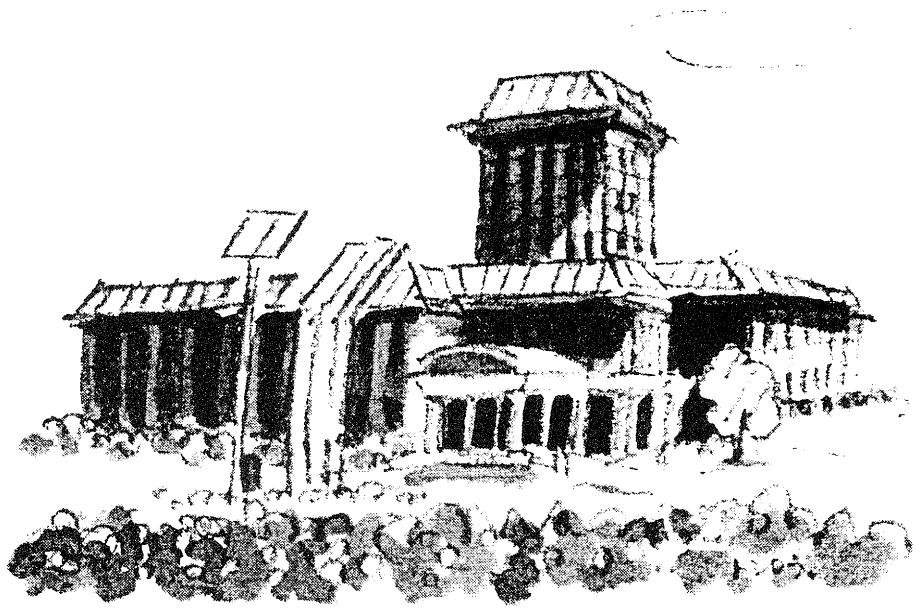


ISSN 0914-3750
CODEN:RIRPE5

REPORTS
OF
THE
INDUSTRIAL
RESEARCH
CENTER
OF
SHIGA
PREFECTURE

1988 研究報告

滋賀県工業技術センター



新緑の工業技術センター

目 次

研 究 報 告

1. カラー画像を用いたプリント基板検査の自動化に関する研究
 櫻井 淳 1
2. ロボットシミュレータの研究開発
 川崎 雅生 11
3. コンピュータシミュレーションによる電気機器設計の高度化に関する研究
 井上 嘉明、川崎 雅生、月瀬 寛二、饗場 徹、北村 慎悟 17
4. モーダル解析法の実用化研究
 月瀬 寛二、河村安太郎、田尻 祥子、岡野 公 31
5. 赤外レーザを用いた距離測定機の試作
 河村安太郎 39
6. 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
 井上 栄一 53
7. 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
 那須 喜一 59
8. 炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の“ぬれ性”に関する研究
 山中 仁敏 63
9. セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性向上について
 西内 廣志、今西 康博、種岡 一男 69
10. 高圧を利用した食品の新しい加工・保存技術の開発に関する研究
 松本 正 77
11. 食品加工工場からの高濃度糖廃液の有効利用に関する研究
 矢田 稔 93
12. 低塩漬物の保存性向上のための殺菌法としての高圧利用について
 矢田 稔 97
13. デザイン手法の高度化に関する研究
 野上 雅彦 103

技 術 開 発 ノ ー ト

1. 相談・指導記録処理システム、図書管理システムの開発
 システム開発チーム 111

研 究 報 告

1. カラー画像を用いたプリント基板検査の自動化に関する研究
ーカメラおよび試料テーブルの制御と良品基板のティーチング法についてー
櫻井 淳
2. ロボットシミュレータの研究開発
ー障害物検出のための高速アルゴリズムー
川崎 雅生
3. コンピュータシミュレーションによる電気機器設計の高度化に関する研究
ー有限要素法による単相誘導電動機の磁界解析ー
井上 嘉明、川崎 雅生、月瀬 寛二、饗場 徹、北村 慎悟
4. モーダル解析法の実用化研究
ー振動機械における応力挙動シミュレーションの研究（その2）ー
月瀬 寛二、河村安太郎、田尻 祥子、岡野 公
5. 赤外レーザを用いた距離測定機の試作
河村安太郎
6. 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
ー耐光試験をした高分子フィルムの劣化程度の超音波速度による評価についてー
井上 栄一
7. 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
那須 喜一
8. 炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の“ぬれ性”に関する研究
ー液晶ピッチ系炭素繊維の表面状態がCFRPの材料力学的性質におよぼす影響についてー
山中 仁敏
9. セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性向上について（経過報告）
西内 廣志、今西 康博、種岡 一男
10. 高圧を利用した食品の新しい加工・保存技術の開発に関する研究
松本 正
11. 食品加工工場からの高濃度糖廃液の有効利用に関する研究
矢田 稔
12. 低塩漬物の保存性向上のための殺菌法としての高圧利用について
矢田 稔
13. デザイン手法の高度化に関する研究
ーデザイン開発における2次元手法に関する研究ー
野上 雅彦

カラー画像を用いたプリント基板検査の 自動化に関する研究

—カメラおよび試料テーブルの制御

と良品基板のテーチング方法について—

技術第一科 櫻 井 淳

あらまし：製品が複雑、高度化し、生産速度が高まっている現在、製品の検査工程において、従事者の目視による検査では対応出来ない場合が多くなっている。目視検査の生理的、精神的負担も大きく、現実に視力低下の問題や精神的ストレスの増加の問題などを引き起こしている。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、カラー画像処理を応用して、プリント基板検査を自動化する方法を研究している。61, 62年度の研究成果に基づいて、本年度は、カメラのズームおよび試料テーブルを制御することにより、検査に用いる良品基板の部品情報の教示を容易に行えるシステムの開発を試みた。

カメラのズーム及び試料テーブルをパソコンで制御することにより、プリント基板上の任意の位置の画像をより明確にメモリーに取り込むことが可能になり、またマウス操作により一連に部品情報をパソコンに入力することが出来た。

1. まえがき

生産工程における多くの作業がロボット導入など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できなくなってきた。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、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こしている。

そこで、人間の目の代わりにカメラで行い、大脳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、この様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た。前回までの報告⁽¹⁾では、プリント基板画像から、目標のIC部品領域を抽出する手法、ICの実装方向の判別法、コンデンサーや抵抗などの抽出法、さらに、自動検査のための部品の基準情報の登録法について検討を行った。

今回は、カメラのズームおよび試料テーブルといった周辺ハードウェアをパソコンにより制

御することにより、マウスにより指示された検査位置の画像を、テーブルの移動およびカメラのズーム調節を行うことによって、より詳細に入力出来るようにし、部品情報の登録をマウスを使って簡易に行えるようにした。

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/DA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ITC-350Mとキャノン（製）レンズJ15×9.5により構成されている。このカメラを、プリント基板の上部約40cm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。また、ズーム機構は、DCモーターで駆動している。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、プリント基板の斜め上（垂直軸）に対して約30°の角度4方向から250Wランプ4灯により照射している。

(3) カラーTVモニタ

カラーTVモニタは、三菱電気（製）C-

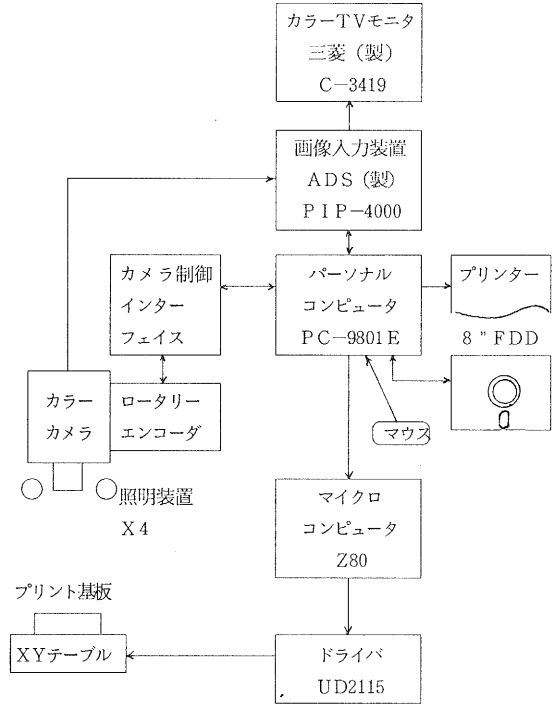


図2-1 画像入力装置構成図

表2-1 カラー画像入力装置仕様

(1) 画像入力装置 (A. D. S. (製) PIP-4000)
CPU: Z80
プログラムメモリ: 32 Kバイト
データメモリ: 16 Kバイト
AD/DA変換器: 8ビット
画像メモリ: R, G, B画像 各512V×512H×8ビット
(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、周辺部450本以上
レンズ (Canon (製) J15×9.5) スム比: 15×
照明装置 (機エス・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: V30
メモリ: 640 Kバイト
HDD: 10 Mバイト
言語: C, アセンブラー

3419を用い、入力画像の調整用モニタ、あるいは、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-9801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のメモリに取り込み、C言語によりデータ処理を行う。画像入力装置の制御は、装置に付属のアンセンブラーサブルーチンをコールして行っている。

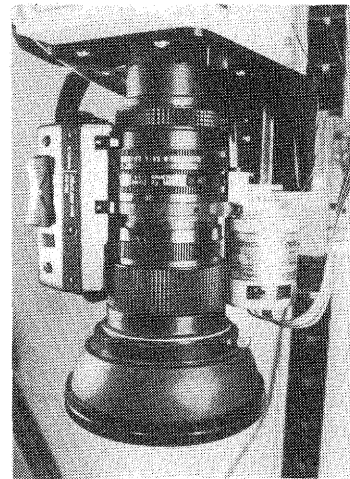
3. カメラのズーム制御装置の試作

3-1. ズーム機構の回転位置読み取り措置

カメラのズーム機構は、カメラ部の手動ズームスイッチによりDCモーターを駆動させズームレンズを回転させることにより行う構造になっている。ズームレンズの最大回転量は、約90°であり最大15倍までの拡大が可能である。

今回、この機構をパソコンにより制御できるようにするため、ズームレンズの側面にロータリーエンコーダを取り付け、ズーム機構の回転位置を読み取ることによりズーム調節を行えるようにした。エンコーダの選定には、回転位置が絶対値で精度良く読み取れるように、小型でアブソリュートタイプ、10ビットのものを使用した。また、約90°のズーム機構の回転量をエンコーダの約1回転の回転量として伝えるため、レンズ側面に、歯数50と歯数80の歯車を取り付けた。

写真(1)に、その構成を示す。



写真(1) ズーム機構の回転位置読み取り装置

3-2. ズーム機構制御用インターフェイス回路⁽²⁾

図3-1に、ズーム機構制御用インターフェイス回路の構成を示す。

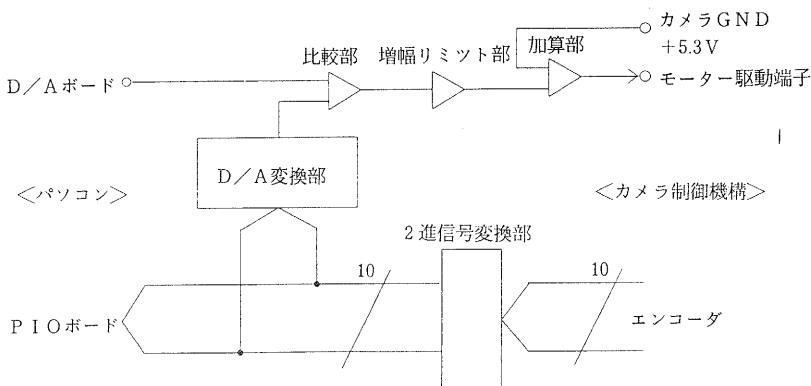


図3-1 ズーム機構制御用インターフェイス回路の構成

エンコーダから出力される10ビットのグレイ2進信号は、2進信号変換部で純2進に変換し、12ビットのD/A換器の上位10ビットに投入し、アナログ変換している。下位の2ビットは、使用せずGNDに接続している。

アナログ変換された回転位置のデータは、パソコンのD/Aボードにより送られて来るズーム機構の回転位置の指令値(0~10V)と差動アンプで比較され、モーターの回転方向、および駆動速度を示す電圧信号(-10~+10V)に変換される。

次に、この電圧信号は、増幅および電圧リミット部で27倍に増幅された後±10Vにリミットされる。

この回路は、回転指令値と現在の回転位置との差が小さい場合、前段で比較され出力されるモーター駆動電圧が小さくなり、ズーム機構の回転部の負荷抵抗等により正しい位置までの回転か出来なることを防止している。また、同時に駆動電圧の増幅によりモーターの回転速度を上げ目的位置までの回転移動時間を短くしている。±10VのリミッタはDCモーターの駆動信号端子に一時的に高電圧が掛かるのを防止している。

次に、カメラ回路系のGNDが、外部GNDより+5.3V高いため、加算アンプで信号の補正を行い、カメラのモーター駆動信号端子に入力しモーターを駆動させている。

この制御回路は、閉ループで構成されており、回転位置が指令値と一致するまで、スピード制御によりモーターを駆動させる構造になっている。

また、今後、この制御系の補正をパソコンの内部でも出来るようにするため、ズーム機構のレンズ回転位置のデータは、P I O ボードによりパソコンに取り込んでいる。

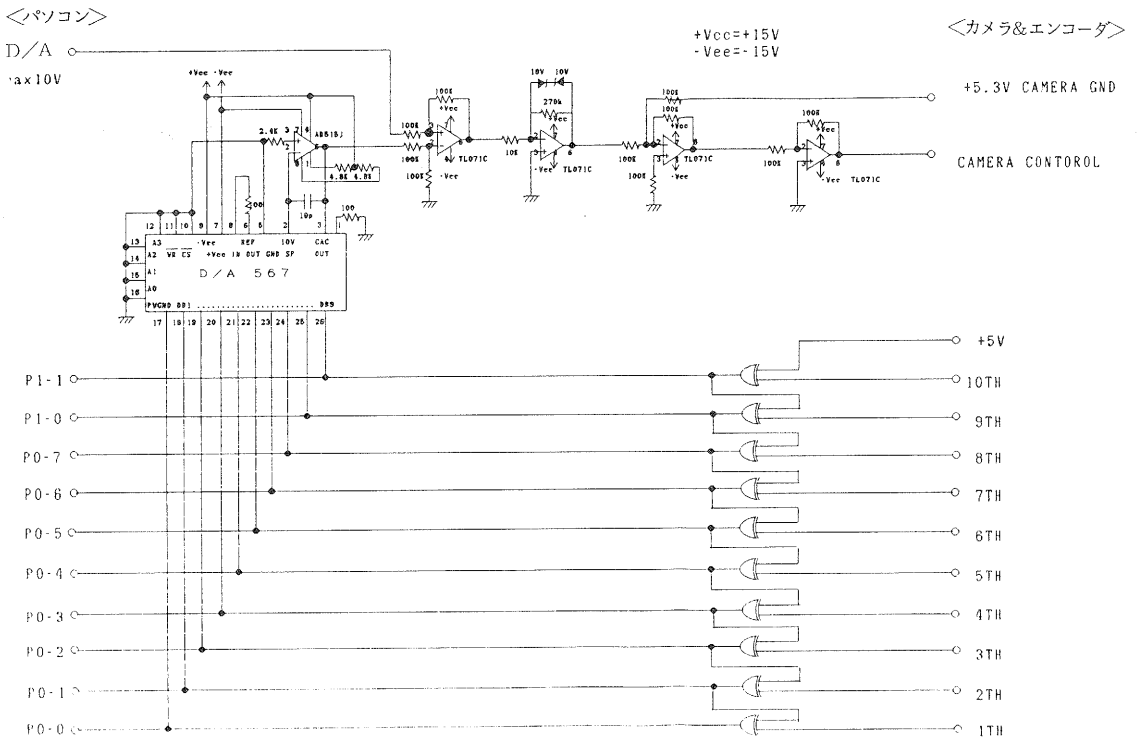


図3-2 ズーム機構制御インターフェイス回路

図3-2、図3-3に、ズーム機構制御のインターフェイス回路および2進信号変換回路を示す。

実験の結果、増幅およびリミット回路を追加することにより、回転指令値に対して、正確かつ高速にズームレンズをコントロールすることが可能であった。精度面で多少問題の残る点は、歯車部の遊びにより起こる誤差である。

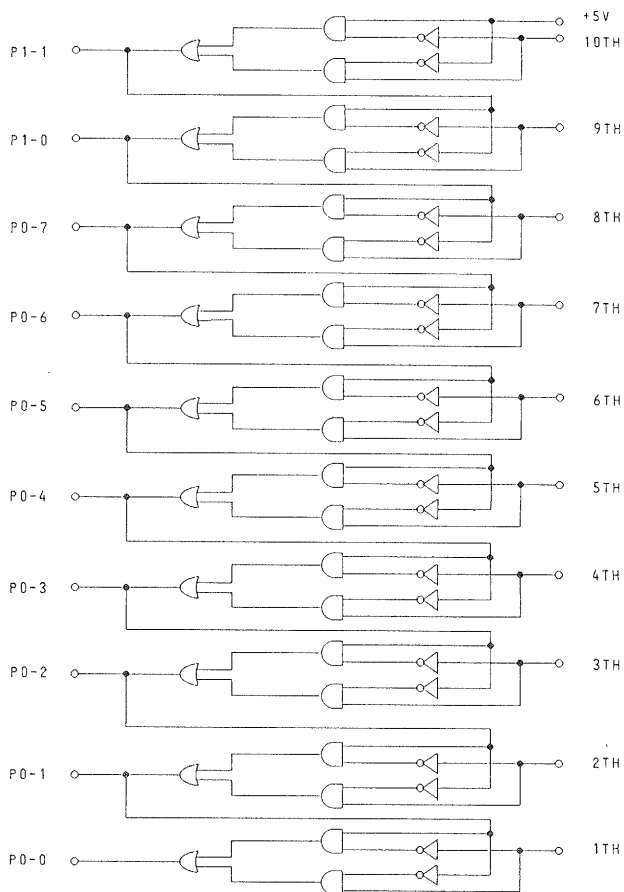


図3-3 2進信号変換回路

4. 試料テーブル制御装置の試作

基板上の任意の位置を拡大して入力するためには、先ず、その位置を正確にカメラの下に移動させなければならない。そのため、XYテーブルを用いて、パソコンにより試料テーブルを自由に移動させることが出来る装置を試作した。

4-1. ハードウェア構成

試料テーブルの移動の間にもパソコンでは常時データ処理が出来るように、テーブルの制御には、専用の1ボードマイコンを用いた。また、試料テーブルの駆動用モーターには、パルス数により移動量を指示できるステッピングモーターを使用した。

XYテーブルは、一軸200mmのストロークを有し、約150×150mmのプリント基板の全領域を、カメラの中心に移動できる。また、テーブル駆動用モーターは、専用ドライバー、オリエンタルモーター(株)UD 2115を2個用い駆動している。

図4-1に、その構成図を示し、表4-1に仕様を示す。

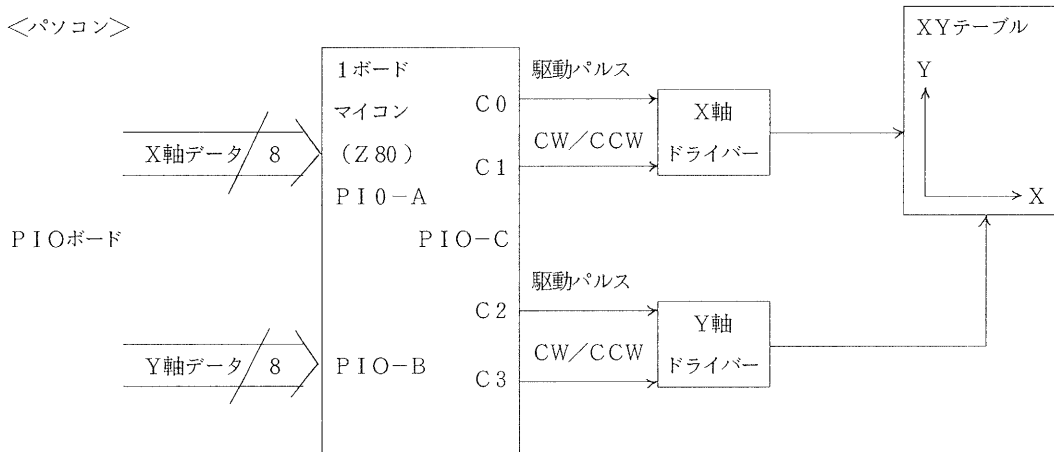


図 4-1 テーブル制御装置構成図

表 4-1 テーブル制御装置仕様

(1) CPUボード
CPU : Z 80 A (4 MHz)
ROM : 2764 × 1
RAM : 6116 × 1
PPI : 8255 × 1
(2) ドライバ (UD 2215, オリエンタル (製))
駆動方式 : ユニポーラ定電流方式
駆動容量 : トータル 1 ~ 3 A
ステップ角 : フルステップ 1.8° / ステップ ハーフステップ 0.9° / ステップ (2 相励磁)
(3) XYテーブル
駆 動 : 2 相パルスモータ PH-268-21 オリエンタル (製)
スライド : リニアウェイ
送りネジ : ボールネジリード 4 mm
ストローク : 200 mm
ドライバ (オリエンタル (製) , UD 2115)
(4) PIOボード
入出力形式 : 非絶縁 TTL レベル
入出力点数 : 24 + 24 点

4-2. ソフトウェア構成

パソコンから X 軸、Y 軸の移動指令値を与えると、テーブル制御用マイコンでは、現在位置と比較して移動方向及び移動量を計算し、そのパルス量を 8255 によりステッピングモーター駆動用ドライバーに送ることにより、テーブルを制御する構成になっている。

マイコンの8255は、表4-2の様に設定している。特に、表4-3に示す様にドライバーに信号を送るCポートは、下位4ビットを2つのドライバーの駆動用パルスおよび回転方向用パルスとして共用して使用している。

表4-2 8255設定(モード0)

ポート名	アドレス	入出力	用途
Aポート	0F8H	入力	Xテーブル移動位置データ
Bポート	0FAH	入力	Yテーブル移動位置データ
Cポート	0F9H	出力	ドライバー駆動パルス

表4-3 ドライバー駆動パルス信号

信号	用途
C0	X軸モーター駆動パルス
C1	〃 回転方向
C2	Y軸モーター駆動パルス
C3	〃 回転方向

試料テーブルの駆動は、パソコンから移動命令により2軸同時に移動するようにしている。また、ステッピングモーターを高速回転させる場合、駆動開始、停止時に起こる脱調を防ぐため、台形波制御によりスピードコントロールを行っている。

図4-2に、試料テーブル制御用プログラムのフローチャートを示す。

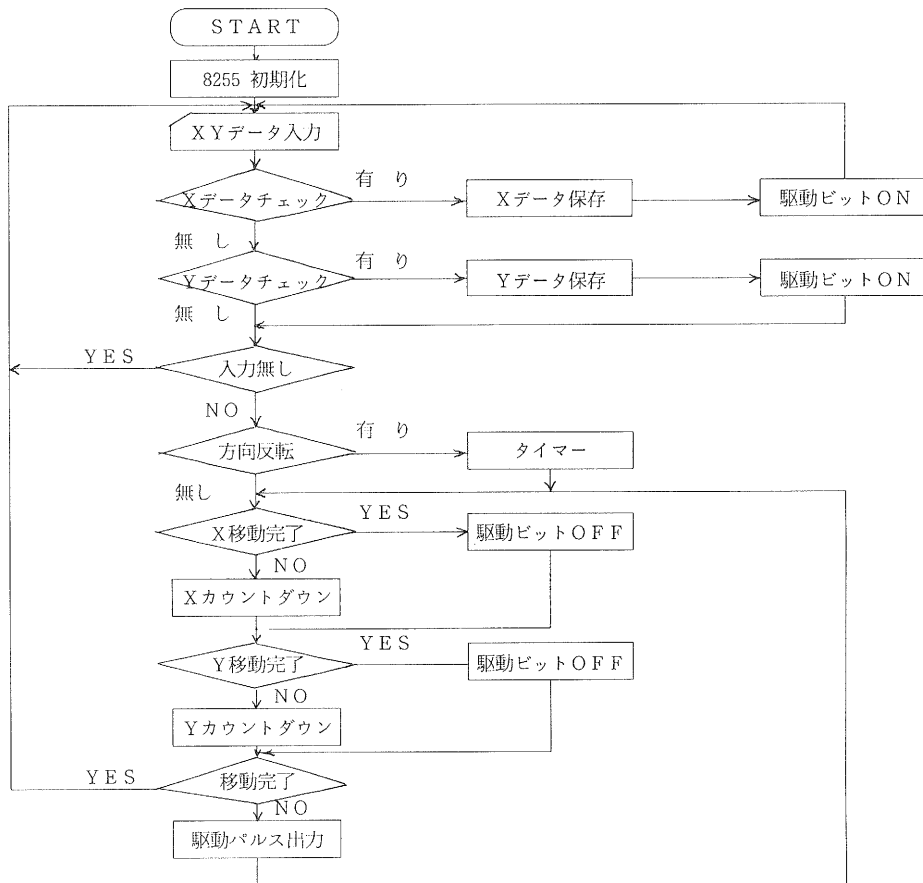


図4-2 試料テーブル制御用プログラムフローチャート

5. 良品基板のティーチング

基板検査を行うためには、先ず良品基板の部品情報を登録しておかなければいけない。この装置では、マウス、およびキーボード入力により一連に部品登録が出来る様にしている。

5-1. マウスによる画像ポイントの指示

モニターに写し出される画像データは、512×480画素である。その画像上にカーソルを表示し、マウスによりカーソル位置の移動、カーソルサイズの設定を行う。また、その位置情報を、パソコンを介して1ボードマイコンに送ることにより、試料テーブルを移動させカーソル位置の画像をカメラの中心に移動させる。

5-2. ズーム倍率の初期化およびテーブル移動量の設定

ズーム倍率は、初期倍率に対し最大8倍まで拡大が出来るように設定している。初期倍率の設定は、電源電圧等が多少変動した場合にでも、モニタに写しだされた画像サイズが常に0.315mm/ドットになるよう、キーボードから数値を入力し設定する。

テーブル駆動用ドライバーに送信するパルス数の設定は、パルスモーターをハーフステップ(0.9°/パルス)で使用時、1パルス当り0.01mmの移動量になるため、制御用マイコンにより1ドット移動命令当たり63/2個のパルス数を発生させ、テーブルを0.315mm移動させる。これにより、モニター上で指示した移動量とテーブルの移動量が常に一致するようにしている。

5-3. ズーム倍率および位置補正

ズーム倍率は、入力する対象物に合わせ1倍、2倍、8倍に設定している。倍率変更に伴い起こるカメラの中心点のずれを補正をするため、各倍率ごとに補正值を設定しておき、それによりテーブルを微小移動させカメラの中心点のずれを補正している。

5-4. 良品基板のティーチング方法

基板のティーチングは、上述の処理を用い全てマウス操作およびキー入力操作で行い、得た情報を部品情報として登録する。

処理の流れを図5-1に示す。まず、電流投入後、カメラ倍率の初期設定を行う。部品登録は、IC、コンデンサー、抵抗のカラーコードごとに行い、カメラ倍率を、それぞれ1倍、2倍、8倍に設定し画像を入力する。登録手順⁽¹⁾は、先ず登録するの部品の色を数え、その情報により部品的位置、サイズ、形状、方向の情報を自動抽出し、基準倍率入力時の画素サイズで、部品情報としてパソコンに登録する。また、登録済みの部品については、モニタ画像上の部品位置に形状を表示し、確認が出来るようにしている。

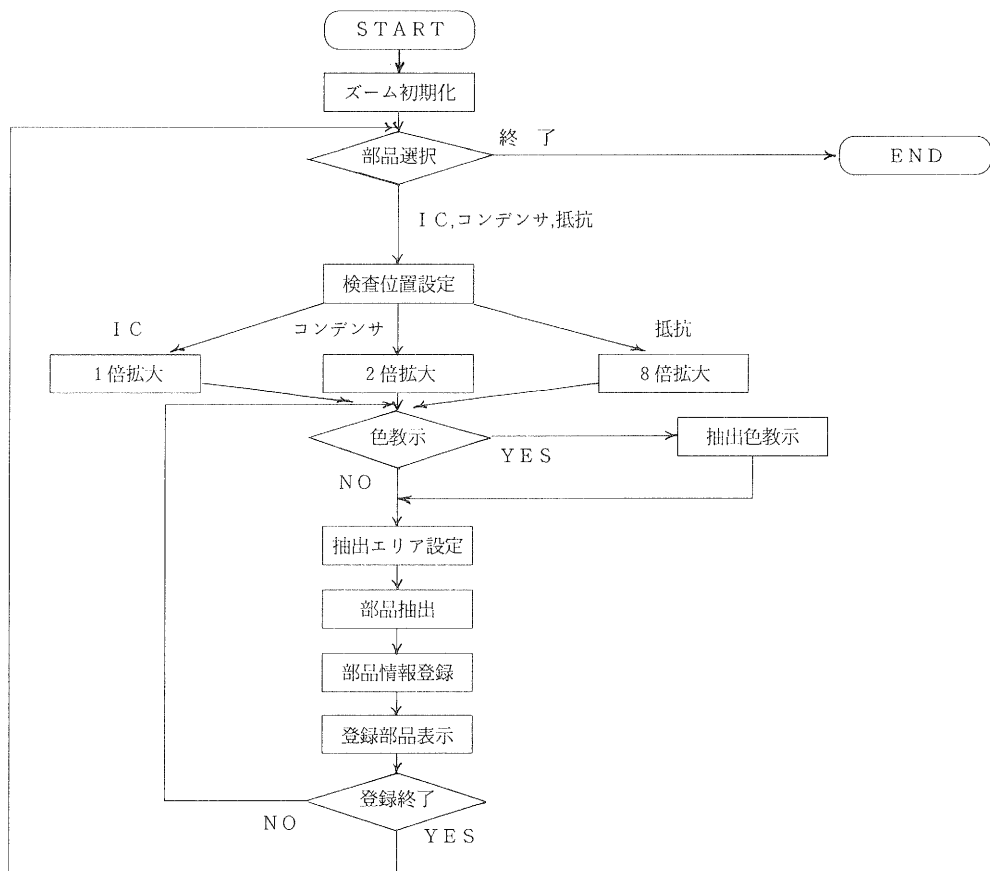


図5-1 良品基板のティーチング方法

6. むすび

本文においては、カラー画像を用いてプリント基板上の部品検査の自動化を行うため、検査に用いる良品基板の部品情報の教示方法について検討を行った。

カメラのズームングおよび試料テーブルをパソコンにより制御することにより、教示操作をマウス、およびキーボードにより一連に行うことが出来るシステムを作成した。また、入力倍率を制御することにより、IC部品、コンデンサー、抵抗等の小さな部品の情報を以前より正確に取り込むことが可能になった。

今後は、この装置により取り込んだ良品基板の部品情報を用い、テスト基板の部品の自動検査を行う機能を追加し、実際の基板について検査を試みて行く予定である。また、次の階段としては、IC上の文字の検査についても検討を加える予定である。

謝辞 本研究について御指導頂いた渡部透研究参与（立命館大学理工学部教授）と井上絃一研究参与（京都大学工学部教授）に感謝します。

[参考文献]

- (1) 櫻井 淳：昭和62年度滋賀県工業技術センター業務報告、1－6
- (2) 角田秀夫：オペアンプの基本と応用 東京電機大学出版局

ロボットシミュレータの研究開発

－障害物検出のための高速アルゴリズム－

技術第一科 川崎雅生

あらまし：ロボットに動作を教示する場合、ティーチング作業の効率化のためには、オフラインティーチングシステムが有効と思われる。オフラインティーチングにおいては、教示動作の確認が十分にできることが重要なポイントである。つまり、教示動作の確認が十分でないと、ロボットが作業する際、作業環境と予期しない接触をして事故が発生する。そこで、本年度は、ロボットと障害物とのぶつかりをシミュレーション上で検出する方法を研究し、ロボットシミュレータに組み入れることを行ったので、その結果を報告する。

1. まえがき

産業分野において、多品種少量生産に対応して、ロボットを効率的に使用するためには、オフラインでの動作教示が重要となってきた。オフラインで動作教示を行う場合、ロボットシミュレータで、ロボットが実際に動作できるかどうかを確認する必要があるが、それと同時に、安全に作業を行えるかも確認する必要がある。つまり、ロボットシミュレータは、ロボットと作業環境がぶつかるかどうかを検出する（以下、干渉チェックと呼ぶ）機能を持っている必要がある。

本年度は、干渉チェックのアルゴリズムについて調査研究し、パソコン上で開発したロボットシミュレータに組み込むことを行った。

2. 干渉チェックのためのアルゴリズム

2-1 従来 방식

干渉チェックのためのアルゴリズムとして各種の方法^{1)~6)}が提案されているが文献 1, 2 の方法は、作業ワークの容量と処理速度の面で比較的高速なコンピュータが前提であり、パソコン向きではない。

パソコンでも利用できる方法としては、

- (1) ロボット・障害物を直方体で近似して、直方体の中心間距離を調べ、干渉の可能性がある場合は、直方体を細分化して必要な精度まで繰り返し調べる方法（尾崎氏ら³⁾）
- (2) ロボット・障害物を円柱・円柱、円柱・円錐、円柱・部分平面に近似して、円柱の性質を利用して、調べる方法（小沢氏ら⁴⁾）

などがある。どちらの方法も、高速に干渉を検出できるが、ロボットと障害物を部分平面で近似する必要がある場合には、適用できない。

文献5の方法は、ロボットと障害物を直方体近似し、メッシュに分割して、その共有点の有無を判定する方法で、専用のコンピュータで実現することが前提となっている。

2-2 高速干渉チェックの提案

本研究では、ロボットの外形を三角形で、障害物を三角形及び平行四辺形で多面体近似し、三角形と三角形（平行四辺形）の位置関係を解析的に求めることで干渉の有無を判定する方法を考案した。

この方法の特徴は、

- アルゴリズムが簡単（FORTRANで400ステップ程度）
- 作業ワークが少量
- 処理速度が対象物の大きさに無関係（処理速度は形状に依存）

であり、パソコンで十分利用できる。以下にその手順と方法を述べる。

図1において、2つの三角形 i , j の山頂点のベクトルを、それぞれ r_{i1} , r_{i2} , r_{i3} , r_{j1} , r_{j2} , r_{j3} とし、

$$a_i = r_{i2} - r_{i1} \quad (1-1)$$

$$b_i = r_{i3} - r_{i1} \quad (1-2)$$

$$c_j = r_{j2} - r_{j1} \quad (1-3)$$

$$d_j = r_{j3} - r_{j1} \quad (1-4)$$

$$R_{j1} = r_{j1} - r_{i1} \quad (1-5)$$

$$e_i = a_i * b_i \quad (1-6)$$

$$e_j = c_j * d_j \quad (1-7)$$

$$r = e_i * e_j \quad (1-8)$$

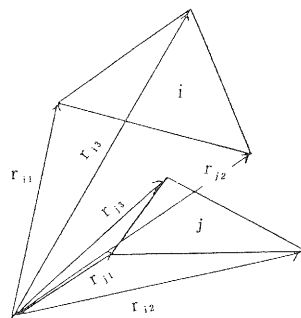


図-1 三次元空間上の2つの三角形

とおく（*は、ベクトルの外積）。

(1) 2つの三角形が平行かどうかの判定を行う（ $|r| = 0$ なら平行と判定する）。

— 平行でない場合 —

三角形を含む2つの平面は交線 L を持つことと、その交線 L にどちらか一方の三角形が交じわらない場合（接触しない場合を含む）には、共有点が無い（干渉しない）ことを前提として

(2) 一方の三角形を含む平面で空間を2分し、2分された空間の一方を正、他方を負とした時、残りの三角形の各頂点の符号が全て同じ場合、干渉しないと判定する。

つまり、

$$-R_{j1} \cdot e_j \quad (2-1)$$

$$(a_i - R_{j1}) \cdot e_j \quad (2-2)$$

$$(b_i - R_{j1}) \cdot e_j \quad (2-3)$$

が、全て正か負の時干渉しないと判定する。（ \cdot は、ベクトルの内積）。

他方の三角形についても同様にチェックする。

$$R_{ji} \cdot e_i \quad (2-4)$$

$$(c_j + R_{ji}) \cdot e_i \quad (2-5)$$

$$(d_j + R_{ji}) \cdot e_i \quad (2-6)$$

(3) (2) で判定できなかった場合は、2つの三角形が交線Lと交わる（接触する）のでその交点の位置関係により干渉の有無を、判定する。

交線Lの式をベクトルで表現すると、

$$R = R_0 + s r \quad (2-7) \quad (\text{ただし、} R_0 \cdot r = 0)$$

となり、交点の位置関係は、sを使って表すことができる。

図1の三角形の一边を含む直線と(2-7)の交点のsは、たとえば

$$r_i + Ca_i = R_0 + s r \quad (2-8)$$

を解けば求まる。

(2-8)は、 $a_i \cdot e_j$ が0でないとき、

$$C = (R_{ji} \cdot e_j) / a_i \cdot e_j \quad (2-9)$$

となり、 $0 \leq C \leq 1$ のとき三角形の一边が交線Lと交わる。

このとき、

$$S = s |r|^2 = r_i \cdot r + Ca_i \cdot r \quad (2-10)$$

である($s |r|^2$ をSとおく)。

$a_i \cdot e_j$ が0のとき、この一边と交線は平行か一致するが、他の2辺について調べれば、干渉チェックが判定できるので、交点無しとしてもかまわない。

このようにして、2つの三角形のSを求め、それぞれのSの最大と最小を、 S_{imax} , S_{jmax} , S_{jmin} としたとき、

$$S_{imax} < S_{jmin} \quad (2-11)$$

$$S_{jmax} < S_{imin} \quad (2-12)$$

のどちらかが成り立てば、干渉しないと判定する。どちらも成り立たないとき、干渉すると判定する。

— 平行な場合 —

(2) 2つの三角形が、同一平面上に無い場合は、干渉しないと判定する。

つまり、

$$R_{ji} \cdot e_i \neq 0 \quad (3-1)$$

のとき、干渉しないと判定する。

- (3) 同一平面上に有る場合、一方の三角形の内部に他方の三角形の頂点が含まれる場合は、干渉すると判定する（他方の三角形についても同様）。

たとえば、 R_j が三角形 i に含まれるかどうかは、

$$R_j = R_i + c_1 a_i + c_2 b \quad (3-2)$$

を、解けばよい。

(3-2)を解くと、

$$c_1 = (R_{ji} \cdot b_i) \cdot e_i / |e_i|^2 \quad (3-3)$$

$$c_2 = (R_{ji} \cdot a_i) \cdot e_i / |e_i|^2 \quad (3-4)$$

となり、 $0 \leq c_1$, $0 \leq c_2$, $0 \leq c_1 + c_2 \leq 1$ のとき、 R_j は、三角形 i に含まれるので、干渉すると判定する。他の頂点についても調べる。

- (4) (3)で判定できなかった場合は、2つの三角形の各辺の交点を求め、その有無により干渉の有無を、判定する。

たとえば、ある2辺の交点をもとめる式

$$R_i + n a_i = R_j + m c \quad (3-5)$$

を解くと、 $a_i \cdot c_j$ が0でないとき

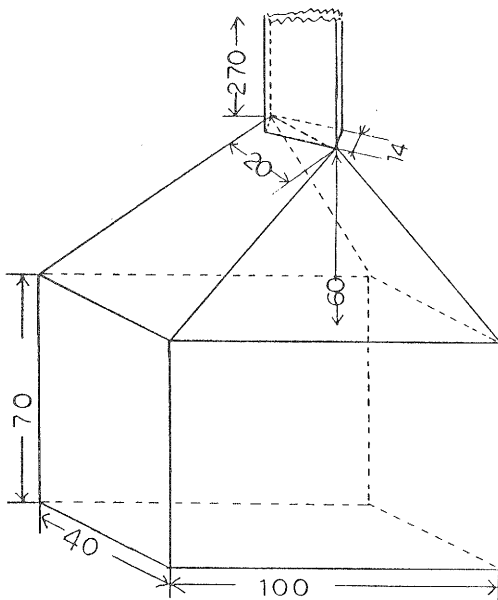


図2 干渉チェックに用いた手先形状

表1 処理速度の比較

チェックの方法	文献5	本報告
要素数	2023メッシュ*	13面×10面
処理時間/要素	595 μ sec**	1.3msec
全処理時間	1.2sec	0.17sec

* 図2の表面積が約506 cm^2 なので5 mm^2 のメッシュに分割した。

** PC98XLの四則演算と判断文が、FORTRANで32, 32, 32, 44, 55 μ secとして計算した。

$$n = (R_{ji} \cdot c_j) \cdot e_i / (a_i \cdot c_j) \cdot e_i \quad (3-6)$$

$$m = (R_{ji} \cdot a_i) \cdot e_i / (a_i \cdot c_j) \cdot e_j \quad (3-7)$$

となり、 $0 \leq n \leq 1$ 、 $0 \leq m \leq 1$ のとき、交点を有するので、干渉すると判定する。同様にして、他の辺についても調べ、交点が無い場合は、干渉しないと判定する。

3. 高速干渉チェックの評価

2に述べた方法の評価をするために、文献5の方法と比較してみる。文献5の方法は、専用のハードを前提としているが、パソコンでも応用できる方法であり、適用範囲を直方体以外にも広げて、部分平面と部分平面との干渉チェックにも応用できると思われる。

図2のロボットの手先形状に対して、この方法と文献5のメッシュに分割する方法を拡張解釈した方法との処理速度の比較を行ったところ、表1のようになった。

シミュレーション時に干渉を検出して、ロボットの動作が停止した例を、図3、図4に示す。

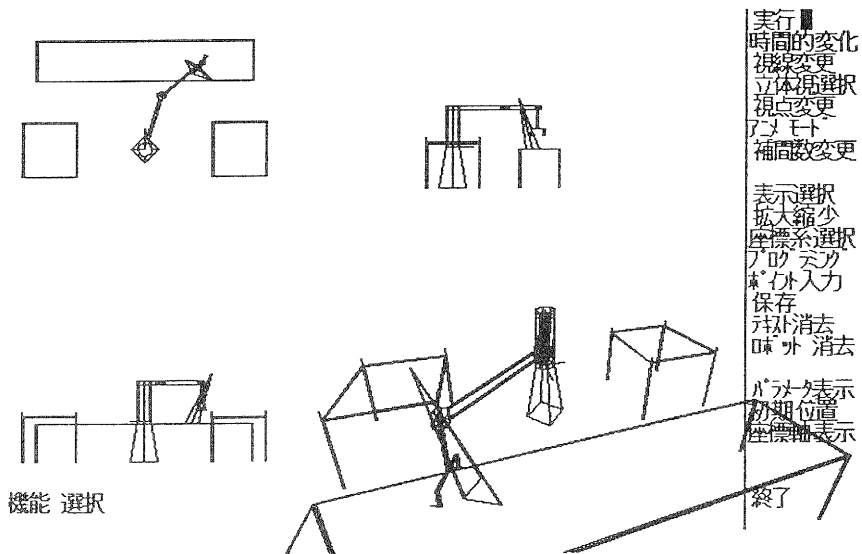


図3 障害物にぶつかってロボットが停止したところ

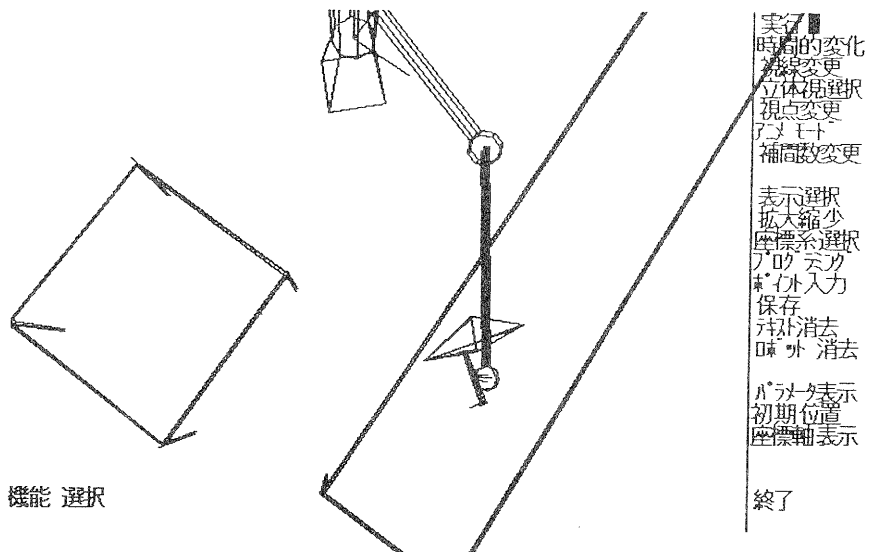


図4 障害物にぶつかってロボットが停止したところ（拡大表示）

4. む す び

以上に述べた干渉チェックの考え方は、一方が平行四辺形であっても、一部の判定方法を変更するだけで、同様な干渉判定ができるので、可能な部分は平行四辺形で近似するほうが、高速に処理できる。

干渉チェックの精度は、ロボットや障害物を部分平面で近似する段階での誤差に依存しているので、近似のしかたには注意が必要である。

今後は、ロボットシミュレータと実ロボットとのオンライン接続による、リアルタイム制御を研究する予定である。

[参考文献]

- (1) 重松他、“3-D形状モデル間干渉問題の一解法”，精密機械 VO1.49, NO.11,1983
- (2) 水垣他、“幾何モデルによるロボットの簡易干渉チェック”，精密機械 VO1.50, NO.6,1984
- (3) 尾崎，“マニピュレータの障害物回避”，日本ロボット学会誌、VO1.2,NO.6, 1984
- (4) 小沢他，“オフラインロボット教示における高速干渉チェックの一方式”，日本ロボット学会誌 VO1.4,NO.2,1986
- (5) 熊坂他、公開特許公報昭 58-22690 号

コンピュータシミュレーションによる 電気機器設計の高度化に関する研究

ー有限要素法による单相誘導電動機の磁界解析ー

技術第一科 井上嘉明、川崎雅生、月瀬寛二
草津電機(株) 饗場 徹、北村慎悟

あらまし：電機機器の設計にコンピュータシミュレーションを導入する一事例として、有限要素法による单相誘導電動機の磁界解析を試みた。目的は電動機中の磁界分布を詳細に知ることにより、効率がよく、騒音の小さい電動機を設計するための合理的な指針を得ようとするものである。本文では、自作した非線形うず電流磁界解析用ソルバーの概要と、直感的に理解しやすい計算結果の表示について、実解析例を上げながら説明している。

1. まえがき

従来、工業製品の開発は、設計→試作→評価→改良設計のサイクルを何度か繰り返すことにより行われてきたが、近年はコンピュータの発達によって試作と評価を実物によらず、コンピュータシミュレーションで代行することが可能になってきた。コンピュータシミュレーションを利用することによって、開発期間の短縮と開発費用の低減が図れるメリットがある。最近とはくにパソコンやワークステーションの高性能化によって、コンピュータシミュレーション（構造解析）を利用する機械装置の設計が身近なものになってきている。

本研究では、電気機器の設計にコンピュータシミュレーションを導入する一事例として、有限要素法による单相誘導電動機の磁界解析を試みた。目的は、電動機中の磁界分布を詳細に知ることにより、効率がよく、騒音の小さい電動機を設計するための合理的な指針を得ようとするものである。本文では、有限要素法による磁界解析の定式化と自作したソルバーの概要、ならびに直感的に理解しやすい計算結果の表示法について、実解析例を上げながら、説明している。

現在、パソコンを利用しているため、計算時間がかかっているが（本文の例で約198時間）、高速演算ボードを使うことなどにより、計算時間を数十分の一にできる見込みがあり、パソコンでも十分実用化することができると考えられる。

2. 有限要素法による非線形うず電流磁界解析の定式化

本章では、うず電流を考慮した二次元直角座標系の非線形磁界解析のアウトラインを説明する。詳細は文献(1)と(2)を参照されたい。

2-1 基礎方程式

磁気ベクトルポテンシャルを用い、うず電流を考慮した二次元直角座標系の磁界の方程式は次式

で与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -(J_0 + J_e) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし

$$J_e = -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 ν は磁気抵抗、 σ は導電率、 J_0 は電動機の巻線に流れる強制電流密度、 J_e はうず電流密度である。

磁束密度 B は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} B &= \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \\ B_x &= \frac{\partial A}{\partial y}, \quad B_y = -\frac{\partial A}{\partial x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 B_x と B_y は磁束密度ベクトルの x 方向成分と y 方向成分である。

(1)式における磁気抵抗 ν は磁束密度 B の関数であり、従って、磁気ポテンシャル A の関数であるので、(1)式は非線形方程式である。

巻線電流 J_0 が与えられたとき、(1)式を解いて磁気ポテンシャル A を求め、(3)式に代入して磁束密度 B を求めることを、本報告では磁界解析と称している。

2-2 定式化

本報告ではガラーキン法を用いて(1)式を離散化する。即ち、(1)式にガラーキン法を適用すれば、次のような連立方程式を得る。

$$G_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n \text{ (} n \text{は節点数)})$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} G_i &= \iint_S \nu \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial A}{\partial y} \right) dx dy \\ &+ \sigma \iint_S N_i \frac{\partial A}{\partial t} dx dy - \iint_S N_i J_0 dx dy \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

上式中、 N_i はいわゆる補間関数である。(4)式的全領域 S についての面積分を、まず各要素ごとに面積分を行い、しかる後に全要素について加算する手順で行う。すなわち、要素 e に関する諸量

には添字 (e) をつけて表すことにすれば、

$$G_i = \sum_e G_i^{(e)} = \sum_e \left[\iint_s^{(e)} \nu^{(e)} \left(\frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial x} \cdot \frac{\partial A^{(e)}}{\partial x} + \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial y} \cdot \frac{\partial A^{(e)}}{\partial y} \right) dx dy \right. \\ \left. + \sigma^{(e)} \iint_s^{(e)} N_i^{(e)} \frac{\partial A^{(e)}}{\partial t} dx dy - \iint_s^{(e)} N_i^{(e)} J_0^{(e)} dx dy \right] \dots(5)$$

本報告では、図1のような一次三角形要素を用いている。このとき、要素 (e) 内でのポテンシャル $A^{(e)}$ と補間関数 N_{ke} ($k=1, 2, 3$) は次式で与えられる。

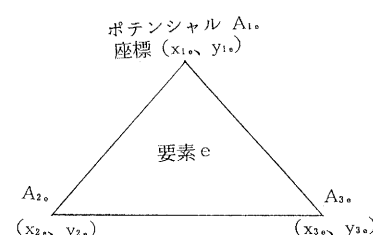
$$A^{(e)} = \sum_{K=1}^3 N_{ke} A_{ke} \\ \begin{pmatrix} N_{1e} \\ N_{2e} \\ N_{3e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_{1e} & x_{2e} & x_{3e} \\ y_{1e} & y_{2e} & y_{3e} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{2A^{(e)}} \begin{pmatrix} a_{1e} & b_{1e} & c_{1e} \\ a_{2e} & b_{2e} & c_{2e} \\ a_{3e} & b_{3e} & c_{3e} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \dots\dots(6)$$


図1 一次三角形要素

ここに $A^{(e)}$ は要素の面積である。また補間関数 N_{ke} ($k=1, 2, 3$) は節点 ke で1であり、他の2個の節点で零である一次関数である。

(6)式を(5)式に代入し、面積分を実行すれば、 $G_i^{(e)}$ は次式のようにになる。

$$G_i^{(e)} = \nu^{(e)} \sum_{k=1}^3 S_{ike} A_{ke} + \sigma^{(e)} \sum_{k=1}^3 \frac{A^{(e)}}{12} (1 + \delta_{ike}) \frac{\partial A_{ke}}{\partial t} - \frac{A^{(e)}}{3} J_0^{(e)} \dots\dots\dots(7)$$

ただし、 δ_{ike} はクロネッカのデルタであり、 S_{ike} (定数である) は次式で与えられる。

$$S_{ike} = \frac{1}{4A^{(e)}} (b_i^{(e)} b_{ke} + C_i^{(e)} C_{ke}) \dots\dots\dots(8)$$

(8)式における $b_i^{(e)}$ と $C_i^{(e)}$ は、節点 i が要素 e に属せばそれぞれに対応する値とし、属さなければ零となる。

2-3 非線形計算

(4)式において、磁気抵抗 ν はポテンシャル A の関数なので、(4)式は非線形方程式である。本報

告では非線形計算にニュートンラフソン法を用いている。すなわち、(n+1) 回目の反復で得られる節点 i のポテンシャルの近似値 $A_i^{(n+1)}$ は次式で与えられる。

$$A_i^{(n+1)} = A_i^{(n)} + \delta A_i^{(n)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots(9)$$

修正量 $\delta A_i^{(n)}$ は次の修正方程式を解くことにより求められる。

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial A_1} & \dots & \frac{\partial G_1}{\partial A_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial G_i}{\partial A_1} & \dots & \frac{\partial G_i}{\partial A_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial G_n}{\partial A_1} & \dots & \frac{\partial G_n}{\partial A_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta A_1 \\ \vdots \\ \delta A_i \\ \vdots \\ \delta A_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -G_1 \\ \vdots \\ -G_i \\ \vdots \\ -G_n \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots(10)$$

2-4 時間微分項の取り扱い

(7)式に含まれる時間微分項 $\partial A_{ke} / \partial t$ の取り扱い法としては、後退差分法を用いている。時刻 t_0 と t_1 を

$$t_0 = k \Delta t, \quad t_1 = (k+1) \Delta t \quad (\Delta t \text{ は時間ステップ}) \quad \dots\dots\dots(11)$$

とし、時刻 t_0 と t_1 におけるポテンシャル値を $A_{ke}^{t_0}$ と $A_{ke}^{t_1}$ とすれば、(7) 式は次のように表される。

$$G_i^{(e)t_1} = \nu^{(e)t_1} \sum_{k=1}^3 S_{ik_e} A_{k_e}^{t_1} + \sigma^{(e)} \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta^{(e)}}{12} (1 + \delta_{ik_e}) \frac{A_{k_e}^{t_1} - A_{k_e}^{t_0}}{\Delta t} - \frac{\Delta^{(e)}}{3} J_0^{(e)t_1} \quad \dots\dots (11)$$

$A_{ke}^{t_0}$ までは求まっているとし、 $A_{ke}^{t_1}$ を (10) 式で求める。(10) 式における $\partial G_i^{(e)t_1} / \partial A_j^{t_1}$ は (12) 式を $A_j^{t_1}$ で偏微分して、次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial G_i^{(e)t_1}}{\partial A_j^{t_1}} &= \nu^{(e)t_1} S_{ij} + \frac{2}{\Delta^{(e)}} \frac{\partial \nu^{(e)t_1}}{\partial (B^{(e)t_1})^2} \left(\sum_{l=1}^3 S_{il_e} A_{l_e}^{t_1} \right) \left(\sum_{k=1}^3 S_{jk_e} A_{k_e}^{t_1} \right) \\ &\quad + \frac{\sigma^{(e)} \Delta^{(e)}}{12 \Delta t} (1 + \delta_{ij}) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(12)$$

結局、(10) 式、(12) 式と(13) 式を使って $A_i^{t_1}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) を計算することになる。

3. 解析対象の単相誘導電動機の仕様と解析条件

3-1 解析対象の誘導電動機

今回解析した誘導電動機はコアでの磁気飽和が電磁音にどう影響するかを見るため、ステータコ

アのヨーク部をわざと狭くして、ヨーク部で磁気飽和しやすいように試作した単相誘導電動機を用いた。主な仕様は次の通りである。

定格電圧：220V コンデンサー：3 μ F
 定格出力：30W ステータスロット数：24
 極数：4極 ロータスロット数：34
 鉄心材料：RM60D（無方向性けい素鋼板）

巻線仕様は以下の通りである。巻線構造を図2に示す。

（巻数）

主巻線大コイル	M	300
" 小コイル	m	150
補助巻線大コイル	A	406
" 小コイル	a	203

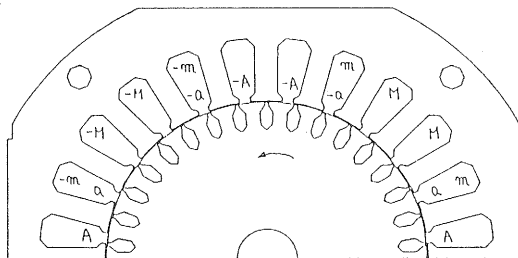


図2 解析対象の電動機の巻線構造

3-2 メッシュ分割

電動機の断面図の作成とメッシュ分割は当所所有の構造解析用ソフト CAEDS のモデラーとプリプロセッサを使用した。電動機の1/2断面を解析対象にし、図3に示すようにメッシュ分割した。

要素数	3,053	{ <table border="0"> <tr> <td>一次三角形要素</td> <td>3,032</td> </tr> <tr> <td>ビーム要素</td> <td>21</td> </tr> </table> }	一次三角形要素	3,032	ビーム要素	21
一次三角形要素	3,032					
ビーム要素	21					

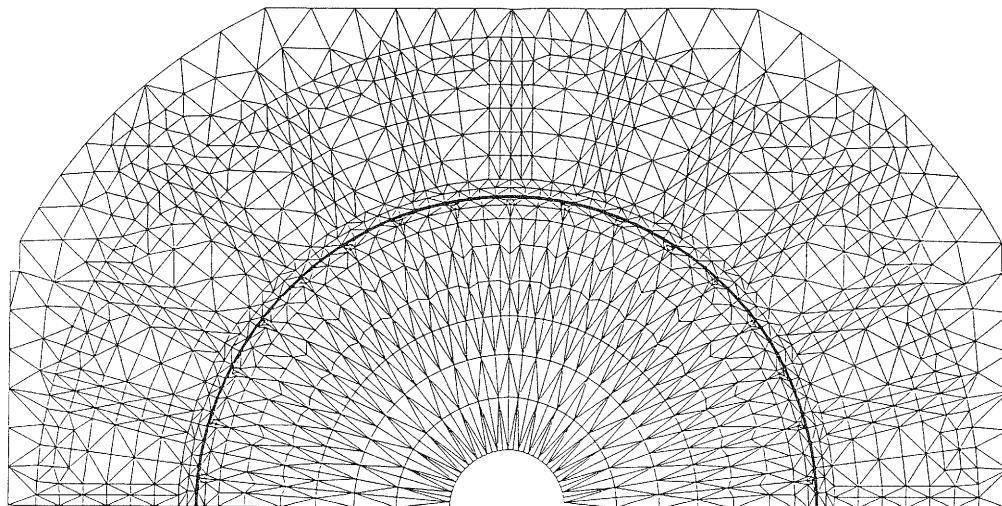


図3 メッシュ分割図

節点数	1,576	{ 未知節点 1,454 { 固定境界節点 80 { 周期境界節点 42
エアギャップ分割数	3層	
半バンド幅 (周期境界条件処理後)	148	

3-3 解析条件

今回は無負荷運転状態を解析している。運転条件は以下のとおりである。

回転数	1,500rpm (無負荷)
主巻線電流	0.607A
補助巻線電流	0.548A
主-補巻線電流位相差	126.1°

時間ステップ Δt は 1/34 回転 (ロータスロットピッチ) に相当する下記の値にした。

時間ステップ $\Delta t = 1.1765\text{ms}$

4. 前処理プログラムとソルバープログラム

4-1 前処理プログラム

電動機断面形状の入力、各部分の材料の指定 (鉄心か、巻線か、空気か)、メッシュ分割などは CAEDS のユニバーサルファイルに格納される。図4は、このユニバーサルファイルを読み込んで、境界節点の抽出、要素-節点テーブルの作成、うず電流が流れる要素 (ロータアルミ部) の抽出と対応表の作成、コア磁気特性のスプライン近似などを行う前処理プログラムのフローチャートである。以下に、各々の処理の概要を説明する。

① 要素-材料-節点テーブル作成

ユニバーサルファイルから、一次三角形要素の節点番号、要素の材料番号、節点の座標、ビーム要素を取り出し、ファイルに出力する。

② 要素面積計算

各要素の面積を計算する。

③ 節点-要素テーブル作成

節点番号を与えれば、その節点を含む全ての要素が判るようなテーブルを作成する。このテ-



図4. 前処理プログラムのフローチャート

ブルは次に述べる輪郭抽出、固定境界抽出、うず電流要素グループ抽出などに使用する。

④ 輪郭線抽出

電動機鉄心断面の輪郭線を抽出する。

⑤ 固定境界、周期境界抽出

図4に示す、固定境界上の節点 ($A=0$) および周期境界上の対応する節点对を抽出する。

⑥ うず電流要素グループ対応表作成

時間微分項の計算のため、1ステップ時刻前の位置における、ロータアルミバー部の節点ポテンシャルが必要である。このため、アルミバー要素の節点が1ステップ前には、どの節点に対応していたかを知る必要があるため、そのための対応表をここで作る。

⑦ 鉄心磁気特性スプライン近似

鉄心のB-H特性を3次のスプライン関数で近似する。

4-2 ステップバイステップ法によるソルバープログラム

適当な初期条件から出発して、時間ステップを追って計算を進めて行き、何周期後かに1周期前とほとんど同じ答えが得られたら、定常解が求まったと判断する。このような計算法をステップバイステップ法と呼ぶ。本研究で作成したステップバイステップ法によるソルバープログラムのフローチャートを図5に示す。図中に番号を付けた部分について以下に説明する。

① $\{\partial G_i / \partial A_j\}$ 、 $\{-G_i\}$ の計算

(13) 式によって係数マトリックスを計算するが、今回の解析例の場合、要素数1,576、バンド幅149より、係数マトリックスに必要な記憶容量は約920kバイト ($1,576 \times 149 \times 4$ バイト) 必要となり、16ビットマイコンでは、これだけの主記憶容量を確保できない。そこで、増設RAMボード (2Mバイト) を付加し、係数マトリックスはこの増設RAM上取るようにした。16ビット用FORTRANには増設RAMを操作する命令がないので、アセンブラにて増設RAM上の係数マトリックスの初期化、読み出し、書き込みをするためのサブルーチンを作成し、FORTRANプログラムとリンクして、大容量配列を実現している。

② 境界条件の処理

a 固定境界条件

固定境界上の節点ポテンシャルは常に0となるよう、従って常に $\delta A=0$ となるよう、係数マトリックスと既知ベクトルを修正する。

b 周期境界条件

節点P1とP2が周期境界上の対応する節点对とすれば、両者のポテンシャル値は等しい (逆に言えば、両者は独立でない)。そこで、節点P2に対する係数マトリックスや既知ベクトルの要素を、節点P1に繰入れ、節点P2は消去する処置をとる。

③ バンドマトリックス法により $\{\delta A_i\}$ を求める。

バンドマトリックス法により (10) 式を解き、修正量 $\{\delta A_i\}$ を求める。プログラムの実行時間の内、この部分がほとんどの時間をしめるので、高速化のため、この部分だけをアセンブラで

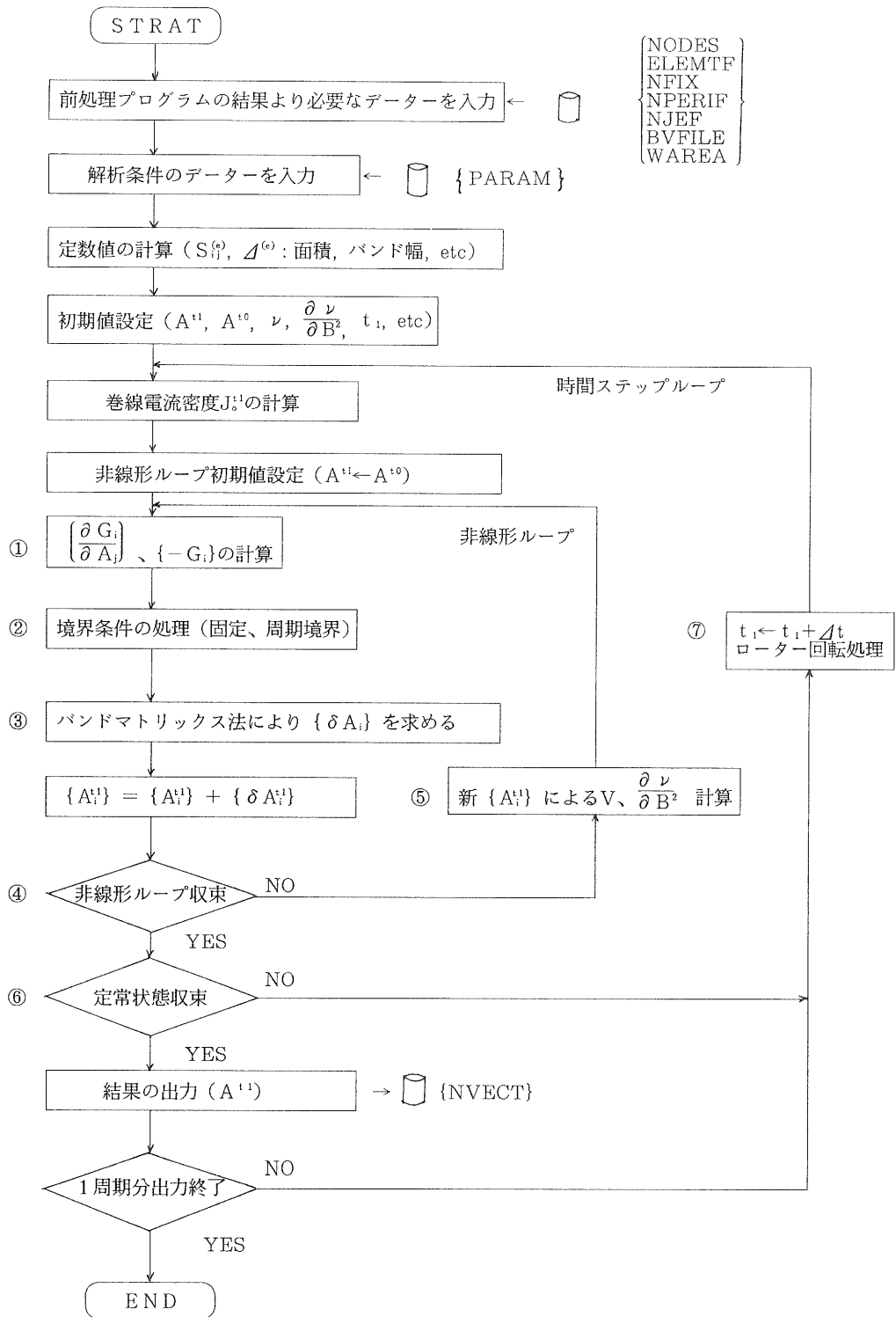


図5. ステップバイステップ法によるソルバープログラムのフローチャート

記述し、計算用コプロセッサを効率的に使うようにしている。

④ 非線形ループ収束判定

次式によって収束判定した。ただし、ポテンシャル値が小さいときは ($|A_i| < 0.001$)、判定対象にしない。

$$\left| \frac{\delta A_i}{A_i} \right| \leq 0.001 \text{ なら収束} \dots\dots\dots(14)$$

⑤ 新 $\{A_i^e\}$ による $\nu^e \partial \nu / \partial B^2$ の計算

けい素鋼板の $B-\nu$ 特性を 3 次スプライン曲線で近似した。磁束密度 $B^{(e)}$ がスプライン近似区間 B_k と B_{k+1} の間にあるとすると、計算は次式で行う。

$$\left. \begin{aligned} B^{(e)} &= \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{1}{A^{(e)}} A_i^{(e)} A_j^{(e)} S_{ij}^{(e)}} \\ \nu &= a_{0k} + a_{1k} (B^{(e)} - B_k) + a_{2k} (B^{(e)} - B_k)^2 + a_{3k} (B^{(e)} - B_k)^3 \\ \frac{\partial \nu}{\partial B^2} &= \{ a_{1k} + 2 a_{2k} (B^{(e)} - B_k) + 3 a_{3k} (B^{(e)} - B_k)^2 \} \times \frac{1}{2B^{(e)}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

ただし、 a_{0k} 、 a_{1k} 、 a_{2k} 、 a_{3k} は区間 $B_k \sim B_{k+1}$ におけるスプライン係数である。

⑥ 定常状態収束判定

定常状態の収束判定は、電源周期の m サイクル毎にポテンシャル値の変化が十分小さくなったか、否かで行う (図 6)。そのため、電源 m サイクルが時間ステップの整数倍になるように Δt を選び、判定時のロータとステータの相対位置が一致するようにする。ただし、このために、計算可能なすべりは次式の値に限定されてしまう。

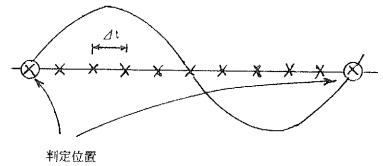


図 6 定常状態の収束判定

$$s = 1 - \frac{n}{m (Nr/p)} \dots\dots\dots(16)$$

ここに、 Nr はロータスロット数、 p は極対数、 m と n は整数である。すべり s が与えられれば、 Δt は次式で決まる。

$$\Delta t = \frac{m}{fn} \quad (f: \text{電源周波数}) \dots\dots\dots(17)$$

実際の判定条件は、ポテンシャル値の相対変化量が 1% 以下になれば、収束と見なすことにした。

⑦ ロータ回転処理

ロータアルミバー部の節点ポテンシャル値を進行方向にシフトすることにより、ロータが回転している効果をあたえる処理である。

4-3 計算時間

μ P80286 と NDP80287 を使った計算時間は次のようである。

図5のフローチャートにおいて、非線形ループを1回回るのに約3分30秒かかり、収束までに平均20回ループを回る（ただし、3分30秒はガウスの消去法のプログラムをアセンブラで書いたとき、FORTRANのみで書けば、約9分かかる）。また、時間ステップは17ステップで電源1サイクルに相当し、定常状態まで、電源10サイクル分の計算を要する。以上を合計すると198時間（8.3日）を要し、このままでは実用的ではないが、トランスペュータなどの高速演算ボードの使用や、ステップバイステップ法のかわりに「時間周期有限要素法」⁽⁹⁾を採用することなどで、数十倍は早くできると見込めるので、パソコンでも十分実用化できると考えられる。

5. 解析結果の表示

4章の計算によって、節点ポテンシャルAの値が求まるが、この値を見ても物理的な意味は分かりにくい。そこで、解析結果の物理的な意味をビジュアルに表示することが大切である。表示の手法として、等高線図、アロー線図や塗りつぶし図などが一般に使われるが、本報告でもこれらの手法を用いて、5種類の解析結果の表示（以下の②～⑥）ができるようにした。また、共通の機能として、任意の部分を拡大してみる機能（⑦）、何番目の時間ステップの結果を表示するかを選ぶ機能（⑧）も備えている。

以下に、本報告で作成した表示機能の概要を述べる。

① メッシュ分割図（図7）

オリジナルのメッシュ分割図を表示する。

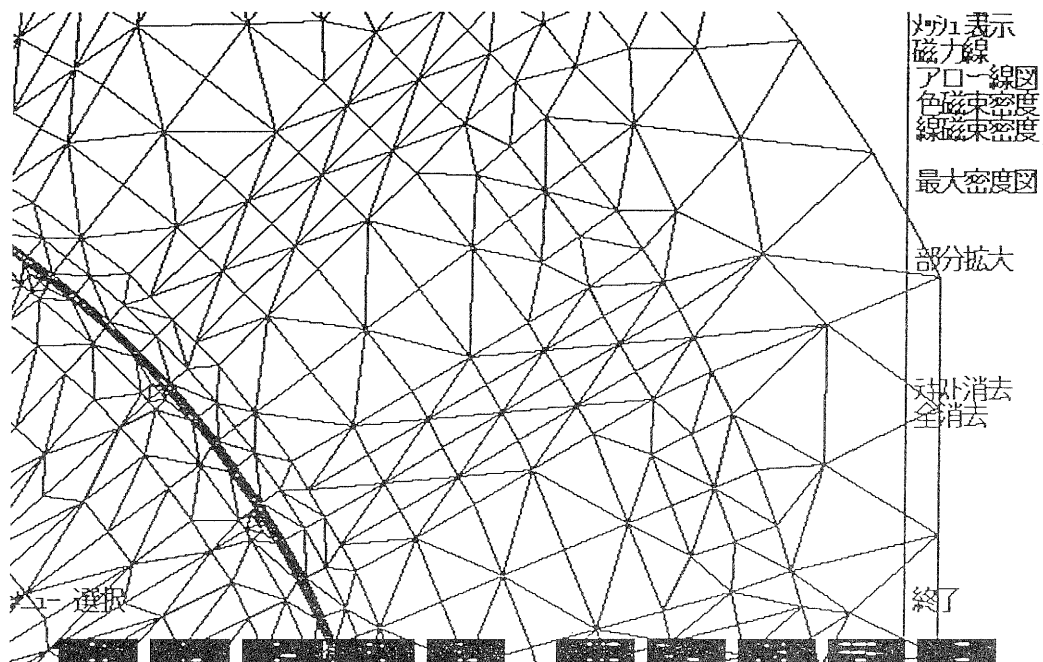


図7 メッシュ分割図（部分拡大）

② 磁力線図 (図8)

(3)式から、 $B \cdot \text{grad} A = 0$ がなりたつので、等ポテンシャル線はすなわち磁力線を意味する。最小ポテンシャル値と最大ポテンシャル値の間を (正確にはその5%~95%の間)、3分割~99分割してポテンシャルの等高線を描く。

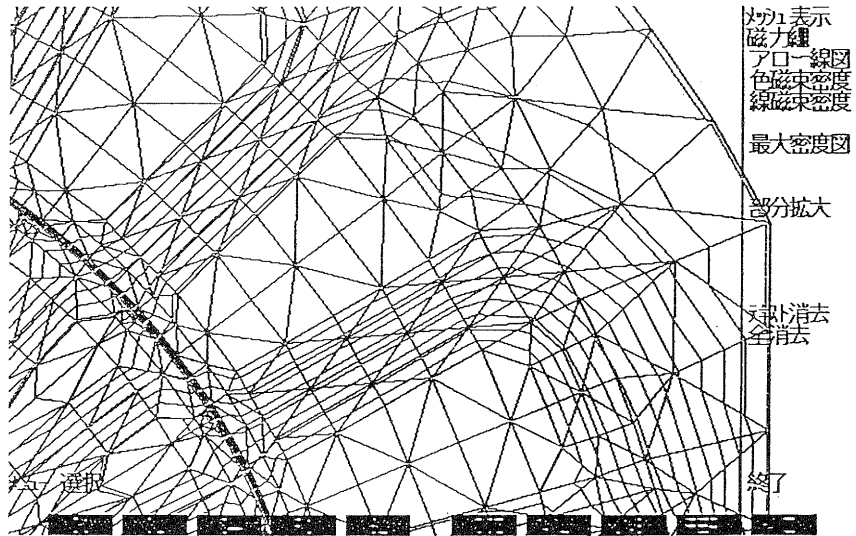


図8 磁力線図 (部分拡大、図7と同じ部分)

③ 磁束密度アロー図 (図9)

(3)式によって磁束密度ベクトル (B_x 、 B_y) を要素ごとに求め、アロー線図で表示する。アローの長さは10ドット~99ドットの範囲で選択できる。

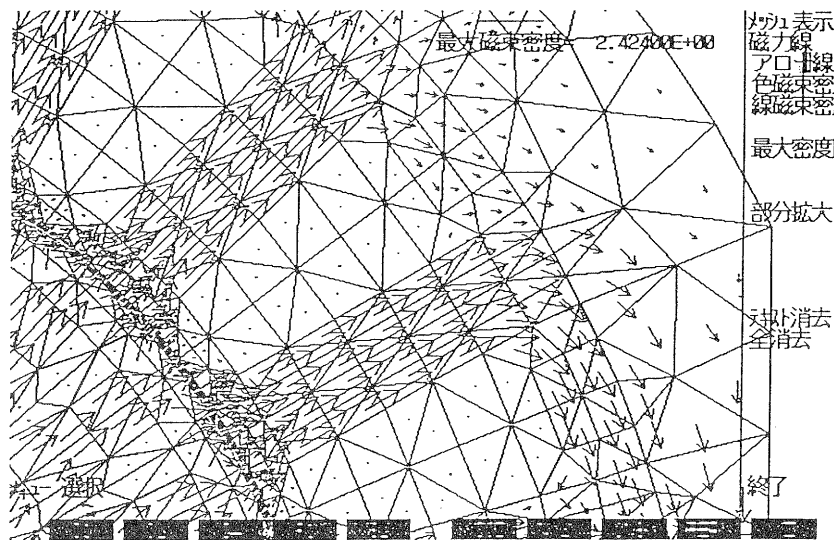


図9 磁束密度アロー図 (部分拡大、図7と同じ部分)

④ 等磁束密度塗りつぶし図 (A) (図 10)

磁束密度 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, …… , 1.8 テスラの等高線を描き、同一磁束密度の領域を同一色で塗りつぶした図である。

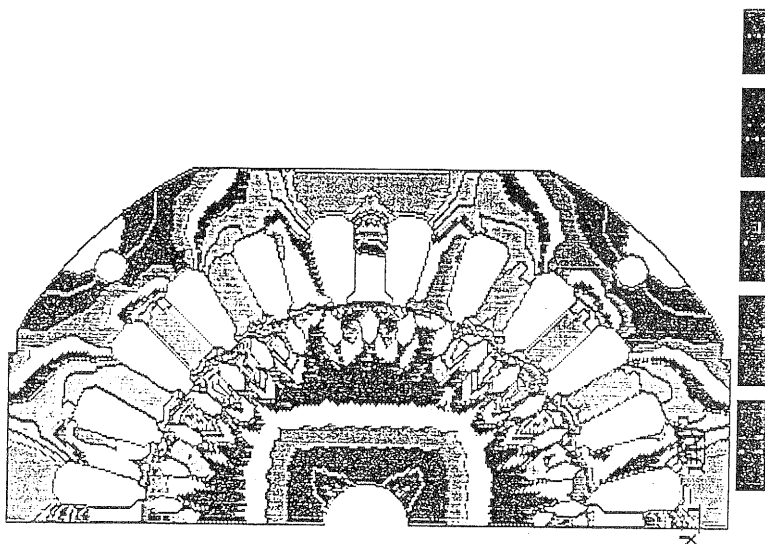


図 10 等磁束密度塗りつぶし図

⑤ 等磁束密度塗りつぶし図 (B)

④と同様であるが、表示する磁束密度の最小値と磁束密度の間隔を自由に選べる。前者は 0.05 テスラ～1.5 テスラの範囲で、後者は 0.05 テスラ～1.0 テスラの範囲で自由に選べる。

⑥ 最大磁束密度図 (図 11)

電源 1 サイクル中の、各要素における最大磁束密度を、④と同様に表示する。

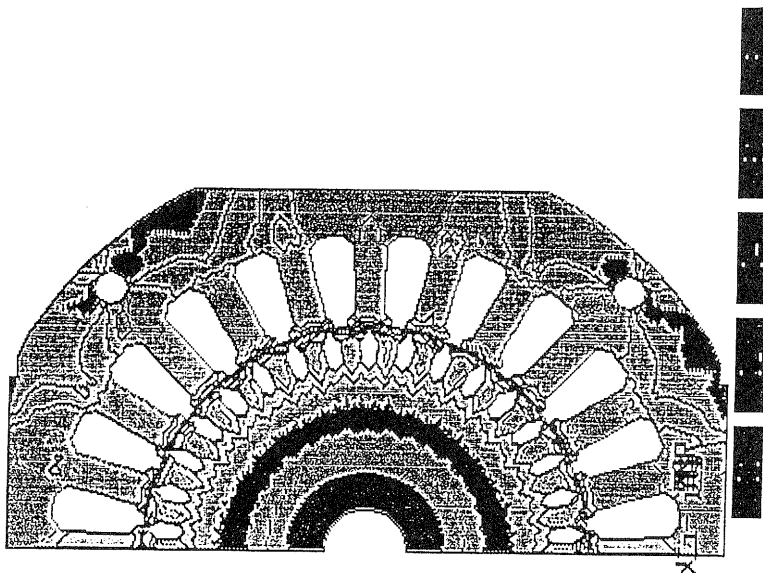


図 11 最大磁束密度図

⑦ 部分拡大

拡大して表示したいエリアをマウスでピックアップすることにより、任意の場所を任意の倍率で表示できる。全エリアを一画面中に収めるオートスケール機能もある。

⑧ 時間ステップ番号の選択

電源1サイクルを、いくつかの時間ステップにわけて解析するが（本報告では17ステップ）、その何番目の解析結果を表示するかを指示できる。

6. む す び

本報告では、有限要素法を適用して単相誘導電動機の磁界解析を行った。残された課題としては、

- (1) 本報告の解析結果を、磁界測定実験によって検証すること、
- (2) 計算時間の短縮のため、ステップバイステップ法に代わって、「時間周期有限要素法」⁽⁴⁾の適用を検討すること、また、トランスピュータなどの高速演算ボードの適用を検討すること、
- (3) 実際の使用条件での解析に近い「電圧が与えられた有限要素法」⁽⁴⁾の適用を検討すること、などがある。

謝 辞

本研究について御指導頂いた同志社大学工学部電気工学科石原好之教授に感謝します。

[参考文献]

- (1) 中田高義、高橋則雄：“電気工学の有限要素法第2版”、森北出版（昭61-4）
- (2) 中田高義、河瀬順洋：“有限要素法による非線形過渡磁界解析”、電気学会論文誌B、Vo1.1104, No6, p.p.380-386（昭59-6）
- (3) 原 武久、内藤 督、卯本重郎：“時間周期有限要素法による高圧回転機コロナ・シールド部の電界解析（I部、数値解析法）”、電気学会論文誌B、Vol.102, No7, p.p.423-430（昭57-7）
- (4) T.Nakata, N.Takahashi: Direct Finite Element Analysis of Flux and Current Distributions under Specified Conditions”, IEEE Trans. Magnetics, MAG-18, No2, p.325 (1982).

モーダル解析法の実用化研究

—振動機械における応力挙動シミュレーションの研究（第2報）—

技術第一科 月瀬 寛二、河村安太郎
株式会社 石田衡器製作所 田尻 祥子、岡野 公

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。そこで、リニア型フィーダを事例として取り上げ、機械構造物の動特性を設計段階で把握する方策を確立するため、本年度は、(1) 加振機により加振を行い、より信頼性の高い伝達関数の測定を行うための最適な加振条件の検討、(2) より実稼働状態に近い条件での測定のために、トラフと板ばねを接合している接合ベースを取り付けた場合の影響についての検討を実施したので報告する。

1. まえがき

最近、有限要素法解析のような計算機シミュレーションによって、製品の強度や動作時の特性を予め算出・推定しながら、設計を進める方法が普及しつつある。計算機シミュレーションでは、機械の図面、すなわち幾何学的な寸法情報により、解析を実施することが可能である。

しかし、動解析（機械構造物の動作時の特性を有限要素法により解析）においては、機械構造物の減衰特性が重要であるが、図面等からの情報でこれを正確に推定することは困難である。

これに対して、モーダル解析は試作物によって実験的に動的な信号を測定し処理する必要があるが、得られたデータは信頼性の高いものである。試作物をどの様に構造変更すれば良いかなどの情報も得られ、少ない試作物の個数から効果的な構造変更の検討が可能である。また、これにより得られた減衰特性の情報も信頼性が高いので、有限要素法解析に用いれば、計算機シミュレーションの信頼性も高まる。

62年度には、実験によるモーダル解析の結果（実物による固有振動数と振動形状などの測定結果）と有限要素法解析の結果（計算機シミュレーションによる同上の計算結果）が一致するための、有限要素法におけるモデリングの手法の検討などを行った。⁽¹⁾ 本年度は、実験によるモーダル解析の精度をより高めるため、加振機によるデータ収集（62年度は、インパルスハンマによる加振）を行うこととし、(1) 加振条件の計測データへの影響の検討、(2) トラフと板ばねを接合している接合ベースを取り付けた場合のモーダルパラメータと振動形状への影響の検討を実施したので報告する。

2. 研究対象のリニア型フィーダについて

研究対象としているリニア型フィーダは、秤の上にワークを搬送するために使用され、上部から

トラフ、板ばね、ベース（加振機）、コイルばねで構成されている。トラフ（重量約 11.7kg）と板ばねは、150×400mmの金属ベース（重量約 3.6kg、以下接合ベースと呼ぶ）により接合されている（図 2-1 破線部分）。昨年度の研究では、接合ベースを取り外しトラフ部分のみの伝達関数の測定・解析を行った。

本年度は、より実際的な使用状態での解析を行うため、トラフに接合ベースを取り付けた状態での伝達関数測定、モーダルパラメータの抽出、振動形状の解析を行った。

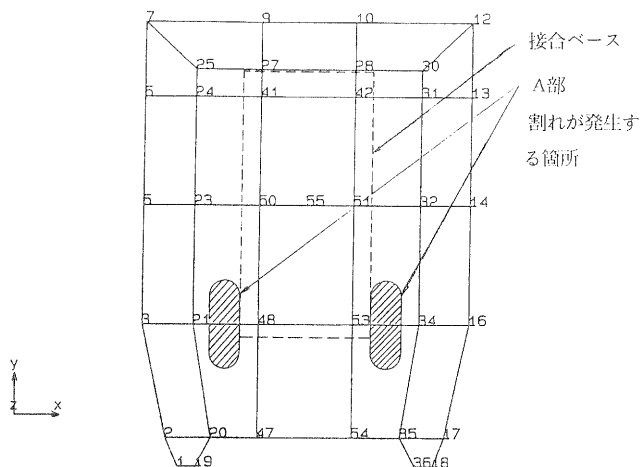


図 2-1 トラフの伝達関数測定箇所および接合ベース取付部分

3. データ収集機器および構成

加振機は、MB社の動電型加振機（MODAL 50）を使用した。加振方向以外に加振されデータへ影響するのを避けるため、加振機と非測定物の間にスティンガ（ピアノ線等の細い線）を用い、先端（スティンガと非測定物の間）にロードセルをつけて加振した。被測定物の支持方法は、自転車のゴムチューブを輪状にし吊り下げた。図 3-1 はデータ収集システム構成を、写真 3-1 はリア型フィードの加振機による加振状況を示す。

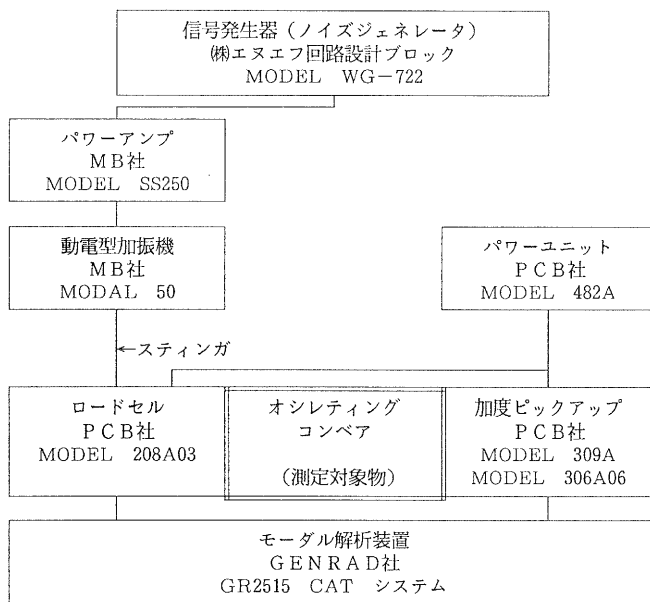


図 3-1 データ収集システム構成

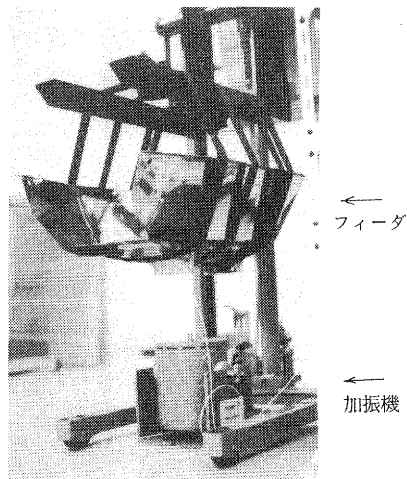


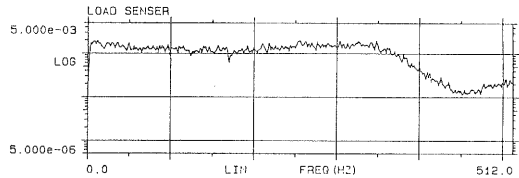
写真 3-1 加振状況

4. 加振条件の検討

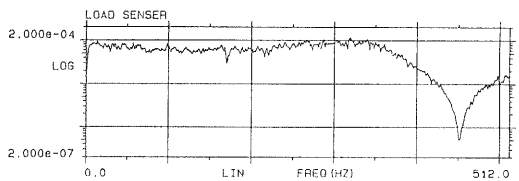
4-1 ノイズジェネレータの信号出力

純ランダム波は解析周波数帯域全体に加振信号が加えられるので、S/N比が確保でき精度の良い伝達関数の測定が可能である。加振機の加振信号として使用したランダム波は疑似ランダム波であるが、周期が長く周期性については無視でき純ランダム波と見なせる。信号発生器のランダム波の振幅確率密度は、正規分布、一様分布、2項分布、ポワソン分布の4種類がある。そこで、どの振幅確率密度がモーダル解析の加振信号として適しているかを調べた。後述するその他の加振条件を一定にし、各振幅確率密度に対するトラフ接合ベース下部に取り付けたロードセルの荷重信号の周波数分析結果から判断した。

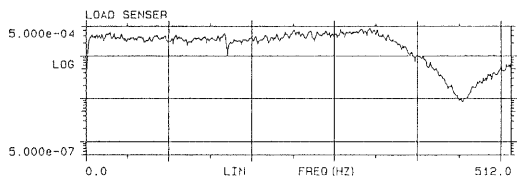
図4-1に、各振幅確率密度におけるロードセルの周波数分析結果の例を示す。各振幅確率密度とも450Hz付近でスペクトルの低下があるが、4種類を比較すれば、正規分布がパワー強度が高く450Hz付近での落ち込みも少ないので、加振信号の振幅確率密度は正規分布を使用した。また、一様な加振力が得られる周波数は約0～350Hzの範囲なので、解析周波数範囲は同様の0～350Hzとした。



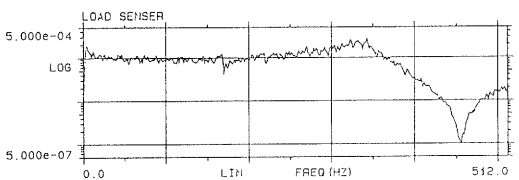
(a) 正規分布 (パワースペクトル 500Hz, -3dBポイント)



(b) 一様分布 (クロック 2μs)



(c) 2項分布 (クロック 2μs)



(d) ポワソン分布 (クロック 2μs)

図4-1 各確率密度分布におけるロードセル荷重信号周波数分析

4-2 ウィンドウの設定

コンピュータでは離散化されたデータを扱い、離散的フーリエ変換は固定長の入力フレームについて実行されるので、スペクトル漏れという現象が起きる。これは、一つの入力フレームが連続して繰り返す周期性を持った信号として処理するからであり、不連続な入力信号の場合フレームの継目部分の不連続部分も計算されてしまう。この影響を少なくするため、測定に使用したシステムでは6種類のウィンドウが用意されている。

今回の測定では、入力信号に対し一般的なハニングウィンドウを使用した。ハニングウィンドウとは

$$\begin{aligned} &0.5 (1 - \cos(2\pi t/T)) \quad (0 \leq t \leq T) \\ &0 \quad (t < 0, t > T) \end{aligned} \quad (4.1)$$

T : 入力フレーム長 (時間)

で表わされる関数である。入力フレームに対して、この関数により重み付けがなされる。従って、入力フレーム両端で入力信号は、なめらかに0に収束するので、両端での急激な波形の変化がなくスペクトルが入力信号の周波数外に出ることはなくなる。

4-3 スティングについての検討

測定データの精度、つまりモーダル解析の精度を高めるためには、加振方向にのみ力を加え他方向のモードを拘束しないように加振する必要がある。そこで、本年度はスティングによる加振を試みた。スティングとは、加振機とロードセルの間をつなぐ細い棒で、軸方向の剛性が強く横方向の剛性が低い棒 (例えばピアノ線) である。また、軸方向の剛性を高めるため、常に引張状態で加振するようにした。

スティングは、長さ400mmで線径が1mm、1.5mm、3mmの3種類のピアノ線を用意し、プリテンションを約4~5kgfとした。これは、(1) 予備的な測定において、加振力が1kgp-pもあれば十分であること、(2) 加振機を床に置いただけのセットアップで加振機重量が25kgであること、(3) 測定物 (接合ベース付きトラフ) をゴムチューブで吊しているのであまり大きなプリテンションを加えられず、約4kgfでゴムチューブの伸びとしては10mmに相当していることなどから決めた。

3種類のスティングの線径に対して、スティングの長さを50, 100, 150, 200, 250, 300mmの6通りにセットして、伝達関数の信頼性をコヒーレンス関数により評価した。コヒーレンス関数 ($\gamma^2(\omega)$) は、

$$\begin{aligned} \gamma^2(\omega) &= \frac{|\hat{G}_{YF}(\omega)|^2}{\hat{G}_{FF}(\omega) \hat{G}_{YY}(\omega)} \\ 0 &\leq \gamma^2(\omega) \leq 1 \end{aligned} \quad (4.2)$$

F(ω) : 加振力 (入力)

Y(ω) : 加速度 (出力)

$\hat{G}_{YF}(\omega)$: 入出力間のクロス・スペクトルの平均値

$\hat{G}_{FF}(\omega)$: 入力 of オート・パワー・スペクトルの平均値

$\hat{G}_{YY}(\omega)$: 出力 of オート・パワー・スペクトルの平均値

である。式(4.2)の分子は、応答つまり測定された加速度と加振力のクロススペクトルの平均値である。応答が全て加振力によるものであれば $\gamma^2=1$ である。しかし、 $\gamma^2 < 1$ となる原因として⁽³⁾、(1) 加振信号および応答信号へのノイズの混入、(2) 被測定物の応答の非線形性の影響、(3) FFTの周波数分解能の影響による分解能偏り誤差、(4) 伝達系の加振力入力と応答出力間の遅延による時間差の影響などが考えられる。

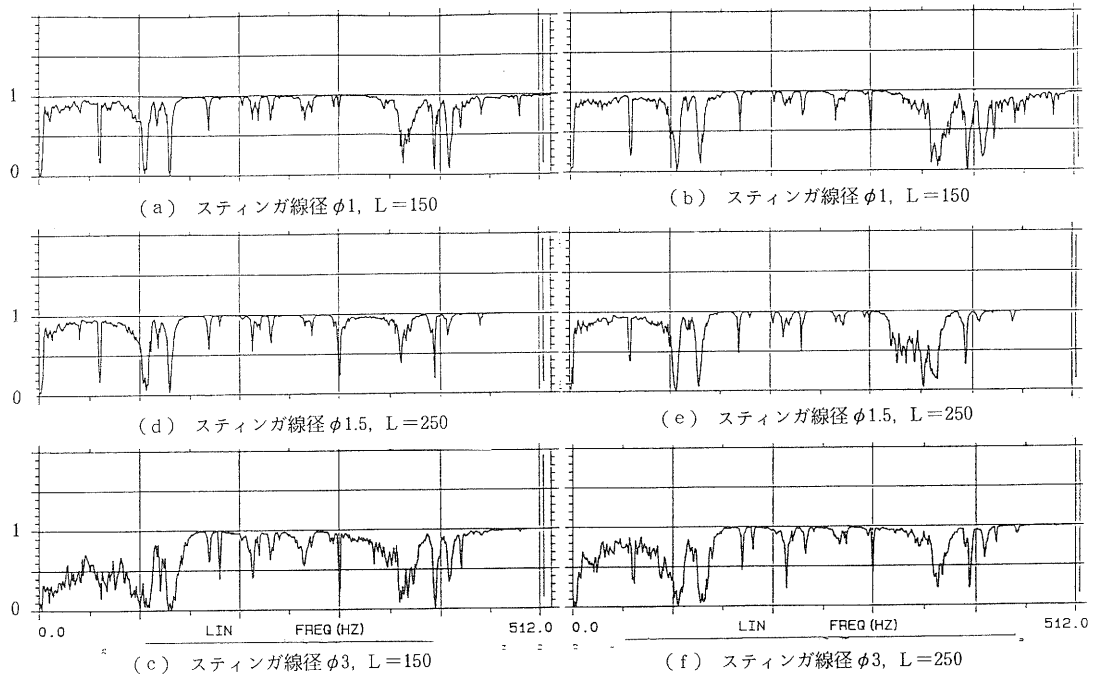


図4-2 コヒーレンス関数測定例

図4-2に、一例としてスティंगाの長さ150mmと250mmの時のコヒーレンス関数を示す。スティंगा線径は、太くなるほどコヒーレンスが悪くなる傾向がある。長さについては、図4-2からも明らかのように、150mmに対して250mmが悪い。しかし、逆に100mm、50mmと短くしても悪くなった。この結果、スティंगाは線径1.5mmで長さ150mmで加振することとした。

5. リニア形フィーダ（接合ベース付きトラフ）の伝達関数測定条件

接合ベース付きトラフに対して、図2-1のNo55を加振点（Z軸方向）とし、No.1～No.55（昭和62年度の測定点の見直しを行い、測定点は54点から37点と減らした。従って、欠番がある。）を応答（X, Y, Z三軸方向）計測箇所として伝達関数を測定した。データ収集では20回の平均化を行い、データ取り込み周波数範囲は0～512Hzとした。また、トラフ側面部はX, Y, Z軸方向に直交した面でないので、各面の傾きに合わせたアルミブロックを介して三軸方向の応答を計測した。

表5-1に、4項で述べた加振条件の検討結果を踏まえた加振・計測

表5-1 伝達関数測定における加振・計測条件

項	目	加振・計測条件
信号発生器	出力信号の確率密度分布の種類	正規分布
	パワースペクトルの帯域(-3dB)	500Hz
加振機	スティंगाの線径	φ1.5mm
	スティंगाの長さ	150mm
	スティंगाプリテンション	約5 kgf
	加振力	約1 kgf-p-p以下
測定物支持方法		ゴムチューブ
伝達関数	平均化回数	20回
	ウィンドウ	ハニング・ウィンドウ
	フレーム・オーバーラップ	50%
	計測周波数範囲	0～512Hz
	解析周波数範囲	0～350Hz

条件を示す。

6. リニア形フィードのモーダルパラメータ抽出結果

図6-1に、計測により得られた伝達関数（実線）およびモーダルパラメータ抽出のために合成された伝達関数（“+”でプロット）を示す。これはPolyreference法（時間領域での多自由度系カーブ・フィット法）により抽出を行ったもので、実測と合成された伝達関数の精度が悪い第4、5、7、9のモードに関しては個々にDirect Parameter法（周波数領域での多自由度系カーブ・フィット法）、によりパラメータの抽出を行った。表6-1に、9次までの抽出されたモーダルパラメータおよび昨年度に実施した結果（接合ベースのない状態）を示す。

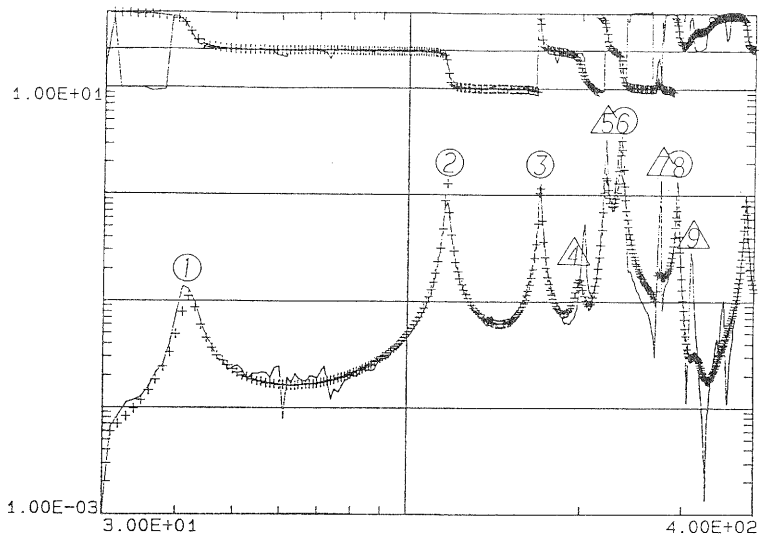


図6-1 計測およびモーダルパラメータ抽出のために合成した伝達関数

表6-1 モーダル解析におけるパラメータ抽出結果

次数	接合ベースあり		次数	接合ベースなし		振動形状		
	固有振動数	減衰常数		固有振動数	減衰常数	側面振動部分	位相	底面振動部分
			1	40.5Hz	0.020	全体	逆位相	全体にねじれ
1	42.0Hz	0.026				全体	逆位相	前端部
			2	55.2Hz	0.120	—	—	—
			3	67.3Hz	0.013	全体	同位相	
2	116.8Hz	0.006	4	113.5Hz	0.017	前端から中央部	逆位相	
3	169.6Hz	0.004						前端から中央
			5	178.8Hz	0.005			中央から後部
			6	203.3Hz	0.031	前端部	逆位相	前端部
			7	212.7Hz	0.008	前端部	逆位相	後部
5	219.3Hz	0.004				前端部	逆位相	前端部
6	231.9Hz	0.005	8	227.2Hz	0.006	前端部	同位相	
			9	236.8Hz	0.013	前端から中央部	同位相	
7	275.0Hz	0.003				前端部	同位相	
8	294.1Hz	0.006				前端部	同位相	
9	312.0Hz	0.003				前端部ねじれ	同位相	

7. 接合ベースを取り付けたことのモーダルパラメータおよび振動形状への影響の検討

7-1 モーダルパラメータへの影響

接合ベースは、約3.6kgもの重量がありこれをトラフに附加することは、系全体の剛性が増し、全体として固有振動数が高くなっている(表6-1)。減衰常数は、系全体としての質量、ばね常数が増したので、低くなっている。

7-2 振動形状への影響

トラフ底面が関係しない振動形状つまりトラフ側面のみ振動は、接合ベースの有無にかかわらず、ほぼ固有振動数は同じである。

例えば、両側面の前端部のみ同位相の振動では、接合ベースがない場合8次の227.2Hzであったが、接合ベースを付けても6次の231.9Hz(図7-1)に見受けられる。

しかし、接合ベースを付けないときの1次40.5Hzの振動形状は、両側面が逆位相で振動しており、これとともにトラフ底面は若干のねじれ振動が生じていた。接合ベースを付けたときに最初に現れる両側面逆位相の振動形状は、同じく1次の42.

0Hzであるが、トラフ底面が補強されているため底面のねじれとしては現れず、底面前端部の上下振動として計測された。(表6-1参照)

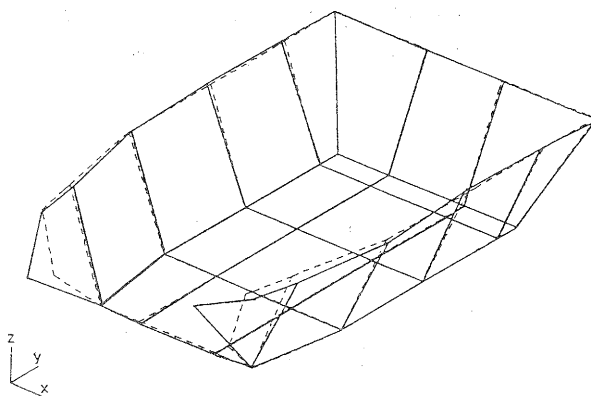


図7-1 接合ベースを付けた場合の6次231.9Hzの振動形状
(両側面前端部のみが同位相の振動)

7-3 トラフ底面部の割れに対する検討

実稼働時にリニアフィーダのトラフ底面部が割れを起こす箇所は、図2-1のA部である。また、実稼働時には、共振状態でトラフは振動している。つまり、60Hzで加振されている場合、この倍数の周波数で共振を起こしていることになる。つまり、接合ベースのある場合では、これに近い周波数として2次116.8Hz、3次169.6Hzなどが該当する。

割れに影響する振動形状として、3次の振動形状(図7-2)がある。図7-2をみれば、トラフ底面の割れが発生する箇所が特に振幅が大きくなり、実稼働時の割れは、この3次の

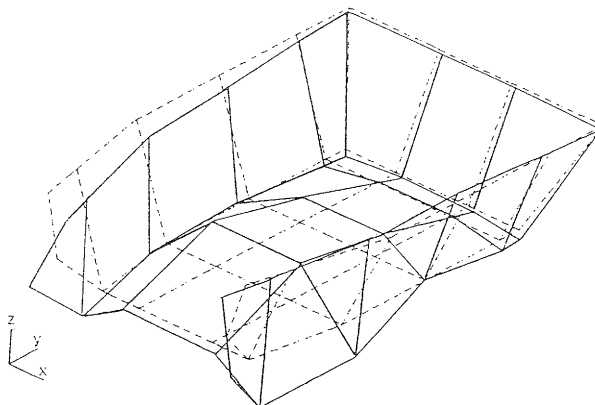


図7-2 接合ベースを付けた場合の3次169.6Hzの振動形状

振動ではないかと考えられる。また、3次の振動形状は、底面の振動とともに両側面部が逆位相で振動している。なお、トラフの割れ対策構造である補強棒は、トラフ両側面部の逆位相の振動を抑える効果があることが実験より確認されている。⁽¹⁾

8. む す び

本年度の研究の結果、次のことが明らかとなった。

- (1) モーダル解析の伝達関数のデータ収集時において、加振機でスティンガを介して加振を行う基本的な条件が得られた。
- (2) リニア型フィーダの実稼働状態での振動形状が把握でき、現在割れが発生している原因は主に3次の振動モードであることがわかった。
- (3) トラフの改良構造である補強棒の効果が、本年度の研究においても裏づけられた。

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（立命館大学理工学部教授）に感謝します。

【参考文献】

- (1) 月瀬 寛二、田尻 祥子 他：昭和62年度 滋賀県工業技術センター研究報告、P43～56
- (2) 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
- (3) 加川 幸雄、石川 正臣共著：モーダル解析入門、(昭62)、オーム社
- (4) 田中甚八郎、三枝 省三共著：振動モデルとシミュレーション、(昭59)、応用技術出版
- (5) 日本機械学会編：振動工学におけるコンピュータアナリシス、(昭62)、コロナ社

赤外レーザを用いた距離計測機の試作

技術第一科 河村 安太郎

あらまし： 無人搬送車等の知能化には積載型の距離計測機が必要であるが、1～2メートルから数十メートルの範囲を正確に測定できるものがない。そこで、三角測量方式による距離計測において、計測可能な距離をのばす方策を探るため、前回に赤外レーザとPSD（半導体位置検出素子）を用いた距離計測システムの試作を行い、精度向上の対策方法などを検討した。

今回その結果をベースに、測定距離向上・精度向上のほか安全性向上・測定機のコンパクト化をはかるための各種対策を折込み、各構成部分の設計見直しを行い、新しくレーザ部や信号発生部や処理部などの試作およびコンパクトケースへの一体化収納を行った。

まだ距離の延長や未解決の部分などもあるが、安全性の向上や測定距離・精度の向上が認められ、測定機のコンパクト化も図れたので報告する。

1. まえがき

無人搬送車など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。

知能化を実現する第一歩は、機械（無人搬送車、移動ロボットなど）が自分自身と周囲の物体との距離を認識できることである。このための距離計測センサーシステムとして、超音波を用いる方法・画像処理を用いる方法など色々研究されている。^{(1),(2),(3)}

その1つの方法がレーザ光を用いる距離計測システムである。この方法は、画像処理法のような間接的な方法と異なり、1点測定ではあるが直接的で正確な距離が求められる。また、レーザ光を走査させることにより三次元的形状や配置も正確な距離感覚をもって把握できる。

これらの用途に用いられるセンサーシステムの計測範囲は、数メートルから数十メートル必要となるが、この範囲のものは、市販されていない。

その理由として、PSD（position sensitive device—半導体位置検出素子）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PSDの検出限界を越えているか、または、入射光が弱いバックグラウンド光等の影響で精度が出ないなどが考えられた。

そこで、61年度「PSD素子の特性に関する基礎実験」を踏まえて63年度「赤外レーザを用いた距離計測システムの試作」を行いその結果、レンズ有効径の拡大・レーザ光の容量アップ⁽⁶⁾・自然光に少ない赤外線の利用⁽⁶⁾・変調照射やバンドパスフィルターによるバックグラウンド光の除去のほか、サンプルホールド時のノイズ対策・アナログ回路のプリント基板化・アナログによる除算を行えば数メートルの計測が出来る感触を得た。また、実用化する上で安全性・コンパクト化は

時代のニーズである。これらを踏まえて、今回、各構成部分の設計の見直しを行い、新しくレーザー部や信号発生部や処理部など設計し試作およびコンパクトケースへの一体化収納を行ったので、ここに報告する。

2. 距離計測システムの原理

2-1 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図1の様になっている。スポット光がxの位置に照射されるとき、2つの電極端子から流出する電流値を I_1 、 I_2 とすると、

$$x = l \times (I_2 - I_1) / (I_1 + I_2) \quad (1)$$

よりスポット光の当たった位置が求まる。

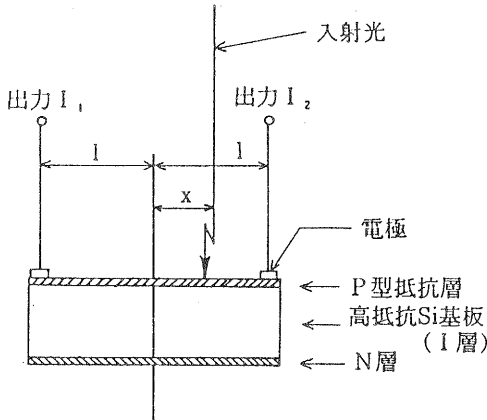


図1 PSD断面構造

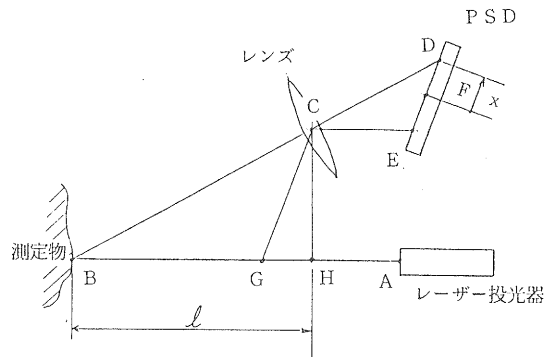


図2 測定原理図

2-2 測定原理

図2に原理図を示す。図に於いて、レーザー投光器より測定物に向かって照射された平行ビームは測定物に当たり乱反射する。これをレンズを用いて集光さす。この時、測定物を投光器に向かって前後に動かすと集光点はレンズの後方の斜め直線上を移動する。この線上にPSDをセットする。この様に構成された状態では、測定物のレーザー投光器からの位置とPSDに当たるスポット光の位置とが一義的にきまる。従って、PSDの出力より測定物までの位置が求まる事になる。

2-3 距離算出式

距離の算出を図2により考える。

レーザー投光器をA、測定物上の平行ビーム光の照射点をB、レンズの光心をC、PSD面上の集光点をD、PSD面の中心をFとする。また、点Cを通り線ABに平行な線がPSD面と交わる点をE、点Cより線ABに下ろした垂線の交点をH、点Cを通りPSD面(線DE)に平行な線が線ABと交わる点をGとする。なお、PSDにより求まる集光点の位置の出力xは線FD(±があ

る)であり、求める距離Lは線BHである。

$$\begin{aligned} \triangle BCG \sim \triangle CDE \text{より } BG : CE &= CG : DE \\ \text{すなわち } BG &= CE \cdot CG / DE \\ \text{しかし、 } CG &= CH / \cos(\angle GCH)、DE = EF + x \\ \text{よって } BG &= CE \cdot CH / (\cos(\angle GCH) \cdot (EF + x)) \end{aligned}$$

ここで、CE、CH、EF、 $\angle GCH$ は試作機固有の定数である。

距離Lは

$$\begin{aligned} L &= BG + GH = BG + CH \cdot \tan(\angle GCH) \\ &= a / (\beta + x) + \gamma \end{aligned} \tag{2}$$

ただし $a = CE \cdot CH / \cos(\angle GCH)$ 、 $\beta = EF$ 、
 $\gamma = CH \cdot \tan(\angle GCH)$

で求められる。

3. 試作機の構成

図3は試作機の構成を示す。各構成部と機能・内容を以下に示す。

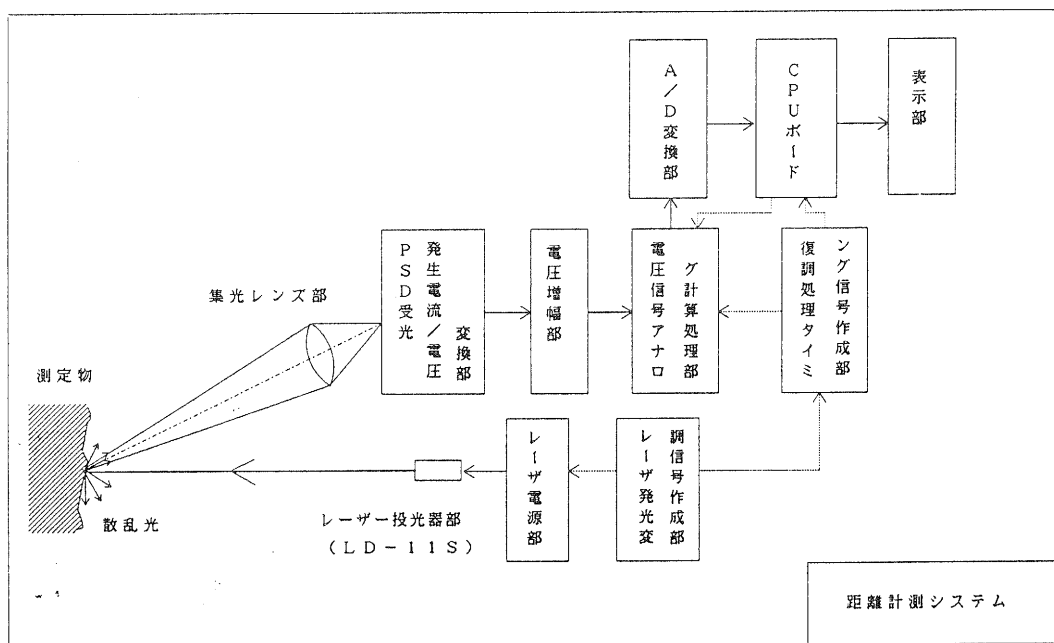


図3 試作機の構成図

- 1) レーザ発光変調信号作成部：レーザの点灯消灯の指示をする信号を作る。
- 2) レーザ電源部：半導体レーザ素子に一定電流を上記信号に応じて供給する。

- 3) レーザ投光器部：半導体レーザ素子とそこから出る光を小径平行ビームにするレンズ系で構成
- 4) 集光レンズ部：測定対象物で散乱した反射光をPSD上に集光させ、レンズ部
- 5) PSD受光・発生電流／電圧変換部：集光したスポット光の位置に応じて発生する電流の交流部を取り込み電圧に変える。
- 6) 電圧増幅部：電圧を増幅する。
- 7) 電圧信号アナログ計算処理部：サンプリングホールド回路・差分回路を用いてPSD電圧波形から各パルス高さを求め、加算・引算回路と除算器を用いて、PSD上のスポット光位置を算出し電圧出力する。
- 8) パルス高さ取り出しタイミング信号作成部：上記サンプルホールド回路にタイミングおよび保持時間を指示する。
- 9) A/D変換部：上記7)の出力電圧をマイコンが読み取れるデジタル値に変える。
- 10) CPUボード：A/D変換器からデータを読み取り、計算して、表示部に結果を出す。
- 11) 表示部：距離測定結果値を分かり易いように数字で表示する。
- 12) ソフト：CPUボードを動かすプログラム

4. 今回の試作で改良した内容

今回の設計の見直しおよび試作では、主に、安全性の向上・測定距離および精度の向上・コンパクト化をめざした。その内容について以下に述べる。

4-1 安全性

半導体レーザを利用した測定機の安全性としては、レーザ光が人体特に眼に入ったときの眼の障害が問題になる。そのため、レーザ使用時の安全基準も考えられている。⁷⁾

眼に入るレーザ光を少なくする方法としては、レーザ光を外部に出さない、または、眼に入らない所で用いればよいが、無人搬送車の距離測定センサー等として用いる場合、光は外部に出さなければならず、人のいるところでも用いる場合があり難しい。そこで、次善の方法として、眼に入る時間・光エネルギーを少なくする事を考える必要がある。今回、ある程度長い時間間隔毎に、測定に最小必要限のごく短時間しか光を出さない断続発光を試みた。

図4の左上は、レーザ発行変調信号を断続的発生させるためCMOSパルス発生回路である。100m秒毎1m秒間10Hzのパルスを発生させ、発光時間の割合を200分の1に減少させる回路である。写真1と写真2はこの回路で作られた断続パルス波形で、写真1は横軸50m秒/div、写真2の上段は横軸0.2m秒/div、下段は横軸20μ秒/divである。100m秒ごとに信号が出ており、その信号に10KHzのきれいなパルス波形が約1m秒のあいだ出ていることが判る。

しかし、断続パルスは受光信号の処理時に不具合が生じる。図5はPSD受光・発生電流／電圧変換および増幅回路である。この回路中にPSDから発生した受光電流からパルス波形だけ取り出す微分回路が設けられている。写真3は大きな光エネルギーがPSDに入射し、発生電流が微分回路を通った後の出力波形である。パルス中心レベルが最初急激に下に変化して段々あるレベルにサ

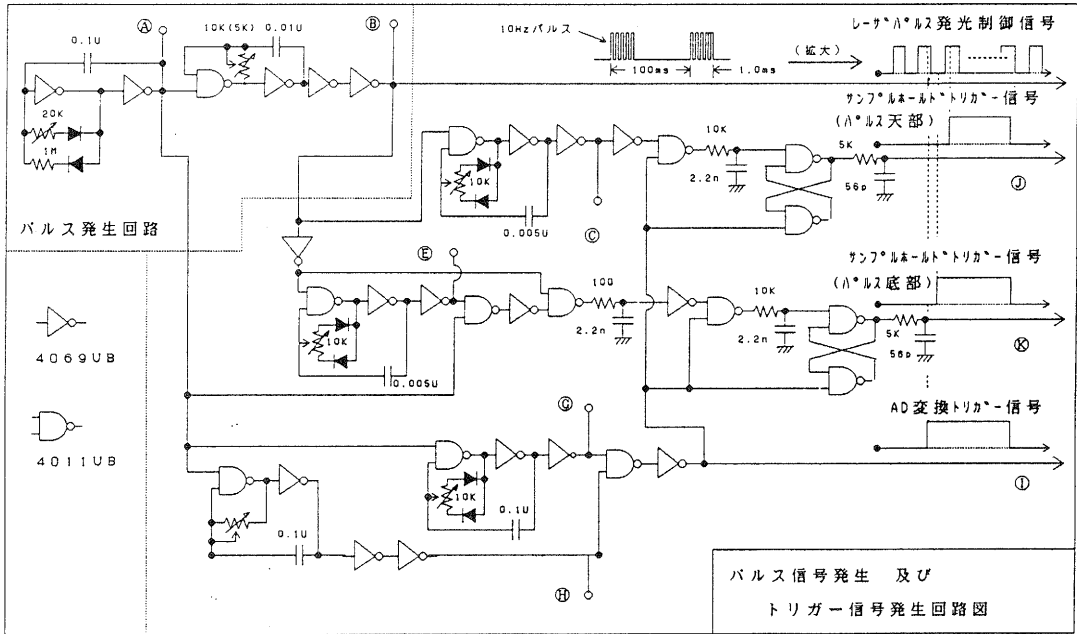


図4 パルス信号発生およびトリガ信号発生回路

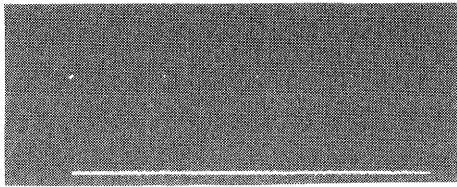


写真1 断続パルス波形 (その1)
(横軸 50msec/div 縦軸 2v/div)

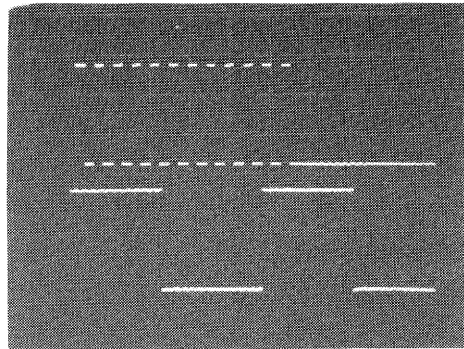


写真2 断続パルス波形 (その2)
上 (横軸 0.2msec/div 縦軸 2v/div)
下 (横軸 50μsec/div 縦軸 2v/div)

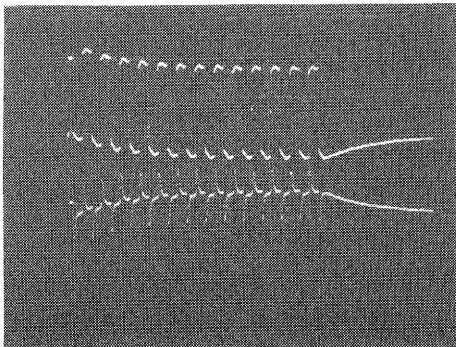


写真3 微分回路を通った断続パルス波形
(横軸 0.2msec/div 縦軸 1v/div)

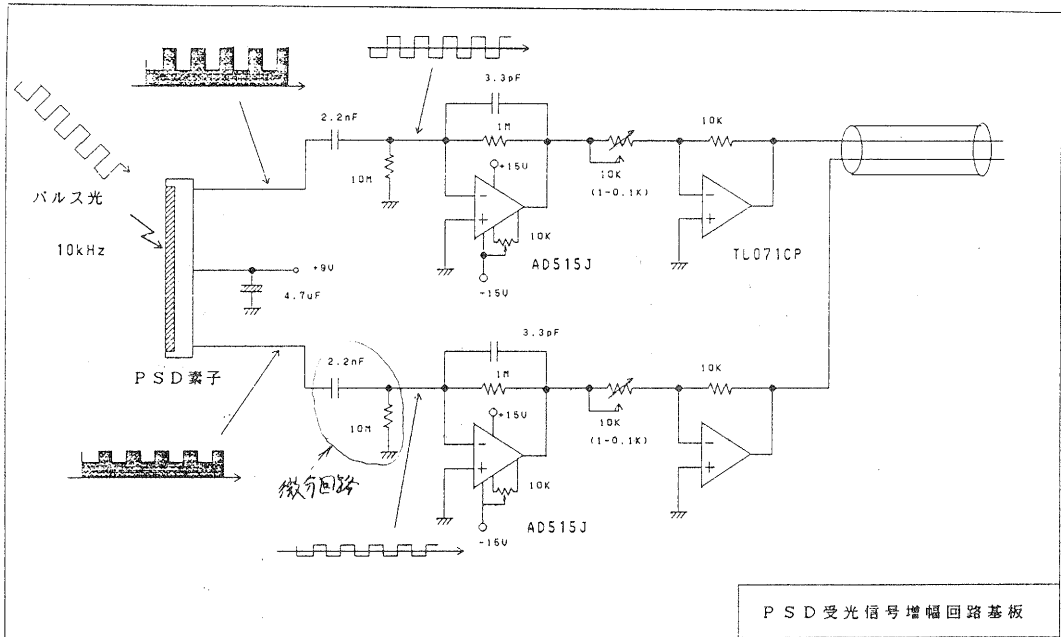


図5 PSD発生電流の電圧変換および増幅回路

チュレートしている。この変動は微分回路に急にパルスが入ってきたときの初期の立ち上がり時の現象で取り除けない。また、この現象はパルス電圧が高いと大きく出る。このため、パルス高さを取り出すためパルス毎にパルス天部と底部の差分を取ると、その値は安定せず、測定精度が落ちる。

この対策として、パルス高さの取り出しは、パルスが安定する約0.5m秒後からパルスが終るまでの間だけにする必要がある。後述するサンプルホールド用トリガー信号は、このためタイミングを遅らせている。

4-2 精度向上

1) アナログ回路部のプリント基板化

PSD発生電流を電圧に変換する部分は微小電流のためノイズが乗り易い。そのためプリント基板化し小さくすっきりとさせた。また、各ICの電源部とグランドとの間にタンタルコンデンサーとセラミックコンデンサーを設け電源ノイズ対策を施した。

2) サンプルホールド時に於けるノイズ対策

前回、信号がサンプルホールド回路を通るとサンプリングのタイミングに合わせてノイズが乗りデータが安定しなかった⁽⁶⁾。

写真4はサンプルホールド時のノイズ部波形を拡大したもので上段波形はホールド信号で下段波形はサンプルホールド出力である。上段のホールド信号がLOWレベルの時、入力信号をサンプリングし、そのまま出力する。そして、HIレベルの時はHIになった時の出力状態を保持(ホールド)する。写真4より出力波形が立ち上がり急激に下がって落ち着くまでの不安定時間

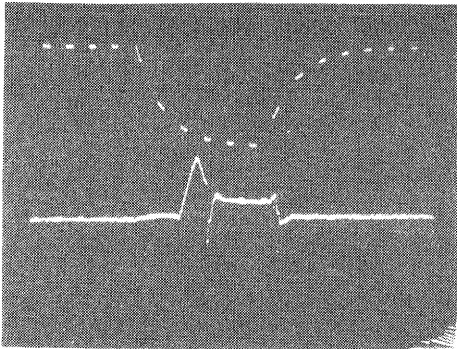


写真4 サンプルホールド時のノイズ波形
上 (横軸 2 μ sec/div 縦軸 2 v/div)
下 (横軸 2 μ sec/div 縦軸 0.02v/div)

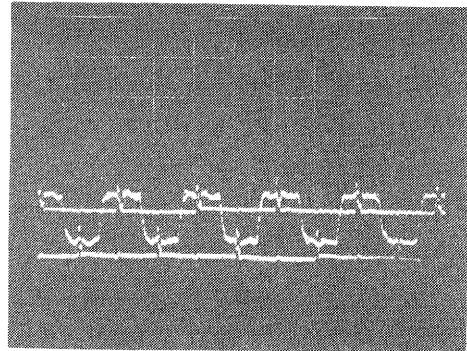


写真5 サンプルホールド回路の入力
パルス波形およびホールド波形
(横軸 50 μ sec/div 縦軸 0.05v/div)

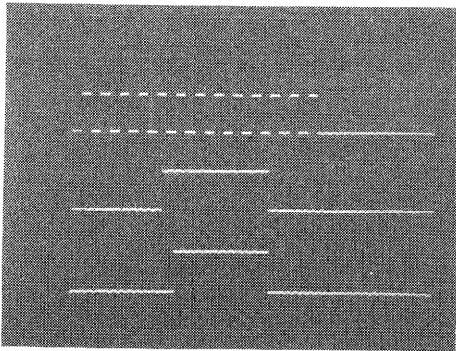


写真6 サンプルホールド用トリガー信号の出力波形
(横軸 0.2msec/div 縦軸 5 v/div)

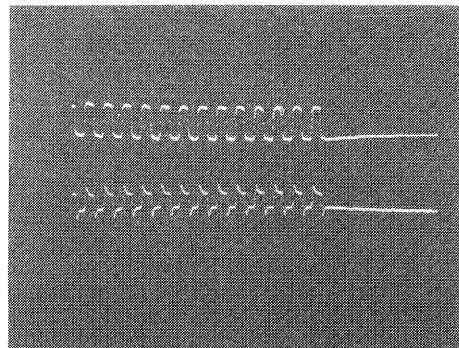


写真7 PSDの両端から出てきた増幅後の出力波形
(横軸 0.2msec/div 縦軸 0.5v/div)

は2 μ 秒である。ここで、サンプルホールドICを用いる場合、電圧ホールド状態から信号サンプリング状態に移る時に不安定波形部が発生する。これが安定するまでの時間をアキュイジション・タイムと言い、その時間はICの種類およびチャージ・コンデンサー容量により異なり、IC回路の特性表で示されている。この場合のアキュイジション・タイムを特性表より求めると約5 μ 秒である。これは、写真4の不安定波形時間とほぼ合う。即ち、このノイズはIC回路固有のものであり、無くすることは出来ないことが判った。なお、ホールド時出力がサンプリング時の出力より落ちているがこれはオフセットでゼロ調整出来る。

また、写真5は前回の報告した入力波形(中央部のパルス形の波形)とパルス上下レベルのホールド出力波形であるが、入力波形にもこのノイズが乗っており、またパルス上レベルのホールド出力にはレベルは小さいが別のノイズが乗っている。これは、アキュイジション・タイムのノイズが大きいため他にも影響したものと思われる。

ここで、写真4ではアキュイジション・タイムを過ぎればサンプリング時ホールド立ち上がり時

も含めてノイズは発生していない。よって、パルス毎にサンプリングとホールドを繰り返すのではなく、常時サンプリング状態にしておき必要な時必要な時間だけホールドするようにすればノイズはでないことになる。

図4の右側は今回作成したホールド信号発生回路で写真6はその回路からの出力波形である。写真6の上段はレーザ発振信号波形、中段は受光信号パルスの天部波形レベルのホールド信号、下段は受光信号パルスの底部波形レベルのホールド信号波形である。各々のホールド信号はパルスの天部中央および底部中央で立ち上がっている。

写真7はPSDの両端の増幅された電圧出力で図5の回路の最終出力である。写真8は写真7の一方の入力信号を写真6の信号を使ってホールドさせた出力信号（上・中段）とその両者の差分のパルス高さ波形（下段）である。これらにはノイズは無くきれいなデータが求められていることが判る。なお、差分をとるとホールド部以外の同じパルスは無くなるが、写真8の下段からパルス波形がきれいに消えている。写真9はPSDのもう一方の信号を写真8と同様に処理したものである。

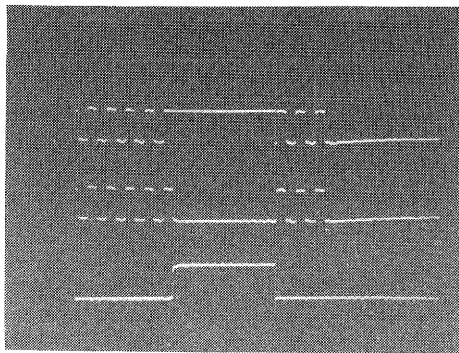


写真8 ホールド出力および差分出力波形（その1）
（横軸 0.2msec/div 縦軸 0.5v/div）

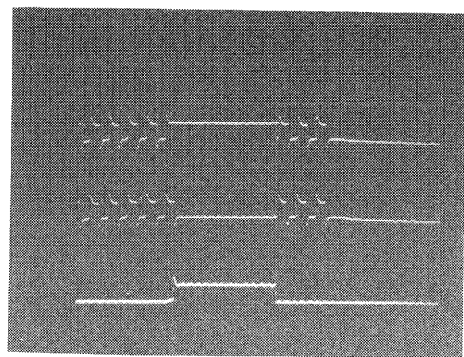


写真9 ホールド出力および差分出力波形（その2）
（横軸 0.2msec/div 縦軸 0.5v/div）

3) 割り算のアナログ処理化

PSD上の受光レーザスポット位置を算出するには、式(1)に示す割り算を行う。前回は割り算の分子の電圧と分母の電圧を市販の多チャンネルA/D変換ボードを用いて順番にパソコン上に取り込み計算していた。そのため、分子と分母のデータの間には10m秒のタイムラグが出来、レーザ光源のゆらぎや低周波ノイズによる影響を大きく受けていた。対策としてはA/D変換器を2個使う方法等もあるが、コンパクト化の上からアナログで割り算を行った。

図6はサンプルホールドおよび引算・加算に割り算を加えた回路である。今回使用した割り算ICは高精度であるが1現象処理のため、分子が負の値の時は計算不能になる。そのため、アナログスイッチと正負反転用OPアンプとを用いてCPUからの指令により分子は正の値になるように構成した。

写真10は写真8および写真9の各々の差分波形（パルス高さ）間の引き算（上段）と加算

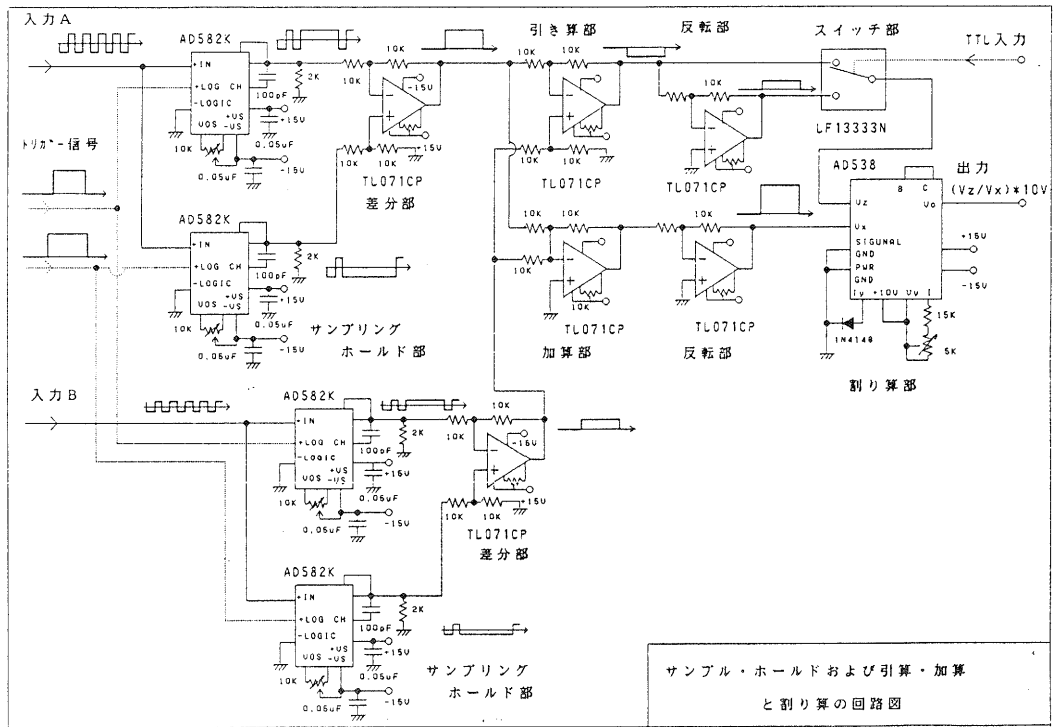


図6 サンプルホールドおよび加減算・除算回路

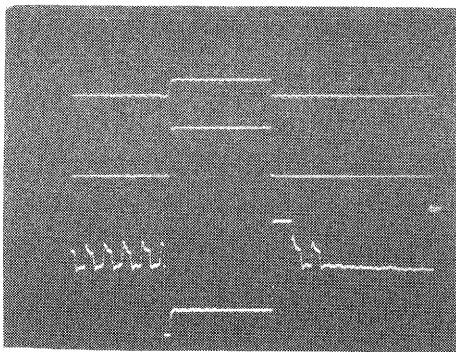


写真10 アナログ処理波形
 上中(横軸0.2msec/div縦軸0.5v/div)
 下(横軸0.2msec/div縦軸5v/div)

(中段)の電圧波形であり、下段は引算の値を加算の値でアナログ除算し、10Vフルスケールで出力した波形である。出力値はノイズ等も無く安定しており距離計測値のデータとして十分使える。

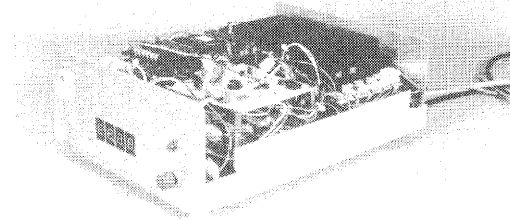
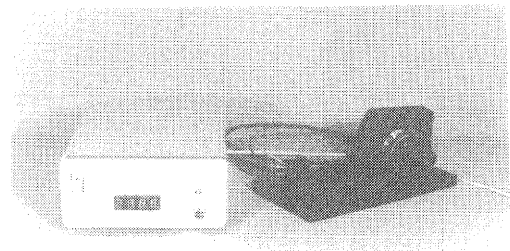


写真12 試作機の外観および内部

4-3 コンパクト化

前回の試作は、各構成部の多くに市販の汎用機器を用いたため大がかりなものとなっていた。また、配線類が多く、持ち運びできず実用的で無かった。

今回、各構成部を1つにまとめて測定器として使えるものにするため、各構成部のコンパクト化をめざし以下の部分の試作を進めた。写真12は距離測定機としてまとめた試作機の外観および内部であり、

写真13は試作した各種基板の外観である。以下にその状況を述べる。なお、作動のプログラムに不安定なものも一部残っており引き続きフォローする予定である。

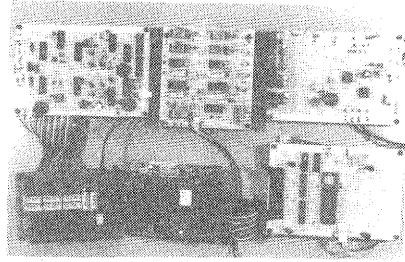


写真13 試作した各種基板の外観

1) レーザ発光変調信号作成部

この信号は前回は汎用ファンクション・ジェネレータで発生させた信号を用いていたが、4-1項で述べたように、安全性を高めるために断続パルスが発生させる必要も有り、コンパクトにするため、図4の回路の基板を試作した。試作中に改良したところは、パルスのデューティ比を変えるために抵抗を変変にした事と波形をシャープに整えるためNOT回路を2回通した事である。写真13の右下は試作したボードで、当回路と後述するパルス取り出しタイミング信号作成回路とを1枚のボードに納めている。

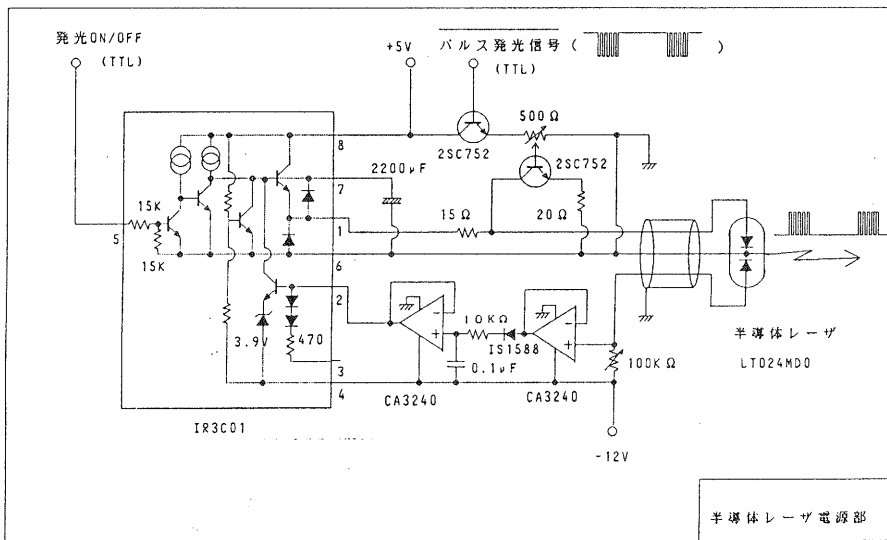


図7 半導体レーザー電源回路

2) レーザ電源部

半導体レーザーの駆動は外部信号をもらって作動する市販の半導体レーザーパルス点灯電源を用いていたが、コンパクト化するため、図7の回路図で示す電源ボードを試作した。制作中に改造したところは、断続パルス発光のために起こる電圧の低下変動によるレーザー発光のふらつきを抑えるため、サージ防止のスロースタータ用コンデンサーを100 μ Fから2,200 μ Fを増やした事である。写真13の左下は試作した電源ボードである。

3) レーザ投光器部、レンズ集光部

半導体レーザー投光器は平行ビーム作成レンズ系を含めたコンパクトな市販品があり、ここでは(LD11S 酒井硝子エンジニアリング(株)製出力3mW)を用いた。また、レンズ集光部は前回試作したものを用了。

4) PSD受光・発生電流／電圧変換部、電圧増幅部

これらの部分は微弱電流を扱うため配線距離を短くしコンパクトにまとめる必要があり、回路は前回と殆ど変わらないが配線構造をプリント基板にした。

また、他のボードまで少し距離があるためノイズを拾わないよう入出力線はシース線付き多芯ケーブルを用いた。

5) 電圧信号アナログ計算処理部

前回試作のサンプルホールド部、差分部、引算・加算部に今回は正負変換部と割り算部を追加し図6及び写真13の中央下の回路の基板を制作した。

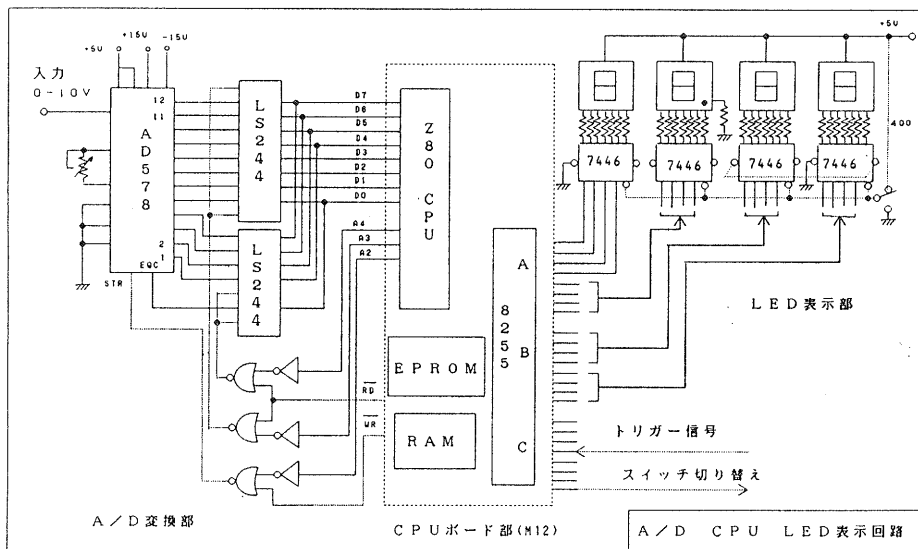


図8 A/D・CPUおよびLED表示回路

6) パルス高さ取り出しタイミング信号作成部

前述のようにホールド信号のタイミングを作るため図4および写真13の右下の回路の基板を試作した。また、NOR回路でヒゲノイズが発生したためR・Cの高周波ノイズフィルターを多用した。

7) A/D変換部

アナログ電圧出力を12ビットのデジタル値に変換しマイコンの命令によりデータバスとつなぐ図8及び写真13の左下のA/D変換インターフェース回路の基板を作成した。

8) CPUボード：ソフト部

コンパクト化するため入出力インターフェース8255とRAM・ROMだけで構成されるZ80の小型CPUボード(M12、㈱ロジパック製)を改造して図8及び写真13の中央上のように必要なアドレス線、データ線、コントロール線を外部に出した。また、A/D入力・処理・LED表示出力用の機械語ソフトの作成は、インサキットシミュレータで確認しながらおこない、データ取り込み及びLEDへの表示が出来るようになった。なお、実距離測定による確認とソフト修正や平均化処理による精度向上など残っており引き続き行っている。

9) 表示部

CPUボードのIC8255からの出力データを用い、7セグメントLED4個を作動させ距離測定結果を表示する図8及び写真13の右上の回路の基板を試作した。

5. 試作機の性能

距離の算出は、前述の写真10の下段に示されたアナログ除算値をA/D変換を用いてCPUに取り込み式(2)の計算を求める事になる。しかし、CPUのソフトプログラムを開発中であり、現状では、写真10の下段のアナログ除算出力しか得られない。

そこで、各測定距離ごとのアナログ除算出力波形の写真から読み取った電圧値を使い手計算で算出し距離測定値とした。これは、デジタル処理は誤差要因になりにくく、アナログ除算出力が得られれば性能を論ずることが出来るからである。

図9は横軸に実距離を縦軸に上記の方法で求めた距離測定値をプロットしたものである。なお、1.9mまでは測定値に変動がないが2.0mを越えると時間的に少し変動して来る。そのため2.0m以上のデータはそのゆらぎの中央値を目測して用いた。即ち、2.0m以上はサンプル回数を増やして平均値処理をする必要があると思われる。

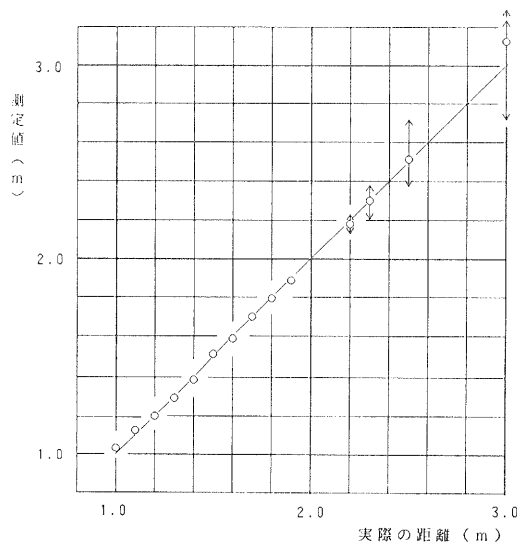


図9 実距離と測定値との関係

図9から1.9m迄はダイレクトに測定できると言える。また、2.5m程度は平均値処理をすれば十分測定できると考えられる。

前回の試作機では平均値処理して1.7mまで正確に計れたが今回の試作機では1.9mまでダイレクトに計れるようになり、平均値処理すればさらに2.5m程度測定出来ると考えられ、今回行った種々の対策で測定距離が伸びたと言える。

なお、精度については、データ収集がオシロスコープの波形写真から行っているため読み取り誤差が大きく、一概に言えない。

写真11は距離3.0mの所を測定したときのPSD両端の増幅電圧波形である。波形はノイズにかき消されることなくパルス波形の形状を保っており、精度は落ちるがこの距離でも距離測定が可能と思われる。

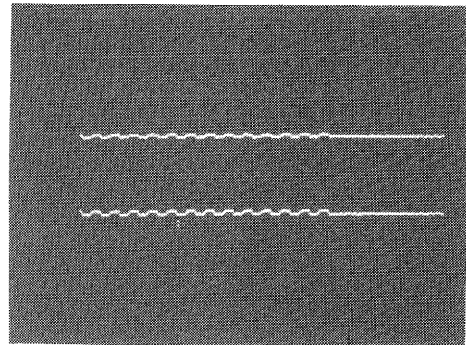


写真11 測定距離3.0m時のPSD増幅出力波形
(横軸0.2msec/div 縦軸0.5v/div)

6. む す び

これらより、次のことがわかった。

- 1) 安全性を向上させる方法として、断続パルスを用いる場合の問題点と対応策がわかった。
- 2) 1メートルから1.9メートルまでの距離は正確に測れることがわかった。
- 3) 2.5メートル程度までは、平均値処理すれば測定できると考えられる。
- 4) 3m前後も精度は落ちるが測定可能と思われる。
- 5) 各構成部の試作によりコンパクトな測定機とすることが出来た。

対策出来なかったレーザの出力アップ(20mWに)を行い、また作動が不完全であったプログラム等をフォローし、今回試作したコンパクトな測定機を1～3mまで高精度に距離計測できるようにすると共に、測定対象物の違いによる影響も求めて行きたい。

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(立命館大学理工学部教授)に感謝します。

[参考文献]

- (1) 吉田 健一: “移動ロボットよう視覚” 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(1)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年度精機工学会春期大会 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 No.8 P27 8月号(1984)
- (5) 安田 博彦: “レーザ変形による形状測定技術” センサ技術 Vol7 No.2 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

－耐光試験をした高分子フィルムの劣化程度の超音波速度による評価について－

技術第二科 井上 栄一

あらまし：高分子材料が屋外等で使用される場合その耐光性を吟味することは重要であり研究例も数多い。昨年、高分子複合材料の耐光性評価に対する超音波技法の有効性を調べるため、まず高分子板材の超音波減衰率ならびに伝播速度の測定を行なったが、表面の劣化だけでは強度に大きな影響を及ぼすものの超音波特特性値には有意の変化を認めることができなかった。そこで今回は光劣化が材料全体に及ぶような透光性を有するフィルムの光劣化の評価が超音波伝播速度によって可能であるかどうかを確認するため、硬質ポリ塩化ビニルとポリエチレンテレフタレートフィルムの2種類について耐光試験を行い、超音波速度や赤外吸収等の各データと力学特性値との関係を調べた。その結果、超音波伝播速度が劣化程度の指標になる可能性のあることをあきらかにした。

1. まえがき

材料を評価する場合、何等かの振動を材料に加えその応答をみるという手法が多くあり、これらの多くは非破壊で実施でき、測定が容易でかつ安全なものが多い。

超音波は、固体の中を伝播するという性質を有し、その伝播速度は材料の剛性特性に密接に関わっている。そのため、高分子材料が劣化した場合によく見られる材料の変質の指標として簡易に利用できないものかと考え、昨年、非晶性高分子であるABSとHIPSの板材について実験をした。しかし① 板材のような、ある程度の厚みを有するものは、表面層の劣化により強度が著しく低下すること、② ガラス状高分子では分子量変化や架橋による凝集状態の変化が剛性特性に反映されにくいことなどの理由により、簡易な超音波速度の測定では指標として使用できるほどの差が得られなかった。

しかし、透明なフィルム等では劣化が材料全体におよぶこと、また結晶性高分子では非晶領域の凝集構造変化が大きいことが予想され、その場合、材料特性値の変化が超音波伝播速度の上にも大きく認められるのではないかと考えられた。

そこで、この点を明らかにするため、今年度は透光性、屈曲性のあるフィルム試験片として光による劣化状態の異なる硬質ポリ塩化ビニル（以下PVCと記す）とポリエチレンテレフタレートフィルム（以下PETと記す）の2種類について耐光試験を施した後、超音波伝播速度を測定し、各力学特性値との関係を調べた。

2. 実験方法

2-1 試験片

試験片は市販されているPVCで厚さ40 μ mのものと、PETで厚さ75 μ mの2つを長さ200mm、幅25mmの短冊形に切り出した。

2-2 耐光試験

耐光試験はサンシャインキセノンウェザーメータでロングライフカーボンアークを使用しブラックパネル温度336 \pm 3Kで30、60、120、180および240時間試験を行い、終了後中性洗剤と純水で洗浄し恒温恒湿室(296 \pm 1K、50 \pm 2%RH)で88時間以上調整した。

2-3 超音波伝播速度の測定

本測定で使用したダイナミックモジュラステスターの構成を図1に示す。この装置は送信器から5KHzの超音波パルスを60Hzの周期で試料に送りパルスが受信器に到達するまでの時間を測定するもので、トランスジューサー間の距離が既知であれば超音波の縦波伝播速度が計算できる。本実験ではトランスジューサー間の距離として、100、90、80、70、60および50mmの6点の伝播時間から最小二乗法により音速を求めた。

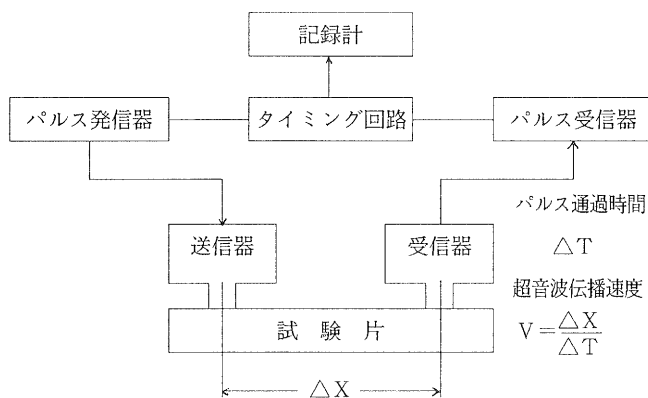


図1 装置構成図

2-4 力学試験

オートグラフによりPVCは秤量98N、PETは秤量480N、引張速度100mm/minで試験を行い、引張最大荷重値と伸びならびに引張弾性率の値を求めた。

3. 実験結果および考察

超音波伝播速度、引張最大荷重、伸びおよび引張弾性率の平均値を表1に示す。また、劣化をさせていない試料と240時間劣化させた試料表面の状態を写真1から4に示す。この結果より試料表面の劣化が確認できる。

表1. 実験の平均値

試料	耐光試験 (時間)	音速 (km/s)	荷重 (N)	伸び (mm)	弾性率 (MPa)
PVC	0	1.56	46.9	228.0	2210
	30	1.64	54.9	2.7	2490
	60	1.67	34.6	1.7	2,560
	120	1.66	40.0	1.8	2,650
	180	1.65	32.3	1.3	2,810
	240	1.70	18.6	1.2	—
PET	0	2.02	357	124.4	5,080
	30	2.05	336	104.0	4,790
	60	2.04	287	84.5	4,790
	120	2.07	264	64.8	4,830
	180	2.13	270	62.3	5,120
	240	2.12	234	42.6	5,210



写真1 PVC未劣化品

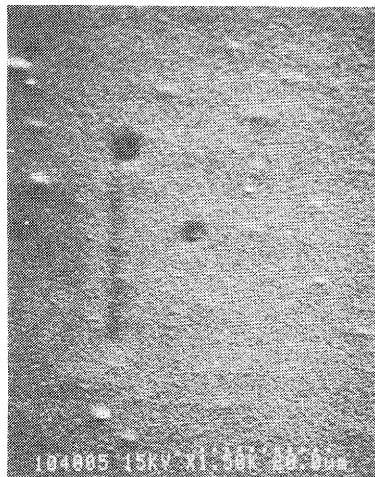


写真2 PVC 240時間劣化品

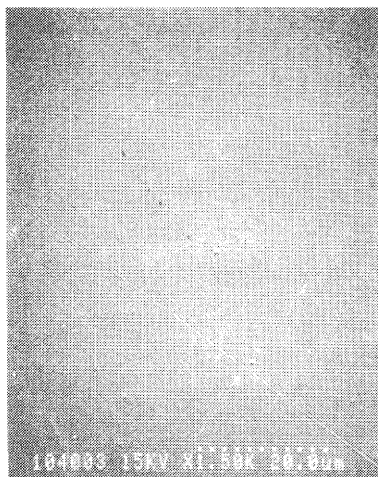


写真3 PET未劣化品

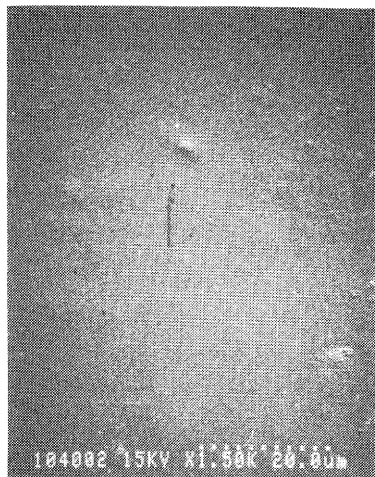


写真4 PET 240時間劣化品

3-1 超音波伝播速度

図2からも明らかなようにPVCとPETフィルムの両者とも劣化時間が長くなるほど超音波伝播速度が大きくなる傾向がみられる。またPVCにおいては、60時間以上ではほぼ一定の値を示すようになっている。

3-2 力学特性値

図3から引張最大荷重は劣化時間が長くなるほど低下していく傾向にある。また、伸びは図4からPETが120時間以上で一定値に近づくのに対してPVCは30時間で著しい低下がみられる。引張弾性率については図5からPVCが高くなっているのに対し、PETは余り変化していない。

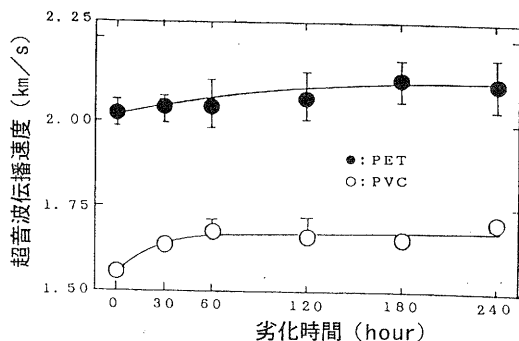


図2 超音波伝播速度と劣化時間の関係

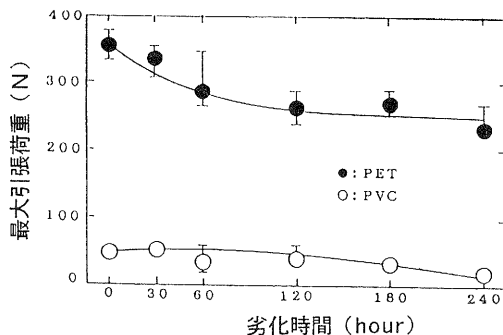


図3 最大引張荷重と劣化時間の関係

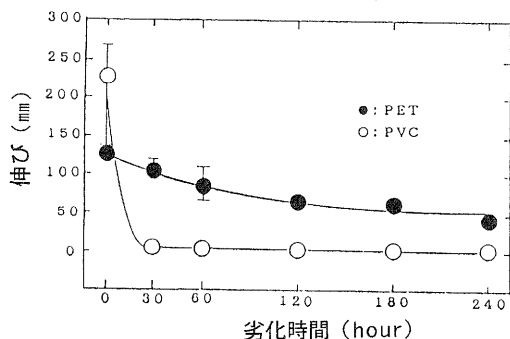


図4 伸びと劣化時間の関係

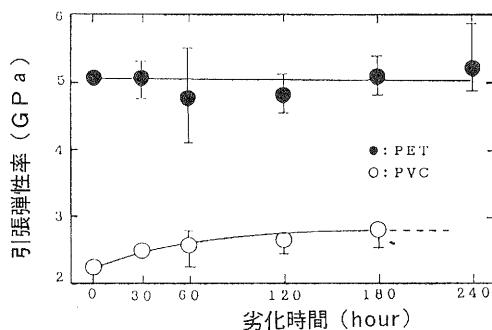


図5 引張弾性率と劣化時間の関係

3-3 考察

PVCの成分変化を調べるため赤外吸収の測定を行った結果を図6に示す。これは CH_2 吸収($1,430\text{cm}^{-1}$)を基準として可塑剤に基づくと思われる吸収($1,620\text{cm}^{-1}$)の吸収強度比をとったものであるが30時間でもかなり著しい減少がみられ、このことから可塑剤の化学反応による劣化が主に促進されて試験片が硬化したと考えられる。同時にPVCの構造変化、特に主鎖の切断を併発していると考えられる⁽¹⁾。著しい伸びの減少がその証左と思われる。

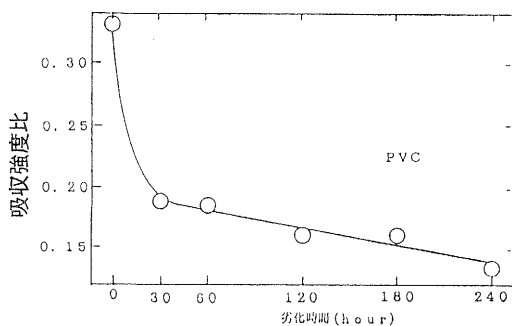


図6 吸収強度比と劣化時間の関係

一方、PETについては超音波伝播速度が伝播方向の結晶割合の影響をうける⁽²⁾といわれており、実験の結果から考えて、非晶部分になんらかの変化が起こっている可能性がある。この場合、結晶部をつなぐ少数のタイ分子が切断される⁽³⁾ため強度の著しい低下と非晶部の架橋による剛性率の増大が考えられる。その結果として引張弾性率があまり変化せず超音波伝播速度が速くなったものと

思われる。

4. むすび

以上の結果より超音波測定は光透過性を有する結晶性高分子の劣化程度を知るのに優れた方法と考えられる。これまでのX線回折等の測定法では結晶部の状態変化を知ることが中心となっていたが本法では結晶間の非晶部の状態変化を簡易に知ることができるため材料の化学変化に伴うマイクロ構造変化の測定法として有効と考えられる。

謝 辞 本研究を行うのにあたりご助言を頂いた木村良晴研究参与（京都工芸繊維大学助教授）
ならびに、試料を提供して下さった沖安純氏（㈱麗光栗東工場）に深く感謝いたします。

〔参考文献〕

- (1) JAMES W. SUMMERS 外 2 : THE CHEMICAL MECHANICS OF OUTDOOR WEATHERING IN RIGID POLYVINYL CHLORIDE, SBE TECHNICAL PAPERS ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 41ST, P.579-582 (1983)
- (2) 中野 詔彦 外 2 : 超音波伝播速度に基づく弾性率の特異性、材料、第 35 巻、第 396 号 P.1071-1076 (1986)
- (3) 長谷川欣治 : ポリエステルフィルムの耐候性、繊維と工業、V40、No.7, P.43-47 (1984)
- (4) 井上 栄一 : 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、滋賀県工業技術センター研究報告, P.99-105 (1987)

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

技術第二科 那 須 喜 一

あらまし：ミズリングの発生には種々の原因が考えられるが、その一つとして、FRPの吸水を取り上げて検討してきた。その結果、吸水による層間せん断強度の低下は認められたものの、マイクロなオーダーでの水の浸入経路を解明するには至っていない。そこで、今回は層間せん断強度、吸水率、ミズリング発生温度を測定することにより、FRPの表面と断面における吸水挙動の違いを明らかにした。

1. まえがき

電子部品の組立て基板などに用いられるガラスクロス強化エポキシ樹脂（FRP）はハンダ付けなどの急激な加熱により層間剥離を起こす事がある。これはミズリングあるいはブリストと呼ばれる。この原因としては、成形時に発生し樹脂中に取り残されたガス、樹脂あるいは樹脂－ガラス繊維間に浸入する水分等が考えられる。本研究では、特に影響が大きいと思われる後者の影響に注目して研究を行っている。

これまでの研究で、煮沸時間が長くなるにつれて、FRP板への浸水率も大きくなり、層間せん断強度が低下することが分かっている。⁽¹⁾ つまりFRPが水を含有することによって、樹脂自体あるいは樹脂とガラス界面の力学的強度が低下すると考えられる。⁽²⁾ そこで、ここでは水の浸入に対するFRPの方向性の差（表面方向と断面方向）を明らかにするため、シリコン樹脂やエポキシ樹脂でFRPの特定の面を封鎖したものについて、煮沸による吸水促進試験を行った。評価方法としては、層間せん断試験および吸水率測定、ミズリング発生温度の測定を行った。

2. 実 験

2-1 層間せん断試験

電子基板用のFRPは、積層構造になっているため、その表面と断面における水分の浸入の挙動に違いがあることが考えられる。そこで、以下のような試料で実験を行った。

- (a)、図1-(a)のように割り付けた、45×48mmの8層FRP試験片
- (b)、(a)の回りの断面にシリコン樹脂を塗布した試験片

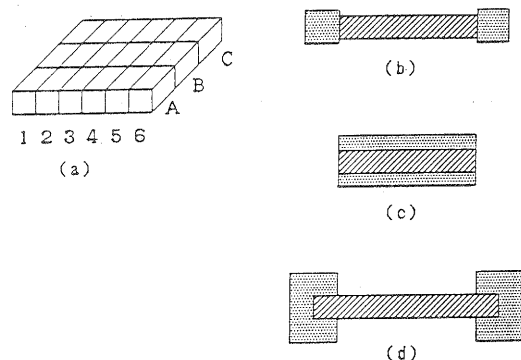


図1 試験片

以上3種類の試験片を用意する。これらを、それぞれ10時間、50時間煮沸し、割り付けに従って切断し、層間せん断試験を行った。

2-2 吸水率試験

水の吸水の程度をより直接的に知るために、吸水率の測定を行った。また、2-1の結果からシリコン樹脂での封鎖が十分でないようであるので、常温硬化型のエポキシ樹脂を用いて作製したのが次の試料である。

(d)・(a)の回りを5mmずつ残してエポキシ樹脂を塗った試験片
(a)と(d)を10、20、50時間それぞれ煮沸する。これらを、2-1と同様に切断して重量を量り、乾燥した後、もう一度重量を測定して、その差から吸水率を求めた。

$$\text{吸水率} = \frac{\Delta W}{W} \times 100$$

W=乾燥重量 ΔW =煮沸後重量-乾燥重量

2-3 ミズリング発生温度

実際にミズリング発生温度は煮沸時間や吸水率とどのような関係になっているのか確かめるために、次の実験を行った。20×20mmのFRP試験片を10、20、50時間煮沸し、これを種々の温度のはんだ浴に漬けてミズリング発生温度を測定した。また、2-2の(d)と同様にエポキシ樹脂を塗布したものを煮沸した後のミズリングの発生状況を調べた。

2-4 ミズリング面の観察

煮沸したFRPと未煮沸のFRPをそれぞれ2-3の測定で得られたミズリング発生温度以上に加熱することにより発生したミズリング面を電子顕微鏡で観察した。

3. 結果と考察

3-1 層間せん断強度

図2に50時間煮沸したときの試料の封鎖面と層間せん断強度との関係を示す。シリコン樹脂で表面を封鎖したものは、その吸水面が小さいために他の全く封鎖していないものや断面のみを封鎖したものに比べて、強度の低下はやや小さい。後者の二つについては、層間せん断試験がばらつきの多いものであることを考慮すると、特に差はないと考えられる。

3-2 吸水率

図3に試料の位置と、吸水率との関係を示す。横軸に、図1-(a)の位置1から6をとり、縦軸には吸水率を示す。この結果

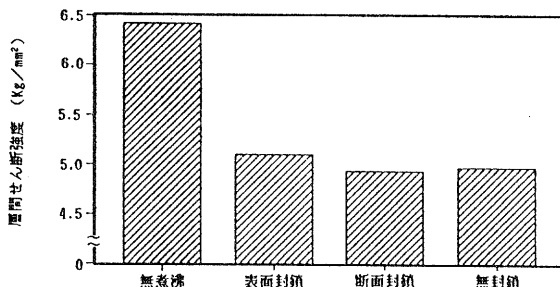


図2 封鎖面による層間せん断強度の差

を見ると、エポキシ樹脂で断面を封鎖した試料が、平均して0.98%吸水しており、無封鎖の試料は、1.04%の吸水率であり、無煮沸の試料が0.29%などから考えても、今回使用したような板状のFRPの場合は9割が面積の大きい表面から浸入している。しかし、図2に示すように断面に近いところでは吸水率が高くなっており、吸水面積当りの吸水量を計算すると、断面の方が大きくなっている。このことから、電子回路などに用いられている、FRP板には、多くの穴がけられていることもあり、その数が多くなると断面の吸水の影響も大きくなると考えられる。

3-2 吸水率とミズリング発生温度

FRPのミズリング発生温度は、煮沸時間が長いほど低くなる傾向にある。その煮沸時間と吸水率とは相関関係にあることから、吸水率とミズリング発生温度との関係をグラフにしたのが、図4である。これを見ても、吸水量が多いほどミズリングは低い温度で発生しやすいことがよく分かる。また、50時間煮沸した試料を乾燥し、吸水率をほぼ0%にすると、320℃までミズリングは発生しなかった。これは、水分の影響が可逆的であることを示していると考えられる。

3-3 ミズリング面の観察

層間で剥離の起こった面の電子顕微鏡写真を図(5)に示す。これらは、以下の条件でミズリング

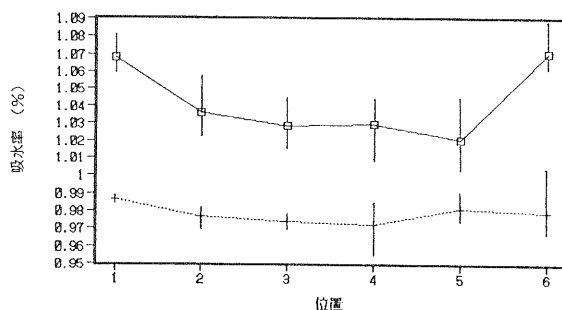


図3 位置と吸水率の関係

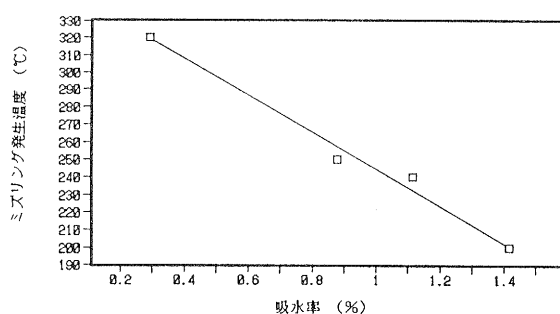
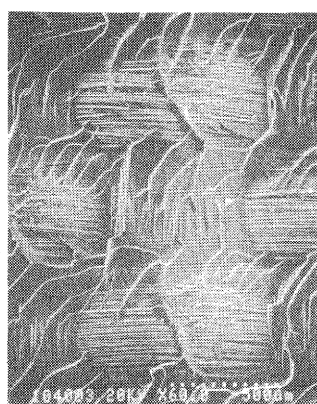
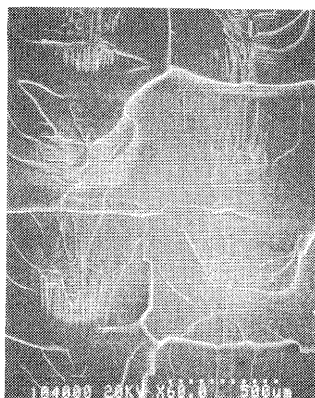


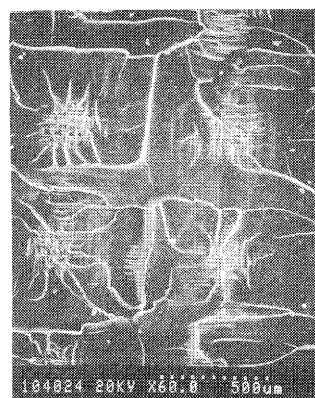
図4 吸水率とミズリング発生温度



(a) 煮沸 (50H) + 加熱 (260°C)



(b) 加熱 (320°C)



(c) 煮沸 (50H) + 乾燥 + 加熱 (320°C)

図(5) ミズリング面の電子顕微鏡写真 (×60)

を起こした試料である。

- a. 50時間煮沸した、260°Cのハンダ浴に浸漬
- b. 煮沸無し、320°Cのハンダ浴に浸漬
- c. 50時間煮沸、乾燥、320°Cのハンダ浴に浸漬

(a)は、亀裂が繊維と樹脂との界面に存在するため、織り目の部分に繊維がよく露出しているのが分かる。また、(b)は、繊維層に達することなく樹脂層で亀裂が入っているため、両面とも樹脂層の多い平面的なミズリング面となっている。また、(c)のミズリング面は(b)のミズリング面、すなわち無煮沸試料のミズリング面に似ている。また、ここには示さないが、ミズリングが樹脂の薄くなっている織り目部分から起き、それが隣の亀裂とつながって広がって行くことも、顕微鏡での観察で認められている。これらの結果より、ミズリングは、吸水率の小さいときは、応力が樹脂層の薄い織り目部分に集中し、亀裂が生じる。また、吸水率が多いと、加水分解などで接着強度が低下している樹脂-ガラス繊維界面に亀裂が生じると考えられる。その応力の発生原因については、水の気化や樹脂とガラス繊維との膨張率の差などが考えられるがまだ明らかではない。

4. むすび

ミズリングの原因としては他にもいくつか考えられるが、本研究では、水分に限って研究を進めてきた。その結果、吸水によるミズリングの可能性と吸水挙動、その発生過程などについて以下のようなことが判明した。

1. ミズリングの原因の一つとなる水分は、FRPの全体から浸入する。
2. 吸水率が大きいほどミズリング温度が低い。
3. 吸水率が大きいと樹脂-ガラス界面にミズリングが起こる

謝 辞 本研究を進めるにあたり、御助言とご協力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いたします。

【参考文献】

- (1) 山中 仁敏：業務報告 Vol.1 (1986)
- (2) D. ハル： “複合材料入門” 培風館

炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の “ぬれ性”に関する研究

－液晶ピッチ系炭素繊維の表面処理がCFRPの 材料力学的性質におよぼす影響について(II)－

技術第二科 山 中 仁 敏

あらまし：炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の材料力学的性質は、炭素繊維とマトリック樹脂との接着性（ぬれ性）に大きく影響を受ける。しかし、液晶ピッチ系炭素繊維については、繊維／樹脂界面の違いがCFRPの材料力学的性質にどのように影響するかについてほとんど解明されていないのが現状である。

そこで、表面状態の違う液晶ピッチ系炭素繊維を用いて、樹脂含浸ストランド試験、および一方方向CFRPの引張試験を行い、界面接着力の違いがCFRPの材料力学的性質におよぼす影響について調べた。その結果、比較的界面接着力の低い領域においては、接着力が高いほど強度も高くなった。また界面接着力の強い領域においては、強度の低下を示した。

1. ま え が き

液晶ピッチ系炭素繊維は、現在、PAN系炭素繊維と比べて生産量は少ないが、高弾性率系が作りやすい特徴や、原材料の安さや生産工程の違いによりPAN系炭素繊維よりも安価に供給できる可能性を持っており、今後CFRPの強化材としてPAN系炭素繊維の代わりや新分野への応用が期待されている。

しかし、CFRPの材料力学的性質は、強化繊維とマトリックス樹脂との、材料力学的性質だけでなく、繊維とマトリックスの接着性に大きく依存する。液晶ピッチ系炭素繊維で強化したCFRPにおいては、この接着性がどのようにCFRPの材料力学的性質に影響するかについてはほとんど解明されていない。本研究では各種の表面処理をほどこした液晶ピッチ系炭素繊維についてCFRPを作製し、炭素繊維の表面状態の違いとCFRPの材料力学的性質の関係について調べている。昭和62年度においては、炭素繊維自体の特性の変化、CFRPの層間せん断試験と3点曲げ試験について検討をおこない表面処理による界面接着力の向上と、界面接着力が高くなるにつれて曲げ強度も大きくなるという結果をえている。今回は、前年度に引き続き樹脂含浸ストランド試験及びCFRPの引張試験を行なった。

2. 実 験

2-1 炭素繊維とマトリックス樹脂

使用した液晶ピッチ系炭素繊維は、弾性率が3段階（25, 50, 60×10³kgf/mm²）の炭素繊維で、

各々について焼成したままの繊維（未処理糸、NO）と、これを酸化して表面処理した繊維（表面処理糸、SO）、さらに表面処理後サイジング処理した繊維（サイジング糸、SS）の合計9種類の炭素繊維を用いた。試料名は、弾性率の上位2桁+処理の状態の記号で示す。また表1に、使用した炭素繊維の密度及び表面酸素濃度を示す。

CFRPのマトリックスにはエポコート828を3フッ化ホウ素モノエチルアミン錯塩3phrで硬化するエポキシ樹脂を用いた。

2-4 樹脂含浸ストランド試験

図1のように炭素繊維をエポキシアセトン溶液（アセトン.100phr+エポコート828.100phr+B F₃C₂H₅N H₃ 3 phr）に含浸し、6個のプーリーの間を通し金棒に巻き取るにより、樹脂が繊維束の中に十分浸透させるとともに余分な樹脂を取り除いた。1晩放置してアセトンを除き、その後金棒ごと80℃で2時間加熱し、1時間で150℃まで昇温を行い150℃で2時間硬化した。170℃で2時間加熱した後硬化を行い、長さ300mmのストランド試験片を得た。

表1 炭素繊維の密度と表面酸素濃度

炭素繊維	密度 (g/cm ³)	表面酸素濃度 O/C% by ESCA
25-NO	2.073	11.1
25-SO	2.070	12.9
25-SS	2.069	-
50-NO	2.156	6.3
50-SO	2.154	9.0
50-SS	2.146	-
60-NO	2.181	3.6
60-SO	2.178	6.5
60-SS	2.175	-

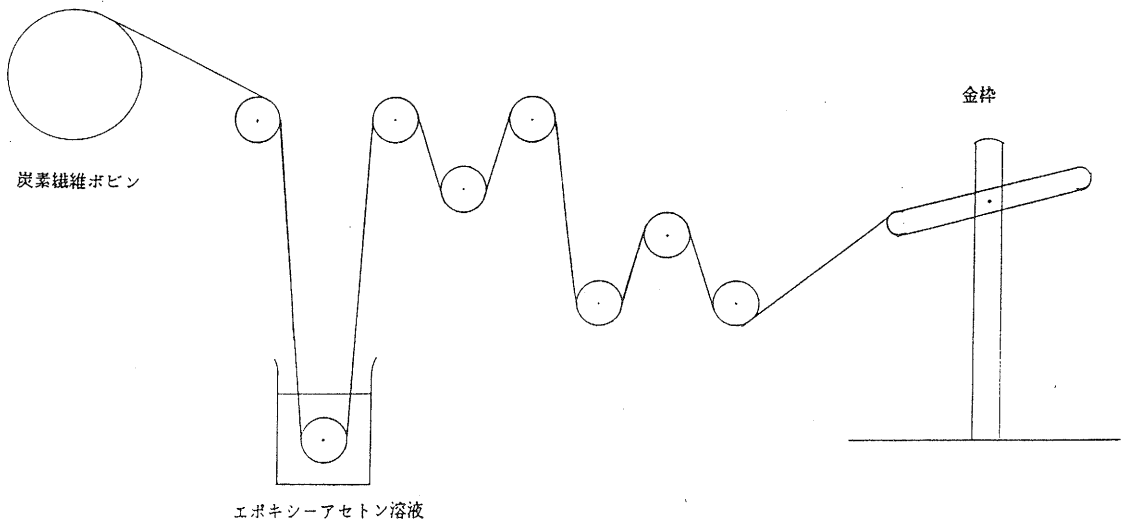


図1 ストランド試験の樹脂含浸方法

図2のように試験片のつかみ部分の破壊を防止するために、3枚組のアルミ板をエポキシ系接着剤を用いて補強した。測定は、試験長200mmの試験片を引張速度1mm/min条件で行い切断時の荷重P (kgf)を測定して下式よりストランド強度を計算した。

$$\text{ストランド強度 (kgf/mm}^2\text{)} = \frac{P \times \rho}{E}$$

ρ : 繊維密度 (g/cm³)

E : 1m当りの繊維束の質量 (g/m)

2-4 引張試験

引張試験片については、厚さ1mm、幅10mm、長さ250mmの試験片を成形した。(成形方法については昭和62年度業務報告参照)

図3のように試験片の両端をガラス繊維強化複合材料のタブで補強し試験長150mm引張速度1mm/minで行った。

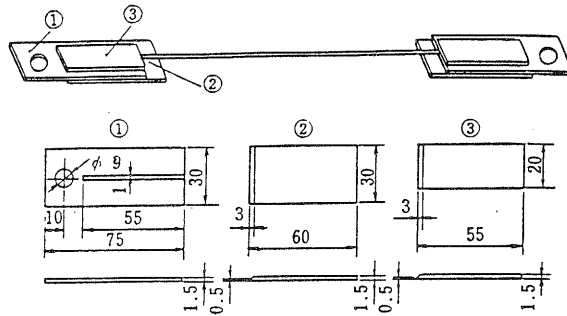


図2 ストランド試験片の末端補強方法

3. 結果と考察

3-1 樹脂含浸ストランド試験

ストランド強度の試験結果を図4に示す。25系列では、表面処理により大きく強度の低下しサイジング処理でも少し強度の低下をした。50系列は表面処理により少しだけ強度を低下し、サイジング処理でも約10%強度が低下した。また、60系列では表面処理により約8%の強度の向上が見られたが、サイジング処理を加えると逆に少しだけ低下した。

炭素繊維は1本の繊維でも各部分に通常強度のバラツキを持っているので、単繊維での強度はその中の最弱点の値を示す。しかし、その繊維を分けて強度を

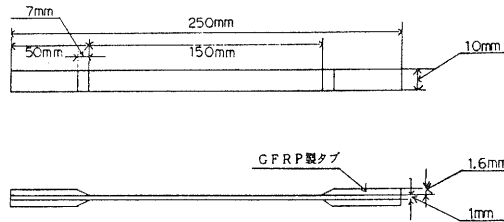


図3 引張試験片の末端補強方法

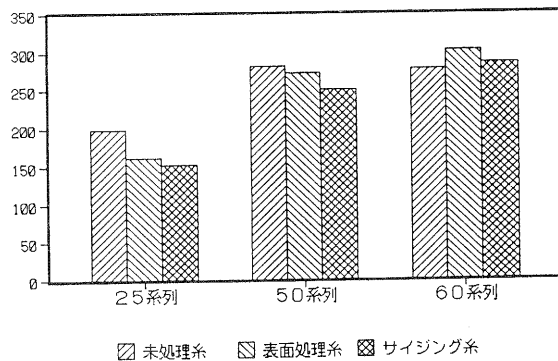


図4 各種炭素繊維を用いたストランド強度

測定すれば各々の区分での最弱点の強度を示すため平均強度は大きくなり、さらに試験長を短くするにつれてその平均強度は大きくなる。また、CFRPにして樹脂に埋め込むことにより最弱点での破壊が起こってもその荷重は隣接部の繊維が受け持ち、同じ繊維の他の部分では界面接着力により荷重負担能力を持ちつづける。つまり一定範囲においては、界面接着力の向上はこの区分をより短くする効果がありより短い試験長の強度を示し、CFRPの引張強度の向上につながる。しかし、反面界面接着力がある一定の値をこえると応力集中が起こり、1本の繊維の破断のショックが回りの繊維に伝達されることにより、周辺の破断が助長される。その結果、この領域においては界面接着力の増加は逆に引張強度を大きく低下させる働きがある。

この試験の場合、25系列では、未処理の炭素繊維自体、表面酸素量も高く他の繊維より界面接着力が高いと考えられる。更に、表面処理・サイジング処理を行ったSO、SSについては界面接着力が高くなりすぎた結果、応力集中が起こり強度の低下を示したと考えられる。また60系列の未処理の炭素繊維は元から表面酸素量が少なく界面接着力の低い領域に位置すると考えられ、表面処理による強度の向上は、界面接着力の向上により短い繊維長の試料の値を示したと考えられる。

3-2 引張試験

図5に引張試験結果を示す。引張強度は25系列では、表面処理により大きく強度が低下し、サイジング処理でも少し低下した。また50系列・60系列では表面処理により少し強度は増加したがサイジング処理では、逆に約18%の強度の低下を示した。

これはストランド試験で述べたようにもともと高い界面接着力を持っている25系列では表面処理、サイジング処理による界面接着力の向上が、応力集中の増大による強度の低下を導いたものと考えられる。一方、低い界面接着力の領域にあると考えられる50系列、60系列では、表面処理による界面接着力の向上が短い試験長の試験片の強度を示した結果、強度が増加したが、逆にサイジング処理により界面接着力が高くなりすぎたため応力集中による強度を低下があったと考えられる。

写真1に示した代表的な破壊状況の写真からも分かるように、界面接着力が低いと考えられる60-NOなどでは、繊維方向の割れが多く見られ、界面接着力が高いと考えられる25-SO、25-SSのようなCFRPでは、応力集中の増加のため一度にショックが伝わったと考えられる繊維方向と直角な破断が観測した。

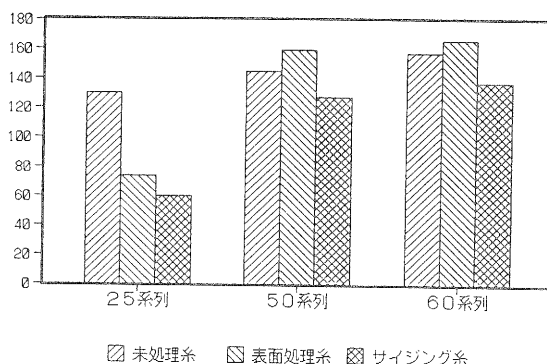


図5 各種炭素繊維で強化したCFRPの引張強度

また、ストランド試験片は小さな一方方向CFRPと考えられるが、ストランド強度と引張強度に少し差がみられるのは、体積繊維含有率がストランド試験片の方が低いこと、樹脂含浸方法の違いによる繊維束への樹脂の分散状態が違うことと、また成形法が違うため成形時に起こる内部応力に違いがあったためと考えられる。

4. まとめ

表面状態の違う液晶ピッチ系繊維を用いて、樹脂含浸ストランド試験および一方方向CFRPの引張試験を行い、繊維/樹脂界面の違いがCFRPの材料力学的性質に及ぼす影響について調べた。その結果次のようなことが明らかになった。

1. 界面接着力が低い領域にある炭素繊維の界面接着力を上げると、CFRPの引張強度は向上した。
2. 界面接着力が高い領域にある炭素繊維の界面接着力を上げると、CFRPの引張強度は低下した。
3. ストランド試験のほうが引張試験より、低い界面接着力で応力集中が高くなりCFRPの引張強度を低下させた。

謝 辞 本研究についてご指導いただいた大阪工業技術試験所の澤田吉裕先生ならびに、御助言を頂いた京都工芸繊維大学の木村助教授に深く感謝します。

[参考文献]

- (1) Y. SAWADA, A. SHINDO “Technom・C, Publishing Co, Inc” (1981)
- (2) JIS、Z8807
- (3) 大谷杉郎 “炭素繊維” 近代編集社 (昭58. 7)
- (4) D. ハル “複合材料入門” 培風館 (昭59)
- (5) 山中仁敏 “炭素繊維強化エポキシ樹脂 (CFRP) の “ぬれ性” に関する研究” 滋賀県工業技術センター研究報告第2号, P67~P72 (1988)

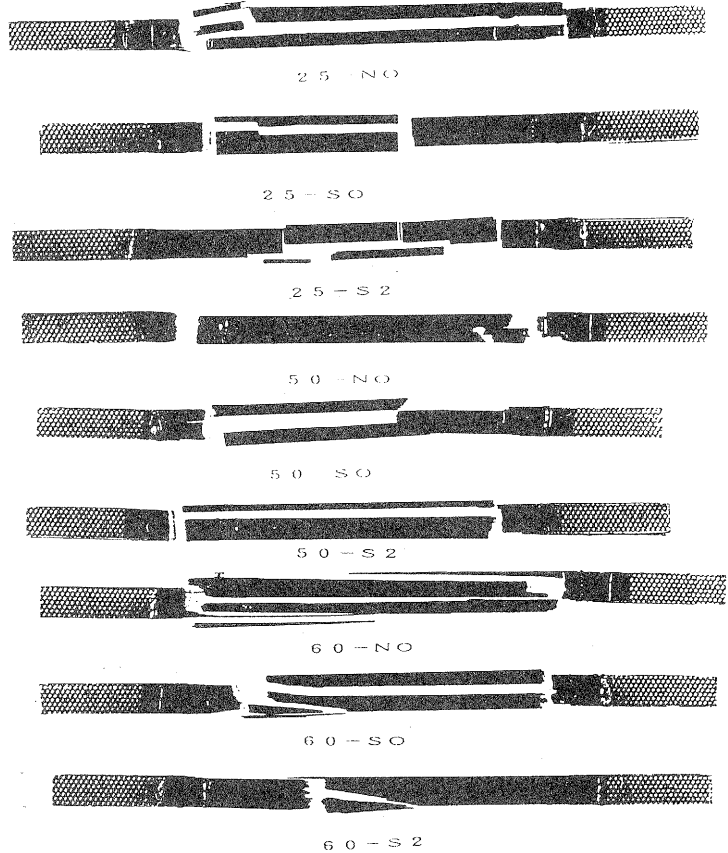


写真 引張試験破壊状況

セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性向上について（経過報告）

技術第二科 西内 廣志、今西 康博
カオス ハイテク 協同組合 種岡 一男

1. まえがき

プラズマ溶射による金属とセラミックの接合における問題点は素材間の熱膨張係数が大きく異なるため、熱衝撃によってセラミック層が剥離することである。

そこで本研究では、前年度に引き続き、上述の熱膨張係数の差を少なくすることが素材間に働く熱応力を緩和することになり、耐熱衝撃性の向上につながると考え、素材とセラミック層の間に、熱応力の緩和材として3種の下地溶射を施した。これ等の試料について熱膨張係数と熱衝撃試験との関係を調べた結果を以下に報告する。

2. 実験方法

2-1 試料作成に用いた材料

基材は50×50×5mmのSS41（一般構造用圧延鋼材）を使用した。溶射用粉末は、下地溶射材としてNi-Mo-Al系（粒度88～45μm）、50Ni-50Cr系（粒度45～25μm）、80Ni-20Cr系（粒度40μm前後）を使用した。

また、表面溶射材としてホワイトアルミナ（Al₂O₃、粒度44～10μm）とグレイアルミナ（Al₂O₃+2.5TiO₂、粒度45～5μm）を使用した。

2-2 基材のブラスト処理

ブラスト材として粒度28mesh（0.6mm前後）のアルミナクリッドを用い、アセトンで脱脂した基材（SS41）の表面をブラスト処理した。

2-3 熱膨張試験片の作成

基材45×45×2mmのSPCC（冷間圧延鋼板）の表面にブラスト処理を施した後、アルミナ、グレイアルミナ、50Ni-50Cr、80Ni-20Cr、Ni-Mo-Alの溶射を施した。

なお、溶射層の厚みは2～3mmになるように溶射を行った。

上記の試験片を基材から剥離させ、溶射層のみを取り出し20×3×2mmの熱膨張試験片を作成した。

2-4 熱衝撃試験用供試材の作成

基材表面のブラスト処理後、直ちに表1に示す溶射条件で下記のように下地溶射、表面溶射を行い、表2に示す熱衝撃用供試材を作成した。

(1) ブラスト処理後の基材に直接表面溶射（ホワイトアルミナおよびグレイアルミナ）を溶射する。

表 1 溶射条件

溶射装置	80kW溶射装置
電流	500 A
電圧	70 V
粉体吐出量	20gf/MIN
プラズマガス	アルゴン/水素
溶射距離	65mm~150mm

表 2 熱衝撃用供試材

表面溶射	下地溶射の有無
ホワイトアルミナ Al ₂ O ₃ (膜厚 0.3mm)	下地溶射無し
	Ni-Mo-Al 系 (膜厚 0.1mm)
	Ni-Mo-Al 系 (膜厚 0.3mm)
	50Ni-50Cr 系 (膜厚 0.1mm)
	50Ni-50Cr 系 (膜厚 0.3mm)
	80Ni-20Cr 系 (膜厚 0.1mm)
	80Ni-20Cr 系 (膜厚 0.3mm)
グレイアルミナ Al ₂ O ₃ +2.5TiO ₂ (膜厚 0.3mm)	下地溶射無し
	Ni-Mo-Al 系 (膜厚 0.1mm)
	Ni-Mo-Al 系 (膜厚 0.3mm)
	50Ni-50Cr 系 (膜厚 0.1mm)
	50Ni-50Cr 系 (膜厚 0.3mm)
	80Ni-20Cr 系 (膜厚 0.1mm)
	80Ni-20Cr 系 (膜厚 0.3mm)

(2) ブラスト処理後の基材に下地溶射材 (Ni-Mo-Al 系、50Ni-50Cr 系、80Ni-20Cr 系) をそれぞれ別々に溶射し、その上にホワイトアルミナおよびグレイアルミナを溶射する。なお、この時下地溶射層の厚みを 0.1mm と 0.3mm の 2 種類とした。

2-5 溶射被膜の結晶相の同定

基材上に形成された各被膜の同定については X 線回折分析装置で調べた。

2-6 基材および溶射被膜の熱膨張測定

2-3 で作成した試験片を 600°C で歪取り焼鈍を行った後、ステールを除去し、TMA (理学電機製熱機分析装置) をもちいて、RT (室温) ~ 900°C の熱膨張率、RT ~ 800°C の熱膨張係数を測定した。なお、雰囲気は試料の高温酸化を防ぐため Ar 雰囲気中で行った。

2-7 熱衝撃試験

ホワイトアルミナおよびグレイアルミナの表面溶射における耐熱衝撃性について下地溶射の効果を知るため、表 2 に示す供試材 14 種類について熱衝撃試験を行った。熱衝撃試験の方法は試料間および操作上の影響をなくすため、供試材すべてをステンレス製金網で作ったカゴの中に無作為に並べ、JIS H-8666 セラミック溶射試験方法に準じ、加熱温度 800°C で 30 分間保持後水冷する操作を 3 回以上繰り返した。

3 実験結果および考察

3-1 溶射被膜の結晶相

下地溶射被膜 (Ni-Mo-Al, 50Ni-50Cr) および表面溶射被膜 (ホワイトアルミナおよびグレイアルミナ) のX線回折図形を図1、図2に示す。Ni-Mo-Al系溶射被膜は元の溶射粉末と比べ、溶射後はMoのピークが減少し、Alのピークが消失している。

このことはAlが基材 (SS41) と活性化反応により、発熱し消失したと考えられる。

一方、表面溶射層のホワイトアルミナ、グレイアルミナ被膜は溶射前の粉末の $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ から $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3 + \gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ に変化した。

また、溶射被膜の波形が元の溶射粉末の波形と比べ、ややブロードになっているのはプラズマ溶射被膜の凝固速度が早いいため、結晶成長が遅れ、ブロードになったと考えられる。

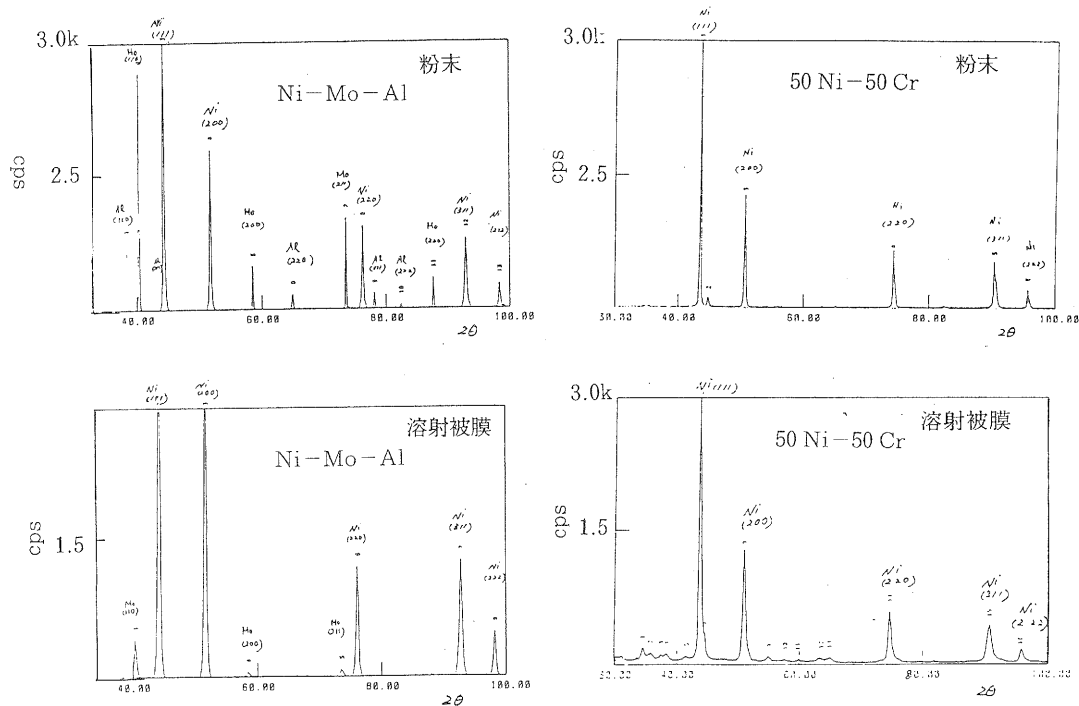


図1 Ni-Mo-Al および 50Ni-50Cr 溶射前後のX線回折図形

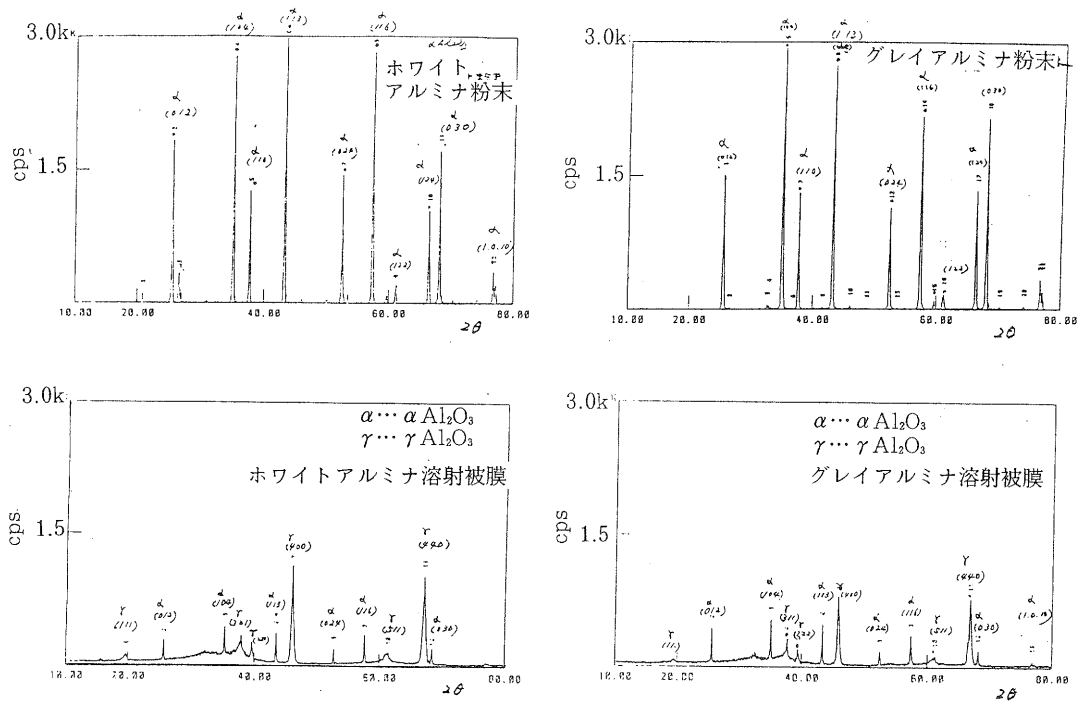


図2 ホワイトアルミナおよびグレイアルミナの溶射前後のX線回折図形

3-2 基材および溶射被膜の熱膨張試験の結果

室温から800°Cまでの基材および溶射被膜の熱膨張係数は表3に、900°Cまでの熱膨張率については図3に示す。基材の熱膨張係数はアルミナ、グレイアルミナ溶射被膜の熱膨張係数と比べ2倍以上であった。また、3種の下地溶射被膜の中では、50Ni-50Cr溶射被膜が最も熱膨張係数が小さかったが、基材とセラミックの中間の熱膨張係数には至らなかった。Ni-Mo-Al, 80Ni-20Cr溶射被膜は基材の熱膨張係数と近似していた。

図3の熱膨張線図からはアルミナ、グレイアルミナ溶射被膜、下地溶射被膜とも昇温温度の増加に伴い、熱膨張率がリニアになっている。基材については900°C近傍で相変態 α (フェライ) \rightarrow γ (オーステナイト) を起し熱収縮している。

表3 基材および溶射被膜の熱膨張係数

材 料		熱膨張係数 (α) R T ~ 800°C (°C)
基 材	SS41	16.0×10^{-6}
	アルミナ	7.29×10^{-6}
	グレイアルミナ	7.49×10^{-6}
溶射被膜	50Ni-50Cr	13.4×10^{-6}
	80Ni-20Cr	14.1×10^{-6}
	Ni-Mo-Al	14.3×10^{-6}

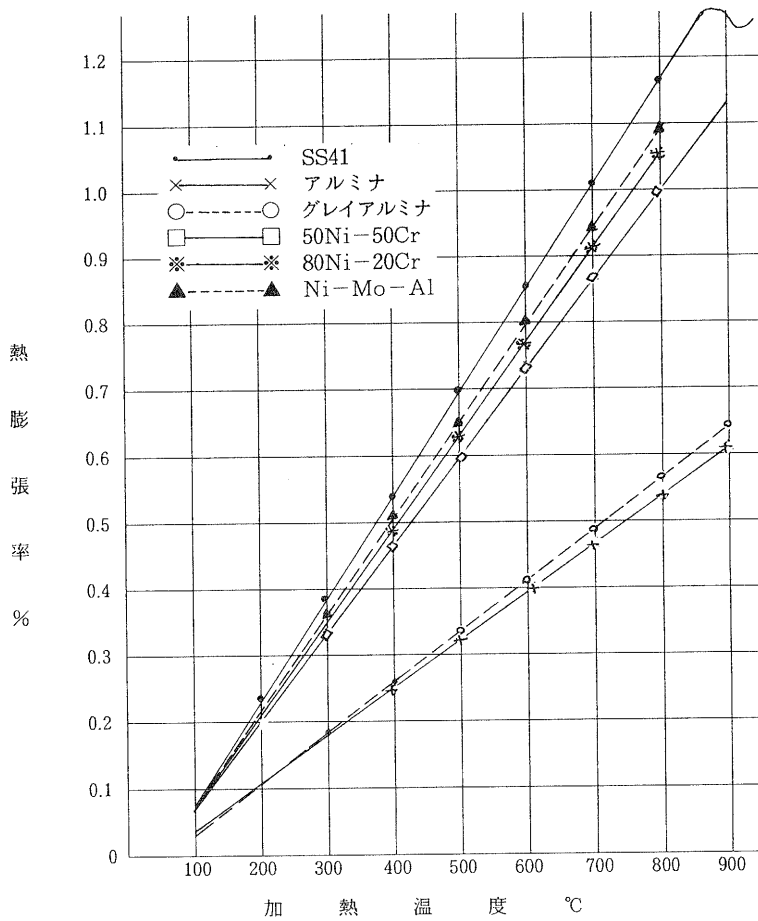


図3 基材および溶射被膜の熱膨張率について

3-3 熱衝撃試験の結果

下地溶射層の厚みを2種類、材質を3種類に変化させ、表2の供試材の耐熱衝撃性を調べた。その結果を表4に示す。また、剥離の形態については図4に示す。

下地溶射を施さなかったホワイトアルミナの表面溶射は前回と同様、1回の熱衝撃試験で全面的に基材側から層間剥離した。また、グレイアルミナの表面溶射については1回目で基材の表面に薄いセラミック層が残り、2回目で全面的に層間剥離した。

次に、下地溶射材の材質の違いによる耐熱衝撃性については50Ni-50Cr系がNi-Mo-Al系、80Ni-20Cr系よりもセラミックの表面溶射に有効であった。

また、下地溶射の厚みによる耐熱衝撃性については、Ni-Mo-Al系は薄い方が良好であったが基材から部分的に剥離していた。このことは基材との密着力が良好でなく、素材間に働く熱応力に堪えられず剥離したと考えられる。

50Ni-50Cr系は薄い方が良好で部分的なセラミック層内剥離に至るまでに6回以上の熱衝撃試験に耐えることが出来た。80Ni-20Cr系は厚みによる相異は見られず、いずれもセラミック層内剥離を生じた。以上の結果から50Ni-50Cr系の薄い下地溶射層が耐熱衝撃性には有効であったが、一部、部分的にセラミック層内剥離を生じることもある。これは3-2の熱膨張試験の結果からも必ずしもセラミックと基材の熱膨張係数の中間値ではなく、むしろ、基材側の熱膨張係数に近似しているためと考える。したがって、今後更に耐熱衝撃性を向上させるには漸次的にセラミックと基材の中間の熱膨張係数を有する下地溶射を施しその効果を検討する必要がある。またセラミック層の層剥離現象が見られたのでその検討が必要である。

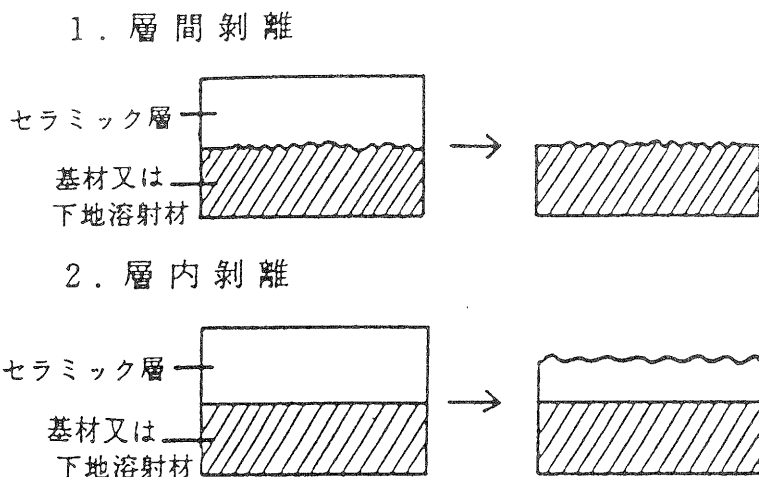


図4 剥離の形態

表4 熱衝撃試験結果

下地溶射 表面溶射	基材のみ	Ni-Mo-Al系	Ni-Mo-Al系	50Ni-50Cr系	50Ni-50Cr系	80Ni-20Cr系	80Ni-20Cr系
		膜厚 0.1mm	膜厚 0.3mm	膜厚 0.1mm	膜厚 0.3mm	膜厚 0.1mm	膜厚 0.3mm
ホワイトアルミナ (Al ₂ O ₃) 膜厚 0.3mm	× (第1回目)	⊗ (第2回目)	× (第3回目)	○	△ (第2回目)	□ (第2回目)	△ (第2回目)
	× (第1回目)	⊗ (第2回目)	× (第3回目)	○	□ (第2回目)	□ (第2回目)	△ (第2回目)
	× (第1回目)	⊗ (第3回目)	× (第3回目)	○	△ (第2回目)	△ (第2回目)	△ (第2回目)
	× (第1回目)	⊗ (第2回目)	× (第3回目)	○	□ (第2回目)	□ (第2回目)	△ (第2回目)
	× (第1回目)	× (第2回目)	× (第3回目)	○	□ (第2回目)	△ (第2回目)	△ (第2回目)
グレイアルミナ (Al ₂ O ₃ +2.5%TiO ₂) 膜厚 0.3mm	× (第2回目)	○	⊗ (第2回目)	○	□ (第2回目)	△ (第2回目)	△ (第2回目)
	× (第2回目)	⊗ (第2回目)	× (第2回目)	○	□ (第2回目)	△ (第2回目)	□ (第2回目)
	× (第2回目)	⊗ (第2回目)	× (第2回目)	□ (第2回目)	□ (第2回目)	△ (第2回目)	□ (第2回目)
	× (第2回目)	○	× (第2回目)	○	△ (第2回目)	△ (第2回目)	□ (第2回目)
	× (第2回目)	⊗ (第2回目)	⊗ (第2回目)	○	□ (第2回目)	□ (第2回目)	□ (第2回目)

○ : 異状なし
 × : 全面層間剥離 (基材より剥離 50%以上)
 ⊗ : 部分層間剥離 (基材より剥離 10%~30%)
 □ : 全面層内剥離 (セラミック層内剥離 50%以上)
 △ : 部分層内剥離 (セラミック層内剥離 10%~30%)

[参考文献]

- (1) 滋賀県工業技術センター研究報告 1987 セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性向上に関する 2・3 の要因について西内、今西、種岡
- (2) JIS H-8666 セラミック溶射試験方法
- (3) セラミックしや熱コーティング霜島一三、セラミックス 16 (1981) No. 3

高圧を利用した食品の新しい加工・ 保存技術の開発に関する研究

技術第二科 松 本 正

あらまし：高圧を食品の加工保存技術として応用する目的で、漬物、大豆タンパク質、スケソウダラ摺身等の食品、食品原材料を高圧処理し、殺菌効果や加工特性を検討した。

高圧による殺菌効果は、圧力の増加とともに高くなったが、その程度は、微生物の種や、食品によって異なった。高圧による殺菌を適用し易い食品としにくい食品が存在した。

一般に、タンパク質性食品の加圧処理物は加熱処理物に比べ、柔らかいが弾力性があり、しなやかなことから、この性質を生かした、新製品の開発が期待できる。

1. ま え が き

現代、わが国の食生活においては、経済性や利便性の要請もさることながら、特に健康と安全性に対する関心が強まっており、また、飽食時代を向かえて、高級指向、本物指向の傾向が進んでいる。したがって、加工食品も、以前のようなマズプロ・マスセールから、個性化、高級化、グルメ化を指向し、健康と安全性を考慮した新製品の開発が必要になってきている。そして、これらのニーズに対応するために、新しい食品加工技術の開発が要請されている。

1,000気圧以上の高圧は、タンパク質を変性し、微生物を死滅されることは、ブリッジマン（1882～1961）以来、古くから知られていた事実であるが、最近になり高圧を食品の加工・保蔵に利用しようという考えが生まれてきた。すなわち、高圧が表1に示すように非共有結合に影響を及ぼすことからタンパク質を変性し、デンプンを α 化し、

また微生物や寄生虫を死滅させると言う現象を、熱の代わりに食品の加工・保蔵に利用しようと言う考えである。そして、高圧はビタミン類やアミノ酸類を分解しない、異臭を発生させない、生の味や臭いを保っている、物性が加熱処理した場合と異なる等が判明している。

そこで、高圧を利用すれば、前述した現代のニーズに対応した新製品の開発が可能と考え、高圧を利用した食品の加工・保存技術について数種の食品を中心に検討したので報告する。

表1 非共有結合の生成に伴う
体積変化と加圧の効果

結 合 名	体 積 変 化 (cm^3/mol)	加 圧 効 果
水 素 結 合	-2~-4	生 成
疎 水 結 合	+1~+2	切 断
イオン結合	+10~+20	切 断

2 実験材料

2-1 微生物菌株

本研究には、次の微生物菌株を使用した。

- ① Aspergillus niger IFO 6341
- ② Penicillium citrinum IFO 6352
- ③ Trichoderma T-1 (Gliocladium virens) ATCC 9645
- ④ Paecilomyces sp.
- ⑤ Rhizopus oryzae IFO 31005
- ⑥ Cladosporium cladosporioides IFO 6348
- ⑦ Zygosaccharomyces rouxii IAM 4962
- ⑧ Saccharomyces cerevisiae IFO 0304
- ⑨ Candida utilis IFO 1086
- ⑩ Saccharomyces uvarum IFO 0565
- ⑪ Bacillus coagulans IFO 3557
- ⑫ Morganella morgani IFO 3168
- ⑬ Pseudomonas fluorescens IFO 3081
- ⑭ Escherichia coli IFO 3301

2-2 食品および食品原材料

本研究には次の食品および食品原材料を使用した。

- ① 漬物：メーカーより提供を受ける
- ② 各種大豆タンパク質製品：日清製油(株)より提供を受ける
- ③ スケソウダラ冷凍摺身：(株)沼田商店より提供を受ける
- ④ ブラックバス切身：県漁業協同組合連合会より購入

3. 実験方法

3-1 高圧処理装置と使用方法

高圧処理装置は、次の2機種を使用した。

- ① 三菱重工業株式会社製 食品用小形加圧試験装置
最高使用圧力：7,000kgf/cm²
高圧容器容量：約500ml
加圧方法：ピストン加圧方法
圧力媒体（高圧側）：蒸留水
- ② 光高圧機器株式会社製 超小形加圧試験装置
最高使用圧力：5,000kgf/cm²
高圧容器容量：約20ml

加圧方式：液体直接加圧方式

圧力媒体：ヘキサン

試料は、ポリエチレンやポリ塩化ビニリデン等の圧力を伝える柔軟なチューブに封入し、耐高圧容器内にいれ、加圧した。容器内には、極力空気が残存しないように努めた。加圧処理は、目的圧力に到着後、一定の時間保持し、減圧し、試料を取り出した。

3-2 カビの検出および生菌数の測定方法

① カビの検出

ジャガイモ・ブドウ糖・寒天平板培地に、高圧処理した試料 1 ml をたらし、コンラージ棒で均一に伸ばした後、28℃で3～4日間培養し、カビの生育の有無を観察した。

② 酵母および一般細菌の生菌数測定

高圧処理した試料を希釈し、混釈法により生菌数を測定した。培地は、酵母の場合、ブドウ糖・ペプトン・寒天培地を用い、一般細菌の場合は、標準寒天培地を用いた。

3-3 物性測定方法

高圧処理した食品や、高圧処理により生成したゲルの物性は、(株)全研製テクスチュロメーター G TX-2-IN 型を用い、次の方法で測定した。

① ゲルの剪断応力の測定

試料を $\phi 11.3\text{mm} \times 8\text{mm}$ に調整し、試料皿上に横向きに置き、V型プランジャーを用い、クリアランス 0.5mm で 1 回そしゃくし、この際に要した力を試料の断面積で除した値を剪断応力 (kgf/cm^2) とした。

② ゲルの圧縮応力、凝集性等の測定

試料を $\phi 11.3\text{mm} \times 6\text{mm}$ に調整し、試料皿上に縦向きに置き、 $\phi 50\text{mm}$ プランジャーを用い、クリアランス 1.5mm で 2 回そしゃくし、測定した。

この時の、テクスチャープロフィールは、図 1 (上) のようになり、 $H\text{kgf}$ を試料の断面積で除した値を圧縮応力 (kgf/cm^2) とした。また、1 回目と 2 回目のそしゃくの際に要するエネルギーの比、 A_2/A_1 を凝集性、 $H \times A_2/A_1 \times 100$ をそしゃく性とした。

③ ゲルの足とへたれの測定 (スケソウダラ摺身)

試料を $\phi 11.3\text{mm} \times 6\text{mm}$ に調整し、試料皿上に縦向きに置き、 $\phi 50\text{mm}$ プランジャーを用い、同一試料をクリアランス 6mm → 3mm → 6mm と変化させ 3 回そしゃくし、測定した。この時の、テクスチャープロフィールは、図 1 (下) のようになり、1 回目と 2 回目のそしゃくの際に要するエネルギーの比 A_2/A_1 を足、1 回目と 3 回目のそしゃくの際に要するエネルギーの比 A_3/A_1 をへたれとした。

④ 漬物の硬さの測定

漬物を厚さ 6mm に調整し、試料皿上に置き、 $\phi 3\text{mm}$ プランジャーを用い、クリアランス 0.3mm

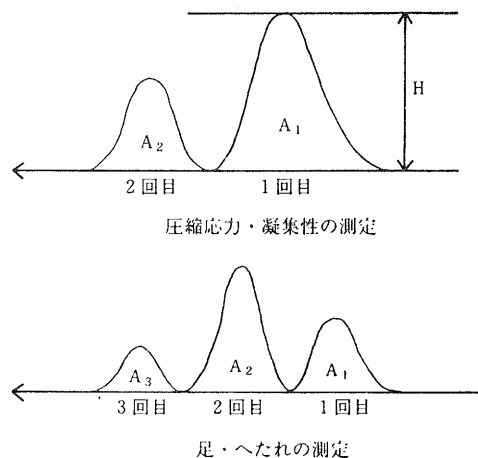


図1 テクスチャープロフィール

で1回そしゃくし、この際に要した力を硬さ (kgf) とした。

3-4 色の測定

日本電色工業(株)製、測色色差計 SZ-Σ80 型を用い、反射法で測定した。

表示は、Lab 法で行った。

3-5 保存性試験

高圧処理した試料を、チューブに封入したまま、35°Cの恒温槽中に保存し、腐敗等の変化の有無を観察した。

4. 実験結果および考察

4-1 高圧による微生物の殺菌効果の検討

4-1-1 微生物培養液についての検討

① 糸状菌 (カビ)

分生子を滅菌水に懸濁し、1,000～6,000 気圧で、10 分間高圧処理し、カビの検出を行った結果を表 2 に示す。なお、30 分間の処理でも全く、同じ結果を得た。

表 2 高圧処理によるカビの殺菌効果

(単位: kgf/cm²)

菌 株	圧 力	無処理	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000
<i>Aspergillus oryzae</i>		○	○	○	○	△	×	×
<i>Aspergillus niger</i>		○	○	○	○	○	△	×
<i>Penicillium citrinum</i>		○	○	○	○	△	△	×
<i>Rhizopus oryzae</i>		○	○	○	○	×	×	×
<i>Clad. cladosporioides</i>		○	○	○	×	×	×	×
<i>Trichoderma T-1</i>		○	○	○	×	×	×	×
<i>Paecilomyces sp.</i>		○	○	○	○	×	×	×

○: カビが旺盛に繁殖した。

△: カビが少し生育した。

×: カビが全く生育しなかった。

② 酵 母

YPD 培地で培養した対数増殖期の培養液を、1,000～5,000 気圧で、10 分間高圧処理し、生菌数を測定した結果を図 2 に示す、グラフの縦軸は、生菌数の対数で表しており、生菌数 10 個以下は 1 とした。以後のグラフについても同様である。

③ 細 菌

普通ブイヨンで培養した対数増殖期の培養液を、1,000～7,000 気圧で、10 分間高圧処理し、生菌数を測定した結果を図 3 に示す。

微生物の属種の違いにより、死滅する圧力がかなり異なることがわかる。これは、属種によって、

構成タンパク質や、細胞壁等の生体成分の構造がそれぞれ違うためと考えられる。しかし、どの種もすべて、圧力の増加とともに、生存率は減少しており、圧力が微生物の生存にマイナスの効果を及ぼすことがわかる。したがって、条件を選べば、高圧を食品の殺菌や保存技術として用いることができる。

しかし、実際の食品を高圧により殺菌する場合、複数の微生物が存在することや、食品成分の保護効果も考えなければならず、純水培養液のように単純には行かないものと思われる。また、殺菌効果とともに、高圧処理される食品自体の、高圧による変化等も考慮しなければならない。

そこで、実際の食品について、漬物を例に高圧による殺菌効果について検討を行った。

4-1-2 ハクサイ浅漬けについての検討

ハクサイ浅漬けは、加熱処理を施すと、味や風味、テクスチャーが劣化することから、現在滅菌されずに市販されているものが多く、賞味期間が夏期では3~4日ぐらいしかない。そこで、高圧を、ハクサイ浅漬けの殺菌に利用できないか検討した。

4-1-2-1 高圧処理による生菌数の変化

ハクサイ浅漬けを1,000~5,000気圧で10分間高圧処理したときの、一般生菌数と、酵母生菌数の変化を図4に示す。酵母は3,000気圧で陰性になり、一般生菌は4,000気圧でほとんどなくなり、5,000気圧で陰性になった。微生物の殺菌効果の面からは、高圧は有効であると言える。

4-1-2-2 高圧処理による物性、外観の変化

ハクサイ浅漬けを1,000~5,000気圧で10分間高圧処理したときの、物性の変化を図5に示す。圧力が増加するとともに硬さが低下した。そして、3,000気圧以上では85℃における加熱処理と同じぐらい硬さが低下している。実際に食べてみると、高圧処理物は菌ごたえがなくなり、テクスチャ

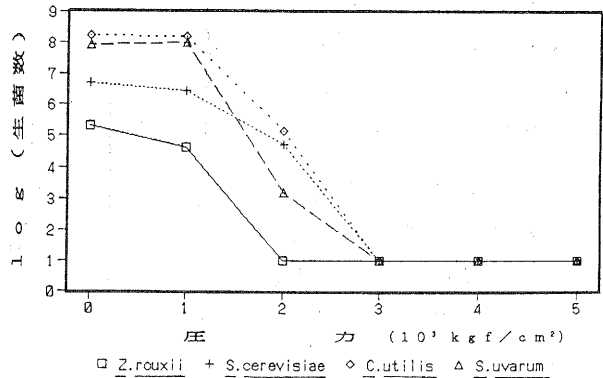


図2 酵母培養液の高圧処理による生菌数の変化

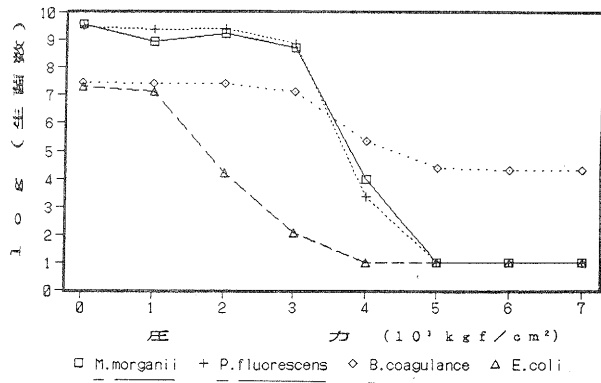


図3 細菌培養液の高圧処理による生菌数の変化

ーが悪くなっていた。味も、少し変化するように感じた。(塩味が減少し、甘くなったように感じる)

また、外観があたかも冷凍したのち、解凍したように変化した。

4-1-2-3 応用の可能性

以上の結果、ハクサイ浅漬は、高圧により有効に殺菌されるが、浅漬け自身のテクスチャーや味、外観が低下するので、高圧をハクサイ浅漬けの殺菌に利用することは難しいと思われる。

4-1-3 醤油漬けについての検討

ダイコン、キュウリ、ナス、ショウガ等の材料を醤油でつけた醤油漬けは、酵母等の増殖により、味、風味が劣化したり、パッケージが膨らんだりするので、通常加熱殺菌の後、市販される。しかし、加熱殺菌を施すと、テクスチャーや、味、風味が劣化したり、ショウガ等臭いの強い材料の臭いが他の材料に移る等の問題があった。そこで、醤油漬けの殺菌に新しい方法として高圧が利用できないか検討した。

4-1-3-1 高圧処理による生菌数の変化

醤油漬けを1,000～7,000気圧で10分間高圧処理したときの、一般生菌数と、酵母生菌数の変化を図6に示す。酵母は、4,000気圧で陰性になるが、一般生菌は、5,000気圧以上で変化がなく、7,000気圧でも1gあたり2,000コ残存した。そして、5,000気圧以上で残存した細菌は、すべて芽胞菌であった。これは、醤油の場合と同じであり芽胞菌は、pHのコントロールにより増殖を抑制できることから、高圧を醤油漬けの保存技術として利用することは可

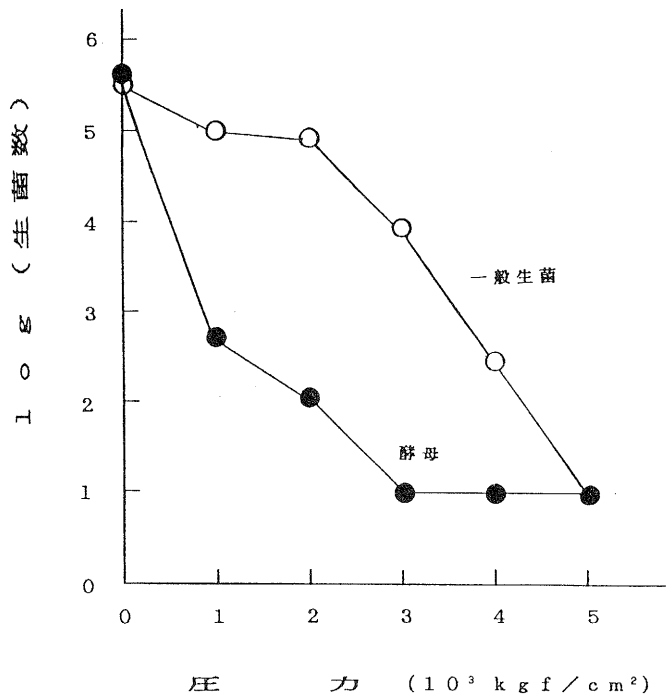


図4 ハクサイ浅漬けの高圧処理による生菌数の変化

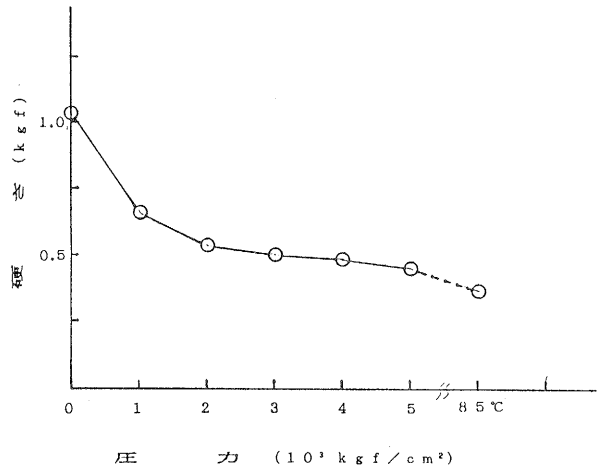


図5 ハクサイ浅漬けの高圧処理による物性の変化

能と思われる。写真1に保存性試験の結果を示すが、無処理物は酵母の増殖により、パッケージが大きく膨張したのに対し、高圧処理物は何の変化もなかった。そして、2カ月後でもそのままの状態にあった。

4-1-3-2 高圧処理による物性、味の変化

醤油漬けを1,000～7,000気圧で10分間高圧処理したときの、物性の変化を図7に示す。高圧処理によっても、硬さは変化しなかった。食べてみると、テクスチャー、味は、無処理物と変わらず、材料間の味の移動もなく、加熱殺菌物とは明らかに違った。

4-1-3-3 応用の可能性

以上の結果より、高圧を醤油漬けの殺菌に応用することは可能であると思われる。

ハクサイの浅漬けと醤油漬けは、同じ漬物でありながら全く違う結果を得たが、これはハクサイ浅漬けは、生の野菜により近いのに対し、醤油漬けは、長時間漬けられ、生の野菜から離れたものになっているためと思われる。醤油漬けに似た奈良漬けについて、同様の実験を実施したところ、高圧処理によっても物性の変化は認められなかった。また、1カ月間の保存性試験によっても、変化が認められなかった。奈良漬けの殺菌にも応用できるものと思われる。

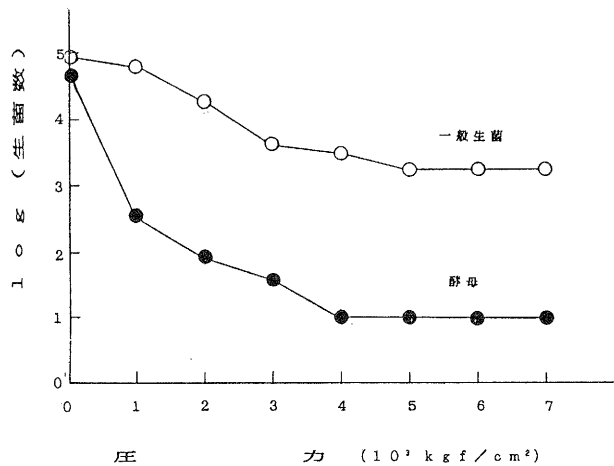


図6 醤油漬けの高圧処理による生菌数の変化

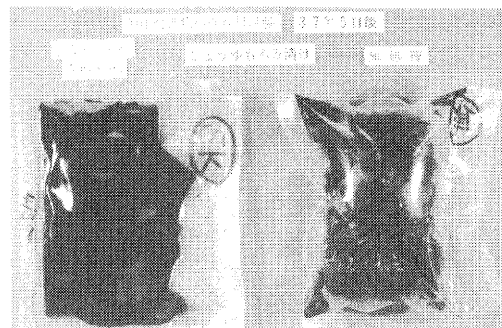


写真1

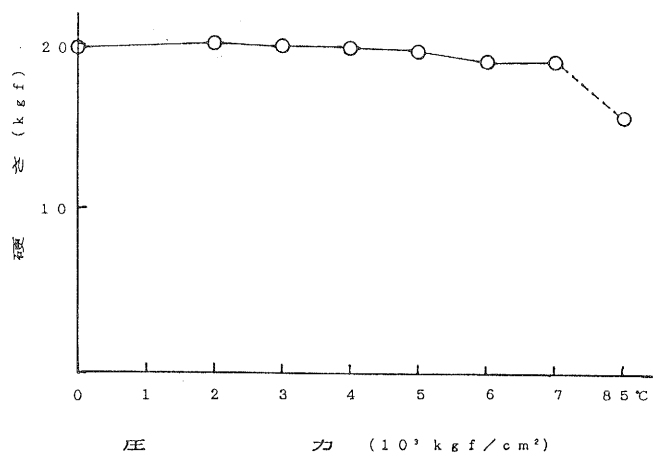


図7 醤油漬けの高圧処理による物性の変化(ダイコン)

4-2 高圧による食品加工の検討

表3 実験に用いた大豆タンパク質製品の組成

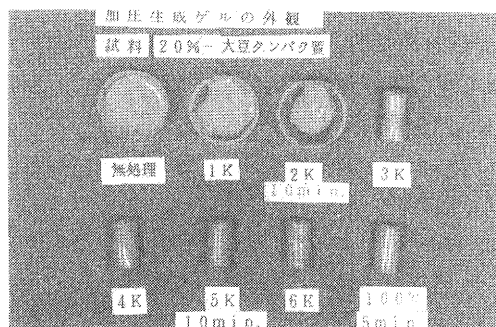
4-2-1 各種大豆タンパク質製品の加工特性についての検討

大豆タンパク質は、近年食品素材としてハンバーグ、ソーセージ、餃子等数多くの食品に用いられている。そして、いろいろな性質の違った大豆タンパク質製品が用いられ、種々の加工方法が施されている。ここでは、大豆タンパク質に高圧加工法を適用するため、各種大豆タンパク質製品を高圧処理し、加工特性を検討した。

成分 (%)	脱脂粉	濃縮タンパク	抽出タンパク	分離タンパク
水分	7.0	5.5	5.0	6.3
粗タンパク	56.0	70.7	64.8	91.0
粗脂肪	0.9	0.4	0.1	0.2
灰分	5.6	6.1	7.3	4.0
粗繊維	3.3	2.7	0.01	0.01
その他	27.2	14.6	22.8	~0
窒素溶解指数 (NSI)	80	7	85	90

4-2-1-1 試料

表3に示す4種の粉末状大豆タンパク質製品を用いた。これらの試料を、すべてタンパク質濃度が18%となるように水の懸濁液に調製し、ポリ塩化ビニリデン性フィルムのケースに封入し、3,000~6,000気圧で高圧処理し、生成するゲルの物性を測定した。



4-2-1-2 製品の種類による生成ゲルの違い

写真2

大豆脱脂粉（以後脱脂粉と略す）および濃縮大豆タンパク質（以後濃縮タンパクと略す）は、4,000気圧ではゲル化せず、5,000気圧でゲル化し始め、6,000気圧で完全なゲルを形成した。一方、抽出大豆タンパク質（以後抽出タンパクと略す）および分離大豆タンパク質（以後分離タンパクと略す）は3,000気圧から弾力性のあるゲルを形成した。（写真2に分離タンパクについて、加圧処理によるゲルの生成を示す。）

そこで、完全なゲルを形成させるため、4種の大豆タンパク質製品を6,000気圧で10分間高圧処理し、生成ゲルの物性を検討した。

表4にその結果を示す。

表4 大豆タンパク質の加圧生成ゲルの物性比較
(6,000kgf/cm², 25°C, 10分)

脱脂分と濃縮タンパクは、ゲルの弾力性に乏しく剪断応力と凝集性が低くなっており、一方、抽出タンパクと分離タンパクはゲルの弾力性に優れ、剪断応力と凝集性が高くなった。

タンパク質の種類	脱脂粉	濃縮タンパク	抽出タンパク	分離タンパク
ゲル形成圧 (kgf/cm ²)	6,000	6,000	3,000	3,000
圧縮応力 (kgf/cm ²)	1.18	1.10	1.50	1.20
剪断応力 (kgf/cm ²)	0.29	0.16	0.57	0.75
凝集性	0.68	0.50	0.85	0.87

4-2-1-3 加圧生成ゲルの物性におよぼす圧力の影響

図8に抽出タンパクおよび分離タンパクの加圧生成ゲルの物性におよぼす圧力の影響を示す。両タンパク質とも、圧力の増加とともに圧縮応力・剪断応力・凝集性の各物性値が高くなった。しかし、5,000気圧で、ほぼ一定になった。特徴としては、圧縮応力は、抽出タンパクが分離タンパクより高くなったが、剪断応力と凝集性は、分離タンパクの方が高くなった。

4-2-1-4 加圧生成ゲルと加熱生成ゲルの違い

表5に抽出タンパクと分離タンパクの5,000気圧における加圧生成ゲルと、両タンパクの100℃における加熱生成ゲルの物性値を示す。抽出タンパクでは、加圧ゲルは加熱ゲルに比べ、圧縮応力、剪断応力、凝集性とも高く、加圧ゲルは、より硬くて弾力性のあるゲルだといえる。一方、分離タンパクでは、加熱ゲルの方が圧縮応力が高く、剪断応力と凝集性は、加圧ゲルが高くなっている。すなわち、分離タンパクでは、加圧ゲルは、加熱ゲルに比べ、柔らかく、しなやかだということになる。

4-2-1-5 組成等の違いによる生成ゲルの物性の変化

4種の大豆タンパク質製品間の物性の違いは、何に起因するのかを検討するため、純度の高い分離タンパクに繊維や可溶性の糖類として蔗糖を添加したり、窒素溶解指数を変化させ、これを高圧処理し、ゲル物性の変化を検討した。

図9に加圧生成ゲルの物性に及ぼす蔗糖量の影響を示す。加圧条件、25℃、5,000気圧、10分間で処理した。加圧生成ゲルの物性は、蔗糖濃度が増加すると圧縮応力は増加するが、凝集性・剪断応力が低下した。これは、その他の可溶性糖類でも同様の傾向を示した。このことから、蔗糖量(可溶性糖類量)を増加させる、すなわちタンパク質純度を低下させると、ゲルは硬くて、脆くなることがわかる。

次に、分離タンパクに大豆の皮から調製した繊維を添加し、5,000気圧でゲルを作成し、加圧生

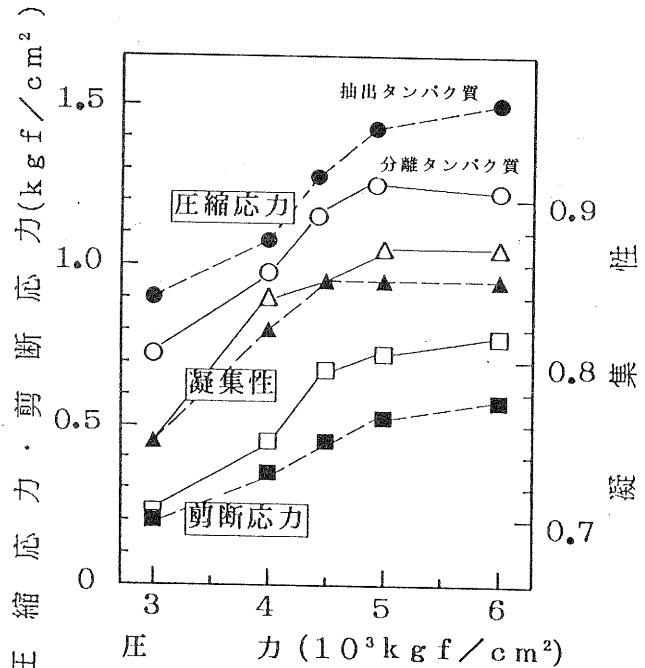


図8 大豆タンパク質の加圧生成ゲルの物性におよぼす圧力の影響 (25℃、10分間加圧)

表5 加圧生成ゲルと加熱生成の物性比較
加圧: 5,000kgf/cm², 25℃, 10分
加熱: 100℃, 5分

タンパク質の種類 処 理 方 法	抽出タンパク		分離タンパク	
	加圧	加熱	加圧	加熱
圧縮応力 (kgf/cm ²)	1.39	0.97	1.25	1.48
剪断応力 (kgf/cm ²)	0.52	0.50	0.73	0.63
凝 集 性	0.85	0.72	0.87	0.82

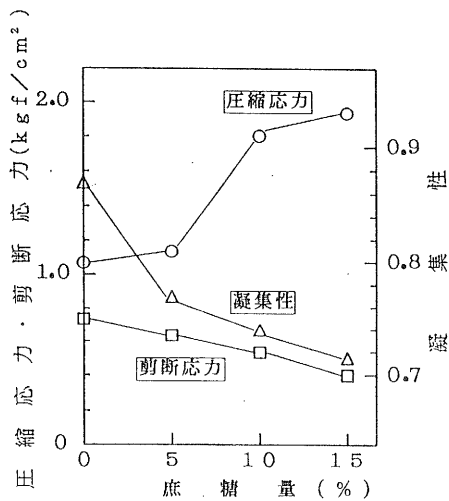


図9 大豆タンパク質の加圧生成ゲルの物性におよぼす蔗糖の影響 (25°C、5000 kgf/cm²、10分間)

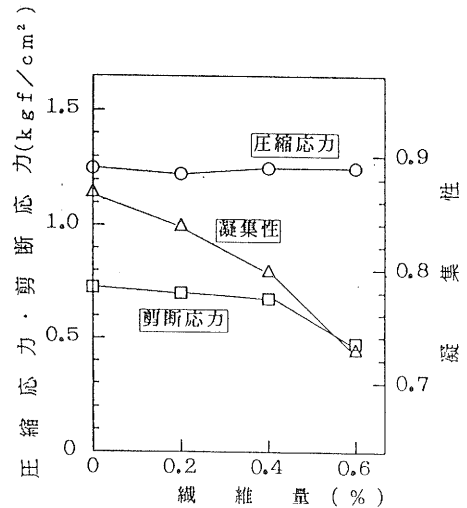


図10 大豆タンパク質の加圧生成ゲルの物性におよぼす繊維の影響 (25°C、5000 kgf/cm²、10分間)

表6 NS I の変化による加圧生成ゲルの物性変化

成ゲルの物性におよぼす繊維の影響を調べた。結 (5,000kgf/cm², 25°C, 10分)

果、図10に示すとおり、繊維量が増加しても圧縮応力はほとんど変化しないが、凝集性・剪断応力が低下した。すなわち、繊維量が増加すると、硬さは変わらないが、脆いゲルになることがわかる。

また、表6に加圧生成ゲルの物性におよぼす窒素溶解指数の影響を示す。窒素溶解指数を変化させるため、抽出タンパクおよび分離タンパクを質熱条件下で処理し、5,000気圧でゲル化させた。

その結果、抽出タンパク、分離タンパクとも、窒素溶解指数を低下させると、圧縮応力、剪断応力、凝集性のすべてが低下した。すなわち、窒素溶解指数は、加圧生成ゲルの物性に影響を与え、窒素溶解指数が低下すると、脆くてゲル化しにくくなることがわかった。

タンパク質の種類	抽出タンパク		分離タンパク	
窒素溶解指数	85	11	90	11
圧縮応力 (kgf/cm ²)	1.39	0.68	1.25	0.57
剪断応力 (kgf/cm ²)	0.52	0.11	0.73	0.12
凝 集 性	0.85	0.51	0.87	0.40

4-2-1-6 応用の可能性

以上のように、大豆タンパク質の圧力処理では、製造方法や組成等の違いにより、加工特性がかなり異なることがわかった。しかし、一般に加熱処理に比べ、加圧処理の方が、しなやかで弾力性のある崩れにくい優れたゲルができることがわかった。大豆タンパク質を原料とした新しい物性の食品が作り出せる可能性がある。

4-2-2 スケソウダラ摺身についての検討

スケソウダラ摺身は、かまぼこ、竹輪等の原料として、大量に使われている。そして、現在は、

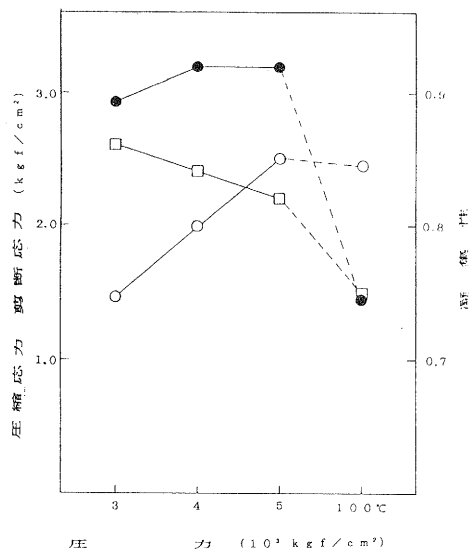


図11 スケソウダラ摺身の高圧処理による物性の変化

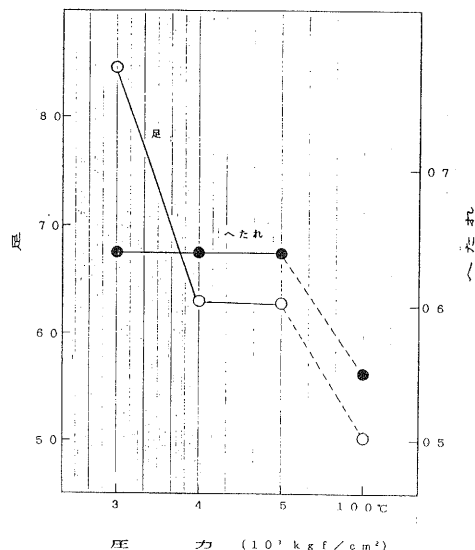


図12 スケソウダラ摺身の高圧処理による物性の変化(足、へたれ)

焼く、蒸すの加熱加工が施されている。摺身は、ほとんどがタンパク質であるので、高圧処理により変性・ゲル化することが予想されるので、高圧処理を施せば加熱処理とは違った物性の製品が作り出せると考えられる。

4-2-2-1 高圧処理によるゲル化

加塩摺身を高圧処理すると、3,000気圧からゲル化した。ゲルの物性におよぼす圧力の影響を図11および図12に示す。圧縮応力・剪断応力は、圧力の増加とともに高くなったが、凝集性は逆に低下した。加熱生成ゲルの物性と比較すると、3,000、4,000気圧では、剪断応力・凝集性は、加圧ゲルが高く、圧縮応力は、加熱ゲルが高くなった。5,000気圧の加圧ゲルは、圧縮応力は、加熱ゲルと同じであるが、剪断応力・凝集性が高くなった。足の強さは圧力の増加と共に低下したが、加圧ゲルは5,000気圧においても、加熱ゲルより強かった。また、へたれは圧力が増加しても変化しなく、加圧ゲルに比べへたれにくかった。

このように、スケソウダラ摺身の加圧ゲルは、加熱ゲルに比べ、足が強く、へたれにくく、柔らかいが、内部結合力が強く、噛みきろうとすると力を要するという特徴があり、この特徴は、ゲルの生成する範囲で、低圧の方が顕著であった。官能検査の結果も、3,000気圧で作成したゲルが好まれた。

4-2-2-2 高圧処理による生菌数の変化

スケソウダラ摺身を3,000~5,000気圧でゲル化させたときの生菌数の変化を、図13に示す。

3,000気圧では1gあたり700コの生菌数があるが、4,000気圧では、18コ、5,000気圧では陰性

になった。

4-2-2-3 水産練り製品への応用検討

かまぼこメーカーに依頼し、熱処理加工直前の製品を高圧処理し、食感、味、臭い等の官能検査を実施した。その結果を次に示す。

- ① 食感：弾力性、張力があり、また柔らかく、しなやかで良好である。
3,000気圧のものが5,000気圧のものより、官能的に優れていると思われる。
- ② 味：熱処理加工物（既存の製品）より濃厚に感じる。
- ③ 臭い：異臭は感じられない。
- ④ 問題点：かまぼこには、通常増量、保水等の目的で、デンプンが添加されるが、高圧処理物は、デンプンが全く糊化できず、生のまま残っている。摺身100%のものは問題ない。

このように、スケソウダラ摺身へ高圧加工を適用すれば、優れた新製品の開発が期待できると考えられる。

4-2-2-4 高圧を利用した新製品の開発

スケソウダラ摺身の高圧処理物が、柔らかくしなやかであるという特徴を生かして刺身風の製品の開発を試みた。刺身風の食感は、高圧処理によりだすことができる。しかし、本物の刺身は肉が層状構造をなしているので、摺身の高圧処理物にも、層状構造を形成させる方法を検討した。

その結果、冷凍摺身を凍結させた状態で、高圧処理を施せば、層状構造が形成されることが判明した。この場合、 -80°C で急速凍結させたものは、高圧処理を施しても、凍結したままで、加工されなく、 -25°C で緩慢凍結させたものが、写真3のように、うまく層状構造を形成した。

層状構造が形成されるの原因は、凍結している

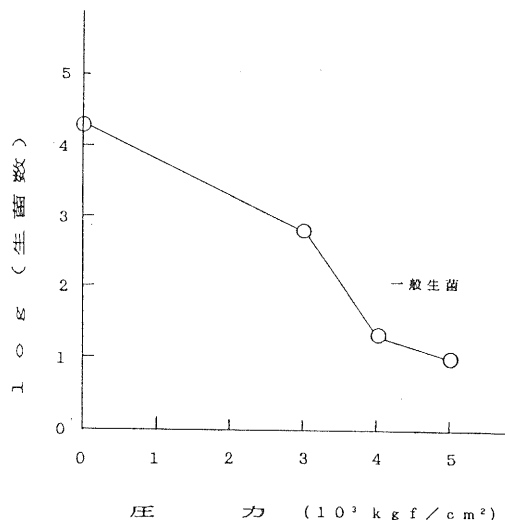


図13 スケソウダラ摺身の高圧処理による生菌数の変化



写真3

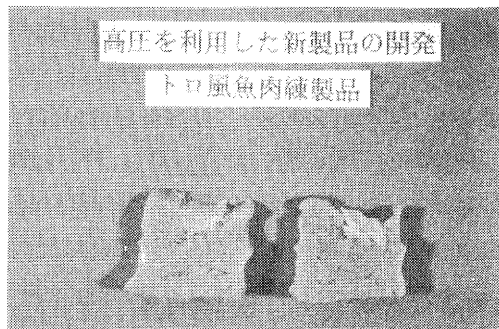


写真4

間は、固体であるので高圧による変性を受けないが、外側から徐々に解凍して行き、解凍された部分のみが順に変性して行き、肉質が不連続な層状構造を形成するものと考えている。また、このことは、摺身に限らず、高圧加工が適用できるタンパク質性の食品原料であればほとんどが適用できるものと考えており、新製品を開発する際の、重要な技術になると考えている。

写真4は、新製品の試作例として、トロ風の水産練り製品を試作したものである。色と味をつけ、少し繊維を添加した。味、食感とも良好であった。今後は、肉質の中へ脂を封入する方法を検討して行き、より本物に近い製品の開発を目指している。

4-2-3 ブラックバス切身についての検討

最近琵琶湖に大量に繁殖しだしたブラックバス（別名ビワバス）への高圧加工の適用を検討した。ブラックバスは、生がうまいといわれているので、生の風味を生かす加工方法として、高圧を適用した。

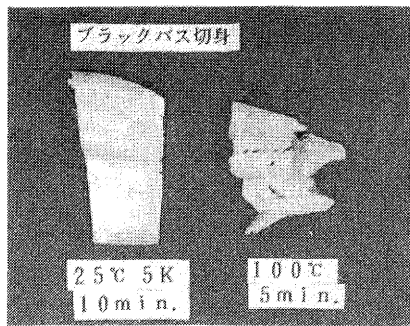


写真5

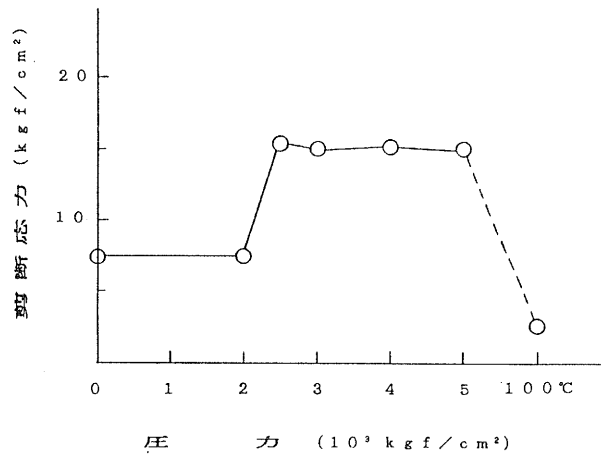


図14 ブラックバス切身の高圧処理による物性の変化

4-2-3-1 高圧処理による肉質の変化

ブラックバス切身を高圧処理すると、写真5のように2,500気圧から肉に変化が現れ、加工された。物性を、剪断応力で検討した結果を図14に示す。2,000気圧では、剪断応力が生のものと同じであるが、2,500気圧からは、約2倍の値になっている。そして、加熱処理物は、生のものより剪断応力が低くなった。

実際に、2,500気圧以上で高圧処理したものは、身が引き締まり弾力性があり、かまぼこのようなになった。そして、包丁によりスライスでき、相当力をいれても身は崩れなかった。味は、生のものと、あまり変わらなかった。これに対し、加熱処理物は、触っただけで身がボロボロに崩れ、味もなまのものとは大きく異なった。

4-2-3-2 高圧処理による生菌数の変化

ブラックバス切身を2,500から5,000気圧で、高圧処理したときの生菌数の変化を図15に示す。3,000気圧で、 10^3 オーダーの生菌数が検出されたが、4,000気圧ではほぼ陰性になり、5,000気圧で陰性になった。

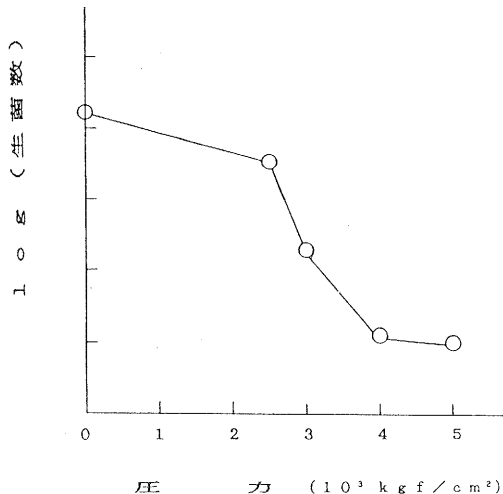


図15 ブラックバス切身の高圧処理による生菌数の変化

4-2-3-3 高圧処理による色の変化

ブラックバス切身の、加圧処理および加熱処理による色の変化を表7に示す。加圧、加熱とも処理により明度(L値)が増加し、白っぽくなった。赤色度(a値)黄色度(b値)は、余り変化しなかった。図16にこれらの処理による400nmから700nmまでの分光反射率の変化を示す。加圧、加熱処理ともほぼ同様に、全体の分光反射率が増加し、その結果、明度が増加したことがわかる。

表7 高圧処理および加熱処理によるブラックバス肉の色の変化

処理方法	L値 (ΔL)	a値 (Δa)	b値 (Δb)
無処理	58.27 (0)	-1.62 (0)	4.91 (0)
5,000気圧 10分間	70.83 (12.56)	-1.67 (-0.05)	4.55 (-0.36)
100°C 5分間	72.20 (13.93)	-1.57 (0.05)	5.38 (0.47)

4-2-3-4 応用の可能性

ブラックバス切身に高圧加工法を適用すれば、身が引き締まり弾力性を持ち、ちょうど刺身と蒲鉾の間のようなものに加工できる。また、味は生のものと余り変わらない。したがって、すしねた等への応用が考えられる。

5. おわりに

本研究は結果を次のようにまとめることができる。

- ① 高圧処理による微生物の殺菌効果は、微生物の属種によって、かなり異なるが圧力の増加と共に死滅割合は増加した。殺菌のされ易さは、概ね酵母、カビ、細菌の順であり、細胞の大きさや、細胞の構造等に起因しているものと思われた。各食品に

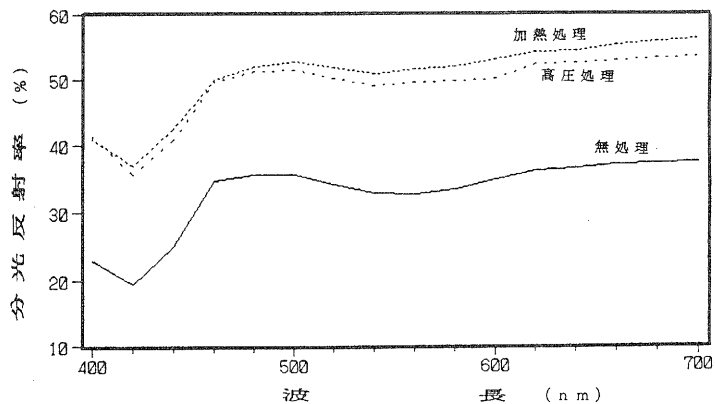


図16 ブラックバス切身の加熱処理および高圧処理による分光反射率の変化

より、条件を選べば、高圧を食品の殺菌に有効に利用することができる。

- ② 加熱による殺菌を行うと、味やテクスチャー、成分等が劣化したり、性質上全く加熱できないものの、殺菌ができるようになる。しかし、同じ漬物でも、醤油漬けのように加圧殺菌がうまくいくものと、ハクサイの浅漬けのようにテクスチャーが変わってしまいうまく行かないものがあることがわかった。したがって、高圧を殺菌の目的に使用する場合は、殺菌に有効な圧力で、殺菌される食品自体が変化しないことが肝要である。そのため、刺身のようにタンパク質性の食品は高圧で殺菌のみを行うのは難しく、高圧の加工効果を利用した新製品へと結び付けるべきであろう。
- ③ 高圧処理物は、物性や味、香り等が加熱処理物と異なるので、特徴を生かした新製品の開発が期待できる。

以上の結果を関係中小企業に普及・技術移転すれば、消費者ニーズへの対応や、画期的な新製品の開発が可能となり、関係業界の技術基盤の向上と振興に役立つものと考えられる。

なお、当技術における今後の問題点として次のことが考えられる。

- ① 高圧では、完全殺菌することが難しい食品が多数あり、他の処理方法を併せて検討していく必要がある。
- ② 新しい方法であるので、消費者のアクセプタビリティと法律上の問題がある。
- ③ 実際の食品に利用する場合、高圧処理の際の前処理法、後処理法を検討する必要がある。
- ④ 企業が、製品の加工に使えるような、大容量の加圧処理装置は、現在開発途中であり、また、高価である。しかし、これについては装置メーカーが鋭意開発を行っており2～3年以内には解決するものと考えている。

謝 辞 終わりに、本研究の遂行にあたり、御指導御助言頂いた京都大学食糧科学研究所 林力丸助教授、工業技術院微生物工業技術研究所 三上栄一部長また試料を提供頂いた企業の方々に對し、深く感謝致します。

[参考文献]

- (1) 林 力丸：食品と開発, 22, 55-62 (1987)
- (2) 林 力丸：化学と生物, 25, 703-705 (1987)
- (3) 林 力丸：食品機械装置, 25, 53-59 (1988)
- (4) 林 力丸：食品と開発, 23, 40-45 (1988)
- (5) 林 力丸：蛋白質 核酸 酵素, 34, 119-123 (1989)
- (6) 林 力丸：バイオサイエンスとインダストリー, 46, 29-31 (1988)
- (7) 堀 恵一：食品と開発, 23, 46-50 (1988)
- (8) 谷口 吉弘：化学技術誌MOL, 44-51 (1988)
- (9) 松本 正：滋賀県工業技術センター研究報告昭和62年度分 (1988)
- (10) 松本 正, 林 力丸：農化誌 63, 330 (1989)
- (11) (財)日本醤油研究所編：しょうゆ試験法 (1985)
- (12) 中江 利幸著：牛乳・乳製品, 養賢堂

食品加工工場からの高濃度糖廃液の 有効利用に関する研究

技術第二科 矢 田 稔

あらまし：琵琶湖の佃煮加工工場から排出される高濃度糖廃液（11中に糖約400g、食塩約60gを含む）の有効利用の方法を確立するため、固定化酵母（*Saccharomyces cerevisiae* IFO-0304）を用いたバイオリアクターにより、エタノールの生産能力等を検討した。

その結果、2～5倍希釈した廃液については、約8時間ではほぼ全量の糖を消費し、理論値の約90%のエタノールに変換した。また、このバイオリアクターは3週間以上の連続運転を行ったが、エタノールの生産能力の低下は認められなかった。

1. ま え が き

この糖廃液については、すでに酵母による処理試験や限外ろ過膜による清浄化の試験を行ってきたが、今回は汚濁負荷の軽減と共に有用物の生産の可能性を検討するため固定化菌体によるバイオリアクターで試験を行った。バイオリアクターには酵素を固定化して反応の触媒に用いるものもあるが、利用する酵素は微生物由来のものが多く、それが菌体内酵素の場合、菌体を破碎し抽出、精製する必要があり、菌体外に取り出した酵素は安定性に問題があることが多い。そこで、微生物菌体自体を固定化し、反応触媒に用いる試みもなされている。¹⁾

今回は、耐塩性があり高濃度処理の可能な酵母によるエタノール発酵について検討した。酵母（*Saccharomyces cerevisiae* IFO-0304）をアルギン酸カルシウムゲル包括法により固定化したバイオリアクターを用いて24時間ごとのバッチ式運転で糖廃液をエタノールに変換した。

2. 実験方法

2-1 モデル廃液

糖廃液は、季節的なものであるため均質な試料を得ることが困難なため、表1に示すようなモデル廃水を調製し原液とした。この原液のpHは約4.0で多少酸性よりであるが、固定化酵母によるエタノール生産に関する報告でpH4においても最も生産量が多かったというものもあり²⁾、雑菌の汚染防止も期待できるので、pH調整せずに適宜希釈したものを試験に用いた。

2-2 菌体の固定化

YPD培地（121℃、20分間加圧滅菌）200mlに酵母（*Saccharomyces cerevisiae* IFO-0304）植菌し、28℃で24時間振とう培養により増菌させた。これと、アルギン酸ナトリウム3.0%を水に溶解し121℃、20分間加圧滅菌した後40℃程度まで冷却したものとを等容量混合し、0.5%塩化カル

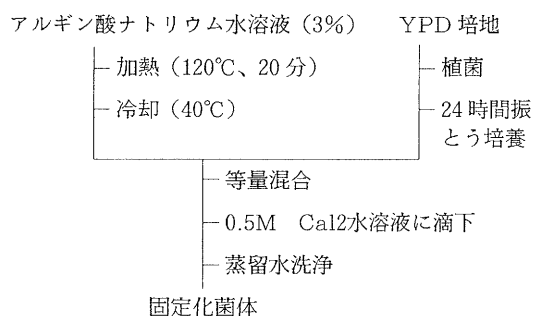


図 1

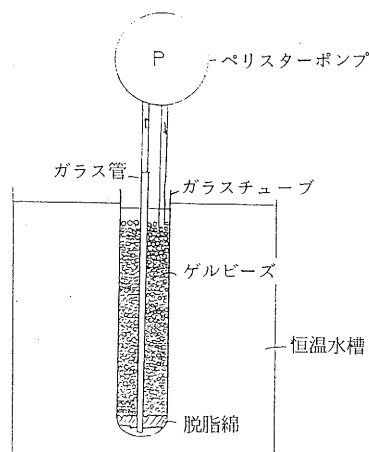


図2 バイオリアクターの構成

シウム水溶液中に注射器より滴下し球状のゲルを作製した。このゲルを安定化のため15分間かくはんしたのち、滅菌蒸留水で洗浄し固定化酵母のゲルビーズとした。(図1参照)次に、固定化した菌体の馴養のためもう一度ゲルビーズをYPD培地中で28°C24時間静置したものを滅菌蒸留水で5回洗浄し図2のようなリアクター容器に充填した。なお、ゲルビーズの直径は4mmでリアクターの充填容積は約300mlであった。

2-3 醗酵試験

リアクター容器に10倍希釈したモデル廃液を150ml(容器の300mlであるがゲルが約半分の体積を占める)導入し、ペリスターポンプで還流しながら28°Cで発酵試験を行い、適宜分析のためサンプリングした。1バッチ(原則的に24時間)終了後、全量(150ml)抜き取り新しい廃液を150ml導入するというように、このサイクル数回繰り返して定常状態になった後、濃度を5倍、2倍へと上げていき、それぞれ数バッチずつ計21日間試験を行った。なお、リアクターを特別に無菌的に取り扱うことはしなかった。

2-4 成分分析

サンプリングした試料について、エタノールと糖(グルコース、フラクトース、シュクロース、マルトース)についてその量を測定した。

(1) エタノール

アセトン/internal標準として、ガスクロマトグラフ(カラム:PEG20M、カラム温度:70°C検出器:FID)で定量した。

(2) 糖

試験液をメンブランフィルター(0.45 μ)でクリーンアップし、液体クロマトグラフ(カラム:島津PNH₂-10、移動相:アセトニトリル/水=74/26、検出器:示差屈折計)により、グルコース、フラクトース、シュクロース、マルトースの4成分について定量した。

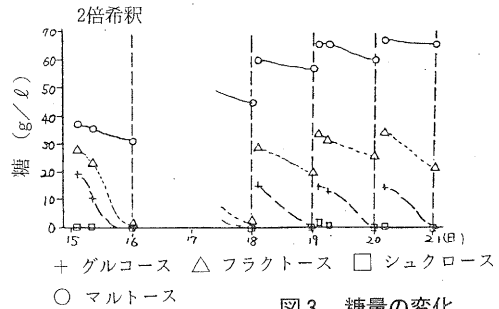
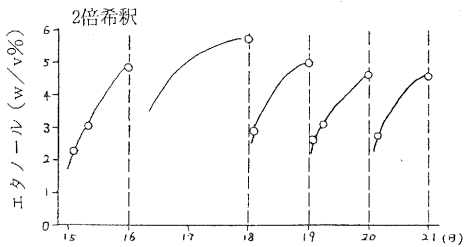
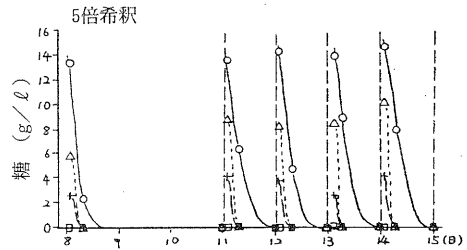
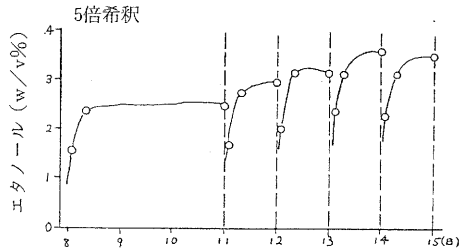
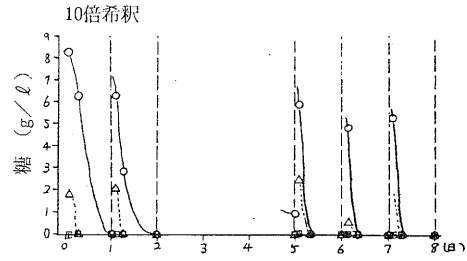
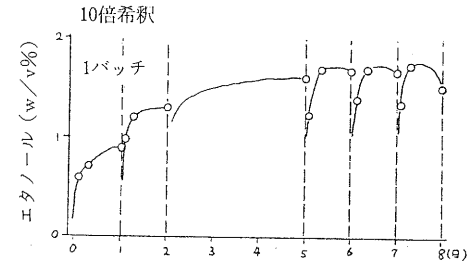


図2 エタノールの生成量

図3 糖量の変化

3. 結果および考察

発酵試験の結果を、図2、3、4にエタノール、図5、6、7に糖について示した。

エタノール量についてみてみると、10倍希釈時1バッチの最終で0.85%と低く、4バッチ目からはほぼ一定の最大濃度（理論値の約90%）となった。その最大濃度になるまでに約7～8時間で充分であり、24時間経過すると減少傾向があった。1回目2回目と順次上昇したのは、最初リアクター中に保持されていた水により2倍程度に希釈されたため、理論値の約半分になり、以後生成したエタノールの半量がリアクター内に残存しながら濃度が上昇していくものと思われる。5倍希釈時の場合も同様に4バッチ目からほぼ一定になり、最大濃度になるまで10倍希釈時より多少時間（12時間程度）を要するが、これも理論値の約90%のアルコールを生成した。2倍希釈時は24時間では理論値の50%程度であった。これらのことから、糖濃度が5倍希釈（約10%）のとき最もエタノール生産効率がよいことがわかった。

次に糖類の変化についてみてみると、原液中には二糖類のシュクロース（230g/l）とマルトース（130g/l）を含んでいるが、シュクロースは最初のサンプリング（2～3時間）でどの濃度でもほとんど残存しなかった。これは、利用した酵母菌株のインペルターゼ活性が強く塩濃度等の上昇に影響されなかったものと思われる。二糖類の分解生成物であるフラクトースとグルコースに関しては、フラクトースよりグルコースのほうが常に少なかった。マルトースは10倍希釈時には7

～8時間で全量消費したが、濃度が上昇するとともに残存量が増し2倍希釈時には元の濃度である65g/lがそのまま残った。

4. まとめ

今回用いた装置で最も効率よくエタノールを生産するには、5倍希釈、12時間バッチで運転する時で、その生成能は約1.45g/l・hrであり、他の例⁹⁾に比較して低い値となった。この原因には、使用した酵母のエタノール生成能、食塩の添加、栄養源の不足等が考えられる。また、3週間程度の連続運転ができたが、ゲルビーズの硬さが最後のほうで少し軟化した。これは、ゲルの形成にカルシウムを用いているので、廃水中の塩化ナトリウムの濃度が高くなると脱カルシウムしたのではないかとと思われる。もう少し長期間運転する場合は、他の包括法を用いるほうがよいものと考えられる。

実用化に関しては、エタノールの精製(脱塩、濃縮)等に問題があり、現地でこのような装置を用いるより糖廃液を原料として引き取ってもらうほうが現実性があるものと思われる。

[参考文献]

- (1) 千畑一郎編：固定化酸素，149P，講談社（1986）
- (2) Vnturg Murdiyatmo, Sudijanto Tedjowahjono, Int Sugar J, 89, 154 (1987)
- (3) 日本食品工業学会編：食品工業における科学・技術の進歩(Ⅲ), P159, 光琳(1988)

低塩漬物の保存性向上のための殺菌法 としての高圧利用について

技術第二科 矢 田 稔

あらまし：近年漬物の低塩化は着実に進んでおり、食塩濃度3%以下の浅漬の需要は増加してきている。しかし、低塩濃度のためその保存性は良いとはいえ、その向上は重要な課題となっている。従来からの殺菌法としては加熱殺菌が用いられているが、あまり高温処理するとテクスチャーの劣化を起こすため完全な殺菌ができず、保存性の向上の手段として食品添加物の使用や低温流通が併用されている。

そこで、最近新しい殺菌法として着目されてきている高圧（5,000kgf/cm²）を利用して、包装低塩漬物（赤カブ、塩分3%）の保存性の向上について検討した。その結果、高圧処理と有機酸によるpHコントロール（pH4.5）により、2週間以上の室温（23℃）保存が可能であった。

1. ま え が き

低塩漬物はその塩分の低さから微生物の繁殖を許し、酸度の上昇などによる味の変化、原料野菜の色の退色、テクスチャーの劣化等が生じやすく、長期保存することはむずかしい。現在は、合成保存料のソルビン酸や有機酸などの天然添加物の使用と加熱殺菌により保存性を向上させている。しかし、高温による加熱殺菌はいわゆる歯切れの劣化や原料野菜の色の変化を起こし、70℃程度の処理しかできず殺菌に不完全さが残る。

そこで、加熱殺菌に変わる方法として最近注目されつつある高圧の利用を検討した。漬物素材としては、滋賀県内において重要な漬物材料であり、成分として糖分に富み保存試験中の色や成分の変化を調べるのに適していると考えられる赤カブを用いた。

2. 実験方法

2-1 供試塩漬物赤カブ

1個200g程度の赤カブ（本紅赤丸蕪）の葉を除き、水道水でよく洗い包丁で放射線状に8分割する。この赤カブに重量の3%の塩化ナトリウムを加えて重しをし、一夜室温（約15℃）放置し水が上ったものに、DL-リンゴ酸（食品添加物）に少量の水を加え10%水酸化ナトリウム水溶液でpH4.5に調整した緩衝液を添加し、よくかくはんする。この様に処理した赤カブ1個（8分割したもの）をポリエチレンの小袋に均等に分けた侵出水と共に真空包装したものを、無処理、加熱殺菌および加圧殺菌の各区分のサンプリングに必要な個数用意し以下の試験に供した。

2-2 殺菌処理

加熱処理は、包装漬物を70℃の恒温水槽に20、30分浸漬することにより行った。高圧処理は小型CIP装置（三菱重工製MCT型）で圧力媒体として蒸留水を用い、20℃で5,000kg/cm²の静水圧を15分間保持することにより行った。

2-3 保存性試験

23℃、50%RHの恒温室で保存し、経過時間毎に小袋を開封し、生菌数、乳酸量、グルコース量、pH、色調等を測定した。

(1) 生菌数

漬汁について、標準寒天培地を用い36℃48時間培養後計数した。¹⁾

(2) 乳酸量

赤カブを漬汁と共にその4倍量の蒸留水を加えてホモジナイザーにより粉碎したものを、80℃の温湯で加熱した後、3,000rpmで遠心分離した上澄水をメンブランフィルター（0.45um）でクリーンアップし、液体クロマトグラフ（カラム：島津SCR-101H、移動相：過塩素酸にてpH2.1にした水、検出器：UV210nm）定量した。

(3) グルコース量

乳酸量の測定に用いた上澄水について酵素（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タット（クーパーバイオケミカル(株)製）を用いた。

(4) pH

漬汁について、pH計を用いて測定した。

(5) 色相

測色色差計（日本電色工業(株)製、SZ-Σ80型）を用いて反射法で40mmガラス上に分割した赤カブの平らな面を押し付けてLab値を測定した。

(6) テクスチャー

熱処理、高圧処理および無処理のものについて、8分割したものの中心（縦方向）を内径10mmのコルクボーラーで円柱状に繰り抜きその中心部を、テクスチュロメーター（全研(株)製、GT X2-IN型）を用いて測定した。なお、測定条件は、プランジャー：ニッケル製V型、クリアランス：2mm、電圧：0.5V、そしゃくスピード：6回/分で1回そしゃくし、この時に要した力を測定した。

3. 実験結果および考察

3-1 0.25%リンゴ酸添加

赤カブの重量の0.25%のリンゴ酸と水酸化ナトリウムで調製したpH4.5の緩衝液を加え混合した試料を真空包装した。この試料について無処理、加熱処理（70℃、20分）、高圧処理（5,000kgf/cm²、15分）の3区分について23℃における保存試験を行った結果は図1、2、3に示すとおりであった。まず、生菌数については加熱殺菌と高圧殺菌のいずれも初期の生菌数が10分の1程度しか減少せず完全な殺菌にはならなかった。このことは、生しょうゆの高圧による殺菌の結果²⁾と

一致した。また、時間の経過と共に、無処理、加熱処理、高圧処理の順に生菌数が増加しはじめ、品質が悪化すると思われる 10^7 /ml を超える日数はそれぞれ 2、4、6 日程度であった。次に、乳酸の量と pH について見ると、無処理のものは 4 日頃から乳酸が急激に増加し最大 6 mg/ml を越える量となった。熱処理は 7 日頃から乳酸が生成しているが試料全体の pH は上昇し始めた。高圧処理も同じように少量の乳酸は生成しているが、熱処理より 2~3 日遅れて pH が上昇している。

試料の外観、においに関しては、無処理のものは日数の経過と共に漬物臭がし始め、色は赤が多少変色（赤紫→赤）した。熱処理、高圧処理のものは pH の上昇と共に試料が退色し、腐敗臭が発生した。

これらのことから無処理のものは乳酸を生成する細菌が優勢となっており、*Bacillus subtilis* の孢子など耐熱性孢子は耐圧性も強いことから³⁾、熱と高圧の両殺菌処理によって残存した耐熱性芽胞菌等が増殖したものと考えられる。このような熱殺菌でも残存する耐熱性芽胞菌等の繁殖を抑制するため、リンゴ酸を添加したが量が少なく赤カブの内容液のため最初から pH が 5 程度になっており抑制効果が弱かったものと思われる。そこで、リンゴ酸の量をふやしたものについてより詳細な試験を行った。

3-2 0.5%リンゴ酸添加

赤カブの重量の 0.5% のリンゴ酸と水酸化ナトリウムで調整した pH4.5 の緩衝液を加え、試料の均一化のため 5℃ で 1 日放置し、3-1 と同じ条件で保存試験を行った。なお、熱処理の加熱時間は 30 分に延長した。その結果、生菌数、pH、乳酸、グルコースの変化は図 4、5、6、7 に示すとおりであった。生菌数についてみると、前回と同じように両殺菌処理によっても 1 オーダ程度しか減少せず、無処理区は短日数で増加し 2 日で 10^7 /ml を越えた。熱処理では 6 日で 10^7 /ml を越え、圧力処理区は 14 日でも菌数の増加は認められなかった。

そのほか、無処理区では乳酸量が 2 日頃から増加し始め 10mg/ml までになり、それと共に pH は低下し、乳酸は徐々に増加し、グルコースは減少した。この試料の状態は、腐敗臭が発生し色が退色した。圧力処理区では、pH、乳酸、グ

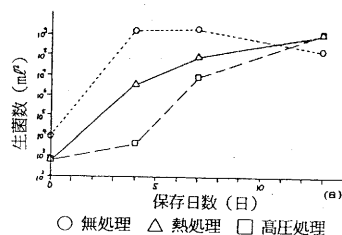


図 1 保存日数と生菌数
(リンゴ酸 0.25% 添加)

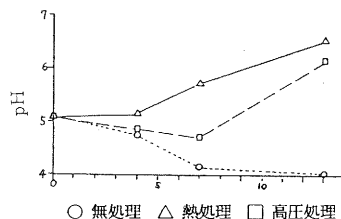


図 2 保存日数と pH
(リンゴ酸 0.25% 添加)

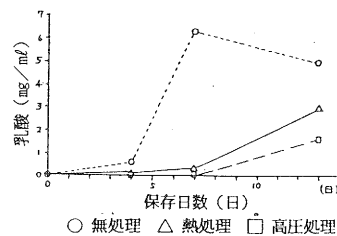


図 3 保存日数と乳酸量
(リンゴ酸 0.25% 添加)

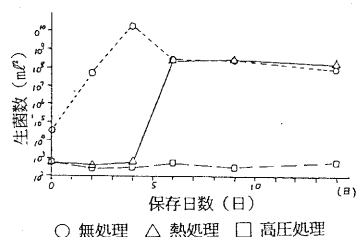


図 4 保存日数と生菌数
(リンゴ酸 0.5% 添加)

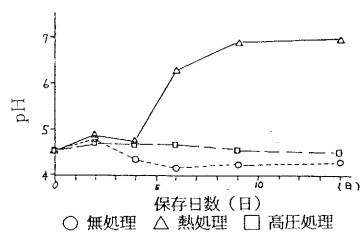


図 5 保存日数と pH
(リンゴ酸 0.5% 添加)

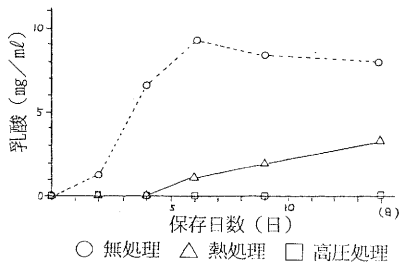


図6 保存日数と乳酸量
(リンゴ酸 0.5%添加)

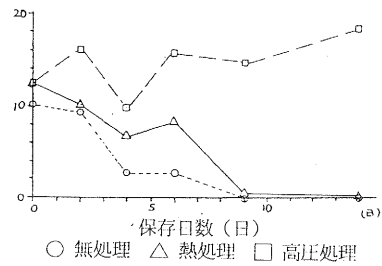


図7 保存日数とグルコース量
(リンゴ酸 0.5%添加)

ルコースとも14日で変化がなかった。

リンゴ酸 0.25%添加時と同じように今回も加熱殺菌より高圧処理の方が良好な結果となったが、その一つの原因として、赤カブが大切りなため、殺菌は外側から中心部へ熱が伝達するので中心部の加熱が不十分になったのに対して高圧処理は内部まで均等に効果が働いたことが考えられる。

表1 ソルビン酸の抗菌性

カビ	酵母	好気性孢子形成菌	嫌気性孢子形成菌	乳酸菌	グラム陽性菌(無孢子)	グラム陰性菌(無孢子)	備考
◎	◎	○	×	×	○	○	酸性ほど有効 pH 6 以上で実用性なし

◎：強力，○：普通，×：無効

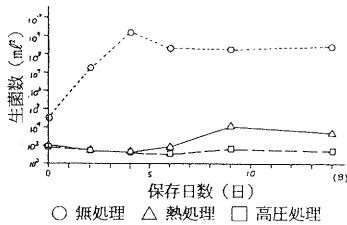


図8 保存日数と生菌数
(リンゴ酸+ソルビン酸)

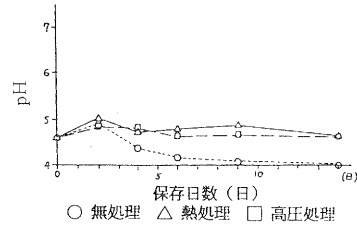


図9 保存日数とpH
(リンゴ酸+ソルビン酸)

3-3 ソルビン酸添加

3-2と同じ条件で、無処理、熱処理、高圧処理の3区分のそれぞれに、しょう油漬、酢漬等に使用の許可されている保存料のソルビン酸カリウムを0.03%加えて保存試験を行った。その結果は、図8、9、10に示すとおりで、無処理区ではソルビン酸カリウム無添加のものとはあまり違いがなく、熱処理区では生菌数の増加が抑制され、成分変化もなかった。ソルビン酸の抗菌性を表1²⁾に示すが、乳酸菌の選択計数時にソルビン酸を培地に添加するなど乳酸菌に対しては抑制効果がないことから、無処理区で優勢となっている微生物相は乳酸菌であるものと思われる。また、熱処理で残存した細菌(好気芽胞菌等)に対してはソ

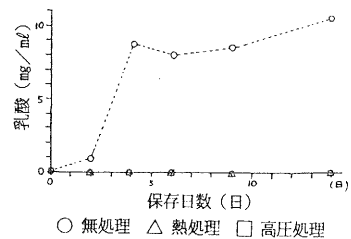


図10 保存日数と乳酸量
(リンゴ酸+ソルビン酸)

表2 赤カブ漬物の色調変化

保存日数	処理区分	無処理	無処理	熱処理	熱処理	高圧処理	高圧処理
	ソルビン酸	無	添加	無	添加	無	添加
0日	L	44.82	41.62	37.51	36.06	37.57	37.04
	a	20.16	22.47	26.08	21.46	25.40	30.25
	b	5.07	5.11	6.15	2.61	5.37	4.39
14日	L	31.25	29.91	23.27	37.82	26.30	34.57
	a	27.55	27.72	12.09	24.76	21.45	22.97
	b	14.75	12.08	0.28	7.91	7.82	9.29

ルビン酸の効果があったものと考えられる。

3-4 色調の変化

3-2および3-3の試料について、開始時と経過日数2週間の時点での赤カブ漬物の色相(Lab)を表2、図11に示したが、目立った変化は、生菌数の増加した無処理区(ソルビン酸添加も含む)と熱処理区(ソルビン酸無添加)に現れた。無処理区の2週間後のb値が上昇している。これは赤カブの色素が乳酸等有機酸の生成によるpH低下により変色(赤紫→赤)したものと考えられる。また、熱処理区(ソルビン酸無添加)の2週間経過したものはLab値とも低下した、すなわち鮮やかさがなくなり退色が著しいことがわかる。また、熱処理による退色は認められなかった。これらのことは、赤カブの主な色素であるラファニンが酸性で赤色(pH4以下)から赤紫色(pH5~6)紫赤色(pH7~8)強アルカリ青色までpHにより変化すること⁹⁾や、天然紅色色素として一般に使用されているビートレッドに比べ耐熱性に優れており加熱による色調の変化が小さいことが原因になっているものと考えられる。

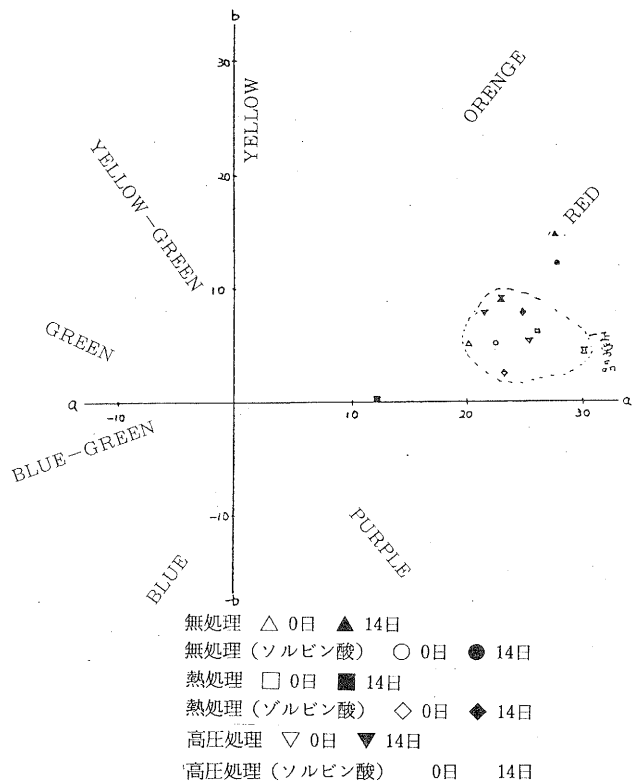


図11 赤カブ漬物の色調変化

3-5 テクスチャー

3-2の3区分の開始時についてテクスチャーを測定した結果は表3のとおりとなり、ばらつきが大きいものの高圧処理によるテクスチャーの劣化は認められず、実際の食感にもあまり差がなかった。

表3 赤カブ漬物のテクスチャー

処理区分	無 処 理	熱 処 理	高 圧 処 理
テクスチャー (kg/f)	6.24 n = 5	5.98 n = 4	6.07 n = 4

4. む す び

以上述べてきたように、高圧処理では漬物の完全な滅菌はできないが残存する耐熱性芽胞菌等に対する増殖抑制の対策（pHの低下、ソルビン酸の添加等）がとられていれば、その保存期間を延長させることができることがわかった。特に、漬物に唯一使用の許されているソルビン酸に対して耐性があり、その生成する乳酸により味の変化をもたらす乳酸菌に対して高圧処理は殺菌効果があるので、乳酸菌発酵により十分 pH の低下したすぐき漬や酸味料により pH が下げられている市販袋詰め漬物の殺菌に応用できるものと思われる。

また、高圧処理はその効果が温和で、加熱殺菌が起こす食品品質にマイナスの化学変化（ビタミン、色素、フレーバー等の分解、変成）を起こしにくいという長所があり、使い易く大量の処理が可能な高圧装置ができれば漬物の殺菌方法として実用化できるであろう。

今後、実用化の基礎試料とするために、漬物の殺菌に必要な最低限の圧力の検討、圧力処理で残存する微生物の詳細な同定等を行いたい。

〔参考文献〕

- (1) 日本薬学会編：衛生試験法・注解，P106，(1983)
- (2) 松本 正：滋賀県工業技術センター研究報告，P79 (1987)
- (3) 林 力丸：食品と開発，22，55 (1987)
- (4) 相磯和監修：食品微生物学，p162，医歯薬出版 (1984)
- (5) 谷村 顕雄他編：天然着色料ハンドブック，P359，光琳 (1979)

デザイン手法の高度化に関する研究

－デザイン開発における2次元手法に関する研究－

技術第二科 野上雅彦

あらまし：コンピューターの普及にともない、デザイン分野でのその利用も各方面で進められている。中小企業へのフィードバックを前提とした、パーソナルコンピューターベースでの使用とともに、中型計算機上で3次元モデリングソフトを用いて、その応用を進めている。現在のところでは、パーソナルコンピューターではその利用範囲はかなり限られ、その独自の活用法を見いだす必要がある。

1. まえがき

今日、CADの普及には著しいものがあり、デザインの世界に於ても様々な分野での利用が拡大されつつある。消費者ニーズの多用化により他品種小量生産が要求される今、デザイン作業の合理化の為のみならず、コンピューターの利用により初めて可能となる創造や表現こそ、これから押し進めて行くべき課題であると思われる。ここで、当センターでもCADを積極的に取り入れていくことにより、デザイン手法の高度化をはかっていき、県内企業へのデザイン指導での応用と共に、中小企業自身へのCADの指導及び、導入を促進して行く。

本年度では、パーソナルコンピューター（以下PC）による平面デザインの実践を行ない、その可能性を探るとともに、中型汎用機を使用しての3次元モデリングソフトによる金属質感表現の試み、及び人体モデル作成とその機械設計への応用を行った。

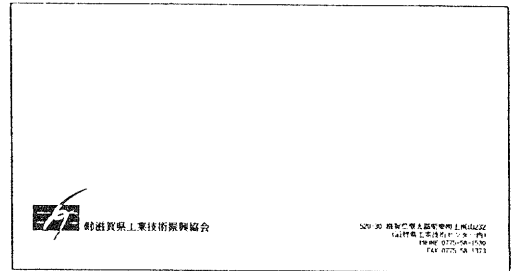
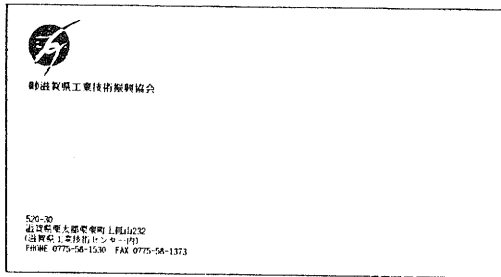
2. PCによる平面デザインの実践

企業自身が導入の容易なPCを使用することにより、中小企業へのフィードバックを前提とした、デザイン手法を求めることとした。機種は普及度を考慮し、「NEC PC-98」シリーズとした。

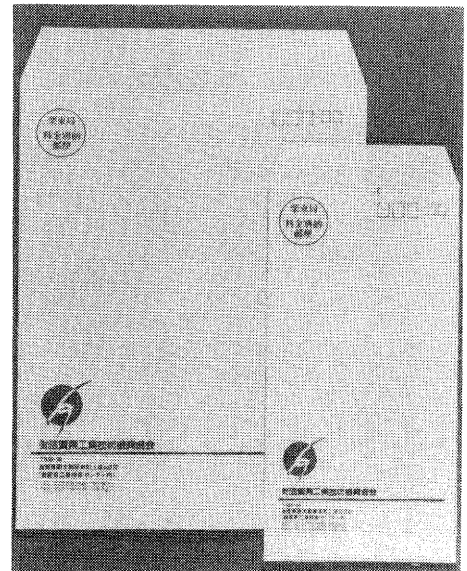
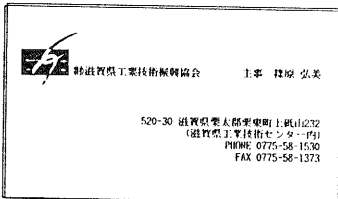
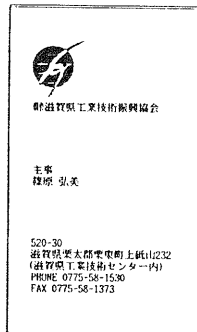
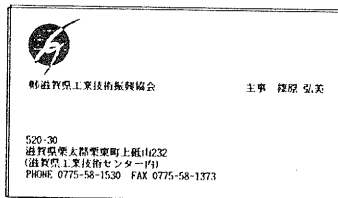
まず、シンボルマークの制作への利用を行った。第1に、滋賀県工業技術振興協会のシンボルマーク及び封筒デザインの例である。決定案は、筆でメインのパターンを描いておき、それをスキャナーで取り込んでからコンピューター処理を行った。次は滋賀県経済同友会のシンボルマークで、これも、ロゴはスキャナーで取り込んだものである。これらをアウトプットしたものはドットが粗いため、原稿には無理かもしれないが、カンパとしてなら許容でき、レイアウトの試行錯誤や大まかな色の検討にはうってつけと言える。第3に、マキノ町農協からの依頼による、パッケージデザインの例である。ここで使用した「PIX-SPOT」というソフトは、いま標準になりつつあるベクトルフォントの方式を早くから使用しており、文字が非常にきれいに打ち出せ、文字を多用するパッケージデザインには大変便利である。また、シリアルプリンターは美しさの点では他の方式に劣るが、かなり厚い紙に直接プリントできるので、様々なマテリアルの紙を使用してのイメージの作成が、他の方式よりも、逆に高い完成度で行える。



スキャナから取り込んだ画像と、加工したもの（Z'sSTAFF 使用）



封筒、名刺への展開

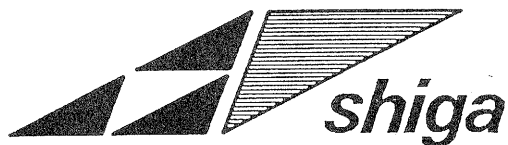
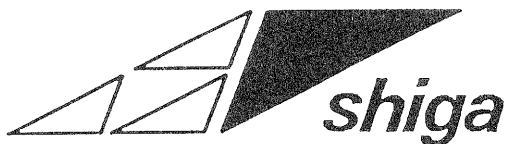
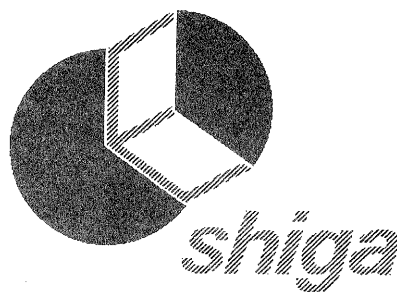


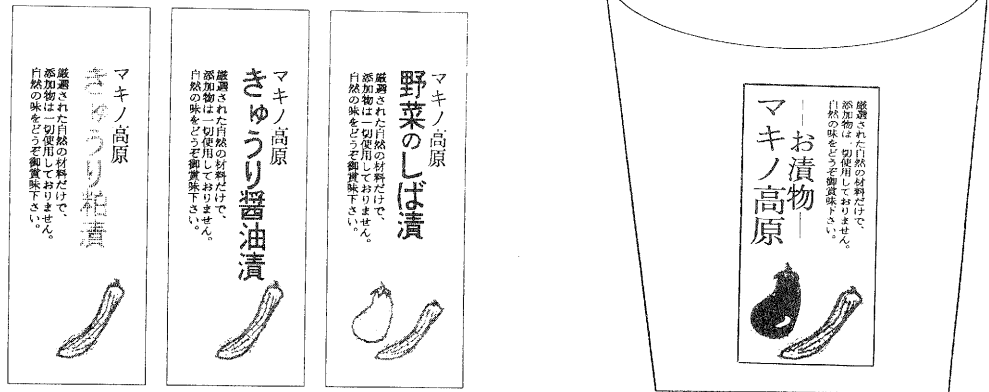
決 定 案



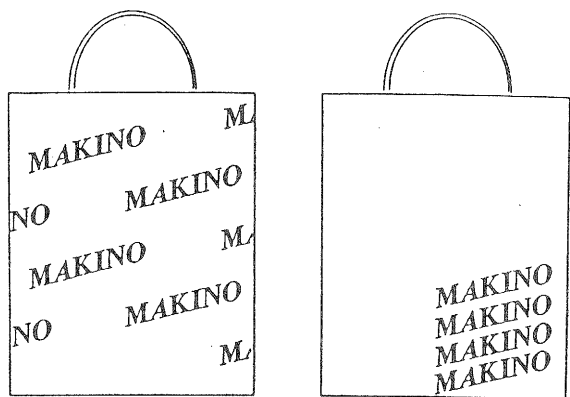
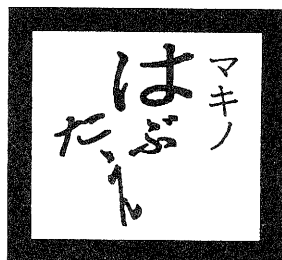
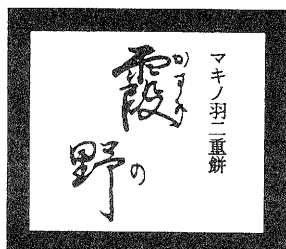
決 定 案

アイデア展開の例（Z'sSTAFF 使用）

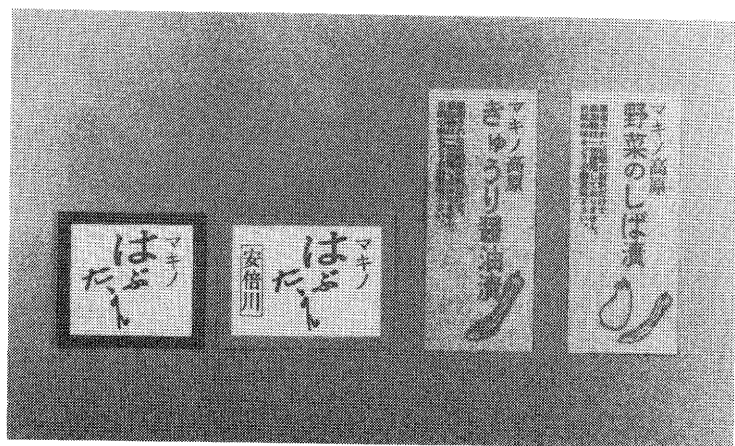




パッケージへの展開例 (PIX-SPOT 使用)



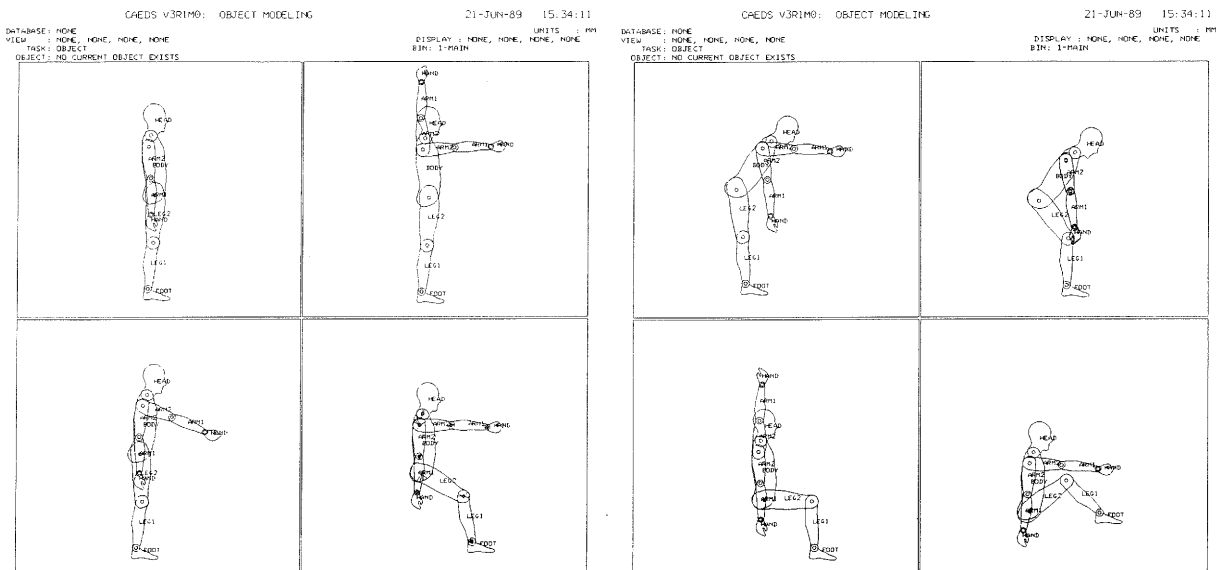
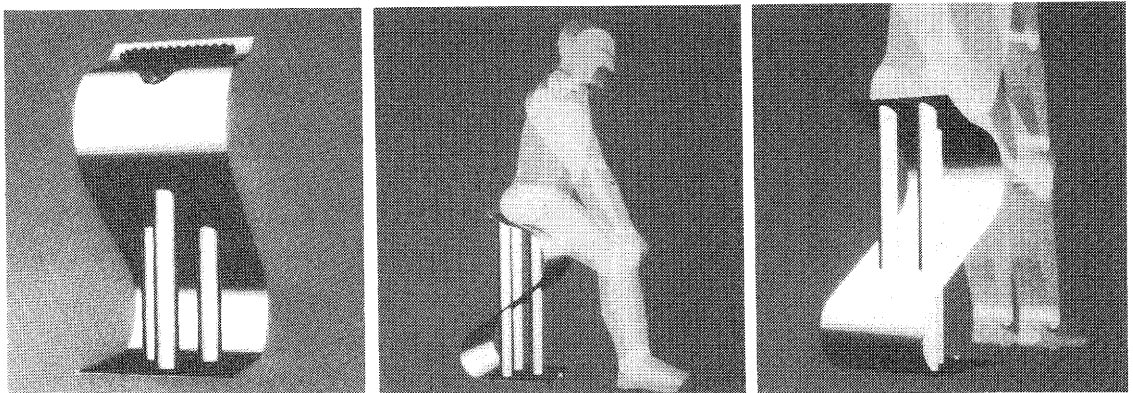
さまざまなマテリアルの紙へのプリント例



3. 金属質感表現、及び人体モデル作成

'88 滋賀県化学技術振興プラザにおいて、アルミ押し出し成形品の廃材を利用して、椅子の試作展示を行った。このとき、中型汎用機と3次元モデリングソフトを使用してモデリングを行い、スタイリングのシミュレーションを行った。ここで、陰影処理の際に、オブジェクトの表面反射率、光源の位置や光の強さ等を工夫することにより、金属質感表現の試みを行った。

県内企業からの生産機械のデザイン依頼を受け、そこで人間工学的考慮の検討のため、人体モデルを作成した。これは、オブジェクト・モデリング・モジュールにおいて、関節ごとを別パーツで作成し、システム・アッセンブリー・モジュールで組み合わせたものである。各パーツの接点を指定しておけば、その点を中心に自由な角度で組合せが出来、人体モデルに様々な姿勢を取らせることが可能となる。そして、その各姿勢は、パーツごとの組合せ情報だけをストアするため、少ない情報量で蓄えることが可能となる。



4. 考 察

PCのハード的性能アップは日進月歩の勢いであり、デザインツールとしてのコンピューターはPCで十分こなせるようになっていわれている。現在でもPCベースであれば500万円も出せば十分なシステムが組める。今回は、一般的に普及しており、比較的廉価なソフトを中心に使用して、その実用性を探ってみたわけだが、今のところその範囲はかなり絞られるようだ。イメージ関係のソフトでは、ドットがかなり粗いため、あくまでもラフなカンパ、レイアウトなどに使える程度である。特にいちばん致命的な欠点といえるのが、ディスプレイ上の色が何の再現性も持たないことである。しかし、そこを割り切って使えば、かなりの効果は期待できる。繰り返し作業や、部分修正などは、いちばん得意とするところである。また、取引相手のPCが、データの互換性のある機種であれば、フロッピーディスクや通信による、データのコミュニケーションが可能となることで、ここがいちばん重要な点であると考えられる。

中型機を使った実践では、アルミのツールを制作するに当たり、モデリングシミュレーションを行ったが、2次元のディスプレイで3次元を表現しようとするにあたっては、質感表現はこれからの最も重要な課題になると思われる。当センターのモデリングソフトはCAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING) 用のソフトのため、その方面は現在では弱く十分とは言えない。質感表現の貧弱な画面では、今や説得力は低く、テクスチャー・マッピングや、レイ・トレーシングなどによる高度な画像作成がこれからは不可欠と言える。

人体モデル作成についてであるが、これにより3次元的に人間工学的考慮を行いながらの機械設計が可能となる。いままでは、人体寸法図や木製の人体モデルなどを使用しており、人体寸法図は平面であるので、図面レベルでの使用に限られ、立体の人体モデルになると、設計している機器の方もモデルレベルでの使用になる。これをコンピューターに3次元モデルとして入力することで、双方の領域を満たしながら、製図からモデリングまでの作業がコンピューター内部で一括して行えることになった。

5. ま と め

これからのコンピューターの利用には、その特性をいかに生かすという点が大切になってくる。そのことをふまえ今後は、コンピューター独自の新しい表現を求める方向に力を入れていき、画像処理やアニメーション化、さらには音響効果も取り入れることにより、新しいプレゼンテーションの方法を求めて行く。

使用機器 (PC)

- 計 算 機 部 本体 (NEC PC-98-XL², N5925L)、ハードディスク (40M) (ロジテック LHD-34HR)、数値データプロセッサ (NEC PC-9801-33, NECPC-98XL2-03)、RAMボード (メルコ XB-400) 等
- インプット部 カラーイメージスキャナー (エプソン GT-4000)、タブレット (NEC メディアグラフ 10)
- アウトプット部 カラーシリアルプリンター (NEC PC-PR201V2)、ビデオデッキ
- 音 響 効 果 部 サンプラー (ローランド S-330)、シンセサイザー (ヤマハDX7S) 等

- ソフトウェア DYNAPIX-V (ダイナウェア)、PIX-SPOT (ダイナウェア)、プレリユー
ド (ダイナウェア)、CANDY 3 (アスキー)、THIRDY (アスキー)、Z'sST
AFF-KID98 (ツアイト)、Z'sWORD-JG (ツアイト)、シルエット (ジャ
ストシステム)、花子 (ジャストシステム) 等

使用機器 (中型機)

- IBM4361 ホストコンピューター
○IBM5080 グラフィックシステム
○CAEDS ソリッドモデリング

技術開発ノート

1. 相談・指導記録処理システム、図書管理システムの開発
システム開発チーム

相談・指導記録処理システム 図書管理システムの開発

システム開発チーム

技術第一科 川崎 雅生、木村 昌彦、月瀬 寛二

櫻井 淳、深尾 典久

技術第二科 井上 栄一、那須 喜一

1. システムの開発目的

当所に設置されている日本・アイ・ビー・エム(株)の4361型コンピューターの多目的利用の一環として、62年度までに設備使用・依頼試験関係の処理システムを開発してきたが、本年度は、相談・指導記録の処理システムと図書の管理システムを開発した。

相談・指導記録の処理システムを開発した目的は、当所に持ち込まれる技術相談の内容等を記録・蓄積し、分析することにより、今後の所内での研究、機器導入などのための基本的データを得ることにある。

また、図書の管理システムは、効率的な図書の発注・受入れ処理と、効率的な図書の検索、管理を目的としている。

2. システムの開発方針

本多目的利用システムは、リレーショナルデータベースを使用しているため、既存のシステムを停止することなく新規の検索方法やデータベースを追加することができる。このように、新規のシステムを開発する影響が、既存のシステムに及ばないので、開発に関する制約は少ない。そこで、プログラムの作成については職員が分担しプログラムが完成した時点で、随時システムに組み込むことにした。

3. システムの概要

システムのプログラム構成とデータベース構成を、図1と図2に示す。プログラムは、メンテナンス用も含めておよそ60本となっている。データ件数は、図書データも含めておよそ4万件（昭和63年度末）となっている。

以下、本年度追加したシステムについて紹介する。

3-1 相談・指導記録の処理

当所の職員が受けた技術的相談事項は、図3に示す記録カードに記入し、所内で回覧すると同時に、コード部分については、各自がコンピュータ入力している。回覧後の記録カードは、分野・内容別にファイリングし、参照を容易にしている。図4は、コンピュータ入力されたデータの集計出力の一例である。

滋賀県工業技術センターコンピュータピユータ多目的利用システム	設備機器使用・依頼試験処理システム		<ul style="list-style-type: none"> ☆1. 設備機器使用の受付 (SIYOUE) 2. 設備機器使用の検索・削除 (SIYOUR) ☆3. 依頼試験の受付 (IRAIE) 4. 依頼試験の検索・削除・起案日等の入力 (IRAIR) ☆5. 設備機器使用・依頼試験の日報印刷 (STOK167E) 6. JOIS, PATOLIS の受付 (JOIS) ★7. 設備機器使用の領収書の再発行 (SETSAI) ★8. 依頼試験の領収書の再発行 (IRASAI)
	相談・指導処理システム		<ul style="list-style-type: none"> ★1. 相談・指導記録の入力 (SIDOU) ★2. 相談・指導記録の簡易検索 (日付・分野指定) (SIDOU2)
	事業所名簿処理システム		<ul style="list-style-type: none"> ☆1. 事業所名簿の検索・登録・更新・削除 (KIGYOU3) ☆2. タックシールへの印刷 (KIGYOU2) 3. 全事業所リスト印刷 (KIGYOU1) 4. 業種・地域・規模別事業所リスト印刷 (KIGYOU5) 5. 市町村コードの印刷 (TIKU1) 6. 登録事業所数のカウント (KIGYOU4) 7. 事業所名簿の重複チェック (SOUJ11) 8. 事業所名簿の重複削除 (SOUJ12) 9. 事業所名称のチェック (NAOSI) ★10. 事業所名簿の部分文字列による検索
	図書管理システム		<ul style="list-style-type: none"> ★1. 図書の検索・登録・更新・削除 (BOOK00) ★2. 発注したい図書の選択 (職員用) (BOOK01) ★3. 図書の発注 (図書委員用) (BOOK02) ★4. 図書の受け入れ (納入業者用) (BOOK03) ★5. 図書リストの印刷 (BOOK04) ★6. 発注時の図書重複チェックリスト印刷 (BOOK05) ★7. 図書の部分文字列による検索 (BOOKSR)
	統計情報処理システム	設備使用・依頼試験関係	機器別
月別			<ul style="list-style-type: none"> 11. 設備使用・依頼試験 (件数、時間、金額) (STOK01) 12. JOIS/PATOLIS (件数、時間、金額) (STOK02) 13. 科・係別設備使用件数 (STOK09) 14. 目的別設備使用件数 (STOK11)
監査調書			<ul style="list-style-type: none"> 21. 設備使用 (件数、時間、使用料) (STOK07) 22. 依頼試験 (件数、手数料) (STOK06)
相談・指導関係			<ul style="list-style-type: none"> ★01. 全件数単純合計 (期間と規模指定) (SIDOU01) ★02. 業種別単純合計 (期間と規模指定) (SIDOU02) ★01. センター利用実事業所数 (業種、地域別) (ZEN01)
全体統計			<ul style="list-style-type: none"> ★01. センター利用実事業所数 (業種、地域別) (ZEN01)
事業所情報関係			<ul style="list-style-type: none"> ★10. 地域・業種別累積事業所数 (SIDOU03) ★11. 地域・業種別実事業所数 (SIDOU04) ★12. 指定事業所の内容別件数 (SIDOU05)
設備使用・依頼試験関係		設備使用	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)
		設備使用	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)
		依頼試験	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)
		関係	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)
		関係	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)
		関係	<ul style="list-style-type: none"> 20. 事業所別利用履歴一覧 (STOK10) 21. 事業所別・機器別設備使用件数 (STOK15) 22. 業種・地域別実事業所数 (STOK13) 23. 業種・地域別累積事業所数 (STOK03) 24. 業種・目的別設備使用件数 (STOK12)

★; 昭和63年度に新規開発プログラム
 ☆; 昭和63年度に改良を行った主なプログラム

図1 システムのプログラム構成

相談・指導記録集計(業種別)		集計期間 88/04/01 ~ 88/04/30		集計規模		20人 ~ 5000人以上			
集計業種	◎ 農林漁業 ◎ 化学 ◎ 金属製品 ◎ 運輸通信 ◎ 建設 ◎ 石油石炭 ◎ 一般機器 ◎ 卸売小売飲食	◎ 印刷 ◎ プラスチック ◎ 電気機器 ◎ 研究機関	◎ 繊維皮衣料 ◎ ゴム ◎ 輸送機器 ◎ 政治経済文化	◎ 木組家具 ◎ 窯業土石 ◎ 精密機器 ◎ その他	◎ 印刷 ◎ 鉄鋼非鉄 ◎ その他製造				
区分	電話	54件	来所	122件	文書	0件	現地	3件	0件
目的	基礎研究	25件	製品開発	42件	生産技術	15件	改良改善	24件	品質管理
	品質説明	19件	品質処理	9件	測定手続	11件	広域	0件	その他
電気	電気計画	4件	一般計画	9件	品質保証	9件	設計技術	5件	生産技術
	ソフト	0件	ハード	0件	*****	0件	機器取説	7件	その他
									5件
									1件
									40件
機械	精密計画	12件	一般計画	10件	メンテナンス	1件	評価技術	2件	設計構造
	生産加工	1件	省力自動	0件	騒音騒動	1件	機器取説	17件	その他
									8件
									1件
									53件
材料	計測技術	12件	環境特性	2件	力学特性	3件	化学特性	1件	設計技術
	加工技術	2件	*****	0件	*****	0件	機器取説	10件	その他
									4件
									35件
化学	有機分析	4件	無機分析	3件	化学特性	1件	物性評価	4件	生産加工
	環境公害	1件	*****	0件	*****	0件	機器取説	12件	その他
									0件
									0件
									25件
食品	成分分析	1件	微生物	3件	加工技術	0件	保存性	0件	物性
	安全性	2件	環境公害	0件	*****	0件	機器取説	1件	その他
									0件
									1件
									8件
パナソニック	メンテナンス	0件	インテリジェント	3件	インテリ	0件	ケラフィック	0件	ハードウェア
	システム	0件	クラフト	0件	*****	0件	*****	0件	その他
									0件
									0件
									3件
共通	持ち規格	0件	指導事業	0件	研究制度	0件	融資助成	10件	研修事業
	情報	1件	交流事業	0件	センター照会	0件	企業照会	0件	その他
									0件
									3件
									15件
									170件
対応方法	設備使用へ	55件	依頼試験へ	3件	告知書	85件	自己試験	4件	交際資金
	指導事業へ	3件	他機関紹介	4件	協会へ	0件	センターへ	0件	その他
									5件
									19件

図4 相談・指導統計結果出力例

3-2 図書の管理

図書を購入する際、図書の重複発注をなくし、効率的な発注と受入れを行う必要がある。当所では、図5に示すようなシステムを作成し、事務処理を効率化している。また、蔵書をコンピュータで管理することにより、任意のキーワードで図書の検索を行うことができる(図6)。

3-3 その他

図1に示したように、前年度までに作成したシステムについても、必要な部分は見直しを行っている。その一例として、従来、手書きで行っていた領収書の発行を、平成元年4月以降コンピュータによる自動発行に切り換え、財務会計のオンライン入力用のデータも作成することになっている。図7は、設備使用の受け付け時における領収書の自動発行の例である。

4. むすび

本年度までのシステム開発により、当所の利用のされ方に関する基本的なデータを、得ることができるようになった。今後の課題としては、技術指導事業の管理システムや技術情報等の蓄積・検索システムがあり、平成元年度以降開発していく予定である。

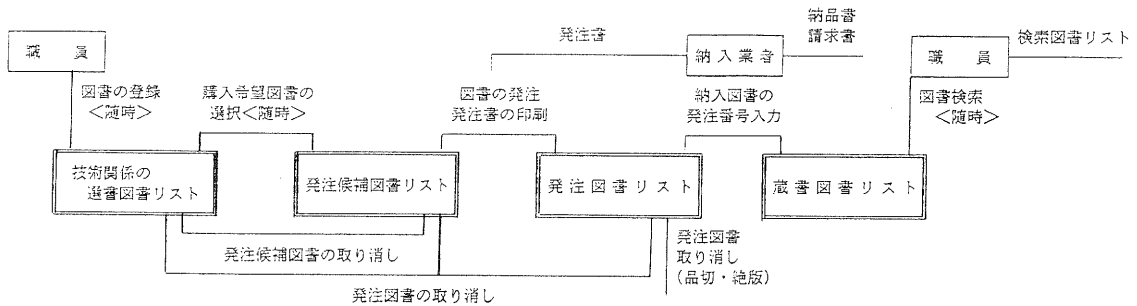


図5 図書システムの流れ図

図書データの部分文字列検索 (青色の部分がキーです。)

該当表名 = >>>> [4] 1: 送書図書 2: 発行候補図書
3: 発行図書 4: 図書台帳

DBTNO [95289]

書名 カナ [キンゾクテイリヨ]

漢字 [金属材料の疲労 ミクロとマクロの結びつき]

シリーズ名 _____

各巻書名 _____

巻名巻次 _____

著者名 カナ [ニホキンゾクガク]

漢字 [日本金属学会]

出版社 カナ [ニホキン]

漢字 [日本金属学会]

価格 [0001000] NDC 531 出版年月 0000

ISBN _____ NPL 0000000 蔵書番号 [360465]

PF1: 第一候補 PF3: 終了 PF4: 印刷 PF5: 次候補 PF9: 初期化

図6 検索画面例

滋賀県 領収書

平成 1 年度	会計 一般	番号 00000
納入義務者		25 321 028
栗太郡栗東町		TEL. 0775-58-1500
上砥山232		
滋賀県株式会社栗東支店		殿
金額	1,750 円	
内 容		
J03 表面粗さ測定機	2 時間	
B03 表面電位計	1 時間	
—以下余白—		
(金額には消費税が含まれています)		
上記の金額を領収しました。		平成1年4月1日
滋賀県工業技術センター		
出納員 平 中 猛 (印)		
(現金取扱員 (印))		
執行機関	滋賀県工業技術センター	

図7 領収書印刷例

工業技術センター研究報告

第 3 号

平成元年 10 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
0775 (58) 1500

印 刷 株式会社日興商会 滋賀支店
滋賀県栗太郡栗東町安養寺 8-7-13