

ISSN 0914-3750
CODEN:RIRPE5

REPORTS
OF
THE
INDUSTRIAL
RESEARCH
CENTER
OF
SHIGA
PREFECTURE

1989 研究報告

滋賀県工業技術センター

目 次

研究報告

1. カラー画像処理を用いたプリント基盤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 － ロボットのリモートコントロールについて － 川崎 雅生	11
3. コンピュータシミュレーションの電気機器設計への応用研究（第二報） － 磁界解析の高速化手法と磁束分布測定実験 － 井上 嘉明、川崎 雅生、木村 昌彦、月瀬 寛二、饗場 徹、北村 慎悟	17
4. プラスチック材料の切削に関する研究（第一報） － アクリル樹脂における切削条件と表面粗さの関係についての実験的考察 深尾 典久、河村安太郎、月瀬 寛二	28
5. 立体構造物形状のコンピュータへの入力手法の研究（第一報） － 2次元に近い形状の入力手法について － 月瀬 寛二、深尾 典久	36
6. 光計測によるプラスチック製品の欠陥検査法の研究（第一報） － 半透明プラスチック製品の空洞欠陥検出方法について － 河村安太郎、深尾 典久	43
7. 電子機器の電磁環境評価法の研究（第一報） － 電子機器のノイズ耐性評価の実験 － 木村 昌彦	51
8. 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（第三報） － 超音波探傷記録装置の欠陥検出性能の実験 － 井上 栄	60
9. 新樹脂をもちいた繊維強化複合材料の物性に関する研究 － 熱可塑性ポリイミドプリプレグについて － 那須 喜一、中村 吉紀	66
10. 炭素繊維強化高分子複合材料に関する研究（第三報） － PAN系炭素繊維・アルミナ繊維の1方向ハイブリッドFRPの3点曲げ破壊挙動 － 山中 仁敏	73
11. ダイヤモンドと金属の接合 － ダイヤモンドとろう材間の接合層について － 中村 吉紀、今西 康博、上田 章	80
12. セラミック溶射被膜における耐熱衝撃性の向上について（第三報） 西内 廣志、今西 康博	91
13. 低塩漬物の保存性向上と成分分析へのバイオセンサー利用について 矢田 稔	98
14. 高圧を利用した創造的新食品の開発に関する研究（第一報） － 大豆と漬物に対する高圧効果の検討 － 松本 正	107
15. デザイン手法の高度化に関する研究（第二報） － 新製品開発における2次元手法の応用に関する研究 － 野上 雅彦	117

技術開発ノート

○各種事業管理システムの開発 川崎 雅生、木村 昌彦、月瀬 寛二、櫻井 淳 深尾 典久、井上 栄、那須 喜一	122
--	-----

研 究 報 告

カラー画像処理を用いたプリント基板検査の自動化に関する研究

技術第一科 櫻 井 淳

あらまし：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についての研究を昭和60年度から平成元年度の4年間行った。

良品基板の部品情報の教示が容易に行え、その情報に基づいて、被検査基板における部品の未挿入、誤挿入等の検査を一連に行える自動検査システムの開発を試みた。

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、立ち遅れているのが現状である。この作業は、他に比べ、非常に高度な判断を要し、かつ、その判断は、品質管理上、厳しい正確さを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。

しかし、現在のように、製品が複雑、高度化し、生産速度が高まってきている現状では、検査工程においても、人間の目視による検査では対応できなくなっている。また、作業環境の面からも、人間に与える生理的、精神的負担は大きく、現実には、視力低下の問題や精神的ストレス増加の問題などを引き起こしている。

そこで、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について検討することにした。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、カメラのズームング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方法、プリント基板画像上の部品の領域抽出とIC部品の実装方向の判別法などについて検討し、さらに、それらの処理を用いて、自動検査のための部品の基準情報の登録および検査の行えるシステムの開発を行った。

2. 画像入力装置の構成

本研究に使用した画像入力装置の構成図を図2-1に示す。

2-1 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いる。カラーカメラより入力されるRGBのデータは、それぞれ512×512画素、8ビットのデータとしてメモリに格納される。

2-2 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。カメラのズーム機構は、DCモーターで駆動しており、絞りは自動、ピント調節は手動調整となっている。今回、このカメラを、プリント基板の上部約40cmに設置した。

照明装置は、プリント基板の斜めの上（垂直軸に対して約30°）4方向から4灯で照射している。

2-3 カラーTVモニタ

カラーTVモニタは、三菱電機（製）C-3419を用い、入力画像の確認用、あるいは画像データの演算処理用のモニタとして使用している。

2-4 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、装置に付属のアセンブラーサブルーチンを使用している。

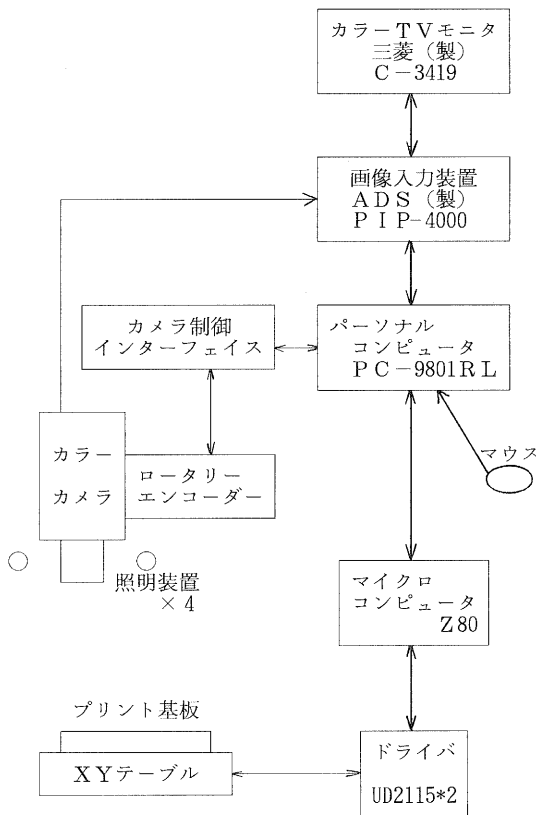


図2-1 画像入力装置構成図

3. カメラのズーム制御装置の試作⁶⁾

カメラのズーム機構は、カメラ部の手動スイッチにより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、最大15倍まで行うことが出来る構造になっている。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

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: 32Kバイト
データメモリ: 16Kバイト
AD/D A変換器: 8ビット
画像メモリ: 512V×512H×8ビット×24フレーム
- (2) カラーカメラ (池上(製) ITC-350M)
走査方式: 2:1インターレース、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)ズーム比: 1.5×
照明装置 (株)エス.エフ.シー、コピーライトマスター)
ライト: 250W 4灯
- (3) カラーTVモニタ (三菱(製) C-3419)
水平周波数: 15.5~24KHz
垂直周波数: 40~70Hz
- (4) パーソナルコンピュータ (NEC(製) PC-9801RL)
CPU: 80386
クロック: 20MHz
言語: C、アセンブラー

コーダーを取り付け、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。

3-1 ズーム機構の回転位置読み取り装置

エンコーダーの選定には、回転位置が絶対値で読み取れるアブソリュートタイプのものを使用した。また、最大約90°のズームレンズ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、レンズの側面に、歯数50と歯数80の歯車を取り付けた。図3-1に、制御用インターフェイス回路の構成を示し、写真3-1に、ズーム機構の回転読み取り装置を示す。

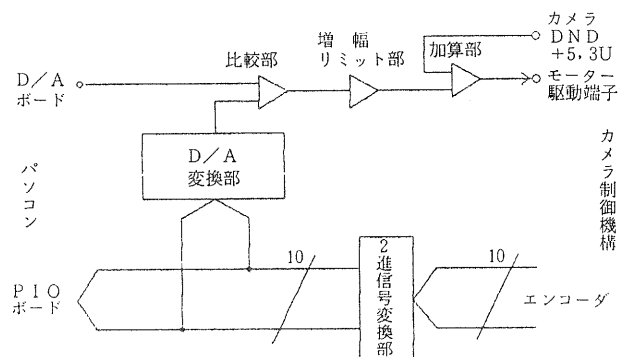


図3-1 ズーム機構制御用インターフェイス回路の構成

写真3-1 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

エンコーダーから出力される10ビットのグレイ2進信号は、2進信号変換部で純2進に変換され、12ビットのD/A換器の上位10ビットに入力されアナログ変換される。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、増幅部で約27倍に増幅され、その後、最大±10Vでリミットされる。これは、小さな駆動信号電圧でも、正しくかつ高速にモーターを指令位置まで回転させるためである。次に、加算アンプにより、カメラ系のGNDと外部のGNDとの信号補正を行い、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。

4. 試料テーブル制御装置の試作⁶⁾

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、パソコンのマウス指令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ている。また、テーブルの駆動用モーターには、パルス数により容易に移動量を指示できるステッピングモーターを使用している。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。図4-1に、構成図を示し、表4-1にその仕様を示す。

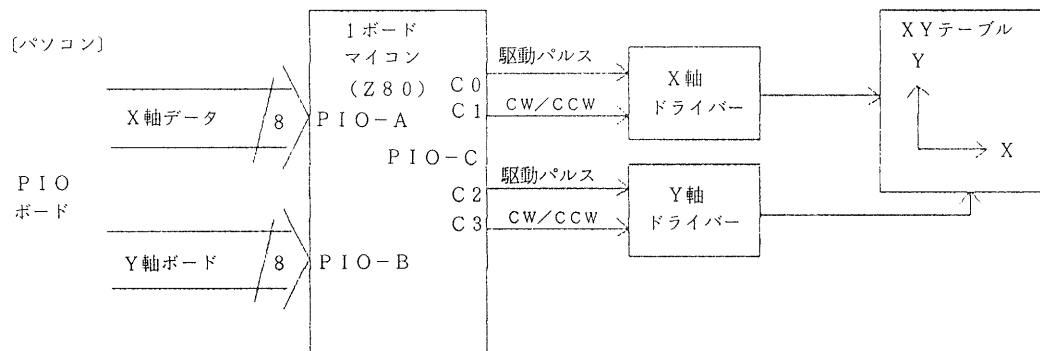


図4-1 テーブル制御装置構成図

表4-1 テーブル制御装置仕様

- (1) CPUボード

CPU : Z80A (4MHz)	ROM : 2764×1
RAM : 6116×1	PPI : 8255×1
- (2) ドライバー (UD2215、オリエンタル製) × 2

駆動方式 : ユニポーラ定電流方式 駆動容量 : トータル1～3A
 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
 送りネジ : ボールネジ リード4mm ストローク : 200mm
 ドライバー (オリエンタル製、UD2115)
- (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 テーブル制御プログラム

マウスよりX軸、Y軸の移動指令位置を与えると、テーブル制御用マイコンは、テーブルの現在位置と指令位置を比較して、移動方向および移動量を計算し、その移動パルス量をモーター駆動用ドライバーに送りテーブルを制御する。テーブルの制御は、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。

5. 画像抽出処理

次に、カラー画像を用いたプリント基板画像上の各部品の抽出処理方法について述べる。

5-1 画素の抽出条件⁽⁴⁾

プリント基板画像から各部品のエリアの画素を抽出するには、次にあげる特徴量を使用

している。まず、照明環境の変動にあまり影響を受けず、色の特徴を表せる変数として、R, G, Bの配合比より求めたrgb色度座標値を用いている。また、R, G, Bの配合比では識別が困難な同一系統の濃淡色を識別するため、R, G, Bの平均強度も特徴量として使用している。

$$\begin{aligned} \text{r g b色度座標値} \quad r &= R / (R + G + B) \cdots \cdots (5-1) \\ &g = G / (R + G + B) \cdots \cdots (5-2) \\ &b = B / (R + G + B) \cdots \cdots (5-3) \\ \text{R G B平均強度} \quad D &= (R + G + B) / 3 \cdots \cdots (5-4) \end{aligned}$$

R, G, B: 各画素のRGBデータ値

そして、抽出する部品の色データを使って、事前に求めた色度座標値 r, g と平均強度 D を用い、部品を抽出するエリア内の画素データの中から、次の3つの条件を同時に満たす画素を抽出する。

$$\text{抽出条件} \quad |r_{ij} - r| \leq \varepsilon_1 \cdots \cdots (5-5)$$

$$|g_{ij} - g| \leq \varepsilon_1 \cdots \cdots (5-6)$$

$$|D_{ij} - D| \leq \varepsilon_2 \cdots \cdots (5-7)$$

r, g : 教示色データのrgb色度座標値

D : 教示色データのRGB平均強度

r_{ij}, g_{ij} : 抽出エリア内画素データのrgb色度座標値

D_{ij} : 抽出エリア内画素データのRGB平均強度

ε₁, ε₂ : 抽出許容範囲係数

5-2 部品領域の抽出⁽⁴⁾

部品領域の抽出方法は、まず、150×150mmのプリント基板の画像を、512×512画素の色データとして画像入力装置に取り込む。次に、抽出する部品の教示色データを用いて求めた色度座標値、および、平均強度を用い、モニター上に映し出された部品が複数個存在するウィンドウの中から、(5-5)式から(5-7)式で述べた抽出条件に基づき部品領域の画素を抽出する。

5-3 十字形フィルタによる雑音抑制⁽⁴⁾

ICの形状を抽出するための前提条件として、基板は、縦方向横方向にずれ無く置かれており、IC部品は、長方形の形状で、基板上に縦方向あるいは横方向に配置されていると仮定しても一般性を失わない。この条件を利用して、縦方向および横方向の直線性の保持に優れ、かつ雑音抑制効果のある図5-1の様な十字形フィルタを雑音制御に用いている。このフィルタ内に半分以上の抽出ポイントがあれば、そのフィルタの中心点にポイントがあると判断する。

5-4 ICの形状復元⁽⁴⁾

雑音抑制を行った画像について、IC形状の復元処理を行うアルゴリズムは次の様である。まず、領域の固まりを見つけるため、画像上を左上より順次操作する。領域の固まりが見つかれば、図5-2に示す方法により領域サイズの算出を行う。領域サイズが、一定以上であ

れば、その領域はIC領域であると判断し形状復元を行う。もし、そうでなければ削除する。

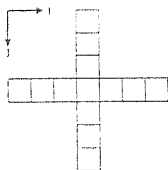


図5-1 十字形フィルタ

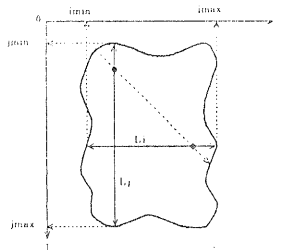
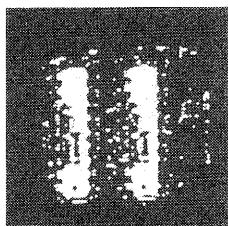
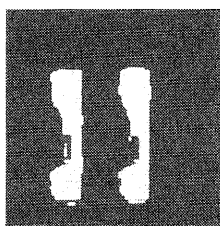


図5-2 領域サイズの算出方法

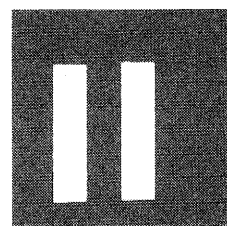
写真5-1と写真5-2に、カラーデータおよび濃淡データを用いた場合の処理過程を示す。画素抽出画像で、IC部分の大きく脱落しているところは、ICの品名を示す白い文字の部分である。両者の比較から、カラーデータを用いると、濃淡データを用いる場合より画素抽出が容易になることが分かる。



画素抽出画像

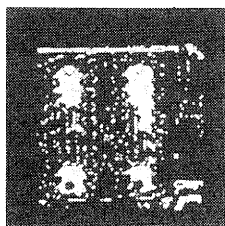


フィルタ処理画像

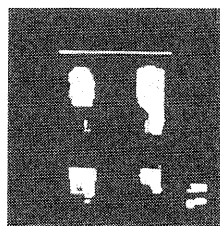


形状復元画像

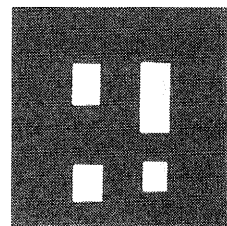
写真5-1 カラーデータを用いた場合のIC領域抽出の過程



画素抽出画像



フィルタ処理画像

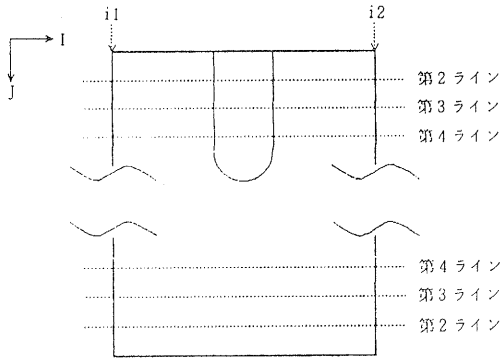


形状復元画像

写真5-2 濃淡データを用いた場合のIC領域抽出の過程

5-5 IC部品の方向判別⁵⁾

IC部品の方向の判別は、部品の両端付近のデータを微分し、キー溝の有無を検出することにより行う。図5-3に示す様に、(5-8)式に従いICの両端から短辺方向にデータを微分し、その値を(5-9)式に従い加算する。微分を行う領域は、端から第2、第3、および第4ラインとし、また、各ラインの両端部分の微分値は加算しない。そして、加算結果が大きい側にキー溝があると判断する。図5-4は、各ラインにおける微分値の一例であり、キー溝の存在する側の方が微分値の変動が大きいことが明らかである。写真5-3は、方向判別をおこなった画像である。また、表5-1に、14ピン、16ピン、20ピンのICで行った方向判別結果を示す。



$$Z_{i,j} = | (R_{i+1,j} - R_{i-1,j}) | + | (G_{i+1,j} - G_{i-1,j}) | + | (B_{i+1,j} - B_{i-1,j}) | \dots (5-8)$$

$$S = \sum_{j=2}^4 \sum_{i=1}^{i2} Z_{i,j} \dots (5-9)$$

図 5-3 微分をとるライン

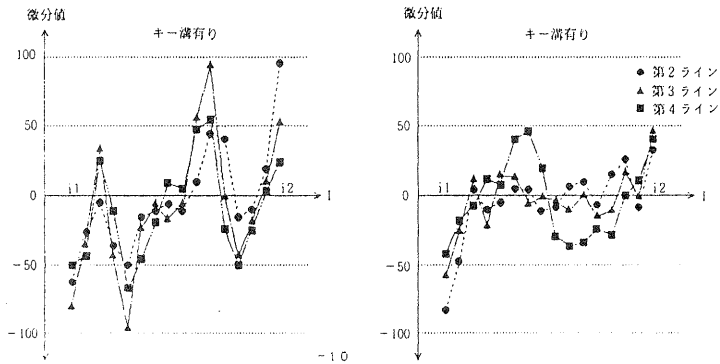


図 5-4 微分値の一例

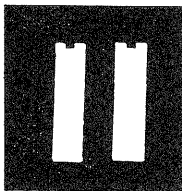


写真 5-3 方向判別画像

表 5-1 方向判別結果

14ピン	16ピン	20ピン
94.4%	100%	100%

5-6 抵抗のカラーコードの抽出⁹⁾

抵抗については、カラーコード部以外の色を教示し、この色の画素を抽出し、その画像からカラーコード領域と色を決定する。写真 5-4 は、抵抗の抽出画像であり、写真 5-5 は、抵抗のカラーコード部分の画像を示している。数値は抽出したカラーコードの色情報の例である。

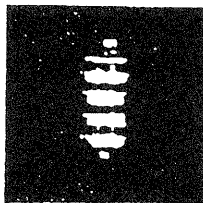


写真 5-4 抵抗の抽出画像

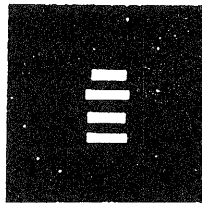


写真 5-5 カラーコードの抽出画像

	R	G	B
金	149	86	76
赤	189	35	58
黒	83	33	46
茶	155	46	54

6. 良品基板のティーチング方法⁶⁾

正しく作られたプリント基板について部品情報の抽出処理を行い得られた情報を後の検査での基準情報として登録する。図6-1にそのティーチング手順を示す。

まず、IC、コンデンサ、抵抗の選択を行い、マウスで指示した部品がTVカメラ視野の中央に来るよう、ズーム機能を使ってそれぞれ1倍、2倍、8倍に拡大する。

更に、マウス操作により、抽出すべき部品の色をカーソルで教示する。次に、部品が存在するエリアを指示し、その中から教示色と同じ色を持つ画素を抽出する。次に、この画像を基にし、部品の座標位置と形状と方向を調べる。抵抗については、カラーコード部以外の色を教示し、カラーコード領域と色を決定する。

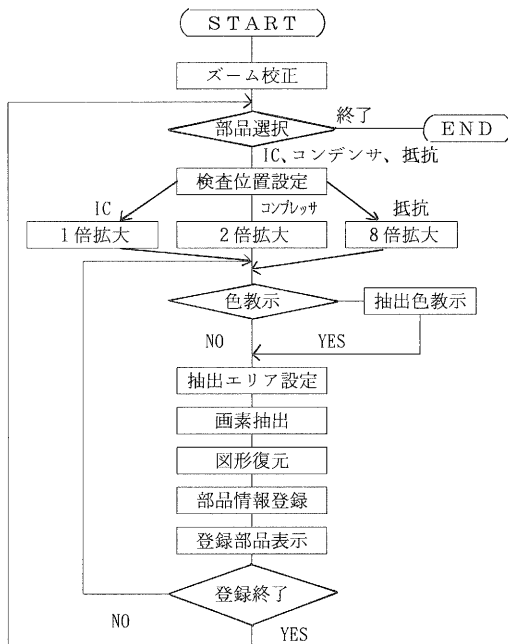


図6-1 良品基板のティーチング手順

この処理をプリント基板上の全てのIC、コンデンサ、抵抗について行い、得られた各部品の位置形状、方向、色に関する情報を整理して登録し、検査時の基準データとする。

7. 自動検査システム

検査は、教示した良品基板の部品情報に基づきカメラのズームおよび試料テーブルを制御しながら自動で行い、検査エラーが発生した時には、モニタに表示するようにする。

7-1 検査手順の作成

ティーチングにより作成した検査情報は無作為に並んでおり、この順に検査を行うと、テーブル移動時間等に無駄が生じる。そこで検査順序は、部品位置情報に基づきテーブルの移動距離が短くなるように決定する。

7-2 実験結果および考察

表7-1は、テスト用基板を用いて自動検査システムの評価を行った結果である。表の中の数値は、(正解判定個数/検査個数)の平均値を示す。

表 7-1 各検査項目別結果

	I C				コンデンサ		抵抗
	14ピン	16ピン	20ピン	24ピン	青	茶	
未挿入検査	7 / 7	13 / 13	5 / 5	1 / 1	16 / 16	3 / 3	7 / 7
誤挿入検査	7 / 7	13 / 13	5 / 5	1 / 1	15 / 16	3 / 3	2 / 7
方向判別検査	3 / 7	12 / 13	4 / 5	1 / 1	-	-	-

(1) IC 部品の検査結果

- ・ 14、16、20、24ピンの各 IC 部品について評価を行った結果、部品の未挿入、および、誤挿入（ピン数の誤り部品の挿入）については、ほぼ完全に検査を行うことが出来た。
- ・ 方向判別については、部品の混み入った部分で影の影響などにより判別誤りを起こす場合があった。

(2) コンデンサの検査結果

- ・ 部品の未挿入については、完全に検査が行えた。
- ・ 誤挿入検査については、テーブル移動と拡大精度の問題により判定ミスを生じることがあった。

(3) 抵抗の検査結果

- ・ 未挿入の検査については可能であったが、誤挿入の検査については、コンデンサの場合と同様の位置決めと拡大精度の問題、および、類似したカラーコードの色の判別基準の問題などについて、今後、更に検討する必要がある。

8. 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、各部品を認識する方法と、検査に用いる良品基板の部品情報の登録を行い、登録された情報を用いて自動検査を行うシステムについて述べた。それらについてまとめると、次の通りである。

- (1) カラー画像を用いることは、プリント基板上の部品検査の場合のように、色情報が類似している画像の識別には非常に有効であった。
- (2) IC 部品等が存在する画像の雑音抑制には、十字形フィルタが有効であった。
- (3) IC 部品の両端部のデータの微分値を用いて、キー溝の有無を検出することにより、方向の判別が出来た。
- (4) カメラのズームングおよび試料テーブルを制御することにより照明の影響を少なくし、任意の位置の部品情報を詳細に取り込むことが出来た。
- (5) 未挿入部品の検査については、良品基板の部品情報を用いて、ほぼ完全に自動検査を行うことが出来た。

また、更に検討しなければならない問題点としては、次の点である。

- (1) ズームレンズ駆動装置に用いた歯車に多少遊びが有り、ズーミングの精度に多少誤差が生じた。
- (2) テーブルの移動位置を指示するデータの分解能が十分でなく、精度の高い位置決め制御が出来なかった。
- (3) 照明方法において、スポットの光源を用いた為、光のむら、被写体の光の反射等の影響が多少出た。

このシステムは、プリント基板の部品の未挿入、誤挿入等の検査を行うものであったが、今後は、文字検査を取り上げ、部品上の文字等の詳細情報を読み取ることにより、より高度に部品検査を行える方法について検討して行く予定である。

謝辞 本研究についてご指導いただいた渡部透研究参与（立命館大学理工学部教授）と井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）に感謝します。

〔参考文献〕

- (1) 池田光男：色彩光学の基礎 朝倉書店
- (2) 長尾 真：画像認識論 コロナ社
- (3) 角田秀夫：オペアンプの基本と応用 東京電機大学出版局
- (4) 櫻井：昭和61年度滋賀県工業技術センター業務報告、135-149
- (5) 櫻井：昭和62年度滋賀県工業技術センター研究報告、1-6
- (6) 櫻井：昭和63年度滋賀県工業技術センター研究報告、1-6
- (7) 櫻井他：第1回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集、71-72（1987）
- (8) 櫻井他：第32回システムと制御研究発表講演会論文集、301-302（1988）
- (9) 櫻井他：第2回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集、73-74（1989）

ロボットシミュレータの研究開発

—ロボットのリモートコントロールについて—

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安全化、効率化をはかるためには、オフラインティーチングシステムが有効と思われる。そこで、インタープリンター方式でロボット用プログラムを入力し、干渉チェックや立体視表示等の各種機能によりロボット動作をシミュレーションし、実ロボットをオンラインで制御できるロボットシミュレータを研究開発した。今回は、今年度開発したオンライン制御の部分を中心に、ロボットシミュレータ全体についての概要を報告する。

1. まえがき

最近のロボットは、高級言語でも制御可能になってきたので、動作教示のプログラム作成も容易となってきた。しかし、多品種少量生産に対応するためには、効率的なプログラム作成と効率的な作業切替が、要求されるようになってきている。このためには、オフラインでのプログラム作成とオンラインによるプログラム送信が、重要となってくる。

また、ロボットプログラムを知らない初心者多数に、ロボットプログラムを教える場合、限られたロボット実機を使って、安全に、効率良く行う必要がある。このためには、シミュレーションシステムが、有効と考えられる。

そこで、動作教示が容易で、教示したプログラムの確認が容易にでき、ロボットをリモートコントロールできるシミュレータを研究開発することにした。なお、ロボットとしては、当所に設置されているスカラロボット(PanaRobo HZ)を、また、シミュレーションを行うコンピュータとしては、普及の度合、価格、性能および拡張面でパソコンを対象にした。

2. システム構成

2-1 ハードウェア

図1にシステムのハードウェア構成を示す。PC98シリーズ（メモリー640KB＋RAM 1MB必要）とマウスがあれば、シミュレーション可能であるが、シミュレーションを立体的に見るためには、外付けのハードウェアドライバーと、立体視用メガネが必要となる^①。ロボットとのインターフェースについては、RS-232Cで接続できるので、クロスタイプのケーブルがあれば、ロボットをリモートコントロールできる。

2-2 ソフトウェア構成

プログラム全体は、23個のサブルーチンとメインプログラムから構成されており、PC-FORTRANで約6000ステップとなっている。ただし、マウス入力や画面切り換え等のた

めに一部マクロアセンブラーを使用している（約300ステップ）。

シミュレーションに必要なロボットモデルや障害物モデルは、シミュレーションプログラムとは別に、DOSのテキストファイルの形式で格納しているの、市販のエディタを使って作成したり更新したりすることができる。

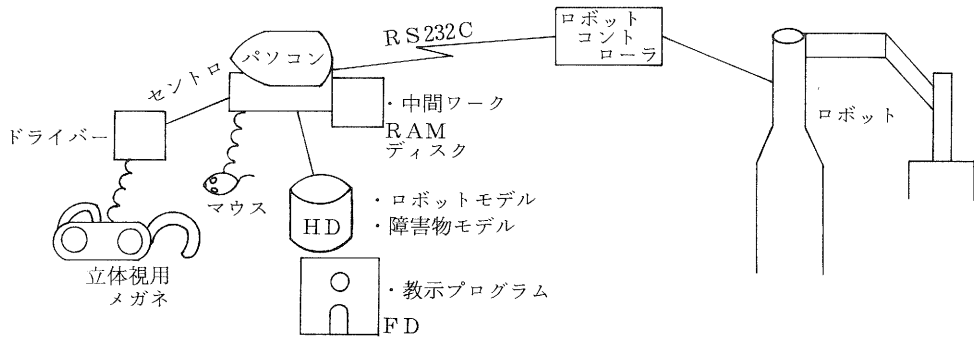


図-1 システムのハードウェア構成

3. 機能概要

3-1 ロボット用プログラムの入力

当所に設置されているロボットは、BASIC言語に似たPARL-Iがサポートされている。ロボットは、PARL-Iで記述されたステートメントとポイントをもとに動作することができる。本ロボットシミュレータでは、このプログラムをパソコンのキーボードより直接入力できるようにしている。

主な特長としては、

- ・1ステートメント入力する毎に、構文チェックと動作シミュレーションができる。
- ・ロボットが動作するのに必要となるポイントが、図示できる。
- ・ステートメントやポイントを任意のファイルに対して入出力できる。

等がある⁽¹⁾。これらの機能を使うことにより、過去に作成したプログラムを一部手直しして、新規のプログラムを作ることが容易となり、作成途中のプログラムをそのまま保存して後日完成させることが可能となる。

3-2 ロボットの動作シミュレーション

ロボット用プログラムを作成したことのない人や、経験の少ない人でも容易にプログラミングできるようにするため、機能選択はマウスで行うようにし、入力したプログラムを確認するための各種機能をもたせた。

主な機能としては、

- ・任意の視点から任意の大きさに動作シミュレーションを表示する機能
- ・表示手法として、マルチ表示、立体視表示やアニメーション表示する機能
- ・ロボットを、全体的な表示のほか手先のみや軌跡だけで表示する機能

- ・ロボット各軸の時間的な変化量を図示する機能
- ・ロボットと障害物との高速干渉チェック機能

等がある。これらの機能を使えば、ロボットを実際に動作させなくてもロボットの全体的な動きを把握することができるし、作業空間に存在するロボット以外の物体との不必要な接触も未然に防ぐことができる⁽¹⁾⁽²⁾。

3-3 ロボットのリモートコントロール

当所に設置されているロボットは、図1に示したロボットコントローラ(Panadac361)により、上位コンピュータと接続してリモートコントロールすることができる。この機能を利用して、本ロボットシミュレータでは、シミュレーション済みのロボット用プログラムを送信ことにより、ロボットを遠隔から操作できるようにした。以下にその概要を示す。

(1) 通信インターフェイス⁽³⁾

ロボットのリモートコントロールについては、BASIC手順に基づく通信プロトコルが規定されており、上位コンピュータとロボットコントローラとの間で行われる。その主な基本仕様を、表1に示す。表中のLRCは、水平パリティの意味であり、パソコンの通信機能の中で垂直パリティは自動で付加する機能が有るが、LACを付加する機能は無いので、サブルーチンで付加している。

表1 通信諸元

項目	内容
適用回線	RS-232C
伝送速度	9600bps
通信方式	半二重
同期方式	調歩同期(ストップ1ビット)
伝送コード	アスキー7ビット +垂直パリティ1ビット(偶数)
誤り制御	LRC(偶数パリティ)
伝送制御コード	ENQ、ACK、NAK、STX、 ETX、ETB、EOT

(2) プログラムの送信

図2に、ロボット用プログラムを送信する場合のコマンドの流れを示す。各コマンドの送受信は、ENQやACK/NAKにより相手の状態を監視しながら行っている。

本ロボットシミュレータでは、教示したプログラムの全体をシミュレーションすることや、特定のステートメントのみをシミュレーションすることができる。この機能に対応して、リモートでロボットをコントロールする場合も、プログラム全体を送信してロボットを動作させることや、プログラムの一部のみを送信して特定ステップのみを動作させることができる。

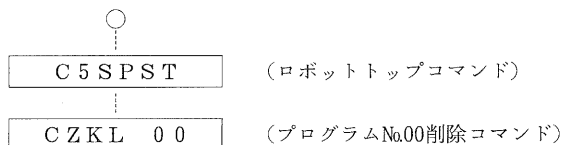




図2 コマンド送信フロー

4. リモートコントロールに関する実験結果

4-1 実験例

シミュレータ上で作成したステートメント (図3) とポイント (図4) により、ロボットが動作する様子をシミュレーション (軌跡表示) した例を、図5に示す。この図3の6行目 (P3の位置から円弧補間をしながら、P4の位置を通過して、P5に至る動作) を、ロボットに送信して、ロボットを実際に動作させた様子が図6である。

リモートコントロールによるロボットの動作は、シミュレーション結果とほぼ一致したが、直線補間や円弧を描く動作については、ロボットの他の動作に比べて10倍程度の時間がかかるため、シミュレーションによる時間分析結果とは、一致しなかった。従って、これらの動作に対する時間分析については、補正しなおす必要がある。

行番号	N/L	プログラム
1	MOUE	L P1
2	MOUE	P7
3	MOUE	P1
4	MOUE	P2
5	MOUE	P3
6	MOUE	A P4 P5
7	MOUE	P6
8	MOUE	P8
...		
...		
...		
...		
...		
...		
...		
...		

行番号 プログラム (END:更新終了)
 N:前進, P:後退, nnnn: nnnn番表示, nnnnD-nnnn番削除

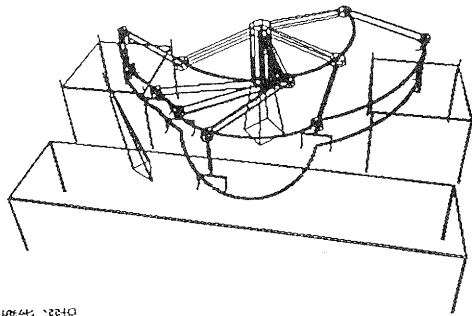
図3 ステートメントの例

点番号	X	Y	Z	J3	R/L
1	100.0	-600.0	200.0	90.0	LEFT
2	500.0	-300.0	200.0	0.0	LEFT
3	600.0	-100.0	200.0	0.0	LEFT
4	700.0	-50.0	50.0	0.0	LEFT
5	600.0	300.0	100.0	0.0	LEFT
6	0.0	700.0	200.0	0.0	LEFT
7	100.0	-600.0	35.0	0.0	LEFT
8	0.0	700.0	45.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT
...	0.0	0.0	0.0	0.0	LEFT

実行
 時間的変化
 軌跡表示
 立体表示
 視点変更
 拡大縮小
 補間設定
 表示選択
 拡大縮小
 座標系選択
 軌跡表示
 軌跡入力
 保存
 軌跡消去
 軌跡消去
 終了

N/L: 点番号 座標 (L: R/L (右手系), L: 左手系), (END: 終了)
 N: 前進, P: 後退, nnnn: nnnn番表示, nnnnD-nnnn番削除

図4 ポイントの定義例



機能 選択

図5 シミュレーションの例

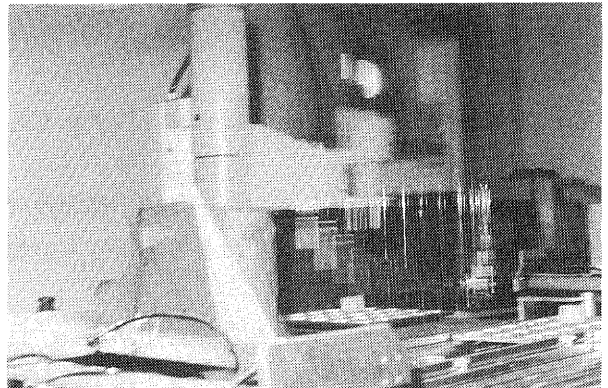


図6 ロボットの動作例

4-2 安定性

リモートコントロールに関する安定性の面では、ロボットやパソコンが設置されている場所は、比較的ノイズの発生しやすい環境であるが、回線トレーサで確認する限り、実験中にプログラムの送信エラーが、発生することは無かった（シミュレータには、エラーが発生した場合、再送する機能は用意している）。しかし、ロボットには、現在保持しているプログラムを上位コンピュータに送信する機能が有るので、ノイズの影響が大きいところでは、コンピュータから送信したプログラムを、再度ロボットの側から送信することにより確認することが、事故防止につながると思われる。

5. むすび

昭和61年度より開始した研究であり、平成元年度までの4年で当所予定したおよその目的は、達成できたと思われる。ただし、汎用性のある実用的なロボットシミュレータとするためには、

- (1) CADとの連携による、ロボットや障害物の三次元情報入力効率化
- (2) 汎用性のあるロボット言語と通信インターフェースの確立

等の課題が残されている。

謝辞 本研究についてご指導いただ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) 川崎：昭和62年度滋賀県工業技術センター研究報告
- (2) 川崎：昭和63年度滋賀県工業技術センター研究報告
- (3) 松下電器産業(株)精機事業部：データ伝送マニュアル
- (4) Richard P Paul原著、吉川恒夫訳：“ロボット・コンピュータ”、コロナ社（昭61-7）

- (5) 井上ほか：“動作シミュレータ付ロボット言語システム”、神戸製鋼技報、Vol.37、No. 2
(1987)
- (6) 清水ほか：“パーソナルコンピュータをもちいたロボットオンライン教示システム”、
同上
- (7) 重松ほか：“3-D形状モデル間干渉問題の解決法”、精密機械Vol.49、No.11 (1983)
- (8) 水垣ほか：“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Vol.50、No. 6
(1984)
- (9) 尾崎：“マニピュレータの障害物回避”、日本ロボット学会誌、Vol. 2、No. 6 (1984)
- (10) 小沢ほか：“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、Vol. 4、No. 2 (1986)
- (11) 川崎ほか：“立体視を利用したオフラインティーチング用ロボットシミュレータ” 第33
回システム制御情報学会研究発表講演会、I S C I E' 89-5
- (12) 川崎ほか：“オフラインティーチング用ロボットシミュレータにおける立体視表示、3
D映像、Vol. 3、No. 3 (1989-6)

コンピュータシミュレーションの 電気機器設計への応用研究（第二報）

—磁界解析の高速化手法と磁束分布測定実験—

技術第一科 井上嘉明、川崎雅生
木村昌彦、月瀬寛二
草津電機㈱ 饗場徹、北村慎悟

あらまし：昨年度は第一段階としてステップバイステップ法による単相誘導電動機の磁界解析プログラムを作成したが、パソコンを使って計算時間が198時間もかかり実用的なレベルではなかった。そこで、ソフト面とハード面から高速化を試みたところ、計算時間が3時間に短縮され、66倍の高速化が達成できた。本報告の前半で、高速化手法と計算時間などについて説明する。

また、単相誘導電動機について、回転子の偏心が雑音や振動を増加させることは知られているが、その根本原因を考える上で重要な「回転子が偏心しているときのエアギャップ磁束分布」が実験に基づいて定量的に示された例は見当たらない。そこで、ギャップ間隔が可変できる実験機を試作して、回転子偏心時のエアギャップ磁束の空間分布を実測した。本報告の後半で、その結果を説明する。

1. まえがき

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、有限要素法による単相誘導電動機の磁界解析を、昭和63年度より試みている⁽¹⁾。

昨年は第一段階としてステップバイステップ法による磁界解析プログラムを作成したが、パソコンを使って計算時間が198時間もかかり実用的なレベルではなかった。そこで、改良された計算アルゴリズム「時間周期有限要素法⁽²⁾⁽³⁾」の適用によるソフト面からの高速化と、トランスペュータを搭載した高速演算ボード⁽⁴⁾の適用によるハード面からの高速化を試みたところ、計算時間が3時間に短縮され、66倍の高速化が達成できた。3時間くらいの計算時間で済むなら、コンピュータシミュレーションによる磁界解析を電動機的设计作業の中に十分組み込めるものと考えられる。さらに、電気機器に対する有限要素法の改良アルゴリズムである「端子電圧を与える有限要素法⁽⁵⁾」を適用して、電動機の電気特性をシミュレーションにより求めた結果も本報告の前半で説明する。

また、家電製品に大量に使用される単相誘導電動機について、回転子の偏心が騒音や振動を増加させることは知られているが⁽⁶⁾、その根本原因を考える上で重要な「回転子が偏心しているときのエアギャップ磁束分布」が実験に基づいて定量的に示された例は見当たらない。

そこで今回、ギャップ間隔が可変でき、固定子全歯にさぐりコイルを巻いた実験機を試作して、回転子偏心時のエアギャップ磁束空間分布を実測した。本報告の後半で、その結果を説明する。

2. 磁界解析の高速化手法の適用とその効果

2-1 時間周期有限要素法⁽²⁾⁽³⁾の適用による高速化

前報⁽¹⁾のステップバイステップ法では、ある時刻におけるポテンシャル A の値が収束するまで非線形反復計算を行い、次の時間ステップでは、この値から時間微分項を計算し、再び非線形反復計算を A が収束するまでやる。このように、時間を追って順次計算を進めて行く方法であった。

過渡解を求めるなら、この方法で必要な時刻まで順次計算をしていけばよいが、定常解を求める場合には電源の何周期分かこの反復計算を繰り返した後、一周期前の値とほぼ同じ値が得られると定常状態に収束したと判定するので、この場合の計算回数は次式のようになる。
 (各ステップの非線形反復回数) × (1周期当りの時間ステップ数) × (定常になるまでの周期数)

これに対し、時間周期有限要素法⁽²⁾⁽³⁾は定常状態を短時間で求めることを目的とした改良アルゴリズムで、この場合の計算回数は次式で与えられる。

$$(1\text{周期当りの時間ステップ数}) \times (\text{非線形反復回数})$$

時間周期有限要素法を適用する計算アルゴリズムは次のようになる。すなわち、時間も含めてニュートンラフソン法による非線形計算式をつくると、ある時刻 t における修正方程式は单相誘導電動機の場合、(1)式で与えられる。

$$[C_2]\{U^{t-2\Delta t}\} + [C_1]\{U^{t-\Delta t}\} + [H^t]\{U^t\} = \{E^t\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$[C_2]$ 、 $[C_1]$ と $[H^t]$ は係数マトリックスで、とくに $[C_2]$ と $[C_1]$ は時間によらず定数になる。 $\{U\}$ は未知数の列ベクトルであり、 $\{E\}$ は既知の列ベクトルである。

この式の左辺の第一項と第二項を右边に移動し、時間周期全体について連立すれば、(2)式のようになる。

$$\begin{bmatrix} [H^t] & & & & & & 0 \\ & [H^{t+\Delta t}] & & & & & \\ & & [H^{t+2\Delta t}] & & & & \\ & & & \ddots & & & \\ & 0 & & & [H^{t+n\Delta t}] & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{U^t\} \\ \{U^{t+\Delta t}\} \\ \{U^{t+2\Delta t}\} \\ \vdots \\ \{U^{t+n\Delta t}\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{E^t\} - [C_1]\{U^{t-\Delta t}\} - [C_2]\{U^{t-(n-1)\Delta t}\} \\ \{E^{t+\Delta t}\} - [C_1]\{U^t\} - [C_2]\{U^{t+n\Delta t}\} \\ \{E^{t+2\Delta t}\} - [C_1]\{U^{t+\Delta t}\} - [C_2]\{U^t\} \\ \vdots \\ \{E^{t+n\Delta t}\} - [C_1]\{U^{t+(n-1)\Delta t}\} - [C_2]\{U^{t+(n-2)\Delta t}\} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2)$$

この式を上から順に解いて行けば非線形反復ステップ i における修正量ベクトル $\{U^t\}^{(i)}$ 、 $\{U^{t+\Delta t}\}^{(i)}$ 、 $\dots\dots\dots$ 、 $\{U^{t+n\Delta t}\}^{(i)}$ 、が求まる。なお、上2行には未知ベクトル $\{U^{(n)}\}^{(i)}$ 、 $\{U^{(n-1)}\}^{(i)}$ が含まれるので、これには1ステップ前の $\{U^{(n)}\}^{(i-1)}$ 、 $\{U^{(n-1)}\}^{(i-1)}$ で近似する。

以上の処理を修正量ベクトル $\{U^i\}$ 、……、 $\{U^{i+n\Delta t}\}$ が十分に小さくなるまで反復することにより、解が求まる。

このように、時間周期有限要素法では、時間を含めた多元連立方程式の求解とニュートンラフソン法による非線形反復計算を同時に進めるので、計算時間を大幅に短縮することができる。実際例における時間短縮効果は2-3節で述べる。

2-2 高速演算ボード（トランスピュータ）の適用による高速化

非線形動磁場解析は多大の計算時間を要するために、これまでは計算機環境に恵まれた人しか利用できないうらみがあった。しかし、現在では、例えばパソコンにトランスピュータボードを追加すれば、高速ワークステーションなみの計算速度が得られるので⁽⁴⁾、パソコンレベルでこの計算が可能になり、電気機器設計の強力な道具になりうる。

トランスピュータは英国のインモス社によって開発されたRISCタイプの32ビットのマイクロプロセッサである。このシリーズ中のT800は、浮動小数点演算ユニットを持っており、25MHzのクロックで12.5MIPS、1.87MFLOPSの性能がでる。倍精度のLINPACKプログラムでは、0.48MFLOPSとなる。このCPUをパソコンから使えるようにしたボードが数社から出ているが、今回は株コンカレントシステムのTRPM-002に増設RAMを追加し、メモリを5Mバイトにしたものを使用した。

トランスピュータを有効に利用するためには、言語はOCCAM（オッカム、パラレル処理が記述できる高級言語）を使うべきであるが、他のコンピュータ上で計算する際の互換性を考慮して、英国3L社のパラレルFORTRANを使用した。この言語はFORTRAN77規格を満たすとともに、パラレル処理が可能になっている。

トランスピュータは本来パラレル処理用に開発されたので、一般のCPUとは異なり、複数個接続すれば、ほぼ個数に比例した処理速度が得られる。またその接続はシリアルリンク線をつなぐだけで済む。今回のプログラムでは非線形計算にニュートンラフソン法を使い、それをバンドマトリックス法で解くようにしたもので、パラレル処理がしにくく、この機能を十分に発揮できなかったが、それでもパソコンに比べて驚異的な計算速度が得られた。

2-3 高速化の効果

前報⁽¹⁾と同じ単相誘導電動機をモデルにして、定常磁界が得られるまでに要する時間を比較する。

○時間周期有限要素法の適用の効果（ソフトによる高速化の効果）

〔前回〕各ステップの非線形反復回数……………平均20回

電源一周期当りの時間ステップ数……………17回

定常状態になるまでの周期数……………10回

∴非線形計算の総反復回数は、 $20 \times 17 \times 10 = 3400$ 回

〔今回〕電源一周期当りの時間ステップ数……………17回

定常状態までの非線形反復回数……………30回

∴非線形計算の総反復回数は、 $17 \times 30 = 510$ 回

よって約6.6倍の高速化

○トランスペュータ適用の効果（ハードによる高速化の効果）

非線形計算を行うためのバンドマトリックス法（ガウスの消去法と本質的に同じ）に要する時間で比較する（この時間が計算時間の大部分をしめる）。

〔前回〕 μ P80286+NDP80287、FORTRAN+アセンブラ

約210秒

〔今回〕 トランスペュータ、パラレルFORTRAN

約21秒

よって約10倍の高速化

従って総計算時間を比べると

〔前回〕 210秒×3400回=198時間

〔今回〕 21秒×510回= 3時間

となって、66倍の高速化が達成できた。3時間くらいの計算時間で済むなら、コンピュータシミュレーションによる磁界解析を電動機的设计作業の中に十分組み込めるものと考えられる。

3. 端子電圧を与える有限要素法⁵⁾の適用による単相誘導電動機の電気特性の解析

前報¹⁾と本報では、次の基礎方程式（うず電流を考慮した二次元直角座標系の磁界方程式）、

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial y} \right) + J_0 - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

を有限要素法で解いたものであるが、この際、強制電流密度 J_0 、すなわち固定子巻線に流れる電流を与えて(3)式を解いた。しかし、巻線電流は実機に電圧を与えて初めて測定できるものであり、設計段階でこれを知ることはできない。端子電圧を境界条件にし、巻線電流は未知数として(3)式が解ければ、便利である。

これを可能にする一つの方法が「端子電圧を与える有限要素法⁵⁾」であり、考え方は(3)式の対象領域外の例えば巻線端部などは電気回路で記述し、(3)式の磁気回路と連立させて解くようにするのである。すなわち図1のように、巻線端部の漏れインダクタンス L や抵抗 R_E は集中定数として与える。また、 C は補助巻線に直列に挿入するコンデンサを表す。 R_M はスロット内の巻線の抵抗を示す。 N を巻線数、 Φ を巻線鎖交磁束とすると、(4)式が成り立つ。

$$N \frac{d\Phi}{dt} + (R_E + R_M) I + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int I dt = E \quad \dots\dots\dots(4)$$

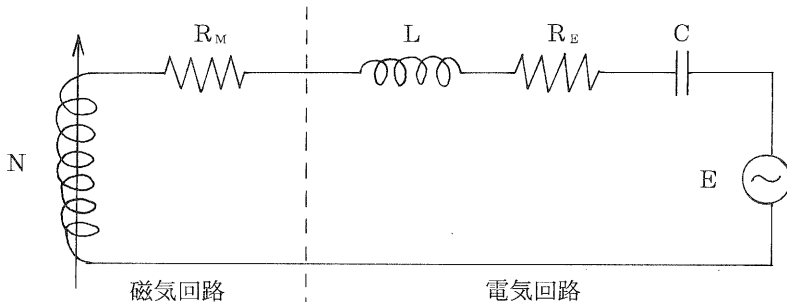


図1 磁気回路と電気回路の結合

二次元の場合、二点間を通る磁束Φはその二点間のベクトルポテンシャルの差で与えられるので、巻線鎖交磁束Φはポテンシャルの関数になる。

(3)式と(4)式を連立させ、非線形計算をするための修正方程式（前報¹⁰式に対応）を求めると(5)式のようになる。単相誘導電動機では主巻線と補助巻線があるので、電流の未知数はI_AとI_Mの二つになる。

$$\begin{pmatrix} \left\{ \frac{\partial G_i}{\partial G_j} \right\} & \left\{ \frac{\partial G_i}{\partial G_M} \right\} & \left\{ \frac{\partial G_i}{\partial I_A} \right\} \\ \left\{ \frac{\partial K_M}{\partial A_j} \right\} & \frac{\partial K_M}{\partial I_M} & 0 \\ \left\{ \frac{\partial K_A}{\partial A_j} \right\} & 0 & \frac{\partial K_A}{\partial I_A} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \left\{ \delta A_i \right\} \\ \delta I_M \\ \delta I_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left\{ -G_i \right\} \\ -K_M \\ -K_A \end{pmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

(n)回目の値を代入して(5)式を解き、(6)式によって、(n+1)回目のポテンシャルと電流の近似値を得る。この計算を収束するまで、繰り返す。

$$\begin{pmatrix} \left\{ A_i \right\} \\ I_M \\ I_A \end{pmatrix}^{(n+1)} = \begin{pmatrix} \left\{ A_i \right\} \\ I_M \\ I_A \end{pmatrix}^{(n)} + \begin{pmatrix} \left\{ \delta A_i \right\} \\ \delta I_M \\ \delta I_A \end{pmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

計算で得られた電流値を実測値とともに表1に示す。表中のσは回転子巻線に使われるアルミニウムの導電率を示す。0.5σなどはアルミニウムの導電率を1/2などにして計算した結果である。

表1 計算で得られた電流値（単位A）

条 件	電流	実 測 値	σ	0.5 σ	0.25 σ	0.125 σ
無負荷	I _M	0.72	0.61 (84%)	0.62 (86%)	0.64 (88%)	0.67 (93%)
	I _A	1.20	0.91 (75%)	0.91 (76%)	0.92 (76%)	0.93 (77%)
定 格	I _M	0.54	1.33(245%)	0.82(151%)	0.62(114%)	0.62(114%)
	I _A	1.14	0.68 (59%)	0.75 (66%)	0.81 (71%)	0.85 (75%)

計算値と実測値はかなりずれている。この原因としてまず考えられるのは、本来三次元構造のものを二次元で近似していることによる誤差である。モデル機の場合、鉄心積み厚/回転子直径が約0.33で、文献⁷から見ても二次元で近似することは無理があるようである。二次元解析では、うず電流値が実際より大きめに出ることが報告されており⁷、このためにア

ルミの導電率を小さくすると計算値が実測値に近づくものと考えられる。

この他に、巻線端部のLやR_Eの値は公式によって与えているが、妥当な値かどうか検討を要する。

4. 単相誘導電動機のアエアギャップ磁束分布に及ぼす回転子偏心の影響

誘導電動機において、回転子の偏心が磁気音発生の原因になることは広く知られ、その発生機構についても考察がなされているが⁶⁾、磁気音を考える上で重要な「回転子の偏心によってギャップ磁束分布がどのように変化するのか」、すなわちギャップ磁束分布に及ぼす回転子偏心の影響が実験に基づいて定量的に示された例は見当たらないようである。

そこで今回、ギャップ間隔が変えられる単相誘導電動機を試作し、すべての固定子歯（24本）にさぐりコイルを取り付けて、回転子の偏心（正確には静態偏心⁶⁾によってギャップ磁束が変化する様子を実測した。

4-1 実験機の仕様

図2に今回の測定に使用した実験機の構造を示す。エアギャップ調整用スペーサの厚みを変えることにより、固定子を上下に動かせ、従ってギャップ間隔が変えられる。電動機の仕様は次の通りである。

定格電圧： 100V	固定子溝数： 24
定格出力： 30W	回転子溝数： 34
極数： 4極	回転子スキュー： 1.3

24本の固定子歯のすべてにさぐりコイルが巻いてある。

標準のギャップ間隔は0.3mmであるが、今回は偏心なし、0.1mm偏心と0.2mm偏心の三ケースについて測定した。

4-2 エアギャップ磁束分布の測定結果

磁束分布は、ギャップ間隔が標準の0.3mmのとき（偏心ないとき）、0.1mm偏心したとき（ギャップ最狭部は0.2mm）、および0.2mm偏心したとき（最狭部0.1mm）の、三ケースについて測定した。以下の図3～図7において、○印、△印および□印はそれぞれ無偏心、0.1mm偏心および0.2mm偏心の場合に対応する。また、歯1がギャップ最狭部に、歯13がギャップ最広部に対応する。

さぐりコイル誘起電圧を周波数成分に分解すると、電源周波数の倍数成分として f 、 $3f$ 、 $5f$ 、 $7f$ 、……、 $19f$ （計10種類）などが検出され、いわゆるリップル成分として $f(N_2/p)(1-s) \pm f$ 、 $n \pm 3f$ 、 $n \pm 5f$ 、 $n \pm 7f$ 、……、 $n \pm 17f$ （計11種類）などが検出される。

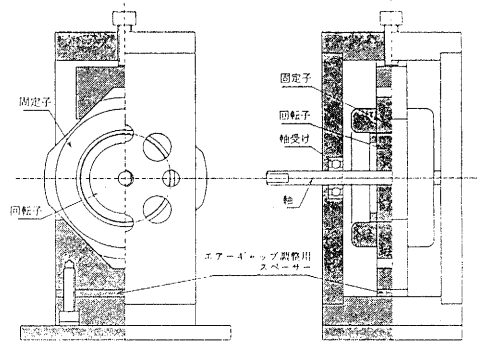


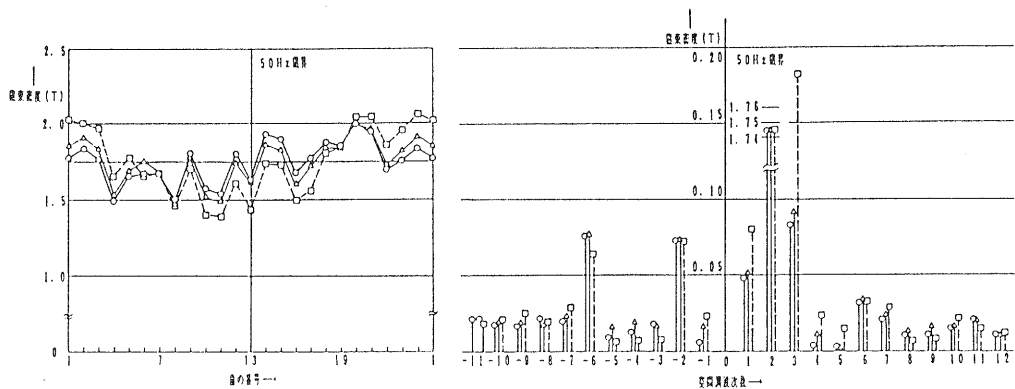
図2 実験機の構造

上述のうちから、以下では電源周波数50Hzで定格負荷状態における、 f (50Hz)、 $3f$ (150Hz)、 $f(N_2/p)(1-s) + f$ (829Hz)、および $n + 3f$ (929Hz)の四種類の周波数成分についての測定結果を示す。150Hzと929Hzは磁気飽和のために生じる成分である。

50Hz磁束の分布 (図3)

図3(a)は固定子24本の歯における50Hz磁束(時間基本波)の磁束密度を示す。偏心とともに、歯1の前後で磁束密度は最大になり、歯13の前後で最小になる。偏心が大きくなると、磁束分布の偏りも大きくなる。図7は、0.2mm偏心時の無負荷状態と定格負荷状態における50Hz磁束の分布を比較したものである。無負荷状態の方が数%程度磁束密度が大きいことを除けば、偏心の影響は両状態で本質的に変わらない。

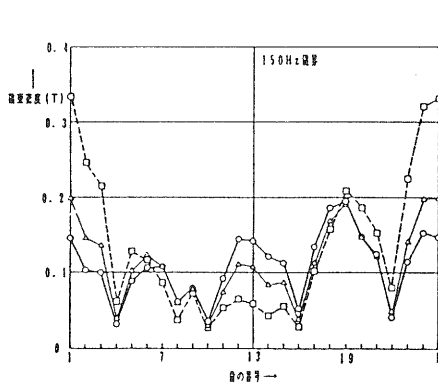
図3(a)の磁束分布を空間調波磁束密度で現したものが図3(b)である。空間調波の主なもの主磁束の2次、逆相分の-2次、空間第3調波の-6次などの成分である。2次の主磁束は偏心の影響を殆ど受けない。これはトルク特性が偏心の影響を受けないことを示している。主磁束の周りの1次と3次は、偏心がないときは存在しないはずだが、実際には出ている。これはギャップ間隔を完全に均一に調整しきれていないことを示している。0.2mmまで偏心すると(ギャップ最狭部は0.1mm)、主磁束を振幅変調するように1次と3次の調波が急増する。



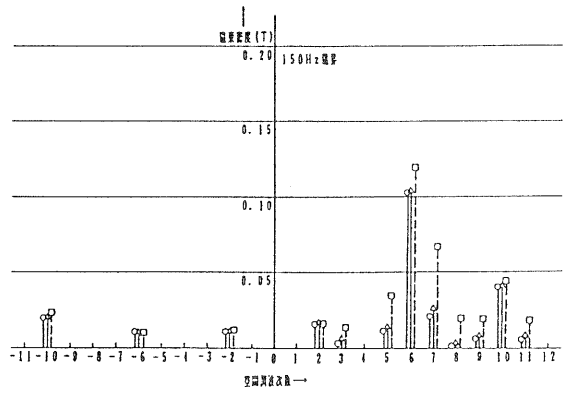
(a)

図3 50Hz磁束の分布

(b)

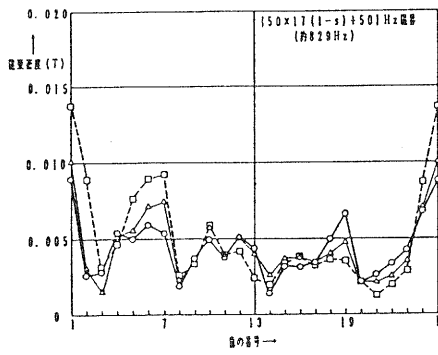


(a)

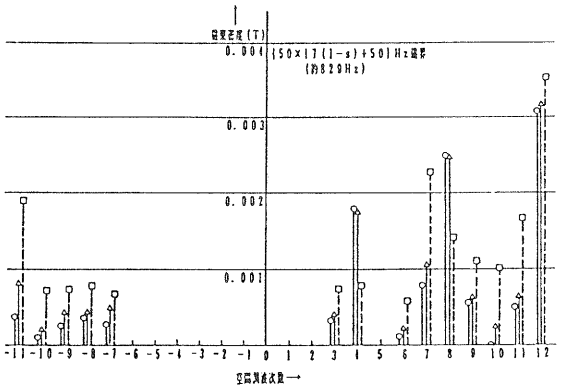


(b)

図4 150Hz磁束の分布

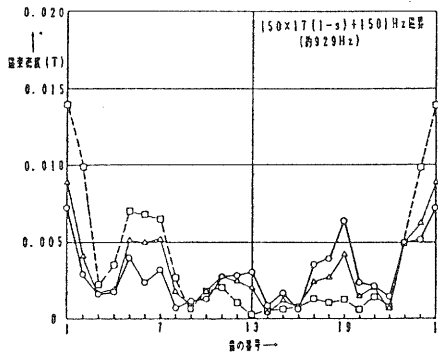


(a)

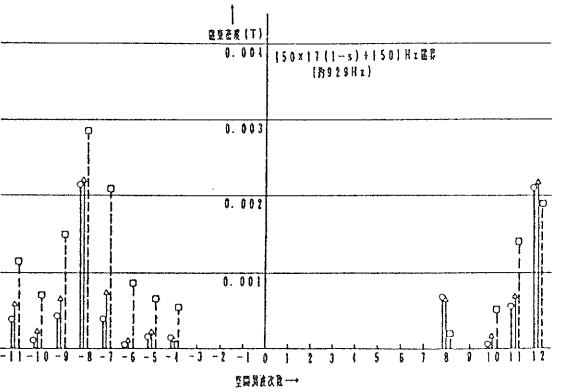


(b)

図5 829Hz磁束の分布



(a)



(b)

図6 929Hz磁束の分布

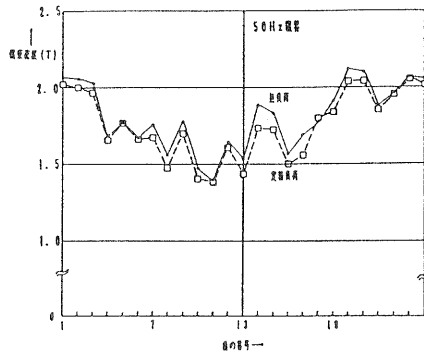


図7 無負荷時と定格負荷時の磁束分布の比較 (50Hz磁束)

150Hz磁束の分布 (図4)

図4(a)と図4(b)は150Hz磁束の分布を示す。空間的には6次(第3調波)と10次(第5調波)の成分が大きい。とくに偏心とともに7次の成分が急増しているが、図5(b)と図6(b)に示すように脈動分は空間的に±8次の成分が大きいから、これに近接する調波(空間次数の和か差が1になる調波)が大きくなるのは騒音発生の点から注目される(4.3節参照)。

829Hz磁束と929Hz磁束の分布 (図5と図6)

図5と図6は脈動磁束成分の分布を示す。前者(図5)は回転子溝高調波の一つであり、後者(図6)は回転子飽和高調波の一つである。前者の空間調波は、図5(b)のように8次と12次の調波が大きい。偏心があると(図5(a))、最狭部付近の磁束密度は大きくなり、最広部のそれは小さくなる。その度合いは偏心とともに大きくなる。空間調波でみると(図5(b))、偏心とともに主要調波(8次と12次)の前後の奇数調波(7次、9次、11次、13次=−11次)が急増する(8次と12次を振幅変調するように)。回転子飽和溝高調波を示す図6(a)と図6(b)でも、同様な傾向が認められる。

4-3 ギャップ磁束の測定結果からみた径方向磁気力の分布

固定子と回転子がギャップを通して互いに引き合う径方向磁気力は、ギャップ磁束密度分布を $B(t, \theta)$ とすれば、

$$F_{radial}(t, \theta) / 2\mu \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。また、小型電動機では次数1の力波、すなわち回転子を一方向に引きつけるような振動力が、騒音発生の最も大きな原因だと言われている⁽⁶⁾。次数1の力波の発生という観点から、前節の測定結果を、とくに偏心との関連で見ると、次の二点が言える。

① 図3(a)～図6(a)から

各歯における磁束密度が周波数別に図3(a)～図6(a)に示されているが、(7)式から、各歯における径方向磁気力は各図磁束密度の二乗あるいは相互の積に比例する(ただし、回転子スキューの影響を考えにいれなければ、正確なことは言えないが)。何れの周波数の磁束密度もギャップ最狭部で大きく、最広部で小さくなり、その度合いが偏心とともに大きくなることは、ギャップ最狭部に向けて回転子を引きつける振動的な磁気力が偏心とともに大きくな

ることを示している。これは、固定子と回転子の溝数の組合せに関係しないと考えられる。

② 図3(b)～図6(b)から

偏心がなければ、原理的には偶数次の空間調波磁束しか存在しないはずで、従って次数1の力波は存在しない。しかし偏心があると、奇数次の磁束が生じて、例えば、150Hz磁界(図4(b))の6次と7次、ならびに829Hz磁界(図5(b))の7次と8次のように、相互作用によって次数1の力波が生じるような組合せが生まれる。

実験機の固定子溝数24、回転子溝数34と言う組合せは騒音発生上からは安全とされているが、この様な場合でも偏心があると有害な次数1の力波が発生し、騒音の原因になりうることは、注意すべきことである。

5. むすび

本報告では、(1)単相誘導電動機の磁界解析シミュレーションの高速化、(2)磁界解析を応用して電動機の電気特性を求めること、ならびに(3)エアギャップ磁束分布に及ぼす回転子偏心の影響の三点について述べた。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) ソフトとハードの両面から、磁界解析シミュレーションの高速化を図ったところ、パソコン+高速演算ボードを使って3時間で計算できるようになった。この位の時間でできるなら、磁界解析シミュレーションを設計作業のなかに十分組み込める。
- (2) 巻線電流値を求めることなど、電動機の電気特性をシミュレーションで正確に求めることはできなかった。二次元解析の限界なのか、それとも巻線端部等の電気回路の定数値を修正すれば、実用上満足できる精度が得られるのか、さらに検討を要する問題である。
- (3) 回転子に偏心があると、何れの周波数の磁束もギャップ最狭部に集中するようになる。これは無負荷時と負荷時で本質的に変わらない。また、偏心があると、小型電動機にとって有害とされる回転子を一方方向に引きつける力波(次数1の力波)が生じる。偏心の度合いが大きいと、この力波も大きくなる。

以上の結果が電動機設計の合理化ならびに電動機の静音化に役立てば幸いである。

謝辞：本研究についてご指導いただ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) 井上嘉明、他：「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—有限要素法による単相誘導電動機の磁界解析—」、滋賀県工業技術センター昭和63年度研究報告、p.p. 17-29 (昭63)
- (2) 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」、電気学会論文誌B、102巻7号、p.p. 423-430 (昭57-7)
- (3) 中田高義、河瀬順洋、松原孝史、伊藤昭吉：「時間周期有限要素法によるくま取りコイル付き電磁石の特性解析」、電気学会論文誌B、105巻5号、p.p. 475-482 (昭60-5)

- (4) 井門俊治、山田興治：「トランスペュータボードによる高速数値計算」、インターフェイス、平成元年5月号
- (5) 岡部正志、木村俊次：「時間周期有限要素法による単相誘導電動機の磁界および諸特性の解析」、電気学会論文誌D
- (6) 江森三郎、秋山勇治、森野 勇：「偏心回転子の磁気音発生機構」回転機研究会資料、RM-77-2（昭52-2）
- (7) 中田高義、高橋則男、神村圭毅：「回転機の軸方向長さが磁束分布に及ぼす影響の検討」、平成元年度電気学会全国大会

プラスチック材料の切削に関する研究（第一報）

—アクリル樹脂における切削条件と表面粗さの関係についての実験的考察—

技術第一科 深尾典久、河村安太郎、月瀬寛二

あらまし：プラスチック材料を用いて試作品や少量生産の機械部品を製造する場合、高精度の機械加工が不可欠であるが、プラスチック材料の切削性についてはこれまであまり体系的に調べられておらず、金属材料に比較して文献・データが少ない。そこで本研究では、機械加工の必要性が高く、工学的または装飾的理由から透明度を要求されることの多いアクリル樹脂を被削材として、旋盤による切削を行って、透明に切削するための条件を調べた。その結果、透明に切削する場合には天然ダイヤモンドバイトを用いることが有効であった。また切削速度、切込み量および前加工面の表面粗さは本実験条件の範囲において切削面に影響を与えなかった。

1. まえがき

プラスチック材料は、成形の自由度が高いなどの理由から射出成形等の成形法により、従来金属材料によって作られていた機械部品の多くに用いられるようになってきている。

しかし、このこともあってプラスチック材料の機械加工は、金属材料とは異なるノウハウを必要とするにもかかわらず、これまであまり体系的に調べられておらず試作品や少量生産の機械部品を製造する場合、あるいは二次加工としての機械加工により成形加工以上の寸法精度を出そうとする場合のネックになることがあった。

そこで、本研究では機械加工の必要性が高く、光学的または装飾的理由から透明性が必要とされることが多いアクリル樹脂を被削材として、旋盤による切削を行った。そして、表面粗さと透明度の関係および、切削条件と切削面の関係について検討を行ったので報告する。

2. 表面粗さの定義

本研究においては切削面の評価のために、中心線平均粗さ（Ra）と最大高さ（Rmax）の2種の表面粗さおよび粗さ曲線を用いたので以下に定義する。また切削時の理論面粗さについて定義する。⁽¹⁾

2-1 表面粗さに関する用語の意味

(1) 表面粗さ

対象物の表面（以下、「対象面」と言う）からランダムに抜き取った部分におけるRa、Rmax等の値。

(2) 断面曲線

対象面をその面に垂直な平面で切断したとき、その切り口に現れる輪郭。対象面に方向

性がある場合、切り口はその方向と垂直にとる。

(3) 粗さ曲線とカットオフ値

断面曲線から所定の波長より長い成分（表面うねり成分）をカットオフした曲線を粗さ曲線といい、この所定の波長をカットオフ値と呼ぶ。本実験ではカットオフ値は0.8mmとした。

(4) 粗さ曲線の平均線

粗さ曲線の抜き取り部分において、その粗さ曲線を構成する各点の最小二乗直線。

(5) 中心線

粗さ曲線の平均線に平行な直線を引いたとき、その直線と粗さ曲線で囲まれる面積が、その直線の両側で等しくなるような直線。

2-2 中心線平均粗さ (Ra) の定義

粗さ曲線からその中心線の方に測定長さLの部分抜き取りその中心線をx軸、その垂直方向をy軸として、粗さ曲線を $y = f(x)$ で表したとき、次の式で表される値を中心線平均粗さとする。

$$R_a = (1/L) \int_0^L |f(x)| dx$$

本実験では、測定長さはカットオフ値の5倍、つまり4mmで測定した。

2-3 最大高さ (Rmax) の定義

中心線平均粗さの定義2-2と同様の座標系においてカットオフ長さの中で、y軸方向の最大値と最小値の差の値を数回（本実験では5回）平均したものを最大高さとする。

2-4 理論面粗さ⁽²⁾

図2-1に示す刃先Rの無視できる切削条件において、構成刃先や機械振動等の悪化要因が無い場合の幾何学的な理論面粗さは次式で与えられる。

$$R_{max}(theo) = f \cdot \frac{\tan \alpha \cdot \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta} \cdot 1000 \quad (\mu m)$$

ただし、

Rmax(theo) : 理論面粗さ (最大高さ)

f : 送り量 (mm/rev)

α : 切込み角

β : 前切刃角

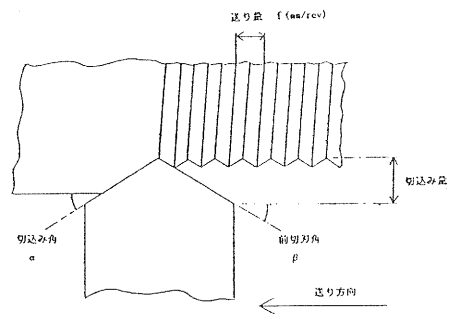


図2-1 刃先Rが無視できるバイトによる切削

3. バイト刃先の走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

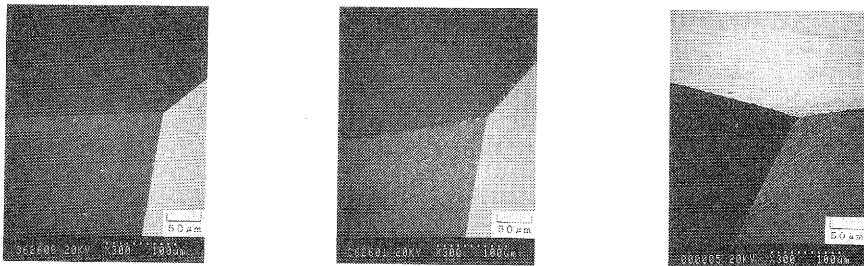
図3-1は本実験で用いる天然ダイヤモンドバイト、焼結ダイヤモンドバイトおよび高速

度鋼バイトの刃先のSEM写真である。

図3-1(a)は本研究に用いた天然ダイヤモンドバイトの刃先であり、この倍率では何ら欠陥を見ることはできず刃先は鋭利である。

一方、図3-1(b)の焼結ダイヤモンドバイトの刃先の場合には平面部に数 μm 程度の結晶粒が見られる。また刃先部においては数 μm から十数 μm 程度の欠陥がみられる。焼結ダイヤモンドは結晶粒度数 μm から100 μm 程度のダイヤモンド粒に、容積比10%程度のCoを結合材として用いて焼結したものである⁽³⁾。このため一般には、結晶粒度以上に刃先を研磨することは困難であり、鋭利さにおいて天然ダイヤモンドには遠く及ばないといわれる。

図3-1(c)の高速度鋼バイトの場合においても、刃先稜、平面部ともに天然ダイヤモンドと比べるとかなり粗いことがわかる。この刃先は、工具研削盤を用いて#1500のCBNカップホイールで仕上げ成形を行ったものであり、刃先面の粗さは砥粒の粗さがうつったためであると思われる。



(a) 天然ダイヤモンドバイト (b) 焼結ダイヤモンドバイト (c) 高速度鋼バイト

図3-1 材質別のバイト刃先SEM写真

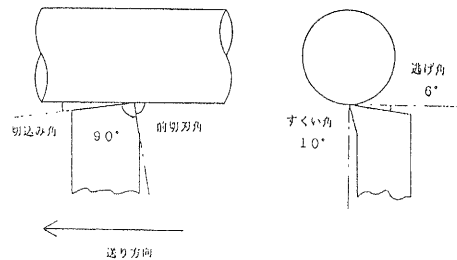
4. バイトの材質とアクリル樹脂の切削性について

4-1 実験方法

前説3. で観察した天然ダイヤモンド、焼結ダイヤモンドおよび高速度鋼の3種の材質のバイトを用いてアクリル樹脂丸棒の同一切削条件での切削を行い、バイト材質の違いが切削面に及ぼす影響について比較評価を行った。

バイトの刃先は3種とも図4-1に示す形状であり、切込み角は 1° とした。また切込み量は0.025, 0.05, 0.10mmの3通りを行った。その他の実験条件は以下の通りである。

切削速度 : 160 m/min
 送り : 0.05 mm/rev
 切込み量 : 0.025, 0.05
 0.10 mm



4-2 実験結果および考察

天然ダイヤモンドバイト、焼結ダイヤモンドバイト、

図4-1 バイトの刃先形状

高速度鋼バイトの3種による切込み量別の表面粗さ測定結果を図4-2に示す。本実験条件における理論面粗さは切込み角 $=1^\circ$ 前切刃角 $=89^\circ$ であるので、 $R_{max}(theo)=0.87\mu m$ である。それに対し、3種のバイトの切削面の表面粗さの最大高さは切込み量 $0.05mm$ の場合において、天然ダイヤモンドバイトは $1.60\mu m$ 、焼結ダイヤモンドバイトは $1.74\mu m$ 、高速度鋼バイトは $1.89\mu m$ であり、各々最大高さは理論値に比べ2倍程度に悪化した。これは機械振動等の悪化要因によるものであると思われる。各切削条件の間で表面粗さは、顕著な差はみられなかった。若干の値の差はあるが、バイトの取り付けのばらつきや角バイトのシャンク部の剛性の違い等の誤差要因を含むため、これがバイト材質や切込み量の違いによるものであると断定することは出来なかった。

目視による面状態の比較を行うため、図4-3に各切削面の写真を示す。これを見ると天然ダイヤモンドバイトの切削面は面が澄んでいて透明度が高いのに対し、焼結ダイヤモンドバイトと高速度鋼バイトの切削面は濁っている。また、図4-4は各バイトの切込み量 $0.05mm$ における粗さ曲線であるが、これを見るといずれのバイトを用いた場合においても、 $0.05mm$ ピッチの送りマークがあり、これが表面粗さを決定していることがわかる。一方、個々の送りマークの形に着目すると、天然ダイヤモンドバイトの粗さ曲線では、エッジの鋭い直線であるのに対し、焼結ダイヤモンドと高速度鋼バイトにおいては小さな凹凸が多くみられる。

以上のことから、被削材を透明に加工する場合には、粗さ曲線において送りマークの内部に小さな凹凸がないことが必要であり、そのためには刃先が鋭利に研がれている必要があるといえる。今回実験したバイトの中では、刃先の鋭利な天然ダイヤモンドバイトを用いた場合、切削条件を改善することにより表面粗さが小さくかつ透明な面を切削することができるだろうと思われる。それに対して他の2種類のバイトでは切削条件を改善しても、ある程度は表面粗さを改善できるだろうが、送りマーク中の凹凸は消えないだろうと思われる。そのため、目視した時の面の濁りも消すことは出来ないだろうと思われる。

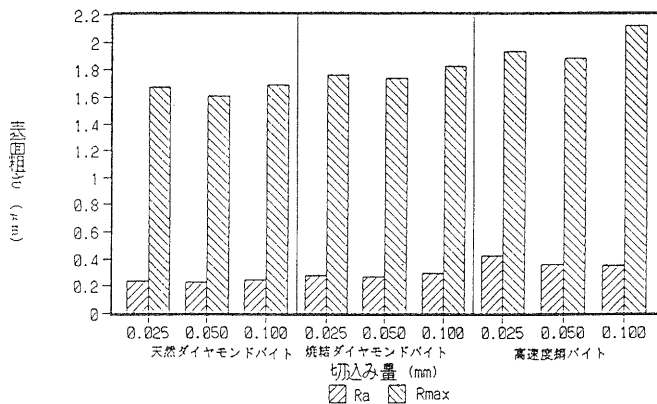
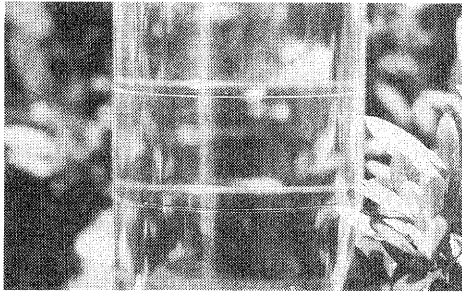
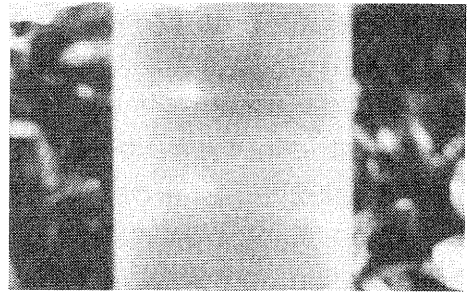


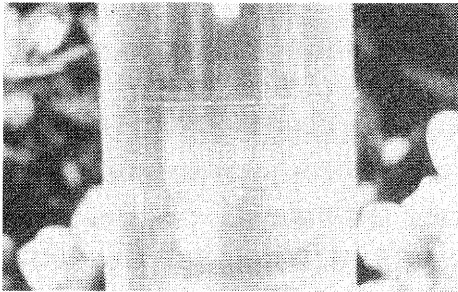
図4-2 バイト材質、切込み量—表面粗さ線図



(a) 天然ダイヤモンドバイト



(b) 焼結ダイヤモンドバイト



(c) 高速度鋼バイト

図4-3 各バイトを用いた切削面
切込み量 0.05mm

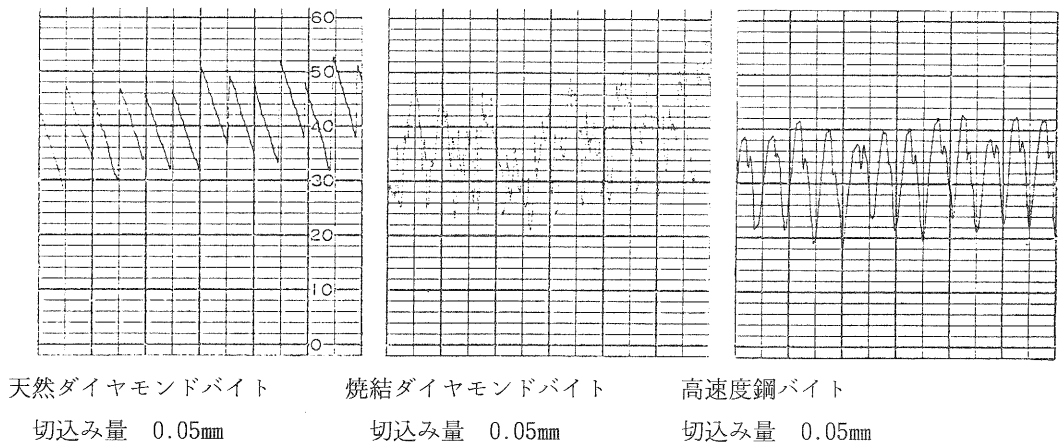


図4-4 各バイトによる切削面の粗さ曲線 縦軸1目盛: 0.4 μm
(断面曲線下部が被削材) 横軸1目盛: 50 μm

5. 天然ダイヤモンドバイトにおけるアクリル樹脂の切削条件について

5-1 実験方法

前説4. の実験の結果、アクリル樹脂を透明に切削する場合には天然ダイヤモンドバイト

を用いることが有効であるとわかった。そこで本実験では、バイトおよび被削材に前説4. で用いたのと同じ天然ダイヤモンドバイトおよびアクリル樹脂を用いて切削を行い、前加工面の表面粗さおよび切削速度が切削面に及ぼす影響について調べるため以下の2つの実験を行った。

(1) 前加工面の表面粗さの影響について

アクリル樹脂に高速度鋼バイトを用いて、送りピッチ $0.3\text{mm}/\text{rev}$ で $R_{\text{max}}=8.5\mu\text{m}$ に前加工（荒削り）を行った。そのようにして出来た前加工面に対し、その面の R_{max} 以下の $4\mu\text{m}$ の切込み量で、1～3回の仕上げ加工を行い、前加工面の表面粗さが仕上げ加工面に与える影響について調べた。その他の実験条件は以下の通りである。

切削速度 : $170\text{m}/\text{min}$
送り : $0.05\text{mm}/\text{rev}$
切込み角 : 0.25°

(2) 切削速度の影響について

送り、切込み量および切込み角を一定として、切削速度を変えて仕上げ切削を行い、切削速度が仕上げ加工面に与える影響について調べた。本実験は45, 65, 90, 135, 185, 270, 390 m/min の7種類の切削速度で行った。その他の実験条件は以下の通りである。

送り : $0.05\text{mm}/\text{rev}$
切込み量 : 0.05mm
切込み角 : 0.25°

5-2 実験結果および考察

実験(1)の結果について、前加工のみおよび前加工後1～3回の仕上げ加工を行った場合の、仕上げ加工回数と表面粗さの関係を図5-1に、仕上げ加工回数別の粗さ曲線を図5-2(a)(b)(c)(d)に示す。図5-1において、前加工のみを行った場合の表面粗さは $R_{\text{max}}=8.5\mu\text{m}$ に対し、1回仕上げ加工を行った場合の表面粗さは $R_{\text{max}}=3.1\mu\text{m}$ であり、 R_{max} 値の減少はほぼ切込み量を反映していた。図5-2においても、1回仕上げ加工を行った場合の粗さ曲線(b)は、前加工のみを行った場合の粗さ曲線(a)に対し、前加工における山の部分が切込み量を反映して削り取られていた。また、1回仕上げの場合の粗さ曲線(a)で、山部に送り方向 $1\mu\text{m}$ 弱程度の盛り上がりが見られるのは、弾性回復のためであると思われる。2回仕上げ加工を行った場合(c)には、粗さ曲線から前加工面の形状はほぼ消えており、3回仕上げ加工を行った場合(b)と比較してみると、粗さ曲線、表面粗さともほぼ等しかった。以上の結果から、本実験で設定した前加工面は、仕上げ面の粗さには、顕著な影響は与えないといえる。ただ確認はしていないが、前加工面にうねり等があった場合には、弾性回復のためそれが仕上げ面に移ることが考えられる。

つぎに、実験(2)の結果について切削速度と仕上げ面の表面粗さの関係を図5-3に示す。

図5-3において、切削速度90および135 m/minの時に若干の表面粗さの悪化がみられるが、これは誤差の範囲であり、本実験の範囲では、仕上げ面の表面粗さは切削速度の影響は受けなかった。

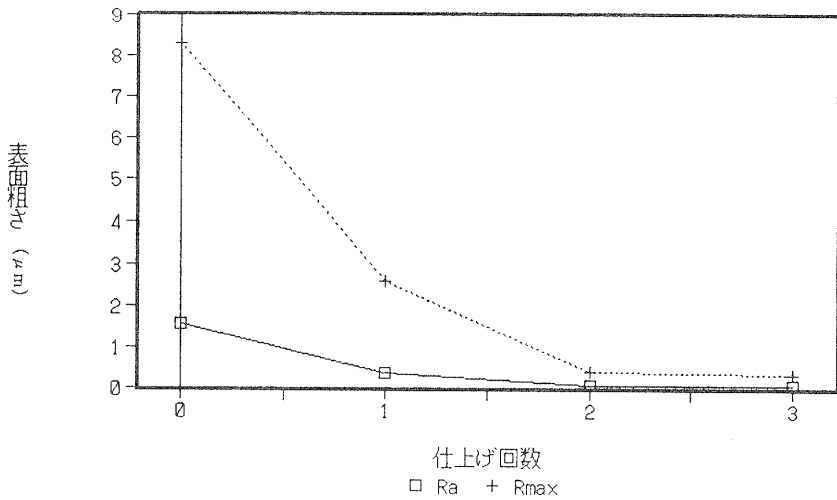


図5-1 仕上げ加工回数-表面粗さ線図

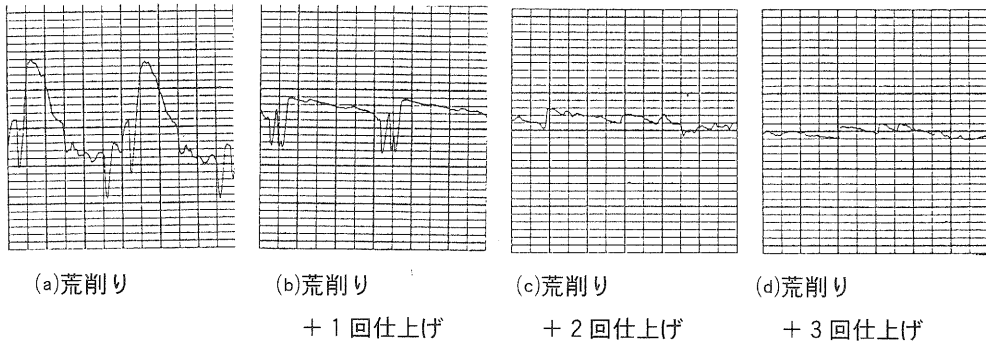
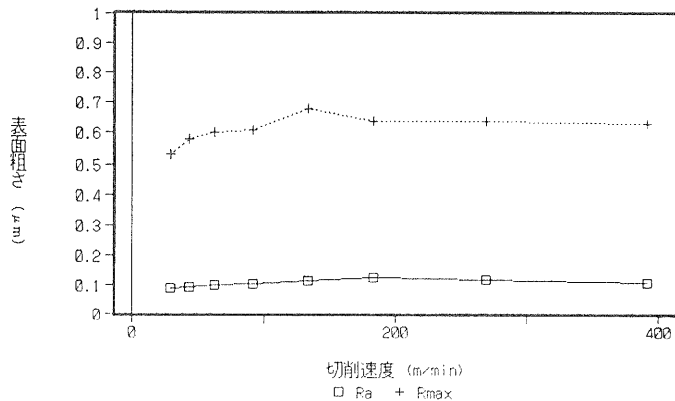


図5-2 仕上げ回数別の切削面の粗さ曲線 縦軸1目盛 : 0.4 μm
(断面曲線下部が被削材) 横軸1目盛 : 50 μm

図5-3 切削速度-表面粗さ線図



6. 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) アクリル樹脂を透明に切削する場合、刃先が鋭利な天然ダイヤモンドバイトを用いることが有効である。
- (2) 天然ダイヤモンドを用いてアクリル樹脂を切削する場合、切削速度と切込み量は本試験条件の範囲において、切削面に影響を与えなかった。
- (3) 前加工面の表面粗さは仕上げ面に対して影響を与えないが、弾性回復のため前加工面のうねり等が仕上げ面にうつることが考えられる。

また、今後の課題としては、次のことについて検討する必要がある。

- (1) 天然ダイヤモンドバイトの刃先形状の特性についての検討。(精密な寸法測定法についての検討)
- (2) 透明な材料を切削した場合の、透明度を評価する方法についての検討。

謝 辞

本研究について御指導いただいた山口勝美特別技術相談役（名古屋大学工学部教授）ならびに、御助言いただいた井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）、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) J I S B 0 6 0 1 -1982
- (2) 杉田忠彰 '基礎切削加工学' 共立出版株式会社 1984 P 140-141
- (3) 原 昭夫 '超硬材料' 工業材料 第31巻 8号 P 114-119

立体構造物形状のコンピュータへの入力手法の研究（第一報）

－ 2次元に近い形状の入力手法について－

技術第一科 月 瀬 寛 二、深 尾 典 久

あらまし：構造解析を実施する場合、対象形状の寸法値を直接コンピュータに入力しなければならず、図面や入力手法等の専門知識が必要である。また、自由曲面の多い形状を入力するには、入力点数も多くなり、かなりの手間を必要とする。この事がコンピュータシミュレーションによる構造解析技術の普及のネックになっている。そこで、簡易的な形状入力手法を確立し、コンピュータシミュレーションによる構造解析技術の中小企業への普及を促進するために、本年度は、三次元測定機を用いて二次元的形状を計測し、その形状の自動メッシュ分割を行い、有限要素法による解析モデルとする手法を開発したので報告する。

1. まえがき

構造解析を実施する場合、対象形状を図面からコンピュータへ入力する必要があるが、自由曲面を入力するには、かなりの手間を必要とし、それでも正確な入力は難しい。この事がコンピュータシミュレーションによる構造解析技術の普及のネックになっている。

一般的に、マスタモデルの強度評価をコンピュータシミュレーションで行うには、マスタモデル形状の図面化が必要である。しかし、マスタモデルに自由曲面があると、図面化には手間を要し、かつ正確な図面化は難しい状況にある。自由曲面の構造解析用データの輸入は、図面化した輪郭や断面を表す何本もの曲線（定義曲線）を入力し、それぞれの間を補間して再構成しなければならない。また、もう一つの方法として、自由曲面上の点の座標値を直接入力する方法があるが、あらかじめ定義曲線間を補間し各点の座標値データを作成した上で数値入力する必要があり手間を要する。

そこで、マスタモデルの自由曲面形状を図面化する手間や構造解析を行うときの形状を入力する手間を軽減し、自由曲面をより正確にコンピュータ上に表現できる入力手法の開発を行い、構造解析技術の普及を図ることを目的とした。

本年度は、二次元に近い形状を三次元測定機で計測し、座標変換や有限要素法解析用のメッシュ分割を自動的に行い、解析モデルとする手法を開発したので報告する。

2. 開発したシステム構成と概要

モデルの計測は、(株)ミットヨ製三次元測定機（FJ-1006）でボールプローブを用い、輪郭形状測定プログラム（以後SCANPAKと言う）を使用して実施した。計測値の座標変換や面のメッシュ分割は、NEC製PC9801RX上でFORTRANを用いてソフトウェアのアルゴリズムを作成した。

有限要素法による構造解析ソフトは、IBMのCAEDS (SDRC製)を対象とした。図2-1に全体的な処理の概要(使用した機器、ソフトウェア)を示す。

3. 三次元測定機による形状の測定

本年度は、アルゴリズムの検証を容易にするため二次元的な手法が利用できる曲率の大きい自由曲面を対象物とした。

SCANPAKでは、図3-1の様に計測が行われ、測定プローブの中心座標値が計測される。従って、実際の表面形状を求めるにはプローブの半径分の補正を測定面に対して行う必要があるが、本年度はメッシュ分割やデータ変換などに主眼を置いたため半径補正を行わなかった。

図3-2に、サンプルデータの測定手順を示す。図3-2の始点から測定を開始し、(1)プローブをX軸プラス方向に約100mm走査(Y軸固定)、(2)Y軸プラス方向に約10mm走査(X軸固定)、(3)X軸マイナス方向に約100mm走査(Y軸固定)、(4)Y軸プラス方向に約10mm走査(X軸固定)の繰り返しでサンプルデータの計測^{*1}を実施した。

4. 三次元測定機データファイル仕様とOSの変換 (CP/MからMS-DOS)

SCANPAKでの計測データは、直前データに対する増分値(機械座標系におけるX, Y, Z各軸の増分値)がファイルされる。その他に関連データとして、測定の始点、終点および補正座標系の原点の座標値(機械座標系)、補正座標系の機械座標系に対する方向余弦、測定したデータ数、測定に使用したプローブの直径などがファイルされる。データは、図4-1で示すBINARY(IEEE)形式で格納されており、各軸増分値データは2バイト整数型

処理内容	使用機器	使用ソフトウェア
被測定物 表面座標値の計測	三次元測定機 FJ-1005	SCANPAK (CP/M ランダム データファイル)
↓ 8インチFD (1D)		
OSの変換 (CP/M→MS-DOS)	NEC PC-9801RX	OS統合化アダプター
座標変換 メッシュ分割 ユニバーサル ファイル作成	NEC PC-9801RX	PC-FORTRAN (MS-DOS シーケンシ ャルファイル)
↓ 5インチFD (2HD)		
OSの変換 MS-DOS→CMS	IBM 5550 IBM 4370	ファイル 転送支援プログラム
コード変換・ レコード処理		
有限要素法解析 (ユニバーサルファイル 読み込み)	IBM 4370 IBM 5080	CAEDS (CMS シーケンシ ャルファイル)

図2-1 全体的な処理の概要

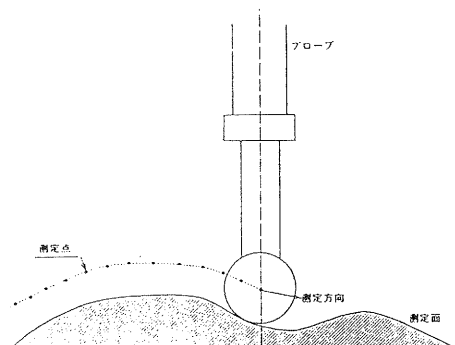


図3-1 自由曲面測定のイメージ

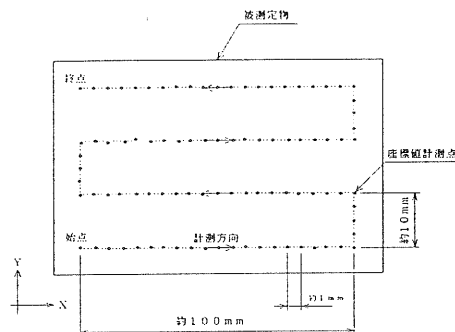


図3-2 サンプルデータ測定手順

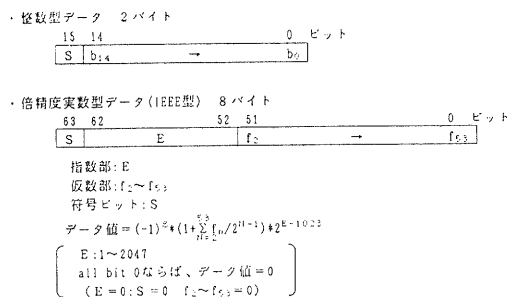


図4-1 データファイル形式

データで、始点、終点、原点、方向余弦などは8バイト倍精度実数型データで構成されている。ファイルは、ランダムファイルで1レコード32バイトで合計388レコードの大きさである。

この計測データファイルはOSがCP/Mであり、計測データの座標変換や自動メッシュ分割をMS-DOS上で行うために、メガソフト㈱の「OS統合化アダプターEM/3+」でMS-DOSフォーマットに変換をした。

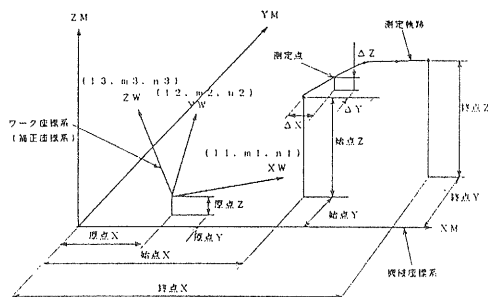


図5-2 機械座標系と補正座標系

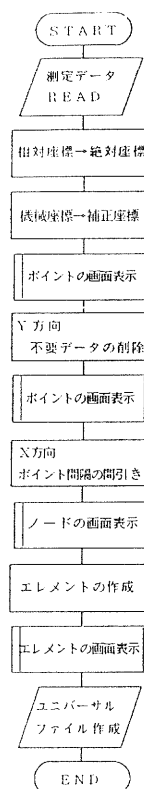


図5-1 メインフローチャート

5. プログラムの概要とアルゴリズム

座標増分データから絶対座標値への変換、機械座標系から補正座標系への変換、ポイントの等間隔化、メッシュ分割、およびユニバーサルファイルの作成を行うアルゴリズムをFORTRANで作成した。プログラムサイズは、FORTRANのソースで約1100行、実行形式のファイルで約200kバイトである。実行時間は、今回使用したサンプル計測データで約1分*2である。プログラムのメインフローチャートを、図5-1に示す。

5-1 機械座標から補正座標への座標変換

一般的に、図面では基準面を元として寸法が定義され、加工においても基準面を基準として作業が行われる。ところが、三次元測定機では、測定プローブの移動軸を基準とした座標系（機械座標系）で計測されるので、測定物の基準面や基準軸に沿った座標系（補正座標系）に変換しなければならない。図5-2に、機械座標と補正座標の関係を示す。

三次元測定機で計測した機械座標系の座標増分データを、まず同じ機械座標系における絶対座標値に変換し、次に測定物を基準にした補正座標系に変換した。図5-2のXW(ℓ1, m1, n1)などは、補正座標軸XWの機械座標系に対する方向余弦である。

機械座標系の座標値Xm、Ym、Zmの補正座標系の座標値Xw、Yw、Zwへの変換は、次式を用いた。

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ell_1 & m_1 & n_1 \\ \ell_2 & m_2 & n_2 \\ \ell_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

5-2 ポイントの等間隔化

本年度のアルゴリズムでは、エレメントを三つのノードで構成される一次要素の三角形と設定し、ポイントを作成する際のノードとしたので、各ポイントがほぼ等間隔でない鋭角三角形のエレメントとなる可能性がある。そこで、サンプル計測データに対して、各ポイント間隔をほぼ等しくするために、次の二種類の削除・間引きを行った。

5-2-1 Y方向不要ポイントの削除

図3-2のX軸一定でY軸方向に測定している箇所（計測データ中に何ヵ所か存在）の計測ポイントは、単に次の測定箇所へプローブが移動している部分で、SCANPAKのソフト上計測しないように設定できないので、この段階で不要なポイントとして削除した。図5-3は、この不要部分の拡大図で、ポイント番号7,8,9が不要ポイントに該当する。不要ポイントの認識は、各ポイントの1つ前の点と次の点に対してベクトルを作成し、そのベクトルのなす角度を計算した。

ベクトルp,qのなす角度を θ （図5-3参照）とすると、内積 $p \cdot q$ は、

$$p \cdot q = |p| |q| \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

であるから、

$$\cos \theta = \frac{p \cdot q}{|p| |q|} \quad \dots\dots\dots(3)$$

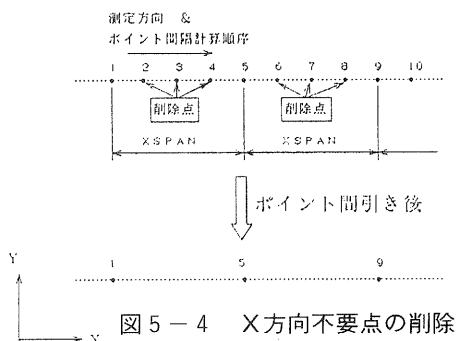
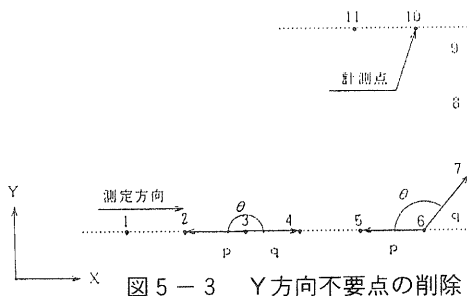
と計算できる。図5-3のポイント3を中心としたベクトルのなす角度の計算では、 $\cos \theta = -1$ であるが、ポイント6を中心とした計算では $\cos \theta < -1$ となる。 $\cos \theta \leq -0.85$ 、つまり $\theta \leq 148^\circ$ ならば、計測方向がX方向からY方向に変化したとして認識し、次に $\theta \leq 148^\circ$ のとき再度計測方向がY方向からX方向に変化したと認識し、この間のポイントを削除した。

5-2-2 X方向ポイントデータの間引き

Y方向の不要なポイントを削除したので、図5-4の様なX方向にポイントが連続して並んでいる列が、Y方向に何本か存在している状態となっている。そこで、Y方向の列の間隔とほぼ等しい間隔にX方向のポイントを間引けば、残ったポイントはほぼ等間隔の状態となる。図5-4で、X方向の残したいポイントの間隔値をXSPANとした時、順に各ポイント間の空間上の距離を計算し、XSPAN値と比較した。この例では、ポイント1から5までの距離がXSPAN値と等しいので、ポイント2、3、4を削除することになる。

5-3 線要素の作成

エレメントは、3本の線要素で構成されるので、まず隣合うポイントからなる線要素の作成を行っ



た。線要素の作成手順は、図5-5の様な四角形の領域を認定し、ポイント1を基準にし、
 領域1 = $\pm XSPAN/2 + XSPAN$ & $\pm YSPAN/2$ (4)

の四角形内のポイント2とポイント1を結び1つ目の線要素とした。同様に、
 領域2 = $\pm XSPAN/2$ & $\pm YSPAN/2 + YSPAN$ (5)

の四角形内のポイント8とポイント1を結び2つ目の線要素とし、
 領域3 = $\pm XSPAN/2 + XSPAN$ & $\pm YSPAN/2 + YSPAN$ (6)

の四角形内のポイント7とポイント1を結び3つ目の線要素とした。この様な三領域に対する線要素の作成を、全てのポイントに対して行えば、重複がない線要素の作成が可能である。これは、5-2のポイントの削除や間引きの操作と、これに対応した領域の大きさの設定を行い、一つの領域にポイントが1点しか存在していないからである。

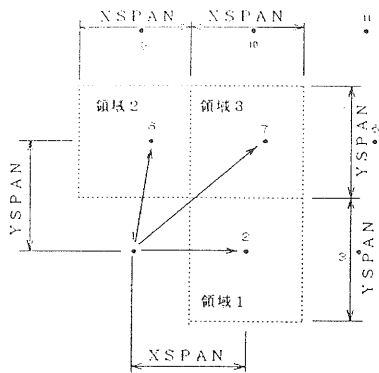
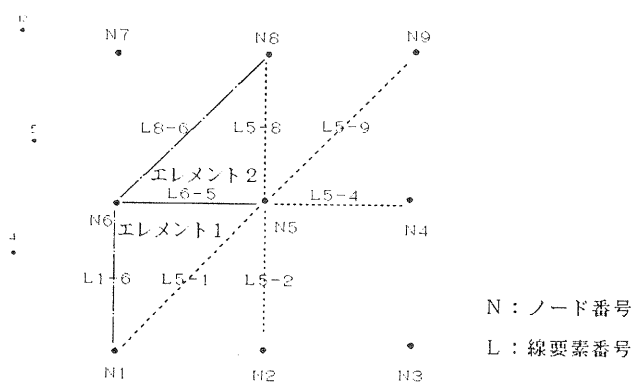


図5-5 線要素の作成



N : ノード番号
 L : 線要素番号

図5-6 エレメントの作成

5-4 エレメントの作成

図5-6は、エレメントを作成する手順で、N6はノード6を表し、L6-5はN6とN5で構成された線要素を表しており、この例では線要素L6-5に着目している。まず、L6-5の線要素を基準に考えると、もう一報のN5で構成される全ての線要素 (L5-8, L5-9, L5-4, L5-2, L5-1) の相手側のノード番号 (N8, N9, N4, N2, N1) を得る。このノード番号を持った全ての線要素の内、N1を相手側として持っている線要素がある場合、三角形のエレメントが構成されたことになる。

図5-6では、エレメント1 (線要

MS-DOSフォーマットファイル

A*	B*	CR	LF	CR	LF	SP	C*	D*	E*	F*	CR	LF	G*	H*	I*	CR	LF	EF
16進数値→	41	42	0D	0A	0D	0A	20	43	44	45	46	0D	0A	47	48	49	0D	0A

CMSフォーマットファイル 1 コード変換

A	B	CR	LF	CR	LF	SP	C	D	E	F	CR	LF	G	H	I	CR	LF	
16進数値→	C1	C2	0D	25	0D	25	40	C3	C4	C5	C6	0D	25	C7	C8	C9	0D	25

レコード処理 (80バイト固定長にする)

	1	2	3	4	5												79	80	バイト
レコード1	A	E	SP	SP	SP													SP	SP
16進数値→	C1	C2	40	40	40														
レコード2	SP	SP	SP	SP	SP													SP	SP
16進数値→	40	40	40	40	40														
レコード3	SP	C	D	E	F													SP	SP
16進数値→	40	C3	C4	C5	C6														
レコード4	G	H	I	SP	SP													SP	SP
16進数値→	C7	C8	C9	40	40														

変換条件:

- 固定長レコードのファイルに変換
- レコード長=80
- CR LF オプション指定 (MS-DOSのCR, LFコードをレコードの区切りと認識しCMSでは削除)
- J I S C I オプション指定 (JISコードからEBCDICコードへ変換)

<注> SP: ブランク (20 or 40)
 CR: 復帰コード (0D)
 LF: 改行コード (0A or 25)
 EF: E O Fコード (1A)
 A*, B*, ...: MS-DOSの文字コードの文字
 A, B, ...: EBCDICコードの文字

図6-1 コード変換およびレコード処理の例

素L6-5,L5-8,L8-6で構成)とエレメント2(線要素L6-5,L5-1,L1-6で構成)が該当する。

この操作を、全ての線要素に対して行い、同じ3点の組み合わせの重複したエレメントは削除することにより、対象とする面全体のメッシュ分割が完了する。

5-5 CAEDSユニバーサルファイルの作成

ユニバーサルファイルは、公開されたCAEDS用のデータファイルの形式で、メッシュ分割された形状をこの形式でファイルすれば、CAEDSとのインターフェイスが可能となる。ユニバーサルファイルの構成は、一レコードが最大限80バイトのシーケンシャルファイルで、ノードの座標値・番号・色・エレメントの番号・色・構成しているノードの番号、材質の形状・物理常数等の情報が書き込まれている。

なお、構成材料の物理常数等は、有限要素法上(CAEDS)での変更が容易であるので、一定値を用いた。

6. OSの変換(MS-DOSからCMS)とコード変換

ユニバーサルファイルを5-5ではMS-DOSフォーマットで作成したが、CAEDSはCMSフォーマットなので、IBMの「VM/CMSファイル転送支援プログラム」を使用し、CMSフォーマットのファイルに変換した。また、文字コードは、MS-DOSがJISでCMSがEBCDICと違うのでEBCDICにコード変換を行い、MS-DOSファイルの各レコード制御コードである復帰・改行コード*3をレコードの区切り文字として認識し、80バイトの固定長(データの無い部分は全てスペースを挿入)のCMSファイルを作成し、復帰・改行コードは削除した。図6-1に、コード変換・レコード処理の例を示す。

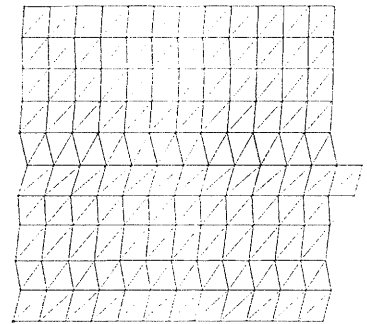


図7-1 メッシュ分割結果

7. メッシュ分割結果

図7-1は、サンプル計測データを用いて、開発したプログラム上でX方向ポイント間引き間隔を8mmと指定してメッシュ分割を行いユニバーサルファイルを作成し、CAEDSで読み込み表示させた結果である。三次元測定機で計測した面が、メッシュ分割され有限要素法における解析モデルとして活用できることが確認できた。

8. むすび

本報告では、曲率の大きい自由曲面形状を三次元測定機で計測し、有限要素解析形状データとする手法が開発できた。残された課題としては、

- ① 測定座標値に対して測定プローブ半径分を面に対して補正すること
- ② Y方向エッジの凸凹を解消(X方向ポイント間引き方法の改良)すること
- ③ メッシュ分割を曲面の曲率に応じた分割サイズとすること

などがある。

謝辞：本研究について御指導いただ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) A.Bowyer J.Woodwark著 外山みさ子訳：プログラマのための幾何学入門、(1985)、啓学出版
- (2) VM/CMS ファイル転送支援プログラム プログラム解説書、(N:SH18-0121-0)、日本アイ・ビー・エム
- (3) CAEDS Base Vserion 3User's Guide Volume 1,(SH50-0014-0),IBM
- (4) 日本語 PC-FORTRAN ユーザーズマニュアル,NEC
- (5) 川崎剛志、萱場義隆：三次元測定機による金型加工用データの生成、(第44回塑性加工講習会、昭63)、日本塑性加工学会

-
- * 1 データは、プローブが1mm移動毎にサンプリングする様指定した
 - * 2 数値データプロセッサ80287使用時
 - * 3 CR LF (コードでは、ODH OAH)

光計測によるプラスチック製品の欠陥検査法の研究（第一報）

—半透明プラスチック製品の空洞欠陥検出方法について—

技術第一科 河村 安太郎、深尾 典久

あらまし：プラスチック製品を接合で作る場合、接着不良や溶着不良による内部欠陥を検査する必要がある。しかし、良い方法がなく、乳白色のプラスチックでは、強い光源を用いて目視で検査している。そこで、この目視検査を自動化するため、自動測定処理システムを作り、光源の種類や投光方法、受光方法などを検討したところ、ある条件下で透過光分布を測定する事により検出できる事がわかり、また、2、3の興味ある現象が出てきたので報告する。

1. まえがき

現在、プラスチック製品は色々な分野で非常に多く使われており、一度に成形できない形状や特殊な金型が要る少量品は、機械加工及び接合して用いている。接合を行う場合、接着不良や溶着不良による内部欠陥等が発生することがあり、重要度によりこれらを検査する必要が生じてくる。

プラスチック製品または部品の内部欠陥の検出方法としては、寸法形状によって超音波探傷なども考えられるが、生産現場でのインライン計測には向きにくい。また、貫通穴欠陥については、高圧放電を用い穴径2～3 μm まで検出出来る装置があるが、貫通していない内部欠陥用の検査機はない。

そして、わずかに光が通る乳白色の板状の薄いプラスチックでは、強い光源を用い、光線の当て具合を絶えず変え、内部欠陥面でわずかに反射するキラリと輝く小さな点を目で追って検査する事も行われている。しかし、目も疲れ長時間出来る仕事ではなく、自動化が待たれている。また、接合部欠陥は小さくかつ薄くて見つけにくい、接合面に沿って発生するため検査位置は特定でき、自動化は比較的容易と考えられる。

今回、上記の様なプラスチック板の内部欠陥について、自動化に対応し易い、光計測の手法を用いた方法を検討したので報告する。

2. 光源の検討

2-1 レーザ光の不適合性について

レーザー光は、単色光で干渉じまが作り易くエネルギー密度も高いため、光を用いた計測や検出によく用いられる。しかし、乳白色プラスチック板（主材質：ポリプロピレン）にレーザ

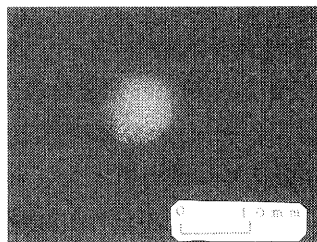


写真1 He-Neレーザ照射時の
スペックルパターン

光を照射したところ、照射面で拡散し、欠陥の有無に関わらず写真1のような照射点の回りにスペckル (SPECKLE) ^①と言われる斑点状に模様が見れる。

これは、拡散面の各点からの乱反射光が不規則な位相関係で網膜上に結像するため、紙・すりガラスにレーザー光を当てても現れる。これはスペckルノイズとも言われ正規の像に重なり、見えにくくする。そして、プラスチック板の裏面にも透過してきた光で、同じ様にスペckル模様 (speckle pattern) ができる。

このため、レーザー光を用いてプラスチック板の内部欠陥を知ることは非常に難しい。なお、見る位置や拡散面の変化によりスペckル模様は変化するため、これを用いて振動・速度や運動軌跡を測定する方法が開発されている。

白色光は、多数の波長を含んでおり、各波長毎のスペckル模様が独立に重なり合っているため、スペckルノイズは現れない。今回は、透過光の特性検討を目的とするため白色光を用いる。

2-2 光透過率波長特性

白色光は紫外・可視・赤外光など波長の異なる多くの光を含んでいる。そこで上記の乳白色プラスチック板は、どの波長が透過し易いか分光光度計を用いて調べた。図1は厚さ3.3mmの上記プラスチック板の光透過率波長特性測定結果である。

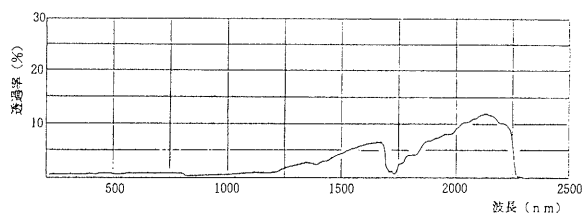


図1 乳白色プラスチック板の透過率波長特性

図1より波長400~700 μm の可視光域では透過率1%以下でほとんど通らない。波長1400~1700 μm の近赤外光域で透過率5%、波長1900~2200 μm で透過率10%である。

このことから、可視光と近赤外光の違いによる影響ができることが考えられる。なお、近赤外光を用いれば、測定周囲環境の外乱光である蛍光灯 (ほとんど可視光域しかない) の光の影響を除くことができる。

3. 実験方法

試料板に光を当てその反対側に透過してくる光の変化状況を把握し、透過光分布が乳白色プラスチック内部欠陥の検出に於ける有効性を調べるため、以下の実験装置を作り、条件を変えて実験を行った。

3-1 欠陥測定対象物 (以下、試験板という)

今回欠陥測定に用いる対象物は、ポリプロピレンを主原料とする2枚の乳白色プラスチック板 (板厚3.3mm) を突合せ状態で熔融圧着して接合したもので、欠陥のある接合部を60mm×150mm角に切り出し試料板として用いた。欠陥は融着面に沿って断続的に出来た小さな気泡で長さ0.2~0.5mm、巾0.1~0.2mmの長球状である。後述する写真3、写真4は、その欠陥部分を拡大した顕微鏡写真である。

3-2 実験装置

図2は実験に使用した測定システムの構成を示す。写真2は測定システムの外観である。光源はハロゲンランプ使用の安定化白色光源（アンリツ特製MG922）を用い、そこから出る光は、光ファイバーを用いて投光部に導き試料板の片面に照射する。

試料板の反対面より出る光の一部を受光部で取り込み、光ファイバーを介して光パワーメータ（アンリツ特製ML910B）に導く構成になっている。

また、測定位置を変え場所による違いを調べるため、測定物は2軸パルス騒動テーブル（中央精機特製パルスステージ）で前後上下方向に移動可能となっている。

なお、測定点数が多くなり手作業では時間がかかるため、GPIBインターフェースを介してパルス駆動テーブル及び光パワーメータをパソコン（PC9801）と接続し、自動測定及びデータ処理システムを構築した。図3に今回実験用に作成した自動測定及びデータ処理プログラムのフローチャートを示す。

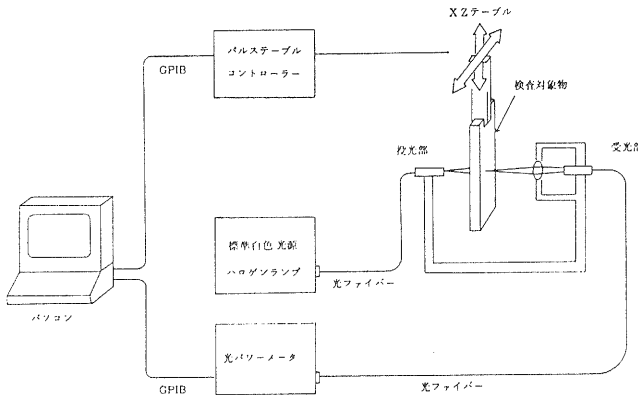


図2 測定実験システムの構成

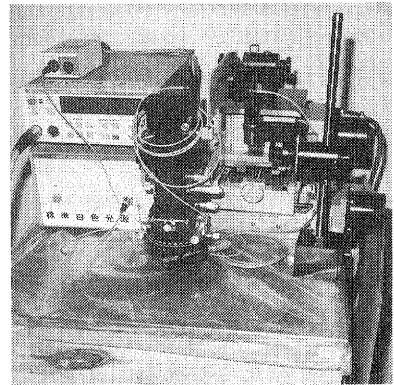


写真2 測定実験システムの外観

3-3 実験条件

1) 光源の種類

光源による影響をみるため、以下の3種類を用いた。

- A) ハロゲンランプの白色光。
- B) A) の光源から波長 $0.8\mu\text{m}$ 以下の光をカットした赤外光。
- C) A) の光源の内、波長 $1.5\mu\text{m}$ 半値巾 $0.075\mu\text{m}$ のバンドパスフィルターを通った赤外単色光。

2) 投光部

光をスポットにして試料板に当てた場合と、面光源として当てた場合により空洞欠陥による透過光分布へ

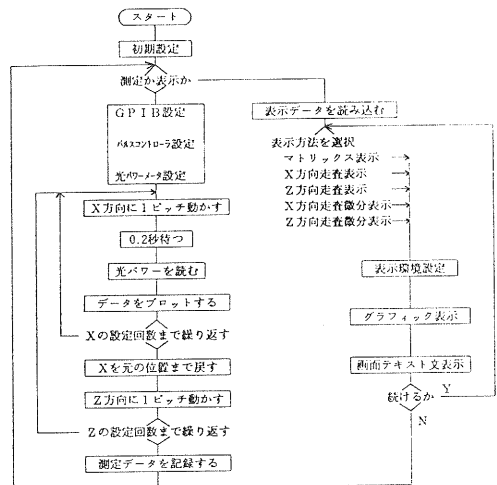


図3 透過光分布自動測定

・データ処理プログラムのフローチャート

の影響を見るため、以下の3種類の投光方法を用いた。

A) コア径 $50\mu\text{m}$ 光ファイバー（実測開口数 $0.18\text{mm}/\text{mm}$ ）を使用。ファイバー先端から試料板面までの距離を 1mm とした。

このときの、試料板表面の照射光径は 0.37mm 、裏面の透過光径は 1.7mm （ともに理論計算）

B) A) のファイバー先端から試料板面までの距離 2mm とした。

このときの、試料板表面の照射光径は 0.74mm 、裏面の透過光径は 2.1mm （ともに理論計算）

C) コア径 $50\mu\text{m}$ の先端レンズ付ファイバー（実測開口数 $0.0115\text{mm}/\text{mm}$ ）を使用。ファイバー先端から試料板面までの距離を 25mm とした。

このときの、試料板表面の照射光径は 0.57mm 、表面の透過光径は 0.66mm （理論計算）

3) 受光部

試料板の裏面から 16mm の所にレンズを設け、さらに 10mm の所に先端レンズ付ファイバー（実測開口数 $0.0115\text{mm}/\text{mm}$ ）を配置した。これにより、試料板の裏面の直径 0.5mm 面から出る光のうち、垂直方向の放射角 0.8° の光成分が光パワー測定用ファイバーに導かれる。

4) 投光・受光軸の関係

投光部の光軸と受光部の光軸は同軸になるように調整した。また、光軸の影響を見るため、受光軸に対し、投光軸を 0.1mm と 0.2mm 及び 0.3mm 左右にずらした実験も行った。

5) 光検出器

光パワーメータは測定波長により光検出器を取り替える必要がある。今回は可視光用と近赤外光用を用いた。

A) 可視光用検出器（アンリツ製MA9801A）測定範囲波長 $0.38\sim 1.15\mu\text{m}$

B) 近赤外光用検出器（アンリツ製MA9301A）測定範囲波長 $0.75\sim 1.7\mu\text{m}$

3-4 実験手順

装置の配置は、投光部と受光部の光軸を水平に対向させて合わせ、その間に試料板を垂直に配置しパルスステージに固定し、試料板の接合欠陥ラインがパルスステージの横移動方向にはほぼ平行になるように調整した。

測定は、最初の位置で透過光を測り、次にパルスステージを作動させ試料板を 0.1mm または 0.2mm 横に動かし、 0.2 秒の安定

時間経過後、透過光を測るという手順で横移動設定回数だけ測定した。次に元の位置に戻し、 0.1mm 上方向に移動後、再度横方向に測定した。これを上方向移動回数だけ行った。

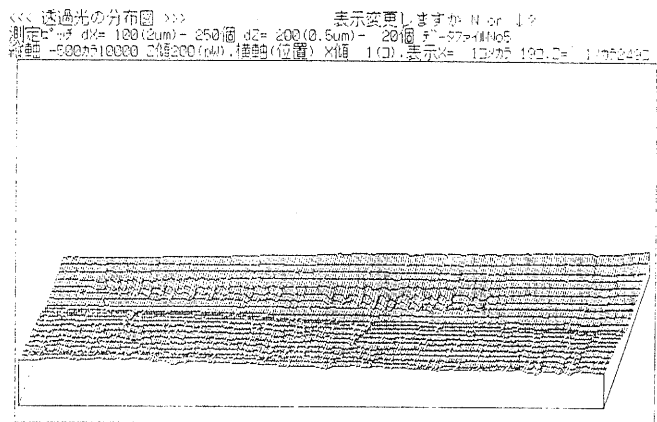


図4 透過光分布（可視光検出器・拡散照射）

4. 実験結果及び考察

4-1 透過光の分布と欠陥

図4は光源として白色光を、投光部として照射光径0.37mm透過光径1.7mmのものを、そして光検出器に可視光用を用いて透過光の光パワー分布を測定し、その結果を横方向位置と縦方向位置及び光パワー量を用い3次元的に表示したものである。図4は、横軸に試料板の接

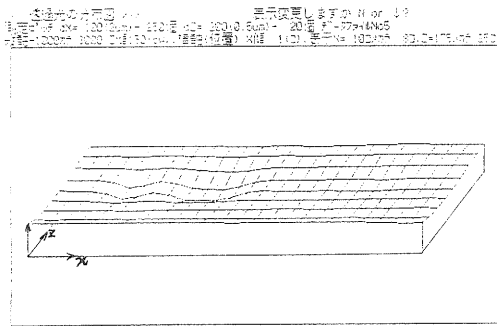


図5 図4の欠陥拡大

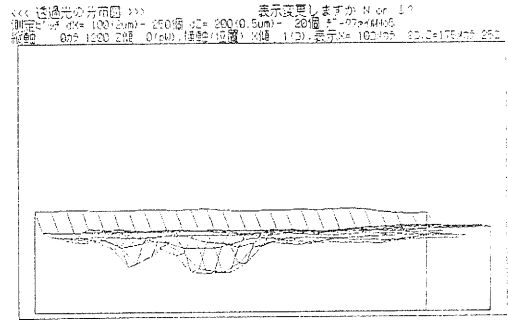


図6 図5の斜軸を横軸に重ねた図

合面方向に0.2mmピッチで250個とり、斜軸に接合面方向と直角に0.1mmピッチで20個とって、縦軸に光パワーをとっている。

図4の斜軸方向の2/3程の所に、欠陥らしき物が横方向に並んでいるのが認められる。実際、この場所は欠陥が直線状に多数観測され、欠陥を写していると考えてよい。すなわち、透過光を測定することによって、内部欠陥が測定可能と言える。

また、図4において欠陥部分の光パワーに比べ、斜軸方向の手前部分の光パワーが2倍程になっている。これは、接合面部分の再溶融により結晶の配列が変わったためか、接合部は他の部分に比べて光が通り難くなっている。これは目視でも観測される。

図5は図4の横軸方向の175個目から25個、斜軸方向の10個目から8個の部分拡大して表示したものである。左側に小さな欠陥が、中央よりに大きな欠陥があることがわかる。

また、図6は図5と同じ範囲を光パワーのレベルを合わせる為斜軸を横軸と重ねて表示したものである。光パワーの差がはっきり示され、欠陥部の光パワーは欠陥の無い所の6割程に落ちているのがわかる。すなわち、欠陥検出の精度は高いと思われる。

4-2 近赤外光を用いた場合

図7は、図4と同じ場所にお

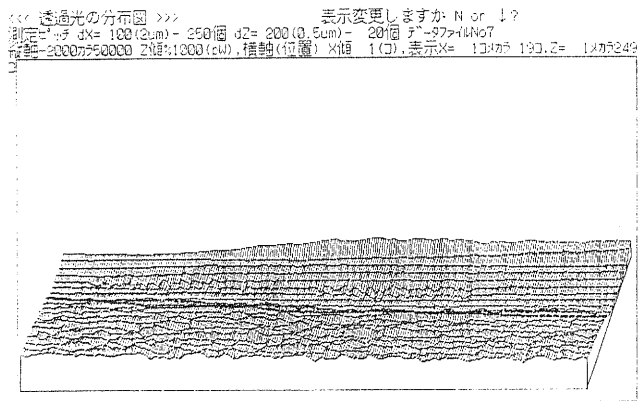


図7 透過光分布 (赤外光検出器・拡散照射)

いて光源を白色光から赤外光に、光検出器を可視光用から近赤外光用に変えて測定したものである。斜軸方向の手前部分は、欠陥部分の光パワーを基準値としたときの光パワー比が図4の場合に比べ4倍ほど大きく、また光パワーの変動も図4に比べ大きい。この現象は、近赤外光を用いると出てくる訳であるが、図1に示した透過率と関係しているかも知れない。今後検討していきたい。

図8は、図7の拡大図で図5と同じ場所である。また図9は、図6と同じく図8の斜軸を横軸に重ねて表示したものである。図9の欠陥部は、図6と同じように他の部分と比べて6割位のレベルである。また、図7と同様、図8、図9においても、欠陥の無い所の光パワーの変動が図5、図6に比べ大きい事が見いだされる。

図10は、図4の横軸方向の50個目から50個、斜軸方向の10個目から8個を拡大したもので、図11は、図7の同じ所を拡大したものである。

図10と図11を比較すると、図11の方が変化が大きい事が判る。また、連続測定の方は左から右に行われているが、図10では欠陥部測定直後の光パワーがオーバーシュートした様に、他の部分より飛び抜けて大きくなっている。

4-3 測定ピッチを小さくした場合

図12は、図5と同じ所を投光部を照射光径を0.74mm透過光径を2.1mmに大きくし、光検出器を近赤外用に変え、かつ横方向のサンプリングピッチを半分小さくして測定したものである。図13は図12の斜軸を横軸に重ねて表示したものである。

ピッチを小さくした分だけ欠陥がきれいに出ている。中程の大きな欠陥は実は2個

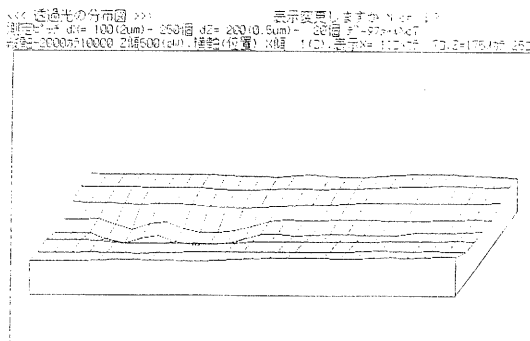


図8 図7の欠陥部拡大

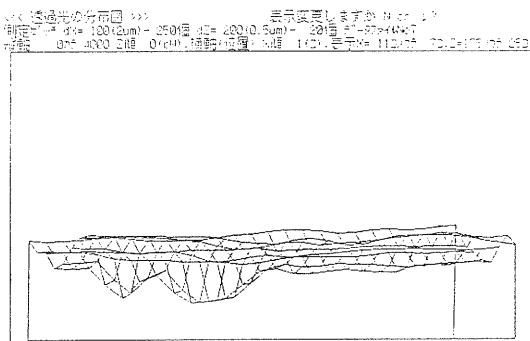


図9 図8の斜軸を横軸に重ねた図

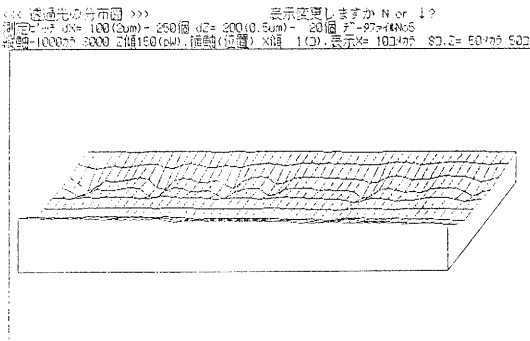


図10 図4の別の欠陥部の拡大図

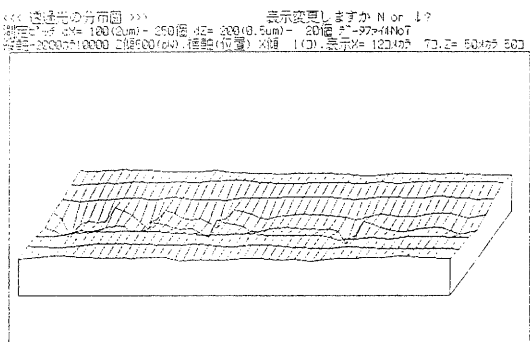


図11 図7の図10と同部位の拡大図

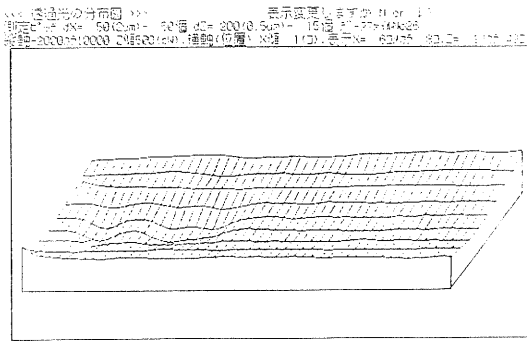


図12 透過光分布（赤外用検出器、拡散照射）

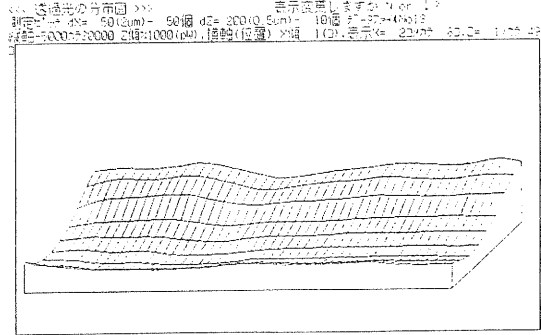


図14 透過光分布（赤外光検出器、細い平行光）

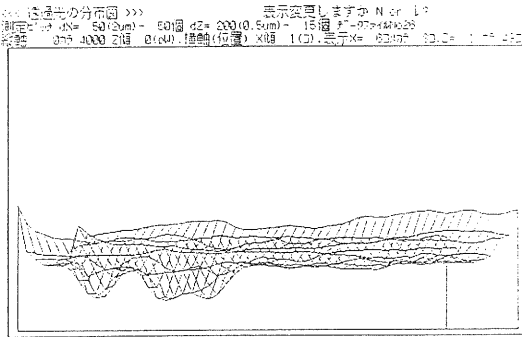


図13 図12の斜軸を横軸に重ねた図

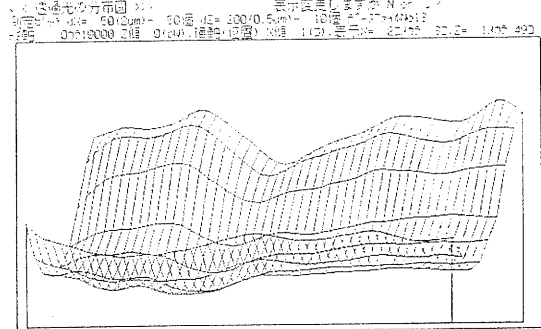


図15 図14の斜軸を横軸に重ねた図

の欠陥であることが判る。

4-4 投光方法による違い

図14は、図5と同じ所を投光部を照射口径0.57mm、透過口径0.66mmと細い平行光に変え、光検出器を近赤外用に変えて、横方向のサンプリングピッチを半分にして測定したものである。図15は、図14の斜軸を横軸に重ねたものである。

図5、図6や図10、図11と比較すると、図14、図15において欠陥のある場所の付近に緩やかな変化はあるものの、欠陥部を特定するような顕著な変化は認められない。これは、投光部の光線を細い平行光に絞ったためと思われる。これがどう影響しているか、今後検討していきたい。

なお、図14と同じ条件で投光部の光軸を、受光部の光軸から0.1mmまたは0.2mm左右にずらしたが、欠陥部を特定する顕著な光パワーの変化は認められなかった。

4-5 試料板欠陥部の顕微鏡写真

写真3は、試料板の投光側の面に白色光を当て、受光側より写した透過型顕微鏡写真である。また、写真4は、試料板をひっくり返して、投光側から写した透過型顕微鏡写真である。また、大きさは写真3、写真4の黒枠の横内寸が実物の2.3mm、縦内寸が1.6mmに対応している。

実際の内部欠陥は、試料板の板厚3.3mm部の投光側表面近くにある。そのためか、写真3の受光側から写した写真には、わずかに痕跡らしきものが認められるだけである。しかし、写真4の投光側から写した写真には、大きな（いままで透過光分布測定で検出してきたのと同

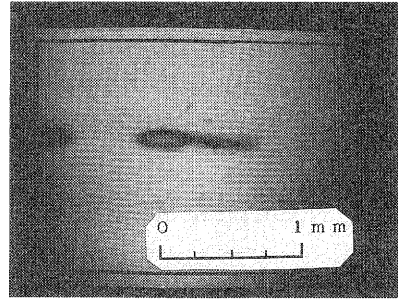
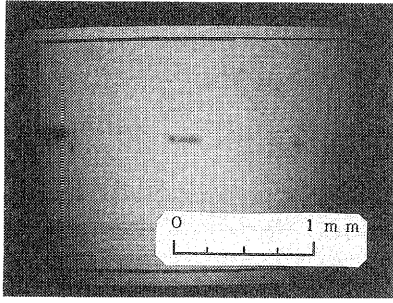


写真3 試料板受光側面の透過型顕微鏡写真 写真4 試料板の投光側面の透過型顕微鏡写真
じ大きさの) 欠陥が写っている。すなわち、目視または顕微鏡観察では裏側にある欠陥はほとんど見えないといえる。

しかし、表面近くに欠陥のない試料板の受光側から受光した図5、図8、図13に示す透過光分布測定結果と写真4を比較すると、ほぼ同じ所にほぼ同じ大きさで欠陥が認められる。すなわち、目視では見えない欠陥も透過光分布では見えた事になる。これらより、今回用いた方法は、反対側の欠陥も含めた検出が可能な方法であると言えよう。

5. むすび

今回の実験でわかったことは次の通りである。

- 1) 透過光を測定することによって、内部欠陥が測定可能と言える。
- 2) 欠陥部の光パワーは欠陥の無い所の6割程に落ちており、欠陥検出の精度は高いと考える。
- 3) 小径の平行光を光源に用いた場合、透過光分布では欠陥判別ができない。しかし、同じ光量でも光線を広げて用いると、欠陥が判別出来る。
- 4) 目視では見えない裏側の欠陥を透過光分布を用いて判別することが出来た。

今後、波長透過率と透過光分布の関係や平行スポット光と拡散光の違い等について検討を進め、欠陥検出方法を確立するとともに、簡易型の自動検出装置を開発していきたい。

謝 辞：本研究について御指導いただ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) 田幸敏治：光学的測定ハンドブック 朝倉書店 P234-246

電子機器の電磁環境評価法の研究（第一報）

—電子機器のノイズ耐性評価の実験—

技術第一科 木村昌彦

あらまし：電子機器が外来ノイズにより、誤動作したり、内部素子が破壊されたりすることがあるが、では、どのぐらいのレベルまで耐えなければならないのか。現在、日本では一部自動車用機器や放送受信機等、個別の装置ごとの規格を除いて、このイミュニティー（耐性）に関しては、公的な規格に定められておらず、各機器メーカーが独自に決めているのが現状である。

そこで、今回ノイズがどのように発生し、どういう経路をたどって被害機器に到達するのかを明確にして、外来ノイズを伝導性と放射性の両面から考えて、具体的に、電子機器がどれぐらいのノイズレベルで誤動作するのか、各種ノイズシミュレーターによって実験を行ったので、その結果を報告する。

1. まえがき

電気・電子機器が小型化、高機能化され、工場の製造ラインだけでなく、オフィスや家庭にも多く入ってきており、生産活動や日常生活がたいへん便利になった。その反面、半導体素子の集積度が上がって、デジタル化が進むにつれ、いままで問題にならなかったレベルの電磁ノイズで機器が誤動作するという弊害が出ており、社会問題にまでなっている。

そのため、国際組織であるIEC（国際電気標準会議）の下部組織にあたるCISPR（国際無線障害特別委員会）の勧告を受けて、日本でも昭和60年12月にVCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）が設立され、翌61年6月から暫定基準による自主規制がスタートした。そしてこの経過措置も平成元年12月で終わり、情報処理装置や電子事務用機器などのメーカーは正規の許容値に適合させなければならなくなった。

電磁ノイズを出さない、すなわち他に影響を与えない、また他から影響をうけない、これをEMC（Electromagnetic Compatibility電磁環境適合性）といい、今盛んに使われる言葉である。ノイズを出さないのと受けないのとは、表裏一体の関係にあり、どちらかの対策を施せば、他方のそれも同時に行っていることになる。

ノイズ対策を行うには、まずノイズがどのように発生し、どういう経路をたどって伝わって行くのか知る必要がある。ここでは、ノイズとはどのようなものなのかを探り、各種ノイズが市販の電子機器にどのような影響を与えるのか調べた。

2. ノイズの発生

2-1 ノイズの種類

電磁ノイズは、図1に示すように、大別して伝導性ノイズと放射性ノイズに分けられる。

2-2 ノイズの伝搬

電源線、信号線、アース線などの伝送線路を伝搬する伝導性ノイズと、空間を直接伝搬する放射性ノイズとがあるが、これらは、常に独立して存在するのではなく、伝搬の途中では相互に形をかえて伝わっていくこともある。

すなわち、空中を飛んで来たノイズが、信号線等を経由して機器内に入り込み、中の回路に影響を与えたり、また逆に、電源線等から空中に飛び出して他の機器に直接飛び込むという経路をとるのである。

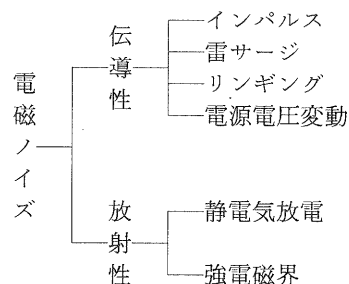


図 1

2-3 ノイズ源

ノイズ源としては次のようなものが考えられる。

家庭内 : 電気冷蔵庫、ヘアドライヤー、電子レンジ、パソコン、蛍光灯、トランシーバ

工場内 : 放電加工機、溶接機、高周波ウェルダ、インバータ、サイリスタ応用機器
このように、数え挙げればきりが無いほど多く存在している。すなわち、モーターを使っているもの、放電を応用しているもの、高周波を使っているもの、高速でスイッチングするもの等すべてノイズ源となるのである。

2-4 ノイズの発生

ノイズの発生は、一口でいえば「電流 i や電圧 v が変化する部分」、すなわち di/dt や dv/dt のある部分で起こると言うことができる。

一つの例としてスイッチを考えてみる。電気回路には必ずインダクタンス成分が存在するがスイッチにより開閉が行なわれる際、 di/dt が大きく、大きな逆過渡電圧、いわゆるインダクティブキックが発生し、その電圧は回路電圧の数百倍に達することがある。このようなスパイク電圧（インパルス）は、スイッチそのものに損傷を与えたり、半導体回路を破壊するほか、周囲に電磁ノイズを放射し、これが回路に誘導して機器の誤動作を発生させる。また同時に、スイッチの開閉の際、接点から火花が出ることがあるが、これは電気放電であり、この放電は、接点が閉じようとして間隔が小さくなるときと、閉じた状態から開こうとして、接点間に間隔が生じた場合の両方で発生する。ただしこの現象は、接点を開く時に強く現われ、この時の放電現象をシャワーリングアークと呼んでいる。

これまで述べてきたのは、おもにノイズが機器の内部で発生し、他に影響を与えるというものであったが、逆に外部で発生し、機器の内部に入り込むノイズもある。その代表的なものが静電気ノイズである。これは、物体（人体、原料や材料、その他静電気が帯電する物質すべて）に帯電した静電気が、相手側の機器に放電することによって発生する高周波ノイズ

が原因となるものである。静電気の帯電電圧は、温度や湿度のような周囲の環境条件、接触する物体、着衣の材質および床材や敷物の種類などによって大きく変化する。

3. 実験方法と試験機

下記の実験を、供試品に電子天秤とデジタル電圧計を使って行った。これらは、広く使われており、ノイズの影響が確認しやすいもので、J I S等の規格が参照できることから選んだ。

3-1 高周波ノイズ耐性

3-1-1 試験方法

高周波ノイズシミュレータを使い、供試品の電源ラインに、コモンモードとノーマルモードのノイズをパルス幅を変えて注入し、電圧を徐々に上げていって誤動作または異常を生じる電圧を調べた。なおパルスを注入する位相も変えて行った。

試験条件 : 電圧 0 ~ 2000V , パルス幅 50nsec ~ 1 μ sec
極性 正極性 , 注入位相 0° , 90°
伝搬モード コモンモードおよびノーマルモード

3-1-2 試験機仕様

出力パルス電圧 : 方形波 0 ~ 2000V
出力パルス幅 : 50nsec ~ 1 μ sec (50nsecステップ可変)
パルス立上り時間 : 1 nsec \pm 10%
パルス繰返し周期 : a) 商用交流電源同期 50/60Hz
b) 自動トリガ 約30Hz ~ 100Hz 可変
c) 外部トリガ 0 ~ 100Hz TTLレベル
d) 手動トリガ 押しボタンスイッチ
パルス極性 : 正極性または負極性
パルス注入位相角 : 商用交流電源50/60Hzに対し 0 ~ 360° 連続可変

3-2 雷サージ耐性

3-2-1 試験方法

雷サージ発生器を使い、供試品への供給電源に、コモンモードおよびノーマルモードでサージを重畳させて注入し、サージ電圧を上げていった時、異常が起こる電圧を調べた。

試験条件 : 電圧 1 ~ 12kV , サージ電圧波形 1.2/50 μ sec
極性 正極性 , 伝搬モード コモンモードおよびノーマルモード

3-2-2 試験機仕様

発生電圧 : 1 ~ 12kV
サージ電圧波形 : 1.2/50 μ sec
サージ極性 : 正極性または負極性
トリガモード : a) 自動トリガ20 ~ 60sec自動繰返し
b) 手動トリガ

3-3 電源電圧異常耐性

3-3-1 試験方法

供試品に供給する電源電圧を、サイクルサグシミュレータにて瞬時低下および瞬時停電させ、どれくらいのサグサイクル数で異常を来すか調べた。

試験条件 : サグ量 10, 20, 30, 40, 60, 100%
サグサイクル数 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
サグ開始位相角 0, 90°

3-3-2 試験機仕様

電圧サグ量 : 0~70%連続可変または100%
サグ時間 : 0~128サイクル ($\pi/16$ radステップ)
サグインターバル : 約1~10sec連続可変
外部トリガ入力 : TTL負論理

3-4 静電気放電耐性

3-4-1 試験方法

供試品の筐体がプラスチックでできているので、これをグランドプレーンの上に置き、まず筐体の周囲12ヶ所で、端から10cm離れたところに静電気シミュレータで放電させ、最弱点の位置を見つける。そしてその位置に10回ずつ放電させ、異常を起こす回数を調べる。電圧を上げていきこの操作を繰り返す。

試験条件 : 試験電圧 1~30kV , 極性 正極性
放電抵抗 150 Ω , 人体等価容量 150pF

3-4-2 試験機仕様

最大放電電圧 : 30kV
極性 : 正極性または負極性
放電抵抗 : 100, 150, 200, 300, 500 Ω , 1, 1.5, 2, 5, 10K Ω
人体等価容量 : 100, 150, 250, 300, 350, 400, 500pF

3-5 放射妨害波耐性

3-5-1 試験方法

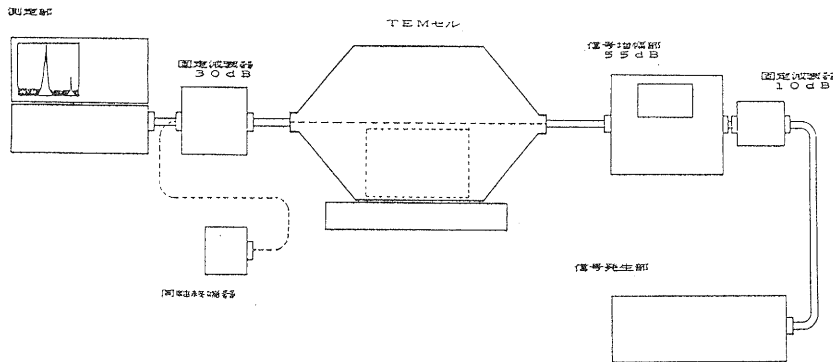


図2 放射妨害波耐性試験機器構成図

TEMセル (Transverse Electromagnetic Cell) を使い、この中に供試品を入れて、強電界を浴びせてその挙動を見る。試験は図2の構成で行った。

試験条件 : 電界強度 最大170V/m , 放射周波数 1,5,10,50,100,150MHz

3-5-2 試験機仕様

TEMセル

- ・周波数範囲 : 150kHz~150MHz
- ・最大電界強度 : 170V/m
- ・電圧定在波比 : 1.5以下
- 電力増幅器 : 55dB (最大100W)

4. 結果および考察

試験によって供試品の挙動が異なるため、それぞれの試験において異常とする状態を決め、それに基づいて実験を行った。

4-1 高周波ノイズ耐性

実験においては、電子天秤、デジタル電圧計共、表示値がふらついて定まらなくなった時点を誤動作とした。

図3は試験結果をグラフにしたもので、パルス幅を50、100、500、1000ns (1 μ s) と変化させて注入した。コモンモードでは、電子天秤はパルス幅が広がるほどノイズマージンが低下する傾向を示したが、デジタル電圧計はほとんど変わらずか、逆にやや上昇する傾向を示した。また、ノーマルモードでは、電子天秤は、500nsでノイズマージンが著しく低下した。これは、マイコンを内蔵して演算処理をしているが、これが影響を受けたのではないと思われる。デジタル電圧計は大きな影響はなかった。

また、高周波パルス電源波形に注入する位相を、0 $^{\circ}$ 、90 $^{\circ}$ 、270 $^{\circ}$ と変えていったが、特に有意差は認められなかった。

なお、写真1~3は、無負荷に

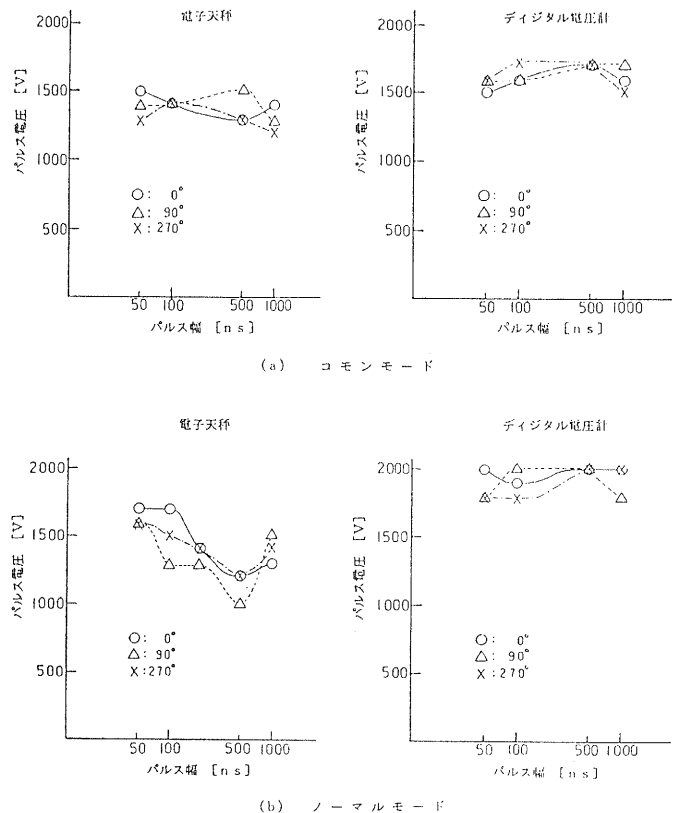
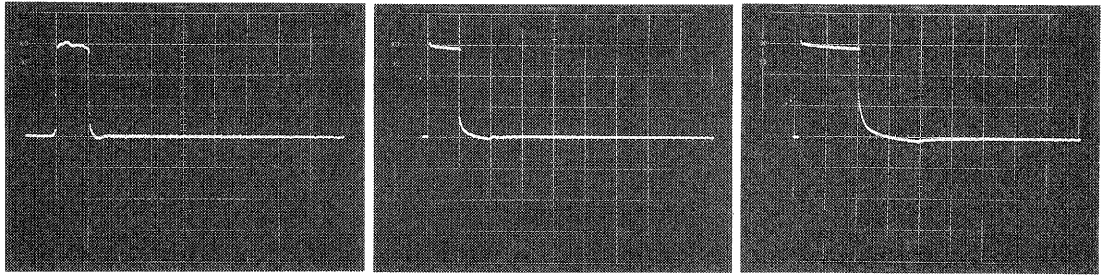


図3 高周波ノイズ耐性



(横軸50ns/div, 縦軸200V/div) (横軸0.5μs/div, 縦軸200V/div) (横軸0.5μs/div, 縦軸200V/div)

写真1 パルス幅50ns波形写真 写真2 パルス幅500ns波形写真 写真3 パルス幅1μs波形写真

おける発生パルスの波形である。

4-2 雷サージ耐性

結果を表1に示す。

電子天秤は、コモンモードでは6kVから、表示数値の後につく「g」の表示が、印加の瞬間消えて、またすぐ点灯するという現象を起こし、11、12kVでは表示値が一瞬ふらつくが、測定に支障がでるものではなかった。ノーマルモードにおいても、7kVで「g」の表示が一瞬点滅し、さらに1kV上げると、ACアダプタのコンセント端子部（金具）で放電した。本体には異常がなかったが、この端子間で放電してしまうため、8kVで試験は打ち切った。

また、デジタル電圧計の方は、コモンモードにおいて、9kVまで異常なく動作したが、10kVで電源回路内部が破壊した。

この雷サージは、自然界の雷をシミュレートしたものであるが、送配電の末端である一般の電子機器に来る雷サージの影響としては、数kVから数10kV程度と言われている。

写真4は、試験に使った雷サージシミュレータの発生電圧波形である。

4-3 電源電圧異常耐性

結果を表2に示す。

この試験における誤動作の傾向としては、当然であるがサグ量が多いほど、かつサグサイクルが長いほど、顕著に現われてきている。

電子天秤は、サグ量40%までは、電圧が低下している（横軸10μs/div, 縦軸1kV/div）間表示が消えるだけで、電圧が復帰すれば、表示も元に

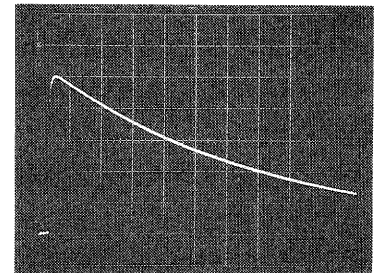


写真4 雷サージ発生電圧波形写真

	印加電圧 (kV)	電子天秤	デジタル電圧計	
コモンモード	1	○	○	
	3	○	○	
	5	○	○	
	6	gの表示一瞬点滅	○	
	7	"	○	
	8	"	○	
	9	"	○	
	10	"	電源部破壊	
	11	表示値一瞬ふらつく		
	12	"		
	ノーマルモード	1	○	
		3	○	
5		○		
6		○		
7		gの表示一瞬点滅		
8		※(注)		
9				
10				
11				
12				

(注) ※ ACアダプタのコンセント端子部で放電 [本体異常なし]

表1 雷サージ耐性

戻り、計測値も正常値を表示する。しかし、サグ量60%になると、サグサイクル16サイクルからは機能が停止してしまっていて、電圧が正常値に復帰しても、表示は出ず、操作ボタンは何も受けつけなくなった。ここで、電源スイッチを一旦offして、再度onしてやると、正常に動作した。次に、サグ量を100%、すなわち瞬時停電を起こすと、32サイクル（約0.5秒間）からは、測定回路はリセットされ、電源onした時と同じ状態になった。

サグ量60%で供試品がダウンしたのは、正常に戻れるだけの電圧低下ではなく、また、リセットが働くほどの瞬停でもないため、内蔵のマイコンが暴走してしまい、ハングアップしたためと考えられる。

デジタル電圧計においても、電子天秤と似た傾向であるが、ハングアップすることはなく、サグ量60%以上で、なおかつ、約2秒間の電圧低下あるいは瞬停が起これないと、リセットするところまではいかなかった。

4-4 静電気放電耐性

供試品の周囲に放電させ、10回の放電中何回表示がふらつくかをカウントしエラー率として求めた。その結果を図4に示す。

電子天秤では、15kVでエラー0であったものが23kV以上では100%エラーとなってしまった。またデジタル電圧計では、20kVまでエラーなしで、30kVまで上げててもエラー率は50~60%であった。

この試験は間接放電で行ったが、放電と機器の位置あるいは向きにより、その機器に

大きな影響を与えることがわかる。この放電は数10ns程度のパルス幅をもつので、デジタル機器にとっては特に注意を要するものである。

この静電気の帯電を身の回りでみてみると、相対湿度15~36%の時、じゅうたん上を歩く人で平均12kV程度、最高39kVに帯電し、衣類の摩擦では、下着、作業衣共化繊だと、19.2kVに帯電したという測定例がある。

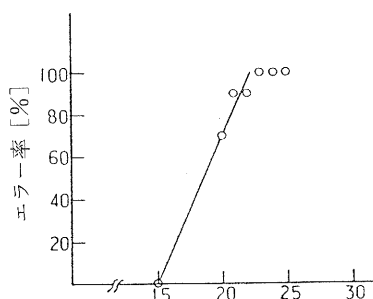
電子天秤	サグ量(%)	0°						90°						
		10	20	30	40	60	100	10	20	30	40	60	100	
1	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	16	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	×	×	○
32	32	○	○	○	▲	×	R	○	○	○	▲	×	R	○
64	64	○	○	▲	▲	×	R	○	○	▲	▲	×	R	○
128	128	○	○	▲	▲	×	R	○	○	▲	▲	×	R	○

○:異常なし ▲:表示点滅
×:ダウン(再始動しない)
R:リセット(電源投入時の状態になる)

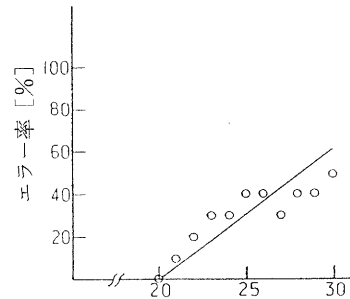
デジタル電圧計	サグ量(%)	0°						90°						
		10	20	30	40	60	100	10	20	30	40	60	100	
1	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
32	32	○	○	□	□	□	□	○	○	□	□	□	□	□
64	64	○	□	▲	▲	▲	R	○	○	□	▲	▲	▲	▲
128	128	○	□	▲	※	R	R	○	○	□	※	R	R	○

○:異常なし □:表示バラッキ
▲:表示バラッキ及び表示の色薄くなる
※:表示がサグサイクルの間消える
R:リセット(電源投入時の状態になる)

表2 電源電圧異常耐性



(a) 電子天秤



(b) デジタル電圧計

図4 静電気放電耐性

4-5 放射妨害波耐性

この試験は、供試品を強電界下にさらしてその耐性を見るものであるが、今回は、誤動作レベルと同時に、供試品を電池騒動（バッテリーは本体に内蔵）およびAC駆動（TEMセル内コンセントより電源コードにて供試品に接続）にした場合の違いについても調べた。その結果を図5に示す。

なおこのグラフは、両供試品とも、試験前（印加前）の表示値から5%ずれた値を表示した時の電界強度を表している。

図5中、※印を付しているものは、アンプの出力が最大になるため、そこまでしか上げていないことを示す。ここで、値にばらつきがあるのは、

TEMセルの周波数特性によるものと、信号発生器が1dB刻みでしか調整できないことによるものである。

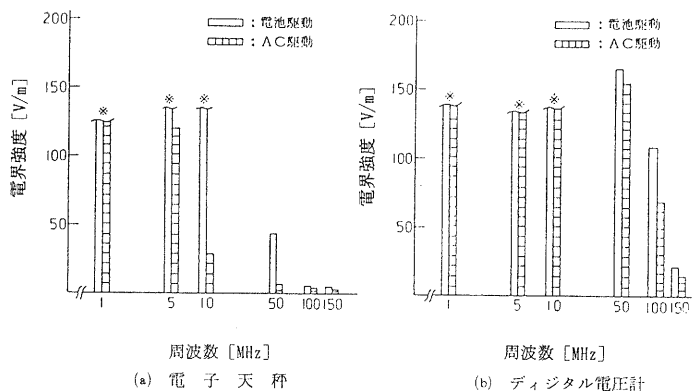
各々の周波数で、電界強度を徐々に上げていくと、それともなって誤差も少しずつ増えていくのであるが、周波数が高いほど、その変化は速い。電池騒動とAC駆動を比較すると、電子天秤は、10MHzにおいて、電池駆動では134V/mでも異常がなかったのに対し、AC駆動では29V/mで誤差大となってしまった。そして、50MHz以上では、AC駆動の場合、数V/mで5%エラーを越えてしまっている。

一方、デジタル電圧計は、50MHzにおいても、どちらの駆動電源とも160V/mぐらいまで、異常なく動作した。そして、100MHz、150MHzと上げていくと、やはり耐電界強度は低下していったが、その下がり方は、電子天秤ほど急激ではなかった。

ここで言うAC駆動とは、TEMセル内のコンセントから、ACアダプタにより供試品に電源を供給するもので、その電源線もセル内にあり強電界にさらされている。このため、耐電界強度は電池駆動と比較して低い値となっている。

電界強度を上げていくと、エラーも大きくなっていき、さらに上げると正常な表示ができなくなり、ついには誤動作（暴走）を起こしてしまう。電子天秤では、電池駆動で10MHzまでは誤動作しないが、50MHzでは125V/mで表示が-（マイナス）になってしまった。そして、100MHzだと34V/mで、表示管にでたらめな数値が点滅し暴走した。150MHzでは37V/mで暴走した。一方デジタル電圧計では、150MHzで初めて暴走し、その値は76V/mであった。このときの症状は、液晶表示が薄くなり数値が読めなくなるというものであった。ただし両供試品とも、電界強度を下げればもとの正常表示に復帰した。

なお、電界強度の目安としては、約3km離れたところにあるラジオまたはテレビ局のレベ



(a) 電子天秤

(b) デジタル電圧計

(注) ※アンプの出力の上限

図5 放射妨害波耐性

ルを1V/m、1m以内に接近しないトランシーバのレベルを3V/m、ごく近傍にある高出力トランシーバのレベルを10V/mとして、IEC規格では厳しきレベルを決めている。

5. むすび

今回は実験を通して主に電子機器のノイズに対するイミュニティー（耐性）をみてきた。一口に電子機器といってもその種類は無数にあり、この実験だけでは全てを尽くせないが、ある程度の傾向は得られたと思う。それぞれの機器には個性があり、どの種類のノイズに弱いかは一概に言えないが、それぞれ弱いところを持っており、作る場合も使う場合もそれを充分把握しておく必要がある。

この実験では、供試品に計測器を使ったので、暴走しても表示がおかしくなる程度であるが、これがロボットや工作機械、あるいは医療機器だと人命に関わる問題であり、慎重に対応しなければならない。

ここではイミュニティー試験を中心に行ってきたが、では如何にしてノイズ耐性を上げるか、これが次の問題として出てくる。すなわち、どういうノイズ防止対策を施すか、その評価をどう行うか、これを次回の研究課題としたい。

[参考文献]

- (1) IEC Publication 801
- (2) JIS C 1003-1976
- (3) 関 康雄 他：“ノイズ対策最新技術”、総合技術出版（1986）
- (4) 仁田周一：“電子機器のノイズ対策法”、オーム社（1986）

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（第三報）

—超音波探傷記録装置の欠陥検出性能の実験—

技術第二科 井 上 栄 一

あらまし：複合材料や機械構造物の開発において、材料の品質評価は開発、製作自体と並んで極めて重要な問題であるため、昭和63年度に当所では超音波探傷した結果をコンピュータで画像処理し、材料内部の欠陥を観察できる装置を導入した。そこで技術相談、指導などで適切に対応するために、本装置の基礎的なデータの蓄積を行った。はじめに、3種の探触子のビームの特徴を把握し、次に欠陥モデルとして8つの異なる径のタングステン線を樹脂中に封入したものを製作し、各探触子による焦点合わせ、ピッチの大きさおよび走査速度の違いによる実験を行った。この結果、本装置の材料評価への適用性について重要ないくつかの知見を得た。

1. まえがき

超音波探傷装置は、音響検査のひとつとして発達してきたが、最近、新素材の品質評価の手法としての有効性が明らかになってきている¹⁾。

超音波は、固体中を伝播し、音響インピーダンスの異なる材料間で、反射するという性質を持っている。この性質を利用した検査法が、パルス反射法といわれるものであり、均一な部材中に異物（異なるインピーダンスを持つもの）があればブラウン管上に反射エコーとして表示される。そして、この位置と、反射波の強度を記録することで欠陥の大きさと位置、また時間軸から深さについての情報を視覚的に得ることができる。しかし、実際の測定では測定装置や探触子の性能、走査速度等などの条件が複雑に絡み合い、正確な欠陥像を得ることは容易ではない。

そこで、当所の装置の基本的な性能を熟知するために、まず小さな球により各探触子のビーム特性を調べ、次に、異なる直径を有するタングステン線を樹脂中に埋め込んだものを欠陥モデルとし、超音波探傷時の焦点合わせ、ピッチならびに走査速度が欠陥像へ及ぼす影響について検討したので報告する。

2. 実験および実験方法

2-1 超音波探傷システム

超音波探傷システムの概略を図1に、また使用した探触子を表1に示す。本システムは測定範囲400mm×300mm×200mmの全没水浸型の自動探傷装置システムで超音波探傷器に日本クラフトクレーマ社製のUSIP-12Tを使用した。記録装置は川鉄アドバンテック(株)製KUSS-120Tで、PC9801RX4によって探触子の位置決めとその時の位置情報および探傷

波形を処理しリアルタイムでCスコープ像が観察できる。また走査終了後任意の位置のAスコープ波形を探傷器のCRTで確認することができ、ハードディスクにエコー高さおよびビーム路程のデータを保存し、そのデータを元にBスコープやSTスコープの表示も可能となっている。

2-2 ビーム特性試験⁽²⁾

ビーム特性試験に使用した試験体およびその表面反射像を図2に示す。硬球はブリネル試験用のもの(直径5mm)を用いた。実験はX-Y走査により得られた表面反射波像から球の中心を求めその中心を通る様にY-Z走査を行いビームの位置と反射強度についての像を撮り、マニュアル走査により各点の位置を求めた。反射強度についてはAスコープから値を得た。なお、走査速度については図2のような25mm/secで歪が生じたので5mm/secで行い、装置の記録装置容量の関係でZ軸の走査ピッチを0.05mmとした。焦点距離の測定に際しては送信波と硬球からの表面反射波の時間をオシロスコープにより測定し同時に表面反射波の幅も測定した。

2-3 欠陥モデルの検出実験

試験片は樹脂の中にタングステン線を垂直に埋め込んで一段硬化させてから断面研磨し、再び上面を樹脂で封入したものを用いた。タングステン線の平均径とその位置を表2に示す。なお、径の測定はオムニコンの画像解析装置を、また位置の測定は万能投影機を使用した。実験は(1)焦点の位置を変えた場合(2)走査ピッチを変えた場合(3)走査速度を変えた場合の3つについて行った。感度調整は番号1の欠陥(2.03mm径)での最大エコー高さを探傷器のCRT上で100%として行った。

3. 実験結果および考察

3-1 ビーム特性実験

25MHz、10MHzおよび5MHz探触子について行ったY-Z像を図3に示す。図からも明らかのように周波数が高い程ビーム有効径が小さくなっており、焦点範囲も小さくなっている。本装置で用いた探触子は何れも点焦点型であるため、一番強い中央の感度を1とした時、感度が1/2となる位置(-6dB)をビーム有効径とすると、図のように硬球面の中心から探触子を移動させた距離から各探触子のビーム有効径は、25MHzで0.47mm、10MHzで1.35mm、5MHzで2.03mmと読み取れた。次に焦点範囲も同様に考えると、25MHzで4.65mm、10MHzで14.25mm、5MHzで20.55mm焦点がずれると感度が1/2になってしまい、厚い材料については焦点の合せ方があまいと、求めたい部分からの反射波形の強度が測定に必要な大きさにならないおそれがあると考えられる。また、表面反射波の幅が25MHzのもので約400nsecあった。これは、炭素複合材料の音速を3km/secと考えると厚さでおよそ0.6mmの伝播時間あたり表面からその間の測定が難しく、積層材料の層間毎の観察像をとる時⁽³⁾⁽⁴⁾などに影響があると考えられる。なお実測した焦点距離は表1のようになった。

3-2 欠陥モデルの検出実験

(1) 焦点の位置と超音波像の関係

焦点の位置を変えた場合の像を図4と図5に示す。図5は番号3の欠陥モデル(1.23mm

径)を狭い範囲で細かく測定したものである。何れの場合も、樹脂面に焦点を合わせたものよりも、欠陥面に焦点を合わせた方が欠陥面の反射強度が強かった。また、焦点部位と検出限界との関係では、表面に焦点を合せたものでは、焦点を欠陥部分に合せた場合に検出できた番号6の欠陥(0.29mm径)が判別できなかった。その原因としては、感度調整を番号1の欠陥に対する最大エコー高さを100%としたために送信出力が大きくなり、装置自体のノイズと2段硬化時に生じた試験体内部の僅かな歪を欠陥エコーとして受信したためと考えられる。また、超音波像と光学顕微鏡像(写真1)を比較すると、焦点を樹脂表面に合わせた場合とよく一致した。これは、欠陥面に焦点を合わせた場合には面の傾きや界面の影響ができるため光学像と一致しないのに対して、樹脂面に焦点が合わされるとそれらが平均化されたためと考えられる。

(2) 走査ピッチと超音波像の関係

走査ピッチを変えた場合の結果を図6と図7に示す。一般的に、ピッチは得られる像の分解能に影響すると言われている⁵⁾。実験結果でも、ピッチを大きくとるとつれ輪郭が曖昧になる様子が表わされる。検出できた欠陥径とピッチの関係を図8に示す。0.5mmで検出できた番号4の欠陥(0.66mm径)が1.0mmピッチの時に検出できなくなり、1.99mmピッチにすると番号2の0.79mm径の欠陥までが検出不能となっている。ピッチよりも小さい径の欠陥が検出できているのは、ビームが広がっているためと考えられる。図7は狭い範囲で細かく測定したものである。ピッチが大きくなるに従い輪郭の凸凹が目だつようになる。測定ではX軸がインデックスとなっているため測定時のY軸駆動進行方向の違いによって凸凹が起こっている。

(3) 走査速度と超音波像の関係

走査速度を変えた場合の結果を図9と図10に示す。比較的広範囲を走査する実験では、欠陥の像に変化が見られなかった。しかし、図10のように狭い範囲による測定では速度が速くなるとY軸方向にゆがみが確認できる。これは音波の送信と受信した時の位置のずれによると考えられる。

4. むすび

今回得られた結果をまとめると、①探傷周波数によって焦点範囲やビーム有効径が異なるため、検出する欠陥や試験体によって最適なものを選択する必要がある。②測定ピッチについては細かくするほど輪郭の整った像が得られるが、探傷時間が長くなることと大量の記憶容量を必要とする。③走査速度は精密な測定をするとき以外は余り影響がないと考えられ、測定時間の面からは速い方が好ましい。④オシロスコープによって波の伝播速度を計り、積層材料の任意の層にゲートを設定して層状態の観察を行うためには、ある程度の厚みを有するものでないと探触子および探傷器の性能から不可能であり、高分解能探触子導入の検討が必要と考えられる。

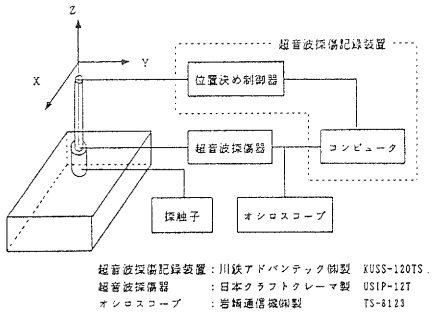


図1 超音波探傷システム概略

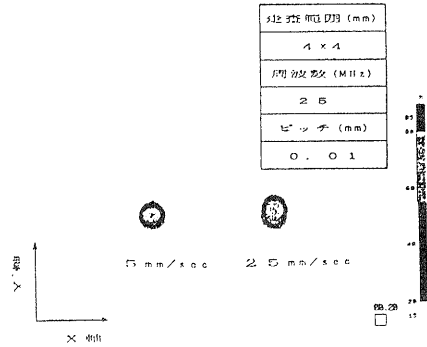


図2 ビーム特性試験 (X-Y 像)

番号	周波数	振動子径	焦点距離実測値
1	5 MHz (狭帯域)	0.50 インチ	67.8 mm
2	1.0 MHz (狭帯域)	0.50 インチ	63.6 mm
3	2.5 MHz (広帯域)	0.25 インチ	34.0 mm

ハルニニック社製

番号	平均直径 (μm)
1	2030
2	790
3	1230
4	660
5	70
6	290
7	150
8	590

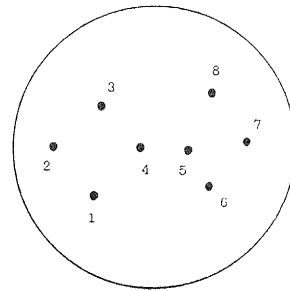


表1 測定に使用した探触子

表2 タングステンの径と埋め込み位置

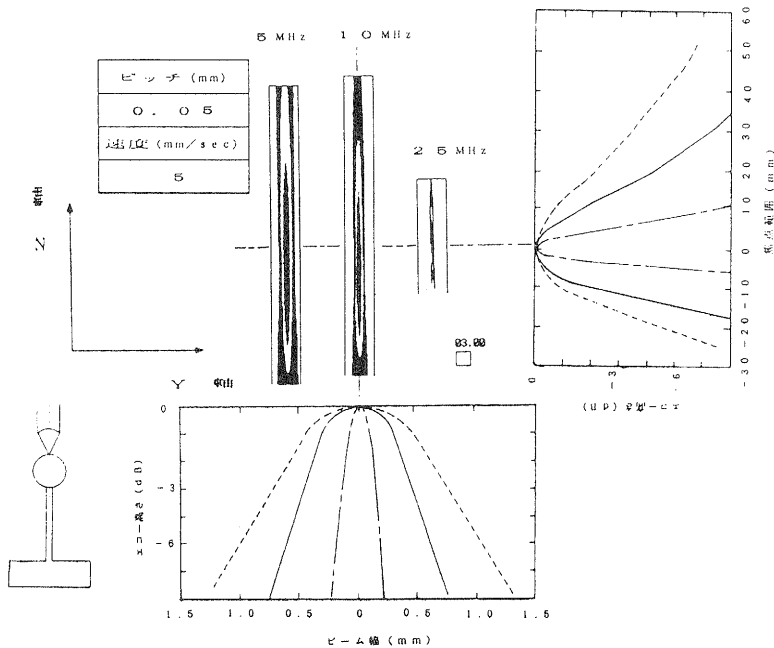


図3 ビーム特性試験 (Y-Z 像)

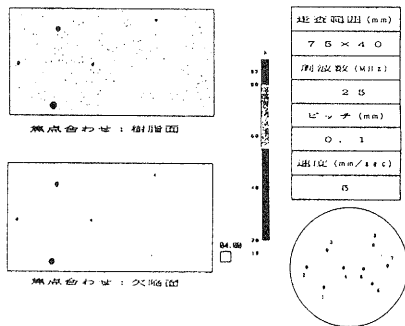


図4 焦点位置の違いによる像(1)

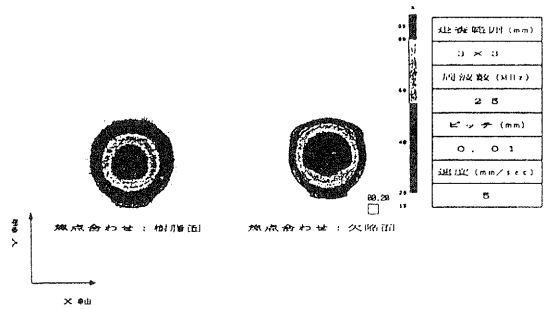


図5 焦点位置の違いによる像(2)

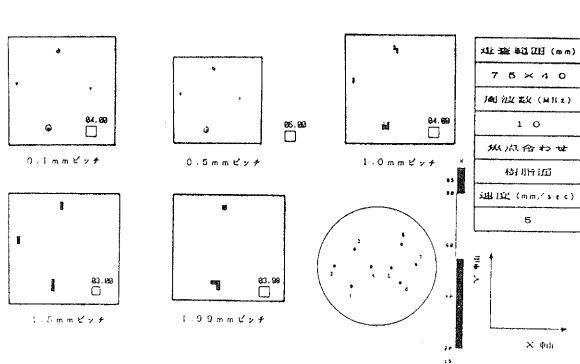


図6 ピッチの違いによる像(1)

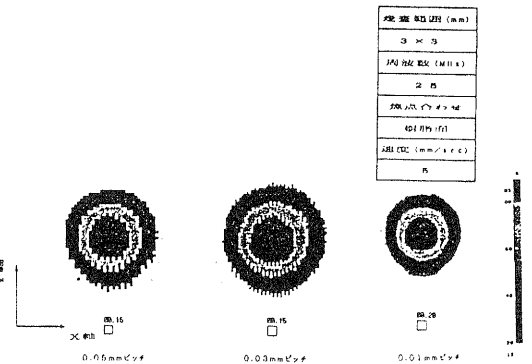


図7 ピッチの違いによる像(2)



写真1 モデル欠陥 (No. 3) 光学像

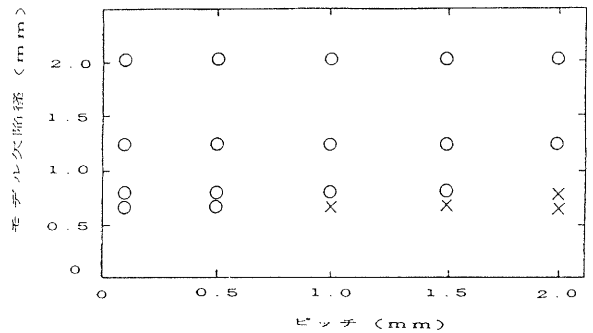


図8 ピッチと検出できた径

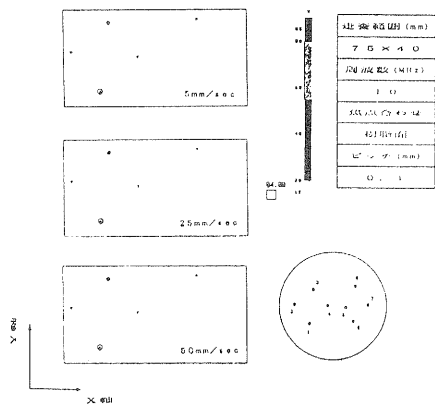


図9 走査速度の違いによる像(1)

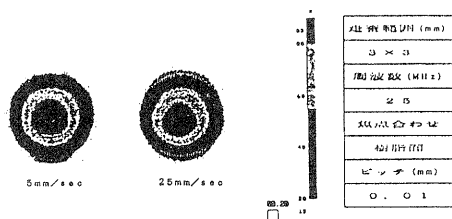


図10 走査速度の違いによる像(2)

5. 謝辞

本研究を行うのにあたりご指導をいただいた木村良晴研究参与（京都工芸繊維大学教授）に感謝いたします。

[参考文献]

- (1) 林 龍一 : 品質評価技術、第7回次世代産業基盤技術シンポジウム予行集、金属複合材料技術、P.307-318 (1989)
- (2) 森山 茂樹 外2 : 超音波Cコープ法による面接合部の評価方法の検討、非破壊検査、V39, No.2A, P.141-144 (1990)
- (3) 小倉 幸夫 : 非金属材料の超音波探傷試験の現状、超音波テクノ、V2, No.2, P.23-25 (1990)
- (4) 阿部 利彦 外1 : 複合材料の超音波映像試験、超音波テクノ、V2, No.2, P.38-42 (1990)
- (5) 永井啓之亮 : 開口合成による映像超音波ホログラフィ、日刊工業新聞社 P.1-14 (1989)

新樹脂をもちいた繊維強化複合材料の物性に関する研究

—熱可塑性ポリイミドプリプレグについて—

技術第二科 那 須 喜 一、中 村 吉 紀

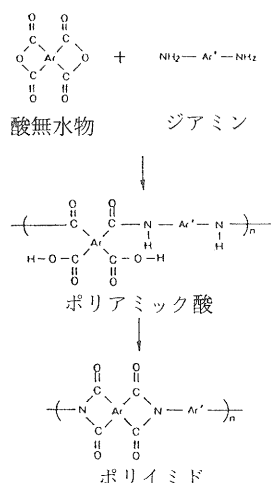
あらまし：耐熱性樹脂であるポリイミドのうち、熔融・可溶型の新しいポリエーテルスルホンイミド樹脂をマトリックスとする複合材料について検討を始めた。今回はガラス繊維と炭素繊維を用いて、溶液含浸法により両クロスプリプレグを作成し耐熱性等について調べた。熔融・可溶型のポリエーテルイミドをマトリックスとするものに比べ、高温下での物性に優れていた。このような耐熱性の熱可塑性樹脂と炭素繊維との複合材料は次世代の材料とも言われており、複合体の物性に興味もたれる。

1. まえがき

ポリイミドは、芳香族テトラカルボン酸二無水物と芳香族ジアミンより合成される耐熱性樹脂である（式1）。当初はこの耐熱性を生かして宇宙・航空用途を中心に米国で開発が進められてきた。その後、各種の無水物、ジアミンの組合せが可能になったことで、従来の不溶不融性ポリイミドの他に熱硬化性や熱可塑性、溶媒可溶性、感光性などのタイプが開発されるようになった。現在、耐熱性以外にも高強度、高弾性率、寸法安定性、高絶縁性、耐放射線性などの特徴を生かして、電気・電子、一般機器、自動車などの民生分野でも広く利用されてきている。そのうち最も広い用途を有するのがポリイミドフィルムであり、フレキシブルプリント基板やキャリアテープなどに応用されている。

フィルム以外に成形品も開発されているが、全芳香族の縮合型ポリイミドは不溶不融であるため、高温高压の特殊な成形法や切削加工などが必要とされてきた。それゆえ、成形性を改善するために各種のポリイミド類（変性ポリイミド）の開発が活発となった⁽¹⁾。代表的なものにポリエーテルイミド、ポリアミドイミド、ポリエステルイミドなどがあり、これらは耐熱性はやや劣るものの溶融型で成形性に優れており、一部のものは射出成形用として実用化されている。他方、熔融・可溶型の縮合ポリイミドの研究開発も行われている⁽²⁾。

一方、従来より長繊維強化複合材料としては、エポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂をマト



式1 ポリイミドの合成

リックスとする複合材料について精力的な研究開発がなされてきた。熱可塑性樹脂については短繊維による強化が中心であり、長繊維を用いた複合材料の報告は余り多くない。これまでポリエーテルエーテルケトン (ICI社, APC)、ポリイミド (Du Pont社, ArimidK3)、ポリアリルスルホン (Amoco社, PXM-8505) などが検討されており、特にポリエーテルエーテルケトン系CFRPは実用化されていると言われている³⁾。

炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料は、

- ・衝撃負荷後の圧縮強さなど破壊靱性に優れている。
- ・成形サイクルの短縮化が可能。
- ・破損箇所補修性があり、リサイクル使用が可能。
- ・プリプレグの寿命が半永久的である。

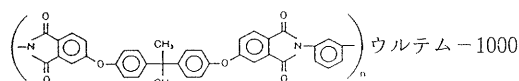
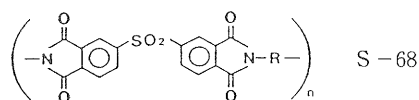
などの特徴を有し⁴⁾、航空・宇宙材料をはじめ、次世代の材料として今後の発展が期待されている。

今回、熔融・可溶型の新しいポリイミド樹脂の複合材料への応用について検討を始めたので報告する。

2 実 験

2-1 実験材料

熔融・可溶型のポリイミドとしてポリエーテルスルホンイミドS-68を用いた。S-68は酸無水物として3,3',4,4'-ジフェニルスルホンテトラカルボン酸二無水物を含む新しいタイプのポリイミド樹脂である(新日本理化(株)製)⁵⁾。比較のために同じく熔融・可溶型のポリエーテルイミド、ウルテム-1000(日本ジーイープラスチック(株)製)を用いた。構造式を式2に示す。



式2 マトリックスに用いた樹脂の構造

プリプレグ作製に用いた繊維クロスの状態を表1に示す。サイジング剤等を取り除くため、ガラス繊維クロス(ガラスクロス)は375℃で16hr、炭素繊維クロス(カーボンクロス)は300℃で1hr各々ヒートクリーニングし、その後NMP(1-メチル-2-ピロリドン)中で湿潤させて用いた。

表1 強化用繊維クロス

ク ロ ス	メーカー (品番)	織りの 種 類	目付量 (g/m ²)	厚 み (mm)	糸 密 度 (本/25mm)		繊維の種類	繊維の 比 重 (g/cm ³)
					経 糸	緯 糸		
ガラス繊維 クロス	ユニチカ UMグラス (ECH150)	平織り	160	0.16	32	25	ECG 75-1/0	2.54
炭素繊維 クロス	東レ (C06151B)	平織り	92	0.11	17.5	17.5	T300B-1000	1.76

2-2 プリプレグの作製

ガラスクロスあるいはカーボンクロスに、S-68の15%NMP溶液をガラス棒で塗布した。これを100℃で0.5hr乾燥後、裏面に再塗布し乾燥器中で40minで100℃から200℃に昇温後、更に200℃で20min保持した。この操作を3~6回繰り返し所定重量のプリプレグを作製した。

ウルテムの場合は25%NMP溶液をS-68の場合と同様にクロスに塗布し、100℃で1hr乾燥後180℃に1hrで昇温し更に1hr乾燥した。この操作を表裏交互に数回繰り返して、最後に180℃から200℃に1hrで昇温し1hr保持した。クロスの目付量より各プリプレグの樹脂含有率(wt%)を求めた。

2-3 フィルムの作製

S-68の10%NMP溶液、ウルテムの20%NMP溶液をガラス板上にガラス棒で均一に塗布し100℃で1hr、次いで5hrかけて200℃に昇温し、更に3hr保持して溶媒を除いた。その後、ガラス板上に成形されたフィルムを剝離した。

2-4 引張試験

プリプレグ(約20×13cm²)から1号ダンベル型試験片(JIS-K7113)を数片打ち抜き経糸方向に引張った。測定には万能材料試験機AG5000A(株島津製作所製)を用い、ロードセルは100kgf、またクロスヘッド速度は1mm/minとして引張試験を行った。フィルムについては2号ダンベル型試験片(JIS-K7127)を用いて測定した。

2-5 高温での引張試験

万能材料試験機に高温槽を取り付け200℃に保持して、2-4と同様に引張試験を行った。

2-6 動的粘弾性測定

各温度における作製試料の力学的性質を調べるため、動的粘弾性測定装置RHEOLOGRAPH-SOLID S型(株東洋精機製作所製)を用いて、動的弾性率E'と力学的tan δの250℃までの温度分散を測定した。試料サイズは10×26mm、測定条件は周波数10Hz、昇温速度5℃/min、荷重100gf(プリプレグ)、荷重50gf(フィルム)、チャック間隔20mmとした。

3. 結果と考察

3-1 プリプレグの作製

現在開発ないし供給されている可溶型の縮合型ポリイミドの大部分は、ベンゾフェノンテトラカルボン酸無水物系かあるいは含フッ素系のポリイミドである⁶⁾。今回酸無水物部分にスルホン基を含む新規なポリエーテルスルホンイミドを用い、その優れた耐熱性を生かして強化繊維との複合化の研究に着手した。なお比較試料として熱可塑性を有するポリエーテルイミドを用いた。ポリエーテルイミドは式2に示すように変性ポリイミドの一種であり、縮合型のポリイミドに比べ耐熱性は低い成形性を有し、優れたエンブラとして高い評価を得ている。今回はポリエーテルイミドの代名詞ともなっている日本ジーイープラスチック社のウルテム1000を用いた。ただしウルテム1000は射出成形用の樹脂であり、複合材料用のマトリックスとして設計されたものではないが一つの目安として用いた。

熱可塑性樹脂のプリプレグ作製法としては、溶液含浸法⁷⁾や熔融含浸法⁸⁾、ハイブリッドヤーンを用いる方法⁴⁾などがあるが、今回用いた樹脂は熔融温度が300~400℃と高く、実験室的には取り扱いにくいとため溶液含浸法を採用した。ただし、今後はより実用的なプロセスとして熔融含浸法等も考える必要があるだろう。

溶液含浸法の問題点は、溶媒の除去とそれに付随するボイドの発生である。カーボクロスプリプレグではボイドの有無を確認することが困難なため、はじめにガラスクロスを用いてプリプレグの作製を試みた。適正な粘度に調整した各樹脂溶液を表裏交互に重ね塗りすること、および各樹脂に適した乾燥条件を設定することにより、プリプレグのそりとボイドの発生を低く押さえることができた。

3-2 プリプレグの引張強さ

2種類の樹脂と2種類のクロスを組み合わせ、計4種類のプリプレグについて引張試験を行った。結果を図1に示す。ガラスクロスの樹脂含有率は33~44wt%、カーボクロスのそれは42~51wt%であった。常温での引張強さは樹脂の種類による差は認められず、また樹脂含有率との関係においてもガラスクロスで若干高くなる傾向がみられたものの、ガラスクロスで38~47kgf/cm、カーボクロスで50~57kgf/cmの範囲内にあり、ほぼ一定の値を示した。

このようなクロスのプリプレグの引張強さは、クロス自体の強さを基本として、経糸への樹脂の含浸度合、経糸と緯糸との交点での樹脂による接着、およびマトリックス樹脂自身の強さによってほぼ決まると考えると、今回の場合、第一に33wt%以上の樹脂含有率は経糸および交点での接着に十分な量であり、第二にマトリックスの強さが両樹脂でほぼ同じ(図2(b))であったために、ほぼ一定の値となったものと考えられる。ちなみに、炭素繊維のストランドの引張強さに及ぼす樹脂量の影響については、樹脂含有率が約30wt%までは樹脂強度と含有率はほぼ比例するが、それ以上では一定になることが知られており、今回の結果と相応している⁹⁾。

3-3 高温引張強さ

プリプレグの耐熱性をみるために、一部の試料について200℃での引張試験をおこなった。結果を図1に、また室温での強さに対する保持率を図2(a)に示す。保持率は樹脂含有率にかかわらず全試料の平均値を示した。ガラス、カーボン両プリプレグともウルテムの強度保持

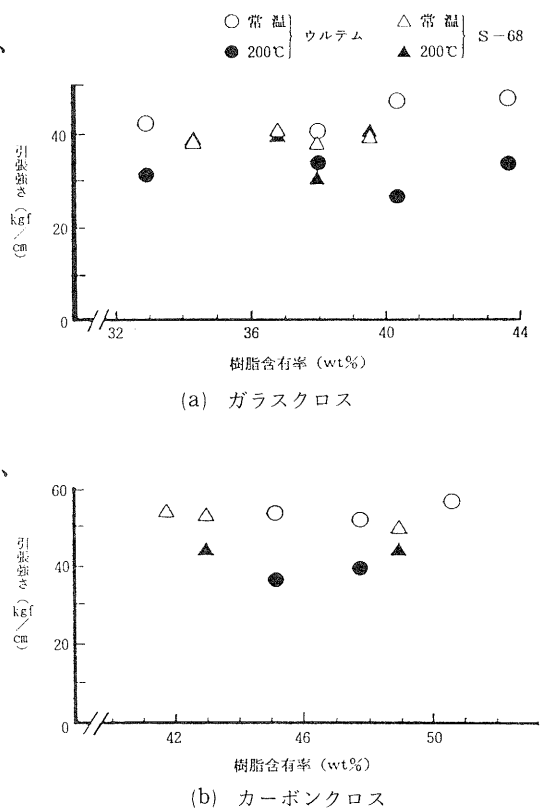


図1 プリプレグの樹脂含有率と引張強さとの関係

率は約70%であったのに対して、S-68のそれはガラスではほとんど低下がみられず、カーボンでは86%であった。同様にフィルムを用いて行った樹脂自体の強度保持率を図2(b)に示す。S-68では35%であるのに対して、ウルテムではほとんど強度がなくなっていた。このことからウルテムを用いたプリプレグにおいては、200℃ではマトリックスはほぼ完全に軟化し、樹脂の接着による応力分散がなくなり、クロス単独に近い状態になったものと考えられる。なお図3には一例として、常温と200℃でのガラスプリプレグの荷重-ひずみ曲線を示した。ガラス、カーボンともS-68では温度の影響は小さいが、ウルテムでは200℃での傾き、特に初期の傾きがかなり小さくなっていった。

以上の結果から、S-68をマトリックス樹脂とする複合材料においては、優れた耐熱性が得られることが予想された。

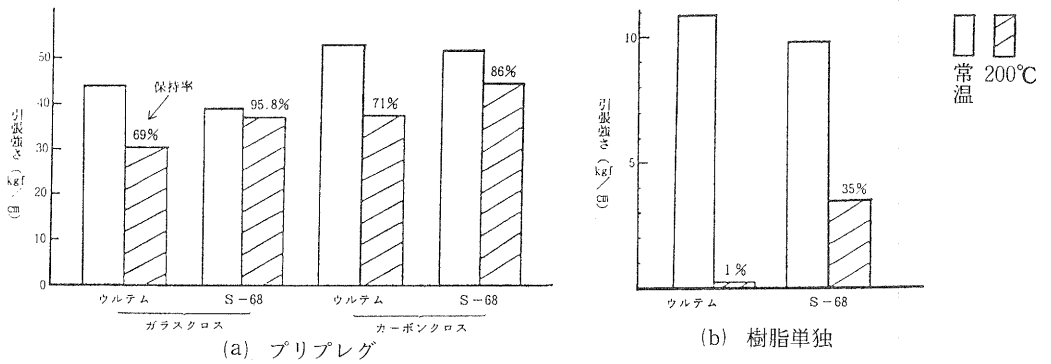


図2 プリプレグおよび樹脂の高温における引張強さの保持率

3-4 動的粘弾性挙動

上述のように200℃においては両樹脂のプリプレグで耐熱性に差がみられた。そこで動的粘弾性の測定を行うことによって温度の影響を調べた。

図4(a)にガラスプリプレグのE' および tan δ の結果を、また参考のために図4(b)にフィルムのそれを示す。ウルテムのプリプレグの場合190℃付近からE' の低下が認められるのに対して、S-68では250℃付近までガラス状態を維持していた。これらの結果は200℃での引張強さの結果ともよく一致している。一方、樹脂単独のE' に対するガラスクロス強化の効果を見ると、ウルテムでは約30℃、S-68では約40℃の耐熱性の向上がみられた。

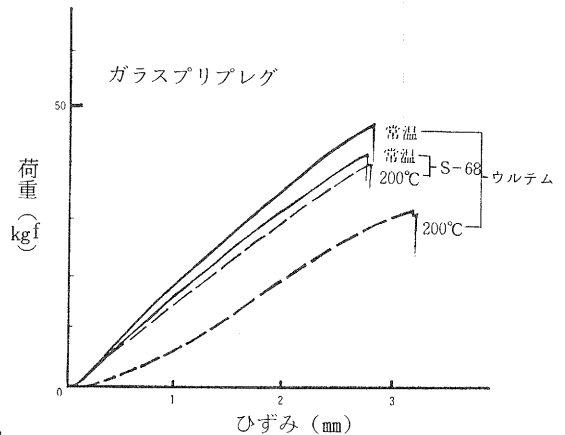
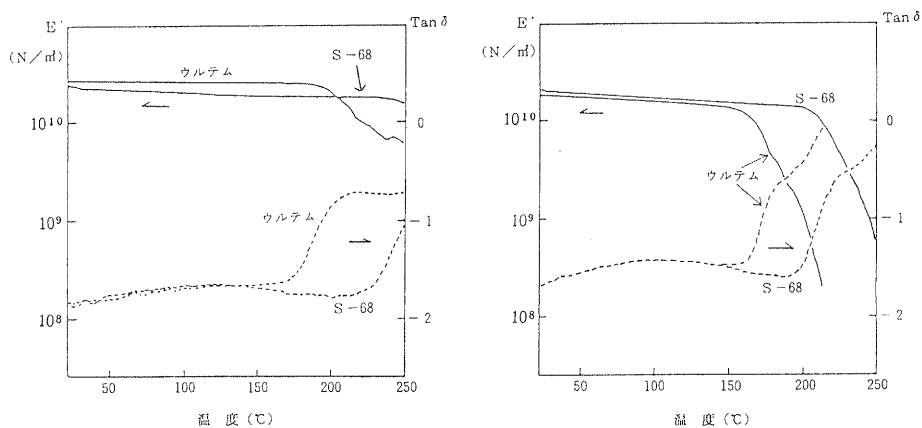


図3 常温と高温における荷重-ひずみ曲線



(a) ガラスクロスプリプレグ (b) フィルム
 図4 プリプレグとフィルムの動的粘弾性の温度分散

4. むすび

耐熱性樹脂であるポリイミドのうち、熔融・可溶型の樹脂をマトリックスとする複合材料について検討を始め二、三の知見を得た。

- (1) 酸無水物部分にスルホン基を含む新しいポリエーテルスルホンイミド (S-68) を用い、溶液含浸法によりガラス繊維および炭素繊維クロスのパリプレグを作製した。比較のためポリエーテルイミド (ウルテム) のプリプレグも作製した。今後は熔融含浸法などのより効率的な方法についても検討する必要がある。
- (2) S-68のプリプレグは耐熱性に優れており、200°Cでの引張強さの保持率は86%以上であった。一方ウルテムの保持率は約70%であった。
- (3) プリプレグ中の樹脂含有率が33wt%以上においては引張強さは樹脂含有率にかかわらずほぼ一定であった。
- (4) S-68のプリプレグの動的弾性率 E' は250°Cまでほぼ一定であったのに対し、ウルテムでは190°C付近から低下が認められた。

謝 辞

本研究についてご指導いただいた木村良晴研究参与 (京都工芸繊維大学教授) に深謝します。また試料を提供していただいた新日本理化株式会社と日本ジーイープラスチック株式会社に感謝します。

[参考文献]

- (1) 木村良晴、古石喜弘：“加工性ポリイミド”、高分子加工、36、10、p470～p476(1987)
- (2) 例えば、Y.IMAI,N.N.MALDAR and M.KAKIMOTO:“Synthesis and Characterization of Soluble Polyimides from 2,5-Bis(4-Aminophenyl)-3,4-Diphenylthiophene and Aromatic Tetracarboxylic Dianhydrides”,J.Polym.Chem.Ed.,22. p 2189～2196 (1984)

- (3) 松井醇一：“炭素繊維の展開と評価方法”、p 50、リアライズ社（1989, 2）
- (4) S.R.CLEMANS,E.D.WESTERN and A.C.HANDERMANN:“High Performance Thermoplastic Composites”,8th Intern.SAMPE Conf.European Chapter, p 429～ p 434（1987）
- (5) KAWASHIMA,T.IKEDA and H.KITAGAWA:“DSDA Based Polyimides and Their Properties”,Abst.3th Intern.Conf.on Polyimides, p 32～35（1988）
- (6) 今井淑夫：“ポリイミドの合成、構造、特性”日経ニューマテリアルズ、p 73,（1989, 5, 15）
- (7) A.O.HANKY and T.L.St.CLAIR:“Semi-2-Interpenetrating Polymer Networks of High Temperature Systems”, p 912～ p 924（1985, 3, 19）
- (8) 杉田泰典：“熱可塑性ポリイミドNew TPI”第14回高分子材料セミナー要旨、p 18、日本材料学会（1990, 4）

炭素繊維強化高分子複合材料に関する研究（第三報）

—PAN系炭素繊維・アルミナ繊維の1方向ハイブリッドFRPの3点曲げ破壊挙動—

技術第二科 山 中 仁 敏

あらまし：炭素繊維強化高分子複合材料（CFRP）は、軽量かつ高強度、高弾性率の構造材料として、航空・宇宙関連を中心として広く利用されてきている。しかし、CFRPの材料特性として、圧縮強度が引張強度より弱く材料性能を十分発揮できない場合があり、またひずみ量が小さく最大荷重を超えると急激に破壊が起こり材料の安全性の面で不十分のところがある。そこで、それらの欠点を補うことを目的にして、圧縮強度の大きなアルミナ繊維（AF）と組み合わせてハイブリッド1方向FRPを製作し3点曲げ試験を行い、比較検討した。

その結果、曲げ強度は、最外層がCF強化層で内部がAF強化層のハイブリッドFRPは、CFRPとほぼ同様な強度を示し、最外層がAF強化層のハイブリッドFRPは、CFRPとアルミナ繊維強化複合材料（AFRP）の間の強度を示した。曲げ弾性率については、積層方法の違いにより、CFRPとAFRPの間の弾性率を段階的に示した。また、積層方法により、異なった破壊状況が観察された。

1. まえがき

複合材料（FRP）の強化用長繊維としては、ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維が広く使用されているが、近年アルミナ繊維などのセラミック長繊維も開発されてきた。

FRPの力学的物性は、使用する強化用長繊維により大きく左右されるが、強化用長繊維にはその繊維の特徴があり長所と短所が混在している。そのため、その短所を補い合いよりよい性能をもたすこと、もしくは、各FRP間の中間の性能を持つFRPを作ることなどを目的にして、強化用長繊維を複合したハイブリッドFRPの製作が多く行われている。

そこで、高弾性高強度ではあるが、ひずみ量が少なく圧縮強度が引張強度に比較すると弱いPAN系炭素繊維と圧縮強度の大きなアルミナ繊維を組み合わせてハイブリッド1方向FRPを作成し、3点曲げ試験を行い、曲げ強度、曲げ弾性率ならびに曲げ破壊状況の観察を行った。

2. 実 験

2-1 試 料

実験に用いた強化用長繊維は、東レ^(株)製 T-300のPAN系炭素繊維と電気化学^(株)製アルミナ繊維であり、その物性を表1に示す（物性値は、炭素繊維については文献値であり、アル

ミナ繊維についてはメーカー測定値である)。表1に示すように、炭素繊維の方が引張強度並びに引張弾性率に関して高い値を持っている。またマトリックス樹脂として、3phrの三フッ化ほう素モノエチルアミン錯塩で硬化したエピコート828を使用した。

表1 強化繊維物性値

繊維	密度 (g/cm ³)	引張強度 (kgf/mm ²)	引張弾性率 (×10 ³ kgf/mm ²)
炭素繊維	1.76	360	24.0
アルミナ繊維	3.05	195	18.3

成形については、繊維を金枠に1方向に巻き取り樹脂-アセトン溶液に浸漬後、一昼夜放置し、その後95℃で2時間加熱しBステージ化した。これを一定寸法に切り出し8枚積層して金型に入れ、100℃で予備加熱後40分間で徐々に加圧しながら170℃に昇温を行い、170℃で1時間硬化した。その後、金型から取り出し200℃で2時間の後硬化を行った。この試料を105×10×3mmの寸法に切り出し、曲げ試験に使用した。試料の繊維体積含有率は、CFRP層で61±2%またAl₂O₃層で62±2%である。

FRPの積層構成は表2に示す10種類である。積層は8枚であり中立面に対して対称形に積層した。試料C、試料Aは炭素繊維、アルミナ繊維単独のFRPであり、他の試料は、外側から中心までの4層を順番に示し表した。

2-2 3点曲げ試験

3点曲げ試験は、温度23±1℃、湿度50±5%の恒温恒湿室で、株式会社津製作所製オートグラフAG5000-A型を使用し、クロスヘッド速度1mm/min支点間距離80.43mmで行った。

表2 FRPの積層構成

試料名	C	CCCA	CCAA	CACA	CAAA	ACCC	ACAC	AAACC	AAAC	A
積層構成										
積層構成比 (CFRP/Al ₂ O ₃ FRP)	8/0	6/2	4/4	4/4	2/6	6/2	4/4	4/4	2/6	0/8

: CFRP

: Al₂O₃FRP

3. 実験結果及び考察

3-1 曲げ破壊状況

図1に3点曲げ試験時の荷重-たわみ曲線、写真1に最大曲げ荷重に達した直後の破壊状況を示す。

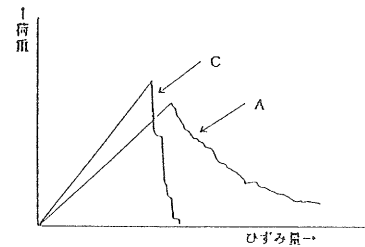
アルミナ繊維単独試料Aは、図1のように最大荷重に達するまで直線的に荷重が増加し、その後写真1の破壊状況でもわかるように引張側表面から破壊する。その後、徐々に引張側から中心に向かって破壊が進み、それにともない荷重の低下も起こる。また炭素繊維単独試料Cについては、最大荷重までは試料Aと同様に直線的に荷重の増加がみられるが、写真1のように圧縮側面から急激に中心部までの2/3ぐらいにクラックが発生し、大きな荷重の低下を引き起こした。その後、ほとんど荷重を受け持たず破壊にいたった。

これからの破壊状況からもわかるように、AFRPは圧縮強度が引張強度より強く、逆にCFRPは引張強度が圧縮強度より強いと考えられる。いずれも強化繊維の特徴を反映したものであり、AFRPの破壊は、引張側から徐々に起こり、CFRPでは、圧縮側から急激に起こることとも対応している。

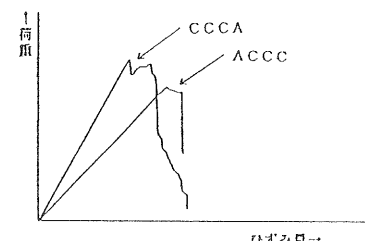
ハイブリッドFRPの場合、大きく分けて3種類の破壊状況がみられた。ひとつは、最外層がAF強化層の試料(AAAC, AACC, ACAC, ACCC)に見られるものである。これらでは、図1のように最大荷重まで直線的に荷重の増加があり、その後引張側表面のAF強化層から徐々に破壊していき荷重の低下がみられるが、AFRPがすべて破壊したのち、なだらかではあるが少し荷重の回復をみせたのち急激に破壊する。これらの試料において最後の急激な破壊が起こるまでのひずみ量は、AF強化層が多いほど大きかった。またこの時、外側AF強化層が1層の試料(ACAC, ACCC)では、一部の試料でAF強化層の破壊の途中で圧縮側2層目のCF強化層が急激に破壊したのもあった。

次に、第2の破壊状況は、最外層のCF強化層が2～3層の試料(CCCA, CCAA)に見られるもので、最大荷重まで直線的に荷重が増加したあと、急激に圧縮側表面からAF強化層表面までクラックが発生し、CF強化層の厚さに比例し大きく荷重の低下を引き起こす。その後はほぼ直線的に少しだけ荷重の回復がみられた後、引張側CF強化層より急激に破壊していく。

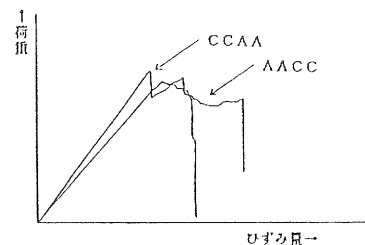
最後に、第3の破壊状況は、最外層がCF強化層が1層の試料(CAAA, CACA)に見られたもので、一定荷重まで直線的に増加し、急に圧縮側表面から次層の



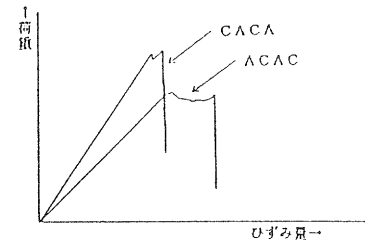
(1) 試料C・A



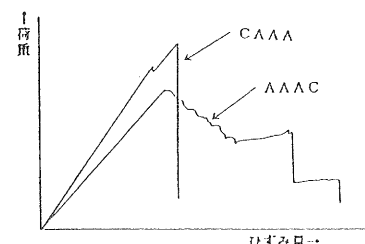
(2) 試料CCCA・ACCC



(3) 試料CCAA・AACCC

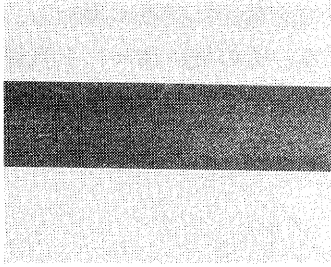


(4) 試料CACA・ACAC

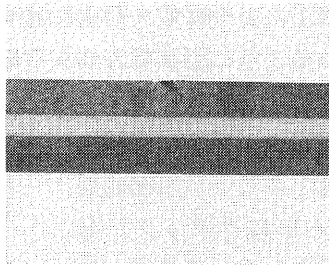


(5) 試料CAAA・AAAC

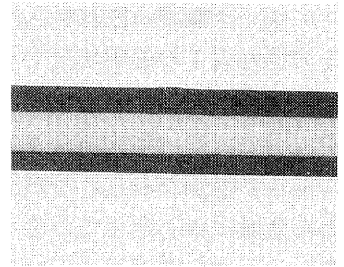
図1 3点曲げ試験時の荷重-ひずみ曲線



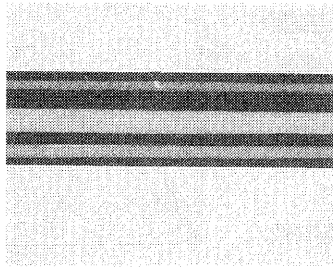
(1) 試料C



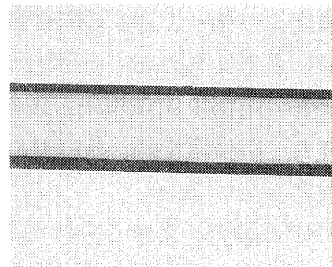
(2) 試料C C C A



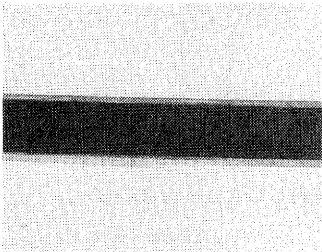
(3) 試料C C A A



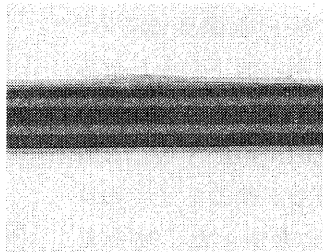
(4) 試料C A C A



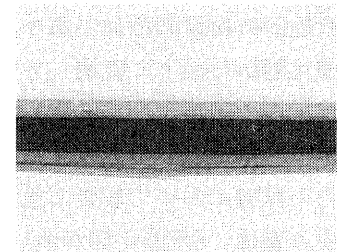
(5) 試料C A A A



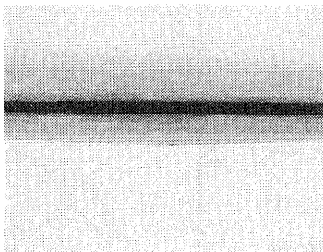
(6) 試料A C C C



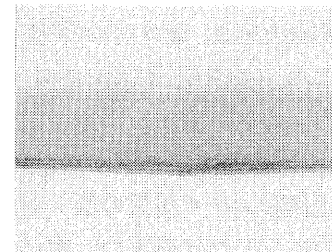
(7) 試料A C A C



(8) 試料A A C C



(9) 試料A A A C



(10) 試料A

写真1 3点曲げ破壊状況

AF強化層の途中までクラックが発生し、少しだけ荷重を低下させる。その後再び直線的に荷重の増加を生じて、前にクラックが発生した荷重よりも少し大きな値を示し、その後急激に破壊した。最大荷重後の破壊では、試料CAAAは、引張側表面のCF強化層から破壊しているのが、試料CACAでは引張表面のCF強化層か圧縮側第3層目のCF強化層のどちらから破壊したかは確認できなかった。また、最外層がCF強化層の試料での最終破壊時のひずみ量は、多少の違いはあったが、すべて最外層がAF強化層の試料よりも小さい値を示した。

上述のように、ハイブリッドFRPで荷重の回復がみられるのは、その試料で、引張表面のAF強化層や圧縮表面CF強化層が先に破壊されることにより、荷重を受け持っている残りの強化層の構成が圧縮強度の大きなAF強化層が圧縮側になり引張強度が大きなCF強化層が引張側になったため、これらがより大きな力を支えることができるためだと考えられる。

また外側AF強化層が1層の試料（ACAC、ACCC）の一部で、引張側AF強化層がすべて破壊されるまえに圧縮側CF強化層の破壊が起こったのは、最外層AF強化層の破壊荷重とそれが破壊された残りの強化層における圧縮側第2層目のCF強化層の破壊荷重が近いため起こったと考えられる。

3-2 曲げ強度及び曲げ弾性率

表2に曲げ強度及び曲げ弾性率を示す。

アルミナ繊維単独で強化されたAFRPである試料Aの曲げ強度は120.5kgf/mm²であり、アルミナ繊維の引張強度と繊維体積含有率からの複合則により計算した値とほぼ同様であったが、炭素繊維単独で強化されたCFRPである試料Cについてはその計算値より低く、約61%であった。これは、試料Aでは引張側から破壊するため曲げ強度はAFRP引張強度を示すのに対して、試料Cでは圧縮側から破壊を起こすためにCFRPの圧縮強度が現れたためだと考えられる。

また曲げ弾性率については、複合則による計算値より低くでているが、弾性率測定に使用したひずみ量をクロスヘッドの移動量から求めたため加圧圧子によるFRPの変形などによる誤差が生じたものと考えられる。

最外層をAF強化したハイブリッドFRPの曲げ強度および曲げ弾性率は、アルミナ繊維単独試料Aに比較し、すべて大きく、CF強化層の部分が多いほど、またCF/AF層の比が同じ場合はCF強化層がより外側に位置するほど高い値を示した。また、その中で曲げ強度が大きかった試料ACAC、ACCCは、試料Cとほぼ同じ強度を示した。

1種類の繊維を使用した1方向FRPの場合、3点曲げ試験では、中心部から外側になるにつれて上下対称に圧縮ひずみと引張ひずみ

表3 FRPの曲げ強度および曲げ弾性率

試料名	曲げ強度 (kgf/mm ²)	曲げ弾性率 (×10 ³ kgf/mm ²)
C	135.0	13.3
CCCA	142.7	13.3
CCAA	135.6	12.7
CACA	134.7	12.0
CAAA	143.2	12.1
ACCC	139.5	11.5
ACAC	139.1	11.3
AACC	128.1	10.5
AAAC	122.4	9.9
A	120.5	9.7

が大きくなり、それに合わせて圧縮応力と引張応力が決まるため、外側の圧子部分で最も大きな応力がかかる。また対称積層のハイブリッドFRPの場合は、破壊を起こすまでは、同様に上下対称に圧縮ひずみと引張ひずみがかかるため、その部分の弾性率に応じた圧縮応力と引張応力がかかってくる。ところが繊維自体は固有の強度を持ち、破断まで弾性変形すると、ほぼ一定のあるひずみ量で破断するので、最外層が同じFRPの場合では、ほとんど同じ破断ひずみを示す。従って同じひずみ量での荷重は、今回のようなハイブリッド型積層構造を有する場合、弾性率が高い繊維の強化層が多いほど、大きな荷重を受け持ち、また同じ繊維比率の場合、高い弾性率の繊維の強化層が外側に位置するほど有効に働くため、全体としてみれば、大きな荷重を受け持つ。このため、先に述べたように最外層がAF強化されたハイブリッドFRPの曲げ強度および曲げ弾性率の傾向が見れたと考えられる。

次に、最外層がCF強化層のハイブリッドFRPの曲げ弾性率については、誤差のため多少前後しているが大きな傾向としては、AF強化層の量が多いほど、また同じ比率の場合はAF強化層がより外側に位置するほど、曲げ弾性率は低い値を示した。しかし3点曲げ試験では、最外層のFRPが有効に作用するため曲げ弾性率は、最外層がAF強化層のハイブリッドFRP試料の中で最も高い値を示した試料ACCCよりもすべての場合において大きな値を示した。また、曲げ強度については、最外層CFRPが1層の試料でみられた最初の破壊荷重より大きく荷重が回復する現象や、内部応力の違いによる測定値のばらつきなどが考えられ、はっきりとした規則性は見られず、ほぼ同じ値を示した。

4. むすび

以上のことにより、PAN系炭素繊維・アルミナ繊維1方向ハイブリッドFRPの3点曲げ試験により下記のような結果を得た。

- (1) アルミナ繊維単独試料Aおよび最外層がAF強化層のハイブリッドFRP試料では破壊は、引張側表面より徐々に起こる。
- (2) 最外層がAF強化層のハイブリッドFRP試料は、最大荷重から徐々に荷重の低下を引き起こすが、引張側AF強化層の破壊が終るとゆるやかに荷重の回復がみられ、その後、引張側CF強化層から急激に破壊する。また徐々に荷重が低下する度合は、外側AF強化層の厚さによって決まってくる。
- (3) 最外層がAF強化層のハイブリッドFRP試料の曲げ強度および曲げ弾性率は、CF強化層の部分が多いほど、また同じCF/AF比率の場合は外側にCF強化層が位置するほど大きな値を示した。
- (4) 炭素繊維単独試料Cおよび最外層がCFRP試料では、破壊は圧縮側表面より急激に起こる。
- (5) 最外層がCF強化層のハイブリッドFRP試料は、急激な荷重の低下後また少しか直線的に荷重の増加がみられ、その後一気に破壊する。
- (6) 最外層がCF強化層のハイブリッドFRP試料の曲げ強度は、積層構造による違いはあまりみられないが、曲げ弾性率に関しては、AF強化層の部分が多いほど、また同じ

CF/AF比率の場合は外側にAF強化層が位置するほど小さな値を示した。

- (7) 最外層がAF強化層のハイブリッドFRP試料の中で曲げ弾性率が最も高い値を示す試料ACCCでは、曲げ強度については、最外層がCF強化層のハイブリッドFRP試料とほぼ同じ強度を示すが、曲げ弾性率については、最外層のFRPの性能が有効に作用するため、最外層がCF強化層の試料より低い値を示した。
- (8) 最外層がAF強化層のハイブリッドFRPの中で試料AACC、ACACは、破壊が起こりだしても大きく荷重を低下させることもなく最終破壊までのひずみ量はCFRPに比べて大きく増加させた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり御助言をいただいた木村良晴研究参与（京都工芸繊維大学教授）ならびに、試料を提供していただいた電気化学株式会社に深く感謝します。

[参考文献]

- (1) JIS Z8807
- (2) 大谷杉郎：“炭素繊維”近代編集社
- (3) D. ハル：“複合材料入門”培風館
- (4) 松井醇一：“炭素繊維の展開と評価方法”リアライズ社

ダイヤモンドと金属の接合

—ダイヤモンドとろう材間の接合層について—

技術第二科 中村吉紀、今西康博
株式会社新ダイヤモンド製作所 上田章

あらまし：ダイヤモンド工具などにおいて、ダイヤモンドを金属に固定する方法としてろう付法が知られている。今回は銀系のろう材を用いた天然ダイヤモンドと金属モリブデンの真空ろう付をおこない、ダイヤモンドとろう材間に生成する接合層についてその構造を調べた。電子線マイクロアナリシス、X線光電子分光分析、および表面粗さ測定の結果、接合層は厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ の炭化チタンを主成分とする層であることがわかった。また接合強度についても測定した。

この接合層はダイヤモンドとろう材中の活性成分であるチタンとの反応によって生成し、ダイヤモンドと金属という異種材料間の接合において重要な役割を果たしているものと考えられた。

1. まえがき

現在ダイヤモンド工具はアルミ合金、無酸素銅などの非鉄金属、およびプラスチックなどの非金属材料の高精度切削加工に広く用いられている。特に最近では光ディスク基板やポリゴンミラーなどの超精密切削加工や、ファインセラミックスなどの難加工性材料の切削加工の分野においても、その重要性が増してきている⁽¹⁾⁽²⁾。

単結晶ダイヤモンドの場合、ダイヤモンドをバイトシャンク

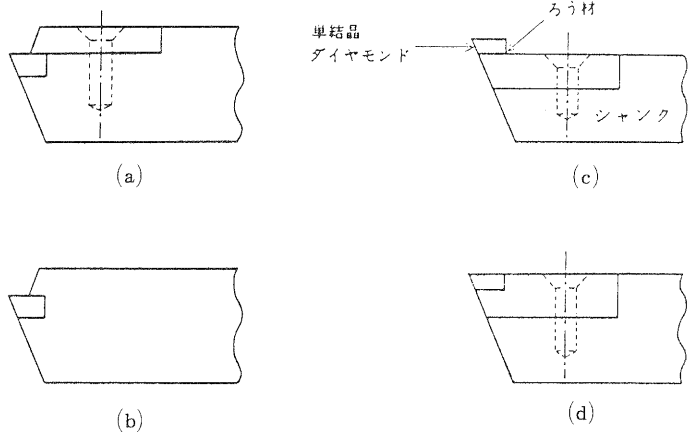


図1. ダイヤモンド工具における単結晶ダイヤモンドの固定方法
(a)(b)：機械的な固定の例、(c)(d)：直接ろう付の例
上に固定する方法としては、図1に示すように機械的に固定する方法と直接ろう付する方法の2つが知られている。一般的には機械的な方法が用いられるが、ろう付法には次のような特徴がある⁽³⁾。

- (1) ダイヤモンドをより有効に利用でき経済的である。
- (2) ダイヤモンドとシャンクの密着性が高く熱拡散性が良い。

(3) 結晶方位の設定および研磨を精度良くおこなえる。

ダイヤモンドと金属のろう付はセラミックスと金属との接合の一種と言える。一般にセラミックスと金属の接合方法としては図2のような方法がある⁽⁴⁾。このうちろう付法とは母材より低融点のろう材を用いて、母材を熔融させず、ろう材のみを熔融することにより接合する方法である。使用するろう材により活性金属法、酸化物法、酸化第一銅法などに分類される。活性金属法はTi、Zr、Taなどの活性な金属元素とセラミックスとの反応を利用して接合する方法である。

一方ろう付はその環境によって大気ろう付、雰囲気ろう付、真空ろう付に分けられる。また加熱方式にも抵抗加熱、高周波加熱、赤外線加熱などの方式がある⁽⁵⁾。

ダイヤモンドと銅系ろう合金との反応についてはScott、Nicholasらの研究がある。彼らは静滴法を用い、ダイヤモンド表面に対するCu-Cr、Cu-Ti、Cu-V合金⁽⁶⁾およびCu-Sn-Ti合金⁽⁷⁾のぬれ性、および接合強度に及ぼす合金組成、接合温度の影響について調べた。

本研究では(1)単結晶天然ダイヤモンドとモリブデン (Mo) との真空ろう付をおこない高強度接合体をえるとともに、(2)両者の接合に重要な役割を果たすと考えられるダイヤモンドとろう材間に生成する接合層の構造について検討をおこなった。

2. 実験方法

2-1 ダイヤモンドの真空ろう付

天然ダイヤモンドは被接合面を $0.5\mu\text{m}$ 以下のダイヤモンドパウダーで研磨して用いた。金属としては熱膨張係数の小さいMo (板状)を選んだ。ただしろう材のぬれをよくするため表面に $5\mu\text{m}$ のニッケルめっきを施したものを用いた。ろう材としてはAg-Cu-Ti系のろう材を用いた。これらをアセトンで超音波洗浄した後、図3のように組み立て真空ろう付をおこなった。

真空ろう付条件

真空炉：(株)島津製作所製 高温高真空炉VVLta 10/18

真空度： 1×10^{-4} Torr

加熱・冷却パターン：図4

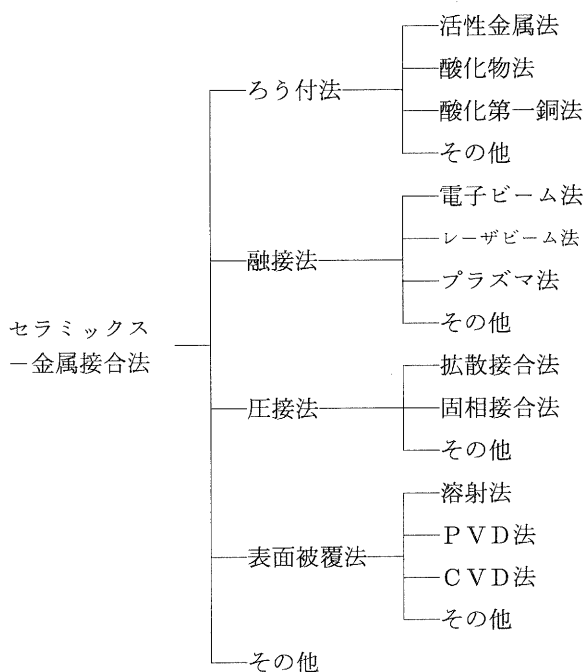


図2 セラミックスと金属の接合法

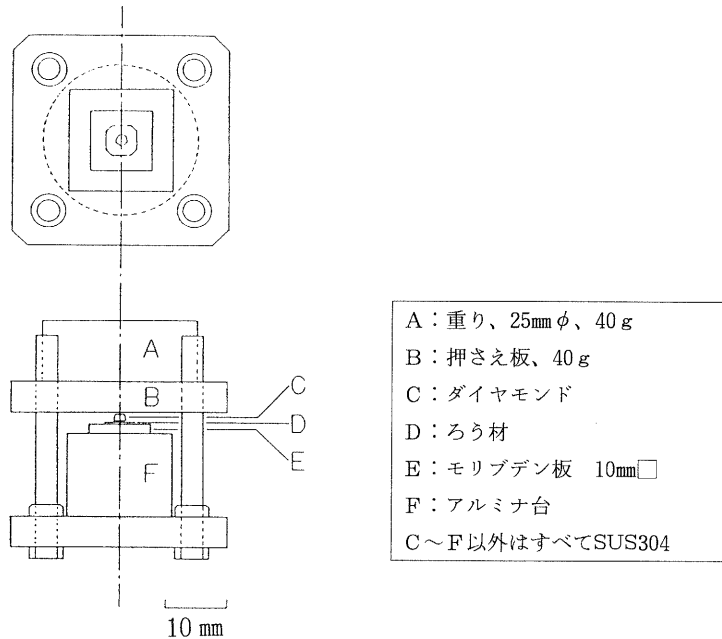


図3 ダイヤモンドーモリブデンのろう付用ジグ

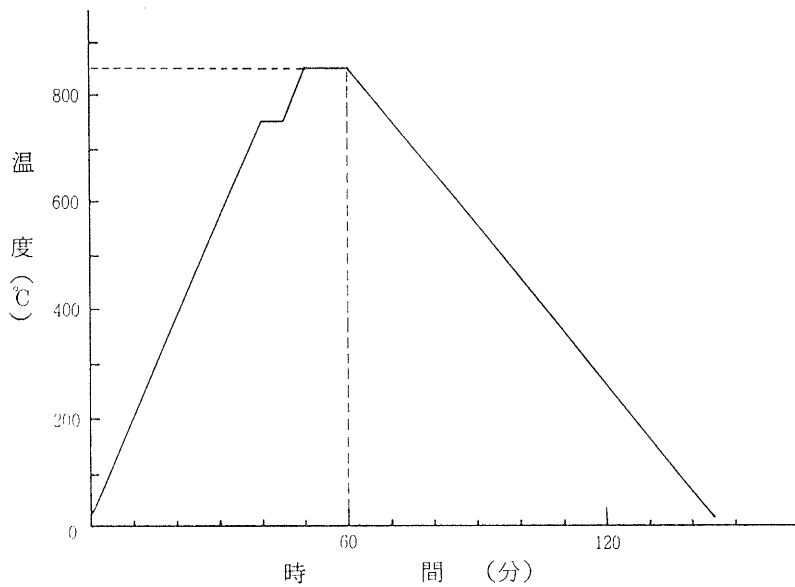


図4 真空ろう付の加熱・冷却パターン

2-2 電子線マイクロアナリシス (EMPA)

ろう付したダイヤモンドーMoの接合体を接合面に垂直に研磨し、ダイヤモンドとろう材間の接合層について電顕観察および面分析をおこなった。

装置：(株)日立製作所製 エネルギー分散型微小部走査X線分析装置 X-650

2-3 接合層のX線光電子分光分析 (ESCA)

接合体を濃塩酸で処理しダイヤモンドとMoを分離することにより、接合層が付着した状態のダイヤモンドを得た。薄膜状の接合層のESCA測定、および接合層表面からダイヤモンド表面に向かってのイオンエッチングによる深さ(厚さ)方向分析をおこなった。また比較のためTiC粉末(試薬)およびTiCのブロックについても測定した。

装置：アルバックファイ(株)製 ESCA Model 5400

測定条件：MgK α (1253.6eV) 400W、取り出し角 45°、測定範囲 0~1,000eV

エッチング：Ar⁺ (スパッター速度 23ÅSiO₂/分)

2-4 接合層の厚さ測定

2-3と同様の方法により接合層が付着したダイヤモンドを得た。このダイヤモンドの約半分をエポキシ樹脂に包埋して保護した後、未包埋部分を硝酸に接触させて接合層を除去した。ダイヤモンドをエポキシ樹脂から取り出すことにより、接合面の約半分が接合層で覆われたダイヤモンド表面を得た。表面粗さ測定機を用い接合層の段差を数点測定し接合層の平均的な厚さを求めた。

装置：ランク テーラーホブソン(株)製 表面粗さ測定機 タリサーフ 6

測定条件：縦倍率 ×50,000、横倍率 ×50

2-5 接合強度の測定

図5に示した測定用ジグを作製し、接合層のせん断強度の測定を試みた。接合面積の測定には投影機を用いた。

装置：(株)島津製作所製 オートグラフ AG-5000A

測定条件：フルケース 500kgf、クロスヘッド速度 1.0mm/min

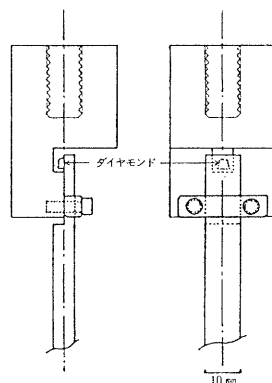


図5 ダイヤモンドの接合強度測定用ジグ

3. 結果と考察

3-1 単結晶ダイヤモンドとMoの真空ろう付

天然ダイヤモンドにはIa型とIb型が存在するが98%以上はIa型である⁽⁸⁾。純度や色などは個々の結晶によって多少のばらつきはあるが、一般には表1⁽⁹⁾のような性質を示し、低い熱膨張率と高い熱伝導率が特徴である。熱膨張率の低い金属としてはMo、W、Taなどがあるが、今回はMoを用いた。

表1 天然ダイヤモンド (Ia型) とモリブデンの物性値

	熱膨張係数 deg ⁻¹	熱伝導率 cal·cm ⁻¹ ·sec ⁻¹ ·deg ⁻¹	抵抗率 Ω·cm	密度 g·cm ⁻³	熱、酸化に対する安定性
天然ダイヤモンド Ia型	1.3×10 ⁻⁶ (~50℃)	2.2 (25℃)	10 ¹³ ~10 ¹⁶	3.52	空气中600℃まで安定 真空中1,400~1,700℃まで安定
モリブデン	5.1×10 ⁻⁶ (0~100℃)	0.33 (25℃)	5.2×10 ⁻⁶ (0℃)	10.2	空气中、高温でMoO ₃ に酸化される

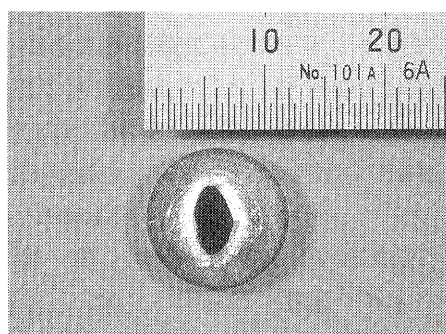


写真1 ダイヤモンド-モリブデン接合体

ダイヤモンド-Mo接合体を写真1に示す。接合面は黒色を呈し全面に均質な様子がうかがえる。

3-2 接合層断面の観察

接合層の断面のSEM像およびその面分析の結果を写真2に示す。ダイヤモンドとろう材間に厚さ約0.2 μm 程度の接合層の存在が認められた。面分析の結果、接合層の部分にはTiが局在していることがわかった。

3-3 接合層のESCA分析

グラファイトなどの炭素系物質が活性金属と反応し炭化物を生成することが知れており⁽¹⁰⁾、ダイヤモンドについても同様の推定がなされている⁽⁶⁾。今回我々は、ダイヤモンドが活性金属と反応して炭化物を生成することをより直接的に証明するためにESCA測定をおこなった。即ち、接合体を酸処理することによりTiを含む接合層を露出させ、この面について定性分析および深さ方向分析をおこなった。

(1) 定性分析

接合層の代表的なESCAスペクトルとして60分スパッター後のワイドスキャンを図6に、またTi、C、Oのナローズキャンの結果を図7に示した。比較のためにTiC粉末およびTiCブロックの測定結果も合わせて示した。図7において、接合層(a)の結合エネルギー $E_b=454.7\text{eV}$ および 460.7eV の2つのピークは、標準試料および文献値(454.7eV ⁽¹¹⁾、 455.5eV と 461.5eV ⁽¹²⁾)とよく一致することから、TiCのTi2p(3/2)およびTi2p(1/2)に帰属された。対応するTiCのCl_sのピークは $E_b=281.8\text{eV}$ に認められ、標品および文献値⁽¹¹⁾(281.3eV)とよく一致した。以上のことから接合層にはTiCが存在することが証明された。

鈴木ら⁽¹²⁾はTiC粉末表面のESCA分析をおこない、TiC以外にTiO₂および析出炭素が存在することを報告している。この場合TiO₂のTi2p(3/2)は $E_b=459.2\text{eV}$ 、またTi2p(1/2)は $E_b=465\text{eV}$ と測定されている。更に $E_b=532.5\text{eV}$ のO1sのピークは $E_b=530.6\text{eV}$ ($\text{Ti}-\underline{\text{O}}-\text{Ti}$)、 532.5eV ($\text{Ti}-\underline{\text{O}}\text{H}$ 、 $\text{C}=\underline{\text{O}}$)、および 534eV ($\text{C}-\underline{\text{O}}-\text{C}$ 、 $\text{C}-\underline{\text{O}}\text{H}$)の3つのピークからなると解析された。

今回の測定でも図7(b)にみられるように、スパッター前のTiC粉末では $E_b=458.3\text{eV}$ と

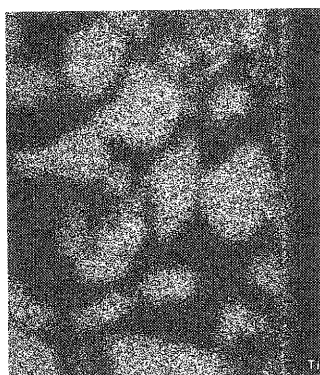
ろう材 → 接合層 ← ダイヤモンド



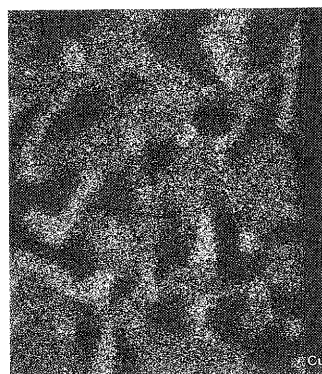
(a) SEM像



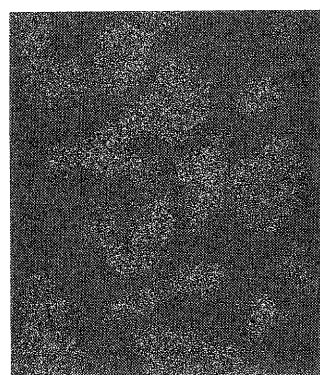
(b) Ag



(c) Ti



(d) Cu



(e) Ni

写真2 接合層断面のSEM像(a)、および各元素の面分析(b)~(e)

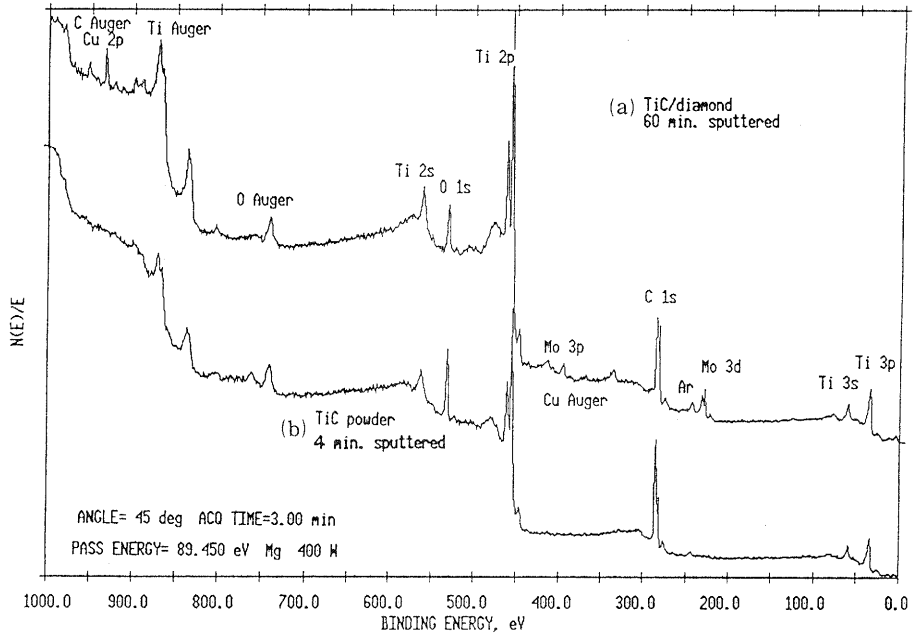


図6 スパッター後の接合層(a)およびTiC粉末(b)のESCAスペクトル

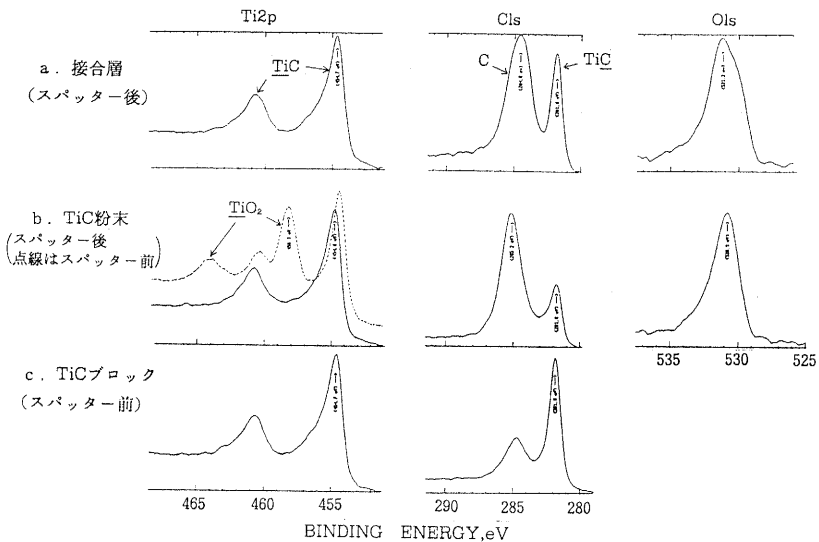


図7 接合層(a)とTiC(b)(c)の狭領域ESCAスペクトルの比較

464.2eVの2つの明瞭なピークが認められたことから、TiC粉末の最表面にはTiO₂が存在すると考えられた。一方、接合層(a)およびスパッター後のTiC粉末(b)においては、TiO₂のTi2pのピークは不明であったものの、O1sのケミカルシフト—即ち前者ではEb=531.2 eV、また後者ではEb=530.9eV—から考えて、TiO₂のようなTiの酸化物 (TiO_x) が存在することが推定された。

TiC粉末表面上の析出炭素はTiCのTiO₂への酸化反応において生成すると考えられている。スパッター後のTiC粉末(b)のEb=285.2eVのC1sのピークは、グラファイトの284.3

eV⁽¹¹⁾に近く析出炭素と考えられる。同様に接合層(a)のEb=284.6eVのピークも析出炭素の可能性はあるが、後述するようにダイヤモンド炭素のClsも同じ結合エネルギー値を有しており、両者を判別することは困難である。

以上のように、今回真空ろう付でえられた接合体の接合層には、TiCを主成分にTiO_x、C(析出炭素および/またはダイヤモンド炭素)が含まれていることがわかった。また図6(a)にもみられるように、接合層の内部には微量のCuやMoも検出された。

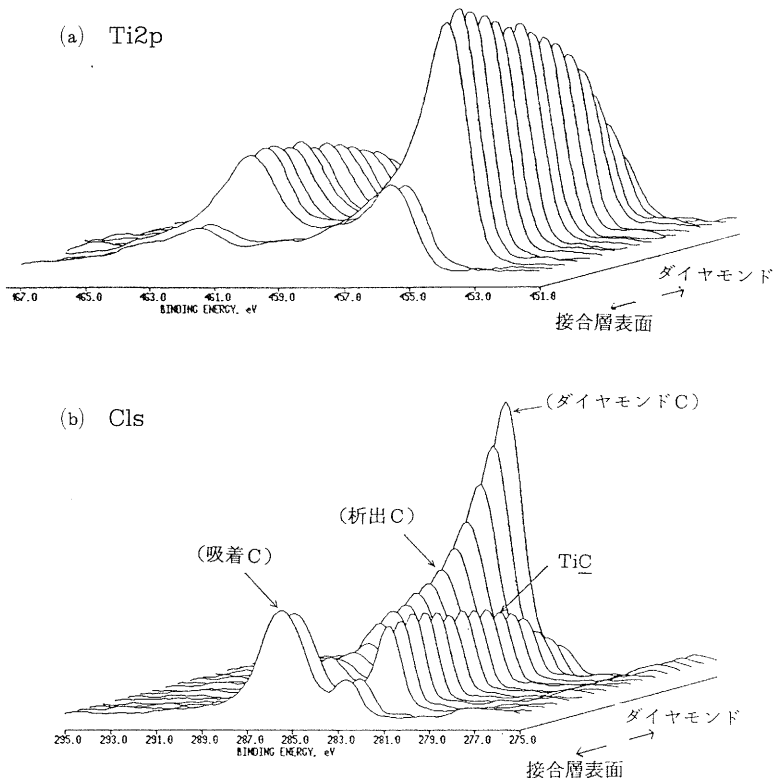


図8 Ti2p(a)およびCls(b)の深さ方向スペクトルプロファイル

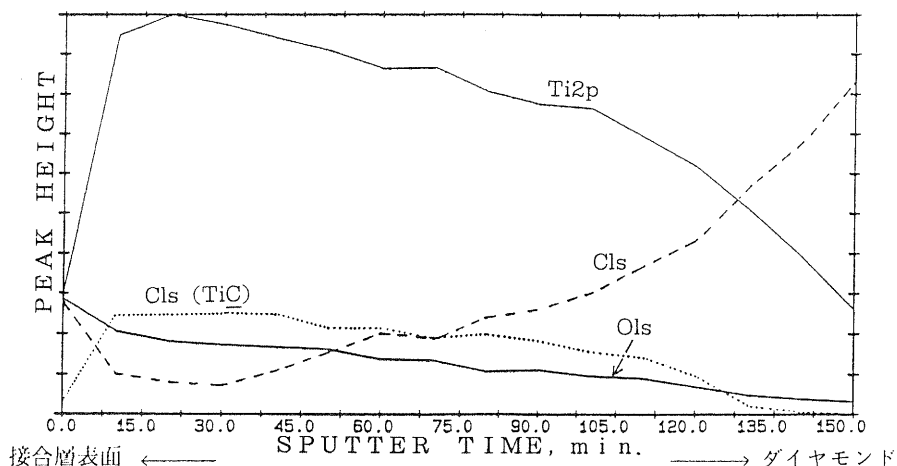


図9 接合層におけるTi、C、Oの深さ方向分析

(2) 深さ方向分析

接合層表面からダイヤモンドに向かってエッチングし、その間10分おきにESCA測定をおこなった。150分スパッター後には接合層はほぼ完全に除去され、透明なダイヤモンド

ド表面が現れた。

Ti2pおよびCl_sの深さ方向のスペクトルプロファイルを図8に示す。吸着や汚染の影響が考えられる最表面を別にすれば、スパッター時間とともにTiCのTi2pとCl_sは減少し、逆に炭素系のCl_sが増加している。これらをグラフにしたのが図9であり、Ti、Cともに100分付近で増減割合が変化していることがわかる。100～150分の間の炭素の増加は主としてダイヤモンドによると考えられるので、この付近をTiCの接合層とダイヤモンドとの界面と仮定すると、接合層の厚さはSiO₂換算で0.25～0.35μmとなる。しかしTiCのスパッターイールドはSiO₂よりも小さいと考えられるので、実際には0.25μm以下と思われる。また図9において接合層からダイヤモンドへの移行がシャープでない原因としては、試料表面の平坦性やエッチングの不均一性が考えられた。

3-3 接合層の厚さ

TiCを主体とする接合層の厚さを求める場合、電顕観察やESCAでは概略値しかえられない。そこで接合層の厚さを比較的簡単にしかも精度よく求める方法として表面粗さ測定をおこなった。ダイヤモンド表面上の接合層の一部を除去し、その段差を数箇所測定することにより接合層の平均的な厚さを求めた。今回の試料については約0.13μmの値がえられた。図10に測定例を示す。

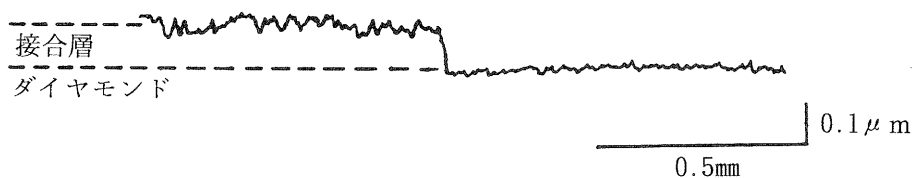


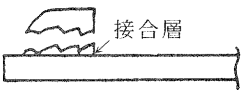


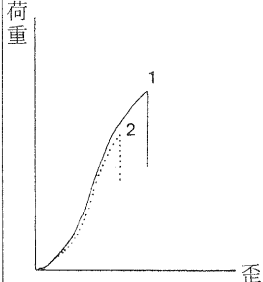
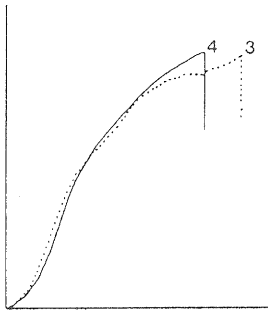
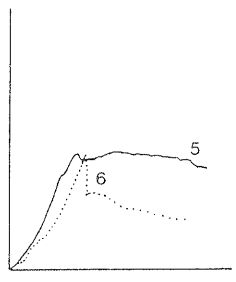
図10 接合層の厚さの測定例

3-4 接合強度

最高接合温度が800℃、850℃、900℃の3種類各々2点につき接合強度を測定した。いずれの場合もダイヤモンド部分での破壊が観察された。接合界面のせん断強度はダイヤモンド自身の最も弱い面のせん断強度よりも大きく、従って実用上十分な接合強度を有していることがわかった。特に850℃接合体では約36Kgf/mm²以上と言う高い値が得られた。今後ろう付ダイヤモンドバイト等への利用が可能と考えられる⁽¹³⁾。接合強度試験の結果を表2に示す。示した値はダイヤモンドのせん断破壊における最大せん断荷重とせん断強度である。

今回接合温度と接合強度との間にはある種の傾向が認められたが、試料数の少ないことや天然ダイヤモンドには個々のばらつきがあることも考えあわせると、今度さらに検討する必要がある。また、界面の接合強度自体を評価する方法も必要となろう。

表2 ダイヤモンドの接合強度の測定結果

試料番号	1	2	3	4	5	6
最高ろう付温度	800℃		850℃		900℃	
最大せん断荷重 (Kgf)	164	126	229	232	108	106
ろう付面積 (mm ²)	7.0	6.8	6.1	6.5	4.8	5.5
せん断強度 (Kgf/mm ²)	23.5	18.5	37.5	35.7	22.4	19.2
破壊様式	ダイヤモンドが破壊 		ダイヤモンドにクラックが入る 		ダイヤモンドが破壊 	
荷重-歪曲線						

4. まとめと今後の課題

超精密切削加工の分野においてダイヤモンド工具の重要性が高くなってきている。単結晶ダイヤモンドをバイトシャンク上に固定する方法としてろう付法が有効である。今回の結果を要約すると、

- (1) 天然ダイヤモンドとMoの真空ろう付をおこない高強度接合体を得た。今後ダイヤモンドバイト等への利用が考えられる。
- (2) ダイヤモンドと金属との接合において重要な役割を果たしていると考えられるダイヤモンドとろう材間の接合層について、EPMAおよびESCA分析をおこなった結果、ダイヤモンド炭素とろう材中のTiが反応しTiCが生成していることが認められた。この場合炭化物層はエピタキシャルに生長することが予想されており⁽⁹⁾、今後の検討課題である。
- (3) 接合層にはTiC以外にTiの酸化物 (TiO_x) が存在し、また析出炭素の存在も推定された。活性金属法によるろう付においては、TiO₂のような酸化物の存在は被接合物のぬれ性に大きく影響するとされており⁽¹⁴⁾、今後TiO_xの構造および生成機構について検討する余地がある。
- (4) 接合層の厚さを求めるには表面粗さ測定が有効であった。今回の試料については約0.13μmの厚さが得られたが、今後ろう付条件と接合層厚さとの関係、また厚さと接合

強度との関係についても把握する必要がある。

謝 辞

ESCA測定に協力していただいたアルバックファイ株式会社分析室に感謝します。

[参考文献]

- (1) 小林 昭：“超精密ダイヤモンド切削技術”精密工学会誌、52、12、p1995～1999 (1986)
- (2) 見義一兄：“超精密切削用ダイヤモンドバイト”機械と工具、32、6、p50～56 (1988)
- (3) 岡 幸嗣、小島一志：“ダイヤモンドバイトの精密研磨および計測”精密工学会誌、54、9、p1669～1672 (1988)
- (4) 荒田吉明、大森 明：“セラミックスの接合”溶接技術、31、4、p15～21 (1983)
- (5) 高塩治男、平山和夫、山本直樹：“実用セラミックス接合とハイテクろう付”p22、p54 産業技術サービスセンター (昭和62. 6)
- (6) P.M.SCOTT, M.NICHOLAS and B.DEWAR: “The Wetting and Bonding of Diamonds by Copper-Base Binary Alloys.” Jnl. Mat. Sci., 10, p1833～1840 (1975)
- (7) D.EVENS, M.NICHOLAS and P.M.SCOTT: “The Wetting and Bonding of Diamonds by Copper-Tin-Titanium Alloys” Industrial Diamond Review, No. 9, p 306～309 (1977)
- (8) 原 昭夫：“ダイヤモンド単結晶の製造とその周辺技術”精密機械、51、8、p1497～1502 (1985)
- (9) 日本化学会編：“改3化学便覧 基礎編I” p I-24、II-22、II-73、II-494、丸善 (昭和59. 6)
玉虫文一他編：“3版理化学辞典” p778、岩波書店 (昭和60. 2)
- (10) (5)と同 p 41、444、449
- (11) G.E.Muilenberg ed.: “Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy” p68 Perkin Elmer Corporation (1978)
- (12) 鈴木 昇、遠藤 敦、宇津木弘：“炭化チタンの表面処理と処理炭化チタンの表面性状”色材、59、12、p741～746 (1986)
- (13) 中村吉紀、今西康博、上田 章：特許出願中
- (14) 野城 清、大石恵一郎、萩野和己：“熔融純金属による個体酸化物の濡れ性”日本金属学会誌、52、1、p72～78、(1988)

セラミック溶射被膜における耐熱衝撃性の向上 について（第三報）

技術第二科 西内 廣志、今西 康博

あらまし：プラズマ溶射における金属とセラミックの接合の問題点は、それぞれの材料の熱膨張係数が大きく異なり、熱衝撃によって剝離することがある。

そこで、前年度に引続き、上述の熱膨張係数の差を緩和するための中間層にNi-Cr粉の比率を種々に変化させた溶射材を検討した結果20Ni-80Crの溶射材が基材（SS41）とアルミナ（ Al_2O_3 ）の中間値を概ね示した。これらの結果をふまえて下地溶射（50Ni-50Cr、20Ni-80Cr）の漸次溶射を施した結果、前回に比較し約2倍の耐熱衝撃性が得られた。

1. まえがき

最近、金属材料の表面にセラミックを溶射し耐熱性、耐摩耗性等を向上させる複合化技術が進展している。

しかしながら、金属とセラミックの接合は熱衝撃によってセラミック層が剝離する問題がある。このことは金属の熱膨張係数とセラミックの熱膨張係数が大きく異なるため、それらの間に働く熱応力が原因で剝離されている。

そこで、本研究では、セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性の向上を図るため、基材とセラミックの熱応力を緩和させるための中間層としての下地溶射材の検討を次のとおりおこなった。

- 1 下地溶射材：Ni-Crの配合比率による熱膨張係数の影響
- 2 下地溶射材の熱膨張係数とセラミック溶射層の耐熱衝撃性について

2. 実験方法

2-1 試料作製に用いた材料

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80Ni-20Cr合金粉末（粒度40 μ m前後）、50Ni-50Cr合金粉末（粒度45～25 μ m）、Ni粉末（粒度149 μ m前後）、Cr粉末（粒度149 μ m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（ Al_2O_3 粒度44～10 μ m前後）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前後のアルミナグリッドを用い、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 熱膨張試験片の作製

基材50×50×5mmの表面にブラスト処理を施した後、アルミナ、80Ni-20Cr合金粉末、50Ni-50Cr合金粉末、および表1に示す配合比率のNi-Cr混合粉末をそれぞれ厚みが3mm以上になるよう溶射した。

上記の試験片から基材を切削除去し溶射層のみを取り出し20×3×2mmの熱膨張試験片を作製した。

表1 Ni-Cr混合溶射材

10Ni90Cr
20Ni80Cr
35Ni65Cr
50Ni50Cr
80Ni20Cr

2-4 熱衝撃用供試材

基材表面をブラスト処理した後、直ちにプラズマ溶射装置を用いて下地溶射、表面溶射を行い、表2に示す熱衝撃用供試材を作成した。

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 (膜厚0.1mm)
	Ni (膜厚0.3mm)
	50Ni-50Cr合金 (膜厚0.1mm)
	50Ni-50Cr合金 (膜厚0.3mm)
	50Ni-50Cr混合 (膜厚0.1mm)
	20Ni-80Cr混合 (膜厚0.2mm)
	Cr (膜厚0.1mm)
Cr (膜厚0.3mm)	

2-5 溶射被膜の結晶相の同定

2-3で作成した下地溶射の各被膜についてX線回折装置で結晶相の同定をした。

2-6 被膜の組織

下地溶射、熱衝撃用供試材の断面組織および主要元素の分布状況についてEPMA（電子線マイクロアナライザー）で調べた。

2-7 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℃で歪取り焼鈍を行った後、酸化スケールを除去しTMA（熱機械分析装置）を用いてRT（常温）～800℃の熱膨張率および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雰囲気で行った。

2-8 熱衝撃試験

ホワイト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調べるため表2に示す供試材8種類について熱衝撃試験を行った。熱衝撃試験の方法はJIS H-8666セラミック溶射試験方法に準じ加熱温度800℃で30分間保持後水冷の操作を数回繰り返した。

3. 実験結果および考察

3-1 下地溶射被膜の組織および結晶相

下地溶射被膜（50Ni-50Cr合金、50Ni-50Cr混合、20Ni-80Cr混合）の断面組織の電子顕微鏡組織写真を写真1に示す。

これらの試料についてEPMAで調べた結果50Ni-50Cr合金粉末で溶射した組織は概ね、均一にNiとCrが固溶した状態になっていたが、NiとCrの混合粉末で溶射した組織は写真1の如く50Ni-50Cr、20Ni-80CrのいずれもNi相とCr相の二相に分離した状態になった。

このことは溶射の凝固速度が非常に早いため1個、1個の粒子が独立して凝固し互いに合金化しなかったと考えられる。

次にNiとCrの配合割合を種々に変化させた下地溶射被膜のX線回折図形を図1に示す。混合粉の場合、NiとCrの割合が1：1までは結晶構造がfcc（面心立方格子）とbcc（体心立方格子）の二相に分離するが、Crの濃度の減少に伴い結晶構造がfcc構造になって来ている。一方、合金粉末の場合はNiとCrの割合が1：1であっても結晶構造がfcc構造になっている。

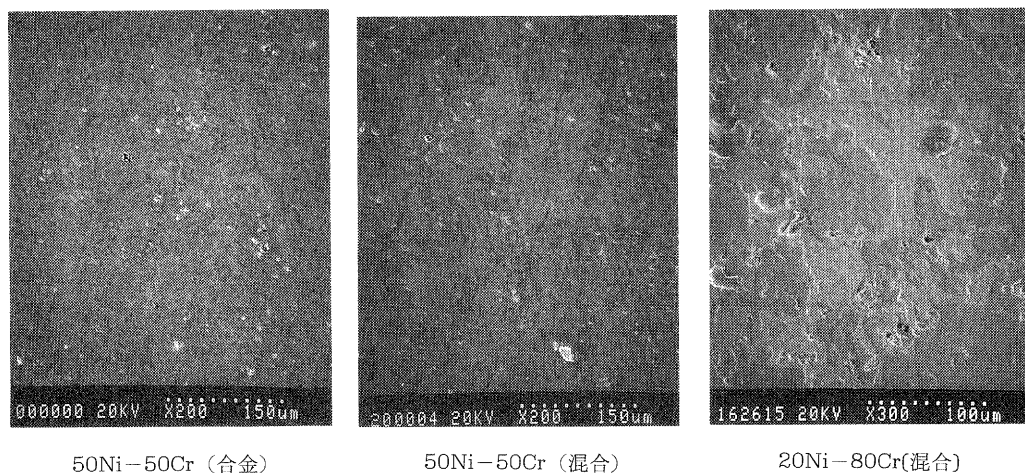


写真1 下地溶射被膜の断面組織（SEM像）

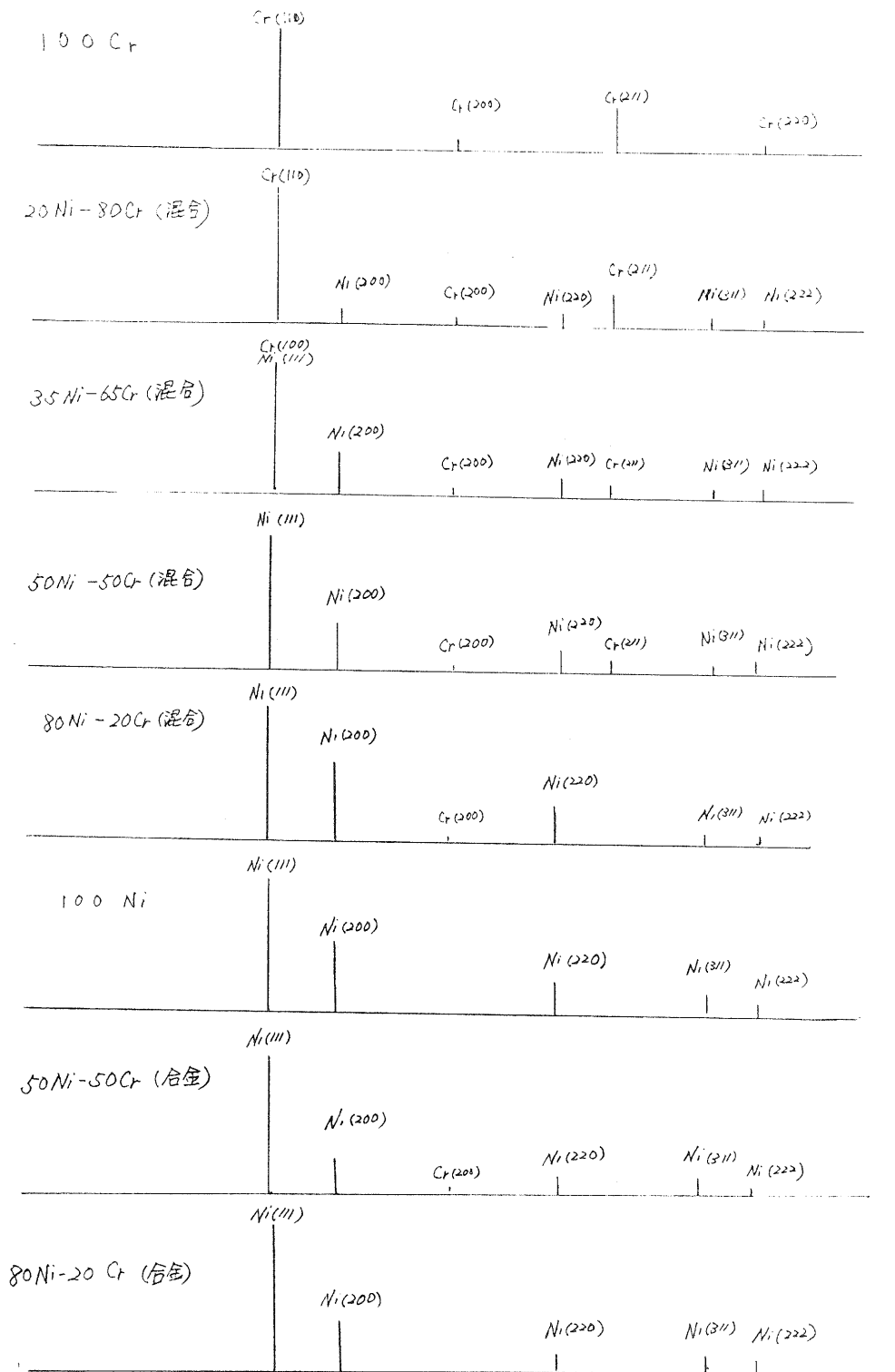


図1 下地溶射材のX線回折図形

3-2 下地溶射被膜の熱膨張試験の結果

NiとCrの配合割合を種々に変化させた下地溶射材の熱膨張係数、熱膨張率の結果を図2、図3に示す。いずれも室温から800℃までの値である。

図2から明らかのようにNiの配合が増加するに伴い熱膨張係数が上昇する傾向にある。逆にNiとCrの混合比が1以下になるに従って熱膨張係数は減少する傾向にある。一方、合金粉末を溶射した50Ni-50Cr, 80Ni-20Crは大きな変化はみられなかった。

このことは図1のX線回折の結果から結晶構造がfccになればなるほど原子密度が密のため膨張係数が増加すると考えられる。

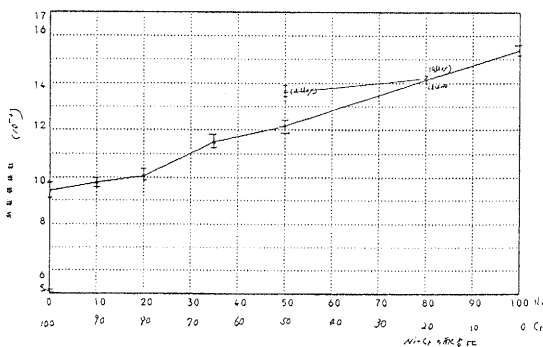


図2 下地溶射材の熱膨張係数

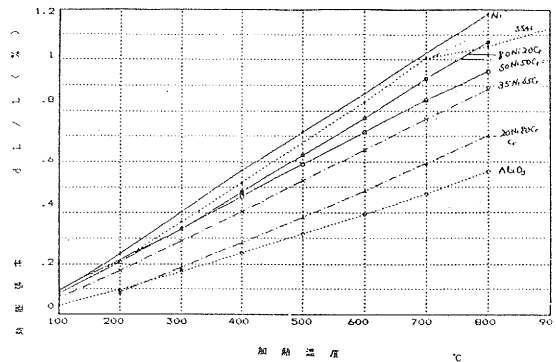


図3 基材および溶射被膜の熱膨張率について

3-3 熱衝撃試験の結果

図3に示す基材および溶射被膜の熱膨張線図を参考にして表2の供試材の耐熱衝撃性を調べた。その結果を表3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1回の熱衝撃で基材から全面的に層間剝離した。

次に下地溶射の材質の違いによる表面溶射の耐熱衝撃性は基材と熱膨張率が近似したNiの下地溶射は約3回で基材から全面的に層間剝離した。

また、従来から耐熱衝撃性に有効とされてきた50Ni-50Crの下地溶射材も基材との熱膨張係数の差があまりなく耐熱衝撃性については大きな効果はなかった。

そこで、セラミック溶射の耐熱衝撃性を向上させるには素材間の熱膨張係数の差を少なくして熱応力の発生を減少させることが重要で、熱膨張係数の少ないAl₂O₃溶射層と熱膨張係数の大きい基材(SS41)の熱膨張差による熱応力の緩和には両者の中間の熱膨張係数になる下地溶射材が有効であると考え、50Ni-50Cr混合(第1層)、20Ni-80Cr混合(第2層)の漸次溶射を試みた。断面写真および主要元素の分布状況を写真2に示す。写真2からあきらかにこの下地溶射層は基材(SS41)、表面溶射層(Al₂O₃)ともに良く密着されており、下地溶射材のNi相は基材側にCr相は表面溶射層側に分布している。熱衝撃試験の結果、約10回の熱衝撃に耐えられ、コーナー部に僅かにクラックが生じたのみであった。

最後に表面溶射層の熱膨張係数と近似したCr単属の下地溶射の耐熱衝撃性について調べ

てみた結果、上述の漸次溶射と同様の耐熱衝撃性が得られた。

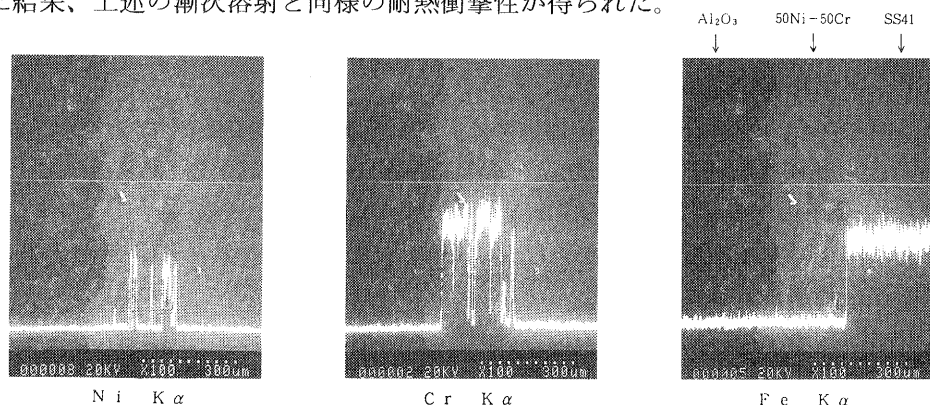


写真2 溶射層の断面組織および主要元素の分布

表3 熱衝撃試験結果

下地溶射 表面溶射	基材	Ni 膜厚0.1mm	Ni 膜厚0.3mm	50Ni-50Cr 膜厚0.1mm	50Ni-50Cr 膜厚0.3mm	50Ni-50Cr 20Ni-80Cr	Cr 膜厚0.1mm	Cr 膜厚0.3mm
ホワイトアルミナ Al ₂ O ₃ 膜厚0.3mm	×	×	×	□	△	◎	◎	◎
	1回目	3回目	3回目	6回目	2回目	10回目	10回目	10回目
	×	×	×	□	□	◎	◎	◎
	1回目	4回目	3回目	6回目	2回目	10回目	10回目	10回目
	×	×	×	□	△	◎	◎	◎
1回目	4回目	3回目	6回目	2回目	10回目	10回目	10回目	
×	×	×	□	□	◎	◎	◎	
1回目	4回目	3回目	6回目	2回目	10回目	10回目	10回目	

×：全面層間剥離（基材より剥離50%以上） □：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%以上） ◎：コーナークラック

4. まとめ

以上の結果より、耐熱衝撃性の向上を目的としたSS41（一般構造用圧延鋼材）へのアルミナの溶射では次のことがいえる。

- (1) セラミック溶射の耐熱衝撃性は素材間の熱膨張差による。
- (2) 素材間の熱膨張差による熱応力の緩和には下地溶射が必要である。
- (3) 熱応力の緩和の下地溶射材として50Ni-50Cr、20Ni-80Crの漸次溶射並びにCr溶射が有効である。
- (4) Ni-Cr系の熱膨張係数は結晶構造に起因する。

謝 辞

本研究を遂行するにあたってご指導をいただいた津崎兼彰研究参与（京都大学工学部助手）

ならびに、試料を提供していただいたカオスハイテク協同組合理事 種岡一男氏に感謝します。

[参考文献]

- (1) JIS H-8666 セラミック溶射試験方法
- (2) セラミックコーティング技術総論総合技術出版
- (3) 西内、今西、種岡 滋賀県工業技術センター研究報告 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 1987
- (4) 西内、今西、種岡 滋賀県工業技術センター研究報告(経過報告) セラミック溶射被膜の耐熱衝撃性向上について 1988

低塩漬物の保存性向上と成分分析への バイオセンサー利用について

技術第二科 矢 田 稔

あらまし：近年低塩化が進んできている漬物について、新しい殺菌法として着目されてきている高圧殺菌（5000kg/cm²）利用の可能性を検討し、また、酸素電極と固定化酵素膜で構成されたバイオセンサー試作し、漬物の成分分析に応用した。

高圧による殺菌は、試料中の初期の生菌数を相当量減少させることができ、保存性を向上させるが、耐熱性芽胞菌等殺菌できない細菌が残存するので、より保存性を向上させるためには、残存細菌を増殖させない対策（pHの低下等）の併用を必要とした。

バイオセンサーについては、光硬化性樹脂より固定化した酵素（乳酸酸化酵素およびグルコースを簡単にかつ高感度（1μg程度）に測定できることがわかった。

1. まえがき

低塩漬物殺菌に高圧を利用することの利点は、その殺菌効果が高圧によるタンパク質の変性由来しており温和であるため、栄養成分、色素、香氣成分等の分解や反応を起こさないで、加熱殺菌と比較して生のままの味や臭いを保持できることである⁽¹⁾。しかし、温和であるために枯草菌（*B.subtilis*）等耐熱性芽胞菌は殺菌後も残存する⁽²⁾。そこで、残存する菌の増殖抑制の対策を検討してきているが、今回は塩分濃度とpH調整について試験を実施した。

成分分析についても最近注目されつつあるバイオセンサーの利用を検討した。今回使用したバイオセンサーは、酸素電極と固定化酵素膜を用いたもので、これは酸化酵素等による反応により消費された酸素濃度の変化を測定するもので、種々の生体成分の分析に利用されてきている⁽³⁾。従来法（高速液体クロマトグラフ）では、分離用カラムが高価でありかつ使用回数が限定されており、液体クロマトグラフの本体自体も高価で、食品試料のようなものは分析時に前処理に手間がかかる。また、今回分析した乳酸や糖の場合検出器（糖は示差屈折率計、有機酸はUV210nm）の感度がよくなく、移動相にも高価なLCグレードの試薬を必要とするなどの欠点がある。一方、バイオセンサーは電極と記録計があれば、特殊な機器を必要とせずに測定が可能であり、酵素を使用しているので基質特異性が高く分離分析の必要がなく、前処理もほとんど必要としない。今回は、酵素固定化膜と酸素電極により構成したバイオセンサーの特性と実試料の分析への応用を検討した。

2. 実験方法

2-1 供試試料

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5mm角程度に刻む。この赤カブに820gに蒸留水150gと30gの塩化ナトリウムを加えて（塩分3%）重石をし、冷蔵庫（0℃）で4日間放置したものをよく混合した後、綿ろ過により固液分離する。このとき赤カブを十分絞りでできるだけ水分が残らないようにする。このようにして得た試液に塩分調整（そのままのものと5%、8%になるよう食塩を加える。）およびpH（DL-リンゴ酸0.3gと水酸化ナトリウムと水でpH4.5、5.0、5.5に調整した緩衝液4gを上記試験液60gに加える。）して、容量約3mlのポリエチレン製チューブに入れ、口を加熱融着し封入したものを、無処理と加圧殺菌（三菱重工製MCT型CIP装置を用い、20℃で5000kg/cm²の静水圧を10分間保持することにより行った。）の各区分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 保存性試験

サンプルを23℃、50%RHの恒温槽で保存し、経過時間毎にチューブを開封し、試料の生菌数、pH、乳酸量およびグルコース量を測定した。生菌数は、標準寒天培地を用い30℃48時間培養後計数し⁽⁴⁾、pHはpHメーター（堀場製作所C-1型）で測定した。乳酸量とグルコース量は、酸素電極と固定化酵素膜を用いたバイオセンサーにより測定したが、詳細は以下に述べる。

2-3 バイオセンサー

(1) 乳酸

アルミホイルで覆った試験管を用いて、乳酸酸化酵素（以下LOD、ベーリンガマンハイム山之内：抽出源・Mycobacterium smegmatis、15units/mg）約2mgを0.02Mリン酸緩衝液pH6.0（KH₂PO₄-Na₂HPO₄）20μlに溶解したものに、10%PVA-SbQ（東洋合成工業、感光基であるスチルバゾリウム基を有するポリビニルアルコール⁽²⁾）水溶液100mgを加えて、マイクロパテルで泡のできないようによくかく拌した後、テフロンシート上に広げて薄い膜にする。これを冷蔵庫（0℃）内で1夜乾燥し、蛍光灯下（距離約15cm、30分照射）で硬化し酵素を固定化する。この酵素膜は、上記緩衝液中で冷蔵保存して使用した。

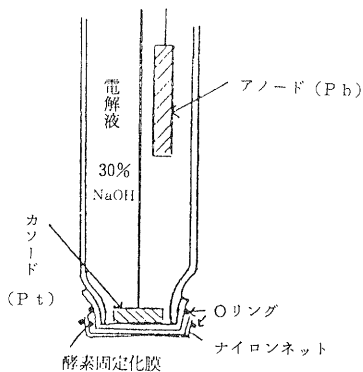


図1 酵素電極（酵素膜付）

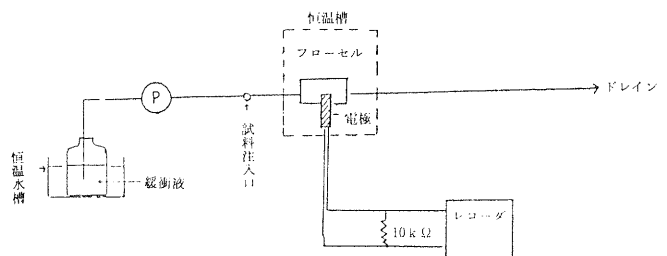


図2 測定用フローシステム

酵素膜を図1のように酸素電極（エイブルBO型、ガルバニ電池式）の白金電極上にナイロンネットで固定化し、図2のようなフローシステムで測定した、なお、ポンプ、恒温槽、試料注入装置（オートサンプラー）は、液体クロマトグラフ（島津製作所LC6A）のユニットを使用した。測定条件は、流速：1 ml/分、温度：30℃、緩衝液：pH6.2(0.1MKH₂PO₄・Na₂HPO₄)であった。この測定の原理は、次式の反応が膜上にL-乳酸が存在するとき起こり⁶⁾、電極上の溶存酸素量が低下することによる電流量の変化を記録するものである。

LOD



(2) グルコース

乳酸と同様の方法で酵素膜を作製した。使用した酵素は、グルコースオキシターゼ（以下GOD、和光純薬工業：抽出源・Aspergillus niger由来、活性201units/mg）で測定原理も次式で示すような反応が起こり⁶⁾、溶存酸素が低下するので、乳酸の場合と同様に起電力の変化を測定する。なお、標準試料のD-グルコース水溶液はα、β型のアノマー平行に達するまで1日放置したものを使用した。

GOD



3. 実験結果および考察

3-1 バイオセンサー

(1) 乳酸

固定化LODを付けた測定用フローシステムでL-乳酸の各種濃度を3μlオートサンプラーによりサンプリングしたときの測定チャートを図3に示すが、乳酸がフローセルを通過するとき、溶存酸素濃度が低下し、これにより電圧の低下（ピーク）が生じる。以下のデータの処理にはピークの高さ（電圧変化）を使用した。

利用した酵素の至適pH検討するために、pH4～8の各種0.1M緩衝液（pH4～5.5：クエン酸カリ・NaOH、pH5.5～8：KH₂PO₄・Na₂PO₄）を用いて、0.5%乳酸を3μlサンプリングしたときのピークの高さ（酵素膜の活性の強さ）を調べた結果を図4に示すが、pH5.0か

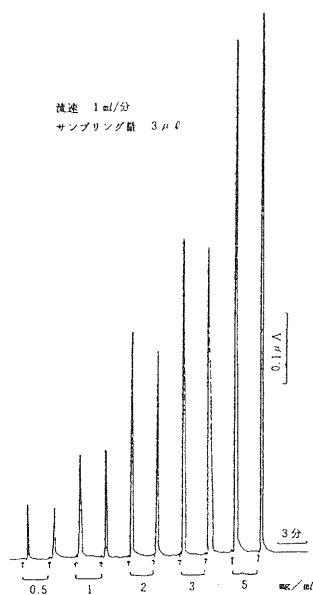


図3 乳酸による電流変化

らpH7.4の間ではほぼ同じ活性を示すが、それよりも高い場合も低い場合も急激に活性が低下する。なお、図4はリン酸緩衝液のpH6.2のときのピークの高さを1とし、緩衝液の差により多少ピーク高さに差があったので、異なる緩衝液間の補正は、重なるpH（例えばクエン酸緩衝液とリン酸緩衝液の場合はpH5.5）で行った。

使用した酵素の基質特異性をみるため、L-乳酸、クエン酸、L-酒石酸、L-リンゴ酸、DL-リンゴ酸、DL-乳酸の0.5%溶液を5 μ lサンプリングした結果を図5に示すが、DL-乳酸は約半分、その他のものは、ほとんど反応を示さなかった。

次に、試料の乳酸定量用の検量線の作成を行ったが、酸素電極を用いており、試料が3、5、8%のNaClを含んでいるので、塩素イオンの影響⁷⁾を調べるため、NaClを含まないものと、3、5、8%とのNaClを含むものについて、それぞれ検量線（サンプル量3 μ l）作成した結果は図6のようになり直線性はどの検量線も良好であったが、NaCl量の増加と共に感度が低下した。

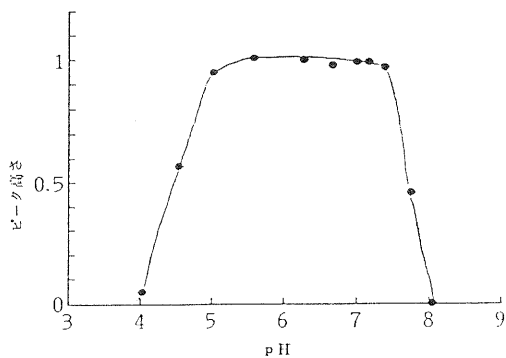


図4 LODの至適pH

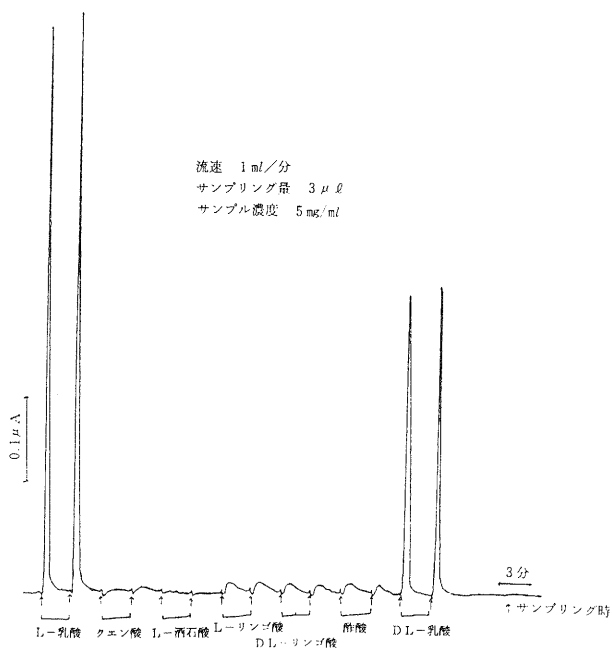


図5 LODの基質特異性

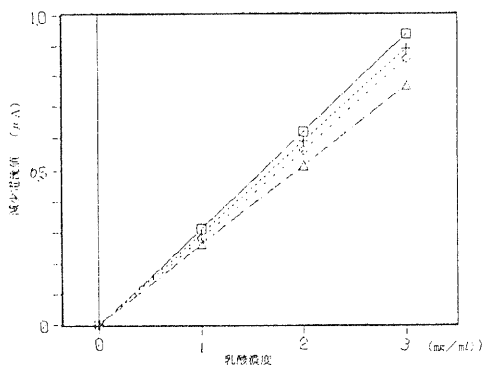


図6 乳酸検量線 (NaCl濃度の影響 I)

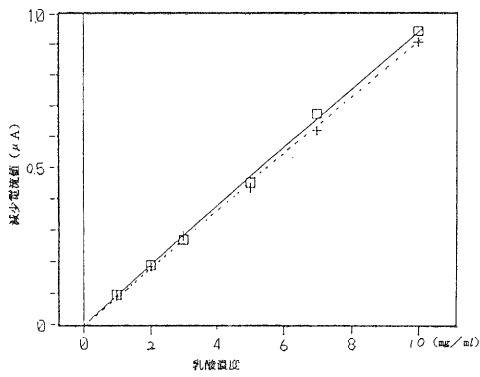


図7 乳酸検量線 (NaCl濃度の影響 II)

また、この感度の低下はサンプル量が少なくなると共に小さくなった。(図7参照)一番感度のよいNaCl無添加のもので $104\text{nA}/1\mu\text{g}$ 乳酸(ピーク高さが約 2.6cm)の応答を示した。なお、試料については、前処理なしに $3\mu\text{l}$ サンプリングし、塩分濃度による補正をして定量した。

(2) グルコース

GODの固定化酵素についても、乳酸の場合と同様にグルコースの各種濃度をサンプリングしたときのチャートは図8のようになった。

また、至適pHについては、pH2.5からpH12.3(pH2.5~5.5:クエン酸・クエン酸カリ・NaOH、pH5.5~8:KH₂PO₄・Na₂PO₄、pH9~10:Na₂CO₃・NaHCO₃、pH11~12:Na₂HPO₄・NaOH)まで検討したが、図9に示すように、pH4.0からpH9.0までほぼ同じ活性を示した。なお、この場合もリン酸緩衝液pH6.2のときもピーク高さを1とした。

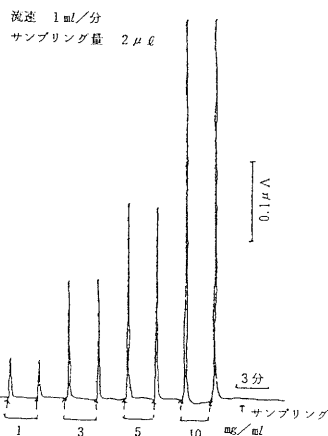


図8 グルコースによる電流変化

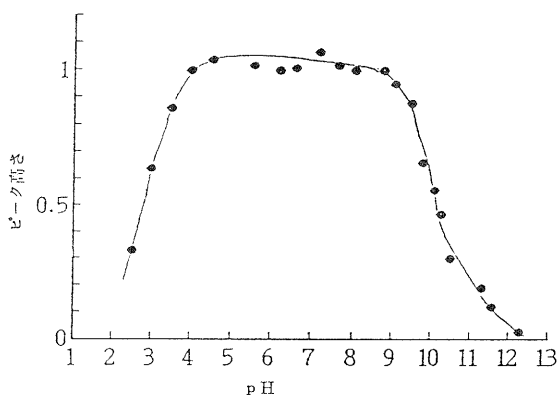


図9 GODの至適pH

基質特異性については、グルコースの他4種の糖の0.5%溶液を $5\mu\text{l}$ サンプリングしたが、図10に示すようにグルコース以外の糖には反応しなかった。

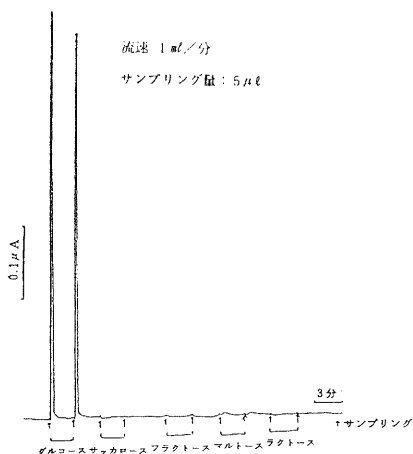


図10 GODの基質特異性

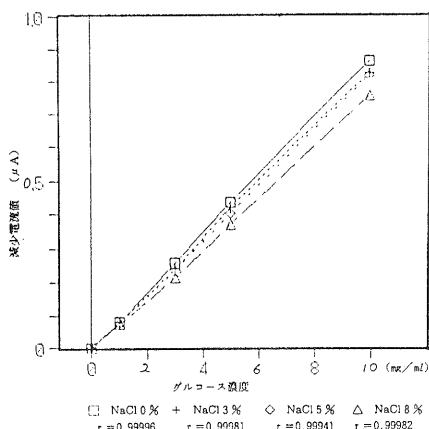


図11 グルコースの検量線 (NaCl濃度の影響)

検量線の作成も、NaClを含まないものと、3、5、8%含んでいるものについて2 μ l サンプルングして行った。その結果は、図11に示すように乳酸の場合と同じ傾向となり、一番感度の良いもので4lnA/1 μ g-グルコース（ピーク高さが約1.0cm）応答を示した。試料の定量も乳酸の場合と同じように、2 μ l サンプルングして行った。

3-2 保存性試験

塩分3、5、8%試料と、塩分3%でpHをリンゴ酸を用いた緩衝液で調整した試料（pH4.5、5.0、5.5の3点）の6種の試料について保存性試験を実施し、生菌数、pH、乳酸量、グルコース量の変化を調べた。

まず、生菌数についてみると図12、13の様になり、どの区分も高圧処理により10⁴~⁵/mlものも10²/mlのオーダーまで減少するが、完全な殺菌はできなかった。pH影響については、pH4.5（赤カブの汁のpHが、約6あり緩衝液との混合後はpH4.72となった）のものは、高圧処理のものも無処理のものも生菌数の増加は認められなかった。pH5.0（前と同様にpH5.18）のものは、高圧処理のものが9日過ぎで、無処理のものが5日で品質が悪化すると思われる10⁷/mlを超えた。pH5.5（同様にpH5.68）は、高圧処理のものが5日、無処理で2日で10⁷/mlを超えた。また、塩分濃度の影響は、8%の濃度では、多少制菌効果が認められたが、3、5%では同じ挙動を示し、無処理のものが2日処理したもので5日で品質が悪化した。

pHの変化については図14、15、表1に示すが、pH調整した

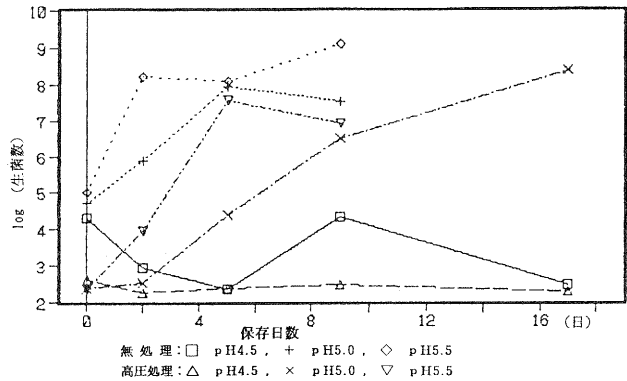


図12 保存日数と生菌数（pH調整）

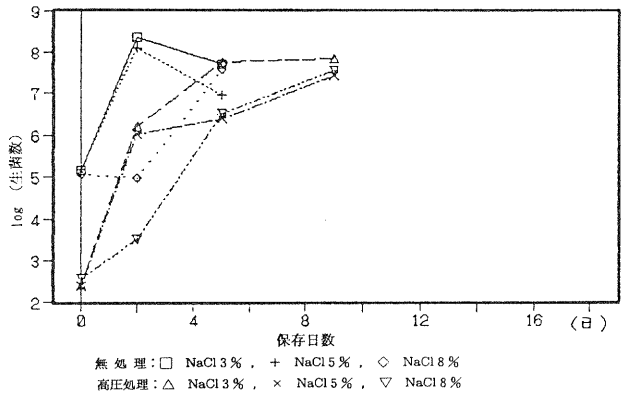


図13 保存日数と生菌数（塩分調整）

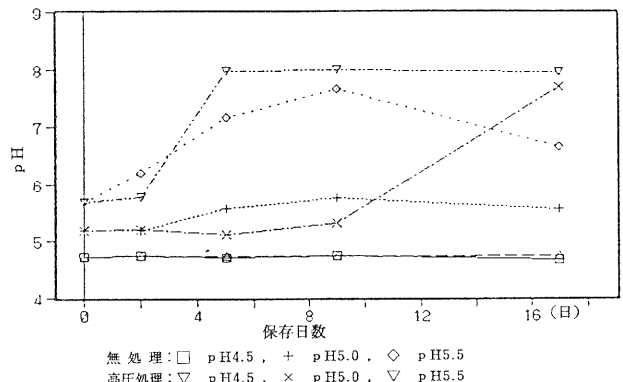


図14 保存日数とpH（pH調整）

ものに関しては、pH4.5のものは、高圧処理したものも無処理のものも全く変化なく、pH5.0では無処理が5日で、処理したものが17日の時点でpHが上昇していた。pH5.5のものが最も早く変化し無処理のもので2日、処理したもので5日で上昇していた。塩分を添加したものについてみると、最初pH6.05であったものが、無処理のものは、3、5%の

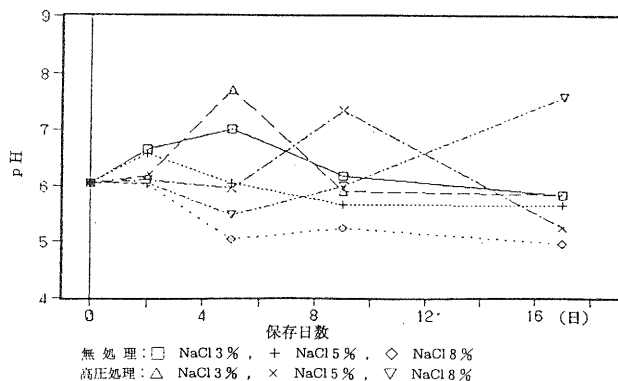


図15 保存日数とpH (塩分調整)

表1 保存日数とpH

保存日数	無 処 理			高 圧 処 理		
	pH4.5	pH5.0	pH5.5	pH4.5	pH5.0	pH5.5
0	4.72	5.18	5.68	4.72	5.18	5.68
2	4.73	5.18	6.20	4.74	5.20	5.77
5	4.70	5.56	7.17	4.73	5.11	7.98
9	4.73	5.76	7.67	4.74	5.31	8.00
17	4.67	5.55	6.65	4.73	7.71	7.97
保存日数	NaCl13%	NaCl15%	NaCl18%	NaCl13%	NaCl15%	NaCl18%
0	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05
2	6.66	6.58	6.03	6.17	6.10	6.05
5	7.02	6.04	5.03	7.72	5.95	5.47
9	6.18	5.66	5.24	5.90	7.35	6.00
17	5.83	5.65	4.94	5.82	5.23	7.60

両区分が2日でpHが上昇し始め9日頃から低下しており、8%は5日でpH5程度まで低下した。高圧処理したものは、3、5、8%の順に5、9、17日の時点でpHが上昇した。

乳酸量については図16、17、表2に示すが、pH調整したものでは、pH4.5のものは処理したものも無処理のものも乳酸を生成せず、その他のものでは高圧処理したものの方が乳酸量が多くなった。塩分調整したものについても、高圧処理したものの方が乳酸量が多いという結果であった。

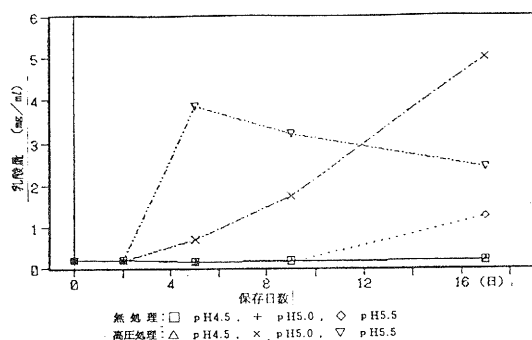


図16 保存日数と乳酸量 (pH調整)

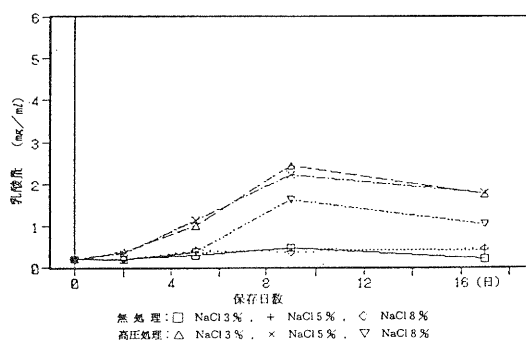


図17 保存日数と乳酸量 (塩分調整)

表2 保存日数と乳酸量

		無 処 理			高 圧 処 理		
		pH4.5	pH5.0	pH5.5	pH4.5	pH5.0	pH5.5
保存日数							
0		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2		0.20	0.20	0.18	0.19	0.18	0.21
5		0.15	0.15	0.15	0.14	0.69	3.83
9		0.18	0.15	0.14	0.15	1.73	3.19
17		0.20	0.18	1.24	0.18	5.01	2.42
保存日数		NaCl3%	NaCl15%	NaCl18%	NaCl3%	NaCl15%	NaCl18%
0		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2		0.20	0.19	0.19	0.38	0.33	0.17
5		0.28	0.35	0.42	0.99	1.14	0.38
9		0.46	0.45	0.36	2.44	2.21	1.61
17		0.20	0.40	0.45	1.75	1.78	1.02

グルコース量の変化については図18、19、表3に示す。pH調整区分では、pH4.5のものは他の項目と同じように処理したのも、未処理のものも成分に変化がなかった。また、pH5.5ものが一番早くグルコース量が減少しだし9日で0となり、次に、pH5.0のものが減少し、高圧処理は減少を多少抑制した。塩分調整区分では、NaCl8%のものはグルコース量にほとんど変化がなく、3、5%のものでは無処理のものの方が早く減少しだしたが、9日の時点では高圧処理したものの方が減少した。また、その区分（高圧処理のNaCl3、5%）は、17日で再度上昇した。

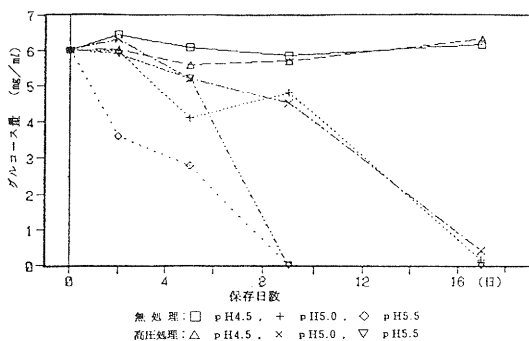


図18 保存日数とグルコース量（pH調整）

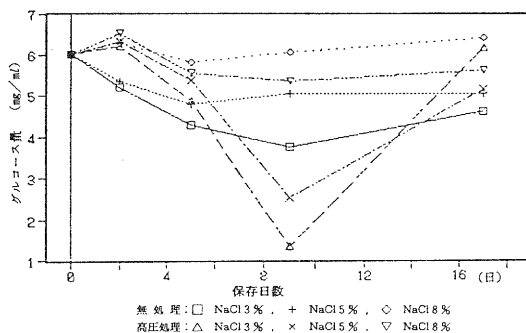


図19 保存日数とグルコース量（塩分調整）

表3 保存日数とグルコース量

		無 処 理			高 圧 処 理		
		pH4.5	pH5.0	pH5.5	pH4.5	pH5.0	pH5.5
保存日数							
0		6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
2		6.46	5.98	3.58	6.05	6.34	5.91
5		6.10	4.11	2.79	5.60	5.21	5.21
9		5.86	4.80	0	5.72	4.51	0
17		6.17	0.15	0	6.33	0.42	0

保存日数	NaCl3%	NaCl5%	NaCl8%	NaCl13%	NaCl15%	NaCl18%
0	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
2	5.21	5.36	6.32	6.22	6.33	6.53
5	4.28	4.78	5.82	4.88	5.38	5.56
9	3.74	5.06	6.06	1.36	2.53	5.36
17	4.60	5.06	6.43	6.17	5.16	5.62

成分分析に関する今回の結果は、前年度結果（無処理のもので多量の乳酸の生産が認められた）と比較して乳酸量が少なく（特に無処理地区で）、このことは、試験開始時の微生物相に乳酸菌が少なかったこと、試料の封入に真空包装機を使わなかったこと、試料として液汁しか用いなかったことなどが考えられる。また、pH調整用としてリンゴ酸を添加した方が、微生物が増殖した場合糖の減少速度が早いという現象が認められ、リンゴ酸の添加がグルコースの減少に関係があったものと思われる。そのほか、pH4.5に調整したものは、無処理のものも高圧殺菌したものも、17日間では成分的に変質しなかった。

4. むすび

以上述べてきたように、高圧処理後の残存細菌の増殖抑制対策として塩分は、効果のあるものの、今回試験した試料では8%でも十分ではなかった。また、前報の試験結果[®]やpHの低い（3オーダ）柑橘類果汁の保存製試験の結果[®]と考え合わせるとpHを下げることは残存細菌の増殖抑制に有効であることがわかる。現在流通している市販袋詰め漬物のほとんどが酸味料でpHが下げられている（pH4台）ことからその殺菌に高圧を利用することは可能であろう。

バイオセンサーについては、簡便かつ液体クロマトグラフに比較して、高感度に定量することが可能であった。今回はフローシステムを利用したが、バッチシステムを測定する場合はより器具を必要とせず、食品工場での現場測定にも使えるものと思われる。また、LOD、GODの両固定化膜とも保存性（1カ月以上）や使用中の耐久性（1週間以上）に優れており実用上問題はなかった。

今後、酸素電極を利用して、他の糖や有機酸の定量や、複数の酵素を用いて直接に酸化する酵素が無いもの（スクロースやデンプン）の計量への利用を検討したい。

[参考文献]

- (1) 林 力丸：食品と開発、12、62 （1989）
- (2) 光浦暢洋：食品と開発、12、44 （1989）
- (3) 軽部征夫：バイオセンサー 共立出版 （1986）
- (4) 日本薬学会編：衛生試験法・注解、P106 （1983）
- (5) 東洋合成工業(株)：技術試料「PVA-SbQ光架橋樹脂の応用」
- (6) 丸尾文治他監修：酵素ハンドブック 朝倉書店 （1984）
- (7) 日本規格協会：JIS K0102 工場排水試験法 P85 （1986）
- (8) 矢田 稔：滋賀県工業技術センター研究報告、P97 （1989）
- (9) 小川浩史：農化誌、63、1109、（1989）

高圧を利用した創造的新食品の開発に関する研究（第一報）

—大豆と漬物に対する高圧効果の検討—

技術第二科 松 本 正

あらまし：高圧を食品の加工・保存技術として利用し、創造的新食品を開発する目的で、大豆や大豆タンパク質、漬物等の食品素材や食品を高圧処理し、その加工特性をいくつか検討した。

その結果、大豆は7000気圧で2時間高圧処理を施してもほとんど硬さは変化しなかった。しかし、加熱処理の前に高圧処理を施せば加熱処理のみの場合に比べ硬くなり、加熱処理の後に高圧処理を施せば逆に軟らかくなるという興味深い結果が得られた。同様に、分離大豆タンパク質においても加熱処理の前に高圧処理を施せば、より硬いゲルが得られることが判明し、食品への応用が期待される。また、大豆に多量に含まれる反栄養因子であるトリプシンインヒビターは、高圧処理だけでは失活しないが、圧力とともに50℃程度の熱を併用すればある程度まで失活することが明らかになった。

漬物の高圧処理において、しば漬けと日野菜さくら漬けは物性の変化がなく保存性も良好であったが、ゆず大根漬けは硬さが低下した。漬物は、種類により高圧処理の適するものと適さないものが存在することが再確認できた。

1. まえがき

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わが国の食生活において、消費者ニーズに対応するためには個性化、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いる。そして、このことは滋賀県の食品関連中小企業においても緊急の課題となっていることが、当所が委託して実施した業界の技術実態調査にて明らかになっている⁽¹⁾。

このような業界のニーズに対応できる技術を開発するため、筆者らは昭和62年度より、高圧下においてタンパク質が変性したり、凝固・ゲル化する現象を食品加工へ応用するという一連の研究である「食品への高圧利用」研究に取り組んでおり（文献2～4参照）、各種の食品や食品素材に高圧処理を適用しその性質を検討している。食品への高圧利用の特徴や優位性については、既に多数の報告がなされているが^(5～13)が、簡単には次のようにまとめることができる。

*本研究の一部は、平成元年8月24日～25日に国立京都国際会館で開催された「第2回生物関連領域における高圧科学研究会シンポジウム」で発表した。

- 1) 熱と同様にタンパク質の変性やデンプンの α 化等が可能。—食品加工に利用できる。
- 2) 熱と同様に微生物の殺菌や寄生虫の殺虫が可能。—食品の安全性維持ができる。
- 3) 熱と違い風味や栄養成分の劣化がない。—美味しく、栄養性に富んだ食品を開発することができる。
- 4) 高圧処理物の物性は加熱処理物の物性と違う。—新しい物性の食品素材の開発が期待できる。
- 5) 食品プロセスの多様化—加熱に加圧プロセスを加え、各食品に最適のプロセスを新たに工夫できる。
- 6) エネルギー消費が少ない。—圧力は内部まで瞬時に伝わることと、いったん目的圧力に到達すればエネルギー供給はいらなことから、加熱に比べエネルギー消費は少ない。

本研究報告では、このように優位な特徴を持つ高圧を食品加工へ応用し、現代の消費者ニーズに対応できる創造的新食品を開発する目的で実施した2, 3の検討について、その結果を報告する。

なお、圧力の単位には、気圧、kgf/cm²、bar (バール)、Pa (パスカル) 等が存在し、現在、国際的には、SI単位であるPaの使用が推奨されているが、完全に普及していなく、本報告書においては、一番馴染みやすく、また大きさを想像しやすいと思われる「気圧」を使用して記述した。ちなみに、海に潜ると水深が10m増す海に、圧力は1気圧増すので、水深10,000mの海底は、約1000気圧と思えば理解しやすい。

表. 分離大豆タンパク質の一般分析値

成分	粗成 (%)
水分	6.3
粗タンパク質	91.0
粗脂肪	0.2
灰分	4.0
粗繊維	0.01
その他	~0
窒素溶解指数	90

2. 実験材料

2-1 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各種漬物：㈱マルマタより提供を受けた。

(しば漬け、日野菜さくら漬け、ゆず大根漬けの3種類)

- ②分離大豆タンパク質⁽¹⁷⁾：日清製油㈱より提供を受けた。その組成を表に示す^(3~4)。

- ③大豆(タマホマレ)：平成元年近江八幡市の圃場で収穫されたものを使用した。

2-2 試薬等

本研究には次の試薬を用いた。

- ①結晶大豆トリプシンインヒビター：生化学工業㈱製

- ②結晶ウシ膵臓トリプシン：メルク社製

- ③ α -N-Benzoyl-DL-arginine-p-nitroanilide (以下BAPAと略す)：半井テスク㈱製

その他の試薬はすべて特級品を用いた。

3. 実験方法

3-1 高圧処理^(14~15)

高圧処理は、三菱重工工業株式会社製 食品用小形高圧試験装置(MCT型)により行った。本装置の高圧容器内容積は約500mlであり、これに蒸留水と試料を入れ、最高7000気圧まで加圧した。加圧に要する時間は5000気圧で約60秒、7000気圧では約90秒であった。圧力容器内の温度は容器の外周に恒温水を循環させて制御した。

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。高圧処理は、目的圧力に到達後、一定の時間保持し、減圧後試料を取り出した。

3-2 物性測定方法⁽¹⁶⁾

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GTX-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/cm²)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のようになり、H(kgf)を試料の断面積で除した値を圧縮応力(kgf/cm²)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_1/A_2 を凝集性とした。

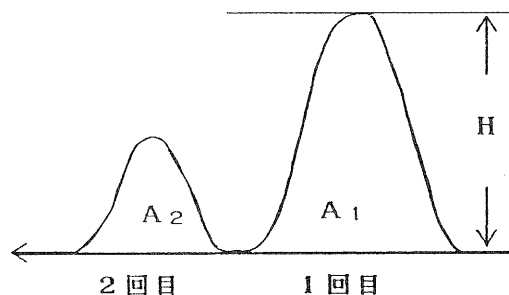


図-1 テクスチャープロフィール
ゲルの圧縮応力と凝集性の測定

③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で1回そしゃくし、この際に要した力を硬さ(kgf)とした。

④大豆粒の硬さ測定

大豆粒を二分割し、平坦面を下向きに試料皿上に置き、 $\phi 50\text{mm}$ プランジャーを用い、クリアランス1.5mmで1回そしゃくし、この際に要した力を硬さ(kgf)とした。

3-3 トリプシンインヒビターの活性測定⁽¹⁷⁾

トリプシン活性はBAPAを基質にトリス-塩酸緩衝溶液(pH8.0)中で、37℃5分間反応させ、遊離するP-ニトロアニリンを吸光度410nmで測定することにより求めた。インヒビター活性は、トリプシン活性を100%阻害すると予想される量を加えたときのトリプシン残

存活性から求めた。

3-4 大豆タンパク質のゲルろ過クロマトグラフィー^(18~19)

株式会社島津製作所製高速液体クロマトグラフLC-6A型に、昭和電気株式会社製ゲルろ過カラムProtein WS-803Fを用い次の条件で行った。

溶 離 液：0.01M-りん酸ナトリウム緩衝溶液(0.2M-硫酸ナトリウム含有) pH7.0

流 速：0.5ml/分

カラム温度：40℃

検 出：280nmの吸光度

4. 結果と考察

4-1 大豆の高圧処理による物性変化⁽²⁰⁾

近年、米の減反政策により、滋賀県においても転作として大豆の生産量が增大している。そこで地域農産物の有効利用化を推進するため大豆を使用した新製品の開発を目的に、高圧の利用を検討している。

高圧には熱と同様にタンパク質を変性させ、食品素材を軟化する作用があるため^(5~11)、今回は大豆を高圧処理した場合の、粒の軟化の可能性を検討した。

大豆を、常温(20℃) および50℃において1000気圧から7000気圧で30分間高圧処理した場合の硬さの変化を図-2に示す。常温では7000気圧の処理においてもほとんど硬さは変化しなく、50℃の処理で、4000気圧から少し硬さが低下したが、加熱処理したものと比較すればほとんど低下していなかった。ちなみに、100℃、30分間の処理で硬さが4.25、120℃、20分間では0.32まで低下した。

次に、大豆の硬さに及ぼす高圧処理時間の影響を調べた。常温および50℃において7000気圧で30分から120分間処理した場合の硬さの変化を図-3に示す。常温では、120分間の処理でも硬さは全く変化せず、50℃においても、最初の30分で硬さが少し低下するものの以後120分まで処理時間を伸ばしても硬さの著しい低下はみられなかった。

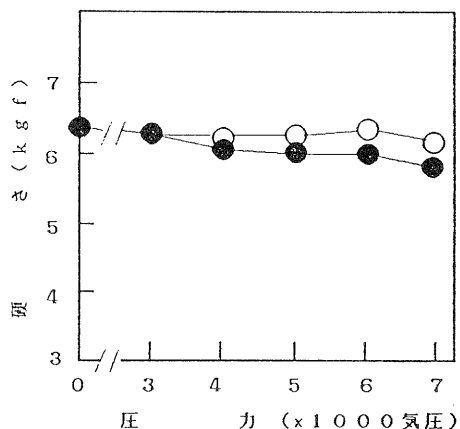


図-2 大豆の硬さに及ぼす処理圧力の影響

大豆を20℃(○)あるいは50℃(●)において各圧力で30分間高圧処理し、硬さを測定した。

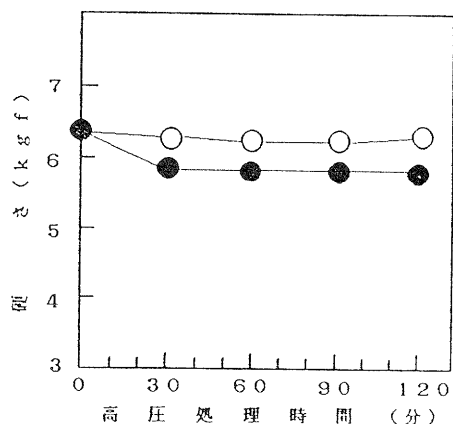


図-3 大豆の硬さに及ぼす高圧処理時間の影響

大豆の20℃(○)あるいは50℃(●)において7000気圧で各時間処理し、硬さを測定した。

大豆の高圧処理では処理温度50℃の熱を併用し、7000気圧という高い圧力で長時間処理を施しても、ほとんど硬さを低下させられないことがわかった。単に、大豆を軟化させるだけでなく熱の方が効率的で効果的であると言え、高圧を主体に熱をあまり使用せず、現在の煮豆のような食品を開発することは困難のように思われた。しかし、高圧は大豆タンパク質に影響を与えていないとは考えられなく、昭和63年度に実施した研究においても大豆タンパク質は高圧処理により変性している^(3~4, 21~22)ので、タンパク質はなんらかの変性をうけているものの、繊維や糖質等の他の成分と結びついて大豆粒を形成しており、他の成分が高圧処理によって変化しにくく、硬さが低下しなかったものと思われる。

そこで、今度は熱処理の前あるいは後に高圧処理を施せば、大豆の物性がどのように変化するかを検討するため、100℃の加熱処理の前あるいは後に5000気圧、30分間の高圧処理を実施し、硬さの変化を調べた。

その結果、図-4に示すとおり、いずれも加熱処理時間が長くなると硬さは低下したが、興味あることに、加熱処理の前に高圧処理を施せば、いずれの処理時間においても加熱処理だけのものに比べ硬さが増加し、加熱処理の後に高圧処理を施せば、加熱処理だけのものに比べ硬さが低下した。加熱処理の前に高圧処理を施すことにより、硬さが低下しにくくなったことから、高圧処理は大豆タンパク質になんらかの変化を与えていることが推定できる。

これらの現象の原因は、加熱処理と高圧処理によるタンパク質の変性状態の違いに起因するものと思われるが詳細は不明である。

しかし、食品開発に利用するためには、原因追求も大切であるが、まず利用方策を検討することが重要であると考えている。高圧処理により大豆は軟化しにくい、タンパク質は変性していると思われるので、今後豆乳を製造する際のタンパク質の抽出されやすさ等を検討したい。また、加熱処理の前に高圧処理を施しタンパク質は変性しているが硬い大豆粒による味噌、納豆への加工適応性等を検討して行きたい。

4-2 大豆タンパク質の熱ゲル化に及ぼす高圧処理の影響

昭和63年度の研究において各種大豆タンパク質の高圧処理による加工特性の検討を実施し、大豆タンパク質においても、高圧処理は加熱処理に比べ、軟らかくてしなやかであるが内部結合力の強い弾力性のあるゲルが形成することがわかった^(3~4, 21~22)。

今回は、加熱処理の前に高圧処理を施せば生成するゲルの物性はどのように変化するかを検討した。まず分離大豆タンパク質を粗タンパク質濃度が18%の水懸濁液に調整し、ポリ塩

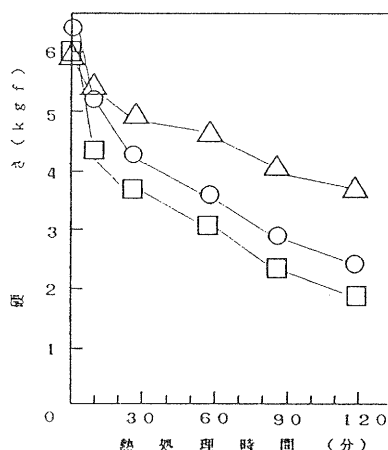


図-4 加熱処理の前あるいは後の高圧処理が大豆の硬さに及ぼす影響

20℃、5000気圧、10分間の高圧処理を、加熱処理(100℃、各時間)の前(△)あるいは後(□)に施し、加熱処理のみの場合(○)と硬さを比較した。

化ビニリデン製のチューブに封入し、5000気圧において10分間高圧処理を施し、次に50℃から100℃で10分間加熱処理を施し、物性を測定した。比較は加熱の前に高圧処理を施さないものを用いた。その結果図-5のように、加熱処理の前に高圧処理を施せば、各温度とも圧縮応力が著しく増加し、剪断応力も増加した。加熱処理の前に高圧処理を施せば加熱処理のみの場合に比べ硬くて、しっかりしたゲルが得られることがわかった。また、凝集性は加熱処理温度80℃までは高圧処理を施した方が高かったが、90℃以上では逆に高圧処理を施さない方が高くなった。なお、100℃の加熱処理の後に高圧処理を施しても、硬さは変化しなかった。なお、加熱処理の前に高圧処理を施せば、物性が変化するという同様の結果が、魚肉タンパク質について、田口らにより報告されている⁽²³⁾。

この現象は大豆タンパク質を使った多くの食品において、現在より硬い物性をほしい場合などに利用できると思われる。しかし、このような特性を大豆タンパク質を利用した食品にどのように応用し、どのような新規食品を創造していくのかは検討を要し、現在模索中である。

4-3 大豆タンパク質のゲルろ過クロマトグラフィー⁽¹⁸⁻¹⁹⁾

大豆タンパク質の加熱処理と高圧処理による変性の違いを検討するため、分離大豆タンパク質を0.01M-りん酸ナトリウム緩衝溶液(0.2M-硫酸ナトリウム含有) pH7.0に溶解し、可溶画分を100℃、10分間加熱処理あるいは5000気圧、10分間高圧処理を施し、無処理の場合とゲルろ過パターンを比較した。

その結果、図-6のように加熱処理では、新たに高分子側にピークが形成され、一部のタンパク質が結合、量体化したのがわかる。高圧処理でも、高分子側に新たなピークの形成があったが、新たに形成されたピークの分子量、量とも加熱処理に比べて小さかった。

タンパク質の変性は分子内ペプチド鎖の空間配置が未変性のタンパク質の配置からはず

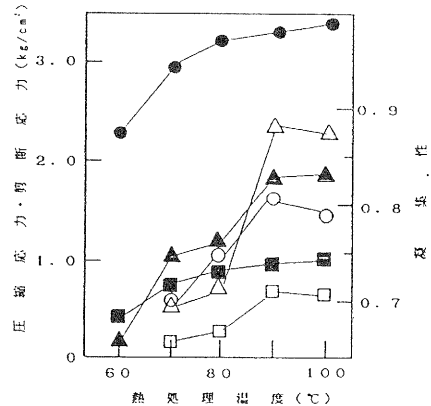


図-5 高圧処理が大豆タンパク質の熱ゲル化に及ぼす影響

分離大豆タンパク質懸濁液を各温度で10分間加熱処理する前に、5000気圧で10分間高圧処理を施し(○, □, △)、加熱のみの場合(●, ■, ▲)と生成するゲルの物性を比較した。

○, ●: 圧縮応力 □, ■: 剪断応力
△, ▲: 凝集性

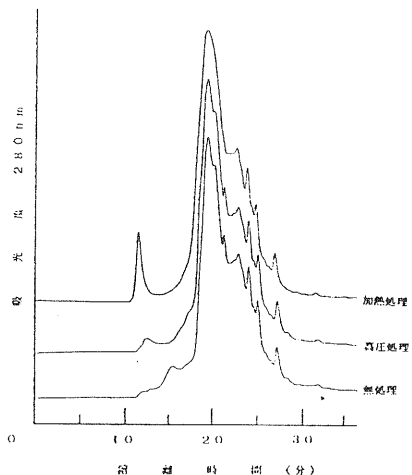


図-6 大豆タンパク質のゲルろ過クロマトグラム

大豆タンパク質の可溶性画分に高圧(5000気圧、10分間)あるいは加熱(100℃、10分間)処理を施し、ゲルろ過パターンを無処理の場合と比較した。

れて、無秩序な配置に変化する過程であり、単に変性したか、しなかったかという単純なものだけでなく、連続的変化の中の1ステージであると理解される。したがって、大豆タンパク質の高圧処理では、加熱処理に比べて構造変化がより少ないものと考えられる。これは、鈴木らによる旋光分散や電気伝導度の測定により、タンパク質の圧力変性は熱変性に比べて構造変化が小さいという結果⁽²⁴⁾とよく一致する。

4-4 トリプシンインヒビターに及ぼす高圧処理の影響⁽²²⁾

大豆や大豆タンパク質は栄養的に負の要因となるトリプシンインヒビターを多く含む^(17, 20)ことから、高圧処理によりインヒビター活性がどのように変化するかを検討した。

まず比較のため、トリプシンインヒビターが加熱処理によりどれだけ失活するかを調べた。その結果、図-7に示すようにこれは非常に耐熱性があり、70℃まではほぼ100%活性を保ち、80℃以上で徐々に失活するが、100℃で10分間処理した場合でもなお80%以上の残存活性があり、驚くことに、オートクレーブを用い、130℃で処理するとはじめて活性は大きく低下した。しかし、130℃でも20%の残存活性がある。このように大豆トリプシンインヒビターは加熱処理に対しても非常に安定なタンパク質であり失活しにくいことがわかる。

次に、インヒビター活性に及ぼす圧力の影響を調べた結果を図-8に示す。高圧処理時

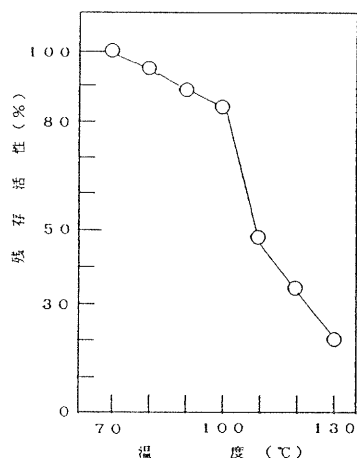


図-7 トリプシンインヒビター活性に及ぼす処理時間の影響

大豆トリプシンインヒビターを各温度で10分間加熱処理し、残存活性を測定した。

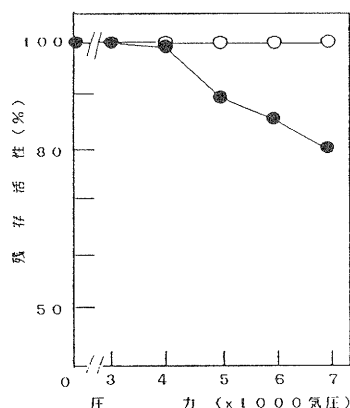


図-8 トリプシンインヒビター活性に及ぼす処理圧力の影響

大豆トリプシンインヒビターを25℃(○)あるいは55℃(●)において、各圧力で10分間高圧処理し、残存活性を測定した。

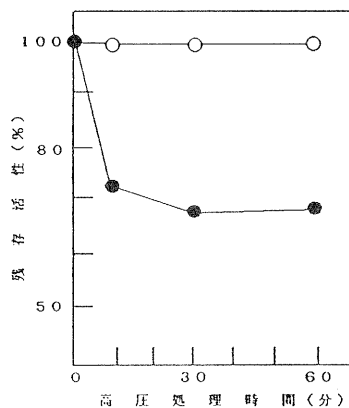


図-9 トリプシンインヒビター活性に及ぼす高圧処理時間の影響

大豆トリプシンインヒビターを25℃(○)あるいは60℃(●)において、7000気圧で各時間高圧処理し、残存活性を測定した。

間はいずれも10分間である。その結果、25℃においては、7000気圧の加圧でも全く活性の低下はなく、大豆トリプシンインヒビターは圧力に対しても非常に安定であると言える。次に、温度を55℃にして高圧処理したところ、4000気圧以上で少し活性が低下し、7000気圧で20%の失活が認められた。これは、100℃の加熱処理以上に活性が低下したことになり、圧力とともに熱を併用するとインヒビター活性を部分的に低下させうることを示している。

高圧処理を施す時間がインヒビター活性に及ぼす影響を調べると、図-9のように25℃では、7000気圧で60分間処理しても活性は全く低下せず、60℃では、7000気圧で10分間処理すると残存活性が72%となり、30分間で68%まで低下した。しかし、60分間処理を行っても、これ以上の低下はみられなかった。このことから、大豆トリプシンインヒビターには、60℃の圧力処理で失活するものと、これらの処理では失活しないものが混在することが考えられる。

大豆食品を取り扱う場合、しばしば栄養の点で問題になるトリプシンインヒビターは、加熱に対しても大きく抵抗し、また圧力に対しても失活しにくいことを忘れてはならない。

大豆タンパク質に含まれるトリプシンインヒビターの失活は、圧力とともに熱を併用することによりある程度の失活が可能であるが十分でないので、今後pHや塩濃度の影響、変性剤の添加効果等を調べ、より失活度を高める検討を行う必要がある。

4-5 高圧処理による各種漬物の物性変化

昭和63年度の研究で漬物の殺菌への高圧利用の検討を実施したところ、醤油漬けのように保存性が良くなり、しかも物性や味の変化しない適用可能なものと、ハクサイ浅漬けのように良好に殺菌されるが、物性や味が変化してしまい、適応の難しいもののあることがわかった⁽³⁻⁴⁾。

そこで今回、滋賀県でよく製造されている漬物3品について、その適応可能性を検討するため高圧処理による保存性や物性の変化の有無を調べた。

4-5-1 保存性試験

しば漬け、日野菜さくら漬け、ゆず大根漬けの3品を、5000気圧で10分間高圧処理を施した後、37℃に4週間保存しても著しい変化は認められなく、保存性は良好であった。また、高圧処理による大きな味の変化は感じられなかった。

4-5-2 高圧処理による物性の変化

しば漬け、日野菜さくら漬け、ゆず大根漬けの3種の漬物を、常温で2000気圧から5000気圧の圧力で10分間処理し、物性をテクスチュロメーターで測定した。また、比較のため85℃で10分間加熱処理したものの物性も測定した。

その結果、図-10のように加熱処理では全

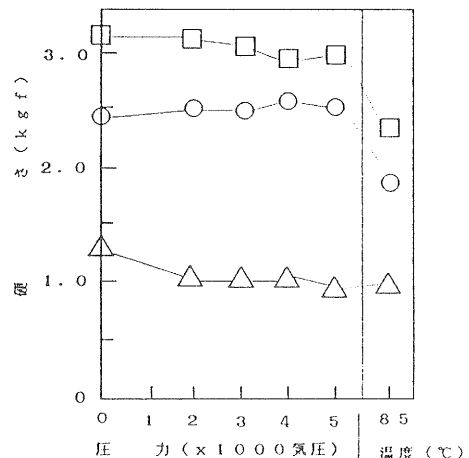


図-10 漬物の高圧処理による物性の変化

しば漬け(○)、日野菜さくら漬け(□)およびゆず大根漬け(△)を、20℃で各圧力10分間高圧処理し、硬さを測定した。また、85℃、10分間の加熱処理とも比較した。

種とも物性（硬さ）が低下したが、高圧処理では、しば漬けと日野菜さくら漬けは物性が変化せず、ゆず大根漬けは加熱処理と同じ値まで硬さが低下した。すなわち、しば漬けと日野菜さくら漬けの殺菌には高圧が有効に利用できるが、ゆず大根漬けでは硬さが低下するのであまり好ましくないことがわかった。しかし、食べた感じ味に変化は認められず、加熱処理に比べれば有効性はあると思われた。

今回の結果でも、長時間漬け込んだり、素材の水分を絞り出し、味液と置換するような製法の漬物は高圧による殺菌が良好に適應でき、生の素材を少し漬けた、素材の物性を活かす製法の漬物には適應しにくいことがわかった。

今後、他の漬物でも実験を進めて行くとともに、高圧処理を施した漬物の企業化、商品化を地域企業との共同研究等で図って行きたい。

5. むすび

高圧を応用した創造的新食品を開発する目的でいくつかの検討を実施し、前述の結果を得た。

この中で、高圧を漬物の殺菌に利用することは、実用機の装置的な問題さえ解決できれば今すぐにも実用可能なものと考えており、企業化に向けての共同研究を推進していきたい。

また、大豆や大豆タンパク質に高圧処理を適用すれば、加熱処理とは違った特性が現れることから、新規食品の開発が期待できるが、現在このような特性をどのような食品に活かし、どのように食べられるようにするのか模索中である。

食品への高圧利用研究は最近になり研究者が増えてきたが、まだ世に出て4年余りの新しい技術であり、これが十分に成長するためにはさらなるデータの蓄積が必要である。特に新規食品の開発を優先的に考えた場合、理論まで掘り下げた系統立てた研究も大切だが、いろいろな食品を高圧処理し、その加工特性を現象論から観察してみることも重要であると考えている。そして、その中から創造的な新食品は生まれるものと期待している。今後、さらに多くの食品を高圧処理し、その特性と新規食品開発の可能性を追求していきたい。

最後に、本研究の遂行にあたり、御指導、御助言をいただいた林 力丸研究参与（京都大学食糧科学研究所助教授）に対し深く感謝いたします。

〔参考文献〕

- (1) 滋賀県工業技術分野別実態調査報告書（食品分野），地域計画研究所（1988）.
- (2) 松本正：滋賀県工業技術センター研究報告，2，79-89（1988）.
- (3) 松本正：滋賀県工業技術センター研究報告，3，77-91（1989）.
- (4) 松本正，矢田稔，今西康博：「昭和63年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会テキスト」，第Ⅵ章，中小企業庁（1989）.
- (5) 林力丸：食品と開発：22，55-62（1987）.
- (6) 林力丸：化学と生物：25，703-705（1987）.
- (7) 林力丸：食品機械装置，25，53-59（1988）.

- (8) 林力丸：食品と開発，23，40-45（1988）.
- (9) 林力丸：蛋白質 核酸 酵素，34，119-123（1989）.
- (10) 林力丸：バイオサイエンスとインダストリー，46，29-31（1988）.
- (11) R.Hayashi：in“Engineering and Food”，Vol. 2 (ed. W. E. L. Spiess and H. Schubert), Elsevier Applied Science, England, pp. 815-826, 1989.
- (12) 谷口吉弘：化学技術誌MOL，26，44-51（1988）.
- (13) 林力丸：食品工業，33（8），20-24（1990）.
- (14) 堀恵一：食品と開発，23，46-50（1988）.
- (15) 佐々木 績、堀 恵一，井上 朗：「食品への高圧利用」（林 力丸編），pp.191-213、さんえい出版（1989）.
- (16) 岡部元雄：テクスチュロメーター測定方法説明書
- (17) 渡辺篤二，柴崎一雄：「大豆タンパク質」，建帛社（1974）.
- (18) 日本分析化学会関東支部編：「高速液体クロマトグラフ分析」，産業図書（1985）.
- (19) 宇井信生，岩永貞昭，崎山文夫共編：「タンパク質・ペプチドの高速液体クロマトグラフィ」，化学同人（1984）.
- (20) 渡辺篤二，海老根英雄，太田輝夫：「大豆食品」，光琳（1971）.
- (21) 松本正，林力丸：農化誌，63，330（1989）.
- (22) 松本正，林力丸：「加圧食品－研究と開発－」（林 力丸編），さんえい出版（1990）.
- (23) 田口武：食品と開発，24，57-60（1989）.
- (24) 鈴木啓三：蛋白質・核酸・酵素，21，347-351（1976）.

デザイン手法の高度化に関する研究（第二報）

—新製品開発における2次元手法の応用に関する研究—

技術第二科 野上雅彦

あらまし：コンピュータの普及にともない、デザイン分野で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、パソコンベースでの研究とともに、中型計算機上で3次元ソリッドモデラソフトを用いた研究も進めている。パソコンレベルでも、デザイン現場で使えるハード（32bit）、ソフトの環境は整ってきた。パソコンのマルチメディア化（映像、音楽など）にともない、より高品質、高感度なプレゼンテーションが可能となる。

このように、コンピュータをベースとするデザイン手法を使って、光センサ応用機器と製薬機械のデザイン、フラクタルのCGデモンストレーション、映像による景観シミュレーションを行った。

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い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多品種少量生産が要求されるいま、デザイン作業の合理化のみならず、コンピュータ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への応用と共に、中小企業自身へのCADの指導および、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（以下PC）および中型汎用機により、企業における新製品開発への応用をはかるとともに、そのプレゼンテーション方法について考察する。

2. PCによるデザイン手法

県内光センサー機器メーカーからの依頼により製品開発を行った。ボックス型で、正面がスイッチパネルの構造である。（現在開発中のため絵は公表できない）まずCAD・図形ソフトによりスイッチ類のレイアウトを行う。レイアウト案が出来ればそこからイメージデータを出力し、イメージソフトによりペイントを行う。パネルのような平面的なものであれば、PC（NEC PC-98）上で十分な表現が（16色で）可能である。アウトプットはインクジェットプリンタ（8色インク）を使用すれば、レンダリングとして通用する高品質の出力が得られる。図面はCADソフトのデータをそのまま利用できる。今回は、相手方の企業もPCを利用しているので、フロッピーによりデータを渡すことにより、設計の変更等がデータのやりとりで行える。レンダリングレベルでのデータでは、相手方の企業で変更を加える

ことは期待できないが、CADデータであればそれが可能である。

平面的なもののレンダリングの場合は前記のとおりCADソフト→イメージソフト。パンフレット等のレイアウトはワープロ/イメージソフト→レイアウトソフト。ここで問題になるのが、データの互換性であり、ファイルコンバータソフトもいろいろとあるので、その点を留意してシステムを組む必要がある。そして様々なソフトを組み合わせる際には、環境もそれなりのものが必要である。CPUは32ビットの386機で、「MS-WINDOWS/386」を使用する。この「MS-WINDOWS/386」を使用することで、MS-DOSソフトを複数同時に走らせることができ、ここではじめて前記の操作がストレスなく行うことが可能となる。

3. 中型汎用機による手法

県内製薬企業からの依頼で、生産機械（錠剤コーティング機）の開発を行った。（開発中のため絵は公表できない）前年度に作成した人体モデルにより、人間工学的配慮を行い、同じく前年度に求めた金属質感表現のパラメータを用いて、リアリティのある表現を行った。この機械は、ドアやハンドルなどの可動部分が多く、それらの干渉チェックを行いつつ人体モデルを用いて人の手の高さや姿勢の変化などを考慮にいれながら、設計を進めることができた。

PCでもかなりのことが可能になってきたが、曲面の多い製品、形状の複雑な製品はPC上での表現は難しく、ワークステーション以上の能力が必要となる。当センターの中型期とソフトでは、細かな平面処理が不可能なため、PCとの明快な役割分担が必要となる。

4. プレゼンテーション

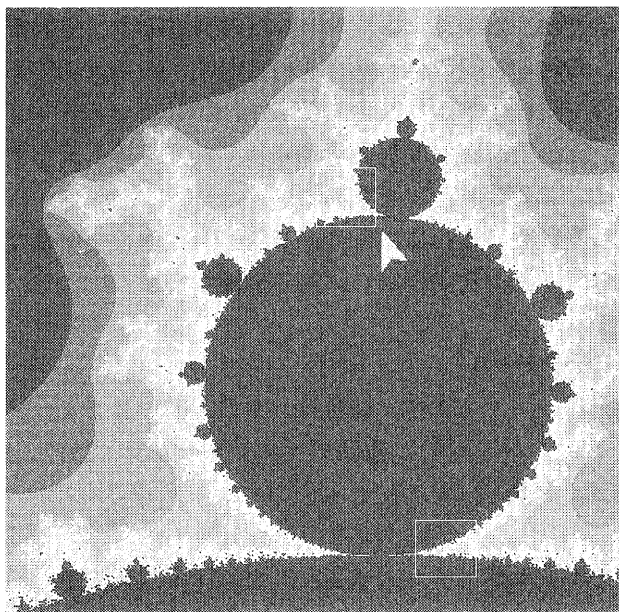
イベント時のCGデモンストレーションの為に、PCによりフラクタル（マンデルブロート集合）のデモプログラムを作成した。これは、あらかじめ作成しておいた画像データを（約100画面）、見学者が拡大したい部分を自らマウスで操作することで表示するものである。表示自体も色をランダムなパターンで連続的に変化させることで、動きのある表示を行った。これは、ただ見せるだけでなく、見学者に操作をする楽しみも加えることがねらいである。大人よりも子供の方が積極的に操作していたのが印象的であった。

そして、CGを利用してのもっとも効果的なプレゼンテーションの方法として映像化があげられる。やはりCGはCRT画面上で表現するのがもっとも美しいが、それでは持ち運びが困難となる。（同じ機種のコピュータが行き先に存在するか、でなければハードごと運ぶしかない。）ビデオに落とすことで画質は確実に落ちるが、それを映像化してまとめれば表現力は大幅に向上し、移動も容易になる。今回は建築物をモチーフとして映像化を試み、その効果、問題点を探った。対象点を定め、そこを中心に視点を移動することは簡単に可能だが、人の視線を仮定した動きは、現在合理的な方法を求めているところである。立体の構造を表現するには、画図に比べ回転させるだけで十分な効果が得られるのが、もっと動きを生かした表現が必要となってくる。

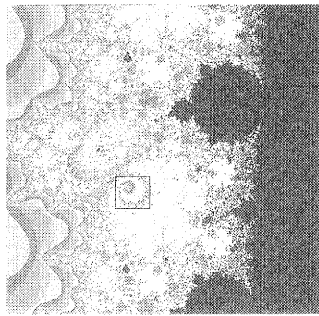
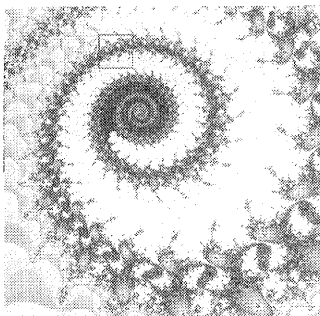
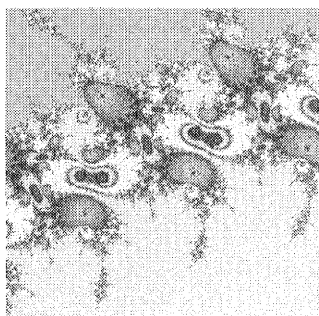
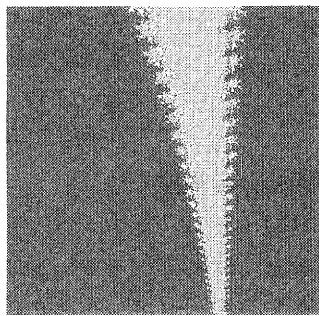
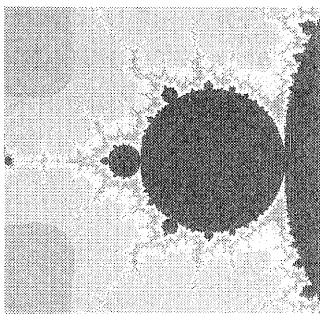
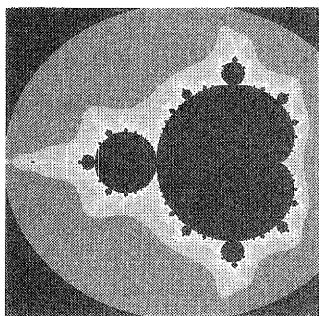
MANDELBROT SET'S
MAZE

[Select a Frame]
Left : Take
Right : Return

FN : ME
RN : -.3295 ~ .0085001
IN : .6175 ~ .9555



フラクタルデモプログラム画面



5. まとめ

現時点では、万能なソフト・ハードは存在せず、それぞれに長所、短所がある。その点を把握し、それらを組み合わせて使いこなすことが大切である。今コンピュータは、マルチメディアの方向に向かって進化しており、プレゼンテーションにおいて、これからはその利用による、高品質、高感度な表現が求められる。来年度には、音響効果にも重点をおき、映像化による効果的表現を求めていく。

最後に本研究の遂行にあたり、ご指導、ご助言をいただいた演崎修平研究参与（創造社デザイン専門学校非常勤講師）に対し感謝します。

使用機器（PC）

計算機部	本体（NEC PC-98-XL2、N5925L）、ハードディスク（100M）、数値データプロセッサ（387）、RAMボード等
インプット部	カラーイメージスキャナ（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	インクジェットプリンタ（NEC PC-PR801）、シリアルプリンタ（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	DYNALIX-V（ダイナウェア）、PIX-SPOT（ダイナウェア）、プレリュード（ダイナウェア）、CANDY3（アスキー）、THIRD Y（アスキー）、Z's STAFF-KID98（ツアイト）Z's WORD-JG（ツアイト）、一太郎（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）

IBM 4361	ホストコンピューター
IBM 5080	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

各種事業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

当所に設備されている日本アイ・ビー・エム(株)の4361型コンピュータの多目的利用の一環として、前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、アドバイザー・巡回技術指導や研修、セミナー等に関する各種事業管理システムを構築することにした。

このシステムは、事務処理の効率化を図ると同時に、各種事業に関連した技術情報や人材情報を蓄積し、今後の事業を遂行していく上で、情報を有効利用することを目的としている。

2. システムの開発方針

従来から行ってきたのと同時に、システムの検討については各部署からの関係者が行い、プログラムの設計・作成は若手職員を中心に行った。

3. システムの概要

当所のコンピュータ多目的利用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100本となっており、データ件数は、図書データも含めておよそ4,800件(平成2年3月)となっている。

以下、本年度追加したシステムの特徴について概要を紹介する。

3-1 指導事業における起案

技術アドバイザー指導事業や巡回技術指導(一般・簡易・公害)事業について、担当職員の事務作業の低減を目的として、コンピュータによる起案文の発行を行うことにした。これにより事業記録の入力忘れも防止できるようになると思われる。図3は、起案や公文書発行時に入力する画面を示している。

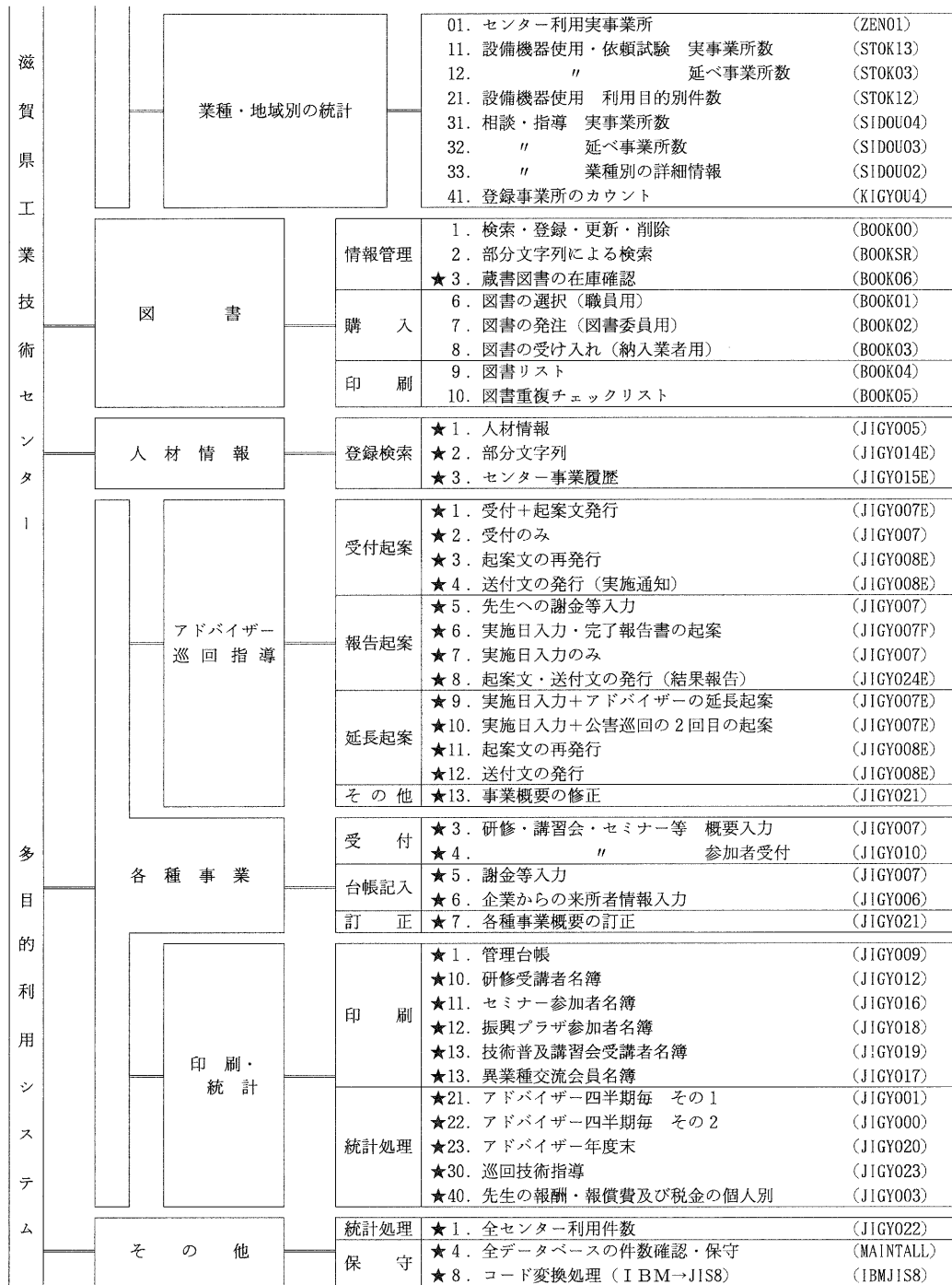
3-2 技術情報、人材情報の蓄積

当所で行う事業に関連して、事業そのものの情報や参加する企業の情報(商品、設備等)および講演や指導をお願いする講師の情報を蓄積するようにした。これらの情報は、各種の検索、統計処理により、目的に応じて出力可能となっている。図4は、人材に関する情報の入力画面を示している。

3-3 事務処理の効率化

研修やセミナー等の参加者についての名簿管理や、講師への謝金等の管理および事業実施

滋賀県工業技術センター 多目的利用システム	設備機器使用 ・依頼試験	受付	1. 設備機器使用 (SIYOUE) 2. 依頼試験 (IRAIE) 3. JOIS、PATOLIS (JOIS) ★4. 複写サービス (COPYSVE)	
		検索	5. 設備機器使用 (SIYOUR) 6. 依頼試験 (IRAIR) ★7. 複写サービス (COPYSVR)	
		領収書再発行	9. 設備機器使用 (SETSAI) 10. 依頼試験 (IRASAI) ★11. 複写サービス (COPYSAI)	
		統計処理	☆12. 日報 (設備使用・依頼試験・複写サービス) (STOK18E)	
			13. 監査調査形式・設備機器使用 (STOK07) 14. "・依頼試験 (STOK06)	
	統計処理	機器名称別	01. 設備機器使用件数 (日報) (STOK16) 02. 設備機器使用件数 (期間指定) (STOK04) 03. 設備機器使用 使用目的件数 (STOK05) 04. 設備機器使用 使用事業所名、件数 (STOK14)	
		試験項目別	05. 依頼試験件数 (日報) (STOK17) 06. 依頼試験件数 (期間指定) (STOK08)	
		月別	11. 設備機器使用、依頼試験件数 (STOK01) 12. 設備機器使用 科、係別件数 (STOK09) 13. 設備機器使用 使用目的件数 (STOK11) 14. JOIS、PATOLIS件数 (STOK02)	
			事業所別	20. 設備機器使用、依頼試験件数 (STOK10) 21. 設備機器使用 機器名称、件数 (STOK15)
				30. 地域別実事業所数 (STOK13)
業種別		31. 地域別利用件数 (STOK03) 32. 設備機器使用 使用目的件数 (STOK12)		
		相談・指導	統計処理	1. 記録の入力 (SIDOU) 2. 記録の簡易検索 (日付・分野指定) (SIDOU2) 3. 項目別集計 (SIDOU01) 4. 業種指定による項目別集計 (SIDOU02) 5. 地域・業種別 延べ事業所数 (SIDOU03) 6. 地域・業種別 実事業所数 (SIDOU04) 7. 指定事業所の項目別相談件数 (SIDOU05)
登録	1. 名簿 (検索・登録・更新・削除) (KIGYOU3) ★2. 概要情報 (商品・保有設備・技術) (JIGY004)			
	検索			3. 事業部分名称 (KIGYOUSR) ★4. 商品・設備・技術 (JIGY013)
印刷				5. タックシール (KIGYOU2) 6. 事業所リスト (KIGYOU1) 7. 事業所リスト (業種・地域選択) (KIGYOU5) 8. 市町村コード (TIKU1) ★9. 事業所カルテ (JIGY002)
	メンテナンス			21. 名簿の重複チェック (SOUJ1) 22. 名簿の重複削除 (SOUJ12) 23. 事業所名チェック (NAOS1)
				特定事業所の統計



★；平成元年度に新規開発のプログラム

☆；平成元年度に改良を行なった主なプログラム

図1 システムのプログラム構成

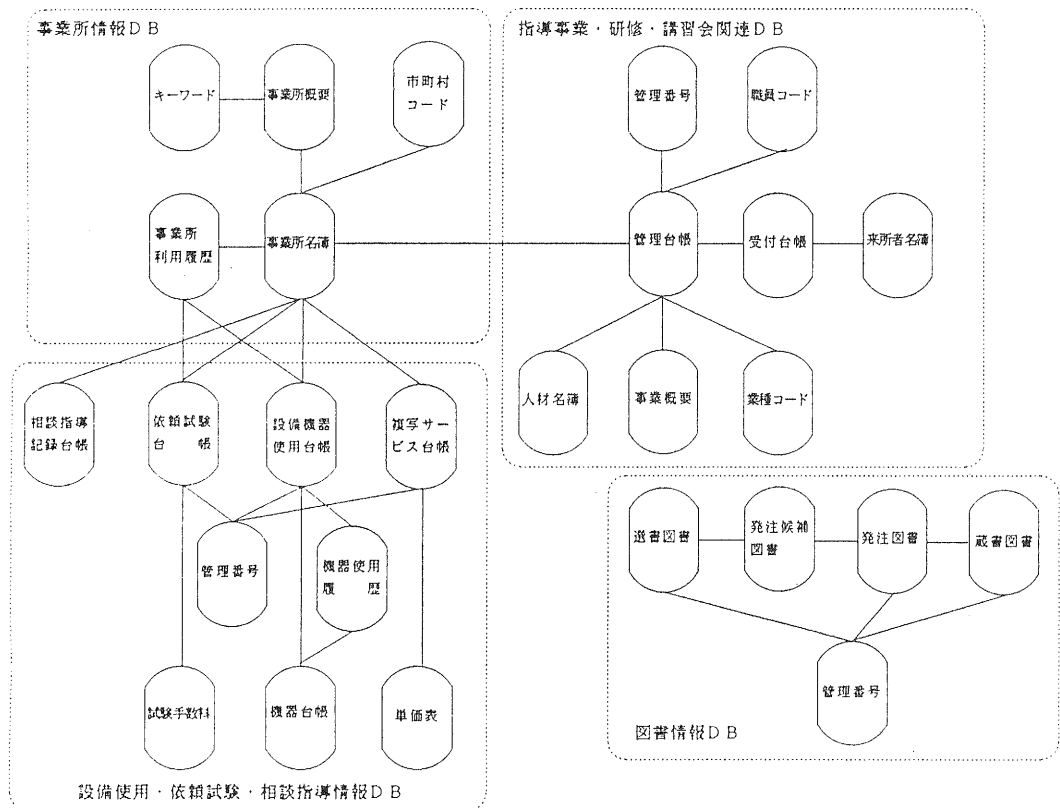


図2 システムのデータベース構成図

JIGY008 起案 単票用紙 (B5B4) 用

指導事業の起案および公文書作成を行いません。 入力完了 => 実行
中止 => P F 3

起案時 0 公文書作成時 1 を入力して下さい。

指導事業の番号を入力して下さい。

技術アドバイザー	=>	1
技術アドバイザー延長	=>	2
一般巡回技術指導	=>	3
簡易巡回技術指導 (職員)	=>	4
簡易巡回技術指導 (先生)	=>	5
公害巡回技術指導 1 回目	=>	6
公害巡回技術指導 2 回目	=>	7

事業別の整理番号 (数字 5 桁) を入力して下さい。 00000 氏名

代表者名を入力して下さい。 氏名

起案者のコードを入力して下さい。 時間 (確定時のみ)
(アドバイザー入力時不要)

文書番号を入力して下さい。 (公文書作成時のみ) 000

図3 指導事業起案画面

SUB2 人材データベース保守・検索 コード

カ ナ 氏名

郵便番号

住所

生年 月 日

所 属 自 宅 電 話 番 号

所 属 郵 便 番 号

所 属 住 所

専 門 分 野

備 考

備考欄には、所属の電話や連絡方法等を入力して下さい
 フラグ（現在=1，過去=2，無関係=0）

アドバイザー 研修専門部会委 研修の講師 セミナーの講師

異業種交流アド 研究参与 特別技術相談役 理事

運営委員 懇話会 部会 巡回技術指導

技術普及講習会 新興プラザ 来所された先生 各種原稿依頼

人材のカナカ氏名のみ入力（部分文字列可）してPF1を押す

PF1：第一候補 PF2：次候補 PF3：中止 PF5：登録・更新
 PF7：初期化

図4 人材DB保守・検索画面

平成元年度 歪グージを利用した測定技術 開催日 1989.11.10

番号	会社名 所在地	部署	受講者氏名 電話番号	業種名 FAX番号 / 従業員数
1	〇〇〇工業株式会社 524 守山市 〇〇町 515	〇〇〇〇〇部	〇〇〇〇 0775-82-XXXX	化学繊維製造業 / 300-999人
2	〇〇〇株式会社 525 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇二丁目 2-1	〇〇〇〇〇事業部	〇〇〇〇 0775-63-XXXX	発電・送電・配電・産業用電 / 1000-1099人
3	〇〇〇株式会社 529-15 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇工場 10-1	〇〇〇〇課	〇〇〇〇 0748-55-XXXX	陶磁器・陶器製造業 0748-55-XXXX/2000-4999人
4	〇〇〇株式会社 529-15 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇工場 10-1	〇〇〇〇本部〇〇部	〇〇〇〇 0748-55-XXXX	陶磁器・陶器製造業 0748-55-XXXX/2000-4999人
5	〇〇〇株式会社 527 八日市市 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇工場 1166-6	〇〇〇〇事業部	〇〇〇〇 0748-23-XXXX	暖房装置・配管工事用付属品 0748-22-XXXX/300-999人
6	〇〇〇株式会社 520-21 大津市 〇〇〇〇〇〇本部 〇〇〇〇一丁目 1-1	〇〇〇〇事業部〇〇部	〇〇〇〇 0775-45-XXXX	民生用電気機器器具製造業 0775-43-0427/1-4人
7	〇〇〇〇〇工業株式会社 520-30 栗太郡栗東町 〇〇〇〇 2222	〇〇〇〇〇〇	〇〇〇〇 0775-58-XXXX	プラスチック製品製造業 /100-299人
8	〇〇〇〇〇工業株式会社 520-30 栗太郡栗東町 〇〇〇〇 2222	〇〇〇〇本部	〇〇〇〇 0775-58-XXXX	プラスチック製品製造業 /100-299人
9	〇〇〇〇〇工業株式会社 520 大津市 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇一丁目 1-1	〇〇〇〇製作所	〇〇〇〇 0775-37-XXXX	繊維機械製造業 0775-37-XXXX/300-999人
10	〇〇〇〇〇工業株式会社 520 大津市 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇一丁目 1-1	〇〇〇〇製作所〇〇〇〇部	〇〇〇〇 0775-37-XXXX	繊維機械製造業 0775-37-XXXX/300-999人
11	〇〇〇〇工業株式会社 520-30 栗太郡栗東町 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇製作所 〇〇〇〇 130	〇〇〇〇〇〇部〇〇〇〇課	〇〇〇〇 0775-53-XXXX	自動車・同付属品製造業（輸 0775-53-XXXX/300-999人
12	〇〇〇〇工業株式会社 520-30 栗太郡栗東町 〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇製作所 〇〇〇〇 130	〇〇〇〇〇〇課	〇〇〇〇 0775-53-XXXX	自動車・同付属品製造業（輸 0775-53-XXXX/300-999人

図5 技術普及講習会受講者名簿出力例

期間 1989/04/01 ~ 1990/03/31

(1) 経理の執行状況

※ 報酬	1,716,000 円
※ 旅費	204,840 円
(内) 技術アドバイザー	204,840 円
職員	0 円

(2) 事業の実施状況

※ 企業規模別の指導企業数	< 20	21 - 50	51 - 100	101 - 300	< 301	計																
↑ 指導企業数	9	8	9	4	0	30																
※ 技術アドバイザーの住所別分類																						
↑ 指導日数	県内	県外	計																			
	84	59	143																			
※ 指導企業の業種別分類																						
↑ 指導企業数	機	械	金	属	電	気	化	学	織	維	木	工	芸	薬	食	品	包	装	そ	の	他	計
↑ 技術アドバイザー数	5	5	5	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	2	2	30			
↑ 指導延日数	20	30	22	27	4	0	0	34	0	6	0	6	2	30	0	6	143					
※ 1企業あたりの指導日数																						
↑ 日数	最長 10		最短 1		平均 4.7																	
※ 参加延職員数	43 人																					

図6 技術アドバイザー年度末報告出力例

期間 1989/04/01 ~ 1990/03/31

(1) 経理の執行状況

※ 報酬	巡回技術指導	0 円	技術指導	0 円	指導	0 円	公害防止巡回技術指導	0 円	実績額	0 円
	[一般+開募]		(内) 一般	(内) 開募						
※ 旅費	(内) 指導員	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	
	指導員	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	
	職員	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	0 円	

(2) 事業の実施状況

※ 指導企業の業種別分類																						
↑ 指導企業数	機	械	金	属	電	気	化	学	織	維	木	工	芸	薬	食	品	包	装	そ	の	他	計
↑ 参加職員数	一般巡回	5	5	10	4	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	
	開募巡回	7	11	10	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	36	
	公害巡回	2	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
↑ 部外招	一般巡回	9	8	20	7	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	
	開募巡回	14	20	18	8	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	
	公害巡回	3	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
↑ 指導延日数、一件当たり指導日数	一般巡回	5	5	10	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	
	開募巡回	7	9	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
	公害巡回	8	0	4	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
※ 企業規模別の指導企業数	< 20	21 - 50	51 - 100	101 - 300	< 301	計																
	一般巡回	3	9	6	7	2	27															
	開募巡回	15	12	4	4	1	36															
	公害巡回	1	1	1	3	0	6															
※ 指導延日数、一件当たり指導日数	一般巡回		開募巡回		公害巡回																	
	指導延日数		27		36		9															
	一件当たり		--		--		1.5															
	最長		--		--		2															
	最短		--		--		1															

図7 巡回指導年度末報告出力例

状況の把握、報告等を行うための機能も持たせている。図5は、当所で行っている技術普及講習会の参加名簿出力の例であり、図6、図7は、年度末に行う報告のための統計処理の一例である。

4. むすび

本年度までに開発してきたシステムにより、

- ・センターの利用に関する状況・動向を把握すること
- ・技術情報や図書情報を蓄積すること
- ・事務処理を効率的に行うこと

等が可能になった。

今後は、蓄積された情報の有効利用等について、検討を行っていく必要がある。

工業技術センター研究報告

第 4 号

平成 2 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
T E L (0775) 58—1500

印 刷 柴原印刷株式会社
滋賀県長浜市宮司町1148