

REPORTS
OF
THE
INDUSTRIAL
RESEARCH
CENTER
OF
SHIGA
PREFECTURE

1986 研究報告

滋賀県工業技術センター

目 次

○ボード型マイクロコンピュータを用いた「プリンター共用装置」の開発 桜井 淳・池田 滋重・月瀬 寛二・川崎 雅生・河村安太郎・井上 嘉明 …	1
○検査工程の自動化に関する研究 （カラー画像処理を用いたプリント基板検査の自動化に関する基礎的研究） 桜井 淳 ……	15
○3次元入力装置の試作 （会話型オフライン・ロボット・ティーチング・システムの開発のために） 池田 滋重 ……	31
○ロボットシミュレータの研究開発 川崎 雅生 ……	53
○モーダル解析法の実用化研究（平板振動のモーダル解析） 月瀬 寛二 ……	61
○レーザ光を用いた距離測定センサの研究 （P S D素子の特性に関する基礎実験） 河村安太郎 ……	71
○高分子複合材料の非破壊による評価試験技術に関する研究 （超音波減衰測定による非破壊評価試験の高分子材料への適用からみた問題点） 井上 栄 ……	81
○ガラスクロス強化エポキシ樹脂のミズリングに関する研究 （ガラスクロス強化エポキシ樹脂への水の浸入が補強材と 母材との界面接着力におよぼす影響について） 山中 仁敏 ……	87
○食品加工工場からの高濃度糖廃液の処理に関する研究 （酵母を用いる処理方法の検討） 矢田 稔 ……	93
○バイオリクターによるタンパク質の改質に関する研究 （固定化プロテアーゼの性質） 松本 正 ……	101

ボード型マイクロコンピュータを用いた 「プリンター共用装置」の開発

桜井 淳 池田 滋重 月瀬 寛二
川崎 雅生 河村安太郎 井上 嘉明

あらまし：通常、パソコンとプリンターの接続は一対一になっていることが多いが、利用時間はパソコンに比べてプリンターは十分の一程度のものである。そこで、パソコンを多数台使用する事業所や研修所では、複数台のパソコンが一台のプリンターを共用できる装置の開発が望まれていた。今回開発したプリンター共用装置は、パソコンから出力されるデータを蓄積する512キロバイトのメモリとそれを制御するためのマイクロコンピュータで構成されており、最大10台までのパソコンが1台あるいは2台のプリンターを共用できるようになっている。パソコンが共用のためのすべての制御を行うため、パソコン利用者は自分専用のプリンターがあるのと同じ感覚で仕事ができるという特徴もっている。

1. まえがき

当所には、もともと10台のパソコンとプリンターサーバからなるネットワークを設置した研修室があったのであるが、受講生が多い時、あるいはパソコン以外の機器も同時に使用する時などは、部屋の面積の関係で、会場を他に移さざるを得なかった。他の部屋にはプリンターサーバ用のネットワークなどはないので、受講生がプログラミストなどを打ち出そうとすると、フロッピーディスクを持ち歩く、あるいはプリンターケーブルを差しかえるなどをしなくてはならず、研修の遂行に支障を来してしまう。この不便を解消するために、10台のパソコンが1台あるいは2台のプリンターを効率よく共用するための装置、すなわちプリンター共用装置を試作しようとしたのが、この研究の発端である。

世の中には、この種の装置がプリンター切り替装置あるいはプリンター共用装置として売られているが、これらの装置ではプリンター切り替えのためにスイッチ操作やコマンド発行などの人手の介入が必要であったり、一旦プリンターが一台のパソコンに接続されると、他のすべてのパソコンからはプリンターがビジー状態に見えるようになっていたりする。プリンター切り替えの頻度が少なければ、それでもよいのであるが、研修の時のように10台のパソコンが一斉にプリンターにアクセスする状況では、上に述べたような機構では十分ではない。

そこで今回試作のプリンター共用装置は、(1)人手の介入を要しない全自動の切り替え、(2)プリンターがあるパソコンからのデータを印字中であっても、他のパソコンは待たされずにデータ出力が行える、の二点を実現するように設計した。これによって、パソコン使用者はプリンターの稼働状況を気にすることなく、言い換えれば、自分専用のプリンターがあるのと同じ感覚で仕事が行える。

本装置は試作後、61年度研修コース「メカトロニクス応用技術」で実際にパソコン10台とプリンター2台を接続し、C P / Mのもとで使用したところ、正常に動作し、実用に供しうることが確認できた。

2. 本装置の仕様

本装置の設計の基本方針は次のとおりである。

1. 1台あるいは2台のプリンターを10台のパソコンが共用できるようにする。
2. プリンター共用の制御はマイコンが全自動で行う。すなわち、プリンター切り替えのためのスイッチ操作やコマンド発行などの人手の介入は一切不要にする。
3. プリンターが印字中であっても、すべてのパソコンは待たされることなく、データ出力が行えるようにする。
4. プリンターインターフェイスはセントロニクス社仕様に準拠する。

以上の基本方針にもとずいて、本装置の仕様を以下のとおりに定めた。

1. パソコンからの出力データをバッファする512kBのメモリを内蔵する。これを16バンク（32kB/バンク）に分割し、各パソコンに必要な時に必要なだけバンク単位でメモリを与える。（バンクメモリの動的な割り当て）
2. マイコンは次の3と4の動作を常時行う。
3. 10台のパソコンからの出力要求の有無を次々に走査する。出力要求があれば、50ms間連続的にデータを受け取り、バンクメモリに蓄積する。要求がなければ、直ちに次のパソコンの出力要求の有無を走査する。
4. パソコンからのデータ出力が終了したかどうかを判断し（5秒間以上データ出力がなければ、終了と判断）、終了したら、空きプリンターを捜してバンクメモリに蓄積されていたデータをプリンターに印字する。
5. 印字の表紙に、識別用としてパソコン番号を打ち出す。
6. 印字動作の停止/再開、印字中のファイルの破棄、ファイルの先頭からの再印字を指示するスイッチを設ける。
7. バンクメモリに蓄積されているデータ量が外部から判るように、バンク毎に使用中を表示するLEDを設ける。

3. ハードウェア構成

3-1 ハードウェア・ブロックダイアグラム

本装置のブロックダイアグラムを図1に示す。図1の各ブロックはボード各1枚に対応している。本装置は、STD規格に準じて設計した。使用した主要LSIの一覧を表1に示す。

CPUは、Z80A（4.0MHz）であり、プログラムメモリは、ROM16kBとRAM16kBとからなり、データを蓄積するバンクメモリは、32kB×16バンクで構成している。パソコンからの入力インターフェイス（セントロニクス規格に準拠）には、8255を用いており、8255のAチャンネルをデー

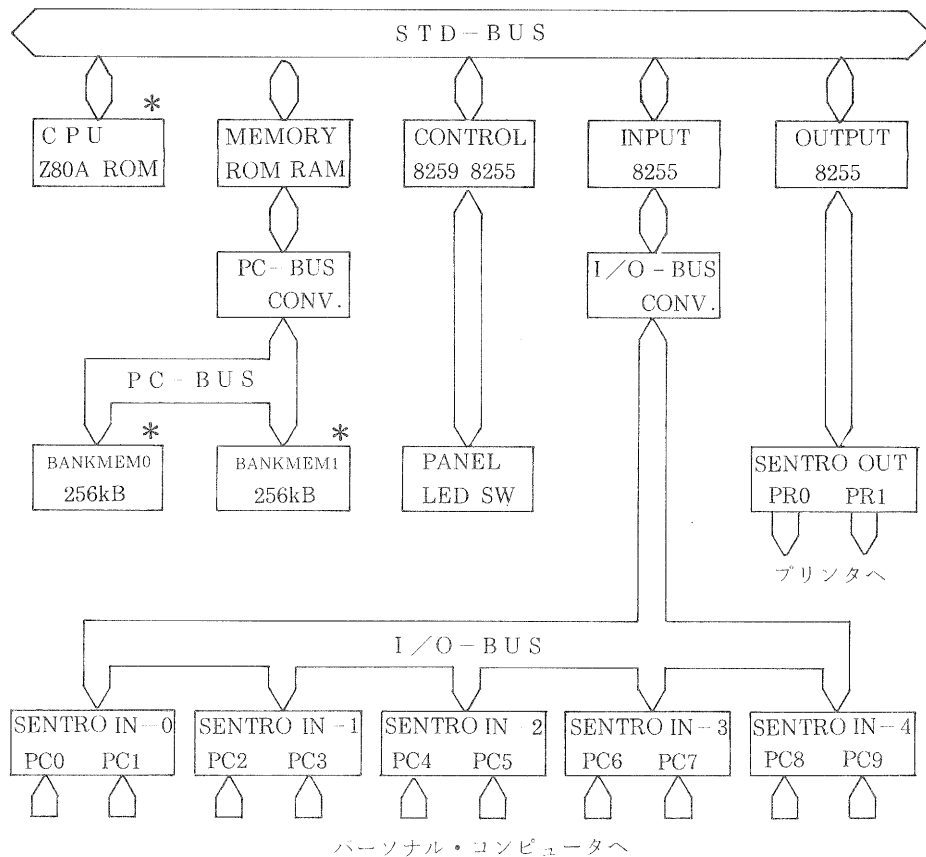


図1 ハードウェア・ブロックダイアグラム

*は市販ボード

タ信号に、Bチャンネルをパソコンセレクト信号に、Cチャンネルをインターフェイスの制御信号に、それぞれ割り当てている。プリンタへの出力インターフェイスも、8255を用いており、Aチャンネルは、プリンタ0のデータ信号に、Bチャンネルはプリンタ1のデータ信号に、Cチャンネルは、2台のプリンタの制御信号とした。各パソコンへのサービス時間の割り当て、パソコンからのデータ転送の終了判断（5秒間の無通信で終了と判断）は、CTCで行っている。タイマ割り込み、利用者からのプリンタへの指示（プリンタ停止／再開、再印字、破棄）を示すスイッチ割り込み等は、8259を用い

表1 使用LSI一覧

用途	種類	容量、その他
CPU	Z80A	4.0MHz
メモリ	ROM	2764 × 2 16kB
	RAM	6264 × 2 16kB,SRAM
BANKMEMORY	4164 × 64	32kB × 16バンク
割込制御	8259	
タイマ	CTC	
セントロ	入力	8255 パソコン10台
ニクス	出力	8255 プリンタ2台
状態表示	8255	LED × 16個

て、割り込みモード0で処理を行っている。また、バンクメモリの残量表示等のためにLEDを設けているが、その点灯の制御にも8255を用いている。

本装置のボード構成は次の11種16枚からなっている（図1参照）。

1. STDボード CPU、MEMORY、CONTROL、INPUT、OUTPUT
2. バンクメモリボード BANKMEM 0、BANKMEM 1
3. 入出力ボード PANEL、SENTRO OUT、SENTRO IN 0～4
4. 変換ボード STD-PC BUS変換ボード、STD-I/O BUS変換ボード

3-2 各部回路の詳細

(1) CPU周りとプログラムメモリ

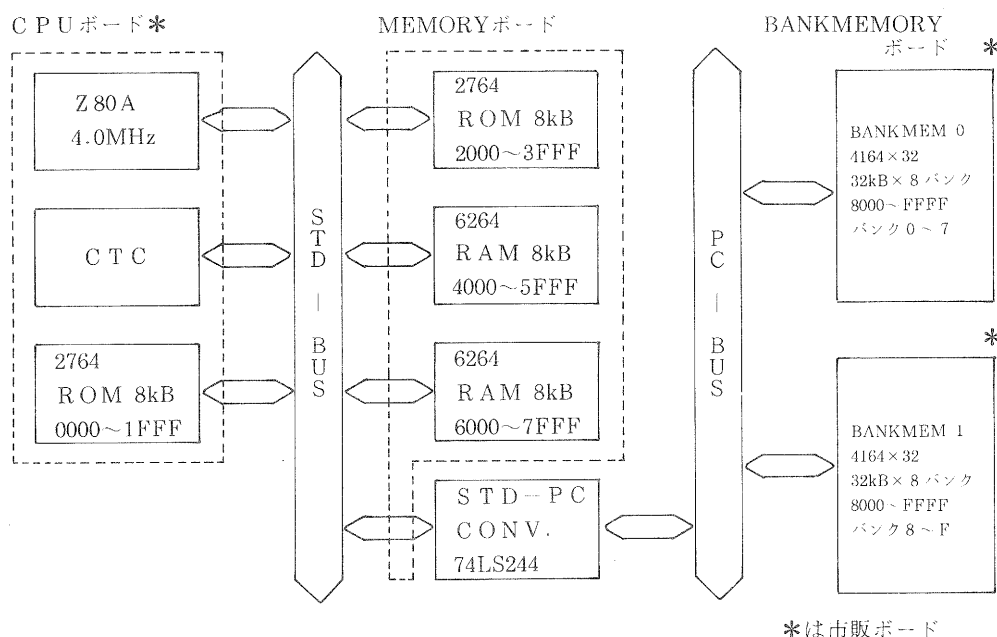


図2 CPUボード、MEMORYボードおよびBANKMEMORYボード

図2に示すCPUボードと、MEMORYボードで構成されている。CPUボードは、工業技術院大阪工業技術試験所からの支給品である。両ボードの詳細は、次のとおりである。

1. CPUボード

CPU Z80A (4.0MHz) を搭載した市販品であり主な機能は次のとおりである。

- ① CPU Z80A (4.0MHz)
- ② CTC タイマに使用、T00を8259に接続し、割り込み制御
- ③ ROM 2764 (8KB)

2. MEMORYボード

CPUボードに搭載できなかったプログラム用メモリの搭載とBANK MEMORYボードへの論理的な信号の変換をしている。主な機能は次のとおりである。

- ① ROM 2764 (8KB)
 - ② RAM 6264 (8KB) × 2 (STATIC-RAM)
 - ③ BANKMEMORYボードへの信号変換 BANKMEMORYボードが市販品のための信号変換
- (2)バンクメモリ

図2に示すBANKMEM 0、1の、両ボードは、日本電気(株)PC-8801シリーズ用の増設メモリボードを使用している。1枚が256KBで2枚まで同時に使用できる。このボードにアクセスするための信号変換(メモリアドレス、バンク切り替えアドレスのマッピング)は、MEMORYボードで行い、バスの変換をSTD-PC BUS変換ボードで行っている。

BANKMEMORYボードの仕様は、次のとおりである。

- ① DRAM 4164 (64KBit) × 32個 = 256KB
32KB × 8バンクを搭載
 - ② バンク切り替え 指定のポートにOUTすることにより8バンクの切り替えができる
- (3)パソコン側インターフェイス

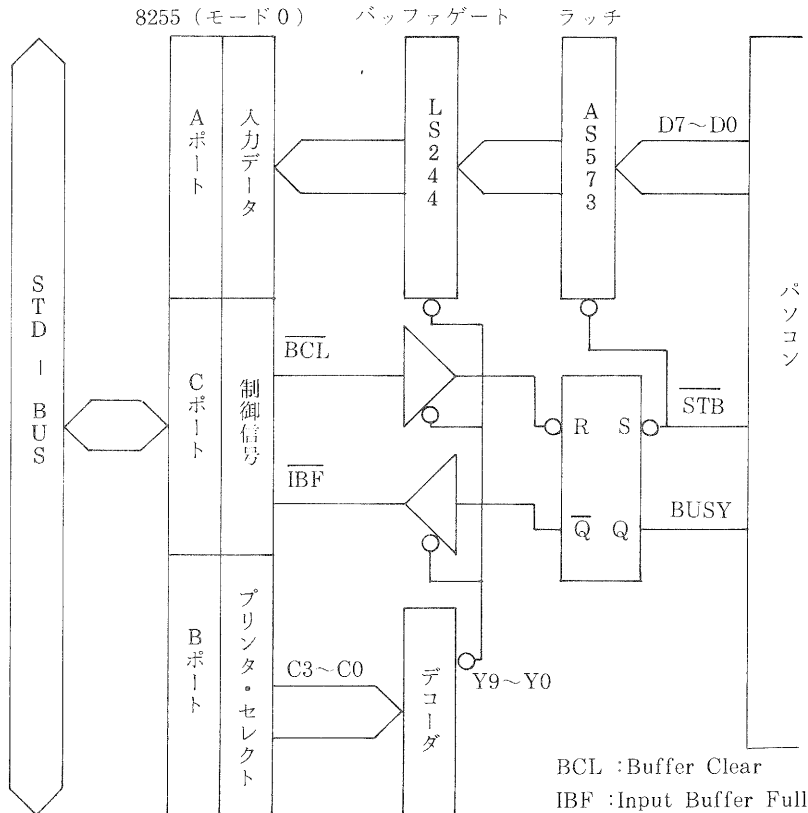


図3 パソコン側インターフェイス (パソコン1台分)

パソコン側からプリンター共用装置にデータ出力を始める時（最初の1文字）、プリンター共用装置側は必ずNOY BUSYつまり受信可能な状態でなければならない（CP/M等の場合）。ところが共用装置側は10台のパソコンからのデータ受信を時分割で行っているから、1台のパソコンに対して常時受信サービスを提供できない。この矛盾を、パソコン側のインターフェイスに1バイト分のラッチを設けることで解決した（図3参照）。

パソコン側に対しては通常（新規ファイル入力時）NOT BUSYで、パソコンからデータが送られればそのデータをラッチすると共に、パソコンにたいしてBUSY信号を送る（パソコンから見て1文字送信終了）。データを受けると、データを受け取った信号（IBF）を8255側へ送る。8255側にてこのパソコンのデータを読み取ると、読み取った旨の信号（BCL）が当インターフェイスに送られ、パソコンに対するBUSYを解いている。2文字目以降についても同様な動作を行う。

(4)プリンター側インターフェイス

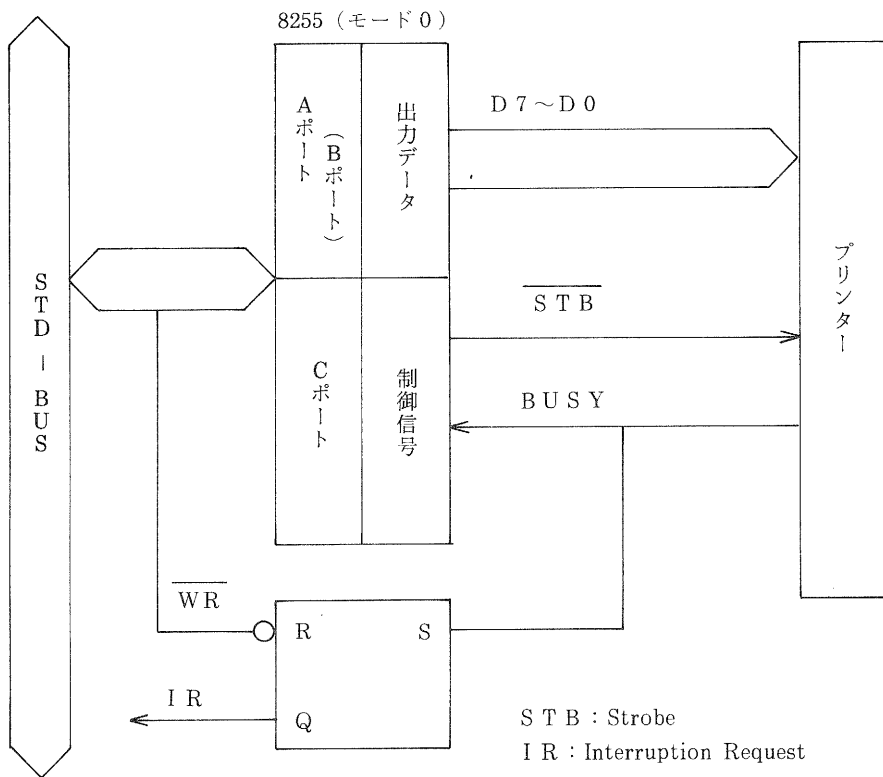


図4 プリンター側インターフェイス（プリンター1台分）

図4にプリンター側インターフェイスを示す。2台のプリンターにデータを出力する際の信号のやりとりをする部分で、出力信号線としてプリンターへ出すデータ（各8本）とプリンターへの読み込み命令信号（各1本）がある。入力信号線としてプリンターからのBUSY信号（各1本）と共用装置に設けられたプリンター停止スイッチ信号（各1本）の合計22本の入力信号をタイミングを取って切り換えながらCPUに接続する役目をする。

この切り換えは、本基板のメインICである8255をモード0にして行っている。

また、プリンターがデータを受け取った事を早く確実に判断するために、プリンターからのBUSY信号を割り込み信号として使っている。この場合、BUSY信号はすぐ落ちてしまい、割り込み処理が完了しない場合があるため、次のデータ入出力が行われるまで割り込み信号を保持する回路を設けている。

(5)割込制御

表2に本装置で使用している5種類の割込信号を示す。割込制御は8259を使用している。

表2 本装置で使用している割込信号

割込信号	信号の意味	割込ベクター
I R 0	未使用	3 E 0 0 H
I R 1	5 ms毎のタイマ (CTC) 割込	3 E 0 4 H
I R 2	未使用	3 E 0 8 H
I R 3	プリンタ0のデータ受信完了	3 E 0 C H
I R 4	プリンタ1のデータ受信完了	3 E 1 0 H
I R 5	出力ファイル破棄指示スイッチ押下	3 E 1 4 H
I R 6	再印字指示スイッチ押下	3 E 1 8 H
I R 7	未使用	3 E 1 C H

(6)表示ランプとスイッチ回路

本装置に設けた表示ランプとスイッチ回路を表3にまとめる。

表3 表示ランプとスイッチ回路

	用途	仕様
表示 ランプ	メモリー残量 (エラーステータス兼用)	16×LED
	破棄、再印字スイッチ確認	2×LED
スイッチ	プリンター停止/再開指示	2ステート オルタネート
	出力ファイル 破棄/再印字指示	3ステート モーメンタリー
	リセット	2ステート モーメンタリー

4. ソフトウェア構成

4-1 ソフトウェア概要

最大10台のパソコンが、最大2台のプリンターを効率良く使用でき、かつパソコン側に負荷をかけないシステムとしている。すなわち、

1. パソコン上のO/Sやアプリケーションプログラムは本装置の存在を意識することなく、従来のプリンターに直接データを印字するイメージで良い。ファイルの出力終了の判定方法については、5秒間の無通信により自動的に判定している。
2. プリンターが使用中であっても、パソコンは出力データを送信できる。これは、受信（パソコン→共用装置）と送信（共用装置→プリンター）を独立して制御しているために可能となっているが、これにより10チャンネルの受信と2チャンネルの送信が同時に進行することになる。

共用装置のデータ受信速度の最大値は、1000文字/秒程度（実測値）であるため、最小1チャンネル当たり100文字/秒の受信速度は確保できるので、1台のパソコンに100文字/秒のプリンターを接続したのと同程度のレスポンスは保証されている。

また、プリンターを共用する時に必要な機能として、

1. 現在印字中のデータが、どのパソコンからのものかを表示する機能。
2. 出力残量を表示する機能。
3. 印字不要と判ったとき、またはペーパージャムが起こったときなどに、印字動作を強制終了（出力ファイルの破棄）させる機能。

などが、考えられる。

本装置は、これらの機能を次のようにして実現している。

1. 各出力データの先頭に1ページ分の見出しを作成し、出力元のパソコン番号を印字する。
2. 使用中のメモリバンクをLEDに表示する。
3. プリンター毎に、印字動作の停止/再開、出力ファイルの破棄、再印字を、スイッチによって指示できる。

全体的なプログラムの構成は、主プログラムと5種類の割り込み処理ルーチン、及びインターフェイス用の共通テーブルからなっておりZ80用マクロアセンブラー（1500ステップ程度）で記述されている。

以下に、ソフトウェア各部の概要をまとめる（図5参照）。

1. 主プログラムの基本機能

① メインルーチン

- ルーチン制御
- 受信チャンネル切り換え
- 無通信監視（5秒）
- メモリー残量表示
- プリンター監視
- 破棄、再印字の前処理と後処理

- ② 初期化ルーチン
 - ・ 8255、8259等の初期設定
 - ・ 共通テーブルの初期設定
- ③ 受信ルーチン
 - ・ パソコンからのデータ受信処理
- ④ 送信ルーチン
 - ・ プリンターへのデータ送信
- ⑤ 表紙作成
 - ・ 送信元パソコンを区別するための表紙作成

成

- ⑥ 表紙出力
 - ・ 表紙の印字

2. 割り込み処理ルーチン

8259に通知される割り込み処理要求を共通テーブルにセットする。

3. 共通テーブル

共通テーブルとして以下のものをもっている。

- ① バンク管理テーブル
- ② 出力待ちキューテーブル
- ③ 受信管理テーブル
- ④ 送信管理テーブル
- ⑤ データ管理テーブル
- ⑥ バンク内管理テーブル
- ⑦ エラーステータス格納領域

4-2 各部ルーチンの説明

(1) メインルーチン

メインルーチンの概略フローを図6に示す。

本ルーチンは、入出力チャンネルの状態と共通テーブルの状態により次の7項目の処理を行っている。

1. 受信チャンネルの決定および切り換え

受信チャンネル0からチャンネル9をラウンドロビン方式にてスキャンし、各チャンネルごとにデータがあれば、最大50msの間、同一チャンネルでデータ受信を行う。

2. 受信終了の処理

同一チャンネルで5秒間データが送信されてこない場合は、それまでのデータを1ファイルと

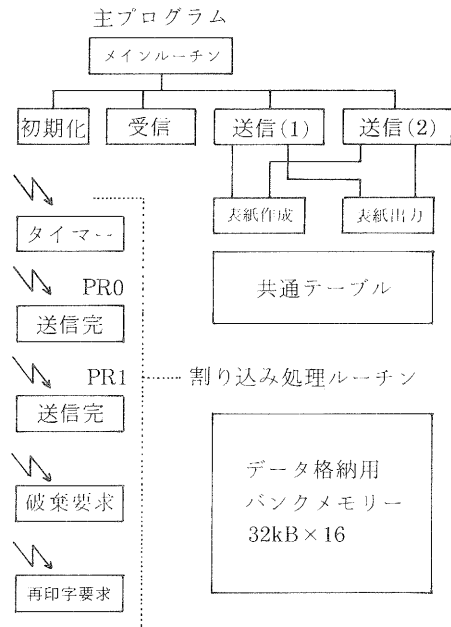


図5 ソフトウェア構成概要

し、プリンターへの出力待ちキューに登録する。

3. データの送信要求および送信開始時の前処理

印字すべきデータがあれば、各プリンターに対応する送信ルーチンに制御を渡す（印字1文字毎に）。

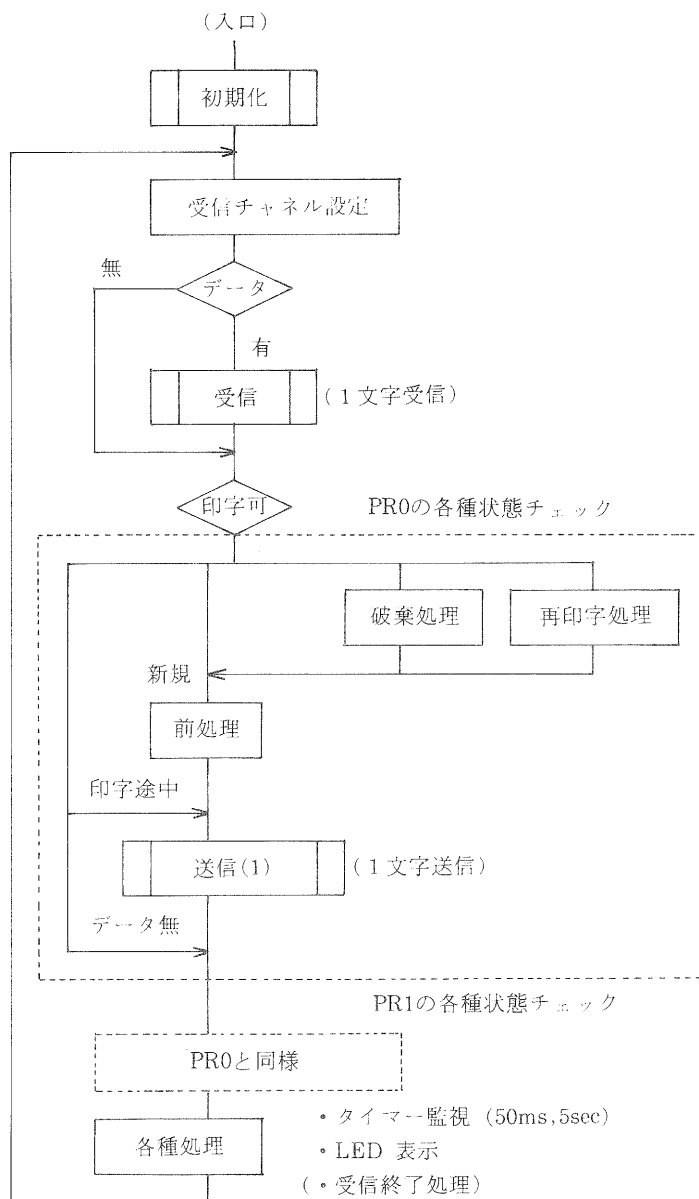


図6 メインルーチン概略フロー

プリンターが印字中でない場合は、出力待ちキューに登録されているファイルを出力するための前処理を行う。

4. 出力ファイルの破棄処理

出力ファイルの破棄指示スイッチが押されたとき、該当プリンターに印字中の出力ファイルの破棄処理（印字中止、バンクメモリーの解放、テーブルクリア）を行う。

5. データの再印字処理

再印字指示スイッチが押されたとき、該当プリンターに出力中のデータを再印字するための前処理（テーブルクリア、出力待ちキューへの再登録）を行う。

6. タイマー管理

受信チャンネル切り換え用タイマーおよび無通信監視タイマーの管理。

7. バンク使用状態のLED表示

使用中のバンクの個数だけLEDを点灯する。

これらの処理と制御を行うために以下の6種類の共通テーブルを使用している。

1. バンクメモリー管理テーブル

0～F番のバンクメモリーの使用状態

2. 出力待ちキューテーブル

出力待ちとなっているデータが格納されているデータ管理テーブルの番号が、最大16まで登録されている。

3. 受信管理テーブル

受信中のパソコン番号、受信データを格納するためのデータ管理テーブルの番号や、タイマーが格納されている。

4. 送信管理テーブル

各プリンターのハード的、ソフト的な状態フラグや印字中データの格納されているデータ管理テーブルの番号が格納されている。

5. データ管理テーブル

受信データを格納したバンクメモリーNo.とその順序、送信元のパソコン番号およびテーブルの状態（受信中、送信中、送信待ち等）が格納されている。

6. バンクメモリー内管理テーブル

該当バンクメモリーにおいて受信したデータ数や送信したデータ数が格納されている。

(2) 初期化および割込制御ルーチン

初期化はハードウェアの初期化と管理テーブル類の初期化を行う。ハードウェアの初期化は、3個の8255、8259およびCTCの初期化である。管理テーブルの初期化は、6種類のテーブル類の初期化で、その内容を表4に示す。

表4 テーブル類の初期化

テーブル名	初期化の内容	テーブル名	初期化の内容
バンク管理テーブル	16バンク全部について未使用の表示	出力ポート管理テーブル	各プリンタの表示データの開始位置設定 プリンタの状態の初期設定
出力待ちテーブル	出力待ちキューなし	データ管理テーブル	テーブルNo.の状態を初期設定 使用バンクNo.を未使用表示
入力ポート管理テーブル	受信PCNo, 受信データ格納用管理テーブルNo.の初期化、各タイマおよび受信ファイル通番の初期セット	エリア管理テーブル	エリア内の各データ長の初期設定

次に、割込発生時の処理内容を表5にまとめる。

表5 割込処理の内容

割込信号	意味	割込処理の内容
I R 1	タイマ割込	入力ポート管理テーブルの受信監視タイマーをカウントアップする。
I R 3	PR0 送信完了	プリンタ0用出力ポート管理テーブルにフラグを立てる。
I R 4	PR1 送信完了	プリンタ1用出力ポート管理テーブルにフラグを立てる。
I R 5	出力ファイル破棄 指示スイッチ押下	どちらか一方のプリンタが停止中のみ、出力ポート管理テーブルに破棄フラグを立てる。
I R 6	再印字指示 スイッチ押下	どちらか一方のプリンタが停止中のみ、出力ポート管理テーブルに再印字フラグを立てる。

(3) 受信ルーチン

メインルーチンで各受信チャンネルを常時走査しており、受信データがある場合に本ルーチンに入る。

本ルーチンでは1文字だけ受信して、所定のバンクメモリ位置に格納し、メインルーチンに制御をもどす処理を行っている。

内容としては、まず5秒間無通信を監視しているタイマをクリアする。次にデータを受信しようとするチャンネルが受信開始の時に割り当てを受けた格納バンク中の格納スペースの有無および次に格納する番地を求める。

もし、格納バンクが割り当てられていない時は、空のバンクを捜し割り当てる。また、割り当てられたバンクが満杯となっていれば、空きバンクを捜し、前のバンクとの関連付けをした上で割り当てる。

格納すべき番地が見つければ、データを1文字分読み込み格納する。また、読み込んだ事をメインルーチンに知らせる。格納すべきバンクや番地が無い場合は、読み込まずにメインルーチン

に戻る。プリンター出力が進み空きバンクができるまで、このデータは読まれずに待っている状態となる。しかし、バンクメモリの容量が相当大きい（512KB）、このような状態になる事はまず無い。

(4) 送信ルーチン

メインルーチンより呼び出されると、基本的には、1文字をプリンタに出力してメインに戻るという機能を持ったサブルーチンである。この機能の中でも、その時のプリンタの状況に応じて果たす機能は異なる。

1. プリンタ未使用：プリンタへ新規ファイルを出力するとき

新規のファイルをプリンタへ印字開始する時は、このルーチンを実行する。このルーチンでは前処理として、出力するファイルのデータが格納されているテーブルNo.、バンクNo.等を関係するテーブルから得る。次にこのファイルの表紙印字のためのデータを作成すると共に、これから出力する相手であるプリンタの作動状況のチェックを開始する。

2. プリンタテスト中：プリンタが印字可かどうかチェックしているとき

プリンタから印字可のステータスがあれば、テスト終了となる。

3. 表紙印字中：表紙印字のためのデータを送信中のとき

1と2の過程が終了すれば、表紙印字のためのデータを出力する。1文字を出力してメインへ戻ることを、繰り返す。

4. ファイル印字中：ファイル内容のデータを送信中のとき

1～3の過程が終了後、出力するファイル内容のデータを出力する。該当するバンクに切り換えて1文字を得、プリンタに出力する動作をデータが終了するまで繰り返す。

以上の基本的動作の他に、プリンタへのデータ出力の円滑化のために、次の2つの機能も行う。

1. パソコンの電源ON/OFF時など雑音のために、共用装置はあたかもパソコンからデータを得たかのように受信し、1つのファイルが作られてしまう。そこでプリンタへの出力に先立って、出力ファイルが正規のものであるかどうかのチェックを行っている。総文字数が2文字以下または文字データの最後が“0AH”か“0CH”でない時、そのファイルは正規なものではないとして、出力は行わず消去する。

2. プリンタへデータ出力中にプリンタに何らかのトラブルが発生し印字不能となった場合、そのファイルを保護するために別のプリンタへ再出力を行う。プリンタへ1文字を出力すれば、受信した旨のステータスを受けるのが通常であるが、これを受けなければプリンタを切り換えて、再出力を実施する。

(5) 表紙作成・表紙送信ルーチン

印字の1ページ目（表紙）に、識別のためのパソコン番号を打ち出す。このために、表紙データを作成し、送信ルーチンに渡すのがこのルーチンの役目である。表紙データの内容としては、パソコン番号、その時点で印字を待っているパソコンの番号、現在までに出力したファイルの延べ数、などである。

5. むすび

当所の研修室に本装置を設置し、61年度研修コース「メカトロニクス応用技術コース」で使用したところ、正常に動作し、研修の効率的な遂行に威力を発揮した。今後もパソコン研修、メカトロ研修に使用する予定である。

文末ながら、本研究の機会を与えて頂き、また種々お世話になった工業技術院大阪工業技術試験所の各位に御礼申し上げます。

検査工程の自動化に関する研究

— カラー画像処理を用いたプリント基板検査の 自動化に関する基礎的研究 —

技術第一科 桜井 淳

あらまし：現在、生産工程においては自動化が進む反面、検査工程においては依然、人間の目視検査に頼っている。しかし、人間の目は短時間に疲労するばかりではなく確実性にも劣るため、目視検査の自動化のニーズは、業種を問わず極めて強い。そこで、目視検査の自動化を実現するための基礎的研究として、本研究では、IC、コンデンサ、抵抗などの部品が搭載されたプリント基板のカラー画像から、IC部品のみを抽出する方法を検討した。

最初に、標準色彩図表を用い、各標準色が、RGB三原色の配合に関して、それぞれどのような特徴を持っているかを実験的に検討し、次に、その特徴を使って、実際のプリント基板上から目標のIC部品領域を抽出するソフトウェアを作成した。

カラー画像データを用いることにより、白黒画像データでは一般に難しいとされる濃緑色のプリント基板上から黒色のIC部品領域の抽出が、一定条件下ではほぼ確実に行えることを述べている。今回の処理システムは、まず、目標の抽出物の色を教示し、その後、その色の部品を抽出する手法をとっているため、コンデンサ、抵抗等の部品についても、ほぼ同様な手法で抽出できるものと考えている。

1. まえがき

人間は、物を識別する際、視覚、聴覚、触覚、臭覚、味覚といった感覚器により得た情報を大脳で総合的に判断し、筋肉に命令を与え行動を起している。この判断は、人間が生まれつき持っている情報（本能）あるいは、経験、学習により蓄積された情報といったものを使い、非常に高度な規則に従って行われている。

昨今は、このような人間の行っている一連の処理を機械—ロボット—に代行させる動きが起っている。特に、その中で、高度な判断脳力を持つものは“知能ロボット”と呼ばれている。これらロボットは、動作の速度、動作の正確さの点で、人間に較べ格段優れている。そのため、ロボットの利用は特に、工業分野において有効であり、生産、運搬、計測、加工、監視、制御などの作業は、既にロボットにより行われていることが多い。

このように、多くの作業がロボット導入により自動化されてきた中で、検査工程における自動化

は、立ち遅れている現状である。この作業は他に較べ、非常に高度な判断を要し、かつ、その判断は、品質管理上厳しい正確さが要求されるためである。このため、検査工程においては、自動化が遅れ、多くの作業が依然人間の視覚に頼っている現状である。

しかし、現在のように、製品が高度化し、生産速度が上昇する中で、人間の目視による検査では対応出来なくなっている。また作業環境の面からも、人間に与える生理的、精神的負担は大きく、現実には、視力低下の問題や精神的ストレス増加の問題などを引き起している。

そこで、人間の目の代わりにカメラで行い、大脳での判断の代わりにコンピュータで行うといった処理システムの構築が必要である。

本研究では、このような検査工程の自動化を実現する検討の第一段階としてプリント基板上の部品検査を取り上げ、特に I C 部品の検出方法について検討を行った。

2. 画像入力装置の構成

本研究に使用した画像入力装置の構成図を図 2-1 に示し、その仕様を表 2-1 に示す。

(1) 画像入力装置

画像入力装置は、ADS (製) PIP-4000 を使用した。この装置は、CPU ユニット、線画ユニット、AD/D A ユニット、画像メモリユニットにより構成されており、各ユニットは、画像バスとシステムバスにより結合されている。また、カラーカメラより入力される RGB のデータはそれぞれ 8 ビット (256 階調) のデータとして、メモリに格納され、最大 8 画面のカラー画像の取り込みが可能である。

(2) カラーカメラ、レンズおよび照明装置

カラーカメラ部は、池上 (製) カメラ I T C-350M とキャノン (製) レンズ J 15×9.5 により構成されている。このカメラを試料の上部約 50cm に固定し、約 150×150mm のエリアを 512×512 画素の RGB データとして画像入力装置のメモリに取り込んでいる。カメラの絞りは自動、ピント調節は手動で行っている。

照明装置は、試料の斜め上 (試料の垂直軸に対して 30° の角度) 4 方向から、250W ランプ 4 灯により照射している。

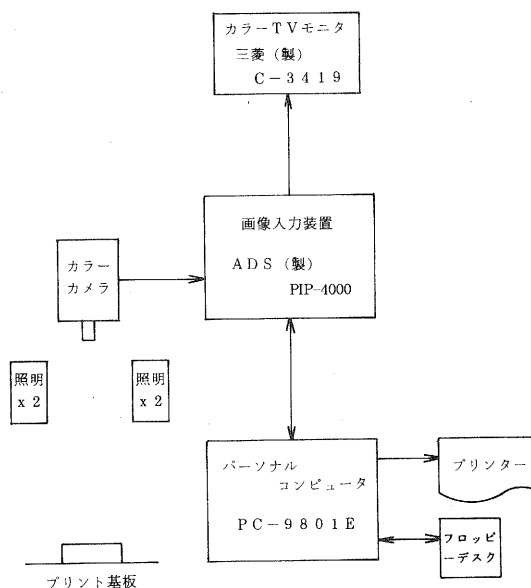


図 2-1 画像入力装置 構成図

(3) カラーTVモニタ

カラーTVモニタは、三菱電機（製）C-3419を用い、入力画像の調整用モニタあるいはメモリ内の画像データの演算処理のモニタとして使用している。

(4) パーソナルコンピュータ

主な画像処理演算は、パソコンPC-9801Eで行っている。画像メモリに記憶されたRGBの各データをパソコンメモリに取り込み、BASICSプログラムによりデータ処理し、結果をプリンターへ出力する。画像入力装置の制御は、装置に付属のアセンブラーサブルーチンをBASICSプログラムよりコールして行っている。

3. 標準色のRGB特徴分析

周知のように、色彩は、赤（R）、緑（G）、青（B）の三原色の組合せにより構成されている。

そこで、標準色が、どのようなRGBのデータで構成されているかを知るため、(財)日本色彩研究所の標準色彩図表Aを用いて、その分析を行った。

データのサンプリングは、20×20画素の大きさの窓を設け、その中のデータを用い次式により平均値 \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} と色度座標値 r, g, b を求めた。

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} R(i, j) / (20 * 20) \dots\dots\dots (3 \cdot 1)$$

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} G(i, j) / (20 * 20) \dots\dots\dots (3 \cdot 2)$$

$$\bar{B} = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} B(i, j) / (20 * 20) \dots\dots\dots (3 \cdot 3)$$

- 表2-1 画像入力装置の仕様
- (1)画像入力装置(A.D.S.(製) PIP-4000)
 - CPU : Z80
 - プログラムメモリ : 32kバイト
 - データメモリ : 16kバイト
 - AD/DA変換器 : 8ビット(12.5MHz)
 - 画像メモリ : R画像 512V×512H×8ビット×8フレーム
 - G画像 "
 - B画像 "
 - (2)カラーカメラ(池上(製) ITC-350M)
 - 走査方式 : 2 : 1インターレス、512本、30フレーム/秒
 - 解像度 : 中心部550本以上 周辺部450本以上
 - レンズ (Canon(製) J15×9.5)
 - ズーム比 : 15×
 - 照明装置(株)エス・エフ・シー、コピーライトマスター)
 - ライト : 250W 4灯
 - (3)カラーTVモニタ(三菱(製) C-3419)
 - 水平周波数 : 15.5~24KHz
 - 垂直周波数 : 40~70Hz
 - (4)パーソナルコンピュータ(NEC(製) PC-9801E)
 - CPU : 8086
 - メモリ : 640kバイト
 - HDD : 20Mバイト
 - FDD : 8" FDD × 1台
 - 言語 : N88-BASIC、アセンブラー

また、このとき照明環境は、左側2灯による照射、右側2灯による照射、照明無しの蛍光灯のみによる照射の3つの条件で行った。

図3-1~図3-6は標準色のRGBデータの平均強度 \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} および色度座標値 r, g, b と照明環境との関係を示したものである。左右の

$$r = \bar{R} / (\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}) \dots\dots\dots (3 \cdot 4)$$

$$g = \bar{G} / (\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}) \dots\dots\dots (3 \cdot 5)$$

$$b = \bar{B} / (\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}) \dots\dots\dots (3 \cdot 6)$$

照射方法で結果が違うのは、照度が多少異っていたためである。

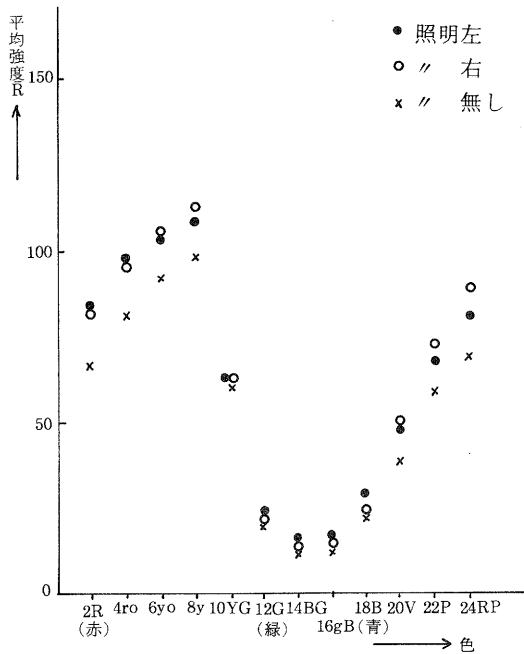


図 3 - 1 標準色 (12色) の平均強度 \bar{R}

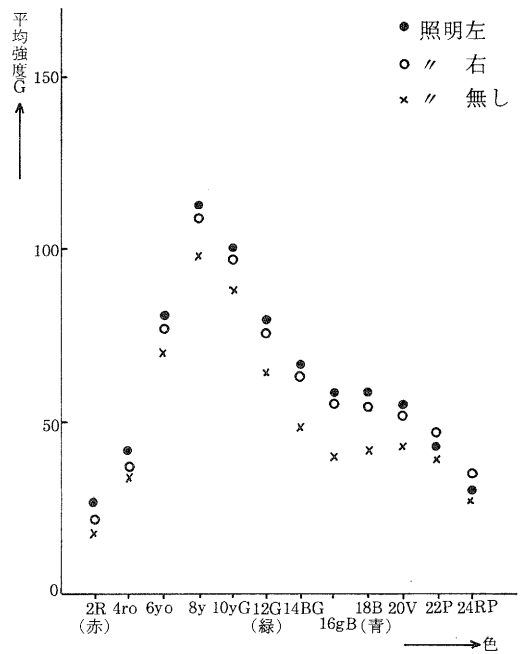


図 3 - 2 標準色 (12色) の平均強度 \bar{G}

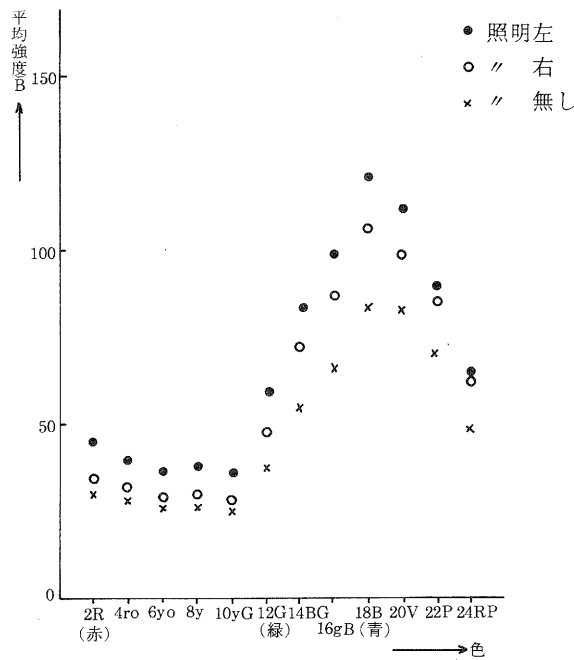


図 3 - 3 標準色 (12色) の平均強度 \bar{B}

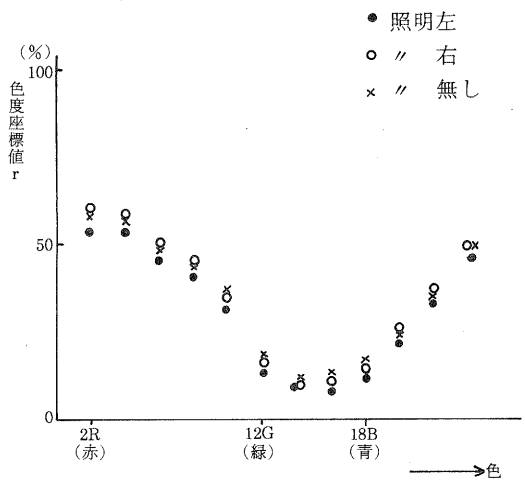


図 3 - 4 標準色 (12色) の色度座標値 r

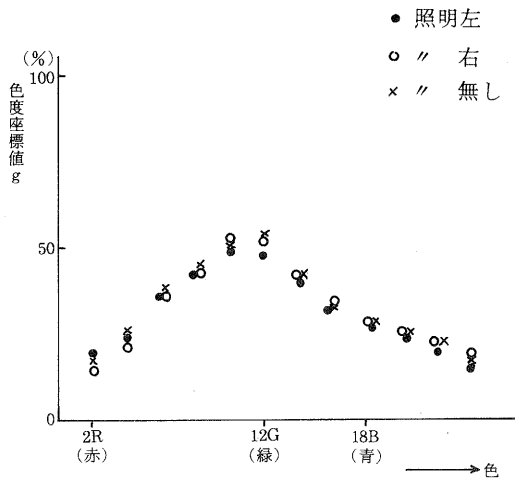


図 3-5 標準色 (12色) の色度座標値 g

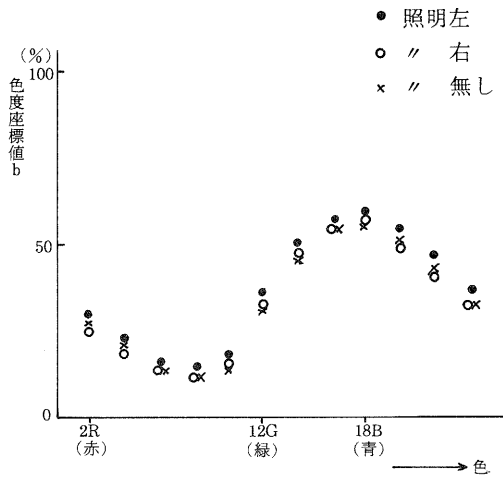


図 3-6 標準色 (12色) の色度座標値 b

これによると、RGBデータの平均強度 \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} は、照明環境の違いにより大きく値に差が出るのに対し、rgb色度座標値は、照明環境の違いにあまり影響を受けず、ほぼ一定になっている。

次に、RGBデータの特性をを見ると、図3-1～図3-3のRGBの平均強度のグラフでは、人間が日常判断している赤(2R)緑(12G)青(18B)と、グラフのデータ値が最大となる場所がずれている。一方、図3-4～図3-6のrgb色度座標値のグラフでは両者はほぼ一致している。すなわち、人間が行う色彩の判断は、rgb色度座標値に依存しているといえる。

次に、白黒系濃淡色について、同様の方法でデータ分析を行った。照明環境は、左側より2灯のライトで照射している。図3-7、図3-8に、白黒系9階層の色について、平均強度 \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} 、およびrgb色度座標の特性を示す。

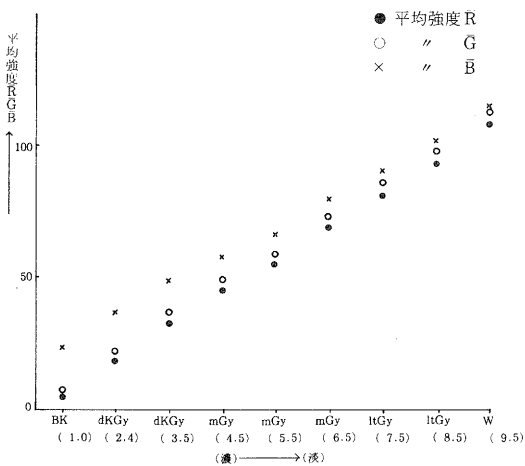


図 3-7 白黒系 濃淡色の平均強度 \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B}

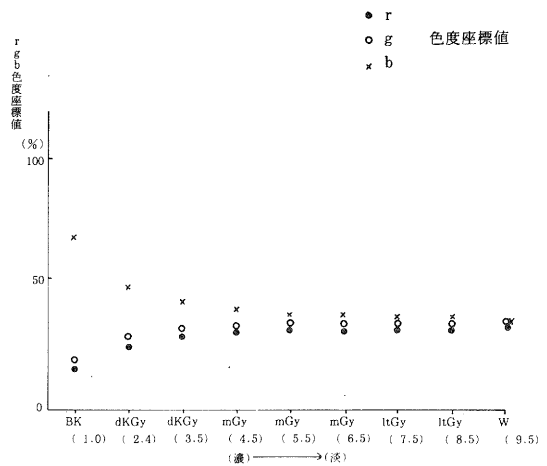


図 3-8 白黒系 濃淡色の rgb色度座標

これによると、白黒系濃淡色では、色度座標値はほぼ均等に配合されており、平均強度R, G, Bの強弱により色の濃淡がつけられていることがわかる。すなわち、この様な色の識別には、色度座標値だけでなく、平均強度も考慮する必要があるといえる。

4. 画素の抽出条件

前章の特徴分析の結果により、色彩の識別を行うのに用いる特徴量としては、色度座標値を用いるのが有効であることがわかった。そこで、次に、実際に部品が搭載されたプリント基板から、黒いIC部品領域を抽出することを行った。

図4-2は、図4-1に示したプリント基板のIC部、ICの足部、基板部、基板の配線部の4箇所について、それぞれ20×20画素のエリアのデータにより色度座標値および平均強度を算出した結果である。

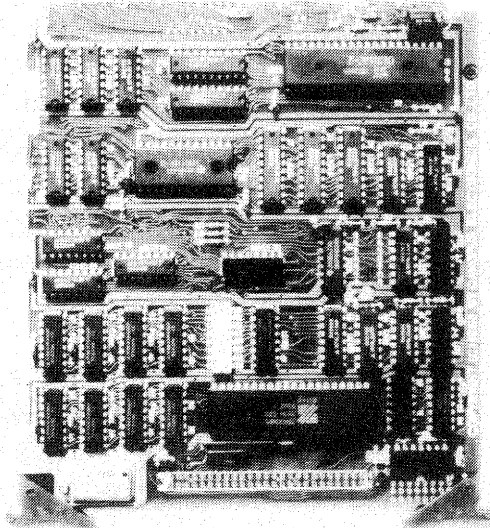


図4-1 プリント基板

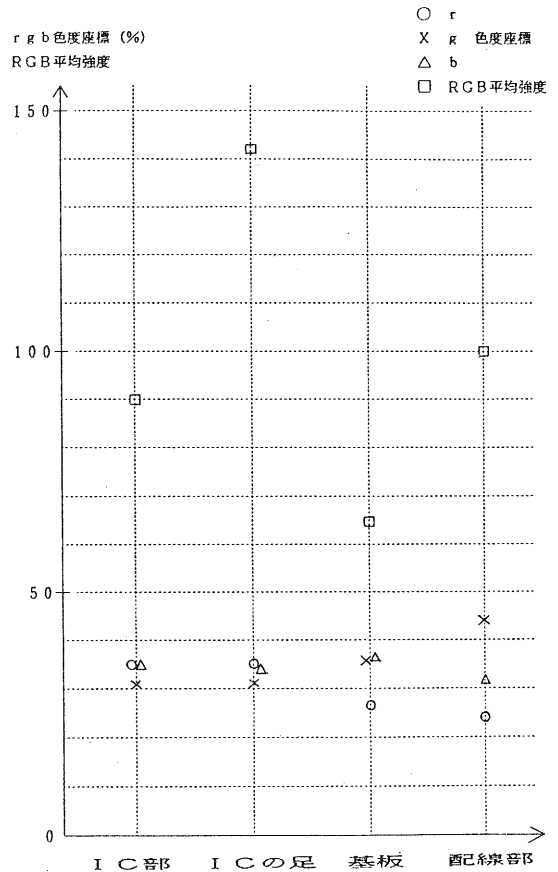


図4-2 プリント基板各部のrgb色度座標値およびRGB平均強度

ここで、色度座標値だけを見ると、IC部、ICの足部ではほとんど差が無く識別が困難である。そこで、これらを識別するため、平均強度も抽出条件に含める。

まず、図4-1に示す170×150mmのプリント基板の画像を512×512画素のRGBデータとして入力する。この時の照明環境は、左右斜め上方より4灯のライトで光のむらの無い様に照射する。また抽出の対象とするエリアは基板の中央部の100×100画素の窓の中のデータのみとする。そして、

この窓の中のデータを順次走査して行き、画素データが次の4つの条件を同時に満足しているならば、その画素が抽出すべき色、すなわちIC部であると判断する。ここで、抽出色の教示は、 20×20 画素の基準色データにより、式(3・4)～式(3・6)に従い色度座標値および平均強度を求めておく。

$$|r_{ij} - r| \leq \epsilon \quad \dots\dots(4 \cdot 1)$$

$$|g_{ij} - g| \leq \epsilon \quad \dots\dots(4 \cdot 2)$$

$$|b_{ij} - b| \leq \epsilon \quad \dots\dots(4 \cdot 3)$$

$$|(R_{ij} + G_{ij} + B_{ij})/3 - (\bar{R} + \bar{G} + \bar{B})/3| \leq 3\epsilon \quad \dots\dots(4 \cdot 4)$$

$\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}$: 教示色データのRGB平均強度

r, g, b : 教示色データのrgb色度座標値

R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} : 抽出エリアの各画素データ値

r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} : 抽出エリアの各画素データの色度座標値

ここで、 ϵ は、データの抽出範囲を表わす変数であり、図4-3～図4-6に ϵ を3(%)～5(%)とし、ICの黒色を教示した場合の画素抽出結果を示す、画像データの1画素は、図の1ポイントに1対1で対応している。

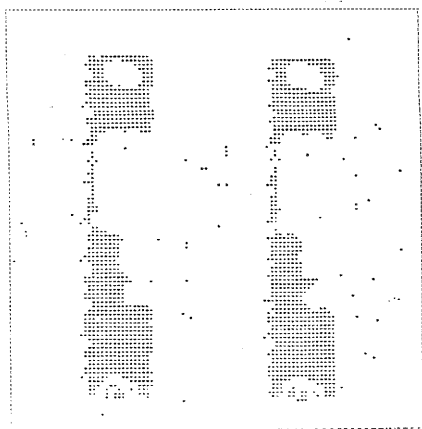


図4-3 抽出範囲を3%とした場合の抽出画像

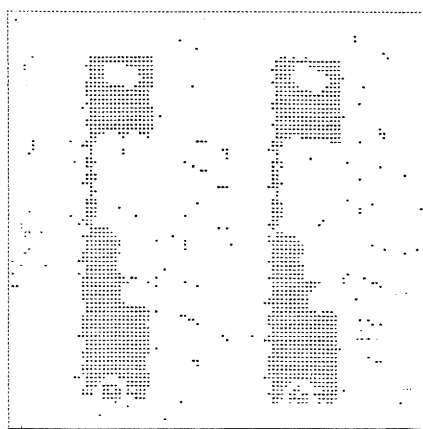


図4-4 抽出範囲を4%とした場合の抽出画像

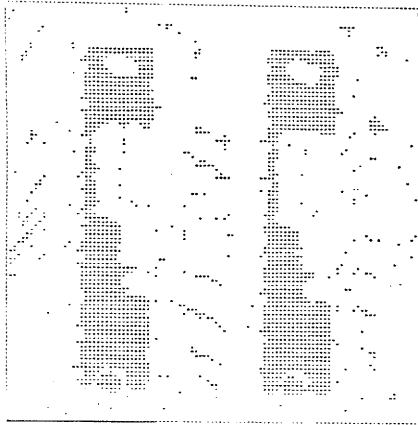


図 4-5 抽出範囲を 5%とした場合の抽出画像

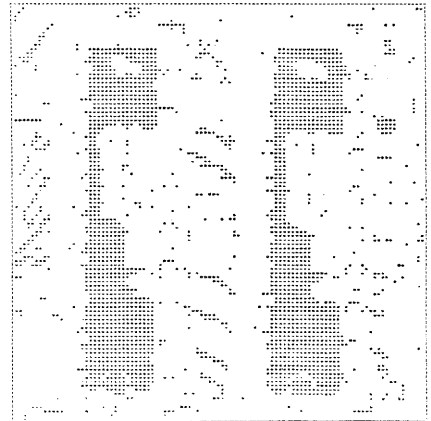


図 4-6 抽出範囲を 6%とした場合の抽出画像

IC部分で大きくポイントが脱落している所は、ICの品名を示す白い文字の部分である。抽出範囲が、小さい場合、図4-3の様にIC部以外の領域のノイズと思われるポイントは減るが、IC部のポイントも同様に削られてしまう。また、抽出範囲が、大きい場合図4-6の様に、その反対の現象になる。そこで、以下では、IC部の形状がほぼ明確となる条件として、5%を最適な条件と考え、この条件で抽出した画像のノイズ除去の方法を考える。

5. ノイズ除去

画像のノイズ除去の基本的な考え方としては、同一対象画像を n 回観測し、その平均画像を作れば、ノイズ成分の波高値は、統計学上 1 回の観測の場合の雑音成分の $1/\sqrt{n}$ になる。しかし、多くの場合同一の対象を同一条件下で n 回観測することは難しく、一般には 1 回の観測画像をフィルタを通してノイズ除去を行う方法がとられる。⁽²⁾ここでは、次にあげるフィルタによりノイズ除去を行い、その効果を比較した。

(a) スムージング (図 5-1)

3×3 の窓内のデータの平均値を求め、その値を窓の中心点の値とする。

$$P(5) = 1/9 \sum_{i=1}^9 P(i) \quad \dots\dots (5-1)$$

(b) メディアンフィルタ (図 5-2、5-3)

3×3 の窓内のデータを大きさの順に並べ、その中央に位置するデータを、窓の中心点の値にする。

P(1)	P(2)	P(3)
P(4)	P(5)	P(6)
P(7)	P(8)	P(9)

図 5-1

(c) 縮小拡大フィルタ (図5-4)

3 × 3の窓内のデータの平均値を求め1/3に縮小し、その値を用いて3倍に拡大する。

$$P'(i) = 1/9 \sum_{i=1}^9 P(i) \quad \dots\dots(5 \cdot 2)$$

P(1)	P(2)	P(3)
P(4)	P(5)	P(6)
P(7)	P(8)	P(9)

図5-2

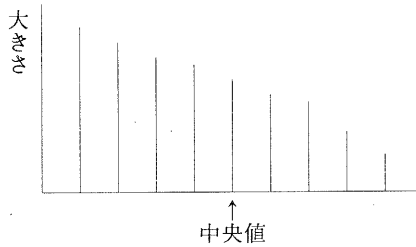


図5-3

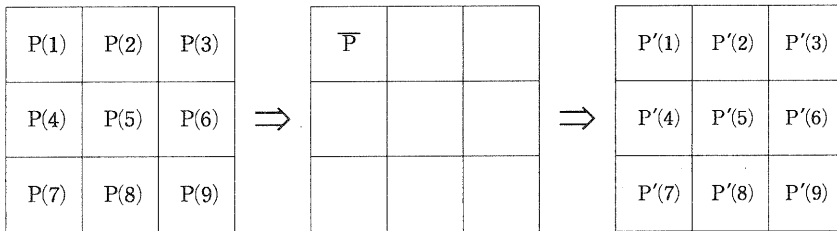


図5-4

先に述べた方法で画素抽出を行った原画像を、それぞれのフィルタでノイズ除去を行った画像を
図5-5～図5-8に示し、その効果の比較を表5-1に示す。

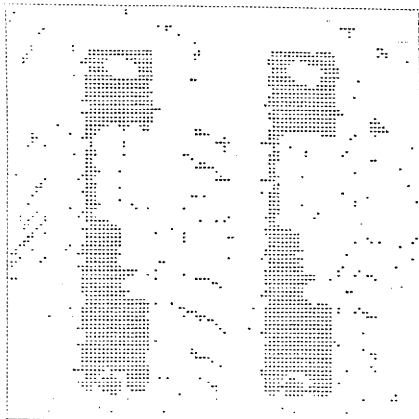


図5-5 原画像

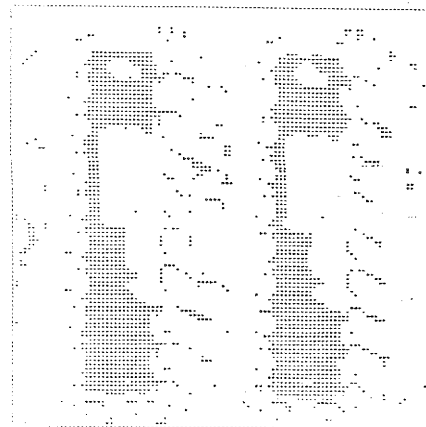


図5-6 スムージングを行った画像

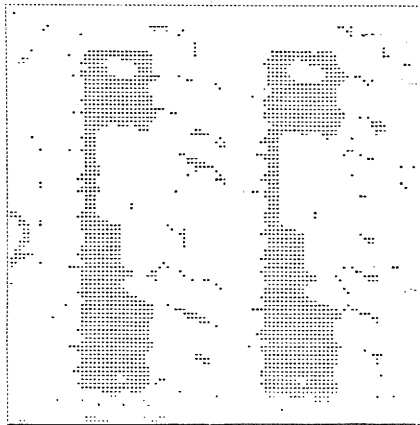


図 5-7 メディアンフィルタを施した画像

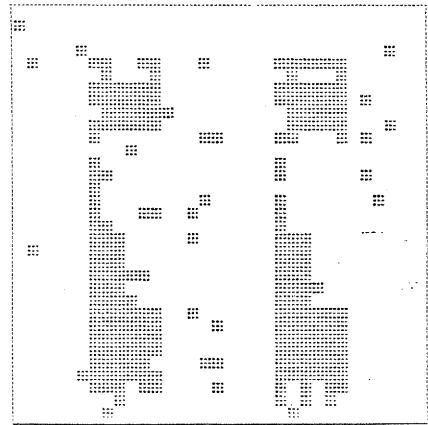


図 5-8 縮小拡大を行った画像

表 5-1 各種フィルタによる雑音除去効果

	スムージング	メディアン	縮小拡大
大きいノイズの除去効果	無し	無し	無し
小さいノイズの除去効果	多少有り	多少有り	どちらともいえない
エッジの保存性	無し	あまり無し	どちらともいえない
脱着ポイントの修正効果	多少有り	多少有り	無し

表 5-1 に示す様にこれらのフィルタは散在する小さなノイズの除去には有効であるが、大きなノイズの除去にはあまり効果がない。また、フィルタをかけるとエッジがぼけ IC 部品の輪隔形状の直線性が失われてしまう。そこで、次に、エッジは保持しながら、かつノイズ除去効果の有るフィルタとして、以下に述べる十字形フィルタを考案した。

今回の画像の入力条件としては、基板は常に水平でかつ縦横方向にずれなく置かれており、IC 部品は、長方形の形状をしており、基板上に縦方向か横方向に正しく設置されている。そこで、この条件を利用し、縦方向および横方向の直線性が保たれる様にフィルタの窓の形状を十字形にした

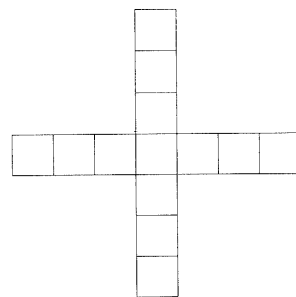


図 5-9 十字形フィルタ

ものを考える。13画素のエリアを持つ十字形フィルタ中に、7画素以上のポイントが有れば、そのフィルタの中心点にポイントがあると判断する。

フィルタ内のポイント数 ≥ 7 ……………	中心点にポイントが存在する	} (3・5)
フィルタ内のポイント数 < 7 ……………	中心点にポイントが存在しない	

図5-10～図5-13に、原画像、原画像に十字形フィルタをかけた画像、原画像にスムージングを施し十字形フィルタをかけた画像、原画像にメディアンフィルタを施し十字形フィルタをかけた画像を示し、また、その結果を表5-2で比較する。

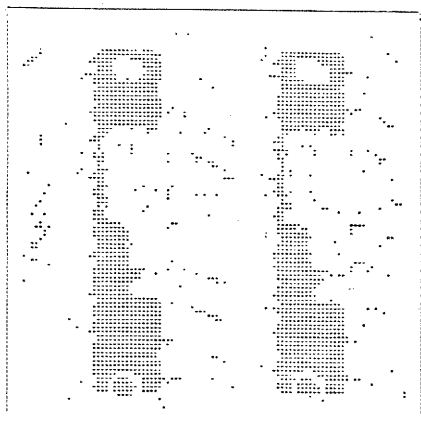


図5-10 原画像

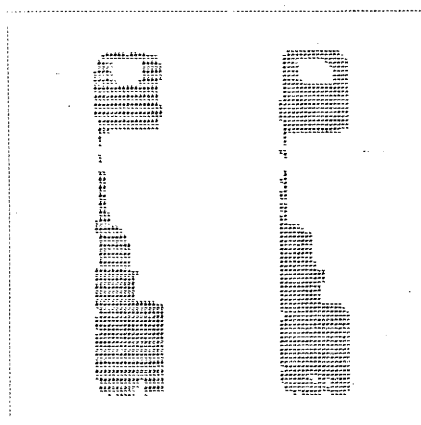


図5-11 十字形フィルタを施した画像

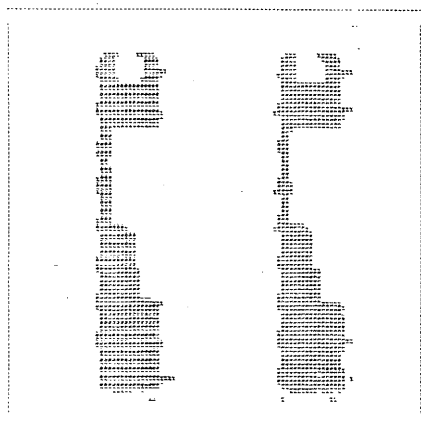


図5-12 スムージング後
十字形フィルタを施した画像

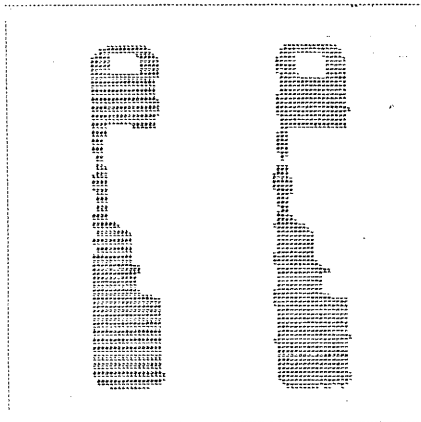


図5-13 メディアンフィルタを施し、
その後十字形フィルタを施した画像

表 5 - 2 十字形フィルタによる雑音除去効果

	原画像→十字形フィルタ	原画像→スムージング→十字形フィルタ	原画像→メディアンフィルタ→十字形フィルタ
大きいノイズの除去効果	有り	有り	有り
小さいノイズの除去効果	有り	有り	有り
エッジの保存性	有り	多少有り	有り
脱落ポイントの修正効果	多少有り	多少有り	有り

6. IC領域の復元処理

前章までに示したように、ノイズ除去操作を行った画像においても、ノイズ成分は残っており、また、IC領域において、ICの文字の部分の欠落もあるので、ノイズ除去操作後の画像は、本来の形状を失ったものになっている。そこで、本章では、IC領域のみを抽出し、その領域を本来ICの持っている長方形の形状に復元することを試みた。図6-1にその処理の流れを示し、以下で各処理について説明する。

(1) 走査

領域の左上の位置を検出するため、図6-2に示すカギ型の窓を設け、画像の上段の左から右へ、順次段を下げて走査を行う。

(2) 領域検出

7画素のカギ型の窓の中に5画素以上のポイントが存在する最初の位置を領域の左上の位置と判断する。すなわち、次式の条件を満たす最初の点(i, j)が領域の左上の点となる。

(3) 領域サイズの算出

領域の左上の点が見つければ、図6-3に示す方法で領域中を斜め方向に走査し、領域垂直方向の弦の最大値l_jとその時の弦の両端の垂直

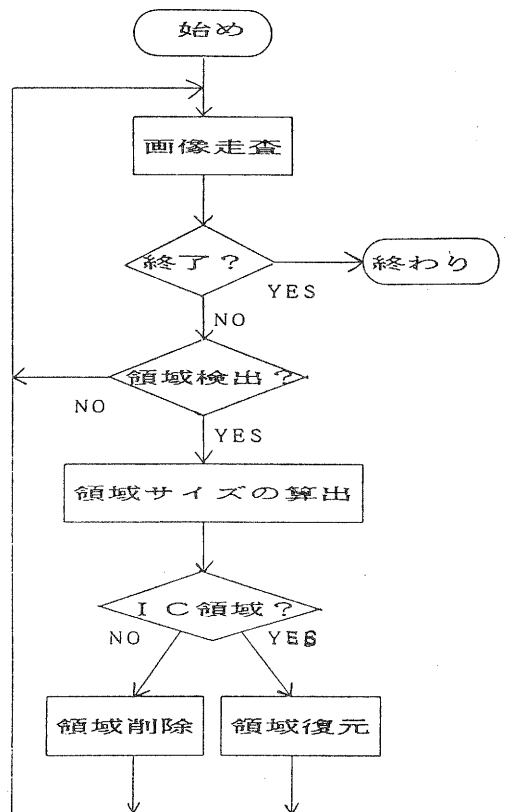


図 6 - 1 IC領域復元処理フロー

座標値 j_{min} , j_{max} および、領域水平方向の弦の最大値 l_i とその時の弦の両端の水平座標値 i_{min} , i_{max} を求める。

(4) IC領域である無しの判断

今回入力を行ったプリント基板上的 IC 部品については、長方形の IC の短辺であっても最低 15 画素以上の長さを持っている。そこで、先に求めた弦長 l_i , l_j が共に 8 画素以上の長さを持っているれば、その領域は IC 領域であると判断する。

(i,j)	(i+1,j)	(i+2,j)	(i+3,j)
(i,j+1)			
(i,j+2)			
(i,j+3)			

図 6-2 カギ型の窓

(5) IC領域の形状復元

IC 領域であると判断された領域については、IC 領域は長方形であるという条件により、先に求めた座標値を使って、 (i_{min}, j_{min}) (i_{min}, j_{max}) (i_{max}, j_{min}) (i_{max}, j_{max}) の 4 点の座標で囲まれる領域を IC 領域として復元する。その他の領域については、全て削除する。

7. IC領域抽出処理

本章では、前章までに述べた手法を組み合わせ、入力画像から IC 領域のみを抽出することを試みる。図 7-1 に、IC 領域抽出処理のアルゴリズムを示し、その詳細を、以下で説明する。

照明環境は、左右両側より 4 灯のライトで照射した。

- 抽出目標色の指示…… IC 部の均一色の部分を 20×20 画素のデータとして入力し、そのデータの各平均値 \bar{R} , \bar{G} , \bar{B} より、色度座標値 r , g , b および平均強度 D を算出する。

- 基板画像入力…… $150 \times 150 \text{mm}$ のプリント基板のエリアを 512×512 画素の分解能で入力する。

- 画素抽出…… 512×512 画素の中央部に 100×100 画素の窓を設けその中の画像に対して、メディアンフィルタをかける。次に、その中の各画素データの色度座標値が教示値 r , g , b の 5% 以内、

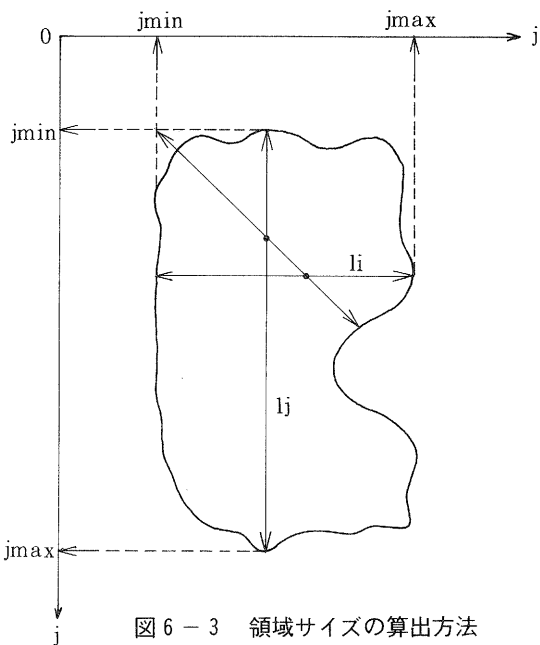


図 6-3 領域サイズの算出方法

かつ平均強度が教示値Dの15階調差以内であるかどうか判断し条件を満足していれば画素を抽出する。

- 雑音除去……十字形フィルタにより抽出した画像の雑音成分を除去する。
- 領域の復元……I C領域を見つけ出し、長方形のI C形状の領域に復元する。

図7-2～図7-5にこの処理過程における画像を示す。

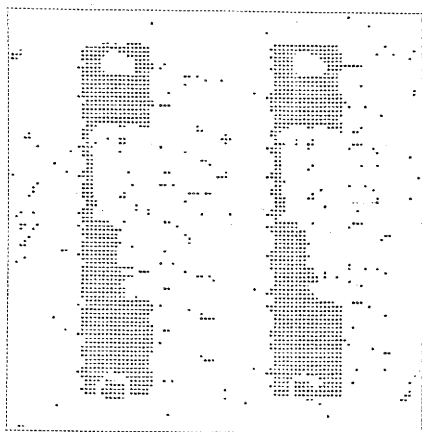


図7-2 原画像

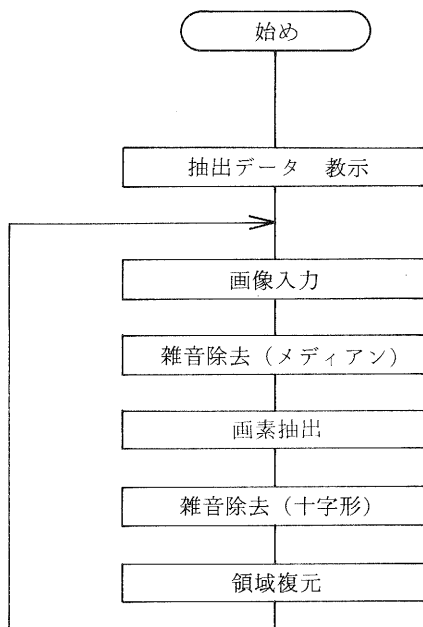


図7-1 I C領域抽出処理フロー

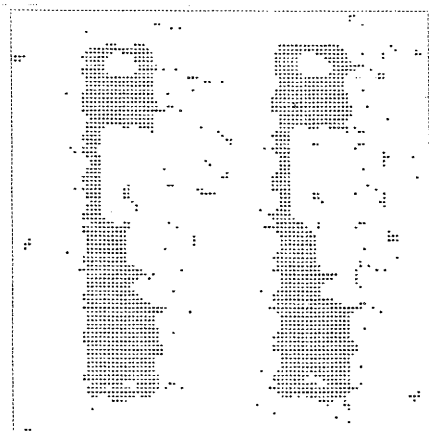


図7-3 メディアンフィルタを施した画像

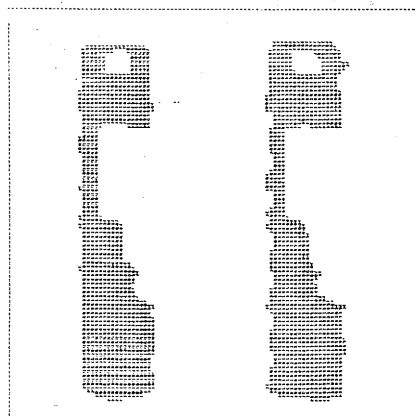


図7-4 十字形フィルタを施した画像

8. むすび

本研究においては、カラー画像の特徴量である $r g b$ 色度座標値および $R G B$ 平均強度を用いてプリント基板から、IC 部品領域を抽出することを試みた。画像データにおけるノイズ成分の除去や IC 領域の複元処理を施すことにより、IC 部品領域の抽出を行うことが出来た。しかし、今回の研究は、照明環境、プリント基板の位置と姿勢、部品の形状などについて、限られた条件下での検討であり、今後、実用化に到るまでには多くの問題点が残されている。

本研究に引き続き検討すべき課題としては、処理時間の短縮があげられる。本研究では、一部分マシン語を使用しているが、大部分を $B A S I C$ 言語で記述しているため、長い処理時間を要している。また、今回の処理システムでは、プリント基板の位置と姿勢、IC 部品の形状などについて特定の条件を設けている。今後は、一般的な条件のもとでの抽出処理が行えるようにする必要がある。これらの課題を解決するには、ソフトウェアとハードウェアの両面からの検討が必要である。

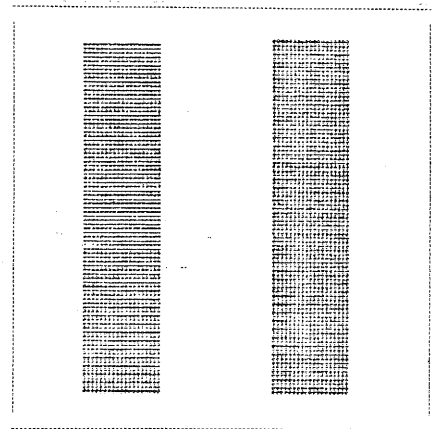


図 7-5 IC 領域復元画像

謝辞 本研究について御指導頂いた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）と渡部透研究参与（京都大学工学部助教授）に感謝します。

参考文献

- (1) 池田 光男：色彩工学の基礎 朝倉書店
- (2) 長尾 真：画像認識論 コロナ社
- (3) (財)日本色彩研究所：標準色彩図表 A 日本色研事業(株)

3次元入力装置の試作

— 会話型オフライン・ロボット・ティーチング・ システムの開発のために —

技術第一科 池田 滋重

あらまし：産業用ロボットの教示方法は、現在、ティーチング・プレイバックが主流であるが、今後は、オフライン・ティーチングの重要性が増すと考えられる。本研究は、とくにヒューマン・インターフェイスを重視したオフライン・ティーチング・システムの開発を意図するものである。本報告では、「立体視」を利用したオフライン・ティーチング・システムの概念を説明するとともに、本システムの一部として、3次元入力装置を設計試作した結果について報告する。この3次元入力装置は、ロボット・ハンドの軌道等の3次元情報をティーチング・システムに入力するために用いる。

1. まえがき

産業用ロボットは、大企業を中心に合理化、省力化の中核として、急速に普及をしているが、中小企業へ普及を促進するには、多品種少量生産に対応できることと、操作が簡単であることが必要である。近年、多品種少量生産への対応策として、ロボットに直接指示をするティーチング・プレイバック方式に代って、オフライン状態で動作教示をするオフライン・ティーチング方式が研究されている。オフライン・ティーチングの一つの方法は、ロボット言語を用いて動作を指示する方法であるが、プログラム言語に関する知識が必要なため、容易な方法とは言い難い。

一方、コンピュータは、この数年の間に、加速度的な進歩をとげた。特に、パソコンの発展は目ざましく、グラフィック機能が優れた機種が安価に入手でき、さらには、「立体視」機能を持つ機種も登場している。

本研究では、この安価で高性能なパソコンを用いて、ロボット・ハンドの軌道を直接的に指示できる「会話型オフライン・ロボット・ティーチング・システム」を開発する。本年度は、このシステムの一部である3次元入力装置を設計試作した。まず、本システムの概念を説明したのち、3次元入力装置の試作結果について述べる。

2. 会話型オフライン・ロボット・ティーチング・システム

2-1 システムの概要

本システムの構想を図1に示す。表1に示す様に、多品種少量生産時に問題となる段取換の時

表1 本システムの方式と効果

方式	効果
1 オフライン	(1) 段取換時間の短縮 (2) ロボットの動作の変更、他の工程への利用が容易
2 3次元入出力	ロボットが動作する現場に近い雰囲気での操作できる
3 Visual Shell	本システムに対する命令をアイコン等で指示をし、コマンド、言語を憶えなくても使用できる。

表2 本システムの機能

名称	機能
1 環境入力	立体カメラを使用してロボットの動作環境の立体的なレイアウトを入力する。
2 データベース入力	3次元CADの形式で登録されたロボットハンドワーク等の形状を入力する。
3 動作入力	立体表示された動作環境の上に、ロボットハンドの動作軌跡を入力する。
4 シミュレータとの通信	ロボットハンドの動作データと環境データをシミュレータに送信する。
5 ロボットとの通信	シミュレータでロボットハンドの動作を確認した後、ロボット言語に変換し、ロボットに送信する。

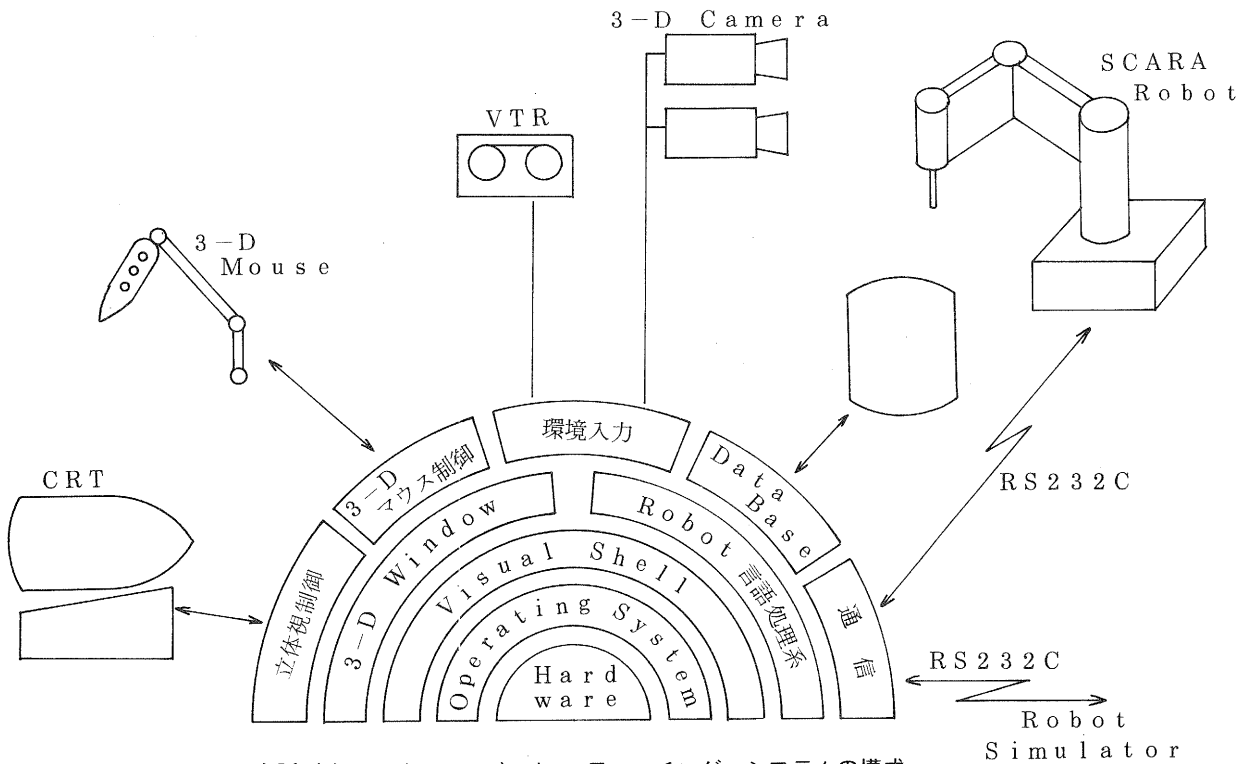


図1 会話型オフライン・ロボット・ティーチング・システムの構成

間を短かくし、さらに、動作の指示をティーチング・プレイバック方式と同じ感覚で行えることを目標にしている。本システムの機能は、環境入力、データベース入力、動作入力、シミュレータおよびロボットとの通信、の5つの機能で構成されている。操作手順は、まず、ロボットの周辺にあるベルトコンベア、テーブル等のレイアウトを立体カメラで撮影し、パソコン上で立体視を使ってポインティングすることにより環境に関する3次元情報をシステムに入力する。さらに、ワークやロボット・ハンドの形状情報は、あらかじめ、3次元CADで入力されているものとし、その形状情報をデータベースより入力する。次に、ロボット・ハンドの動作軌跡を3次元入力装置を使って、現場が映し出されたCRT上で指示をする。動作軌跡をシミュレータに送信して、動作確認を行なう。ロボットへの一連の動作指示の作成が完了したら、ロボット言語に変換し、ロボット本体に送信を行なう。図1において、ハードウェアとしては、高性能パソコンの他、ターゲットのロボットは、水平多関節4軸の松下電器産業製のNM-6652Sを用い、環境入力には、2台のTVカメラを使った立体TVカメラ、または、高画質VTRを用いる。また、3次元入力装置については、本研究で試作することにした。ソフトウェアは、ハードウェアの制御あるいは入出力をするモジュールと、3次元の画面を制御するモジュール、および、ロボット言語の処理系のモジュールがある。カーネルとして、視覚的に操作できるコマンド・アナライサVisual Shellがある。

2-2 ヒューマン・インターフェイス

ユーザがティーチング・システムを使用するにあたり、もっとも重要なことは「指定のワークを所定の位置から持ち上げ、指定された経路を通して、目標の位置に置く。」という本来の教示目的だけにどれだけ専念できるかである。従来は実際にロボット・ハンドを持って指示する方法（ティーチング・プレイバック方式）が最もよく用いられている。この方法は、現場で現物のロボットに教示を与えるのであるから、ユーザにとって判りやすい。

本システムでは、オフラインという条件の中で、パソコンを利用して、上記の直接的なティーチング法に近い環境を実現することを考えた。

第一に、ワークの移動経路、つまり、ロボット・ハンドの動作軌跡を、現場の様子が表示されたCRT上で、3次元入力装置を用いて直接的に指示できること。

第二に、Visual Shellを用いて、ダイレクト・マニピュレーション・インターフェイス⁽¹⁾を実現し、ティーチング・システムのコマンドを憶えなくても、画面上のアイコン、あるいは、メニューを選択し、結果もアイコン表示の変化で判るようにすること。

この様なヒューマン・インターフェイスを実現する手段として、次の方式を用いる。

1. 3次元情報の入出力
 - ① 3次元入力装置（3次元マウス、本研究試作装置）
 - ② 出力方法として、液晶シャッター方式の立体視（2・3参照）
2. Visual Shell
 - 高性能グラフィックスとビットマップディスプレイを持った安価なパソコンによる実現

2-3 3次元表示「立体視」の利用^{(2), (3)}

(1) 3次元表示の原理

最近、家庭用のパソコンあるいはビデオディスクに液晶シャッターめがねを用いて、3次元表示「立体視」ができる機種が販売されるようになった。本システムでは、この方式を採用することにした。

3次元表示の原理は、人間の両眼視差を、CRT上で生じさせることにある。図2のように、右眼用、左眼用の画面を用意しておき、1台のCRTに時分割で、右、左……と交互に画面を表示する。オペレータは、液晶シャッターを用いためがねをはめている。CRTの画面と同期して、液晶シャッターが開閉するため、右眼には右眼用画面、左眼には左眼用画面が入り、立体的に見えることになる。

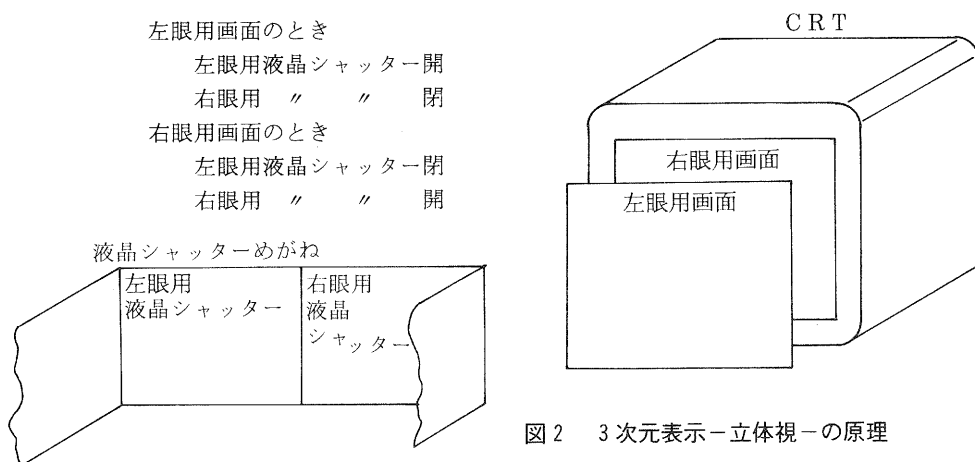
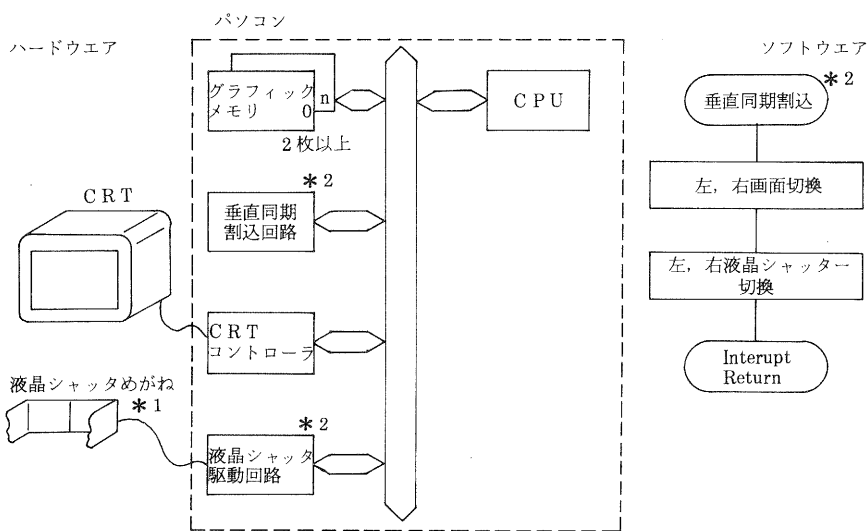


図2 3次元表示-立体視-の原理



*1 市販品利用可 *2 開発の必要あり

図3 3次元表示-立体視-に必要なハードウェア・ソフトウェアの構成

(2) 3次元表示のためのハードウェア・ソフトウェア構成

立体視をパソコン上で実現するには、次の様なハードウェア・ソフトウェア構成が必要である(図3参照)。

1. 左眼用、右眼用画面を作成するグラフィックメモリが2画面
2. 左眼用、右眼用の画面と液晶シャッターをCRTの垂直同期信号に合わせて切替えるハードウェア・ソフトウェア
 - (1) 垂直同期毎に割込みを発生する回路
 - (2) 割込み発生時に、画面と液晶シャッターを切替えるプログラム
 - (3) プログラムの指示に従い液晶シャッターを駆動する回路

3. 3次元入力装置の概要と原理

3-1 3次元入力装置の現状

現在、3次元入力装置として、表3、図4のような装置が試作あるいは実用化されている。コンピュータ用の入力装置としては、スタイラスペンなどの指示物の先端から光、音などを発して、3方向から距離あるいは角度を測る方式の装置と、通常のマウスに上下機構を追加した装置がある。しかし、どの装置も試作の段階で、まだ、市販はされていないようである。また、コンピュータに入力する装置としては設計されていないが、原理的に3次元座標を入力できる装置としては、垂直多関節ロボットのティーチングの機構、および、精密測定機として市販されている3次元測定機などがある。

以上のように、コンピュータへの入力装置、とくに、パソコンへの入力装置として市販されていないのが現状である。

3-2 試作装置の概要

オフライン・ロボット・ティーチング・システムで使用する3次元入力装置としては、次のような仕様を満たすことが望ましい。

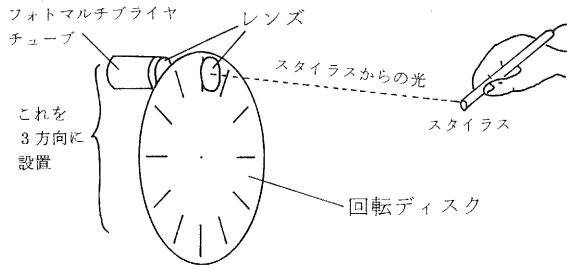
1. 従来のロボットの手先を持って行うティーチング方式に感覚的に近い操作性を持つこと。
2. アイコン操作、メニュー選択も同時にできること。
3. オペレータが3次元入力装置から手を離しても、3次元座標を構造的に保持すること。
4. オペレータの手が疲れにくいこと。
5. 構造が簡単で、安価に試作できること。

このような観点に基づいて、本研究では、グリップ付多関節構造(5軸)を採用した(表4参照)。

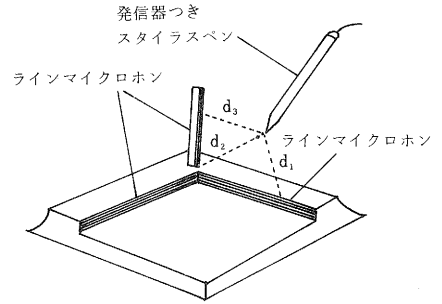
使用環境は、図5のとおりである。3次元入力装置をCRTの左側にクランプし、左手でグリ

表3 3次元入力装置の種類

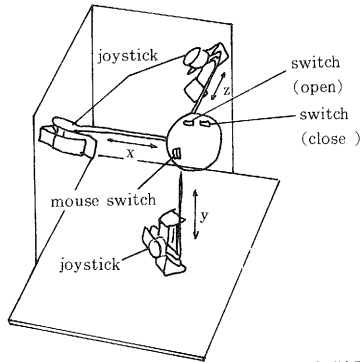
方式	試作者	概念図	参考文献	
3点角度 距離測 定型	光発信型	Burton	図4 (1)	(4)
	音響型	-	(2)	(4)
	力学型	東大工学部	(3)	(5)
2次元マウス発展型	富士通	(4)	(6)	(6)
多関節型	-	(5)	-	-
門型	-	(6)	-	-



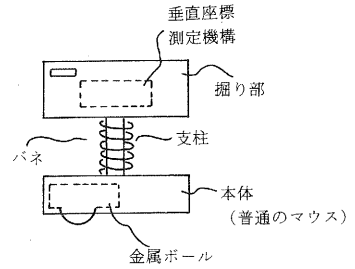
(1) 光発信型



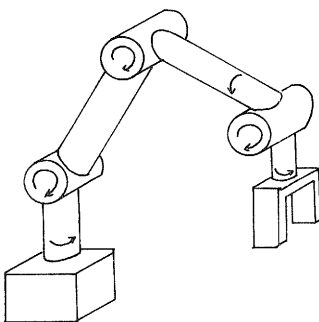
(2) 音響型



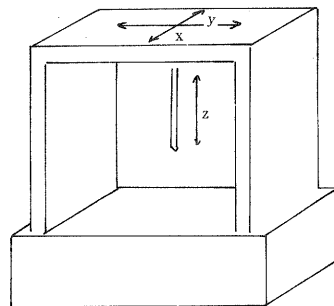
(3) 力学型



(4) 2次元マウス発展型



(5) 多関節型



(6) 門型

図4 3次元入力装置の種類

ップを握って、CRT前方のテーブル上の空間を指示できる様にした。本装置が検出する3次元直交座標は、テーブルの左手前のかどの付近に原点を置き、右へx軸、奥へy軸、上方へz軸とした(マウス座標系)。ユーザが特に座標系を定義したい時は、マウス座標系のx y平面に平行な座標系が定義できる(ユーザ座標系)。マウス座標系の算出法とパソコンへの送信方法は、図6の様に、マウス本体の5軸のエンコーダにより、各関節の角度を算出し、マイクロコンピュータで、マウス座標に変換する。必要な場合、ユーザ座標系に変換し、RS232Cを利用しパソコンに送信する。また、装置の状態は、座標値を送信するマウスモードと、送信しない待機モードの二種類がある。RS232Cによる通信手順は、図7のとおりである。

表4 3次元入力装置(3次元マウス)の仕様

構造	グリップ付多関節型(5軸)
座標算出方法	マイコンを用いて、5軸多関節座標系を3次元直交座標系に変換
3次元座標系	マウス座標系(default) ユーザ座標系
設置方法	テーブルにクランプ
関節角度初期化	初期設定台を設け、そこに置くことにより初期化を行う。
グリップ	ボタン2個 アイコンダイアル1個
コンピュータとの通信	RS232C、ACK、NAK方式
装置の状態	待機モード：コマンド待ち マウスモード：1/4sec 毎に座標値送信

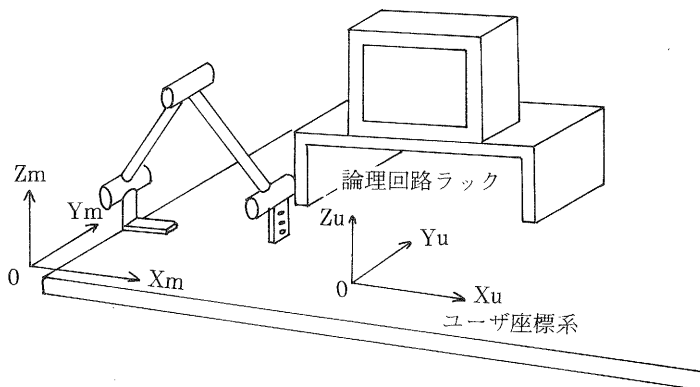


図5 3次元入力装置の使用環境

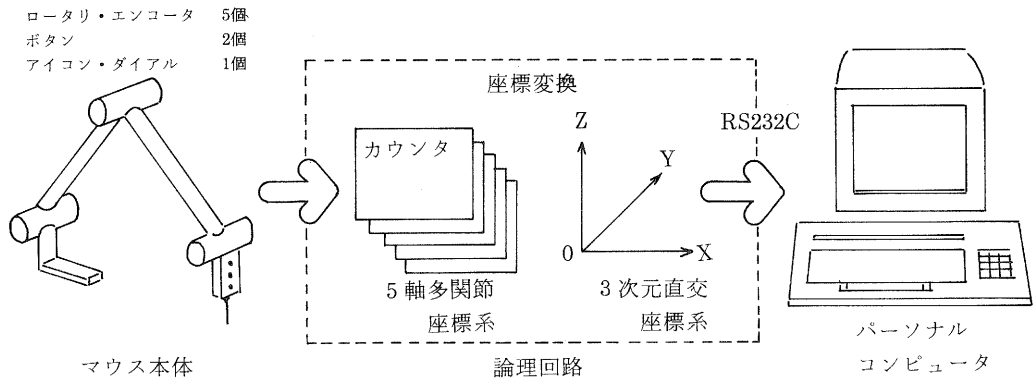
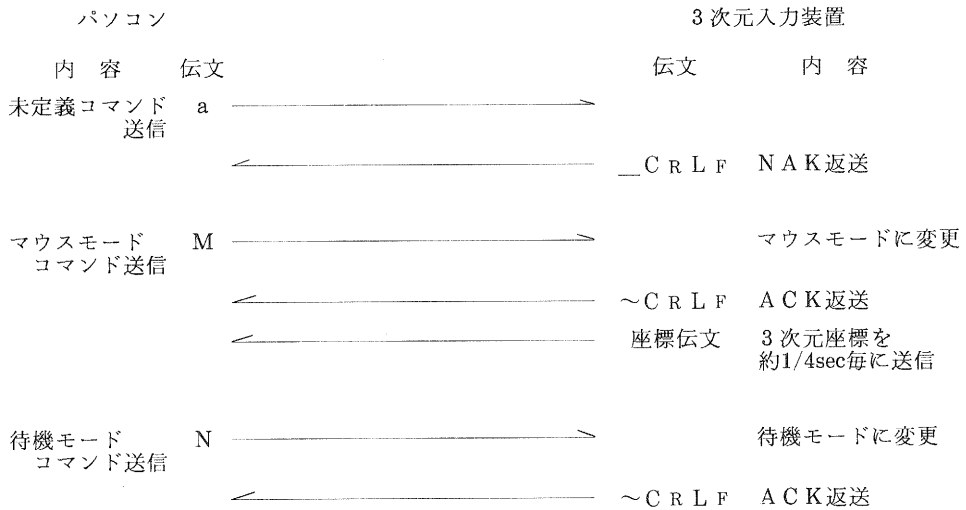


図6 3次元入力装置の概念図



(1) 通信手順

M $CRLF$ $\{\triangle\}nnnnn, \{\triangle\}nnnnn, \{\triangle\}nnnnn, bb, \{\triangle\}nnnnnCRLF$
 状態表示 X座標値 Y座標値 Z座標値 bボタン アイコン・ダイヤル
 (マウスモード) aボタン

$\{\triangle\}nnnnn$ は $-2^{15} \sim 2^{15} - 1$

(2) 座標伝文の形式

図7 パソコンと3次元入力装置の通信方法

3-3 試作装置の原理

本装置では、本体に取り付けられた5軸のエンコーダにより、各関節角度を検出し、これらの角度データからマウス座標系を求めている。マウス本体は、図8の様に、長さが a_2 、 d_4 、 h の3個のリンクと、 $Z_0 \sim Z_4$ の5つの関節から構成されている。マウス本体の台座の座標を、マウス座標系で (m_x, m_y, m_z) とする。5軸多関節座標系からマウス座標系への変換は、各リンク座標系間に順次、並進と回転の同次変換を施していくことで求められる(同次変換の積)。

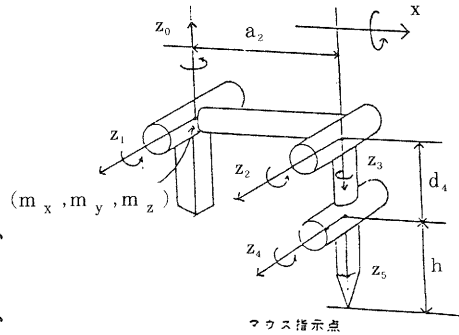


図8 3次元入力装置本体の機構図

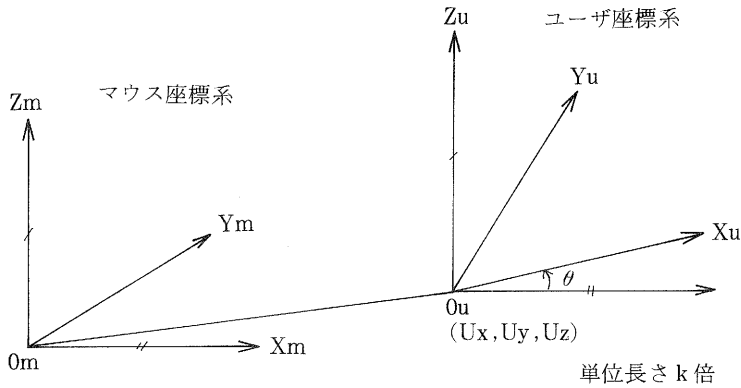


図9 マウス座標系とユーザ座標系

グリップの先端から第5関節までの並進変換行列をE、各リンク座標系間の変換行列を、第5関節から順に、 A_5 、 A_4 、 A_3 、 A_2 、 A_1 、マウス本体の台座からマウス座標系への並進変換行列をZとおく。各関節の角度を、それぞれ、 θ_5 、 θ_4 、 θ_3 、 θ_2 、 θ_1 とすると、各変換行列は、次のようになる⁽⁷⁾。

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & mx \\ 0 & 1 & 0 & my \\ 0 & 0 & 1 & mz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A_1 = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & 0 & \sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & 0 & -\cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A_4 = \begin{pmatrix} \cos \theta_4 & 0 & -\sin \theta_4 & 0 \\ \sin \theta_4 & 0 & \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A_5 = \begin{pmatrix} \cos \theta_5 & 0 & \sin \theta_5 & 0 \\ \sin \theta_5 & 0 & -\cos \theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

グリップの先端からマウス座標系への変換行列Tは、

$$T = Z A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 E$$

となる。求めるグリップの先端座標 (x, y, z) は、変換行列Tの4列目の成分となるから、次のようになる。

$$\begin{aligned} x &= h(\cos \theta_1(\cos(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_4 \sin \theta_5 + \sin(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_5) + \sin \theta_1 \sin \theta_4 \sin \theta_5) \\ &\quad + \cos \theta_1(d_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2) + m_x \\ y &= h(\sin \theta_1(\cos(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_4 \sin \theta_5 + \sin(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_5) - \cos \theta_1 \sin \theta_4 \sin \theta_5) \\ &\quad + \sin \theta_1(d_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \cos \theta_2) + m_y \\ z &= h(\sin(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_4 \sin \theta_5 - \cos(\theta_2 + \theta_3)\cos \theta_5) - (d_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \sin \theta_2) + m_z \end{aligned}$$

ユーザ座標系が定義されている場合、図9の様に、x軸の回転角を θ 、単位長さの倍率をk、マウス座標系から見たユーザ座標系の原点を(Ux, Uy, Uz)とすると、ユーザ座標系の点(X, Y, Z)を、マウス座標系の点(x, y, z)であらわすと次のようになる。

$$\begin{aligned} X &= k\{(x+U_x)\cos \theta - (y+U_y)\sin \theta\} \\ Y &= k\{(x+U_x)\sin \theta + (y+U_y)\cos \theta\} \\ Z &= k(z+U_z) \end{aligned}$$

4. 試作装置のハードウェア構成

4-1 ハードウェア構成の概略

(1) 機構

本装置は、3次元の点を指示するための機構部と、カウンタ回路と通信回路とCPU回路から成る論理回路で構成されている。機構の概略は、次のとおりである(図10参照)。

1. 構成要素

- (1) 台座 機構部をテーブルにクランプ
- (2) パイプ 第2リンクと、第4リンクに対応して、2本のパイプがある。
- (3) グリップ 2個のボタンとアイコン・ダイヤル(600P/Rのロータリ・エンコーダ)の付いたグリップで、先端が指示点である。左手で操作する。
- (4) 初期設定台 指示点をこの台に差し込むことにより、各ロータリ・エンコーダに対応するカウンタの値を初期化する。

2. 指示範囲

テーブルの上の空間で、台座を中心に1100mm程度の球内

3. 位置検出

関節軸に、ロータリ・エンコーダを取り付けて検出している。

精度に大きな影響の出る台座に近い2個の関節は2000P/Rのエンコーダ、その他は600P/Rのエンコーダを用いている。

(2) 論理回路

本装置の論理回路は、STD規格に準じて設計した。仕様は、表5のように、CPUにZ80A

図10

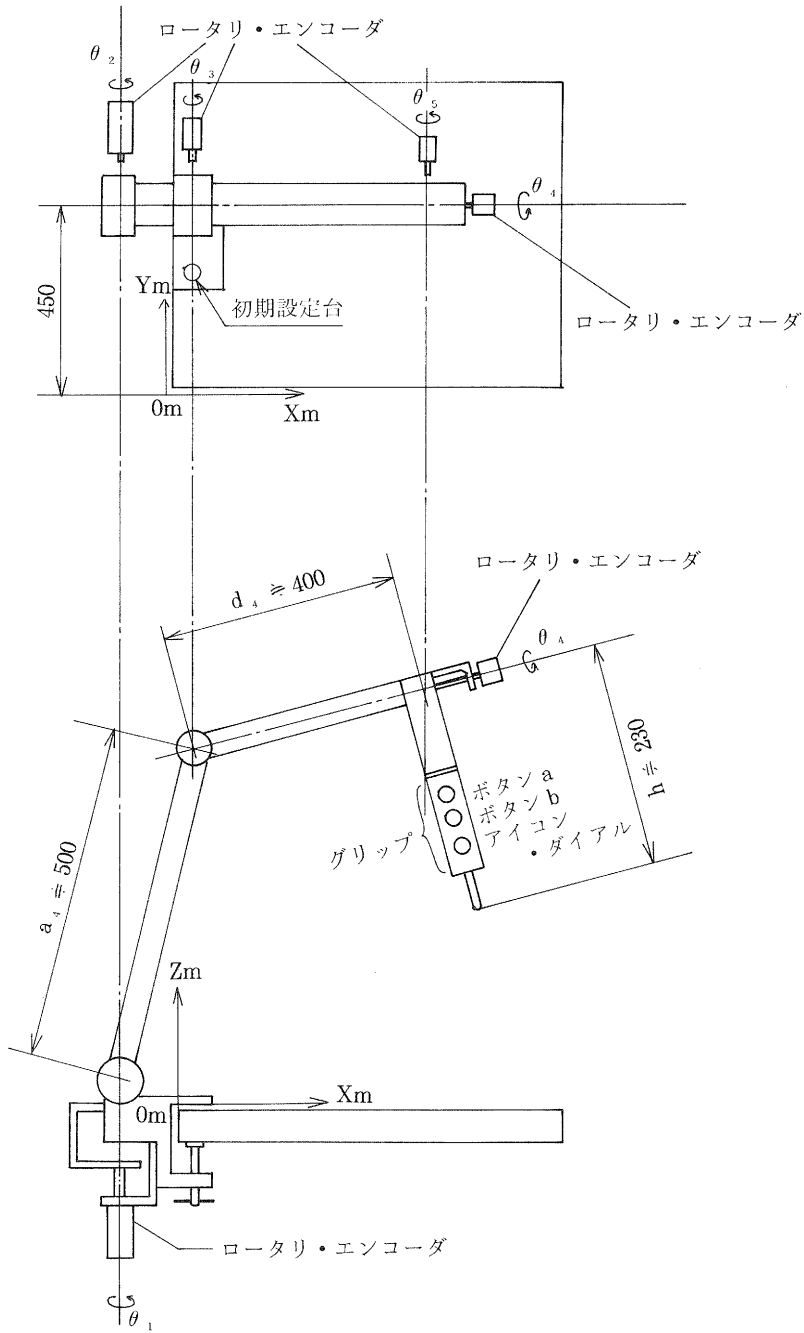


図10 3次元入力装置の機構部

(4.0MHz) を使い、RAM 4KB、ROM 8KB を実装した。初期設定割込み、タイマ割込み用に CTC、RS232C インターフェイス用に SIO を用いた。ロータリ・エンコーダのカウンタ用に 24bit カウンタ ZEN2001 を用いた。

ボードは、CPU ボード、Counter ボード、RS232C インターフェイスボードの 3 枚から成り、ブロック図は、図11のとおりである。

表 5 論理回路の主な素子

素子	機能 / L S I 名
CPU	Z 8 0 A 4.0MHz
ROM	8 K B 2 7 6 4
RAM	4 K B 6 1 1 6 × 2 個
CTC	初期設定割込 16msec タイマ割込
SIO	R S 2 3 2 c 通信用
カウンタ	2 4 bit Z E N 2 0 0 1

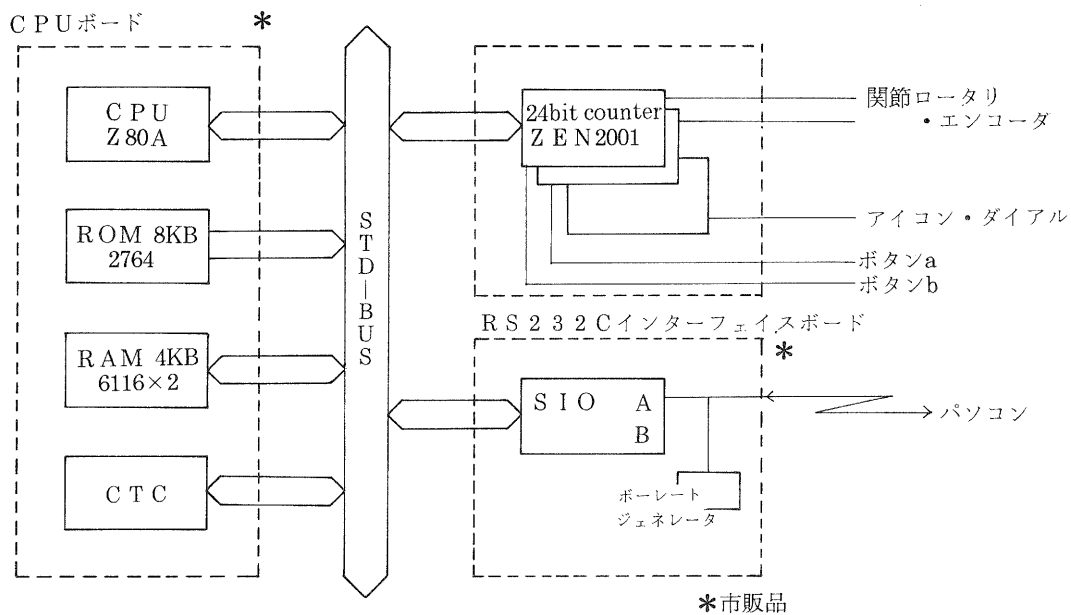


図11 論理回路のブロック図

4-2 カウンタ回路 (Counterボード)

Counterボードは、各関節の角度のパルスのカウント、アイコン・ダイヤルのカウントと、各スイッチの入力を行なっている。

このボードで使用した素子は、エンコーダ用の24bitカウンタZEN2001である。この素子は、図12の様に、ロータリ・エンコーダのA、B相を直接入力し、カウントを行なう。カウンタの初期設定値は、あらかじめ書き込みレジスタに入れておき、 $\overline{\text{Load}}$ を“L”にするとカウンタへロードされる。また、カウンタ値のラッチは、 $\overline{\text{Latch}}$ を“L”にすることにより、読み出しレジスタにラッチできる。ロード、ラッチとも、外部からの信号により、同時に動作させることができる。また、カウントの比率を4倍にすることができる。さらに、汎用の1bit入力もある。

表6 ロータリ・エンコーダ一覧表

関節番号	ロータリ・エンコーダ パルス数P/R	モード	カウント数 P/R
1	2000	4倍	8000
2	2000	4倍	8000
3	600	4倍	2400
4	600	4倍	2400
5	600	4倍	2400
アイコン ダイヤル	600	4倍	2400

表7 スイッチ一覧表

スイッチ名	取付場所
ボタン a	グリップ
ボタン b	
初期設定割込用スイッチ	初期設定台
ユーザ座標系セットスイッチ	論理回路ラック

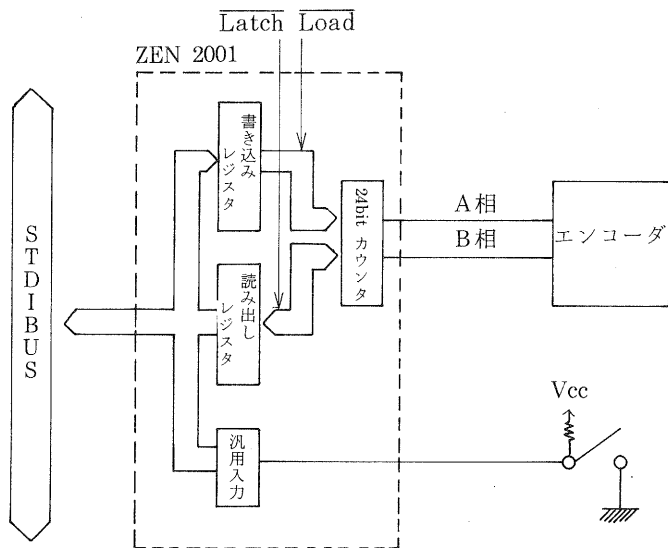


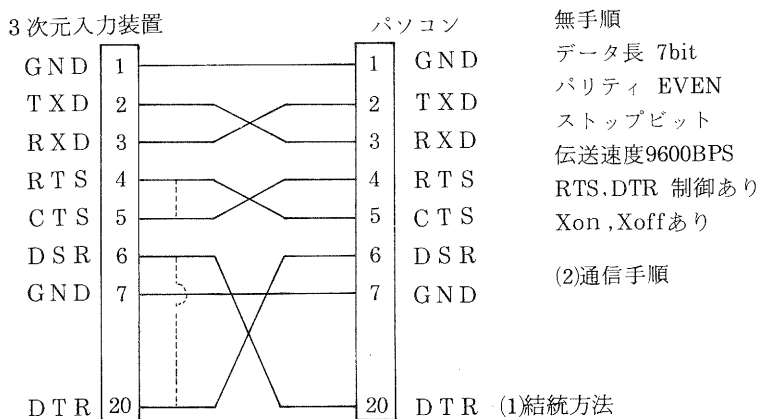
図12 24bit カウンタのブロック図

本装置では、ロータリ・エンコーダ6個、スイッチ4個を表6、表7のように接続するためこの素子を6個使用している。 $\overline{\text{Load}}$ は、出力ポートに割付け、初期設定時に“L”にする。 $\overline{\text{Latch}}$ は、入力ポートに割付けており、3次元座標を算出する1/4 sec毎に“L”にする。

4-3 通信回路 (RS232Cインターフェイスボード)

RS232Cインターフェイスボードは、STD規格の市販品を使用した。RS232CのインターフェイスにはSIOを使用しており、ボーレート・ジェネレータは水晶発振子を使用している。

本装置とパソコンの通信方法は、図13のように、無手順で、RTS、DTR制御、および、Xon、Xoff制御を行なう。RTS、DTR制御のないパソコンは、図13の点線を結線し、パソコン側をオープンにする。



点線 ホストコンピュータがハンドシェイクをしない場合に使用

図13 RS232Cの設定

5. 試作装置のソフトウェア

5-1 ソフトウェア構成の概略

3次元入力装置の動作モードは、待機モードとマウスモードの2モードあり、表8のようなプログラム構成とした。プログラムの概略は、次のとおりである。

1. 座標変換送信プログラム マウスモードの時1/4 sec毎に各関節の角度を読み込み3次元座標系に変換し、JIS7 bit文字コードで伝文を作り、送信するプログラムである。
2. 通信制御プログラム パソコンからのコマンドの受信、Xon、Xoff制御コードの受信、および、信号線のCTS、DSRの状態監視をする割込みプログラムである。
3. カウンタ初期化プログラム 初期設定台にグリップの先端を差し込んだ時、カウンタ値を初期化するプログラムである。

これらのプログラムのアドレスマップは、図14のように、0000番地にブート、0100~01FF番地に割込ベクトル、0200~1CFF番地にプログラムコード、1D00~1FFF番地にブート時RAM

表 8 ソフトウェア構成

プログラム	待機モード	マウスモード	内 容	形 式	Fortran
座標変換プログラム	-	○	1 カウンタ・ラッチ	CTC割込	
			2 座標変換	マウスモード サブルーチン	○
			3 伝文作成	マウスモード サブルーチン	○
			4 送信	マウスモード サブルーチン	
通信制御プログラム	○	○	コマンド、Xon, Xoffの受信	受信割込	
	○	○	次の文字の送信	送信済割込	
	○	○	CTS, DSRの変化時の処理	状態割込	
カウンタ初期化	○	○	カウンタ初期設定	CTC割込	

表 9 I/Oアドレス表

素 子		アドレス
カウンタ	ラッチ(IN)	FF
	ロード(OUT)	FD
	データ& コントロール	FB~ F0
CTC		E7~ E4
SIO		DF~ DC

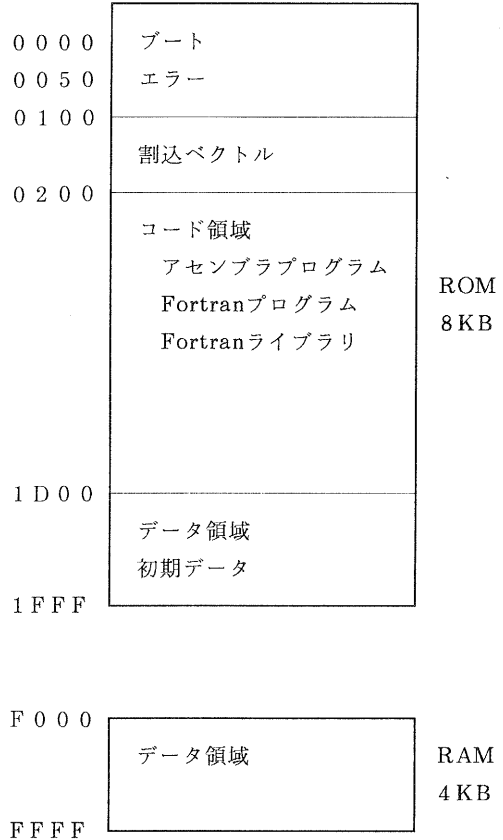


図14 メモリアドレスマップ

領域へ転送する初期データ領域を割付けた。F000～FFFF番地にデータ領域を割付けた。また、I/Oアドレスは表9のように割付けた。

プログラム記述言語は、MICRO SOFTの MACRO-80、FORTRAN-80を使用した。

5-2 座標変換送信プログラム

マウスモードにおいては、1/4 sec毎にユーザ座標値を計算し、送信する。このプログラムの詳細は、次のとおりである（図15参照）。

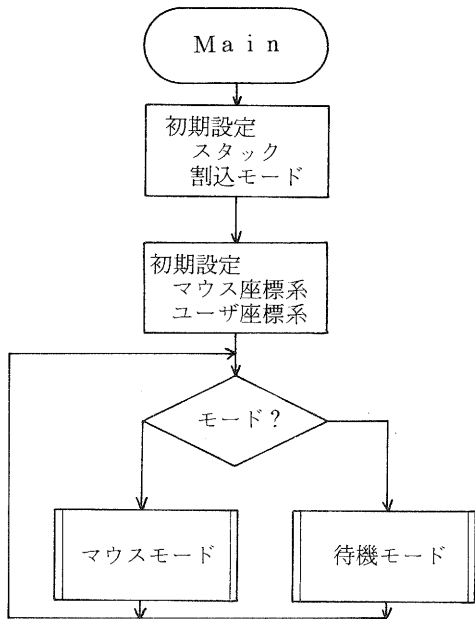
1. マウスモードの初期設定 マウスモード用の割込ベクトルを定義し、S I OのA ch、C T Cを初期化する。
2. タイマ割込（16msec毎） 割込み間隔を16msecにして、割込み回数が16回（256msec）ごとに、6個のカウンタと2個のスイッチの状態をラッチし、ラッチフラグをオンにする。
3. 座標変換 3-3で述べた計算を行ない、ユーザ座標系に変換する。
4. 伝文作成 2進表示で得られた結果を送信可能な、J I S 7 bit文字コードから成る図7の形式の伝文を作成する。
5. 送信 伝文が完成したら、先頭の1文字をマウスサブルーチン内で送信し、2文字目以降は、送信済割込み発生時に1文字ずつ送信する。

1. ～5. の5つのモジュール内、3.、4. についてはFORTRAN-80で開発した。

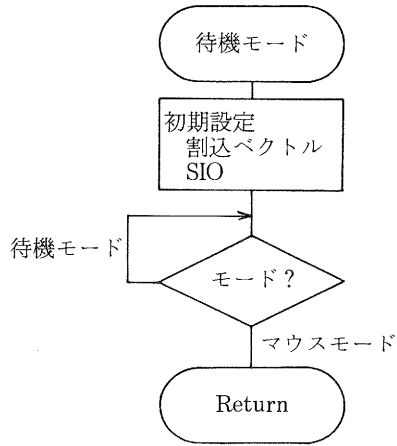
5-3 通信プログラム（RS232Cインターフェイスプログラム）

本装置では、RS232Cインターフェイスを用いて、パソコンからコマンドを受信し、座標データをパソコンへ順次送信している。通信プログラムは、S I Oに対するI/Oと、S I Oから発生する割込みの処理で構成されている。割込みは、受信割込み、受信エラー割込み、送信済割込み、状態変化割込みの4種類がある。通信プログラムの詳細は次のとおりである。

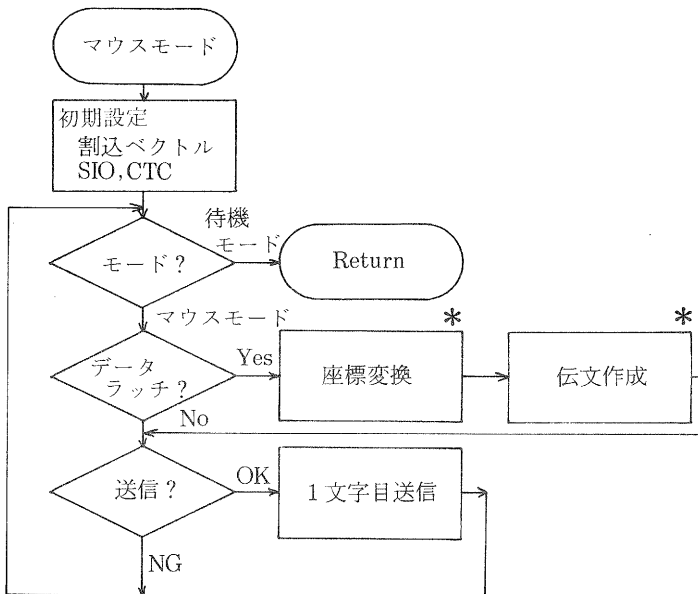
1. 1文字送信サブルーチン S I Oに1文字出力する。
2. 受信割込みルーチン 受信データを入力し、その内容が、コマンド、あるいは、X on、X off制御コードかを判断し、それぞれ、レジスタ、フラグを操作する。それ以外の無効なコードを受信したときはN A Kを返送する。
3. 受信エラー割込みルーチン パリティエラー、フレーミングエラーの時に発生する割込みで、N A Kを返送する。
4. 送信済割込みルーチン 以前に出力した文字の送信が完了したときに発生する割込みで、送信バッファから次の文字を取り出し送信する。送信バッファが空なら、割込みをリセットする。
5. 状態割込みルーチン パソコンからの信号線C T S、D S Rが変化したとき発生する割込みで、フラグを操作し、送信が可能で、送信バッファに文字があるとき、送信する。



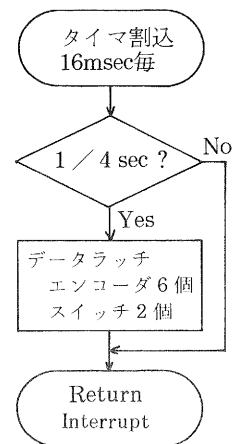
(1)メインルーチン



(2)待機モードサブルーチン



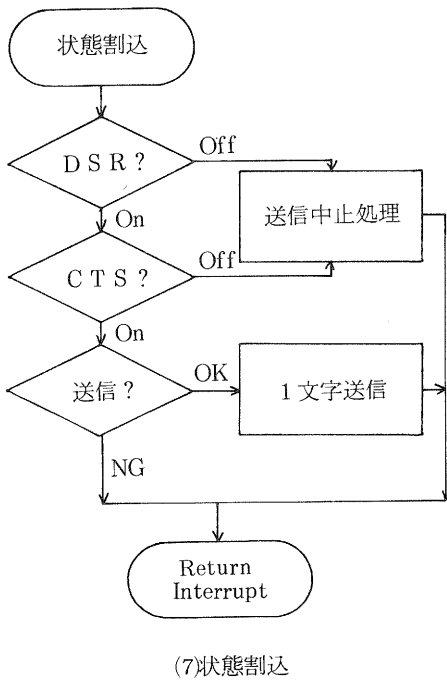
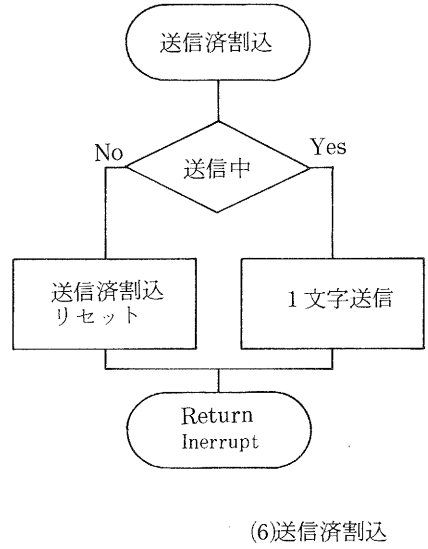
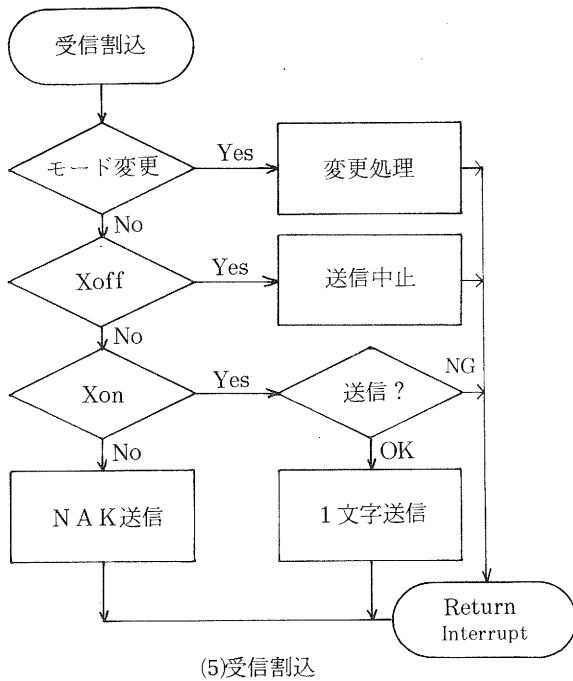
(3)マウスモードサブルーチン



(4)タイマー割込

*Fortran で作成

図15 3次元装置のソフトウェア概略フロー



6. 試作装置の評価

試作した3次元入力装置の写真を図16に示す。プログラムは表10のように、アセンブラプログラムが約1400行、Fortranプログラムが約250行で、ROM部分約7.1KB、RAM部分約720Bとなった。

表10 プログラム/データ領域の大きさ

言 語	サ イ ズ	コードの大きさ	データの大きさ
マクロアセンブラ	約1400行	約 1.8KB	約100B
Fortran	約 250行	約 2.0KB	約320B
Fortranライブラリ	約40モジュール	約 2.5KB	約300B
初期値エリア	1D00~1FFF	約 0.8KB	
計		約 7.1KB	約720B

試作装置を、パソコンに接続し、倍率2のユーザ座標系を設定し、一辺が15cmの立方体の頂点を、グリッパをテーブルにはぼ垂直にして測定した。3次元座標値は、表11のように、有効数字2桁程度が得られた。試験中、3次元座標は、徐々に、真値から離れて行く傾向があるため、時々、初期設定台にグリッパを置いた。また、グリッパをテーブルに対し、傾けると数十mmの誤差がでることもあった。

誤差は、次のような原因から発生していると思われる。

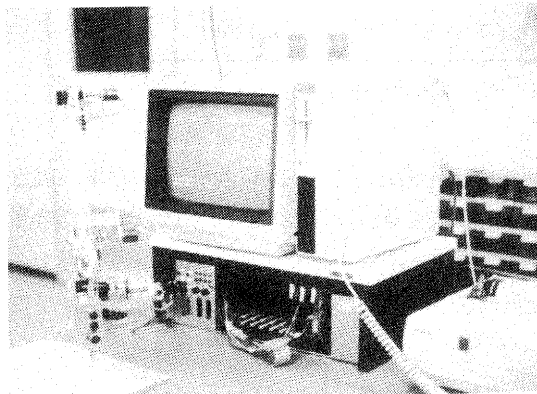
1. 関節間の長さの測定誤差
2. 初期設定時のグリッパの位置と方向の誤差
3. 剛性の不足と各関節のガタ
4. ロータリ・エンコーダと回転軸とのカップリングの芯ずれ、スリップとヒステリシス

1.、2.、4. については、再度測定と調整を行えば、試作装置でも、2～3桁の精度は可能と思われ、3次元入力装置としての機能は果たすものと考えられる。

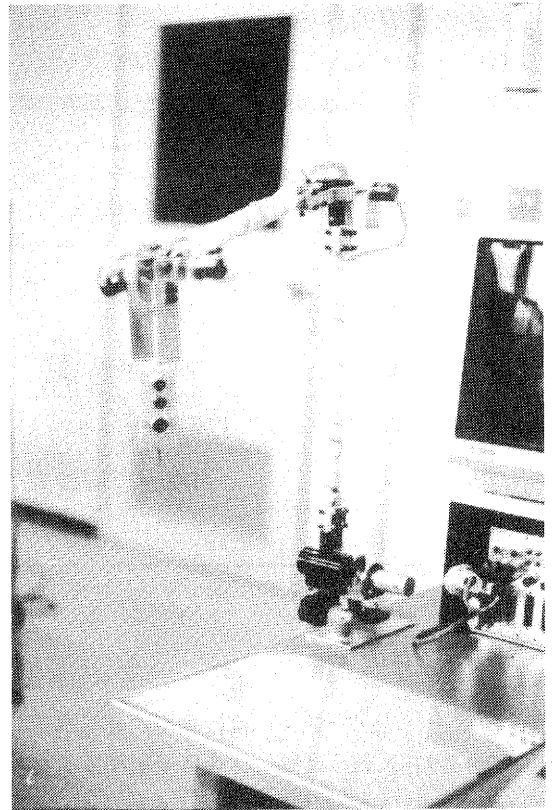
今回の評価試験では、8 bitパソコンを使用したもので、秒4回の送信に対しパソコンの処理の方が遅かったが、3次元入力装置を接続するパソコンは、16～32bitと考えているので、秒4回では遅すぎるかも知れない。試作装置では、カウンタラッチから座標変換の計算をし、送信終了まで、100～230msecの時間を要しており、秒4回が限界である。これ以上に高速化するには、クロックを4.0MHzから6.0MHzまたは8.0MHzにすることにより、1.5～2倍の高速化が可能である。また、プログラムも最適化を行うコンパイラを利用するか、アセンブラを用いれば、より高速化できると思われる。

表11 試作装置の評価試験結果

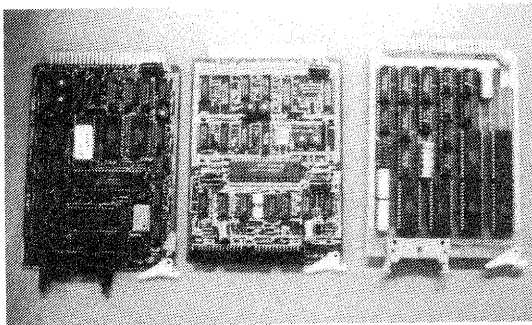
実座標			3次元入力装置の出力		
x	y	z	x	y	z
0	0	0	6	3	1
300	0	0	305	19	3
0	300	0	-7	301	6
0	0	300	9	18	315
300	300	0	283	273	-3
300	0	300	294	-3	290
0	300	300	15	327	324
300	300	300	291	281	316



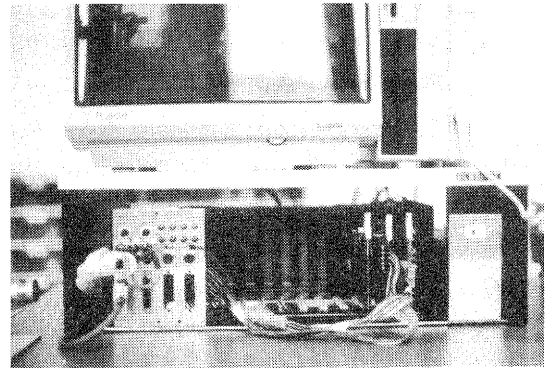
(a) 装置全景



(b) 機構部



(c) 論理回路
 左：CPUボード
 中：RS232Cボード
 右：COUNTERボード



(d) 論理回路ラック

図16 試作装置の写真

7. むすび

本研究では、会話型オフライン・ロボット・ティーチング・システムの開発の一環として、3次元入力装置を試作した。3次元入力値の精度、計算のスピードに問題はあるが、3次元マウスとしての機能は十分果たす装置を試作できたと思われる。

本試作装置は、今後ティーチング・システムの入力装置として使用するとともに、京都大学工学部航空工学科、井上紘一研究室が開発した3次元空間教示システム⁽³⁾の入力装置としても使用することにより、ヒューマン・インターフェイスについてさらに研究を進めていく予定である。

この様に、本研究で試作した3次元入力装置は、まだ評価段階であり、まだ他にも、多くの改善点があると思われるが、今後さらに改良され、コンピュータにおいて3次元処理するプログラムの汎用的な入力装置として大いに効果を発揮することを期待する。

謝辞

本研究について御指導頂いた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）と渡部透研究参与（京都大学工学部助教授）、立体視の調査でご協力頂いたシャープ株式会社電子機器事業本部の方々、設計・試作・寸法測定等に関し御助言を戴いた井上研究室笠原民良氏に感謝します。

参考文献

- (1) 淵一 博監修：“インタフェースの科学、知識情報シリーズ5”，P.P.23～48，共立出版（昭62-4）。
- (2) 瀬川 哲：“立体視を応用したグラフィックスと3次元教示”，P.P.229～236，第2回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集（昭61-10）。
- (3) 笠原 民良：“立体視を応用した3次元空間教示”，京都大学工学部航空工学科井上研究室（昭62-2）。
- (4) W.M.Newman, R.F.Sproull：“対話型コンピュータグラフィックス”，P.P.181～186，マグローヒル（昭59-9）。
- (5) 広瀬 通孝，須藤 純吾，石井 成望：“3次元空間内の遠隔操作におけるヒューマンインタフェース”，P.239，第2回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集（昭61-10）。
- (6) 平岡 信之，加藤 文夫：“3次元座標の入力可能なマウス型入力装置”，公開特許，開61-62916，出59-185046（昭59-9）。
- (7) Richard P. Paul：“ロボット・マニピュレータ”，P.P.41～61，コロナ社，（昭59-9）。
- (8) 額田 忠之：“Z80ファミリ・ハンドブック”，CQ出版（昭和60-10）。

ロボットシミュレータの研究開発

技術第一科 川崎 雅生

あらまし： 近年、ロボットが複雑な作業を行うようになってきたが、多品種少量生産の場では、ロボット動作の変更に変更に要する時間を短縮することが特に重要な課題となってきた。生産ラインの停止時間を短くする上では、ロボットの動作教示を、オフラインで行う方式が有効な手段と思われる。そこで本研究では、ロボットのオフライン教示で必要となるロボット動作のシミュレーションシステムについて調査研究し、実用的なロボットシミュレータをパソコン上で作成するために必要な要素技術を、とくにマン・マシンインタフェースに重点を置いて検討する。

本年度は、操作性を中心にした検討を行い、プロトタイプ of シミュレータを試作したので、その概要を報告する。

1. まえがき

近年、工場のFA化に伴いロボットの行なう作業が複雑化している。現在のロボット教示はティーチングプレイバック方式が主流であるが、今後オフラインティーチングが重要となると考えられる。オフラインティーチングによるロボット動作の教示は、実機を使用しないので生産ラインを停止させる時間が短くなるメリットがあるが、教示データの検証を充分に行っておく必要がある。

本研究は、教示データの検証に有効なロボットシミュレータについて、マン・マシンインタフェースの面から検討するとともに、ロボットシミュレーションをパソコン上で行うための各種の要素技術について考察を加えることとした。

2. パソコンでのロボットシミュレーション

最近、三次元端末やEWS（エンジニアリング・ワークステーション）といったコンピュータグラフィックスに非常に有効な装置が販売されているが、ロボット本体の価格と比較してまだ高価である。一方パソコンは、安価で広く普及しており、16ビット系のCPUでも処理能力はかなり高いので、オフラインティーチングの実用化のためには、パソコン上でロボットシミュレーションを行えるようにすることが必要と考えられる。

ロボットシミュレータは、シミュレーションの正確さに加えて、その操作性の良さ、処理（応答）速度の速さ、および結果の見易さも考慮されていなければならない。本報告のロボットシミュレータは、とくに操作性に重点を置いて試作している。

3. シミュレータの概要

3-1 環境

シミュレーションの対象としたのは、当所に設置されている4自由度のスカラロボットPana Robo Hzで1軸2軸及び4軸が回転、3軸が直動となっている。(図1)

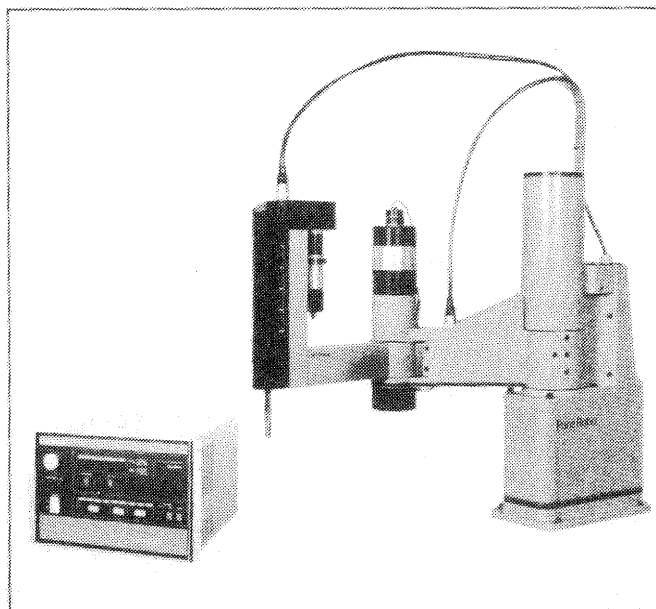


図1 スカラ ロボット

パソコンのハードウェアとしては、PC9801 Eとマウス、ソフトウェアとしては、MS-DOS上で動く日本語PC-FORTRANとマクロアセンブラ(マウス制御のみ)を使用した。プログラムの大きさは、FORTRANで約2000ステップ、メモリー容量はデータ部分も含めて約200キロバイトである。

3-2 メニューとマウス入力

(1) メニュー

本シミュレータの制御は、メニュー選択方式で行うようになっている。メインメニューは、画面右端に常に表示している(図2参照)。表示は日本語で、機能別に色分けして表示している。各機能の中で必要となるサブメニューは、原則として画面下部に表示している。

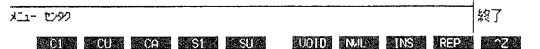


図2 メインメニュー

実行
機軸変更
視点変更
操作方式
補間数変更
右手左手系
表示消去
拡大縮小
座標系選択
移動点設定
移動点入力
再補消去
04 外消去
バグ表示
初期位置
座標軸表示

(2) マウス

メニュー選択やデータの入力、全てマウスだけで行える（一部は、キーボードによる入力も可能）。

マウスによるメニュー選択の方式は多くの例があるが、本シミュレータでは、画面右端のメニュー表示領域内でのみカーソルが（上下方向に）移動するようにしているので、ピック不可能な部分へ移動することはない。従ってマウスがどこにあっても、オペレータは最少限の動作（上下方向 2 cm程度の移動）でメニューを選択できる。

マウスによるデータ入力は、マウスの左右の動きで現在のデータ値に対する増減数量を指示する方式にしている。この際、入力すべきデータの範囲や属性に応じて入力感度を変えている。すなわち、マウスの分解能 1 に対し、0.1～5.0の範囲で数量を割り当てているので、マウスを物理的に 1 cm移動させても入力場面に応じて、得られる変位は50倍のひらきがあることになる。また、マウスの 2 個のボタンの一方は、キャンセル用としてリザーブされているので、いつでもメインメニューに戻ることができる。

3-3 視点

ロボットの動きをどこの視点から見かによって、把握できる動作イメージが大きく変化する。また、実機では見ることのできない位置からでもシミュレーションでは、見ることができる。これらの点からシミュレータにおいては、視点や視線を簡単に変更できることは、重要な要素となる。

(1) 視点変更

視点変更が容易に行えるように、ロボットの基底部を原点とする基準座標系を任意の視点から表示できる機能を設けている（図3）。視点の変更は、この像を見ながらマウスで行う。

視点を変更しても、視線は常にロボットの上端を見る方向に自動的に変更されるので、通常は視点変更を行っても視線変更を行う必要はない。

(2) 視線変更

視線が、Z軸の正方向（垂直上向き）およびX軸の正方向（ロボットがリセット状態の時の腕の方向）となすそれぞれの角度を変更することにより、視線変更を行う。視点変更と同様に、基準座標系が画面上で変化するので、視線変更が確認できる。

3-4 表示

ワイヤフレーム表示のロボットの画像は、遠近感を出すために透視投影を行っているが、図4のようにマルチ表示する際には、平面図、右側面図、背面図は平行投影を行っている。

以下に、ロボットの表示に関する主な機能を説明する。

(1) 補間

最近のロボットは、高度な補間機能を持っており、モデルのロボットも多くの補間機能（自由直線、円弧、円、アーチ、相対自由、相対直線補間）を持っている。今年度は、そのうち4つの補間方法（自由、直線、円弧、円）をシミュレータに実装し、補間数は指定できるようにしている。

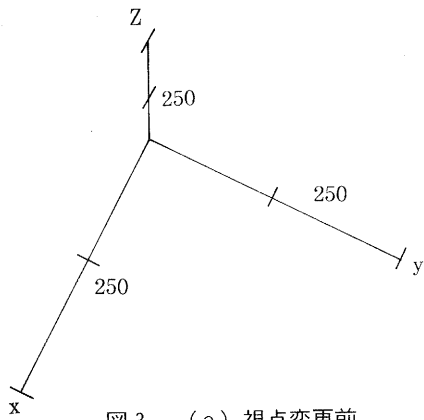


図3 (a) 視点変更前

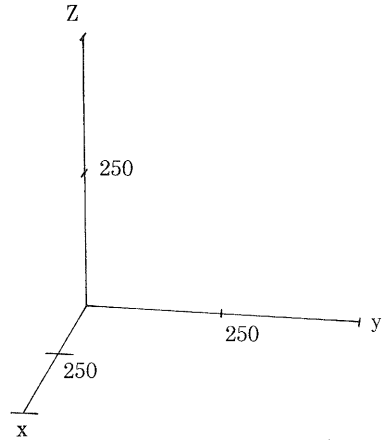


図3 (b) 視点変更後

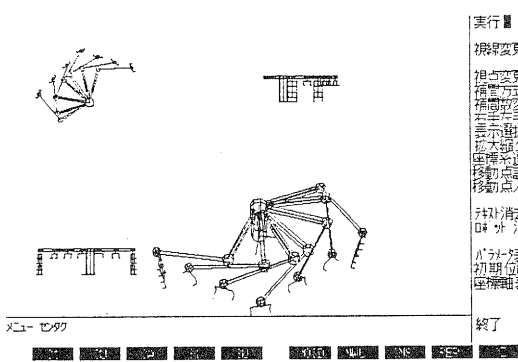


図4 マルチ表示

実行
視線変更
視点変更
補間方式
補間軸変更
表示選択系
拡大縮小
座標系選択
移動点設定
移動点入力
外消去
外消去
A'表示
初期位置
座標軸表示
終了

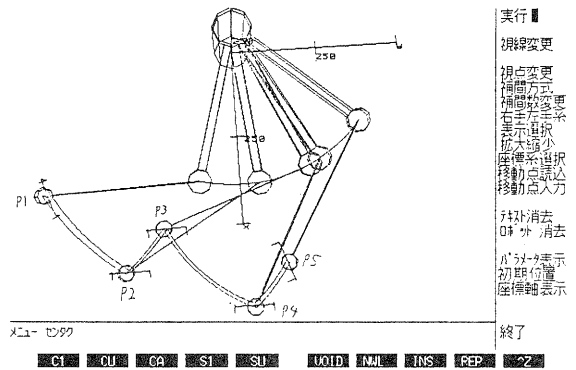


図5 (a) 自由補間

実行
視線変更
視点変更
補間方式
補間軸変更
表示選択系
拡大縮小
座標系選択
移動点設定
移動点入力
外消去
外消去
A'表示
初期位置
座標軸表示
終了

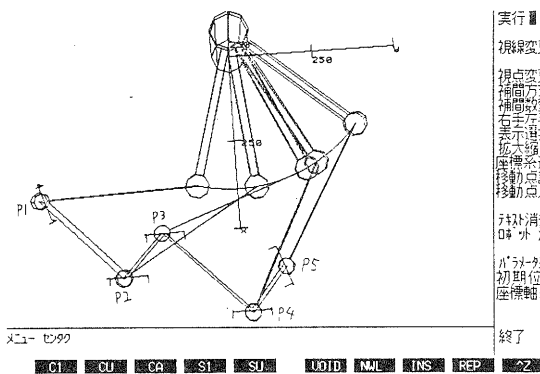


図5 (b) 直線補間

実行
視線変更
視点変更
補間方式
補間軸変更
表示選択系
拡大縮小
座標系選択
移動点設定
移動点入力
外消去
外消去
A'表示
初期位置
座標軸表示
終了

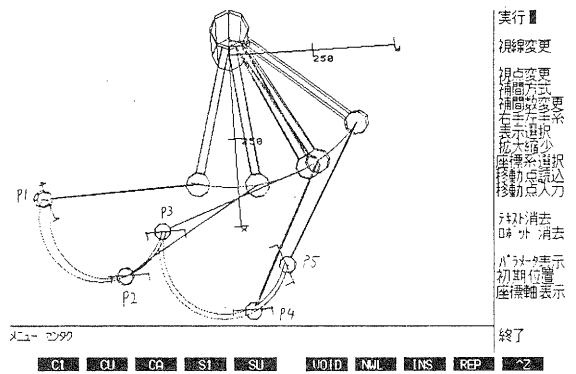


図5 (c) 円弧補間

実行
視線変更
視点変更
補間方式
補間軸変更
表示選択系
拡大縮小
座標系選択
移動点設定
移動点入力
外消去
外消去
A'表示
初期位置
座標軸表示
終了

図5は、与えられた点P1～P5を4つの補間方式で実行した時のロボットの動作の違いが示してある。

(2) 右手系と左手系

4自由度のロボットであっても、1つの手先位置に対する間接角度の解は1つとは限らない。図6に右手系の解と左手系の解の考え方を示す。センター設置のロボットは、右手系と左手系および両手系（右手系か左手系のどちらでも良いモード）が支持できるようになっており、シミュレータも3種類のモードが処理できるようになっている。

シミュレーション動作は、通常、指定された系で行われるが、直線補間における両手系の扱いには例外を設けている。すなわち、補間の途中で右手系から左手系（もしくは、その逆）への移行が必要になった場合、その地点から自由モード（手先の軸跡が外部から指定できないモード）で補間を行ない、新しい系に移行するようにしている。この処理は、直線補間ではない部分を含むため正確とは言えないが、オペレータがデータ修正する場合に、新たな中間点を見つけ易いように配慮した結果である。図7は、与えられた点P1～P5の中でP3→P4に移動中に左手系から右手系に移行している様子を示している。P34はシミュレータが仮想的に生み出した中間目標である。オペレータは、P34の近くに新たな移動点を与えるか、補間方式を変更することにより実ロボットが動作できるようにする必要がある。

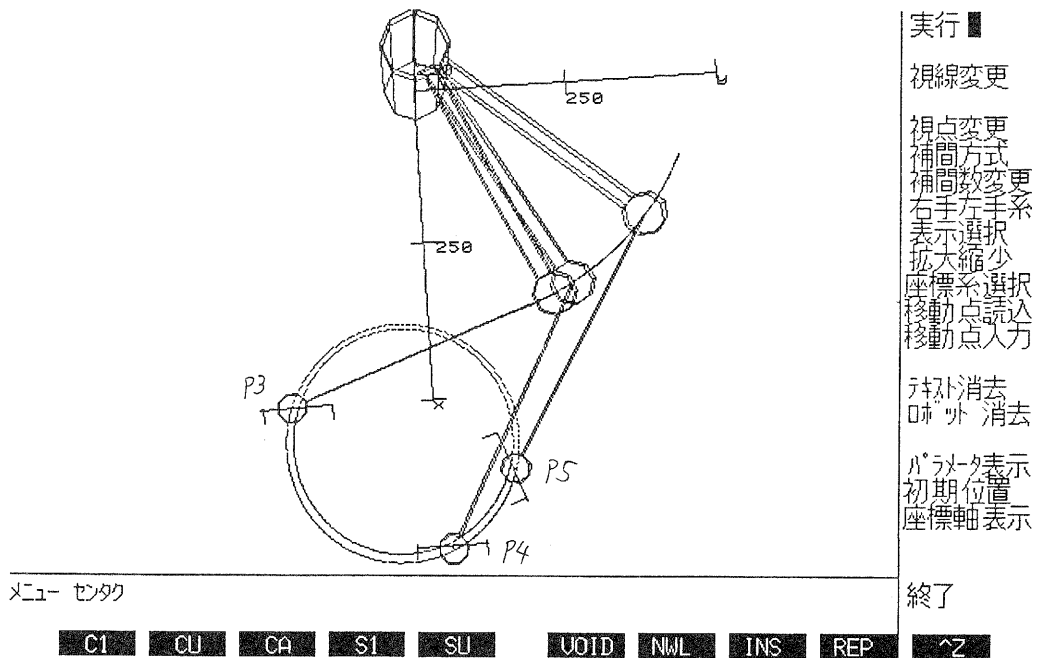
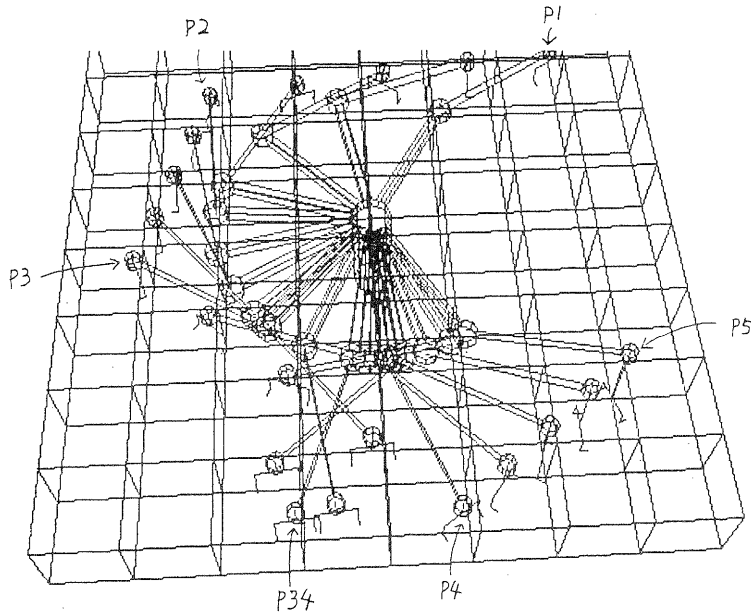
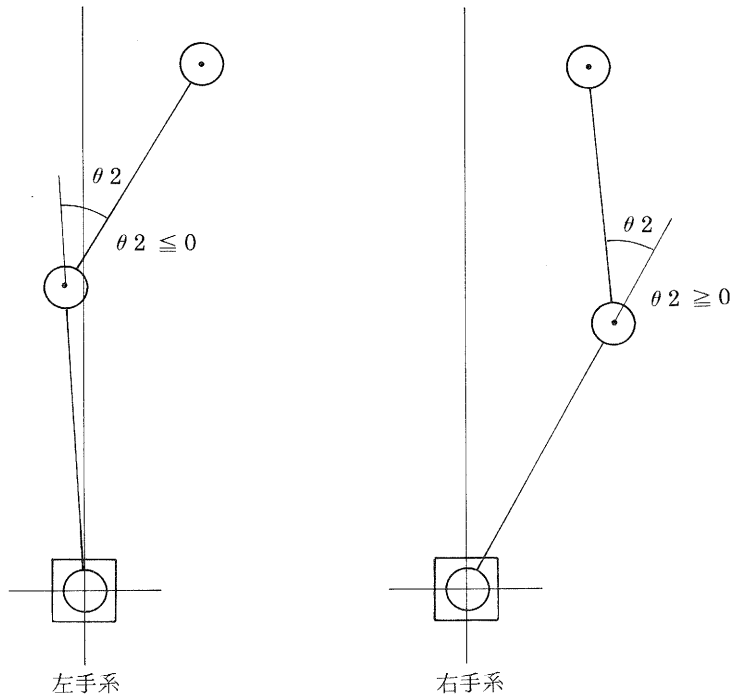


図5 (d) 円補間

図6 左手系と右手系の違い



実行

- 視線変更
- 視点変更
- 補間方式変更
- 補間数変更
- 右手系選択
- 左手系選択
- 表示選択
- 拡大縮小
- 座標系選択
- 移動点読入
- 移動点入力
- 非表示消去
- 非表示消去
- パレット表示
- 初期位置
- 座標軸表示

メニュー センタ

C1 CU CA S1 SU VOID NWL INS REP ^Z

終了

図7 中間目標の設定

(3) 表示形式

ロボットアームの表示は、全体表示やマルチ表示（図4）のほか、手先だけの表示や主要ポイントの全軌跡表示も可能としているので、シミュレーションの目的に応じた表示形式を選択することができる。

表示される大きさは、任意に設定できるが、オートスケールを選択しておけば、視点をどこに移動させても、ロボット全体が画面に表示されるようにしている。

3-5 移動点入力

シミュレーションのしやすさは、移動点の入力のしやすさにあるといってもよい。現在は、スタンドアロンの構成なのでファイルやマウス、キーボードによる入力に頼っているが、オフラインティーチングシステムとのオンライン結合も予定している。

(1) 入力方法

一括入力は、ファイル読み込みによるのが便利であるが、さらに移動点単位の追加、削除、挿入用としてキーボード入力も可能としている。キーボード入力の場合は、画面に表示されているデータを見ながら点番号を指示して行う。

マウスによる場合は、修正したい座標値をピックして行う。ピックされた場所のみがマウスの動きに応じて増減されるので、常に確認しながら修正が行えることになる。

(2) 座標系

移動点を指示するのは、基準座標系によるほうがわかりやすいが、ロボットの機構的な制約を確認するには、ロボット座標系のほうが便利である。本シミュレータは、基準座標系（ X 、 Y 、 Z 、 ϕ ）とロボット座標系（ θ_1 、 θ_2 、 Z' 、 β ）の2種類の指示、確認を可能としているので、オペレータは、都合のいい座標系を随時選択すれば良い。基準座標系で入力して、ロボット座標系で確認することやその逆も容易にできる。

3-6 その他

現在選択されている各機能のパラメータの表示や、ロボットの初期状態表示、およびロボットの動きを確認するための X 、 Y 、 Z の座標軸や三次元格子を伴ったロボット動作表示も可能としている。

4. 評価

4-1 操作性

マウスでのピックやマウスでの座標値の入力は、使い易くて楽であるが、パラメータの選択（番号変更）には、やや微妙なマウス操作が必要で改善する必要がある。

4-2 見易さ

ロボットのパート別（第1関節、手先等）に色分けして表示しているが、補間数が多くなると画面の解像度（ 600×400 ドット）の制約もあって、わかりにくい部分も発生する。この点では、三次元格子を伴った全軌跡表示や手先だけの表示がわかりやすいと思われる。

4-3 応答性

実行の指示毎に、パラメータ（補間方法、視点、視線、拡大率等）に応じて、軌道計算や関節角の計算等を行って表示している。マルチ表示は、6点を移動するのに約20秒かかり高速化の必要があるが、その他の表示形式については、ほぼ満足すべき応答性（6秒程度）が得られている。

5. むすび

本報告で説明したロボットシミュレータのプロトタイプ製作を通して、パソコンでもかなり高度な機能をもったシミュレータが作れることを、確認できた。次の段階としては、パソコンのメリット（ハードウェアの拡張性）を生かしたシミュレーション機能を研究する予定である。

謝辞 本研究について御指導頂いた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）と渡部透研究参与（京都大学工学部助教授）に感謝します。

参考文献

- (1) Richard P. paul原著、吉川 恒夫訳：“ロボット・マニピュレータ”、コロナ社（昭61-7）

モーダル解析法の実用化研究

－ 平板振動のモーダル解析 －

技術第一科 月瀬 寛二

あらまし：機械構造物の最適化設計の一手段として、実験的な面からはモーダル解析が、数値計算の面からは有限要素法による構造解析が研究され、進展しつつある。これら手法を中小企業へも広く普及させることが今後重要になると考えられるので、実用化の観点から研究に取込んでいる。本年度は、モデルとして平板を選定し、両手法による動解析を試みた。解析の結果、両手法における固有振動数、振動モードが、一定の範囲内において一致するための条件が得られたほか、モーダル解析法における測定物の支持方法、数値解析におけるモデリング等の手法についても若干の検討を行った。

1. まえがき

機械構造物の設計・製作において、従来は、強度を主眼点において静的な荷重に対し安全率を見込んで設計しており、重量過多およびコスト上昇を招く傾向があった。

しかし、近年、省資源・軽量化の要求とともに高性能化・高速度化等が求められるようになり、静的ばかりでなく動的な状況も考慮して設計・製作を実施する必要性が生じて来ている。さらに、これら要求を満足させたがために、振動・騒音などの新たな問題が生じることもある。

動解析の手法の一つであるモーダル解析法は、機械構造物もしくは試作物を対象として、実験的に得たデータから上記の振動特性を算出するので、結果の信頼性は高い。実験的に各部の伝達関数を測定し、そのデータから、固有振動数、振動モード、減衰特性を算出するものである。また、部分的な構造変更後の動特性は、既に得たデータを基に、コンピュータ上でシミュレーションできるので（感度解析・部分構造合成法等）、試作を繰り返す時間が大巾に節減される。

一方、試作を全く行わず図面のみで製品の動解析を試みられるのが、有限要素法による構造解析である。試作に要する期間が不要なので、開発期間が短かくて済むが、計算だけで構造物の減衰特性を正確に把握することは困難なので、得られた結果の信頼性を保証するにはかなりの経験が必要と言われている。

本研究では、動特性解析の上記手法の実用化を図る観点から、次の点について検討を行う。

- (1) モーダル解析において、種々の測定条件（支持方法、加振方法、測定点の選定、モデル化の方法等）が解析結果の精度に及ぼす影響。
- (2) モーダル解析において、最適なカーブフィット手法の選択の基準。

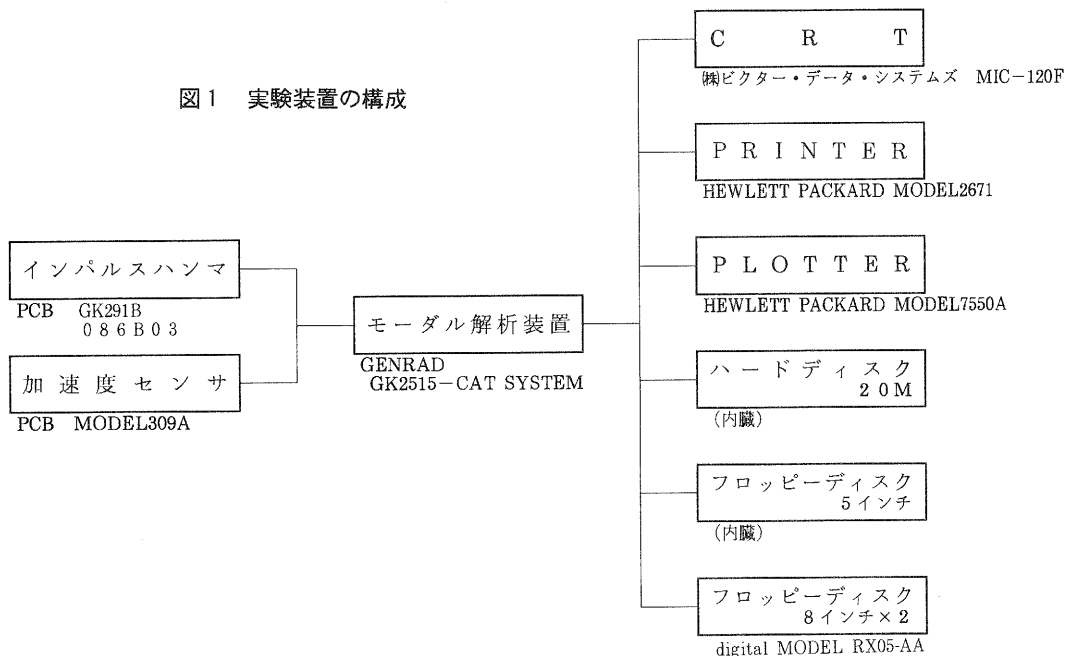
- (3) 有限要素法において、対象物のFree-Free状態（空中に浮いた状態）での解析法。
 - (4) 有限要素法において、モデリングの方法が解析結果へ及ぼす影響。
 - (5) 減衰を加味した有限要素法による動解析。
 - (6) BBA法（部分構造合成法）の適用方法の検討。
- 今回、(1)~(4)について平板を対象として基礎的な検討を行ったので報告する。

2. モーダル解析法による平板の動解析

2-1 実験装置の概要

図1に実験装置の構成を、表1にインパルスハンマと加速度センサの基本的仕様を示す。モーダル解析装置としては、8チャンネルまで入力可能であるが、今回、1点加振・1点測定なので内2チャンネルのみ使用した。構成の中で5インチフロッピーディスクは、主として測定データの保存用として用い、8インチフロッピーディスクは、今後BBA法に取り組み際のホストコンピュータとのデータ交換用で今回使用していない。

図1 実験装置の構成



2-2 実験対象物

コンピュータ上にモデリングしやすく、振動モードが理解しやすい形状として平板を選定した。ステンレス鋼板のSUS304で、サイズは300mm×200mm厚さ10mmとした。

2-3 実験条件

表2に、モーダル解析におけるデータ収集条件を示す。

表1 インパルスハンマと加速度センサの仕様

仕様	機器	インパルスハンマ	加速度センサ
型式		PCB社製GK291B,086B03	PCB社製MODEL309A
Sensitivity		9.91mV/g	5.16mV/g
Frequency Range		~8.0kHz	5~10000Hz
Weight		—	1.0g
Hammer Mass		0.14kg(Tip STEEL)	—

表2 モーダル解析におけるデータ収集条件

実験No.	No.1	No.2	No.3
解析周波数範囲	0~4096Hz		
Trigger Channel	1ch(ハンマ加振)		
Trigger Level	10%/FS		
Average Mode	Summation (単純平均)		
Average 回数	6回		
平均化へのデータ受け入れ条件	ピーク値がFull Scaleの10%以上 ($2V/FS \times 10\% = 0.2V$) ハンマ加振がダブルヒットでないこと		
Window	IMPACT Window		
実験対象物	平板(ステンレス鋼板SUS304, 200×300×10)		
計測点	35点		
加振点	No.1		
応答計測点	No.1~No.35		
支持方法	スポンジ	ゴムチューブ	ビニル被覆銅線

(1) 解析周波数範囲

解析可能な周波数範囲は、入力であるインパルスハンマの加振エネルギーが十分に得られる周波数範囲によって決まる。図2、にインパルスハンマで平板に加振を与えた時の加振力のフーリエ変換結果を示す。概ね、4000~5000Hz位までフラットな加振力が得られていることから、解析周波数範囲を4096Hzとした。

(2) 測定時の平均化回数

伝達関数の測定時、加振力と応答の間にノイズが含まれることは避けられない。ノイズの影響を除去し、可能な限り真の伝達関数を求めるため、データの平均化（複数回測定し、得られたデータを平均すること）は必要である。

予備実験として、必要な平均化の回数を検討したところ、5～6回の平均化で、ほぼ良好な伝達関数が得られ、10回、15回と回数を増しても改善は認められなかったため、実験の迅速性の面からも、平均化の回数は、6回とした。

(3) 加振点および応答の計測点

モーダル解析の場合、センサの大きさ（φ5.5mm）、ハンマ加振による打撃位置の不安定さを考慮すれば、細かく計測点を設定しても測定結果が良くなるとは言えない。今回は、低次の振動モードがアニメーションにより確認可能ならば良いとの前提で、50mmピッチで7×5の計35点を設定した。図3に計測点を示す。No. 1を加振点、No. 1～35を応答の計測点とした。

(4) 平板の支持方法

対象物の固有振動数、固有振動モードを求める場合、理想は、対象物がFree-Freeの状態（空中に浮いている状態）で解析できれば良いが、現実には何らかの支持が必要である。本実験では支持方法が解析に及ぼす影響について検討するため、

- ① スポンジ上に平板を置く。（スポンジ厚、約30mm）
 - ② ゴムにより吊る。（自転車のチューブを輪状にして、吊られた2本のゴム輪の中に平板を置く）
 - ③ ワイヤにより吊る。（ビニル被覆の銅線）
- の3方法について実験した。

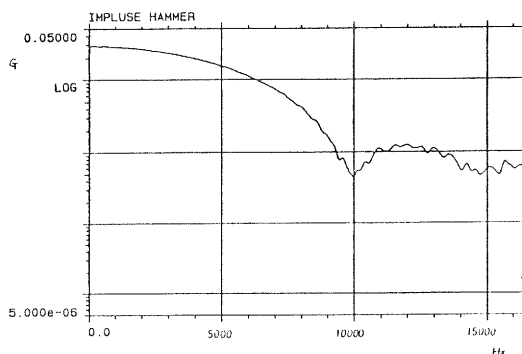


図2 ハンマ加振力のフーリエ変換結果

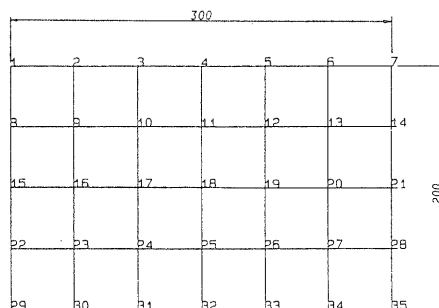


図3 加振点および応答の計測点

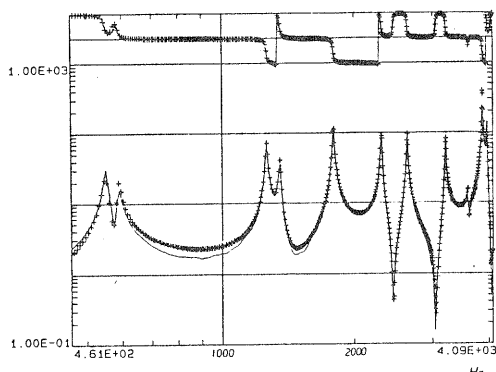


図4 伝達関数（スポンジ）

2-4 実験結果

実験より得られた伝達関数を、図4～図6に示す。実線が実験により得られた伝達関数で、“+”でプロットされているのがモーダルパラメータ抽出のための合成された伝達関数である。また抽出したパラメータの内、固有振動数を支持条件毎に示したのが表3である。0～4096Hzの周波数範囲において、求められた振動モードは、12モードであった。低次の振動モード（ゴムによる吊下げ）を、図7～図10に示す。どの実験条件においても、550Hz付近で1次の振り、590Hz付近で1次の曲げ、1255Hz付近で2次の振り、1350Hz付近で1次の縦曲げが確認され、他の高次の振動モードにおいても3種の支持方法共通の振動モード変位が確認された。

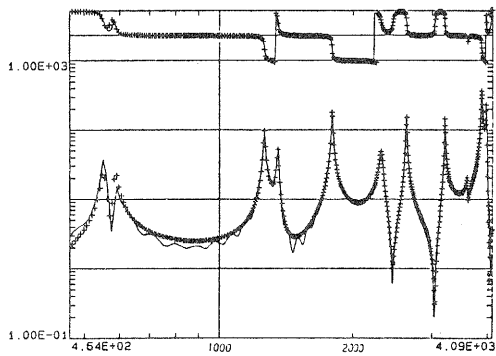


図6 伝達関数 (ワイヤ)

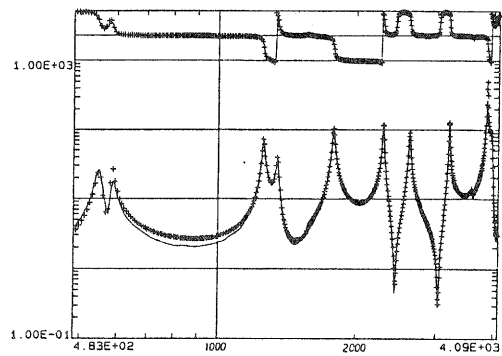


図5 伝達関数 (ゴム)

表3 モーダル解析により求められた固有振動数 (Hz)

実験No.	1	2	3	備考
支持方法	スポンジ	ゴム	ビニル被覆銅線	
1次	552	550	555	1次の振り
2次	589	588	590	1次の曲げ
3次	1256	1254	1257	2次の振り
4次	1350	1346	1350	1次の縦曲げ
5次	1793	1787	1793	
6次	2303	2300	2314	
7次	2632	2626	2632	
8次	3205	3203	3207	2次の曲げ
9次	3601	3594	3599	
10次	3865	3861	3865	
11次	3893	3888	3892	
12次	3971	3960	3969	

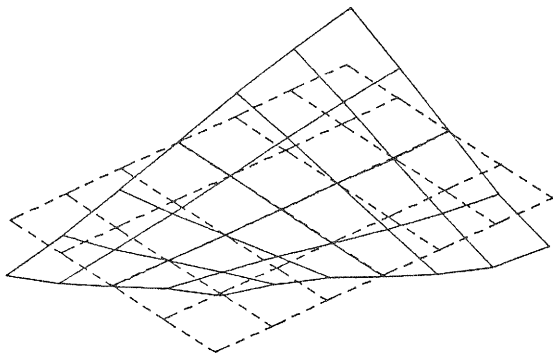


図7 振動モード1 (支持方法: ゴム)
固有振動数550Hz, 一次の振り

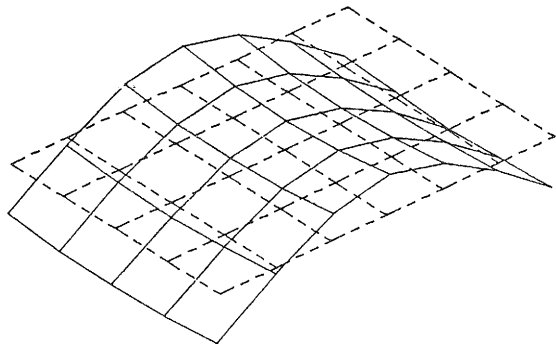


図8 振動モード2 (支持方法:ゴム)
固有振動数588Hz, 1次の曲げ

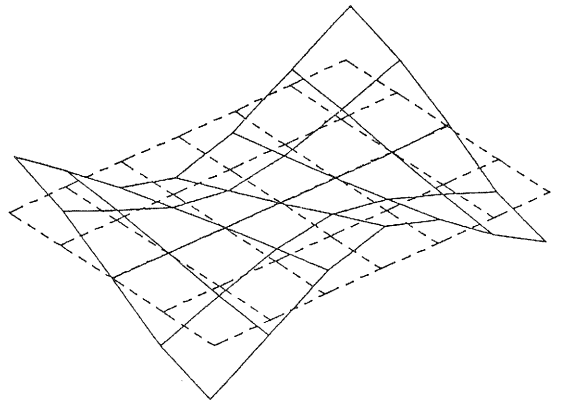


図9 振動モード3 (支持方法:ゴム)
固有振動数1254Hz, 2次の振り

3. 有限要素法による平板の動解析

3-1 解析装置

解析に使用したコンピュータおよびソフトウェアは次のとおりである。

- | | |
|------------|--------------------------------|
| (1) コンピュータ | I B M 4361 |
| | I B M 5080 (グラフィックス端末) |
| (2) ソフトウェア | C A E D S (有限要素法による構造解析ソフトウェア) |

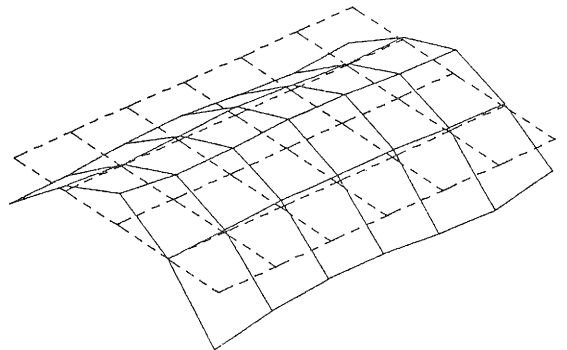


図10 振動モード4 (支持方法:ゴム)
固有振動数1346Hz, 1次の縦曲げ

3-2 平板のモデリング

モーダル解析を実施した平板を、シェル要素で表現した。図11に、シェル要素による平板のメッシュ分割図を示す。また、S U S 304の材料常数は、

- | | |
|-------|-----------------------------------------------|
| 弾性係数 | 1.97×10^4 (kgf/mm ²) |
| ポアソン比 | 0.24 |
| 密度 | 8.07×10^{-10} (kgf/mm ³) |

とした。

3-3 自由度およびエレメントの定義

各節点の自由度は、X、Y、Z方向のTranslationと、RotationともFreeとした。また、メッシュ分割したエレメントの各エッジを、一次のエッジ(節点数2)と二次のエッジ(節点数3)の

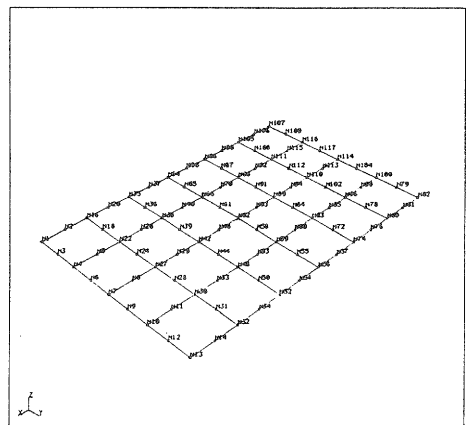


図11 平板メッシュ分割図

二通りに定義し、この二通りについて解析した。

3-4 解析結果

動解析の結果として、固有振動数を表4に、振動モードを図12～図14に示す。

表4 動解析による固有振動数(有限要素法)

Element	(Hz)		備考
	一次	二次	
モード1	544	534	1次の振り
モード2	566	564	1次の曲げ
モード3	1261	1224	2次の振り
モード4	1303	1301	1次の縦曲げ

*表中、一次と二次は、メッシュ分割したエレメントの各エッジをそれぞれ一次のエッジ(節点数2)または二次のエッジ(節点数3)と定義した場合に対応する。

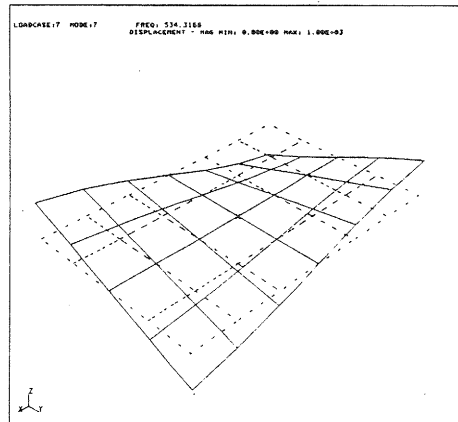


図12 振動モード1 (エレメントのエッジの定義: 二次) 固有振動数534Hz, 一次の振り

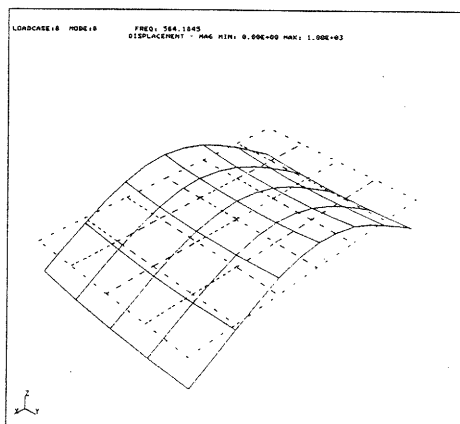


図13 振動モード2 (エレメントのエッジの定義: 二次) 固有振動数564Hz, 一次の曲げ

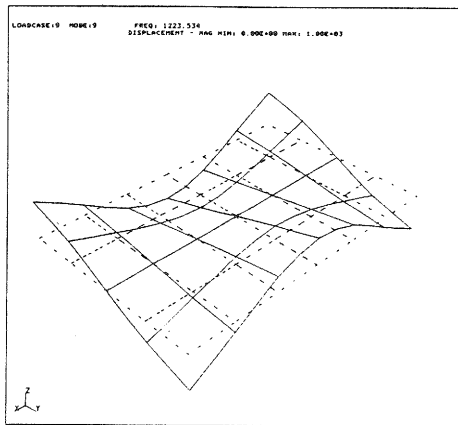


図14 振動モード3 (エレメントのエッジの定義: 二次) 固有振動数1224Hz, 二次の振り

4. 実験結果と解析結果の検討

4-1 モーダル解析における平板の支持方法

被測定物の支持方法が測定データの精度に及ぼす影響は、レスポンススペクトルのパワーに対するレファレンススペクトルのパワーの寄与率によって評価できる。この寄与率を表わすのがコヒーレンス関数で、 G_{aa} 、 G_{bb} をレファレンス、レスポンスの実効パワー、 G_{ab} をクロススペクトルとすると、

$$\gamma_{ab}^2 = \frac{|G_{ab}|^2}{G_{aa} \cdot G_{bb}}$$

で表わされる。関数値が1に近いほど、測定データ収集が正確に行なわれていると言える。三種の支持方法によるコヒーレンス関数を、図15～図17に示す。三種の支持方法によるコヒーレンス関数値は、共振周波数において1であり入出力間に相関が認められる。つまり、観測雑音、他の入力雑音などの影響がないデータであると言える。解析周波数範囲全域で見れば、ゴムによる支持が他の系による影響を受けにくく、ワイヤ支持は、他の二方法に較べ他の系の影響を受けている。

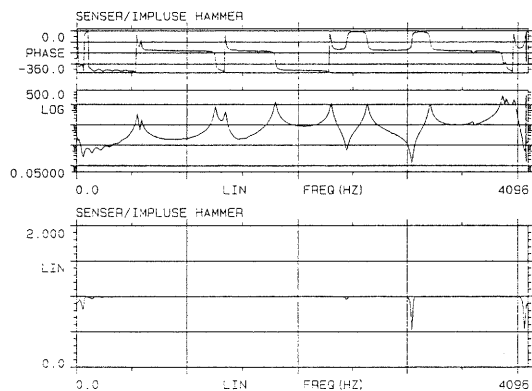


図15 コヒーレンス関数
(上段は伝達関数、支持方法はスポンジ)

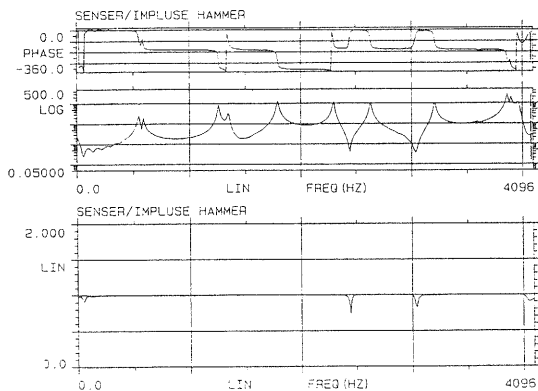


図16 コヒーレンス関数
(上段は伝達関数、支持方法はスポンジ)

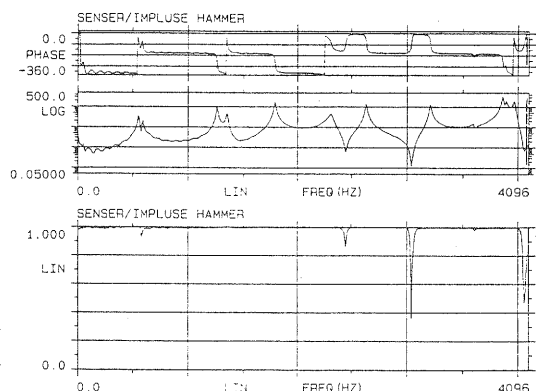


図17 コヒーレンス関数
(上段は伝達関数、支持方法はワイヤ)

4-2 モーダル解析における近接モードの分離

モード1と2は、伝達関数を見れば周波数が非常に近接している(図4～図6参照、550Hz付近と580Hz付近)。解析周波数範囲全域において、Polyreference法によりモーダルパラメータの抽出を実施したところ、近接モードであるモード1と2は図18と図19のようになった。特に図19のモード2では、曲げだけでなく振りも含まれた振動モードとなり、近接モードの分離が十分でないことを示している。そこで接近したモードに対するモーダルパラメータ抽出には、Direct Parameter法を適用したところ、モー

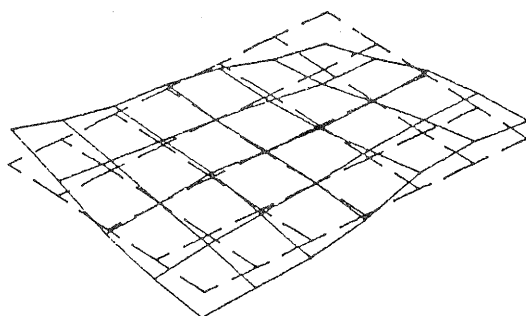


図18 振動モード1 (Polyreference法)

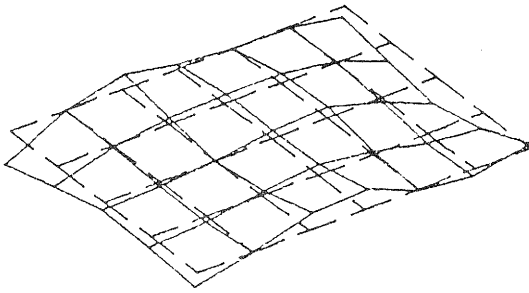


図19 振動モード2 (Polyreference法)

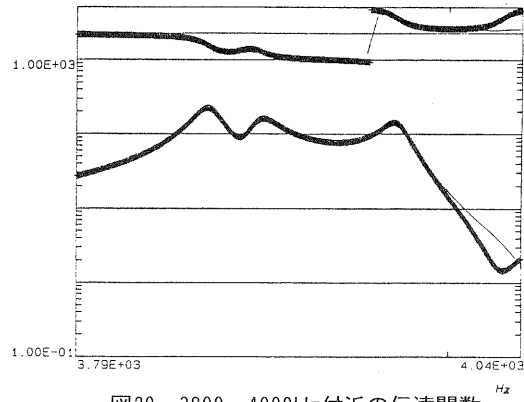


図20 3800~4000Hz付近の伝達関数

ド1と2は、1次の振りと一次の曲げとなった。モード2は、ほぼ振り成分が除去できた。

同様のことを高次のモードである10~12の3モードに対しても実施した。3800Hz~4000Hz付近の伝達関数拡大図を、図20に示す。この周波数付近では、前述のPolyreference法によるモーダルパラメータ抽出で2モードしか抽出できなかった。ところが、図20からも明らかな様に、実際は3モード存在していた (Direct Parameter法適用)。

以上から、互いに近接した振動モードの分離には、Direct Parameter法が有効であることを確認できた。

4-3 モーダル解析法と有限要素法による動解析結果の整合性

モーダル解析結果 (ゴムによる吊下げ) を基準に考えれば、振動モード、固有振動数の整合性が振動数で1~4%の範囲であった。(表3、表4参照) これは、有限要素法による解析の有効性を示していると言える。

また、有限要素法解析において、各エレメントのエッジの定義が一次か二次かでは、モード1から4の範囲内で比較すると二次の方が誤差が大きい。今回のデータからは理由は定かでないが、平板の動解析では、エレメントのエッジは一次で定義するのが良いと言える。

各節点での自由度の定義、メッシュ分割サイズ等の条件を変えながら、多数回の解析を行って、実験結果と最もよく一致する条件を検討した。結果は、3-2項と3-3項に述べた条件が最も良好であった。

4-4 有限要素法による動解析の減衰の問題

振動モードだけなら、数値計算のみで視覚的に得ることは可能であるが、減衰係数が未知であるのと、現実には振動と騒音に悪影響を及ぼす支配的モードの特定は困難である。数値計算による動解析を、より実際上の解析として活用するためには、減衰等を考慮したモデリングと解析条件が必要であるが、この点に関しては今後の課題である。

5. むすび

- (1) モーダル解析法を一般に普及させるためには、支持方法、加振方法、測定箇所を選定等測定者の経験と勘に依存している現状の改善が必要である。今回は、平板という単純モデルなので特に問題とならなかったが、今後、これらに関するデータの蓄積と整理、標準化を行わねばならない。
- (2) 有限要素法による動特性の把握は、基本的には可能であることが確認できたが、実用レベルに移って行くためには減衰を考慮した解析が必要である。
- (3) モーダル解析、有限要素法による動解析とも、平板に関しては一応の成果を得た。今後実用化に向けて、三次的形狀モデルの解析を実施する予定である。

謝辞 本研究について御指導頂いた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）と渡部透研究参与（京都大学工学部助教授）に感謝します。

参考文献

- (1) 大久保信行著、機械のモーダル・アナリシス、（昭61）、中央大学出版部
- (2) 振動工学ハンドブック編集委員会編、振動工学ハンドブック、（昭60）、養賢堂
- (3) 長松 昭男著、モード解析、（昭60）、培風館
- (4) 加藤、水島、小林、静岡県機械技術指導所研究報告、（第20号）、15

レーザ光を用いた距離測定センサーの研究

— P S D素子の特性に関する基礎実験 —

技術第一科 河村安太郎

あらまし：P S D素子を距離測定センサーの受光素子として用いる時に問題となる、入射光の最少パワー限界および暗電流・バックグラウンド光などの影響について基礎的な実験を行ったので報告する。

1. まえがき

無人搬送車や移動ロボットは教示された通りに動くだけでは不十分であり、周囲環境の変化に対応して進路や速度を変える機能を持たせたり、さらには周囲環境の理解と経路の自律的な決定を行う機能など、いわゆる機械の知能化が求められている。知能化を実現するための第1歩は、機械（無人搬送車、移動ロボットなど）が自分自身と周囲物体との距離を認識できるようにすることであり、このための距離測定センサーとして、超音波を用いる方法・画像処理による方法など色々な方法が研究されている。^{(1), (2), (3)} その一つの方法がレーザ光を用いた距離測定センサーの利用である。この方法は、画像処理法のような間接的な距離測定方法と違って、直接的で正確な距離が求まる。またレーザ光を走査させることにより周囲物体の三次元的形状と配置も把握できるなどの特長がある。

これらの用途に用いるには測定距離範囲として数m～数10mが必要になる。市販されている距離測定センサーとしては、P S D（半導体位置検出素子）を用いた非接触変位計と呼ばれるものがあるが、測定範囲が数10m m～1 m程度と短かく不十分である。測定原理はレーザ光を発射し、物体に当たった散乱光を一定距離はなれたレンズで再び集光してP S D上にスポット光を入射させ、P S D上の集光位置から入射角度を求め、三角法の原理により距離を算出する方法である。この方式をスケールアップすれば、原理的には数m～数10mの距離測定に使用できるわけであるが、実現に当たって次の三つの問題が考えられる。第一は、装置が大きくなることであるが、搭載機器自身が大きい程度は許容できる。第二は、P S Dへの入射光のパワーは距離の2乗に反比例して少なくなるため、P S Dの検出限界以下になることが考えられることである。第三は、入射光が弱いため、自然光（バックグラウンド光）の影響あるいはP S Dに固有の暗電流（光を受けなくても流れているわずかな電流で、温度にも影響される）の影響が相対的に大きくなって測定精度が悪くなることである。

そこでレーザ光とP S Dを用いた距離測定方式が、数m～数10m範囲の測定にまで適用できるかどうかを検討するため、今回P S Dの検出感度限界（入射光の最少パワー限界）および暗電流・バックグラウンド光の影響について実験を行った。

2. PSD (Position Sensitive Device—半導体位置検出素子)⁽⁴⁾

シリコンダイオードを応用した光スポットの位置検出用素子で構造は図1のようになっている。平板状シリコンの表面にP型抵抗層、裏面にN層、そして中間にある高抵抗Si基板(I層)から構成されており、光スポットが入射すると、入射位置には光のパワーに比例した電荷が発生する。発生した電荷はP型抵抗層を通り、電極より光電流として出力される。抵抗層は全面均一な抵抗値を持つ様に作られており、光電流は電極までの距離(抵抗値)に逆比例して分割され二つの電極より取り出される。入射光が図1のxの位置に照射されるとき、二つの電極から流出する電流値を I_1 、 I_2 とし、光電流を I_0 とすると次式を得る。

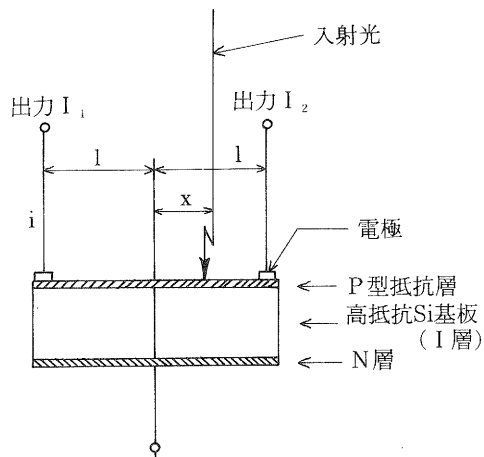


図1 PSD断面構造

$$I_0 = I_1 + I_2 \quad (1) \quad x = l \cdot (I_2 - I_1) / (I_1 + I_2) \quad (2)$$

これより光スポットの当たった位置が求まる。すなわち、 x は I_1 と I_2 の割合だけで求め入り射スポットの光パワーの絶対値には影響されない。また得られる x 値は入射光のパワーの重心位置に相当し、スポット径の大きさに関係しない。よってレンズで集光する際、精密なピント合せをする必要はない。

3. 実験装置および測定方法

3-1 実験装置

図2に実験装置の概要を示す。光源にHe-Neレーザを用い減衰フィルターで光量を調整した後、今回対象物とした白色紙に光を投光させる。白色紙から散乱する光を開口部23φの遮へい板を通して口径50φのレンズでPSDに集光させた。PSDは電流電圧変換回路基板に取り付けられており基板ごと精密微動載物台に固定されている。PSDからの発生電流は自作の電流電圧変換回路で電圧に変換し、その電圧値をプリンター付デジタルマルチメーターで記録した。図4に電流電圧変換回路を示す。この回路では電流1nAを電圧1mV(100万倍)に変換する。また、実験機器の仕様を表1に示す。

3-2 測定方法

実験は、バックグラウンド光などの外乱をできるだけ少なくするため、暗室にて行った。光パワーの値は、図2に示すPSDの位置での入射光を光パワーメーターにて読み取って求め、レーザ照射時と非照射時〔暗室中のバックグラウンド光(自然光)〕の差を入射光パワーとした。

入射光のスポット径は、PSD受光部の幅1mmより小さくなるように、約0.5φとした。PSDへ入射する光スポットの位置の調整は、PSDを載せている精密微動台を動かすことにより行った。

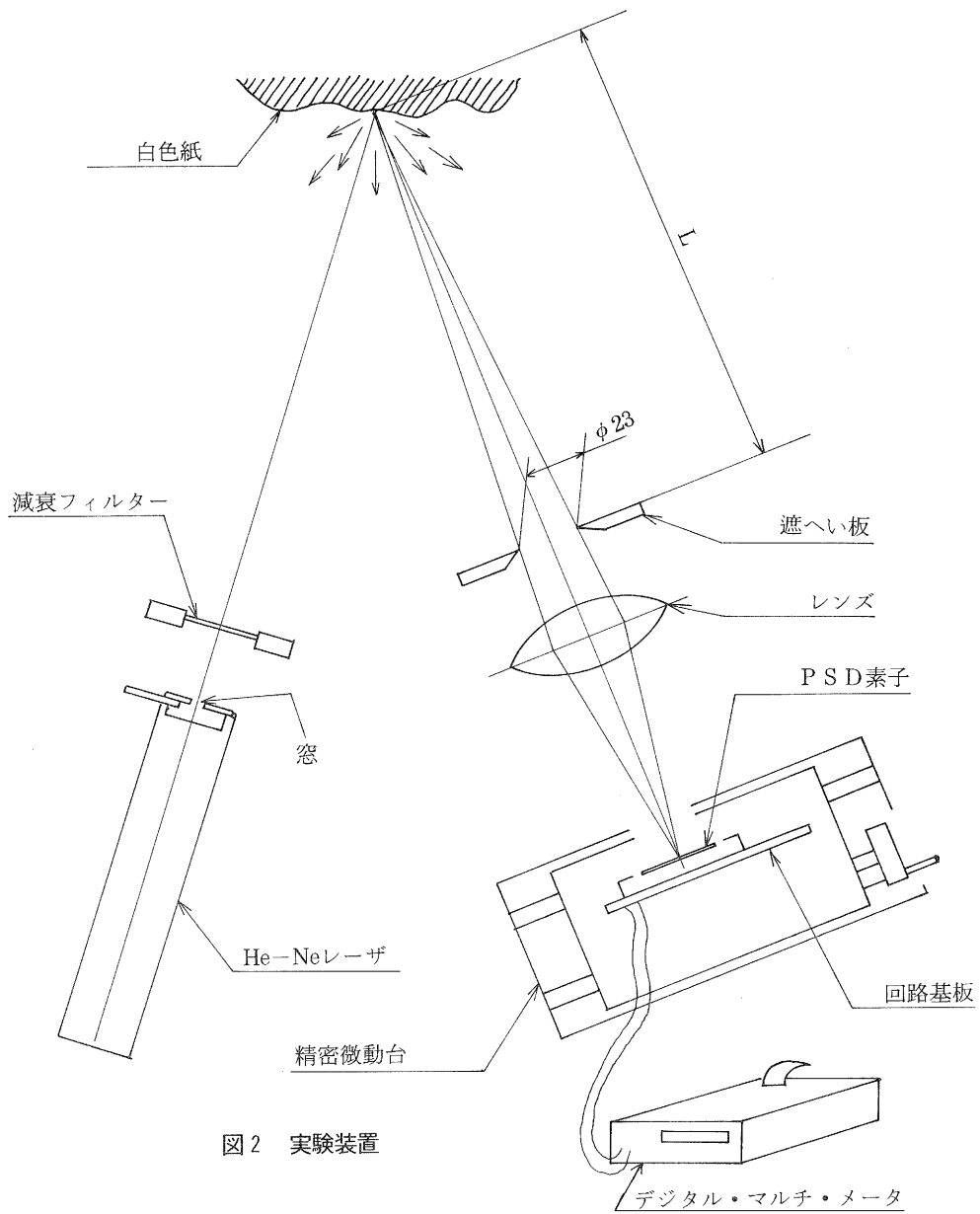


図2 実験装置

図3 電流電圧変換回路

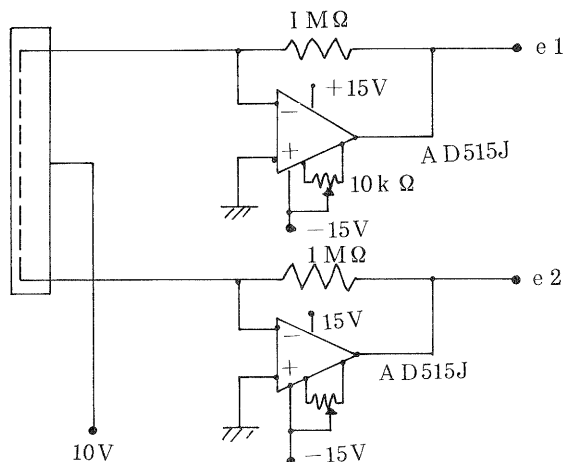


表1 実験機器の仕様

使用機器	型式・仕様
PSD素子	S1545 浜松ホトニクス(株)製 1次元型・有効受光面1×12mm
He-Neレーザー発振機	GLG5380 日本電気(株)製 波長 632.8mm 出力 1.5mW以上 ビーム径0.65mm 拡がり角1.23mrad
集光レンズ	外径50mm 焦点距離 f = 75mm
精密微動台	O2L ニコン(株)製 読取最小単位 0.001mm
デジタルマルチメーター	SC7403 岩崎通信機(株)製 プリンター付

暗電流やバックグラウンド光の影響を明確にし、かつそれを除去するため、PSDにレーザー光が入射した時と入射しない時のPSD発生電流の測定を行った。この場合、レーザー照射時の発生電流によりPSD温度が上昇し、温度に敏感な暗電流が大きく増加するため、レーザー照射は、電流測定時のみとし、常時はレーザー発振器の出力窓を閉めた。また暗電流とバックグラウンド光により発生する電流（以後、暗電流等という）は、わずかではあるが絶えず変動しているため、レーザー光を入射した時の電流測定を行う直前に、入射しない状態の電流をそのつど測定した。両測定の時間間隔は約2秒である。

4. 実験結果

4-1 入射パワー

実験には三種類のパワーの入射光を用いた。パワーの大きい光は、図2の距離Lを40cmとし、減衰フィルターを用いない場合に対応し、レンズ集光後の入射光のパワーは1,260nWであった。次は、距離Lを2.3mに遠ざけた場合で、入射光のパワーは34nWであった。ここで距離の増加による入射光パワーの減少を二乗反比例則で求めると、

$$\text{光パワー } E = E_0 \cdot (L_0 / L)^2 = 1,260 \times (0.4 / 2.3)^2 = 38\text{nW}$$

となり、ほぼ理論通りの減少を示している。パワーの小さい光は、さらに減衰フィルターをレーザー発振器の前に置いた場合で、4.2nWであった。以下の実験では、これら三種類のパワー（1,260nW、34nW、4.2nW）の光を用いている。なお、さらにレーザー光をピンホールで絞り1/8の

パワーにしたところ測定不可能であった。

なお、暗室中のバックグラウンド光は0.4~2nWであり、上記の値はこれを差し引いている。

4-2 PSD発生電流

図4、図5、図6は、それぞれ光パワー1260nW、34nW、4.2nWのスポット光をPSDに入射した時の、スポット光の位置と、PSDの両端子から出力される発生電流（電圧）との関係を示したものである。横軸はPSD内のスポット光の位置であり、原点（0mm）は発生電流から暗電流等を差し引いた値が等しくなる位置に選んでいる。縦軸はPSD両端からの発生電流とその電圧換算値を示す。ただし、暗電流等の補正を行う前の値である。図中、実線と破線によって二つの電極を区別している。図5と図6の下部に暗電流等の値とその電圧換算値を示す。図4では、暗電流等は相対的に小さいので、記入を省略した。

図7と図8はそれぞれ図5と図6に示した発生電流から暗電流等の分を差し引いた場合の関係を示す。

図9a、図10aと図11aの○印はそれぞれ図4、図7と図8に示す関係を、式(2)によってスポットの位置に換算したもので、式(2)中の l はカタログ値6mmを代入している。また図中の直線は各プロット点を最小2乗法を用いて近似した直線であり、図中の数式は横軸を x 、縦軸を y とした際の直線式を示している。そして、図9b、図10bと図11bはこの近似直線との測定値との差を示したものである。

5. 考察

5-1 PSDの検出感度限界

図4の様に入射光のパワーが1,260nWと比較的大きい時は、暗電流等を補正しなくても図9に示す様に正確な位置検出ができる。しかし図5の様に、入射光のパワーが $1/40$ の34nWに減ると暗電流等の占める割合が無視できなくなり、位置検出を行うには暗電流等の補正をする必要がある。また、図6の様に、さらに $1/320$ の4.2nW程度になると暗電流等と発生電流がほぼ同程度となり、刻々の暗電流等の変化も考慮して同時刻（本実験では2秒の時間差がある）の暗電流等を差し引く必要がある。この暗電流等の対策を行えば、図8と図9の様にほぼ直線的な関係が成立し、図11aからもわかる様に4.2nWでも検出できる。今回は、実施できなかったが、上記の測定の時間差を少なくすれば、この光パワー以下でも測定できる可能性はあると思われる。

なお、4.2nW以下の小さな入射光では発生電流が数nA以下になり、外界からのノイズの影響を受けやすいため、この対策も行う必要が出てくる。

また、本実験に使用したPSDは、カタログ値で最大40 μ Aの発生電流の入射光まで直線性がある。この時の入射光のパワーは、本実験での入射光のパワーと発生電流の関係（1260nWで約600nA）から逆算すると40 μ A=80000nWとなるので、本実験に用いたPSDは80000nWから4nW以下までの2万倍の検出レンジ巾があることがわかる。

5-2 検出距離について

4-1で述べた様に入射光のパワーは距離の2乗に反比例する。本装置で減衰フィルタを使用

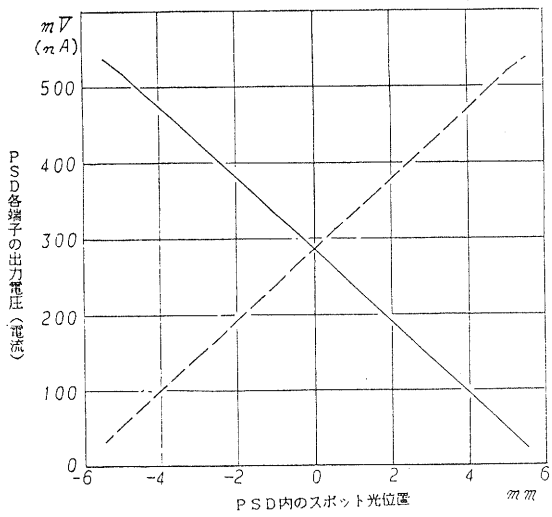


図4 1260 nWのスポット光照射時の PSD位置と出力の関係

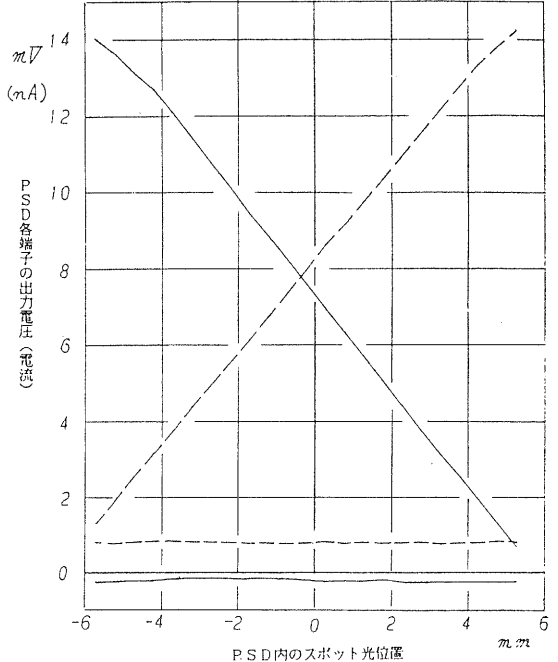


図5 34 nWのスポット光照射時の PSD位置と出力の関係

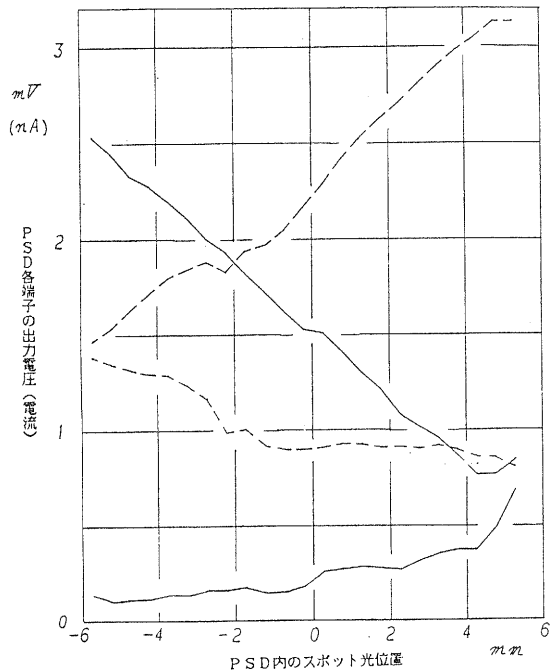


図6 4、2 nWのスポット光照射時の PSD位置と出力の関係

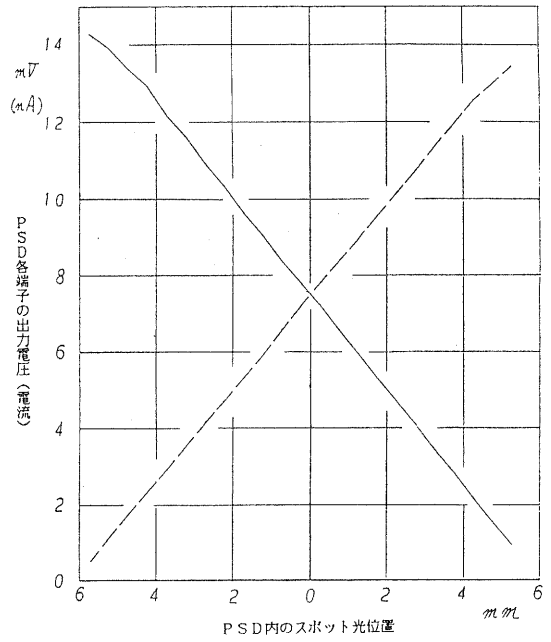


図7 34 nWスポット光照射時の PSD位置と暗電流分を差し引いた出力との関係

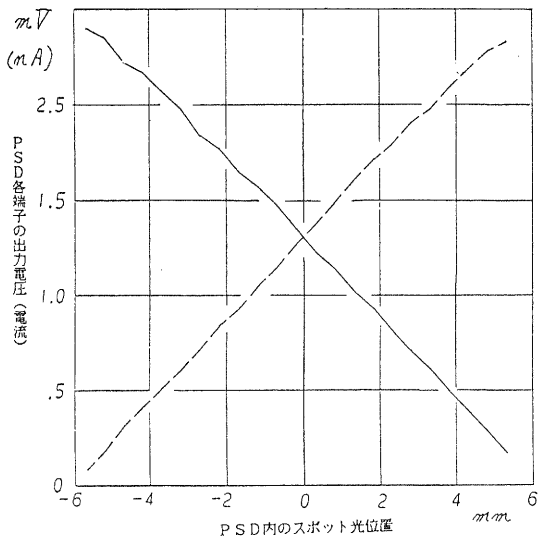


図 8 4、2 nWのスポット光照射時のPSD位置と暗電流分を差し引いた出力との関係

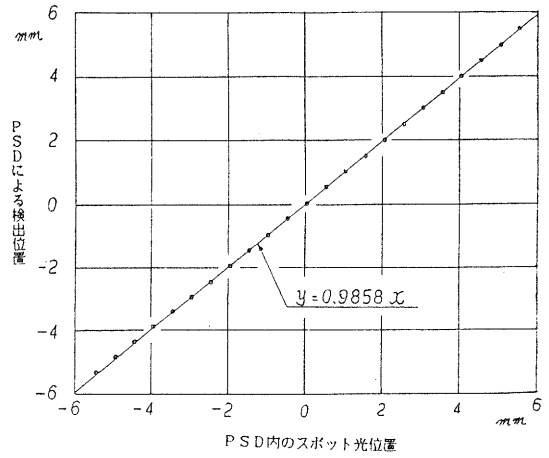


図 9 a 1260 nWのスポット光照射時のPSD位置と検出位置の関の関係

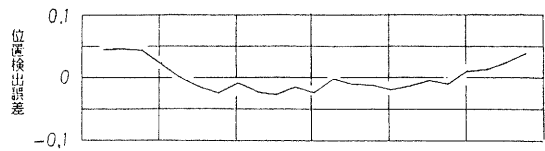


図 9 b 近似直線との誤差とPSD位置の関係

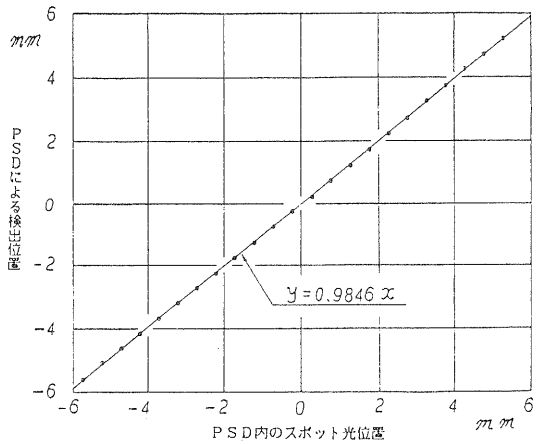


図10 a 34 nWのスポット光照射時のPSD位置と検出位置の関の関係

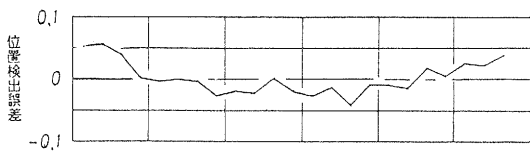


図10 b 近似直線との誤差とPSD位置の関係

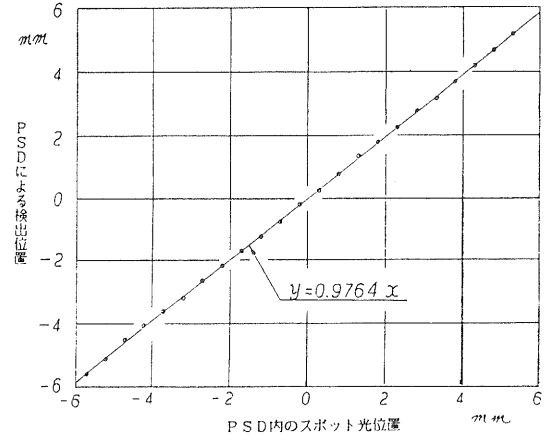


図11 a 4、2 nWのスポット光照射時のPSD位置と検出位置の関の関係

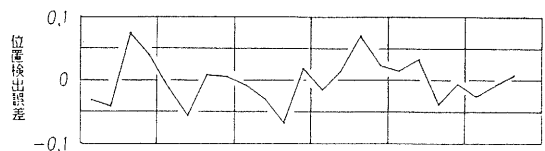


図11 b 近似直線との誤差とPSD位置の関係

しないとき4.2nWの入射光となる距離は $L = 2.3 \times \sqrt{34/4.2} = 6.5\text{m}$ となり、すなわち6.5mまではPSDにて検出可能である。

しかし、目的としている30m程度の距離を測定する場合、入射光は $34 \times (2.3/30)^2 \approx 0.2\text{nW}$ しかなく、レンズ有効径の拡大（本実験では球面収差の影響を除くため23φの遮へい板をもうけている）やレーザー光の容量アップそして暗電流対策を考える必要がある。

5-3 暗電流およびバックグラウンド光対策

本実験は、レーザー照射時間を短かくし、また暗室で行うなど、暗電流やバックグラウンド光の影響を出来るだけ少なくしている。しかし、実用を考えると、昼間の自然光の中で測定することになりバックグラウンド光の影響が非常に大きくなる。また、温度変化により暗電流の影響も大きくなる。よって、これらの対策は、非常に重要となる。

暗電流およびバックグラウンド光を取除く方法としては、次のものがある。①暗電流等と同じ一定電流を逆方向に加えて、キャンセルする方法、②投光側（レーザー側）に変調を加え、例えば10kHzの周期で発光させ、PSD発生電流から変調周期と同じ10kHzの分だけ取出し、この周期よりゆっくりした変化しかない暗電流等を捨てる方法（本実験で用いた対策をより高精度にしたもの）、③温度センサを用いて温度による影響をコンピュータ処理で取除く方法、④投光側の光源にレーザー光を用い、受光部にそのレーザー光の波長しか通さない限界フィルターを用いて、自然光の大部分を取除く方法、⑤限界フィルターを用いる方法において、自然光にその量が少ない近赤外光を出すレーザーを用い、自然光の影響をより少なくする方法⁽⁵⁾、⑥入射光がPSDで検出可能なパワーになる様にレーザー出力を大きくする方法。そして、これらの方法を組合せて対策するとその効果はさらに大きくなると考えられる。

今後、これらの対策についても検討を進める必要がある。

6. むすび

以上まとめると、次のことがわかった。

- 1) PSDで位置検出可能な入射光のパワーのレンジ巾は数万倍以上（本実験使用のPSDで約2万倍）ある。
- 2) 暗電流およびバックグラウンド光の影響は大きい。入射光パワーが小さいときは、必ず暗電流等の補正が必要である。補正を行えば、数nWという小さな光パワーでも位置検出できる。
- 3) PSDによって数mの距離測定はでき、この距離はさらに延ばしうる。

今後、実験回数を増して、誤差特性を検討するとともに、暗電流補正、白昼光の中での測定とバックグラウンド光の補正などについて検討を進める予定である。

謝辞：本研究について御指導頂いた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）と渡辺透研究参与（京都大学工学部助教授）に感謝します。

参考文献

- (1) 吉田 健一：“移動ロボット用視覚” 日本ロボット学会誌 1巻4号P58～62 12月(1983)
- (2) 佐藤 宏介・井口 征士：“画像入力による三次元形状計測” 映像情報(I) 12月号(1984)
- (3) 遠藤・高増・大園：“移動ロボット用光学式センサの改良” 昭和62年度精機工学会春季大会学術講演論文集 P207～208
- (4) 山本 晃永：“入射光の位置検出” センサ技術 VoL4 No8 P27 8月号(1984)
- (5) 倉沢 一男：“位置測定におけるPSDの応用” 精密機械VoL51 No4 P68～75(1985)
- (6) 安田 博彦：“レーザ変位計による形状測定技術” センサ技術VoL7 No2 P26～29 2月号(1987)

高分子複合材料の非破壊による 評価試験技術に関する研究

一 超音波減衰測定による非破壊評価試験の 高分子材料への適用からみた問題点 一

技術第二科 井上 栄一

あらまし：高分子複合材料の非破壊評価としては、これまで多くの試みがなされている。超音波を用いた技法は、欠陥の検出だけでなく、その適用範囲は広いといわれている。また、放射線技法のような特別な設備も不要であり、現場で簡単に測定できるという利点がある。しかし、これらの長所にも拘らず、欠陥に対して母材と充填材間の物性差が少ないなど困難な問題があり、評価法としてはほとんど確立をみていない。

そこで本研究では、超音波技法による非破壊評価試験技術の確立を目指して、まず研究の導入段階として高分子複合材料の母材の超音波減衰率を直接接触垂直法により測定を行い、その結果から今後の研究上の問題点を明らかにした。

1. まえがき

近年、多くの高分子複合材料が開発されているものの、これらは十分に利用されている状況には至っていない。これは、主として複合材料の安全性評価基準などの性能評価技術が確立されていないためである。これら材料の一般構造物への適用には、材料の内部欠陥の有無、分布状態また、疲労や環境劣化などの因子に対する信頼性の確保が必要とされる。

通常、最も確実な試験は実物の破壊によるものであるが、全ての物への検査ができないという問題があるため非破壊による試験法が望まれる。非破壊試験には放射線をはじめとする多くの技法があるが、その中でも超音波技法によるものは力学的・物理的特性の評価や材質欠陥の検出、構造物の健全性評価に広く応用できるものである。

本研究では、超音波技法の一つである超音波減衰測定法を用い各種欠陥の形状、分布状態などについて測定し、試験材の強度との関係を求めるとともに疲労や環境劣化させた試料についても同様な関係を求め、非破壊評価法としての有意性を探ることを主題とした。そのうち今回は、まず当センター所有の装置によって研究を進める上でどのような問題点があるか、3種類の探触子を用いポリプロピレン（以下PPと記す）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリカーボネイト（PC）、ポリメタクリル酸メチル（PMMA）、ポリエチレン（PE）の5種類の高分子材料について減衰率を測定し考察を加えた。

2. 試験片および測定方法

2-1 試験片

試験片に使用した高分子材料の種類と厚さを表-1に示す。また縦および横の寸法はいずれも150mmである。

2-2 測定方法

(1) 測定装置および測定条件

測定装置の概観を図-1に、その仕様を表-2に示す。また測定条件を表-3に示す。

表1 試験片の厚さ

種類	PP	PE	PC	PMMA	PCV
1	10.0mm	4.9mm	5.0mm	5.2mm	4.9mm
2	12.5mm	10.1mm	9.9mm	10.3mm	10.0mm
3	15.4mm	—	—	—	—

表2 測定装置の仕様

超音波探傷装置	USIP-12 クラウトクレーマー社製
接触媒質	COUPLANT A パナメトリクス社製
直接型探触子1	2.25MHz 0.25inch径 広帯域型
直接型探触子2	2.25MHz 0.50inch径 広帯域型
直接型探触子3	5.00MHz 10.0mm径 広帯域型

表3 測定条件

測定条件番号	使用探触子番号	探傷周波数	共通条件
1	1	10.0MHz (広帯域)	測定場所
2	2	15.0MHz (広帯域)	23℃ 50%RH
3	3	5.0MHz (広帯域)	手による測定

(2) 測定方法

超音波探傷装置を使用し、超音波減衰係数を求める方法について述べる。見かけの減衰を含んだ減衰係数 α を求める手順を図-2に示す。今、試験片の厚さを t とすると α は次式のようになる。

$$\alpha = \frac{(B_2 - B_1)}{2t} \quad [\text{dB/cm}] \quad \text{--- (1)}$$

ただし B_1 : 第1回底面エコー高さを60%にした時のゲインつまみ総和値

B_2 : 第2回底面エコー高さを60%にした時のゲインつまみ総和値

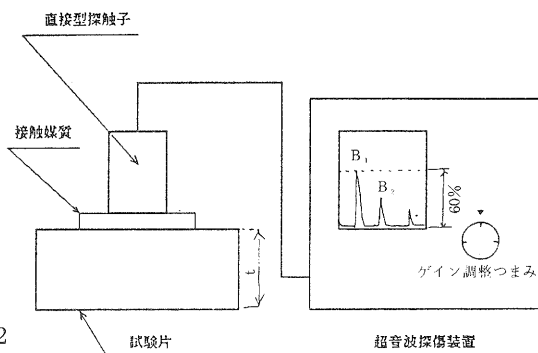


図1 測定装置の概観

これは、音波の音圧が装置のCRT上のエコー高さに比例することを利用している。また、式(1)では見かけの減衰について考慮していないので、音場等の補正を行う必要がある。見かけの減衰には伝播時に音波が拡がることで音圧が減少する拡散損失と、面の粗さによって生ずる反射損失に分けられる。拡散損失は近距離音場距離と試験片の厚さとの兼ね合いで考慮され、今回は伝播距離が短く問題がないので補正しない。次に、反射損失について述べる。探触面における反射損失を L_s [dB]、底面における反射損失を L_b [dB]とし、かつ各反射の場合にこの値が一定であると仮定すると、試験片厚さ t の場合、 α を補正した減衰係数 α_0 は次式で示される。

$$\alpha_0 = \alpha - \frac{L_s + L_b}{2t} \quad [\text{dB/cm}] \quad (2)$$

ここで、材料と表面状態が同じで厚さの異なる t_1 、 t_2 の試験片について α を求め α_1 、 α_2 とすると α_0 は次のようになる。

$$\alpha_0 = \frac{t_1 X_1 - t_2 X_2}{t_1 - t_2} \quad [\text{dB/cm}] \quad (3)$$

すなわち、式(3)は α と厚さの逆数 $1/t$ との関数 $\alpha = f(1/t)$ を考えた時 $1/t = 0$ を代入したものが α_0 であることを示しているので、図-2の手順により求めた α と $1/t$ の関係を示すグラフから $1/t = 0$ の α 値を求めるとその値が α_0 である。

3. 測定結果および考察

3-1 測定結果

表-3に示す条件1・2・3によって測定した結果をそれぞれ図-3、4、5に、また各図より減衰係数 α_0 と傾きを求めた結果を図-6に示す。次に、試験片の結晶化度をX線回折法により表-4に示す条件で測定した結果を図-7に示す。

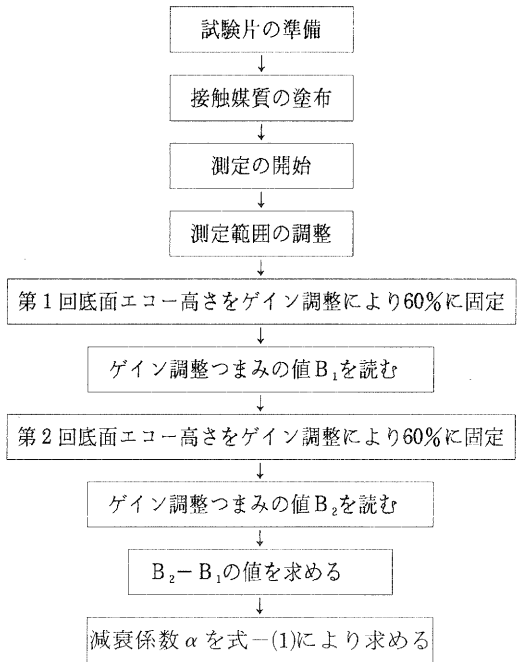


図2 測定手順

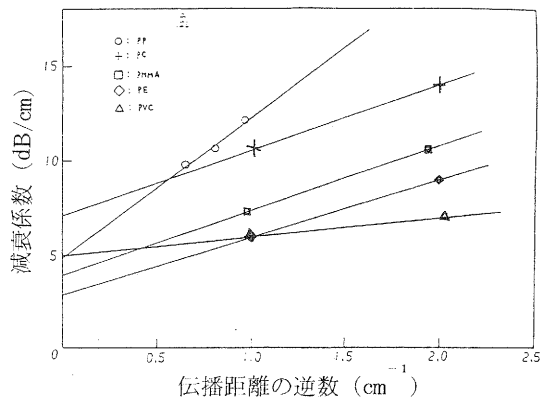


図3 反射損失の補正 (測定条件1)

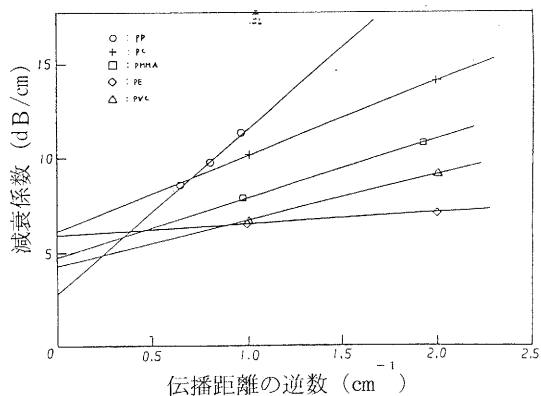


図4 反射損失の補正 (測定条件 2)

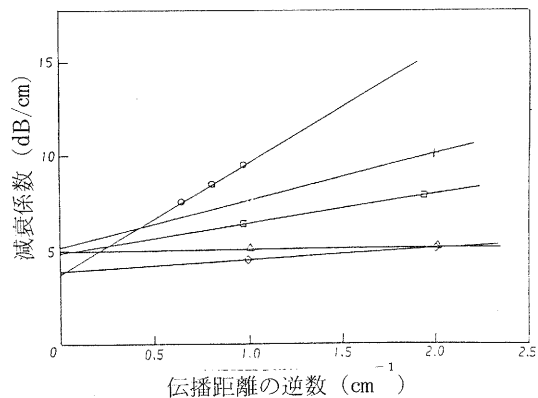


図5 反射損失の補正 (測定条件 3)

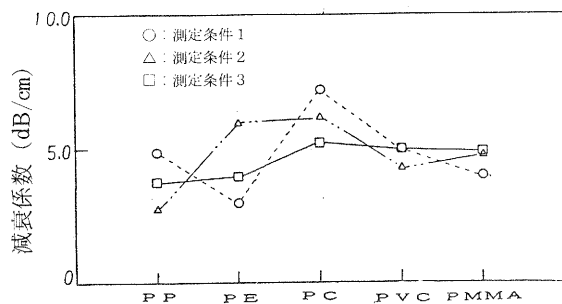


図6 減衰係数

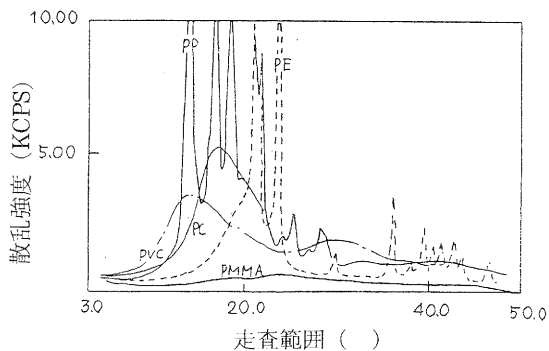


図8 結晶化度

表4 X線回折測定条件

管電圧	管電流	走査速度	発散スリット	受光スリット	散乱スリット
50kV	50mA	2°/min.	1°	0.15°	1°
ターゲット	Cu	試験片形状	15mm×15mmの照射面積		

X線回折装置 RAD-RB 理学電機(株) 製

3-2 考察

図-7により試験片の結晶化度はPP、PEが大きく、PC、PVC、PMMAは小さいと言える。また、図-6、7から異なる材質の試験片の減衰係数の大きさと結晶化度に際立った相関は見られない。

しかし、本測定では機械の直線性からゲイン調整つまみの差によって音圧を得たものであり、

追実験の結果、同一試料の測定にも拘らず粗調整つまみ（20dBずつの切換え）と微調整つまみ（2 dBずつの切換えおよび1 dB、6 dB増加させる）のどちらかを中心に使用するかによって最大2 dB程度の差を生ずることが明らかとなった。これは、機械の調整が金属用にされているためであり、今回の実験結果から直ちに高分子材料の結晶化度と超音波減衰係数の間に相関性が無いとは言いきれない。むしろ、高分子材料の減衰率は複素弾性率に関与すると言われていることから、結晶化度との間に関係があると考えの方が合理的であると思われる。以上の結果より、現在の試験方法をこのままで適用することには問題があり、これらゲイン調整つまみを動かさないですむ試験法を考案するか、装置を高分子材料用に再調整するかによって測定を行う必要があると思われる。

また、探触操作を手動に頼るため測定値に対する再現性が問題となるが、絶えず一定の荷重が試験片に垂直に加わるような治具を使用することによりこのような問題はなくなるものと思われる。

4. むすび

最後に、今後の研究の展開について述べる。本研究によって明らかとなったゲイン調整つまみによる音圧読み取りの信頼性のなさという影響のでない方法で研究を進めることになるが、疲労や冷却、耐候試験においては、初期の音圧レベルを固定して測定するため問題がないと思われる。現在、予備測定を手動操作で行っているが、幾分の音圧低下が疲労試験の回数に応じて認められている。今後、これらの研究を進めていく予定である。

参考文献

総論として用いた

- (1) 実吉 純一他監修：超音波技術便覧 新訂版 日刊工業新聞社
- (2) 日本学術振興会製鋼第19委員会編：超音波探傷法 改訂新版 日刊工業新聞社
- (3) 日本クラウトクレーマー・フェルスター(株)編・発行、超音波探傷技術講習会テキスト
- (4) 金原 勲他：先進複合材料の開発と評価技術 P93～P100 シーエムシー

ガラスクロス強化エポキシ樹脂の ミズリングに関する研究

- ガラスクロス強化エポキシ樹脂への水の浸入が
補強材と母材との界面接着力におよぼす影響について —

技術第二科 山中 仁敏

あらまし： ガラスクロス強化エポキシ樹脂はミズリング、プリスター等の剝離現象を起し力学的強度が著しく低下する。ミズリング、プリスター等は水の浸入により誘起される現象と考えられ、煮沸により促進試験が行われている。そこで、ミズリング、プリスターの起る一つの原因として煮沸によりガラスクロスとマトリックス樹脂の界面接着力の低下があると考え、煮沸して試料の層間せん断試験、および剝離試験を行った。

層間せん断強さは、煮沸による浸水率の増加とともに減少し、また剝離試験では、剝離過程の違いならびに剝離面の違いが観察され、界面接着力の低下が確認できた。

1. まえがき

電子部品の組立て基盤には、主として強度や寸法安定性などが優れているガラスクロス強化エポキシ樹脂（FRP）が使用される。しかし、このFRPは空気中の水分を吸収し、ハンダ付けの時などの高温状態にさらされると、層間に空洞を生じ著しく強度を低下させるミズリング、プリスター等の現象を起すことがある。ミズリング、プリスター等の現象は水の浸入が原因となり誘発される現象と考えられ、促進試験としてFRPを所定時間煮沸し、その後、約250℃の高温状態にさらす方法がある。以前の予備実験により煮沸時間が長いほど空洞発生が多いことを確認している。しかし、水がどのように作用しミズリングやプリスターを起すかという発生機構は今だ実証されていない。そこでミズリングやプリスター発生の原因の一つには、水の浸入によりガラスクロスとマトリックス樹脂との界面接着力が低下し、空洞を作りやすい状態になるということじあるのではないかと考え、煮沸による界面接着力の低下について調べた。

なお、ガラスクロスとマトリックス樹脂との界面接着力だけを直接的に測定する方法がないため層間せん断試験ならびに、剝離試験を行い界面接着力を半定量的に求めた。

2. 実験

2-1 試料

強化材のガラスクロスは、日本電気ガラス(株)製の直径9 μ mのEガラス繊維を1束当たり400フィラメントを有するストランドGヤーンECG75-10型に平織したものを使用した。また、マトリックスとしては油化シエル(株)製エポコート5045とエポコート154を100対25の比で混合したものに硬化剤としてジアミンジアミド(エポコート5045を100として3.2の割合)、硬化促進剤としてベンジルジメチルアミン(エポコート5045を100として0.1の割合)を使用したエポキシ樹脂を用いた。このガラスクロスをアミノシラン系カップリング剤で処理し成形した2層積層のFRPならびに8層積層のFRPを実験に用いた。

なお、試料は層間せん断試験用として8層FRPを8mm \times 15mmに、また、剝離試験用として2層FRPを10mm \times 70mmに切り出した。

2-2 煮沸

500mlのフラスコに蒸留水を入れ沸騰させ所定時間(層間せん断試験は各15試料ずつ、0.5、1、2、3、4、6、8、10、12、16、20時間、また、剝離試験は各10試料を4、8、12、16、時間)煮沸処理した。また、浸水率は次式で求めた。

$$\text{浸水率} Q (\%) = \frac{\Delta W}{W} \times 100$$

W: 煮沸前重量、 ΔW : 煮沸後重量

2-3 層間せん断試験

ショートビームせん断法でスパン長さ(L)と厚さ(h)の比 $L/h = 5^{(1)}$ で行った。

2-4 剝離試験

試料の片端のガラスクロス間をカッターナイフで切り開き、切り開いた両端を図-1のように持ち引張った。しかし、4時間以上煮沸した試料では剝離部分が曲げ応力に耐えられず曲げ折れたため、エポキシ系接着剤を用い両面に試験試料と同一の1層FRPをはり付け試験を行った。

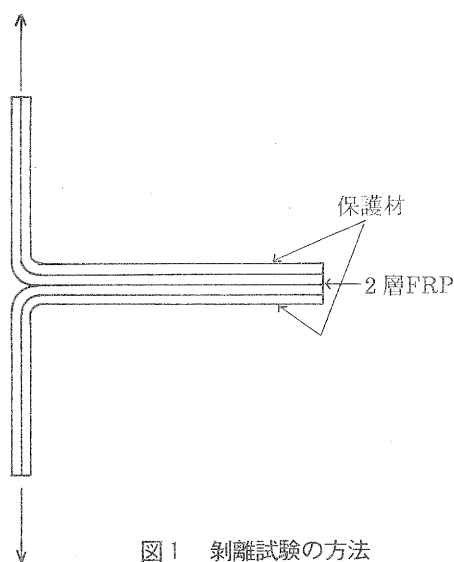


図1 剝離試験の方法

3. 結果と考察

3-1 煮沸時間と浸水率

2層FRPと8層FRPの煮沸時間と浸水率の関係を図-2に示す。両試料とも煮沸時間が増加するにつれて浸水率は増加しているが、煮沸時間が数時間を越えると増加率が小さくなった。今回の実験では20時間の煮沸までしか行っ

ていないが、浸水率は100時間煮沸まで徐々に増加し、その後逆に減少したという報告がある。

また、2層FRPと8層FRPとの浸水率に1.9倍（両試料とも煮沸時間が同じ場合）の差が生ずるのは試料形状の違いによるものと考えられる。水の浸入はガラス繊維自体は考えられず、またエポキシ樹脂自身への浸入は少量しかないので、繊維と樹脂との界面で行われていると考えるのが一般的である。そこで試料の断面（繊維が切断されている面）の面積は、ガラス繊維含有率と密度はほぼ同一であるので、単位重さ当り8層FRPの方が大きく、それが浸水率の差に現われたと考えられる。

3-2 剥離試験

剥離試験結果の荷重-引張り距離の関係を図-3に示す。強さ的には、測定を可能にするため補強材をはり付けた際の接着剤の量が均一でないなどの原因が考えられ、同一時間煮沸した試料でも測定値にバラツキが大きく煮沸時間による違いは明確には現れなかった。しかし、図-3から明らかなように上限ピーク値と下限ピーク値の差が煮沸時間を長くするにつれて小さくなっている。これは剥離の仕方に違いがあり、煮沸していない試料や4時間煮沸の試料では引

張りにつれて横糸1束が1度剥離し、8時間以上煮沸すると横糸1束が部分的に剥離するためピーク値に差が現われた。また、剥離面の電子顕微鏡写真を図-4に示す。煮沸していない試料や4時間煮沸の試料ではマトリックス樹脂自体の凝集破壊が多く見られ、ガラス繊維表面にも樹脂の付着が多く観察される。ところが、8時間より煮沸が長くなるにつれて樹脂の凝集破壊が少なくなり、ガラス繊維表面の樹脂の付着も少なく繊維と樹脂との界面破壊が多く観察された。

3-3 層間せん断試験

層間せん断強さは、一方向材FRPの繊維と樹脂間の界面接着力を直接的に示すものではないが、密接な関連性をもっておりひろく測定されている。今回使用したFRPは一方向材ではなく平織りしたガラスクロスを使用しているため、層間せん断強さと界面接着力との関連性が一方向材のFRPよりも少ないかもしれないがある程度存在すると思え実験を行った。

層間せん断強さと煮沸時間の関係を図-5に、層間せん断強さと浸水率の関係を図-6に示す。層間せん断強さは浸水率の増加にともない減少し20時間煮沸で約20%の減少がみられた。しかし、

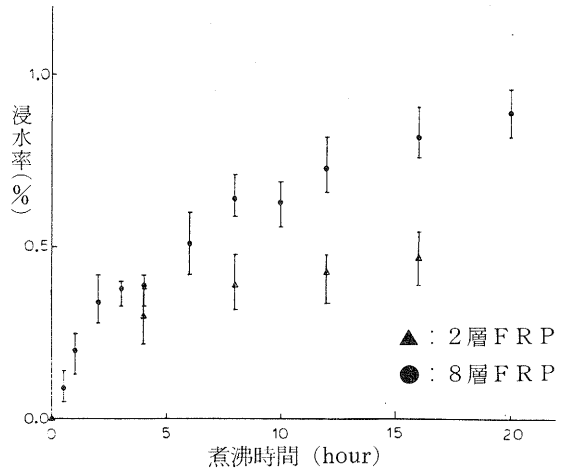


図2 浸水率-煮沸時間

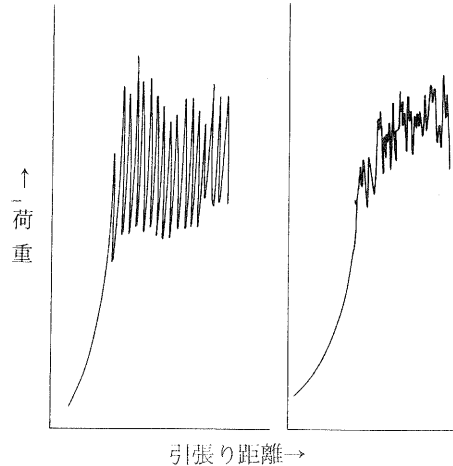
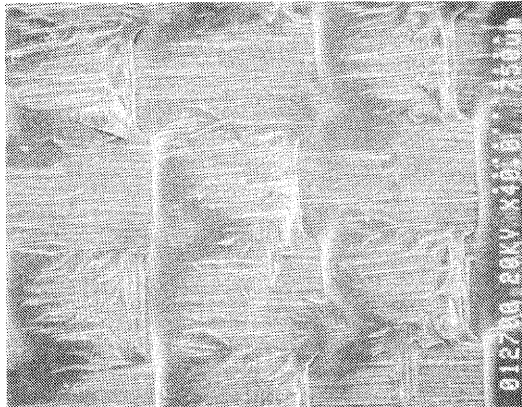
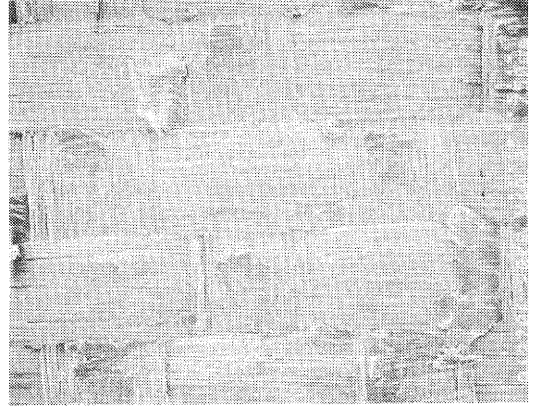


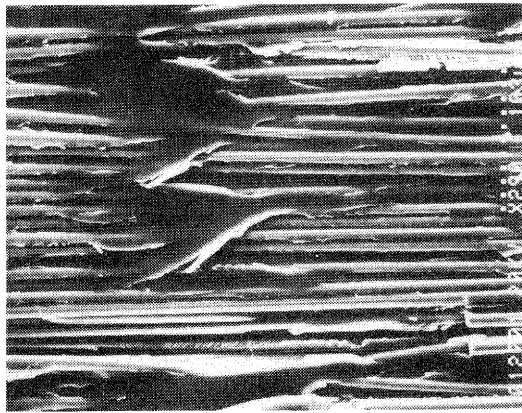
図3 荷重-引張り距離曲線



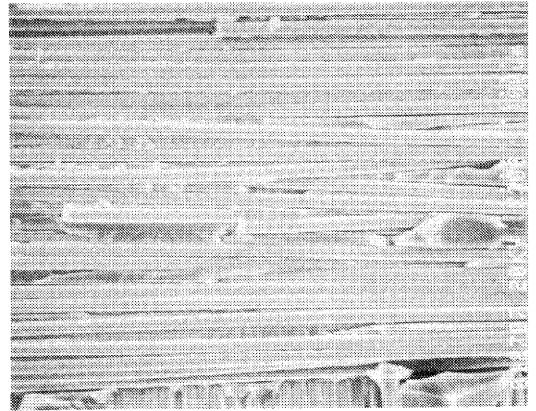
(1)



(3)



(2)



(4)

(1) 煮沸していない試料×40
 (2) 煮沸していない試料×290

(3) 煮沸を12時間行った試料×40
 (4) 煮沸を12時間行った試料×300

図4 剥離面写真

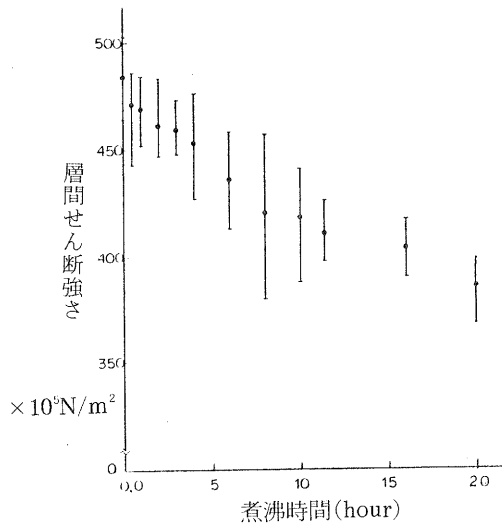


図5 層間せん断強さー煮沸時間の関係

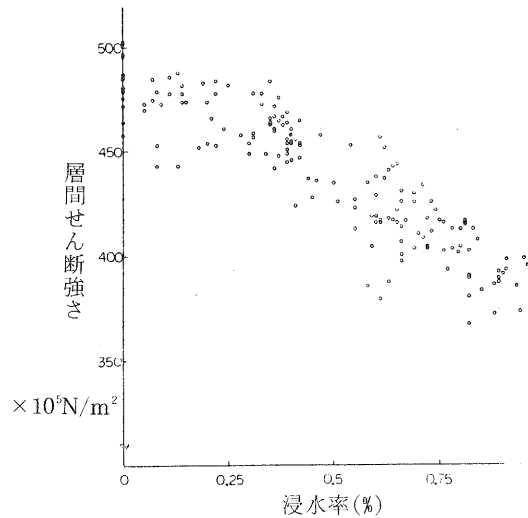


図6 層間せん断強さー浸水率の関係

減少の傾きが浸水率0.35%できつくなっており、界面接着力の低下が急激になったと考えられる。

3-4 浸水による界面接着力の低下について

今回の実験では、ガラスクロスをシラン-アミン系カップリング材で処理し使用している。このカップリング剤はマトリックス樹脂とガラス繊維の界面で図-7のような、FRP自体に含まれている少量の水と反応して可逆反応⁽⁴⁾をしていることがわかっている。

しかし、煮沸によりその界面に大量の水が浸入してくると、一度化学結合が切れた(3)の状態になれば-OH基の囲りで水が水素結合を作り再び(1)の状態にもどる反応が進行しないと考えられ、そのため化学結合量が減少し層間せん断強さや、剥離試験の結果に現われたように界面接着力が低下すると考えられる。

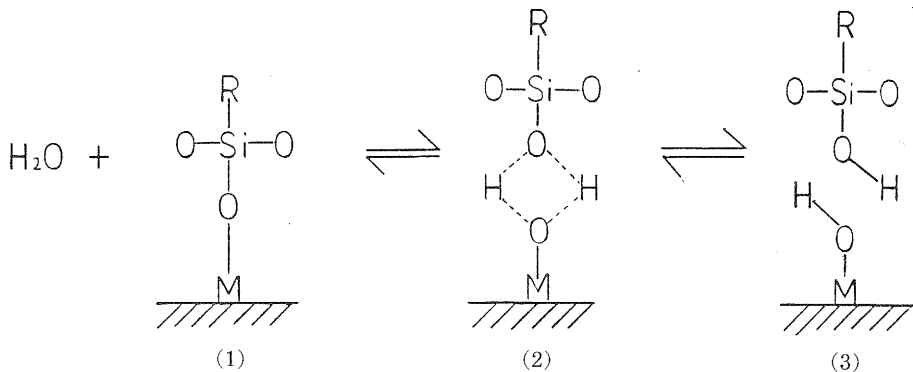


図7 水とカップリングの可逆反応

M= Si or Fe or Al

4. むすび

煮沸による水の浸入により、FRPのガラス繊維とマトリックス樹脂との界面接着力の低下が、層間せん断強さの減少ならびに剥離試験による剥離の仕方と剥離面の違いにより半定量的に実証できた。

今後、水がどのようにしてガラスクロス強化エポキシ樹脂内に浸入するのか、また、どのようにミズリングやプリスターの現象を起すのかについて研究を進めていく予定である。

謝辞

本実験を実施するにあたり、御助言と御援助をいただいた京都工芸繊維大学木村良晴助教授に深く感謝します。

参考文献

- (1) 大谷 杉郎ら：“炭素繊維”714~716、近代編集社（昭58-7）

- (2) 中西洋一郎、近藤 昭男：“CFRP、GFRPの沸騰水中浸漬劣化におよぼす空孔の影響”、
”強化プラスチック” Vol、26、(8)1、29-33、(1980)
- (3) D・ハル：“複合材料入門” 47~50 培風館(昭59-1)
- (4) E、P、Plveldomamm：“J Paint Technology” 42、600 (1970)

食品加工工場からの高濃度糖廃液の 処理に関する研究

— 酵母を用いる処理方法の検討 —

技術第二科 矢田 稔

あらまし：琵琶湖産の佃煮加工工場から排出される高濃度糖廃液（1ℓ中に糖約400gと食塩約60gを含む）の処理に酵母を利用する方法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、数種の酵母を用いた培養試験を行った。その結果、各酵母とも5倍希釈程度（糖濃度約10%）で充分増殖が可能であった。試験した酵母の中で、*Saccharomyces cerevisiae*（IFO-0304）は約一週間の培養で糖の主成分であるシュクロースとグルコースをほぼ全量消費することがわかった。また、糖廃液の窒素含量が糖量と比較して少ないので、窒素源として硫酸アンモニウムを添加して培養試験を行ったが、窒素添加の効果は認められず、むしろ無添加の方が良好な結果となった。

1. まえがき

滋賀県の湖西地方では、湖産魚を利用した佃煮が特産品となっているが、それを製造する食品加工工場から排出される糖廃液（調味液）は、糖濃度が高いばかりでなく、数パーセントの食塩を含み、既設の排水処理施設で処理するには、汚濁負荷が高くなり過ぎるなど、加工工場でもその処理に苦慮している。また、工場の多くは琵琶湖岸に所在するため、廃液の不適切な処理が琵琶湖の汚濁に直接つながるなどの問題が生じている。

この糖廃液には、(a)少量ではあるが汚濁負荷が高い。(b)排水時期が佃煮に利用される湖産魚の漁期に限定される。(c)糖の含量が多く、BODに比べ窒素量が少ない。ことなどの特徴がある。

処理方法としては、限外ろ過等による再利用の方法もあるが、ろ過時に希釈の必要があり、ランニングコストが高く、その上、回収するものが安価な糖分であることなどの理由で、その実用化の可能性は現在のところ少なく、より高性能な分離膜の開発が待たれる。

したがって、この様な廃液に適する生物処理方式として、酵母を利用する方法を検討した。すなわち、その処理方式の長所として、高負荷処理が可能で、廃液の排出と同時に処理が始められ、余剰菌体の利用が可能などことが上げられる。なお、今回は利用可能な酵母の検索を目的として、培養試験における菌体量と糖成分の変化を調べた。

2. 試験方法

2-1 糖廃液の特徴

糖廃液の組成は表1に示すとおりであり、シュクロースが主成分で、1ℓ中に223g含まれており、その他の糖と合わせると約400gの糖含量となる。また、アミノ酸は、グルタミン酸が一番多くて、1.36gで糖と比較すると百分の一のオーダーしか含まれていない。その外、塩化ナトリウムを62.1g含む。

表1 糖廃液の組成

成分	濃度 g/ℓ	成分	濃度 g/ℓ
糖類		アミノ酸	
シュクロース	223	グルタミン酸	1.36
マルトース	128	アラニン	0.18
グルコース	16.1	グリシン	0.16
フラクトース	2.95	NaCl	62.1

2-2 利用菌の選択

廃液の処理試験には、糖廃液から採取したRhodotorura属の酵母と、その外4種の酵母 (*Saccharomyces cerevisiae* 2株-I F O 0555、0304、*Saccharomyces rouxii* 1株-I A M 4962、*Saccharomyces uvarum* 1株-I F O 0565) を用いた。酵母の代表的な糖に対する資化性と発酵性を表2に示すが、資化性については、5株とも資化能力を有しているものと思われるので、廃液処理に利用可能と考える。

清酒廃液でHansenula属、Pichia属、Debaryomyces属、Endomycopsis属等の酵母を利用した方法が報告されているが、本実験では当所に所有している酵母だけに限ったため、少数の菌株のみの試験となった。

表2 酵母の糖発酵性と資化性

酵母名	資化性			発酵性		
	グルコース	マルトース	シュクロース	グルコース	マルトース	シュクロース
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Saccharomyces rouxii</i>	+	+	+	+	+	-
<i>Rhodotorura</i> sp.	+	+	+	-	-	-

2-3 培養試験

糖廃液を蒸留水で適宜希釈した後、水酸化ナトリウムと塩酸でPHを5.0に調整したものを培地とした。この培地100mlをオートクレーブ(121℃)で20分間滅菌して、各酵母を無菌的に一白金耳量植菌し、28℃の条件化で振とう培養を行った。

酵母の増殖量すなわち菌体数の観察は、吸光光度法(濁度測定)により行った。その方法は、サンプリングした培地を蒸留水で10倍希釈して、610nmで吸光度を測定するというものである。

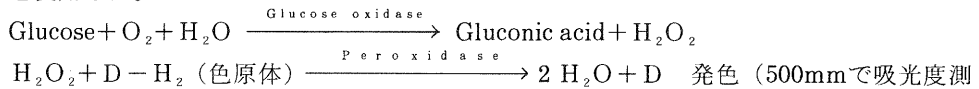
2-4 糖成分の測定

(1) 試料の前処理

各培養時間毎に採取した試料を殺菌と酵素失活を目的として、100℃の水浴中で5分間加熱した後、3000rpmで10分間遠心沈降させ、その上澄液を糖成分の分析用試料に供した。

(2) グルコース

試料をグルコース濃度 1 mM程度まで希釈したものを、下記に示すような酵素（グルコースオキシダーゼ）法により測定した。なお、測定にはニューグルコスダット（クーパーバイオケミカル(株)製）を使用した。



定)

(3) シュクロース

インペルターゼ処理により、シュクロース 1 分子からグルコース 1 分子とフラクトース 1 分子生成することを利用し、試料をインペルターゼで処理した後、(2)の方法でグルコースを定量し、酵素処理前より増加したグルコース量からシュクロース量を算出した。

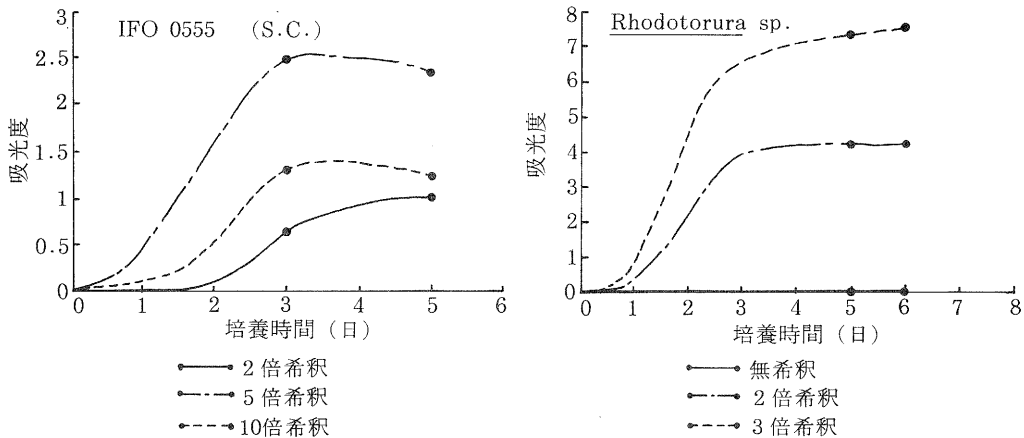
3. 試験結果および考察

3-1 培養条件の検討

(1) 糖廃液濃度と酵母の増殖

培養の最適条件を探るため、*S. cerevisiae* (IFO0555) と *Rhodotorura* 属の 2 株について、各希釈濃度の培地で培養試験を行ったが、図 1 に示すとおり、5 倍希釈程度で最も良好に増殖することがわかった。また、無希釈では菌の増殖は見られず、2 倍程度の希釈から増殖し始めた。

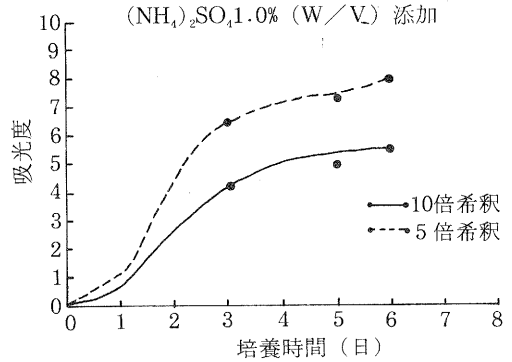
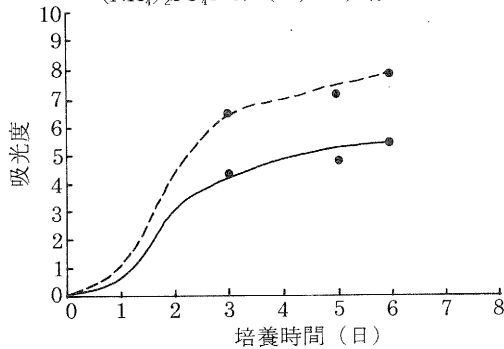
図 1 糖濃度と酵母の増殖量



(2) 窒素添加と酵母の増殖

酵母の栄養要求性を調べるため、*S. cerevisiae* (IFO0304) と *Rhodotorura* 属について、窒

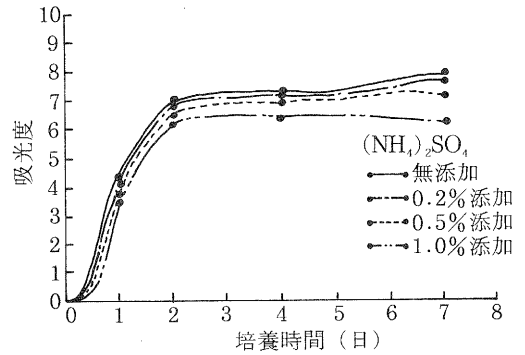
図2 *Rhodotorura*の増殖におけるN添加の影響
(NH₄)₂SO₄0.5% (W/V) 添加



素源として硫酸アンモニウムを添加して培養試験を行った。図2に示すように、*Rhodotorura*では、5倍、10倍希釈で0.5%、1% (W/V)の硫酸アンモニウムを加えたが、窒素量による差は全くなかった。また、*S. cerevisiae*では図3に示すとおりで、顕著な差はなかったが、窒素量が増加するとともに菌の増殖のしかたが悪くなる傾向が認められた。

(1)(2)の結果から以後の培養試験には、窒素無添加で糖廃液を5倍希釈したものを培地として用いた。

図3 *S. cerevisiae* (IFO 0304)の増殖におけるN添加の影響



3-2 培養試験結果

5種の酵母の培養試験は、図4(菌体量)、図5(糖成分の変化)に示すとおりの結果となった。*S. cerevisiae* (IFO0304)が菌の増殖速度、糖の消費量とも最も優れており、*Saccharomyces*属では、以下*S. uvarum* (IFO0565)、*S. cerevisiae* (IFO0555)、*S. rouxii* (IAM 4962)の順となった。また、1株だけ属の違う*Rhodotorura*は他の*Saccharomyces*属とは異なり、シュクロースは減少したが、グルコースは増加するという結果であった。これは、この菌株のグルコースに対する資化能力が弱く、シュクロースやマルトースの分解により生じたグルコースが充分消費されなかったことが原因となっているものと考えられる。

なお、前述のように糖廃液を5倍希釈したものを培地として用いたが、培養開始前の糖濃度は、シュクロース65mM、グルコース101mMであり、原液としてそれぞれ111g/l、90.9g/lとなり、表1に示す組成と異なっているが、これは、糖廃液が季節的なものであるため、培養試験時新しい廃液が入手できなかったので、長期間保存したものを使用したことが原因と思われる。

図4 振トウ培養における各酵母の増殖経過

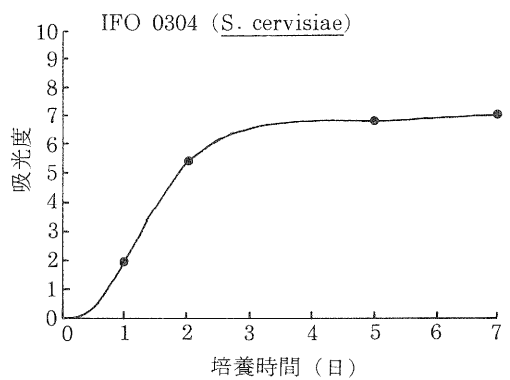
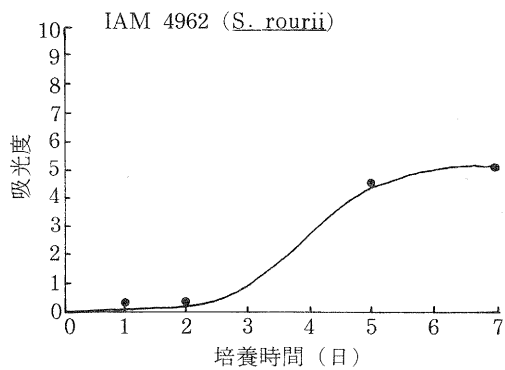
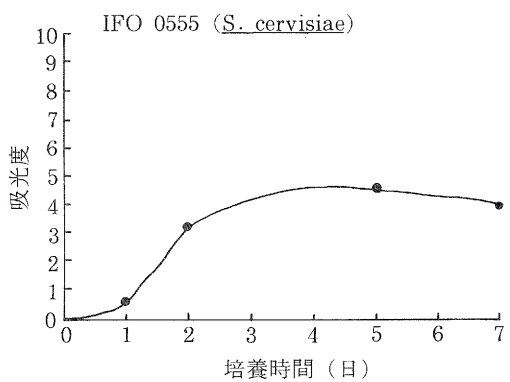
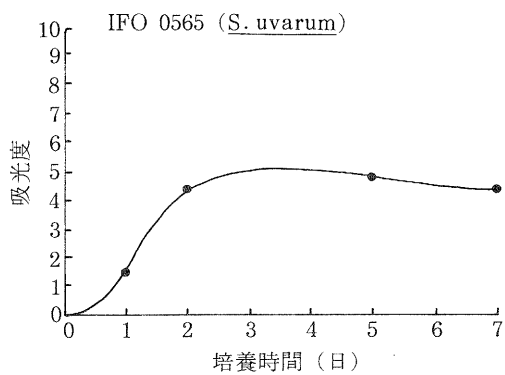
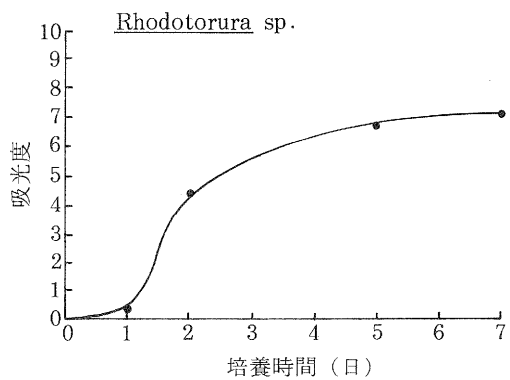
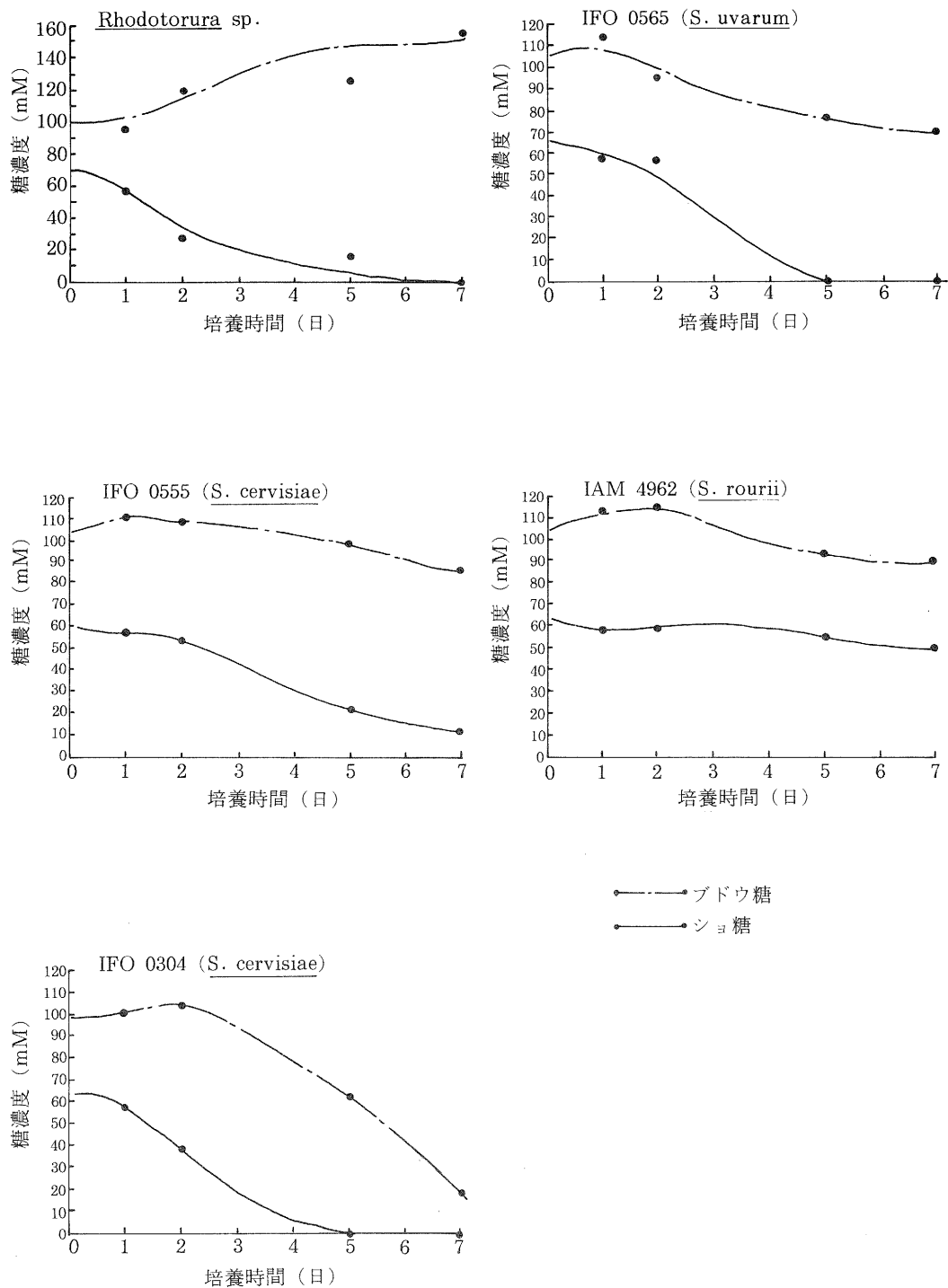


図5 振トウ培養におけるブドウ糖とショ糖の濃度変化



6. むすび

以上述べたように、酵母は糖類を資化し、その増殖にはこれらを多量に必要とするため、酵母による処理は高濃度糖廃液に適した方法と考えられる。また、一般的生物処理である活性汚泥法より菌体の分離が容易で、分離した菌体も飼料等への利用もできるので、既設排水処理へのBOD軽減を目的とした前処理としても有効と思われる。

しかし、今回は5株のみのテストで終わったため、最とも良好に増殖した*S. cerevisiae*でも糖を消費するのに約一週間を必要とした。

今後は、(a)各種酵母の糖資化能力の試験。(より資化能力の高い酵母の検索)(b)窒素以外の栄養成分の添加効果。(c)実際の処理に応用することを考慮して、開放状態での連続処理方法の検討。(糖濃度、温度、PH、溶存酸素等の条件について)(d)酵母単独処理だけでなく他の菌との混合処理。(d)本実験ではできなかった、酵母の代謝産物の分析を行い有効利用できるものがないかの検討。等について研究を進める。

参考文献

- (1) 京大農学部食品工学教室編：食品工学実験書
- (2) 秋山 裕一 編：酵母の利用と開発

バイオリアクターによる タンパク質の改質に関する研究

— 固定化プロテアーゼの性質 —

技術第二科 松本 正

あらまし：タンパク質の改質をバイオリアクターで行うのに先立ち、固定化プロテアーゼの性質を検討した。酵素はもっとも一般的なウソトリプシンを用い、アルギン酸カルシウムゲル包括法にて固定化し、酵素活性は合成基質 B A p N A を用いて測定した。

アルギン酸ナトリウムの濃度は、固定化酵素ゲルビーズ強度、固定化酵素活性の両面から、3%（最終濃度1.5%）が最適であった。また、添加酵素量は、3%W/V（ゲル中）を越えると、固定化酵素活性の増加割合は減少することがわかった。

1. まえがき

タンパク質は食品はもちろんのこと化粧品、医薬品等の素材として重要な物質であり、ゲル化能、保水性、乳化活性、起泡性等の機能特性や物性は製品の性質に重大な影響をおよぼす。

ところが、タンパク質は一般にそれを生産する生物自体にとって都合のよい構造と機能を持っているのであって、利用する者（人間）のために都合よく生産されているわけではない。したがってわれわれ人間が、食品や化粧品等の原料として用いる場合、その機能特性や物性はけっして満足できるものばかりではない。このことは、供給のされやすさという側面はあるが、数あるタンパク質のなかでも、原料として多用されるものは限られているという事実からも理解できる。

今後われわれが、未利用資源の活用や新製品の開発を推進していくためには、原料となるタンパク質の機能特性や物性を、われわれが目的とするものに改質する技術の確立が重要となる、（これは県下の関連企業の振興と技術基盤の確立のためには緊急かつ必要な課題となっている。）

タンパク質の改質方法には、化学的修飾法、酵素的修飾法、界面変性法、超高圧変性法等種々あるが、食品に応用する場合、安全性の面から酵素的修飾法、超高圧変性法等が有利である。

今回、タンパク質の改質を酵素的修飾法で行うに先立ち、効率性からそのバイオリアクター化を目指し、まずは固定化プロテアーゼの検討をした。酵素の固定化法には種々あるが、食品に応用できることを前提に食品添加物として認められているアルギン酸カルシウム（ナトリウム）ゲル包括法について、その性質を検討したので報告する。

2. 材料および実験方法

2-1 プロテアーゼ

本研究は固定化プロテアーゼの性質を把握するため実施したもので、プロテアーゼはもっとも一般的なウシトリプシン（メルク社製：粉末）を使用した。

2-2 固定化プロテアーゼの調製

アルギン酸カルシウムゲル抱括法を用いて酵素を固定化した。

Scheme-1 のとおり、アルギン酸ナトリウム（キンダ化学製）を水に溶解（0.5%~5.0%W/V）し、121℃20分間加圧滅菌処理した。これを40℃以下に自然放冷したのち、等容量の酵素液と混合し、Fig.-1 のように、0.5M塩化カルシウム水溶液中に滴下し球状のゲルを作成した。安定化のため、このまま30分間攪拌したのち、水で洗浄し固定化プロテアーゼゲルビーズとした。

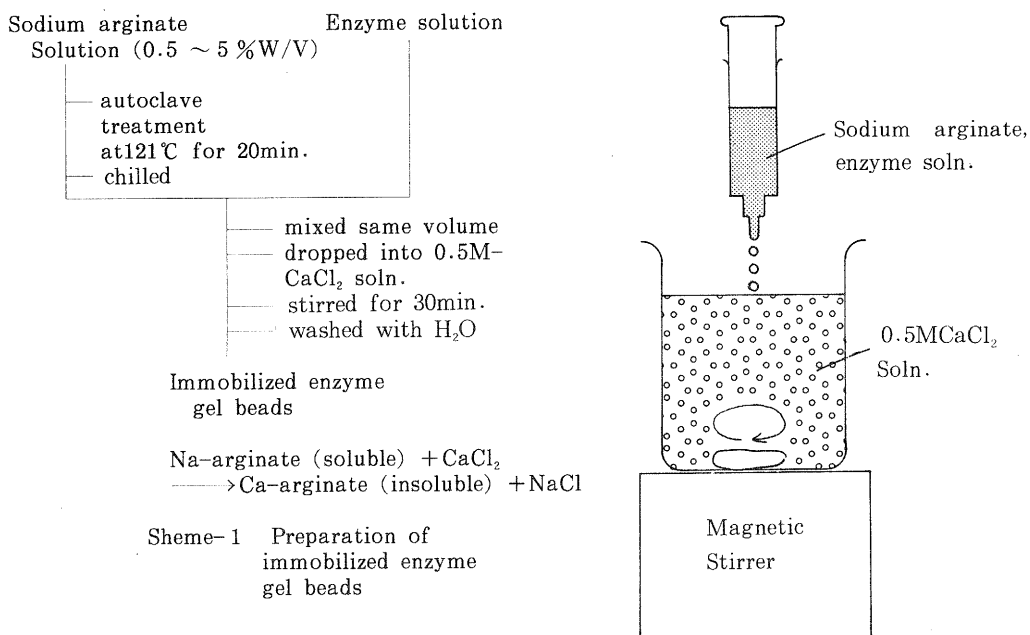


Fig-1 Preparation of gel beads

2-3 固定化担体ゲル強度の測定

(株)全研テクスチュロメータGTX-2-I N型を用い、次の条件で測定した。

- 1) プランジャー ルサイト 18mm
- 2) クリアランス 0.3mm
- 3) スピード 6回/分
- 4) レコーダ電圧 4V

2-4 酵素活性の測定

合成基質 α -N-ベンゾイル-dl-アルギニン-p-ニトロアニリド塩酸塩 (BApNA :

半井化学薬品製)を基質に、Scheme-2 のとおり活性を測定した。B A p N A の分解によって生じる p-ニトロアニリンの410nmの吸光度を1分間に1増加する酵素活性を1単位 (unit) とした。基質溶液、緩衝溶液、および反応停止溶液は次のとおり調製した。

- 1) 基質溶液 5% BApNA in Dimethylsulfoxide
- 2) 緩衝溶液 0.1 M Tris-HCl buffer, pH 8.0 in 0.01M CaCl₂
- 3) 反応停止溶液 10% Acetic acid

Enzyme, Buffer mixture (1.45ml)
 — incubated at 35°C for 10min.
 — added 50 μl of Substrate
 — incubated at 35°C for 5min.
 — added 1.5 ml of Stop solution

Absorbance at 410nm

Reaction mixture	
enzyme	0~500 μl
substrate	50 μl
buffer	to 1.5ml
stop solution	1.5ml
Total	3.0ml

2-5 固定化酵素活性の測定

Scheme-2 BApNA method

(1) 連続法

Fig.-2 のとおりバイオリアクター装置を組立て、2-4 の基質溶液と緩衝溶液を1:29の割合で混合したものを基質として運転した。あらかじめ、1.5mlの反応停止溶液を分注した試験管に流出液1.5dlを分取し、吸光度410nmを測定した。単位は2-4と同様に、1分間に吸光度を1増加する活性を1単位 (unit) とした。

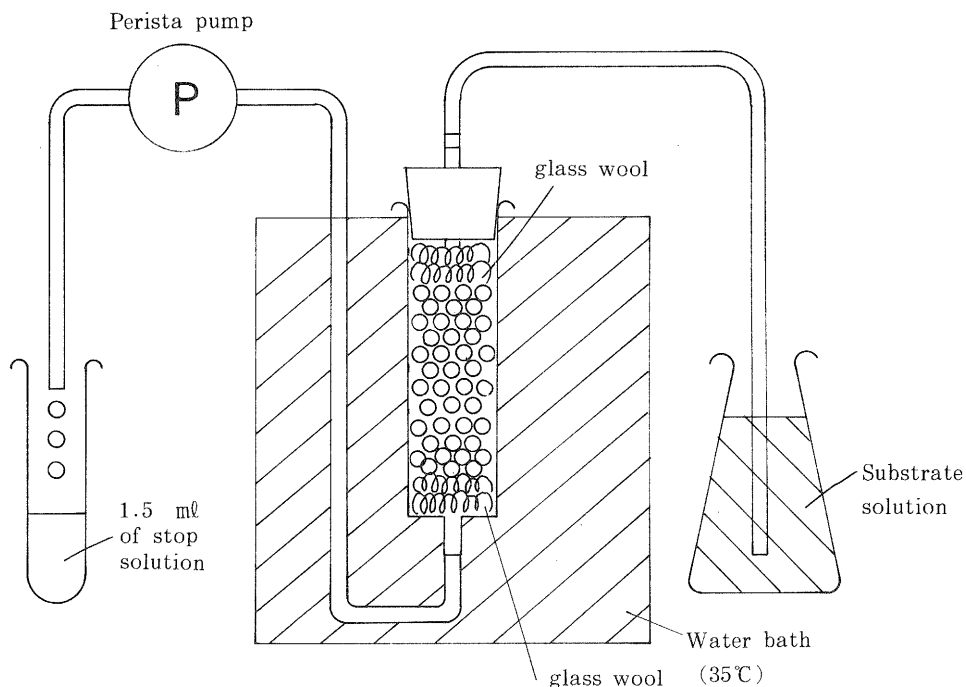


Fig-2 Bioreactor

(2) バッチ法

固定化酵素ゲルビーズ5つぶをとり、2-4の酵素のかわりに加え、(体積は0とみなす) Scheme-2に準じて酵素活性を測定した。ただし、反応時間は10分間とした。

3. 結果および考察

3-1 プロテアーゼの比活性

プロテアーゼ(ウシトリプシン)のEnzyme concentrationをFig-3に、Time courseをFig-4に示す。Enzyme concentrationは、酵素液として0.2%トリプシンを用い、反応時間5分間で測定した。Time courseは前記の酵素液0.3dl用いて測定した。プロテアーゼの比活性は、0.18Unit/gであった。

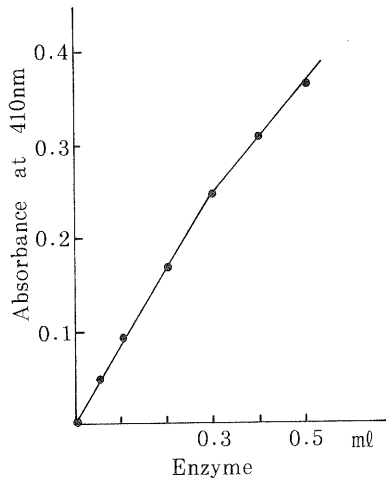


Fig-3 Enzyme concentration

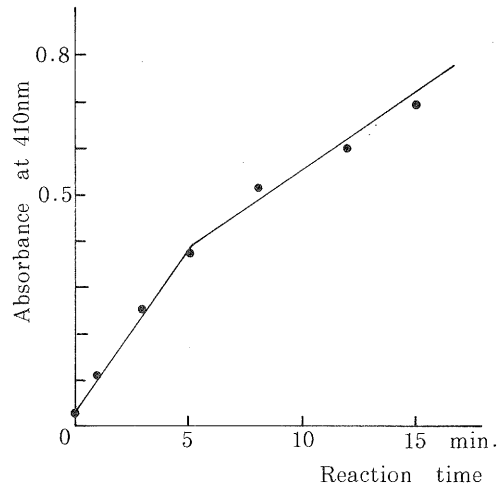


Fig-4 Time course

3-2 アルギン酸ナトリウム濃度(ゲル濃度)と固定化ゲルビーズ強度の関係

アルギン酸ナトリウム濃度と固定化ゲルビーズ強度の関係をTable-1とFig-5に示す。

アルギン酸ナトリウム濃度0.5%ではゲルは非常に弱く、手で触れただけでも壊れそうであった。濃度が増加するにつれ、3%までは急激にゲル強度も増加したが、これを越えると強度の増加は少なくなった。ゲル強度からは、酵素の固定化条件としてアルギン酸ナトリウム濃度は3%が最適であることがわかる。

Table-1
Relationship between
Na-arginate concentration
and strength of gel beads

Na-arginate concn.	diameter	Strength of gel beads
1.0%	2.5~3.5mm	18 g/mm ²
1.5	2.5~3.5	37
2.0	2.5~3.5	72
2.5	2.7~3.2	110
3.0	2.8~3.1	120
4.0	3.0	126

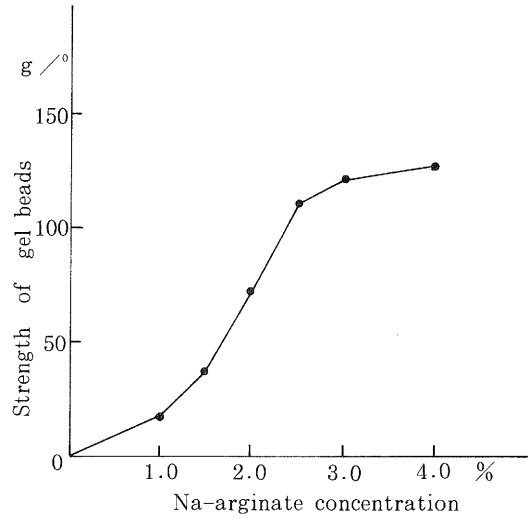


Fig-5 Relationship between Na-arginate concentration and strength of gel beads

3-3 固定化酵素量と固定化酵素活性の関係

アルギン酸ナトリウム濃度を3%にし、添加する酵素量を変化させ、固定化酵素量と固定化酵素活性の関係を調べた結果をFig-6とFig-7に示す。ゲルビーズはアルギン酸ナトリウム溶液と酵素溶液の混合液10ml分作成し、そのうち5つぶをバッチ法に、残りを連続法に使用した。

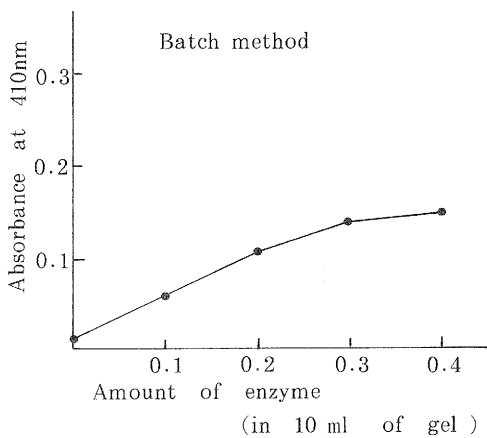


Fig-6 Relationship between amount of enzyme and activity of immobilized enzyme (Batch method)

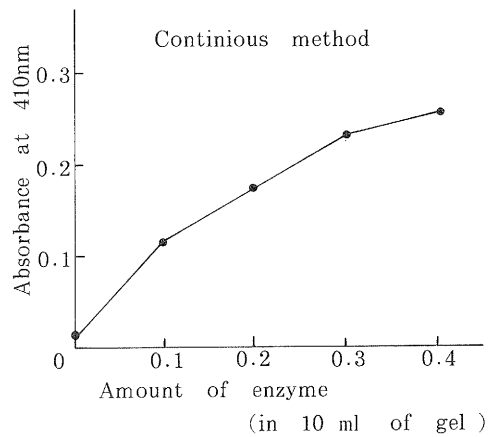


Fig-7 Relationship between amount of enzyme and activity of immobilized enzyme (Continuous method)

両測定法とも同じ傾向が出ており、添加酵素量に対し酵素活性は直線的には増加していない。これは、一定の体積のゲルビーズ中に酵素を閉じ込めているため、酵素量が多くなるほど、反応に関与できない（基質と接触できない）酵素の割合が増加するためであると思われる。

3-4 アルギン酸ナトリウム濃度（ゲル濃度）と固定化酵素活性との関係

酵素添加量をゲル10mlあたり0.3gとし、アルギン酸ナトリウム濃度と固定化酵素活性の関係を調べた結果をFig. - 8 と Fig. - 9 に示す。バッチ法、連続法とも同様の傾向が見られ、3%までは、ゲル濃度の増加とともに固定化酵素活性は増加したが、3%を越えると著しく活性が減少した。

これは、ゲルが低濃度では密度が低く、固定化のさいに酵素が漏れ、また高濃度になると密度が高くなり、ゲルビーズ中に基質が侵入しにくくなり、結果としてこのようにゲルが最適濃度を持つ結果になるものと思われる。ここでも、アルギン酸ナトリウムの最適濃度は3%となった。

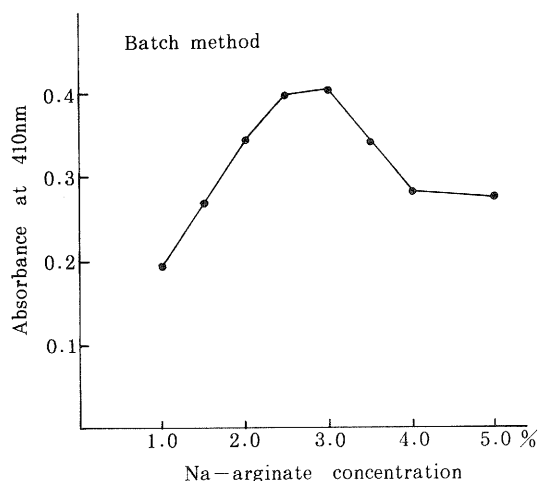


Fig-8 Relationship between Na-arginate concentration and activity of immobilized enzyme (Batch method)

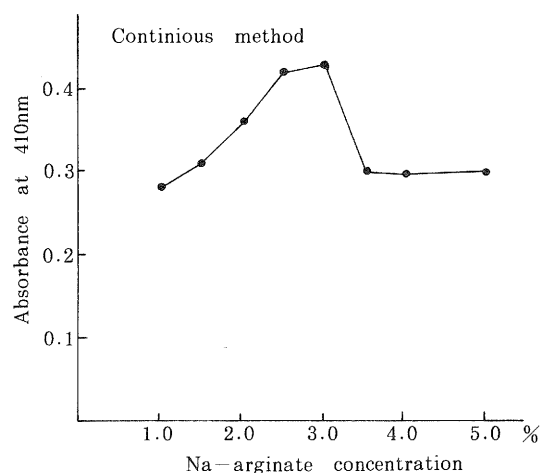


Fig-9 Relationship between Na-arginate concentration and activity of immobilized enzyme (Continuous method)

4. むすび

タンパク質の改質を固定化プロテアーゼで実施するため、固定化プロテアーゼの性質を検討し、前述のような結果を得た。

近年、バイオテクノロジーの発展に伴い、種々の酵素が大量に生産されるようになり、比較的安く供給されるようになってきた。しかし、酵素は他の試薬や原料と比べると何倍も高価であり、1反応ごとに酵素を捨てるという不経済なことは、企業経営にとってもマイナスとなり、今後も固定

化酵素研究のニーズは高まるものと思われる。また、今後は、もっと簡便なしかも効率的な固定化方法が望まれるものと思われる。

ところで、初期の目的であるタンパク質の改質にまでは触れられなかったが、今後は、今回検討した固定化プロテアーゼ法を用い実際のタンパク質の改質に取り組む予定である。

また、まえがきにも述べた超高压変性法が、ここ1年ぐらいの間に急速に注目を浴びており、本方法についても検討を加えていく予定である。

参考文献

- (1) 日本食品工業学会編 食品工業における科学・技術の進歩 光琳

工業技術センター研究報告

第 1 号

昭和62年 9 月 印刷発行

発行 滋賀県工業技術センター
滋賀県栗太郡栗東町上砥山232

印刷 サンライズ印刷株式会社
彦根市鳥居木町655-1