

平成 4 年度  
(第 6 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

# 研究論文集

平成 5 年 3 月 24 日(水)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

The Educational Society for Young Research Workers of Technology, in TOYAMA

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター機械電子研究所

富山県高志リハビリテーション病院

富 山 大 学 工 学 部

富 山 県 立 大 学 工 学 部

# ご あ い さ つ

会長 飴 久 晴

個人消費の低迷、貿易黒字の拡大、円高と昨年に引き続き、きびしい経済情勢となっており、景気回復の兆しもなかなか見えない今日この頃ですが、会員企業の皆様には益々ご隆昌のことと存じます。

本会も発足から6年を数えるに至り、その間、この研究活動で育った多くの若い研究者が大いに活躍していることはたいへん喜ばしいことです。

これも、研究会員の先生方と富山技術開発財団殿、富山大学殿、県工業技術センター殿、県高志リハビリ病院殿の絶大なるご支援、ご指導のおかげと感謝いたしております。

本年の研究活動も6件のテーマで行われ、学会発表や新聞紙上での紹介などめざましい活動がなされました。

本会の基本的考え方がそれぞれの研究活動のなかで熟成され、各企業から参加された研究者の方々が、お互いに影響しあい、勉強し、研究活動をとおして自分自身の成長の一助とされたことと信じております。

また、本会の研究活動を通して成長された研究者のみなさんが、企業内の他の研究者に大いにその影響を与え、各企業の成長に結び付けられ、ひいては富山県全体の技術力向上と産業発展の原動力となることを念じております。

本会をご理解賜り、暖かいご支援下さいます官学の皆様方に誌上を借りてお礼を申し上げますと共に今後一層のご指導賜りますようお願い申し上げます。



# 研究の概要

富山県工業技術センター 工学博士 谷野 克巳



本書は、「若い研究者を育てる会」に参加する企業（会員企業数26社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成4年4月から富山県工業技術センター機械電子研究所において4グループ（4テーマ）、富山大学工学部において1グループ（1テーマ）、および富山県高志リハビリテーション病院において1グループ（1テーマ）の計6グループが実施してきた研究の成果をまとめたものであり、まず、富山県工業技術センター機械電子研究所で実施した4グループの研究の概要は次のようなものである。

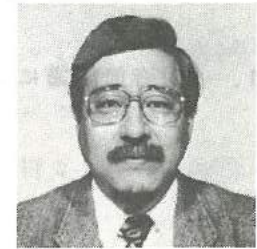
- ①「マイクロマシンに関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、1cm立方以下の大きさの自走式マイクロマシンの開発と強磁性薄膜の作製を取り上げ、1990年の「山登りマイクロメカニズムコンテスト」で優勝した「電虫」の追試作と、ステッピングモータを用いた「磁車」を新しく開発し、その性能を評価したこと、ならびにマイクロモータのロータ用強磁性薄膜を作製し、その電気磁氣的性能を評価したことなどについて述べている。
- ②「薄膜微細加工技術の研究」のグループ（参加企業数2社）の研究報告においては、フォトリソグラフィや反応性イオンエッチングによる薄膜の微細加工技術を応用した薄型トランスの試作を取り上げ、新しく二重渦巻形銅電極パターンを設計し、薄膜によるトランスや銅箔とアモルファス磁性フィルムとを組み合わせたトランス、フェライト基板を用いたトランスなどを作製し、これらの電気磁氣的性能などを評価したことなどについて述べている。
- ③「形状測定装置の開発に関する研究」のグループ（参加企業数1社）の研究報告においては、三次元表面形状を測定する簡便な形状測定装置の開発を取り上げ、PSDセンサ、集光レンズ、スリットなどを用いることにより、凹面、凸面などの形状を適度の精度で測定でき、かつ簡便な測定装置を試作したことなどについて述べている。
- ④「透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、透明プラスチック製品の成形品内部欠陥を検出する装置の開発を取り上げ、ライン状のレーザ光の表面拡散反射光などを利用すると、成形品内部の泡、異物、傷、糸欠陥などを比較的高い確率で検出可能であったことなどについて述べている。

近年、視覚障害者向けの点字書籍の作成には点字ワープロなどが徐々に実用化されているが、キーボード入力の労力や価格などの問題がある。本研究では、点字書籍の作成の入力インターフェイスとして点字に関する知識を持たない人にも容易に入力できる音声入力を可能にするため、音声認識技術を用いている。一般への普及を目的としているため、低価格のパソコンまたはワークステーションでの処理が可能なプログラムを設計した。



単音節を認識の単位とし、セグメンテーション方式としてFFTパワースペクトラム距離を利用して、近接した音節への対応を行っている。また、母音部と子音部に分離してマッチングを行っている。総合的な認識率を向上させるため手段として音声理解機能を目指して単語レベルの認識機能を追加している。現在の考え方では、認識率は、おおよそ90%以上である。今後の実用化が期待される。

2年間の電子回路部分における基本的な検討に基づいて、本年度は小型化を目的に電氣的消去可能なROMを内蔵したワンチップマイコンを利用した具体的な設計段階に進むことが出来た。



埋め込みのための動物実験、更に臨床実験を目指して、経皮的な手法によるシステムを含めた開発を進めてきた。今後はパッケージングの問題と共に総合的な実装技術を蓄積していく予定である。

以上、本書は6つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も本会もしくはそれぞれの企業などにおいて、継続して研究を進めていく必要があるものと考えている。また、過去6年間で実施した35テーマの成果はすでに関連学会で発表、および一部のものは今年中に発表を予定し、特許は共同で5件出願している。これらの内の幾つかのものは企業化や生産ラインの自動化などに応用されつつある。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立つものであることを確信している。

なお、本会の研究を推進するにあたり、内外の方々より多大なご助力、ご助言を賜ったことに対して、深く感謝の意を表します。

## 研 究 グ ル ー プ の 構 成

### I. 「マイクロマシンに関する研究」グループ

研究担当者	白石 信幸 (コーセル(株))
	吉井 靖岳 (株)タナカエンジニアリング)
	新谷 哲也 (北陸電気工業(株))
研究指導者	藤城 敏史 (工業技術センター機電研)
	松田 敏弘 ( " )
	高林 外広 ( " )
	鍋沢 浩文 ( " )
	中川 章 (工業技術センター中央研)
	谷野 克巳 (工業技術センター機電研)

### II. 「短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究」グループ

研究担当者	島野 英明 (株)インテックシステム研究所)
	北喜 靖規 (北日本電子(株))
研究指導者	八木 寛 (富山大学工学部)

### III. 「完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究」グループ

研究担当者	土田 隆一 (立山科学工業(株))
研究指導者	山本 敏泰 (高志リハビリテーション病院)
	大島 淳一 ( " )

### IV. 「薄膜微細加工技術の研究」グループ

研究担当者	伊勢 寿夫 (コーセル(株))
	戸田 雅規 (株)不二越)
研究指導者	松本 岩男 (工業技術センター機電研)
	田村 幾夫 ( " )
	二口 友昭 ( " )

寺沢 孝志 (工業技術センター機電研)  
鍋沢 浩文 ( " )  
谷野 克巳 ( " )

V. 「形状測定装置の開発に関する研究」グループ

研究担当者 野末 昌朗 (立山アルミニウム工業㈱)  
研究指導者 田村 幾夫 (工業技術センター機電研)  
浅田 峯夫 ( " )  
吉田 勉 (県商工企画課 (元機電研))  
谷野 克巳 (工業技術センター機電研)

VI. 「透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発」グループ

研究担当者 本堂 裕 (㈱斎藤製作所)  
大岩 秀徳 (三協アルミニウム工業㈱)  
長峰 浩幸 (㈱タカギセイコー)  
研究指導者 藤城 敏史 (工業技術センター機電研)  
浅田 峯夫 ( " )  
佐山 利彦 ( " )  
角崎 雅博 (工業技術センター中央研)  
谷野 克巳 (工業技術センター機電研)

註：各グループ中、企業名は50音順

# 目 次

I. マイクロマシンに関する研究	1
1. 緒 言	1
2. マイクロマシンとは	2
3. 電磁型自走マイクロマシン「電虫」の試作	3
4. ステッピングモータ型自走マイクロマシン「磁車」の開発	4
5. 強磁性薄膜の作製	7
6. 結 言	10
II. 短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究	11
1. ま え が き	11
2. 点字概要	12
3. 音声認識装置の構成	12
4. 高速化手法	15
5. 認識実験	15
6. 今後の課題	16
7. 応用アプリケーションの可能性	17
8. む す び	17
III. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究	18
1. 緒 言	18
2. システム概略	19
3. 送受信回路	21
4. 実験結果	22
5. 今後の課題	26
6. 謝 辞	26



IV. 薄膜微細加工技術の研究	27
—トランスの試作—	
1. 緒言	27
2. 薄膜パターンの形成	28
3. トランスの構成と評価	29
4. トランスの試作	32
5. まとめ	35
V. 形状測定装置の開発に関する研究	36
1. 緒言	36
2. PSDセンサの位置検出性能の評価	37
3. 形状測定原理の確認	39
4. 各種形状の測定	41
5. 今後の課題	44
6. 結言	44
VI. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発	45
1. 緒言	45
2. 画像による製品検査の現状	46
3. 目視による欠陥検査	46
4. レーザ光による欠陥検出	50
5. 欠陥検査装置	52
6. 結言	54

# I. マイクロマシンの研究

## Study of Micromachine

白石 信行、	吉井 靖岳、	新谷 哲也、
SHIRAISHI Nobuyuki	YOSHII Yasutaka	SHINTANI Tetsuya
藤城 敏史、	松田 敏弘、	高林 外広、
FUJIKI Satoshi	MATSUDA Toshihiro	TAKABAYASHI Sotohiro
鍋沢 浩文、	中川 章、	谷野 克巳
NABESAWA Hirofumi	NAKAGAWA Akira	TANINO Katsumi

### a b s t r a c t

Micromachine is a functional machine whose size is extremely small, and its application to industrial fields is expected. The range of its size may vary from centimeter to nanometer. It should manipulate micrometer or nanometer scale of material, whereas most conventional machines are designed for human scale. In this paper, we focused on electromagnetic mobile micromachine and ferromagnetic thin film for rotor of micromotor.

We fabricated two types of mobile micromachine and named them "Denmushi" and "Jiguruma" respectively. "Denmushi" used vibration of electromagnet and moved around on rough paper surface. However, it was not able to climb a slope, due to lack of assembly accuracy and slipperiness of the machine sole. "Jiguruma" is a kind of stepping motor whose rotors are wheels themselves. We also prepared appropriate jigs to maintain assembly accuracy. "Jiguruma" ran at 56 mm/sec and had enough torque(4.3 g-mm) to climb a slope. For more smooth motion, variation in distance between stator and rotor should be improved. "Jiguruma" will participate "the mountain climbing contest" in the Precision Engineering Conference(March, 1993).

To get ferromagnetic thin films, we sputtered Nd-Fe-B on heated quartz substrates and also examined annealing effect. Over 500°C of substrate temperature, crystallization of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B and ferromagnetic characteristics was observed. The maximum coercive force was about 6000 Oe of 700°C sample, which was nearly two third of the value of the sputtering target. The annealing did not have distinct effect on magnetic characteristics.

### 1. 緒言

近年、原子力発電所や化学プラント等に代表されるように、産業システムの精密化と複雑化、大規模化が著しい。このようなシステムの信頼性保全の立場から、微小な部分についても最適なメンテナンス・保守管理が要求されており、センサを装備したマイクロマシンの開発ニーズが多くの産業分野で高まっている。また、従来の機械は、その多機能化を図る場合、部品点数が増加しサイズが大きくなるという問題をかかえている。そこで、微小機械加工技術などのマイクロマシン技術により、構成する個々の部品サイズの小型化が実現できれば、装置のサイズの変更を行なわないで、機械の多機能化がさらに促進されるものと考えられている。

本研究では、大きさが10mm立方以内の自走するマイクロマシンの作製およびアクチュエータ用強磁性薄膜の作製を目的として、以下のステップで実験を行なった。

- ① 文献、学会誌によるマイクロマシンに関する情報の調査(第2章)
- ② 電磁型自走マイクロマシンの試作(第3章)
- ③ ステッピングモータ型自走マイクロマシンの開発(第4章)
- ④ 新しいアクチュエータ材料として、強磁性薄膜の作製(第5章)

## 2. マイクロマシンとは

「まとまった微小な機械」として定義されるマイクロマシンの研究開発は、最近、非常に盛んとなっているが、実用に供するまでには多くの解決すべき問題がある<sup>1)~7)</sup>。次にマイクロマシンの特徴と製造上の問題点を示す。

- ① 寸法効果：寸法が1/10になると接触面積は1/100、重力は1/1000となる。また慣性抵抗が小さくなり動作が早くなる。
- ② 材料強度：構造的には重量の減少が図れるが、弾性効果の利用が困難になる。
- ③ 加工精度：相対的に加工精度が悪くなり、 $\mu\text{m}$ 単位の加工、組み立て精度が必要となる。
- ④ 摺動部の抵抗力：壁面走行などが容易になるが、軸受けの抵抗などが無視できなくなる。
- ⑤ 環境の激化への対応：スケールの移動表面の粗さなどが大きな問題となる。
- ⑥ 速度の自然法則：体長の10倍/秒程度が限界であり、マクロ的には動作が遅くなる。
- ⑦ マイクロアクチュエータの開発とエネルギーの供給法：従来のアクチュエータでは無視できた設計要素が、ここでは大きな影響を持ち、設計上の理論等の見直しが必要である。また、エネルギーの供給法にも問題がある。
- ⑧ 位置や姿勢の測定方法と制御方法：超小型の各種センサ等の開発と小型で省エネルギー型の制御系が必要である。

マイクロマシンは、メカトロニクスに应用されるような数 $10\mu\text{m}$ ~ $10\text{mm}$ 程度の大きさのミリマシンとも呼ばれるマイクロマシン、半導体技術や微細加工技術を応用した狭義のマイクロマシンおよび生物分子レベルの分子機械に分けることができる。また、表1はマイクロマシンに利用されるマイクロアクチュエータの例を動作原理別に表したものである。現在、電磁型のアクチュエータが最も一般的であるが、小型化に限界がある。静電型は小型化に適するが、外部に力を取り出しにくい。圧電型は制御や小型化が容易であるが、変位量が小さい。形状記憶合金型は構造が簡単にできるが、冷却機構などを考慮しなければならない。超音波型は大きなパワーが得られ制御も容易であるが、設計や製造が難しいなどの問題がある。本研究では、将来の製造装置等への応用を考慮し、ある程度の動作移動量が確保できるミリマシンの分野のマイクロマシンを研究対象とし、アクチュエータとしては、構造が単純で比較的大きな動作移動量を容易に得ることができる電磁型について検討した。

表1 動作原理別によるマイクロアクチュエータの分類

Table 1. Categories of microactuator based on operation method

分類	具体例	原理	長所	短所
電磁型	モータ	電流で生ずる磁界が永久磁石に及ぼす力	構造が簡単で製作が容易	小型に限界がある
	可動電磁石型	磁気回路を閉じようとする力	構造が簡単	大きな変位が取出し困難
静電型	可変容量モータ	静電容量を大きくしようとする力	超小型(ナノメートル)に最適	摩擦大、力の取出し困難
	可変ギャップモータ	上記と同じ(ギャップを狭めるタイプ)		
	誘導モータ	誘電体に働く力と分極の時間遅れを利用	構造が簡単	ロータの製造が困難
圧電型	屈曲変位型	圧電効果を利用、パイモルフなど	微小変位の発生に適する	変位量が小さい
	積層型	上記と同じ、積層方向の変位を利用		
磁歪型	磁気バイアス型	強磁性体に発生する歪を利用	圧電型よりは変位量大	(まだ研究が進んでいない)
	機械バイアス型	上記と同じ(バイアスは機械的予圧)		
SMA型	通電加熱型	ジュール熱により記憶した形状の復元	構造が簡単	応答速度が遅い
超音波型	振動方向変換型	圧電効果により振動子内に発生した回転	比較的構造が簡単	製造が容易ではない
	モード回転型	固体振動を利用	トルク、パワーが大きい	
気体圧力	フレキシブルチューブ型	分室内の圧力差によりチューブを变形	歩行動作に近い動きが可	チューブ剛性が負荷となる
その他	高分子型、油圧型、光型、水素貯蔵合金型などがある			

### 3 電磁型自走マイクロマシン「電虫」の試作

マイクロマシンの製作過程での問題点を把握するため、1990年3月に実施された「山登りマイクロメカニズムコンテスト」(以下、山登りコンテストと略記)で優勝したマイクロマシンの追試作を行なった。

#### 3.1 山登りコンテストの概要

山登りコンテストは、マイクロマシン技術の発展のために精密工学会が毎年主催しているイベントである<sup>(3), (9)</sup>。大きさは一辺が10mm以内のマイクロマシンで、図1に示す最大傾斜角13度の梨地アルミ製コースを登り、途中3箇所のチェックポイントを通じて、ゴール到達までの時間を競うコンテストである。マイクロマシンには外部から電線などでエネルギーや制御信号を供給しても良いが、1993年からは頂上部にゲートが設けられたので、ゲート通過のための工夫が必要となった。

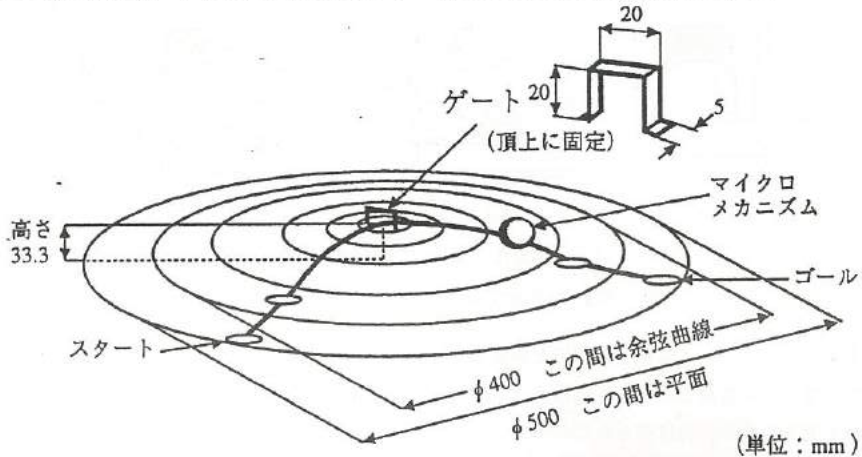


図1 山登りマイクロメカニズムコンテスト用競技グラウンド  
Fig.1 Mountain climbing course of the contest

#### 3.2 電磁型自走マイクロマシン「電虫」の概要と製作法

第1回の山登りコンテストで優勝したマイクロマシンは、電磁石の振動と斜毛を利用したマイクロマシンである。これを参考に、図2に示す構造を持つマイクロマシン(「電虫」と名づけた)を設計、試作した。図3は試作した「電虫」の外観を示す。図4はその製作手順を示す。鉄芯材料にはケイ素鋼板を用い、ワイヤ放電加工機を使用して所定の形状に加工した。電磁石のコイル巻作業には、モータによる巻線機を自作し、作業の容易化を図った。

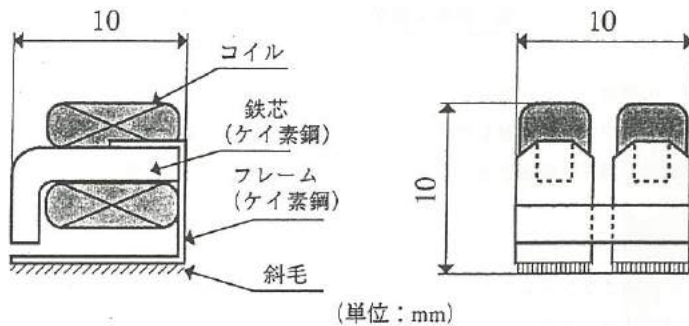


図2 「電虫」の寸法図  
Fig.2. Draft of "Denmushi"

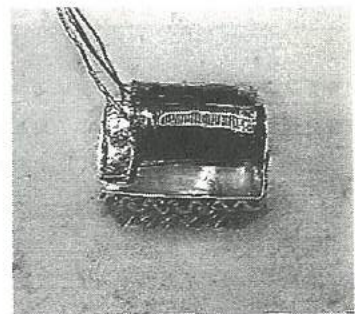


図3 試作した「電虫」  
Fig.3. Appearance of "Denmushi"

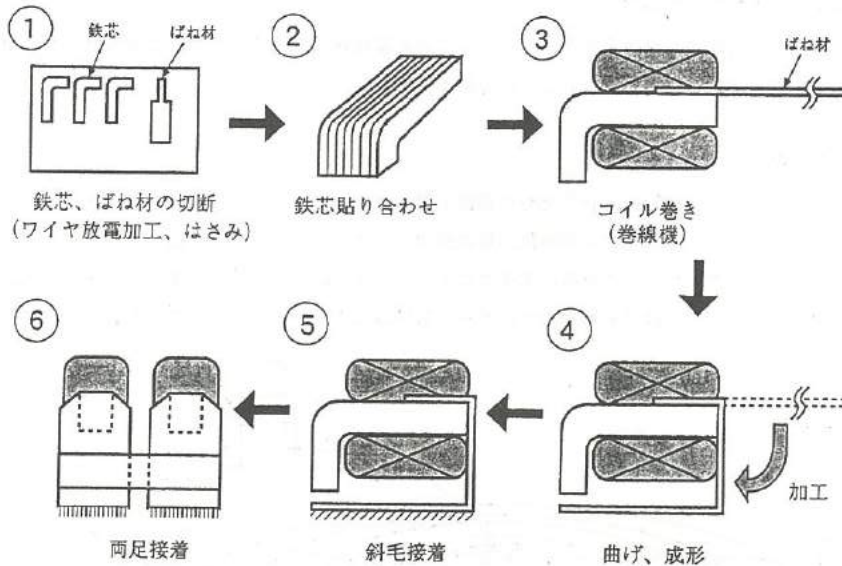


図4 「電虫」の製作手順

Fig.4. Fabrication steps of "Denmushi"

### 3. 3 電磁型自走マイクロマシン「電虫」の評価と問題点

表2は、試作した「電虫」の性能を示す。「電虫」は平坦な紙面上で走行が可能であったが、表3に示す問題点があり、山登りコンテストのコースを完走できる性能は得られなかった。この原因としては、組み立て作業をピンセットによる手作業で行なったため、組み立て精度が悪くなったことによる。また、金属面上で滑る現象は構造的な問題であると考えられ、新たな構造のマイクロマシンの開発を行なうことにした。

表2 「電虫」の性能

Table 2. Performance of "Denmushi"

コイル巻数	94	ターン
外形寸法	12 × 12 × 10 mm	
駆動方法	パルス電流印加	
	周波数	200 ~ 300 Hz
	電流	0.6 A
走行スピード	50 mm/秒	

表3 「電虫」の問題点

Table 3. Problems of "Denmushi"

- |                      |
|----------------------|
| ① 斜面の走行ができない(斜毛が滑る)  |
| ② 金属面の走行ができない(斜毛が滑る) |
| ③ 制御性が悪い             |
| ・方向制御が困難             |
| ・走行スピードが安定しない        |
| ④ 外形寸法が大きい(組み立て精度不良) |

### 4. ステッピングモータ型自走マイクロマシン「磁車」の開発

電磁石型に代わるアクチュエータの1つとして、電磁型の小型ステッピングモータを用いた自走マイクロマシン(「磁車」と名づけた)の設計、試作を行なった。「電虫」よりも組み立て精度を向上させるために、各種の組み立て用ジグも併せて自作した。

#### 4. 1 「磁車」の構造

図5は「磁車」の構造概略図を示す。「磁車」はケイ素鋼のフレームを挟む左右2つのステッピングモータで構成され、ロータそのものを車輪として移動する構造である。ロータはサマリウムコバルト磁石を使用した6極構造とし、回転摩擦を小さくするため、ミニチュアベアリングを軸受けとした。また、ステータは、径1.5mmの軟鉄に線径0.1mmのホルマール銅線をそれぞれ150ターンずつ巻いたコイルを配置する4極構造とした。図6は試作した「磁車」および図7は製作用ジグの外観を示す。

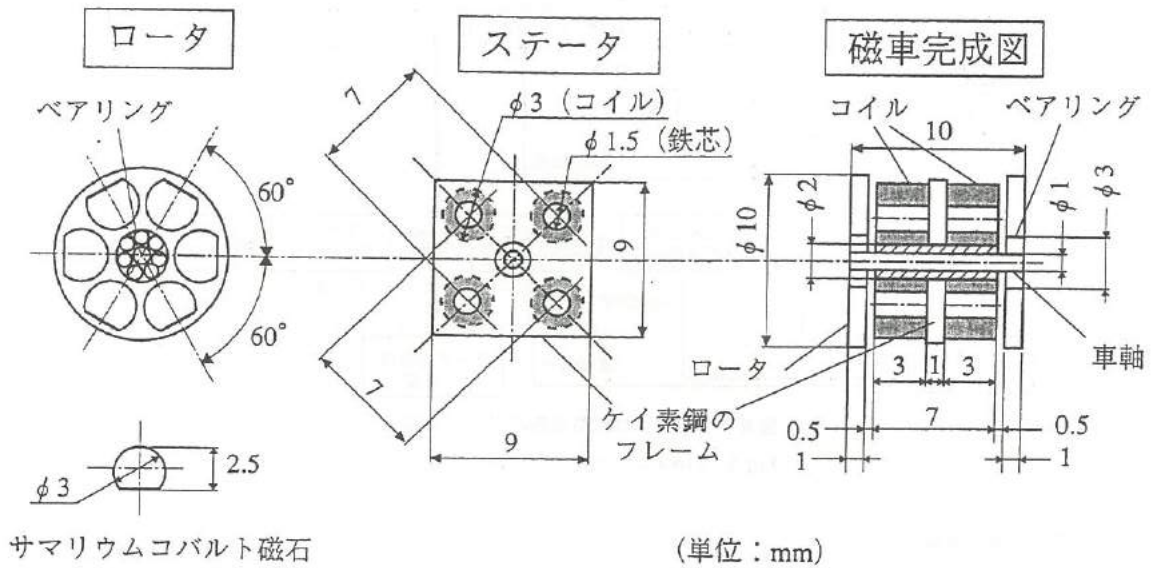


図5 「磁車」の構造概略図  
Fig.5. Draft of "Jiguruma"

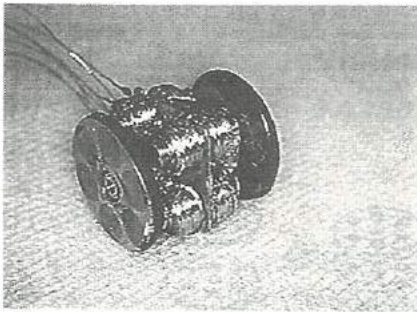


図6 試作した「磁車」  
Fig.6. Appearance of "Jiguruma"

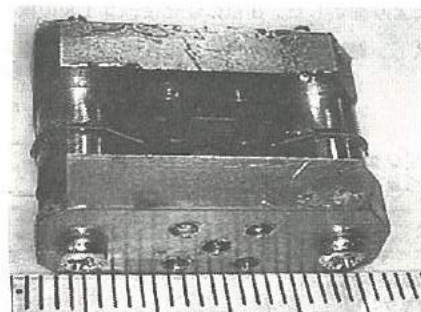


図7 試作に用いたジグ  
Fig.7. Jig for fabrication

#### 4.2 「磁車」の駆動回路

図8は「磁車」の駆動回路の外観を、図9はそのブロック図を示す。駆動回路では、まず、発振回路により発生させたクロックを分周し、駆動信号発生素子 (PHM8713) によって4相励磁信号を発生する。この励磁信号をDCモータドライブ用素子 (M54543L) に供給し、各ステッピングモータを駆動する。「磁車」の運転には、各モータ毎の駆動/停止および前進/後退を制御するロジック回路を、コントロールスイッチで切り換える方式を採用した。

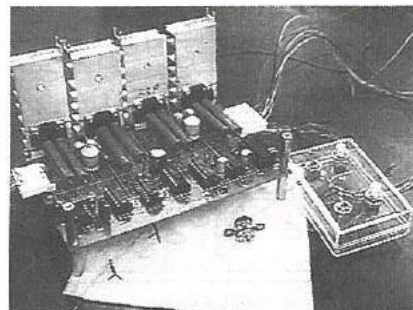


図8 「磁車」駆動回路  
Fig.8. Driving circuits for "Jiguruma"

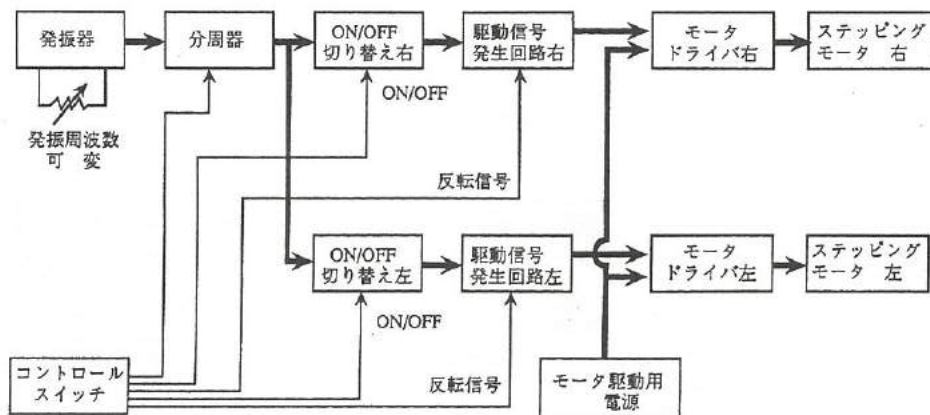


図9 「磁車」の駆動回路のブロック図  
Fig.9. Block diagram of driving circuits

#### 4. 3 「磁車」の製作方法

図10は「磁車」の製作手順を示す。ロータは、真ちゅうの固定ジグにサマリウムコバルト磁石およびテフロンチューブを挟み込み、これを樹脂により固定した。その後、幅1mmの円板に切り出し、中心部にミニチュアベアリングを埋め込み、さらに外周部には滑り止め用のシリコンゴムを塗布した。ステータは、巻線機により製作したコイルをケイ素鋼のフレームに挟み、組み立ててジグに取り付け、樹脂により固定した。樹脂の硬化後、コイルの鉄芯およびフレームの不要部分を切断・研磨した。ステータに直径1mmの鉄製の軸を挿入し、軸の両端にロータを取り付けて「磁車」を完成させた。

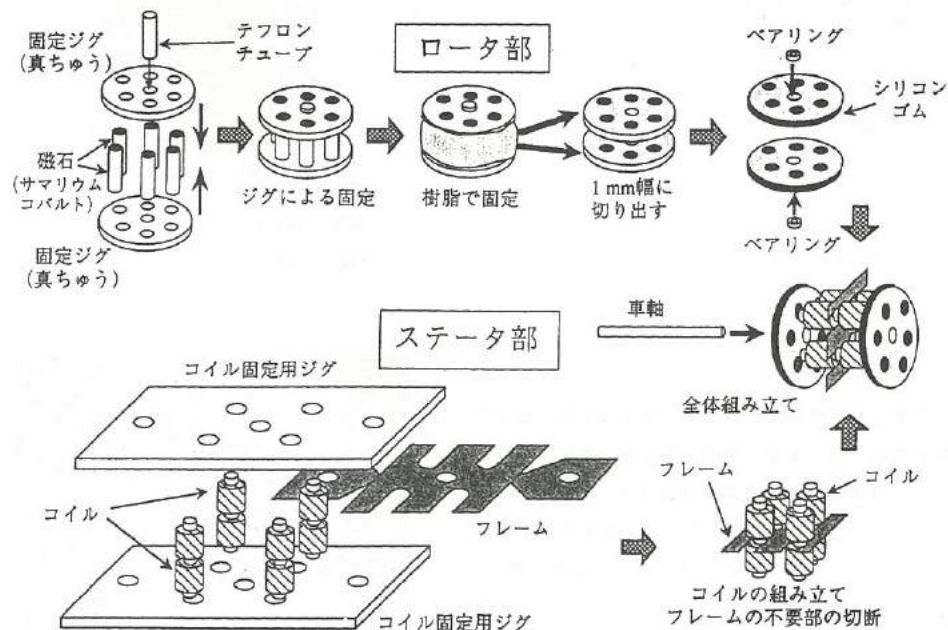


図10 「磁車」の製作手順  
Fig.10. Fabrication steps of "Jiguruma"

#### 4.4 「磁車」の評価

表4は試作した「磁車」の性能を示す。「磁車」はボール紙の平坦面および13度の斜面（山登りコンテストの最大斜度）を走行することができた。トルクは一般のモータに比べると小さいが、「磁車」を走行させるには十分な値が得られた。走行スピードについては、山登りコンテストの走行距離である50cmを約9秒（8Hz時）で走行できる。

「磁車」には、山登りコンテストのコースを走行できる見通しが得られたが、ロータとステータ間のギャップの不均一に起因すると思われる走行動作のムラが見られた。したがって、ロータの取り付け精度の向上が今後の課題である。

#### 5. 強磁性薄膜の作製

##### 5.1 強磁性材料の薄膜化

強磁性材料の開発には目ざましいものがあり、従来のフェライト磁石やアルニコ磁石に比べて格段の性能を持つ希土類磁石が開発されている。フェライト磁石の最大エネルギー積（ $BH_{max}$ ）は5 MGOe、アルニコ磁石は11 MGOeである。これに対し、希土類磁石の中のサマリウムコバルト磁石は31 MGOe、Nd-Fe-B系磁石は37 MGOeを示す<sup>10)</sup>。しかし、希土類磁石は粉末冶金法によって製造されるため、脆くて薄片化しにくい。このため、今回の研究では、マイクロアクチュエータのロータへの応用を考え、希土類磁石の薄膜化を試みた<sup>11)</sup>。

##### 5.2 強磁性薄膜の実験方法

図11は、強磁性薄膜の作製方法を示す。スパッタリングには、高周波マグネトロンスパッタ装置（UH250型：日本真空技術社製）を用いた。基板は耐熱性及び耐熱衝撃性に優れ、化学的に安定な溶融石英基板（1インチ角）を用い、酸、アルカリおよび有機溶剤で十分に洗浄した。ターゲットには市販のNd-Fe-B系磁石材料（信越化学社製、磁化はされていない）を用いた。

一般に、このような強磁性薄膜の作製では、基板を加熱しながらスパッタリングを行う方法が採用されているが、ここでは局部磁化や磁化強度の制御を目的として、着膜後にアニーリングを施すことによって強磁性薄膜を得る方法についても検討を加えた。アニーリングはスパッタ装置内で行なったが、これは膜表面の酸化やガス吸着を防止するためである。加熱温度は室温から800

°Cまでとし、加熱源には急加熱・急冷却が可能な赤外線ランプを用いた。図12に、800°C加熱の場合の降温プロファイルを示す。ランプ電源を切断した場合、高温からは急速に冷却され、低温になるにしたがい徐冷となっている。なお、温度はセンサ取付部のものである。スパッタ出力は4.4 W/cm<sup>2</sup>で、成膜時間は1時間とした。成膜を終えた試料はダイヤモンドカッタにより所定の大きさに切り出し、特性評価用試料とした。膜の評価には、接触式表面粗さ計、ICP（誘導結合型高周波プラズマ発光分析

表4 「磁車」の性能

Table 4. Performance of "Jiguruma"

コイル巻数	150ターン (8個)
外形寸法	10×10×10mm
駆動方法	4相励磁方式
周波数	8.0 Hz
電流	0.5 A
モータトルク	4.3 g-mm
走行スピード	56 mm/秒

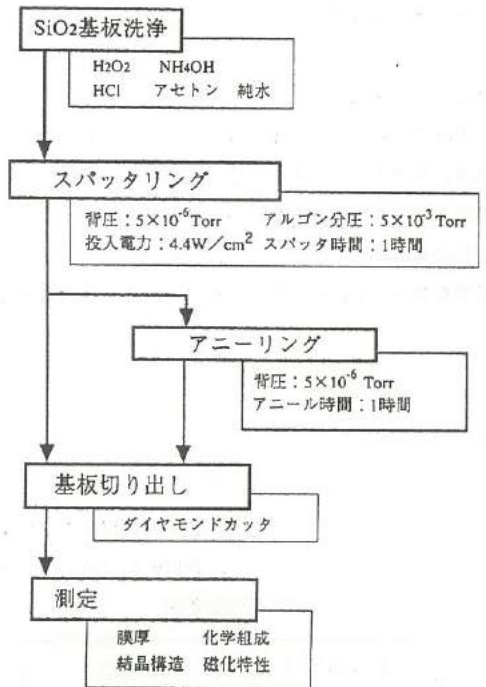


図11 磁性薄膜の製作方法

Fig.11. Fabrication method of magnetic thin film



装置)、X線回折装置およびVSM(振動試料型磁力計)を用い、それぞれ膜厚、化学組成、結晶構造および磁化特性を調べた。

### 5.3 強磁性薄膜の評価

#### (1) 強磁性薄膜の膜厚と組成

1時間のスパッタリングにより成膜した強磁性薄膜の膜厚は、基板温度によらず2μmであった。スパッタレートに換算すると、0.03μm/分であった。

図13は、室温でスパッタリングした薄膜およびターゲットの組成分析結果を示す。ターゲットの構成元素はNd、Fe、Bの他にDyとCoが含まれている。DyとCoはキュリー温度を高くするために添加してあるものと考えられる。測定結果を比較すると、どちらも同様の値を示しており、スパッタリングによる組成ずれはないものと考えられる。

#### (2) X線回折

表5は、基板加熱法およびアニーリング法で得られた試料のX線回折の結果を示す。基板加熱法では、基板加熱温度が500℃以上の場合Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bを示すピークが認められた。アニーリング法では、いずれの温度でも顕著なピークが認められず、結晶化は見られなかった。

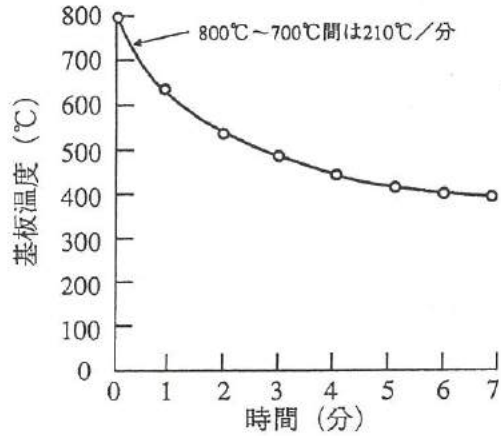


図12 降温プロファイル(初期温度800℃の場合)

Fig.12. Decreasing curve of temperature

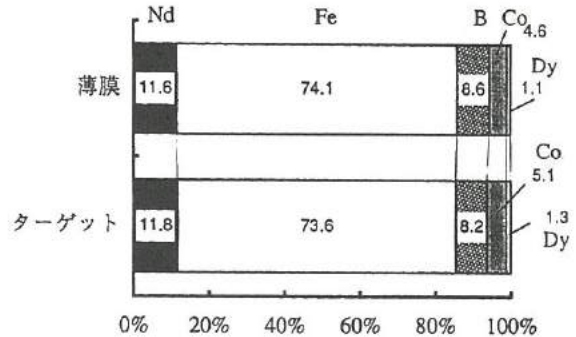


図13 ターゲットと薄膜の化学組成

Fig.13. Chemical composition of target and thin film

表5 X線回折の結果

Table 5. Result of X-ray diffraction

#### (a) 基板加熱法

基板温度 (°C)	結晶性
ターゲット	※多結晶
室温	アモルファス
400	アモルファス
500	※多結晶
600	※多結晶
700	※多結晶
800	※多結晶

#### (b) アニーリング法

アニール温度 (°C)	結晶性
400	アモルファス
500	アモルファス
600	アモルファス
700	アモルファス
800	アモルファス

※ Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの多結晶を意味する

### (3) 強磁性薄膜の保持力

一般に強磁性材料の特性評価には  $BH_{max}$  が用いられるが、今回の試料は薄膜なので、体積の寄与しない保持力で評価することとした。図14はヒステリシス曲線の一例、図15は基板加熱温度と保持力の関係の一例を示す。図により、室温でスパッタリングだけでは保持力は弱く、強磁性膜は得られなかった。しかし、基板温度が  $500^{\circ}\text{C}$  以上では保持力が増大し強磁性膜が得られ、 $700^{\circ}\text{C}$  で最大の保持力を示した。この値はターゲット材の保持力の約70%である。さらに、 $800^{\circ}\text{C}$  にすると保持力の値が減少した。これは熱応力に起因する膜質の劣化によるものと考えられる。

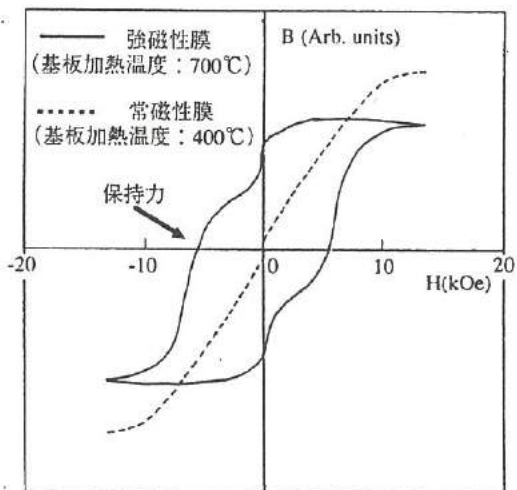


図14 磁化曲線の例

Fig.14. Examples of magnetization curve

図16はアニール温度と保持力の関係を示す。アニール処理を施した試料では、 $700^{\circ}\text{C}$  まではアニール温度を変化させても、きわめて小さい保持力しか認められず、 $800^{\circ}\text{C}$  でわずかに保持力は増えたものの、ターゲットの保持力の20分の1以下で、アニリングによる効果はほとんど認められない。この原因としては、基板加熱では成膜時の原子または分子のマイグレーションが寄与して結晶成長を促すのに対し、アニールでは結晶化を促すことができなかったためと考えている。

今回の実験の結果、基板温度  $500^{\circ}\text{C}$  以上で成膜すれば、保持力の高い磁性膜が得られることがわかった。しかし、実際にアクチュエータのロータに使用するには、膜厚を厚くして  $BH$  積を稼ぐ必要がある。また、薄膜の加工方法や部分的着磁方法が今後の課題である。

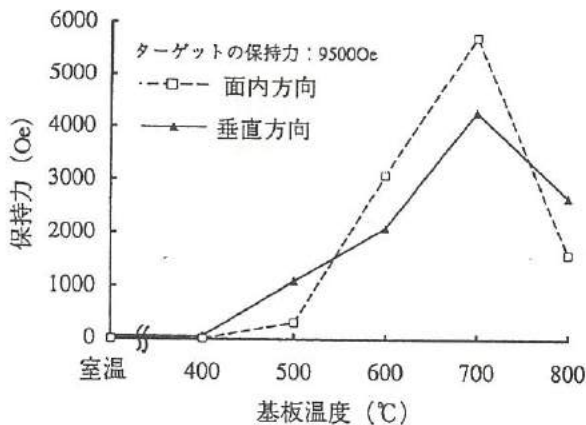


図15 保持力の基板温度依存性

Fig.15. Coercive force dependence on substrate temperature

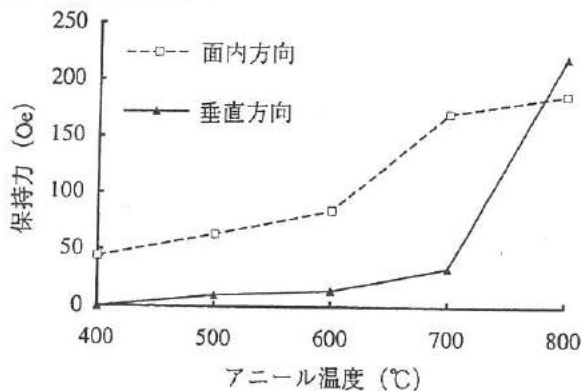


図16 保持力のアニール温度依存性

Fig.16. Coercive force dependence on annealing temperature

## 6. 結 言

本研究では、マイクロマシンの一例として、大きさが10mm立方以内で自走するマイクロマシンおよびアクチュエータ用強磁性薄膜の作製を行なった。その結果をまとめると、

- ① 電磁型自走マイクロマシン「電虫」を試作し、走行させたが、斜毛が滑るために動作が不安定であった。
- ② ステッピングモータ型自走マイクロマシン「磁車」を試作し、走行させることができた。「磁車」は山登りコンテストのコースを走行できるトルクや走行性能を持つが、動作の信頼性に若干の問題点が残った。
- ③ 強磁性薄膜の作製時の基板加熱温度を500°C以上にすると、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  が結晶化して高い保持力が得られ、とくに700°Cの試料ではターゲット材の保持力の約70%の値のものが得られた。いっぽう、アニーリング法では保持力の向上は認められなかった。

最後に、本研究を進めるにあたり、VSMによる測定に快くご協力いただいた富山職業訓練短期大学の永井秀則博士ならびに磁性薄膜の作製に助言をいただいた安川電機の石田雄二氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 林輝ほか：「マイクロマシンと材料」、ジスク、1991
- 2) 樋口ほか：「マイクロメカニカルシステム実用化技術総覧」、フジテクノシステム、1992
- 3) 吉川ほか：「マイクロマシン技術による製品小型化・知能化事典」、産業調査会事典出版センター、1992
- 4) 林輝：マイクロメカニズムへの期待、日本機械学会誌、1989、12、p1024
- 5) 藤田博之：マイクロメカトロニクス現状と将来、日本機械学会誌、1989、12、p1029
- 6) 生田幸士：形状記憶合金アクチュエータのマイクロメカニズムへの適用、精密工学会誌、1988、9、p1656
- 7) 林輝：マイクロメカニズム、精密工学会誌、1991、1、p23
- 8) 林輝：山登りマイクロメカニズム製作コンテストから、精密工学会誌、1990、12、p2189
- 9) 春日ほか：第2回山登りマイクロメカニズムコンテスト、精密工学会誌、1991、8、p965
- 10) 谷腰欣司：「磁石とその使い方」、日刊工業新聞社、1987
- 11) 山下ほか：Nd-Fe-Bスバッタリング異方性薄膜磁石、日本応用磁気学会誌、1991、2、p241

## II. 単音節認識による音声一点字変換

### Study of Voice-Braille Convert System Using Syllable Recognition

北喜 靖規      島野 英明      八木 寛  
Yasunori Kitaki · Hideaki Shimano · Hiroshi Yagi

#### Abstract

We developed a voice-braille convert system for trial. This system recognizes the voice as the units of syllables and transfers the results into brailles. This system works on low-cost computers. We use a simple recognition algorithm so that this system works fast.

In this year, we added a word recognition process to our system to raise the system's recognition-rate. This is an approach to achievement of speech understanding. Recently, there are many low-cost speech recognition units which recognize the voice as the units of words. These units(usually including one chip recognition module and using DP mathing algorithm)require many word registration processes. But our system requires only syllable registration processes.

The results of our study are as follows:

- (1) We measured the system's word recognition rate(about 90%).
- (2) Our system works on both low cost personal computers and work stations.
- (3) We use a segmentation algorithm which segment syllables certainly.

#### 1. まえがき

近年、音声認識の需要が高まってきており、各社からは新しい認識方法を利用した認識装置が発表されている。需要のひとつは、テレマーケティング市場である。従来から DTMF(Dual-Tone MultiFrequency)を入力とし、規則合成音声または PCM (Pulse-Code Modulation) 録音音声により応答するシステムが主流を占めている。近年では、不特定話者の数十語程度の単語を認識する機能が追加されているシステムが出現し、数字やID情報などの音声入力が可能になっている。ふたつ目は、ヒューマン・インターフェイスの改善の需要である。従来のキーボード、タッチパネルあるいはマウスなど手による入力にかわり、手軽に入力できる音声を利用することにより、入力者層の拡大や入力時間の削減が期待できる。いずれの需要も、単語単位での認識であっても、かなりの応用が期待できる。

本研究では、点字書籍の作成時の入力インターフェイスとして音声認識技術を利用したシステムを試作した。このシステムには自由文章を入力する必要があるため、単語単位の認識ではなく少なくとも音節単位の認識をおこなう必要がある。なお入力音声は特定話者が音節単位で離散的に発声した日本語に限定した。

前年度は、音節セグメンテーションの自動化およびセグメンテーション位置の確度向上を図り、以下の結果を得た。

- (1) 日本語 67 音節(清音、濁音および半濁音)の範囲で約78%の認識率。
- (2) パソコンで約26秒/音節の処理速度。

本年度は、自由文の認識率の向上のために音声理解機能を備えるため、以下の項目を検討した。

- (1) 単語理解機能を追加して単語レベルでの認識率の向上。
- (2) 低価格のパソコンおよびワークステーションの両方での稼働。
- (3) セグメンテーション方式としてFFTパワースペクトラム距離を利用して、近接した音節への対応。

## 2. 点字概要

視覚障害者が使用する点字は、仮名文字、数字、アルファベットの表記が可能な6点式点字(図1)が一般に広く用いられている。尚、漢字を表記するために8点式点字も存在する。

一般的な点字ワープロとして、ローマ字/かなキーボードまたは点字キーボード(6鍵)により入力し、画面または点字ディスプレイに出力し、最終的に点字プリンタに印字する。

## 3. 音声認識装置の構成

### 3.1 モジュール概要

本研究で試作した音声-点字変換装置(図2)は以下のモジュールに分割される。

- (1) A/D(Analog/Digital)変換モジュール
- (2) FFTモジュール
- (3) 音節セグメンテーションモジュール
- (4) 音節マッチングモジュール
- (5) 単語マッチングモジュール
- (6) グラフィック描画モジュール
- (7) 点字コード変換モジュール

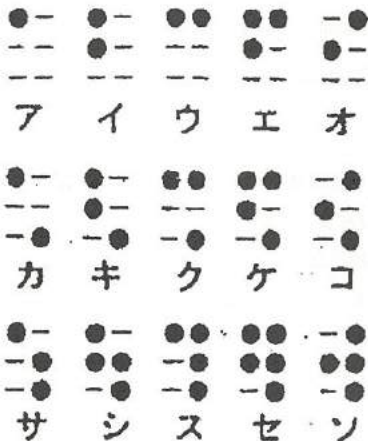


図1 6点式点字

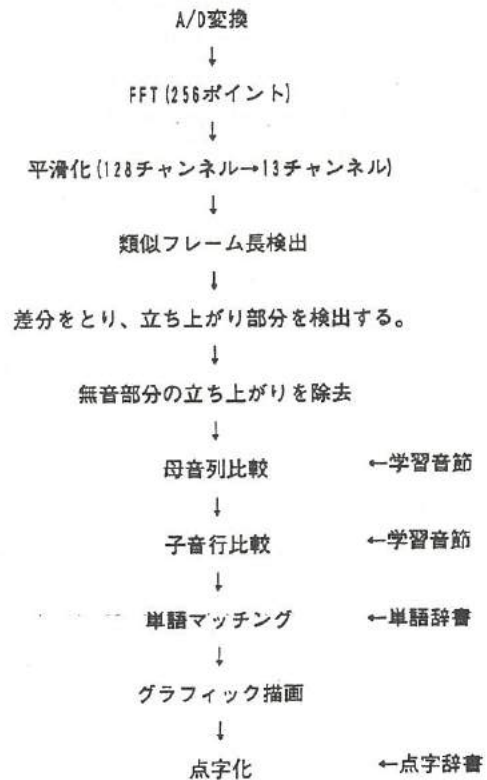


図2 本システム動作概略

対象プラットフォームは、パソコン(以下PCと略記)およびワークステーション(以下WSと略記)である。以下に、それらの仕様を示す。

パソコン: x86系CPU, クロック25MHz, DOS

ワークステーション: RISC系CPU, クロック40MHz, UNIX

両方のプラットフォームを対象とするため、コーディングは移植性の高いC言語で記述した。

### 3.2 A/D変換モジュール

PCの場合は、拡張スロットにA/D変換ボードを装着して、サンプリング周波数32kHz、16ビット量子化をおこない間引きにより8kHzにダウンサンプリングした。この間引きにより若干のサンプリングノイズが発生した。

WSの場合は、標準で内蔵されているA/D変換装置を用いた。サンプリング周波数8kHz、16→8ビット量子化( $\mu$ -law encoding)である(図3)。FFTモジュールでの演算時に再び伸長をおこない16ビットとして扱う。

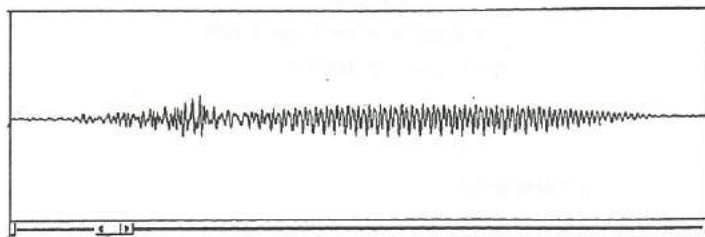


図3 入力音声生波形(100)

### 3.3 FFTモジュール

一般的に音声認識は、時系列パターンである音声を認識するわけであるが、このパターンの特徴としてスペクトラムを用いる事が広くおこなわれている。スペクトラムの推定方法は以下の方法がある。

- (1) LPC(Linear Predictive Coding)(線形予測符号化)
- (2) FFT(Fast Fourier Transform)(高速フーリエ変換)
- (3) 複数のバンドパスフィルタ(アナログまたはデジタルフィルタ)群の出力を使用

本研究では、ハードウェアへの依存を避けるため、バンドパスフィルタ群の使用はおこなわなかった。また、実験の再現性を高くするためにアナログ回路の使用は避け、さらに処理時間を短くする必要があったためFFTを採用した。

FFTのパラメータは以下の通りである。

サンプリング周波数 8kHz

量子化ビット数 16ビット

ポイント数256ポイント(=32ms)

窓関数ハミング関数

シフト幅 128ポイント(=16ms)

以下のモジュールでは、スペクトラムの包絡成分を使用するため、周波数軸方向に32チャンネル幅の窓関数を設定してその中の最大値を取り出し、その窓を8チャンネルずつずらし、結果的に計13チャンネルのスペクトラムとして使用する。

### 3.4 音節セグメンテーションモジュール

本研究では、離散的に発声された音節単位での音声を入力対象とするため、音節の切り分け(セグメンテーション)には以下の特徴量を使用できる。

- (1) 音量

FFT処理後のスペクトラムから音量を求め、あらかじめ設定したしきい値と比較する。この手法は、簡易であるため、単語認識をDPマッチングでおこなう音声認識装置の認識開始点を求める方法として使用される。本研究の入力音声は、離散的な音節を対象としているため、音量の低い時刻に出現する偽のセグメンテーション結果を除去するために使用した。

### (2) スペクトラム

FFT処理後のスペクトラム相互のスペクトラム距離の時間的変化を求め、あらかじめ設定したしきい値と比較して超えた時刻とその時間的距離を測定し、時間的距離の立ち上がり部分のみをセグメンテーションの対象とする。この場合、偽のセグメンテーション結果も多数得られるが、後ろの段階の単語マッチングモジュールで排除する。

### 3.5 音節マッチングモジュール

音節セグメンテーションモジュールで得られた評価音節と、あらかじめ登録されている学習音節との比較をおこなう。マッチング処理量を削減するために、母音列を特定した後に子音行の特定をおこなう。ふたつのスペクトラム同士の距離は8フレームに渡り最小2乗法を用いた。また、時間軸方向のズレおよびスペクトラムの相対的なパワーの差を補正するために、時間軸方向のズラし(±2フレーム)およびスペクトラムのパワー方向のズラし(±8dB)をおこない、最小値を距離として用いる。

### 3.6 単語マッチングモジュール

単語マッチングモジュールは、辞書に記述された単語(数十語)と評価音節ラティスと比較を総当たりにおこない、スコアの高い候補単語の順に出力する。

### 3.7 グラフィック描画モジュール

以下の情報をグラフィック(図4)で出力する。

- 単語候補
- 音声生波形
- FFTパワースペクトラム
- セグメンテーションフレーム位置
- 音節ラティス
- 6点式点字

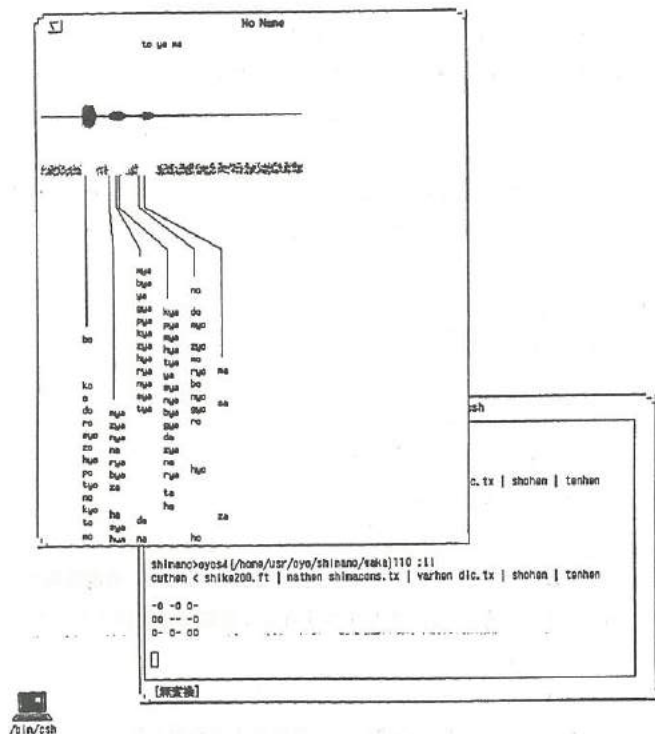


図4 グラフィック描画モジュール動作画面

### 3.8 点字コード変換モジュール

単語マッチングモジュールで絞り込まれた単語を点字に変換して画面上(または点字プリンタ)に出力する。

#### 4. 高速化手法

##### 4.1 実数演算の高速化

各モジュール内での処理過程では、固定小数点演算または浮動小数点演算のいずれかを選択する必要がある。WSでは32ビット精度の整数を用いて固定小数演算をおこなうことが可能であり高速な動作が期待できる。しかしPCでは整数は16ビットの精度しかなく、特にFFTモジュール内での演算途中でオーバーフロー/アンダーフローが多発した。そのため今回は、WSおよびPCのどちらでもある程度の速度で動作し、かつコーディングの容易な浮動小数点演算(IEEE準拠フォーマット32ビット)を採用した。

##### 4.2 三角関数、対数および平方根

FFTモジュールでは、三角関数(sinおよびcos)、対数(log)および平方根(sqrt)を多用する。そのため、関数の値をあらかじめメモリ上のテーブルに格納しておき演算時に参照する方式を採用した。

sin, cos関数の場合は定義域の範囲(0~2 $\pi$ )が狭いため定義域を等分割してテーブルを作成した。ここでの分割数はFFTモジュールのポイント数に比例する。

しかし、log, sqrt関数の場合は定義域の範囲が極めて広く、またWSおよびPCで使用する浮動小数点の数値フォーマットはIEEEフォーマットの32ビットである。よってテーブルは2の32乗個の要素を含むことになり、PCおよびWSの物理メモリのサイズよりもはるかに大きくなる。このため、定義域の精度を32ビットから16ビット(PCの場合は13ビット)に減らして対応した。

#### 5. 認識実験

学習音節および評価音節はいずれも図5に示す日本語音節(清音、濁音、半濁音、撥音および拗音)の112音節である。なお、長音および促音はその音節の時間的な長さを無視して対応している。

今回単語レベルの認識実験をおこなうため、登録用単語には日本の47都道府県名(図6)を用いた。

認識実験のための音声の収録はコンピュータ室にて単一指向性マイクをWSのA/D変換部に接続して発声した。コンピュータのクーリングファンの騒音は一般のOA環境と同程度であった。

"a","ka","sa","ta","na","ha","ma","ya","ra","wa","ga","za","da","ba","pa",  
"kya","sya","tya","nya","hya","mya","rya","gya","zya","bya","pya",  
"t","ki","sei","ti","ni","hi","mi","ri","gi","zi","bi","pi",  
"u","ku","su","tu","nu","hu","mu","yu","ru","gu","zu","bu","pu",  
"kyu","syu","tyu","nyu","hyu","myu","ryu","gyu","zyu","byu","pyu",  
"e","ke","se","te","ne","he","me","re","go","zo","do","bo","pe",  
"kya","sya","tye","nye","hye","mye","rye","gye","zye","bye","pye",  
"o","ko","so","to","no","ho","mo","yo","ro","go","zo","do","bo","po",  
"kyo","syo","tyo","nyo","hyo","myo","ryo","gyo","zyo","byo","pyo",  
"x"

図5 学習/評価用音節

a li	ka na ga wa	to ku si ma	ho kai
a o mo ni	kyo to	to ti gi	mi e
a ki ta	gi hu	to to ri	mi ya gi
i si ka wa	ku ma mo to	to ya ma	mi ya za ki
i ba ra ki	gu x ma	na ga sa ki	ya ma ga ta
i wa te	ko ti	na ga no	ya ma gu ti
e hi me	sa i ta ma	na ra	ya ma na si
o i ta	sa ga	ni ga ta	wa ka ya ma
o sa ka	si ga	hyo go	
o ka ya ma	si zu o ka	hi ro si ma	
o ki na wa	si ma ne	hu ku i	
ka ga wa	ti ba	hu ku o ka	
ka go si ma	to kyo	hu ku si ma	

図6 登録単語辞書

##### 5.1 認識率評価実験

###### (1) 実験1

話者S(男性)学習音節登録数1セット, 評価用単語発声1セット, 認識率100%

###### (2) 実験2

話者M(男性), 学習音節登録数6セット, 評価用単語発声1セット, 認識率91%

なお、誤認識した単語に関して、評価単語および認識結果を以下に示す。



hukui → tokyo (/hu/の音節の発声が強く、呼気がマイクに当たりノイズが発生している)  
 siga → tiba  
 kyoto → hyogo  
 hukuoka → tokyo,hyogo,kyoto,hukuoka, (/hu/の音節の発声が強く、呼気がマイクに当たりノイズが発生している)

## 5. 2 処理速度評価実験

話者Sの5秒間の発声を処理するために必要な処理時間を測定した(カッコ内は全体に占める割合)。

	パソコン	WS
FFT	15(21%)	3(30%)
セグメンテーション	8(9%)	1(10%)
音節マッチング	46(66%)	5(50%)
単語マッチング	3(4%)	1(10%)
	計70[秒]	10[秒]

## 6. 今後の課題

### 6. 1 認識速度の高速化

#### (1) モジュール間通信およびファイル入出力の削減

現在は、WS用のコーディングでは各モジュールをプロセスに分割している。そのため各モジュール間の通信は、プロセス間通信で一般的なパイプを使用している。このパイプのオーバーヘッドを削減するために複数モジュールをひとつのプロセスにまとめて、モジュール間の通信にはプロセス内のメモリを共有して使用することが挙げられる。

また、学習用の音節をファイルで保持しているため、現在はマッチング時に随時ファイルリードが発生するが、あらかじめメモリに読み込むことによりファイル入出力を削減し高速化を図る。

#### (2) 実数演算の高速化

現在は、PCおよびWS間のコーディングの移植性を浮動小数点演算を多用しているが、これを全て固定小数点で置き換えることにより高速化が期待できる。しかし、これをPCに適用する場合には32ビットOSを使用する必要がある。

#### (3) リアルタイム能力の向上

リアルタイム処理のパフォーマンスを向上させるため、コーディングレベルでのチューニングが必要である。または並列処理を実現するためRPC(Remote Procedure Call)またはDSP(Digital Signal Processor)の使用をおこなう。

### 6. 2 認識率の向上

#### (1) 音節の特徴抽出方法の改善

マッチングモジュール内では調音結合の影響、音節の長さおよびピッチ情報などの重要な特徴をほとんど利用していない。これらの特徴を用いることにより、2重母音/3重母音、促音、長音およびイントネーションの違いを認識する。

#### (2) 入力音声への適応

A/D変換前のアナログ回路の特性の違い、呼気によるノイズおよび音声の大小の違いを吸収し適応する認識アルゴリズムを使用する。

### (3)連続音声や調音結合への対応

現在のCV音節のみの認識にかわり、VCV音節やVC音節にも対応し音声入力時の自由度を増す。

## 6.3 ヒューマンインターフェイスの向上

ヒューマンインターフェイスの双方向の音声化をおこなう。画面によるエコーバックに代わり音声出力による認識結果の復唱をおこない、さらに対話形式により誤認識の訂正を可能にする。

## 7. 応用アプリケーションの可能性

### (1) 視覚障害者向け音声→点字変換装置

当初からの目的であるが、誤変換率を極めて低く抑える必要がある。音節マッチングモジュールでの認識率の向上、意味理解をおこなうモジュールの追加、さらに誤認識訂正部分のインターフェイスを迫及する必要性がある。または、入力する文章を一旦ローマ字に変換してそれらを構成するアルファベットを音声入力するなど、入力音声に冗長度を持たせるアプローチも有効である。

### (2) 聴覚障害者向け音声→文字変換装置

この場合は、聴覚障害者が意味理解の一部分を担うことが可能である。よって前者のアプリケーション例と比較すると音声認識部分の誤認識に関する問題は少ないと推測される。むしろ、必要な情報を損なうことなく操作者に伝えることが重要であると思われる。また、機器の小型化も重要な要素となる。操作者に必須の音声入力部と表示部のふたつを他から独立させ、ゴーグル型などの形態にまとめることが考えられる。

## 8. むすび

本研究では、自由文を認識するために音節単位の認識方式を用いた。実用的な認識率を実現するためには音声理解をおこなう必要があり、今回は単語レベルの理解を実現した。

## 参考文献

- [1] 古井貞熙：デジタル音声処理，東海大学出版会(1985)
- [2] 上坂吉則，尾関和彦：パターン認識と学習のアルゴリズム，文一総合出版(1990)
- [3] 松村博，岡隆一，木暮一也，小島有里江：スペクトルベクトル場の方向性パターンを用いた不特定話者の単語音声認識，電子情報通信学会論文誌，J72-D-II，4，pp.487～498(1989)
- [4] 中川聖一：パターンマッチング法による連続単語および連続音節の音声認識アルゴリズム，電子情報通信学会論文誌，J66-D，8，pp.637～644(1983)

### Ⅲ. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

- Development of a complete implantable FES  
(Functional Electrical Stimulation) system -

土田 隆一 大島 淳一 山本 敏幸

TUCHIDA Ryuichi · OHSHIMA Junichi · YAMAMOTO Toshiyasu

#### Abstract

A microcomputer-based stimulator has been developed as a revised version of the former logic circuits. We replace a 4ch stimulator with a microprocessor-controlled stimulator. It is a small and compact composition, and has 8ch outputs. The wave form of the output are changed into the biphasic signal, on the ground of wording off the tissue damage. Two kinds of the systems has been considered in practical use, which are a portable stimulator system, and a Multichannel Implantable Stimulator system. The one is mainly for the therapeutic training, the other, for the functional augument. The logic circuits are changed into a software-based system, based on onechip of microprocessor. It makes the stimulator easy to use. The stimulator contains 4 IC devices; one microprocessor, 8 bit D/A convertor, Op-amps, and Photo MOS switch IC.

A biphasic stimulus ensures the charge neutrality of tissue after stimulated, and it is also useful to mesuring of the EMG signals.

An implantable stimulator contains one of the interface systems. RDI port of MC68HC805B6 is data receiving pin. Data transmission of this system through the RS-232C interface.

We are planning a practical miniturization of this package to implant into a tissue. An implantable stimulator will be composed of receiving antenna, electrode, and refarence GND (Package case).

#### 1. 緒言

生体の組織、特に神経や筋が電気刺激によって興奮し、神経インパルスの発生・伝搬や筋の収縮などを生ずることは電気生理学の教えることでよく知られたことである。これを適切に使用する事により種々の治療効果を得ることができる。「明確な目的意識と作用メカニズムの理解の上になって、生体機能の補助あるいは制御を行う電気刺激」を「機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation, FES)」と呼び、最近脚光を浴びつつある。

本年度における研究は昨年度開発した4ch刺激装置に改良を加えたもので、動物実験や臨床実験を目指してチャンネル数を8chまで増やし、さらに小型化したものである。

## 2. システム概略

### 2-1 FES装置

昨年度で完成した4ch刺激装置回路はロジックシーケンスであった。シーケンスはロジックIC4個を使用している。小型化を考えた結果、ロジックシーケンスをマイコンのソフトウェアシーケンスに置き換える事にした。これによって以下のメリットが生まれた。

- 1) 小型化・・・基板の大きさが25cm<sup>2</sup>が16cm<sup>2</sup>になった。
- 2) データ伝送の回数を減らす・・・マイコンを使用した場合、メモリを内蔵しているため、ロジックシーケンスの場合刺激一回毎に送っていたデータを刺激の一連動作分のデータを送ってから刺激を開始するように改良できた。
- 3) 刺激動作のスムーズ化・・・チャンネル数が8chに増えた事と、マイコン制御になるため複雑な動作も可能となり、きめ細かい刺激が行える。
- 4) 低消費電力化・・・使用したマイコンは待機時にスリープモードに入るため、常時多くの電流を供給する必要がない。

### 2-2 8ch刺激装置

本年度作成した8ch刺激装置のブロック図と回路図及び外形図を図2.1, 図2.2, 図2.3にそれぞれ示す。4ch刺激装置と比較して電源部と検波回路の変更はない。また、テレメータ化を考え筋電を測定できる事も考慮した。

4ch刺激装置からの変更点はロジックをソフトウェアに置き換えたほかに、

- 1) マイナス電位を落とすためのOFF用TrSWの追加（筋電測定時に使用）
- 2) 筋電測定時のGND切り放し用フォトモスリレーの追加（筋電測定時に使用）
- 3) EEPROM書き込み回路（Vpp6 15pin）の追加
- 4) リセット回路（CRの時定数）の追加

等がある。

また、オペアンプ回路はbiphase動作に変更された。これは刺激信号としてbiphase信号が必要になったためで、理由として、電気刺激後の組織の電荷を中和させることがあげられる。刺激電流の平均値がゼロにならないと、電極-生体組織界面に分極現象を起こし、電気化学的組織に変化をもたらすので好ましくない。

通常はCカットやトランスなどで直流成分を切るが、筋電を測定する場合刺激電極が絶縁されるため、二相信号で中和させる必要がある。

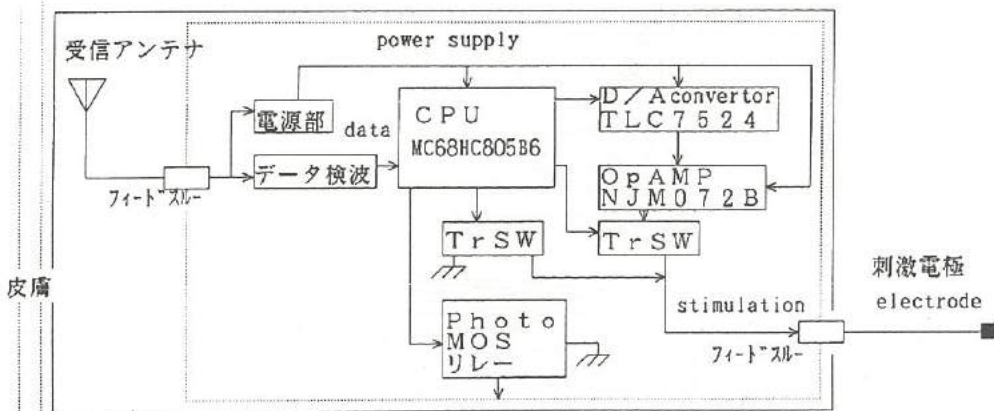
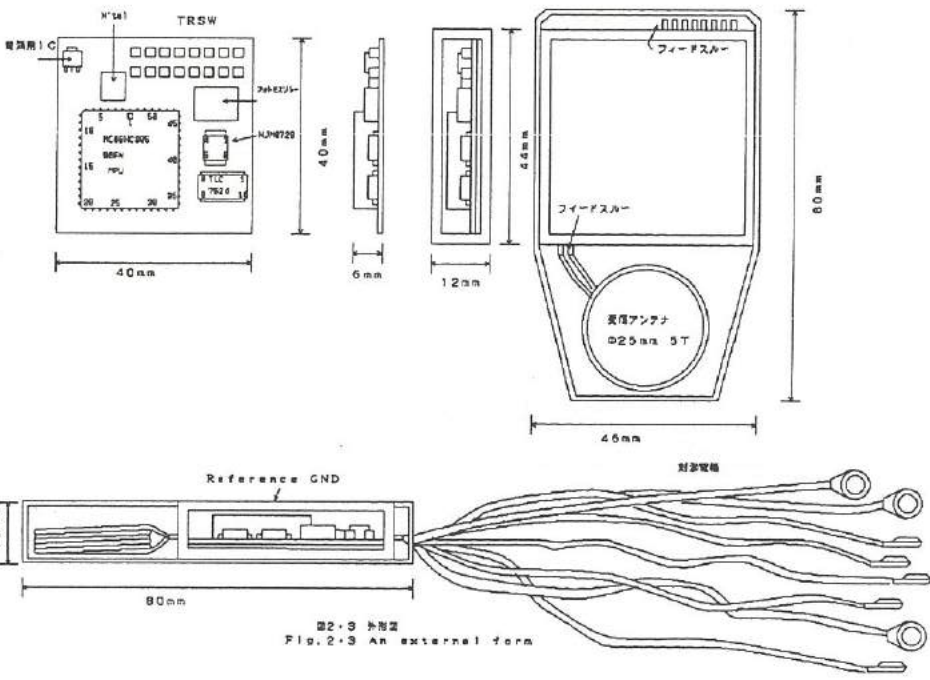
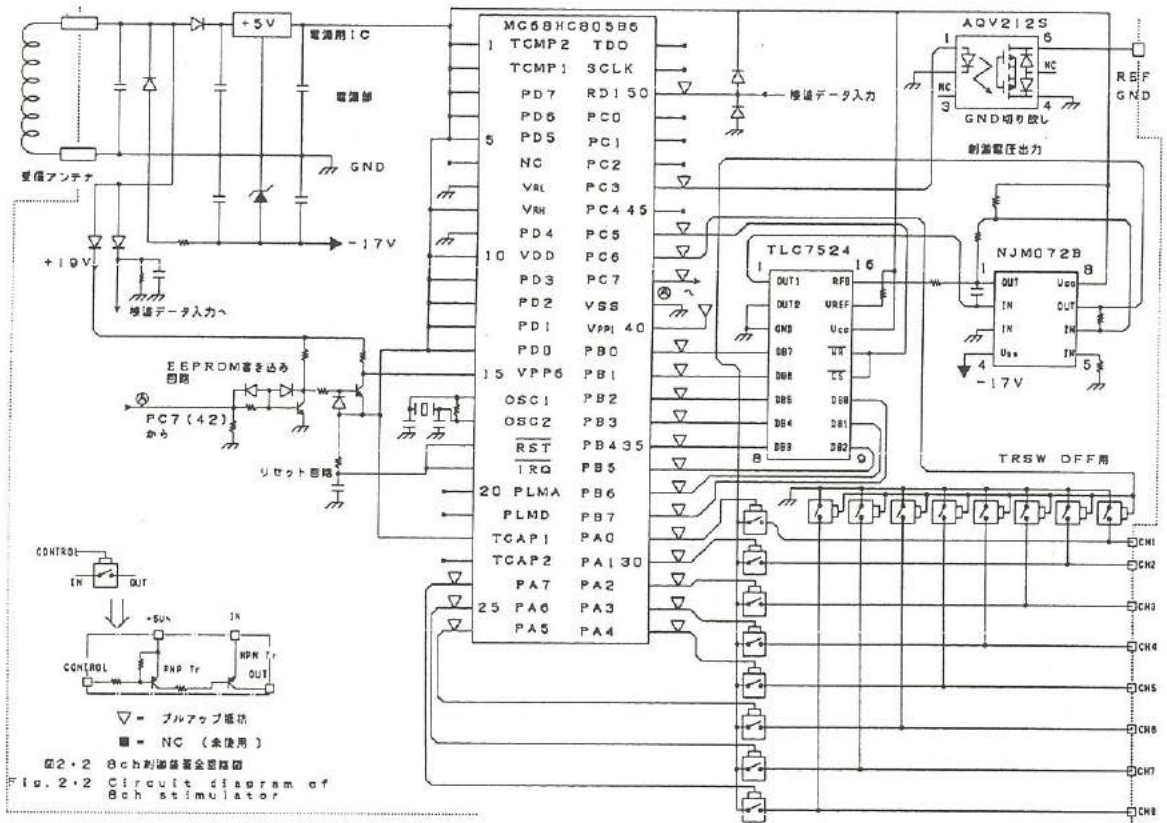


図2.1 8CH刺激装置ブロック図  
Fig2.1 Block diagram  
of 8CH Stimulator



### 3. 送受信回路

#### 3-1 理論式

電力とデータの伝送は空心コイルの電磁結合で行っている。これによって、電力及び信号の送受信に関して両コイル間に次の様な現象が生ずる。図3 (a) の様な相互インダクタンスMによって結合している自己インダクタンス $L_1$ 、及び $L_2$ を有するコイルからなる電磁結合回路の1次側に高周波信号源 $S_c$ 、2次側に負荷純抵抗Rが接続された場合に、その等価回路を同図 (b) のようなものとし、 $Z_1 = j\omega L_1$ 、 $Z_2 = j\omega L_2$ 、 $Z_m = -j\omega M$ とおけば、端子a, bから見た合成インピーダンス $Z_t$ は

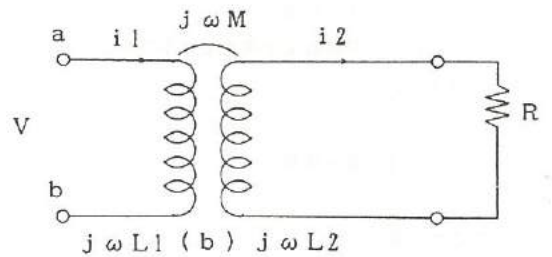
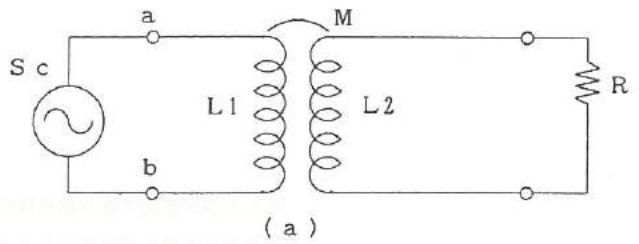


図3 結合しているコイル

Fig. 3 Inductive Link

$$\begin{aligned}
 Z_t &= Z_1 - \frac{Z_m^2}{Z_2} = j\omega L_1 - \frac{(-j\omega M)^2}{R + j\omega L_2} \\
 &= j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2 (R - j\omega L_2)}{R^2 + \omega^2 L_2^2} \\
 &= \frac{\omega^2 M^2 R}{R^2 + \omega^2 L_2^2} + j\omega \left[ L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2}{R^2 + \omega^2 L_2^2} \right] \\
 &= R_0 + j\omega L_0 \quad (1)
 \end{aligned}$$

となり、ここに

$$R_0 = \text{実効抵抗} = \frac{\omega^2 M^2 R}{R^2 + \omega^2 L_2^2} \quad (2)$$

$$L_0 = \text{実効インダクタンス} = L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2}{R^2 + \omega^2 L_2^2} \quad (3)$$

$$Z_t = \text{合成インピーダンス} = \sqrt{R_0^2 + (\omega L_0)^2} \quad (4)$$

となる。

式(1)における $R_0$ および $L_0$ は、抵抗成分及びインダクタンス成分について、ともに2次側による影響を1次側に換算した値である。また式(2)、(3)、(4)から次の事がわかる。

(1) 結合しているコイルの2次側に接続されている負荷抵抗値が変動すると、1次側から見た実効負荷抵抗及び合成インピーダンスが変化する。

(2) 相互インダクタンスMが距離の関数であるため、2つのコイルが結合している状態でその間隔が変化すると、1次側からみた等価インダクタンスが変化する。(よって、そのインダクタンスを持つコイルが同調回路のメンバーであれば、その同調がずれる。)

(3) また結合係数  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$  から

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

結合しているコイルの1次2次間の距離が変動すると結合係数kが変化し、2次側に伝送される電力が変動する。規定値より増大する場合についてはAVRなどで補正が可能であるが、減少する場合については通常は補正手段がない。

### 3-2 アンテナコイルの特性

送信機の周波数は10MHzで考えているため、その周波数でマッチするように設計しなくてはならない。今、細い導線を密接して巻いた場合に、

$$L = 10^{-7} \lambda \{ (2\pi RN)^2 / l \}$$

となる。ここで、R:円筒の半径、l:コイルの軸長、N:総巻き数、λ:長岡係数、d=2Rである。

アンテナの形状は体外の物は大型で、体内の物は小型の物を想定しそれぞれコイルA、コイルBとすると、計算からコイルAの場合、R=40mm、l=1.2mm、N=2となる。コイルBはR=12.5mm、l=3mm、N=5である。各コイルの特性と実験の結果は次章で述べる。

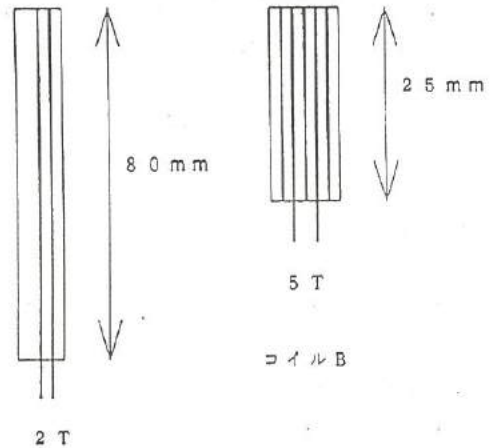


図 3・2 アンテナコイルの形状

Fig. 3・2 A form of coil

## 4. 実験結果

### 4-1 検波回路の動作

検波回路の動作確認した結果を示す。使用するCPUはRS232Cのインターフェイスプログラムを内蔵している。

その仕様は、9600ボー、8ビット、ノンパリティ、全二重、データフォーマットは8ビットバイナリとなっており、ホストコンピュータはIBM PCなどである。送信アンテナはコイルA、受信アンテナはコイルBを使用し、アンテナ間の距離は約10mmで行ったが、動作に問題はなかった。(Fig. 4・1, Fig. 4・2参照)

### 4-2 コイル間の伝送特性

刺激装置を埋め込んだ場合を想定して、以下の実験を行った。

A) 同一直線上での変化 (Fig. 4・3, Fig. 4・4)

コイルの中心軸を固定してアンテナ間の距離を変化させて特性を見る。(同軸移動距離 15mmから100mm)

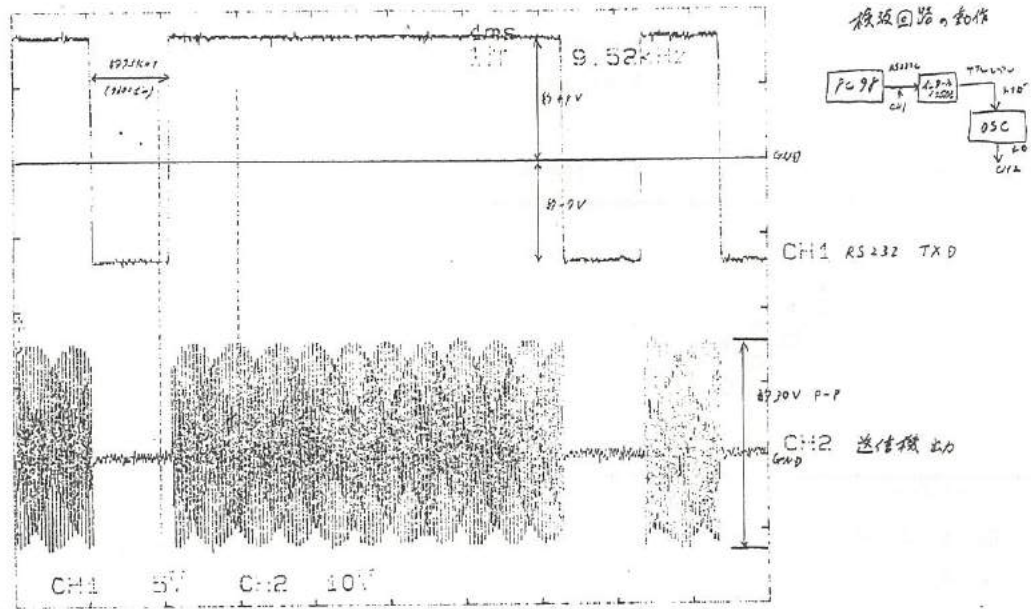


図 4.1 検波回路の動作 (1)

Fig. 4.1 An experimental example of detector circuit

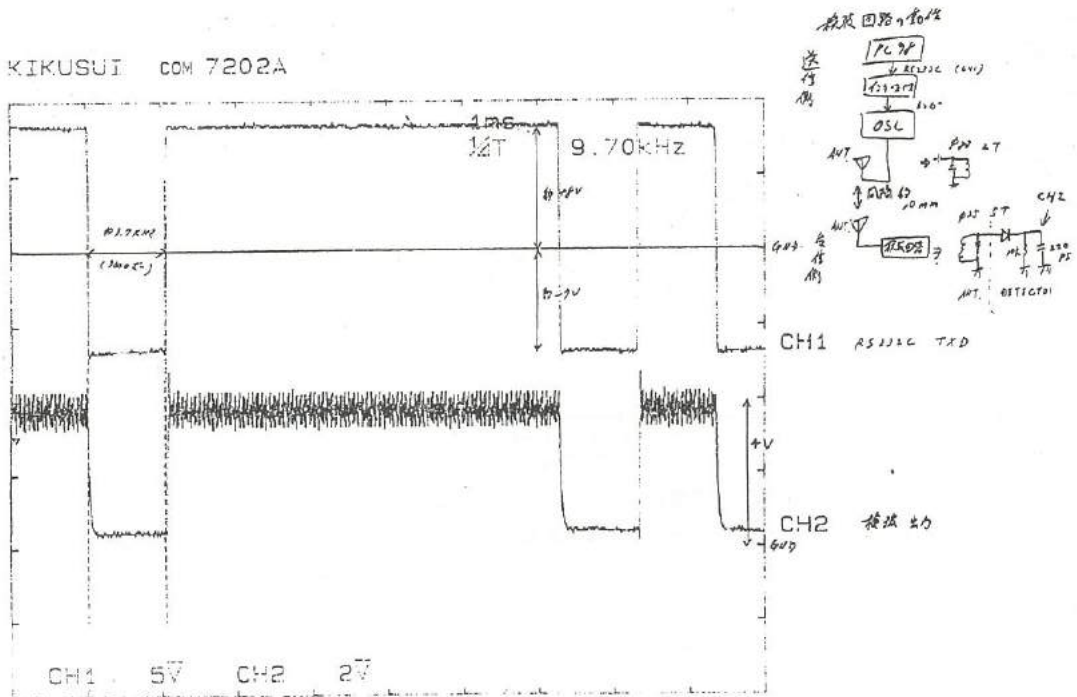


図 4.2 検波回路の動作 (2)

Fig. 4.2 An experimental example of detector circuit



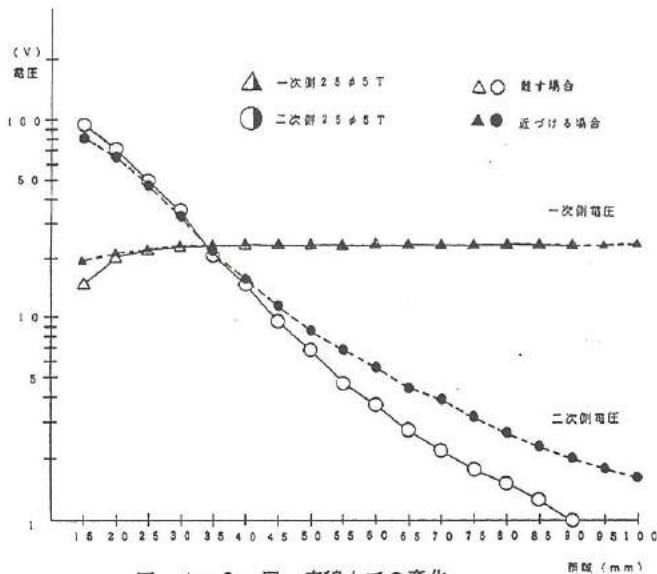


図 4・3 同一直線上での変化  
Fig. 4・3 Ideal alignment

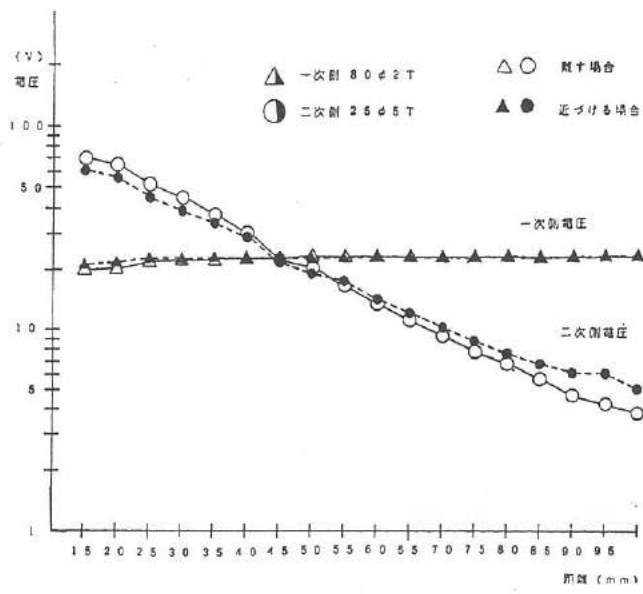
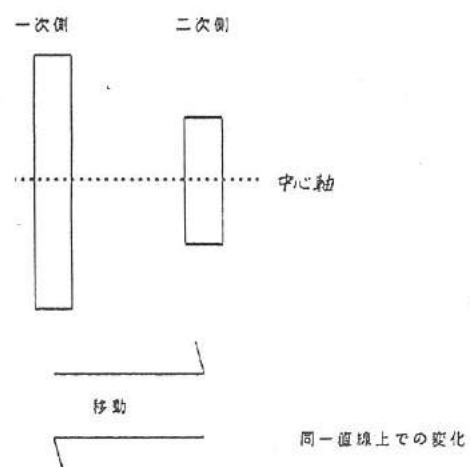


図 4・4 同一直線上での変化  
Fig. 4・4 Ideal alignment

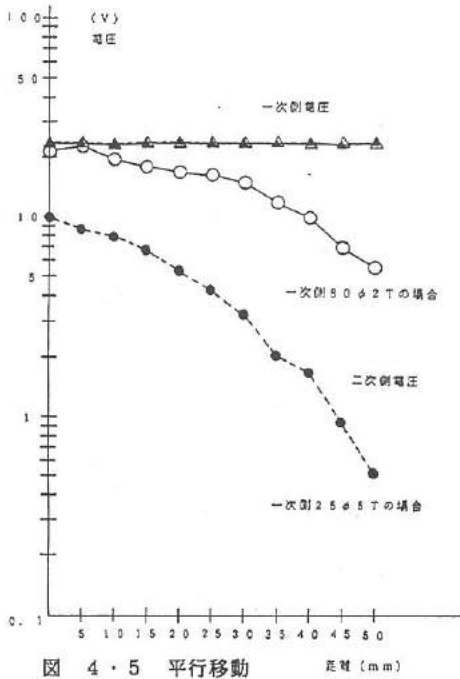


図 4.5 平行移動  
Fig. 4.5 Lateral misalignment

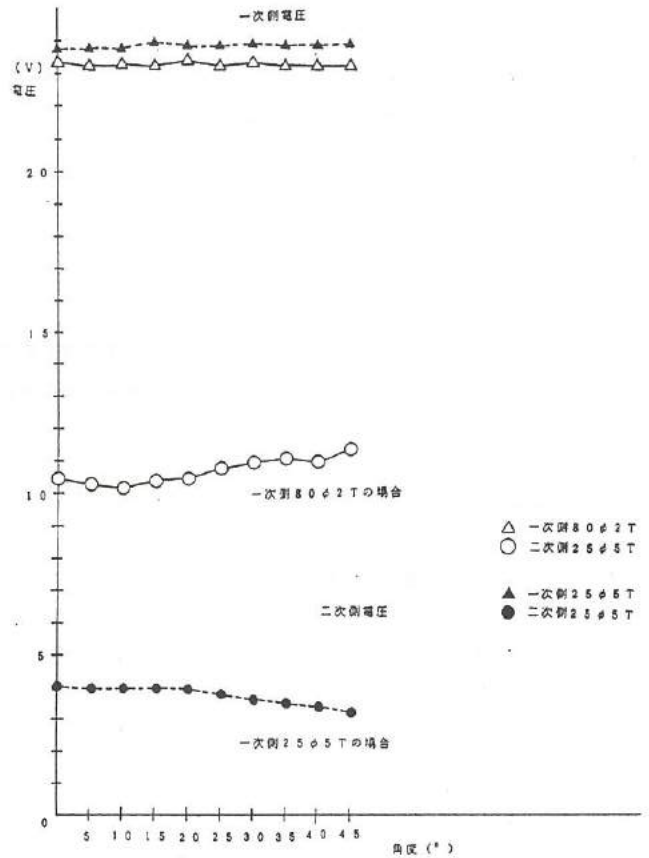
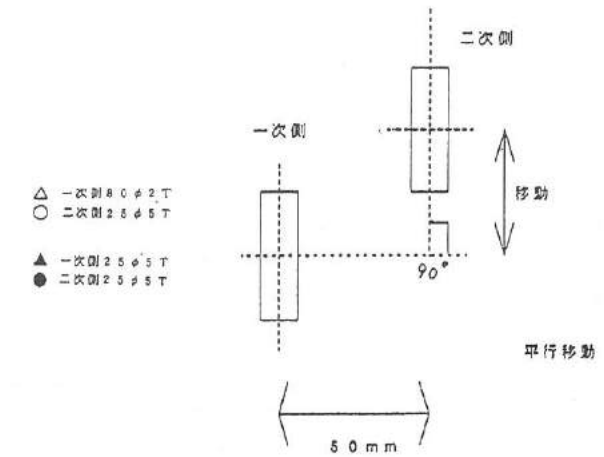
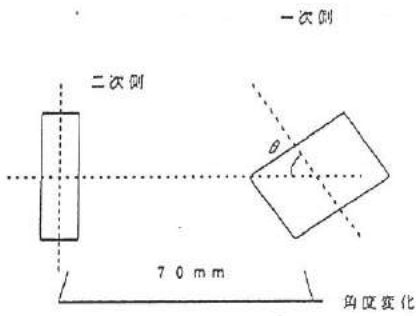


図 4.6 角度変化  
Fig. 4.6 Angular misalignment



B) 平行移動 (Fig. 4・5)

コイル間の距離を一定(50mm)に保って、平行移動する。(平行移動距離 0mmから50mm)

C) 角度変化 (Fig. 4・6)

コイル間の距離を一定(70mm)に保って、角度変化する。(角度変化範囲 0°から45°)

なお、コイルの特性を図5に示す。コイルA、コイルBとも10MHz近辺でQが高く、Lも1μH近くで似通っている。(測定はインピーダンスアナライザ YHP4191Aを使用)

各コイルを共振させるため、それぞれのコイルに240pFと10KΩを並列接続して測定した。

同一直線上の変化では一次側のコイルに直径の小さい物を使用した場合、距離が短い場合は二次側の電圧が高いが、平行移動や角度変化を起こした場合、やはりコイルBの方が二次側電圧の落ちかたがはげしい。

また送信側の電力を上げる事で二次側の電力アップは解決できそうであるが、不要輻射などの問題なども考慮に入れる必要がある。

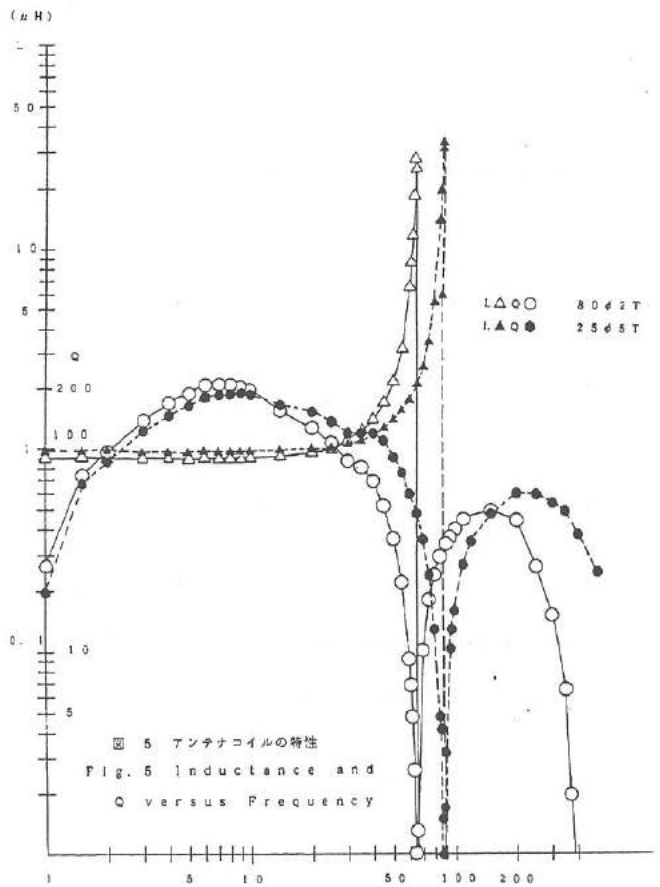


図 5 アンテナコイルの特性  
Fig. 5 Inductance and Q versus Frequency

5. 今後の課題

埋め込み用刺激システムの電子回路部に関する研究を実施し、動物実験への展開が可能になった。

今後の課題として、

- 1) パッケージングの問題・・・特許申請の内容として、電子回路よりパッケージングに関する物が多い。
- 2) 正確なデータ伝送の確立
- 3) さらなる小型化

などがある。

6. 謝辞

本研究は、富山県高志リハビリテーション病院研究開発部の皆さんの指導の下で行われた。研究開発部の山本先生並びに大島さんに深く感謝致します。また送受信回路において、示唆をいただいたコーセル株式会社 研究室 織田 室長にも深く感謝いたします。

# IV. 薄膜微細加工技術の研究

(トランスの試作)

Study of Microfabrication of Thin Film  
- Trial manufacturing of transformer -

戸田 雅規 伊勢 寿夫 松本 岩男 寺沢 孝志 二口 友昭 田村 幾夫 谷野 克巳  
TODA Masanori·ISE Hisao·TERASAWA Takashi·MATSUMOTO Iwao·FUTAKUCHI Tomoaki·TAMURA Ikuo·TANINO Katsumi

## Abstract

The miniaturization and high integration of electronic and mechanical component in recent years have prominently increased the using of thin films. The microfabrication technology is necessary for manufacturing of high efficiency product in addition to the deposition technology of thin films. Through some examinations of microfabrication with thin film by phot-etching and reactivity ion-etching, several thin transformers can be made to test.

The results summarize as follows:

- (1) We designed a new double spiral coil pattern of copper electrodes. The microfabrication process was established for forming copper thin film into this coil pattern.
- (2) The trial manufacturing of transformer was carried out by combining this coil with insulating and magnetic thin films. Several kinds of transformer were manufactured and evaluated in this trial.
- (3) The plane thin type transformer was manufactured by laminating with thin copper electrodes on flexible resin substrate and thin amorphous magnetic ribbon films. In this case, coupling coefficient(k) was 0.988.
- (4) The thin film type transformer was manufactured by combining with sputtered copper, SiO<sub>2</sub> and amorphous magnetic thin films on glass substrate. In this case, k was 0.854.
- (5) From the evaluation of the series of trials, we think that the magnetic films should have been more thicker to get more better characteristics of transformer. So we tried to use a ferrite substrate instead of a glass substrate to reduce the magnetic resistance. In result, k was 0.975 and effective frequency bandwidth was 300KHz~30MHz.

## 1. 緒言

最近の携帯型のAV(オーディオ・ビジュアル)機器や電話器等に代表される電気・電子機器の小型、軽量化には目覚ましいものがある。これは電気・電子回路や各種機器部品の小型化、高密度化によるもので、金属やセラミックス等の薄膜技術の駆使等に依存するところが大きい。今後、さらに機器の小型化、高性能化等を計って行くためには、各種材料の成膜技術に加えて薄膜の微細加工技術が不可欠となる。従来、薄膜の微細加工法は半導体集積回路からプリント基板等に至るまで、非常に多くの電子部品・回路の製造に利用され、安価で高性能の電子部品・回路の供給を可能にしてきた。一方、電子機器部品の中でインダクタやトランス等の磁気素子の小型化、薄膜化については、比較的取り組みが遅れていたが、最近、あらためて注目されてきている。

このため、本研究では昨年度に引き続き、フォトリソグラフィや反応性イオンエッチングによる微細加工技術に取り組むとともに、小型化、薄型化を目的としたトランスの試作とその特性評価を行なった。まず、二重渦巻形コイルを新たにデザインして薄膜コイルパターンを形成し、コイル形状と磁気特性の関係について調べた。次に、このコイルと磁性体膜及び絶縁体膜を組合せて薄型平面トランスや薄膜型トランスの試作を行なった。

ここでは、これらの薄膜微細加工技術と多層化技術および試作トランスの構成と各種電気的特性の関係等について検討を加えたので、得られた成果概要を報告する。

## 2. 薄膜パターンの形成

### 2.1 パターンの形成方法

基板表面に薄膜パターンを形成する方法には、一般的に次の三つの方法がある。

#### ①マスク法

基板にネガパターン状のマスクを密着させ、その上から薄膜を成膜した後、マスクを取り外してポジの薄膜パターンを得る方法

#### ②エッチング法

基板表面全体に薄膜を成膜した後、感光性樹脂（フォトレジスト）によりポジパターンを形成し、ネガ部分（露出部）に相当する薄膜をエッチングなどの手段によって除去して、レジストで保護されたポジの薄膜パターンを得る方法

#### ③リフトオフ法

基板表面にフォトレジストでネガ画像のレジストパターンを形成し、基板全面に薄膜を成膜した後、レジストとともにその上に付着している薄膜を取り去って、ポジの薄膜パターンを残す方法

本研究では、トランスコイルの作製については化学エッチング（ウェット）と反応性イオンエッチング（ドライ）によるエッチング法に取り組み、磁性薄膜や絶縁性薄膜のパターン形成については、マスク法を用いた。

また、膜厚測定には表面粗さ計を用い、コイルパターン等の仕上がり具合は光学顕微鏡で観察、評価した。

### 2.2 エッチングプロセス

図1はトランスコイルのエッチングプロセスの概要を示す。また、表1は各膜のスputtering条件とエッチング条件の一例を示す。

図において、(a)は無アルカリガラス基板上にマグネトロンスputtering法によってクロム膜(Cr)と銅膜(Cu)を成膜した状態を示す。基板の前処理として油分と水分の除去を行ない、次に基板とCuの密着性を上げるためCrをアンダコートした。(b)はフォトレジスト膜をスピナによって塗布した状態を示す。他のレジスト塗布方法にはスプレー法、ロールコート法、浸漬法等があるが、均一な膜を形成するにはスピナ法が一般的である。ここではレジスト膜厚が1.5μm程度になるようにした。なお、次の工程に入る前に、レジストの膜中から溶剤を除去する目的でプリベーク（前乾燥）した。通常では80~100℃で時

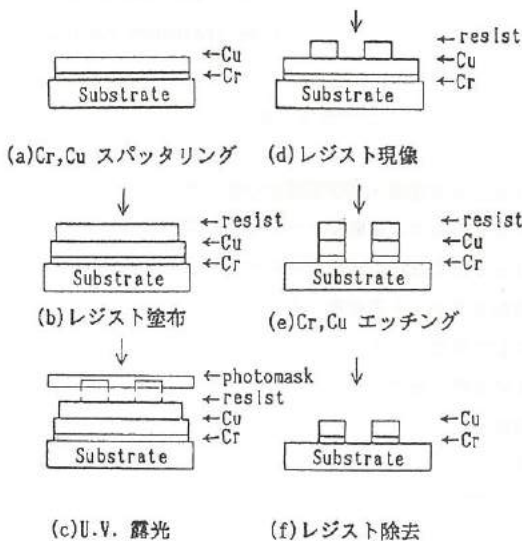


表1 スputtering及びエッチング条件

Table 1. Conditions of sputtering and etching

	スputtering				エッチング
	Cr	Co-Nb-Zr	SiO <sub>2</sub>	Cu	Cr
到達真空度 [Pa]	8×10 <sup>-4</sup>	6×10 <sup>-4</sup>	8×10 <sup>-4</sup>	8×10 <sup>-4</sup>	6×10 <sup>-4</sup>
雰囲気ガス	Ar	Ar	Ar	Ar	O <sub>2</sub>
投入電力 [W]	130	130	110	110	100
投入時間 [min]	2	40	480	80	30
到達温度 [°C]	—	58	120	68	—
膜厚 [μm]	0.02	2	8	4	0.02
ガス流量 [CC/min]	—	—	—	—	15

図1 エッチングプロセスの概要

Fig.1. Outline of etching process.

間20~30分が適当である。(c)は回路パターン用フォトマスク(露光マスク)を重ねてレジスト露光した状態を示す。マスクはCADシステムでデザインし、フォトリソグラフィーを用いて作製した。また、露光には高精度の位置合わせとUV及びDeep-UV光が使えるマスクアライナを用いた。(d)はレジストを現像し、パターン化した状態を示す。レジスト膜は現像の後、85℃でポストバークした。(e)はCuをウェット、Crをドライによりエッチングした状態を示す。ウェットでは、塩酸と塩化第二鉄の水溶液を用いた。また、ドライのエッチング条件は表1のとおりである。最後に、(f)は不要になったレジストを除去した状態を示す。ここでは、レジスト剝離をドライエッチングで行なった。

### 2.3 メタルマスクの作製

多層膜パターン形成にはマスク法が有効である。ここではワイヤカット放電加工機を用いて、厚さが0.5mmのステンレス鋼板(SUS304)からメタルマスクを作製した。図2はこのメタルマスクとコイルパターンの概要を示す。マスクは、同一基板上で各膜パターンの形成ごとに重ね合わせて用いることから、高い形状精度が必要である。特に、多数個取りについては相互のパターンの位置決め精度や、基板との高い密着性が要求される。ワイヤカットによるマスク作製法は、加工精度の確保と加工歪が少ないことから非常に有効な手段と考えている。

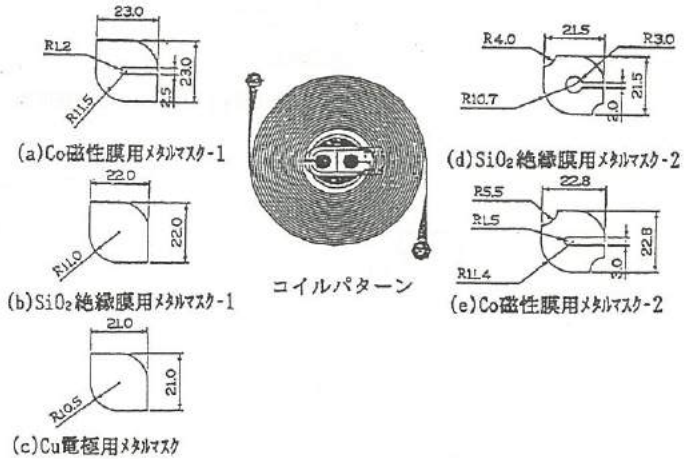


図2 メタルマスクと二重渦巻形コイルパターン  
Fig.2. Metalmask and double spiral coil pattern.

### 3. トランスの構成と評価

#### 3.1 コイルパターンとトランスの構成

図3はコイルパターンとトランスの構成を示す。

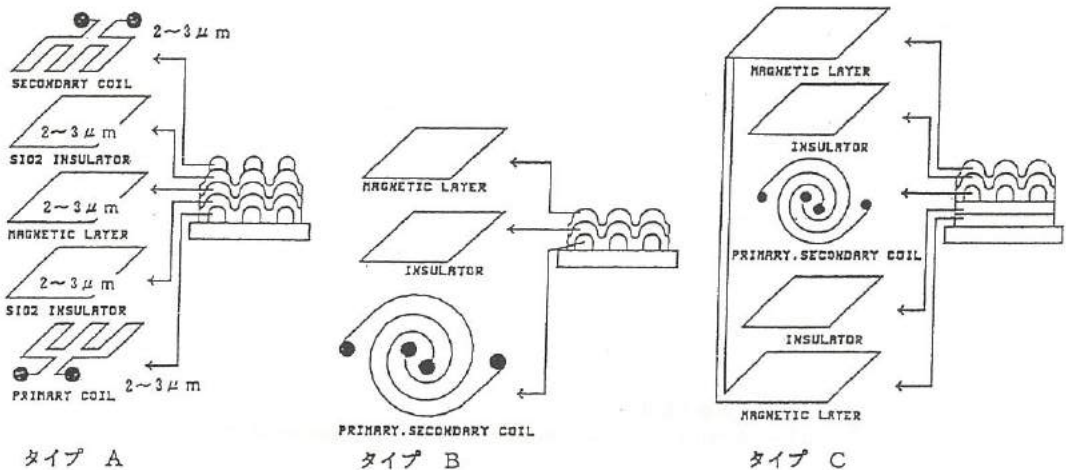
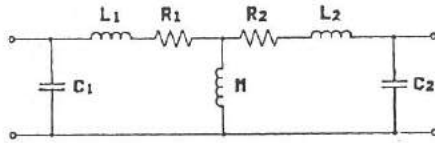


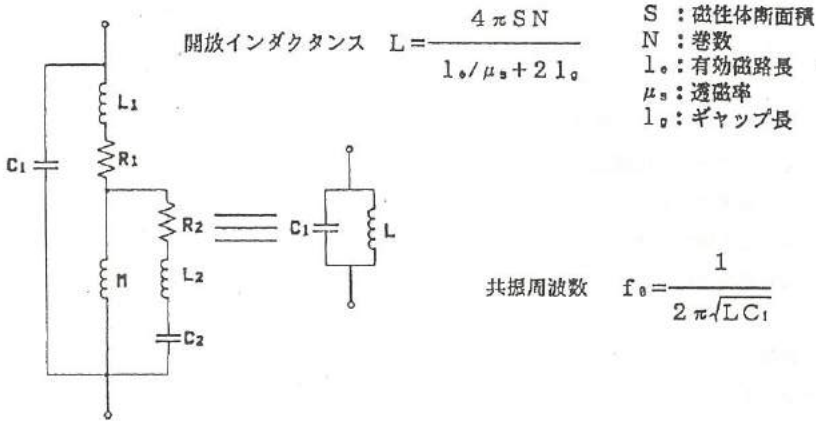
図3 コイルパターンとトランスの構成  
Fig.3. Structure of coil pattern and transformer.



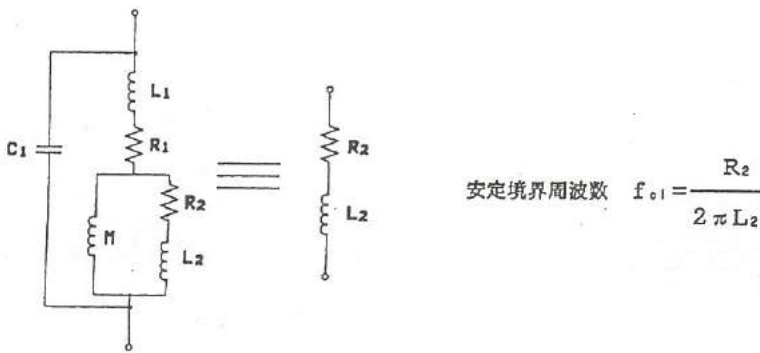
- M : 相互インダクタンス      L : 開放インダクタンス      k : 結合係数  
 L<sub>1</sub> : 1次側漏れインダクタンス      L = L<sub>1</sub> + M  
 L<sub>2</sub> : 2次側漏れインダクタンス      L<sub>l</sub> : 漏れインダクタンス  
 R<sub>1</sub> : 1次側直列等価抵抗      L<sub>l</sub> = L<sub>1</sub> + L<sub>2</sub>  
 R<sub>2</sub> : 2次側直列等価抵抗  
 C<sub>1</sub> : 1次側浮遊容量  
 C<sub>2</sub> : 2次側浮遊容量

$$k = \sqrt{1 - \frac{L_l}{L}}$$

(a) トランスの等価回路



(b) 開放インダクタンスと共振周波数



(c) 漏れインダクタンスの安定境界周波数

図4 トランスの等価回路と関係式

Fig.4. Equivalent circuit of transformer and relation expression of transformer.

トランスを薄くするには、コア形状とともにコイル形状そのものを薄形にする必要がある。コイルパターンについては、昨年の研究報告から高周波特性と製作性を考慮して、“つづら折れコイルパターン”を改善して同一平面上に1次、2次コイルを形成した“二重渦巻形コイルパターン”を新たにデザインした。同様に、トランスの構成では、昨年度に試作した“タイプA”から“タイプB”、さらに“タイプC”を検討し、薄型平面トランス及び薄膜型トランスを試作して特性を評価した。

それぞれの特長を次に示すと、

- ①タイプAは、つづら折れコイルパターンを上下に1次、2次コイルとして形成し、その中間に絶縁膜を介して磁性膜を配したトランス構造を示している。
- ②タイプBは、基板上の同一平面に1次、2次コイルとして二重渦巻形コイルを形成し、その上に磁性膜を配している。タイプAに比べ、スパッタリング回数を大幅に減少させている。
- ③タイプCは、二重渦巻形コイルを上下の磁性膜ではさんだ外鉄型のトランス構造を示している。

なお、ここでは“タイプC<sub>2</sub>”についても試作、評価した。タイプC<sub>2</sub>はタイプCの磁性膜に切り欠きを入れた改良形である。切り欠きは、タイプCで用いた磁性膜が導電性であることから、レアショート（電気等価的にみて2次側でのコイルのショート状態）の防止を目的としている。図2中の①と③の磁性膜用マスクは、この切り欠き形状を示している。

### 3.2 トランスの特性評価方法

図4はトランスの等価回路と関係式の概略を示す。また、図5はタイプC<sub>2</sub>の薄型平面トランス及び薄膜型トランスの周波数特性の一例を示す。

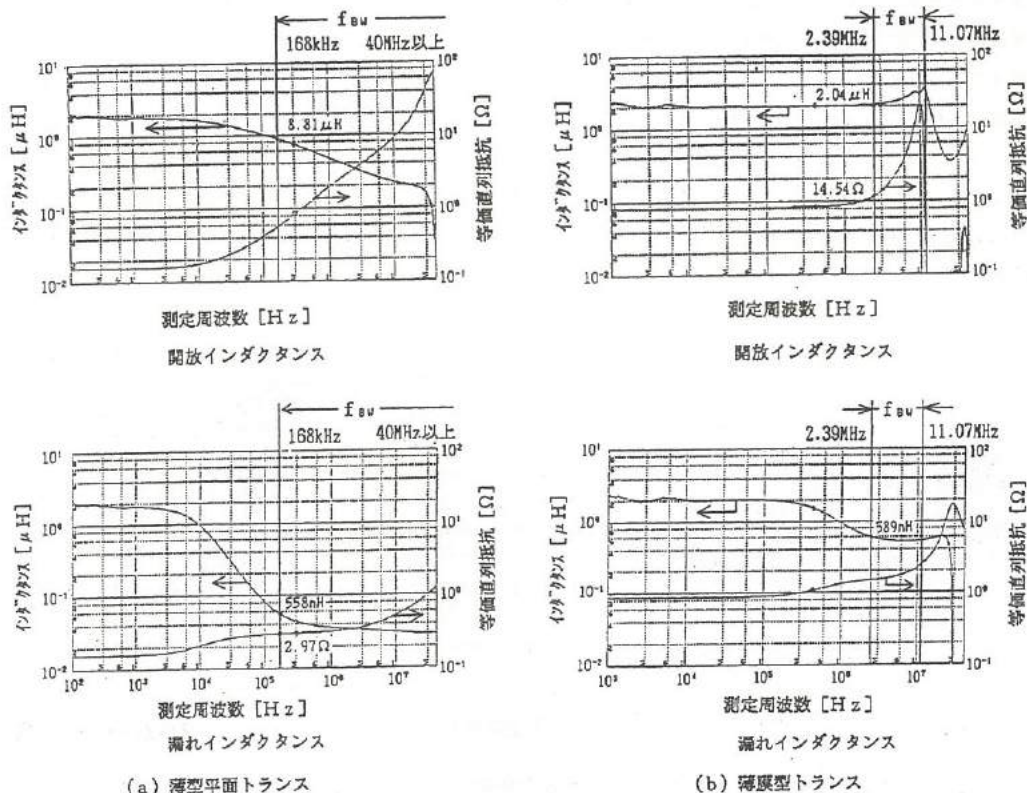


図5 各種トランスの周波数特性

Fig.5. Frequency characteristics of plane and thin film type transformer.



トランスの特性評価は、インピーダンスアナライザによる周波数特性から得られる結合係数 ( $k$ ) を用いた。 $k$  は1次と2次コイル間の結合度合を表わす。この  $k$  の値は図4 (a) の等価回路と関係式において、開放インダクタンス ( $L$ ) と漏れインダクタンス ( $L_l$ ) から算出した。ここでの  $L$  と  $L_l$  は、安定境界周波数 ( $f_{cl}$ ) ( $f_{cl} : L_l$  の特性曲線が下降領域から安定領域に移行する境界周波数) での各測定値を用いた。

また、トランス特性として有効周波数帯域幅 ( $f_{BW}$ ) を検討した。ここでの  $f_{BW}$  は、 $f_{cl}$  域から1次側コイルの共振周波数 ( $f_0$ ) 域までとした。

一般的に、トランス性能として  $k$  を高めるには、図4 (a) ~ (c) の関係式から  $L$  を大きく、 $L_l$  を小さくする必要がある。この  $L$  を大きくする方法には、磁性体断面積 ( $S$ ) やコイル巻数 ( $N$ ) さらに磁性体透磁率 ( $\mu_s$ ) を大きくすることが挙げられる。 $L_l$  の値はトランス構造によるウエイトが大きく、1次側コイルで発生した磁束をより多く2次側に鎖交させる構造によって、その値を小さくできる。

一方、 $f_{BW}$  を広げるためには、浮遊容量 ( $C$ ) を小さくして  $f_0$  を高くし、コイル等価抵抗 ( $R$ ) を小さくして  $f_{cl}$  を低周波数域に抑えることが必要である。

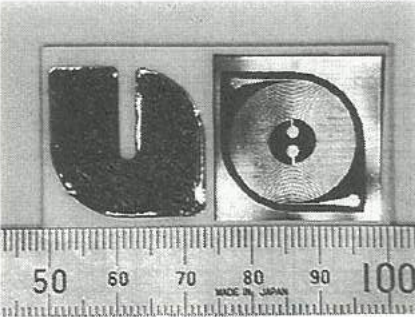
4. トランスの試作

4.1 薄型平面トランス

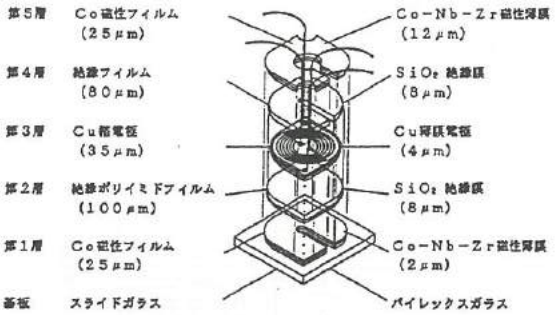
図8はタイプ  $C_2$  の薄型平面トランスの外観および構成を示す。

このトランスの構成部材は、コイルには銅箔 (厚さ  $35 \mu m$ ) 張りポリイミドフィルム (厚さ  $100 \mu m$ ) を用い、磁性体には  $Co$  アモルファスフィルム (厚さ  $25 \mu m$ ) を、さらに絶縁膜には両面接着テープ (厚さ  $80 \mu m$ ) を用いた。二重渦巻形コイルはエッチング法によって形成し、磁性膜は  $YAG$  レーザ加工によってアモルファスリボンからトリミングした。

表2は各タイプの薄型平面トランスの評価結果を示す。表から、タイプ  $C_2$  において  $k$  の最大値は  $0.968$  と比較的高い値を示した。この時の  $L$  は  $8.8 \mu H$ 、 $L_l$  が  $558 nH$  であった。また、 $f_{BW}$  は  $168 KHz \sim 40 MHz$  以上の広い帯域幅であった。タイプ  $C_2$  とタイプ  $C$  の比較では、高周波域での  $L$  の特性曲線からタイプ  $C_2$  ではレアショートが抑えられ、磁性体の切り欠きの効果が認められた。また、薄型平面トランスの特徴として  $100 KHz$  以上の周波数域で  $L$  がなだらかな低下現象を示した。図5 (a) の  $L$  の周波数特性曲線でも現れている。これは、アモルファス磁性体が導電性であることから渦電流損が発生したことによると考えられる。



薄型平面トランス (タイプ  $C_2$ ) の外観



薄型平面トランスの構造

薄膜型トランスの構造

( )内は膜厚

図6 薄型平面トランス (タイプ  $C_2$ ) の外観および薄型平面トランス、薄膜型トランスの構造

Fig.6. Appearance of plane thick film type transformer (type  $C_2$ ), and a structure of plane thick film type and thin film type transformer.

表2 薄型試作トランスの評価結果  
Table 2. Evaluation results of plane type transformer.

	タイプB	タイプC	タイプC <sub>2</sub>
開放インダクタンス (L)	1.81 $\mu$ H	7.02 $\mu$ H	8.81 $\mu$ H
漏れインダクタンス(L <sub>l</sub> )	428nH	596nH	558nH
結合係数 (k)	0.874	0.957	0.988
有効周波数帯域 (f <sub>BW</sub> )	7.84MHz~ 40MHz以上	256kHz~ 40MHz以上	168kHz~ 40MHz以上

#### 4. 2 薄膜型トランス

図7はタイプC<sub>2</sub>の薄膜型トランスの外観および断面の顕微鏡拡大写真の一例を示す。表3は薄膜多層化工程において、各段階で発生したトラブルの内容とその解決策の一例を示す。

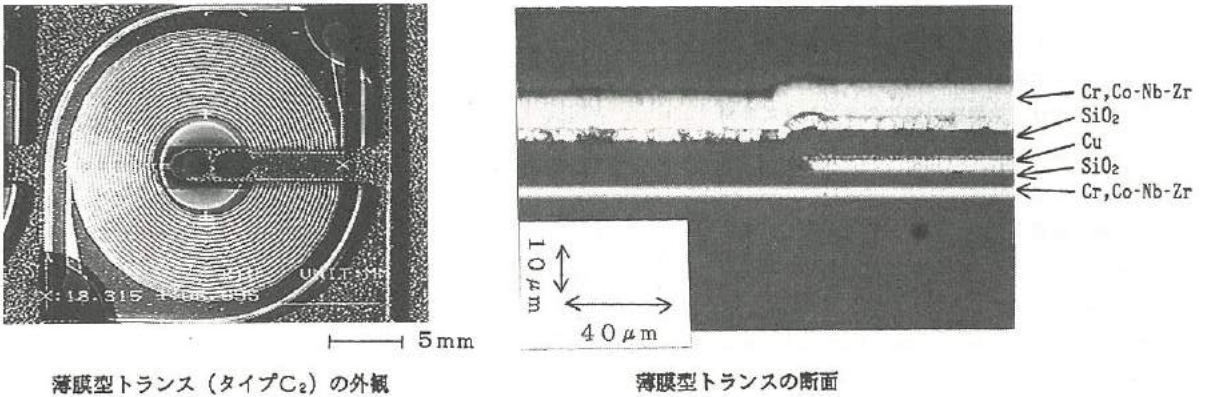


図7 薄膜型トランス (タイプC<sub>2</sub>) の外観および断面観察

Fig.7. Appearance of thin film type transformer(type C<sub>2</sub>) and the section of this transformer.

表3 多層化工程での問題点と解決策  
Table 3. Problems and solutions of multilayered process.

項番	問題点	原因	対策
1	絶縁不良	Cu-SiO <sub>2</sub> 間のレジスト残	・CrのエッチングガスをCl <sub>2</sub> →O <sub>2</sub> に変更
		熱衝撃の影響	・成膜後の冷却を長くして熱衝撃を緩和する
2	剥離	SiO <sub>2</sub> の密着性が悪い	・SiO <sub>2</sub> の膜厚を厚くする ・SiO <sub>2</sub> とその他の薄膜との間にCrをひく
		熱衝撃の影響	・成膜後の冷却を長くして熱衝撃を緩和する
3	エッチング不良	Coの溶解	・レジストによるCo保護膜

表中で、トラブルの重大な欠陥原因として熱衝撃が挙げられる。薄膜の多層化にあたっては、膜材間の接着・接合性や熱膨張係数、熱伝導率等の熱的特性に対して十分な配慮は不可欠である。特に、成膜工程やエッチング工程での昇温と降温時の熱的変動とそれに伴うダメージは無視することができない。

図8は薄膜型トランスの作製工程での熱履歴を表わしている。図において、基板温度が高くなるSiO<sub>2</sub>膜のスパッタリングでは、着膜後の基板取り出し温度に十分な配慮が必要である。

表4は薄膜型トランスの評価結果を示している。表から、タイプC<sub>2</sub>ではkは0.844の値を示した。この時のLが2.04μH、L<sub>レ</sub>が589nHの値であった。また、f<sub>BW</sub>は2.39MHz～11.07MHzの帯域幅であった。

タイプC<sub>2</sub>では、絶縁膜の切り欠きに加えて多層化トラブルの解決策として、絶縁膜や磁性膜を厚くしている。このことによって、タイプCに比べてL<sub>レ</sub>の大幅な改善が図れ、高いkの値が得られることになった。一方、Lや周波数特性曲線からは、タイプC<sub>2</sub>では磁性膜の切り欠き効果は認め難い。この原因はL<sub>レ</sub>の値の比較から電極間や膜厚の差異等の要因が大きく影響しているものと考えられる。

図5(b)Lの周波数特性曲線や表4から、薄膜型トランスの特徴は、薄型平面トランスに比べて磁性膜が薄いことから渦電流の発生が抑えられてf<sub>0</sub>域までLが定レベルを保持することや、浮遊容量が大きいためf<sub>0</sub>が低周波数域に移行している。

#### 4.3 実用化タイプ開発に関する一例

各種タイプのトランスの評価結果から、kの値を高める策としてガラス基板と同形状のフェライト基板を用いて、実用化タイプの開発を試みた。

図9はこの薄型平面トランスの周波数特性曲線を示している。図から、f<sub>0</sub>が299KHzで、この時のLが12.72μH、L<sub>レ</sub>が713nHの値を示し、kは0.972の値が得られた。また、f<sub>BW</sub>は299KHz～31.2MHzであった。このトランスでは、上部で用いたCoアモルファスフィルムを2枚、3枚と枚数を重ねることによってkの値は0.975までに向上した。

これらの実験結果から、トランス性能を高める一例として次の方策が挙げられる。

- ・磁性体の膜厚を厚くして、Lの値を高くする。
- ・磁性体には非導電性の膜材を用いて、渦電流損を抑える。
- ・薄膜微細加工と多層膜コーティングを組み込んだトランスでは、膜加工後の平坦化処理を行なうことによって、漏れインダクタンスを抑える。

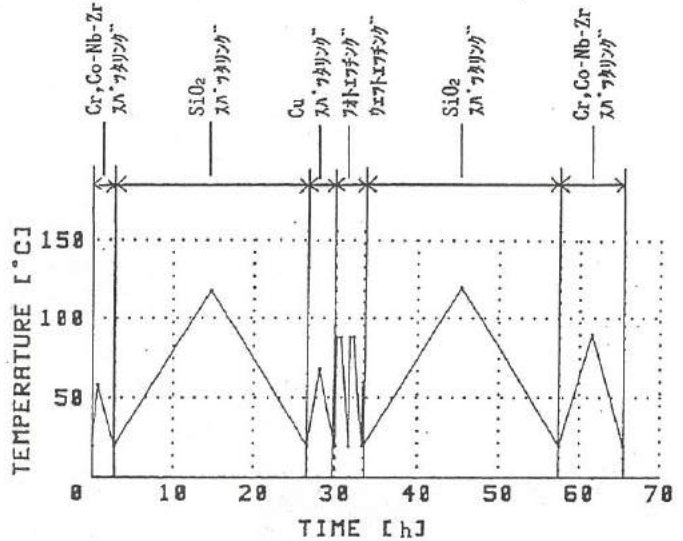


図8 薄膜型トランス (タイプC<sub>2</sub>) の作製工程での熱履歴  
Fig.8. Heating career at manufacturing process of thin film type transformer (type C<sub>2</sub>).

表4 薄膜型トランスの評価結果  
Table 4. Evaluation results of manufactured thin film type transformers.

	タイプB	タイプC	タイプC <sub>2</sub>
開放インダクタンス (L)	1.63 μH	1.98 μH	2.04 μH
漏れインダクタンス (L <sub>レ</sub> )	441nH	921nH	589nH
結合係数 (k)	0.854	0.731	0.844
有効周波数帯域 (f <sub>BW</sub> )	6.00MHz～ 12.06MHz以上	3.65MHz～ 7.68MHz以上	2.39MHz～ 11.07MHz以上

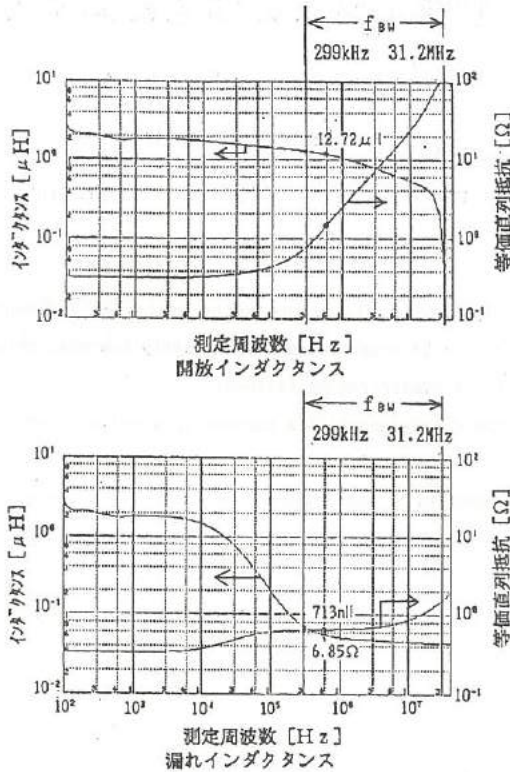


図9 周波数特性

Fig.9. Frequency characteristics of transformer.

5. まとめ

本研究の結果をまとめると次のとおりである。

- (1) トランス電極として二重渦巻形コイルパターンを設計し、コイルパターンの微細加工プロセスを確立した。
- (2) 上記のコイルと磁性体膜および絶縁体膜を組合せて数種類の薄型平面トランス、薄膜型トランスを試作、評価した。
- (3) 薄型平面トランスは、フレキシブル基板上の銅箔とアモルファスフィルム磁性体を組合せて試作した。この周波数特性から、結合係数 ( $k$ ) は 0.968 の値が得られた。
- (4) 薄膜型トランスは、スパッタリングによってガラス基板上に銅膜と SiO<sub>2</sub> 絶縁膜および Co 磁性膜を組合せて製作した。その結果、 $k$  が 0.854 の薄膜型トランスが得られた。
- (5) 種々の試作トランスの特性評価から、トランス性能は磁性体の膜厚に大きく依存している。このためフェライト基板を用いて実用化タイプの薄型平面トランスを試作、評価した。その結果、 $k$  が 0.975 で、有効周波数帯域幅 ( $f_{BW}$ ) が 300 KHz ~ 30 MHz のトランスが得られた。

<参考文献>

- (1) 松木他：日本応用磁気学会誌 Vol. 14, No. 5, 1990.
- (2) 日本学術振興会薄膜第131委員会編：薄膜ハンドブック，オーム社
- (3) 大城他：日本応用磁気学会誌 Vol. 12, No. 2, 1988.
- (4) 山口他：第16回日本応用磁気学会学術講演概要集，10aD-5, 1992.
- (5) 船井他：平成3年度若い研究者を育てる会研究論文集

## V. 形状測定装置の開発に関する研究

### Development of a Measuring System of Surface Shape

野末 昌朗  
NOZUE Masao

田村 幾夫  
Tamura Ikuo

浅田 肇夫  
ASADA Mineo

吉田 勉  
YOSHIDA Tsutomu

谷野 克巳  
Tanino Katumi

#### Abstract

The purpose of this study is to develop a simple measuring system of 3 dimensional surface shape with place restrictions moderate accuracy, which can be constructed at relatively low cost price.

The results obtained in this study are summarized as follows:

- (1) This apparatus can measure the displacement of a surface in a range of 40mm with resolution of less than 1% for the full range.
- (2) Through the use a slit in front of a convergence lens, scanning a surface perpendicularly to a longer side of PSD sensor for convex cylindrical or spherical surfaces, advancement accuracy can be made certainly, although the error is large due to normal reflective light in case of parallel scanning to the sensor.
- (3) For concave cylindrical or spherical surfaces, the error of measurement is caused by double reflection in addition to normal reflection and can be removed with scanning surfaces perpendicularly to the sensor using a slit in front of the convergence lens.
- (4) Triangular surfaces can be measured practically by scanning the surfaces perpendicularly to the sensor without the slit for both concave and convex type.

#### 1. 緒言

建築資材、電気機器、輸送機器、OA機器などの外装や部品等の多くは三次元自由曲面から構成されており、金型製作においても模型を作製し、その形状を測定してNC加工データを作成するのが通例である。従来、これらの形状測定には接触式のプローブをもつ三次元測定機を用いてきたが、模型全体を走査する必要があるため多くの時間がかかる、プローブ半径の補正が必要である、被測定対象物に傷をつけたり変形を与えるため、本当の寸法がわからなくなる、プローブ自身の変形や振動など精度的にも信頼性が低い、などのいくつかの問題を抱えている。このような欠点を解決するために、高速で高精度な非接触式形状測定装置の開発が期待されている。

非接触式形状測定法に関しては、すでにこれまでも多くの研究が報告されているが、そのほとんどは光を利用した測定法であり、レーザビームを触針とみなす光触針法、カメラの自動焦点と等価な焦点位置合わせ法、格子を用いる格子投影法がある。光触針法には三角測量法、同軸線形変位法、ステレオ画像法などがあり、格子投影法には等間隔にぎざまれた基準格子を被測定面に投影しその格子縞間隔の位相変化から三次元形状を求める変調格子縞位相法や基準格子と、変調格子によって生じるモアレ縞と呼ばれる等高線から三次元形状を求めるモアレトポグラフィ法がある。しかし、三角測量法は斜め方向から測定点を見るため死角が生じ、 $45^\circ$ 以上の急斜面の測定には不向きであり、焦点位置合わせ法は微いサーボ機構が必要なため、大きな対象物を高速で測定することは難しい。また格子投影法は縞の幅や間隔、鮮明度が直接精度に影響を与え、複雑な形状測定には適さないなどの問題を持っている。

そこで、本研究では三角測量法で見られる死角や傾斜角の影響をできるだけ受けることの少ない、しかも、比較的大きくある程度複雑な形状をもつ物体の表面をかなり短時間に形状測定することのできる光触針式の非接触形状測定装置の開発を目標とした。実際の装置の開発においては、比較的精度が良く、しかもコスト的にも低く押さえることができるように、できるだけ簡単な構成のものを念頭においた。そして、いくつかの基本的な形状について、試作した実験装置を用いて測定したので、その結果の概要に

ついて報告する。

## 2. PSDセンサの位置検出性能の評価

### 2.1 PSD位置検出回路

図1はスポット光位置を計測するために作製したシステムのブロック図を示す。一次元PSDは一軸受光面上の光点の位置を検出できる光センサでスポット光の入射位置と両端電極1、2までの距離に反比例した光電流 $I_1$ 、 $I_2$ が両電極から流れ出る原理となっている。レーザー光源は外乱光と区別しやすくするため1kHzでパルス駆動を行っている。PSDからの出力電流は最初に電流-電圧変換され $V_1$ と $V_2$ を作る。次に、 $V_1$ および加算して得られた $V_1+V_2$ は、パルス状の電圧のため光源の駆動パルスで同期をとりながらサンプルアンドホールド(S&H)することにより直流電圧に変換する。さらに、割算器によって $V_1/(V_1+V_2)$ の演算を行なうことによりスポット光の入射位置と電極2との距離に比例した電圧 $V_0=V_1/(V_1+V_2)$ が得られる。

### 2.2 PSDセンサの位置検出性能評価装置

図2はPSDセンサの位置検出性能の確認に用いた装置の概略図および半導体レーザー(LD)、PSDセンサ、レンズの仕様をそれぞれ示す。図のように、レーザー光がセンサ受光面上で結像するように半導体レーザー、レンズ、PSDセンサをそれぞれ配置した。そしてセンサ固定の状態ではレーザーヘッドをセンサ受光面に平行に移動させ、センサ出力電圧の変化を測定して性能を評価した。すなわち、PSDセンサ上におけるスポット像の位置とPSDセンサ出力電圧の関係が線形になるかどうかを調べた。なお、ここで用いたセンサ演算・制御回路では比較的微弱な光に対して感度調整を行なったため、出力電圧が飽和しないようにレーザー出射口の前にフィルターを取り付けて以下の測定を行った。また、焦点調整用つまみによりビームスポットは可能なかぎり小さくした(約0.1mm)。

### 2.3 光量の影響

図2において、レーザー出射口の前にフィルターを取り付け、その数を変えることによりレーザービームの強

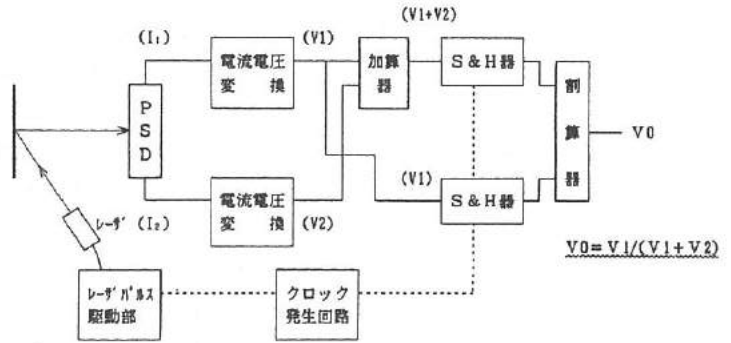
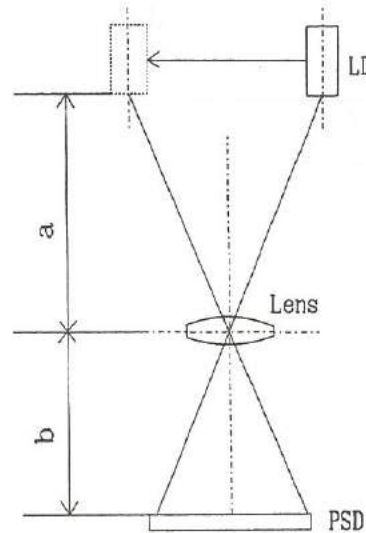


図1 スポット光位置計測部のブロック図

Fig.1. Block diagram for measurement of position of light spot.



LD	半導体レーザー	波長	670nm
		出射口出力	3.5mW
PSD	位置検出素子	有効受光面サイズ	10×2mm
		ピーク感度波長	950nm
		位置検出誤差	±10μm
Lens	単レンズ	直径	40mm
		焦点距離	60mm
a	レンズとLDの距離		120mm
b	レンズとPSDの距離		114.5mm

図2 PSD性能評価のための装置

Fig.2. Apparatus for conformation of performance of PSD sensor.

度を変化させ、光量がセンサの位置検出性能へ及ぼす影響を調べた。ここで使用したフィルターは1枚取り付けることによってセンサに入射する光量を約半減させる。図3はフィルター数がそれぞれ1、4、5枚のときのレーザ光源(LD)位置とPSDセンサ出力の関係を示す。図3より、フィルター1枚(約1/2に減光)から4枚(約1/16に減光)までの範囲においては、レーザ光源位置、すなわち、センサ上のスポット光位置とセンサ出力値は直線関係にある。しかし、フィルター5枚(約1/32に減光)取付時には出力が不安定となり、その傾向はセンサの両端に近づくほど顕著になる。これはセンサに入射する光量が弱すぎるために光電流が小さく、出力電圧値に大きな変動を生じ、検出誤差が大きくなるためである。

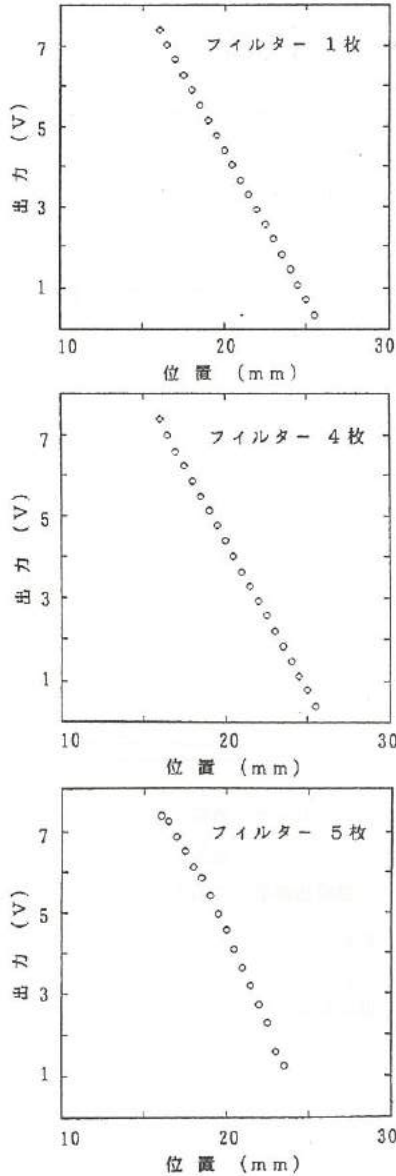


図3 PSD性能に及ぼす光量の影響  
Fig.3. Performance of PSD sensor dependence  
influence of quantity of light.

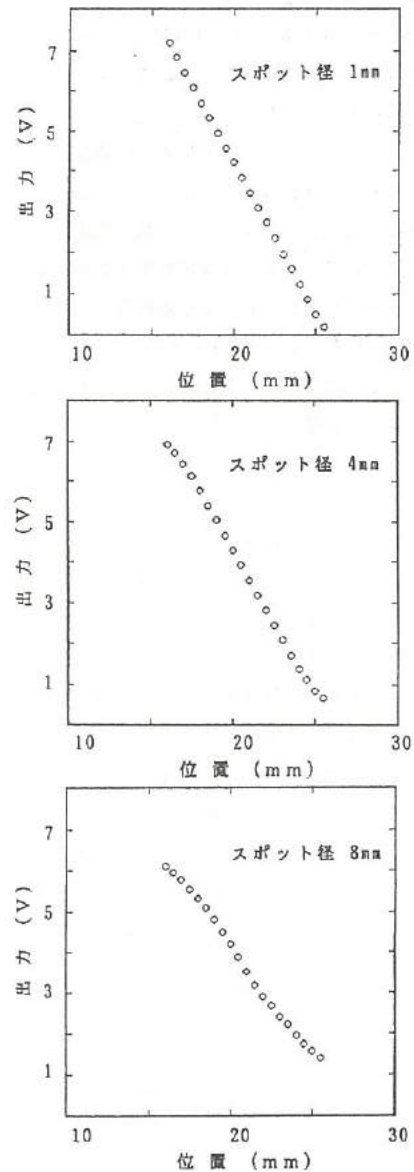
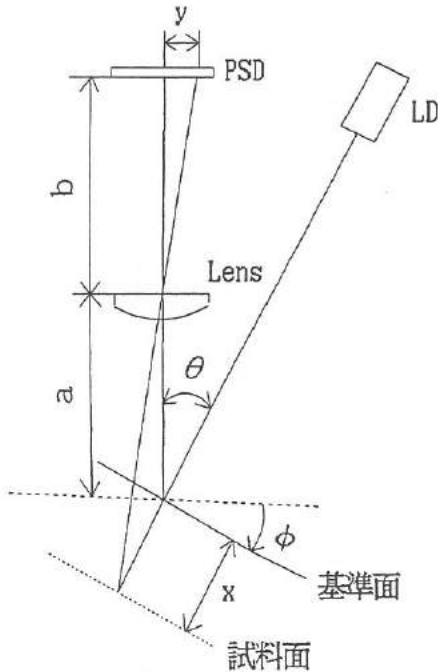


図4 PSD性能に及ぼすスポット径の影響  
Fig.4. Performance of PSD sensor dependence  
influence of lighting spot size.

## 2.4 スポット径の影響

レーザービームヘッドの焦点調整用つまみによりセンサ受光面上のスポット径を1~8mmまで変化させ、スポット径がPSDセンサの位置検出性能へ及ぼす影響を調べた。図4はスポット径がそれぞれ1、4、8mmのときのレーザー光源(LD)位置とPSDセンサ出力の関係を示す。図4より、スポット径が1mmの場合は光源位置と出力は直線関係を示すが、スポット径が4mmから8mmへと大きくなるにしたがって直線関係はなくなり、特にセンサ両端で位置検出誤差が大きくなっている。従って、ビーム径は可能な限り小さく絞ったほうが精度は向上することがわかる。



LD	半導体レーザー	波長	670nm
		出射口出力	3.5mW
PSD	位置検出素子	有効受光面サイズ	10×2mm
		ピーク感度波長	950nm
		位置検出誤差	±10μm
Lens	非球面レンズ	直径	60mm
		焦点距離	43mm
φ	試料面の傾き		
x	試料面の変位量		
θ	光軸とレーザー光のなす角		
a	レンズと基準面との距離		
b	レンズとPSDの距離		

図5 形状測定原理確認のための装置図

Fig.5. Apparatus for conformation of measuring principle of shape.

## 3. 形状測定原理の確認

### 3.1 形状測定原理

図5に示すように、光学系は基本的には三角測量法に基づき構成されており、試料面で拡散反射されたレーザー光が集光レンズによってPSDセンサ上で結像するような配置となっている。試料面はレーザー光の投射方向に平行に移動できるようになっており、レーザーの投射方向とレンズの光軸のなす角 $\theta$ が $20^\circ$ となるように設定した。 $\theta$ は死角の影響を少なくするためにはできるだけ小さいほうが良いが、分解能は逆に低下する。また $\phi$ は最初、レーザー光と試料面が垂直になるように $\theta$ と等しく $20^\circ$ とした。ここでレーザー(LD)方向への試料面の基準面からの変位 $x$ ( $x$ の原点は試料面が基準面上にあるとき)は、PSDセンサ上における光点位置 $y$ ( $y$ の原点は $x$ の原点に対応すなわちセンサ中央部)と対応し、 $x$ と $y$ の関係は次式で示される。

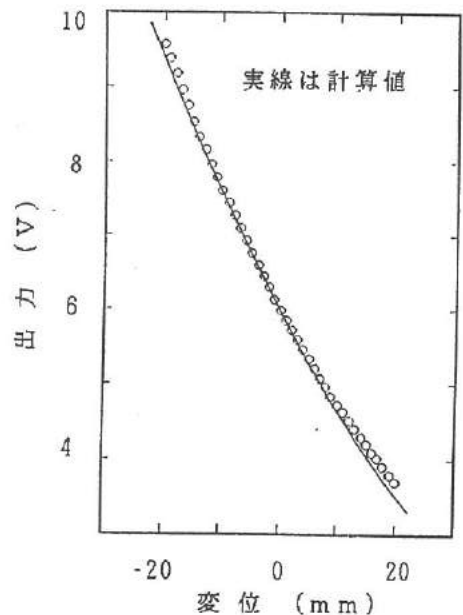


図6 測定原理確認のための実験(変位と出力の関係)

Fig.8. Experiment for conformation of measuring principle.



$$y = b \cdot \tan \theta (1 - a / (a + x \cdot \cos \theta)) \quad \dots\dots (1)$$

PSDセンサの有効受光面長さは約10mmであることから、本実験装置の測定範囲は、(1)式よりレーザへ近づく方向で約24mm、レーザから遠ざかる方向で約38mmの計約62mmと考えている。また、本実験装置の変位位置分解能 $\Delta x$ は(1)式を微分して得られる次式により求められる。

$$\Delta x = \Delta y \cdot (a + x \cdot \cos \theta)^2 / a \cdot b \cdot \sin \theta \quad \dots\dots (2)$$

従って、 $\Delta y$ としてPSDセンサの位置検出誤差10 $\mu$ mを代入すれば、(2)式から本実験装置における理論上の位置分解能は最小40 $\mu$ m( $x = -24$ mmのとき)から最大100 $\mu$ m( $x = 38$ mmのとき)であると考えられる。

### 3.2 レーザ方向への変位とセンサ出力の関係

試料の表面状態としては、完全拡散面が望ましいがここでは白い塗装をかけたアルミ板または白いビニールテープを接着させたアルミ板がそれに近いものと考えて実験に用いた。図6はレーザ(LD)方向の試料面の変位に対するセンサ出力の測定結果を示す。比較のため(1)式および図3の関係より得た計算値を実線で示してある。図より、試料面が基準面( $X = 0$ )から10mm以上変位すると実測値と計算値とのずれが認められる。これは主に基準面において拡散された光がセンサ上に結像するように光学系を調整しているため、基準面よりはずれるとセンサ上への結像が完全でなくなることによるものと考えている。

### 3.3 試料面の傾斜角が出力へおよぼす影響

図7はレーザ(LD)方向への試料面の変位をゼロにしたときの、試料面の傾斜角(レーザ光に垂直な場合を0度とする)と出力の関係を示す。図より、試料面の傾斜角が約10°付近において著しい出力誤差が認められる。これは、試料表面で拡散反射された光に正反射された光が加わり、センサ受光面に入射したためであると考えられる。ここで、直径15mmおよび10mmのスリットをレンズ前方に取り付け、正反射光の入射領域を制限したところ、先に認められた出力誤差は大幅に減少した(スリットの形状としては矩形のものも検討したが、円形のもの为正反射光の影響を除去するのに一番効果があることがわかった)。従って、スリット径を小さくすることにより正反射光の影響を響を少なくすることが可能と考えられるが、光量

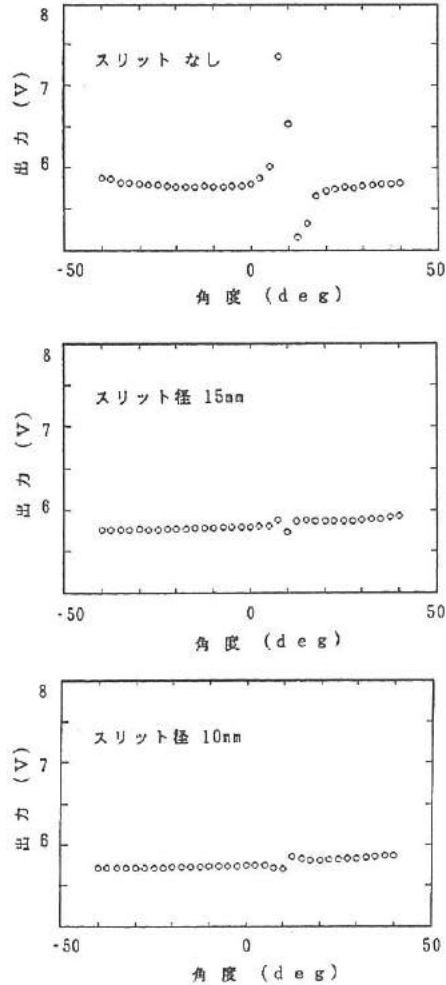


図7 PSD出力に及ぼす試料傾斜角の影響  
Fig.7. PSD output dependence inclination angle of measuring object.

不足による出力誤差が生じてくるため、レーザの出力増加などの検討が必要である。

#### 4. 各種形状の測定

以上の実験結果に基づいて、XYZステージ上に置いた基本的な形状をもつ試料を走査させ、図5の装置を用いて表面形状を測定した。以下、それらの結果について述べる。

##### 4.1 凸型および凹型円筒面の測定（試料をセンサの長手方向に平行に走査する場合）

図8は凸型および凹型円筒面（ともに直径61mm）をセンサの長手方向に平行（本測定では水平方向）に走査したときの測定結果を示す。ここで、センサの長手方向とは、一次元PSDの受光面の長辺方向すなわち受光面両端の電極を結ぶ方向のことを指す。図より、スリットを取り付けずに凹型円筒面を測定した場合、試料位置が5mm付近において正反射光の影響による出力誤差が生じている。そこで正反射光の影響を取り除くために、直径10mmのスリットを集光レンズの前に取り付けて測定したところ、誤差は著しく低減された。しかし、まだ正反射光の影響が残り、誤差を完全に取り除くことはできなかった。また、凹型円筒面についても同様に、正反射光の影響による出力誤差が生じるが、スリットをレンズの前に取り付けることにより、誤差を完全にとはいかないものの、かなり低減できることがわかった。

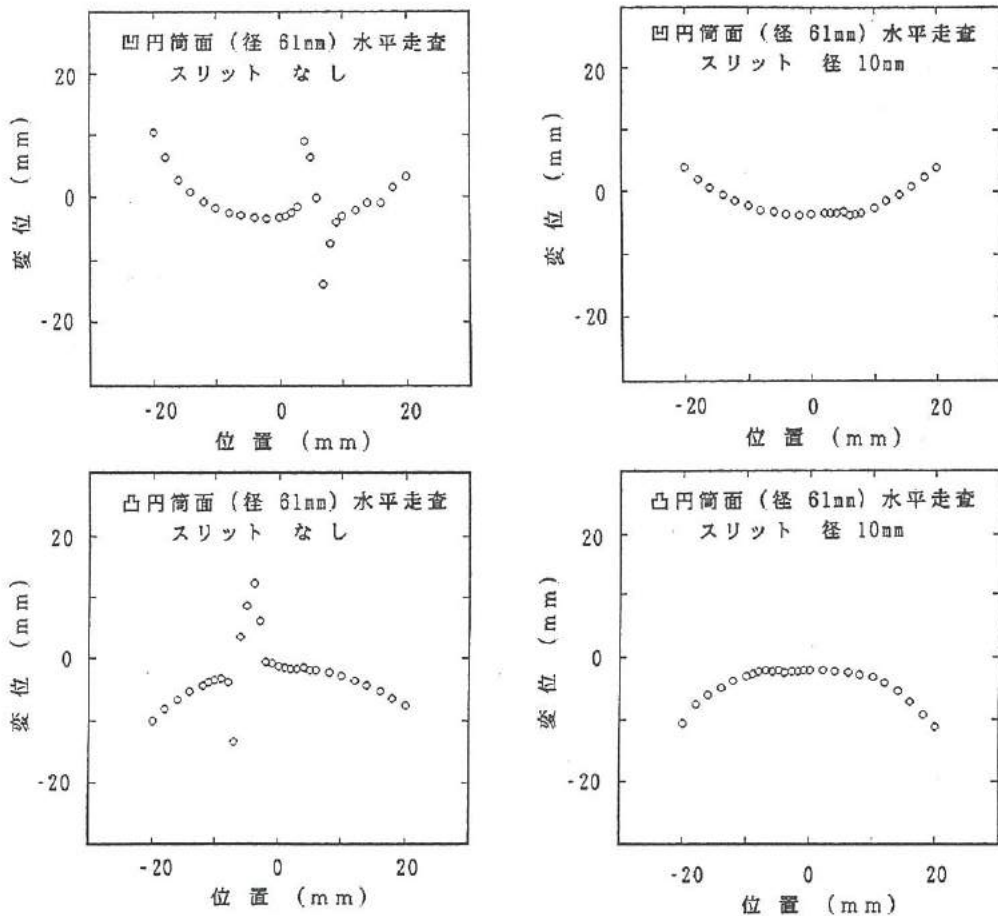


図8 円筒面の測定結果（センサ長手方向に平行）

Fig.8. Measuring result of cylindrical surface.

(scanned parallel to a longer side of PSD)

4. 2 凸型および凹型円筒面の測定（試料をセンサの長手方向に垂直に走査する場合）

図9は凸型および凹型円筒面（ともに直径61mm）をセンサの長手方向に垂直に走査したときの測定結果を示す。図より、凸型および凹型円筒面はともに正反射光の影響を受けない角度範囲であるため、ほぼ形状を再現できることがわかる。ただし凹型の場合には、試料面底部において反射した光が再び試料面で反射する二重反射による出力誤差が認められた。そこで4.1と同様に集光レンズの前にスリット（直径15mm）を取り付けて測定した結果、誤差はほぼ完全に解消することができた。また、試料の円筒面の径と測定結果から求めた径とを比較したところ、誤差は約0.4mmで測定精度は1%以下であることがわかった。

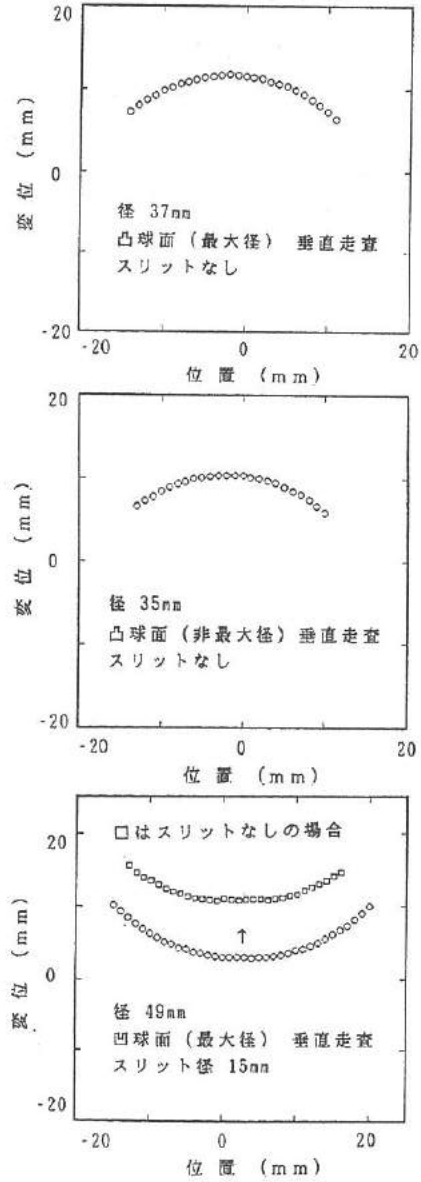
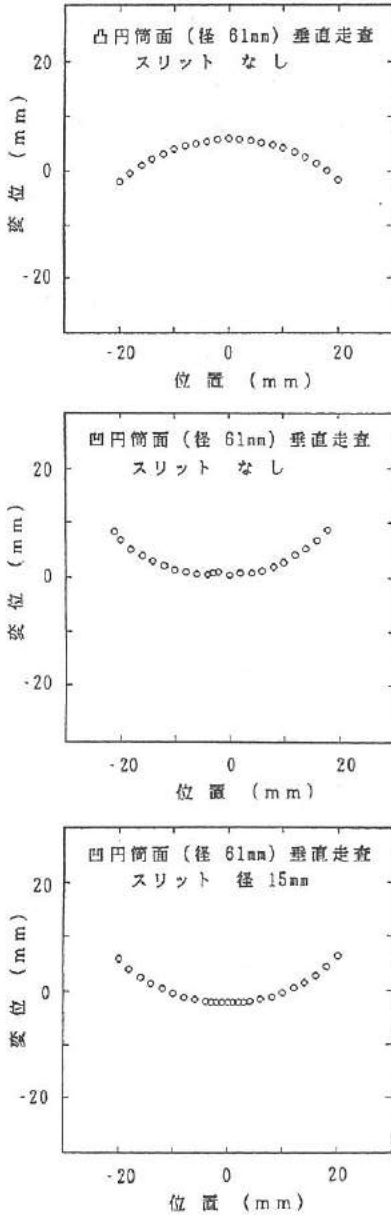


図9 円筒面の測定結果（センサ長手方向に垂直）

Fig.9. Measuring result of cylindrical surface.

(scanned perpendicular to a longer side of PSD)

図10 球面の測定結果（センサ長手方向に垂直）

Fig.10. Measuring result of spherical surface.

(scanned perpendicular to a longer side of PSD)

#### 4. 3 凸型および凹型球面の測定

図10は凸型(直径37mm)および凹型球面(直径49mm)をセンサの長手方向に垂直に走査したときの測定結果を示す。凸型球面については最大直径部分に沿って測定した場合、およびセンサ長手方向にその球面試料を6mm移動させて測定した場合(径35mm)の結果をあわせて示した。図より、凸型球面については凸型円筒面と同様に、スリットなしでも誤差は小さく測定可能である。凹型球面では凹型円筒面と同じく、やはりスリットを用いて誤差を低減する必要がある。

#### 4. 4 凸型および凹型三角柱面の測定

図11は凸型および凹型三角柱面(ともに頂角110度)をセンサの長手方向に垂直に走査したときの測定結果を示す。図より、凸型、凹型三角柱面ともに4.2節の円筒面の場合と同様に、正反射光の影響を受けない角度範囲であるため、ほぼ完全な形状が得られ、異常な測定点は認められない。また、凹型の場合においてもスリットなしでも底部で誤差はほとんど見られない。さらに、凸型三角柱面では、スリットなしでセンサの長手方向に平行に走査した場合でも誤差はきわめて小さく、測定可能であった。

#### 4. 5 形状モデルの測定

白い塗装を施したアルミ合金を用いて形状モデルを作製し、三次元形状測定を試みた。その結果を形状モデルの写真とともに図12に示す。図より、1.5mm間隔でセンサの長手方向に垂直に試料を走査し測定したところ、スリットなしでほぼ完全に三次

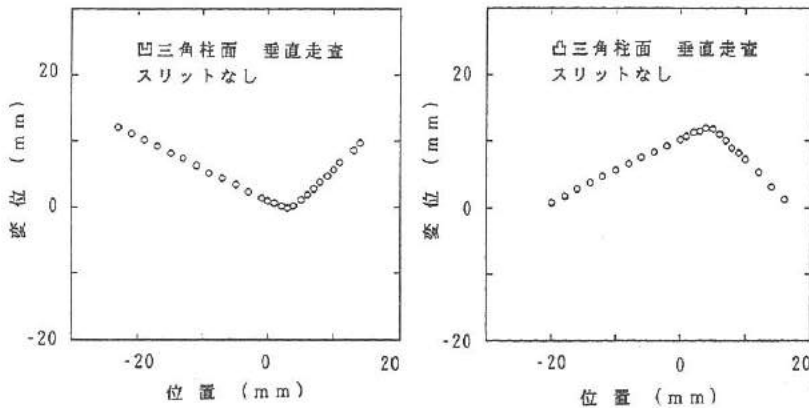
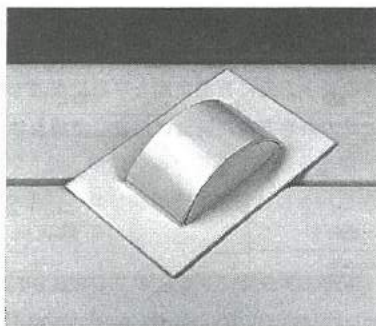
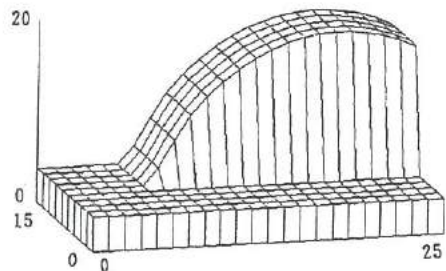


図11 三角柱面の測定結果(センサ長手方向に垂直)

Fig.11. Measuring result of triangular surface.(scanned perpendicular to a longer side of PSD)



(a) モデル



(b) 測定結果

図12 モデル形状の測定

Fig.12. Appearance of model and measurement result of model surface shape.

元のモデル形状を再現できることがわかる。

以上、本研究で使用した実験装置をもとに、試作した測定装置の外観写真を図13に示す。

## 5. 今後の課題

スリット径を小さくすることにより、正反射光の影響を小さくすることが可能であることがわかったが、光量不足による出力誤差や光量によって位置検出性能が変動するのを避けるためには、センサ出力処理回路のダイナミックレンジを広げたり、PSD入射光量によってレーザーの出力量を調節可能なフィードバック機能を付加できるレーザーヘッドの仕様向上が必要であると考えている。さらに、正反射光の影響や死角の影響を減少させる

ためにセンサの数を増やし、配置を工夫することも検討しなければならない。また、今回の研究では、試料ステージの移動を手動で行ない、変位量も出力電圧値のデータを読み取った後、パソコンで計算して求めたため、測定にかなりの時間を要したが、試料ステージをパソコン制御により駆動させ、ステージ位置を同時に読み取り、PSDセンサの出力値からディスプレイ上に3次元表面形状の測定結果を表示することのできる、自動計測機能を持った装置の開発も今後当面の課題として残されている。

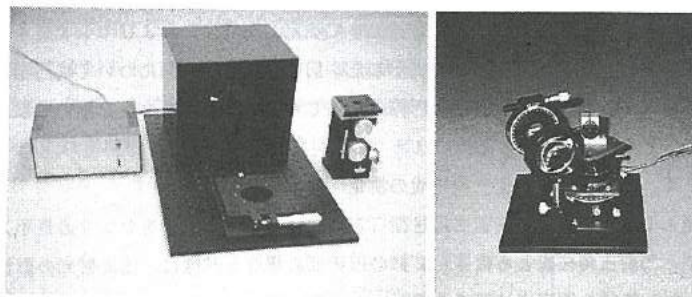
## 6. 結 言

本研究では、三次元自由曲面形状を測定するために、安いコストで簡易に構成でき、比較的精度の良い光触針式非接触形状測定装置の開発を試みた。そして、試作した実験装置を用いて基本的な表面形状を測定した結果、以下の事柄が得られた。

- (1) 被測定面の変位の測定範囲は約40mm、測定誤差は最大約0.4mmで、全測定範囲に対して1%以下の精度で測定することができる。
- (2) 凸型の円筒面や球面については、センサの長手方向に被測定面を平行に走査して測定する場合は、正反射光の影響を受け、誤差は大きくなるが、集光レンズの前にスリットを入れることで誤差を低減できる。さらに、センサの長手方向に垂直に走査した場合、正反射光の影響はスリットなしでもほぼ完全に排除することができる。
- (3) 凹型の円筒面や球面については、センサの長手方向に被測定面を平行に走査して測定する場合は、正反射光や二重反射光の影響を受けて誤差が大きくなるが、集光レンズの前にスリットを入れることで誤差を低減できる。さらに、センサの長手方向に垂直に走査した場合、二重反射光の影響はスリットを入れても少しは残るが、スリットを入れればほぼ完全に排除することができる。
- (4) 二つの傾斜面をもつ三角状の凹型と凸型の面については、センサの長手方向に被測定面を平行に走査して測定する場合は、正反射光や二重反射光の影響を受けて誤差が生じるが、センサの長手方向に垂直に走査した場合は、スリットなしでもほぼ完全に排除することができる。

## [参考文献]

- (1) 三好隆志 ほか：金型用模型の非接触自動形状測定装置の開発，精密工学会誌，55，2（1989）393。
- (2) 上杉満昭：イメージエンコーダを用いた三次元曲面形状計測，センサ技術，11，9（1991）46。
- (3) 真下寛治：光方式金型形状自動測定装置，センサ技術，13，2（1993）18。



(a) 装置の外観

(b) 本体内部

図13 試作した形状測定装置の外観

Fig.13. Appearance of apparatus for measuring surface shape.

# VI. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発

## Development of a Visual Inspection System for Transparent Plastic Castings

本堂 裕 HONDOU Yutaka	大岩 秀徳 OOIWA Hidenori	長峰 浩幸 NAGAMINE Hiroyuki	藤城 敏史 FUJIKI Satoshi
佐山 利彦 SAYAMA Toshihiko	角崎 雅博 KADOSAKI Masahiro	浅田 峯夫 ASADA Mineo	谷野 克巳 TANINO Katsumi

### Abstract

Visual inspection of plastic castings are difficult because of the complex shape and various obstruction factors for valuation which exist in resin and production methods. This report contains two inspection methods and several information about a visual inspection system for transparent plastic castings such as medical bottles. One is usual lighting inspection that utilizes fluorescent lamps or incandescent lamps as light source, and the other is laser sensing inspection.

From the results of some experiments, the following were proved. The usual lighting method could detect almost all the defects contained in samples. However, the most appropriate lighting condition has to be settled for each sample according to its kind of defect or shape. So, it is very difficult to apply this method to the integration of inspection equipment. On the other hand, the laser sensing appears to be superior method to the usual lighting in several advantages. First, above 90% of defects are recognized by the high contrast defects' images which are constructed by defuse reflected beam. And this sensing hardly influenced by the lighting of surroundings.

Considering the validity of the laser sensing, a proto-type system was integrated with using the laser line beam defuse reflection method. We named this method LLD. In this system, one directional beam scanning of laser line is able to reduce the time for inspection. And clear defects' images without noise are obtained by the following technique. CCD camera is set above the beam plane and can obtain the images that the defuse reflected beam from the defects sift from the beam line marked on the surface of the sample. And then image processing distinguishes the defects from the noise. The LLD method can detect about 80% of inclusions which are typical defects in plastic bottles.

### 1. 緒言

生産工場においては、製品の品質の向上を図るため、種々の外観検査が行なわれている。特に、プラスチック製品の外観検査では、傷の有無や色むらなど数値では表現しにくい項目が検査の対象となり、検査のほとんどが人間の感覚的な判断基準で行なわれ、自動化の妨げとなっている。

現在、このような人手による外観検査などの自動化には、画像を応用した装置が用いられているが、多くの場合は2次元の対象物であり、3次元形状を有する製品への応用例は少ない。また、良好な画像を得るためには、最適な照明方法などについても考慮しなければならない。

ここでは、このような感覚的な外観検査の自動化を推進するため、3次元形状を有する透明プラスチック製品の成形不良による欠陥の検出、検査を行なう装置の開発研究に検討を加えた。

## 2 画像による製品検査の現状

製品の品質検査は非破壊検査であり、光学的方法や電気的方法および超音波を利用した方法など種々の方法があるが、外観検査としては人間の目に近い光学的な画像を用いる方法が一般的である。表1は光学的な情報を外観検査に用いるために使用される変換手法の例を示す。表に示すような光学情報は、2次元のCCDカメラや1次元のラインセンサにより画像として構築し、この画像データをコンピュータで処理する方式が検査装置として一般的に用いられている。

良質な画像を得るためには、照明方法が重要である。光源としては電球や蛍光灯などの普通照明器具やレーザー装置がよく用いられている。一般に、照明装置は点光源であり、その明るさは場所によって不均一である。この照明光をそのまま測定対象物に照射すると、照明ムラが発生して良質な画像が得られない場合が多い。そこで、照明の明るさを均一にするため、積分球などを用いた散乱光照明が行なわれている。また、影の発生を抑えるため、カメラと照明の位置を同軸にした同軸照明法や、表面の反射光を抑えるために、斜め照明や光源とカメラに偏光板を取り付ける方法などが用いられている。

光沢性のある製品の正常部では照明光は正反射し、欠陥部分では照明光は拡散反射する。そこで、表面の傷や荒れを検出する場合には、この欠陥による光の拡散反射を利用する方法がある。この方法には、光源としてレーザー光を用いる場合もある。また、透明体の場合には均一な透過照明がよく用いられるが、3次元形状を有する製品の場合は光の屈折により結像がうまく行かないことがある。微細な異物や傷などの検出には光散乱法や光回折法が用いられているが、ほとんどの場合、板や円筒などの単純形状であり、自由曲面を持つ製品ではほとんど実用化されていない。

表1 外観形状の光学的情報への変換

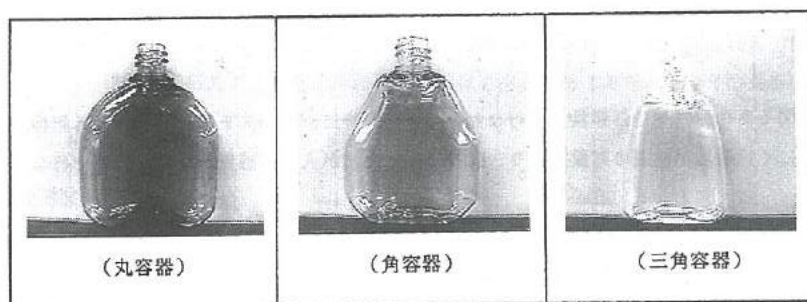
Table 1. Optical information transformed external shape.

光学情報	適応される外観形状	利用原理
反射光量の分布	汚れ、割れ、荒れ、ムラ	反射率差
反射方向の分布	荒れ、ゴミ、凹凸、割れ	光散乱、光回折
透過光量の分布	輪郭形状、ゴミ、もれ	透過率、吸収率差
透過方向の分布	割れ	光散乱、光回折
像のゆがみ	凹凸、欠落	光波切断
色	無機物と有機物の識別	紫外線による蛍光
光量分布の変化	浮遊ゴミ、侵入者	移動による変化
光のもれ	割れ、容器のもれ	欠陥部への光侵入

## 3 目視による欠陥検査

### 3.1 検査対象物

検査対象物は自由曲面を持つ透明なプラスチック製の容器で、図1はその概要を示す。この製品は医薬品（目薬）の容器であり、薬液中の異物等を検査する必要があるため、外観上の欠陥がないことが要求されている。しかし、この製品はインジェクションブロー成形品であるため、「異物」、「傷」、「糸」や「泡」などの欠陥を生ずることがある。製造現場では、これらの欠陥の有無を目視で検査している。図2は欠陥の種類およびその例を示す。



色	緑, 紫, 黒, 赤, 透明
形状	丸, 角, 三角
サイズ	高さ: 約30 mm 幅: 約30 mm 厚み: 約10 mm

図1 検査対象物の概要

Fig.1. Appearance of measuring object.



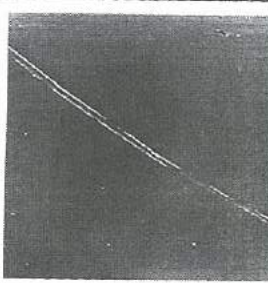
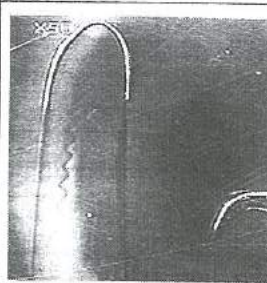
異物欠陥	傷欠陥	糸欠陥	泡欠陥
樹脂の分解した物などが製品内に混入した欠陥	成形品の表面にすり傷がある欠陥	ゲート部の樹脂が糸状に製品に付着した欠陥	成形中に空気が樹脂内に入りブロー時に潰れた欠陥
			

図2 欠陥の種類例

fig.2. Various defects of measuring object.

### 3. 2 普通光の照明方法

生産現場では普通光で欠陥検査を行なっている。この時に、欠陥を検出するために用いている照明法としては、一般的には図3に示す照明方法が考えられる(図では目の位置にCCDカメラを置いている)。図で、(a)は照明光の正反射光をカメラでとらえる方法(正反射照明と呼ぶ)、(b)は試料に直接照明光を照射し、その正反射方向ではない所にカメラを置方法(直接照明と呼ぶ)、(c)は照明光を乱反射面で乱反射させた光を照明光として用いる方法(間接照明と呼ぶ)、および(d)は照明

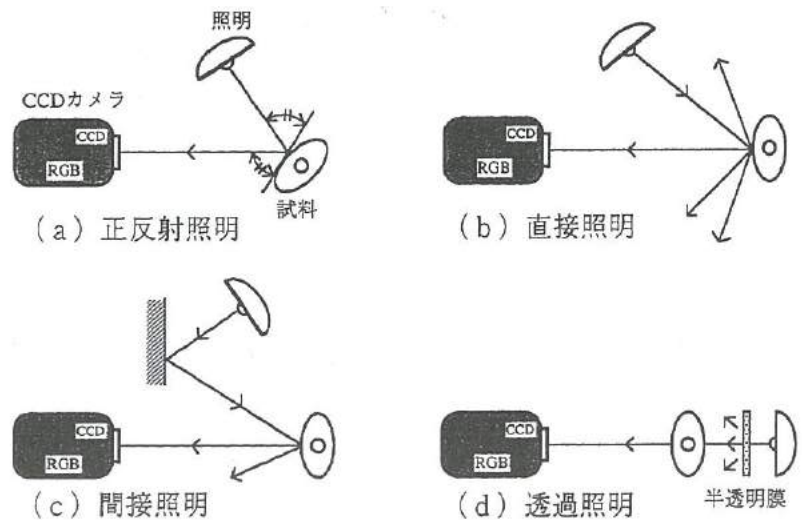


図3 普通光の照明方法

fig.3. Lighting method by usual light.

の前に半透明膜を置き、試料の後ろから照明を行なう方法(透過照明法と呼ぶ)である。また、本研究では照明光と同じ方向から観察する直接法および間接法の場合には、背景の色を「白」および「黒」とした2種類の方法についても比較検討した。

### 3. 3 普通光による検査結果

図4は種々の照明法で得られた欠陥の画像の一例を示す。図中の黒い線は欠陥の場所を判りやすくするために付けた印である。図から明らかなように、照明方法によって欠陥の識別が容易な場合と、困難な場合があることが判る。図5は300個の試料について、照明方法によって欠陥が白、黒、透明(中が透けて見える)、および検出不能(この照明法では見えない)に分類した結果を示す。図より、異物の場合は背景を白にした方が、また傷の場合は背景を黒にした方が識別しやすいことが判った。糸は透明な表面の付着物による欠陥であり、コントラストを得にくい、レンズ効果や陰影を生ずるため、照明方法に関係なく概ね識別可能である。泡の場合は、樹脂内部の透明な欠陥のため、試料によって照明法を変えないと識別が困難であった。



	異物欠陥	傷欠陥	糸欠陥	泡欠陥
直接照明 白				
直接照明 黒				
整反射				
間接照明 白				
間接照明 黒				
透過				

図4 照明方法と欠陥の画像例

fig.4. Example of defect views by several lighting methods.

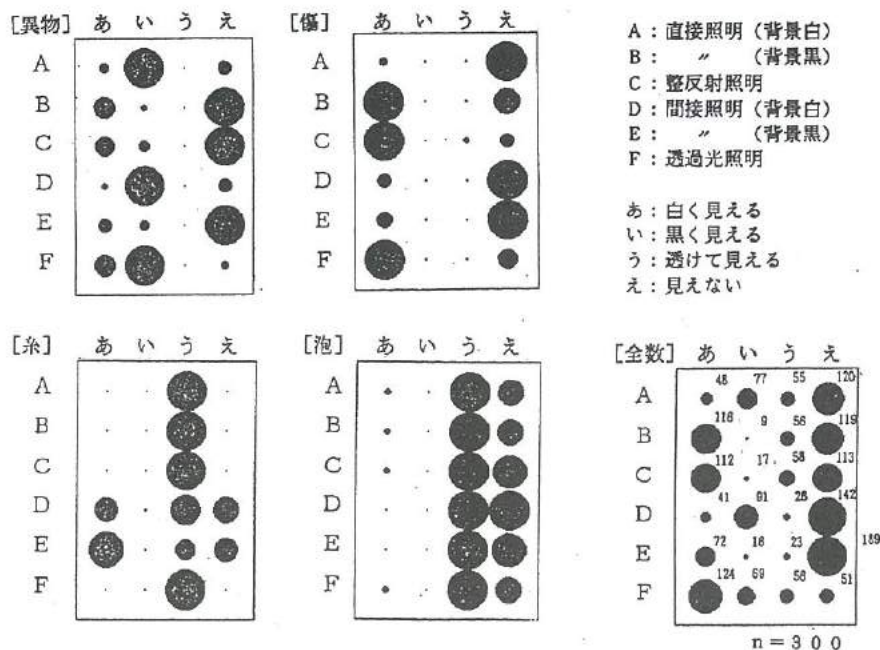


図5 照明方法の違いによる欠陥の見え方

fig.5. View of several defects by differences of lighting method.

### 3.4 目視画像の画像処理装置による判別

図4の画像をパソコン(PC9801、NEC製)による画像処理装置で画像処理した。画像メモリボードはVDB-982E(テレフォース製)を用いた。画像メモリの大きさは横512×縦400×8ビット×3色である。プログラム開発にはターボC(ボーランド製)を用いた。図6は図4に示す異物(直接照明で背景が白)と泡(正反射照明)の画像で、水平方向の画素の輝度レベル値をグラフ表示したものを示す。異物の例では欠陥部で各色とも輝度レベルが小さく、輝度レベルにより欠陥を識別することができるが、泡では照明ムラによる影響を受け、輝度レベルだけで欠陥の識別をすることは容易ではない。画像で見える試料の輪郭部では、照明光の影響により明るく輝く部分があり、この部分に欠陥がある場合は検出不可能である。そこで、欠陥の検査エリアを輪郭部を除くエリアとし、欠陥が認識しやすい照明方法を選択すると、2値化処理で欠陥の検出・検査が可能である。図7は直接照明で背景が黒の場合に2値化処理を行なった糸欠陥の一例を示す。このように、照明法と測定エリアを決めることにより、ほとんどの欠陥を2値化処理で検出することができるものと考えられるが、試料の回転や移動を行ったり、種々の照明方法を試みる必要があり、検査には多くの時間とコストが必要である。

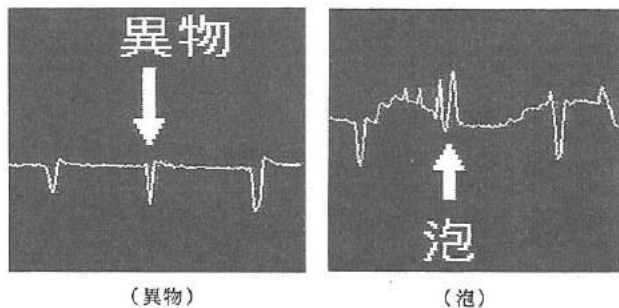


図6 取り込んだ画像の水平方向の輝度レベルの一例

fig.6. Example of horizontal brightness level of obtained image.

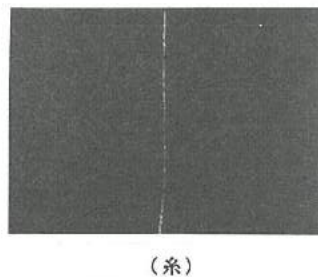


図7 取り込んだ画像を2値化した一例

fig.7. Example of binary image of obtained image.

#### 4 レーザ光による欠陥検出

##### 4.1 欠陥検出実験方法

普通光による検査では種々の問題点があるため、これらの改善を目的として、レーザ光を用いて欠陥の検出実験を行なった。図8は検出実験に用いたレーザ光学系を示す。ヘリウムネオンレーザ（波長632.8nm）を光源とし、ビーム径約100 $\mu$ mのスポットビームもしくは絞り幅約100 $\mu$ mのラインビームを試料に照射した。スポットビームによる検査では、ビームを試料全体に当たるように2次元走査を行なう必要があるが、ラインビームでは1次元の走査で済むので、検査時間の短縮が期待される。

欠陥のない試料に照射されたレーザ光は正反射または透過するが、欠陥にレーザ光が当たるとその一部は広い範囲に拡散反射する。そこで、これらの拡

散反射光および透過光の変化をとらえるため、試料の前部および背後にCCDカメラをおき、拡散反射光画像および透過光画像を得た。また、レーザ光の試料表面の反射光を排除し、欠陥からの拡散反射光だけを画像として取り込むために、適切なカメラアングルを決定した。実験では図8に示す3つの角度を、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 25^\circ$ の固定値設定とした。

##### 4.2 レーザ光による検出結果

図9は異物がある試料の拡散反射光画像および透過光画像の一例である。拡散反射光画像では、(a)および(c)のように欠陥のない

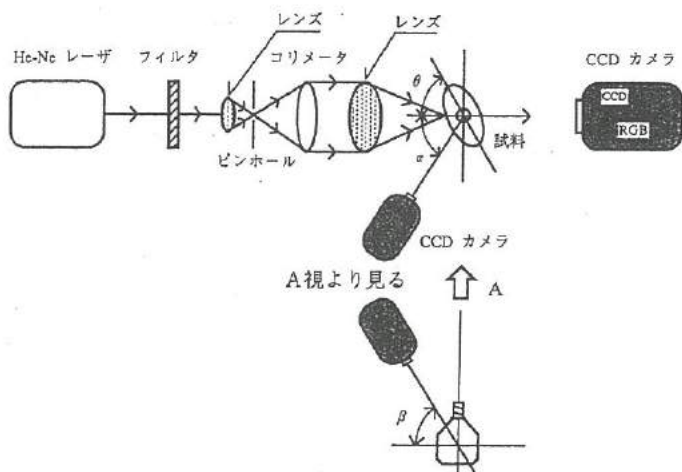


図8 レーザビーム照射実験装置

fig.8. Experimental apparatus by laser beam.





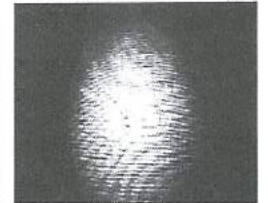

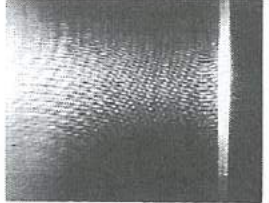

画像	スポットビーム		ラインビーム	
	正常部分	欠陥部分	正常部分	欠陥部分
散乱光画像	 (a)	 (b)	 (c)	 (d)
透過光画像	 (e)	 (f)	 (g)	 (h)

図9 レーザビーム照射時の拡散反射光および透過光画像の一例

fig.9. Example of scattered or transmitted light views by irradiation of laser beam.

い正常な部分では拡散反射光は認められないが、欠陥のある部分では(b)および(d)のように欠陥だけが輝き、欠陥の存在を識別できた。また、スポットビームの場合もラインビームの場合もほぼ同様な拡散反射光画像が得られた。透過光画像では、スポットビームを用いた場合は正常部では(e)に示す円形パターンが欠陥部分では(f)に示すように著しく変形した。この変形は、欠陥およびその周辺部の樹脂のひずみによりビームの屈折により生じたものである。また、ビームが欠陥によって完全に遮断されるために、パターンが消えてしまうものもあった。ラインビームを用いた場合、正常部では(g)のような帯状の透過光パターンが得られたが、欠陥の存在により(h)に示すようなパターンの乱れが観察された。

図10は普通照明で用いた試料内の50個の試料のレーザー光の照射実験から、拡散反射光画像および透過光画像の変化に基づき、欠陥が明るく輝きよく見える(認識可)もの、少し明るく輝く(一部可)ものおよびレーザー光によっては光らない(認識不可)ものに分類した結果をまとめたものである。拡散反射光画像を用いる方法では、ビームの形状に関係なく、約90%の欠陥が部分的にせよ検出可能であった。他方、スポットビームを用いた透過光画像ではほぼ100%で欠陥が変化し検出できるという良好な結果が得られた。しかし、ラインビームを用いた透過光画像では、パターンの変化に特徴がないため欠陥として認識することが難しく、検出率は約80%であった。

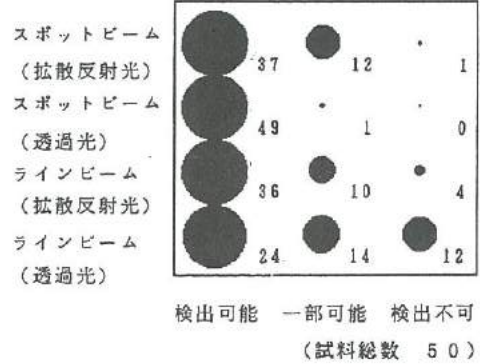


図10 種々のレーザー光検査方法による欠陥の認識結果  
fig.10. Recognition of defect by various laser beam sensing inspection methods.

#### 4.3 検出結果の評価

レーザー光を用いる欠陥検出手法は、

- ①欠陥の画像コントラストが強くなり検出率が高い
- ②外光による影響が少ない

という2点で、普通光を用いる手法に比較して優れている。表2はレーザー光による欠陥検査方法の特徴を示す。スポットビームの場合は、約  $\phi 100 \mu\text{m}$  に集光したビームを高価で光学的な精度が要求されるポリゴンミラーなどによって容器全体に2次元スキャンさせる必要がある。また、透過光画像を用いる方法では欠陥の検出率は非常に高いが、不規則に変化するパターンの画像認識が必要であるため、欠陥の判断は容易ではない。これらのことから、欠陥検査の装置化にあたっては検査時間の短縮に重点を置き、ラインビームによる拡散反射光画像を用いる手法を採用した。

表2 レーザ光による欠陥検出の特徴

Table 2. Characteristics of detection of defect by laser beam.

画像	ビーム	長 所	短 所
拡散反射光	スポット	・普通照明を用いた画像に比べ、欠陥の画像コントラストが向上し、欠陥の検出率も高い。	・2次元スキャンが必要なため検査時間がかかる。
	ライン	・普通照明を用いた画像に比べ、欠陥の画像コントラストが向上し、欠陥の検出率も高い。 ・1次元スキャンにより検査時間の短縮が可能。	・容器表面からの整反射光が多く、欠陥からの散乱光との区別が難しくなる。
透過光	スポット	・パターンの乱れによりほぼ100%の欠陥が検出可能。	・透過画像のパターン認識が必要。 ・検査時間が長くなる。
	ライン	・パターンの乱れにより約80%の欠陥が検出可能。 ・1次元スキャンにより検査時間の短縮が可能。	・透過画像のパターンが非常に複雑になり、変化も小さい。パターン認識処理が困難。

## 5. 欠陥検査装置

### 5.1 欠陥検査装置の概要

図11は欠陥検査装置の概要、および図12はそのブロック図を示す。装置はヘリウムネオンレーザをシリンダリカルレンズでラインビームとしたもので、図8に示した角度で試料に斜めから照射し、その拡散反射光をCCDカメラでとらえる構造となっている。レーザ拡散反射光はパソコンを用いた画像処理装置で記憶される。次に、試料ステージを上へ100 $\mu$ m移動させ、再び拡散反射光画像を得る。画像処理装置はこのようにして得られた画像から2次元の拡散反射光画像を構築し、この画像から製品の欠陥や不良を判別している。ここで用いた画像処理装置は、第3章で用いた装置に試料ステージ送り制御装置を追加したものである。

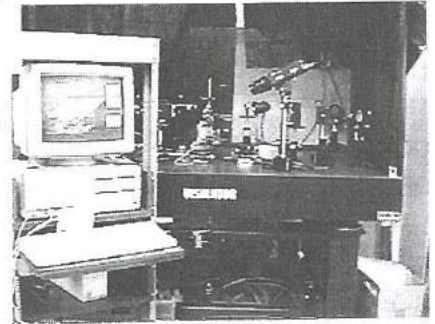


図11 検査装置の概要

fig. 11. appearance of inspection of examined apparatus.

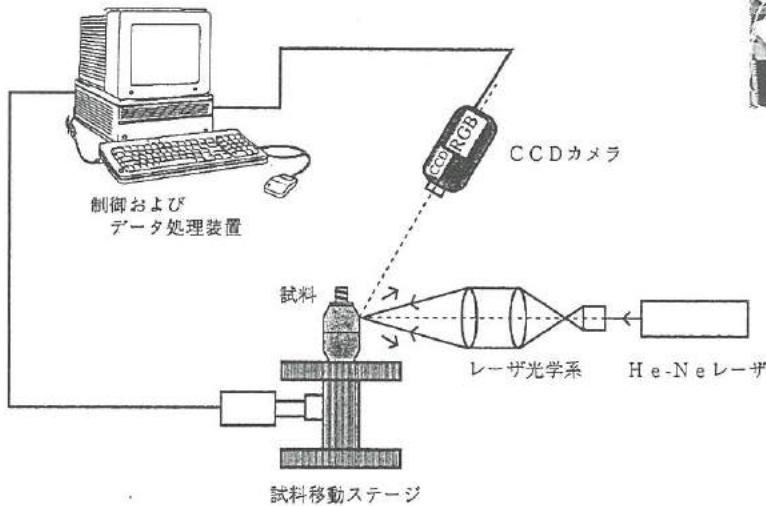


図12 検査装置のブロック図

fig.12. Block diagram of inspection apparatus.

### 5.2 欠陥検査装置のプログラム

図13は検査ソフトのフローチャートを示す。検査前に、試料にラインビームが照射されている位置、および2値化のしきい値を設定する。検査を開始すると、画像取り込み後、ラインビームが照射されている部分の上下10ピクセルの範囲で、固定しきい値で2値化し、メモリに2値画像として記憶する。次に、移動ステージを所定量移動させ、再び画像取り込みおよび2値化を行ない、以前に記憶した2値画像に画像上で移動した分だけずらせて加算する。この処理を繰り返し、1画面分の2値画像の取り込みが終了後、2値画像上で得られた画素の数を計測し、画素の有無で欠陥の有無を判断している。画素の2値化時には、ラインビームが照射されている部分から0~9画素以内の画素は、拡散反射光があっても無視できる。

なお、2値化のしきい値は、検査対象物の形状、色および外光（暗幕の有無）によって異なるものと思われるので、手動で確認しながら設定することができる装置にした。

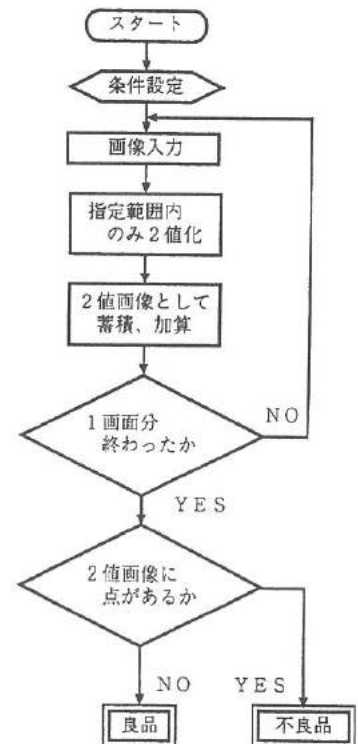
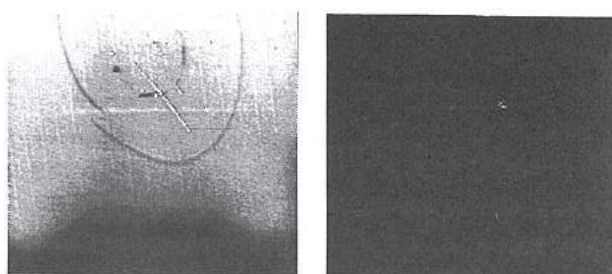


図13 検査ソフトのフローチャート

fig.13. Flowchart of inspection software.

### 5. 3 レーザ光による欠陥検査装置による検査結果

図14は本欠陥検査装置を用いて異物のある試料の検査を実施した一例を示す。レーザ拡散反射光を用いて欠陥を検出する場合、(a)のようにラインビームが照射されているところを含めて2値化を行なうと、小さな傷や表面の付着ゴミなどにより、欠陥以外でも明るく輝くためノイズ（実際は表面にある小さい傷を捕らえている）となる。異物は製品内部にある場合が多く、カメラ位置は上から見る方法を採用しているため、画像ではレーザの照射ラインよりも上に拡散反射光が見える。そこで、照射ライン付近のデータは採用しないものとした。(b)はレーザ照射ラインの上下4画素を除いた拡散反射光で、



(a) 照射ラインを含む (b) 照射ラインを含まない

図14 レーザライン拡散反射光法による欠陥検出例（異物）

fig.14. Detection of defect by LLD method.

2次元の2値化像を構築した例を一示す。図より、異物以外にはノイズのない画像が得られ、しきい値以上の拡散反射光の有無だけで欠陥の判断が可能である。このような、レーザによるラインビームを用いて、角度をつけた照明法で、ノイズの少ない拡散反射光画像を得る方法を「レーザライン拡散反射光法」(laser line beam defuse reflection method, LLD)と名付けた。

図15は傷、糸および泡のある試料を検査した一例を示す。大きな傷の場合は異物と同様の手法で検出できるが、小さな傷および糸ではレーザ拡散反射光が照射ライン上でだけ明るく輝き、異物のように照射ラインのデータを用いない方法では、欠陥検出が困難な場合がある。照射ライン上のデータも用いると、多くのノイズ（小さな傷によるものと思われる）を含むが、傷欠陥の部分はほぼ検出が可能であった。傷は一般的には直線であるので、得られた2値化画像から、ハフ変換などの画像処理手法を用いると識別が可能であると考えられる。しかし、画像処理の専用ハードを持たないパソコンを用いた画像処理装置では、このようなパターン処理を行なうためには多くの時間を要するので、これらの画像処理は今後の課題とした。糸の場合、ラインビームが糸状の欠陥方向と直角方向に照射しているときには拡散反射光が小さく、検出が困難であった。(b)はこのような方向の糸欠陥がある試料の場合であるが、画像の上部では欠陥が不連続となって検出されている。なお、(b)の右上に線状に同時に検出された欠陥は傷である。泡の場合、泡全体の形状として検出することはできないが、泡も樹脂内部の欠陥であり、異物と同様の手法で検出が可能である。

今回の欠陥検査対象物はプラスチック製品で、その表面には傷につきやすい。また、傷はその見え方や大きさ、深さ、数などによって良品と見なすものもあり、その検査基準を数値では表現しにくい欠陥がある。今回試作したLLD法を用いた場合には、製造ラインでは良品と見なされる小さな傷についても検出が可能である。



(a) 傷 (b) 糸 (c) 泡

図15 レーザライン拡散反射光法による欠陥検出例（傷、糸、泡）

fig.15. Detection of defect by LLD method.

表3は、レーザ照射ラインから3画素以内のデータを無視したLLD法で50個の試料を検査した結果を示す。試料の構成は、生産現場の検査ラインで人間が目視検査で良品と判定した30個および異物欠陥が存在すると判定した20個である。LLD法による判定では、86%が検査ラインでの判定と同じ判定をした。検査ラインでは良品とされたがLLD法では不良品となった3つの試料を調べてみると、2値化画像で輝いた画素に対応する試料の位置には、浅い傷や容器表面の小さな窪みが観察された。人間の判定基準が感覚的であることを考慮すれば良好な結果といえる。しかし、検査ラインで不良と判断された試料がLLD法では良品と判断されたものは、目視で確認すると実際に異物があるが、レーザ照射による拡散反射光がほとんどない場合や試料の表面に異物がある場合であった。前者の場合には、異物の検出にレーザ拡散反射光を用いる方法では検出不可能なので、透過光を同時に用いる方法などを今後の改善法として考えている。また後者の場合には、2値化時に無視する画素数を少なくし、孤立点消去フィルタ処理などの画像処理を更に行なう方法が考えられる。

表3 レーザライン拡散反射光法により検査した結果  
table 3. Result of detection by LLD.

	LLDが良品と判断した個数 (31)	LLDが不良品と判断した個数 (19)
人間が良品と判断した個数 (30)	27	3
人間が不良品と判断した個数 (20)	4	16

## 6 結 言

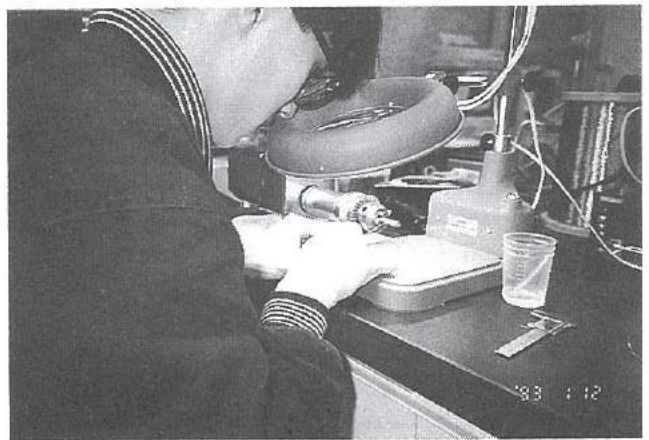
3次元形状を有する透明プラスチック製品の成形不良による欠陥の検出、検査を行なう装置の開発研究を実施したところ、以下の結果が得られた。

- ① 普通光により検査を行なう場合、欠陥が見分けやすい照明方法があり、その方法は欠陥の種類によって異なる。
- ② レーザ光によって欠陥を検出する方法は、欠陥部の反射光輝度の上昇や、透過光のパターン変化が見られ、欠陥の検出率が高い。
- ③ レーザライン拡散反射光法(LLD法)で透明プラスチック容器の異物、傷、糸、泡が画像として検出することができた。
- ④ レーザラインの照射ライン状の拡散反射光データを無視するレーザ拡散反射光法を用いると、ノイズが少ない欠陥部だけの2値化画像が得られた。
- ⑤ レーザライン拡散反射光法で欠陥の検査を行なったところ、異物の場合には約86%の認識率で欠陥が検出できた。

## 参考文献

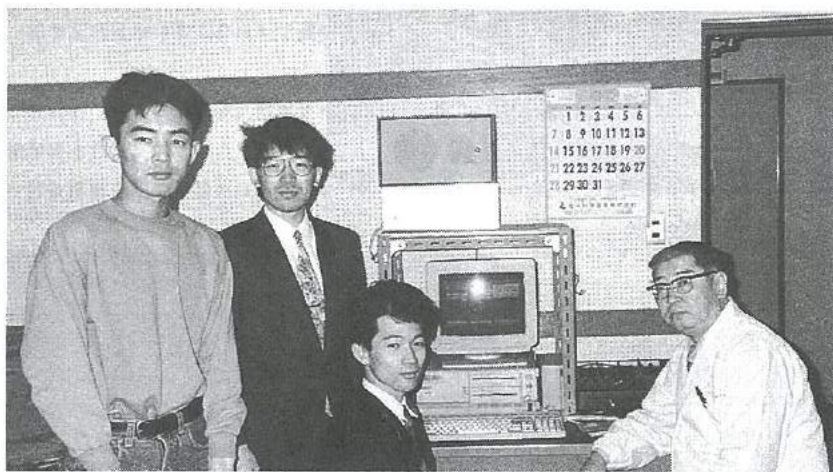
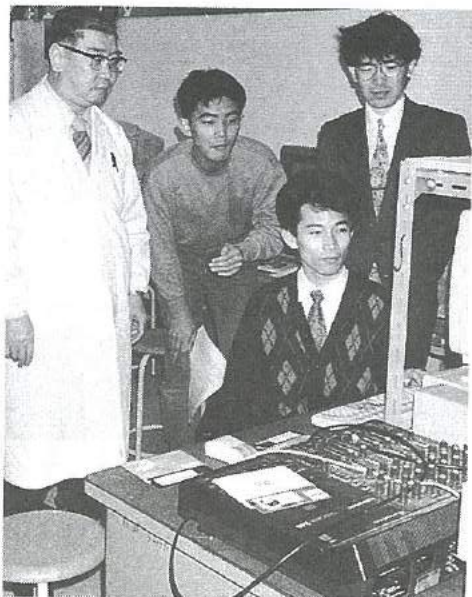
- 1) 丸谷洋二：「目視検査の自動化技術」、日刊工業新聞社、1987
- 2) 藍ほか：「検査の自動化・システム化ハンドブック」、フジテクノシステム、1991

「マイクロマシンの開発」グループの研究活動風景

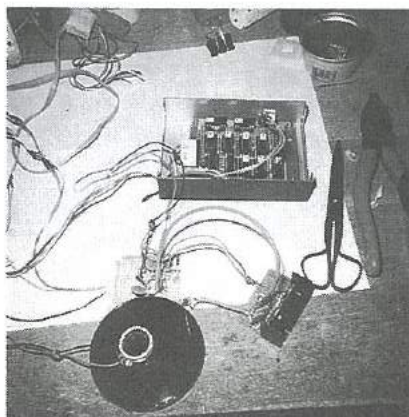




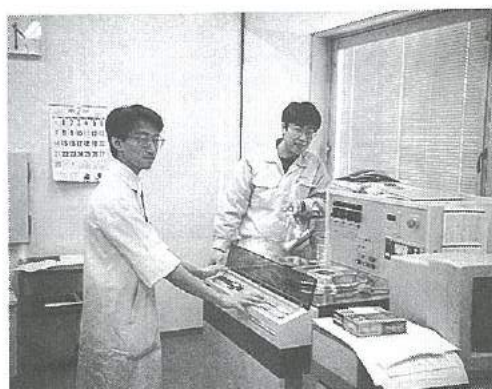
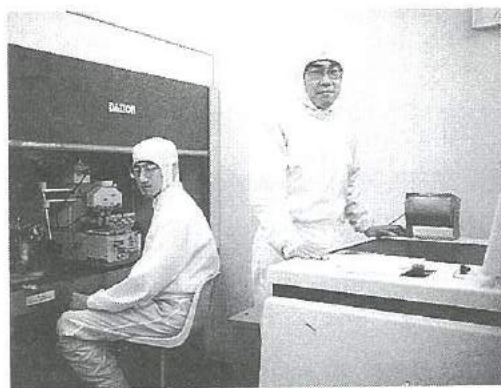
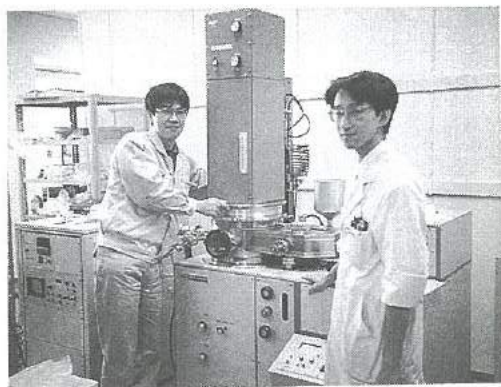
「音声一点変換装置の開発」グループの研究活動風景



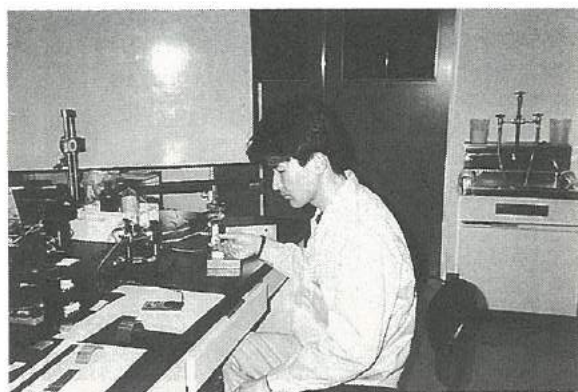
「埋込み型電気刺激システムの開発」グループの研究活動風景



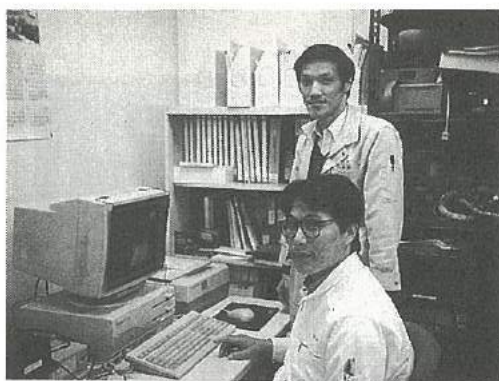
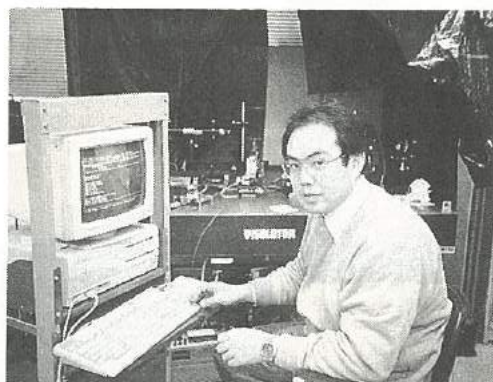
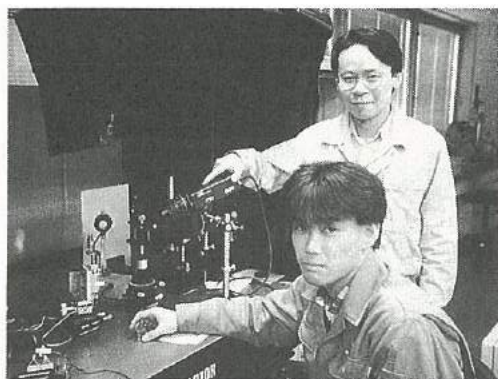
「薄膜微細加工技術の開発」グループの研究活動風景



「形状測定装置の開発」グループの研究活動風景



「プラスチック検査装置の開発」グループの研究活動風景



# 会 員 企 業

平成5年3月24日現在(50首順)

	企 業 名	代 表 者 名	当 会 運 営 委 員	電 話
1	㈱和泉電気富山製作所	藤田 貞三	舟岡 矩夫	0764-69-2151
2	㈱インテック	金岡 幸二	末岡 宗広	0764-32-5511
3	北日本電子㈱	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
4	㈱黒田精型	黒田 辰春	黒田 辰春	0765-32-8006
5	コーセル㈱	飴 久晴	町野 利道	0764-32-8151
6	㈱齊藤製作所	齊藤 恵三	森本 政典	0764-23-4541
7	サクセス・マーケティング㈱	鈴木 幸夫	中澤 光典	0764-25-4547
8	三協アルミニウム工業㈱	戸田 清一	島 勲	0766-20-2366
9	㈱スギノマシン	杉野 博	龍口 幹夫	0765-24-5111
10	ダイヤモンドエンジニアリング㈱	早川 元彦	中里 博吉	0765-24-5670
11	㈱タカギセイコー	高木 正明	松山 英省	0766-84-9261
12	タカノギケン㈱	高野 啓良	杉森 智重	0764-55-2525
13	武内プレス工業㈱	武内 繁和	浅井 吉夫	0764-41-1856
14	立山アルミニウム工業㈱	竹平 栄太郎	松田 利喜男	0766-20-3121
15	立山科学工業㈱	水口 昭一郎	掘田 孝章	0764-29-3588
16	立山製紙㈱	二木 治夫	渡辺 章夫	0764-63-1311
17	立山電化工業㈱	園 晶雄	鈴木 富雄	0766-23-2377
18	㈱タナカエンジニアリング	田中 儀一郎	岩井 逸雄	0764-51-5600
19	東洋化工㈱	中田 守一	三田 一夫	0764-75-2125
20	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
21	㈱不二越東富山製鋼所	浜本 道夫	吉本 隆志	0764-38-4411
22	北陸電気工業㈱	中村 正夫	横山 充	0764-67-1111
23	マルマス機械㈱	平野 治親	加納 徹	0764-72-2233
24	吉田工業㈱黒部事業所	吉田 隆久	竹島 清	0765-57-1111
25	㈱リッヂェル	北島 欣二	岩城 隆夫	0764-78-2155
26	燐化学工業㈱	中村 久一	金山 敦	0766-86-2511
事務局：(財)富山技術開発財団内 〒930 富山市高田529 TEL				0764-33-6402

## 研究会員(研究幹事)

氏 名	所 属 ・ 役 職 ・ 学 位 ・ 電 話
植 松 哲太郎	富山県立大学工学部・教授・工学博士 0766-56-2495
龍 山 智 榮	富山大学工学部・教授・工学博士 0764-41-1271
谷 野 克 巳	工業技術センター機械電子研究所・電子技術課長 工学博士 0764-33-5466
古 田 勲	富山医科薬科大学医学部・教授・歯学博士 0764-34-2281
八 木 寛	富山大学工学部・教授・工学博士 0764-41-1271
山 本 敏 泰	高志リハビリテーション病院研究開発部・リハビリテーション工学科長 理学博士 0764-38-2233
山 本 倫 久	富山県立大学工学部・教授・工学博士 0766-56-7500 (工業技術センター所長兼務 0766-21-2121)

発 行 者	若い研究者を育てる会
発行者住所	〒930 富山市高田529 (財)富山技術開発財団 富山技術交流センター内
編集責任者	富山県工業技術センター 機械電子研究所 谷 野 克 巳・藤 城 敏 史
発行年月日	平成5年3月24日発行
印 刷 所	有限会社 新 響 社

\* 無断転載を禁ずる。非 売 品。