

ISSN 0914-3750

REPORTS
OF
THE
INDUSTRIAL
RESEARCH
CENTER
OF
SHIGA
PREFECTURE

1990 研究報告

滋賀県工業技術センター

目次

研究報告

画像処理の利用による加工組立作業の自動化に関する研究（第一報） 櫻井 淳	1
電子機器の電磁環境評価法の研究（第二報） 木村昌彦	8
検査作業の自動化のための視覚システムの研究（第一報） 川崎雅生、木村昌彦、櫻井 淳、井上嘉明、中川俊男	17
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（第三報） 井上嘉明、松原孝史、石原好之、北村慎吾	23
高分子複合材料の非破壊評価技術に関する研究 井上栄一	30
立体構造物形状のコンピュータへの入力手法の研究（第二報） 月瀬寛二	37
光計測によるプラスチック製品の欠陥検出法の研究（第二報） 河村安太郎	44
炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の“ぬれ性”に関する研究（第四報） 山中仁敏	55
耐熱性エンブラの高度化に関する研究 那須喜一、山中仁敏、中村吉紀	61
プラズマ処理による高分子フィルムの表面改質に関する研究 中村吉紀、松本价三良、梅林和美、桑原信夫	68
高圧を利用した創造的新食品の開発に関する研究（第二報） 松本 正	78
デザイン手法の高度化に関する研究（第三報） 野上雅彦	88

実験レポート

高周波焼入適正条件決定のためのエキスパートシステムに関する研究 西内廣志、深尾典久、井上栄一、末房公男	93
プラズマCVDによる超硬質被膜処理に関する研究 西内廣志、松本价三良	101
プラスチック材料の切削に関する研究（第二報） 深尾典久	105
タンパク質加水分解モニタリングシステムの検討 矢田 稔	109
4場所間のコンピュータネットワークに関する研究（中間報告） 河村安太郎、川崎雅生、月瀬寛二、野上雅彦 横井川雅美、中島 孝、吉田克己、浦島 開 山下重和、宮川栄一、西川哲朗	112

技術開発報告

切削工具非接触自動寸法測定機の開発 深尾典久、竹谷芳一	117
--------------------------------	-----

研 究 報 告

画像処理の利用による加工組立作業の 自動化に関する研究（第一報）

一 画像処理を利用した電子部品の マーク文字等の自動認識法の研究 一

技術第一科 櫻井 淳

あらまし：加工組立作業の自動化はかなり進んでいるが、人の目に頼る作業は、限界になりつつある。例えば、電子部品の小型化により、品名等を表すマーク文字は認識が困難なほどになっている。そこで、画像処理を利用して、これらのマーク文字等を自動認識する方法を2年間で研究する。

本年度は、プリンタ印字の英数字文字を対象にして、いくつかの文字特徴抽出法や認識法について検討し、各方法の有効性を確かめた。その結果、単一の方法では最高86%の認識率しか得られず、認識率を100%にするには、複数の特徴抽出法を組み合わせる必要のあることが分かった。

1. ま え が き

近年、生産工程において各種のロボット等が導入され、加工組立作業においても自動化がある程度進んできた。しかし、人間の判断を要する作業については、依然として自動化が遅れている。特に、電子部品の組立作業において、作業の正確さを保証するため、部品のマーク文字を目視で確認しているが、最近の部品の急速な小型化に伴う文字の縮小化により、視認が難しくなっている。

そこで、本研究では、加工組立作業の自動化を行うため、画像処理技術を利用して、電子部品のマーク文字の自動認識法についての検討を行っている。

2. 画像入力装置の構成

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

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画像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

カラーカメラは、池上通信機(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。

照明装置は、高周波電源で点灯するリング型の蛍光灯を用いている。

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、入力する画像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-9801RLで行っている。画像入力装置の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言語で作成したプログラムによりデータ処理を行う。また同時に、処理画像は、パソコンのCRTにグラフィック表示する。画像入力装置の制御は、装置に付属のアンプラサブルーチンを使用している。

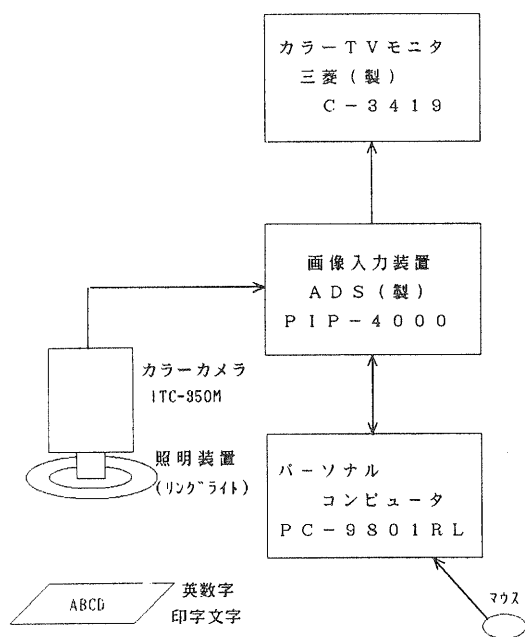


図2-1 画像入力装置の構成

表2-1 カラー画像入力装置仕様

(1) 画像入力装置 (ADS(製)PIP-4000)
CPU: Z80
プログラムメモリ: 32kバイト
データメモリ: 16kバイト
AD/DA変換器: 8ビット
画像メモリ: 512V×512H×8ビット×24フレーム
(2) カラーカメラ (池上通信機(製)ITC-350M)
走査方式: 2:1インターレス、512本、30フレーム/秒
解像度: 中心部550本、周辺部450本以上
レンズ (キャノン(製)J15×9.5) ズーム比: 15倍
照明装置 (電通産業(株) HF-9210-DLY)
(3) カラーモニタ (三菱電機(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
数値演算プロセッサ: 80387

3. 文字画像の前処理および特徴抽出処理

現在、文字認識の手法については、各文字の持つ特徴を使って判別を行う特徴抽出法が一般的に有効と考えられている。そこで、本研究では、下記の手順により前処理を行った後、3-3にあげる特徴量を用いて判別を行った。

3-1 2値化画像の抽出

まず、英数字の印字文字をカラーカメラにより512×512画素のRGBデータとして画像入力装置に取り込む。つぎに、TVモニタ上に映し出された読み込み画像の文字にウインドウ(max.100×100画素)を設け、ウインドウ内の画像データをGP-IBによりパソコンに転送する。つぎに、パソコンのソフトウェア処理により、各RGBデータを一定スレッシュホールドで2値化した後、論理積をとり2値画像を抽出する。

3-2 ノイズ除去

3-1で抽出した2値化画像においては、ノイズ成分が多少存在し、後の特徴抽出処理で正しい特徴が得られなくなることがある。そこで、ノイズ除去の方法として、中心および上下左右の5画素のフィルタを設け、その中に3画素以上ポイントがあれば中心にポイントを置き無ければ取り除く処理を行っている。

3-3 特徴量抽出⁽¹⁾

本研究で取り扱った特徴量は、以下のものである。

(1) 輪郭線上の方向ベクトル (図3-1)

8方向の方向ベクトルを定め、文字の左上の位置から右回りで輪郭線上の方向ベクトルのつながり関係を調べる。ベクトル抽出を行う開始点は、上部に丸みのある文字は文字の頂点、上部が水平な文字は左上をベクトル抽出の開始点としている。これは、標準パターンの特徴との照合時に、パターンマッチングにより輪郭ベクトルのつながりの比較を行うため、マッチングの開始点を合わせるためである。

(2) 輪郭線上のベクトルの方向成分

輪郭線上の方向ベクトルの8方向の成分の割合を調べる。

(3) 輪郭線上の方向ベクトルの微分値の総和

輪郭線上の方向ベクトルを微分(前後のベクトルの方向の変化量を計算)し、その絶対値の総和を調べる。これは、文字が直線で構成されているか曲線で構成されているかを判別するためである。

(4) 文字の重心

輪郭線上のベクトル座標の平均値より、文字の重心座標を調べる。

(5) 文字のループ数 (図3-2)

文字の垂直方向の2等分線と文字の内側の輪郭線との交点の数により、文字の閉ループの個数を調べる。

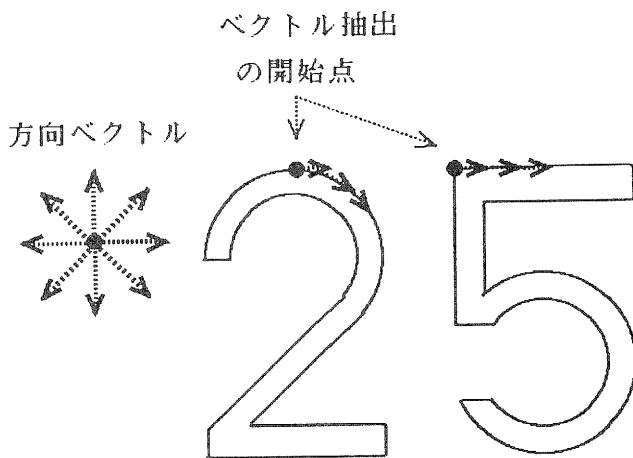


図3-1 方向ベクトルの検出方法

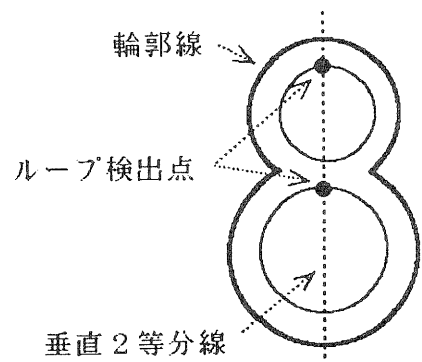


図3-2 ループ数の検出方法

(6) 交差回数 (図 3-3)

水平、垂直、斜めの4方向から複数の検出線を引き、文字と各検出線との交差回数を調べる。

(7) 側面距離 (1次、2次) (図 3-4)

文字に接した水平、垂直軸から文字まで最初の交差距離 (1次距離)、2度目の交差距離 (2次距離) を調べる。

(8) 側面距離 (1次、2次、3次)

上記と同様にして、3回目の交差距離 (3次距離) を調べる。

(9) 射影量 (図 3-5)

水平、垂直、斜めの4方向からみた射影量 (ヒストグラム) を調べる。

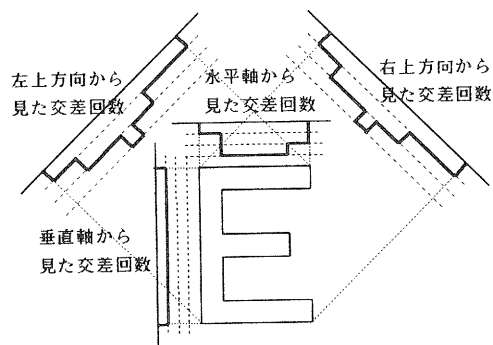


図 3-3 交差回数の検出方法

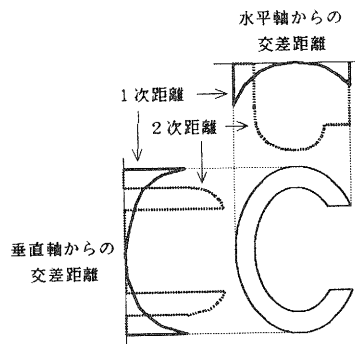


図 3-4 側面距離の検出方法

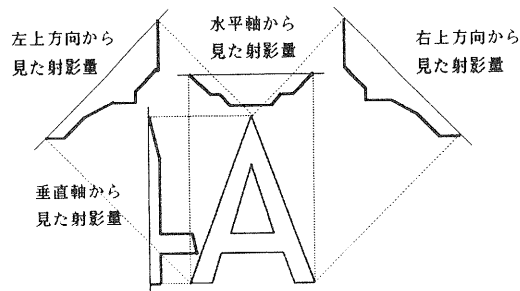


図 3-5 射影量の検出方法

4. 各特徴量を用いた文字の認識

4-1 標準パターンの特徴量の登録

3-3で述べた特徴量を用いて入力文字の認識を行う場合、認識時に用いる標準パターンの特徴量として、各文字の特徴を事前にコンピュータに登録しておく必要がある。本研究では、パソコンのROMにある英数字パターンを用いて、各文字の特徴量を自動抽出し、標準パターン特徴量としてパソコンに登録する。

4-2 文字判定手順および結果

文字判定は、カメラによりプリンタ印字文字の画像を入力し、マウス指示によりウインドウを掛けた文字の各特徴量を求める。このとき1文字のサイズは、約30×40画素で入力している。次に、4-1に述べる方法により求めた標準パターンの特徴量との比較を行い、特徴量の差の累積値が最小となるものを第1候補の判定文字とし、順に第5候補までの文字を調べる。表4-1は、各特徴量を用いて認識を行った結果である。表の中の野線文字は正解文字を表し、正しい文字が見つかるまでに誤判定する文字を順にあげている。

表4-1 各種法による文字認識結果

手法	a	b	c	d	e	f
認識率	27.6%	86.1%	75.0%	80.6%	75.0%	75.0%
特徴量	◎ベクトルの方向成分 ◎輪郭ベクトルの微分値 ◎重心 ◎ループ数	◎輪郭ベクトルのつながり ◎ループ数	◎交差回数(水平、垂直、斜めの4方向) ◎ループ数	◎側面距離(1次、2次、距離) ◎ループ数	◎側面距離(1次、2次、3次、距離) ◎ループ数	◎交差回数(水平、垂直、斜めの4方向) ◎ループ数
入力	判定文字 (左より第1候補、第2候補、第3候補、第4候補、第5候補)					
0	0	0 0	0	0	0	6 9 0
1	I M I	1	1	1	1	1 1
2	H C U X K	2	Z 2	2	Z 3 2	2
3	U C K M V	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	H U C M I	5	5	5	5	5
6	0 D O P R	6	9 6	6	6	6
7	W I U M V	7	7	7	T 7	7
8	8	8	Q 8	8	8	8
9	0 4 9	9	0 6 9	9	P 9	R 3 S 6 9
A	0 A	A	A	A	A	A
B	B	B	B	B	8 B	B
C	K U M C	C	C	C	C	C
D	0 D	D	D	D	D	9 D
E	H U I M C	E	E	E	E	E
F	F	C X Y V F	F	F	F	F
G	U H M I G	G	G	G	G	G
H	I H	H	K H	K E H	K H	H
I	I	I	I	I	I	I
J	J	J	1 J	J	J	J
K	U K	K	K	K	K	K
L	L	L	L	L	L	L
M	I M	M	N N H M	M	M	M
N	M I N	N	N	K X N	K H N	N
O	0 O	O	O	0 O	0 O	9 6 D 0 O
P	D P	D P	P	P	P	P
Q	Q	Q	Q	Q	Q	8 B Q
R	0 D R	A R	D R	R	R	R
S	X C G S	S	S	S	3 S	3 U S
T	H T	T	T	T	T	T
U	W U	U	U	M V U	V U	U
V	I W M U N	V	Y V	Y V	Y V	V
W	W	V U Y K T	W	W	W	W
X	U M H I K	X	X	X	X	W K V S E
Y	W I M N U	Y	Y	Y	Y	Y
Z	H C U Z	Z	Z	Z	Z	S 3 E 2 Z

4-3 考 察

(手法 a)

輪郭線上のベクトルの方向成分、ベクトルの微分値の総和、重心、ループ数の特徴量を用いた方法では、認識率が非常に低い。この原因は、ノイズの影響により輪郭形状が微妙に崩れ、各文字が持つベクトルの方向成分および微分値の総和といった特徴が正確に抽出できないことが考えられる。また、重心についても文字ごとの特徴量にあまり差がなく文字を識別する要素としてはあまり有効でない。ただし、ループ数の検出値は、ループを持たない文字、1個のループを持つ文字、2個のループを持つ文字とに正確にグループ分けでき有効である。

(手法 b)

輪郭線上の方向ベクトルのつながりとループ数とを特徴量として用いた方法では、今回行った方法の中で最も高い認識率が得られた。この方法は、輪郭ベクトルのつながり関係を考慮するため、手法 a に比べ文字ごとの特徴の差を捉えやすいためである。ただし、標準パターンとして登録した文字との微妙な字体の違いにより、輪郭線上の方向ベクトルの比較ポイントのズレが起こり、0とO、DとP、VとWのように字形が似ている文字において判別が出来ない場合がある。

(手法 c)

4方向から引いた検出線と文字との交差回数およびループ数とを特徴量として用いた方法では、2とZ、KとH、RとDなどにおいて特徴量が類似し判別を誤る。この方法は、文字の特徴を単なる交差回数(0~3)として扱うため、文字の直線性、曲線性などの幾何的な特徴を正確に捉えられていないためである。ただし、この方法では、全ての文字について正解文字を候補として見つけ出すことが可能であった。

(手法 d) (手法 e)

水平軸および垂直軸から文字までの交差距離とループ数とを特徴量として用いた方法は、手法 c の交差回数の特徴にを用いる方法に比べ距離を用いるため、幾何的な特徴を捉えやすく認識率も多少良くなっている。ただし、3次距離を考慮した手法 e では、3次距離の比較ポイントのズレの影響で、逆に認識率を悪くする場合がある。

(手法 f)

水平、垂直、斜めの4方向からみた射影量とループ数とを特徴量として用いた方法では、手法 c と同様に文字の幾何的な特徴が捉えにくく、0、6、9、0といったグループの文字判別が困難である。また、正しい文字を正解候補として抽出することができない文字もある。

5. む す び

本文においては、英数字文字の認識の手法を検討するため、入力文字にプリンタの印字文字、認識用標準パターンとしてROMの文字を用いて、各種手法による文字認識実験を行った。入力文字と登録文字の微妙な字体の違いなどにより、どの手法においても100%の認識率を得ることは出来なかった。しかし、各方法で用いた特徴量によっては、正解文字を候補グループとして抽出することが可能なものもいくつかあり、これらの特徴量をうまく組み合わせることにより認識率を向上させることが可能であることが分かった。

今後は、特徴量の組み合わせ等による方法についての検討を進め、さらに、部品などのマーク文字の認識方法について検討し、加工組立ラインに実用出来る文字認識装置の開発を行う予定である。

謝 辞

本研究について御指導いただいた渡部透研究参与（立命館大学工学部教授）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) 森 俊二：文字図形認識技術の基礎 オーム社

電子機器の電磁環境評価法の研究（第二報）

— 電子機器のノイズ対策法と対策部品の評価実験 —

技術第一科 木村 昌彦

あらまし：インバータやスイッチング電源のようなノイズが出やすい機器が増える一方で、マイコンのようにノイズに弱い機器も増加しており、ノイズによる障害や事故が多く報告されている。ノイズ障害防止のための対策部品は種類が多く、うまく適用しないと期待した効果が得られない上に、障害発生の状況が千差万別であるため、ノイズ対策が勘と経験に頼らざるを得ないのが現状である。

そこで、数多くあるノイズ対策部品の中で、どのような場合に何を適用すればどれだけの効果があるのか、ノイズ対策を経験に頼らず体系的に進められるように、ノイズ耐性向上の評価実験等を通して、ノイズ低減技術の検討と対策部品の各種評価を行った。その結果、対策部品の実装上の効果に関する系統的なデータが入手でき、効率的なノイズ対策を行うために有効なデータが蓄積できた。

1. ま え が き

近年、電気・電子機器はデジタル化により高性能、高機能になってきており、それにともなってますます小型化、高速化が進んでいる。このことは裏を返せば、電磁ノイズに敏感に、すなわち、ノイズに対してどんどん弱くなってきているといえる。外来ノイズにより電子機器が誤動作したり、暴走したりして、時に重大な事故を引き起こすことがある。そのため 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、その規制が平成元年12月以降の製造分から本格適用されるようになった。また、海外でも同勧告に基づいて、それぞれ独自の規制が実施されている。

電磁ノイズによる障害を防止するため、従来から多くの種類のノイズ対策部品が開発され供給されてきた。ただ、ノイズ対策を要する状況は千差万別であるため、対策部品メーカーが提示する特性だけでその適用を判断しては、必ずしも期待どおりの効果が得られないことが多く、ノイズ対策に、勘と経験が必要とされる要因になっている。そこで、ノイズ対策を行う際に短時間で最適な部品選択ができるように、手順の検討、各種対策部品の特性の把握、これらを実際のフィールドに適用したときの改善効果等、特に伝導ノイズを中心に検討を行った。

2. ノイズ対策

ノイズ対策は、発生側（加害側）で低減させる場合と受信側（被害側）で防止あるいは除去する場合の2通りがあり、両者には技術的に共通する部分が多い。この技術としては次のようなものがある。

- (1) グランディング……グランド・ループ、共通インピーダンスを極力減らす。
- (2) シールドイング……空間を伝搬するノイズを低減する。
- (3) フィルタリング……ラインを伝搬するノイズを低減する。
- (4) アイソレーション……電氣的に絶縁することでノイズの伝搬を抑える。

2-1. ノイズ対策手順と考慮すべき要因

ノイズ対策を行う場合、まず対象となるノイズ、低減しようとするノイズの種類やレベル及び伝送形態を把握しなければならない。そして、どの周波数帯をどの程度下げれば規格を満足するのかを知った上で対策にとりかかれないと、時間とコストばかりかかり効率的な作業とならない。

2-2. ノイズ対策部品の適用法

ノイズの種類によりその対策部品は数多くあるが、大別すると、ノイズ除去トランス（電磁障害遮断変圧器）、ACノイズフィルタ、ラインフィルタ（コモンモード・チョークコイル、ノーマルモード・チョークコイル）、フェライトコア（フェライト・ビーズ）、コンデンサに分けられる。それぞれ対応できるノイズの周波数やレベルがあるのでうまく選択する必要がある。

3. 実 験

3-1. 検討したノイズ対策部品

表1のようにノイズ除去トランス、ACノイズフィルタ、ラインフィルタ（チョークコイル）を用いて実験を行った。なお、被対策用の電子機器（供試品）として電子天秤とデジタル電圧計およびスイッチング電源を使った。

表1 検討したノイズ対策部品

種 類	仕 様
ノイズ除去トランス	電圧：100/100V 容量：100VA
電源ノイズフィルタA	$L_N : 90 \mu H \times 2$ $C_X : 0.1 \mu F$ $C_Y : 3300pF \times 2$
〃 B	$L_C : 3.2mH \times 2$ $C_X : 0.1 \mu F \times 2$ $C_Y : 3300pF \times 2$ $R : 1 M\Omega$
〃 C	$L_C : 5 mH \times 4$ $C_X : 0.47 \mu F \times 2$ $C_Y : 2200pF \times 2$ $R : 1 M\Omega$
コモンモードチョークコイル	A : 2.9mH B : 7.8mH C : 11.0mH (実測値 at 1 kHz, 1 mA)
ノーマルモードチョークコイル	77.7 μH (実測値 at 1 kHz, 1 mA)

L_N : ノーマルモードチョークコイル

L_C : コモンモードチョークコイル

C_X : ライン間コンデンサ

C_Y : ライン・アース間コンデンサ

3-2. ノイズ対策部品の静特性

上記部品の単体での減衰特性をネットワークアナライザにより測定した。対策部品のカタログに記載されているのはこのような静特性であるが、これは入出力インピーダンスが 50Ω に標準化されている。ところが実際の回路は必ずしも 50Ω でないため、この値がそのまま被対策品に適用できるわけではなく、ひとつの目安として、例えば共振周波数の帯域を知る等のデータぐらいに考えるべきである。

3-3. ノイズ除去効果の測定

(1) ノイズマージンの向上

高周波ノイズシミュレータを使い、各ノイズ対策部品の実装上の特性を測定した。試験方法は、コモンモードとノーマルモードのインパルスに対策部品を付加した供試品の電源に重畳させて注入し、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。

試験条件：パルス電圧 方形波 $0 \sim 2000\text{V}$ 、パルス幅 50ns $1\mu\text{s}$

注入位相 0° 90° 極性 正極性

パルスくり返し 電源同期 (60Hz)

また、この時対策部品の入出力端に現れる電源の電圧波形を高速ストレージオシロスコープで調べた。

(2) スイッチング電源の伝導妨害波の低減

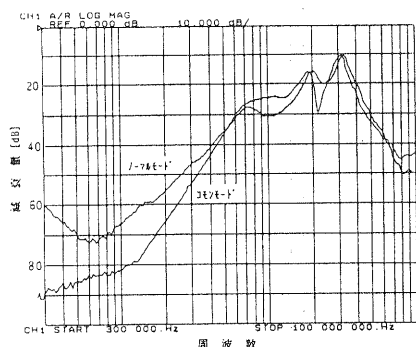
スイッチング電源は、小型化、軽量化が容易な上、高効率なため、電子機器の電源に多く採用され、今や電源といえばスイッチング電源を指すほど広く浸透してきた。しかし、動作上高周波を使うため、ノイズの問題が必ずついてまわり、その上小型化するためにスイッチング周波数を上げるとさらにノイズが増大するというジレンマに悩まされることになる。

ここではスイッチング電源から出ていく伝導妨害波を、キャパシタ(C)とインダクタ(L)の組み合わせによりどのように低減できるか検討した。

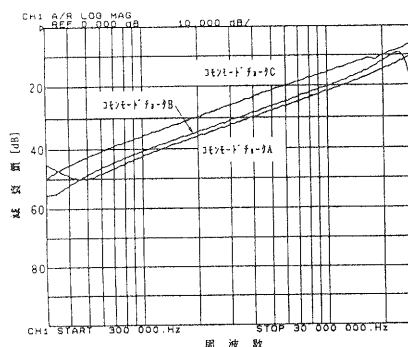
4. 実験結果および考察

4-1. ノイズ対策部品の静特性の測定

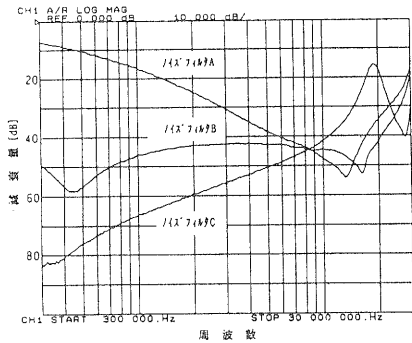
ネットワークアナライザにより測定した各部品の減衰特性を図1(a)から(d)に示す。なお周波数は装置の関係で下限は 300kHz にしている。横軸に周波数、縦軸に減衰量を表す。



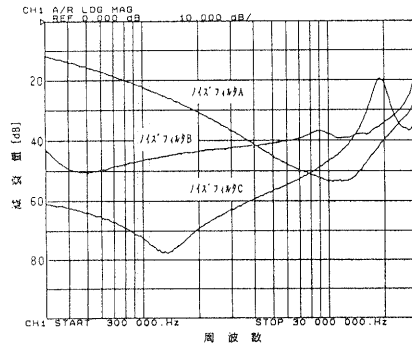
(a) ノイズ除去トランス



(b) コモンモードチョークコイル



(c) ノイズフィルタ(コモンモード)



(d) ノイズフィルタ(ノーマルモード)

図1 各種対策部品の減衰特性

図1(a)はノイズ除去トランスの特性である。高域の方ではコモン、ノーマルの差がなく低域(1MHz以下)では、コモンモードは測定器限界の90dBであるが、ノーマルモードでは低い方へいくほど減衰率は小さくなっていき、商用周波帯域では負荷電流を通すのであるから減衰は0dBになっていると思われる。

図1(c),(d)はノイズフィルタの減衰特性である。同一種類ではコモンモード、ノーマルモードの差はそれほどないが、種類が異なると特性もがらりと変わり、それぞれの特徴をよく表している。これを見極めないと実装しても効果が得られないことになる。3種の中でノイズフィルタAは最も減衰量が少なく、効果のある帯域も範囲が狭い。ただし、このフィルタは3つの中で価格がいちばん安いので、この帯域と対策したい帯域、減衰量が合えば最も低コストで対策が行えることになる。もちろん負荷の定格電流を考慮する必要があることはいうまでもない。ノイズフィルタBは3者の中間ぐらいで、ノイズフィルタCは最も広帯域で高い減衰量を持っていることが判る。

図1(b)はコモンモードチョークコイルの特性であるが、チョークコイルの効果のある帯域は300kHzより低い領域なので残念ながらこのグラフではとらえられていない。しかし、300kHz付近の特性曲線の動きから推測すると、このあたりにある共振周波数をさかいに、

右側の傾きと同じ6dB/octの傾きで減衰量が小さくなっていくと思われる。すなわちチョークコイルAが最も減衰量が小さく、つぎはBとなり、Cがいちばん減衰量が大いと考えられ、インダクタンスの大きいものほど減衰量が大いという理論とも一致する。

コモンモードチョークに分布容量、漏れインダクタンスがないと仮定すると、一般的につぎのように解析される。図2においてコモンモードノイズ V_g が発生したとき、ラインの抵抗分を R_1 、 R_2 、負荷抵抗分を R_L とすると、

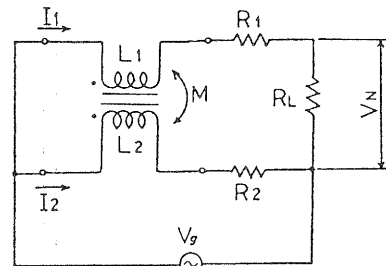


図2 コモンモードチョークを入れた等価回路

$$V_g = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 + (R_1 + R_L) I_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V_g = j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 + R_2 I_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

(2)式より、

$$I_2 = \frac{V_g - j\omega M I_1}{j\omega L_2 + R_2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 $L_1 = L_2 = M = L$ とすると $R_1 \ll R_L$ より、(1)式および(3)式から、

$$I_1 = \frac{V_g R_2}{j\omega L (R_2 + R_L) + R_2 R_L}$$

R_L の両端に現れるノイズ電圧 V_N は、

$$V_N = I_1 R_L = \frac{V_g R_2 R_L}{j\omega L (R_2 + R_L) + R_2 R_L}$$

$$= \frac{V_g R_2}{j\omega L (R_2/R_L) + j\omega L + R_2}$$

$R_2 \ll R_L$ よりノイズ比は、

$$\frac{V_N}{V_g} = \frac{R_2}{j\omega L + R_2}$$

となり、例として 1Ω 、 1mH で計算してみると図3となる。これが実際の部品では個々の持つ分布容量との共振点を境に、それ以上の周波数では減衰量が小さくなっていくことになる。

4-2. 対策部品によるノイズマージンの向上

図4(a)、(b)に高周波ノイズに対する各ノイズ対策部品の改善効果を示す。これはデジタル電圧計と電子天秤において、3-3(1)の試験条件で測定を行った結果の一部で、各対策部品を何も付加していない時と付加した時のそれぞれの誤動作電圧値である。ノイズシミュレータの発生電圧が最大 2000V なのでそれ以上は確認できないが、両供試品とも対策無しの状態からすべての対策部品で改善の効果がみられる。ただその度合いには種類による違いがあり、チョークコイル程度の簡単なものと、ノイズマージンが 2000V まで上がっても供試品が表示している数値は初期値（ノイズをかけていないときの値）より若干ずれたものとなり、まだノイズの影響があることを伺わせる。これがノイズフィルタだと 2000V までほとんど影響を受けず、ノイズ除去トランスだと全く受けない。

つぎに、図5(a)から(g)に供試品の電源ラインにパルス幅 $1\mu\text{s}$ (50Ω ターミネーション時)の高周波ノイズを重畳させて注入したときの対策部品の入出力両端の電圧波形（ノイズ部分）を示す。負荷はデジタル電圧計で、電源ONの動作状態で測定している。ここでの入出力の値は、一般の部品カタログに記載されているインサージ

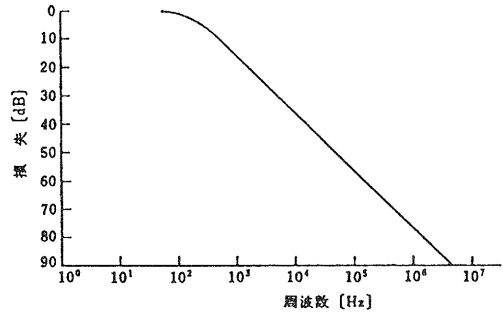
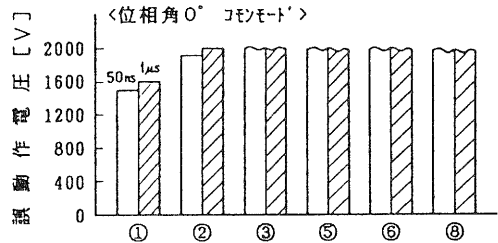
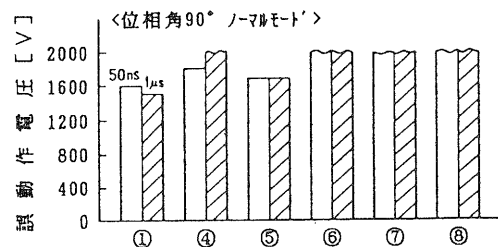


図3 コモンモードチョークの効果



(a) デジタル電圧計の誤動作電圧



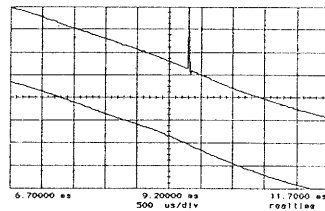
(b) 電子天秤の誤動作電圧

- ①対策部品なし ②コモンチョークA ③コモンチョークB ④ノーマルチョーク
- ⑤フィルタA ⑥フィルタB ⑦フィルタC ⑧ノイズトランス

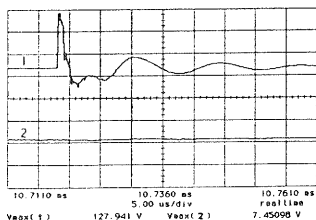
図4 ノイズ対策部品の改善効果

ジョンロスとは測定の定義が異なるので同列の比較はできない。現実的な評価をするには今回のような測定が必要であろう。

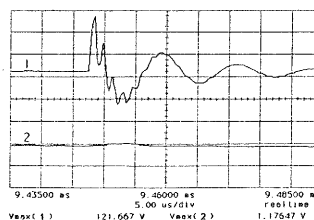
図5(a)が理想的な一例で、上側の波形のように電源波形に載ったパルス性のノイズが下側の波形のようにきれいに取り除かれるものが良い。以下、図の上側が入力端、下側が出力端の波形である。



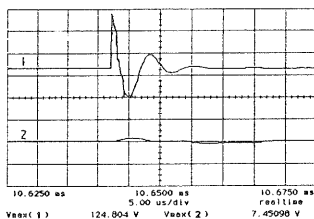
(a) 高周波ノイズの除去



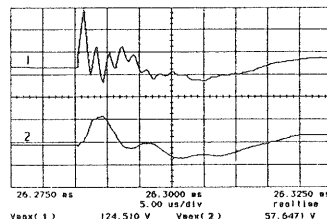
(b) ノイズ除去トランス(コモンモード)



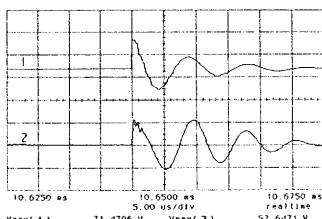
(c) ノイズ除去トランス(ノーマルモード)



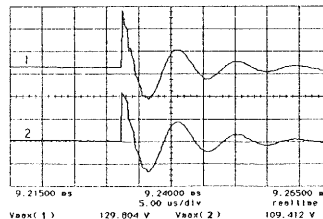
(d) ノイズフィルタB(コモンモード)



(e) ノイズフィルタB(ノーマルモード)



(f) コモンモードチョークB



(g) ノーマルモードチョーク

図5 ノイズ対策部品による高周波ノイズの減衰

順を追って見ていくと、図5(b)と(c)はノイズ除去トランスをとおしたときの波形である。コモンモード、ノーマルモードともに二次側には全く伝搬しておらず、ノイズの痕跡は視認できない。なお、入力側の波形がきれいな方形波でなく振動しているのは、ノイズシミュレーターの出力が50Ωでターミネーションされているのに対し、供試品側のインピーダンスがマッチングがとれないために反射が起これ入射波と干渉するからである。これは他の対策部品についても同様である。

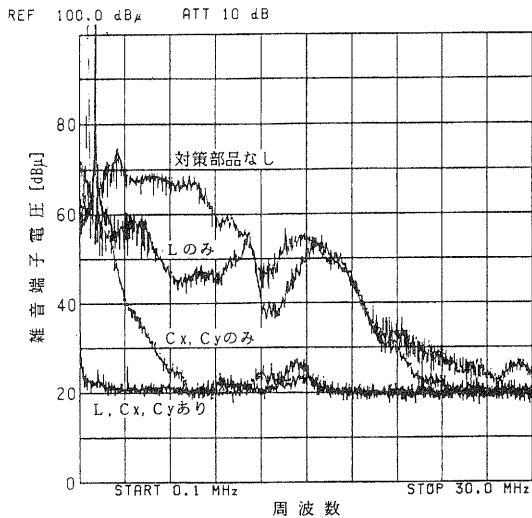
図5(d)、(e)はノイズフィルタを使った場合の波形である。ノイズ除去トランスの波形にやや似ているが、コモンモードで電圧ピーク値が10分の1以下に減衰しているのに対し、ノーマルモードでは半分程度にしか減衰していない。ただ、高周波成分がかなり除去されており、効果は十分

期待できるものである。

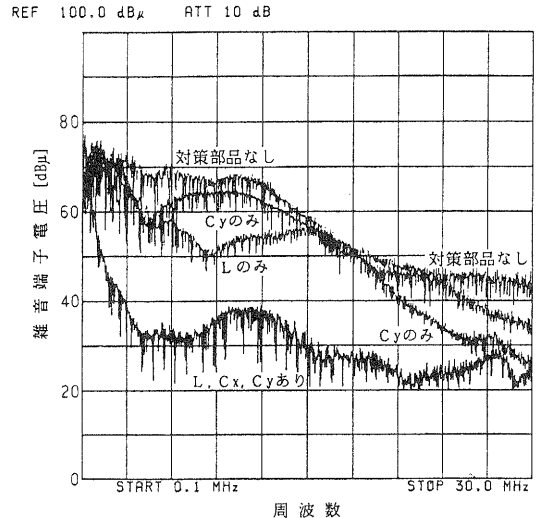
最後にチョークコイルであるが、コモンおよびノーマルモードチョークの結果をそれぞれ図5 (f)、(g)に示す。どちらも約20%、ピーク値が減衰している。しかし入力側の振動はそのまま出力側に伝搬しており、これが前述した、ノイズマージンは2000Vまで上がったけれども供試品が表示している数値は初期値よりずれている、という結果を導いているものと思われる。

4-3. スイッチング電源のノイズ対策

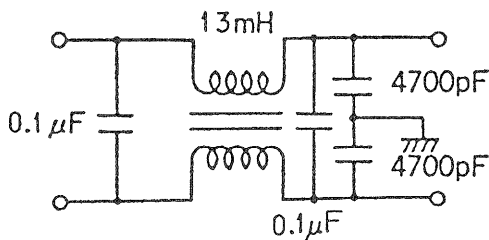
一般にスイッチング電源は、入力側にノイズフィルタ回路を内蔵するが、これを入れなければどのくらいのノイズがでており、その対策にはどのような部品が適合するのか調べてみたのが図6の(a)、(b)である。これは、2種類のスイッチング電源に対策素子を何もつけない状態から、LやCを付加した場合に、雑音端子電圧がどれだけ改善されるかを示したものである。なお測定は全負荷にて尖頭値検波で行った。またこのときのフィルタ回路の構成を表したのが、それぞれ図6の(c)、(d)である。



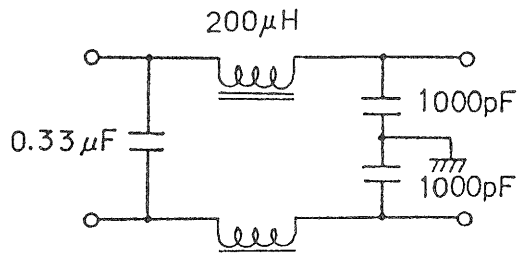
(a) スイッチング電源Aの雑音端子電圧



(b) スイッチング電源Bの雑音端子電圧



(c) (a)の場合のフィルタ回路



(d) (b)の場合のフィルタ回路

図6 スイッチング電源のノイズ対策

スペクトラムをVCCIの第2種(住宅地域用)規制(表2)と比較すると、何の対策もしていなければ、15MHz以下で両機種とも規制値をオーバーしている。ただし、この測定は尖頭値検波で行っているので、VCCI規定の準尖頭値検波では若干下がるかも知れない。

各素子ごとに細かくみると、チョークコイルにより低域のノイズが除去され、ライン・アース間コンデンサ(ライン・バイパス・コンデンサ)により高域のノイズが除去されていることが判る。そしてライン間コンデンサ(アクロス・ザ・ライン・コンデンサ)は主に低域のノーマルモードノイズに効いているものと推察できる。なお、図6(d)のLはノーマルモード用チョークコイルであるが、負荷電流が0.数Aだとコイルも大きくなり、しかもノーマルモードだけでなくコモンモードにも有効なので、比較的低コストで図6(b)のように低域で10数dBノイズが低減できることになる。ただし、コモンモード用とノーマルモード用ではコア特性が根本的に違うため必ずこうなるわけではないので注意を要する。最終的にこれらL、Cを組み合わせた結果、両者とも規制値をクリアするレベルにまでノイズが低減した。

今回実験を試みたフィルタ回路はオーソドックスな部類に属するが、最も基本的な回路構成は図7に示すもので、それぞれの素子の果たす機能をまとめると表3のようになる。

図7において、実際には L_c に巻線の分布容量があり、 C_v にはリード線の等価インダクタンスが存在する。これらも加味して減衰特性を解析すると、コモンモードの低域では L_c のインダクタンスでほとんど決まると考えてよく、これを大きくする事で改善できる。中域では L_c の分布容量と C_v により決まる。 L_c の分布容量は小さく、 C_v は大きいほうが良い。ただし、 C_v は保安上の観点から漏洩電流の規制値によりおのずと上限が決まってくる。さらに高域では L_c の分布容量と C_v の等価インダクタンスで決まり、ともに小さいほうが良好である。

一方、ノーマルモードでは L_c の漏洩インダクタンスが関わってくるものの、ほとんど C_x 、 C_v によって決まると考えてよい。

表2 VCCI第二種情報装置の雑音端子電圧許容値

周波数範囲	準尖頭値
150kHz-500kHz	66-56dB
500kHz-5MHz	56dB
5MHz-30MHz	60dB

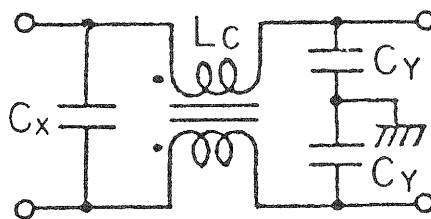


図17 基本的な電源ラインノイズフィルタの構成

表3 フィルタ素子の機能

記号	名称	機能
L_c	コモンモード・チョークコイル	低域のコモンモードノイズの除去
C_x	アクロス・ザ・ライン・コンデンサ	低域のノーマルモードノイズの除去
C_v	ライン・バイパス・コンデンサ	高域のノーマル、コモン両モードのノイズの除去

より決まる。 L_c の分布容量は小さく、 C_v は大きいほうが良い。ただし、 C_v は保安上の観点から漏洩電流の規制値によりおのずと上限が決まってくる。さらに高域では L_c の分布容量と C_v の等価インダクタンスで決まり、ともに小さいほうが良好である。

一方、ノーマルモードでは L_c の漏洩インダクタンスが関わってくるものの、ほとんど C_x 、 C_v によって決まると考えてよい。

5. む す び

ノイズ対策を効率よく行うために、ここでは対策の手段と手順、対策部品の適用法とその効果を検討してきた。以上の結果を要約すると、

- (1) 減衰させたい周波数と対策部品が持っている周波数特性（特に適用機器・回路に実装したときの特性）が合わないと効果が出ないので、対策前に実装予定の機器・回路の特性を把握しなければならない。
- (2) 対策部品適用の目安としては、チョークコイルあるいはコンデンサ単体で10dB程度の減衰が期待でき、それ以上必要なときはノイズフィルタを使用すべきと考えられる。ただし、チョークコイル、コンデンサは対応周波数域が狭いのでその帯域に注意する必要がある。またチョークコイルはグラウンドにノイズをバイパスさせなくてもよいので、グラウンドが不要で、パターン変更が容易である。
- (3) ノイズフィルタのアース線は極力短く、ボディは金属面に直付けする。入出力のハーネスは一緒に束ねない。

以上のように、対策部品の効果を最大に発揮させるには、実装技術も重要である。素子自身は十分な効果を期待できる特性を持っていても、実装上に不備があってはそれも半減してしまうので適用する素子・部品の選択とともに、実装方法にも注意を払わねばならない。

[参 考 文 献]

- (1) 木村昌彦：平成元年度滋賀県工業技術センター研究報告
- (2) 関 康雄 他：「ノイズ対策最新技術」、総合技術出版(1986)
- (3) 岡村勉夫：「解析ノイズ・メカニズム」、CQ出版社(1988)
- (4) 坂本幸夫：「スイッチング電源のノイズ対策」、電子技術、Vol.33 No. 3

検査作業の自動化のための 視覚システムの研究（第一報）

— 微細パターンの自動欠陥検査法の研究 —

技術第一科 川崎 雅生 木村 昌彦
櫻井 淳 井上 嘉明
大西電子(株) 中川 俊男

あらまし：コンピュータの発達と低価格化により、従来目視で行われていた検査工程にも、画偶処理を応用した自動化が進みつつある。このような目視検査の自動化を一層進展させるため、平成元年度から、検査作業の自動化を進める上で重要な構成要素となる視覚システムの研究を、3年計画で進める予定である。

本年度は研究対象として、微細パターンの一例である多層プリント基板を作成するための配線パターンを選んだ。プリント基板上の回路は年々細線化し、高密度化しており、現在の技術でもパターンの断線や短絡が発生している。これらの断線や短絡は、回路に検査ピンをたてて、通電検査を行うのが確実な方法となっている。この検査ピンをたてる位置を基板フィルムより抽出する作業（以下、ポイント取りと呼ぶ）は従来目視によって行っているが、年々微細化が進むため、目視では困難になってきている。そこでこの作業を画像処理によって自動化するための基礎的な検討を行ったところ、自動化できる可能性があることと、付随する問題点が明らかになったので報告する。

1. まえがき

県内には、電子部品や電子製品を生産する中小企業が多く、生産現場には各種の自動化装置が設置され、生産性向上・信頼性向上等がはかられている。しかし、検査作業については目視に頼る割合が多く、人手不足や高齢化等の問題ともからみあって、より一層の自動化が要望されている現状である。また、最近の電子部品等は、小型化・高密度化しており、目視による検査そのものが限界にきていると思われる。

これらのことをふまえ、検査作業の自動化のための視覚システムについて、平成2年度より3年計画で研究を始めたので、その初年度分について報告する。

本年度の研究対象に選んだポイント取り作業においては、実配線を正しく、効率的に検査するために、基板中に含まれる全ての回路を抽出し、各回路につき原則として2箇所の検査ピンをたてる位置を決定しなければならない。多層基板用のフィルムについて、この処理を行うためには、3次元的な処理を行う必要があるが、研究初年度は、フィルム1層について、微細な2次元構造を持った検査物として扱い、イメージリーダーとパソコンを使ったシステムで実験し、処理方法やイメージリーダーの分解能等について解決すべき問題点の抽出を行った。

2. 実験システムの構成

図1に、処理とデータの流れを示す。入力に使用したプリントフィルムは、210mm×300mmの大きさで、最も細い配線パターン線の線径は、約200μmである。

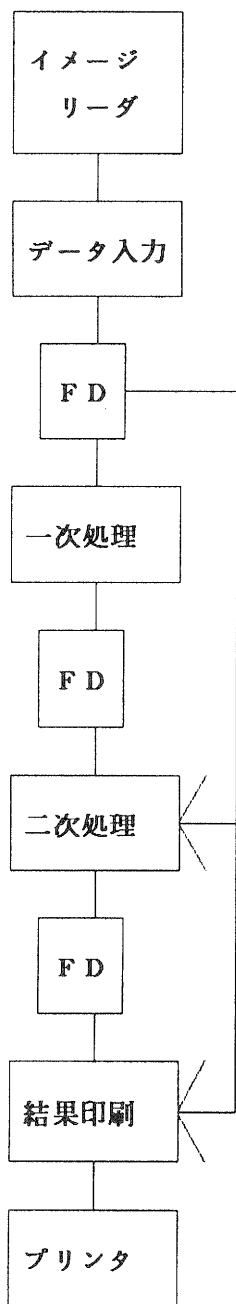


図1. 処理とデータの流れ

2-1 データ入力

イメージリーダにより入力した1ビット/1画素の画像データを、パラレルインターフェースによりパソコンのファイルに読み込み、原画像イメージを表示する。イメージ入力時の解像度は、200DPIに設定しており、A4版のフィルムが1712×2320画素で入力できる。C言語で200ステップ程度であり、A4版のフィルム1枚を入力するのに3分程度かかる。

2-2 データの一次処理

入力した原画像より、ランドの候補となる可能性のある場所からポイントの候補を抽出する。原画像には、入力時の雑音も相当含まれているため、雑音除去も行う必要がある。基本的には、現在の入力時の分解能(200DPI)と入力パターンの大きさの関係から、1点(1画素)だけがその周囲4方向と異なることはありえないことを利用して、雑音除去を行っている(このとき、後処理を高速化するためのフィルタリングも行っている)。図2に、雑音除去およびフィルタリングの概要を示す。

ポイントの候補となる可能性のある場所とは、原則的には各パターンの端であり、この部分(そこからでるパターン配線が1本以下である場所)を抽出すればよいことになる。パターンの端であることを正確に判定するためには、ランドを抽出し、その輪郭を丁寧に

		0E		
		0F		
E0	F0	00	10	20
		01	11	21
		02	12	22

・雑音除去、フィルタリング(1)

00が1のとき

$$10+20+01+11+21+02+12+22>6 \text{ なら}$$

$$10, 01, 11, 21, 12=1$$

00の縦か横が3点連続なら00=1

その他なら00=0

・フィルタリング(2)

00の横が3点連続なら 00=1

その他なら 00=0

図2. 雑音除去およびフィルタリングの概要

トレースすることが必要であるが、全てのビットパターンについてこの処理を行うと処理時間を要するため、一次処理においては、簡易な端部検出方法を使い、原画像の中から候補の絞り込みを行っている。

一次処理における配線パターン数の数え方を図3に示す。図3の中のC点につながる配線パターン数を決定する場合、C点より右方向に連続するドットの数（NJ）等を調べ、これらの特徴量の組み合わせにより処理する。

C言語で700ステップ程度であり、原画像1枚（1712×2320）を処理するのに20分程度かかる。

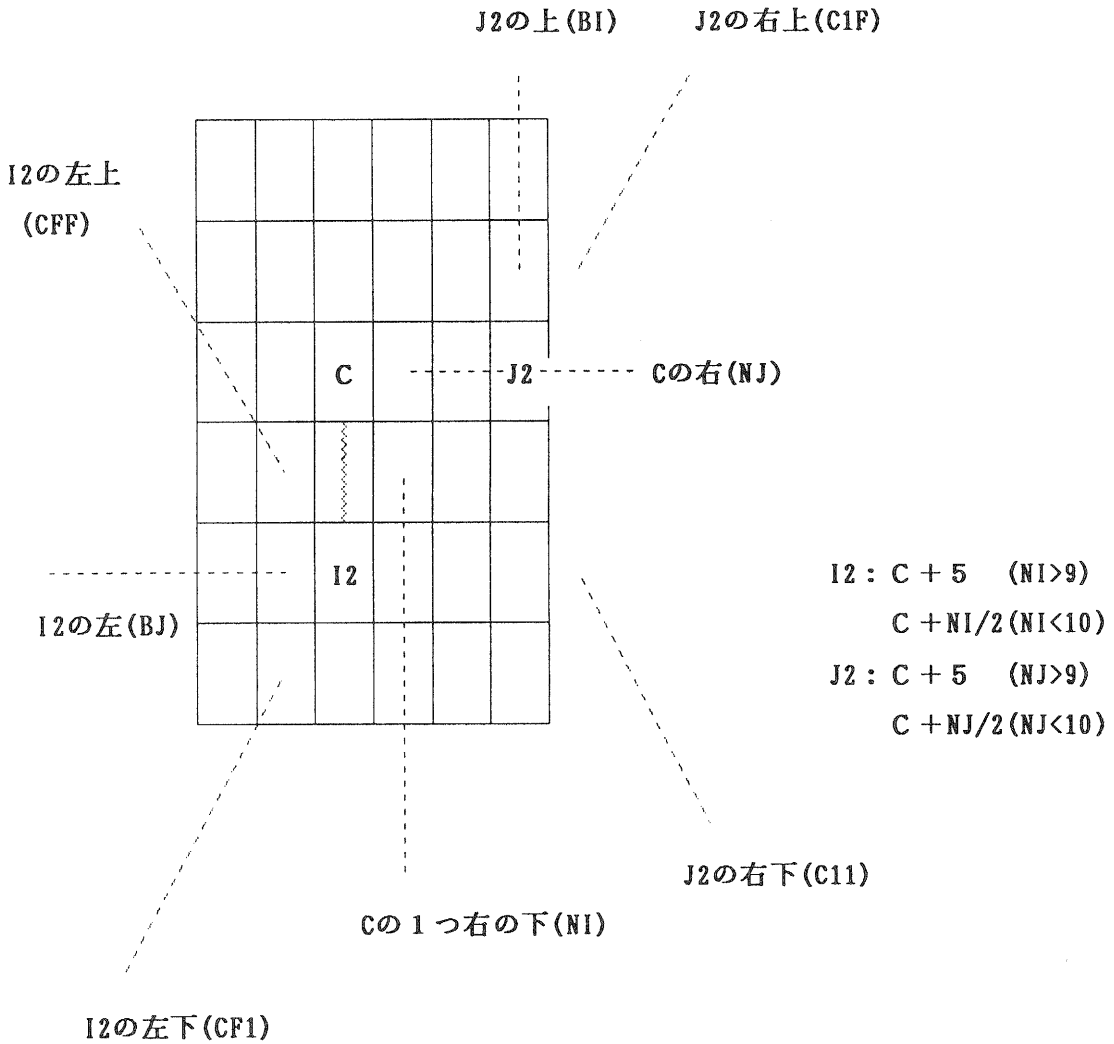


図3. C点につながるパターン（ドット列）の数え方

2-3 データの二次処理

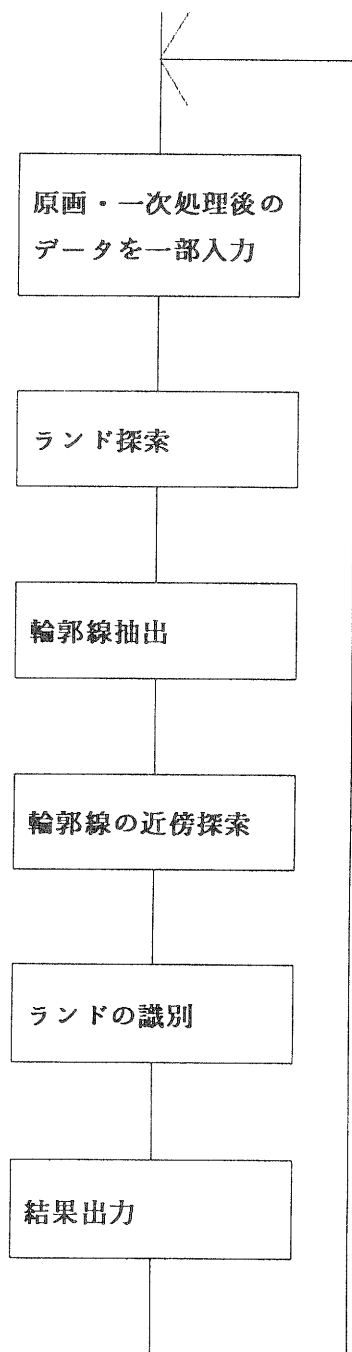


図4. 二次処理の流れ

一次処理で抽出されたポイントの候補を、詳細にチェックすることによりポイントを抽出する。一次処理においては、太い配線パターンのみを考慮に入れたが、二次処理においては、細い配線パターンも考慮するため、ポイントの候補部分について原画像とつきあわせを行い、候補部分の周辺探索を行って最終的なポイントの抽出を行っている。図4に二次処理の流れを示す。

輪郭線の近傍探索時に、接続している配線パターン数を検出することにより、そのランドが孤立点であるか、端点であるか、中間点であるかを区別する。孤立点と端点をポイントとする。

C言語で400ステップ程度であり、処理時間は20分程度かかる。

2-4 処理結果の印刷

処理結果は、人が目で確認できるようにする必要があり、実作業とのつながりを考慮にいと、カラープリンタに実寸サイズで出力する必要がある。カラープリンタを、24ビットドット列対応グラフィックモードで制御し、原画像と一次処理、二次処理の結果を色分けして重ね印字している。C言語で100ステップ程度であり、出力に5分程度かかる。

3. 実験結果および問題点

3-1 実験結果

図5-1から図5-3に実験結果の例を示す。本報告書がモノクロ印刷のためわかりにくいだが、図の中で薄くかすれているのが原画偶の部分で、丸や四角の部分が一二次処理および二次処理の結果である。実際に使ったフィルムに限ってみれば、検査に必要なポイントはおおよそ抽出できるようになった。ただし、正解率としては90%程度であり、複雑な形状のアナログパターン等については、正解率が低く、検査に必要なポイントが抽出されない場合がある。

3-2 データの入力における問題点

3-2-1 雑音

透明フィルムに黒で印刷されたパターンを入力しているが、本来透明である部分に黒点が、また黒一色の部分に白点がかなりの頻度で発生する（雑音の大きさは、1ドット）。最近では、パターンも小型化してきており、この解像度（200DPI）では、本来のパターンとの区別もできなく可能性がある。

3-2-2 解像度

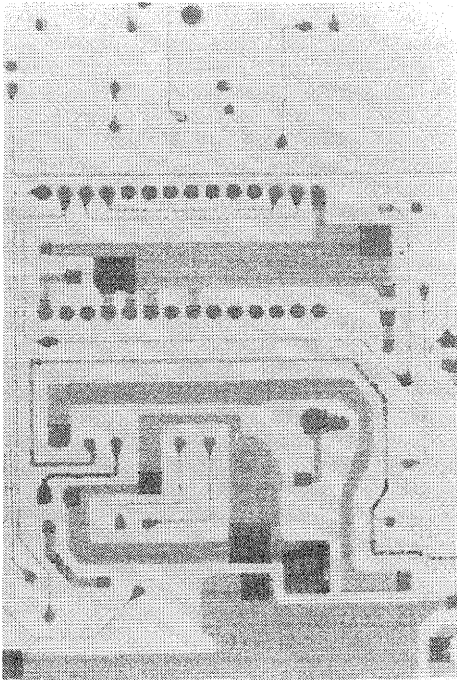


図 5-1 処理結果の例

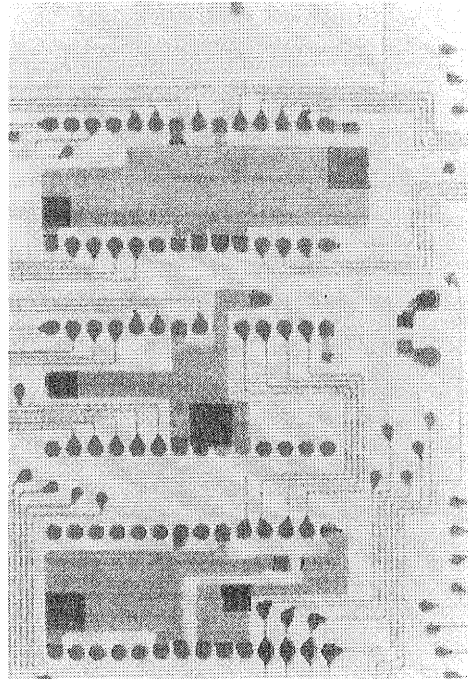


図 5-2 処理結果の例

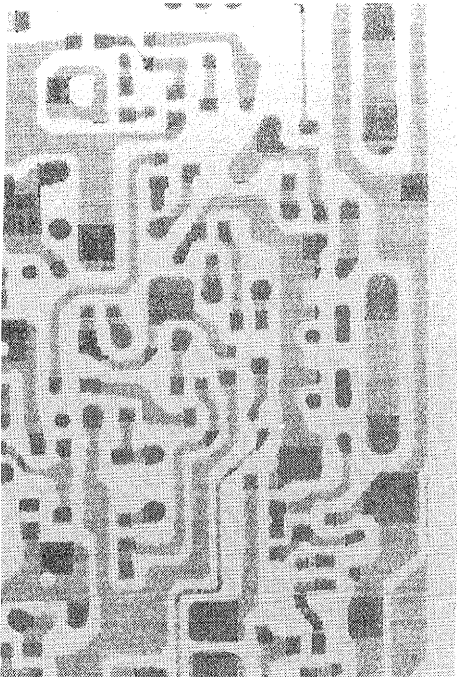


図 5-3 処理結果の例

実際に使用したフィルムの場合、最も細い配線パターンは、線幅が $200\mu\text{m}$ 程度であり、200DPIでは、線幅方向で1~2ドットとなる。今後、フィルムパターンの細線化が進むことを考えると、現在の分解能の3倍程度は必要と思われる。

3-2-3 入力時間およびデータ量

現在の解像度で1枚あたり、入力は3分程度であるが、データ量としては500KB必要になる。最近のプリント基板は、多層化してきており、4層や6層の基板を前提にすると、補助記憶装置の大容量化を考えなければならない。

3-3 データの処理における問題点

3-3-1 ポイントの抽出方法

今回の実験では、配線パターンのみを使って処理を考えたが、アナログパターン等にみられるように、フィルムパターンそのものだけでは、ランドであるかどうかの区別がつかないものもある。正確なポイント抽出のためには、レジストパターンと呼ばれるフィルムを利用した新たな処理方法を検討する必要がある。

また、多層基板に対応した処理を行うためには、別々に入力した n 層分のパターンの位置合わせ等の処理も考慮に入れる必要がある。

3-3-2 処理時間に関する問題点

実験に使用したプリントフィルムを人手で処理した場合、熟練者であれば20～30分で完了することを考慮に入れると、コンピュータによる処理時間を現在の2～3倍にする必要がある。

3-4 処理結果の印刷における問題点

処理結果を次の工程で使用するためには、実寸サイズで印刷しなければならない。現在の入力時の解像度は200DPIであるため、160DPIのカラープリンタで出力しても、パターンの密集している部分を判別することはできる。しかし、入力時の解像度をこれ以上にする必要があることを考えると、別の出力方法や出力装置を使う必要がある。

4. む す び

ポイント取り作業の自動化について、本来多層であるフィルムの1層のみを対象に実験を行って、解決すべき問題点の抽出ができた。これらの問題点の中で、イメージリーダに関しては、5000ドット/ラインのラインセンサを購入し、微細パターンの入力に適用した場合の分解能や雑音特性について、基本的なデータの収集・分析を始めた。

平成3年度は、本年度得られた情報・問題点をもとに、多層フィルムから検査のためのポイント取りシステムの設計・開発を行う。

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）および渡部透研究参与（立命館大学理工学部教授）に感謝します。

[参考文献]

成田強著：「C言語によるデバイスドライバの作り方」、ラジオ技術社（昭63）

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（第三報）

— くま取りコイル形誘導電動機の磁界解析 —

技術第一科	井上 嘉明
米子工業高等専門学校	松原 孝史
同志社大学工学部	石原 好之
草津電機株	北村 慎悟

あらまし：本年度は、くま取りコイル形誘導電動機の磁界解析を試みた。くま取りコイル形誘導電動機は家電製品中に大量に使われている電動機で、安価・堅牢であるが、効率が低い欠点がある。そこで、効率改善を目的として、くま取りコイル形誘導電動機の磁束分布が解析できるプログラムを作成した。その結果、実験では求めることが難しい機器内部のマイクロな磁束分布が分かるようになったほか、入力電流波形や力率のような電動機の電気特性もコンピュータシミュレーションで求められるようになった。

1. ま え が き

近年、エンジニアリング・ワークステーションの普及に見られるように、高性能なコンピュータが比較的安価に利用できるようになったので、コンピュータシミュレーションを援用する設計開発手法、いわゆる CAE（コンピュータ・エイデッド・エンジニアリング）の手法が急速に進展している。本研究では、コンピュータシミュレーションのうちで、とくに磁界有限要素法解析を援用して、性能のよい電気機器を短期間に設計開発する方法を研究している。⁽¹⁾⁽²⁾

くま取りコイル形誘導電動機は、くま取りコイルに発生する損失等で低効率になるにも拘らず、コンデンサが不要なうえ、構造が簡単、堅牢、安価であるため、家電製品、コンピュータの周辺機器、各種測定器等の冷却ファンの駆動用として広く利用されている。その設計において、くま取りコイルの寸法、位置等が電動機の特性に与える影響を知ることは高効率化を計るために重要であるが、実際には実験的検討⁽³⁾が少し行われているだけで、大部分を経験に頼って設計しているのが現状である。最近、有限要素法などのコンピュータシミュレーションを用いた電気機器の設計が盛んになり、くま取りコイル式電磁石⁽⁴⁾やコンデンサ分相形单相誘導電動機^{(5)、(6)}の特性解析が報告されているが、くま取りコイル形電動機の機器内部のマイクロな磁束分布からその特性を検討した報告は殆どない。

本研究では、くま取り電動機の高効率化を計るため、有限要素法を用いてロータの回転数、すなわち、すべりに応じた内部のマイクロな磁束分布を求めることを試みた。この問題を解くためには、電源電圧を入力とし、くま取りコイルとロータスロット部の二次導体に発生する渦電流と鉄心部の磁気飽和を考慮した非線形解析を行わなければならない。すべりに応じて 1 スロットピッチ分回転

する時間を時間差分の刻み幅にとり、二次導体の相対応する二つの位置のベクトルポテンシャルの差から、二次導体の渦電流を求めている。(6)

2. 解析方法

2-1 有限要素法による定式化

磁気ベクトルポテンシャルAを用いた渦電流を含む磁界の方程式は次式で与えられる(7)。

$$\text{rot} (\nu \text{rot} A) = J_0 + J_e \quad (1)$$

ただし、

$$J_e = -\sigma \partial A / \partial t - \sigma \text{grad} \phi \quad (2)$$

ここで、 ν は磁気抵抗、 σ は導電率、 ϕ はスカラーポテンシャル、 J_0 は励磁コイルに流れる強制電流密度、 J_e は渦電流密度である。二次元直交座標系で(1)式と(2)式をまとめ、時刻 t と、 Δt だけ進んだ時刻 $t_1 = t + \Delta t$ におけるベクトルポテンシャルをそれぞれ A^t 、 A^{t1} として、時間微分項を後退差分近似で表わすと次式となる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A^{t1}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A^{t1}}{\partial y} \right) - J_0^{t1} + \sigma \frac{(A^{t1} - A^t)}{\Delta t} + \sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

ただし、磁性体は等方性であるとする。(3)式に補間関数 N_i を用いて、ガラーキン法を適用すると次式を得る。

$$\begin{aligned} G_i^{t1} = & \sum_{e=1}^{NE} \left[\sum_{k=1}^3 \iint_{\Omega^{(e)}} \nu^{(e)t1} \left(\frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_{ke}}{\partial x} + \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_{ke}}{\partial y} \right) A_{ke}^{t1} dx dy \right. \\ & - \iint_{\Omega^{(e)}} N_i^{(e)} J_0^{(e)t1} dx dy + \sum_{k=1}^3 \sigma^{(e)} \frac{A_{ke}^{t1} - A_{ke}^t}{\Delta t} \iint_{\Omega^{(e)}} N_i^{(e)} N_{ke} dx dy \\ & \left. + \sigma^{(e)} \frac{\partial \phi}{\partial z} \iint_{\Omega^{(e)}} N_i^{(e)} dx dy \right] = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

ここで、NEは全要素数、 $\Omega^{(e)}$ は要素 e の領域を表わす。また、 $\partial \phi / \partial z$ は導体を通る渦電流の総和が零という条件から次式のように表わせる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = - \frac{1}{St} \sum_{e=1}^{Nc} \sum_{k=1}^3 \frac{(A_{ke}^{t1} - A_{ke}^t)}{\Delta t} \iint_{\Omega^{(e)}} N_{ke} dx dy \quad (5)$$

ここで、NCは渦電流の流れる導体を構成する要素数で、Stは渦電流の流れる導体の総面積である。(4)式に(5)式を代入し、補間関数を具体的に書くと次式となる。

$$G_i^{t1} = \sum_{e=1}^{NE} \left[\frac{\nu^{(e)t1}}{4 \Delta^{(e)}} \sum_{k=1}^3 (c_i^{(e)} c_{ke} + d_i^{(e)} d_{ke}) A_{ke}^{t1} - \frac{\Delta^{(e)} J_0^{(e)t1}}{3} \right]$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\Delta^{(e)} \sigma^{(e)}}{12\Delta t} \sum_{k=1}^3 (1 + \delta_{ike}) (A_{ke}^{t1} - A_{ke}^t) - \frac{\sigma^{(e)}}{9\Delta t S_t} \left\{ \sum_{e=1}^{NC} \Delta^{(e)} \right. \\
& \left. \times \sum_{k=1}^3 (A_{ke}^{t1} - A_{ke}^t) \right\} \left(\sum_{e=1}^{NC} \Delta^{(e)} \delta_i^{(e)} \right) = 0
\end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 δ_{ike} 、 $\delta_i^{(e)}$ はクロネッカのデルタで、 $\Delta^{(e)}$ は要素eの面積である。また、一次三角形要素の場合には、 c_{le} 、 d_{le} は循環する添字l、m、nによって、次式で表わされる。 x_{me} 、 y_{me} はそれぞれ要素eの頂点のx、y座標を表わす。

$$c_{le} = y_{me} - y_{ne} \quad , \quad d_{le} = x_{ne} - x_{me} \quad (7)$$

同様に $c_i^{(e)}$ 、 $d_i^{(e)}$ は、要素eを構成する節点のうち番号がiであるものがあれば、その節点に対応した値を表わし、なければ零となる。

2-2 電源電圧が与えられた場合の解析法⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

定電圧源に接続される電気機器では、Aの分布と J_0 ともに未知量であるため、有限要素法だけでは解くことができない。そこで、回路方程式を(6)式に連立させることを考える。いま印加電圧をV、コイルの直流抵抗を R_c 、巻線の断面積を S_v 、磁束鎖交数を $N\Phi$ とすると、回路方程式は次式で表わされる。

$$V = N \partial \Phi / \partial t + R_c \cdot S_v \cdot J_0 \quad (8)$$

Φ とAの関係は、例えば、解析領域中に往復のコイル（コイル番号 $g = 1, 2$ ）を考えた場合、ストークスの定理から次式で表わされる。

$$N\Phi = d \sum_{g=1}^2 \left(\frac{N_g}{S_g} \iint_{\Omega_g} A dx dy \right) \quad (9)$$

ここで、dはコイルのz方向の有効長さ、 S_g はコイルgの断面積、 Ω_g はコイルgの領域を示す。また、 N_g はコイルgの極性を含めた巻数で、 $N_1 = N$ 、 $N_2 = -N$ となる。(8)式に(9)式を代入すると次式を得る。

$$\begin{aligned}
- & V^{t1} = d \sum_{g=1}^2 \left[\frac{N_g}{S_g} \sum_{e=1}^{NL_g} \sum_{k=1}^3 \iint_{\Omega_g} \left\{ N_k \frac{(A_{ke}^{t1} - A_{ke}^t)}{\Delta t} \right\} \right] dx dy \\
- & + R_c \cdot S_v \cdot J_0^{t1}
\end{aligned} \quad (10)$$

NL_g はコイルgの構成要素数である。また、

$$S_g = \sum_{g=1}^{NL_g} \Delta^{(e)} \quad , \quad \iint_{\Omega_g} N_{ke} dx dy = \frac{\Delta^{(e)}}{3} \quad (11)$$

であるから、(10)式を書き換え、次式の関数 F^{t1} を定義する。

$$F^{t1} = V^{t1} - d \sum_{g=1}^2 \left[\frac{N_g}{3 \Delta t S_g} \sum_{e=1}^{NL_g} \Delta^{(e)} \sum_{k=1}^3 (A_{ke}^{t1} - A_{ke}^{t1}) \right] + R_c \cdot S_v \cdot J_o^{t1} = 0 \quad (12)$$

材料の非線形性に対して、ニュートン・ラフソン法を適用するため、(6)式と(12)式をテイラー展開して、 $A + \delta A$ および $J_o + \delta J_o$ が A および J_o の真値であるとしたものを連立させると、次のヘリ付きバンドマトリックスが得られる。

$$\begin{pmatrix} \left\{ \frac{\partial G_i^{t1}}{\partial A_j^{t1}} \right\} & \left\{ \frac{\partial G_i^{t1}}{\partial J_o^{t1}} \right\} \\ \left\{ \frac{\partial F^{t1}}{\partial A_j^{t1}} \right\} & \frac{\partial F^{t1}}{\partial J_o^{t1}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \left\{ \delta A_j^{t1} \right\} \\ \delta J_o^{t1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left\{ -G_i^{t1} \right\} \\ -F^{t1} \end{pmatrix} \quad (13)$$

ここで、左辺のマトリックスは次式で計算される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_i^{t1}}{\partial A_j^{t1}} &= \sum_{e=1}^{NE} \left[\frac{\nu^{(e)}}{4\Delta^{(e)}} (c_i^{(e)} c_j^{(e)} + d_i^{(e)} d_j^{(e)}) + \frac{2}{\Delta^{(e)}} \frac{\partial \nu^{(e)}}{\partial B^{(e)2}} \right. \\ &\times \frac{3}{Z} \sum_{k=1}^3 \frac{(c_i^{(e)} c_{ke}^{(e)} + d_i^{(e)} d_{ke}^{(e)})}{4\Delta^{(e)}} A_{ke}^{t1} \sum_{l=1}^3 \frac{(c_l^{(e)} c_{le}^{(e)} + d_l^{(e)} d_{le}^{(e)})}{4\Delta^{(e)}} A_{le}^{t1} \\ &\left. + \frac{\Delta^{(e)} \sigma^{(e)}}{12\Delta t} (1 + \delta_{ij}) - \frac{\sigma^{(e)}}{9\Delta t S_t} \left(\sum_{e=1}^{NC} \Delta^{(e)} \delta_j^{(e)} \right) \left(\sum_{e=1}^{NC} \Delta^{(e)} \delta_i^{(e)} \right) \right] \quad (14) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial G_i^{t1}}{\partial J_o^{t1}} = - \sum_{e=1}^{NE} \frac{\Delta^{(e)}}{3} \delta_i^{(e)} \quad (15)$$

$$\frac{\partial F^{t1}}{\partial A_j^{t1}} = - d \sum_{g=1}^2 \frac{N_g}{3 \Delta t S_g} \sum_{e=1}^{NL_g} \Delta^{(e)} \delta_j^{(e)} \quad (16)$$

$$\frac{\partial F^{t1}}{\partial J_o^{t1}} = -R_c \cdot S_v \quad (17)$$

(13)式により、 A^{t1} の分布のみでなく、 J^{t1} も求めることができる。

2-3 すべりを考慮した渦電流解析

すべりを伴うロータの回転運動および二次導体の渦電流を考慮した解析をするため、図1に示すロータスロット内の導体 a、b 中の対応する接点 a 1、b 1 上の A を用いて、 $\partial A / \partial t$ を次式で近似した。⁽⁶⁾

$$\frac{\partial A_{at}^{i1}}{\partial t} = \frac{(A_{at}^{i1} - A_{bt}^{i1})}{\Delta t} \quad (18)$$

図中の角度 α は、1 スロットピッチ分の角度を示す。

また、 Δt は、ロータが α だけ回転するに要する時間であり、 m 、 n を整数とすると、 $m / 2$ 周期にロータがスロットピッチ角 α の n 倍回転するとすると、次のようにして決定される。

$$\frac{2\pi}{p} \cdot \frac{m}{2} (1-s) = \alpha n = \frac{2\pi}{NB} \cdot n \quad (19)$$

$$\therefore s = 1 - \frac{n}{m \cdot (NB / 2p)} \quad (20)$$

$$\Delta t = \frac{m}{2nf} \quad (21)$$

ここで、 p は極対数、 s はすべり、 NB はロータスロット数、 f は周波数である。

3. 解析結果と検討

3-1 解析モデルと解析条件

図2に、解析対象とした冷却ファン用くま取りコイル形誘導電動機を示す。解析は $x-y$ 二次元場で行い、構造の非対称性から周期境界条件が使えないため、全領域を要素数1738、節点数894で解析した。鉄心の材質はRM-60で、その積厚は8mm、ステータの一辺は61mmである。くま取りコイルは銅、二次導体はアルミでその両端は短絡されている。励磁コイルの直流抵抗は60.4 Ω 、その巻数は1810ターン、印加電圧は実効値100V、周波数60Hzの正弦波として計算した。

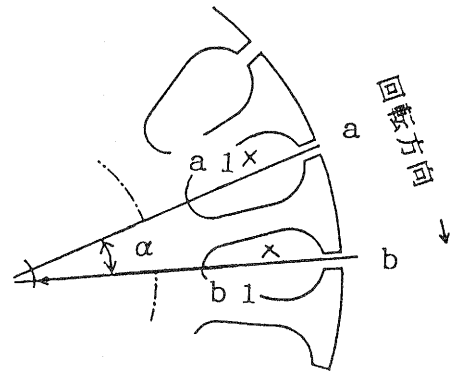


図1 二次導体

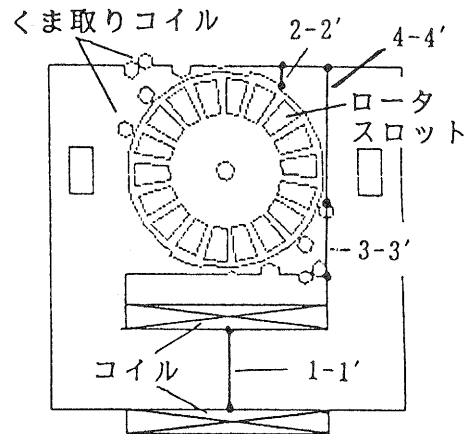


図2 解析モデル

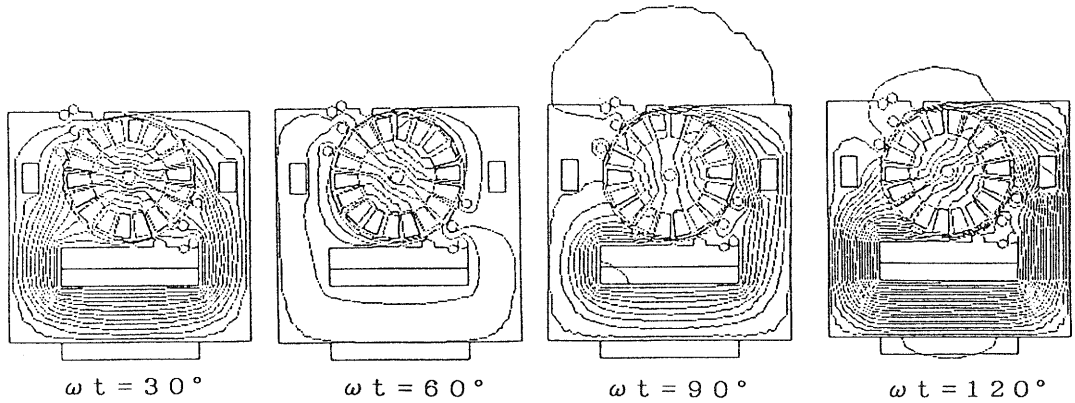


図3 磁束分布

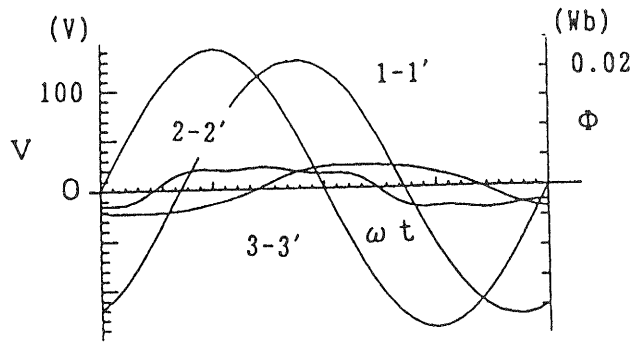


図4 磁束波形

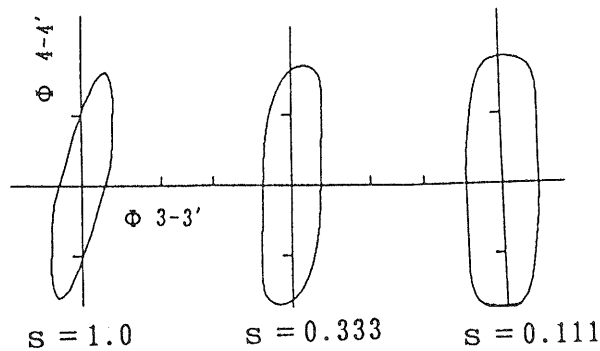


図5 磁束のリサージュ波形

3-2 磁束分布

図3に、すべりが0.333の場合の各時刻の磁束分布を示す。ロータを通る磁束が ωt に応じて回転しているのが判る。また、図2の1-1'、2-2'、3-3'の各部を通る磁束波形を印加電圧波形に対応させて図4に示す。図5に、すべりが1.0、0.333、0.111の各場合について、図2の3-3'の部分の磁束を横軸に、4-4'の磁束を縦軸にリサージュ図形を描かせたもの示す。拘束状態 ($s=1.0$) では軸比が小さいが、回転数が上がるにつれて大きくなること分かる。

3-3 入力電流波形

図6に、すべり1.0、0.333、0.111の各場合の入力電流波形を示す。電流の実効値は、すべりが小さくなるにつれて小さくなっている。

4. むすび

くま取りコイル形誘導電動機のすべりに応じた機器内部のミクロな磁束分布と入力電流波形がコンピュータシミュレーションによって求められるようになった。

今後、実測値と比較することにより、解析精度の検証を行わなければならない。また、電動機の特性で、最も重要なトルクの算定も行わなければならない。

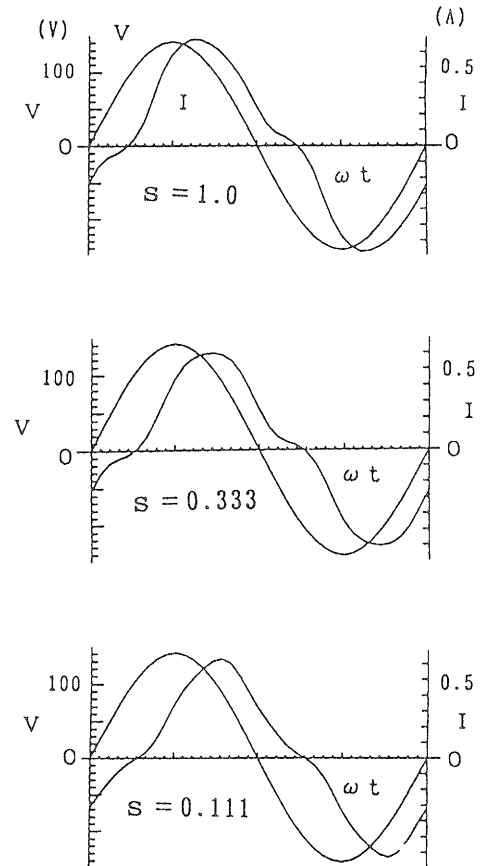


図6 電流波形

[参考文献]

- (1) 井上、他：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（第一報）、滋賀県工業技術センター研究報告、
- (2) 井上、他：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）、滋賀県工業技術センター研究報告、
- (3) 菊池、他：くま取り電動機の動作特性と形状の関係、電気学会回転機研究会、RM-89-84 (1989)
- (4) 中田、他：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 (1985)
- (5) 中田、他：外部電源を考慮した有限要素法による単相誘導電動機の解析、電気学会回転機研究会資料、RM-81-40 (1981)
- (6) 岡部、他：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、107巻10号 (1987)
- (7) 中田、他：電気工学の有限要素法、森北出版 (1982)

高分子複合材料の非破壊評価技術に関する研究

一 超音波速度による炭素繊維複合材料の繊維体積含有率推定について 一

技術第一科 井上 栄一

あらまし：炭素繊維複合材料の力学特性は繊維体積含有率に大きく左右される。通常この測定には化学薬品による分解法や燃焼法などが用いられており、そのいくつかは試験規格として採用されている。しかしながらいずれの方法も手間がかかるため、より簡便で非破壊的な試験方法が望まれていた。そこで、本研究では超音波速度の繊維体積含有率評価への適用を検討した。その結果、一方向の炭素繊維複合材において繊維方向に垂直に超音波速度が伝播する場合、弾性率の直列モデルから導かれた実験式が繊維体積含有率推定に有効であることが分かった。

1. ま え が き

炭素繊維強化複合材料（CFRP）はその諸物性の優位性から宇宙・航空機等の構造部材や機能部材として用いられており、その材料評価のために多くの試験が行われている。CFRPの力学特性を論じる上で重要なパラメータである繊維体積含有率の測定はASTMの規格をはじめとして、6種類程度考案されているが⁽¹⁾、いずれも破壊試験であったり、試料作成前に求めておかなければならない項目が含まれており、既製の製品などには適用できないことが多い。また、測定にバラツキが生じたり、測定にかなりの時間を要するなど多くの問題を含んでいるため、より簡便で非破壊的な試験方法が望まれていた。超音波速度は測定も容易でかつ材料の弾性特性と密接な関係があることから、弾性率の異なる2種の材料からなるこのような試料においては有効な情報を与えるものと考えられる。

YOMODAら⁽²⁾はFRP中の繊維体積含有率の測定法として、ガラスと炭素繊維の複合材料について超音波とマイクロ波を用いて実験を行い、繊維方向とそれを横切る方向（以下「垂直方向」と記す）における測定結果について論じ、超音波速度による繊維体積含有率測定の有効性を示唆している。しかし、この中でCFRPについては、含有率40%未満のもの3種類しか実験がなされておらず、実用的な含有率である60%付近については弾性係数の解析式等⁽³⁾を用いて考察がなされているだけである。

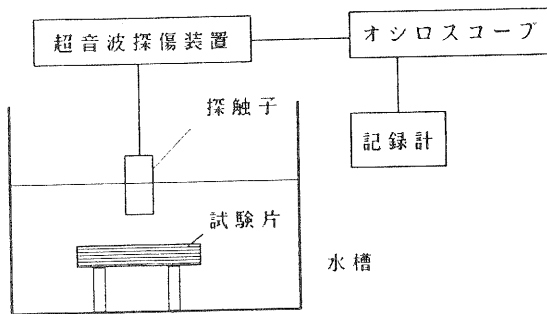
本研究では約40%から75%の範囲の含有率を有する試料16種類について、垂直方向の超音波速度を反射法により測定し、燃焼法で求めた含有率との関係を調べ、超音波による繊維体積含有率測定法の有効性について検討した。

2. 実験方法

2-1 CFRP 試験片の作成

強化繊維としては PAN 系の代表的な炭素繊維である(株)東レ製 T 300 を使用した。またマトリックス樹脂には油化シェルエポキシ(株)製エポコート 828、硬化剤には 3 phr の 3 フッ化ほう素モノエチルアミン錯塩を用いた。樹脂のアセトン溶液の濃度を変え、繊維束に付着する樹脂量を変化させて一方向のプリプレグを作成し、既報⁽⁴⁾により成形を行った。得られた CFRP を長さ 20mm に切断後、#600 の耐水研磨紙による研磨、更に、粒径 1 μm アルミナによるバフ研磨を行った。また、マトリックスの音速を測定するため、樹脂のみの試験片も作成した。

2-2 音速測定



超音波探傷装置	: USIP12T	(日本クラウトクレーマー(株))
探触子	: 5 MHz, 0.25 インチ径	(KB-AEROTECH)
オシロスコープ	: HP54504	(横河ヒューレットパッカー(株))
記録計	: THINKJET	(横河ヒューレットパッカー(株))

図1. 実験装置概要

本測定を行った実験装置の概要を図1に示す。水槽内の水は23℃、測定は5 MHz 用探触子で狭帯域 5 MHz の送信波を用い反射法によって行った。音速測定に際し、あらかじめ伝播距離をマイクロメータで測定しておき、探傷器からの VIDEO 信号をデジタルオシロに inputs し、2048回の平均の波形から表面エコーピークと反射エコーピーク間の時間軸を読み取り伝播時間を測定し計算によって音速を求めた。

2-3 燃焼法による繊維体積含有率の測定

不活性雰囲気中で試験片の樹脂のみを熱分解させる燃焼法⁽¹⁾により、繊維体積含有率 V_f を式①により算出した。なお、炭素繊維の密度は液中秤量法により求めた。また空孔率 V_v を式②により求めた。

$$V_f = (\rho_c / \rho_f) \cdot \{(M_1 - M_2) / M_1\} \times 100 \quad \text{— 式①}$$

$$V_v = 100 - \rho_c \cdot (W_m / \rho_m + W_f / \rho_f) \quad \text{— 式②}$$

但し、 ρ_c : 試験片密度 ρ_f : 炭素繊維密度 ρ_m : 樹脂密度

M_1 : 試験片質量 M_2 : 燃焼した樹脂の質量

W_m : 樹脂質量含有率 W_f : 繊維質量含有率

3. 実験結果および考察

CFRP 試料の垂直方向の超音波速度 C_c と、燃焼法により求めた繊維体積含有率 V_f および空孔率 V_v の結果を表1に示す。これをプロットすると図4のようになるが、 V_f の増大とともに C_c も増大することが分かる。空孔率はいずれもほぼ2%前後となっており、伝播モデルの考察において界面の影響は無視できると考えられる。

表1. 超音波速度と繊維体積含有率および空孔率

番号	C_c 速度 [m/s]	V_f 含有率 [%]	V_v 空孔率 [%]
1	2,783	42.3	2.3
2	2,817	49.1	2.2
3	2,873	57.9	1.5
4	2,818	58.4	1.7
5	2,907	59.1	1.6
6	2,889	60.4	1.5
7	2,843	61.6	1.6
8	2,919	64.7	1.8
9	2,902	65.7	1.4
10	3,002	67.2	1.5
11	2,982	67.5	1.4
12	2,993	72.5	1.6
13	3,040	73.0	1.2
14	2,999	73.3	1.5
15	3,029	74.4	1.3
16	3,009	74.6	0.4
17	2,497	(樹脂のみ)	—

3-1 超音波伝播モデル

実験式の推定に際し、超音波の伝播モデルとして弾性率との関係を適用した場合（以下「モデルⅠ」と記す）と単純に1次元的な波の伝わりを考える場合（以下「モデルⅡ」と記す）の2通りについて考える。まずモデルⅠを考える。図2のように音波からみて複合材料が均一状態であると仮定すると、本実験では音波を繊維と垂直に伝播させているため、式③のような弾性率の直列結合モデル⁽⁵⁾を考え、これに材料の弾性率 E と密度 ρ と音速 C の間に成立する式④を代入して式⑤が導かれる。

$$1/E_c = V_f/E_f + V_m/E_m \quad \text{— 式③}$$

但し、 E_c : 試験片の弾性率 E_f : 繊維弾性率 E_m : 樹脂弾性率

V_f : 繊維体積含有率 V_m : 樹脂体積含有率

$$E = \rho C^2 \quad \text{— 式④}$$

$$1/\rho_c C_c^2 = V_f/\rho_f C_f^2 + (1 - V_f)/\rho_m C_m^2 \quad \text{— 式⑤}$$

但し、 C_c : 試験片音速 C_m : 樹脂音速 C_f : 繊維音速

一方、モデルⅡで考えた場合、図3のように樹脂と繊維を別々の一塊りとして取り扱うことができる。従って繊維体積含有率と樹脂体積含有率は各々式⑥、⑦で求められ、さらに波の伝播時間から式⑧が成立する。

$$V_f = d_f / d \quad \text{— 式⑥}$$

$$V_m = 1 - V_f = d_m / d \quad \text{— 式⑦}$$

$$d_m / C_m + d_f / C_f = d / C_c \quad \text{— 式⑧}$$

但し、 d ：複合材全体の厚さ d_f ：繊維部分の厚さ d_m ：樹脂部分の厚さ

式⑤および式⑧から各々のモデルにおける試験片の速度 C_c と繊維体積含有率 V_f の関係式は式⑨、⑩となると考えられる。

[モデルⅠ]

$$V_f = a_1 + b_1 / C_c^2 \quad \text{— 式⑨}$$

$$\text{但し、 } a_1 = (\rho_m C_m^2 - \rho_f C_f^2) / \rho_c \rho_f \rho_m^2 C_f^2 C_m^2$$

$$b_1 = (\rho_f C_f^2 - \rho_m C_m^2) / \rho_f \rho_m^2 C_f^2 C_m^4$$

[モデルⅡ]

$$V_f = a_2 + b_2 / C_c \quad \text{— 式⑩}$$

$$\text{但し、 } a_2 = C_f / (C_f - C_m)$$

$$b_2 = C_f C_m / (C_m - C_f)$$

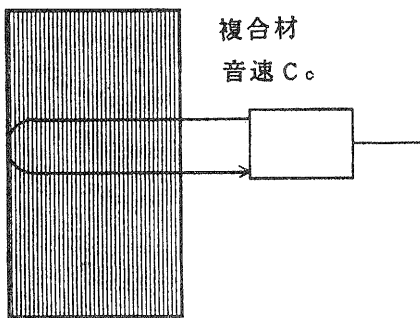


図2. モデルⅠ

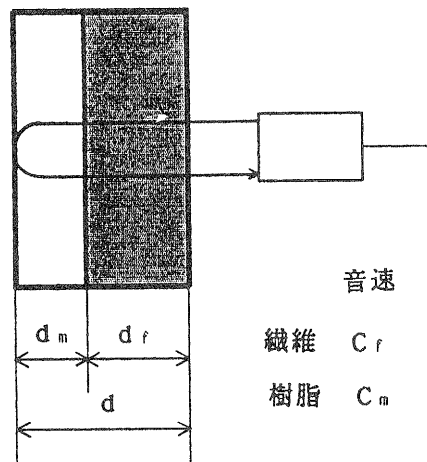


図3. モデルⅡ

そこで各 a_1 、 b_1 および a_2 、 b_2 を求めるために、各モデルの関係式に実験によって求めた音速と体積含有率の値 $(C_c, V_f)_i = (X_i, Y_i)$ を用いて最小2乗法により式⑨、式⑩を各々展開すると、本実験値から推定される実験式は式⑪、⑫となる。

$$V_f = \{(p t - q s) / (p r - q^2)\} / C_c^2 + (r s - q t) / (p r - q^2) \quad \text{--- 式⑪}$$

$$\text{但し、 } p = \sum 1 \quad q = \sum 1 / X_i^2 \quad r = \sum 1 / X_i^4$$

$$s = \sum Y_i \quad t = \sum Y_i / X_i^2$$

$$V_f = \{(p t - q s) / (p r - q^2)\} / C_c + (r s - q t) / (p r - q^2) \quad \text{--- 式⑫}$$

$$\text{但し、 } p = \sum 1 \quad q = \sum 1 / X_i \quad r = \sum 1 / X_i^2$$

$$s = \sum Y_i \quad t = \sum Y_i / X_i$$

これより求めた実験式の結果を図4に示す。両方のモデルともうまく実験値を近似していると考えられる。

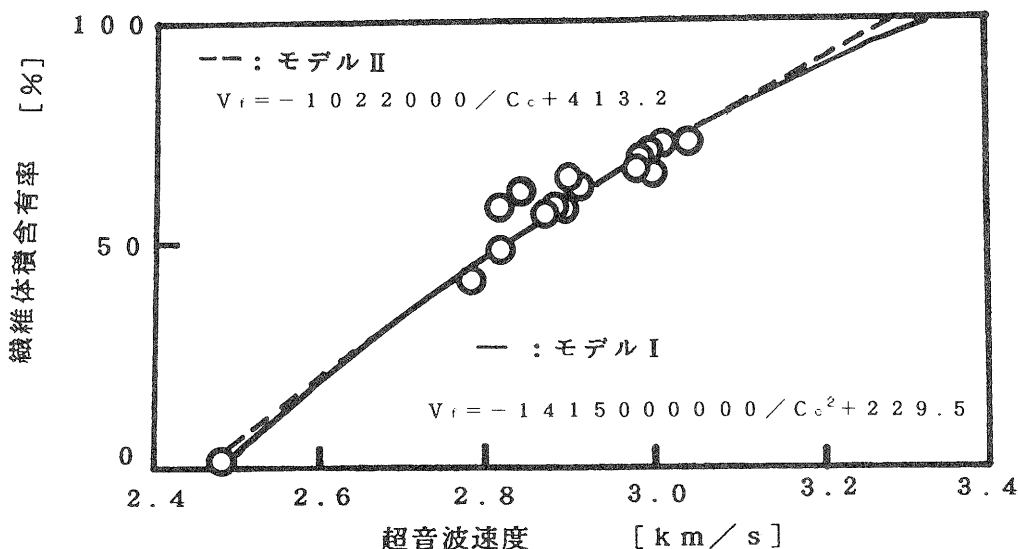


図4. 超音波速度と繊維体積含有率の関係

さらに、ここで求めた実験式の優位性を調べるために式⑬、⑭を考え、推定したモデルと単回帰分析による結果を表2および表3に示す。

$$S = V_{ft} - X \quad \text{--- 式⑬}$$

但し、 S : 残差

V_{ft} : 実験式により得られた繊維体積含有率

X : 実測した繊維体積含有率

$$\chi^2 = \sum (S^2 / V_{ft}) \quad \text{--- 式⑭}$$

但し、 χ^2 : 食い違いの測度

これによるとモデルIで用いたモデルの方が食い違いの測度が小さくモデルとして有効であると考えられる。

表 2. 残差

番号	モデル I	モデル II	単回帰
	残差 S	残差 S	残差 S
1	-7.26	-7.87	7.25
2	5.30	5.68	2.44
3	-1.00	-0.70	0.10
4	-1.38	-1.63	-9.10
5	0.15	-0.34	-9.01
6	0.80	1.42	-1.31
7	2.91	2.59	-1.72
8	-0.46	-0.87	-5.30
9	-7.19	-7.87	1.91
10	-1.45	-1.01	-2.19
11	-1.15	-0.80	3.33
12	3.29	4.02	-0.21
13	-4.24	-4.58	-0.21
14	4.42	3.70	6.34
15	2.01	1.33	-0.25
16	2.82	3.03	2.56
17	2.42	3.90	5.37
Σ	0	0	0

表 3. 食い違いの測度

モデル I	モデル II	単回帰
測度 χ^2	測度 χ^2	測度 χ^2
6.07	7.95	12.45

4. む す び

以上の結果をまとめると、

- (1) 一方向のCFRPを垂直方向で超音波速度を測定する場合について、音速と繊維体積含有率の実験式を直列モデル [モデルⅠ] および1次元伝播モデル [モデルⅡ] から求めた。
- (2) いずれのモデルも超音波速度と繊維体積含有率の関係をうまく近似していると考えられ、モデルⅠによるものの方の食い違いがやや少なかった。
- (3) CFRPの繊維体積含有率を非破壊で評価する手法として、超音波速度を測定することにより繊維体積含有率が求められると考えられた。

今後は、炭素繊維が二方向以上の場合や伝播の向きが繊維軸方向の場合についても検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うのに当たり御指導、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、相馬勲、成澤雅紀両博士（大阪工業技術試験所）に深く感謝いたします。

[参考文献]

- (1) 松井醇一：炭素繊維の展開と評価方法、(株)リアライズ社、P. 301-309 (1989)
- (2) S. YOMODA：NON-DESTRUCTIVE MEASUREMENT OF FIBER CONTENT IN FRP, COMPOSITE. MATE. II, P. 159-167 (1980)
- (3) 山脇弘一、植村益次：一方向強化材と多層積層複合材の弾性常数の一解析、東京大学航空宇宙研究所報告、7巻、2号、P. 315-333 (1971)
- (4) 山中仁敏：炭素繊維強化エポキシ樹脂の“ぬれ性”に関する研究、滋賀県工業技術センター研究報告、P. 67-72 (1987)
- (5) 日本化学会編：化学総覧複合材料、学会出版センター、8号、P. 12-14 (1975)

立体構造物形状の コンピュータへの入力手法の研究（第二報）

技術第一科 月瀬 寛二

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、図面の見方や入力手法等の専門的知識が必要である。また、自由曲面形状を入力するには、数多くの曲面上の座標値を入力しなければならず、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、構造解析技術の中小企業への普及を促進するために、自由曲面形状を三次元測定機を用いて計測し、測定プローブの半径補正等を行い自動メッシュ分割をし、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、対象形状をコンピュータに入力する必要があり、自由曲面を入力するには、曲面上の座標値を数多く入力しなければならずかなりの手間を必要とするが、それでも正確な自由曲面のモデル化は難しい。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 inputs は、図面化した輪郭断面を表わす何本もの曲線を入力し、それぞれの間を補間して曲面を再構成しなければならない。また、自由曲面上の点の座標値を直接入力する方法があるが、自由曲面上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、昨年度の二次元に近い形状を対象としたアルゴリズムを発展させ、三次元形状を計測し測定データ面の法線方向に測定プローブの半径補正や有限要素法解析用のメッシュ形状を良くするためのノードの再発生などを行い、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、三次元測定機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。スプライン補間曲面の構成や計測面の法線方向へのプローブ半径補正などは、パソコンで 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に処理の概要を示す。

3. 三次元測定機による形状の測定

三次元測定機では、図3-1の様に測定プローブを測定面に沿って移動させると、プローブの中心座標値が計測される。従って、実際の曲面上の座標値を求めるには、プローブの半径補正を測定面の法線方向に対して行う必要がある。

図3-2に、Z軸方向から見た測定手順を示す。図3-2の始点から測定を開始し、(1)プローブをX軸プラス方向に走査 (Y軸固定)、(2)Y軸プラス方向に5~10mm走査 (X軸固定)、(3)X軸マイナス方向に走査 (Y軸固定)、(4)Y軸プラス方向に5~10mm走査 (X軸固定) の繰り返しでプローブを走査させ、被測定物の曲率半径が小さいほど細かな間隔でデータを計測した。

図3-3は、実構造物として測定したヘルメットである。

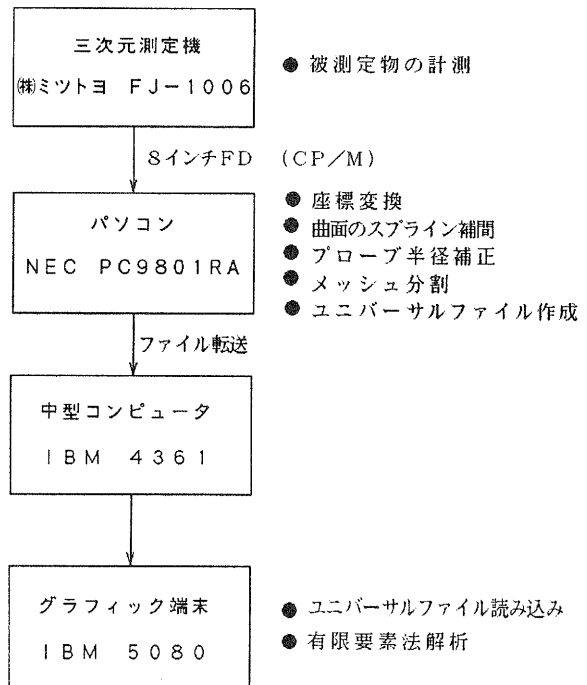


図2-1 処理の概要

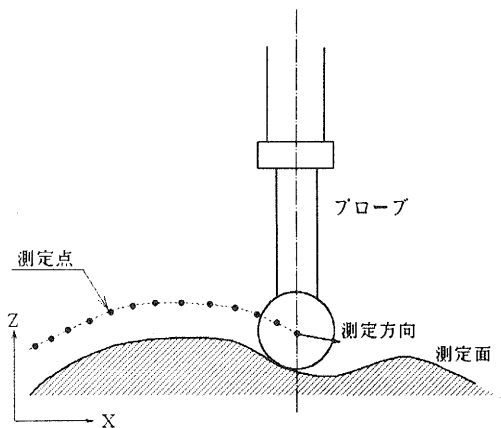


図3-1 自由曲面測定のイメージ

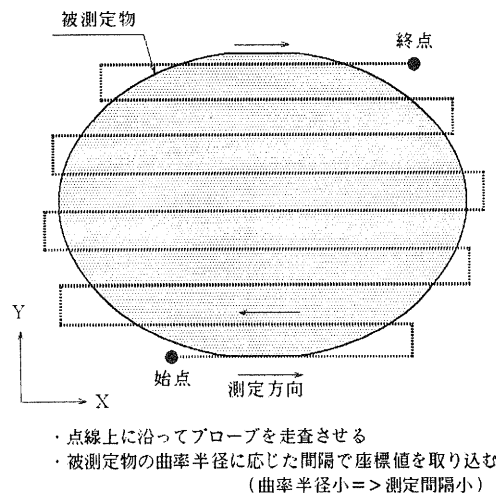


図3-2 三次元測定機による測定手順

4. プログラムの概要とアルゴリズム

本年度新たに開発した内容は、測定データによる曲面のスプライン関数による補間、補間した面上にデータ点を発生、各データ点を曲面の法線方向へプローブ半径補正などの処理である。なお、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、ユニバーサルファイルの作成などの処理は、昨年度のプログラムを改良して使用した。プログラムのメインフローチャートを、図4-1に示す。

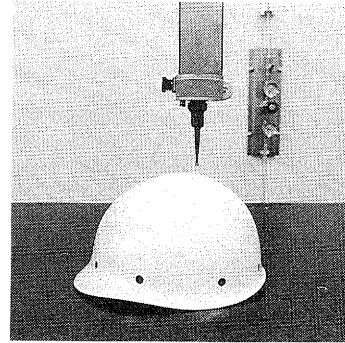


図3-3 測定したヘルメット

4-1 自由曲面のスプライン関数による補間

スプライン関数は、一般的にB-スプラインの線形結合の形で表される。この結合係数を求めるために連立方程式を解く必要があるためプログラムが複雑となり、測定データが多いと解析時間も長くなる。そこで、測定データ点を曲線の形状を決める単なる指標と見なす手法がベージュ (Bezier) により提案され、さらにリーゼンフェルド (Riesenfeld) により基底関数にB-スプラインを用いる手法が提案された。本研究では、測定データ点が多いのでリーゼンフェルドにより提案された手法 (以下、「リーゼンフェルトスプライン」と呼ぶ) を用いた。

リーゼンフェルトスプラインによる自由曲面の補間は、測定データ点が必ずしも補間曲面上にあるわけではない。従って、曲率半径の小さな箇所や変化の激しい箇所では、実際の面を精度良く補間できない恐れがあるので、これらの箇所では測定データの間隔を狭めた。また、測定データの測定誤差を平滑化し滑らかな補間曲面とする利点もある。

リーゼンフェルトスプラインによる曲線は次のように表される。

$$x(t) = \sum_{i=1}^n x_i B_{i,k}(t) \quad \dots(1)$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^n y_i B_{i,k}(t)$$

ここで、 x_i 、 y_i は測定データの座標

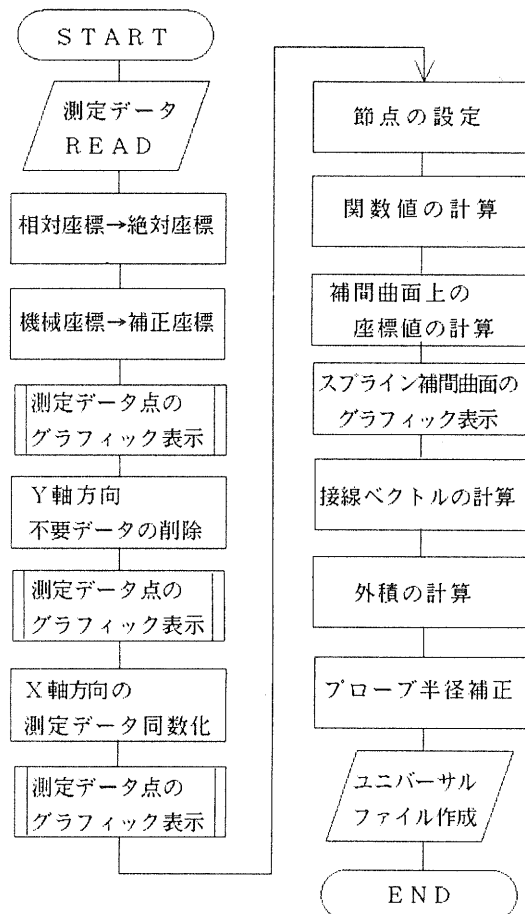


図4-1 メインフローチャート

であり、 $B_{i,k}(t)$ は k 階 ($k-1$ 次) のB-スプラインである。パラメータ t は、 i 番目のデータ点に対して、 $i-1 \leq t < i$ ($i=1, 2, \dots, n-1$) の範囲の値を取る。また、節点はシェンバーグ・ホイットニの条件 $q_i \leq t_i < q_{i+k}$ を満たすように設定するとする。

次に、パラメータとして式(1)の t 以外に新たに s を導入する。空間座標 x, y, z が、

$$\begin{aligned} x &= x(s, t) \\ y &= y(s, t) \\ z &= z(s, t) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

であるとき、三次元曲面は、 s と t をそれぞれ変数とするB-スプラインの積によって

$$x(s, t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{i,j} B_{i,k}(s) B_{j,\ell}(t)$$

$$y(s, t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{i,j} B_{i,k}(s) B_{j,\ell}(t)$$

$$z(s, t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{i,j} B_{i,k}(s) B_{j,\ell}(t)$$

と表される。ここで、 $x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}$ は測定データ点である。式(3)において、 $s = \text{一定}$ とすると、 $B_{i,k}(s)$ と $x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}$ との積は新たな定数係数と見なせるので、 t の変化に伴う座標変化の軌跡は空間内の曲線を表し、 t 曲線と呼ぶ。同様に、 $t = \text{一定}$ にして s を変化させれば、 s 曲線が得られる (図4-2 曲面のパラメータ

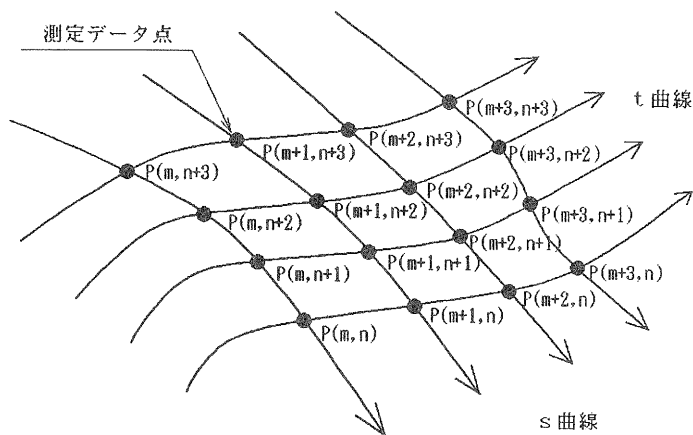


図4-2 曲面のパラメータ

の曲線)。従って、 s と t を共に変化させれば、式(3)で表される空間座標はこれらの曲線を包含する曲面を表している。1本の s および t 曲線が通る測定データ点の個数を m, n とすると、式(3)は全体で $m \times n$ 個の三次元データを補間する曲面を表している。

4-2 不要な測定データ点の整理

図3-2の測定手順のX軸一定でY軸方向に測定している箇所 (計測データ中に何ヶ所か存在) の測定データ点は、単に次の測定箇所へプローブが移動している部分なので、昨年度と同様に不要な測定データ点として削除した。この処理によりX軸方向の測定データ点列のみ残ることになるが、各列の測定データ数が必ずしも同数ではなく補間曲面の計算が困難となる。そこで、各X軸方向の測定データ数を一定とするように、不要な測定データについては削除した。

4-3 補間曲面上のデータ点の計算

補間曲面上に発生させたデータ点を、有限要素法解析におけるエレメントを構成するノードとした。そこで、構造解析結果に及ぼすエレメント形状の影響を少なくするために、エレメント形

状が鈍角三角形に近くなるように補間曲面上のデータ点を発生した。

データ点を発生する間隔は、測定データ点の間隔に依存する。X軸方向は連続的な計測で、曲率半径の小さな箇所は測定データ点間隔もより密であるので、測定データ点と一対一の関係で補間曲面上のデータ点を計算した。Y軸方向は測定手法の関係上間隔を密にすることが困難なので、測定データ点間をさらに分割し、X軸方向の平均的な間隔と同じになるように補間曲面上のデータ点を計算した。

4-4 データ点のプローブ半径分の面補正

図3-1の測定面の曲線は、測定データ点を結んだ曲線の各測定点の法線方向にプローブ半径分だけ移動したところにある。曲面に対しては、データ点の法線方向へプローブ半径分補正した点実際の曲面上のデータ点となる。

そこで、まず各データ点の二方向の接線ベクトルを数値微分法の3点公式により求めた。3点公式とは、 $h (> 0)$ が十分小さいとき、 s_0 を中心とした、等間隔の点： $s_{-1} = s_0 - h$ ， $s_1 = s_0 + h$ での関数値： f_{-1} ， f_1 から次式により微分値を求めるものである。(図4-3)

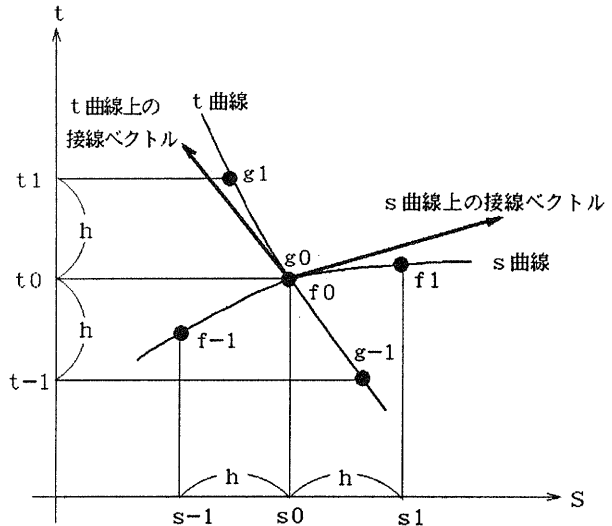


図4-3 数値微分法による接線ベクトルの計算

$$f_0 = \frac{1}{2h} (-f_{-1} + f_1) \quad \dots(4)$$

今回、 h はパラメータ s および t とし、各パラメータを ± 0.01 変化 (パラメータを変化させているので、XYZ座標系では必ずしも等間隔ではない) させて座標値を計算しデータ点 (s_0 ， t_0) の微分値を得、 s 曲線方向と t 曲線方向の接線ベクトルを求めた。空間上の2方向の接線ベクトルの外積を求め、おのおののベクトルに垂直なベクトル、すなわちデータ点の法線ベクトルから、法線方向のプローブ半径を補正したデータ点を計算した。

5. スプライン補間曲面とプローブ半径補正の精度

補間や補正の精度に影響する要因としては、測定データの間隔、補間するBスプラインの次数、Bスプラインの節点の決め方、微分値の求め方、さらには測定の精度、被測定物の形状などが考えられる。そこで、半径50mmの球を想定し、X軸方向は23°の角度範囲を20区分、Y軸方向は5°の角度範囲を10区分し、合計200点の球面上の座標値を数値計算により求め測定データの代わりとして精度を評価した。

この数値計算によるとデータからスプライン補間曲面を構成し、補間曲面上にデータ点を再計算し、各データ点の球の中心からの距離を求めた。その結果平均距離は、 49.995 ± 0.005 mmで、実際の球面より平均半径で0.005mm小さく補間曲面が構成された。これは、一つの曲面を補間する場合、

測定データ点の間隔がその曲面の中心部分で細かくなると、補間曲面は曲率半径が大きめに補間されることを表している。

次に、補間曲面上のデータ点（平均距離49.995±0.005mmのデータ点）から、プローブ半径5mmとして面補正を行い、補正後の各データ点の球の中心からの距離を求めた。その結果平均距離は、45.000±0.010mmで平均距離のばらつきが大きくなると共に、プローブ半径5mmに対して平均4.995mmでプローブ半径よりも小さく補正された。この原因は、式(4)の数値微分法でデータ点の微分値を求める際に、パラメータ s および t を変化させて関数値： f_{-1} 、 f_1 を求めているが、 X Y 平面上で必ずしも等間隔な2点の関数値でないため、近似的な微分値であることが影響していると考えられる。この対策として、パラメータ s および t の変化を小さくして（現在±0.01）関数値を計算することが考えられるが、コンピュータ上の有効数字の関係から必ずしも微分値が正確になり補正精度が向上するわけではない。

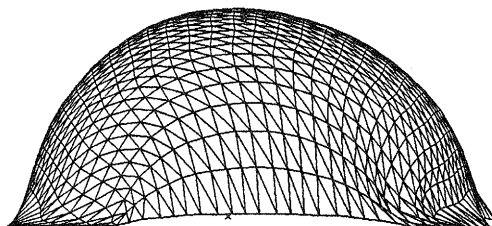


図6-1 ヘルメットのメッシュ分割結果

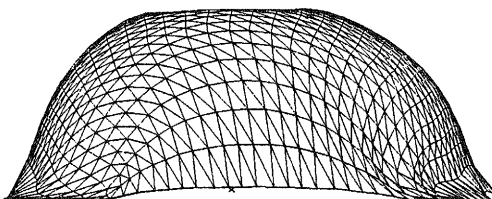


図6-2 ヘルメットの圧縮荷重による変形

6. 適用例

図6-1は、ヘルメットを計測しメッシュ分割した結果である。また、図6-2はこれを解析モデルとして、ヘルメット上部に圧縮荷重を加えた時の変形図の一例である。

7. むすび

本研究により、自由曲面形状を三次元測定機で計測し、有限要素法解析形状データとする手法が開発でき、自由曲面を有限要素法により解析する場合の形状の入力の手間が軽減された。これと共に、図面の無い試作品的な機械部品についても強度解析が可能となった。

自由曲面の得られる精度は、5章の理論データによる検証でばらつきが約1/100mmであることが確認できた。ただ、精度に影響する要因として、測定データの間隔、補間するBスプラインの次数、Bスプラインの節点の決め方、微分値の求め方、さらには測定の精度、被測定物の形状などがあるので、被測定物によりこれら条件を選択する必要がある。

謝辞

本研究について御指導いただいた京都産業大学経営学部の市田浩三教授ならびに井上紘一研究参与（京都大学工学部教授）および渡部透研究参与（立命館大学理工学部教授）に感謝します。

参考文献

- (1) 月瀬寛二, 深尾典久: 滋賀県工業技術センター研究報告, 5, 36-42, (1989)

- (2) 桜井明監修、吉村和美、高山文雄著：パソコンによるスプライン関数入門，(1988)，東京電機
大学出版局
- (3) 市田浩三，吉本富士市著：スプライン関数とその応用，(1979)，教育出版
- (4) 鶴丸孝司，久野昇司 他著：ベクトル解析，(1985)，内田老鶴圃
- (5) 水本久夫，原平八郎：パソコンによる数値計算入門，(1986)，近代科学社

光計測によるプラスチック製品の 欠陥検出法の研究（第二報）

技術第一科 河村 安太郎

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、現状では乳白色のプラスチックに強い光源を用いて、検査を目視でするしかない。そこで、昨年度欠陥検出方法を検討し、白色のスポット光を当てそれに対応する微小部分の光透過量で欠陥の有無を検出する方法を見いだした。今年度は、測定時間を短くするため走査方法や光源・投受光部の見直しを行い、LEDと光ファイバを用いた多点同時計測式の透過型欠陥検査装置の試作を行ったので報告する。

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必要となる小量品は、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性が生じてくる。

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、寸法形状によっては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、内部欠陥面によりわずかに暗くなる小さな点を目で追って検査する事も行われている。また欠陥が小さい場合は裏側の欠陥は目視できず、表と裏を別々に視る必要がある。しかし、目が疲れるなど長時間の作業は無理のため、自動化が待たれている。

そこで、平成元年度は上記欠陥の検出方法について研究を行い、その結果スペckルパターン⁽¹⁾が現れない白色光(すなわち単色光でない光源)を用い、スポット径で試料板に投光し、小さな部分の透過光量を測定することにより欠陥を検出できることを見つけた。しかし、この方法は微細部の1点測定となるため、実際に欠陥検出を行うには、試料板をX-Yの2次元に動かし走査する必要があり、測定に時間がかかりすぎる。

今回、この問題を解決し実用化を図るため、検出原理の解明や光源および投光受光方法の再検討や欠陥判定方法の検討を行い、判定機能を内蔵したLEDと光ファイバーを用いた欠陥検査装置を試作したので報告する。

2. 表裏同時検出原理

前回の実験⁽²⁾で投光部に先端レンズ付光ファイバーを用いた場合とコア径50 μm 光ファイバー

を用いた場合で欠陥検出精度に違いが出た。

そこで、表裏同時検出の原理を解明するため、検査試料板の表面に大きさ・光波長・種類を変えたスポット光を当て、裏面より赤外線ビームファインダで観察し、表裏同時に欠陥検出出来る条件を調べた。写真1、写真2は赤外線ビームファインダのテレビ画面を、シャッター開放にして、スポット光を横方向に移動させた状態で撮ったものである。



写真1 スポット径の小さい場合

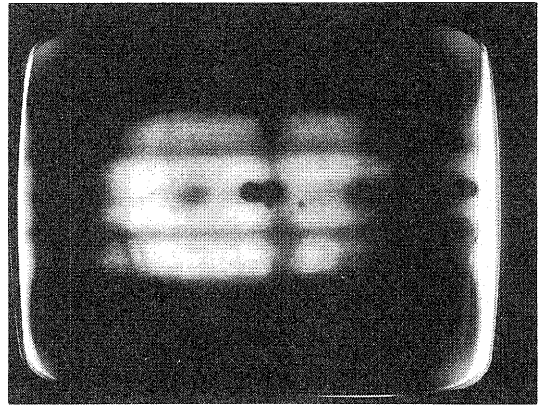


写真2 スポット径の大きい場合

写真中央左に写っている少しぼやけた黒丸部がおもて面の欠陥である。また、白色の横帯は裏面まで透過した光である。光は試料中で散乱されるためこの白帯の幅はスポット光より大きくなっている。写真より、欠陥がおもて面にある時は、おもて面に当たる投射光スポット径が欠陥の大きさより大きい場合欠陥としてはっきり現れず、スポット径が欠陥よりある程度小さいときには欠陥として現れている。

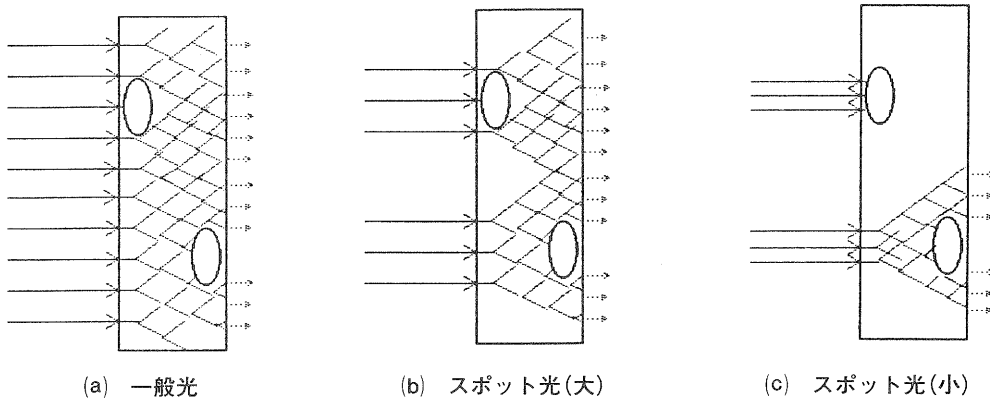


図1 表裏同時欠陥検出の原理図

図1はこの検出原理を図で示したものである。図1-aに示すように通常、乳白色半透明板は光を当てても板の中で拡散し裏面からは、おもて面の欠陥は分からない。しかし、図1-cに示すように非常に小さく絞られた光スポットはおもて面の欠陥で全てカットされ、裏面には散乱光等により欠陥の周囲を回り込んで来る光も無いため、裏面全体が暗くなり検出される光も弱くなる。図1-bは欠陥より大きなスポット光の場合で光が回り込むため欠陥が判定しにくい。

すなわち、欠陥より小さいスポット径で試料板に投光し、欠陥より小さな部分の透過光量を測定

することにより欠陥を検出できる。

なお、欠陥が小さくなればスポット径をさらに小さくしなければならず、スポット作成方法と安定性の確保に留意する必要がある。

3. 試作のポイント

3-1 欠陥位置の変動への対応

今回取り上げた欠陥は接合部にしか発生しないため、理論的には直線上に存在するが、加工誤差のため実際は基準直線から±0.5mm程度は位置変動がある。しかし、検出すべき欠陥の大きさは0.3mmと小さく、検出に用いるスポット径はさらに小さくする必要がある。そのため、欠陥位置の変動に対応するためには、検出するスポット投受光部(検出ヘッド)を直線方向への移動以外に直角方向にも動かすか、またはスポット投受光部を複数配置する必要がある。

3-2 光ファイバーの採用

0.数mm程度のスポット光を試料面に当てる方法としては、光源とレンズ系を用いてスポット光に絞る方法が一般的であるが、測定センサーヘッド部が大きくなる。また所定のスポット径を常時得るために試料と一定距離を保つ必要がある。また、0.数mmの微小ピッチで複数個配置する事が出来ない。

そこで、後述するように、投光角度及び入光角度が限定されるという光ファイバーの性質を逆に利用する事とした。これにより簡便・軽量で非常にコンパクトな検出ヘッドを作ることが出来た。また、軽くなったため板ばねとガイドの簡単な構成で一定距離を保てる様になった。さらに、0.25mmピッチ以下で複数個を配列出来る様になったためヘッドを動かす必要がなくなり、検査スピードも上がった。

3-3 赤外 LED の採用

光源としては、昨年の研究ではスペckルパターンの発生しない白色光を用いたが、複数本のファイバーに1灯の白色光源から同時に光を入れると、表裏同時検出の原理からも分かるように、他のファイバーの光が回り込み欠陥が検出できなくなる。よって、シーケンシャルに光を配分する必要がある。しかし、白色光源は、熱光源のため、高速で点滅出来ず、また、ポリゴンミラーで各ファイバーに分配する方法もあるが、高度の製作精度を必要である。

そこで、後述するように波長分布幅の広いLEDを用い、各ファイバーに1個ずつ取り付け、電氣的に走査出来るようにした。

なお、白色光から波長が偏っているLEDに変えたが問題になるスペckルパターンは見られなかった。

4. 試作機の構成

図2は試作機の構成図である。写真3は試作機の外観である。大きく分けて検出ヘッド部、投受光箱、計測制御箱の構成となっている。

4-1 測定走査方法

図3-aのように被測定試料板の長手方向に欠陥が並んでいる場合、測定範囲は図中着色部になり、この範囲を順次走査する必要がある。そこで、縦方向の走査は、検出ヘッドに縦列に並ん

だ図中の矢線で示す4組の投受光部を順次点灯受光作動させて行。また、横方向の走査は、この投受光部に配置されている測定対象試料を、外部駆動等で投受光列と直角の横方向(図上部の矢印方向)に所定速度で移動させて行。このときの測定点は図3-bに示す丸印の様になり、ノコギリ状の走査軌跡となる。

また測定時間は、測定試料の移動速度を V mm/秒、1点測定時間を T 秒、投受光部組数を n 個、スキャン時間を T_s 秒、スキャン間隔を L_s mm とすると

$$T = T_s / n$$

$$T_s = L_s / V \text{ より、}$$

$$T = L_s / V / n \text{ となる。}$$

今回の測定仕様は、 $V = 63$ mm/秒、 $L_s = 0.25$ mm、 $n = 4$ としたので1点の測定時間を $T = 0.001$ 秒となる。

4-2 検出ヘッド部

図4は検出ヘッド部の光ファイバー配置図である。

スポット光源は、上記検出原理で示すように、欠陥より小さくする必要がある。今回の測定対象欠陥は 0.3 mm と小さいためスポット径は 0.3 mm 以下にする必要がある。

また、複数のスポットを 0.3 mm 以下の小さなピッチで配置する必要があるため、図体が大きくなるレンズを用いた光学系は使えない。そこで、図4に示すように、市販の光ファイバーとしては1番細いファイバー-外径 0.125 mm コア径 0.05 mm 開口数 0.20 のステップインデックス

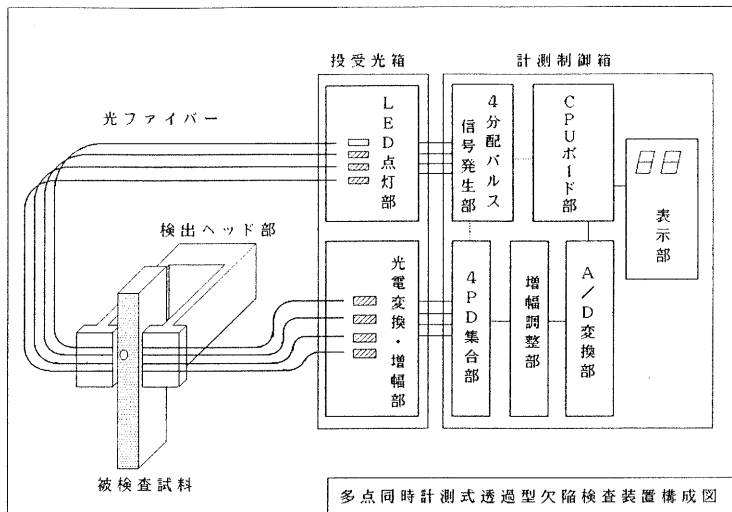


図2 試作機の構成図

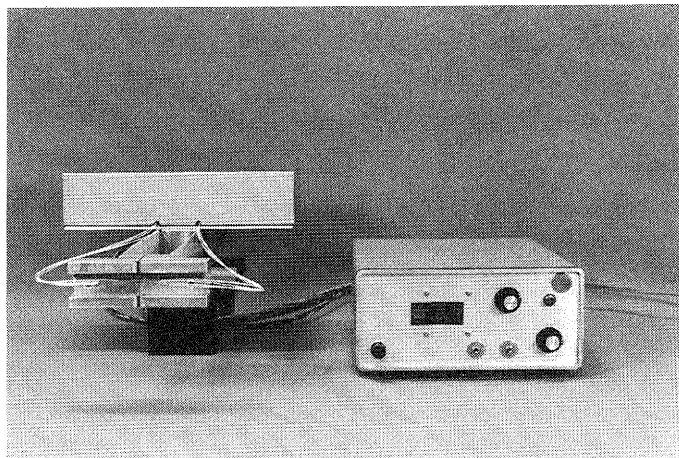


写真3 試作機外観

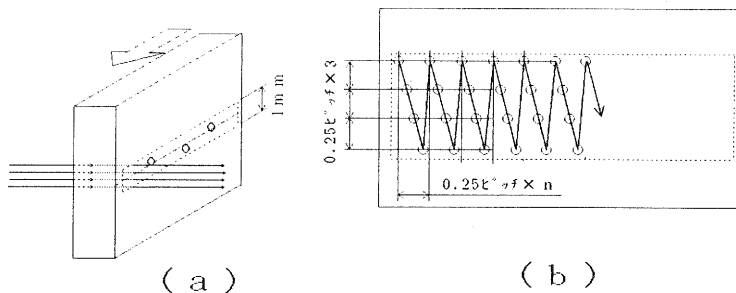


図3 走査方法説明図

型光ファイバーを用い配列ピッチは0.25mmとした。光ファイバーから出る光は図中に示すように一定角度の広がり（開口数で表示される）を持っており、小さなスポット径にするには測定試料との距離を小さくする必要があるのである。

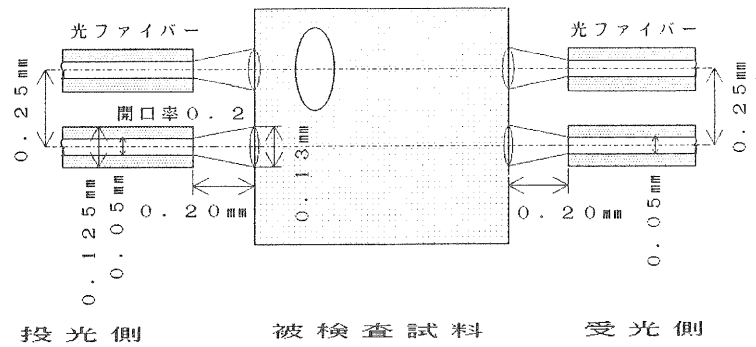


図4 検出ヘッドの光ファイバー配置図

そこで、ファイバーと試料が接触せず一定の距離が保てるようにファイバー端面からわずかに出っ張ったガイドを設け、又間隔が離れないようガイドを弱い板ばねで試料に押さえつけるようにした。ガイドの出っ張りはファイバー端面から0.2mmとした。このときのスポット径は開口率から0.13mmとなる。

受光側も、上記検出原理より明らかなように試料面の微小部分の光だけを取り込む必要がある。また、スポット光と同じく小さなピッチで複数個配置する必要があり、レンズ系は使えない。光ファイバーは投光と同じく、一定角度内の光線のみしか受光しないため、微細部の光検出に使える。但し、レンズ系と比べ受光量は落ちる。検査部を軽くコンパクトにするため、今回は光ファイバーをスポット光源側と同じ配置で構成した。

なお、上記のようなスポット光を得るには光ファイバーの先端が平面に研磨されていなければならない。しかし、先端が研磨処理された市販ファイバーは、接続用の外径10mmの先端金具がついて供給されており、0.25mmピッチで配列させることは出来ない。そこで、先端未処理のファイバーを手作業で研磨加工し、複数本（今回は4本）を0.25ピッチに配置接着固定した。

4-3 光ファイバー接続部

(1) LED・光ファイバー接続部

LEDはマイクロボールレンズ付き赤外LED（波長880nm、半値幅80nm、出力2mW、浜松ホトニクス製L2791）を使用し、ボールレンズにファイバー端面を近接して設置した。取り付け具合によりファイバー導入光の量が異なるため、LED点灯電圧を調整し4本のファイバーが同じになるように構成した。

(2) ホトダイオード・光ファイバー接続部

受光した光を電気に変換するホトダイオードに超高速応答低バイアス型のPINシリコンホトダイオード（ピーク感度波長900nm、立ち上がり時間1ns、浜松ホトニクス製S2216-01）を使用し、受光面に光が全て入るように光ファイバー端面を出来るだけ近接させた。これも4個の受光レベルが同じになるよう増幅率を調整した。

4-5 LED点灯・信号発生回路

(1) 1KHzパルス発生部

図5はLED点灯・信号発生回路図である。図7の左側が1KHzパルス発生回路を示す。パルス発生はC-MOSのICで構成し、LED発光時間を多くするためデューティ比6:4になるように調整している。

(2) パルス4分配部

図5の中央にパルス4分配回路を示す。TTL型のDフリップフロップを用いてパルスを4箇所に順次配分するようにした。なお、C-MOS型のDフリップフロップは応答が遅いためか1パルス毎の配分はできなかった。

(3) LED点灯部

図5の右側にLED点灯回路を示す。ロータリスイッチを設けLEDの出力調整時、連続点灯出来るようにした。LEDの出力は少しの電圧で変わりまた過電流を流さないため固定抵抗と可変抵抗を直並列型に用いた。また、ここから受光電流を収集結合させる時のタイミング信号を取っている。

(4) A/D変換トリガー発生部

図5上部にA/D変換トリガー発生回路を示す。最初のRC積分回路で波形安定待時間をシングルショットICでトリガー保持時間を設定し、後のRC積分回路でノイズをとっている。

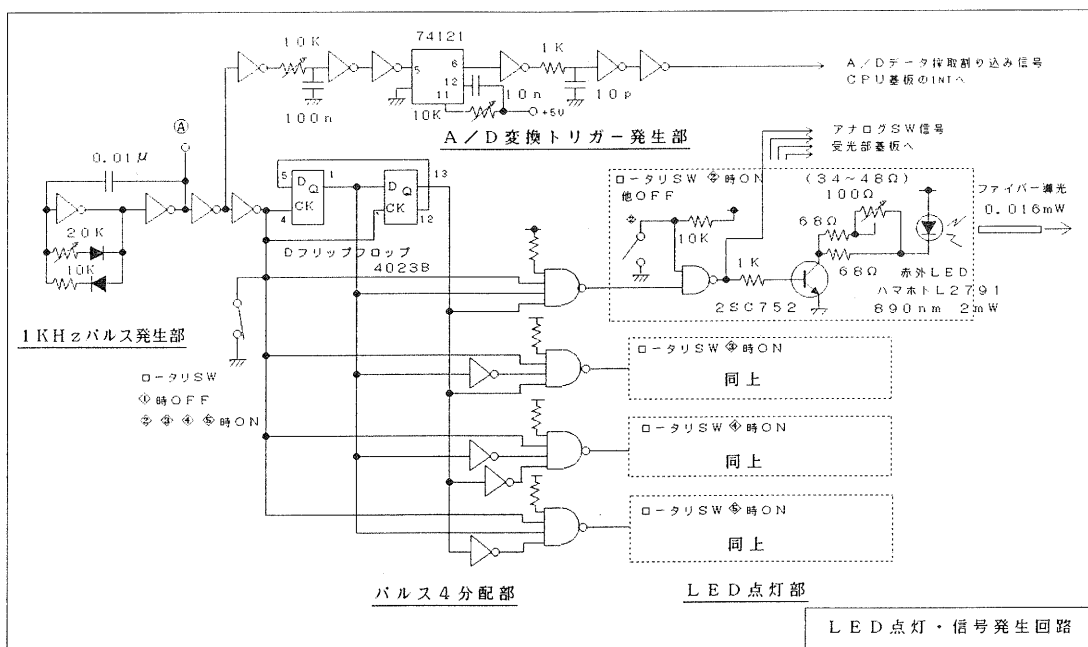


図5 LED点灯・信号発生回路図

4-6 光電変換増幅・結合・A/D変換回路

(1) 光電変換・増幅部

図6は光電変換・結合・A/D変換回路図である。図6の左側に光電変換・増幅回路を示す。PDへの入射光量がわずかで発生電流も少ないため、ハイインピーダンス型のオペアンプを使用し電圧変換して取り出した。また、4つのファイバーからの入射光の光電変換率を同じにするため、増幅率を調整できるようにした。なお、ノイズ対策として電源ノイズはタンタルコンデンサーを使用した。さらに空中伝播ノイズは、試行錯誤の末、キャン形オペアンプの外側容器に銅メッシュ線を巻き、電気容量の大きいフレームに接続する事により大幅に低減できた。

(2) 4 PD結合部

図6の中央左に4つのPD(ホットダイオード)の結合回路を示す。アナログスイッチを用いLED点灯部から対応するLEDに合ったスイッチ開閉信号をもらい4つのPDの電圧波形を結合させた。

(3) 増幅調整部

図6の中央に増幅調整回路を示す。測定試料の材質や厚さにより透過光量が大きく異なるため、判定し易い電圧に増幅するための回路であるが、調整が容易に出来るようにボリューム抵抗を外部に設けた。

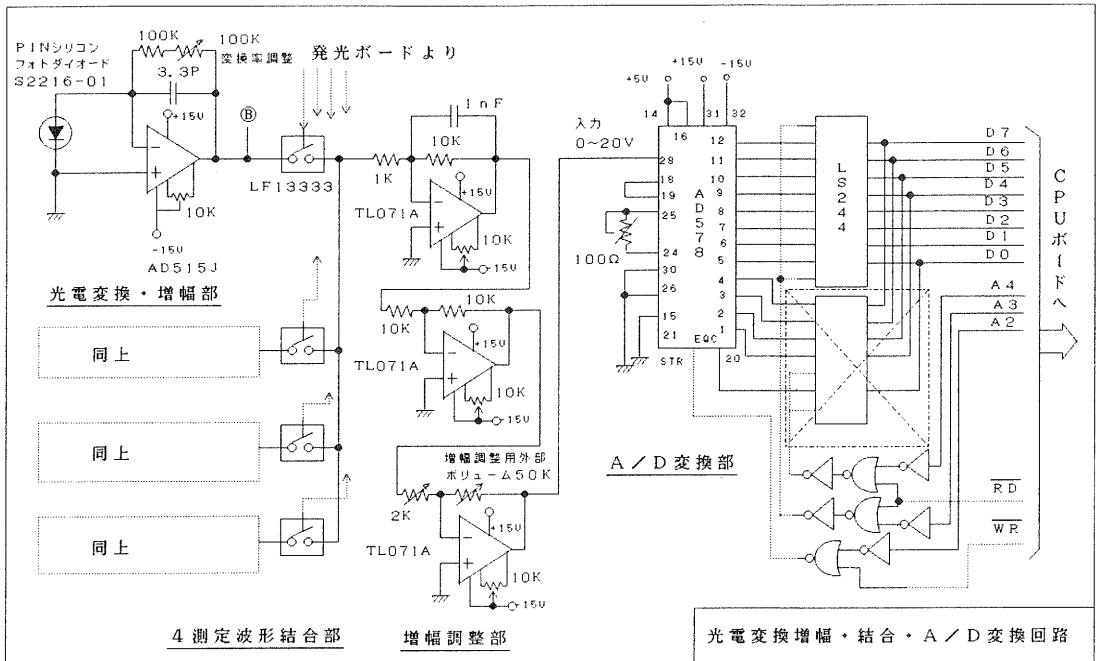


図6 光電変換増幅・結合・A/D変換回路図

(4) A/D変換部

図6の右側にA/D変換回路を示す。実際に入力される電圧はmax13Vであるが、変換入力レベルを0~20Vに取り、A/D変換後のデータが10進で2桁以内になるようにし、CPUの負荷を減らした。

なお、使用したA/Dチップは12ビット用であるが、概略わかればよいため、このうち上位8ビットだけを使用した。

4-7 CPUボード・表示回路

(1) CPUボード部

図7はCPUボード・表示回路である。図7の左側にCPUボード部回路を示す。市販のZ80CPUボード(株)ロジパック製ワンボードマイコンM-12)から、データバス及びアドレスバス等を外部に引出し改造した。

(2) 表示部等

図7の右側に表示回路等マンマシンインターフェースを示す。7セグメント表示回路は欠陥数

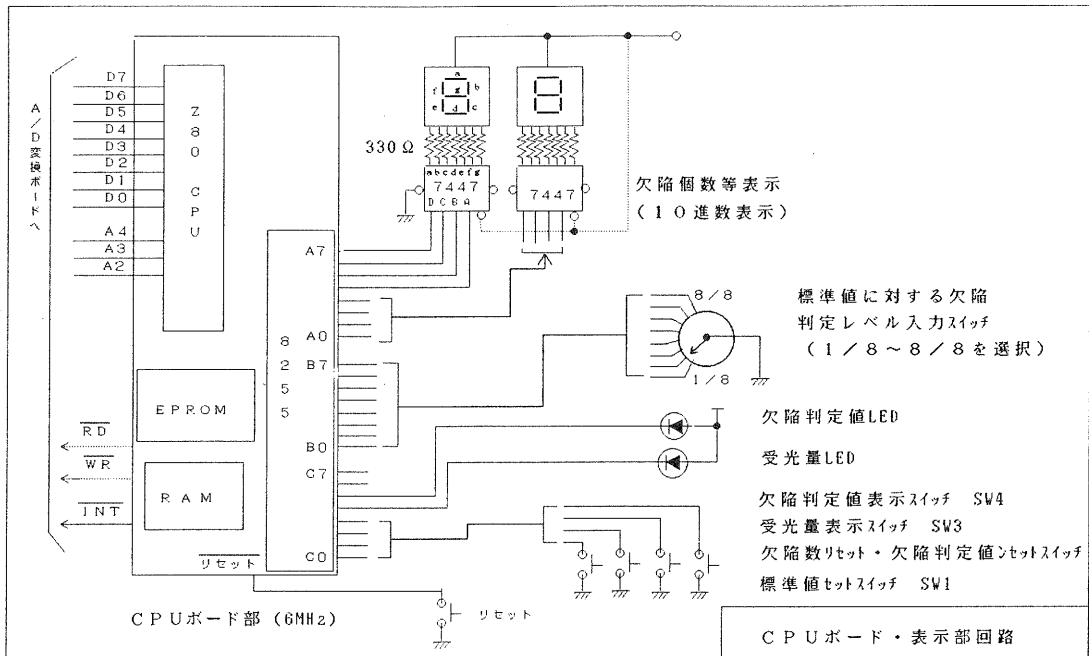


図7 CPUボード・表示回路図

表示、欠陥判定値表示に用い、10進数表示で分かりやすくした。

また、標準値に対する欠陥判定レベルを入力するためロータリースイッチを用い、欠陥判定値を標準値の1/8のレベルにしたい場合は、PBポートの0ビット目だけをアクティブローにし、8/8にしたいときはPBポートの7ビット目だけをアクティブローにするように配線した。

さらに、PCポートの下位ビットを、押しボタンスイッチの入力に割当、下位ビットの0・1

・2・3ビットを各々標準値セット用・欠陥数リセット(欠陥判定値セット)用・受光量表示・欠陥判定値表示要求用とした。

また、7セグメントの隣に現在の表示数値の内容が判るように受光量と欠陥判定値のLEDを設けた。両者消灯時は欠陥数を表示していることになる。

CPUリセットボタンは、標準値を再設定する時にも用いるようにプログラムを作成した。

4-8 信号波形の関係について

図8は測定走査時の各種信号・波形のタイミング図である。

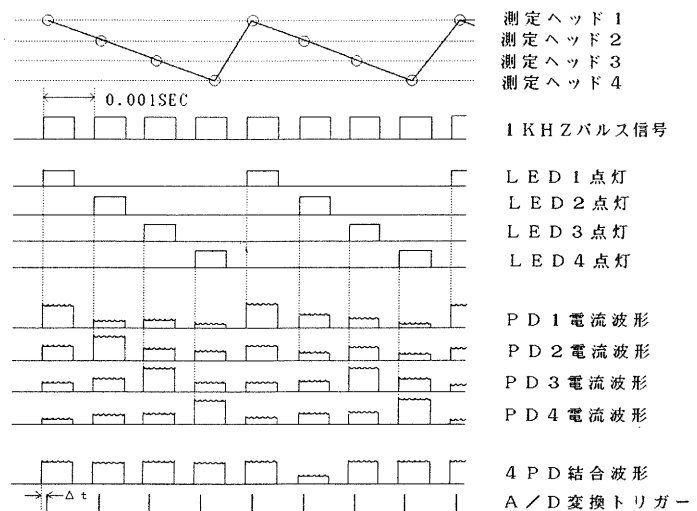
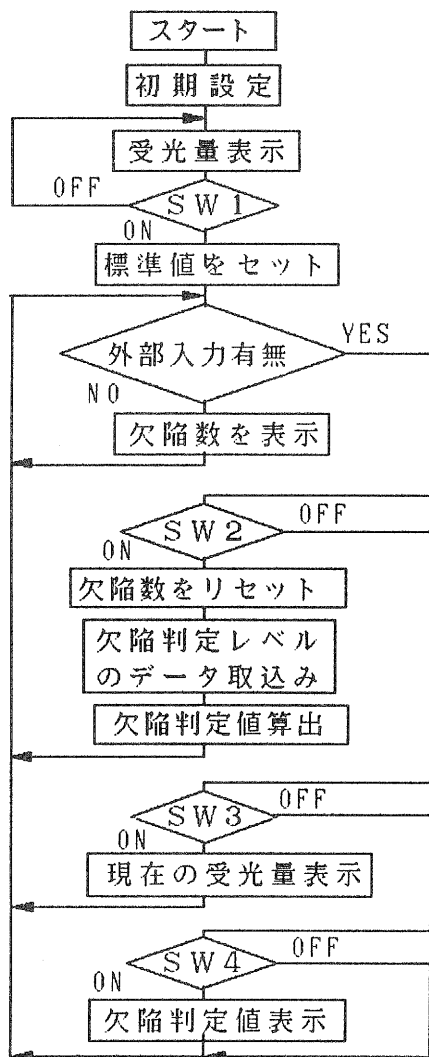


図8 各種信号・波形のタイミング図



- ・ 8255 や割り込みを初期設定する。
- ・ ボリュームにより受光量の表示値が 50 程度になる用に調整する。
- ・ 調整完了時 SW1 を押すとその時の受光量が標準値として格納される。

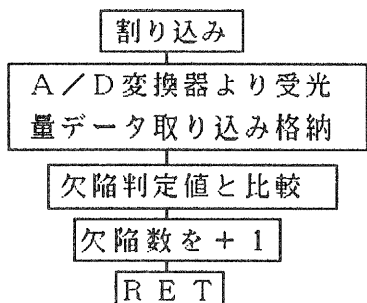
<メインルーチン>

- ・ CPUポートのPCポートに接がっている。押しボタンSW1, 2, 3, 4の状況を調べる
- ・ 欠陥数を表示する。

- ・ SW2-ONの時
欠陥数を0にリセットする。
欠陥判定レベルをPBポートから取り込み、標準値に乘じ欠陥判定値を求める。

- ・ SW3-ON
現在の受光量を表示する

- ・ SW4-ON
現在用いている欠陥判定値を表示する。



- ・ 割り込み信号はLED点灯信号より取っており、0.001秒毎に割り込みが掛かる。
- ・ A/D変換器より受光量データ取り込み格納する。
- ・ 欠陥判定値と比較し、欠陥か否か判定する。欠陥であれば今までの欠陥数に1個プラスする。
- ・ 割り込み前の処理に戻る。

図9 欠陥検出処理フローチャート

4 個の測定ヘッドの位置とそれに対応する LED や PD 及び 4 PD 結合波形の関係を横軸に時間をとり表わした。1 KHz のパルス信号をもとに 4 個の LED を順次点灯させていることが分かる。PD が受光し発生する電流は、対応する LED が点灯している時だけ有効であるため、対応する LED の点灯タイミングで収集し 1 つの波形に結合させ、A/D 変換部に渡した。また、A/D 変換は電圧が安定する時間 Δt だけ遅らせてトリガー信号をもらうようにした。

図 8 の 4 LED 結合波形中、1 箇所レベルが低いのが見受けられるが、これが欠陥を補捉したところである。

4-9 欠陥検出処理プログラム

図 9 は図 7 の Z80CPU ボードの処理プログラムのフローチャートである。図 9 の注釈文にも記したが、データの取込みと欠陥数カウントは、抜け落ちては許されず、また各測定ユニットの測定タイミングに同期させる必要があるため、割り込み処理で優先させた。

5. 試作機の性能及び考察

写真 4、5、6 は、試作機を用いて乳白色プラスチック板の欠陥部の計測・検査を行った時の A/D 変換処理前のアナログ電圧波形である。横軸は 0.5msec/div 縦軸は 2 V/div であり、最初のパルスが測定ヘッド 1 の電圧で次のパルスが測定ヘッド 2 の電圧以下で測定ヘッド 4 までを表示している。

写真 4 はプラスチック板試料の正常な部分を測定したものである。すべての測定ヘッドで 4 V 程度でている。

写真 5 はプラスチック板の欠陥発生ライン部の欠陥が無い所を測定したものである。測定電圧が 1.2V まで下がっているところがあり、この欠陥は光が通りにくい所にあることが分かる。

写真 6 は写真 5 の位置から水平方向にプラスチック板を移動させ、欠陥を検出したときのものである。この写真において欠陥に遭遇した測定ヘッド 2 の電圧は、0.2V と非常に小さくなっており、他の測定ヘッドは 1.2V 以上である。また、これは欠陥による受光減量は周囲と比べても 80% 以上にもなっている。そこで、正常な部分の受光量 4 V を標準値として、欠陥判定レベルを 1/8 の

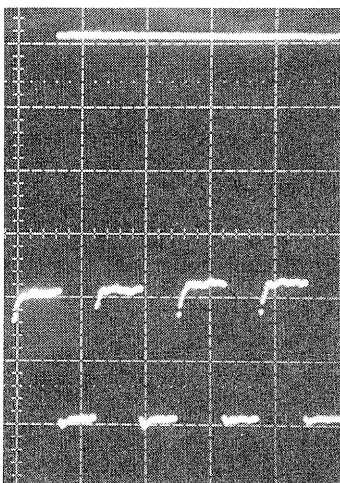


写真 4 正常部の計測結果

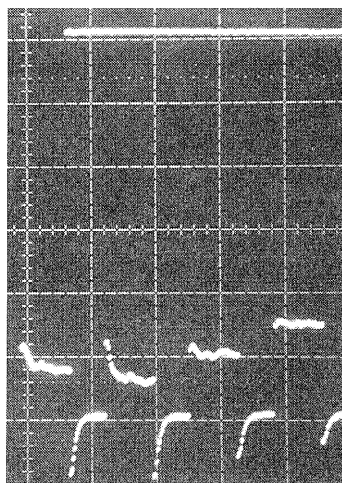


写真 5 接合部の計測結果

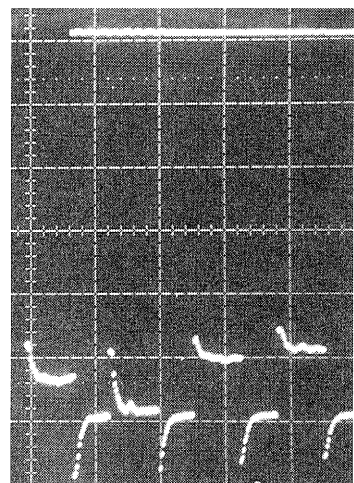


写真 6 欠陥部の計測結果

0.5Vにとることにより、欠陥判定が出来ることが分かる。

すなわち、光ファイバーを検出ヘッドに使用した方法で、欠陥検出が充分に出来るといえる。また、他の材質の検査対象物についてはまだ行っていないが、受光減量が相当取れることから、この測定方法の適応範囲は広いものと考ええる。

そして、手作業で組み立てたため投光用ファイバーと受光用ファイバーとの光軸を合わせることは4本でも難しかったが、専用治具等を用いれば測定幅の広いものも作製可能であり、測定面積の大きなものにも対応可能と考える。

なお、欠陥の大きさや形状による検出精度限界や上記の適用対象範囲については、今後、具体的な欠陥対象物ごとに調査していく必要がある。

6. ま と め

これらのことより、次のことが分かった。

- 1) 今回用いた欠陥検出の測定原理を解明することが出来た。
- 2) 光ファイバーの入射限界角度を利用した、通常のレンズ光学系に比べ非常に単純で安価な、欠陥検査用スポット光の高密度配列方法を見いだした。
- 3) 多点同時計測形にした為、連続移動状態で欠陥検査が出来るようになり、また移動速度も63mm/secと生産現場で使える実用的速度にすることが出来た。
- 4) 欠陥による受光減量が80%以上となり、光ファイバーを検出ヘッドに使用した方法で、充分に欠陥検査装置として使えることが分かった。
- 5) 検出センサーヘッドが光ファイバーだけのため、発光・受光の電子回路部等を測定部から切り離せ、測定部を超小形でシンプルにすることが出来た。そのため、形状・大きさ・重さ・電磁環境等による制約がほとんどなくなり、適応範囲が広がった。

今後、欠陥の大きさや形状による検出精度限界や他の検査対象物への適応等について調査していきたい。

謝 辞

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

[参考文献]

- (1) 田幸敏治：光学的測定ハンドブック 朝倉書店 P 234-246
- (2) 河村安太郎：光計測によるプラスチック製品の欠陥検出法の研究（第一報）、滋賀県工業技術センター研究報告、P 43-50 (1989)

炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の “ぬれ性”に関する研究（第四報）

一 液晶ピッチ系炭素繊維の気相酸化表面処理が CFRPの力学的物性に及ぼす影響について 一

技術第二科 山中 仁敏

あらまし：炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）は、軽量かつ高弾性・高強度などのすぐれた性能を有し、材料設計における自由度が高いため新材料として、広い分野で利用されつつある。CFRPの材料力学的性質は、それを構成する強化繊維とマトリックス樹脂の材料力学的性質だけで決定されるものではなく、繊維－樹脂界面の接着性（ぬれ性）に大きく依存している。従って通常のCFRPにおいては、界面の接着を向上させるために、炭素繊維の表面処理が行われている。そこで、今回は液晶ピッチ系炭素繊維の気相酸化法による表面処理の酸化条件（酸化温度・酸化時間）の違いが、CFRPの層間せん断強度ならびに3点曲げ強度におよぼす影響について調べた。

その結果、気相酸化による表面処理により、CFRPの層間せん断強度が最大で約135%、また曲げ強度が約20%増大した。また650℃以上の酸化温度で層間せん断強度が大きく増大することが分かった。また、今回の酸化条件の範囲では、層間せん断強度の増加と曲げ強度との間に非常によい相関関係が認められた。

1. はじめに

炭素繊維強化エポキシ樹脂（CFRP）の強化繊維である炭素繊維は、マトリックス樹脂との接着性、ぬれ性があまりよくないため、炭素繊維がもつ性能を十分に発揮できない。特に焼成したままの炭素繊維で強化したCFRPでは、その傾向が強いため、繊維－樹脂間の接着性を向上させることを目的として、炭素繊維の表面処理が行われている。炭素繊維の表面処理方法には、高温加熱による気相酸化法、酸化性の液体中で行う薬液酸化法、陽極酸化法、プラズマ酸化法などがある。

高性能炭素繊維にはPAN系と液晶ピッチ系があるが、後者は前者よりも安価でしかも高弾性糸が製造できる可能性を有している。しかしながら液晶ピッチ系炭素繊維は、焼成温度が約2000℃以上と高いため繊維－樹脂の接着性が特に低く、表面処理が欠かせないと考えられる。それにもかかわらず、液晶ピッチ系炭素繊維の表面処理がCFRPの力学的物性に及ぼす効果についてはほとんど知られていない。

そこで、本研究では液晶ピッチ系炭素繊維の表面処理を気相酸化法で行い、酸化条件の違いがCFRPの層間せん断強度（ILSS）ならびに曲げ強度にあたえる影響について調べた。

2. 実 験

2-1 炭素繊維の気相酸化表面処理

液晶ピッチ炭素系繊維としては、(株)ペトカより供試された6000フィラメント/ヤーン、密度 2.181 g/cm^3 、ストランド強度 293 kgf/mm^2 、引張弾性率 $60,000\text{ kgf/mm}^2$ の炭素繊維であり、焼成したままの表面処理をしていない繊維を使用した。

炭素繊維の気相酸化法には、使用する炭素繊維を金枠などに巻き取り全体を電気炉で加熱処理する方法と、炭素繊維を一定速度で電気炉を通過させ連続的に加熱処理する方法とがあるが、本実験では、炉内の温度分布の影響が少なく比較的均一な酸化表面処理が行える後者の方法を用いた。図1のように、長さ1000mm、外径58mm、内径50mmの石英ガラス管を装備した、長さ600mm、内径60mmの電气管状炉を使用して空気中で繊維の加熱酸化処理を行った。酸化温度は電气管状炉の中央部の温度とし、酸化時間は繊維が長さ600mmの電气管状炉を通過する時間として表した。

今回は、酸化時間を120秒の一定値とし酸化温度を 500°C ～ 800°C に変化させた処理と、酸化温度を 700°C 一定とし酸化時間を20秒～480秒に変化させた処理の2つについて行った。

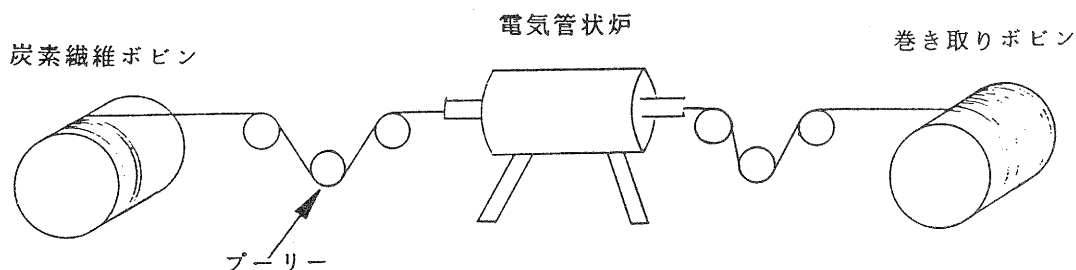


図1 気相酸化による表面処理方法

2-2 CFRP試料の成形

CFRPのマトリックス樹脂としては、3 phrの3フッ化ほう素モノエチルアミン錯塩で硬化させるエピコート828を使用し次のように成形した。

炭素繊維を1方向に引き揃えて金枠に巻き取り、アセトンで希釈した樹脂溶液に浸漬し、常温で一昼夜放置した後 95°C で2時間加熱してプリプレグを作った。このプリプレグ8枚を金型で積層し、 100°C で10分間予備加熱後、徐々に加圧しながら40分間で 170°C まで昇温し、 170°C で1時間保持して硬化した。さらに、金型から取り出して 200°C で2時間の後硬化を行い、繊維体積含有率が約60%で $2 \times 10 \times 250\text{mm}$ のCFRP板を得た。

2-3 物性試験方法

マトリックス樹脂-炭素繊維間の接着力の測定方法としては、ショートビーム法によるILSS試験、単繊維を樹脂中に埋め込んでの引張破断臨界長さから測定する方法、1方向FRPの 90° 引張試験などの方法があるが、一般性、試験の容易さ、試料の均一性などから、今回の目的には、ショートビーム法によるILSS試験を行った。またCFRPのILSSおよび3点曲げ試験の条件は、下記のとおり行った。なお、3点曲げ強度については、複合則にもとづき炭素繊維体積含有率が60%となるように補正した。

物性試験は、CFRP を ILSS 試験用に長さ20mm、3点曲げ試験用に長さ105mmに切り出し、温度 23±1℃、湿度50±5%の恒温恒湿室で、(株)島津製作所製オートグラフAG5000-A型を使用し、ILSS 試験では、スパン長さ7.8mmクロスヘッド速度1mm/minのショートビーム法で、また曲げ試験は、スパン長さ80mmクロスヘッド速度1mm/minの3点曲げ方式で測定した。

3. 結果と考察

3-1 酸化温度と ILSS、曲げ強度との関係

炭素繊維の表面酸化温度と CFRP の ILSS の関係を図 2 に示す。酸化温度が500℃、600℃の時 ILSS は、未処理の場合よりもわずかに高い値を示すだけであるが、700℃では約50%、800℃では約135%増大することが分かる。このように、液晶ピッチ系炭素繊維の気相酸化法においては、酸化時間が120秒の場合かなり高い酸化温度が必要であることが分かった。通常のグラファイトが酸化を生ずる、600℃という比較的高い処理温度でも表面処理の効果がみられないのは、炭素繊維製造時の焼成温度が高く黒鉛化が進んでいるため、酸化が進行しなかったことが考えられる。

図 3 に、炭素繊維の表面酸化温度と CFRP の曲げ強度の関係を示す。曲げ強度は ILSS とほぼ同じように、600℃までは未処理の CFRP とほぼ同じ強度を示し、700℃で約10%、800℃で約20%の増大を示した。また写真 1 に CFRP の曲げ破壊の状況を示した。このように、曲げ破壊は CFRP の圧縮側から起こっており、CFRP の曲げ強度は CFRP の圧縮強度に支配されていると考えられる。

なお、酸化処理温度850℃以上では、引張張力により、炉内で炭素繊維の切断が起こった。こ

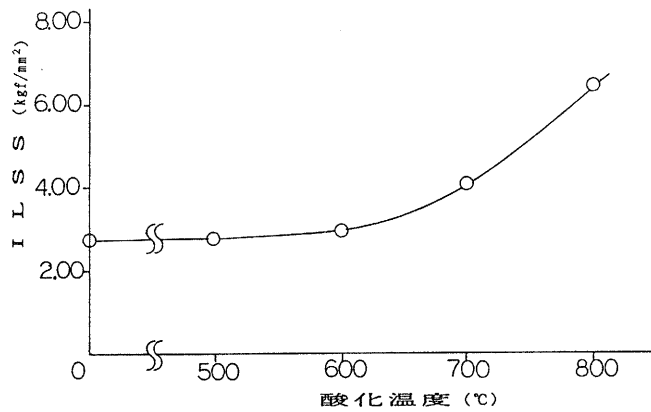


図 2 酸化温度の変化による ILSS の変化
(酸化時間：120秒)

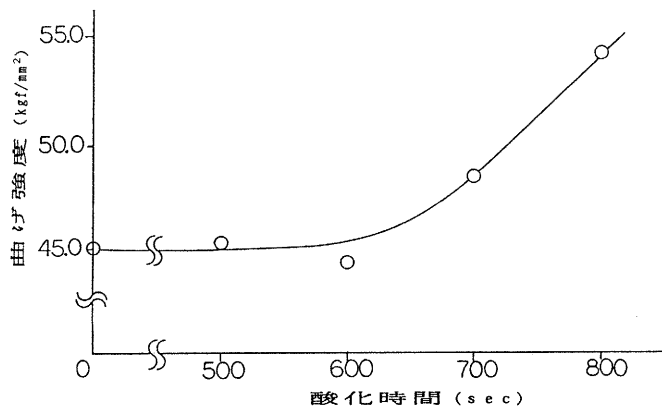


図 3 酸化温度の変化による曲げ強度の変化
(酸化時間：120秒)

れは、炭素繊維表面の酸化とともに炭素繊維自体の劣化も起こり、繊維自体の強度低下が著しいためであると考えられる。

3-2 酸化時間とILSS、曲げ強度との関係

炭素繊維の酸化処理温度を700℃に固定し酸化時間を変化させてCFRPの物性変化を検討した。ILSSの変化を図4に、また曲げ

強度の変化を図5に示す。図からも分かるように、ILSSと曲げ強度は酸化時間に対してほぼ同変化を示した。すなわち、酸化時間が40秒までは、ILSS、曲げ強度とも未処理に対してわずかに

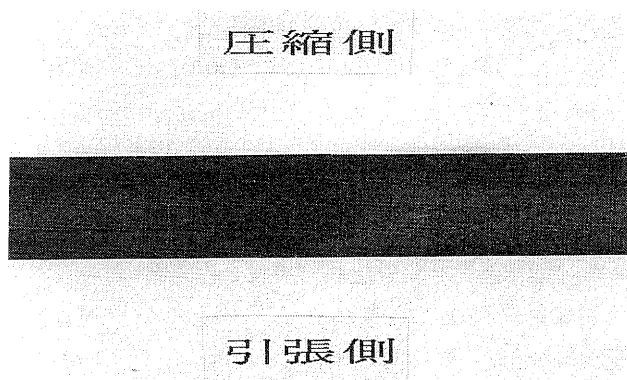


写真1 曲げ破壊状況

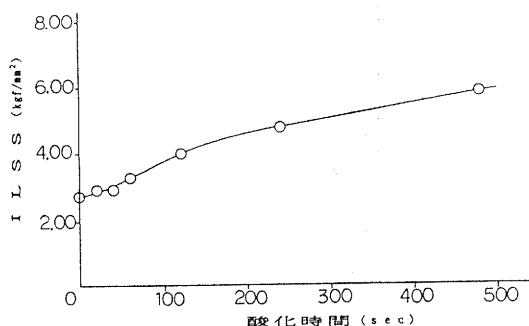


図4 酸化時間の変化によるILSSの変化 (酸化温度：700℃)

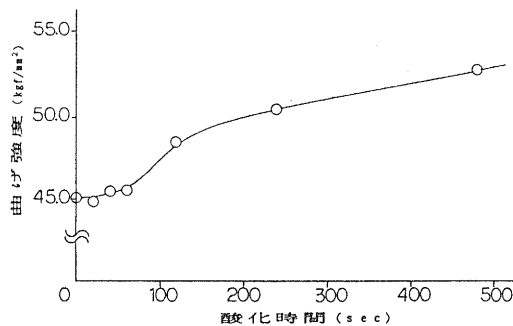


図5 酸化時間の変化による曲げ強度の変化 (酸化温度：700℃)

増加したが、60秒以上の表面処理では、ILSS、曲げ強度とも大きく増加し、480秒ではILSSで約115%、曲げ強度で約18%の増加を示した。40秒まではILSSがほとんど増大しなかったのは、電气管状炉の中心部のごく一部にしか設定の700℃になっておらず、かつ処理速度が速すぎたため、十分な酸化処理ができなかったためだと考えられる。

3-3 ILSSと曲げ強度の相関性

上述の表面酸化条件の異なる10種類の炭素繊維を強化繊維に用いたCFRPのILSSと曲げ強度の関係を図6に示す。ILSSと曲げ強度は、ほぼ直線関係にあり、最小2乗法により次のような実験式を得た。

$$\sigma = 2.74 \tau + 37.18 \quad (r = 0.991)$$

ここで、 σ : 3点曲げ強度 kgf/mm²

τ : 層間せん断強度 (ILSS) kgf/mm²

r : 相関係数

このようなILSSと曲げ強度との高い相関性については、次のように考察される。3-1で述べたようにCFRPの曲げ強度は圧縮強度により支配されているので、ILSSの増加にみられる織

維-樹脂界面の接着性の向上は、圧縮強度の上昇につながったと考えられる。この機構としては圧縮破壊における微小座屈がある。すなわち、圧縮荷重をかけると炭素繊維の弱い部分が微小座屈を起こし、それに伴い繊維-樹脂界面がはく離を生ずることが知られているが、今回のように界面の接着性が強くなると微小座屈を起こしても、繊維-樹脂界面のはく離が起りにくくなると考えられる。このことが圧縮強度の上昇、そして曲げ強度の向上につながったと考えられる。

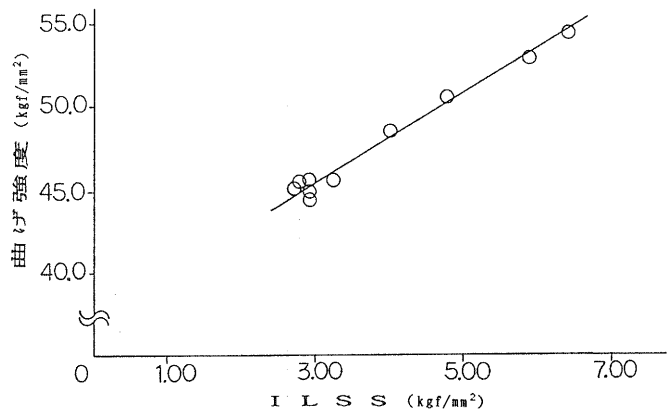


図6 ILSSと曲げ強度の関係

また、気相酸化法による表面処理においては、表面の改質による炭素繊維-マトリックス樹脂間の接着性向上と同時に、炭素繊維自体が劣化を受け強度が低下することが考えられる。(850℃以上の酸化処理でみられた。) 液晶ピッチ系炭素繊維の場合にも同様のことが考えられるが、圧縮強度が引張強度に比べて相当に低いため(未処理繊維で強化したCFRPの場合は、ストランド試験法による引張強度に比べ、圧縮側から破壊する曲げ強度は繊維体積含有率で補正しても約26%の強度しか保持していない。)、劣化に伴う引張強度の低下よりも、圧縮強度が依然として低かったことが推定される。結局、曲げ試験においては、炭素繊維自体の強度低下の影響は現れにくく、ILSSの向上に伴う曲げ強度の増大が生じたと考えられる。しかしながら他の気相酸化方法により、より高い酸化温度やより長い酸化時間で過度の表面処理を行った場合には、炭素繊維自体の強度の低下が著しくなり、曲げ破壊において引張強度が支配的となり、曲げ強度が低下することも考えられる。このような場合には、ILSSの増加が曲げ強度の増加に結びついてこないことも起こりうると推察できる。

4. む す び

気相酸化法で表面処理を行った液晶ピッチ系炭素繊維を用いてCFRPを作成した。これらについての層間せん断試験および3点曲げ試験を行い、下記のような結果を得た。

1. ILSS および曲げ強度を大きく増大させる酸化温度は、650℃以上の比較的高い温度である。
2. 今回の処理条件の範囲内では、ILSSの増大と曲げ強度の増大には高い相関関係が認められた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり御指導をいただいた大阪工業技術試験所無機機能材料部複合材料化学研究室の皆様、ならびに御助言いただいた木村良晴研究参与(京都工芸繊維大学教授)に深く感謝します。

[参考文献]

- (1) E. Fitzer、R. Weiss:Carbon、25、455、(1987)
- (2) 小川俊夫、横島聖一：材料、39、1438、(1990)
- (3) 大谷杉郎：“炭素繊維”近代編集社
- (4) D、ハル：“複合材料入門”培風館
- (5) 松井醇一：“炭素繊維の展開と評価方法”リアライズ社

耐熱性エンブラの高度化に関する研究

— ビスマレイミドとポリイミド樹脂とのアロイ化について —

技術第二科 那須喜一 山中仁敏 中村吉紀

あらまし：ビスマレイミド樹脂は耐熱性の優れた熱硬化性樹脂であり、FRPなどのマトリックス樹脂に用いられているが、靱性が低いという問題がある。そこで、耐熱性を損なわないで靱性を向上させるために、耐熱性熱可塑性ポリスルホンイミド樹脂とのアロイ化を試みた。そして、このようなアロイ化が、熱的性質や曲げ強度・衝撃強度等の物性に対してどのような効果があるかを検討した。その結果、ビスマレイミドとポリスルホンイミドのアロイでは両成分の相分離が生じて耐熱性の変化はないものの、両者の組成に応じた平均的な物性が現れるにすぎないことがわかった。

1. まえがき

ビスマレイミド系樹脂は、エポキシ樹脂同様FRPのマトリックス樹脂として利用される。しかも250℃程度の耐熱性を示しエポキシ樹脂をしのいでいる。しかしながら、この樹脂は熱硬化型であり靱性が低いという問題点がある(図1)¹⁾。

ビスマレイミド系樹脂には芳香族ジアミン変性樹脂の他にジアリル変性樹脂も知られており、靱性が改良されてきている。しかし、航空機の一次構造部材として必要なレベルにはいまだ達していないため、ポリマーアロイ化の研究も行なわれている。

たとえばH.D.Stenzenbergerら²⁾やChen-Ron Linら³⁾はビスマレイミド系樹脂に熱可塑性樹脂をアロイ化することにより靱性が向上することを報告している。しかしながら、ビスマレイミド樹脂よりもガラス転移点の低い熱可塑性樹脂をアロイ化した場合は耐熱性が低下することがあり問題が残されている。

ここでは、耐熱性、成形性、機械特性に優れたビスマレイミド系樹脂について、耐熱性を維持しつつ高靱性を有するマトリックス樹脂を開発する目的で、まず初めにベースとなるビスマレイミド系樹脂の性質について検討し、次に熱可塑性でしかも耐熱性を有するポリスルホンイミド樹脂とのアロイ化について検討した。

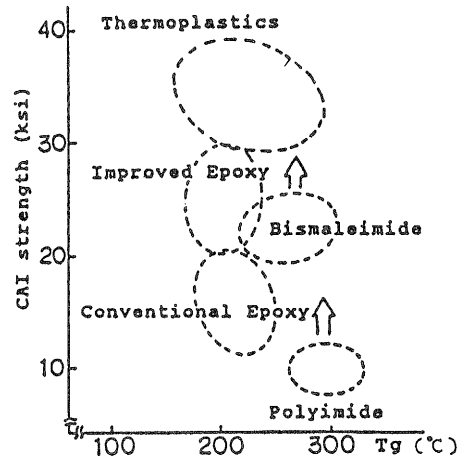


図1 各種マトリックス樹脂複合材料の衝撃後圧縮強度とTgとの関係

2. 実 験

2-1 実験材料

ビスマレイミド樹脂には日本ポリイミド(株)のケルイミド601 (図2-a) を、熱可塑性ポリイミドには新日本理化(株)製のポリスルホンイミドS-63 (図2-b) を用いた。

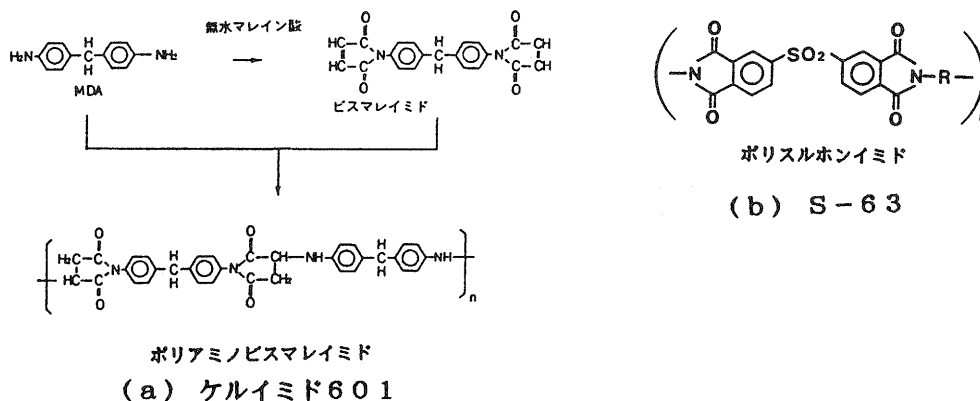


図2 マトリックス樹脂として検討した耐熱性樹脂の化学構造

2-2 ビスマレイミド樹脂およびポリスルホンイミド樹脂とのアロイ化物の成形

方法1.

ケルイミド601を130℃、30分で前硬化した後、粉砕器で適当な粒径に粉砕した。その粉体を85g計り取り、あらかじめ120℃に熱した図3の金型に山盛りに入れた。これを200℃に加熱したホットプレスにセットし、約50kg/cm²に加圧し190℃で1時間保持した。

その後、徐冷して直径120mmφ、厚さ4~5mmのケルイミドの成形板を得た。これを切断した後、200℃で24時間後硬化し、研磨して所定の寸法とした。

方法2.

ケルイミド601のDMF (N,N-ジメチルホルムアミド) 溶液 (60wt%) とS-63のDMF溶液 (15wt%) を重量比で7:3になるよう十分攪拌しながら混合した。混合溶液をテフロンを敷いたアルミバットに移し、真空乾燥器中で120℃、1~1.5時間で大部分のDMFを除去した。固化した混合物を粉砕し、粉体をさらにデシケーター中で真空乾燥した。分子量の異なるS-64、S-65についても同様のブレンドを行い、ケルイミドと同じ条件でホットプレスし板状の成形品を得た。

方法3.

溶液混合である方法2と比較するために、ケルイミド601とS-63を7:3に粉体混合した物

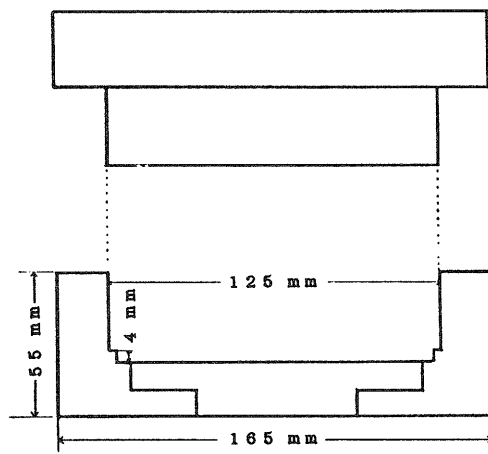


図3 成形用金型

についても同様の方法により成形した。

方法4.

ケルイミド601のDMF溶液(60wt%)とS-63のDMF溶液(15wt%)を1:1に混合した後、80℃-3時間真空乾燥して粉碎、再度80℃で1時間真空乾燥した後に粉碎、130℃で30分真空乾燥した後粉碎した。これにケルイミド601を加えS-63が各々5wt%、20wt%となるような試料を調製した。

方法5.

方法4と同様にケルイミドとS-63を3:5に混合したものにケルイミド601を加えてS-63が50%の試料を調製した。

2-3 3点曲げ試験

3点曲げ試験は、JIS K 7203に従い、長さ80mm×幅10mm×高さ4mmの試験片を作成し行った。温度23℃の恒温恒湿室で島津製作所製オートグラフAG1000-A型を使用し、クロスヘッドスピード2mm/min、支点間距離64mmで行った。

2-4 アイゾット衝撃試験

JIS K 7110を参考に長さ80mm×厚さ10mm×幅4mmの試験片を切り欠き無しで試験した。

3. 結果と考察

3-1 ビスマレイミド樹脂の成形と成形物の特性

耐熱性で加工性に優れたビスマレイミド樹脂をベースとした複合材料用の新しいマトリックス樹脂を開発するには、ビスマレイミド樹脂自体の特性を知る必要がある。しかしながら、ケルイミドについては樹脂単独の物性が公表されていないので、基礎的データを得るためのケルイミドの成形を行い樹脂単独の物性を調べた。得られたケルイミドの物性値を表1に示す。また後硬化前後の曲げ試験での荷重-歪曲線を図4に示した。なお写真1にはケルイミドの破断面の電子顕微鏡写真を示してある。熱硬化性樹脂の特徴であるガラス状の破壊が認められた。

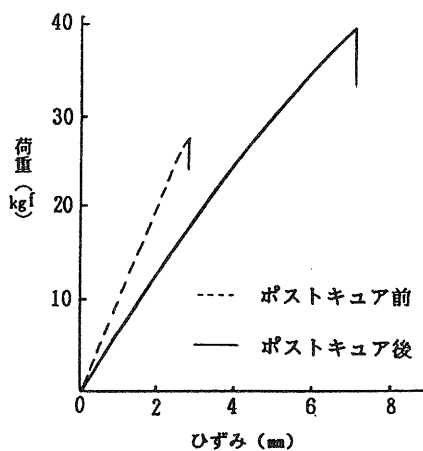


図4 ケルイミドの3点曲げ試験の荷重-歪曲線

表1 ビスマレイミド(ケルイミド)の物性値

	単位	後硬化前	後硬化後
曲げ強度	Kgf/mm ²	9.0	18.0
曲げ弾性率	Kgf/mm ²	39800	38800
アイゾット衝撃値	KJ/m ²	39800	38800

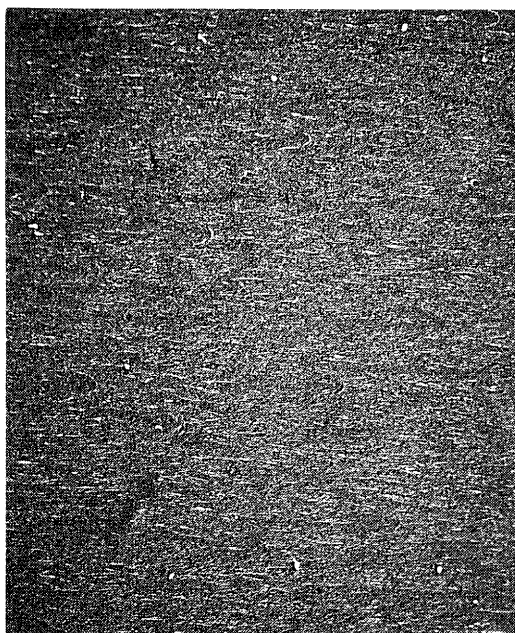


写真1 ケルイミドの破断面

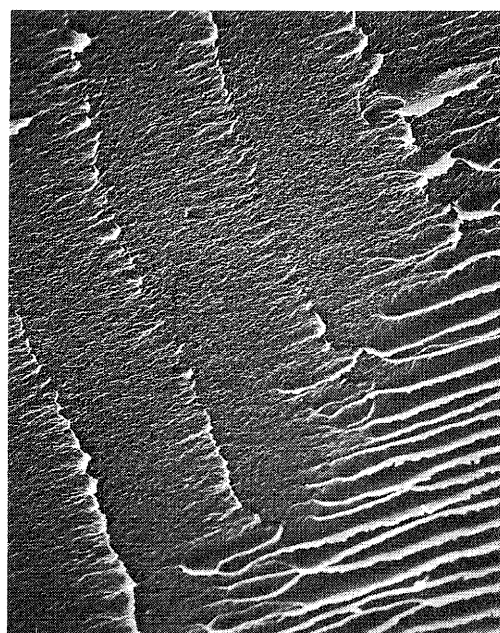


写真2 S-68の破断面

ケルイミドのDSCによるTgは233℃であり、また空気中での5%重量減少の温度は400℃、同10%減少温度は424℃であった。複合材料のマトリックス樹脂としては、現在エポキシ樹脂が最も多く用いられているがケルイミドはこれらの耐熱性グレードと同程度の耐熱性がある。

このようにビスマレイミド樹脂は耐熱性はむろんのこと強度的にも高いレベルの性能を有していることが分かった。従ってケルイミドは複合材料用のマトリックス樹脂の高機能化に適した材料の1つとなるうると考えられた。そこで、次の段階ではケルイミドを用いた新しいマトリックス樹脂の開発を試みた。

3-2 熱可塑性ポリスルホンイミド樹脂の特性

先に述べたように耐熱性を有する熱可塑性のポリイミド樹脂は、それ自体複合材料のマトリックス樹脂⁴⁾としても、また、ビスマレイミド樹脂の高性能化——例えば高靱性化など——のための改質材としても興味深い。今回はポリイミド樹脂として、酸無水物単位にスルホン基を有する熱可塑性のポリスルホンイミド樹脂を用いた。ビスマレイミド樹脂とのアロイ化に用いた分子量の異なる3種のポリスルホンイミド樹脂(S-63, S-64, S-65)の熱的性質を表2に、またTG-DTAの結果を図5に示した。おおよそTgは244~254℃、5%重量減温度は498~504℃、同10%減は513~518℃と、分子量による差は小さかった。また、S-68の破断面(写真2)はガラス状であったが、もろいケルイミドとは対象的であった。

ポリスルホンイミド樹脂は一般の縮合型の全芳香族系ポリイミドとは異なり熱可塑性を有する分耐熱性は低い。しかしながら、Tgが244℃以上ありケルイミド(Tg 233℃)と比較しても十分な耐熱性を有していると言える。

表2 ポリスルホンイミド樹脂の熱的性質 (°C)

試料	数平均分子量(M _n)	5% Weight Loss	10% Weight Loss	T _g
S-63	15,000	504	518	244
S-64	21,400	498	513	249
S-65	26,700	503	514	254

3-3 ビスマレイミドーポリスルホンイミドアロイの熱特性

熱硬化性のビスマレイミド樹脂に対して、その靱性を向上する目的で、耐熱性と高度な物性を有することが明らかになったポリスルホンイミド樹脂のアロイ化を行った。

溶液混合である方法2により作成したポリスルホンイミド (30) -ケルイミド (70) アロイの熱分析の結果を表3と図5に示す。

この結果を見る限りでは、5%重量減少温度は、アロイ化によりやや低下しているが、10%減量温度は逆に高くなっているが大きな違いはみられない。

表3 ケルイミド (K I) およびアロイ化物の熱的性質 (°C)

試料	5% Weight Loss	10% Weight Loss	T _g
K I	400	424	233
K I 70% + S-63 30%	392	421	227
K I 70% + S-64 30%	396	433	222
K I 70% + S-65 30%	409	440	222

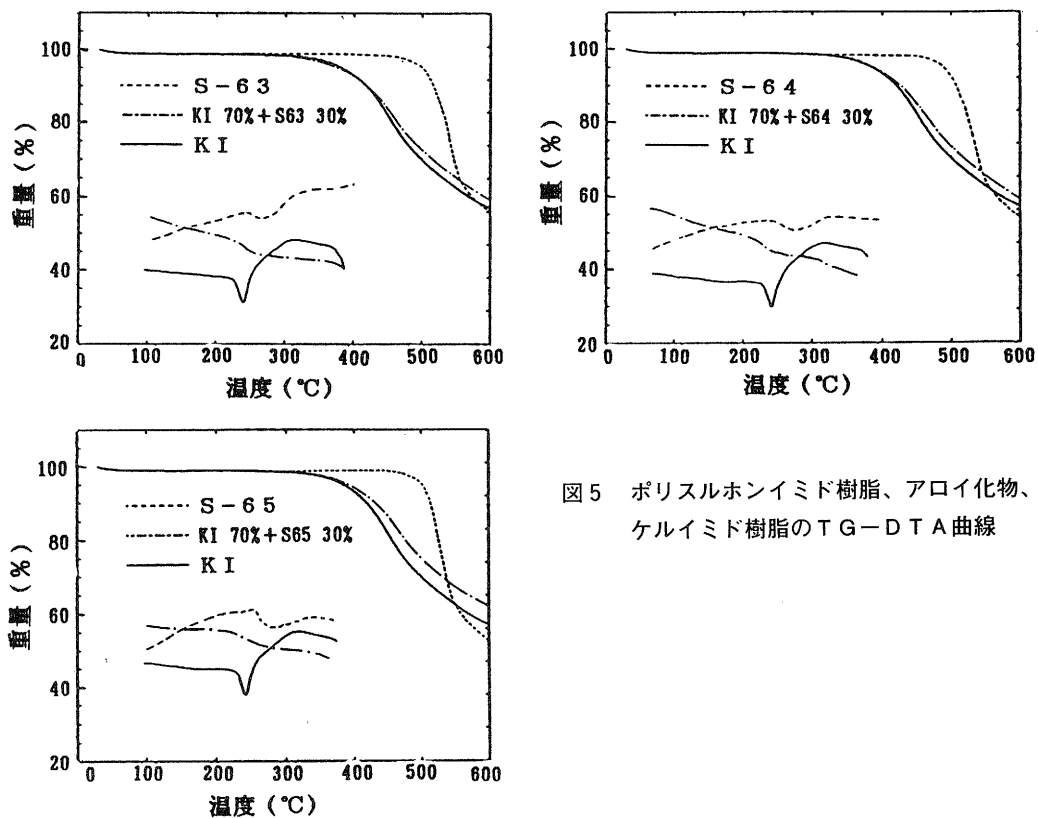


図5 ポリスルホンイミド樹脂、アロイ化物、ケルイミド樹脂のTG-DTA曲線

3-4 アロイの力学特性

アロイの力学特性に対するポリスルホンイミドの分子量の影響をみるため3点曲げ試験とアイゾット衝撃試験を行った。結果を表4に示す。また、S-63を用いてポリスルホンイミド樹脂の添加量が物性に与える影響について調べた結果を表5に示す。分子量、添加量に関係なくアロイ化により物性が低下していることがわかる。

試料の破断面を電子顕微鏡で観察すると(写真3)、多数の空孔が認められると同時に、2成分の相分離が認められ相溶性が悪いことが明らかとなった。この現象は後硬化後に顕著であった。従って物性の低下の原因として空孔の発生や相溶性の低さが考えられる。

空孔の残留については残留溶媒の他に樹脂の流動性が影響することが考えられる。表4で低分子量のS-63が、また、表5で作成方法4が比較的良好な結果を示したのも、乾燥過程による硬化を免れたケルイミドが存在するため、流動性が若干高かったとも考えられる。特に後硬化後に空孔が多く見られるのはその温度域ではポリスルホンイミドは流動性をほとんど示さないのに対してケルイミドは溶解、移行、合体を生じて相分離が拡大した可能性が高い。

いずれにしても、成形性の改善、相溶性の向上が今後の課題と考えられる。

表4 ケルイミド-ポリスルホンイミドアロイの力学特性(その1)
—分子量の影響—

試料	作成方法	曲げ強さ Kgf/mm ²	アイゾット値 J/mm ²
K I	1	18.01	19.45
K I 70% + S-63 30%	2	7.33	8.69
K I 70% + S-64 30%	2	5.43	4.43
K I 70% + S-65 30%	2	6.71	5.08

表5 ケルイミド-ポリスルホンイミドアロイの物性(その2)
—添加量、作成方法の影響—

試料	作成方法	曲げ強さ Kgf/mm ²	アイゾット値 J/mm ²
K I 100%	1	18.01	19.45
K I 95% + S-63 5%	4	10.15	9.95
K I 90% + S-63 10%	2	7.58	4.46
K I 80% + S-63 20%	4	8.47	12.11
K I 70% + S-63 30%	2	7.33	8.69
K I 50% + S-63 50%	5	7.22	4.81
S-63 100%		9.80	
K I 70% + S-63 30%	3	6.85	5.15

4. む す び

以上のように、ビスマレイミド樹脂とポリスルホンイミド樹脂のアロイ化について検討を行ったが、ビスマレイミド単独の成形方法については確立されてきた。しかし、そのアロイ化方法については、溶液混合後の残留溶媒の問題が残されたままになっている。残留溶媒は空孔の原因になるため、強度の低下を導く。今後は、より沸点の低い溶媒により混合をするなど、溶媒除去の方法や両樹脂の相溶性の問題についても検討する予定である。

謝 辞

本研究について御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。また試料およびデータの一部を提供していただいた新日本理化株式会社に感謝します。



写真3 アロイ化物の破断面

(K I 70%+S-63 30%：作成方法2)

本研究は、技術開発研究費補助事業（広域共同研究）の一貫として行ったものです。

[参考文献]

- (1) 南雲 隆、坂井英男：“耐熱高靱性熱可塑性複合材料の開発”、日本複合材料学会誌、15、5、P 194～200 (1989)
- (2) H.D.STENZENBERGER, W.ROMER, M.HERZOG and P.KONIG：“Toughened Bismaleimides：Modification with Thermoplastics”，33rd International SAMPE Symposium, March, P 7 - 10 (1988)
- (3) CHEN-RON LIN, WEN-LIANG KIU and JIANN-TSUN HU：“High Performance Thermoplastic Toughened BMI Matrix System”，34th International SAMPE Symposium, May, P 8 - 11 (1989)
- (4) 那須喜一、中村吉紀：“新樹脂を用いた繊維強化複合材料の物性に関する研究”、滋賀県工業技術センター研究報告、4、P 66～P 72 (1989)

プラズマ処理による高分子フィルムの 表面改質に関する研究

一 酸素プラズマ処理によるポリプロピレンフィルムと アルミニウム蒸着膜との接着性の向上 一

技術第二科 中村 吉紀 松本价三良
株式会社麗光 梅林 和美 桑原 信夫

あらまし：アルミニウムを蒸着したフィルムは食品用の包装資材などに多く用いられている。ここではポリプロピレンフィルムとアルミニウム蒸着膜との接着強度の向上を図るために、ポリプロピレンフィルムに対する酸素プラズマ処理の効果について検討した。圧力、放電電力、処理時間が接着強度に大きく影響した。SEM、ESCA をもちいて表面の解析を行ったところ、6秒のプラズマ処理で表面酸素量が0%から約15%に増加した。10分処理ではエッチングによる粗面化が認められた。一方、接着強度は数秒の処理では高くなったが、その後は低下する傾向にあり、酸素導入量とは逆の関係にあった。接着強度に及ぼす因子として、含酸素官能基の生成、ポリプロピレン主鎖の分解、粗面化によるアンカー効果などが考えられた。

1. はじめに

高分子の表面を改質する技術の一つにプラズマ処理がある。プラズマ処理の利点としては、1) 材料自体の特性を維持しつつ表面のみを変化させることができる、2) 乾式であり処理が容易である、3) 比較的短時間の処理で大幅な改質が期待できる、等が挙げられる。プラズマ処理はぬれ性、接着性、塗装性、印刷適性、染色性等の向上を目的に、種々の用途で検討されている。ここでは食品用の包装材料として多く用いられているアルミニウム蒸着ポリプロピレンフィルムをとり上げ、ポリプロピレンフィルム (PP フィルム) とアルミニウム蒸着膜との接着強度の向上を目的に、PP フィルムに対する酸素プラズマ処理の効果について検討を行った。

PP フィルムのプラズマ処理についてはいくつかの研究がなされている。特にアルミニウム蒸着膜との接着性に注目したものとしては、Friedrich ら¹⁾、および André ら²⁾の研究がある。さらにプラズマ処理におけるポリエチレンと PP の違いについても知られている。³⁾

ここでは、無延伸 PP フィルムを各種条件下で酸素プラズマ処理したのち、アルミニウムを真空蒸着し蒸着フィルムを作成した。蒸着フィルムの接着強度を測定し、処理条件と接着強度との関係を調べた。また、プラズマ処理によるフィルム表面の変化を走査型電子顕微鏡および X 線光電子分光分析装置で調べ、接着強度との関係について考察した。また、いくつかの剝離界面についても解析を行った。

2. 実 験

2-1 試 料

PP フィルムは二村化学(株)製の表面処理をしていない無延伸フィルム (25 μ m) を用いた。後述する理由によりロールから採取したものをそのまま用いた。

ガスは京都帝酸(株)製の超高純度酸素ガス (6 N) を用いた。

蒸着源のアルミニウムは三菱化成(株)製のアルミニウム線 (1.5mm ϕ 、99.9%) を約10mmに切って用いた。

2-2 プラズマ処理

プラズマ処理装置は(株)サムコインターナショナル研究所製プラズマ重合装置 PD-2 を用いた。処理条件を以下に示す。

R F 電 源：13.56MHz

電 極：容量結合型内部電極

電極間距離：17mm

基 板 径：150mm ϕ

基板温度：20 \pm 3 $^{\circ}$ C

放 電 電 力：5 ~ 20Watt

処 理 時 間：1 秒 ~ 15分

圧 力：0.01 ~ 3.0Torr

基板の上にフィルムを置き、 5×10^{-5} Torr 以下に減圧した後、酸素ガスを導入して放電処理を行った。

2-3 アルミニウム蒸着

プラズマ処理したフィルムを一旦大気中に取り出し、2時間以内に真空蒸着装置に移しアルミニウムの蒸着を行った。使用した装置および条件は以下の通りである。

装 置 名：徳田製作所(株)製真空蒸着装置

膜 厚 計：日本真空技術(株)製 DTM-4 型

膜 厚：400 \pm 50 \AA

圧 力： 5×10^{-5} ~ 1.5×10^{-4} Torr

2-4 接着強度の測定

蒸着後3日間室温で保存した後、蒸着フィルムのアルミニウム面に、ウレタン系の接着剤を約2 μ の厚さに塗布したPETフィルム (ダイヤホイル(株)製、25 μ m) を張り合わせた。24時間硬化させた後、長さ15cm \times 幅15mmに切断し、下記の装置によりT型の剝離試験を行い接着強度を求めた。剝離に要した荷重 (g/15mm) を接着強度とし、本文中では便宜上単にgで示した。

装 置：(株)米倉製作所製 YS10K 型電子式万能試験機

剝 離 速 度：300mm/min

2-5 表面の解析

SEM はプラズマ処理したフィルム表面を Au-Pd でコートし、(株)日立製作所製走査型電子顕微鏡 S-650で観察した。

X線光電子分光分析 (ESCA) はプラズマ処理後フィルムを一旦大気中に取り出し、2時間以

内に真空チャンバー内に移して行った。

装置名：(株)アルバックファイ ESCA Model 5400

X線源：Mg K α 400W

3. 結 果

3-1 プラズマ処理条件と接着強度

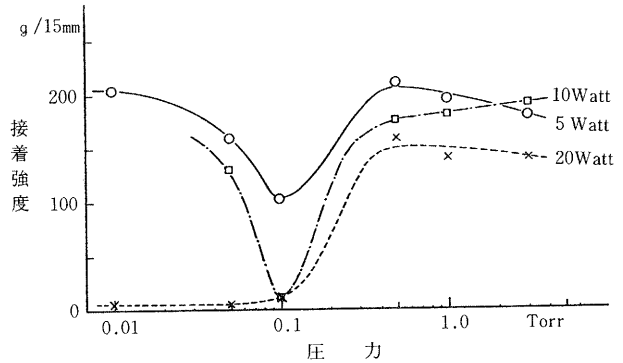
酸素プラズマ処理条件のうち、圧力、放電電力、処理時間がPPフィルムとアルミニウム蒸着膜との接着性に及ぼす効果について調べた。

(1) 圧力および放電電力の効果

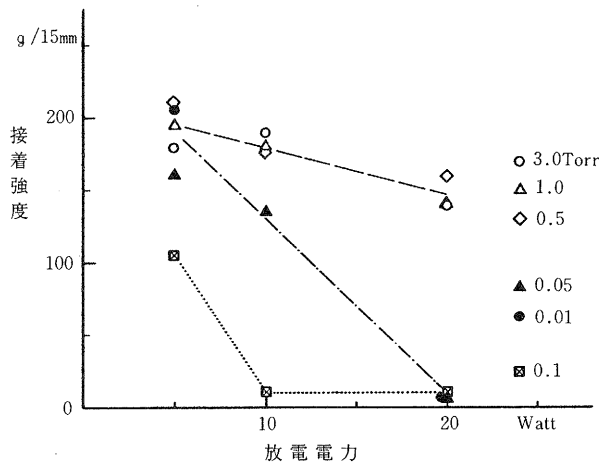
処理時間を1分に固定した時の圧力および放電電力の効果を図1に示した。図1(a)において5 Watt および10Watt では極小点が存在し、0.1Torr 付近で接着強度が最低となった。0.1Torr で低くなる傾向は放電電力が大きいほど強く、10Watt や20Watt では未処理フィルムのみ (10 g) の接着強度しか得られなかった。特に20Watt の場合には0.1Torr 以下においても10 g 以下のままであった。

同じ結果を放電電力との関係で見たのが図1(b)である。放電電力が大きくなるほど接着強度は低下した。圧力によって3つのグループに分けることができる。0.1Torr より高い圧力では5 Watt に対する20Watt での接着強度の低下率は約25%にとどまったのに対し、0.1Torr では10Watt においてすでに約95%も低下していた。0.1Torr より低い圧力では、その中間の低下率を示した。

プラズマ処理時の圧力と処理効果との関係において、0.1Torr 近辺が特徴的な効果を示すことは、ポリエチレンやポリテトラフルオロエチレンについても知られている。⁴⁾すなわち、両樹脂とも0.1Torr 付近でぬれ性や接着性が最大になり、これより圧力が高くて低くても効果は低下することから、0.1Torr 付近でプラズマ処理の影響が最も大きく現れると考えられてい



(a) 圧力と接着強度の関係



(b) 放電電力と接着強度の関係

図1 酸素プラズマ処理条件とPP/アルミニウム蒸着膜の接着強度との関係 (処理時間：1分)

る。しかしながら、今回のPPの場合には接着強度は0.1Torr付近で最も低くなるという結果が得られた。

(2) 処理時間の効果

1分処理で約200gの接着強度を与えた処理条件である1.0Torr、5Watt（以下「1T/5W」と記す）と、10gの強度を与えた処理条件である0.1Torr、20Watt（以下「0.1T/20W」と記す）の二つの場合について、処理時間と接着強度との関係を図3に示す。未処理が8gであるのに対して、1T/5Wでは1～10秒と言った短時間の処理でも200g以上の高い接着強度が得られた。その後多少の変動はあるが減少した後、2分以降は徐々に増加した。0.1T/20Wの場合には、1～2秒で約200gであったのが、10秒では大幅に低下し未処理と同じレベルになった後、再度上昇した。このようにプラズマ処理の効果は、後者の場合の方がより急激な変化として現れていた。

Friedrichらは、アルミニウム蒸着膜の接着強度に及ぼすPPフィルムのプラズマ処理時間の影響について、5分まで漸次増加し約2倍になった後減少し13分頃から再度増加に転じるとしている。¹⁾一旦減少の後再度増加する現象は彼らの結果と同じであったが、短時間での挙動は一致しなかった。数秒の処理でも接着強度が著しく増加した今回の結果は、むしろ Andréらの報告に類似していた。それによると窒素プラズマ処理ではあるが、7秒は無論のこと、0.69秒や0.023秒と言った瞬間的な処理でも十分な接着強度が得られるとされた。²⁾

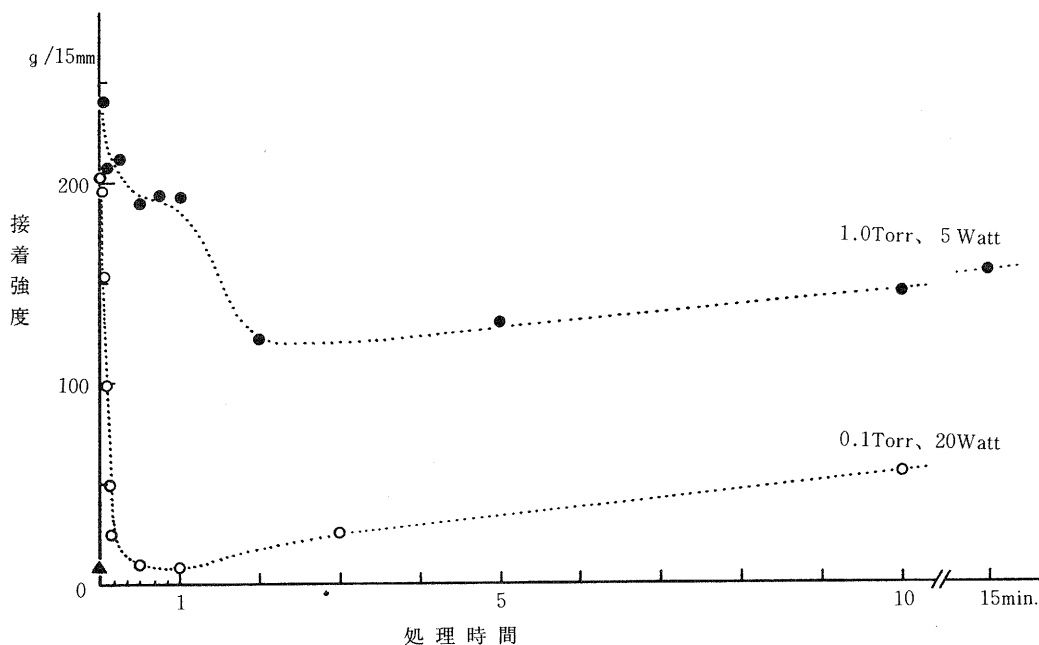
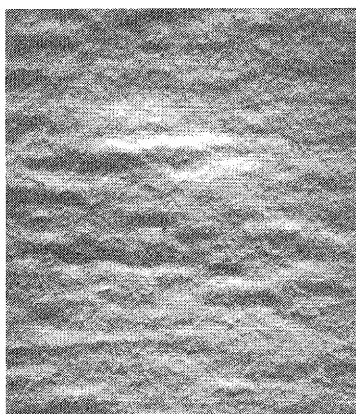
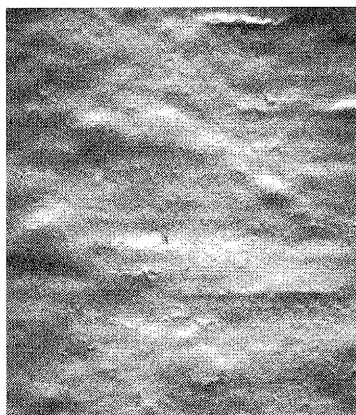


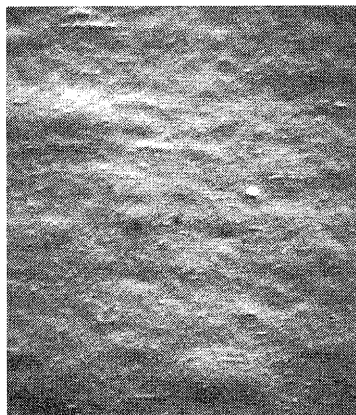
図2 酸素プラズマ処理時間とPP/アルミニウム蒸着膜の接着強度との関係 (▲は未処理)



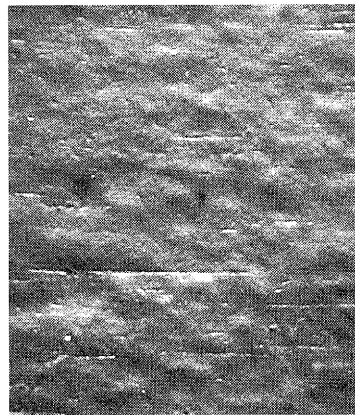
① 未処理



② 0.1 min.

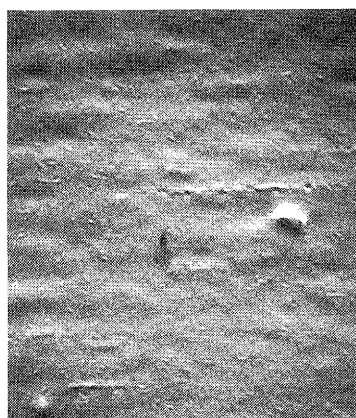


③ 1.0 min.

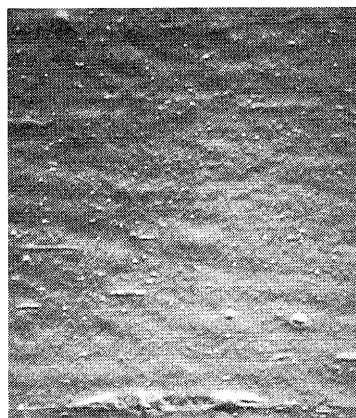


④ 10 min.

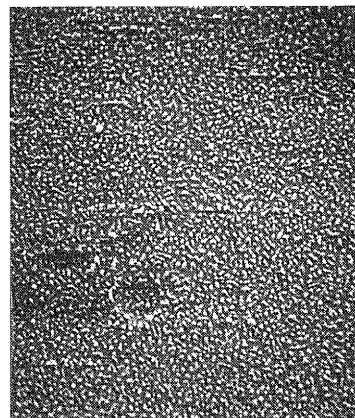
プラズマ処理条件：1.0 Torr、5 Watt



⑤ 0.1 min.



⑥ 1.0 min.



⑦ 10 min.

プラズマ処理条件：0.1 Torr、20 Watt

写真1 酸素プラズマ処理したPPフィルム表面のSEM写真

3-2 SEMによる表面観察

SEMを用いてプラズマ処理したフィルム表面の形態を調べた(写真1)。1 T / 5 Wで処理時間を0.1、1.0、10分と変えたもの(1-②~1-④)、および0.1 T / 20 Wで同様に時間を変えたもの(1-⑤~1-⑦)について示す。写真1-⑦に示すように、0.1 T / 20 Wの10分処理では、未処理フィルム(1-①)には見られない粒状の突起物(大きさ約 $0.15 \mu\text{m}$ 以下)が多数存在した。また、このフィルムは外観上も表面がわずかに白濁しており、さらにこれを用いた蒸着フィルムもアルミニウムの部分に変色していた。一方、その他のフィルムは外観上は未処理と全く変わらなかった。この粒状構造の出現はプラズマ処理条件と関係があり、1 T / 5 Wよりは0.1 T / 20 Wの方が、また処理時間が長いほど多くなる傾向があり、いわゆる粗面化が進行した。表1に各写真から判定した粒状構造の出現密度(個数/ $10 \mu\text{m}^2$)を示す。

PPの酸素プラズマ処理により同様の構造が出現することはGartonらによって報告されている。⁵⁾それによると、このような構造は本来存在する構造がエッチングによって露出したものではなく、部分的にエッチングされたPP表面のrestructuringによって生じたものであると考えられた。

3-3 ESCA

(1) 予備実験

未処理PPフィルムのロールから採取したものと、それをアセトンに3日間浸漬した後さらにアセトン中で超音波洗浄したものの2つについて測定したところ、いずれの場合も炭素のピークしか示さず、酸素や他の元素のピークは認められなかった。したがってプラズマ処理には、ロールから採取したものをそのまま使用した。

次に酸素プラズマで処理したPPフィルムの表面分析を行った。炭素の他に酸素のピークが認められ、表面が酸化されていることが確認された。しかしながら、酸素のピーク強度はESCA測定中に連続的に減少

し、測定時間によって表面酸素量(O/C、%)に大きな差が生じた。その様子を図3に示す。酸素の減少は特に測定開始直後に大きい。そのため測定条件を一定とし、表面酸素量として図3のようなX線連続照射のグラフにおいて時間0に外挿して求めた値と、30分照射後の値の二つで示した。なお、X線を連続照射した場合に比べ、ESCAの測定

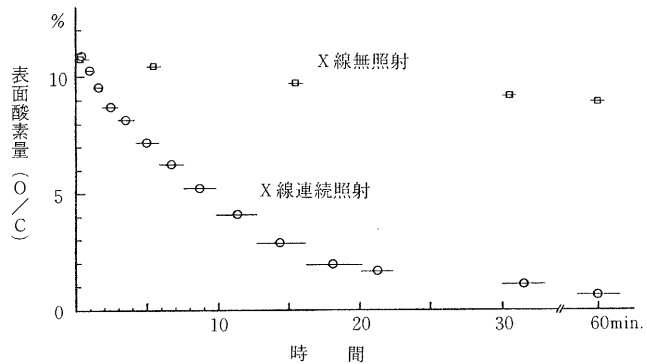


図3 酸素プラズマで導入されたPP表面の酸素のX線照射(ESCA)による変化
(—○—はESCAの測定時間)

時のみ短時間照射した場合には、酸素の減少が少ないことから、表面酸素量の減少の原因はX線照射にあることが分かった。

また、酸素の減少と同時に図4に示すようにC1sの高エネルギー側のショルダーピークも漸次減少したことから、プラズマ処理によりPPフィルム表面に生成した含酸素官能基が、X

線照射により減少することが明らかになった。X線エネルギーによる官能基の分解脱離や反転⁶⁾などが生じていることが考えられる。

(2) プラズマ処理条件と表面酸素量

プラズマ処理条件の異なる試料（1 T/5 Wおよび0.1 T/20 W）の表面酸素量を表1

に示す。O/Cは未処理では0%であるのに対して、1 T/5 Wの0.1分処理でも14.7%であった。1 T/5 WではO/Cは処理時間に関係なくほぼ一定で、0.1 T/20 Wでは処理時間が長くなるほど高くなる傾向にあった。最も強い条件と考えられる0.1 T/20 W、10分処理のものでは、1 T/5 Wに比べ約2倍の酸素が導入されていた。このO/Cの増加はSEM観察で見られたエッチングの進行と相関していた。またX線照射30分後のO/C値を見ても同様の結果が得られており、1 T/5 Wでは1%弱であるのに対して、0.1 T/20 Wの1分以上の処理では約5%と高かった。

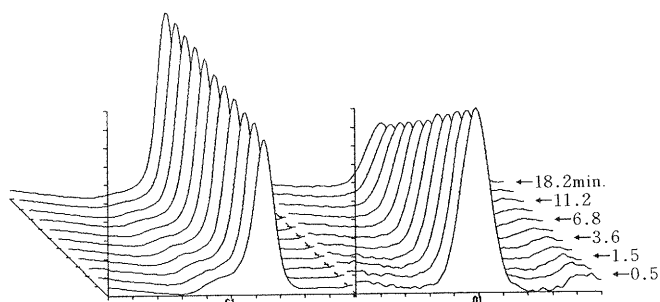


図4 X線照射によるC 1s、O 1sのピーク形状の変化（時間はX線の照射時間）

表1 プラズマ処理条件と表面分析結果および接着強度との関係

処 理 条 件		未処理	1 Torr、5 Watt			0.1Torr、20Watt		
処理時間 (min.)			0.1	1.0	10	0.1	1.0	10
粒状構造物の個数 (個/10 μm ²)		0	(2.4)*	(3.8)	8	(4.9)	30	368
表面酸素量 (O/C、%)	X線0 min.	0	14.7	15.5	15.0	14.3	22.6	29.5
	X線30 min.	0	0.82	0.87	0.91	1.36	4.85	5.05
接着強度 (g/15mm)		8	208	193	145	105	10	55

* ()は明瞭な粒状構造になっていないことを示す。

3-4 剥離界面の状態

写真2に剥離界面の状態を示す。接着強度の低い未処理、0.1 T/20 Wの1分および10分の試料では、外観上はPPとアルミニウムの界面で剥離していた。一方、接着強度の高い1 T/5 Wの試料では、程度の差はあるがPP側にも非PP側（台紙としてPETフィルムを用いている）にもアルミニウムが認められた。従って外観上はアルミニウム蒸着膜の部分で破壊しているように見受けられた。前者の例として、0.1 T/20 Wで1分、後者の例として1 T/5 Wで1分処理した試料について、PP側、非PP側の面をESCAで測定した。結果を表2に示す。

接着強度の弱い0.1 T/20 W、1分の場合、PP側は目視の結果と同様アルミニウムは全く認められず、炭素98.7%、酸素1.3%であった。一方、非PP側においては目視でアルミニウム層が認められたにもかかわらず、ESCAでは90%以上が炭素で、アルミニウムは3.6%にすぎなかつ

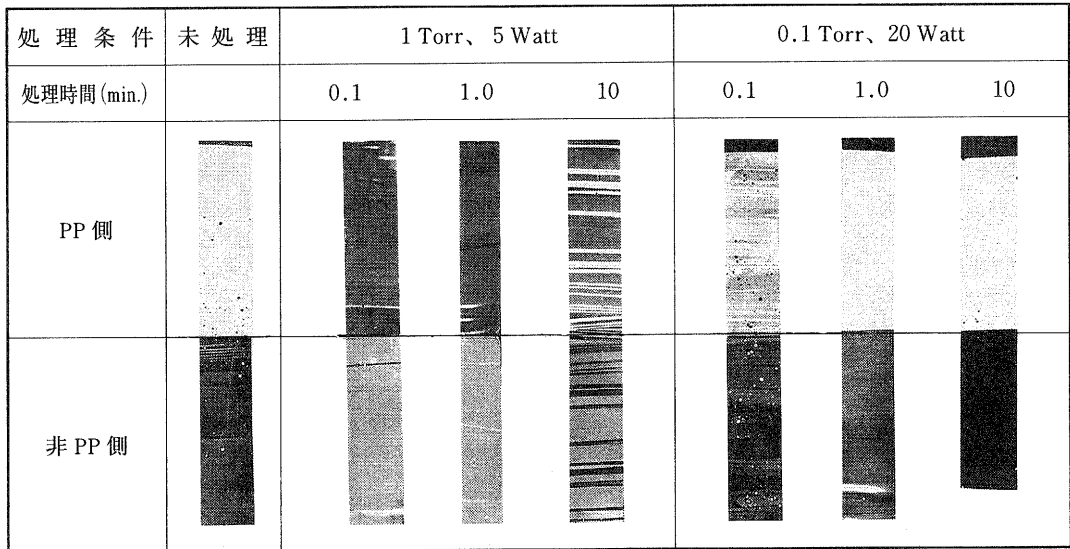


写真 2 剥離界面の状態

た。また、プラズマ処理後の PP 表面の酸素量 (O/C) が 22.6% であったにもかかわらず、剥離面では PP 側で 1.3%、非 PP 側でも 1.4% (全酸素 5.4% から Al 2p の酸化物ピークを Al₂O₃ によるものとし、その酸素を差し引いた値) とかなり少ないことも考え合わせると、剥離は PP/アルミニウム

界面で起こったのではなく、主として界面よりいくらか PP 側に入った所で起き、酸化された PP の最表面の大部分はアルミニウム側に移行したものと考えられた。

一方、接着強度の強い 1 T/5 W の場合、PP 側のアルミニウム量が 20% で、非 PP 側のそれが 5% であり、目視で PP 側にアルミニウムが多かった結果と一致した。

表 2 剥離界面の ESCA 分析

処理条件	分析面	原子数 (%)		
		C	O	Al
1 Torr 5 Watt 1 min.	PP 側	46.2	33.4	20.4
	非 PP 側	75.3	19.6	5.1
0.1 Torr 20 Watt 1 min.	PP 側	98.7	1.3	0
	非 PP 側	91.0	5.4	3.6

4. 考 察

図 2 および表 1 の結果を次の 3 段階に分けて考えた。

第 1 段階は、プラズマ処理開始から 1～2 秒までの期間である。未処理の接着強度が 8 g であるのに対して、1 T/5 W の場合で 240 g、0.1 T/20 W の場合で 200 g と急激な上昇が見られた。

第 2 段階は 1～2 秒経過後から 1～2 分までの期間である。1 T/5 W では表面酸素量は約 15% と一定であったが、接着強度は第 1 段階の約 1/2 に低下した。0.1 T/20 W では表面酸素量は 14% から 23% まで増加したにもかかわらず、逆に接着強度は 200 g から 10 g まで大幅に低下した。この低下した試料では、フィルム表面に粒状の構造が出現してきており粗面化が起きていた。

第 3 段階は処理開始後 1～2 分以降である。表面酸素量は同じか増加傾向にあり、0.1 T/20 W、

10分処理では30%近くにも達した。それと共に接着強度は徐々に増大する傾向にあった。この場合表面の粒状構造も著しく増えたことから、この段階の接着強度の回復の原因の1つとして、Friedrichらが報告している粗面化によるアンカー効果が考えられる。

圧力の効果でも述べたように、ポリエチレンなどでは0.1Torrでプラズマ処理の影響が最も大きく現れることが知られている。今回の場合も1T/5Wよりは0.1T/20Wの方が酸素導入量が多く、プラズマエッチングによる粗面化も進んでおり、いわゆるプラズマ処理の影響は大きくなっていると言える。しかしながら、アルミニウム蒸着膜との接着強度を見る限りでは、処理効果が大きい程接着強度は逆に低下する傾向にあった。

これらの現象について、剝離界面の解析結果や文献から、おおよそ次のような機構を推定した。すなわち、ポリオレフィンの場合プラズマ処理により表面にラジカルが生じる。⁴⁾このラジカルはポリエチレンではCASING (Crosslinking with Activated Species of Inert Gases) 機構により主に架橋反応を起こすのに対して、PPでは官能基の導入と平行して主鎖の分解を起こすと考えられる。³⁾時間的なプロセスで見ると、1T/5Wの弱い条件下では数秒間の処理では含酸素官能基の導入が支配的で接着強度が大幅に上昇する。その後は主鎖の分解の影響が現れ一旦130gまで低下するが、その後エッチングの効果により若干回復する。0.1T/20Wの強い条件下では、官能基の導入よりも分解の方が大きく影響するため、時間とともに表面酸素量が増加するにもかかわらず、接着強度を大きく低下させる。さらに処理を続けると粗面化の効果により接着強度はいくぶん増加する。主鎖の分解が大きい場合には、表面に新たにWBL (Weak Boundary Layer) が形成されやすくなるため、たとえ官能基が導入されてアルミニウムとの反応性が向上したとしても、剝離試験での強度は上昇しなかったものと考えられる。

従来、ポリエチレンテレフタレートやポリイミドでは、プラズマ処理が進行し含酸素官能基が増加するとともに金属蒸着膜との接着強度は上昇すると報告されており、^{7,8)}今回のPPフィルムでは逆の結果が得られたことになる。

5. ま と め

PPフィルムとアルミニウム蒸着膜との接着強度の向上を目的に、PPフィルムに対する酸素プラズマ処理の効果について検討を行い、以下の結果を得た。

1) 処理条件が接着強度に大きく影響した。未処理の接着強度が8gに対して、最高で240g、最低で6gであった。放電電力が低い方ほど接着強度は高くなった。0.1Torr付近で接着強度が最低となり、それより低い圧力、それより高い圧力の順で接着強度が高くなった。

2) PPのプラズマ処理においては次の3つのプロセスが考えられた。

〔第1段階〕 1～2秒の処理でも接着強度は飛躍的に増大した。その理由として急速な含酸素官能基の導入が考えられた。

〔第2段階〕 1～2秒から1～2分までは接着強度は低下した。これは界面の分析結果などから、PP特有の主鎖の分解によるWBL層の生成によるものと推定された。

〔第3段階〕 1～2分以降は徐々にではあるが接着強度は再度上昇した。この再上昇は粗面化によるものと考えられた。特に強い処理条件下ではサブミクロン大の粒状構造が処理表面に多数出現した。

3) 酸素プラズマで生成した含酸素官能基は ESCA の X 線に対して不安定であった。

謝 辞

本研究について御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）に感謝します。

[参考文献]

- (1) J. FRIEDRICH, I. LOESCHCKE und J. GAHDE: "Zur Adhasion von Aluminium auf Polypropylen", Acta Polymerica, **37**, 11/12, P 687~695 (1986)
- (2) V. ANDRÉ, F. AREFI, J. AMOUROUX *et al.*: "In-situ Metallization of Polypropylene Films Pre-treated in a Nitrogen or Ammonia Low-pressure Plasma", Thin Solid Films, **181**, P 451~460 (1989)
- (3) 稲垣訓宏: "接着のためのプラズマ処理の進展", 化学工業, **46**, 6, P 497~505 (1990)
- (4) 長田義仁ら, : "プラズマ無合", 東京化学同人, P 248, 256 (1986)
- (5) A. GARTON, P. Z. STURGEON *et al.*: "Plasma Etching of Polypropylene Films and Fibres", J. Mat. Sci., **13**, P 2205~2210 (1978)
- (6) 多留康矩、高岡 京: "プラズマ処理によりポリプロピレン表面に生成した極性基の反転", 高分子論文集, **43**, 6, P 361~367 (1986)
- (7) 中前勝彦、谷川 聡、石川雅彦: "高周波プラズマ処理された高分子フィルムと蒸着金属薄膜との接着性", 日本接着学会年次大会講演要旨集, **28**, P 113~114 (1990)
- (8) 谷川 聡、中前勝彦、松本恒隆: "ポリイミド表面の高周波プラズマ処理と蒸着金属薄膜との接着性", 高分子論文集, **47**, 1, P 41~48 (1990)

高圧を利用した創造的新食品の 開発に関する研究（第二報）

—漬物の保存に関する考察—

技術第二科 松本 正

あらまし：現在市販の漬物の多くは、保存性をよくするため加熱殺菌が施されているが、物性や風味が変化するという問題がある。そこで漬物の新しい殺菌法を開発する目的で、醤油もろみ漬けとしば漬けに室温で300～700 MPaの加圧処理を施した後、20℃で保存試験を実施し、微生物生菌数、pH、色、臭い、有機酸、アミノ酸等の変化を無処理や80℃あるいは85℃の加熱処理と比較検討した。その結果、両方の漬物とも無処理と300 MPa処理では保存により5日目から微生物が増殖し、pH、色、臭い等が変化し腐敗したが、400 MPa以上の加圧処理は20℃、20日間の保存によっても微生物菌数、pH、色、臭い等の著しい変化が観察されず、従来の加熱処理と同等の保存性効果が認められた。昨年の研究で明らかになった加圧処理はこれらの漬物の風味や物性を変化しないという結果と併せて、400 MPa以上の加圧処理は漬物の新しい殺菌法として有効であり、十分に活用できることが明らかになった。

1. はじめに

最近わが国の食生活は高級志向、本物志向の傾向が進み、食品業界では消費者の興味や動向に対応した美味しく、健康的で安全な新製品の開発が必要になっている。そして、このことは県内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年度から、高圧下においてタンパク質が変性したり、微生物が死滅する現象を食品の加工や保存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2～10参照）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。

昨年度の研究で漬物に高圧処理を適用する場合、その種類により適・不適があり、主に野菜の保存的な漬物に対し効果があるという結果を得たが^(7～9)、保存試験による詳しい保存性効果の検討が未着手であった。

本研究報告では、食品の加工や保存において優位な特徴が数多く報告されている^(11～18)高圧を主に漬物の保存へ応用し、現代の消費者ニーズに対応する製品を開発したり、製造工程を改善する目的で実施した検討結果を報告する。

* 本研究の一部は、平成2年8月30日～31日に国立京都国際会館で開催された「第3回生物関連領域における高圧科学研究会シンポジウム」および平成3年3月31日に立命館大学で開催された「日本農芸化学会平成3年度大会」で発表した。

なお、圧力の単位には、気圧、kgf/cm²、bar（バール）、Pa（パスカル）等があり、我々が馴染みやすいのは気圧であるが、現在、国際的にはSI単位であるPaの使用が推奨されており、本報告書においては「Pa」を使用して記述した。

2. 実験材料

2-1 漬物

本研究には次の漬物を使用した。

- ①醤油もろみ漬け（塩分濃度 6.6%、pH4.8）
- ②しば漬け（塩分濃度 5.1%、pH4.0）

2-2 試薬等

試薬はすべて特級品を用いた。

3. 実験方法

3-1 試料の調製

加圧処理する漬物は、ポリエチレンやポリ塩化ビニリデン等の柔軟な袋に封入した。袋内には極力空気が残存しないように努めた。

生菌数測定とpHの測定には、漬物をホモジナイザー（日本精機(株)製AM型）により無菌的に粉砕し用いた。

有機酸とアミノ酸の測定には、粉砕した漬物を80℃で10分間加熱することにより除タンパク質を行い、希釈して用いた。

3-2 高圧処理^(21~22)

加圧処理は、食品用高圧試験装置（三菱重工業(株)製MFP-7000型）により行った。本装置の高圧容器内容積は約500mlであり、これに蒸留水を満たしたうえで袋に封入した試料を入れ、最高700MPaまで加圧した。加圧に要する時間は500MPaで約60秒、700MPaでは約90秒であった。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すことにより行った。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。

3-3 保存方法

恒温恒湿器（タバイエスペック(株)製LHU-112型）を用い、20℃で実施した。

3-4 生菌数測定

混釈平板培養法により測定した。培地として、酵母にはクロラムフェニコールを添加（20mg/1）したYM寒天培地、一般生菌には標準寒天培地を用いた。

3-5 pHの測定

コンパクトpHメーター（(株)堀場製作所C-1型）を用い行った。

3-6 物性測定⁽²³⁾

加圧処理した漬物は、テクスチュロメーター（(株)全研製GTX-2-IN型）を用い、次の方法で測定した。

漬物を厚さ3mmに調整し、試料皿上に置き、φ3mm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（N）とした。

3-7 有機酸分析

高速液体クロマトグラフ（株島津製作所製 LC-6A型）および有機酸分析用カラム SCR-101Hを用い、溶離液には過塩素酸で pH 2.1に調整した水を使用し分析した。分離された有機酸の検出は210 nm の紫外吸収で行った。

3-8 アミノ酸分析

アミノ酸分析装置（株日立製作所製835型）を使用し実施した。分析はリチウム系緩衝溶液を用い、生体アミノ酸分析法により実施した。

3-9 色の測定

測色色差計（日本電色工業株製 SZ-Σ80型）を用い測定した。測定した色は Lab 法で表示した。

3-10 官能検査

漬物メーカーおよび当所職員併せて 3~10名による試食により実施した。

4. 実験結果

4-1 高压処理による醤油もろみ漬けの保存効果⁽¹⁰⁾

高压処理による醤油もろみ漬けの保存性向上効果を加熱処理と比較するため、醤油もろみ漬けを、300、400、500、700 MPa でそれぞれ10分間加圧処理したもの、80℃で10分間加熱処理したもの、無処理のものそれぞれ数サンプルずつ20℃の恒温槽に入れ、5日毎の生菌数、pH、有機酸、アミノ酸、色等の変化を調べた。

4-1-1 生菌数の変化

Fig. 1 に、保存過程における一般生菌数の変化を示す。400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では、処理直後 10^3 オーダー以下に一般生菌が減少し、残存菌はすべて耐熱性の芽胞菌であった。

これらは20日間の保存によっても、最大10倍以内の増加にとどまった。これは塩分濃度が比較的高く、pH も 5 以下であるため芽胞菌が残存しているものの、このような環境では増殖し

にくいと思われる。これに対し、300 MPa 処理では保存により無処理と同様に一般生菌が大きく増加した。これは300 MPa 処理では芽胞菌以外に乳酸菌等の増殖しやすい細菌が残存し、保存により増殖したものと思われる。なお、無処理の試料のデータが15日目までしかないのは、16日目でパックが膨張破裂したためである。

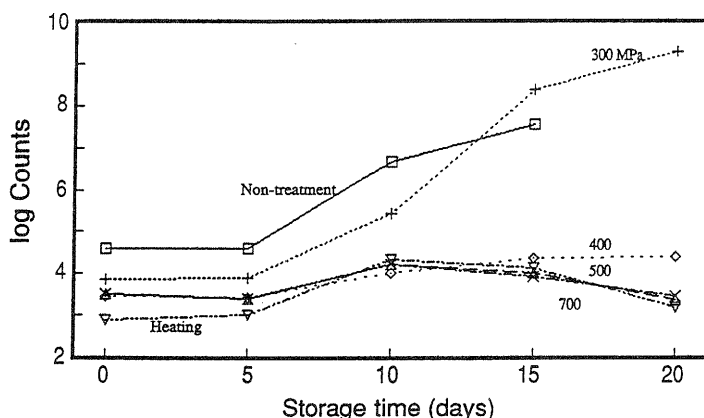


Fig.1. Changes in survival of bacteria of "Shoyu-moromizuke" pickles during storage at 20°C. "Shoyu-moromizuke" pickles was stored at 20°C for 20 days after pressure treatment at 300, 400, 500 and 700 MPa for 10 min, or heat treatment at 80°C for 10 min. Survival of bacteria during storage was measured. Ordinates show logarithmic survival (counts/g) of bacteria.

Fig. 2 に、保存過程における酵母の変化を示す。酵母は400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では処理直後ほとんど陰性になった。20日間の保存により400 MPa 処理では1グラム当たり50個まで増殖したが、500 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では酵母は死滅しており全く増殖しなかった。なお、1グラム当たり50個という数値は漬物の保存にとって全く影響のない量である。これに対し、300 MPa 処理では処理直後でも 10^2 オーダーの酵母が残存し、20日間の保存により無処理と同様に大きく増殖し、パックを膨張させた。

4-1-2 pH の変化

Fig. 3 に保存過程におけるpH の変化を示す。400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では20日間保存してもpHに変化はみられなかった。これに対し、無処理と300 MPa 処理では10日目からpHが低下しだした。これは、乳酸菌の増殖により乳酸が生成したためと考えられる。そこで次に有機酸の変化を調べた。

4-1-3 有機酸の変化

Fig. 4 に保存過程における乳酸の変化を示す。400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では20日間の保存によっても乳酸の量に大きな変化はみられなかった。一方、無処理と300 MPa 処理では10日目から乳酸が大きく増加した。

Fig. 5 に保存過程におけるこはく酸の変化を示す。こはく酸も400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では変化しなかったが、無処理と300 MPa 処理では乳酸とは逆に10日目から減少した。これらの有機酸の変化は微生物の増殖傾向と一致しているため、微生物の増殖による代謝が原因で

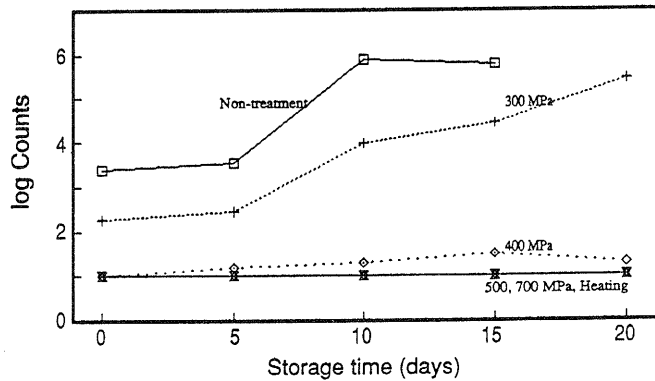


Fig. 2. Changes in survival of yeasts of "Shoyu-moromizuke" pickles during storage at 20°C. Ordinates show logarithmic survival (counts/g) of yeasts. See Fig. 1 for details.

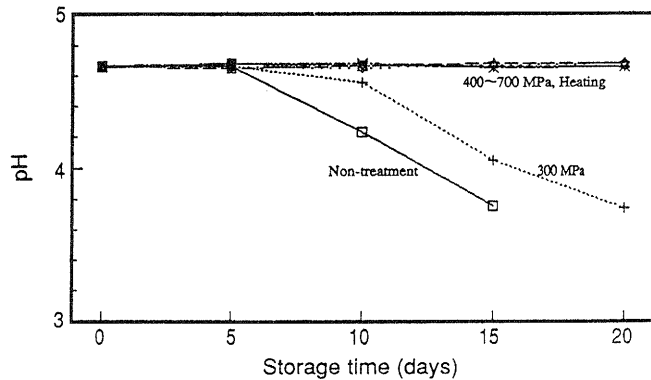


Fig. 3. Changes in pH of "Shoyu-moromizuke" pickles during storage at 20°C. See Fig. 1 for details.

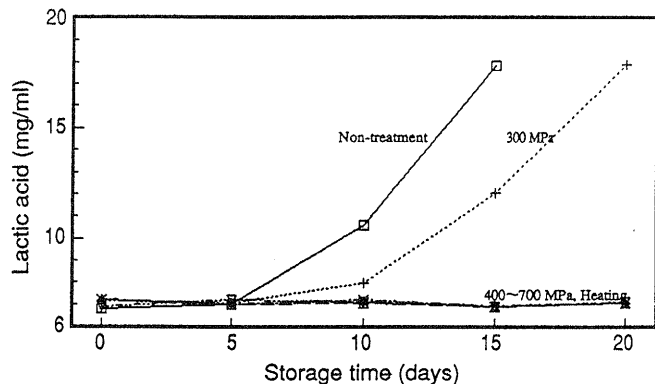


Fig. 4. Changes in lactic acid of "Shoyu-moromizuke" pickles during storage at 20°C. See Fig. 1 for details.

あると考えられる。

その他の有機酸についても同時に分析を実施したが、いずれの試料においても大幅な変化は認められなかった。

4-1-4 色の変化

次に保存15日後の色の変化を保存前と比較した。その結果、Table 1 に示すとおり無処理と300 MPa 処理では15日間の保存により、L 値 (明度)、a 値 (赤色度)、b 値 (黄色度) ともに増加したが、400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理ではほとんど変化しなかった。無処理と300 MPa 処理では微生物の増殖による代謝産物の蓄積や pH の変化等により色が変化したものである。

4-1-5 その他の特性の変化

保存15日後の外観、臭い、味の変化を保存前の同一処理品と比較した結果を Table 2 に示す。変化は官能検査法で調べた。その結果、400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では、外観、臭い、味とも大きな変化はみられなかった。しかし、無処理と300 MPa 処理では三者とも著しい変化が認められた。

4-1-6 遊離アミノ酸の変化

保存15日後の遊離アミノ酸量を測定したところ、400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では有為な変化はみられなかったが、無処理と300 MPa 処理では遊離アミノ酸濃度が全体的に約 5% 低下した。これは、微生物の増殖により菌体内に取り込まれたものと考えられる。

4-1-7 結 論

以上のように400 MPa 以上の加圧処理は醤油もろみ漬けに対し、保存過程における生菌数、pH、有機酸、アミノ酸、外観、臭い、味等いずれの特性の変化をみても従来より実施されている加熱処理と同等の保存性効果があることが分かった。

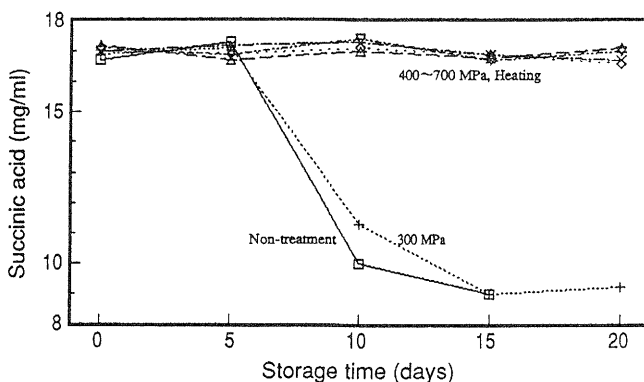


Fig. 5. Changes in succinic acid of "Shoyu-moromizuke" pickles during storage at 20°C. See Fig.1 for details.

Table 1. Changes in color of "Shoyu-moromizuke" pickles after storage at 20°C for 15 days. "Shoyu-moromizuke" pickles was stored as described in Fig.1. and colors of pickles were compared before and after storage.

	0 day			15 days		
	L	a	b	L	a	b
Values of color						
Non-treatment	9.7	3.6	3.2	13.8	6.4	6.0
300 MPa, 10 min	9.4	3.5	3.0	12.3	5.2	4.6
400 MPa, 10 min	9.7	3.4	3.2	9.8	3.4	3.2
500 MPa, 10 min	9.6	3.5	3.2	9.7	3.5	3.1
700 MPa, 10 min	9.6	3.5	3.1	9.6	3.6	3.0
80°C, 10 min	9.7	3.6	3.0	9.6	3.7	3.0

Table 2. Changes in appearance, odor, and taste of "Shoyu-moromizuke" pickles after storage at 20°C for 15 days. "Shoyu-moromizuke" pickles was stored as described in Fig.1. and appearance, odor, and taste were compared before and after storage. ○ : not changed × : changed

	No	300MPa	400MPa	500MPa	700MPa	80°C
Appearance	×	×	○	○	○	○
Odor	×	×	○	○	○	○
Taste	×	×	○	○	○	○

4-2 高圧処理によるしば漬けの保存効果

醤油もろみ漬けと同様に高圧処理によるしば漬けの保存性向上効果を加熱処理と比較するため、しば漬けを300、400、500 MPa でそれぞれ10分間加圧処理したもの、85℃で20分加熱処理したもの、無処理のものそれぞれ数サンプルずつを20℃の恒温槽に保存し、生菌数、pH、有機酸、アミノ酸等の変化を調べた。

4-2-1 生菌数の変化

Fig. 6 に保存過程における一般生菌数の変化を示す。今回のしば漬けは醤油もろみ漬けとは違い、300 MPa 処理でも処理直後一般生菌は1グラム当り 10^2 以下に減少し、400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理ではほぼ陰性になった。処理直後の生菌数は製造者によっても多少異なり、以前別の製造者のしば漬けを用いた実験では⁽⁷⁻⁹⁾、500 MPa においても処理直後 10^2 オーダーの芽胞菌が残存した。各製造者により原料や製造工程中での芽胞菌の混入程度が異なるためであろう。保存により300 MPa 処理は無処理と同様に一般生菌が増加したが、400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理ではほとんど増加しなかった。400 MPa 以上の加圧処理や加熱処理では pH 3.95 という酸性下で増殖できる細菌が死滅しているが、300 MPa 処理ではなお残存しているためと思われる。

次にFig. 7 に保存過程における酵母の変化を示す。醤油もろみ漬けと同じく400 MPa 以上の加圧処理と加熱処理では処理直後から酵母は陰性になり、20日間の保存によっても増殖はみられなかった。これに対し、300 MPa 処理は処理直後の残存菌数は1グラム当り75個とわずかではあったが、無処理と同様に保存により大きく増殖し14日目には1グラム当り 10^6 に達した。そして、無処理は3日目から、300 MPa 処理は7日目からパックが膨張した。

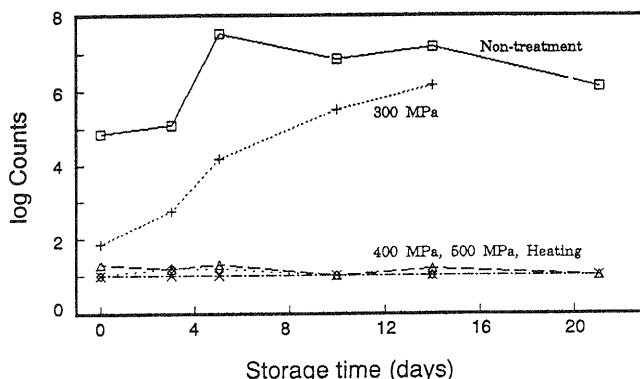


Fig. 6. Changes in survival of bacteria of "Shibazuke" pickles during storage at 20°C. "Shibazuke" pickles was stored at 20°C for 20 days after pressure treatment at 300, 400 and 500 MPa for 10 min, or heat treatment at 85°C for 20 min. Survival of bacteria during storage was measured. Ordinates show logarithmic survival (counts/g) of bacteria.

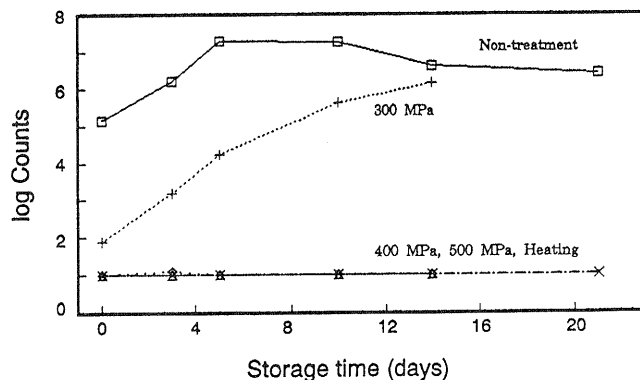


Fig. 7. Changes in survival of yeasts of "Shibazuke" pickles during storage at 20°C. Ordinates show logarithmic survival (counts/g) of yeasts. See Fig. 6 for details.

4-2-2 pHの変化

Fig. 8に保存過程におけるpHの変化を示す。しば漬けは、無処理をはじめいずれの処理においてもpHに変化は見られなかった。無処理や300 MPa処理では微生物が増殖しているものの、醤油もろみ漬けとは違い微生物代謝産物がpHに影響しなかったためと思われる。

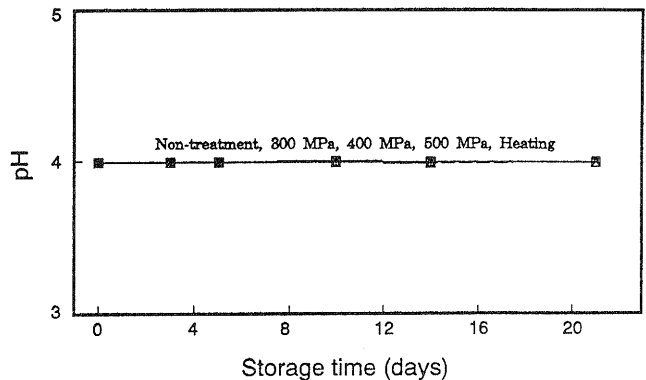


Fig. 8. Changes in pH of "Shibazuke" pickles during storage at 20°C. See Fig. 6 for details.

4-2-3 有機酸の変化

保存過程における有機酸の変化を調べたがいずれの試料も保存による変化は認められなかった。この挙動は醤油もろみ漬けとは大きく異なり、有機酸組成に影響を与えないような微生物が主体的に増殖した結果であろう。

4-2-4 色の変化

保存14日後の色の変化を保存前と比較したが、個々のばらつきが大きく有為な変化は観察できなかった。しかし、保存後4週間目くらいから、500 MPa処理した試料は他と比べ液の色が明らかに赤く、量も多かった。

4-2-5 その他の特性の変化

保存14日後の外観、臭い、味の変化を保存前の同一処理品と比較した結果をTable 3に示す。変化は官能検査法で調べた。その結果、400 MPa以上の加圧処理と加熱処理では、醤油もろみ漬けと同様、外観、臭い、味とも大きな変化はみられなかった。しかし、無処理と300 MPa処理では三者とも著しい変化が認められた。

Table 3. Changes in appearance, odor, and taste of "Shibazuke" pickles after storage at 20°C for 15 days. "Shibazuke" pickles was stored as described in Fig. 6, and appearance, odor, and taste were compared before and after storage. ○: not changed ×: changed

	No	300MPa	400MPa	500MPa	85°C
Appearance	×	×	○	○	○
Odor	×	×	○	○	○
Taste	×	×	○	○	○

4-2-6 遊離アミノ酸の変化

保存過程における遊離アミノ酸の変化を調べたがいずれの試料も保存による有為な変化は認められなかった。本来微生物の増殖により遊離アミノ酸は減少するものと考えられるが、無処理や300 MPa処理では個々のサンプルによるばらつきと分析精度よりも減少量の方が少なく、有為な変化がつかめなかったものと考えられる。

4-2-7 結 論

以上のように400 MPa以上の加圧処理はしば漬けに対しても、保存過程における生菌数、pH、有機酸、アミノ酸、外観、臭い、味等いずれの特性の変化をみても従来より実施されている加熱処理と同等の保存性効果があることが分かった。

5. 漬物の加圧処理に関する考察⁽⁹⁾

5-1 殺菌と物性変化

漬物の殺菌に高圧を利用する場合、風味・物性の保持効果と保存性向上効果との二面から検討する必要がある。

昨年度の研究の結果より風味・物性の保持効果については、野菜の保存的な漬物である醤油もろみ漬、しば漬けともに満足できる効果があった⁽⁷⁻⁹⁾。

また、保存性向上効果については、今回の研究の結果、醤油もろみ漬、しば漬けともに400 MPa以上の加圧処理は従来の加熱処理と同等の保存性効果があることが分かった。これは、醤油もろみ漬、しば漬けとも400 MPa以上の加圧処理ではたとえ微生物が残存しても、そのほとんどが芽胞菌であり、塩分濃度が比較的高く pH も低いこれらの漬物の環境下では容易に増殖できないためであると考えられる。

以上より、醤油もろみ漬けとしば漬けの殺菌については従来の加熱処理に代わり、生の風味や物性を保持できる高圧処理法が適用できると考えられる。

しかし、今後、漬物業界が本方法を取り入れていくためには他の多くの種類の漬物についても詳しく検討する必要がある、また、常温での高圧処理では耐熱性の芽胞菌が残存するため、塩分濃度の低い漬物まで適用範囲を広げるには物性が低下しない程度の熱の併用や pH、水分活性の制御、静菌効果のある物質の添加等の芽胞菌対策の研究⁽²⁷⁾が必要になる。

5-2 新製造方法の可能性

本報告では、高圧処理を主に漬物の殺菌に利用することを検討してきた。しかし、さらに発展させれば、材料と調味液を混合し、高圧により迅速に内部まで調味液を浸透させ、同時に殺菌も行うという新製造方法を開発できる可能性もある。この場合、生野菜を直接高圧処理すれば物性が低下するので、野菜の保存的な漬物については、あらかじめ塩漬け後、ペクチンにより漬物特有の物性を形成させる⁽²⁴⁻²⁶⁾必要があろう。製造工程の短縮化にもつながるので、漬物の製造への高圧利用の可能性は今後もっと研究されるべきであると考えられる。

5-3 産業上の優位点

漬物は固体であるので実用レベルでの連続処理化は考え難く、バッチ処理となろう。漬物を高圧処理する場合なんらかの容器に入れる必要があるが、これには樹脂製の柔軟な袋に真空パックするのが最適であると考えられる。現在、市販漬物はほとんどがこのような包装形態で販売されているので⁽²⁴⁻²⁵⁾、実際に高圧処理を適用する場合、パックされた漬物を製造の最終段階に高圧処理するのが適当である。すなわち、現在の製造工程において、最終の加熱処理を高圧処理に変えるだけで、工程の大幅な変更はしなくてよい。これなら大型の高圧処理装置の導入だけで適用できるので、装置が導入できればあらゆる企業で適用しやすいと思われる。

また、前節でも述べたが、新しい製造法として塩漬野菜と調味液を一緒に市販用袋にパックし、高圧処理を施しそのまま市販するという方法が成功すれば、製造日数の大幅な短縮も可能である。さらに、高圧は瞬時に内部まで伝達され、熱のように逃げるのがないのでエネルギー的にも有利である。

これらを実際に工場で適用するには、最低でも一度に300~500袋程度の漬物を処理できる装置が必要になると考えるが、このような実用装置は機械メーカーで検討が進められており、既に一

部市販されている。今後は安価な大量処理装置が開発され、漬物業界にも簡単に導入される日が早く来ることを望む。

6. おわりに

漬物（ここでは醤油もろみ漬けとしば漬け）の殺菌に高圧を利用すれば、物性や風味を低下させず、有効にシェルフライフを延長できることが分かった。今後、他の多くの漬物についても検討する必要がある、低塩分濃度の漬物では他の食品でも問題となっている耐熱性の芽胞菌対策⁽²⁷⁾等検討課題はまだあるが、高圧を漬物の殺菌に利用する場合、最終工程の加熱処理を高圧処理に変えるだけで、製造工程の大幅な変更はしなくて済み適用のメリットは大きい。

食品への高圧利用研究は最近になり研究者が急増したが、まだ世に出て5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。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。

謝 辞

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：滋賀県工業技術センター研究報告，**4**，107-116（1990）.
- (5) 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）.
- (6) 松本正，林力丸：農化誌，**64**，1455-1459（1990）.
- (7) 松本正，林力丸：「加圧食品－研究と開発－」（林力丸編），pp. 237-247，さんえい出版（1990）.
- (8) 松本正：食品と開発，**25**（12），21-23（1990）.
- (9) 松本正：「高圧科学と加圧食品」（林力丸編），pp. 368-377，さんえい出版（1991）.
- (10) 松本正：農化誌，**65**，388（1991）.
- (11) 林力丸：食品と開発：**22**（7），55-62（1987）.
- (12) 林力丸：化学と生物：**25**，703-705（1987）.
- (13) 林力丸：食品機械装置，**25**，53-59（1988）.
- (14) 林力丸：食品と開発，**23**（12），40-45（1988）.
- (15) 林力丸：蛋白質・核酸・酵素，**34**，119-123（1989）.
- (16) 林力丸：バイオサイエンスとインダストリー，**46**，29-31（1988）.
- (17) R. Hayashi：in “Engineering and Food”，Vol. 2（ed. W. E. L. Spiess and H. Schubert），Elsevier Applied Science，England，pp. 815-826，1989.

- (18) 林力丸：食品工業, **33** (8), 20-24 (1990).
- (19) 堀恵一：食品と開発, **23** (12), 46-50 (1988).
- (20) 林力丸編：「食品への高圧利用」, さんえい出版 (1989).
- (21) 林力丸編：「加圧食品－研究と開発－」, さんえい出版 (1990).
- (22) 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).
- (23) 岡部元雄：テクスチュロメーター測定方法説明書.
- (24) 山本英次：食の科学, **6**, 33-38 (1987).
- (25) 中山正夫：食の科学, **6**, 15-20 (1987).
- (26) 小川敏男：「現代食品産業事典 (農水産加工品編)」, **4**, 日本食糧新聞社, pp. 285-297 (1989).
- (27) 光浦暢洋：食品と開発, **24** (12), 62-67 (1988).

デザイン手法の高度化に関する研究（第三報）

一 映像によるデザイン表現手法に関する研究 一

技術第二科 野上 雅彦

あらまし：コンピュータの普及に伴い、デザイン分野でその利用も各方面で進められている。中小企業へのフィードバックを前提とした、パーソナルコンピュータ（以下 PC）ベースでの研究とともに、中型計算機上で三次元ソリッドモデラを用いた研究も進めている。

本年度では、中型計算機上の三次元ソリッドモデラソフトウェアで作成したイメージデータを、中型機と PC 間で双方向転送を可能とした。そして、映像を利用してのデザイン表現の可能性を探った。

1. ま え が き

今日、CAD の普及には著しいものがあり、デザインの世界においても様々な分野での利用が拡大されつつある。消費者ニーズの多様化により多品種少量生産が要求される今、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いくべき課題であると思われる。当センターでは、デザイン手法の高度化を進めながら、県内中小企業への導入を促進して行く。

現在のところ混在している機種（ミニコン、ワークステーション、PC 等）、ソフトウェア間の連携環境は整っておらず、その整備は早急に求められる。ここで、ユーザーサイドからのアプローチを行う。

デザイン開発におけるプレゼンテーションの質的向上には著しいものがあり、完成品と見間違っただけのカンプやダミーだけでは、誰も驚かなくなってきた。こういう状況のなかで印象に残るプレゼンテーションを行うための手段として、映像の利用に着目し、その活用を進めてきている。

本年度では、データコンバートにより当センターの中型機と PC の複合利用環境を構築した。また、映像を利用したプレゼンテーションにおいて、音響効果の活用を進めており、PC による MIDI 音源を利用したイメージ表現プログラムを作成した。

2. PC と中型機の双方向イメージデータ転送

コンピュータの計算能力は飛躍的に向上した。とはいえ現在、PC 上で複雑な三次元モデルを作成するのは速度の点で実際的とはいえない。高性能のエンジニアリングワークステーションや大型のコンピュータでは、多様な目的に柔軟に対応できない。現在のところ PC の方がソフトウェア・周辺機器などの種類の多様さ、価格の低さなどで有利といえる。特にデザイン業界では、アップル社のマッキントッシュ・コンピュータが急激な広がりを見せており、業界の標準機となってきた。

工業デザインの場合、立体物が多く設計段階での三次元処理はやはり有効であるが、最終的なアウトプットは大抵の場合平面（レンダリング、図面、映像等）になる。ここで、その両方の利点を生かし、三次元処理は中型機で行い、平面処理は PC で行う複合利用のためのデータ転送手法を求めた。

今回利用の主要機器、ソフトウェアを以下にあげる。

中型機側

IBM 4361・5080（グラフィック端末）・CAEDS ソリッドモデラ

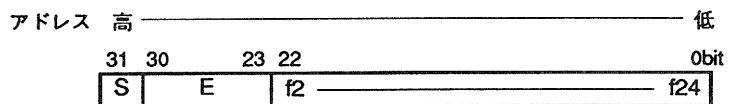
PC 側

NEC PC-98XL2、デジタルアーツ HyPER-FRAME（フルカラー・フレーム・バッファ）・HyPER-彩子（フルカラー・イメージ・ソフトウェア）、BORLAND TURBO-C

ファイルのフォーマットは、中型機側は、CAEDS（中型機の三次元ソフトウェア）のピクチャー・ファイルである。このファイルフォーマットにはバイナリ形式と ASCII 形式があるが、ファイルの容量、処理速度の点からバイナリ形式を選んだ。このファイルには、ビットマップデータだけでなく、コマンドやベクトルデータ等様々なデータが含まれている。ビットマップのデータ部も、バックグラウンドのデータは含まれておらず、ファイル容量の節約が図られている。PC 側は、フルカラー・イメージ・データで汎用性の高い RGB ファイルフォーマットを選んだ。このファイルは、RGB バイナリデータのベタファイルと、イメージの XY サイズの情報が入った ASCII ファイルの 2 つのファイルから構成される。ファイルの転送自体は、PC 側を中型機の端末とする事で可能となる。色数は、両ファイルとも RGB 各 8 bit である。

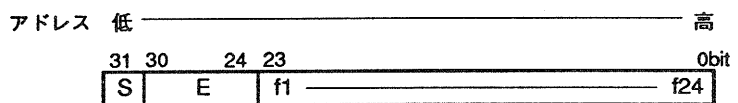
ファイルの変換において問題となった点は、数値データの内部表現が違っていた。図 1 プログラム言語の関係で、ファイルコンバートは全て PC 上で行うこととした。中型機から PC への変換は、ピクチャーファイルのビットマップデータ部だけを抜き出し、逆方向へは、コマンド類を書き加えることで可能となる。

PC-98(Turbo C)



$$\text{データ値} = (-1)^S * (1 + \sum_{n=2}^{24} f_n / 2^{n-1}) * 2^{E-127}$$

IBM 4361(FORTRAN)



$$\text{データ値} = (-1)^S * (\sum_{n=1}^{24} f_n / 2^n) * 2^{(E-64) * 4}$$

図 1. 4 バイト実数データの内部表現の違い

これにより、三次元データ作成は中型機で行い、そのイメージデータを PC 側のフルカラー・イメージ・ソフトウェアにより加工することが可能となった。(図 2)

今回は、ビットマップデータのみを絞ったが、CAEDS のピクチャーファイルは線分データを実数座標のベクトルデータで持っているため、ドロウ系のグラフィックデータや CAD データへの変換も可能である。

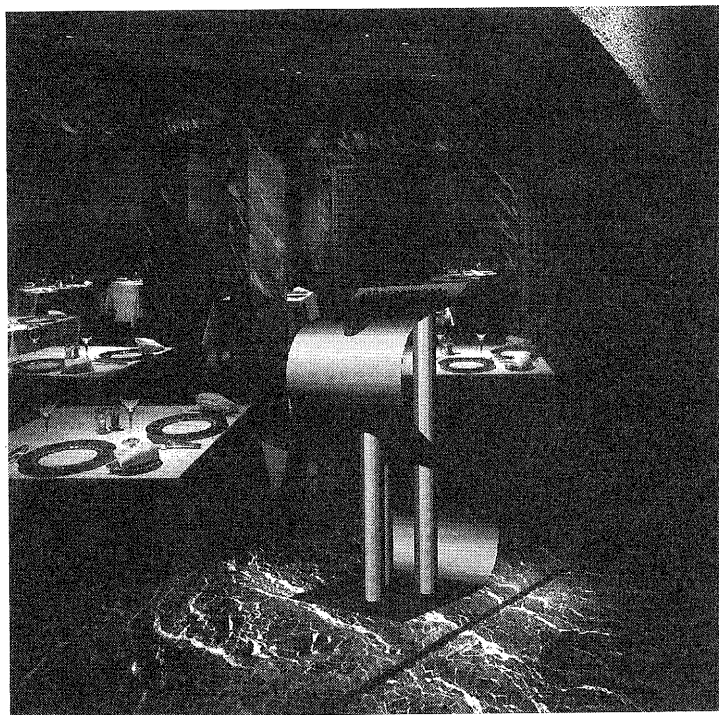
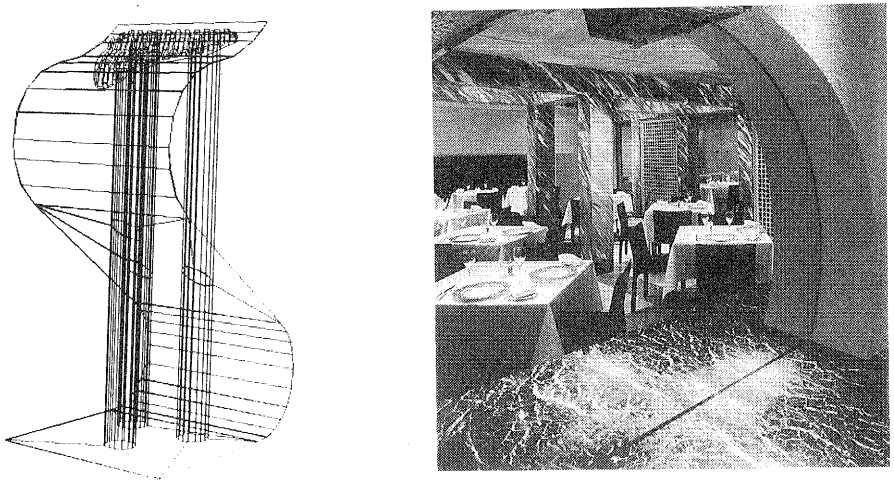


図2. 三次元モデルと写真の合成

3. イメージ（言葉）の映像と音による表現

プレゼンターターの伝えたいイメージを強調するため、音響効果は有効である。今年度は、映像によるプレゼンテーションでの、音響効果の積極的利用のため、音と映像とイメージの関係をシミュレートした。具体的には、MIDI 信号による音源の制御の手法と、その利用によるイメージ表現プログラムを作成した。

今回利用の主要機器、ソフトウェアを以下にあげる。

N E C PC-98XL2、デジタルアーツ HyPER-FRAME、ローランド MPU-PC98
(MIDI インターフェイス・ボード)・MT-32 (MIDI 音源モジュール)、BORLAND
TURBO-C

このプログラムはメニューを選ぶと、様々な画像と音響がマウスの動きにより生成されるものである。(図3)

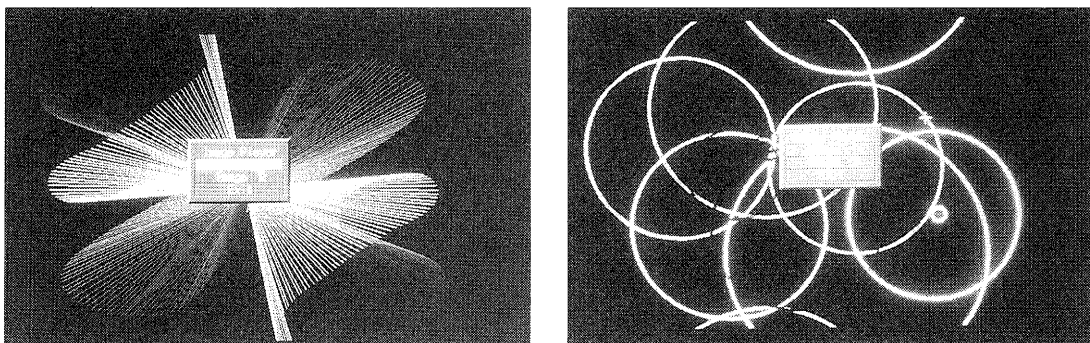


図3. イメージ表現プログラム

このプログラムにより興味深いことが確認できた。それは、同じ映像でも、それに付加させる音を変えることにより、その映像の表現するものが別のものに見えることである。たとえば、図3右の画面とソフトな残像効果のある音との組み合わせでは、水の波紋に見える。それを、アタックの利いた太鼓のような音と組み合わせると、あたかも打ち上げ花火のように見えてくる。

このように、音響効果によりイメージを強調すること、また操作することも可能であり、プレゼンテーションへの利用を進めることは重要である。

4. ま と め

異機種、異なるソフトウェア同士でのデータの互換は、重要視されているが、アプリケーションの機能の足かせともなるため、現在のところ可能なものは非常に少ない。ユーザーが自分の必要なコンバータを自作する必要がある、今回その技術を得られたことは、大きな進歩であった。しかし、ファイルのフォーマットが公開されていない場合、その作業は非常に困難になるため、アプリケーション独自のファイルフォーマットの公開は、積極的に行ってもらいたい。

プレゼンテーション手法では、マルチメディア環境の整備、カラー液晶パネルの普及、ホログラフ等、技術の進歩に従って可能性は常に広がっている。今後も、最新の技術を積極的に取り入れ、新たな手法を求めている。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導、ご助言をいただいた濱崎修平研究参与に対し感謝します。

実験レポート

高周波焼入適正条件決定のための エキスパートシステムに関する研究

— 30KHzにおける投入電力密度と送り速度に関する研究 —

滋賀県工業技術センター 技術第二科 西内 廣志
深尾 典久
技術第一科 井上 栄一
甲西高周波工業 加工事業部長 末房 公男

あらまし：高周波焼入の特徴は炉焼入と比較して材質の質量効果に関係なく周波数、コイル等を変化させることによって任意の焼入深さを得ることができることにあるが、目標とする深さを得るには、熟練者の経験と勘に頼る作業が必要である。しかし、このような熟練者のみに頼る作業状況では人材問題の観点から今後製造上支障をきたすことも考えられる。そこで、本研究では焼入処理の適正な条件を誰もが決定をできるエキスパートシステムの構築を目標として、まず現場における各周波数帯での投入電力密度と時間の関係を明らかにするため、よく利用されるS45CとSCM440の材料2種類について表面温度を一定で、30KHzを用いた時の電力と送り速度について実験した。その結果S45C材は送り速度3mm/秒～5mm/秒、SCM440の場合は送り速度1mm/秒～7mm/秒まで焼入深さが変化しておりこの範囲で任意の有効深さが得られることが分かった。今後データを蓄積していけばエキスパートシステム構築が可能と考えられる。

1. ま え が き

高周波焼入は処理したい材料の周りにコイルを置き、それに高周波電流を通したときに主として起こる交番磁界によって誘起される渦電流によって材料表面を加熱し、Ac1またはAc3変態点以上の温度に加熱した後、その表面に水などの冷却剤を噴射急冷し、焼入を行うものである。この焼入深さや硬さの決定に際しては、使用周波数、単位面積当りの投入電力、被処理材や焼入送り速度等が重要なパラメータになる。

従来、現場において高周波焼入の諸条件の決定は技術者の経験によることが多く、初級の作業者が行うことは困難であった。しかし、これらの値が適切な実験のもとでデータベース化され、それに基づいてエキスパートシステム化された場合、昨今の労働者不足の折り、多くの利益を得ると考えられる。

そこで、本研究ではまず使用周波数一定かつ表面温度一定での、電力密度と時間の関係を得るために、S45CとSCM440の送り速度を変化させた時の電力とその時の焼入深さについて調査を行った。

2. 実験方法

2-1 試験片

試験片は市販されている S45C と SCM440、 $\phi 30$ の生材（前処理なし）のものを使用した。

2-2 焼入処理

焼入処理装置は真空管式、容量150KW、周波数30KHz のサイリスタ制御方式の発振器で縦型移動方式で 1~50mm/秒の設定可能なもので専用コイルは $\phi 40 \times 10$ t を用い、冷却には水を用いた。表面温度一定を確認するため放射温度計を用いて 950~970℃ になるように送り速度に応じて電力の投入を変化させた時の試験条件を表 1 に示す。

表 1. 焼入試験条件

条件	送り速度(mm/s)	電流量(A)	電圧(KV)	電力密度(W/mm ²)
1	1	3.2	7.0	17.8
2	2	4.5	8.0	28.6
3	3	5.5	9.7	42.5
4	4	6.2	11.0	54.3
5	5	6.9	11.8	64.8
6	7	8.0	13.5	85.9

2-3 焼入深さの測定

焼入深さは JIS G 0559 鋼の炎焼入および高周波焼入硬化層深さ測定方法に準じてマイクロビッカース硬さ試験機で 1 試料について 3 箇所測定平均し、硬度 Hv450 の点を焼入深さとした。

2-4 金属組織測定

試料を樹脂に埋め込み、鏡面研磨し、腐食液 3% ナイタールでエッチングした。

3. 実験結果及び考察

試験条件 1 および 6 の S45C と試験条件 2 および 6 の SCM440 の組織写真を各々写真 1~4 に示す。また、各全硬化深さを表 2 に示す。

3-1 焼入深さ分布曲線

図 1、図 2 に S45C 材、図 3、図 4 に SCM440 材の焼入分布曲線を示す。

S45C 材の場合：送り速度が遅い場合は硬度勾配が緩やかで有効深さが 4 mm であった。(図 1) 一方送り速度を速くした場合試料に伝わる熱の領域が表面近傍となるため、硬さ曲線の勾配が急となり、有効硬化深さが 3 mm 前後であった。(図 2)

表 2. 有効硬化深さおよび全硬化深さ(単位: mm)

条 件	S 4 5 C		S C M 4 4 0	
	有効硬化深さ	全硬化深さ	有効硬化深さ	全硬化深さ
1	4.12	7.97	8.27	9.14
2	4.00	7.74	6.70	7.28
3	4.00	7.29	6.22	6.66
4	3.75	5.67	5.29	5.57
5	3.21	5.03	4.64	4.87
6	3.20	4.03	3.85	3.97

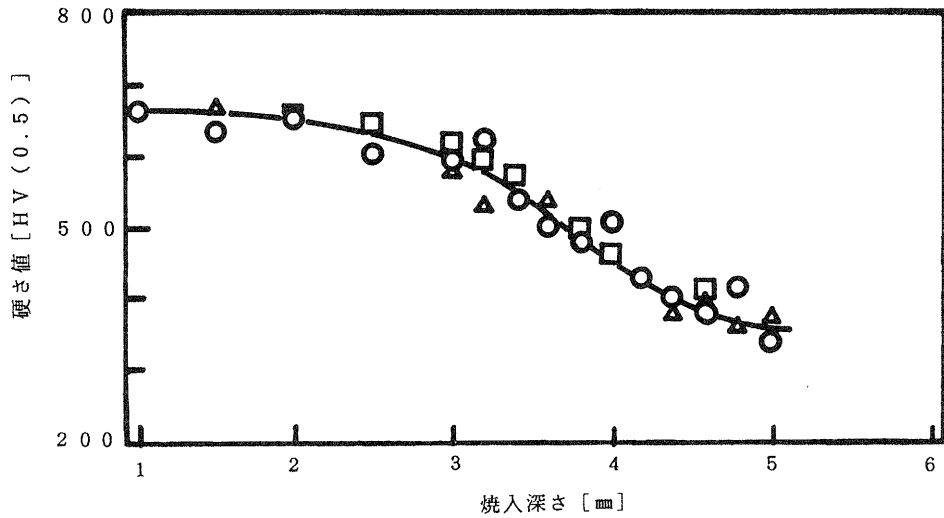


図 1. 焼入分布曲線 (S45C: 条件 1)

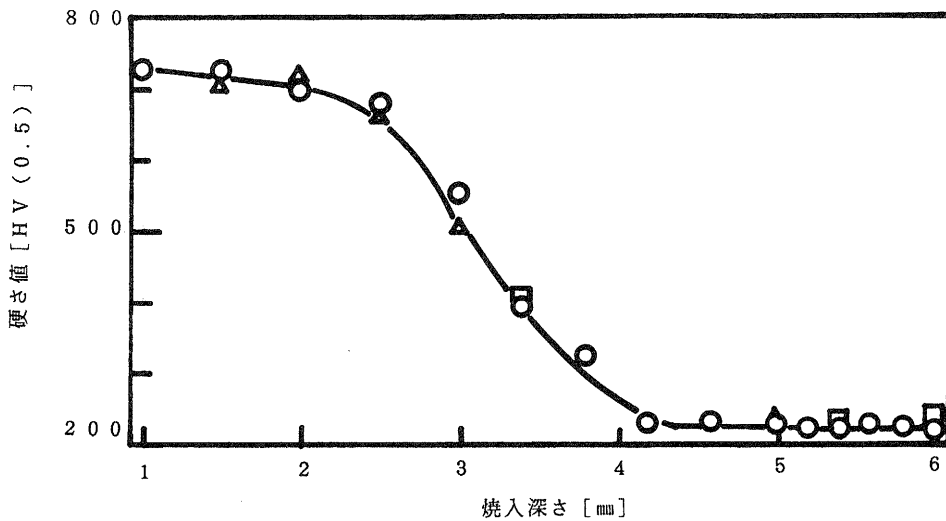


図 2. 焼入分布曲線 (S45C: 条件 6)

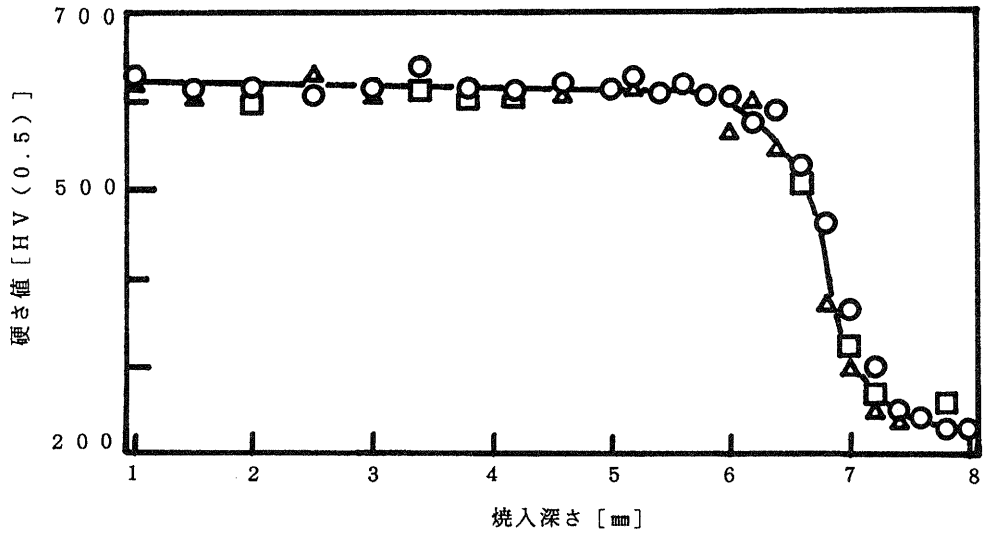


図3. 焼入分布曲線 (SCM440: 条件2)

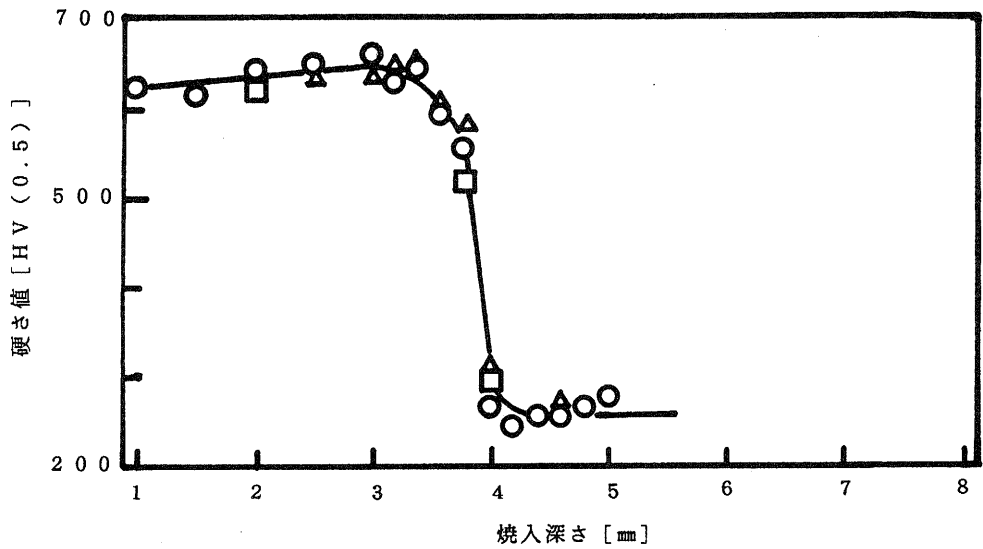


図4. 焼入分布曲線 (SCM440: 条件6)

SCM440の場合：一般的にSC材よりも焼入性が良好なため、有効硬化深さが6、7mm前後であった。(図3) 一方送り速度を速くした場合、SC材同様、勾配が急となり、有効硬化深さが4mm前後となった。(図4)

3-2 試験処件における金属組織

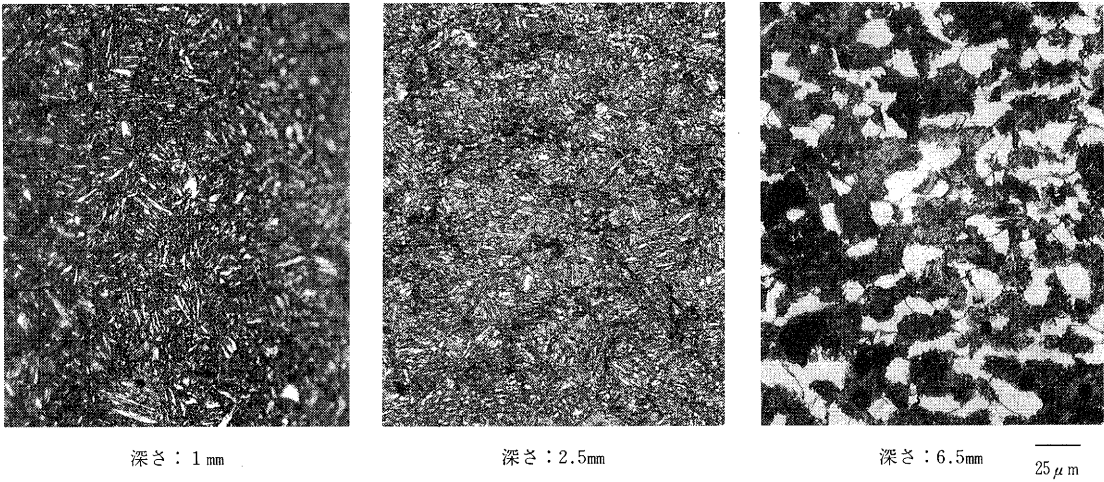


写真1. S45C組織（条件1）

写真1ではS45C材表面近傍の焼入組織は粗大な針状マルテンサイト組織であるが、芯部に近づくにつれて、漸次、マルテンサイト+結節状トルスタイトになり、6.5mm前後でフェライト+パーライトの標準組織になった。

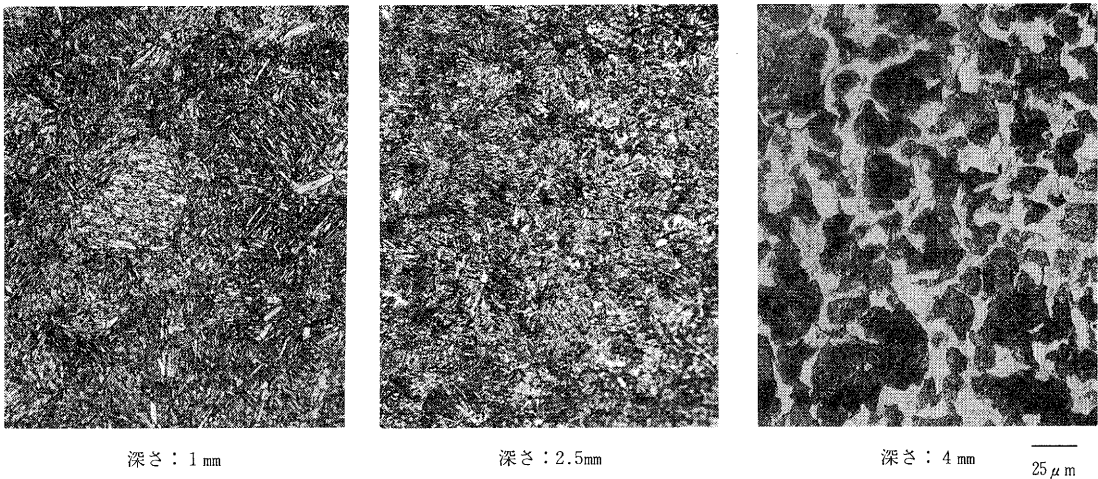


写真2. S45C組織（条件6）

写真2のS45C材の表面近傍はバケツ状の針状マルテンサイト組織で芯部に近づくにつれて試験条件1と同様にマルテンサイト+結節状トルスタイトになり、4mm前後でフェライト+パーライトの標準組織になった。

一方、一般に焼入性が良好とされている SCM440材の場合、写真3および4における表面近傍の組織は針状マルテンサイトであり、芯部に近づくにつれてマルテンサイト+結節状トルスタイトからソルバイト組織になった。



深さ：1 mm

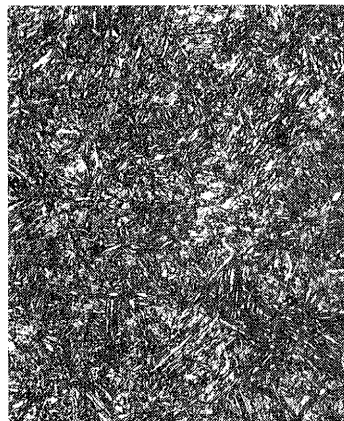


深さ：4 mm

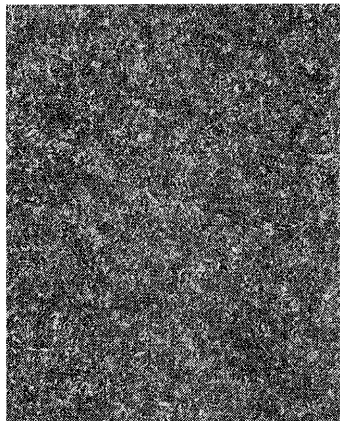


深さ：7 mm 25 μm

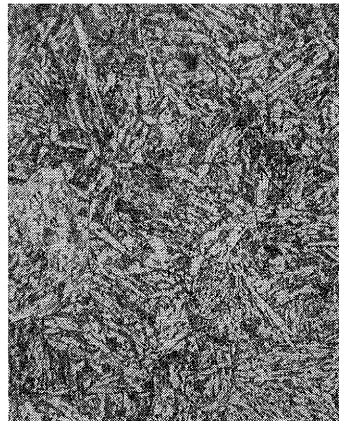
写真3. SCM440組織 (条件2)



深さ：1 mm



深さ：4 mm



深さ：5 mm 25 μm

写真4. SCM440組織 (条件6)

3-3 送り速度と電力密度ならびに焼入有効深さ

S 45C 材および SCM440材の送り速度と電力密度の関係を図5に示す。速度と電力密度の間には正比例の関係があり、回帰直線から式1のようになると考えられる。

$$[\text{電力密度}] = 11.459 \times [\text{送り速度}] + 6.973 \quad \text{—式1}$$

次に送り速度と有効硬化深さの関係を図6に示す。S45C材の場合、送り速度3mm/秒～5mm/秒までの有効硬化深さは変化しているが、それ以下では硬化深さは変化なく約4mmであった。SCM440材の場合、送り速度1mm/秒～7mm/秒の範囲で焼入硬化深さ変化している。特に2～5mm/秒の範囲においてはほぼ反比例していると考えられ、回帰直線より式2のようにになると考えられる。

$$[\text{焼入深さ}] = -0.711 \times [\text{送り速度}] + 8.201 \quad \text{—式2}$$

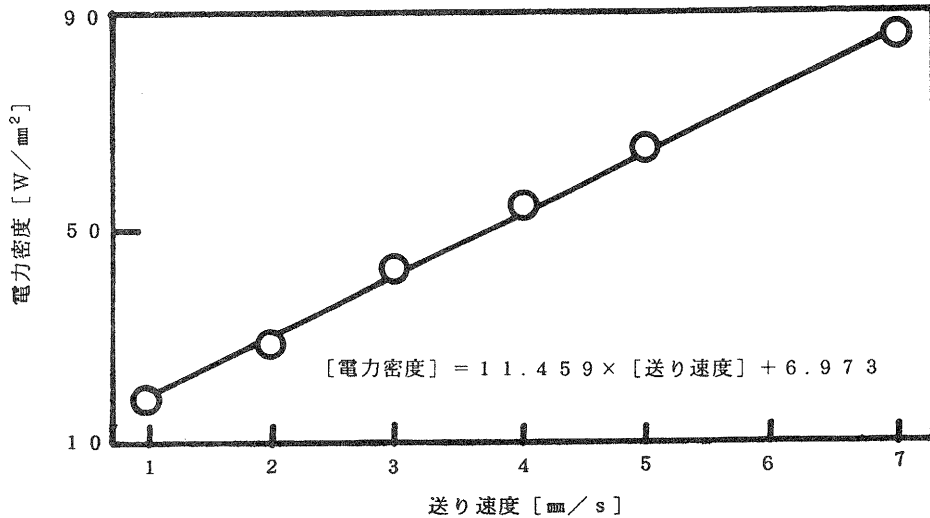


図5. 送り速度と電力密度の関係

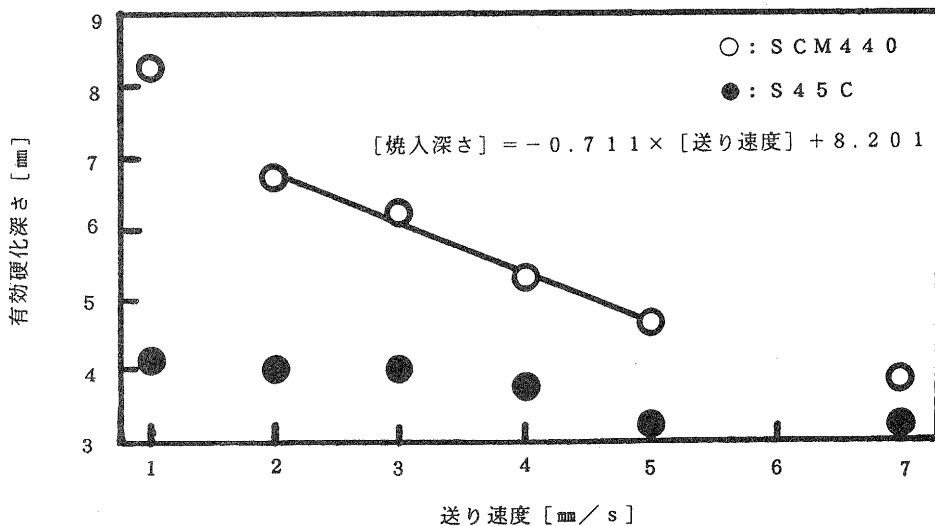


図6. 送り速度と有効硬化深さの関係

従って、式1および式2から周波数30kHz、φ30のSCM440材では送り速度2～5mm/秒では式3のような電力密度と焼入条件の関係式が成立すると考えられる。

$$[\text{焼入深さ}] = -0.062 \times [\text{電力密度}] + 13.160 \quad \text{—式3}$$

3-4 送り速度と有効硬化率

送り速度と有効硬化率との関係を図7に示す。有効硬化率は式4で定義した。

$$\text{有効硬化率} = [\text{有効硬化深さ}] / [\text{全硬化深さ}] \times 100 [\%] \quad \text{—式 4}$$

S45C材の場合は送り速度の上昇に伴い有効化率が増加した、SCM440の場合は送り速度に関係なく有効化率が概ね一定値を示した。

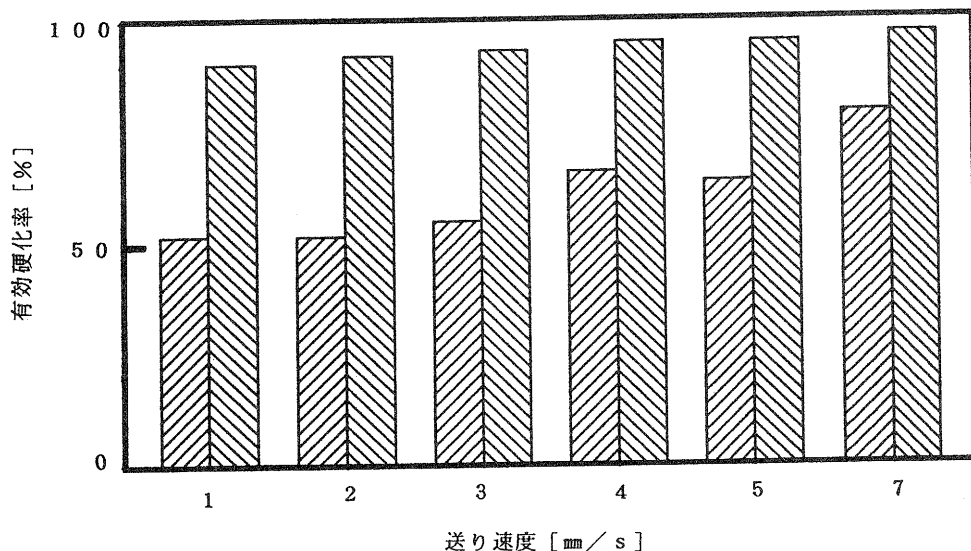


図7. 送り速度と有効硬化率の関係

5. むすび

S45CとSCM440のφ30の生材について周波数30KHz、表面温度950~970℃の条件において、送り速度を1mm/秒から真空管発振方式150KW、φ40のコイルにおける限界送り速度である7mm/秒の範囲で変化させ高周波焼入したときの焼入深さについての実験を実施した。その結果、次のことが明らかになった。①S45Cは送り速度3~5mm/秒で焼深さが変化している。またそれ以下では全硬化深さは深くなるが、有効硬化深さは約4mmのままであったこと、また焼入組織等からも、本条件では3mm/秒以下の送り速度は焼入には適さないと思われた。②SCM440の場合、送り速度1~7mmまで焼入深さが変化しており特に2~5mmの範囲においては、本条件における焼入条件の関係式を導くことができた。

今後は材料径を変えた場合や、周波数を変えた場合等についてのデータを蓄積がより一層必要であると考えられる。

謝辞

本研究を行なうのにあたり実験を手伝ってくださった 平井道宏氏 (甲西高周波工業) に深く感謝いたします。

プラズマ CVD による超硬質 被膜処理に関する研究

— プラズマ窒化処理の検討 —

技術第二科 西内 廣志
松本价三良

あらまし：近年、産業の著しい進展に伴って、産業用各装置や機械部品等に対する高機能化、高性能化の要求がますます強くなっている。このような要求に応えるために金属材料の表面改質が注目されている。表面改質の方法には窒化、溶射、メッキ、拡散処理等がある。

そこで、今回は一般的に過酷な状況で使用される金型、工具への硬質被膜処理としてプラズマ CVD 装置を用いて窒化処理の検討を行った。その結果、SS 41材、S55C 材の化合物層については Fe_4N (γ 相)、SUS 304材については $Fe_{2-3}N$ (ϵ 相)、CrN 等が形成された。また化合物層の厚さについては時間とともに増加することが分かった。

1. はじめに

一般的に過酷な状況で使用される金型、工具への超硬質被膜処理方法として、PVD (物理的蒸着法) がある。しかしながら PVD による方法は基材との密着性が弱く、つきまわり性が良好でないと言われている。熱 CVD 法は処理温度が高温であるため基材の変形等の問題がある。そこで、PVD よりも密着性が良く熱 CVD と比べ600℃前後の低温処理出来るプラズマ CVD による方法が注目されている。今回は母材の強度をアップすることにより超硬質被膜 (TiN等) と母材との耐久性の向上を図ることを目的としてプラズマ CVD の前処理とし、母材 (SS41、S55C、SUS304) にプラズマ窒化処理を施し形成膜の検討を行った。

2. 実験方法

2-1 供 仕 材

基材には一般構造用圧延鋼材 2 種 (SS41)、機械構造用炭素鋼鋼材 (S55C) およびオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) を用いた。プラズマ窒化用試験片は25×50×5 mmで、SS41 および S55C はエミリー紙で順次#600まで研磨を行った。(超音波洗浄)

2-2 プラズマ CVD 装置 (PCVD) およびプラズマ窒化処理条件

図 1 に実験に用いた PCVD 装置の模式図を示す。本装置は直流グロー放電を用いて処理物にプラズマによる表面改質処理 (プラズマ CVD、プラズマ窒化、プラズマ浸炭) を行うことを目的とした装置である。装置の出力は7.5kWで直流プラズマ電源、真空排気系、ガス供給系、排気

ガス除外装置等から構成されている。

プラズマ窒化処理は炉体内を 10^{-3} Torr 以下に排気した後、 H_2 ガスおよび N_2 ガスを100 cc/minを導入し排気調整弁で圧力を5 Torrに調整し550℃の処理温度で行った。処理時間は3、7、24 hrとした。

2-3 窒化層の評価

(1) 形成相の同定

X線回折装置を用いて、管電圧40 KV、管電流150 mAで $CuK\alpha$ 線を使用して処理品の形成相を同定した。

(2) 化合物層の厚みおよび硬さ

処理後の試験片断面を光学顕微鏡で観察し化合物層の厚さを測定した。またマイクロビッカース硬度計で100 gの荷重で表面の硬さを測定した。

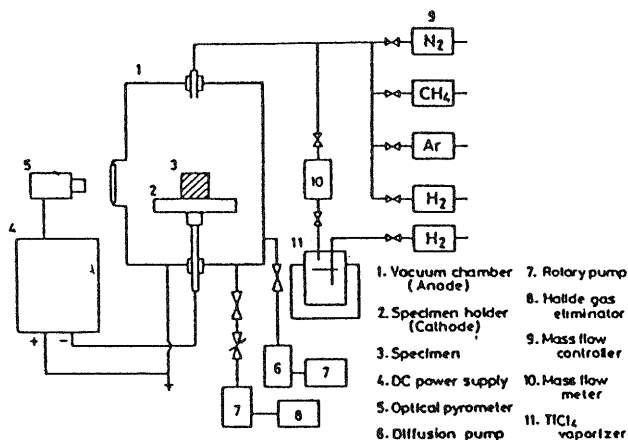


図1 PCVD装置模式図

3. 実験結果および考察

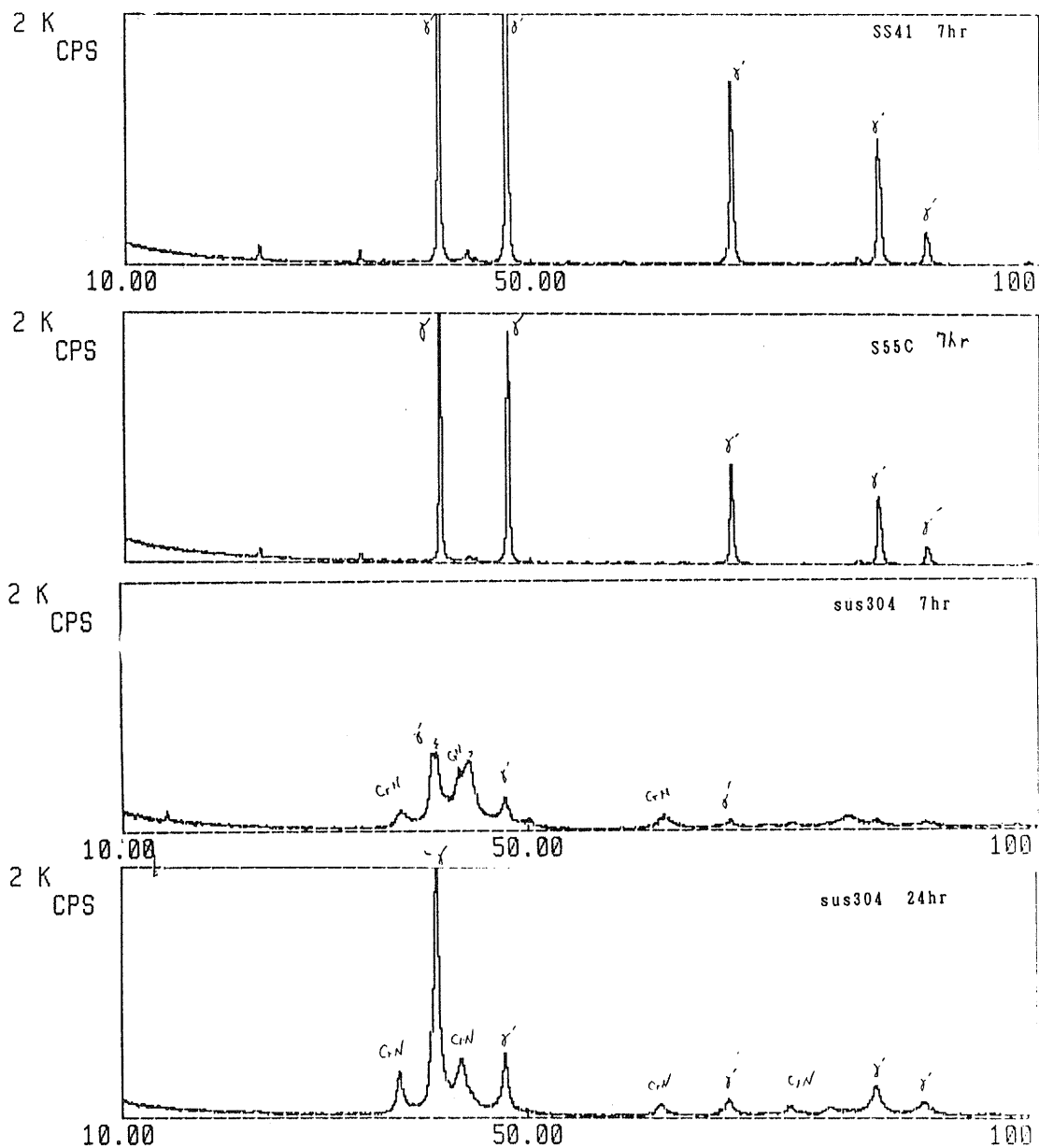
3-1 形成相(窒化層)の解析

図2にSS41、S55C、SUS304のプラズマ窒化後のX線回折図形を示す。SS41、S55Cの場合は処理時間を長くしても変化なく Fe_4N (γ' 相)のみ形成された。(7 hrのみ掲載) オーステナイト系ステンレス鋼の場合は最表面がCrの酸化物を主体とした不動態化被膜に覆われているため、一般的に窒化は困難とされて来た。しかしながらプラズマ窒化の場合は N_2 と H_2 の混合ガスを使用するため、スパッタリング作用により表面を清浄化し、 H^+ イオンの還元作用によりステンレス鋼の表面の酸素が除去され図2に示す如く短時間処理の場合は CrN 、 Fe_4N (γ' 相)、 $Fe_{2-3}N$ (ϵ 相)が形成され、長時間の場合は ϵ 相が除去され、 CrN 、 Fe_4N のみ形成された。SUS304の形成相がSS41、S55Cと異なるのはSUS304に含まれるCrの影響である。

3-2 化合物層の厚さおよび硬さ

図3に処理時間と化合物層の厚さとの関係を示す。SS41、S55Cの場合はAl、Cr、Mo等の窒化物を形成しやすい元素を含有していないため、処理時間を長くしても化合物層の厚さは変化しなかった。一方SUS304の場合はCrを18%程度含んでおり窒化物を形成しやすいため、処理時間とともに化合物層の厚さは比例している。

写真1にSS41とSUS304の化合物層の断面写真を示す。なお化合物層は写真1に示すとおり表面から母材までの層とした。表1にSS41、S55C、SUS304の24 hr処理後の表面硬化状況を示す。SS41、S55Cの場合は γ' 相しか形成されなかったため母材硬さの2.5~3.0倍の表面硬さしか得られなかったが、SUS304の場合、 γ' 、 CrN の混合相が形成されたため、母材の6倍程度の硬さが得られた。



2 θ

図2 窒化層のX線回折図形

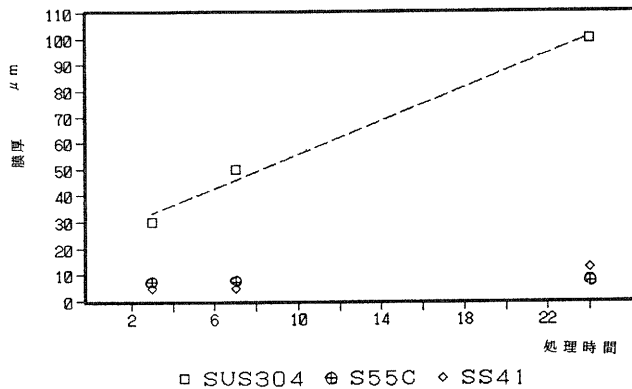
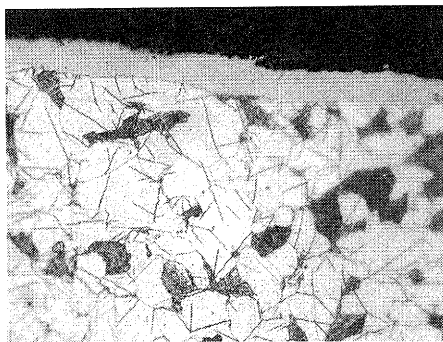


図3 処理時間と化合物層の膜厚について

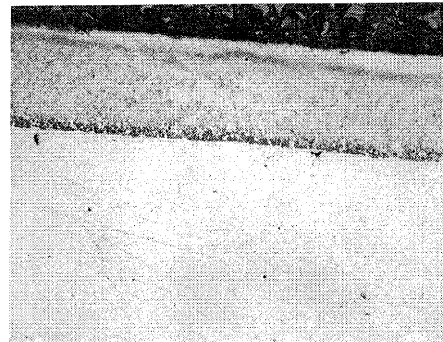
表1 プラズマ窒化の表面硬化状況

材 質	処理条件	表面硬さ (HV)	母材硬さ (HV)	硬化率
SS41	550℃	540	172	3.1
S55C	24 hr 5 Torr	544	214	2.5
SUS304		1250	200	6.3

備考：硬化率は表面硬さ/母材硬さで求めた。



SS41 24hr 25 μm



SS41 24hr 25 μm

写真1 SS41、SUS304の窒化組織

4. ま と め

材質によるプラズマ窒化処理の形成膜の検討を行った結果、次のことがいえる。

- (1) SS41、S55Cの形成相は γ' 相でSUS304の形成相は ϵ 、 γ' 、CrNの混合相であった。
- (2) SS41、S55Cの窒化層の厚さは処理時間に関係なく概ね一定であったがSUS304の場合は処理時間に比例して厚くなる傾向であった。
- (3) 表面硬さについてはSS41、S55Cの場合母材硬さの2.5~3.0倍 SUS304の場合は母材硬さの6倍程度の硬さが得られた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって御指導をいただいた津崎兼彰研究参与(京都大学工学部助教授)に感謝します。

[参考文献]

- (1) 山中 久彦 イオン窒化法 日刊工業新聞社
- (2) 長田 幸男 熱処理 Vol127 No 6 1987 p 336-p 341
- (3) 河田 一喜 昭和62年度 ローカルスタディ (熱処理テクニックの基礎と新しい熱処理技術) p 10-1 - p 10-2

プラスチック材料の切削に関する研究(第二報)

— アクリル樹脂およびポリカーボネイト樹脂における 切込角と表面粗さの関係について —

技術第二科 深尾 典久

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。しかしプラスチック材料の切削性についてはこれまであまり調べられておらず、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およびポリカーボネイト樹脂を被削材として旋盤による切削を行い、切込み角と表面粗さの関係について調べた。

1. ま え が き

プラスチック材料は、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が、機械加工についてはこれまであまり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寸法精度を出そうとする場合の障害となることがあった。そのため昨年度に引き続き、光学的または装飾的理由から高精度な機械加工が必要とされることの多いアクリル樹脂およびポリカーボネイト樹脂の二種類の透明なプラスチック材料について、旋盤による切削を行った。

昨年度の研究の結果、アクリル樹脂を被削材として透明に切削する場合天然ダイヤモンドバイトを用いることが有効であること、天然ダイヤモンドバイトでアクリル樹脂を切削する場合切削速度は切削面にほとんど影響を与えないことが解った。そこで今年度はアクリル樹脂の他にポリカーボネイト樹脂を加え、切込み角と表面粗さの関係について調べた。

2. 実験装置

- 旋盤
ワシノ工機(株)
LN-32A II
- 表面粗さ測定機
ランクテラホブソン(株)
タリサーフ 6
- 天然ダイヤモンドバイト
(株)日新ダイヤモンド
(形状は図2-1の通り)

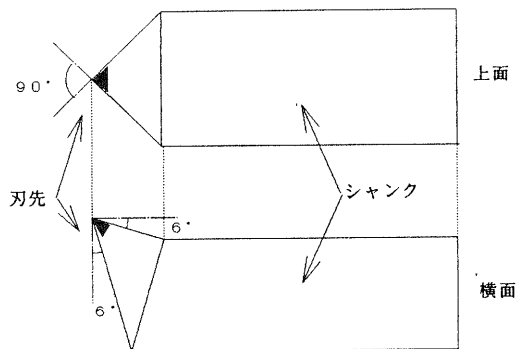


図2-1 実験に用いたバイトの形状

3. 実験方法

アクリル樹脂およびポリカーボネイト樹脂について、図3-1に示す切込み角を変化させて切削し、表面粗さを測定した。

被削材がバイトの刃先の形状通りに切削されると仮定した理論面粗さは、切込み角が小さくなるほど小さくなり切込み角 0° で粗さは無限小となる。しかし実際には、切込み角が 0° に近づくと切削抵抗が増加する等の原因により、切削機構は理論面粗さが意味を持つ流れ型切削からき裂型切削へと変化することが考えられる。透明度の高い切削を行うためには、送りマークが規則正しく現れる流れ型切削であることが望ましいため、本実験においては、切込み角を 0° から 1.2° の範囲とし、 0.2° 間隔で切削を行った。本実験における実験条件を表3-1に示す。

なお、本実験に用いたバイトは、天然ダイヤモンドの刃先が約3mmと小さいため、切込み角 0° の特定が困難であり、刃先のかからない負の切込み角から 0.1° 刻みで試し切削を行い、刃先がかかった角度を 0° とした。つまり 0° というのは厳密に 0° ではなく 0.1° 以下の角度を持った正の角度ということである。

表面粗さは、カットオフ値 0.8mm のISOフィルターを用いて R_a （中心線平均粗さ）、 R_{tm} （十点平均粗さ）を測定した。

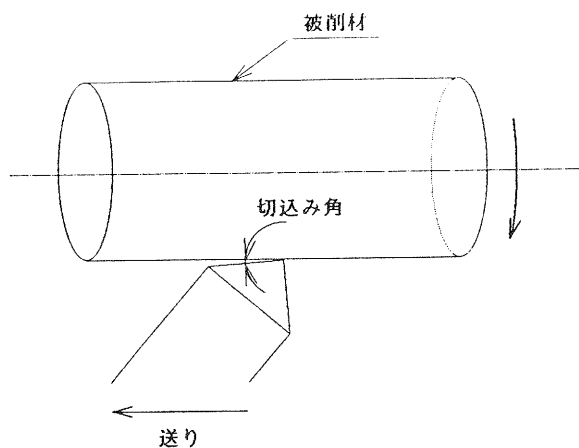


図3-1 本実験のイメージ

表3-1 本実験における切削条件

被削材	アクリル	ポリカーボネイト	
切削速度	196m/min	188m/min	
切込み	0.05mm	0.05mm	
切込み角	0°	0.6°	1.2°
	0.2°	0.8°	
	0.4°	1.0°	

4. 実験結果および考察

図4-1および図4-2にアクリル樹脂における、切込み角—表面粗さ線図および切込み角 0° 、 0.2° 、 0.4° 、 0.6° における粗さ曲線を、また図4-3および図4-4にポリカーボネイト樹脂における切込み角—表面粗さ線図および切込み角 0° 、 0.2° 、 0.4° 、 0.6° 、 0.8° 、 1.0° における粗さ曲線を示す。なお、切込み角—表面粗さ線図において R_a は中心線平均粗さを、 R_{tm} は十点平均粗さを表す。

図4-1において、アクリル樹脂の切込み角と表面粗さの間にほぼ比例関係が見られる。また図4-2はアクリル樹脂を 0° から 0.6° の切込み角で切削した断面形状を示したものであり、切込み角が大きくなるに従い表面粗さが悪化している。ただ送りマークに関しては切込み角 0.6° のとき実

際の送りとほぼ一致するのに対し、それ以下では切込み角が小さくなるに従いうねりの要素が現れ、送りマークが明確でなくなる。なお、 0.6° より大きな切込み角の場合には、より振幅は大きく規則正しい送りマークの断面形状であった。

つぎにポリカーボネイト樹脂の場合には、図4-3からRaが切込み角が大きくなるに従って大きくなり、Rtmが切込み角 0° から 0.4° にかけて減少し、その後は増加している。この原因は、図4-4の切込み角 0° の時の粗さ曲線を見ると、平均的な粗さは小さいが所々に大きな窪みがあるのに対し、 0.2° 、 0.4° では、徐々に平均的な粗さは悪化するが、大きな窪みが無くなるためである。

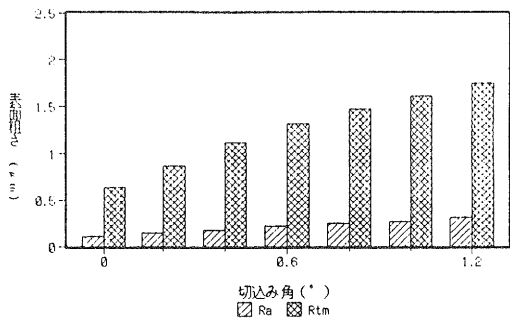


図4-1 アクリル樹脂の切込み角—表面粗さと線図

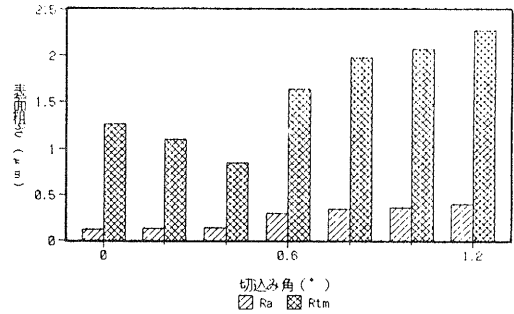


図4-3 ポリカーボネイト樹脂の切込み角—表面粗さと線図

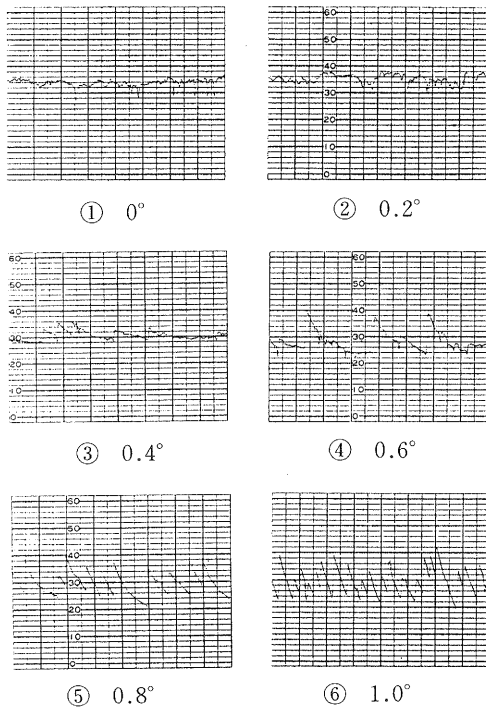


図4-2 アクリル樹脂の粗さ曲線
 (縦軸1目盛 $0.2\mu\text{m}$)
 (縦軸1目盛 $100\mu\text{m}$)

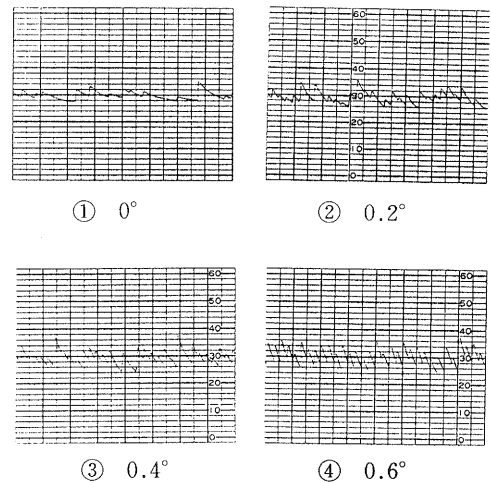


図4-4 ポリカーボネイト樹脂の粗さ曲線
 (縦軸1目盛 $0.2\mu\text{m}$)
 (縦軸1目盛 $100\mu\text{m}$)

0.6°では、送りピッチとは異なる大きな振幅が現れ、表面粗さは悪化する。そして1.0°では送りマークが規則正しく現れた。このことから切込み角1.0°では流れ型切削であったのに対し、それ以下ではき裂型切削に移り、切込み角0.4°で完全なき裂型切削となることが解る。図4-3における、切込み角0.4°では、き裂型切削になったにもかかわらず、表面粗さ(Ra、Rtm)は小さい値となった。それ以下の角度では十点平均粗さが悪化した。これは切削抵抗がさらに増加し、脆性破壊が起こったためであると思われる。

アクリル樹脂とポリカーボネイト樹脂を比較すると、ポリカーボネイト樹脂の方が同一の切削条件での表面粗さは悪く、見た目にも面が濁って見えた。また切込み角を小さくした場合には、よりき裂型切削となり易かった。

5. 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) 本実験条件において、アクリル樹脂では切込み角0.4°以下、ポリカーボネイト樹脂では0.8°以下で粗さ曲線の送りマークは不規則となった。さらにポリカーボネイト樹脂では切込み角0.6°で送りマークはほとんど現れなくなり流れ型切削からき裂型切削へ変化したものと思われる。
- (2) 同一の切込み角では、ポリカーボネイト樹脂の方がアクリル樹脂に比べ同一の切削条件において表面粗さが悪く見た目にも面が濁っていた。

謝 辞

本研究について御助言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)に深く感謝します。

[参考文献]

- (1) 深尾 プラスチック材料の切削に関する研究(経過報告) 滋賀県工業技術センター研究報告(第一報) 89
- (2) 鴨川昭夫 プラスチックの切削加工 日本工業新聞社 88

タンパク質加水分解モニタリングシステムの検討

技術第二科 矢田 稔

あらまし：タンパク質素材の酵素加水分解のモニタリングシステムを検討する目的でL-アミノ酸オキシダーゼを固定化し、過酸化水素電極に取り付けアミノ酸センサーを作成し、各種L-アミノ酸に対する挙動を観察した。その結果、本センサーの基質特異性は低く、多種のL-アミノ酸に対し、応答することがわかった。そして、特にメチオニン、フェニルアラニン、ロイシン、チロシンに対して感度が優れていた。しかし、全く検出できないアミノ酸もあった。本センサーは、多種のアミノ酸に対して応答することから特定のアミノ酸の定量分析には使用できないが、醤油の醸造過程の把握等タンパク質の加水分解程度の測定等遊離アミノ酸の増加傾向をモニタリングするには十分使用可能であると思われる。

1. はじめに

未利用高タンパク質素材の有効利用に、酵素等により加水分解を行い遊離アミノ酸を調味料等に利用するという方法があり、近年よく検討されている。

しかし、現在製造工程において加水分解程度を迅速、簡便に測定する手段はなく、反応液の一部を取り分析を行わなくてはならず、手間を要し、またリアルタイムの管理ができなく、簡便迅速なモニタリングシステム開発が望まれている。そこで、L-アミノ酸オキシダーゼを固定化したバイオセンサーを作成し、加水分解のモニターとして使用できないかの検討を行った。

表1 実験に使用したアミノ酸

アミノ酸	アミノ酸	アミノ酸
グリシン	L-シスチン	D-メチオニン
L-アラニン	L-メチオニン	D-フェニルアラニン
L-バリン	L-フェニルアラニン	D-チロシン
L-ロイシン	L-チロシン	D-ロイシン
L-イソロイシン	L-グルタミン酸	
L-セリン	L-アスパラギン酸	
L-スレオニン	L-アスパラギン	
L-システイン	L-プロリン	

2. 実験材料および方法

2-1 材 料

- ① 酵素：L-アミノ酸オキシダーゼ（シグマ社製：0.54 UNIT/mg）
- ② 水溶性光硬化樹脂（東洋合成工業製：10%PVA-SbQ）

- ③ 過酸化水素電極 (エイブル社製)
- ④ アミノ酸 (表1のとおり)
- ⑤ 高タンパク質素材：鶏がら抽出液

2-2 方法

L-アミノ酸オキシダーゼ 2 mg を水溶性光硬化樹脂

100mg とりん酸緩衝溶液 20 μl に混合し、乾燥光硬化して固定化酵素膜を作成し、過酸化水素電極の先端に取り付け、L-アミノ酸センサーを作成した。

本酵素は、下記のようにL-アミノ酸を基質とし、2-オキソ酸と過酸化水素を生成するので、発生する過酸化水素を電極で測定すれば、L-アミノ酸が測定できる。

図1のように装置を組み立て、過酸化水素の増加による電流値の増加をレコーダーにより記録した。

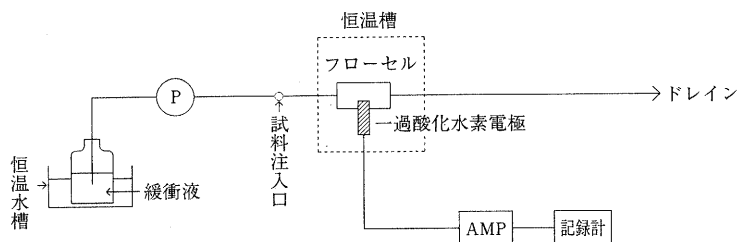
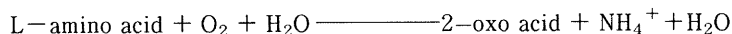


図1 測定用フローシステム

L-amino acid oxidase



3. 結果

3-1 アミノ酸の種類による感度

表1に示す16種のL-アミノ酸について、その反応を調べたところ、本酵素は基質特異性が低く、多種類のL-アミノ酸を基質にすることがわかった。中でも、メチオニン、フェニルアラニン、ロイシン、チロシンに対して特に強い活性を示し、0.1mMの濃度のサンプルを10 μlでも十分に検出できた。

その他、イソロイシン、バリン、アラニン等数種のアミノ酸に対しても活性を示したが、グリシンのように全く反応しないアミノ酸もあった。

本センサーの反応性は、中性アミノ酸で側鎖の長さがCで3~4個程度の場合が強いように考えられる。

3-2 D-アミノ酸に対する挙動

L-アミノ酸で強く活性を示したメチオニン、フェニルアラニン、チロシン、ロイシンのD体について、反応性を調べたが全く反応しなかった。

3-3 結論

以上の結果より、本センサーは全アミノ酸に応答するわけではないが、タンパク質を加水分解すればある一定確率で応答性の高いアミノ酸が遊離されると考えられるので、タンパク質の加水分解の程度の確認には応用できるものとする。鶏がら抽出液を用いた実験でも加水分解の進行状況をうまくモニタリングできた。

4. おわりに

L-アミノ酸オキシダーゼを固定化した過酸化水素電極をバイオセンサーとするタンパク質素材の加水分解モニタリングシステムを開発したところ、アミノ酸に対する特異性は低いですが、多くのアミノ酸に対して応答することから、タンパク質の加水分解過程のモニタリングに使用できることが分かった。特に醤油の醸造過程のモニタリングには有効であると思われる。

さらに、肉の熟成程度の評価や魚の鮮度判定にも用途があると考えており、今後この方面の研究はさらに詳しく進められるべきものと考えている。

四場所コンピュータ利用共同研究

4 場所間のコンピュータネットワーク に関する研究（中間報告）

工業技術センター	河村安太郎
〃	川崎 雅生
〃	月瀬 寛二
〃	野上 雅彦
信楽窯業試験場	横井川雅美
〃	中島 孝
繊維工業指導所	吉田 克己
〃	浦島 開
〃	山下 重和
機械金属工業指導所	宮川 栄一
〃	西川 哲郎

あらまし：近年、各所でコンピュータネットワークが構築され稼働し始めているが、当県においても技術情報の相互利用を促進するため工業系公設試問や公設試一企業間のコンピュータネットワークを構築する必要がある。そこで、今後コンピュータネットワークを構築する上で障害となる技術的問題点の抽出及び解決方法の調査研究を、県内の4つの工業系公設試験機関の共同研究として行っている。今回、公衆回線における通信限界等について調査実験を行ったので報告する。

1. はじめに

近年、各所でコンピュータネットワークが構築され稼働し始めているが、当県においても技術情報の相互利用を促進するため工業系公設試問や公設試一企業間のコンピュータネットワークを構築する必要がある。

そして、ネットワークシステムを使いやすく意に合ったものに構築する場合、これら通信に関する技術ノウハウが必要である。

すなわち、

- ① 一般加入の公衆回線を用いて情報を通信する場合の信頼性や転送速度限界及び機種による違いの把握。
- ② 通信プログラムの構築・作成技術習得。
- ③ データベースを構築しネットワークを通じて相互に利用するとき機種の違いやデータ構造の違いなどの技術的問題点把握と対策。

などが必要となる。

そこで、これらについて県内の4つの工業系公設試験機関（工業技術センター・信楽窯業試験場・繊維工業指導所・機械金属工業指導所）で共同研究を行っている。調査研究中であるが、現在までに行ったことについて中間報告をする。

2. MNPについて

公衆回線はアナログ信号でやり取りされており、コンピュータのデジタル信号との間の変換を行うのがモデムである。

最近、このモデムにMNP（Microcom Networking Protocol）と言われる文字化けエラーの訂正プロトコルが内蔵されるようになってきた。MNPはデータ圧縮伸張も自動的に行き、MNPクラスにより圧縮方法・圧縮率が以下のように異なる。

MNPクラス	データ圧縮方法	最大圧縮率	
クラス3	未調査	110%	近年、MNPが急速に普及しだし通信条件にMNP5を加えるパソコンネットワークが増えている。 和歌山県営WAVENETでもH2.11月を境に主流となった。
クラス4	未調査	120%	
クラス5	連長圧縮	200%	
クラス7	ハフマン法	300%	
クラス10	未調査	未調査	

3. 通信ソフトの作成

通信限界の調査及び各機関との情報交換を行うためC言語を用いて通信ソフトを作成した。通信仕様は以下の通りである。

なお、今後本プログラムをベースに、色々な機能を付加し、使いやすく便利なソフトにしていく予定である。

通信速度の選択範囲	: 300、1200、2400、4800、9600BPS
MNPの選択	: MNP4、MNP5、MNP7、MNP無し
通信制御方法	: RS/CS制御
会話データ処理方法	: 1文字単位処理
漢字対応の選択	: JIS漢字、シフトJIS漢字
ファイル通信データ	: アスキーデータ、バイナリーデータの区別無し
ファイル終端確認	: 5秒間無通信でファイル終端を判定
通信パラメータ	: 8ビット、パリティ無し、ストップビット1
エコーバック	: ローカールエコーバック有り/無し
自動ダイヤル	: 手動および自動可能
ソフトの使用対象	: 送信側および受信側兼用（センター機能無し）

4. 公衆回線による通信の限界実験

4-1 通信実験条件

公衆回線を用いたデータ通信速度の限界に影響を与える因子は種々考えられるが、以下の因子について実験した。

1) 通信速度

NTT が保証しているのは1200BPS であるが、2400BPS での使用が多くなっている。そこで公衆回線でつながるモデム-モデム間の速度は2400BPS とし、MNP のクラスとモデム-パソコン間の通信速度を変えた。

2) 通信場所

地域や回線の状態により異なることが考えられる。そこで、湖南の栗東、県南の信楽、湖東の彦根、湖北の長浜、湖西の高島の5箇所の間で行った。

3) データの種類

データの種類を大きく分けると、アスキーデータとバイナリーデータの2種類がある。データ量が同じ96001バイトの上記2種類のデータファイルを用いた。

4-2 実験結果

通信実験の結果を表1に示す。表中の彦、栗、信、長、高は通信テストを行った通信場所を示し、彦根市（機械金属工業指導所）、栗東町（工業技術センター）、信楽町（信楽窯業試験場）、長浜市（繊維工業指導所）、新旭町（繊維工業指導所高島支所）である。また、○印は正常に通信できた場合、×印は正常でない場合である。表中の数字はデータファイルの通信所要時間から求めた実質通信速度（BPS=1秒間の通信ビット数）である。

また、表右の Xmodem は市販通信ソフトで用いられている同名のバイナリーデータ送信プロトコルを用いた場合である。

表1 通信実験結果一覧表（数字は所要時間から求めた実質通信速度）

モデム-モデム モデム-パソコン	MNP なし 2400 bps	MNP 4 2400 bps	MNP 5 4800 bps	MNP 7 4800 bps	MNP 7 9600 bps	Xmodem 2400 bps
バイナリーデータ (イメージデータ)	彦-長 ○ 栗-高 ○ 2353 bps	彦-長 ○ 2353 bps	栗-長 × 彦-信 × 栗-信 ○ 4364 bps	栗-長 ○ 4363 bps	栗-長 ×	彦-栗 ○ 1952 bps
アスキーデータ (文字データ)	——	彦-長 ○ 2353 bps	栗-長 ○ 3466 bps 栗-信 ○ 彦-信 ○ 3429 bps	栗-長 ○ 4363 bps	栗-長 ○ 4660 bps	——

4-3 考 察

1) 2400BPS では、MNP の有無にかかわらずバイナリー及びアスキーデータ共に2353BPS で正常に送られており、通信速度2400BPS の設定では、実質2353BPS で通信できることが分かる。

2) MNP 5 でモデム-パソコン間を4800BPS に設定した時、バイナリーデータとアスキーデータでは通信速度が異なり、かつバイナリーデータは正常に送れていない場合がある。

これは、今回作成した通信ソフトにおいて、バイナリーデータも送れるように送信要求・受信可の制御信号を RS-232C のデータ線以外の信号線でやり取りする RS/CS 制御にしたためと考えられる。すなわち、RS/232C の受信バッファが満杯になる前に受信不可信号をソフトプログラムで送信側に送るが、タイミングが合わず受信バッファから溢れその分のデータが消滅する現象が出たためと考えられる。

今後、処理速度の速いパソコン等で確認するとともに、パソコンの機種に合わせてタイミングを設定出来るようにする必要がある。

3) MNP 7 でモデム-パソコン間を4800BPS に設定した時は、バイナリーおよびアスキーデータとも同速度で正常に送られている。

MNP 5 と MNP 7 は、データ圧縮・伸張の処理方法が連長圧縮法とハフマン法で、異なっている。これが影響していると思われるが詳細に調べる必要がある。

4) 市販の通信ソフトでは、バイナリーデータファイルを送るために Xmodem という通信プロトコルが提供されている。これを用い2400BPS に設定した場合、実質1952BPS であった。作成ソフトでは前述のように実質2353BPS で送信されており、約20%通信速度が早くなっている。

5) 同じ条件でも地域により送れたり送れなかったりしている。これは、通信状態やパソコン種類及び設定環境も影響しているように思われる。これらについては、さらに検討していく必要がある。

5. データベースの活用について

工業技術センターの IBM 中型コンピュータに蓄積されているデータベースは、その機種専用のデータベースソフトで構築されている。

このデータベースの異機種コンピュータによる外部利用を次の手順により試みた。

手順 1 : IBM 機に蓄積されたデータを、同機上で自作の変換ソフトを用いて EBCDIC コードからシフト JIS コードに変換する。

手順 2 : エミュレータ機能を付加して IBM 機の端末にしたパソコン PC98を用いて、PC98のフロッピーディスク (FD) にシフト JIS コードデータを転送する (透過モード)。

手順 3 : 汎用のパソコン PC98でワープロソフト等を用いて、転送されたデータを修正しデータ長を揃える。

手順 4 : 市販のデータ処理ソフトであるロータス123等で実際に読みだし、検索を行う。この手順で操作を行い利用出来ることを確かめた。

また、フロッピーディスクに格納された変換データを前述の研究会製作の通信ソフトで通信し、他機関で使えることを確認した。

なお内部データの外部活用基準及びその有用性については、別途検討していく必要がある。

6. ま と め

研究中であるが、現在のところ次のことがいえる。

- 1) 研究用ではあるが市販ソフトより通信速度の早い通信ソフトが作成できた。
- 2) 公衆回線において、2352BPS 以上でデータ通信できた。
- 3) また、機器やデータにより異なるが、最高4660BPS でデータ通信できた。さらに通信ソフトの改造及び使用機器の選択により、さらに高速に通信できる可能性がある。
- 4) MNP 5 は、データの種類により通信時間が異なる。
- 5) 内部専用データベースの外部利用の一手法が見いだせた。

なお、今後さらに調査研究し、コンピュータネットワーク構築技術を蓄積していきたい。

技術開発報告

切削工具非接触自動寸法測定機の開発

技術第二科

深尾 典久

(株)日新ダイヤモンド製作所 竹谷 芳一

あらまし：現在ダイヤモンドバイト製造における検査工程は、マイクロメーターおよび投影機を用いて行っているが、接触測定による測定物への悪影響、測定者による個人差等の問題がある。そこで今回、走査型のレーザー外形測定機、一軸テーブル、パソコンを組み合わせ、非接触で自動的にバイトの寸法を測定する装置を開発したので、その概要について報告する。

1. ま え が き

現在ダイヤモンドバイト製造における検査工程では、幅等の寸法はマイクロメーターを用い、また角度や円の半径の測定は投影機を用い、ゲージと比較することにより行っているが、以下に示すような問題点がある。

- マイクロメーターを用いた測定においては、接触測定であるので、製品に欠け等が生じることがある。
- 測定に熟練を要する。また手作業のため、測定者にのる測定値の個人差がある。
- 信頼性の高い測定を行うには時間がかかり、コストアップにつながる。

そこで切削工具の測定における非接触化、測定精度（繰り返し精度）の向上、測定時間の短縮を図るため、非接触自動寸法測定機の開発を行った。

2. 被測定物の形状および測定箇所

本測定機の対象とする切削工具（バイト）の上から見た形状を図2-1に示す。

このバイトは自動車等のピストンのリング溝を加工するリングバイトである。

測定箇所は図2-1におけるバイト幅 L 、先端半径 $R1$ 、 $R2$ および逃げ角 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ である。

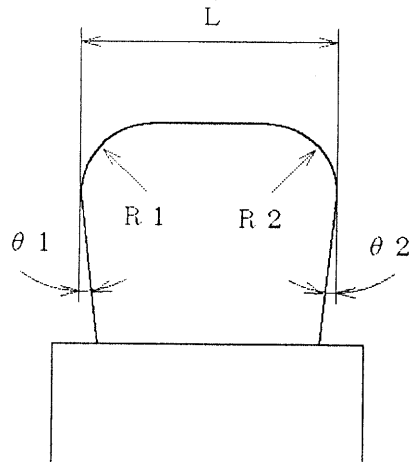


図2-1 測定するバイトの上から見た形状および測定箇所

3. ハードウェア構成

ハードウェアの構成を図3-1に示す。構成要素はパーソナルコンピューター、レーザー外形測定機、一軸テーブルであり、それらをIEEE-488 (GP-IB) により接続した。

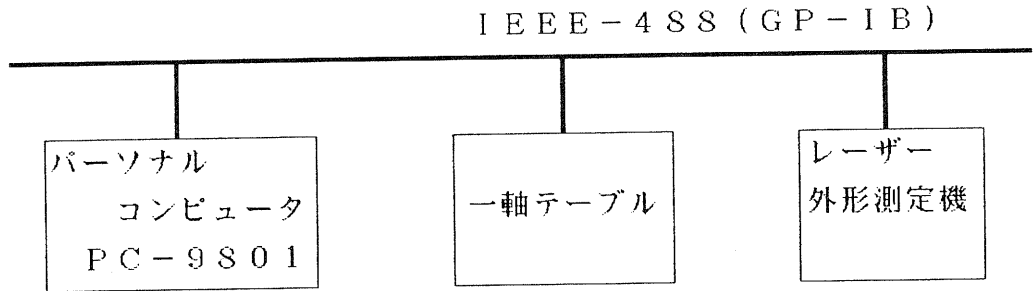


図3-1 システムのハードウェア構成

3-1 レーザー外形測定機

被測定物のあるライン上のエッジの座標値を非接触で測定するため、(株)ミットヨ製のレーザー外形測定機『レーザースキャンマイクロメーター』を使用した。この測定機には、インターフェースボードが接続されており、IEEE-488 (GP-IB) での制御が可能である。

レーザーは通常の光源と異なり、平行で細いビームとして発振することが可能である。この測定機はその性質を利用して、ポリゴンミラーを利用してレーザービームを測定物上を走査させて、レーザービームが測定機によって遮られ陰を生じる時間から寸法を測定する。

本測定機の測定原理図3-2に、仕様を表3-1に示す。

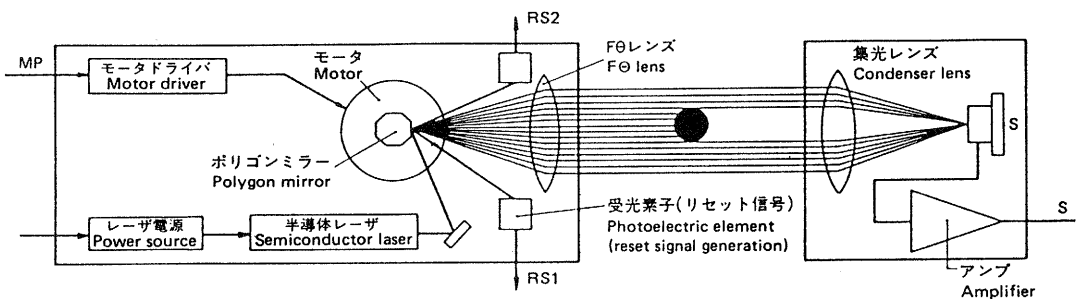


図3-2 レーザー外形測定機の測定原理

3-2 一軸テーブル

被測定物を直線に指示された量だけ移動させるための一軸テーブルとして中央精機(株)製の『パルスステージ/パルスコントローラ』を用いた。この一軸テーブルはIEEE-488 (GP-IB)により、移動距離・速度・向きの指示ができる。

本テーブルの仕様を表3-2に示す。

表3-1 レーザー外形測定機の仕様

型番	(株)ミットヨ LSM-1610
レーザー	He-Ne レーザー
レーザー走査範囲	0 ~ 60 mm
繰り返し精度	$\pm 2 \mu\text{m}$

表3-2 一軸テーブルの仕様

型番	PS-60
移動量	$\pm 30 \text{ mm}$
ステップ角	0.72°
1パルス移動量	0.002 mm
バックラッシュ	0.001 mm
移動ガイド	V溝/クロスローラ
真直度	0.005 mm
平行度	0.008 mm

4. ソフトウェア構成

本システムのプログラムはN88-BASICで記述し、次の部分からなる。

- 測定部 : ハードウェアを制御して測定を行う。
測定データをメモリ上の配列に格納する。
- 処理部 : 測定またはファイル入出力により得られたデータから測定値を演算する。
- フレーム部 : プログラム全体を制御する。
画面、キーボードを制御する。
測定データ配列のファイル入出力を行う。

以下に本システムの主要な要素である、測定部および処理部について記す。

4-1 測定部

処理部で測定値(バイトの幅、先端部の半径、逃げ角)の演算を行うためには、バイト稜線の座標値を測定する必要がある。そこで測定部は、図4-1における、『バイトの固定された一軸テーブルの移動—SEG1・SEG2の測定』を繰り返すことにより、座標値・SEG1の値・SEG2の値を配列に格納することを目的とする。

図4-1において、先端部は細かく平行部は粗く測定しているのは、先端部はバイトの幅および半径の計算に用いるため細かいピッチで測定する必要があり、平行部は逃げ角を測定するためピッチは粗くて良いが長い距離を測定する必要があるためである。なお図中の、先端部測定長さ・先端部測定ピッチ・平行部測定長さ・平行部測定ピッチはプログラム中で設定されている。

次に、各値の測定を実現するためのシーケンスを図4-2に示す。この中でテーブルの初期位置は、バイト先端部側のリミットスイッチである。また、早送りループ1・早送りループ2は測定時間を短縮するためのものである。

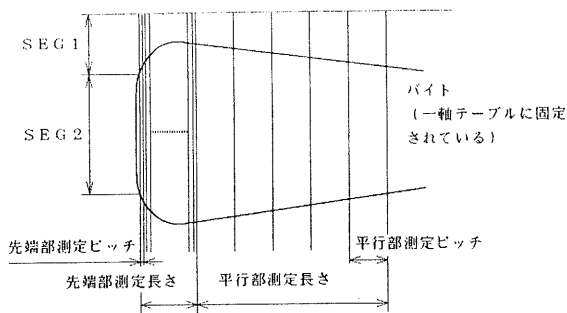


図 4-1 バイトの測定箇所

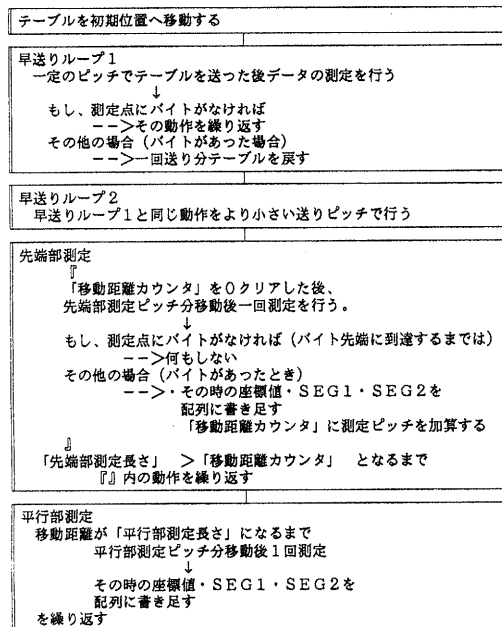


図 4-2 測定部の流れ

4-2 処理部

処理部は、測定部での測定により得られた、SEG 1・SEG 2・座標値の配列データを演算して、バイトの幅およびバイト両端の先端半径・逃げ角の測定値を求めることを目的とする。

測定された配列データは、図 4-3 に示す値である。測定値の中で、バイトの幅については SEG 2 の最大値であるので容易に得られる。先端半径および逃げ角については以下に演算の手法を記す。

4-2-1 円要素および線要素の分離

先端半径および逃げ角を求めるためには、図 4-3 に示される配列データを図 4-4 に示す円要素配列および線要素配列に分離する必要がある。なお先端部はレーザーの性質上誤差を含むため一定の長さのデータは演算には用いないこととした。また、円要素から線要素へ変わる部分についても、その区切りを厳密に決定することが困難な

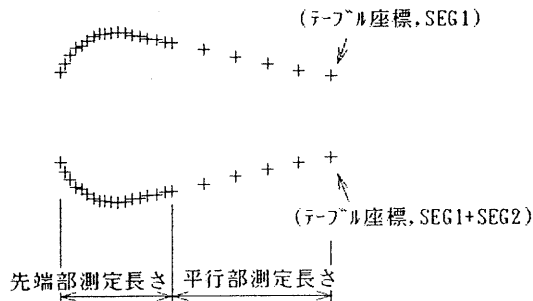


図 4-3 測定データのイメージ

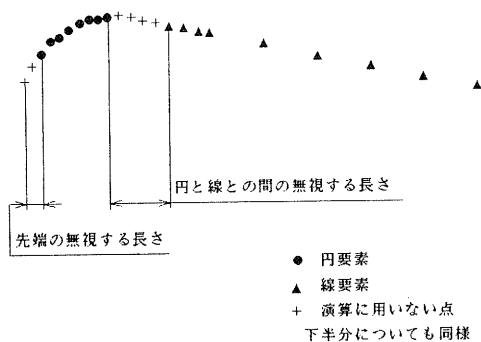


図 4-4 円要素および線要素の分離

ので一定の長さのデータは演算には用いないこととした。以下に分離の方法について記す。

ここで測定点のデータ点列は、 $P_1(x_1, y_1) \sim P_n(x_n, y_n)$ の n 点であるとする。

その中で、任意の点 P_i から（プログラムで与える）基準長さの部分点列に着目する。これは、図 4-5 に示すように部分点の最終点を P_j とすると、 $P_i \sim P_j$ の部分点列に着目するということである。すると、部分点列の最小二乗線は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 y &= ax + b \\
 a &= \{(j-i+1) \sum x_k \cdot y_k - \sum y_k \cdot \sum x_k\} / \{(j-i+1) \sum x_k^2 - (\sum x_k)^2\} \\
 b &= \{\sum y_k \sum x_k^2 - \sum x_k \cdot y_k \sum x_k\} / \{(j-i+1) \sum x_k^2 - (\sum x_k)^2\} \quad \text{式 4-1} \\
 & \quad i \leq k \leq j \\
 & \quad \text{ここで } (j-i+1) \text{ は点の個数である}
 \end{aligned}$$

部分点列中の任意の一点 P_k において δ_k を定義する。 δ_k は部分点列の最小二乗線と y_k の y 軸方向の距離で次式で与えられる。

$$\delta_k = |a \cdot x_k + b - y_k| \quad \text{式 4-2}$$

次に、部分点列 $P_i \sim P_j$ における δ_k の平均値を部分点列の始点 P_i に固有の値と考え $\bar{\delta}_i$ とおく。つまり、

$$\bar{\delta}_i = \sum \delta_k / (j-i+1) \quad i \leq k \leq j \quad \text{式 4-3}$$

式 4-3 で得られた $\bar{\delta}_i$ は定義より点 $P_i \sim P_j$ が直線に近くなると小さい値を、そうでないとき大きい値をとる。測定するバイトは先端で円でその後は直線にならんでいるので、測定データの最後の点を除く点列 $P_1 \sim P_{(n-1)}$ について $\bar{\delta}_1 \sim \bar{\delta}_{(n-1)}$ を求めると図 4-6 の様になる。従って適当なしきい値を設定することにより、円要素と線要素の分離ができる。ただし、データ点列の終わり方で、基準長さが最終データを越える範囲については、最終データまでのデータの点列により計算した。

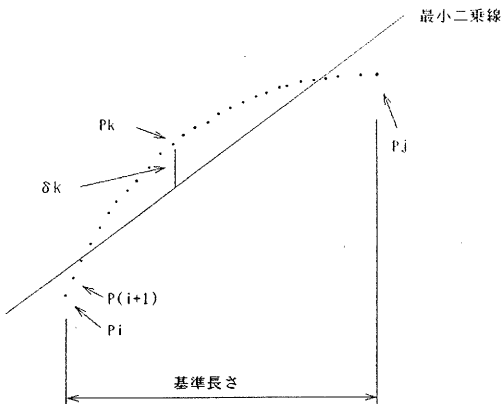


図 4-5 測定データの部分点列

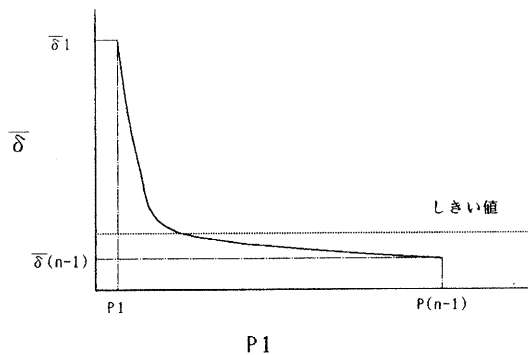


図 4-6 円と線の分離のイメージ

4-2-2 先端半径の演算

前記4-2-1の方法で作成した円要素点列から円を求める方法として、ある円から各円要素点列中の点に対する二乗偏差の和が最小になるような円を求める方法を用いた。

円要素点列が $P_1 \sim P_n$ の n 点で $P_i = (x_i, y_i)$, $1 \leq i \leq n$ 、また求める円の中心座標が (X, Y) 、半径が R とすると、

$$X = \frac{(\mu_x \sigma^2 - \mu_{ry})(\mu_y^2 + \sigma_y^2) - (\mu_y \sigma^2 - \mu_{rx})(\mu_x \mu_y - \mu_{xy})}{2 \{(\mu_x^2 - \sigma_x^2)(\mu_y^2 - \sigma_y^2) - (\mu_x \mu_y - \mu_{xy})^2\}}$$

$$Y = \frac{(\mu_y \sigma^2 - \mu_{rx})(\mu_x^2 + \sigma_x^2) - (\mu_x \sigma^2 - \mu_{ry})(\mu_x \mu_y - \mu_{xy})}{2 \{(\mu_x^2 - \sigma_x^2)(\mu_y^2 - \sigma_y^2) - (\mu_x \mu_y - \mu_{xy})^2\}}$$

$$R^2 = X^2 + Y^2 - 2 \mu_x X - 2 \mu_y Y + \sigma^2$$

ただし、

$$\begin{aligned} \mu_x &= (\sum x_i)/n, & \mu_y &= (\sum y_i)/n, & \mu_{xy} &= (\sum x_i y_i)/n \\ \mu_{rx} &= \{ \sum (x_i^2 + y_i^2) x_i \} / n, & \mu_{ry} &= \{ \sum (x_i^2 + y_i^2) y_i \} / n \\ \sigma_x^2 &= (\sum x_i^2)/n, & \sigma_y^2 &= (\sum y_i^2)/n, & \sigma^2 &= \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \end{aligned}$$

式4-4

式4-4で円を決め、その中で R を先端半径とした。

4-2-3 逃げ角の演算

前記4-2-1の方法で作成した線要素点列から式4-1の方法で最小二乗線を求め、その線と測定機のテーブル移動軸のなす角を逃げ角とした。

4-3 結果表示例

測定結果の画面表示例を図4-7①~③に示す。バイトは左右対象なので画面では、それを上部および下部に分けて、一軸テーブルの軸方向を横軸にとり表示した。

図4-7①は測定データの点列を上下それぞれ一点目を原点として表示したものである。なお右側には画面に入りきらないデータが続いている。図4-7②は図4-7①の点列を円データと線データに分離したものである。図中左が円データ点列であり右が線データ点列である。なお、先端部はプログラムで適当に定める「先端の無視する長さ」だけ、また円と線の間は「円と線の間は無視する長さ」だけデータを削除している。図4-7③は図4-7②のデータに4-2-2、4-2-3で定めた方法で円および線を求め重ねて表示した図である。

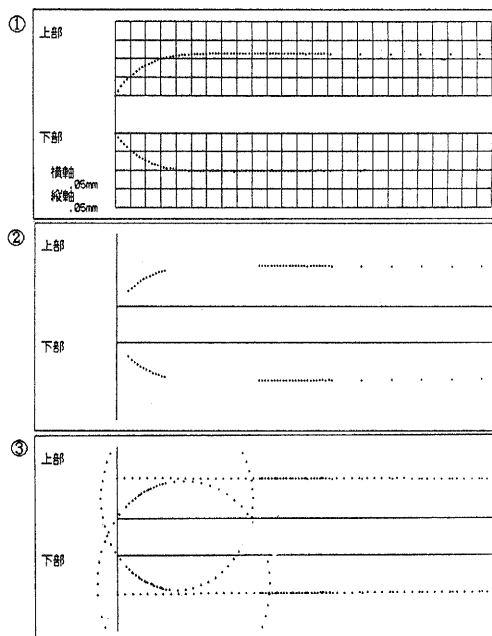


図4-7 測定結果の画面表示例

5. 測定装置の評価

刃先が焼結ダイヤモンドで図2-1の形状のバイトを装置の評価用として用い、測定実験を行った。この焼結ダイヤモンドバイトを他の測定機を用いて測定した寸法を表5-1に示す。表5-1の中で両逃げ角とは上面の逃げ角と下面の逃げ角の和である。表5-2、表5-3は今回開発した測定値である。なお、表5-2における項目名は図4-1、図4-4および図4-6に示した通りである。

両逃げ角に関して非接触三次元測定機で測定した結果と比較すると、試料③で 0.263° の異常値が出たがその他に関してはほぼ 0.04° 以内の幅に納まっており良好な結果といえる。バイト幅に関しても、投影器で測定した結果と比較して 0.003mm の差に納まっており良好な結果といえる。

先端半径に関しては、円と線を自動分離するためのしきい値をパラメータとして、同一の測定結果に対してしきい値、 2×10^{-6} 、 5×10^{-6} 、 8×10^{-6} (mm) の三種について再計算を行った。表5-3で [max-min] は測定値のばらつきの幅であるが、—のデータは異常値であるとして無視すると 0.025mm までの範囲であり繰り返し精は良好である。しきい値は4-2-1で定義した円と線を分離するための値であるがこれを変化させると円要素の範囲が変わるので、しきい値が 2×10^{-6} 、 5×10^{-6} 、 $8 \times 10^{-6}\text{mm}$ と変化するに従い半径の平均値は約 0.01mm ずつ減少した。なお、しきい値 $5 \times 10^{-6}\text{mm}$ の場合について、非接触三次元測定機で測定した半径との比較を行うと、本測定機による測定値の方が平均値で上半径が 0.012mm 小さめに、下半径が 0.016mm 大きめに測定された。

表5-1 本実験に用いたバイトの寸法

測定箇所	測定値	測定機
上半径	0.282	非接触 三次元 測定機
	0.286	
	0.275	
	0.274	
	0.288	
平均	0.281	
下半径	0.266	
	0.270	
	0.265	
	0.263	
	0.265	
平均	0.266	
両逃げ角	0.339	
バイト幅	1.265	投影器

両逃げ角：上面逃げ角と下面逃げ角の和

表5-2 測定実験の設定値

設定項目	設定値 (mm)
先端部測定長さ	0.4
先端部測定ピッチ	0.01
平行部測定長さ	1.0
平行部測定ピッチ	0.1
先端の無視する長さ	0.04
円と線間の無視する長さ	0.3
円と線を自動分離するためのしきい値	2×10^{-6} 、 5×10^{-6} 8×10^{-6}

表5-3 測定結果

試料	上半径 (数値はしきい値) (mm)			下半径 (数値はしきい値) (mm)			両逃げ角 (°)	バイト幅 (mm)
	2×10^{-6}	5×10^{-6}	8×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}	8×10^{-6}		
①	0.289	0.273	0.258	0.291	0.276	0.265	0.327	1.268
②	0.272	0.267	0.254	0.288	0.276	0.263	0.302	1.267
③	0.280	0.268	0.273	0.285	0.277	0.272	0.306	1.267
④	0.279	0.269	0.252	0.301	0.290	0.279	0.263	1.267
⑤	0.324	0.301	0.280	0.294	0.290	0.288	0.305	1.266
max-min	0.017	0.006	0.021	0.016	0.014	0.025	0.025	0.002
平均	0.280	0.269	0.259	0.292	0.282	0.273	0.310	1.267

(平均値 max-min 値を計算する時、――の値は異常値として無視した)

6. むすび

非接触自動寸法測定機のハードウェアおよびソフトウェアの開発はほぼ完了し、逃げ角およびバイト幅は良好な測定値が得られた。

しかし、先端の半径は「円と線を自動分離するためのしきい値」をパラメータとして、円データの範囲を変化させると測定値に影響が出た。それ以外に、「先端部の無視する長さ」「先端部測定ピッチ」をパラメータとして変化させても、測定値は若干変化した。また、今回は一種類のバイトについてのみ測定実験を行ったが、先端半径の大きく異なるバイトでは適切なパラメータが異なることも考えられる。ただし繰り返し精度は良好であるので、当面現場において他の測定機と併用して測定パラメータと測定値の関係についてデータ収集を行うことにより測定パラメータを特定することが可能であると思われる。

工業技術センター研究報告

第 5 号

平成 3 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 大津紙業写真印刷株式会社
大津市月輪一丁目 9 番33号