、吸収スペクトルを測定した。図2.29は、ディスプレイ・スクリーン上の吸収スペクトル写真である。これは、ディディミウム・ガラス・フィルタの透過率を340.0 nmから748.0 nmまで、0.4 nm間隔で測定した生データに、17点の多項式適合による平滑化処理を加えたスペクトルである。図2.30は、このスクリーン画面を、ディスプレイ・モジュールのプリンタに出力したハード・コピーである。

図2.31は、同じスペクトルのプロッタ・モジュール出力例である。以上の動作、出力モジュールの選択は、ディスプレイ・モジュールを介したオペレータ間の対話形式により容易に実行できる。

機能分散型マルチ・マイクロプロセッサ方式によるため、測定終了後、オペレータはパラメータを変更し、分光光度計モジュールに再測定を行わせながら、コントローラ・モジュール、ディスプレイ・モジュールによる波形処理を実行し、結果を出力させることが可能である。このような同時並列処理を行うことにより、実験を含めたスループットの向上、さらにI E E E - 4 8 8 標準インターフェイス・バスによるシステムの柔軟性を確認することができた。

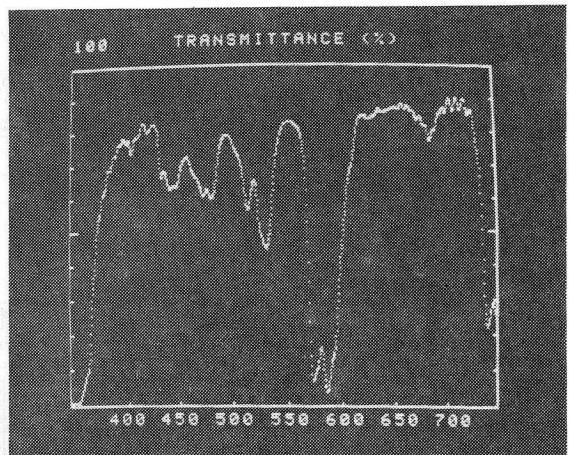


図2.29 ディスプレイ・モジュールに
出力した吸収スペクトル

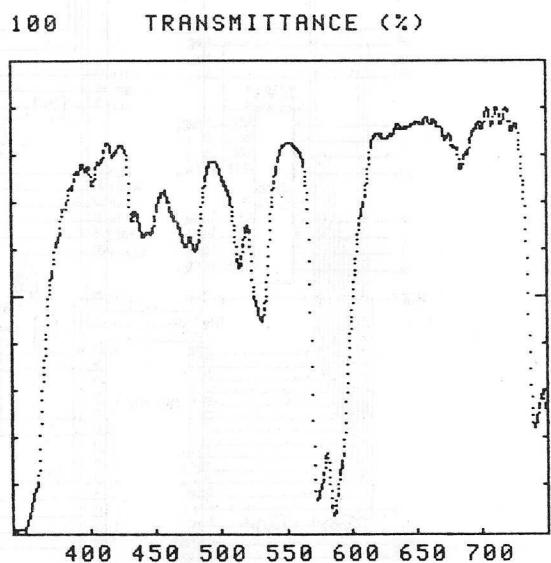


図2.30 グラフィック・モジュームの
画面ハード・コピー

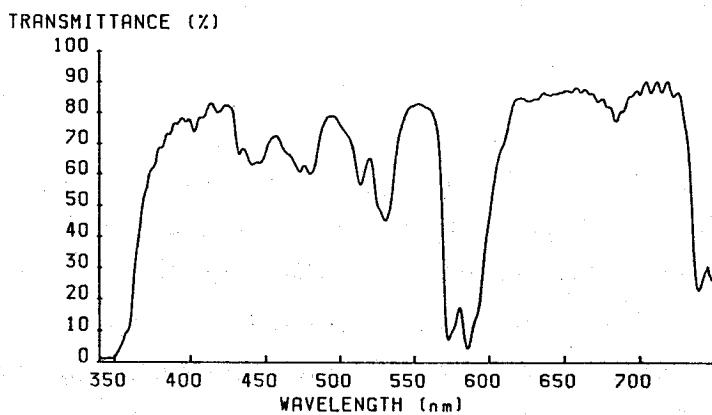


図 2.31 プロッタ・モジュールによる出力例

2.6 結 言

最近、大規模な実験研究に用いられている、分散型マイクロプロセッサ・ネットワークを末端の分光光度計内部に採用した機能分散型マルチ・マイクロプロセッサ分光光度計システムを開発した。オール・イン・ワン型の分光光度計を、各アクセサリの機能ごとに分散モジュール化し、それぞれを IEEE-488 標準インターフェイス・バスにより接続した。このシステムの特長は、ユーザが任意にシステムの設計・拡張ができる点にある。最初に分光光度計モジュールのみあれば、マニュアルによる独立動作が可能であり、XYレコーダ上に透過率スペクトルの出力が得られる。これにコントローラ・モジュール、グラフィック・モジュールを加えれば、リアルタイム、オンラインによる対話形波形処理が可能となる。さらにプロッタ・モジュールの付加により、波形のハード・コピーが得られ、フロッピ・ディスク・モジュールにより、測定生データの保存、管理が可能となる。このように、ユーザが、予算、処理範囲などにより、機能を増減できるビルディング・ブロック型式のコスト・パフォーマンスのよい分光光度計システムを開発した。⁴⁶⁾さらに標準試料を用いた吸収測定により、システムの性能評価を通じ、IEEE-488 バスによる柔軟性、拡張性、また機能分散化マルチ・マイクロプロセッサ・システムによる応答性の向上、並列処理によるスループットの向上、さらにモジュール化による可用性の向上、設計・保守の簡略化の確認を行った。⁴⁷⁾

第3章 インテリジェント機器群をもつ小型LAシステム

3.1 緒言

科学計測分野における分析機器の自動化という面から出発したラボラトリ・オートメーション(LA)は、機器のディジタル化、コンピュータの導入などにより急速に発達した。LAは、1960年代以降のミニコンピュータの普及により、一般の実験室、研究室に深く浸透した。この理由は、ミニコンピュータの入出力がユーザに開放され、機器制御をオンライン、リアル・タイムに実行できる点であった。しかし、ミニコンピュータ自身が高価であったため、大規模な分析機器に付属した専用の制御・処理装置という形態であった。また一方で、1台のミニコンピュータにより、複数の分析機器を制御し、機能強化のため周辺装置を接続した集中型LAシステムへと発展していった。48)-56)

この一例とし、図3.1に、4台の分光機器を接続した集中型LAシステムのブロック図を示す。このシステムでは、1台のミニコンピュータがすべての分光機器の制御、データ収集、処理などを実行する。しかし、複数の分析機器を管理・制御する場合、以下の問題がもちらがる。

- (1) システムを構成させるため、各分析機器固有のインターフェイスが必要。

- (2) 複数の分析機器制御のため、OS(Operating

System)のオーバヘッド・タイムがかさみ、スループットが低下する。このため、ミニコンピュータ本来の高速応答、処理機能が、充分に活かされなくなる。

- (3) すべての制御がOS管理下にあるため、そのOSの構造が複雑化し、保守や拡張が困難になる。

- (4) 分析機器は種類も多く、ユーザ設計のものも含まれるため定型化したものではない。この特殊性が大きな制約となる。

このように、ミニコンピュータの力を最大限に活かすべき発達してきた集中型LAシステムが、

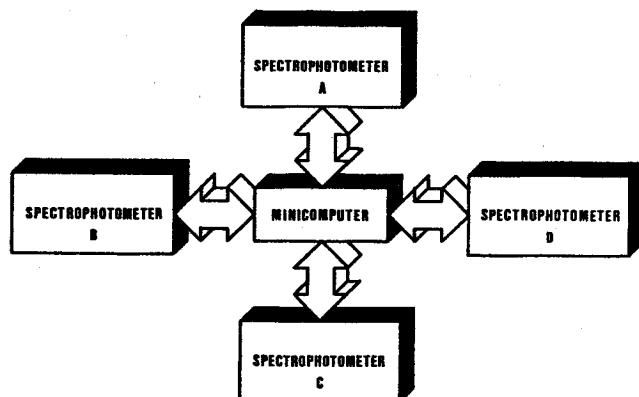


図3.1 集中型LAシステム

分析機器の台数の増加、複雑な処理などにより、逆に機能低下を生む原因となった。この解決法とし、負荷を分散させたマルチ・ミニコンピュータ・システムが考えられたが、大規模システムでなければ採算がとれない難点があった。

1970年代前半のマイクロプロセッサ出現により、以後広くこれらが利用されるようになった。この結果、1台のミニコンピュータが行っていた全仕事（負荷）を、それぞれの分析機器側のマイクロプロセッサに分散させ、ミニコンピュータは、それらを管理、データ処理などをすることにより、問題の解決を図った。^{57), 58)}

その一例とし、図3.2に、マスタ・スレイブ方式を用いた分散型マルチ・プロセッサ・システムのブロック図を示す。このマルチ・プロセッサ・システムにより、各分光機器に対するサービス応答時間が、非常に短縮され、

またマスタ側、スレイブ側での並列処理が可能なため、スループットが上昇する。このシステム内のマスタ・コンピュータは、システム・コントローラと呼ばれている。システム・コントローラを囲むそれぞれのサブシステムは、スレイブ・コンピュータと分析機器から構成されている。

一般に最近の分析機器は、高機能化の方向にあり、マイクロプロセッサ内蔵型、

または付属型の構成をとっている。このようなインテリジェント化された分析機器を用いてシステムを設計する場合、次の点に注意する必要がある。

- (1) 個々のコンピュータに分散させる負荷（仕事）を、どのように配分するか。
- (2) システム・コントローラと、サブシステム間の通信をどうするか。

一般に市販されている分析機器は、メーカーにより、また機器により、CPUならびに周辺チップも多様性に富むため、入出力の方式が異なり、LAシステムに組み込むことが困難である。しかし、システム・コントローラとサブシステムを結ぶ通信用ハードウェア、および機器制御、通信ソフト

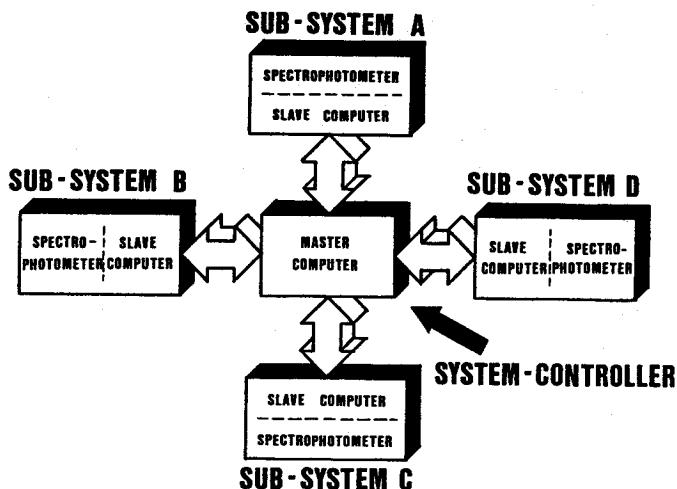


図3.2 マスタ・スレイブ分散型
マルチ・プロセッサ・システム

ウェアが統一されていれば、問題は解決される。

筆者は、その一例とし3台の分光光度計から構成される分散型マルチ・マイクロプロセッサLAシステムを試作した。システム内の通信用に、共通バスとしてIEEE-488インターフェイス・バスを用いた。これにより、システム内にサブシステムを組み込み、また分離することが簡単となった。

一方現在市販されている分析機器は、ほぼマイクロプロセッサ内蔵型であり、その測定も、ソフトウェアによるプログラム化されたものである。しかし、ユーザにとってその内部、つまりソフトウェア、ハードウェアは、ブラック・ボックスであり、変更、拡張を考えても手がつけられる状態ではない。このため、試作したシステム内では共通の標準言語としてBASICを採用している。^{59), 60)}またスレイブ・コンピュータには、機器制御、通信制御、および簡単な前処理のみ担当させ、マスター・コンピュータによりシステムの管理、データ処理、データ記録などを実行させている。

またこのシステムの特徴として、マスター・コンピュータ側のオペレータによる末端にある分析機器の間接制御がある。この方法は、システム・コントローラ側にいるオペレータにより記述されたBASICプログラム自体を、それぞれの分光光度計サブシステム内のスレイブ・コンピュータに転送⁶¹⁾し、そのスレイブ・コンピュータ内のインタプリタによりそのプログラムを実行させるものである。当然、それぞれのサブシステム内のインタプリタは、機器の相違により他のそれとは異っているが、ほぼ同じ機能を満足させている。この方式により、オペレータは測定の手順、方式などを簡単に組み、また変更し実行させることが可能である。また、ユーザは、CPU機種の相違を考える必要はない。

3.2 システム・オペレーション

図3.3に試作したマスター・

スレイブ方式を用いたLA
システムのブロック図を示
す。このシステムは、16ビ
ット・マイクロコンピュー
タを用いたシステム・コン
トローラと、それぞれ8ビ
ット・マイクロプロセッサ
を内蔵させた3台の分光光
度計サブシステムから構成

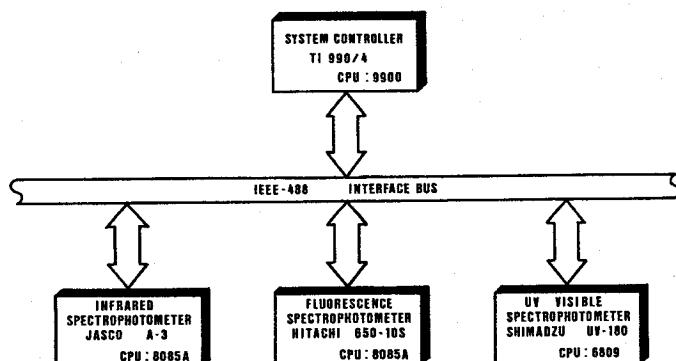


図3.3 マスター・スレイブ方式を用いた
LAシステム

されている。サブシステムは、赤外分光光度計、蛍光分光光度計、可視・紫外分光光度計である。IEEE-488 インターフェイス・バスは、システム・コントローラとサブシステム間をリンクする。システム・コントローラの役割は、次のとおりである。

- (1) BASIC プログラム作製時の、マン・マシン・インターフェイス
- (2) サブシステムから転送されたデータの後処理
- (3) サブシステムから転送されたデータの保存
- (4) IEEE-488 インターフェイス・バスの制御（コントローラ / トーカ / リスナ機能）

また、スレーブ・コンピュータを内蔵する個々のサブシステムでは、つぎの役割をもつ。

- (1) ホスト・コンピュータであるシステム・コントローラから転送された BASIC プログラムの解析 (BASIC インタプリタ)
- (2) 分光光度計の制御
- (3) データ収集
- (4) 収集データの前処理
- (5) IEEE-488 インターフェイス・バスのトーカ / リスナ機能の実行

システムの測定手順流れ図を図 3.4 に示す。測定の方法により、ローカル・モードとリモート・モードがある。ローカルモードは、システム・コントローラとは無関係に、単体で独立動作を行う場合である。リモート・モードは、

BASIC プログラムをシステム・コントローラから、サブシステム内に転送することにより測定を行う方法である。個々のスレーブ・コンピュータには、ローカル動作時のための標準的測定 BASIC プログラムが、ROM に内蔵されている。これにより、オペレータは、スレーブ・コンピュータのフ

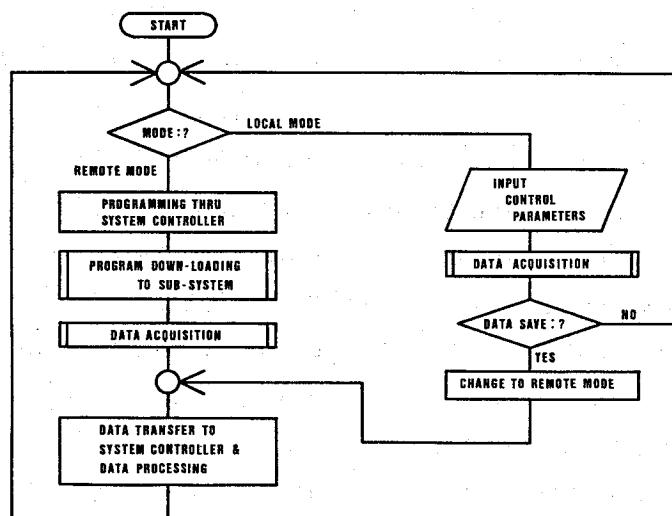


図 3.4 システム測定手順
ローカル / リモート・モード

ロント・パネル上のキー入力により、分光光度計を操作することもできる。また、ローカル動作時でも、測定したデータを処理し記録する場合、測定モードをリモート・モードに切り換え、スレーブ・コンピュータのフロント・パネル上のサービス要求キーより、システム・コントローラにデータ転送することも可能である。

つぎに、リモート・モード時の操作手順を示す。

- (1) システム・コントローラ側のオペレータが、CRT ターミナル、または、タイピュータ（カシオ：モデル 550）を用い、BASIC 言語により制御・測定用プログラムを記述する。
- (2) このプログラムをシステム・コントローラから、IEEE-488 インターフェイス・バスを通し、1 台のサブシステムに転送する。
- (3) システム・コントローラからの開始コマンドか、またはスレーブ・コンピュータのフロント・パネル上のスタート・ボタンを押すことにより、内部の BASIC インタプリタが、順に命令を解読し実行する（つまりサンプルの測定を行う）。
- (4) 収集したデータを、システム・コントローラ上へ転送する。
- (5) 転送されたデータに対し、処理を行う。

このシステム内では、データおよび BASIC プログラム転送に関し、IEEE-488 規格では定義されていない二つのコマンドを使用した（システム・コントローラから、サブシステムへのプログラム転送コマンドに 0CH、またシステム・コントローラからサブシステムへのデータ転送要求コマンドに 0DH を用いた）。これは、このシステム内のみで仮に決めたもので、一般的でないことを了承してもらいたい。このような方法をとった理由は、転送方向および、データなのかコマンド / パラメータ（このシステムの場合、プログラム自体を転送するので、パラメータもそれに含まれている）なのかを区別させる必要があり、二つの未定義コマンドを用いた。他のシステムでは、この点を避けるために別の方法をとっている。それは、一つのサブシステムに二つのアドレスをもたせる方法である。一方をプログラム用、他方をデータ用とした（または、一方をサブシステム内部の制御用コマンド、他をプログラム、データ転送用）。これは、IEEE-488 専用 LSI は、2 重アドレス機能をもっているため、簡単に行うことができる。以下、このシステムで採用した方法について説明する。

このシステム内での、データとプログラムの転送は、システム・コントローラからサブシステムへは BASIC のコマンドにより（図 3.5 に、この流れ図を示す）、またサブシステムからシステム・コントローラへは、サービス・リクエスト (SRQ) により実行される。システム・コントローラは、サブシステムからの SRQ によりシリアル・ポールに入る。そのとき受信するステータス・バイト (STB) によりサービス内容を調べ、それぞれの処理を行う。サブシステムからの SRQ 発生要因は、

- (1) 測定用ソース・プログラムの転送要求

(2) 測定データの転送要求

(3) エラー・メッセージの転送要求

などがある。流れ図で示したように、コマンドによる場合も SRQ を利用した。サブシステムからの要求の場合は、破線で囲った部分の流れ図となり、スレーブ・コンピュータ内に転送されたプログラムの実行、またはフロント・パネルからのサービス要求のいずれかにより実行される。

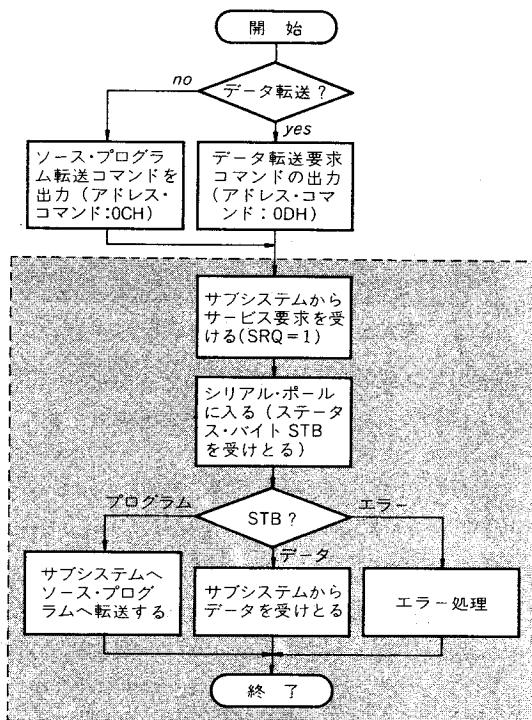


図 3.5 システム・コントローラによるデータ / プログラムの転送

3.3 システムコントローラと分光光度計サブシステム

3.3.1 システム・コントローラ

システム・コントローラのブロック図を、図 3.6 に示す。この中心は、16 ビット・マイクロプロセッサ TMS 9900 (TI) を内蔵し、フロント・パネル用インターフェイス、8 Kワード(16 ビット / ワード) RAM と、1 チャネルの RS-

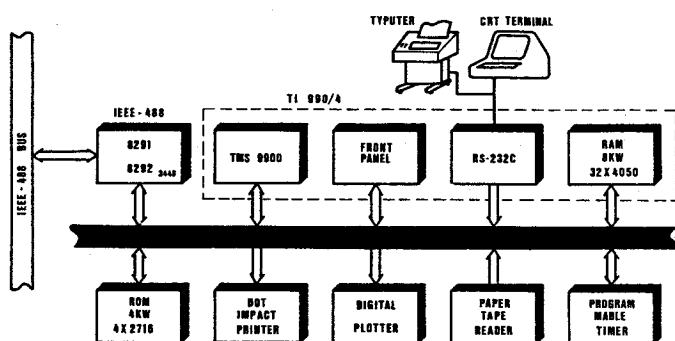


図 3.6 システム・コントローラ

232C を備えた16ビット・マイクロコンピュータ TI 990/4(TI) を用いた。

さらに、4K ワード ROM 4×2716 (BASIC インタプリタ 2K, IEEE-488バス制御ルーチン1K, モニタ・プログラム 1K), ドット・インパクト・プリンタ, ディジタル・プロッタ, 紙テープ・リーダ(PTR), プログラマブル・タイマ, IEEE-488 コントローラ / トーカ / リスナ・インターフェイスを付加した。IEEE-488バス用インターフェイスは, 8291, 8292 (インテル) により製作した。⁶²⁾

3.3.2 蛍光分光光度計サブシステム

蛍光分光光度計は、日立製モデル 650-10 S を使用した。表 3.1 にこの蛍光分光光度計の仕様を示す。この分光光度計は、励起光側と蛍光側、各 1 台のモノクロメータの走査選択を電磁クラッチで、

表 3.1 分光光度計仕様

測光方式	日立 萤光分光光度計 比測光方式による光源変動補正	日本分光 赤外分光光度計 複光束光学零位法	島津 可視・紫外分光光度計 完全対称形ダブルビーム光学系
光源	150 W Xe ランプ	特殊ニクロム光源 70 W	ダングステン・ランプ(可視) 重水素ランプ(紫外)
分光光学系	大口径無収差凹面回折格子モノクロメータ, F3, 600 本/mm	リトロー型モノクロメータ, F5, フィルタ回折格子, 200 本/mm, 50 本/mm	ツェルニターナ型 モノクロメータ, 回折格子, 1200 本/mm
波長範囲	0 次光および 220~730 nm または 220~830 nm	5000~330 cm ⁻¹	195~860 nm
検出器	光電子増倍管 R372F	高感度真空熱電対	光電子増倍管 R446U
分解能	1.5 nm 以下	1300 cm ⁻¹ で 0.4 cm ⁻¹ 以上	2 nm
波長精度	± 2nm 以下	5000~2000 cm ⁻¹ 領域で ± 5% cm ⁻¹ 以内, 2000~330 cm ⁻¹ 領域で ± 2cm ⁻¹ 以内	± 0.5 nm
波長走査	ステッピング・モータ駆動	ステッピング・モータ駆動	ステッピング・モータ駆動に変更

そして波長走査をステッピング・モータにより行う。走査速度は 6 種の選択ができる、220nm~830 nm の領域で測定が可能である。このサブシステムのブロック図を図 3.7 に示す。スレイブ・コンピュータとして、8 ビット・マイクロプロセッサ 8085A(インテル)に、4K バイト ROM(4×2708 : BASIC インタプリタ, ローカル用 BASIC プログラム)と、5K バイト RAM(10×2114)を備えている。また、12 ビット A-D コンバータ ADC-HX-12BGC(デイタル)と、サンプル・ホールド(S-H)用 IC SHM-IC-1(デイタル)がデータ変換用に使われている。IEEE-488 インターフェイス部には、8291 を用いている。分光光度計制御用インターフェイス・ユニットはマイクロプロセッサと、分光光度計の間を TTL レベル信号により制御する。このユニットの役割は、つきの五つである。

(1) 波長走査ステッピング・モータのオン/オフ

(2) 波長走査ステッピング・

- モータの正転 / 逆転
- (3) 波長走査速度の選択
- (4) 測定条件による励起光側
モノクロメータと、蛍光側
モノクロメータの走査選択
(表 3.2 に各モードを示す。)

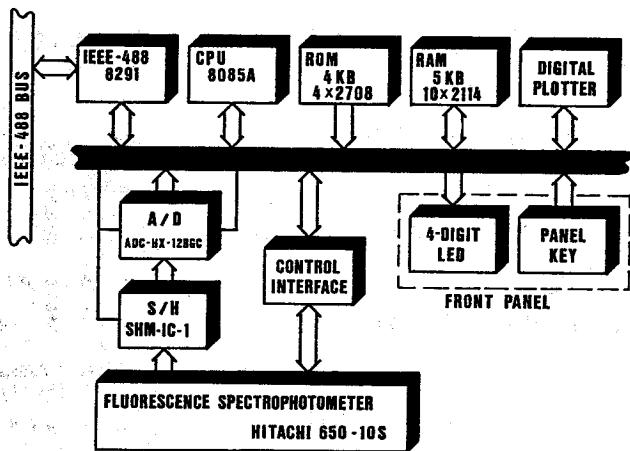


図 3.7 蛍光分光光度計サブシステム

表 3.2 蛍光分光光度計走査モード

MODE	励起側モノクロ	蛍光側モノクロ	走査法
0	FIX	FIX	停止
1	FIX	SCAN	蛍光走査
2	SCAN	FIX	励起光走査
3	SCAN	SCAN	両同時走査

(5) 出力アンプのゲイン選択

ディジタル・プロッタは、測定したスペクトル波形を出力するために、また 2 組の 4 桁 LED ディスプレイは、現在の走査波長と、A-D 変換値をそれぞれ表示する。

ローカル・モード動作時の場合、測定用パラメータと操作コマンドは、スレーブ・コンピュータのフロント・パネル・キーより入力できる。

3.3.3 赤外分光光度計サブシステム

本サブシステムの中心は、光学的零位法によるダブルビーム型、日本分光製赤外分光光度計モデル A-3 である。その仕様を表 3.1 に、またサブシステムのブロック図を図 3.8 に示す。松下電子部品製放電プリンタ EUY-10E と、10 ビット D-A コンバータ AD7522 (アナグロ・デバイス) 以外

は、蛍光分光光度計サブシステムと同じ構成である。分光光度計制御インターフェイスの役割は、

- (1) 順方向早送り走査のオン / オフ
- (2) 逆方向早送り走査のオン / オフ
- (3) 順方向通常走査のオン / オフ
- (4) チャート・レコーダ記録用紙送りのオン / オフ
- (5) チャート・レコーダ記録ペンのアップ / ダウン
- (6) 回折格子切替え位置の選択 (1200cm^{-1} / 1300cm^{-1})
- (7) 波数走査のオン / オフ

である。他の操作は、試料および、その状態により左右されるため、予備測定により決めなければならない。このため、オペレータによるマニュアル操作のみとした。ローカル・モード動作の場合、フロント・パネルより操作が可能である。

3.3.4 可視・紫外分光光度計サブシステム

島津製ダブル・ビーム可視・紫外分光光度計モデル UV-180 を使用した。その仕様を表 3.1 に示す。波長送り用シンクロナス・モータを、オリエント・モータ製ステッピング・モータ 2CPH-004 と、オリエント・モータ製駆動回路ユニット SPD4201 に交換した。図 3.9 に、可視・紫外分光光度計サブシステムのブロック図を示す。ここで使用したマイクロプロセッサは、メーカーの異なるマイクロプロセッサ内蔵型分光器を想定し、CPU の機種に無関係であることを示すため、モトローラ製 6809 を選択した。ROM, RAM, デジタル・プロッタ, LED

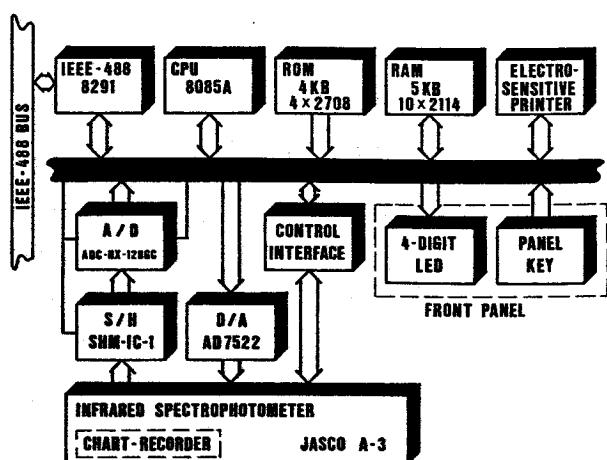


図 3.8 赤外分光光度計サブシステム

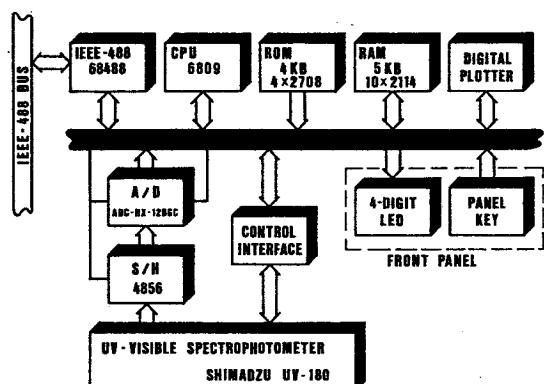


図 3.9 可視・紫外分光光度計サブシステム

D ディスプレイ、パネル・キー・インターフェイスは、蛍光分光光度計サブシステムと同じ構成である。ただし、IEEE-488 インターフェイス(図 3.10)には、MC 68488 GPIA (モトローラ) を、A-D 変換用サンプル・ホールドには、テレライン・フィルブリック製 4856 を用いている。

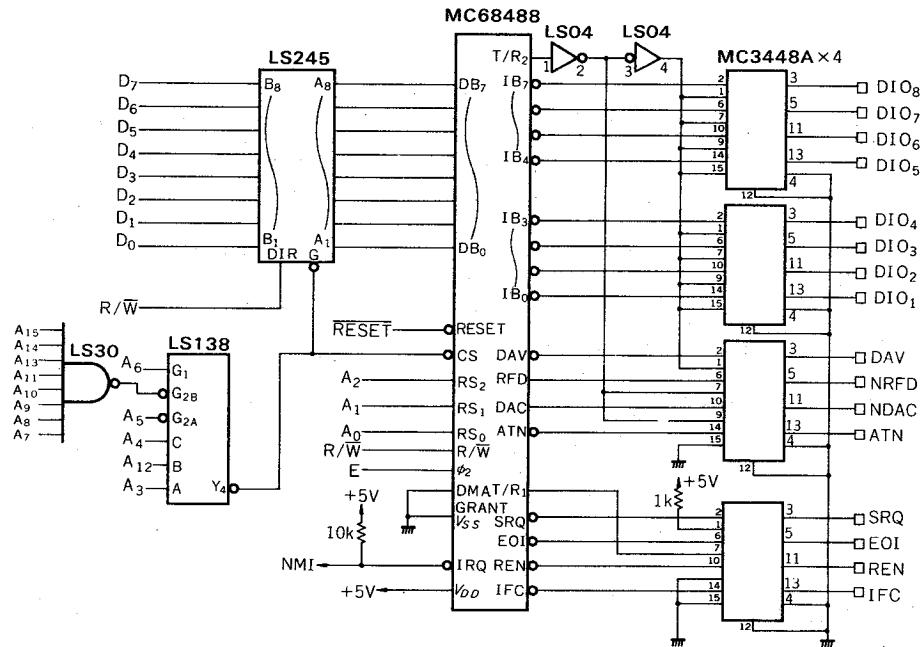


図 3.10 IEEE-488 インターフェイス回路

分光光度計制御インターフェイスのおもな役割は、

- (1) 波長走査リミッタ
 - (2) 波長エンコーダ (LED, フォト・トランジスタ, 凹面ミラーにより製作) による割込みパルス発生 (これにより、分光光度計の絶対波長位置の補正を行う)。
 - (3) 波長走査ステッピング・モータ制御
- などである。

3.4 計測用標準化言語の開発

分光光度計サブシステムの制御を、ソフトウェアによる統一化を達成するため、計測用標準化言

語の開発を行った。これは、すべての分光光度計サブシステムが、サブシステム内の個々のコンパイラ、またはインタプリタを通し、同一の標準言語を理解することである。複数台のマイクロコンピュータ内蔵分析装置の制御目的用言語を開発する場合、次の各点を満足させる必要がある。

- (1) コンパイラ、またはインタプリタ自身のサイズが小さいこと。
- (2) 言語の命令形が簡単であり、短時間に学習、およびプログラムの作成ができるこ。
- (3) 基本命令に、新しい命令を付加できること（分光光度計のソフトウェア制御などの目的ため、この性質は必要である）。

以上の各条件を考慮にいれ、Tiny BASIC を標準化言語の母体として選択した。⁶³⁾ この理由は、

- (1) オリジナル版は、2K バイト程度のインタプリタで小型である。
 - (2) 現在、もっとも一般に普及している高級言語の一つである BASIC と共通点がある。
 - (3) ユーザが、そのインタプリタのアセンブラー・ソース・リストを手に入れることができ（このリストにより、ユーザはインタプリタ自身に新しい命令を付加、変更することが可能となる）。
- 次に、システム・コントローラ上で走る TMS 9900 計測用 BASIC インタプリタを開発した。このインタプリタは、TX 990 オペレーティング・システム (TI) が走る他のシステム上で製作し、ROM に固定した。このインタプリタのサイズは、システム・コントローラとしての機能を付けた状態で 2K ワード（4K バイト）となった。オリジナル Tiny BASIC インタプリタ（表 3.3）へ付加した新命令は、IEEE-488 インターフェイス・バス制御用、そしてデータ、および BASIC プログラム転送命令で表 3.4 にあげる。

分光光度計サブシステム用インタプリタは、Tiny BASIC に、以下の機能を付加したものである。

- (1) IEEE-488 インターフェイス・バスを経由し、プログラムの受信、またシステム・コントローラへのデータ転送などを行う。
- (2) スレイブ・コンピュータのプロト・パネルからパラメータの入力を、また LED ディスプレイにデータの出力を行う。
- (3) 分光光度計の制御
- (4) 多項式適合による平滑化処理を行う。

表 3.3 Tiny BASIC 基本インストラクション

命 令		機 能
NEW	(N.)	プログラムの抹消
LIST[n]	(L.)	プログラムの表示
RUN	(R.)	プログラムの実行
LET	(L.)	式で表される値を変数に代入する
PRINT	(P.)	文字の出力
INPUT	(I.)	キーボードから値を入力
GOTO	(G.)	無条件に、指定された行へ飛ぶ
GOSUB(GOS.)		サブルーチンへ飛ぶ
RETURN	(R.)	サブルーチンからメインプログラムへ復帰
IF		条件判断を行う
FOR	(F.))一連のプログラムを指定回数繰り返す
NEXT	(N.)	プログラムの終了
STOP	(S.)	コメント文
REM		

Tiny BASIC インタプリタに付加した、分光光度計サブシステム用新命令を表 3.5 に示す。

表 3.4 システム・コントローラ用新命令

命 令 型		機 能
I E E I 4 8 8 バ ス 制 御	CLEAR (CL.)	IFC(interface clear) 信号により、すべてのサブシステムをリセットする。
	RESET x (RES.)	SDC(selected device clear) によりサブシステム x をリセットする。
	ENTRY x (EN.)	システムコントローラに、ASCII 文字 x で示されるサブシステムの登録。
	LLOUT (LL.)	サブシステムに LLO(local lock-out) メッセージを送出する。
	LOCAL x (LO.)	サブシステム x に、GTL(go to local) メッセージを送出する。
	EXECUTE x (E.)	サブシステム x に GET(group execute trigger) メッセージを送出する。これはサブシステム上での RUN 命令と同じ、プログラムのスタート信号としている。
	SEND x (SE.)	サブシステム x に、計測用 BASIC で書かれたプログラムを転送する。
	DGET x (DG.)	サブシステム x から、システム・コントローラ上へ収集データの転送を行わせる。
	SAVE (S.)	テキスト・バッファ内のプログラムをタイピュータの紙テープに出力する。
	LOAD (L.)	紙テープにより、タイピュータからプログラムを入力する。
デ リ ・ プ ロ グ ラ ム 転 送	DSAVE (DS.)	タイピュータの紙テapeにデータを出力する。
	DLOAD (DL.)	紙テapeにより、タイピュータからデータを入力する。
	WRITE (W.)	ドット・インパクト・プリンタ上にデータを出力する。
	PLOT (PL.)	ディジタル・プロッタ上にデータ波形を出力する
	CALL a (C.)	絶対番地 a で示されるサブルーチン・コール。
その の 他	SWAP (SW.)	データ・バッファと転送用バッファ内のデータを入れ換える。

表 3.5 サブシステム用新命令

命 令		機 能	
デ リ ・ パ ス 転 送	DSEND (D.)	サブシステム内の転送バッファから、システム・コントローラに、データの転送を行う。最終データは EOI(end or identify) 信号とともに送られる。	
	PANEL (PA.)	スレイブ・コンピュータのフロント・パネルよりパラメータの入力をを行う。各値は、内部 RAM 領域のそれぞれ固定された番地内の格納される。	
	LED n	10 進数 n をフロントパネル上の LED ディスプレイに表示する。	
分 光 器	GAIN n (GA.)	出力用アンプのゲイン調整を行う。分光光度計のスリット幅を決定する。	
	SLIT n (SL.)	測定モードの決定。(例: トランスマッタス、アブソーバンスなど)	
	MODE n (M.)	分光光度計の走査スピードの選択を行う。	
	SPEED n (SP.)	最高走査速度により、分光光度計の波長(波数)位置を x にする。	
	RAPID x (RA.)	SCAN (SC.)	SCANにより決定された速度により、波長(波数)位置 x にする。
	MEAS x,int (ME.)	現在の波長(波数)位置から、サンプリング間隔 int で、位置 x まで測定を行う。	
	RON	チャート・レコーダ ON	
	ROFF	チャート・レコーダ OFF	
	WAVE x (W.)	分光光度計から現在の波長(波数)を読み、変数 x に代入する。	
	DATA (DA.)	現在の波長(波数)位置で、測定を行う。得られたディジタル値はスレイブ・コンピュータ内の固定した番地内に格納される。	
制 御	SWAP (SW.)	収集データ領域とデータ転送領域内の内容を交換する。	
	CLR (C.)	データ領域の初期化。	
	ADD (A.)	データ領域と転送領域の和を計算する。以下のプログラムと同等。 10 FOR I=1024 TO 2047 20 @ (I)=@ (I)+@ (I-1024) 30 NEXT I	
	DIV n	データ領域内の各値を n で割る。以下のプログラムと同等。 10 FOR I=1024 TO 2047 20 @ (I)=@ (I)/n 30 NEXT I	
	SMOOTH	収集データに対し、平滑化処理を行う。	

3.5 実験

試作したシステムの性能評価のため、何種類かのスペクトル測定を行った。ローカル・モード時、赤外分光光度計サブシステムを用い、試料の測定を行った場合の流れ図と、そのプログラムを図3.11に示す。流れ図右側のプログラムは、それぞれに対応する BASIC プログラムを示している。このプログラムは、ローカル・モード動作の場合、電源投入時、またはフロント・パネル上のリセット・ボタンを押したとき、スレイブ・コンピュータの ROM 内から、RAM 領域のテキスト・バッファ内に転送され、実行を開始する。

プログラムのライン 10 は、初期化を行うため、仮に測定モードを透過率モードにする。赤外分光光度計サブシステムは、透過率モード (MODE 0)、吸光度モード (MODE 1) の 2 つのモードをもつ。ライン 20 は、マニュアルによりスレイブ・コンピュータのフロント・パネル上のキーより、パラメータの入力を行う。パラメータとは、測定開始波数、最終波数、サンプリング間隔、積算回数、出力用アンプ・ゲイジ、波数走査速度、測定モードの各設定値である。ライン 30 で実際の測定モードが設定される。ライン 40 で、データ記録領域がゼロに初期化される。ライン 50 では、A-3 型分光光度計にビルト・インされているチャート・レコーダの動作を開始する。しかし、積算回数が 2 回以上の場合、積算終了後レコーダに出力すればよいので、レコーダをオフにしておく (ライン 60)。ライン 70 から 120 までのループは、S/N 比向上のための積算を行う。ライン 80 と 90 は、ステッピング・モータのバックラッシュによる波数ずれを

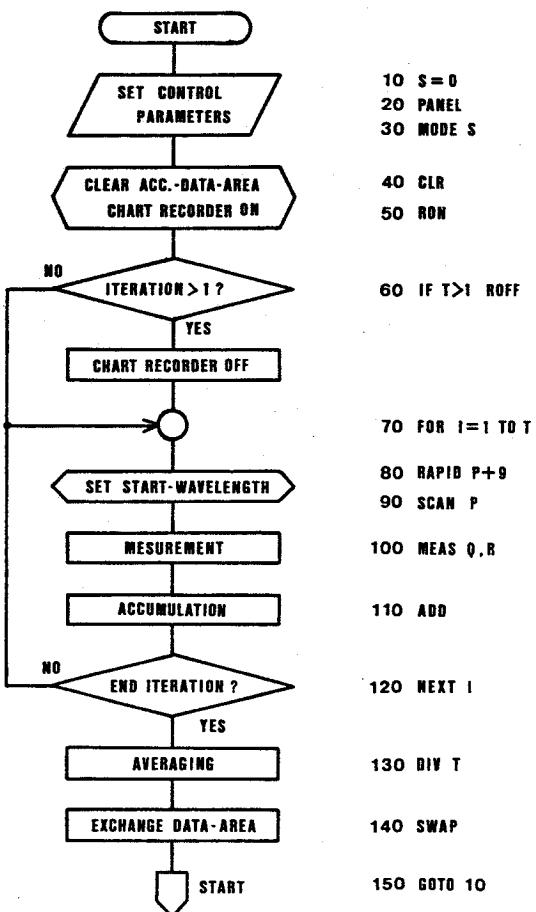


図 3.11 赤外分光光度計サブシステムのローカル・モード時動作

消すことを目的とし、測定開始波数 P まで移動させる。ライン 100 は、開始波数 P から、最終波数 Q まで、サンプリング間隔 R により測定を実行する。このときレコーダがオン状態ならば、同時にチャート・レコーダ上に波形を出力する。ライン 110 では、測定されたスペクトルと、前に測定したスペクトルの和をとる。ライン 130 で、このスペクトル・データの和を、積算回数により割り、積算平均を計算する。ライン 140 で、このデータをデータ領域から転送領域へ移動する。以上の動作を、ライン 20 でオペレータが、フロント・パネルから中止するまでくり返す。またライン 20 で、この積算平均したスペクトル・データを、チャート・レコーダに出力すること、およびシステム・コントローラに転送することが可能である。

このプログラムにより測定された実験結果の一例を図 3.12 に示す。これは、 NH_3 の赤外スペクトルを 900 cm^{-1} から 800 cm^{-1} まで、 0.1 cm^{-1} おきに測定したパーセント透過率を示している。この波形は、システム・コントローラ内に転送されたデータとともに、ディジタル・プロッタに出力したものである。

図 3.13 は、可視・紫外分光光度計サブシステムにより測定した、ディディミウム・ガラス・フィルタの吸収スペクトルを示している。測定波長域は、 350 nm から 750 nm , 0.4 nm 間隔でサンプリングした。この測定は、リモート・モードにより行われ、図 3.13 左側に示した BASIC プログラムを、システム・コントローラよりダウン・ローディングして実行したものである。

ライン 10 は、測定モードを透過率モードにし、ライン 20 は測定時の波長送りスピードを、 4.0 nm/sec に指定している。ライン 30 は、データ領域をクリアする。ライン 40 から 90 までのループは、データ積算を行う。ライン 50, 60 は、開始波長を 350 nm まで移動させる。ライン 70 において、開始波長 350 nm から、最終波長 750 nm まで、サンプリング間隔 0.4 nm により測定を行う。ライン 80 で、測定データは、前に測定したデータとの和がとられ、積算が行われる。この積算データは、積算回数 8 により正規化され、積算平均がとられる（ライン 100）。ライン 110 で、データ領域からシステム・コントローラへの転送領域へ、データの移動が行われる。ライン 120 で、

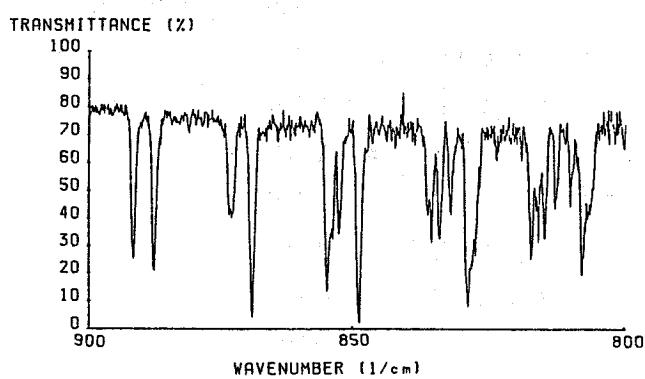


図 3.12 NH_3 赤外スペクトル

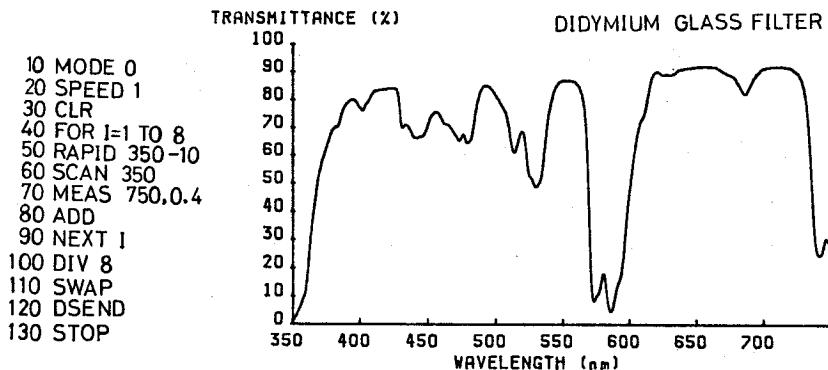


図 3.13 ディディミウム・ガラス・フィルタの吸収スペクトル

システム・コントローラ上にデータの転送を行う（サービス・リクエストを送信し、シリアル・ポートにより実行される）。ライン 130において、このプログラムの実行を終了する。

図 3.14 は、リモート・モードにより蛍光分光光度計サブシステムへ転送した BASIC プログラムと、そのプログラムにより測定した蛍光スペクトルの一例を示す。(A) は、480 nm で励起した 500 nm から 650 nm 領域（波長間隔 0.2 nm）での、約 0.001 ppm フルオレスセン・ナトリウム水溶液の蛍光スペクトルである。(B) は同一条件で溶媒を測定したもので、水のラマン・スペクトルの影響を示している。(C) は(A)から(B)を引いた差スペクトルで、溶媒の影響を除いている。

```

10 SPEED 4
20 MODE 2
30 RAPID 475
40 SCAN 480
50 MODE 1
60 CLR
70 FOR I=1 TO 8
80 RAPID 495
90 SCAN 500
100 MEAS 650,2
110 ADD
120 NEXT !
130 DIV 8
140 SWAP
150 DSEND
160 STOP

```

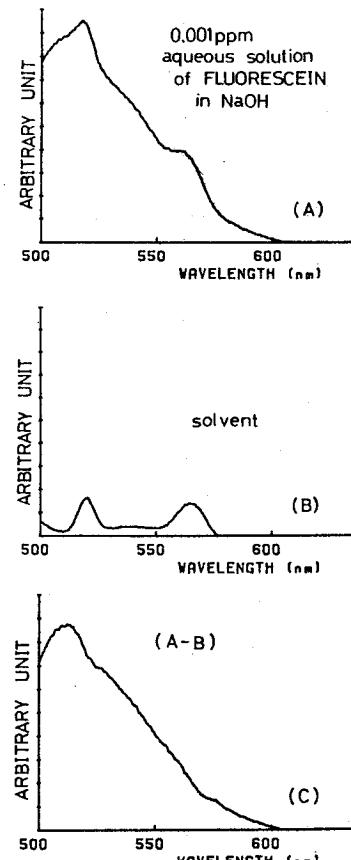


図 3.14 リモート・モードにより測定した蛍光スペクトルとプログラム

3.6 結 言

マイクロコンピュータ内蔵の分析機器を用いたラボラトリ・オートメーション・システムを考える場合、機器間の通信方法と、それぞれに分担させる負荷をどう配置するかが問題となる。

これらの問題の解決法の一手段として、IEEE-488 インターフェイス・バスを用いた、マスタ・スレイブ方式のシステム、およびそのシステム内での共通な標準言語として計測用 BASIC を開発した。IEEE-488 インターフェイス・バスは、異なるメーカ、独立に製作された機器間のハードウェアの共通化を行う。また Tiny BASIC を基に開発した計測用 BASIC は、異機種マイクロプロセッサ間での、共通ソフトウェア化を達成した。さらに、このシステムの特長としては、計測用 BASIC 言語で書かれたプログラムを、システム・コントローラ（マスタ・コンピュータ）から、分光光度計サブシステム（スレイブ・コンピュータ）に転送し、スレイブ・コンピュータ内のインタプリタにより、このプログラムを実行させることである。最後に標準試料の測定によりその性能評価を行い、良好な結果を得た。⁶⁴⁾

第4章 パーソナル・コンピュータを用いたマイコン内蔵 分光機器群管理システム

4.1 緒言

最近一般に普及しているパーソナル・コンピュータ (Personal Computer, 以下パソコンと呼ぶ) は、1976年米国コモドール社製 PET を原点に発達し、各分野で利用されている。初期のアマチュア用ホビー目的のパソコンから、高性能化、ソフトウェアの拡充により、実験室、研究室レベルから企業レベルの利用まで発展している。⁶⁵⁾⁻⁶⁷⁾

近年半導体技術の進歩により 16ビット・マイクロプロセッサ、大容量メモリを内蔵するパソコンが普及し、手軽にそれらの高速演算機能、グラフィック・ディスプレイ機能などを利用できる。これを計測システムへ導入すれば、機器制御、処理、記録、保存、表示などが実時間で行え、これらの結果より測定パラメータ変更による再試行などを実行できる安価なシステムが構築できる。このため、小規模な測定システムでは、専用のシステム・コントローラを設計・製作するより、汎用のパソコンおよびその周辺装置を利用すれば短期間に、また安価にシステム開発が行える。

本章は第3章のマスタ・スレイブ構成による分散型マルチ・マイクロプロセッサ LA システムのマスタ・コンピュータの代りに、一般に市販されているパソコンを用いた、インテリジェント分光機器群管理型 LA システムの試作である。このシステムの特長は、安価なパソコンを用い、その周辺装置であるディスプレイ、プリンタ、フロッピ・ディスクなどを積極的に利用し、計測用 BASIC, IEEE-488 バスを用いた LA システムにある。測定方法は、パソコンから制御プログラムを目的の分光光度計サブシステムへ転送し、測定を実行する。測定データはパソコン上で後処理され、周辺装置であるフロッピ・ディスク・ユニット内に格納される。さらに複雑な数学的処理を必要とする場合、音響カプラを介し大型コンピュータ上で実行可能である。また次の段階として、パソコンを各分光光度計サブシステムに付属させ、この分光光度計サブシステムをワーク・ステーション化したネットワーク形の LA システムへの発展が考えられる。⁶⁸⁾⁻⁷⁰⁾

4.2 試作システムの構成

4.2.1 試作目的

システムは、赤外分光光度計、蛍光分光光度計、可視・紫外分光光度計の各分光光度計を中心と

するサブシステム3台と、このシステム全体を管理・制御するシステム・コントローラとしてのパソコン1台から構成されている。このブロック図を図4.1に示す。システム・コントローラとサブシステムとの関係は、パソコンをマスター・コンピュータ、分光光度計サブシステム内の各マイクロコンピュータをスレーブ・コンピュータとするマスター・スレーブ型のマルチ・マイクロプロセッサ・システムである。第3章では、システム・コントローラとして16ビット・マイクロコンピュータTI990/4を使用していたが、測定データ、およびその処理結果の表示、それらデータの保存、管理などを、それぞれプロッタ、紙テープで行っていた。このため、この部分をディスプレイ、フロッピ・ディスクに変更しリアル・タイム化を図るには、それぞれにインターフェイスを設計・製作する必要がある。また990/4専用周辺装置を購入すれば高価格となる問題がある。以上の問題解決のため、一般に市販されているパソコンを用い、その周辺装置を活用する方法を考え実行した。

分光光度計サブシステムは第3章で開発したものと同一構成である。

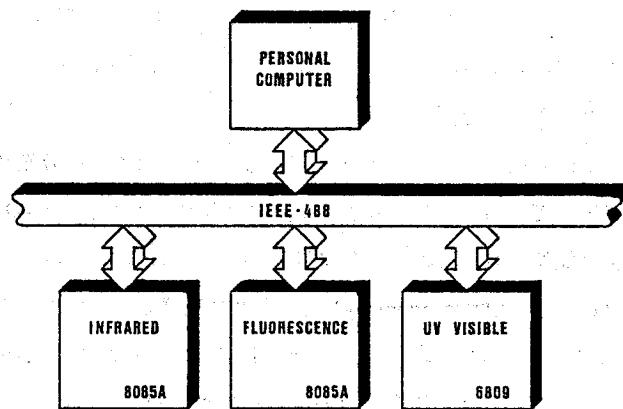


図4.1 パーソナル・コンピュータによる分光機器群管理システム

4.2.2 システム・コントローラ

日本電気・新日本電気(NEC)製パーソナル・コンピュータPC-9801本体に、モノクロ・ディスプレイPC-8851(NEC)、フロッピ・ディスク・ユニットTF-20(Epson)、プリンタFP-80(Epson)、およびIEEE-488用インターフェイス・ボードPC-9801-06(NEC)を加え、システム・コントローラとしている。パソコン内の使用言語はN88-BASICを使用した。しかしシステム内では標準言語としてTiny BASICを基に開発した、計測用BASICを用いているため、N88-BASICと完全な互換性はない。サブシステム内の分光光度計制御用命令、IEEE-488用命令、データ・プログラム転送用命令などは、当然N88-BASIC命令セットには含まれていない。このため特別な方法により、この問題を解決している。次にこの方法を示す。

(1) オペレータは、分光光度計サブシステム制御用プログラム(試料測定用プログラム)のみを

パソコン内に記述する。当然パソコン上ではこのプログラムは実行できない。

- (2) このプログラムを ASCII ファイルとして、フロッピ・ディスク内に収納する。
- (3) オペレータは N 88-BASIC により記述されたプログラムにより、先のプログラムを読み出し、IEEE-488 バスを経由し、目的のサブシステムへ転送する。
- (4) 測定終了後のサブシステムからのデータ受信、データ後処理などは N 88-BASIC による通常プログラムと同一である。

以上のことにより、PC-9801 上で異なる言語による分光光度計サブシステムのプログラム制御を可能にしている。分光光度計サブシステムからパソコンへのデータ転送は、サービス・リクエストにより開始される。転送データは、2 バイト 16 ビット長 (バイナリ形式) を 1 データとし、最終データは EOI(end or identify) 信号と共に転送される。ただし、使用している PC-9801 は、バイナリ・データ受信の場合、EOI 信号を無視しているため、最終データを検出できない。このためタイム・アウト・エラーにより次のステップへ進めている。

上述の操作手順は、各分光光度計サブシステムに共通なため、実際使用する場合は、ASCII ファイルである各サブシステム用プログラムのみの変更により、自由に拡張が可能である。

4.3 実験結果

標準試料を用い、パソコンをシステム・コントローラとした群管理システムの性能評価を行った。一例として、図 4.2 は可視・紫外分光光度計サブシステムにより測定した 60 ppm 過マンガン酸カリウム ($KMnO_4$) 水溶液の吸収スペクトルを示している。図 4.3 に、このスペクトルを測定するためパソコンから可視・紫外分光光度計サブシステムへ転送したプログラムを示す。測定条件は、波長領域 420.0~620.0 nm サンプリング間隔 0.2 nm、パーセント透過率測定モード、走査速度 4.0 nm/sec に指定している。パソコンに転送された測定データは、ディスプレイ上に表示され、必要ならこの画面のハード・コピーをプリンタに出力することも可能である。図 4.2 はこの出力例である。この測定データをフロッピ・ディスクにファイルとして記録すれば、以後の数学的処理は容易となり、必要ならば音響カプラを介し、大型計算機に転送し処理することも可能である。パソコン上で実行される積算処理、平滑化処理などは、BASIC による簡単な処理例である。⁷⁾

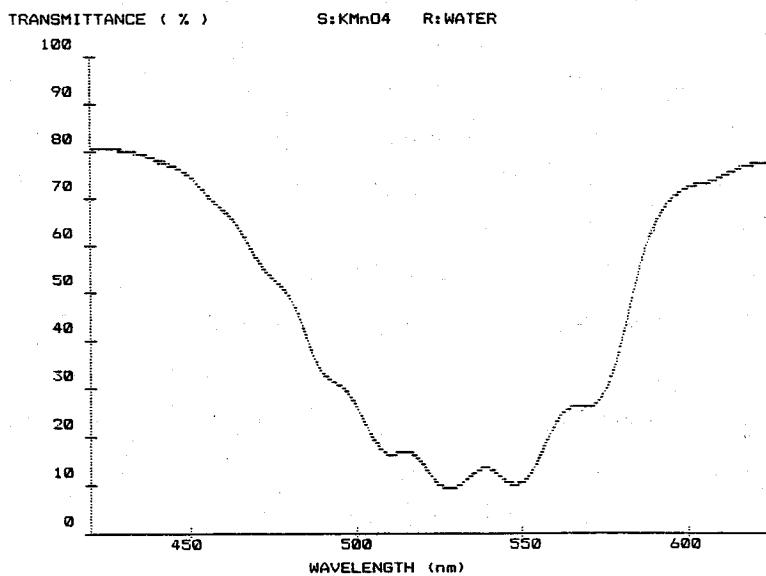


図 4.2 過マンガン酸カリウム水溶液の吸収スペクトル

```

10 P=420
20 Q=620
30 R=.2
40 MODE 0; SPEED 1
50 RAPID F=10; SCAN F
60 MEAS Q,R
70 DSEND
80 STOP

```

図 4.3 システム・コントローラからサブシステムへ転送されたプログラム例
(図 4.2 を測定したプログラム)

4.4 結 言

近年の半導体技術の急速な進歩に伴い、分析機器の制御系もミニコンピュータから、マイクロプロセッサ中心へと変化している。システム構成も、ミニコンピュータを中心とする集中型 LA システムから、マイクロコンピュータによる分散型 LA システムへと発達している。この主な理由は、集中型の欠点であるオーバヘッド・タイムの上昇、スループットの低下を防ぐため、負荷、処理の分散を図ったものである。しかし、この分散化により新たに通信手段の問題が表面化する。これに対し、筆者は通信媒体のハードウェア、およびシステム言語であるソフトウェアの標準化をそれぞ

れ IEEE-488 インターフェイス・バス、計測用 BASIC により達成し、この問題を解決している。ただし、多量のデータに対し高度の数学的処理を必要とする場合、従来のシステムでは、処理スピード、メモリ容量などに問題があり、大型計算機にたよっていた。近年、ホビー用として利用されていたパソコンが、高性能化、OS の拡充化、周辺装置の発達により各方面へ普及している。このパソコンの計測システムへの積極的な利用例として、第 3 章のマスタ・スレイブ構成の分散型マルチ・マイクロプロセッサ LA システムの、マスタ・コンピュータの換わりにパソコンを用いたインテリジェント分光機器群管理型 LA システムの試作を行った。従来の紙テープ・ベースであったデータ、プログラムの保存を、フロッピ・ディスク・ベースへ、また測定データ、処理結果の表示用プロッタから実時間性のあるディスプレイへ変更した。また内部の大容量メモリ、CPU 語長の増加などにより、従来大型計算機で処理されていた問題が、実験室内、つまり分析機器サイドで処理が可能となっている。これにより測定データを実時間で処理し、その結果により測定パラメータを変更し、再試行するような、インタラクティブ処理に不可欠な機能を持ったシステムが安価に、また短期間に構築できる。

また次の段階として、パソコンを各分光光度計サブシステム専用の制御・処理・表示・記録装置とする、いわゆるワークステーション化による複数台のパソコン・ネットワーク構成が考えられる。このシステムでは、最近脚光を浴びている LAN の導入により、実験室レベルから研究室さらに広い範囲で利用が考えられる。IEEE-488 インターフェイス・バスは、室内規模の通信制御を行い、他のワークステーション間は、イーサネットなどに代表される各種の LAN で結合するシステムが有望である。

第5章 水平分散型小型ラボラトリ・オートメーション・システム

5.1 緒言

ラボラトリ・オートメーション(LA)は、マイクロプロセッサの出現により、ミニコンピュータによる集中型LAシステムから、マイクロプロセッサを利用した分散型マルチ・マイクロコンピュータ・システムへと変化している。また分析機器も単なるマイクロプロセッサ内蔵指向から、さらに一步進み、高機能・多様化の方向、つまり、従来の8ビット・マイクロプロセッサから、16さらに32ビットへの上位移行、またインテリジェント周辺LSI、数値演算専用チップの採用、さらに高解像度ディスプレイ、プロッタ、フロッピ・ディスクなどの組み込みによる、スタンド・アロンで動作するオール・イン・ワン形への道を進んでいる。

この傾向により、従来の分散型マルチ・マイクロコンピュータ・システムの目的であったマスター・スレイブ構成による、マスター・コンピュータの負荷分散が、必ずしも必要でなくなっている。つまり、マスター・コンピュータ上で実行されていたシステム全体の管理、データ処理、記録、保存などをサブシステムであるスレイブ・コンピュータ上で実行できるまでに能力が向上しているためである。このため、中央処理システムであるシステム・コントローラとしてのマスター・コンピュータを必要としない、マスター・マスター方式とも呼べるネットワーク構造の分散システムへと発展する。このシステムの特長を次に示す。^{72), 73)}

- (1) サブシステムはすべて同じ位置関係にある。つまり、ある特定のサブシステムが、他のそれらに対し、常に優位とならない。
- (2) 各サブシステムは、システム全体を制御できるコントローラ機能を備えている。
- (3) 各サブシステム単独による、ローカル動作も可能。
- (4) 必要に応じ、他のサブシステムを制御することが可能。
- (5) システム内のリソースすべてを共有できる。

このように、ネットワーク構造の分散システムでは、各サブシステムの独立性が重要視され、システム全体の多様性への要求を満たしている。しかし、サブシステムの増加により、リソース同時要求に起因する、システム応答性的悪化が表面化する問題も残っている。

本章の目的は、最近のこれら高機能分析機器をネットワーク構造の分散システムに導入する基礎研究として、第3章で試作したマスター・スレイブ方式の分散マルチ・マイクロプロセッサLAシステムを改良した水平分散型LAシステムの試作である。このため、各サブシステムに、アルファ・

ニューメリック形キーボード、グラフィック・ディスプレイ、IEEE-488 標準インターフェイス・バス用コントローラ機能を追加させている。第3章と同様に、各サブシステム間の通信用共通バスとして IEEE-488 バス、共通言語として計測用 BASIC を用いている。このシステムは分光光度計サブシステムとフロッピ・ディスク・サブシステムから構成される。このシステムの特長とし、サブシステムのローカル測定と同様に、リモート・モードにより、一台のサブシステム側のオペレータが、他のサブシステム内の分析機器を制御し、データ収集が可能であり、またフロッピ・ディスク・サブシステムをファイル・サーバとして用いることが可能である。当然、フロッピ・ディスク・サブシステムから、他の分光光度計サブシステムの制御も可能である。

5.2 システム構成

図 5.1 に、試作したネットワーク構造の分散システムのブロック図を示す。

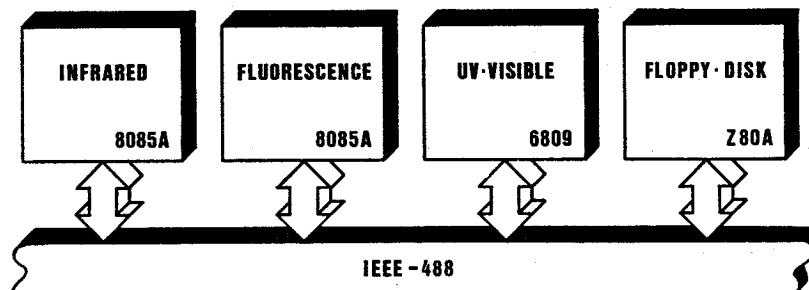


図 5.1 システム構成

このシステムは次の 4 サブシステムから構成されている。

- (1) 赤外分光光度計・サブシステム
日本分光製 赤外分光光度計 A-3
- (2) 蛍光分光光度計・サブシステム
日立製 萤光分光光度計 650-10 S
- (3) 可視・紫外分光光度計・サブシステム
島津製 可視・紫外分光光度計 UV-180
- (4) フロッピ・ディスク・サブシステム

各サブシステムは、8 ビット・マイクロプロセッサにより制御される。

次に分光光度計サブシステム内のマイクロプロセッサの役割を示す。

- (1) 分光光度計の制御
- (2) 分光光度計からのデータ収集
- (3) データ処理
- (4) リアルタイムによるディスプレイ上へのスペクトル表示
- (5) IEEE-488 バス制御
- (6) プロトコルの解析

フロッピ・ディスク・サブシステムは上述の機能(3)～(6)を有している。

5.2.1 分光光度計サブシステム

(可視・紫外分光光度計サブシステムを一例として示す。)

分光光度計サブシステムは、ほぼ同等の構成のため、可視・紫外分光光度計サブシステムを一例として示す。図5.2に、このサブシステムのブロック図を示す。

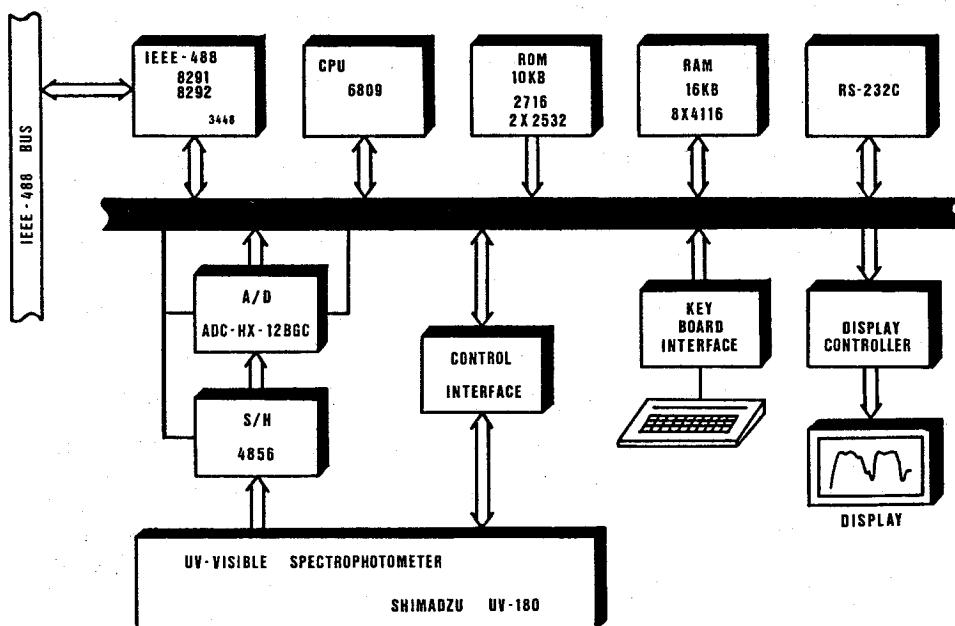


図5.2 可視・紫外分光光度計サブシステム

ここで使用した島津製 可視・紫外分光光度計 UV-180 の仕様を、他の分光光度計と共に表 5.1 に示す。

表 5.1 分光光度計仕様

測光方式	日立 蛍光分光光度計	日本分光 赤外分光光度計	島津 可視・紫外分光光度計
測光方式	比測光方式による光源変動補正	複光束光学零位法	完全対称形ダブルビーム光学系
光源	150W Xe ランプ	特殊ニクロム光源 70 W	タンクステン・ランプ(可視) 重水素ランプ(紫外)
分光光学系	大口径無吸収凹面回折格子モノクロメータ, F3, 600 本/mm	リトロー型モノクロメータ, F5, フィルタ回折格子, 200 本/mm, 50 本/mm	ツェルニターナ型 モノクロメータ, 回折格子, 1200 本/mm
波長範囲	0 次光および 220~730 nm または 220~830 nm	5000~330 cm ⁻¹	195~860 nm
検出器	光電子増倍管 R372F	高感度真空熱電対	光電子増倍管 R446U
分解能	1.5 nm 以下	1300 cm ⁻¹ で 0.4 cm ⁻¹ 以上	2 nm
波長精度	± 2nm 以下	5000~2000 cm ⁻¹ 領域で ± 5 cm ⁻¹ 以内, 2000~330 cm ⁻¹ 領域で ± 2 cm ⁻¹ 以内	± 0.5 nm
波長走査	ステッピング・モータ駆動	ステッピング・モータ駆動	ステッピング・モータ駆動に変更

本サブシステム用の 8 ビット・マイクロプロセッサは、MC6809 を使用している。10 K バイト ROM ($2 \times 2532 + 2716$) 内に記憶させたモニタ・プログラム、計測用 BASIC インタプリタ、ローカル制御用 BASIC プログラムは、すべてアセンブラーにより開発されている。16 K バイト・ダイナミック RAM (8×4116) は BASIC プログラムのテキスト・バッファ、データ、パラメータ、またプログラム・スタック用に使用される。

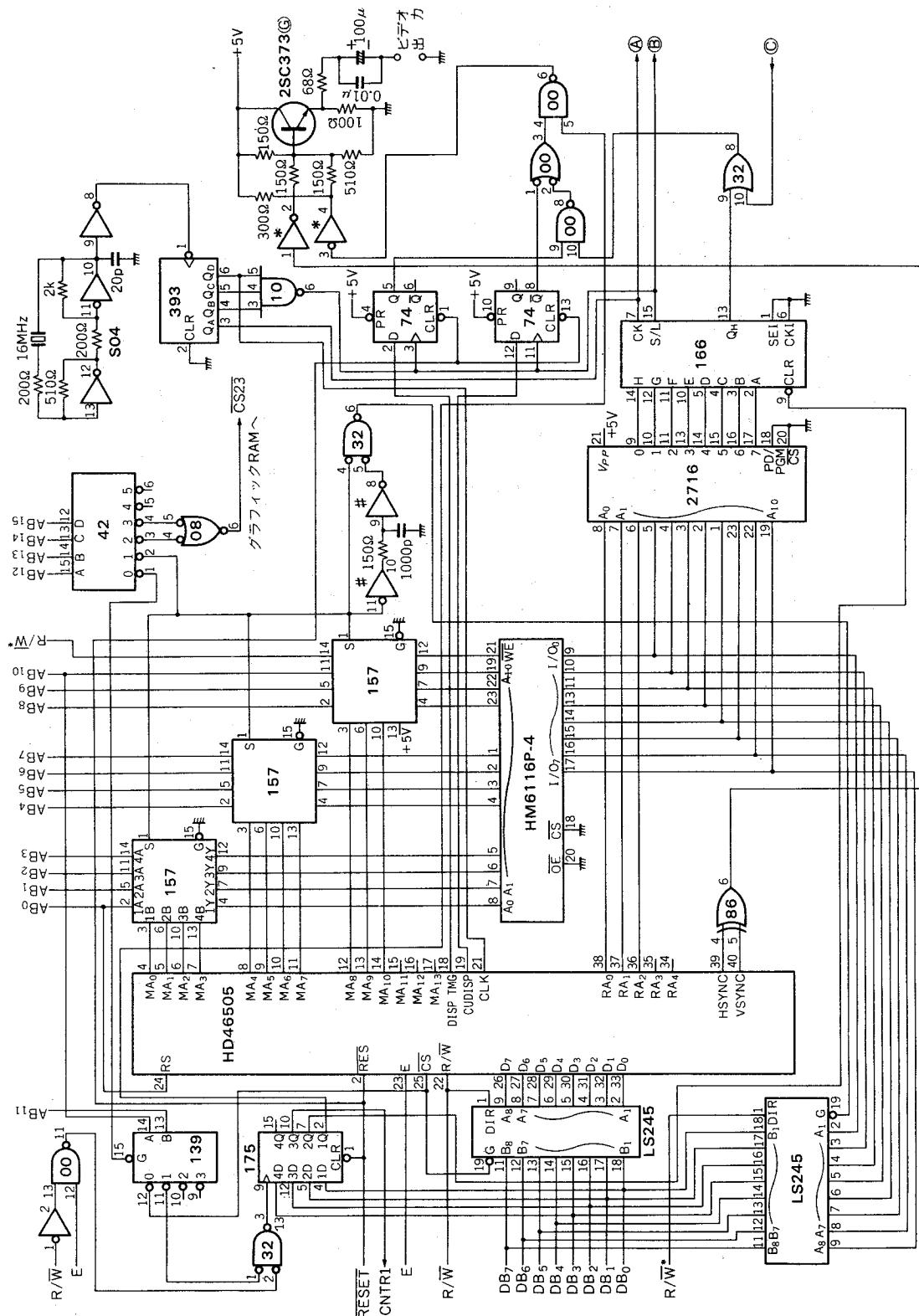
IEEE-488 インターフェイス部は GPIB Talker/Listener 8291, GPIB Controller 8292(Intel) を用い、コントローラ機能を付加している。⁷⁴⁾

(a) キーボード、ディスプレイ・インターフェイス

オペレータとの対話処理を可能にするため、アルファ・ニュメリック・キーボード用、ディスプレイ制御用の各インターフェイスを設計・製作した。キーボードはアルプス製 KCCAA906 を使用し、ASCII コードによる出力を行うため、内部にコード変換用 ROM を取り付けている。

ディスプレイ部は、グラフィック画面 (256 × 200 ドット), キャラクタ画面 (32 × 25 文字) をスーパーインポーズさせ、市販のディスプレイ (日立 K12-2050 G) 上に出力する。図 5.3 に、この制御用回路を示す。ディスプレイ・コントローラは、CRT コントローラ HD 46505-SP(日立), グラフィック用メモリ 8 K バイト RAM ($4 \times$ HM 6116P-4), キャラクタ用メモリ 2 K バイト RAM (HM 6116P-4) により構成される。この HD 46505 は、ラスター・スキャン型ディスプレイに必要なタイミング信号を、プログラム制御する LSI である。オペレータによるキーボードからの入力は、マイクロプロセッサ MC 6809 の割込みにより処理される。

図 5.3 ディスプレイ制御回路 (I)



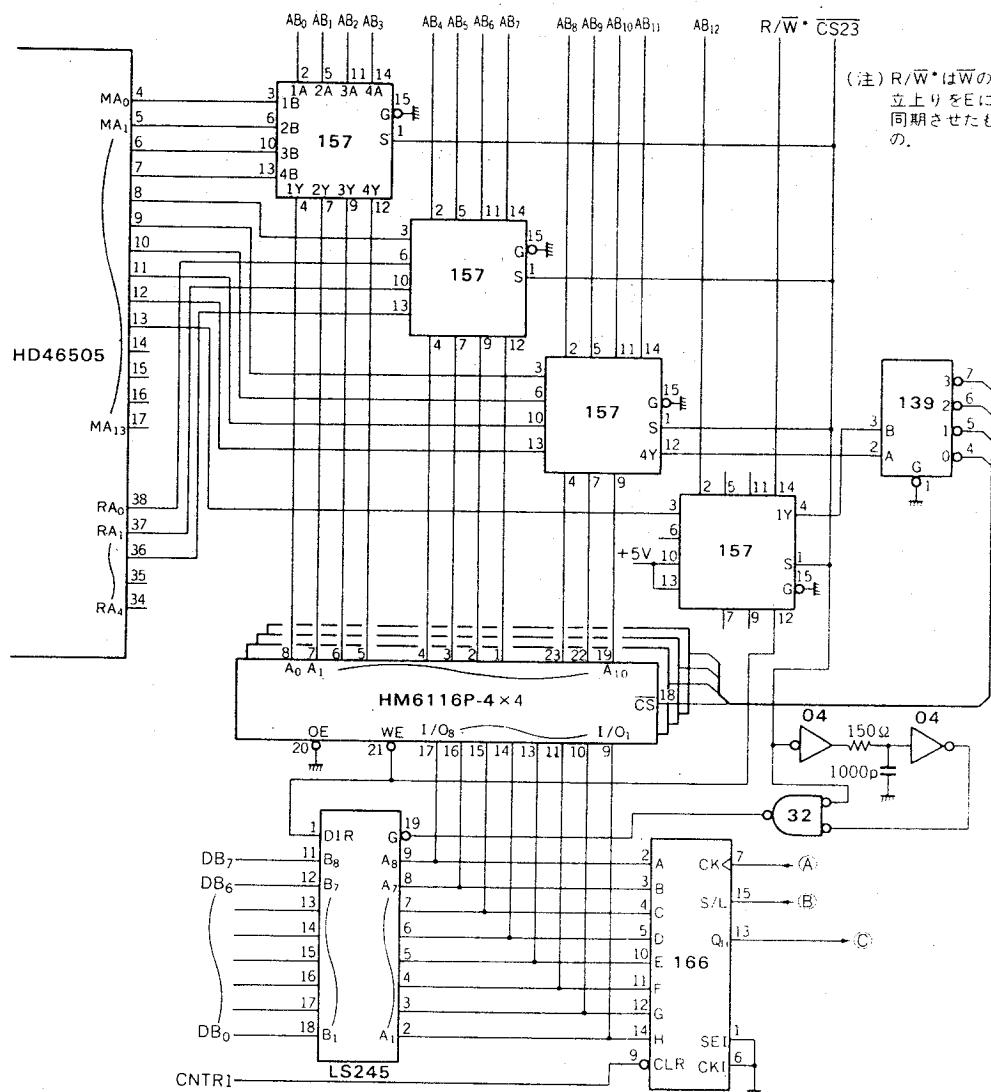


図 5.3 ディスプレイ制御回路 (II)

(b) 分光光度計・制御用インターフェイス

分光光度計・制御用インターフェイスは、ステッピング・モータ・ドライバ（オリエンタル・モータ製 SPD 4202），波長リミッタ・スイッチ，波長補正用フォト・エンコーダから構成される。波長リミッタ・スイッチは、波長走査メカニズムの波長範囲外への離脱を防止する保護回路である。波長補正用フォト・エンコーダは、LED, グレイティング駆動のリード・スクリュー・シャフトに取

付けた凹面鏡、フォト・トランジスタから構成される。波長補正の方法は、30 nm おきにフォト・エンコーダより発生するパルスにより、MC 6809 に割込みをかけ、分光光度計絶対波長と、コンピュータ内部の計算上の波長間の補正を行う。⁷⁵⁾ 絶対波長は、あらかじめ水銀ランプにより決定されている。

(c) A/D 変換部

光電子増倍管ダイノード・フィードバック回路の出力固定に、サンプル・ホールド用アンプ 4856 (Teledyne Philbrick) を用い、A/D コンバータ ADC-HX-12 BGC (Datel) によりディジタル化を行う。

5.2.2 フロッピ・ディスク・サブシステム

このサブシステムは他の分光光度計サブシステムからのデータ、パラメータの記録、それらサブシステムの制御用 BASIC プログラムの保存、また本サブシステムによる他の分光光度計サブシステムの制御を目的に設計・製作された。他のサブシステム制御方法は、オペレータが CRT ターミナルを介し、制御用プログラムを記述するか、またはフロッピ・ディスク内から基本プログラムをローディング、エディットし、そのプログラムを目的の分光光度計サブシステムに転送し実行する。

図 5.4 に、フロッピ・ディスク・サブシステムのプロック図を示す。CPU に Z-80 A (Zilog), シ

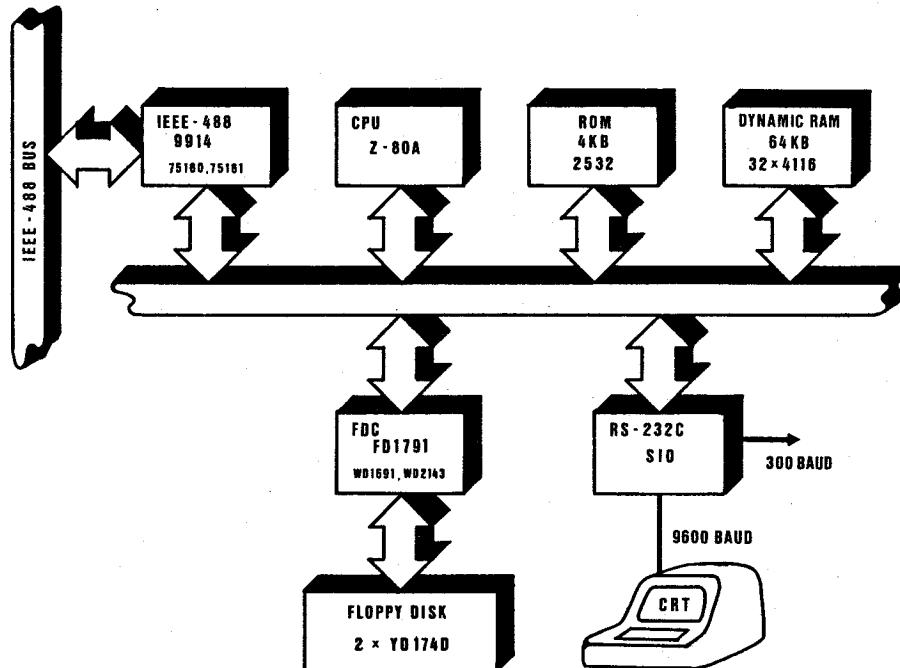


図 5.4 フロッピ・ディスク・サブシステム

ャドー ROM に 4K バイト ROM 2532, 64K バイト RAM (32×4116) を使用している。IEEE-488 インターフェイス部は、TMS 9914, 専用バス・トランシーバ SN 75160, SN 75161 から構成される。フロッピ・ディスク用インターフェイスは、FD 1791 A-02, WD 1691, WD 2143 により 2 台の 8 インチ標準フロッピ・ディスク装置を制御する。

5.3 操作手順

システムの操作方法は、ローカル・モードとリモート・モードに分類できる。ローカル・モードは分光光度計サブシステム単独に行う測定方法である。一方、リモート・モードは、1 台のサブシステムにより、他の分光光度計サブシステムを制御し測定を行う方法であり、フロッピ・ディスク・サブシステム側のオペレータによっても、すべての分光光度計サブシステムの制御が可能である。この点が、この LA システムの最大の特長である。

(a) ローカル・モード

ローカル・モードにおける操作手順の一例を示す。

- (1) 計測用 BASIC で記述された、基本制御プログラムを、分光光度計サブシステムの ROM 内から、RAM 内のテキスト・バッファにローディングする。この目的のため、専用ファンクション・キーをキーボード上に設けている。
- (2) 必要ならば、オペレータはこのプログラムをエディットする。
- (3) オペレータは、“RUN” BASIC コマンドの入力か、ファンクション・キーにより、このプログラムの実行を行う。ディスプレイ上には、測定と同時にスペクトルが表示される。
- (4) 測定終了後、オペレータはデータ処理を実行する。例として、積算処理、平滑化処理、ピーク検出などがある。

(b) リモート・モード

リモート・モードにおける操作手順の一例とし、可視・紫外分光光度計サブシステムから、赤外分光光度計サブシステムを制御し測定を実行する場合を示す。以下、可視・紫外分光光度計システムを制御システム、赤外分光光度計サブシステムを測定システムと仮に決める。

- (1) 制御システムのオペレータは、測定システム用のプログラムを記述するか、または、フロッピ・ディスク・サブシステムから、測定システム用基本プログラムを制御システム内にローディングし、これをエディットする。
- (2) このプログラムを、制御システムから測定システムへ IEEE-488 バスを経由し転送する。
- (3) 制御システム側のオペレータによる実行メッセージの転送により、測定は開始する。

- (4) 測定が終了すると、転送したプログラムの内容により、測定データは、制御システム、フロッピ・ディスク・サブシステムなどへ転送される。この転送は、測定システムからの制御システムに対するサービス要求信号により行なわれる。
- (5) 必要なら、制御システムのオペレータは、この測定データに対し、後処理を実行する。

5.4 リモート・モードにおけるプログラム例

図 5.5 に、可視・紫外分光光度計サブシステムを制御システムとし、蛍光分光光度計サブシステムを測定システムとし、蛍光スペクトル測定を行うプログラムの一例を示す。このプログラムでは、波長 440 nm により励起された、460~640 nm 領域（サンプリング間隔 3/9 nm, ゲイン 10 倍, 波長走査速度 120 nm/min）における蛍光スペクトルを 8 回積算し、平均データを制御システムへ転送する。

この制御システムへ転送された測定データの処理例として、図 5.6 にそのプログラムを示す。この例では、多項式適合による平滑化、ピーク検出、さらにそれらの結果をフロッピ・ディスク・サブシステムへ転送・記録するか否かを、対話形式により実行するプログラムである。

```

1010 P=440
1020 R=460
1030 S=640
1040 T=8
1050 GAIN 5
1060 SPEED 4
1070 MODE 2
1080 RAPID P-5
1090 SCAN F
1100 MODE 1
1110 CLR
1120 FOR I= 1 TO T
1130 RAPID R-5
1140 SCAN R
1150 MEAS S,3
1160 ADD
1170 NEXT I
1180 DIV T
1190 SWAP
1200 DSEND
1210 STOP

```

図 5.5 蛍光スペクトル測定用
プログラム

```

100 R=460
110 S=640
120 U=3/9
130 N=0;Y=1
140 DISPLAY R,S,U
150 PR.;IN.'SMOOTHING Y/N ',A
160 IF A=0 GOTO 220
170 PR.'SMOOTHING POINT ?'
180 IN.' 9P:0 11P:1 13P:2 17P:3 21P:4 ',B
190 SCREEN;DISPLAY R,S,U
200 SMOOTH B;SWAP
210 GOTO 150
220 SCREEN
230 IN.'PEAK DETECTION Y/N ',C
240 IF C=0 GOTO 260
250 PEAK
260 IN.'DATA TRANSFER TO FLOPPY DISK Y/N ',D
270 IF D=0 GOTO 290
280 FILE
290 STOP

```

図 5.6 処理用プログラム例

5.5 結 言

第3章で示した、マスタ・スレイブ構成による分散型マルチ・マイクロ・プロセッサ LA システムでは、マスタ・コンピュータ（システム・コントローラ）側オペレータのみによる分光光度計サブシステムのリモート制御が可能である。しかし、本章で示した分散型 LA システムでは、システム・コントローラを必要とせず、システム内のすべてのサブシステムから、直接分光光度計サブシステムのリモート制御が可能である。このネットワーク構造をもつ水平型分散システムの特長を次に示す。

- (1) サブシステムはすべてコントローラ機能を有し、同じ位置関係にあるマスタ・マスタ構成のシステムである。
- (2) 各サブシステムは、スタンド・アロンのローカル動作が可能である。
- (3) 1つのサブシステムから、他の分光光度計サブシステムをリモート制御可能。
- (4) システム内のリソースを共有できる。

以上の性質は、サブシステム間の通信ハードウェア、制御用ソフトウェアの標準化により達成され

ている。標準ハードウェアとして、全プロトコルをサポートした IEEE-488 標準インターフェイス・バスを用い、また標準ソフトウェアとして Tiny BASIC を基に開発した計測用 BASIC を使用している。これにより、オペレータは一台のサブシステム上で、システム内すべてのサブシステムを制御し、またそれらに付属の周辺装置も利用できる、多目的のシステムが構築できる。⁷⁶⁾

総括

本論文は、ネットワーク・システムの末端に配される、分析機器を中心とする LA システムの標準化を目的とし、小型コンピュータを利用した分光光度計システムの開発を行い、その性能確認を行った内容である。以下各章毎に総括を行う。

第1章は、コンピュータ利用による LA について、コンピュータの分析分野における役割を示し、ミニコンピュータを中心とする集中型システムから、マイクロプロセッサを用いた分散型システムへの移行にいたる問題点などをあげた。さらに、分析機器を LA システム内に組込む場合に問題となる互換性から、標準インターフェイス・バスの重要性を示した。

第2章は、マイクロプロセッサの発達、普及と共に一般的となっている分析機器のオール・イン・ワン化の方向に対し、記録・保存・表示・処理などの各機能部分をモジュールと呼ぶ、サブ・マイクロプロセッサ・システムに分散させた機能分散型マルチ・マイクロプロセッサ分光光度計システムの設計・開発について記述した。このシステムの特徴は、その各モジュールを互換性という面から入出力の統一化を目的とした、IEEE-488 標準インターフェイス・バスにより接続したビルディング・ブロック形式の分光光度計システムである。

第3章では、最近のマイクロプロセッサ内蔵型分析機器などのインテリジェント機器群をLAシステムに導入する場合問題となるハードウェア（入出力）、およびデータのフォーマット、プログラム言語などのソフトウェア両面の統一化を達成したマルチ分光光度計システムの開発と、その有用性を示した。このシステムはシステム・コントローラをマスタ・コンピュータ、3台の分光光度計サブシステムをスレイブ・コンピュータとする、マスタ・スレイブ構成の分散型マルチ・マイクロプロセッサ LA システムである。システムの特徴は、互換性を得るためにハードウェア、ソフトウェアの統一にそれぞれ IEEE-488 標準インターフェイス・バス、Tiny BASIC を計測システム用に拡張した計測用 BASIC を用い標準化を行った。さらにシステム・コントローラ側のオペレータにより記述された分光光度計サブシステム用の制御プログラム自体を、IEEE-488 バスを経由し、目的のサブシステムに転送し実行させるリモート制御であり、柔軟性・多様性に富んだシステムである。

第4章は、第3章のマスタ・スレイブ構成による分散型マルチ・マイクロプロセッサ LA システムのマスタ・コンピュータの代りに、一般に市販されているパソコンを用いた、インテリジェント分光機器群管理型 LA システムの試作を行った。このシステムの特徴は、安価なパソコンを用い、その周辺装置を積極的に利用し、第3章同様 IEEE-488 バス、計測用 BASIC を用いた LA システムである。パソコンの多機能化・高性能化により、従来大型計算機上で処理されていた問題をも、分析機器サイドで簡単に実行でき、さらにネットワーク端末のワークステーション化により、広い範囲で利用が考えられる。

第5章は、第3章で試作したマスタ・スレイブ構成の垂直分散型マルチ・マイクロプロセッサLAシステムを改良した、水平分散型LAシステムの試作について記述した。このシステムは、第3章同様 IEEE-488 バス、計測用 BASIC を用い、さらにマスタ・マスタ方式のネットワーク構造の分散システムである。このシステムは次の特長をもつ。

1. サブシステムはすべてコントローラ機能を有し、同じ位置関係にある。
2. 1つのサブシステムから、他のサブシステムをリモート制御可能。
3. システム内のリソースを共有できる。
4. 各サブシステム単独による、ローカル動作も可能。

謝　　辞

本研究は大阪大学工学部応用物理学教室第4講座において1975年5月より1983年11月の期間にわたり行なったものである。終りに臨み、終始懇切なる御指導と御助言を賜りました、大阪大学工学部 南 茂夫教授に深く感謝の意を表します。また同工学部 藤田 茂教授には、1979年3月まで第4講座教授として御指導を賜りました。ここに深く御礼申し上げます。本学応用物理学教室 藤田 茂教授、同教室 橋本初次郎教授、本学精密工学教室 牧之内三郎教授には論文作成にあたり御検討頂き、貴重な御示唆、御教示を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

筆者が本研究を遂行するにあたり、御協力頂いた竹内貞夫氏、松井 繁氏、深山隆男氏、笹木敬司氏、ならびに終始暖い激励と援助を頂きました本学工学部 内田照雄助教授、本学工学部助手 河田 聰博士、同助手 千賀康弘氏、本学事務官鶴谷美幸氏をはじめとする研究室の方々に心から感謝します。

参 考 文 献

1. 南 茂夫, システムと制御, **26**, No. 6, 8 (1981).
2. Special Issue, Proc. IEEE, **64**, No. 6 (1976).
3. A.H.B. Wu and H.V. Malmstadt, Anal. Chem. **50**, 2090 (1978).
4. S. Minami, Optica Acta, **26**, 1035 (1979).
5. 南 茂夫, 島津科学器械ニュース, **20**, No. 5, 1 (1979).
6. D.R. Christmann, S.R. Crouch, and A. Timnick, Anal. Chem. **53**, 276 (1981).
7. F.E. Woodard, W.S. Woodward and C.N. Reilley, Anal. Chem. **53**, 1251 A (1981).
8. 加藤肇彦, 計測と制御, **19**, 392 (1980).
9. J.P. Posa, Electronics, Jan. 18, 105 (1979).
10. 田中 明, 赤井貞夫, 計測と制御, **18**, 263 (1979).
11. 成田誠之助, 小林伸史, 計測と制御, **18**, 250 (1979).
12. 水野忠則, "マイコン・ローカル・ネットワーク", 産業出版 (1982).
13. 渡部弘之, "分散処理システムとOA", CQ 出版 (1983).
14. R.E. Dessay, Anal. Chem. **49**, 1100 A (1977).
15. 吉井征治, 作道正俊, 計測と制御, **18**, 244 (1979).
16. 三巻達夫, 寺田松昭, 計測と制御, **19**, 103 (1980).
17. R.E. Dessay, Anal. Chem. **54**, 1167 A (1982).
18. R.E. Dessay, Anal. Chem. **54**, 1295 A (1982).
19. W.F. Edgell, E. Schmidlin, and M.W. Balk, Appl. Spectrosc. **34**, 420 (1980).
20. "IEEE Standard Digital Interface Programmable Instrumentation". (The IEEE Inc., New York, 1978).
21. "計測器用インターフェイスに関する研究報告 (IEC バス応用手引書)", 自動計測技術研究組合編, 1979年6月.
22. D.W. Ricc and G.E. Nelson, Electronics, Nov. 14, 95 (1974).
23. W.L. Switzer, Anal. Chem. **48**, 1003 A (1976).
24. "CAMAC Instrumentation and Interface Standard", (The IEEE Inc., New York).
25. D. Horelick and B. MacGregor, IEEE Trans. on Nuc. Sci., **NS-25**, 510 (1978).
26. R.A. LaSalle, IEEE Trans. on Nuc. Sci., **NS-25**, 515 (1978).
27. Franklin J. Naivar, IEEE Trans. on Nuc. Sci., **NS-25**, 515 (1978).

28. P.L. Fisher and R.L. Cone, R. S. I. **53**, 634 (1982).
29. A. Savitzky and M.J. E. Golay, Anal. Chem., **36**, 1627 (1964).
30. 須崎寛則, 竹内貞夫, 南 茂夫, “1978年春季応用物理学会予稿集” (1978).
31. 須崎寛則, 竹内貞夫, 南 茂夫, “第14回応用スペクトロメトリー予稿集”, 124 (1978).
32. 須崎寛則, 竹内貞夫, 南 茂夫, “1980年春季応用物理学会予稿集” (1980).
33. 日本電気, “TK-80 ユーザーズ・マニュアル”
34. D.C. Look, J.W. Farmer and R.N. Ely, R. S. I. **51**, 968 (1980).
35. E. Cordos and H.V. Malmstadt, Anal. Chem. **45**, 425 (1973).
36. D.A. Jackson and P. Schoen, J. Phys. E: Sci. Instrum., **11**, 403 (1978).
37. J.D. Defreese, K.M. Walczak, and H.V. Malmstadt, Anal. Chem. **50**, 2042 (1978).
38. B.C. Lafreniere, Machine Design, Apr. 26, 213 (1979).
39. Intel, 8291 GPIB TALKER/LISTENER, 1979.
40. 須崎寛則, 南 茂夫, “インターフェース”, No. 69, 214, CQ 出版, 1983年2月号
41. 村田 裕, “マイクロコンピュータの本格的応用”, CQ 出版, 1977.
42. 須崎寛則, 南 茂夫, “インターフェース”, No. 70, 232, CQ 出版, 1983年3月号
43. Motorola, MC 68488 Advance Information, ADI-462.
44. 日本プレシジョン・サーキット, “IEC Bus Interface LSI SM 8530 B 概説書”, 1978.
45. テキサス・インスツルメンツ, “IEEE-488 汎用インターフェイス・バス・データ・マニュアル”
46. R.E. Metzler, Electronics, Aug. 11, 129 (1981).
47. H. Susaki and S. Minami, Appl. Spectrosc. **36**, 553 (1982).
48. R.J. Desa and J.E. Wampler, Appl. Spectrosc. **27**, 279 (1973).
49. U.B. Ranalder, H. Käenzig and U.P. Wild, Appl. Spectrosc. **28**, 45 (1974).
50. S. Ushioda, J.B. Valdez, W.H. Ward, and A.R. Evans, R. S. I. **45**, 479 (1974).
51. K.R.O'keefe and H.V. Malmstadt, Anal. Chem. **47**, 707 (1975).
52. R.W. Spillman and H.V. Malmstadt, Anal. Chem. **48**, 303 (1976).
53. J.P. Avery and H.V. Malmstadt, Anal. Chem., **48**, 1308 (1976).
54. G. Horlick, Appl. Spectrosc. **30**, 113 (1976).
55. S. Kint, R.H. Elsken, and J.R. Scherer, Appl. Spectrosc. **30**, 281 (1976).
56. E.R. Johnson, C.K. Mann, and T.J. Vickers, Appl. Spectrosc. **30**, 415 (1976).
57. F.W. Arndt and J.R. Huber, R. S. I. **51**, 786 (1980).
58. D. Phillips and A. Goodman, Electronics, Jul. 7, (1977).

59. T.Anfält and D.Jagner, Anal. Chem. **47**, 759 (1975).
60. D.W.Taylor, R.S.I. **49**, 155 (1978).
61. I.R.Bonnell and J.D.Defreese, Anal. Chem. **55**, 139 (1980).
62. Intel, 8292 GPIB CONTROLLER, 1980.
63. 小野芳彦, "マイクロコンピュータのプログラミング"(bit臨時増刊), **10**, No.3, 277 (1978).
64. H.Susaki, T.Miyama, S.Matsui, and S.Minami, Appl. Spectrosc. **37**, No.6 (1983).
65. A.W.Ritter, P.C.Tway, and L.J.Cline Love, Anal. Chem. **53**, 280 (1981).
66. T.M.Jedju, R.S.I. **50**, 1077 (1979).
67. 八十島清吉, 増原 宏, 又賀 昇, 須崎寛則, 内田照雄, 南 茂夫, 分光研究, **30**, 93 (1981).
68. S.Huon and R.Smith, IBM J. RES. DEVELOP. **25**, 3(1981).
69. E.P.Stritter and L.J.Shustek, Electronics, Jun. 16, 171 (1981).
70. NIKKEI COMPUTER, Nov. 1, 57 (1982).
71. 須崎寛則, 南 茂夫, 分光研究, 投稿中
72. M.Conrad and W. D.Hopkins, Electro Design, Sep. 3, 141 (1981).
73. A.Durniak, Electronics, Dec. 7, 107 (1978).
74. Intel, Using The 8292 GPIB Controller, Application Note, AP-66.
75. 内田, 鈴木, 大倉, 服部, 分光研究, **31**, 175 (1982).
76. H.Susaki and S.Minami, C.E.S. (to be published).

正 誤 表

p. 5	28行目	まねている	→ まねいでいる
p. 6	13行目	相等品	→ 相当品
p. 32	図2.29	スペクトン	→ スペクトル