

平成 3 年 度
(第 5 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 4 年 3 月 17 日 (火)
於：富山第一ホテル

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

ソ連邦の解体、そして日米経済摩擦の激化と国際情勢がめまぐるしく動き、国内では景気の後退感が一層増している今日この頃ですが、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5年目を過ぎ、その間、研究会員の先生方のおかげさまで育った研究者も多きを数えるに至っていることはたいへん喜ばしいことです。

これも富山県殿、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7件のテーマで行われ、それぞれに成果がでており、各企業から参加された研究者方々が、お互いに影響しあい、勉強し、本会の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、その成果を持ち帰り各企業の成長に結び付けられ、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24社）の研究者が7つの研究課題とグループを定め、平成3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）、富山県立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7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「強誘電体薄膜の応用に関する研究」のグループ（参加企業数1社）の研究報告においては、サファイヤ基板と比較してはるかに安価な熔融石英基板上に、RFスパッタ法によるPLZTの薄膜化を試み、これを用いた薄膜画像メモリ素子の試作を行ない、更に、PLZTセラミックスウエハーの作製とこのものを用いた画像メモリ素子の試作も行ない、これらの電気光学効果などに検討を加えた結果について述べている（本研究の一部は特許を出願した）。

②「画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、円筒形状をした自動車用プラスチック部品の内側円筒面検査装置の開発を取り上げ、小径試料の検査が可能のように密着型イメージセンサを用いた装置を試作し、画像処理によって製品の欠陥、不良が検出可能か否かなどに検討を加えた結果について述べている。

③「圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究」のグループ（参加企業数2社）の研究報告においては、昨年度に引き続き、エポキシ・PZT複合圧電シートの超音波診断装置への応用を取り上げ、12素子アレイ型プローブと制御回路などを試作し、これらの送受信感度およびCRT上での形状識別感度などに検討を加えた結果について述べている。

④「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、レーザービームなどによる薄膜の微細加工を取り上げ、フォトリソグラフィによる各種形状の薄膜コイルを試作し、これらの電気的性能を評価すると共に、各種の薄膜の微小領域加工技術の確立と、レーザービーム加工の監視モニタとしてAE計測法を採用することはビーム焦点や微小領域加工面の位置決め有効であるなど、様々な角度から薄膜の微細加工技術に検討を加えた結果について述べている。

富山県立大学工学部 工学博士 山本 倫久

「仕上げ面粗さ自動測定装置の開発」のグループ（参加企業3社）は、富山県工業技術センター機械電子研究所で研究を行なった。この研究は、プラスチック射出成形用金型研磨面の粗さを反射光の角度分布により、非接触で自動測定しようとするものである。



2年目であって、昨年より性能の良い実験装置を用いて、(1) 各種評価パラメータと表面粗さの関係、(2) 偏光を用いることによる測定感度向上、(3) 球面の表面性状評価、について研究した。

平面の粗さ測定については大体的見通しが得られ、曲面については一部ではあるが貴重なデータを取ることができた。研磨した粗さ試料の作り直しや、光学実験装置の調整などに時間をとられたが、グループの人達は、苦しみながら解決して行く良い経験をしたことと思う。

富山大学工学部 工学博士 八木 寛

視覚障害者用には点字ワープロ、点字プリンター等が盲学校やボランティアの間で実用化されている。これらの装置に音声合成装置を取り付け、音声による文章読みあげ機能を付加したものもあるが、高価であり、一般家庭にまで普及するにいたっていない。



本研究では、点字に関する知識を持たない人でも入力出来る、普及型のパーソナルコンピューターを使い、音声入力によって、視覚障害者向けの点字文や、書籍の作成を目的としたものである。

単音節毎に母音部と子音部を、それぞれパターン・マッチング法により認識させた後、点字に変換する方法である。単音節のパターン認識は、二重FFT変換法をとることによって、認識率を高めている。

高志リハビリテーション病院 理学博士 山本 敏泰

体内埋め込み型の電気刺激システムの開発においては、①電子回路部、②センサー或いは刺激用としての電極の材料と機能、および③パッケージングの問題など幾つかの基礎技術の応用の上に成り立つものである。



本研究は主に刺激装置とバイオフィードバック信号検出部からなる電子回路部の開発に関するものである。本年度は実用化を目指した多チャンネル化、

省電力化、小型化のための検討を実施した。双方向通信機能を有するシステムの開発を目的とした基礎臨床的評価に絶え得る第一試作の段階に到達できた。今後はテレメータ通信部の改良等を実施してゆきたい。

以上、本書は7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5年間で実施した29テーマの成果は全て関連学会で発表し、特許は共同で5件出願しているが、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すると共に、本会が更に発展、飛躍し、多大な成果を上げることが期待している。

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。

平成4年3月

研究グループの構成

I. 「強誘電体薄膜の応用に関する研究—光書き込み型メモリの開発—」グループ

研究担当者 玉川 勤 (北陸電気工業㈱)
研究指導者 高林 外広 (工業技術センター機電研)
田村 幾夫 (")
谷野 克巳 (")

II. 「仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究」グループ

研究担当者 柳原 深 (㈱黒田精型)
桜栄 和則 (㈱タカギセイコー)
田村 正行 (吉田工業㈱)
研究指導者 吉田 勉 (工業技術センター機電研)
林 博 (")
山本 倫久 (富山県立大学工学部)

III. 「画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究」グループ

研究担当者 山本 達生 (エルコー㈱)
西浦 慎一 (タカノギケン㈱)
荒木 満男 (㈱タナカエンジニアリング)
研究指導者 藤城 敏史 (工業技術センター機電研)
角崎 雅博 (工業技術センター中央研)
中川 章 (")
谷野 克巳 (工業技術センター機電研)

IV. 「視覚障害者のための音声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 (㈱インテック)
岩田 雅明 (北日本電子㈱)
研究指導者 八木 寛 (富山大学工学部)

V. 「圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究」グループ

| | |
|-------|---------------------|
| 研究担当者 | 尾畑 哲史 (㈱和泉電気) |
| | 山田 義昭 (東洋化工㈱) |
| 研究指導者 | 浅田 峯夫 (工業技術センター機電研) |
| | 藤城 敏史 (") |
| | 谷野 克巳 (") |

VI. 「障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究」グループ

| | |
|-------|-----------------------|
| 研究担当者 | 土田 隆一 (立山科学工業㈱) |
| 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 (") |

VII. 「薄膜微細加工技術の研究」グループ

| | |
|-------|---------------------|
| 研究担当者 | 飴井 俊裕 (エルコー㈱) |
| | 竹端 精己 (㈱不二越) |
| 研究指導者 | 松本 岩男 (工業技術センター機電研) |
| | 二口 友昭 (") |
| | 寺沢 孝志 (") |
| | 谷野 克巳 (") |

註：各グループ中、企業名は50音順

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| I. 強誘電体薄膜の応用に関する研究 | 1 |
| ー光書き込み型メモリの開発ー | |
| 1. 結 言 | 1 |
| 2. P L Z Tセラミックスウエハーの作製 | 2 |
| 3. 熔融石英基板上へのP L Z Tスパッタ膜の作製 | 2 |
| 4. 単結晶基板上でのP L Z T薄膜の作製 | 4 |
| 5. 基板加熱とその校正 | 4 |
| 6. P t 薄膜上のP L Z T薄膜の作製 | 5 |
| 7. P L Z Tセラミックスウエハーを用いた画像メモリの試作 | 7 |
| 8. 結 言 | 7 |
| II. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究 | 9 |
| 1. 結 言 | 9 |
| 2. 偏光を用いることによる表面粗さの検出測定感度の効果 | 10 |
| 3. 球面の表面性状評価装置の試作 | 13 |
| 4. 結 言 | 16 |
| III. 画像に寄る円筒内面検査装置の開発に関する研究 | 17 |
| 1. 結 言 | 17 |
| 2. 検査対象物の概要 | 18 |
| 3. 試作装置の概要 | 19 |
| 4. 測定結果と考察 | 23 |
| 5. 今後の課題 | 25 |
| 6. 結 言 | 26 |
| IV. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究 | 27 |
| 1. 結 言 | 27 |

| | | |
|--------------------------------|-------|----|
| 2. 実験方法 | ..... | 29 |
| 3. 実験結果 | ..... | 34 |
| 4. まとめ | ..... | 35 |
| | | |
| V. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究 | ..... | 37 |
| 1. 緒言 | ..... | 37 |
| 2. トランスジューサの送受信特性の向上 | ..... | 38 |
| 3. 超音波診断装置の製作 | ..... | 40 |
| 4. 結論 | ..... | 42 |
| | | |
| VI. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究 | ..... | 44 |
| ー完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究ー | | |
| 1. 緒言 | ..... | 45 |
| 2. システム概略 | ..... | 45 |
| 3. 結果 | ..... | 47 |
| 4. 考察 | ..... | 47 |
| 5. 今後の方針 | ..... | 48 |
| 6. 謝辞 | ..... | 50 |
| | | |
| VII. 薄膜微細加工技術の研究 | ..... | 51 |
| 1. 緒言 | ..... | 51 |
| 2. フォトエッチング法による薄膜微細加工 | ..... | 52 |
| 3. レーザ加工法による薄膜微細加工 | ..... | 55 |
| 4. まとめ | ..... | 58 |

《訂正》

論文集40ページの表3を下記の表に訂正致します。

表3 各部の音響インピーダンス
Table 3. Acoustic impedance of each part.

| 部 位 | 材 料 | 音響インピーダンス ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) |
|------|----------|---|
| 整合層 | ブタジエンゴム | 1.5×10^6 |
| 圧電材 | エポキシ+PZT | $8 \sim 10 \times 10^6$ |
| 背面板 | 銅 | 40×10^6 |
| (参考) | (人体組織) | 1.2×10^6 |

I. 強誘電体薄膜の応用に関する研究

- 光書き込み型メモリの開発 -

Study of Ferroelectrics Thin Film
- Development of Optical Writing Memory -

玉川 勤 高林 外広 田村 幾夫 谷野 克巳
TAMAGAWA Tsutomu TAKABAYASHI Sotohiro TAMURA Ikuo TANINO Katsumi

Informative abstract

Ferroelectrics ceramics are relatively known to us, since BaTiO₃ or PZT type ceramics have developed extensively in Japan. PLZT is obtained by replacing a part of Pb of PZT La and it shows ferroelectricity as PZT.

Fabrication of thin film by these ceramics contributes to make small, light and multifunctional devices. These films have possibilities of giving excellent characteristics that bulk ceramics do not have yet.

PLZT can be used for image memory, optical shutter and so on because it exhibits large electrooptical effect and it is transparent in the visible and infrared region.

Many reserchers have been trying to investigate PLZT thin film for integrated device. But the fabrication of its thin film is very difficult due to its plural metal oxide.

In this study, we tried to fabricate PLZT thin films of high quality. We also tried to make optical device using bulk PLZT. We examined some experimental conditions in detail to accomplish our purpose.

The experimental conditions are as follows:

- (1) Substrate(kinds of single crystal and heating temperature).
- (2) Sputtering conditions(ex., gas pressure, partical pressure, input power and anealing process).

Prepared samples are characterized paying attention to the following points.

- (1) Perovskite type or pyrochlore type structure ?
- (2) Dielectric constant(specific inductive capacity).
- (3) Applicability for optical device.

This report presents the result of our work performed during one year. In the conclusion, we found that PLZT films grown Pt and they show the excellent crystalline and dielectric properties. Therefore, reflection type may be profitable rather than transmission type in optical devices such as image memory for application of PLZT thin films.

1. 緒言

PLZT ($\text{Pb}_{1-x/100}\text{La}_{x/100}(\text{Zr}_{y/100}\text{Ti}_{z/100})_{1-x/200}\text{O}_3$) は、圧電材料であるPZTのPbの一部をLaで置換した構造を持ち、大きな電気光学効果を示す強誘電体セラミックスである。PLZTは光学的に透明であることから、光の散乱や屈折率の変化を利用して光シャッター、光変調素子、光記憶素子、光表示素子など様々な光機能素子が提案されている。

現在、PLZTはセラミックスウエハーとして一部市販されているものの、厚さは加工上の制約があるため100μm程度が限度であり、デバイスとして使用する場合は、数100Vの駆動電圧が必要となり、周辺回路の集積化も困難となる。このため、駆動電圧が小さく、大面積化が可能となるPLZTの薄膜化については各方面で精力的に研究が進められている。しかし、ペロブスカイト構造のPLZT薄膜の作製は、その結晶構造が基板の格子定数や結晶構造に大きく依存し、また、高温プロセスが必要な

ことから、サファイヤ、マグネシア等の単結晶及び白金基板上での作製が一部報告されているにすぎない^{(11)~(16)}。これらの基板は高価であり、広く利用して行くためにはより安価な基板上での薄膜の作製が必要となる。

このため、今回の研究ではサファイヤなどの単結晶や白金基板に比べてはるかに安価な熔融石英基板上に、RFスパッタ法によるPLZTの薄膜化を試み、これを用いた薄膜画像メモリ素子の試作を行った。また、対比のためサファイヤ及びマグネシア基板上での薄膜化、更にはPLZTセラミックスウエハーの作製とこれを用いた画像メモリ素子の試作も行った。

2. PLZTセラミックスウエハーの作製

2.1 原料

| | | | |
|--------|-------------|------------|---------------|
| PLZT粉末 | A:(8/65/35) | 日本鉱業(株)製 | (-300mesh) |
| | B:(9/65/35) | 林化学(株)製 | (-300mesh) |
| PbO粉末 | | フルウチ化学(株)製 | (5N -300mesh) |

2.2 成型工程の順序

- ① PLZT粉末、PbO粉末(2wt%)及び成形助剤(PVA)を分散剤(水)に入れ自動乳鉢で十分に混合。
- ② 乾燥炉で水分を蒸発。
- ③ 凝集した塊を、乳棒ですりつぶして粉末状。
- ④ ふるいにかけ、粗いものを除去。
- ⑤ 成型圧力240kgf/cm²で40mmφに成型。
- ⑥ 400°Cで2時間脱脂。

2.3 焼結

脱脂した試料を電気炉に挿入し、O₂+PbO雰囲気中で1300°Cに保持し、72時間かけて焼結した。図1はPLZT焼結工程の温度プロファイルを示す。

炉から取り出した試料は27.9mmφであり、収縮率は約30%であった。

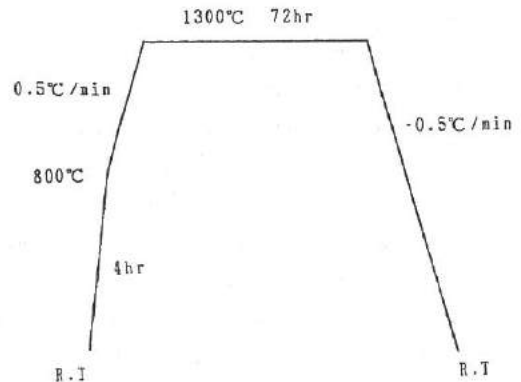


図1 PLZT焼結工程温度プロファイル

Fig.1. Profile for firing process of PLZT ceramics

2.4 切断及び研磨

焼結したPLZTセラミックスは内歯式のダイヤモンドカッターで約1.5mmの厚さにスライスした。切断面を研磨するため、スライス片をワックスを用いてホルダーに固定し、自動研磨機により鏡面研磨した。研磨されたPLZTウエハーは、一部クラックやポアが見られるものの、淡黄色透明であった。

3. 熔融石英基板(ITO/熔融石英)上へのPLZTスパッタ膜の作製

3.1 熔融石英基板(ITO/熔融石英)上のPLZT

今回の研究では、PLZT薄膜の基板として熔融石英を用いた。熔融石英はサファイヤなどの単結晶基板や白金基板に比べて安価であり、鏡面が得やすく、取扱いも容易である。PLZTが強誘電性を示すにはその結晶構造がペロブスカイト構造であることが必要となるが、石田らによると熔融石英上のPLZTは基板温度が550°C以下では組成のずれたバイロクロア構造となってしまう、強誘電性は示さない⁽¹⁷⁾。また、大部分がペロブスカイト構造となっても、一部にバイロクロア構造が残ると誘電率は大きく低下する。このため、PLZT薄膜をペロブスカイト構造にするためには基板温度をある程度高くする必要がある。しかし、基板温度をあまり高くし過ぎると、PLZTの構成

元素であるPbがその高い蒸気圧のために蒸発してしまう。このことから、熔融石英上でのPLZT薄膜を作製には、基板温度の選択と、Pbの蒸発の防止が重要な要素となる。

我々は最終的にPLZT薄膜を使用した光画像メモリーの作製を目標としている。従って、素子を構成するためには、PLZT上に電界をかけるための電極の形成が必要となる。その電極は光学的に透明であることが必要となり、ITOなどの透明電極を石英基板上に形成しなければならない。ITOとPLZTとが積層構造になるとそれぞれの熱膨張係数や結晶構造、格子定数の違いによるミスマッチが生じ、良好な膜質が得難い。このため、このミスマッチの緩和が必要となる。

3.2 スパッタリング条件

薄膜の作製には日本真空技術社製のRFスパッタ装置(SH-250)を使用した。この装置の基板加熱は、赤外線ランプ方式である。また温度の制御は、赤外線ランプ間に取り付けられた熱電対で行っている。熔融石英は赤外線線の吸収率が悪いので、基板の上に熱伝導板として厚さ5mmのステンレス板を置いた。制御部の温度と基板の温度の校正方法は後述する(図4参照)。PLZTのスパッタ条件を表1に示す。

3.3 ITO/石英基板

図2は、ITOの結晶構造と基板温度との関係のX線回折図を示したものである。図から、ITOの結晶配向が基板温度に依存することが判明し、基板温度が低いとITOは(222)に配向し、基板温度が高くなると(400)に配向する。この基板温度によるITO配向性はその上に製膜するPLZT薄膜の配向性にも影響すると考えられ、この結果にしたがって基板温度の的確な選択が必要となる。

3.4 PLZT/ITO/石英基板の作製

図3はITO上のPLZT薄膜のX線回折の結果を示す。ITO上のPLZT薄膜の構造はITOの配向に依存し、ITO(222)上のPLZTはペロブスカイト構造となる。また、ITO(400)上のPLZTはバイロクロア構造となった。従って、ITO上にPLZTを作製する場合、ITOは(222)に配向していることが条件であることがわかった。

しかし、ITOを(222)に配向させるためには低温成膜しなければならず、その後、PLZTを高温で着膜する際には熱膨張差によるクラックの発生が見られ、また、ITOの電気抵抗値が高くなるなど問題点は多い。更に、ペロブスカイト構造を示すビ

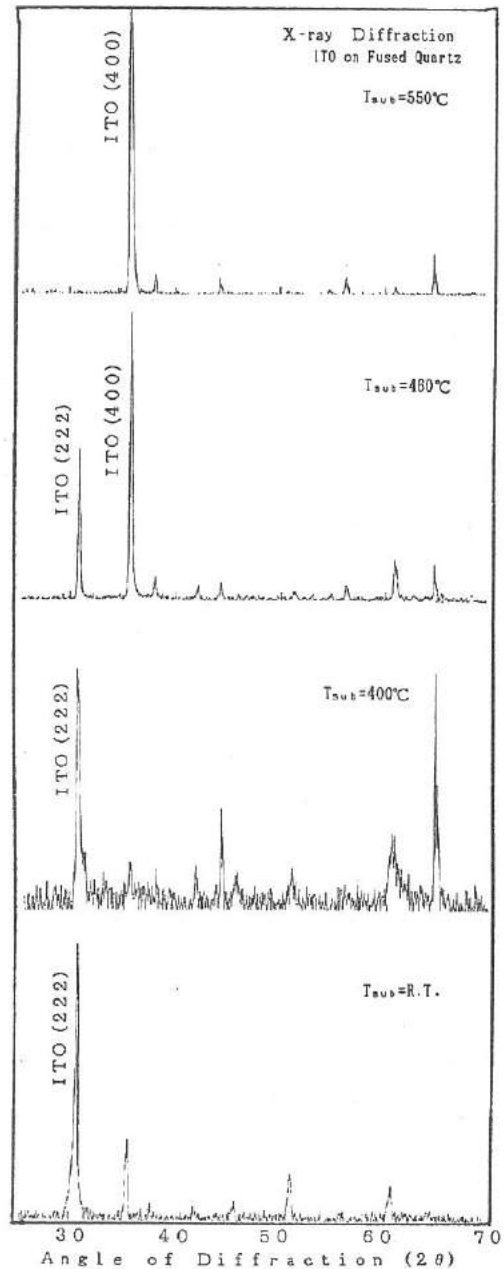


図2 ITO薄膜のX線回折図とその配向の温度依存性

Fig.2. X-ray diffraction pattern of ITO thin film and temp.-dependent of its crystalline orientation.

ークも小さく、結晶化がそれほど進んでいないことも判明した。

4. 単結晶基板上でのPLZT薄膜の作製

4.1 単結晶基板の選択

石英基板上では基板温度が550°C以上でペロブスカイト構造になると報告されているが⁷⁾、今回の実験においてはITO上に成膜したことも影響してバイクロア構造になるか、これが残存するPLZT薄膜しか作製できなかった。そこで、比較のためPLZTがペロブスカイト構造になり易い単結晶基板(サファイア, MgO)上にPLZT薄膜を作製し、その評価を行った。

4.2 サファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)基板

山崎によるとサファイア(C面)上のPLZTはペロブスカイト構造になることが確認されている⁸⁾。我々はこのサファイア基板を用いて試料の作製を試みた。サファイア(C面)とPLZTは格子定数はかなり異なるものの対称性や整合性が良いので、エピタキシャル成長する。しかし、我々の使用した基板はC面ではなく、R面であったので必ずしもこの例には当てはまらない。

我々はこのサファイア(R面)上にペロブスカイト構造を形成するのに十分な基板温度(温度コントローラの読みで850°C)でPLZTスパッタ膜を形成した。その結果、サファイア(R面)上のPLZTは、着膜直後はペロブスカイト構造ではないが、PbOの雰囲気中800°Cのアニール後はペロブスカイト構造となった。

4.3 MgO基板

MgO基板を用いてサファイアと同様の実験を行ったが、結果は同様であった。以上の結果より、スパッタ時の基板温度は我々が当初考えていた温度よりも低いことを意味し、基板の加熱方法及び温度校正グラフの再考が必要になった。

5. 基板加熱とその校正

5.1 基板温度の確認

前記のように、基板温度が低いことが判明したので、ここではその確認を行った。図4はその結果を示す。すなわち、これまでの方法ではかなり基板温度が低く、石英基板上でペロブスカイト構造にするために必要とされる550°Cにも到達していないことが判明した。これは、熱伝導板として用いたステンレス板と基板との密着が悪く、熱伝導が不十分であったことによるものと推察する。

5.2 Cuペースト塗布による基板加熱

ここでは、基板加熱の新しい方法として基板の裏にCuペーストを塗布することを検討した。実験の結果、基板温度が低いという問題は解決され、我々はペロブスカイト構造を持ったPLZT薄膜の作製に必要な温度を確保することが可能となった。

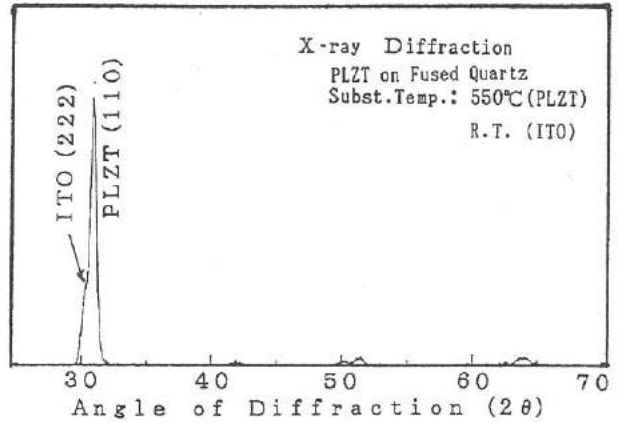


図3 ITO上のPLZT薄膜のX線回折図

Fig.3. X-ray Diffraction pattern of PLZT thin film on ITO.

6. Pt薄膜上のPLZT薄膜の作製

6.1 Pt上のPLZT

3.4の結果より、ITO上のPLZT薄膜は、ペロプスカイト構造はとるものの、その結晶化度は低く、またITOの電気抵抗も大きい。そこで、ITOに代えて下地電極にPtを用いることを試みた。高価なPt基板は工業的成本という点から不適當であり、しかも、熱プロセスを経ると平滑性、鏡面性が失われる。しかし、Pt薄膜を用いればその平滑性等は下地の基板（ガラスなど）に依存するため、我々の目的に合った条件を備え、とコスト的にも安価である。

一般的に、Pt基板上では基板温度が480~680℃でペロプスカイト構造が得られ、石英基板の時のような基板温度が高いことに起因するPbの蒸発が少なく、組成ずれをある程度防ぐことが可能となる。しかし、Ptは光学的に不透明であるため、この構造を選択することは透過型の光機能素子の作製は不可能であることを意味し、反射型等の新たな形の素子形態を取ることになる。

6.2 PLZT/PtのX線回折

図5はPLZT/PtのX線回折の結果を示す。基板温度は620℃、試料の構造はPLZT/Pt薄膜/熔融石英である。図から、PLZTの結晶構造はほぼ完全なペロプスカイト構造である。ITO上、あるいは単結晶上のPLZTに見られたようなバイロクロアのピークは観察されず、かなり強いPLZT(110)ピークが現れた（一般的に、PLZT薄膜では(110)の配向性が強く現れる）。この傾向は前記の試料の場合と比較すると分かり易い。この様に、Pt上のPLZTがペロプスカイト構造になる理由として、PtとPLZTの格子定数が比較的近い(3.916と4.096)ことが挙げられる。格子不整合が小さいため、低温でも結晶性のよい薄膜が得られるものと考えられる。また作成したPLZT上にPt楕形電極を作成して誘電率の測定を行うと表2のような結果が得られ、この試料は強誘電性、及び周波数依存性を持つことが判明した。この実験から、Pt上での試料の作製が好ましいとの結論を得たので、Pt上のPLZTを用いて、画像メモリの試作を行った。

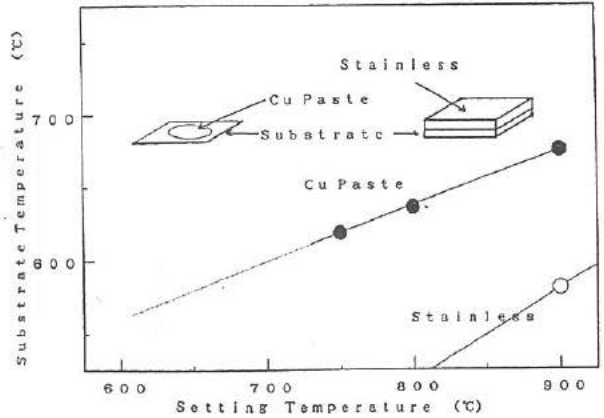


図4 設定温度と基板温度の関係

Fig.4. Relation between setting temp. and substrate temp.

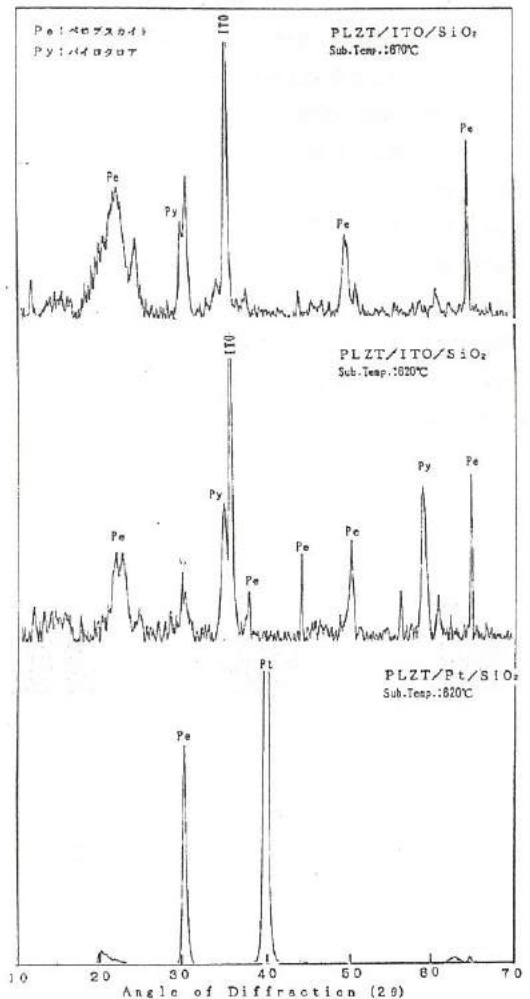


図5 PLZT/PtのX線回折図

Fig.5. X-ray diffraction pattern of PLZT thin film on Pt.

6.3 薄膜型画像メモリの試作

ここでは、以上の結果を踏まえてPLZTの薄膜型画像メモリの試作を行った。作製手順は以下の通りである。

- ① 熔融石英基板上にPt薄膜を着膜。
- ② PLZTを次の条件で着膜。

使用ターゲット：PLZT(8/65/35) + 10wt%PbO
ホットプレス成形

背圧： 2.7×10^{-3} Pa

ガス圧： 5.0×10^{-1} Pa

分圧：Ar : O₂ = 9 : 1

出力：100 W

基板温度：620°C

③ Pt櫛形電極の作製。Pt着膜条件はPLZTの場合と同じ。エッチング及びレジスト剥離はReactive Ion Etching(RIE)を使用(Ptエッチング条件：Cl₂ 50% CF₄ 50% ;150W)。

④ SiO₂ 膜厚 0.25μm。着膜条件はPLZTの場合と同じ。

⑤ CdS 膜厚 0.25μm。着膜条件はPLZTの場合と同じ。

⑥ ITO 膜厚 1μm。基板温度は450°C。他の着膜条件はPLZTの場合と同じ。

図6はこの工程の概略図、図7は使用したマスク、及び図8は試作した薄膜画像メモリ素子を示す。

表2 PLZT/Ptの誘電率の周波数依存性

Table.2. Frequency dependence of dielectric constant of PLZT on Pt

| 周波数 | C (nF) | ε |
|--------|--------|------|
| 50Hz | 4.0 | 7295 |
| 100Hz | 3.98 | 7258 |
| 500Hz | 3.95 | 7204 |
| 1kHz | 3.92 | 7149 |
| 10kHz | 2.28 | 4175 |
| 100kHz | 0.25 | 457 |



$$\epsilon = C / n l K$$

$$K = (6.5(D/L)^2 + 1.08D/L + 2.37) \times 10^{-12}$$

(n:20 l:9nm D:50μm L:200μm)

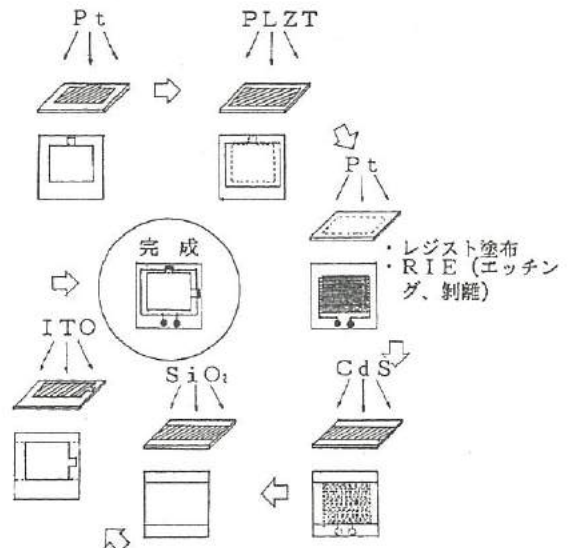


図6 薄膜型画像メモリ素子の試作

Fig.6. Trial fabrication of image memory element for thin-film type.

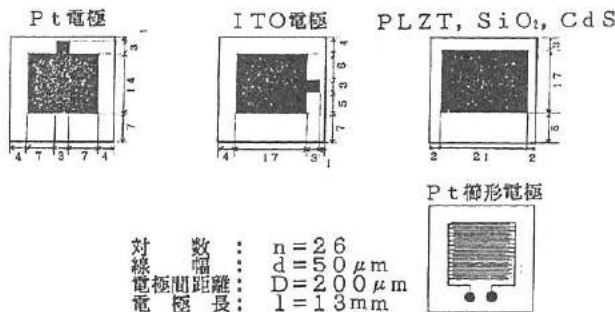


図7 薄膜型画像メモリ素子のマスク

Fig.7. Mask of image memory element (Thin-film type)

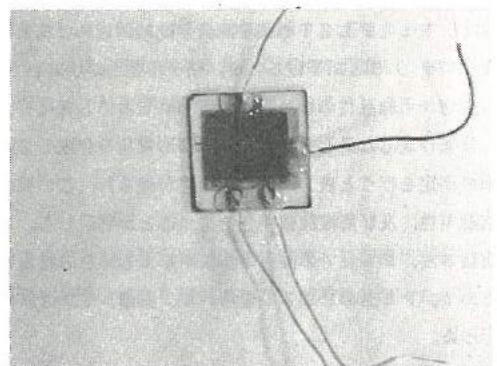


図8 薄膜型画像メモリ素子の写真

Fig.8. Photograph of image memory element (Thin-film type)

7. PLZTセラミックスウエハーを用いた画像メモリの試作

7.1 ウエハーの概要

第2章で示したように今回の研究で作製したセラミックスウエハーは、ボアやクラックが多いため、市販のPLZT(8/65/35)セラミックスウエハーを使用した(日本鉱業(株)提供、30mmφ、0.3um t)。

7.2 画像メモリの試作

作製手順は以下の通りである。

- ①楕円電極を形成する。楕円電極材料はPtで作製した。
- ②SiO₂を着膜。
- ③CdSを着膜
- ④ITO電極の作製。ITO電極はSiO₂上とPLZT(裏面)に着膜。

以上の工程を図9、10(完成図、マスク)に示す。

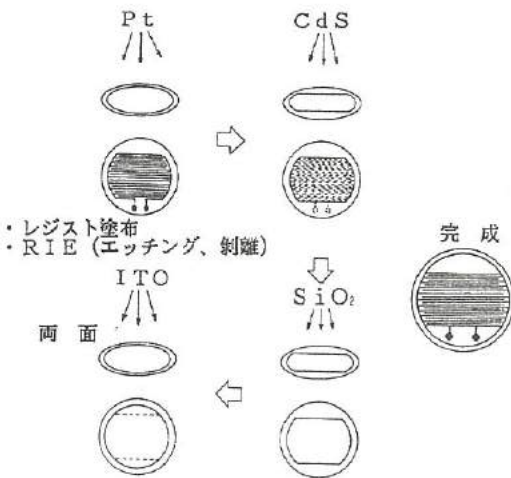


図9 バルク画像メモリ素子の試作

Fig.9. Trial fabrication of image memory element for bulk type.

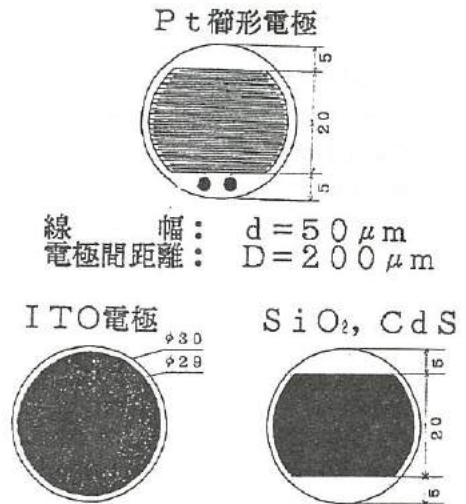


図10 バルク画像メモリ素子のマスク

Fig.10. Mask of image memory element (Bulk type)

8. 結 言

今回の研究では、PLZTを用いた光機能デバイスとして画像メモリ素子の開発を行った。その結果、PLZT薄膜の作製については、下地の結晶構造と基板温度に大きく依存することがわかった。

ITO上にPLZTを着膜する場合、その構造はITOの配向に依存し、ITO(222)上ではペロブスカイト構造となるが、ITO(400)上ではならない。また、ITO膜の配向も基板温度に依存し、基板温度が高い場合は(222)に配向しないことが判明した。ITOの抵抗率やその他の条件を考えると、基板温度は400℃程度が適当と考えられる。

Pt上のPLZTはお互いの格子定数が近いので、良好な結果が得られ易い。しかし、Ptは高価、平滑性、コスト、その他の面で工業的に不向きである。我々はこの点を考慮してガラス上にPtを着膜し、これを基板とすることを考案した。これによって

前述の問題は解決し、更に、これを使用した反射型の光画像メモリ、光変調器などのデバイスへの応用が可能と考えられる。光画像メモリにおいては、反射型構造をとることによって光路が2倍になり、高コントラスト画像が得られる可能性がある。P7上のPLZTは、我々が行ってきた実験のなかで最も良い結果が得られたので、今後、この素子を用いた画像メモリ装置の開発を進めるとともに、さらに光シャッター、光変調器などのデバイスの開発を試みる予定である。

9. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、PLZTセラミックスウェハー及びPLZT粉末をご提供いただいた日本鉱業(株)に感謝の意を表します。

参考文献

- (1)P.S.Peercy and C.E.Land:IEEE Trans.,ED-28,756(1981)
- (2)S.Ibuki and T.Nakagawa,Japan J.Appl.Phys.,29,532(1990)
- (3)K.Tanaka et al.:Japan J.Appl.Phys.,15,1381(1976)
- (4)奥山,浜川:インクテラミクス,春号,21(1980)
- (5)和佐:光応用計測制御システム研究開発成果発表会論文集
- (6)A.H.Heitzler and J.R.Maldonado: Electronics.,Feb,34(1971)
- (7)石田,松波,田中:真空.,20,4(1977)
- (8)山崎:電子技術.,28,35(1984)

II. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

Study Concerning the Development of Auto Testing
Instrument of Worked Surface Roughness

田村 正行 柳原 潔 桜柴 和則 吉田 勉 山本 倫久 林 博

TAMURA Masayuki·YANAGIHARA Kiyoshi·SAKURAE Kazunori·YOSHIDA Tsutomu·YAMAMOTO Tomohisa·HAYASHI Hiroshi

Abstract

Generally speaking, how to test the surface of metallic molds is highly depend on the experts' sight who engage in producing. Recently, in the sight of quality checking the metallic molds, not only high precision measuring size, but also numerical evaluation of the characteristics of the surface condition and measuring 'in line process', is badly needed.

About the characteristics of the surface conditions, we studied mainly about the surface roughness.

In the preceding paper, we reported about the production on trial of the experimental instruments evaluating of the surface roughness and checking mainly the isotropic finished surfaces of the metallic molds (SKD11).

In this year, we investigated more detail than that of last year and tried to get better capacity using the characteristics of polarizing light and tried to produce new evaluating experimental instrument that is possible to measure the surface characteristics of the curved.

1. 緒言

金型仕上げ面の検査は、熟練加工技術者の目で見た判断によるものが大方である。しかしながら、近年金型設計、製造における品質管理において寸法精度の高精度化は言うにおよばず、表面性状についても高精度に定量化ができ、なおかつ、インラインプロセスでの計測が望まれるようになってきている。

表面性状とは、形状誤差、うねり、表面粗さ、流れ、すじ、傷、光沢、色、腐食をいうが、本研究では、表面粗さを主として扱う。表面粗さを評価する方法は大別すると、接触式と非接触式の二つに分類される。接触式は測定に時間がかかり、被測定物の表面形状も限定される。他方、非接触測定はオンライン計測の手段として利用されるように、操作性に優れているが、表面の微細形状が光の反射に複雑に作用するという難点がある。現在のところ、表面の微細形状の測定は、触針式による方法が最も信頼できるとされているので¹⁾、非接触による測定値は触針式による値をよりどころとしている。本研究では、光を用いた非接触式と触針による方法での測定値間の相関を求め、より簡便な非接触測定器の開発への足がかりを得ることを目的として研究を進めた。

前年度は、金型材の表面粗さ（平面）を等方性表面に仕上げた面を主に対象とし、光散乱法に基づく評価実験装置を試作、検討したところ、以下の事柄を確認した²⁾。

- 1) フラウンホーファ回折光強度分布より求めた評価パラメーター、ピーク高さ及び光面積強度比と、表面粗さ（ R_a 、 R_z ）とは、良い相関性が認められる。
- 2) 光面積強度比は光源の光量に全く影響を受けない。
- 3) エンドミル加工面の加工送り量が、検出推定できる。

本年度は、次の各項目について検討を行った。

- 1) フラウンホーファ回折光パターンより算出される各種評価パラメーターと表面粗さとの関係。
- 2) 偏光を用いることによる表面粗さ検出測定感度の効果。

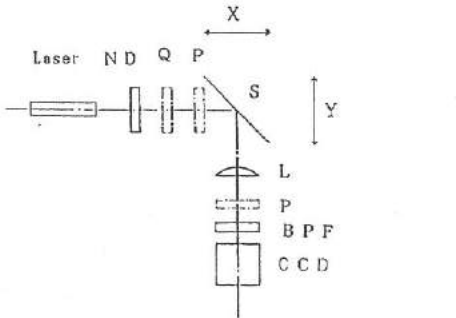
3) 球面の表面性状評価。

2. 偏光を用いることによる表面粗さの検出測定感度の効果

2-1 フラウンホーファ回折光パターンより求められる評価パラメーターと、表面粗さRaとの関係

図. 1の光学系において、破線で示される光学部品は、後で述べる偏光による検出測定感度の効果を検討した際に用いたもので、ここでは用いてない。既報の評価装置^{2)・5)}との相違は、光源にHeNeレーザー、受光部にCCDエアセンサーを用いた点で、HeNeレーザーを用いたのは、ビーム出力波形がきれいな点であり、CCDエアセンサーを用いたのは、検出素子の上下、左右のピッチ間隔をほぼ同じにし、かつ、2次元的にフラウンホーファ回折光パターンを観測できるようにするためである。試料面に対するビームの入射角度は、45度で設定してある。入射角度を45度で設定した意味については、あまりなく⁵⁾、計測の際の装置構成が簡便に行えるためである。図. 1で示される評価装置を用いてフラウンホーファ回折光パターンをCCDカメラでとらえ、画像入出力ボードより、パーソナルコンピューターに取り込むことができ、TVモニター上にリアルタイムに回折光パターンが観察できる。コンピューターに取り込まれた回折光パターンを、ディスプレイ表示させた例を図. 2に示す。図. 2のピーク位置を通る水平ラインデーター(1次元)に対して、以下に示す粗さ評価パラメーターの候補について、検討を行った。

- (1) ピーク高さ
- (2) 半幅幅
- (3) 標準偏差
- (4) 光面積強度比 (I_s / I_t)



| | | | |
|-------|------------|---------|------------------------------|
| Laser | He-Neレーザー | 波長 | $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ |
| | | ビーム径 | $\phi 1.0 \text{ mm}$ |
| | | 出力 | 3mW |
| CCD | CCDエアセンサー | セルサイズ | $11 \times 13 \mu\text{m}$ |
| | | 素子数 | 768×493 (約38万画素) |
| | | 受光部 | $8.8 \times 6.6 \text{ mm}$ |
| ND | NDフィルター | | |
| P | 偏光板 | | |
| Q | $1/4$ 波長板 | | |
| S | サンプル | | |
| L | アクロマチックレンズ | 焦点距離 | $f = 120 \text{ mm}$ |
| BPF | バンドパスフィルター | 中心波長 | 632.8 nm |
| | | 透過率の半幅幅 | $10 \pm 2 \text{ nm}$ |

図. 1 金型表面性状評価実験装置

Fig.1 The experimental instrument of evaluating the surface roughness of metallic molds

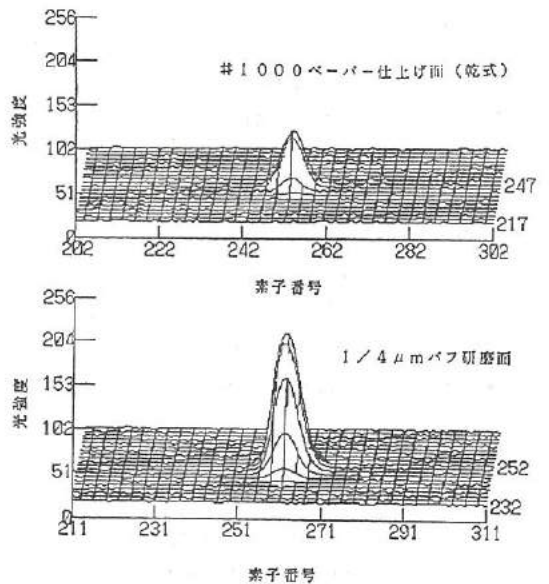


図. 2 CCDエアセンサーで検出した等方性仕上げ面のフラウンホーファ回折光パターンの例

Fig.2 The examples of the distributions of the fraunhofer diffraction light patterns

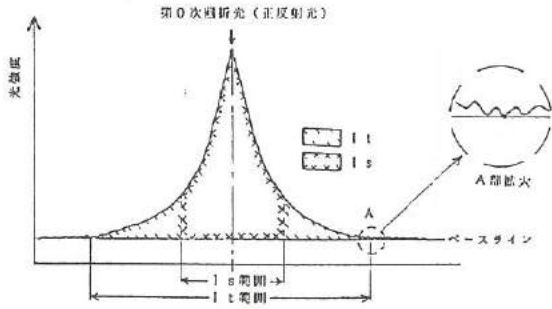


図. 3 ピーク位置を通る水平ラインデータ (1次元) 及び光面積強度比 (I_s/I_t) の概略図

Fig.3 The horizontal line data including the maximum light data (1 dimension) and the schematic diagram of the ratio of the light area intensity (I_s/I_t)

(1) のピーク高さは、フラウンホーファ回折パターンの尖頭値で、(2) の半価幅は尖頭値の半分の値をとるデータの間隔を素子数で表したものである。(3) の標準偏差は、各素子で検出される光強度を統計学上の頻度ととらえ、バラツキすなわち、標準偏差を評価パラメーターとしたものである。

なお、標準偏差の計算の際に対象としたデータは、尖頭値をとる素子を中心とした400素子のデータである。(4) の光面積強度比 (I_s/I_t) は、図. 3 に示すフラウンホーファ回折光強度分布曲線において、光面積強度 (I_t) を計算する範囲 (I_t 範囲) を固定し、光面積強度 (I_s) を計算する範囲 (I_s 範囲) は変化させた。なお、ベースラインの値は I_t 範囲の内の最小値であり、評価パラメーター全てに適用した。

ピーク高さ、半価幅、標準偏差、光面積強度比 (I_s/I_t) と表面粗さ R_a との関係はそれぞれ、図. 4、図. 5、図. 6、図. 7 に示す。

図より、半価幅と表面粗さとは相関性が検出できないことがわかる。光面積強度比 (I_s/I_t) と表面粗さとは I_s 幅を適切に選ぶことにより、良い相関性があることがわかる。標準偏差と光面積強度比 (I_s/I_t) を比較すると、光面積強度比の方が表面粗さ R_a に対する相関係数が大きく、相関性が良い。ピーク高さは、光源の光量の変動に直接影響を受けるが、光面積強度比 (I_s/I_t) は、全く影響を受けない点⁵⁾から、光面積強度比 (I_s/I_t) は等方性表面の粗さ評価パラメーターとして、最良であると思われる。

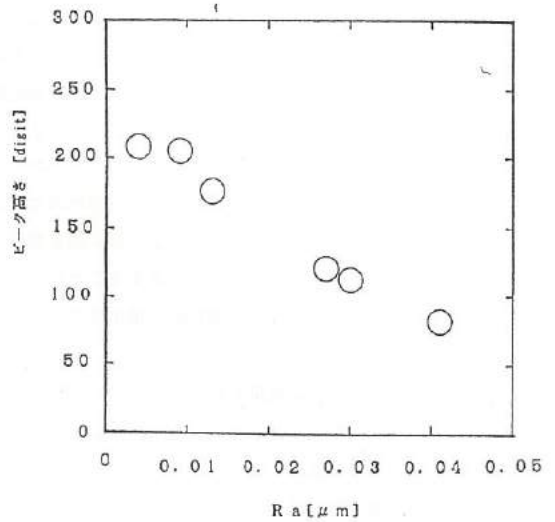


図. 4. 表面粗さ R_a とピーク高さとの関係

Fig.4 Relationship between the surface roughness R_a and 'peak value'

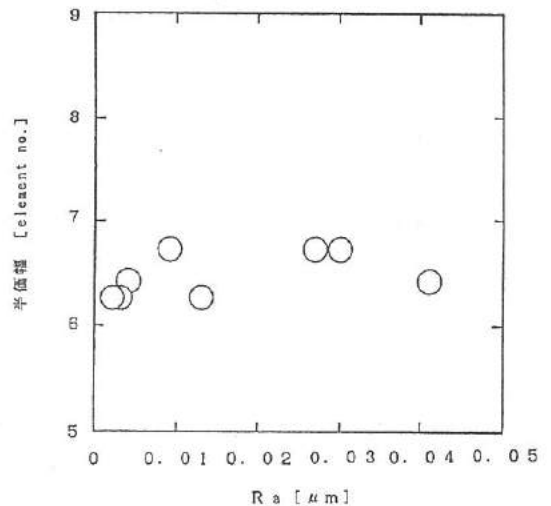


図. 5 表面粗さ R_a と半価幅との関係

Fig.5 Relationship between the surface roughness R_a and FWHM

2-2 偏光を用いることによる表面粗さ検出測定感度の効果

傷検出、あるいは、光の反射率の高い物の観察に、光の偏光を利用することが多い。本研究では、このような光の偏光の性質を、粗さ検出に利用できないか検討を行った。

図. 1の光学系における1/4波長板は偏光がかかった光を円偏光に変換する働きがあり、偏光板は、円偏光の光を直線偏光に変換する働きがある。直線偏光の光を試料面に照射し、偏光方向に垂直な方向に偏光板を再び設定することにより、正反射光を減衰させ、散乱光成分を選択的に検出する方法を試みた。

偏光をかけた場合の計測結果として、前述の光面積強度比 (I_s / I_t) と表面粗さ R_a との関係を図. 8に示す。図. 7と図. 8より、測定感度の点で、偏光をかけた場合の方が、2~3倍の検出感度の向上が認められた。

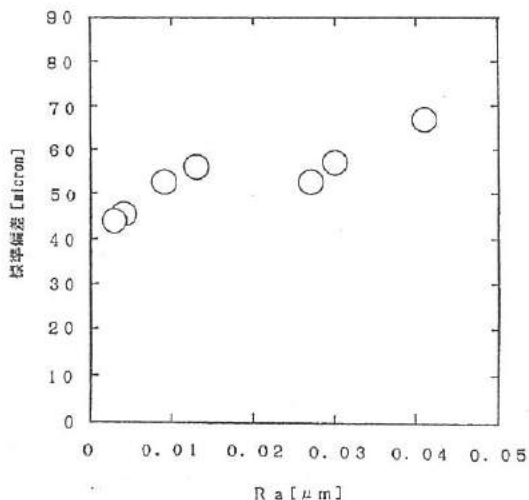


図. 6 表面粗さ R_a と標準偏差との関係
Fig.6 Relationship between the surface roughness R_a and standard deviation

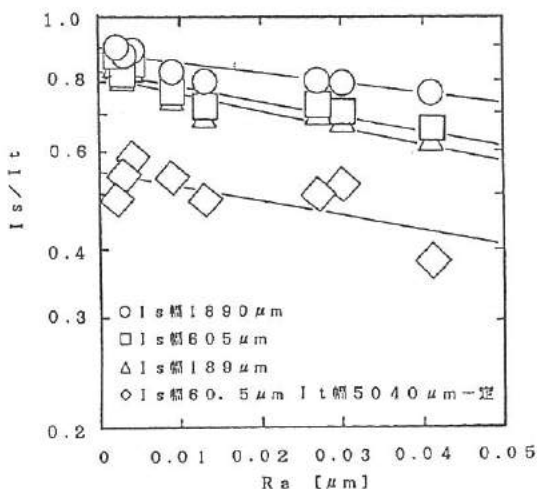


図. 7 表面粗さ R_a と光面積強度比 (I_s / I_t) との関係
Fig.7 Relationship between the surface roughness R_a and the ratio of the light intensity (I_s / I_t)

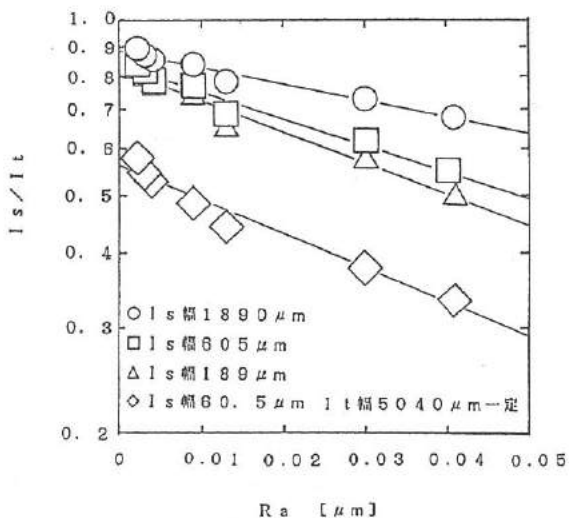


図. 8 偏光を利用したときの表面粗さ R_a と光面積強度比 (I_s / I_t) との関係
Fig.8 Relationship between the surface roughness R_a and the ratio of the area light intensity (I_s / I_t) using the characteristics of the polarizing light

3. 球面の表面性状評価装置の試作

これまででは、表面形状が平面の表面粗さの計測に対象を絞ってきたが、実際の金型の表面形状は自由曲面で、比較的凹面であることが多い。しかしながら、自由曲面となると表面形状の影響が、散乱光計測の際に、不確定要素として働くことが予想されるので、ここでは、球面（凹面研磨面）の表面性状評価ができる装置の試作を試みた。

3-1 球面の表面性状評価方法の概要

球面の表面における光の反射過程は、図. 9 に示すように、粗さ及びうねりの存在する平面における光の散乱過程と、形状誤差、うねり及び粗さの全く存在しない理想的球面（曲率半径 R ）における光の反射過程からなると仮定する。

図. 10 の表面性状評価実験装置の光学系において、光軸と球面（曲率半径 R の反射面）が交わる位置（主点）とレンズ（焦点距離 f ）主点との距離を Δ 、レンズ主点とエリアセンサー面が光軸と交わる点との間の距離を a' とする。近軸領域における公式から、理想的球面とレンズからなる合成焦点距離 f は、

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R} + \frac{1}{f_0} - \frac{2\Delta}{Rf_0} \quad (1)$$

で求められる。ここで、 $f = f_0$ とすると、

$$\Delta = f_0 \quad (2)$$

$$a' = f_0 - \frac{2f_0^2}{R} \quad (3)$$

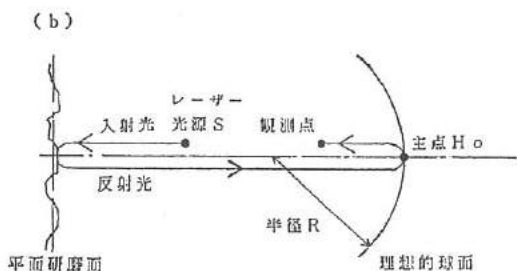
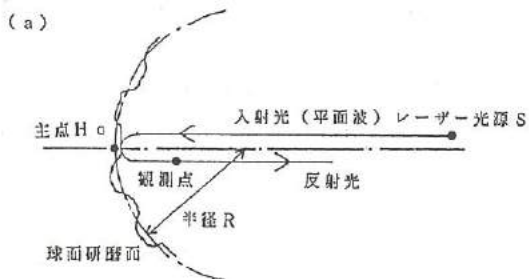
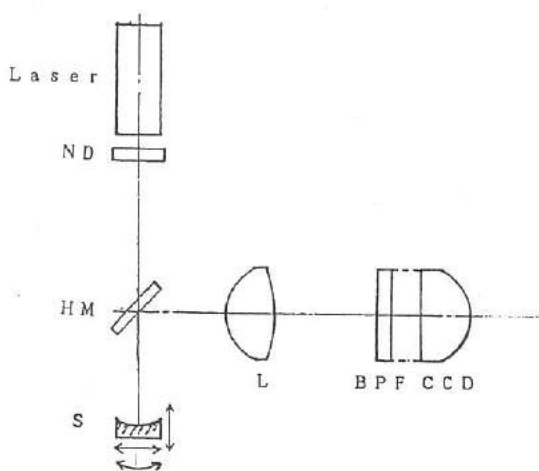


図. 9 球面研磨面の光反射過程

Fig.9 Light reflecting process of the spherical polished surface



| | | | |
|-------|------------|---------|------------------------------|
| Laser | He-Neレーザー | 波長 | $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ |
| | | ビーム径 | $\phi 1.0 \text{ mm}$ |
| | | 出力 | 3mW |
| ND | NDフィルター | | |
| HM | ハーフミラー | | |
| S | サンプル | | |
| L | アクロマチックレンズ | 焦点距離 | $f = 120 \text{ mm}$ |
| BPF | バンドパスフィルター | 中心波長 | 632.8 nm |
| | | 透過率の半値幅 | $10 \pm 2 \text{ nm}$ |
| CCD | CCDエリアセンサー | セルサイズ | $11 \times 13 \mu\text{m}$ |
| | | 素子数 | 768×493 (約38万画素) |
| | | 受光部 | $8. \times 6.6 \text{ mm}$ |

図. 10 球面性状評価装置の光学系

Fig.10 Schematic optical diagram of the experimental instrument evaluating surface roughness of the spherical polished

したがって、対象とする球面研磨面ワークとレンズ間距離 Δ 及びレンズとエリアセンサー間距離 a' をそれぞれ、式(2)及び式(3)で表される位置関係に設定すると、合成焦点距離は曲率半径 R によらず一定で、光の回折理論より、エリアセンサー上に R の大小とは無関係に、表面性状(粗さ、うねり)を反映した回折光パターンが得られる。

3-2 球面の触針式粗さ計による計測

球面の表面性状評価の対象試料面として、市販の反射鏡を選んだ。これは球面(平面を含む)に表面を加工、研磨後、A1及びMgF2を蒸着させたものである。平面、曲面の材質は、それぞれ、SiO2、BK7であり、面精度は各々 $\lambda/20$ 、 $\lambda/4$ (いずれもカタログ値)である。

試料面中央部を触針式粗さ計で計測した断面プロファイルの例及び測定結果を、それぞれ、図. 11、表1に示す。測定条件は、スタイラス径 $2\mu\text{m}$ 、測定圧 0.4mN 、測定長さ 1.5mm 、縦倍率 $40,000$ 倍、送り速度 0.1mm/s 、プロファイルデータ数 1500 個、粗さデータ数 1200 個であり、振動の影響を考慮して、 23Hz のローパスフィルターを経由させた²⁾。

図. 11より、曲率半径 R が 30000mm の試料面②は、表面凹凸の起伏が大きく、曲率半径 R が 3000mm の試料面③は、平面の試料面①より表面がなめらかであるのがわかる。ところで、いろいろな信号波形は正弦波の和、あるいは積分値として表すことができるので、表面粗さもいろいろな振幅をもった波の合成されたものと考えることができる。一般に不規則な凹凸の断面曲線のパワースペクトルの空間周波数により、表面状態を表面粗さ、うねり、形状誤差の3つに分けることができる。しかしながら、それぞれの境界は厳密には決っておらず、使用目的により適宜波長領域は変化する。うねりと粗さの境界(カットオフ波長 λ_c)をJIS、DINで薦める 0.25mm^2 及び 0.08mm^2 に設定して、表面粗さ値 R_a を求め、表1に示した。また、断面プロファイルをFFT計算(Cooley Turkeyのアルゴリズムを採用、窓関数はガウス型、データ数 1024 個、サンプリング間隔 $1\mu\text{m}$)させて得られたパワースペクトルを、図. 12に示す。図より、曲率半径 R が小さくなると長周期波長の形状誤差成分が、短周期側へシフトするのが認められる。表面凹凸周期波長範囲

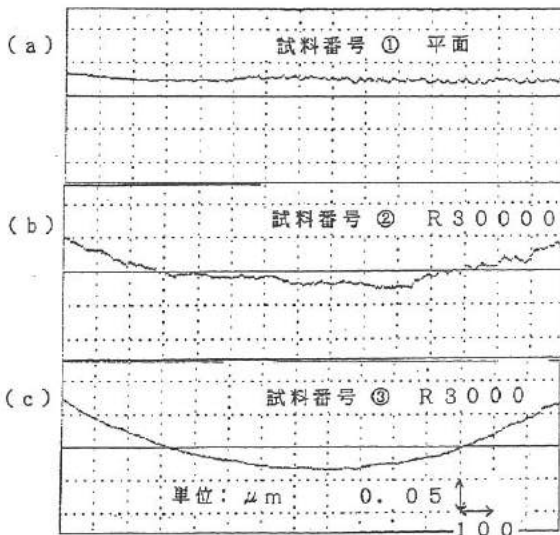


図. 11 断面プロファイル

Fig.11 Some surface profiles of the spherical surface measured by stylus method.

表1 触針式粗さ計による計測結果

Table1 The results of measuring the spherical polished surfaces by stylus method

| 試料番号 | R[mm] | $R_a[\mu\text{m}]$ $\lambda_c=0.25\text{mm}$ | $R_a[\mu\text{m}]$ $\lambda_c=0.08\text{mm}$ | A_{rms1} [μm] | A_{rms2} [μm] | A_{rms3} [μm] |
|------|--------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ① | 平面 | 0.002 | 0.001 | 0.0045 | 0.0087 | 0.0123 |
| ② | 30,000 | 0.003 | 0.001 | 0.0036 | 0.0093 | 0.0476 |
| ③ | 3,000 | 0.001 | 0.001 | 0.0014 | 0.0025 | 0.0082 |
| ④ | 500 | ***** | 0.001 | ***** | ***** | ***** |

25~30、25~80、25~250 μm におけるフーリエスペクトル振幅のRMS値を、パワースペクトルより計算し、各々Arms1、Arms2、Arms3として、表1に示した。表より、各試料面の表面粗さRa ($\lambda_c=0.08\text{mm}$)には、差が検出されていないが、試料面①~③において、表面凹凸周期波長が25 μm ~250 μm の範囲で、表面の粗さまたはうねり成分の差が認められ、かつ、Rの大小による影響が認められない。

なお、試料面④のRa ($\lambda_c=0.25\text{mm}$)及びArms1、Arms2、Arms3について、図.12(d)からわかるように、計測結果に表面形状の影響が認められたので、表1には掲載しなかった。

3-3 球面の表面性状評価実験及びその結果

図.10の光学系において、ハーフミラーを除き、光学レール上に登載し、光軸合わせ及び位置決めを行った。レンズの主点位置と球面間距離は式(2)のとおり設定したが、レンズの主点位置とCCDエリアセンサー間距離は、実際には、一番集光した場所に設置した。球面試料($\phi 20$ または $\phi 25$)はレンズホルダーに取り付け、XY θ ステージ上に組み込み、XY方向、 θ 回転方向の微動調節ができるようにした。

なお、2-2で行った光の偏光による検出測定感度の効果の利用は、ハーフミラーを用いた図.10の構成では、光学設計上困難であるため、採用しなかった。

実際のデータ解析は図.3と同様に、回折光パターンをコンピュータに取り込み、2値化処理を用いて回折光パターンのピーク位置を求め、ピーク位置を含む水平ラインに対し、ノイズ成分、センサー各素子毎の暗電流分を除くため、計測データ、バックグラウンドデータ双方を50回連続的に計測し(サンプリング周期130msec)、各素子データ毎に平均値を取り、計測データから、バックグラウンドデータを差し引いたものを回折光強度分布データ(1次元)として、解析を行った。

Is幅を5063 μm 、1899 μm 、608 μm 、190 μm 、It幅を6075 μm 一定として、光面積強度比(Is/It)を表面形状の曲率半径Rに対し、プロットしたものを図.13に示す。図より、光面積強度比(Is/It)は表面形状の曲率半径Rに対し、ほぼ一定であるが、試料面③の曲率半径Rが3000mmの表面の場合の方は若干大きく、試料面②の曲率半径Rが30000mmの表面の場合の方は若干小さいのが認められる。

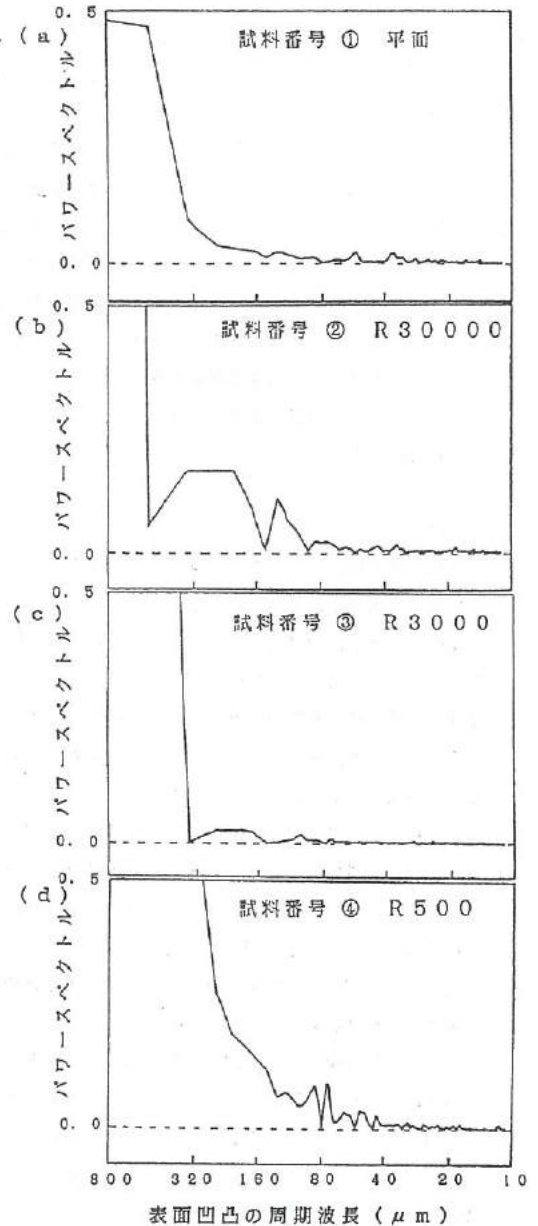


図.12 表面凹凸のパワースペクトル
Fig.12 Power spector of spherical surface profiles

波動光学的に、 I_t 幅 $6075\mu\text{m}$ 、 I_s 幅 $608\mu\text{m}$ とすると、光面積強度 (I_t)、(I_s)は、各々表面凹凸周期波長 $25\mu\text{m}$ 以上、 $250\mu\text{m}$ 以上に対応するので、このときの光面積強度比 (I_s/I_t)は、周期波長 $25\mu\text{m}$ 以上、 $250\mu\text{m}$ 以下の表面凹凸を反映した信号として、とらえることができる。そこで、試料面①~③について、表1の $Arms3$ と光面積強度比 (I_s/I_t)をプロットすると、図. 14のようになる。図より、触針式粗さ計で計測した断面プロファイルのパワースペクトルから求めた $Arms3$ と、試作した実験装置により計測した光面積強度比 (I_s/I_t)とは、良い相関性が認められ、本研究で提案する球面の表面性状(粗さ、うねり)評価方法が、曲率半径 $R \geq 3,000\text{mm}$ について、可能であることを確認した。

4. 結 言

等方性表面仕上げ面について、以下の事柄を確認した。

- 1) 回折光強度分布より求められる、半価幅、ピーク高さ、標準偏差、光面積強度比 (I_s/I_t)、について検討したところ、半価幅については、表面粗さ R_a に対する有意な相関性は認められない。反射光ピーク高さは、表面粗さと良い相関性が認められるが、光源の光量の変動に直接影響を受ける難点がある。光面積強度比 (I_s/I_t)は相関性が良く、光源の光量の変動による影響を受けず⁵⁾、また、 I_s 幅を適宜狭めることにより、検出感度が向上することが認められる。また、標準偏差よりも、表面粗さとの相関性は優れていることがわかった。
- 2) 光の偏光を利用することにより、検出測定感度が数倍向上することが認められた。
- 3) 表面形状が曲率を有する表面の性状を、レンズとの合成焦点距離が一定 (R 面ワークとレンズ間距離をレンズの焦点距離に同じ) に設定すると、表面の曲率半径 R の大小によらず ($R \geq 3,000\text{mm}$)、粗さ、うねり等の表面性状の検出推定が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 「形状及び表面粗さ測定における非接触高精度化」, 精密機械, 51/4/1985
- 2) 平成2年度 若い研究者を育てる会研究論文集
- 3) DIN 4768
- 4) JIS B0601
- 5) 平成2年度 富山県工業技術センター研究報告書

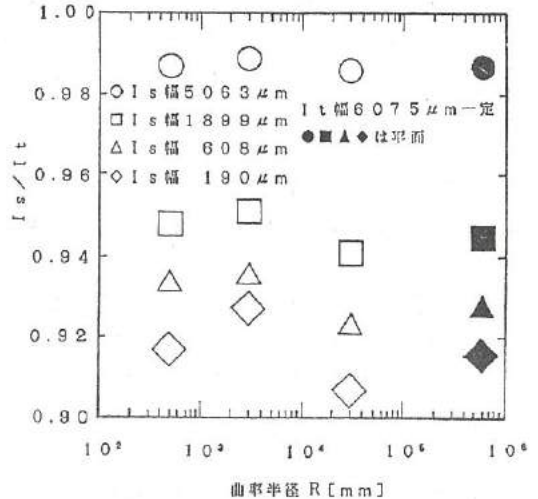


図. 13 光面積強度比 (I_s/I_t) の球面曲率半径依存性
Fig.13 The radius dependency of the ratio of the light intensity (I_s/I_t)

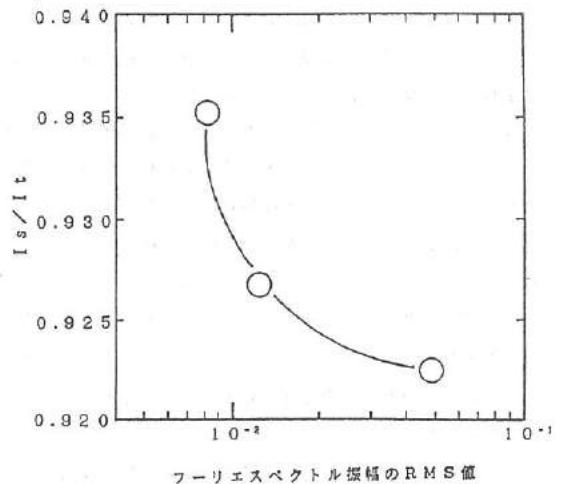


図. 14 フーリエスペクトル振幅のRMS値 $Arms3$ と光面積強度比 (I_s/I_t) の関係
Fig.14 Rms value ($Arms3$) of the amplitude of fourie spector ($\lambda=25\sim 250\mu\text{m}$) vs. the ratio of the light intensity (I_s/I_t)

III. 画像による円筒内面検査装置の開発

Development of Inspection System of Cylindrical Inside Surface by Image Processing

西浦 慎一 荒木 満男 山本 達生

NISHIURA Shinichi · ARAKI Mitsuo · YAMAMOTO Tatsuo

角崎 雅博 中川 章 藤城 敏史 谷野 克巳

KADOSAKI Masahiro · NAKAGAWA Akira · FUJIKI Satoshi · TANINO Katsumi

Abstract

Recently, through the use of image processing with existing technology, can be made a requirement, in inspection or measurement. But actually, such an accuracy system shall be impossible and if a cost-performance and quick disposal task are expected. Likewix, it is difficult to measure with three dimensions figure too.

In this study, we will be aim to test the inside surface defect of small plastic cylinder which has been using car. We are testing their by man power, in which compare with standard samples, but in existence, it is impossible to inspect the defect easily, and there is not an effective system for testing. We also manufactured for trial the compact proto-type system that inspect a great many defect by use of close adherence CCD line sensor.

The results of this study summarize as follows:

- (1) The image processing system which was able to obtain the inside surface image of plastic cylinder by use of contact type CCD line sensor was manufactured for trial.
- (2) The images included the vertical stripe noises for use of close adherence CCD line sensor, but we found a elimination method of unevenness brightness which was generated in vertical stripes.
- (3) By the differential and emphasis treatment of the image was given, we were possible to distinguish some inferior goods from group of sample, because an image area of inferior pattern is just so much the larger.

1. 緒言

近年、生産現場においては画像処理法を用いた製品の測定や判別が多用されている。技術的には、画像処理技術はかなり完成されたものとなっており、コストと時間をかければ、ユーザの期待する処理がほぼ得られる状況にある。しかし、現実にはコストパフォーマンスや生産ライン上での処理速度に対する要求などの関係から、画像による測定や判別を生産ライン上で実現することは困難な場合が多い。また、画像処理の対象物も、複雑な3次元形状を持つもの、反射率の異なるもの、および傷の形状や模様など数値では表現しにくいものの検査、検出が要求されてきている。

ここでは、円筒形状をした自動車用プラスチック部品を取り上げ、その内面の検査方法について検討を加えた。測定対象物の欠陥、不良は表面の傷や材料の流れ模様などとして現れ、現状の生産現場では、合否の限度見本を定め、目視検査によりその合否を比較判断している。しかし、この目視検査は熟練度を必要とする上、その作業が人手によるものであるため、生産ラインの自動化や無人化の障害となっている。本報では、円筒形状を有するプラスチックや金属製品の内面の欠陥、不良等を画像により検出、検査することを目的として、小さな径の試料の計測が可能で、密着型イメージセンサを用いた装置を試作したので、その概要を述べる。

2. 検査対象物の概要

図1は検査対象物の外観及び概略図を示す。この対象物は、自動車用部品として使用され、筒状の部分は射出成形された樹脂製品である。射出成形製品の不良には非常に多くの種類がある。表1はその代表的な不良の種類、および図2はシルバー、フロー、剥離、ウェルドの各不良の例を示す。

また、不良は検査対象物の外部にも発生するが、外部の不良はテレビカメラなどで比較的像としてとらえ易い。しかし、円筒の内面の不良は径が小さいため通常のテレビカメラでの測定は困難である。

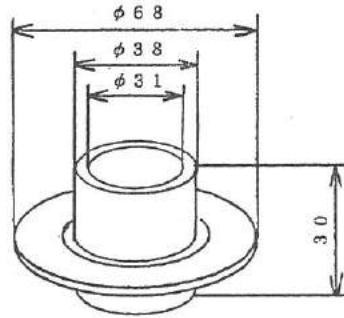


図1 検査対象物の外観および概略図
Fig.1. Shape of inspection object.

表1 代表的な成形不良の例

Table 1. Representation of faulty mold.

| 不良種類 | 不良概要 |
|---------|--------------------------------|
| フローマーク | 溶融樹脂の流れた後がゲートを中心に縞模様となって現われる現象 |
| ウェルドライン | 溶融樹脂が合流する部分にできる線 |
| シルバーライン | 成形品の表面に樹脂の流れ方向に現れるキラキラした銀白色のすじ |
| 剥離 | 成形品の表面が薄い層になって剥れる現象 |
| クラック | 成形品の表面に現れる小さなひび |
| 異物 | 成形品に異物が付着している現象 |
| 傷 | 成形品の表面にあるスリキズ |

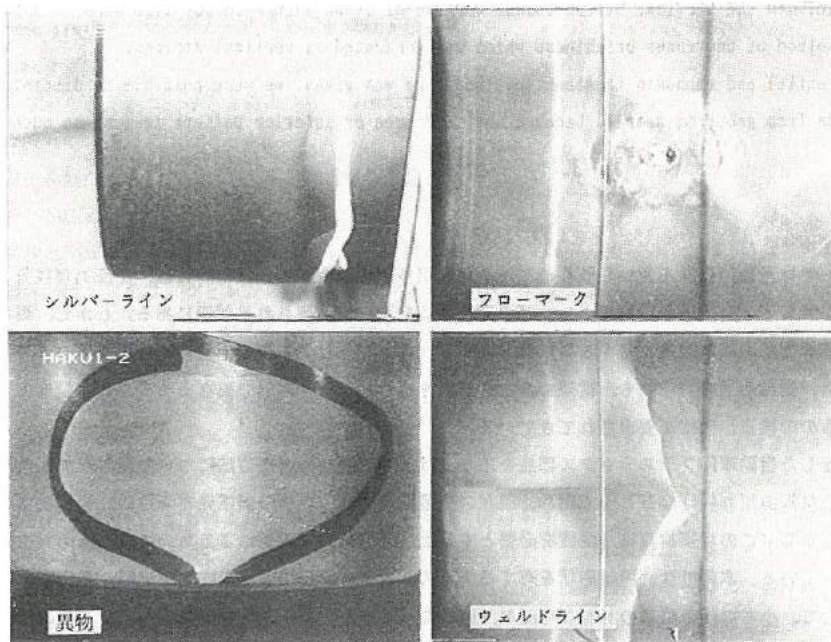


図2 テレビカメラにより取り込んだ不良の画像の例
Fig.2. The image of faulty samples by TV camera.

3. 試作装置の概要

3. 1 画像取り込み手法

2次元の画像を取り込む方法には種々の方法があるが、一般的には図3に示すTVカメラによる方法、縮小型ラインセンサを用いる方法および密着型イメージセンサを用いる方法がよく用いられる。表2は画像取り込みに用いられる各種センサの特徴を示す。

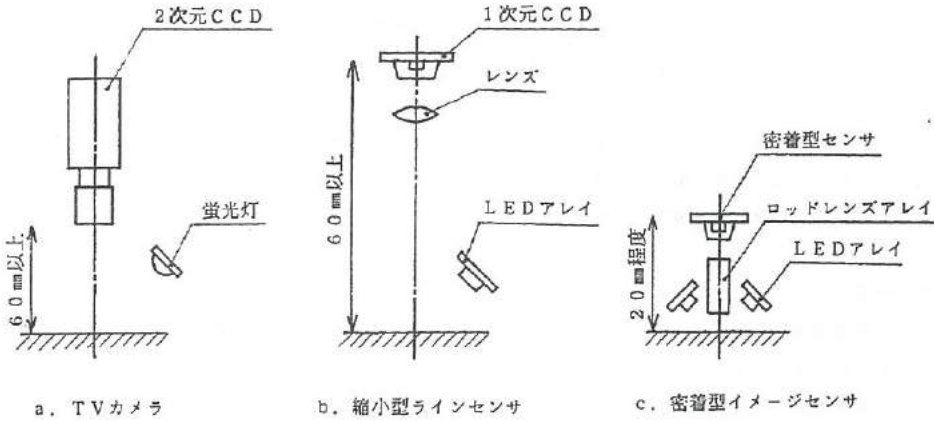


図3 画像取り込みの方法

Fig.3. Input methods of the image.

表2 各種センサの特徴

Table 2. Characteristics of several image sensors.

| | TVカメラ | ラインセンサ | 密着型イメージセンサ |
|-------|------------|------------|--------------|
| 画素数 | 600×500位 | 128~5000位 | 840~5000位 |
| 画素ピッチ | 約10μm | 約10μm | 約64μm |
| レンズ | 凹凸レンズ(1/n) | 凹凸レンズ(1/n) | ロッドレンズ(1/1) |
| 光学系 | 大きい | 大きい | 小さい(30°外) |
| 感度 | 良 | 良 | 優 |
| 使用素子例 | IC型2次元CCD | IC型1次元CCD | 1次元CCD、α-Si等 |

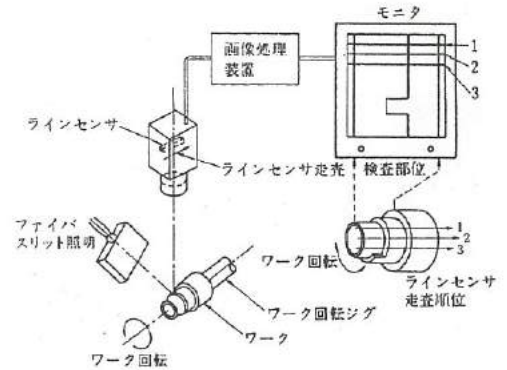


図4 外周面の撮像の例

Fig.4. Input method by line sensor.

(1) TVカメラ

一般に、2次元画像を得るにはTVカメラが用いられる。このカメラには通常30~40万画素からなるCCD型エリアセンサ(IC型イメージセンサ)が内蔵されており、分解能が高く、画像は鮮明である。また、胃カメラのように、光ファイババンドルを光学部に取り付ければ狭部撮影も可能である。しかし、今回の測定対象物のような円筒内面の状態を調べる場合には、円筒内面の曲率により画像に歪みが生じ、正確な画像を取り込むことは困難である。

(2) 縮小型ラインセンサ

軸対象の曲面を持った測定対象物の外周撮像法としては、IC型のCCD型ラインセンサを図4のように応用する方法がよく用いられる。この方法は、スリット照明を軸と平行に照射し、照射した部分のみの像をラインセンサで撮像し、さらに、測定対象物を回転させることで、同一照明条件による外周部の2次元画像を得る手法である。しかし、この方法では図3-bで示したように、

縮小レンズを用いてセンサIC上に結像させなければならない。従って、光学的な歪などを考慮すると、測定物との距離は数センチ以上を必要とし、小型化は困難である。

(3) 密着型イメージセンサ

密着型イメージセンサはファクシミリ等に用いられ、図2-cのような構造を持つセンサであり、光ファイバーの束を切断したような形状のロッドレンズとラインセンサの組合せで構成され、倍率は等倍である。個々のセンサ素子のサイズが大きいため、縮小型ラインセンサに比べて分解能では1桁ほど落ちるが、光量が多くとれるメリットがあり、感度は数十倍上がる。また、光学系をコンパクトにできるという利点がある。

今回の測定では、測定対象物の形状が円筒型で軸対象である。円筒の内面の撮像では、対象物とセンサの距離は小さくしなければならないなどの制約がある。画像処理による検査システムでは入力画像の画質が非常に重要な要素となる。そこで、試作装置の画像取り込み部には、コンパクトな光学系と高感度などの特徴を持つ密着型イメージセンサを採用した。

3.2 装置の構成

図5は試作した画像処理装置のブロック図および概要を示す。画像処理装置は回転送り装置、イメージセンサインターフェイス、インテリジェントフレームメモリ及びパソコン(PC9801)で構成されている。図6は回転送り装置の詳細図を示す。送り装置はセンサ取り付けテーブルと試料回転駆動部で構成され、テーブルは試料の位置を調整するため3軸の自由度がある。また、安定な像を得るため、駆動部には定速回転モータを用いた。

表3は使用した密着型イメージセンサの仕様を示す。イメージセンサインターフェイスは密着型イメージセンサに必要な各種のタイミング信号の生成機能と、インテリジェントフレームメモリへの電気的インターフェイスを有している。インテリジェントフレームメモリはパソコンの拡張スロットに相込まれ、密着型イメージセンサからのデータを2次元のデジタル情報として蓄

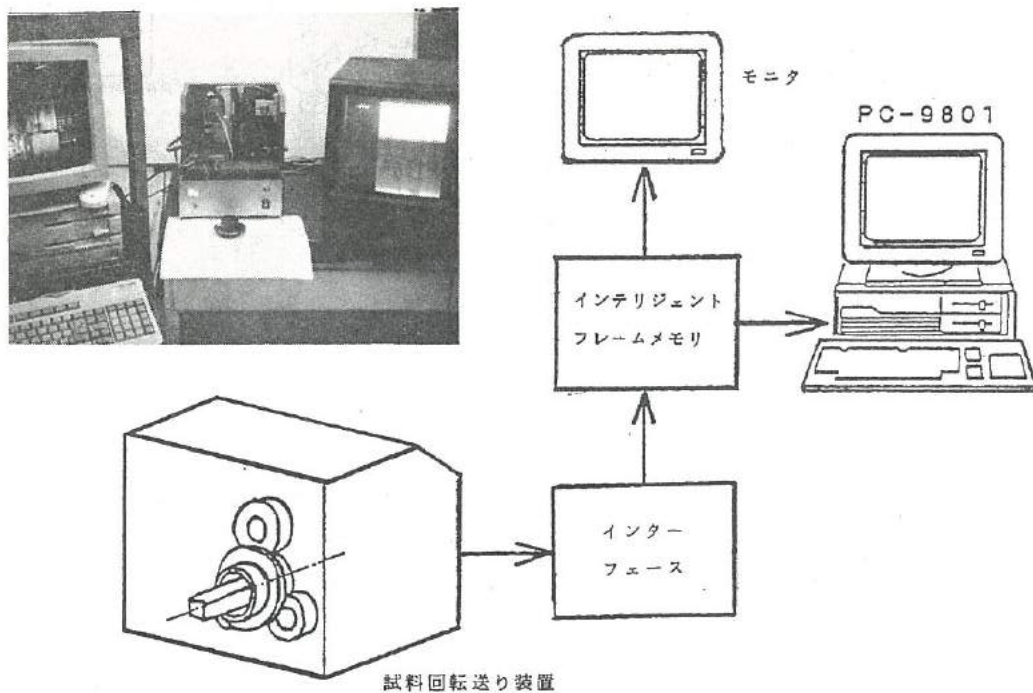


図5 画像処理システムの概要

Fig.5. The image processing system.

えるボードである。今回使用したフレームメモリボードには、ラインセンサ用のインターフェースを有しているgTOP-1A/5KC（ユーテック製）を使用した。表4は使用したインテリジェントフレームメモリボードの仕様を示す。なお、同ボード上にGSP（グラフィックシグナルプロセッサ）であるTMS34010（テキサスインスツルメント製）を登載しているため、ボード上だけである程度の画像処理が可能である。本研究では、GSP用の照明ムラ補正ソフトなどを開発し、GSPで実行させた。さらに、パソコン上で画像処理を行なった結果等を分かり易く表示するため、640×400ドットRGB各8ビットで表示できる画像メモリも利用した。

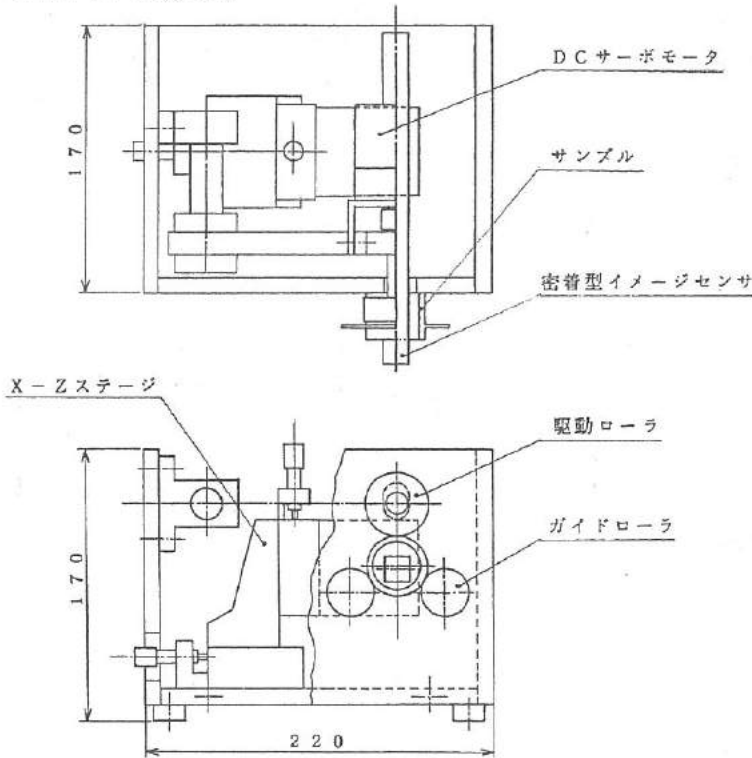


図6 回転送り装置
Fig.6. Driving unit

3.3 照明ムラ補正

図7-aは試作した装置を用いて取り込んだ画像の例を示す。図からも明らかなように、得られた画像には縦縞模様が観察された。この縞模様は、密着型イメージセンサのロッドレンズによる感度ムラに起因するものと考えられ、この感度ムラを補正する方法として、以下の2つの方法について検討を行なった。

(1) 得られた像だけで補正する方法（方法1）

得られた像を統計的に処理することによりムラをなくす方法として、以下の手順で画像処理を行なった。

- step.1 縦縞のノイズを少なくするため、縦方向の移動平均を行なった。
- step.2 縦縞をなくすため、縞の部分（暗くなっている部分）に補正値を加えた。
- step.3 補正値を加えたことにより、コントラストが不鮮明になったため、画像強調処理を行なった。

図7はこの手順で補正処理を行なった一例を示す。しかし、図からもわかるように、この方法では縦縞模様を完全に補正することが困難であった。

表3 使用した密着センサの仕様

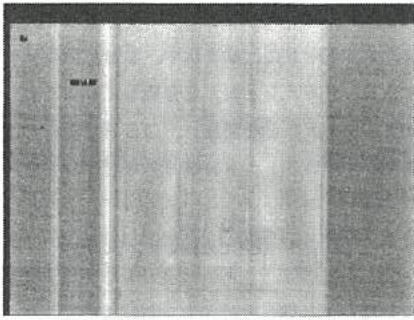
Table 3. Specification of used sensor.

| 項目 | 仕様 |
|--------|------------------------|
| 型式 | C8F216L5（三菱） |
| 外形 | h 20 × d 20 × w 232 mm |
| 画素数 | 1728画素（8dot/mm） |
| クロック | 100KHz（max500KHz） |
| 光源 | LEDアレイ |
| ロッドレンズ | 1列仕様 |

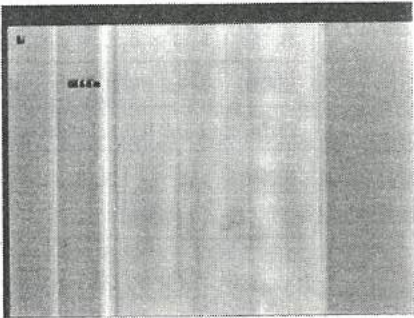
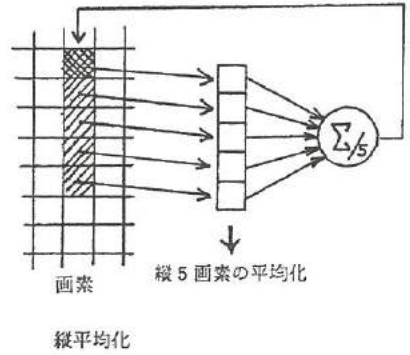
表4 使用したインテリジェントフレームメモリの仕様

Table 4. Specification of used intelligent frame memory board.

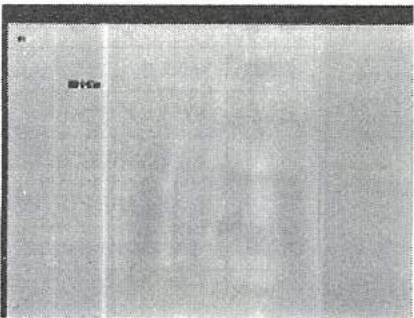
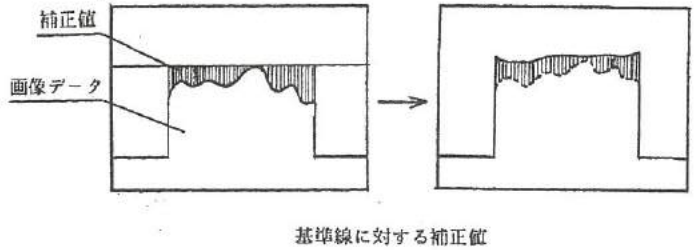
| 項目 | 仕様 |
|-------|--------------------|
| 画素数 | w512 × h1024 |
| 分解能 | 8ビット/1画素 |
| メモリ | 512kbit（7"ディスプレイ用） |
| アクセス法 | I/Oポート方式（非同期） |
| GSP | TMS34010(48MHz) |



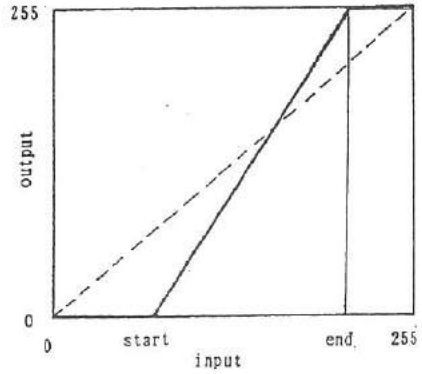
b. STEP 1



c. STEP 2



d. STEP 3



IF input < start THEN output = 0
ELSE IF input > end THEN output = 0
ELSE output = (input - start)*output/(end-start)

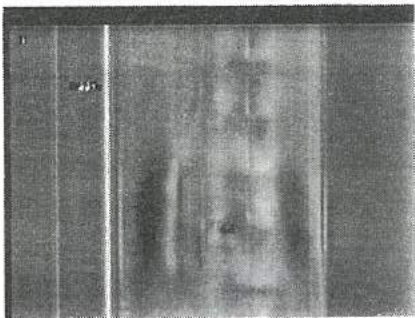


図7 縦縞の補正の例(方法1)

Fig.7. The compensated examples of vertical striped. (method 1)

(2) センサの感度補正量を予め求めておく方法(方法2)

第2の方法として、センサの感度は試料の模様や測定環境によって変化しないと仮定し、センサの各1画素毎の感度の補正値を予め求め、その値を使用して、それぞれの位置に対応する縦ラインごとに、図7-dのような方法で照明ムラ補正を行なった。感度の補正値を求める方法としては、ファクシミリチャート№2-Rの2番・4番の濃度パターンを読み込ませ、それを補正線の上限值および下限値とした。図8はこの方法を用いて処理した画像の一例を示す。図からわかるように、方法1の場合よりも縦縞の少ない良好な画像を得ることができた。

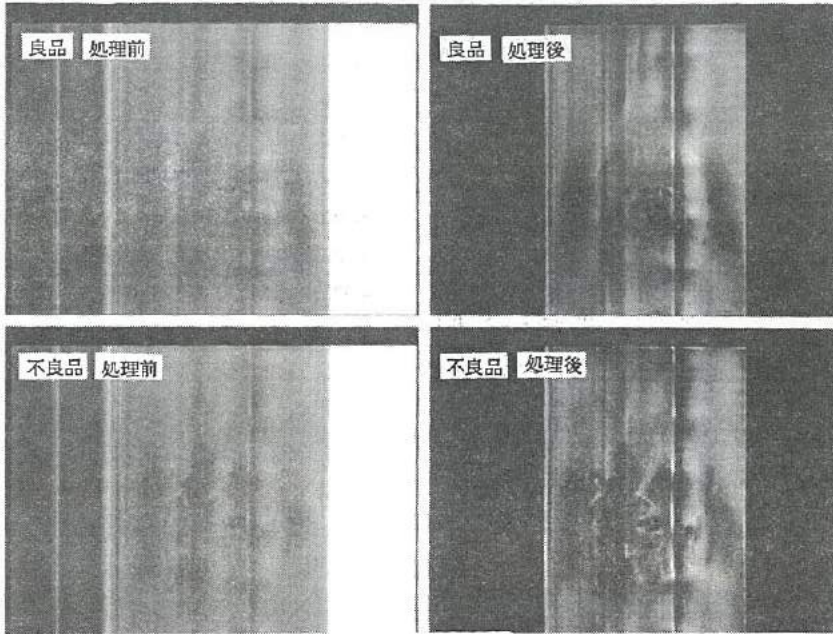


図8 縦縞の補正の例(方法2)

Fig.8. The compensated examples of vertical stripes. (method 2)

3. 4 ソフトウェア

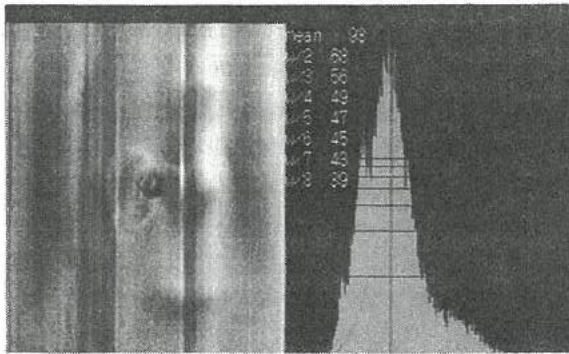
試作装置のプログラムはパソコン用のものと、前記したようにGSP用のものを開発した。パソコン用のものは"GTP. EXE"、"VCT. EXE"および"VOP. EXE"の3つのプログラムである。GTPはフレームメモリの制御と画像データの取込みを行なうプログラム、VCTは後処理ソフトの実行を早くするため、画像データから有効な部分データを取り出すプログラム、およびVOPは画像データの加工や認識を行なうプログラムである。

具体的には、GTPでは密着型イメージセンサのデータを512×1024画素の2次元の画像として取込み、照明やロッドレンズなどの影響を補正する処理を行ない、画像をファイルとして保存する。VCTでは、計測したい部分の画像の中心位置を選び、その位置を中心として上下左右±128画素のデータを、高周波成分のノイズを除く目的で縦横2画素の4画素の平均値を求め、この平均値を128×128画素の画像データとしてファイルに記録する。VOPでは得られた128×128画素の画像データを用いて、ヒストグラムの作成や2値化などの画像処理を行ない、対象物の特徴を抽出している。

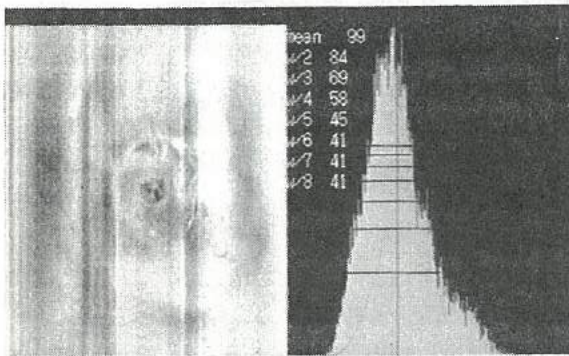
4. 測定結果と考察

以上のような方法で種々の不良品の内面の像の取り込みを試みたが、センサの分解能やセンサの位置(表面反射光の影響がある)などから、シルバー不良の場合など、明確な像として取込みが困難なものがあった。そこで、ここでは比較的良好な像として得られたフローマークについて、その判別が可能か否かの検討を行なった。

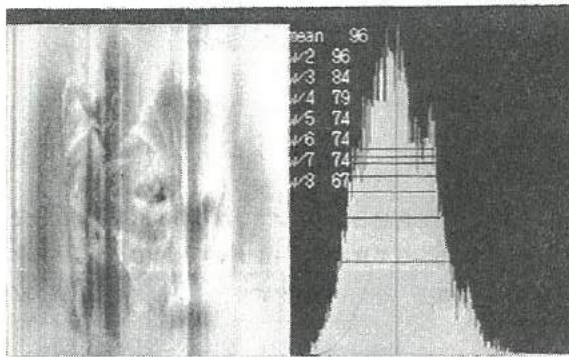
4.1 ヒストグラムによる方法



(良品)



(限度品)



(不良品)

図9 入力画像および濃度ヒストグラムの例

Fig.9. The example of input image and its histogram of density.

得られた画像から対象物の特徴を得る方法として、画像濃度のヒストグラムを求めた。図9は入力画像および得られたヒストグラムの一例を示す。ヒストグラムの形状に着目すると、良品は不良品よりはヒストグラムの形状がシャープである。そこで、この特徴を数値化するため、ヒストグラムの面積が半分になるところでヒストグラムの幅を求めた。図10は各種測定対象物のヒストグラムの幅をプロットした一例を示す。図において、横軸は面積を分割する比を表している。図より、いずれの面積比においても、不良品のヒストグラムの幅は良品のものより大きな値を示しているが、良品と限度品はほとんど区別がつかない。この方法で不良品の判別を行うことは可能のようではあるが、限度品より大きな値を持つ良品もあり、この方法では正確な判別は困難と考えられる。

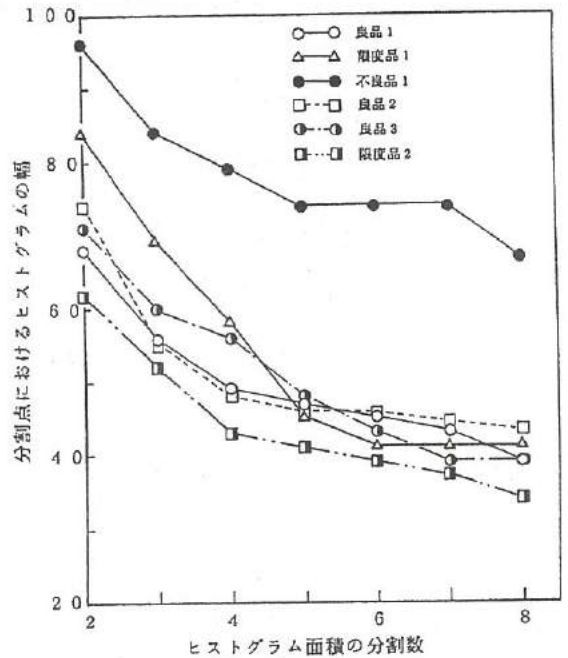


図10 ヒストグラムの幅

Fig.10. Histogram width of several samples.

4.2 縦微分による方法

図9の取込み画像を比較すると、不良品にはゲートを中心に複雑な模様が多く発生しているが、良品は少ない。また、いずれの画像にも測定対象物が有している縦方向の模様や段差が現れている。この模様の大小を数値化するためには横方向の影響を少なくする必要がある。そこで、画面では縦方向に上下の位置関係にある画素の明るさの差を求め、縦方向微分処理を行なった。縦微分の後、変化量の大きな部分を取り出すために2値化を行なった。次に、微分処理後によく現れるノイズに起因すると思われる孤

立した点を消去するため、メディアン処理を行ない、残った点の数を面積として計数した。図11はこの手順で処理をした一例を示す。また、図12は微分後の2値化を行なう場合に、しきい値とする変化量の大きさを変えて、面積をグラフ化したものである。図より、2値化を行なう時にしきい値の値を変えても、不良品は面積が大きく、良品は小さい。また、限度品はその中間にある。従って、縦微分により面積を求め、その面積の大小で合否を判定する方法を試みた。

微分処理 → 2値化 → メディアン処理 → 2値化

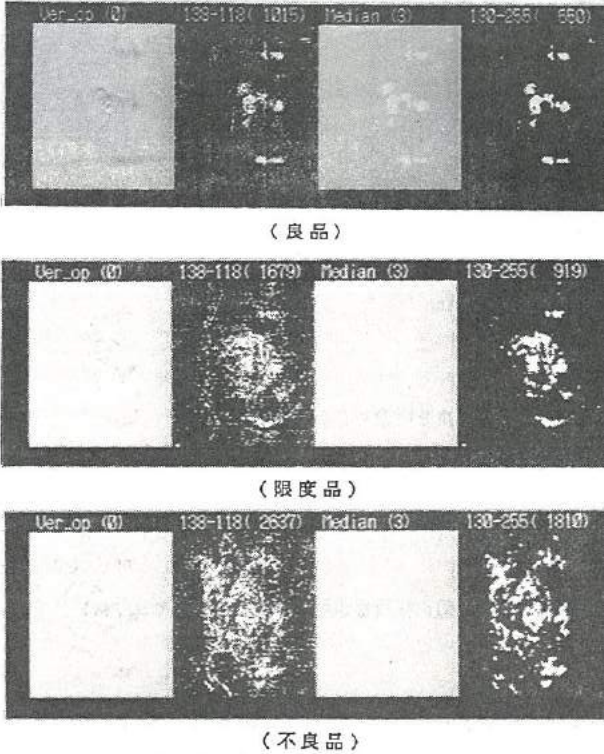


図11 縦微分処理の例
Fig.11. Differential disposition for vertical data.

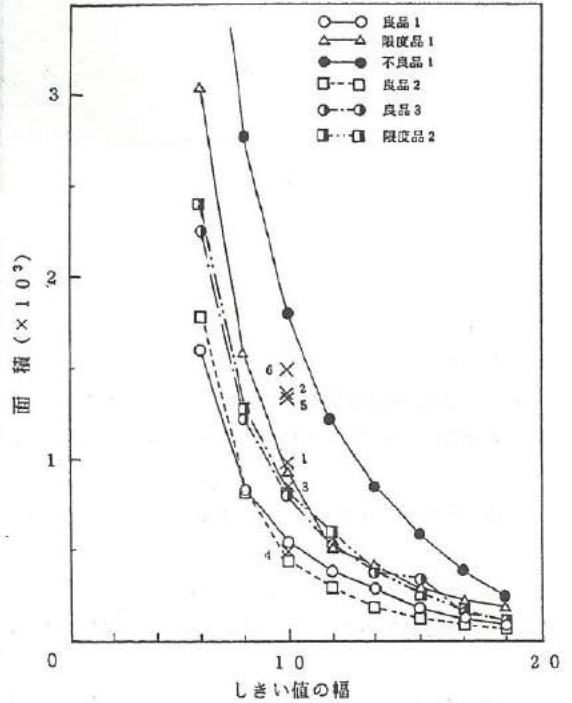


図12 しきい値と面積の関係
Fig.12. Threshold levels vs. measurement values of area.

図11中の×印は、6個の不良品サンプルについて、微分のしきい値幅を1.0として面積を測定した結果を示す。ただし、サンプル4はフローマーク以外のウェルドラインで不良となったものである。不良判断プログラムでは、限度品1の値を不良品のしきい値として判断させたところ、サンプル1、2、5および6については「不良品」と判断し、サンプル3および4については「良品」と判断した。サンプル1および3は限度見本に近く、実際の現場でも、良、不良のどちらとも判断されそうなサンプルであり、この判断結果は良好であると考えられる。

これらの結果より、フローマークに見られる縞模様を測定する方法として、画像の縦微分を行ない、その大きな変化量の面積を測定して、ある面積の値を越えるサンプルをフローマーク不良と判断する方法は、十分に利用できるものと考えている。

5. 今後の課題

フローマーク不良については、微分法を用いた場合は、テクスチャー解析を行なわなくとも合否の判定が可能であるものと考えられるが、例えば、図13に示すようなウェルドライン不良の場合は、同様の方法では明確な差は得られなかった。今後、共起行

列などのテクスチャー解析手法などを用いる必要があるものと考えている。

さらに、シルバーライン不良のように画像として明確に取込めなかった不良についても、その画像の取込み方法について再検討する予定である。

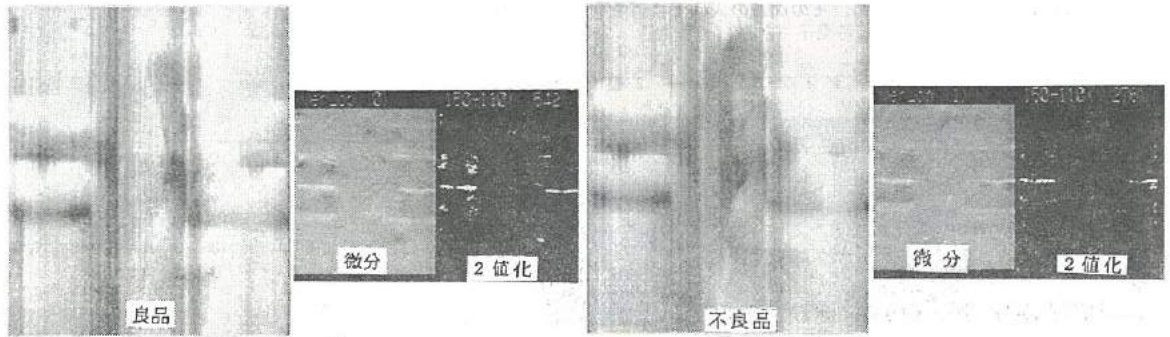


図13 ウェルド不良の例

Fig.13. The sample of Weld-line.

6. 結 言

本研究では、射出成形された円筒形状のプラスチック製品の内面の欠陥、不良を検査することを目的として、密着型イメージセンサを用いた装置の試作を行なった。その結果をまとめると、以下のようになる。

- ① 円筒形状のプラスチック製品内面の模様は密着型のイメージセンサを用いることで像として得ることができた。
- ② 密着型のイメージセンサを用いることにより、画像に照明ムラによる縦の縞模様が生じたが、個々のセンサ毎に、予め求めた補正係数を用いて補正することが可能であった。
- ③ 画像のヒストグラムを求め、その特徴を例えば面積が半分になる度数の時のヒストグラムの幅を用いて、製品を判断する方法を試みたが、不良品の判別は可能であったが、良品を不良品と判断する場合があり、あまりよい方法ではない。
- ④ 画像を縦方向に微分処理し、その変化量があるしきい値より大きい場所の点を数えて、その面積で製品を判断する方法を試みたところ、不良品ほど面積値が大きく、一方、合格品は面積値が小さく現れ、面積値の大小で良、不良の判断が可能であることを明らかにした。

7. 謝 辞

最後に、この研究を進めるに当たり、密着型イメージセンサの使用法について協力いただいた三菱電機㈱の片桐氏および北菱電興㈱の岡峰氏、ならびにインテリジェントフレームメモリの使用法について協力いただいた㈱ユーテックの大段氏に感謝の意を表します。

IV. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究

Study of Voice-braille Convert System
Used the Speech Recognition

岩田 雅明 島野 英明 八木 寛
Masaaki Iwata · Hideaki Shimano · Hiroshi Yagi

Abstract

Recently many supporting systems for handicapped people have been produced experimentally and some of them were put to practical use. Braille word processor and braille type-writer are being used at the school for the blind now. But these expensive equipment are not made for the general user. So it is difficult for general people to buy these.

That was why we develop a system which makes books in braille for blind people by voice recognition input. This system can be used by a person who doesn't have the knowledge of the braille. And also this system is basically constructed by ordinary personal computer.

Voice recognition is divided to 4 levels according to the ways of segmentation. The smallest segment is called a voice element that is used as a unit in the method of the voice element recognition. Another 3 methods is to recognize the syllable, the word or the sentence as a unit. As both Japanese braille and Japanese KANA (the Japanese syllabary) is a phonogram, we decided to recognize the voice as the unit of a syllable.

In this study, We got the power-spectrum data by FFT. We recognized the syllables by matching these patterns of the data. We recognize the syllables by 2-step-method, that is, we recognized the vowel part first, then recognized the consonant part.

Furthermore, we measured the changes in the vowel level by doing FFT twice. And we have incorporated the idea into our recognition.

Then we transferred the results into the braille, and display them on the screen.

1. 1 諸言

近年、科学技術の発達にともない、様々な障害者支援システムが試作され、実用化されてきている。視覚障害者用の物としては、点字ワープロ、点字プリンター等が盲学校やボランティアなどの間で実用されている。点字ワープロとしては、従来からある6点式点字を6つのキーで入力する、操作する者に点字知識を要求するタイプの物の他に、点字知識のない暗眼者が、一般のワープロと同じ感覚で入力できるタイプの物もある。さらにそれに音声合成装置を取りつけ、音声による文章読み上げ機能を付加したものもある。しかしその一方で、それらのシステムはその性質上、生産量が少なく、かなり高価であり、一般家庭での購入は困難なのが現状である。そこで我々は、点字に関する知識を持たない人でも入力ができる、普及型のパーソナルコンピュータで使用できる、ということを目指し、視覚障害者向けの点字書籍の作成を、音声入力によって行なう装置の開発を目的とし音声点字変換装置に関する研究を行なうことにした。

1. 2 点字概要

現在一般的に使われている点字は、日本語のカナ1文字が点字1文字に対応する表音文字である。専用の用紙に凸型のドットを打ち、6つのドットで1単位(1マス)を形成する。なお1マス(6点)では64種類の文字しか表わせないが、濁点、拗音、特殊音、数字、アルファベット及び記号を表わす場合は、前置記号として、点字1マスを使用して次の点字を修飾することにより対応している。点字一覧表を付録に掲載する。

1. 3 音声認識概要(音声認識単位)

音声認識には認識の単位によって4つのレベルがある。「音声認識」をローマ字で書けば「ONSEININSHIKI」である。これを日本語を構成する最小単位の音韻に分けると、/O/N/S/E/I/N/I/N/SH/I/K/I/となる。区分けされた個々の最小単位を音素という。音声は音素の組み合わせでできているわけである。音素は大別して母音と子音に分けられ、それぞれの数は国語によって異なるが、音素の合計は数十個程度であり、数は多くない。この音素単位に行なう音声認識を音素認識という。音素認識が正確に行なえれば、どのような単語や文章でも制限なく認識できることになるが、後述するセグメンテーションや、調音結合などの困難な問題があり、現在のところ実用段階には至っていない。

認識の基本単位を1段階大きくしたのが単音節認識である。すなわち、同じ例をとると、/O/N/SE/I/NI/N/SHI/KI/を認識単位とするものである。日本語の場合には単音節1つ1つがそれぞれ1つのひらがなに対応しているので、音節単位に発音し、それが自動認識されれば、任意の話し言葉がそのまま入力できるわけである。しかし、現段階では普通の会話速度で話し手も認識できるということではなく、単音節ごとにはっきりと区切って発音しなければならない。

さらに認識の単位を大きくしたのが単語認識である。音素の組み合わせで音節となり、音節の組み合わせで、一つのまとまった意味内容を持つ単語になる。その数は国語辞典を見ても分かるように膨大なものである。しかし単語単位の認識の方が精度はよく、100%近い認識率が実現されており、最初に商品化された音声認識装置が単語認識装置であって、現在のところ音声認識装置という単語認識装置を指すといいほどである。しかし、現在実用化されている単語認識装置は、特定の限られた単語だけを認識対象としたものであり、その数も10個ぐらゐから数百個ぐらゐであって、文章入力には不向きである。単語よりもさらに大きな単位が文である。文単位に認識するのが文音声認識であり、これについても基礎研究が盛んに行なわれている。

セグメンテーションとは音声波形を音素単位、音節単位、あるいは単語を連続して発声した場合などでは単語単位の区切ることである。音声信号は本来連続的なものであり、発声の間に入るポーズ、あるいは破裂音(p,t,k,b,d,g)の直前以外は切れ目が無いのが普通である。音素や音節を単位として認識するには、まず連続的な音声波形を認識しようとする単位ごとに正しく区切らなければならないわけである。現在のところ残念ながら信用性のあるセグメンテーションの方法は見つかっていない。

調音結合とは、前後の音素によって調音機関の動きが大きな影響を受け、その結果が音声の音響的な特性に強く反映される効果のことを言う。調音結合の具体例として、3連母音を速く発声したとき、中央の母音がどのように聞こえるかを調べた電総研、石崎による調音結合の聴取実験がある。被験者に3連母音をそのまま聞かせた場合の中央の母音が何と聞こえるか、また中央の母音に相当する部分の波形だけを取り出して聞かせ、それが何と聞こえるかを調べた結果である。例えば /iai/ の場合、3連母音をそのまま聞かせれば、中央の母音を100%正しく /a/ と判定できるのに対し、その母音だけを切り取って聞かせると98%は /e/ と聞こえるというものである。この結果は速い発声の場合、声道の形は本来の形になる前に次の形へと変化してしまうため、本来の声道形で発声されたものとは音響的に異なったものになっていると解釈できる。人間は前後の音素によって受ける影響を、何らかの方法で補正しながら認識しているものと考えられるが、そのメカニズムはまだ解明されていない。

2 実験方法

2.1 実験方針概略

本研究室では音声認識に関する研究は初めての試みであるので、対象話者は特定話者とし、離散的に発声された単音節認識を行なうものとする。実験方針概要は図2-1に示すように音声信号をA/D変換器によりパソコンに取り込み、メモリー上に保存し、FFT処理によって周波数分析を行ない、特徴抽出を行ないパターンマッチングさせた結果を点字コード化し、点字プリンターによって出力するというものである。

2.2 実験設備概略

図2-2は本実験において使用したハードウェア構成である。マイクロフォンには、オーディオテクニカATH-30COMを用いた。入力ゲイン調整のためマイクアンプとしてTEAC TASCOM 246を用いた。信号の量子化及び取り込みに関しては、CANOPUS CAB-1123-04-135H(サンプリング周波数32kHz、量子化ビット数16bit)により、DMA(ダイレクトメモリアクセス)を介して、増設I/Oバンクメモリーに取り込んだ。I/Oバンクメモリー及びEMSにはI/Oデータ機器のPIO-PC34-FX-2MA+PIO-PC-34F-4MAを用いた。本体装置として、EPSON PC-386S(CPU 80386、クロック周波数25MHz)に数値演算コプロセッサ、INTEL 387DXを搭載して使用した。ハードディスクにはICH HC-100ESを用いた。



図2-1 実験方針概要
Fig.2-1 Outline of the study

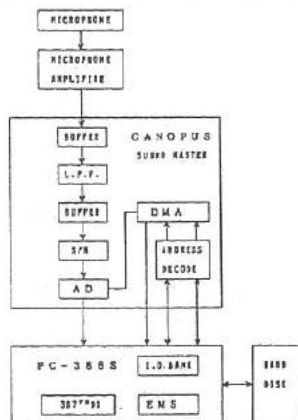


図2-2 ハードウェア構成
Fig.2-2 Hardware

2.3 音声信号

図2-3は被験者A(25才男性)によって発声された「あ」「か」「さ」の波形である。「あ」は全体が周期信号である母音部であるのに対し、「か」は40(ms)程度の子音部とそれに続く母音部で構成されており、「さ」は140(ms)程度のホワイトノイズに似た子音部と母音部で構成されている。しかし同じ母音を持つ単音節のパワースペクトルをとると、それらの包絡線はほぼ一致する。母音の生成過程は音源である声帯の特性を $a(f)$ 、声道の振幅特性を $H(f)$ 、唇からの放射伝達特

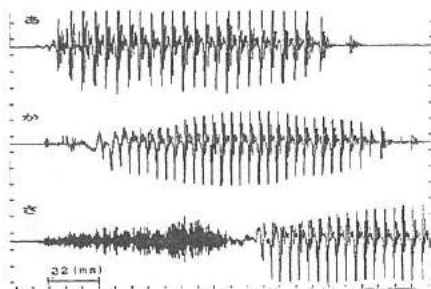


図2-3 「あ」「か」「さ」の音声波形
Fig.2-3 The wave forms of (a)(ka)(sa)

性を $G(f)$ とすると、実際の音声出力 $B(f)$ は次式で得られる。

$$B(f) = H(f) \cdot G(f) \cdot a(f)$$

よって母音部のパワースペクトルの包絡線は $H(f)G(f)$ となり、音程によらず、一定のものとなる。図 2-4 の左上の図は被験者 A による「あ」の発声のパワースペクトルをとり、その包絡線を正規化したものである。同様の処理をした「あ」「い」「う」「え」「お」の包絡線を図 2-4 に示す。このように同一母音を持つ単音節はその母音部のパワースペクトルを見ることによって母音部の判定ができる。そこで我々は、図 2-5 に示すように母音部認識と子音部認識を独立して、2 段階で認識する方法を試みた。

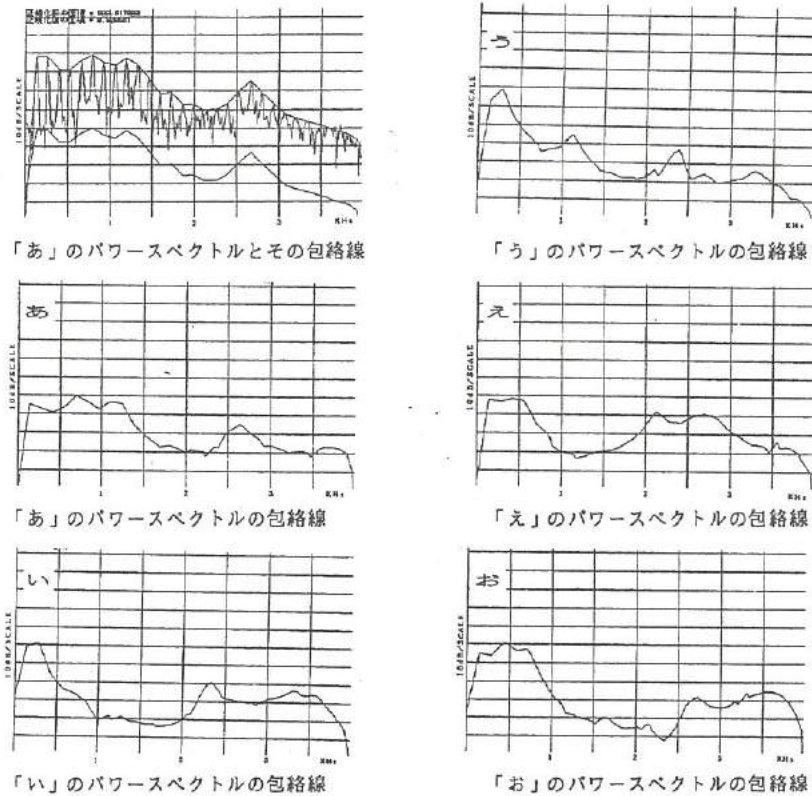


図 2-4 母音のパワースペクトラムの包絡線

Fig.2-4 The envelopes of the 5 vowels

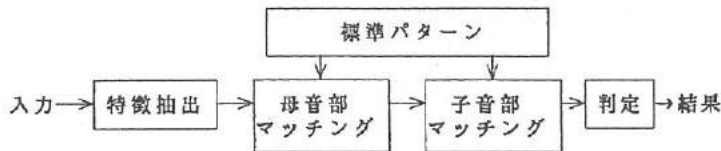


図 2-5 2 段階による音声認識

Fig.2-5 Two-step method recognition

2. 4 音声認識のための前処理

次に図2-6に単音節認識のアルゴリズムを示す。音量によるセグメンテーションを行なうために、毎秒1語程度の早さで発声した音声を、サンプリング周波数32(kHz)、量子化ビット数16ビットのAD変換を行ないパソコンに入力し、I/Oバンクメモリーに取り込む。音声認識には4(kHz)程度までのパワースペクトルを使用するので、8(kHz)にデータを間引く。そのデータに対して、基数2、ポイント数256、窓関数ハミング、フレーム幅32(ms)のFFT処理を、シフトスケール8(ms)で行なう。この結果フルスケールで4(kHz)のパワースペクトルデータが得られる。このデータを周波数軸に関して平滑化し、以後の処理(登録・マッチング)に使用する。

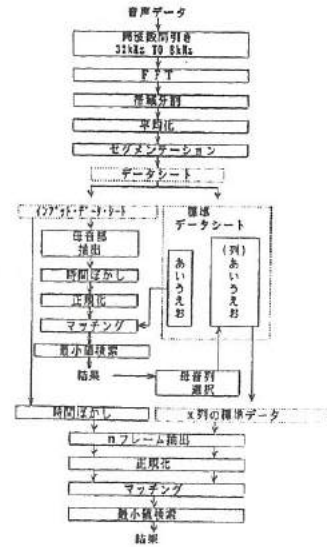


図2-6 単音節認識のアルゴリズム

Fig.2-6 The algorithm of the syllable recognition

2. 5 全音量によるセグメンテーション

図2-7は「あ」「か」「さ」「た」「な」と発声した場合のセグメンテーションの例を示す。この図の波形は2(kHz)までの低域部の音量を示す。この音量がしきい値を超えた地点から、5フレーム前を音声区間先頭とし同図において、縦線で表示する。ここから35フレームを1音節分として切り取った。

本システムでは、一般的な使用において、90%程度のセグメンテーションの認識率を確保できるようにしきい値を設定した。

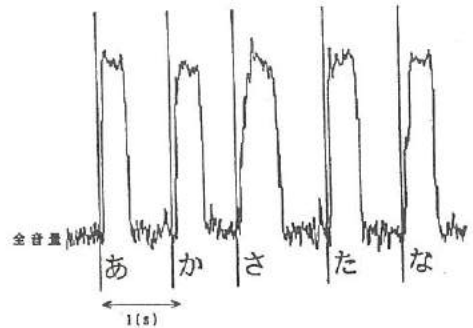


図2-7 音量によるセグメンテーション

Fig.2-7 Segmentation using the volume

2. 6 標準データ登録

音声認識を始める前に被験者の声をあらかじめ標準データとして登録する必要がある。我々は現在認識語67音に対して、被験者が6回発声して作成したデータを標準データとして使用している。認識を行なう際には被験者によって発声された音声に上記の処理を行ないデータにする。これを我々はインプットデータと呼ぶ。

我々はまず母音部の認識を行なうために、このインプットデータの先頭から30から40フレーム目のデータを抽出し、それぞれ正規化を行なう。この先頭から30から40フレーム目は我々の予備実験において母音が現れる確率が最も多かったフレームである。次にあらかじめ登録してある5つの母音の標準データのそれぞれ先頭から15フレーム目のデータを抽出し、正規化を行なう。この5つの母音の15フレーム目のデータと、インプットデータの30から40フレーム目までのデータとを順次パターンマッチングを行ない、誤差が最小になったものを母音部認識結果とし、その入力音節(インプットデータ)がどの母音列に属するかを判定する。これにより子音部認識に使う標準データの列(X列)を選択する。

2.7 子音認識時の時間的ずれの補正

子音部は周期信号でないものがほとんどなので、時間的なずれがあると、パターンマッチングを行っても、良い結果が得られない為、時間軸を調整する必要がある。そのためインプットデータを時間軸方向に、-10フレームから、+10フレームまで1フレームずつずらしたデータ(合計9個)を作る。それらのデータの先頭からnフレーム目までを抽出し、正規化する。また先程のX列標準データも先頭nフレーム目まで抽出し、正規化する。このような処理をしたインプットデータと、X列標準データ(最大15×6個)を、フレームごとにパターンマッチングを行なう。このパターンマッチングにより、最も誤差の少なかったインプットデータと標準データの組み合わせを認識結果とした。

なお今回は点字プリンターの購入が困難なため、結果はモニター画面上に点字で表示した。

2.8 母音度合いの定義

我々は母音安定部を検出する実験を行うことにより、セグメンテーションへの有効性を調べた。図2-8は同被験者が「か」と発声した音声の16msおきのパワースペクトルの変化を観測したものである。左上のフレーム1は無音部分である。フレーム3から音声徐々に立ち上がり、フレーム13からは母音らしくなっており、フレーム17からは完全に「あ」の母音になっているのが観測できる。母音部は声帯の振動を音源とした有声音である。よって母音部のパワースペクトルは、図2-8後半のフレーム17の様に基本周波数とその高調波成分でできた等間隔の楕円形の特性となる。このことからこれらのパワースペクトルのデータに対してもう一度FFTを行なうと、その基本周波数に当たる部分にピークが出現する。(パワースペクトルのデータに対してもう一度FFTを行なったものをそれぞれの左下に併記する)これは子音部では見られない特徴である。この量を測定して母音度合いの測定を行なった。

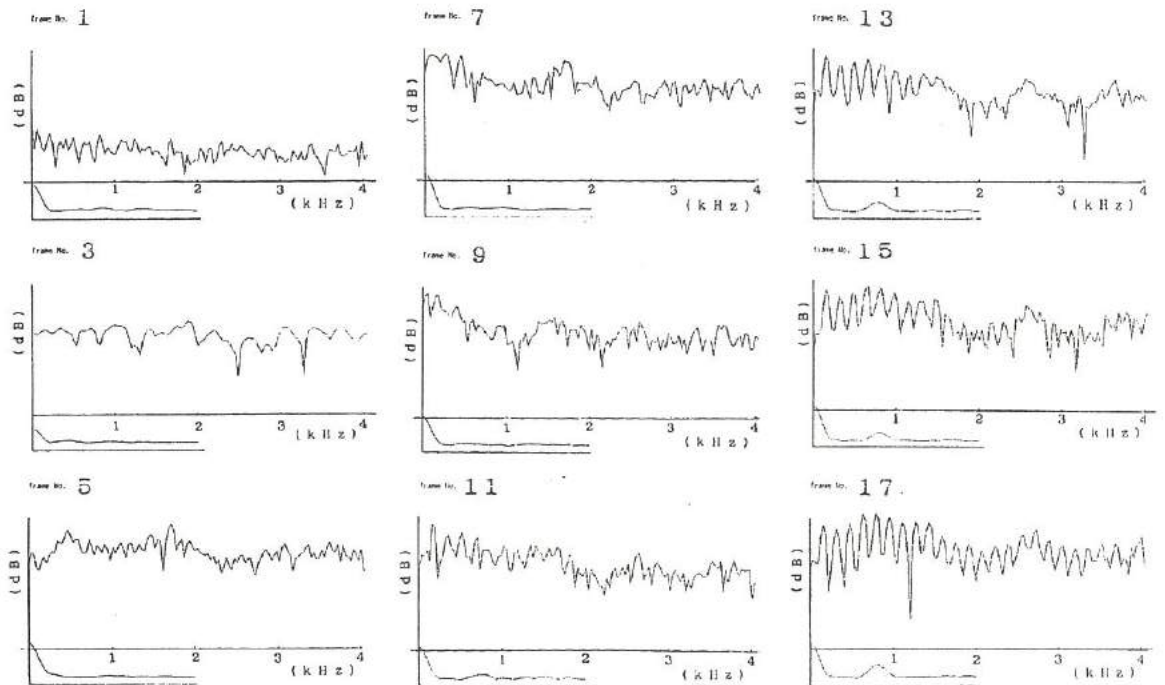


図2-8 被験者によって「か」と発声された音声の16msおきのパワースペクトルの変化とその母音度合い

Fig.2-8 The changes of the power spectrums pronounced as 'ka'.

2.9 母音度合の測定方法

図2-9にそのアルゴリズムを示す。音声データの取り込みに関しては、前実験と同じ方法とする。1回目のFFTは、基数2、ポイント数256、窓関数ハミング、フレーム幅32(ms)、シフトスケール8(ms)で行なう。これによって得られたデータはデータ数128であるから、そのデータを基数2、ポイント数128の2回目のFFTにかける。このようにして得られたデータの低域部は1回目のFFT処理データの直流分だと考えられるので、矩形フィルタにより、低域部分(全体の1/5)をカットする。その後データを積分し平滑化を行ない表示する。

また音量を表わすものとして、1回目のFFT処理データを周波数軸に積分したものを平滑化処理を行ない同時に表示し、比較検討を行なう。

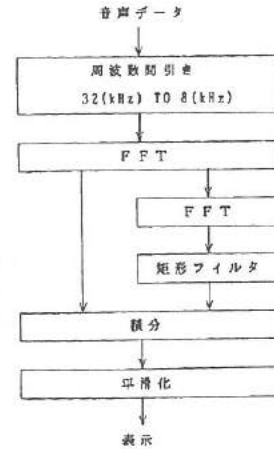


図2-9 母音度合の測定法

Fig.2-9 The vowel rate measurement

2.10 母音度合測定法を用いた単音節認識

図2-10に母音度合測定法を取り入れた単音節認識のアルゴリズムを示す。ここでは前述の母音度合測定法を用い、その母音度合に一定のしきい値をもうけ、セグメンテーションを行なった。母音部認識を行なう際には、母音度合により、母音部を抽出した。子音部認識には母音度合がしきい値をこえたフレームから16フレーム手前までを使用した。その他の処理は前記の認識方法に準ずる。

FFT①: 第1回FFT処理(ポイント数256)を行ない対数化する。

FFT②: 第1回のFFTの処理結果に対し、第2回FFT処理(ポイント数128)を行なう。

積分①: 音声周波数帯域に関して積分をとり全音量として扱う。

積分②: 特定の周波数領域に関して積分をとり母音度合として扱う。

積分③: セグメンテーションされたあるひとつの音韻に関して、母音度合を係数として時間軸方向に関して積分する。この処理により母音成分のパワースペクトルを取り出す。

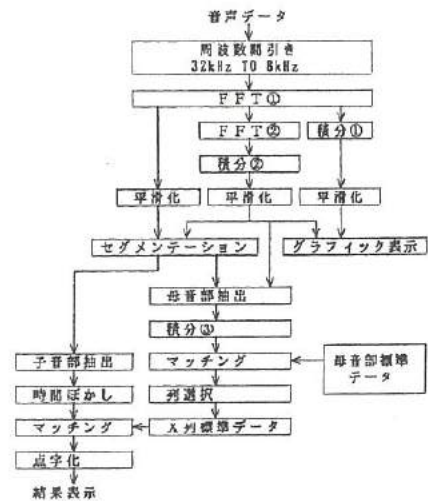


図2-10 母音度合測定法を用いた単音節認識アルゴリズム

Fig.2-10 The algorithm for the syllable recognition using the vowel rate measurement

3 実験結果

3.1 母音度合を使用しない認識

先述したとおり、この実験においてはしきい値を高めに設定したので、音声データの切り出し先頭位置が一定しない為に誤認識が起こる可能性がある。比較のため、マウス操作によって音声区間を手動で切り出しを行ない同じアルゴリズムによって実験を行なった。

図3-1に手動セグメンテーションによる場合と自動セグメンテーションによる場合の認識率と、誤認識された単音節を、母音部誤認識と子音部誤認識に分けて示す。

母音部誤認識については「さ行」「ざ行」に集中している。これは「さ行」「ざ行」の単音節は子音部が長いために、認識に使った先頭から30~40フレームの切り出し区間が、母音部に当たらなかったためであると推測される。

以上をもって得られた結果を点字に変換し、モニター画面上に表示する。図3-2は「つ」と発声した音声処理したときの結果表示例である。



図3-2 モニター画面の結果表示
Fig.3-2 The result displayed on the screen

条件 時間ばかし : ±4 frames
採取フレーム数 : n=9-18
テストデータ数 : 402 (87×6)

| | 認識率 (%) | n |
|--------|---------|--------|
| 母音部認識率 | 97.3 | |
| 子音部認識率 | 92.3 | 16, 18 |
| 総合認識率 | 89.8 | 16, 18 |

手動セグメンテーションによる
単音節認識率

| | | | | |
|---|---|---------|-------|---|
| あ | い | う | え | お |
| か | き | く | け | こ |
| さ | し | ず × × × | せ × × | そ |
| た | ち | つ × × × | て | と |
| な | に | ぬ | ね | の |
| は | ひ | ふ | へ | ほ |
| ま | み | む | め | も |
| や | | ゆ × × × | よ | |
| ら | り | る | れ | ろ |
| わ | | | | |
| が | ぎ | ぐ | げ | ご |
| ざ | じ | ず × × × | ぜ × × | ぞ |
| だ | | | で | ど |
| ば | び | ぶ | べ | ぼ |
| び | び | ぶ | べ | ぼ |

手動セグメンテーションによる
母音部誤認識表

条件 時間ばかし : ±10 frames
採取フレーム数 : n=18
テストデータ数 : 402 (87×6)

| | 認識率 (%) |
|-----------|---------|
| セグメンテーション | 95.8 |
| 母音部認識率 | 88.7 |
| 子音部認識率 | 76.6 |
| 総合認識率 | 55.5 |

自動セグメンテーションによる
単音節認識率

| | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|
| あ | い | う | え | お |
| か | き | く | け | こ |
| さ | し | ず 1 | せ 2 | そ 1 |
| た | ち | つ 2 | て | と |
| な | に | ぬ | ね | の 1 |
| は | ひ | ふ | へ | ほ 1 |
| ま | み | む 1 | め 2 | も 1 |
| や | | ゆ 2 | よ 1 | |
| ら | り | る | れ | ろ |
| わ | | | | |
| が | ぎ | ぐ | げ | ご |
| ざ | じ | ず 3 | ぜ 2 | ぞ 1 |
| だ | | | で | ど |
| ば | び | ぶ | べ | ぼ 1 |
| び | び | ぶ | べ | ぼ 1 |

自動セグメンテーションによる
母音部誤認識表

| | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|---------|
| あ × × × | い | う | え | お |
| か × × × × | き | く | け | こ |
| さ | し | ず | せ | そ |
| た | ち | つ | て | と |
| な | に × × × | ぬ | ね | の × |
| は × × | ひ | ふ | へ | ほ × × × |
| ま | み × × | む | め | も |
| や | | ゆ | よ × × | |
| ら × × | り × × × × | る | れ | ろ |
| わ | | | | |
| が × × × | ぎ | ぐ × × | げ | ご |
| ざ | じ × × × × | ず | ぜ × × | ぞ × × |
| だ × × | | | で | ど |
| ば × × | び | ぶ × × | べ × × | ぼ |
| び | び | ぶ | べ × × | ぼ |

手動セグメンテーションによる
子音部誤認識表

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| あ 2 | い 1 | う | え 1 | お 2 |
| か 2 | き | く | け 1 | こ 2 |
| さ | し 1 | ず 1 | せ 2 | そ |
| た 1 | ち 1 | つ 2 | て | と 1 |
| な 3 | に 2 | ぬ 2 | ね | の 2 |
| は 3 | ひ 1 | ふ 2 | へ 1 | ほ 2 |
| ま 3 | み 2 | む 0 | め 2 | も 1 |
| や 3 | | ゆ 2 | よ 4 | |
| ら | り 3 | る | れ 1 | ろ 2 |
| わ 1 | | | | |
| が 2 | ぎ | ぐ 2 | げ 1 | ご 3 |
| ざ | じ | ず 1 | ぜ 2 | ぞ 0 |
| だ 2 | | | で 3 | ど 2 |
| ば 3 | び 1 | ぶ 2 | べ | ぼ 2 |
| び 3 | び 2 | ぶ 2 | べ 2 | ぼ 3 |

自動セグメンテーションによる
子音部誤認識表

図3-1 手動セグメンテーションによる場合と自動セグメンテーションによる場合の認識率

Fig.3-1 The recognition rates according to the manual segmentation and the automatic segmentation

3. 2 母音度合いの測定結果

図3-3に、前章で述べた母音度合い測定法により処理された「あ」「か」「さ」「た」「な」を示す。下が全音量を示し、上が母音度合いを示す。「さ」は全音量の立ち上がり地点と、母音部の立ち上がり地点とに開きがあり、子音部が長いことがこの実験からも観測できる。また「な」は全音量の立ち上がりとほぼ同時に母音部が立ち上がるが、いったん母音らしさが小さくなった後、再び大きくなることが観測できる。これは我々が周期信号である音を母音らしさと判断しているためで、子音「n」も母音とは異なる周期信号であることがわかる。

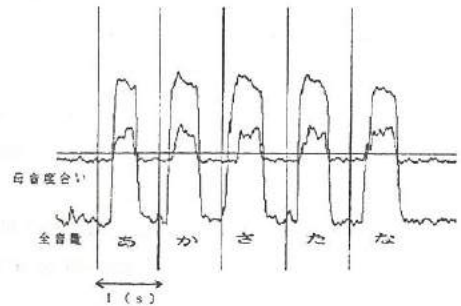


図3-3 母音度合い測定

Fig.3-3 The Vowel rate measurement

次に母音度合い測定法を用いた単音節認識結果を図3-4に示す。音量によるセグメンテーションを用いた前記の実験に対して、かなり認識率の向上がみられた。特にセグメンテーションと、母音部認識段階での誤認識をほぼ防ぐことができた。

さらにこの方法では周期音の有無によってセグメンテーションを行なっているため、衝撃音によるノイズに影響されないというメリットもある。

条件 時間ばかし : ± 4 frames
テストデータ数 : 150

| | 認識率 (%) |
|-----------|---------|
| セグメンテーション | 99.3 |
| 母音部認識率 | 99.3 |
| 子音部認識率 | 79.1 |
| 総合認識率 | 78.0 |

図3-4 母音度合い測定法を用いた単音節認識率

Fig.3-4 The recognition rate according to the recognition using the vowel.

4. まとめ

母音度合い測定法を用いた単音節認識方法はまだ予備実験段階であるが、その有効性が確認できた意義は高い。今後さらに子音部認識段階における改良が望まれる。認識時間について、我々の使用した実験3のシステムの場合、5秒間で5つの単音節を入力した場合、処理時間は約130(s)である。つまり約26(s)/1音節となる。これは実用的な速度とはいえないが、このうち92%はFFT処理に要する時間である。現在ソフトウェア処理によりFFTを行なっているものを、FFT高速演算ボード(カノーブスFLASH-16SS)等を利用し、ハードウェア処理で行う、もしくはマルチチャンネル・バンドパスフィルターによりFFTの代用を行えば、大幅に処理時間を短縮できる。さらに認識に必要な主要回路をLSI化することができれば、実用的な速度に近づくとと思われる。

また誤認識の訂正をどのように行なうかというのも大きな問題である。キーボードの代わりに、音声による入力を行なうこの装置の本来の目的は入力の手軽さにあり、誤認識の度にややこしいキーボード操作を伴うのであれば意味をなさない。そういった意味で、このシステムに、単語辞書等を組み込み、スペルチェック機能等を組み込むことが望ましいであろう。さらに、将来的には、音声ガイド機能などを加え、操作性の改善を計ったり、暗眼者ばかりでなく視覚障害者にも利用できるように、認識結果の読み上げ機能などの付加も考えられ、進展が期待される。

参考文献

- 1) YOSHIAKI KITAZUME, BIJI OHIRA, TEKEYUKI ENDO LSI Implementation of a Pattern Matching Algorithm for Speech Recognition IEEE ASSP-33 pp.1-4 1985
- 2) KUK-CHIN PAN, FRANK K.SOONG, LAWRENCE R.RABINER A Vector-Quantization-Based Preprocessor for Speaker-Independent Isolated Word Recognition IEEE ASSP-33 pp.546-559 1985
- 3) DAVID K.BURTON, JOHN E.SHORE, JOSEPH T.BUCK Isolated-Word Speech Recognition Using Multisection Vector Quantization Codebooks IEEE ASSP-33 pp.837-849 1985
- 4) 鈴木忠・深林太計志 母音認識のための教師なし話者適応化法 電子通信学会 pp.1446-1451 1986
- 5) 赤木正人 音声知覚における母音ターゲット予測機構のモデル化 電子通信学会 pp.1277-1285 1986
- 6) 原田哲也・河原田弘 音声の高分解能周波数分析—/mi/,/ni/の特徴抽出— 電子通信学会 pp.620-627 1986
- 7) 原田哲也・河原田弘 昇次特徴空間法による鼻子音 /m,n/ の特徴抽出と認識 電子情報通信学会 pp.925-933 1988
- 8) 中川聖一・梅崎太造 単音節単位に基づく音声認識法と識別された音節系列からの単語認識法 電子通信学会 pp.1296-1303 1985
- 9) 小林哲則・渡辺一博・松田俊幸 母音及び無声破裂子音スペクトルの音韻環境依存性 電気情報通信学会 pp.353-359 1991
- 10) 西巻正郎 音響工学 近代科学社
- 11) 早坂寿雄 音響工学入門 日刊工業新聞社
- 12) 城戸健一 音響工学 コロナ社
- 13) 中田和雄 音声の高効率符号化 森北出版
- 14) 小池慎一 Cによる科学技術計算 CQ出版社
- 15) 安居院 猛・中嶋 正之 FFTの使い方 廣済堂
- 16) 計測自動化のためのマイコン標準インターフェイス 脳 英世 オーム社
- 17) 科学計測のための波形データ処理 南茂夫 CQ出版社

V. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

Study of Simple-type Ultrasonic Diagnosis
Equipment Applied Flexible Epoxy Resin Sheet
Composited with Ferroelectrics Ceramics

尾畑 哲史 山田 義昭 浅田 峯夫 藤城 敏史 谷野 克巳
OBATA Norifumi · YAMADA Yoshiaki · ASADA Mineo · FUJIKI Satoshi · TANINO Katsumi

Descriptive abstract

The purpose of this study is affirmative possibility to develop the simple-type ultrasonic diagnosis equipment by piezoelectric materials used epoxy resin.

From remarkable last report, we have been studying the basis of the ultrasonic diagnosis equipment that was used flexible epoxy resin sheet compounded PZT. We have covered some of the basic idea and the advantage which this sheet is applied with diagnosis equipment.

- (1) It is possible to use as an ultrasonic probe in wide band frequency.
- (2) The sensitivity is improved to control the thickness of copper plate which is used the back electrode.
- (3) The directivity showed that, in general, increase its characteristics to arrange suitable curvature for ultrasonic transducer.

Just this once, we had aimed to make the equipment itself. In the first place, we tried to change the ratio of PZT content of piezoelectric sheet for the improvement of ultrasonic power and the sensitivity. As the result of abovementioned, the piezoelectric effect has increased 4 times over and the sensitivity showed 5 times as the past examination. At the next try, we were trial production the array type probe divided 12 pieces using this sheet. The array type were exceeded in the characteristics of directivity and attenuation as compared with single element type.

Referring to these results, we tried to lay out and make the proto-typical simple-type ultrasonic equipment. Its scanning mode was adopted linear array method. The received pulse is inputted to PC-9801 by high speed A/D converter, and it is indicated to modulate brightness on CRT. We observed anything of objects inside in spite of slow indicate speed.

1. 緒言

最近、「超音波」を利用した製品が多くなってきている。例えば、超音波洗浄器をはじめとして加湿器、超音波風呂、距離計、超音波モーター等様々な商品が出回っている。超音波の発生源にはPZT、TiBaO₃、PbTiO₃等のセラミックス圧電材料が多く利用されている。我々は昨年度から超音波を利用した簡易な診断装置の開発を目的とした研究を実施し、その超音波トランスジューサにはセラミックス焼結体では得られない柔軟性、低音響インピーダンスという特徴をもつエポキシ系高分子複合圧電材の応用を試みたところ、(1)広い周波数帯域での使用が可能である、(2)トランスジューサの構造が指向特性に影響を与えることが可能である、(3)測定対象物からの反射波が観測できる、などの結果が得られた。そこで、本年度はさらに研究を進めて、トランスジューサの送受信波利得の向上、トランスジューサの構造の再考、受信波信号のパソコン内取込みおよびCRT画面上で測定対象物の画像表示が可能な超音波診断装置の構築を試みたので、その概要を報告する。

2. トランスジューサの送受信特性の向上

送受信特性の向上を図るため、トランスジューサとして使用するエポキシ系複合圧電材料のPZT充填量とトランスジューサの構造について検討した。

2.1 PZT高充填タイプトランスジューサの試作

超音波診断装置に使用するトランスジューサは、厚み方向の振動で超音波を発生させるため、圧電縦定数 (d_{33}) が送受信特性に大きな影響を与える¹⁾。圧電性エポキシと強誘電セラミックス (PZT) との複合材料である本圧電材料の圧電定数を上げるために、圧電性エポキシの約10倍の圧電率を有するPZTの配合量をそれまでの80wt%から90wt%にした。表1は圧電特性とPZT充填量の関係を示す。表より、PZTの配合量を80wt%から90wt%にすることにより、圧電縦定数 (d_{33}) が約4倍に、圧電横定数 (d_{31}) は約3倍になった。表2はこれらの複合圧電材で試作したトランスジューサの送受信特性の比較を示す。表において、受信感度は同出力の超音波を受けた時の受信波電圧を、送信出力は各々同じ出力で送信した時の送信波電圧を測定した。表より、送信波で2.5倍、受信波で2倍の感度向上が見られ、圧電性の向上と一致した。なお、PZTの充填量を90wt%にできない理由は、フレキシブル性が失われることおよび音響インピーダンスが比重と材料内の音速の積で表されるため、素子自体の比重×音速が大きくなり (密度 ρ : PZT=8.5, EP=1.1)、高分子系圧電材を超音波プローブとして使用する際の利点である音響インピーダンスが小さい (人体組織に近い) という特長が薄れることが予想されたからである。

2.2 トランスジューサ構造の検討

ここでは、トランスジューサの指向性や減衰特性の向上を図るため、送受信を同一素子でおこなう送受信兼用型とし、さらに、送受信面を短冊状に分割する配列素子型トランスジューサの試作と単素子型との発信特性の比較、評価を実施した。

まず、単素子型トランスジューサとして、背面電極と音響反射板を兼用した銅板の上に圧電材 (PZT充填率90wt%) を0.5mmの厚さで形成し、上部電極としてカーボンペーストを焼付硬化したものを準備した。次に、アレイ型トランスジューサとして、単素子型と同様に作製した試料の上部電極部を幅2mm、0.5mm間隔のピッチで切断し、12素子のアレイ状にしたものを準備した。図1は実験用に試作した単素子型とアレイ型トランスジューサを示す。アレイ型の場合には、高分子系圧電材料は電極部の切断だけで隣接素子間の電氣的、音響的

表1 PZTの充填量と諸特性
Table 1. Characteristics dependence of mixed weight % of PZT.

| PZT充填量 | 80 (wt%) | 85 (wt%) | 90 (wt%) |
|--------------------|----------|----------|----------|
| 比重 | 3.0~3.1 | 3.1~3.2 | 3.2~3.3 |
| d_{33} (pC/N) | 10~15 | 40~50 | 80~90 |
| d_{31} (pC/N) | 7.0~8.0 | 10 | 20 |
| ϵ_s (kHz) | 30 | 40 | 50~55 |

表2 送受信特性の比較
Table 2. Comparison of transmitting and receiving.

| | 受信波 (mV) | 送信波 (mV) |
|-----------|----------|----------|
| PZT 80wt% | 20 | 40 |
| PZT 90wt% | 40 | 100 |

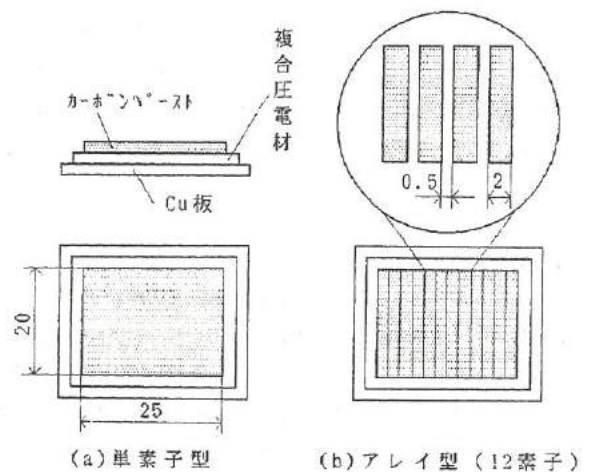


図1 アレイ型試作素子の構造図
Fig.1. Structures of array and single element type transducer.

な相互干渉が十分に小さくなるという利点を生かしている。

2. 3 指向性

アレイ型と単素子型トランスジューサの指向特性の比較は2種類の方法で行った。図2は反射板として用意した幅1mmの銅板をシリコンオイル槽内でプローブの素子面に対して平行移動させた時の銅板からの受信波電圧の変位を、反射板が素子面中央にある時の最大受信波電圧と比較したものである。図から、アレイ型は単素子型に比べて、放射面の外側に信号が拡散しにくいことが分かる。図3はプローブの送受信信号の放射軸に対する角度による受信波電圧の減衰量を表したものである。図からアレイ型は単素子型に比べて放射軸に対しての収束が良い。

以上の結果より、信号発信面をアレイ型にした場合は、進行方向（放射軸）に対して平行な信号は強め合い、軸から外れる信号は干渉して打ち消し合うことが判明した。また、アレイ型の図には放射軸以外の方向に収束したパターン、すなわち、サイドロープらしきものが見られる。サイドロープはプローブの走査方法によっては、信号処理時には近距離部での虚像の原因となるため、最大限抑える必要がある。

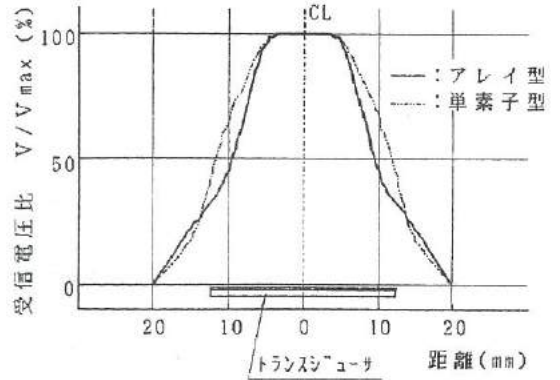


図2 指向特性-I
Fig.2. Comparison of directivity of array and single element type (I).

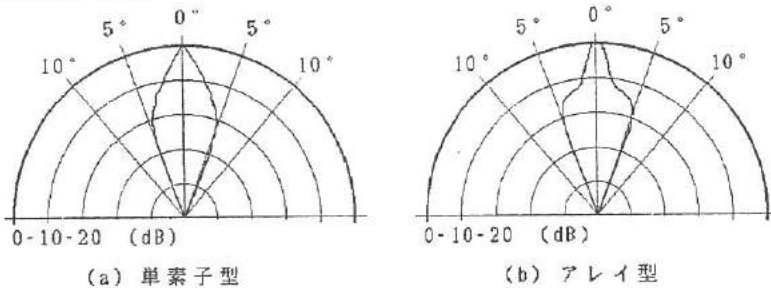


図3 指向特性-II
Fig.3. Comparison of directivity of array and single element type (II).

2. 4 距離と減衰の関係

図4は各トランスジューサの受信電圧の減衰特性と距離の関係を示す。図における測定は、シリコンオイル槽内でトランスジューサの発振面中心部から40mmの位置に反射板（銅板）がある時の受信波電圧を基準（100%）として、20mmずつ離して行った時の受信波電圧の変化を測定したものである。

単素子型は焦点を作為的に設けるような加工をしていないにもかかわらず、焦点でもあるかのように、ある距離で大きく減衰している。アレイ型ではそのような特性は見られず、受信波電圧は距離に対して比例的に減少している。すなわち、アレイ型では受信波のデーター処理時に、距離に依存する特別な補正値を与える必要はないことになる。

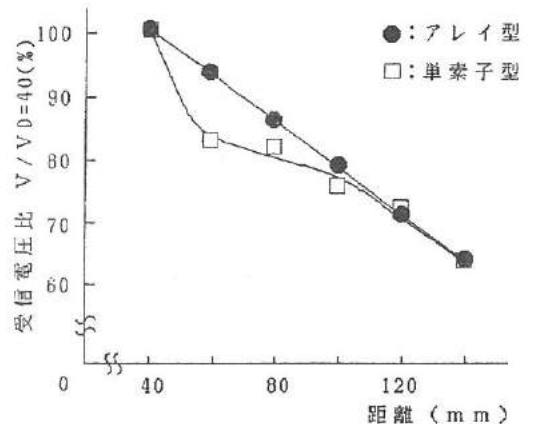


図4 減衰特性
Fig.4. Comparison of attenuation of array and single element type.

3. 超音波診断装置の製作

3.1 リニアアレイ型プローブの試作

一般的に超音波トランスジューサの走査は、リニア走査、セクタ走査という方法が用いられる。両方法とも、幅の狭い圧電素子からなる数十から数百個の振動子を直線的に等間隔で配列した構造のプローブを使用している。セクタ方式はそれぞれの配列振動子の駆動するタイミングをずらすことによって任意の方向に超音波ビームを偏向させるため、走査面の角度が自由に変えられる。そのため、深部の視野は広いが近距離での視野は狭く、また、深部での分解能は悪い。一方、リニア方式は超音波の放射を複数個の配列振動子のグループで行い、組合せを一つずつずらして超音波を密に走査するため、近距離部の視野が広い、深部での分解能が良いおよび装置の規模が比較的小さくて済むなどの利点がある。このため、今回製作した超音波プローブはリニアアレイ型走査方式とした。

図5は試作した超音波プローブの動作原理を示す。図ではまず、同時駆動する1グループの配列振動子の数を3個とし、仮に振動子1から3まで励振したとすると、超音波パルスは振動子2を中心として放射される。また、対象物からの反射波は同じ振動子1から3で受信される。次に、スイッチを切り換え、振動子2から4を励振すると、同様に振動子3を中心として超音波パルスが放射され、送受信が行われる。この動作を順次繰返すことでリニア走査を行う。

図6は試作した超音波プローブの全体図とトランスジューサ部の拡大図である。図において、トランスジューサ部では圧電体上部の電極（銀ペースト）を切断して、大きさが $2 \times 2.0 \times 0.5$ mmで間隔が0.5 mmの短冊形振動子を20個形成し、受信回路とのインピーダンス整合をとるためそれぞれの電極間に5.6 k Ω のチップ抵抗を接続した。また、振動子全体の表面に電気的な絶縁と音響整合層としての役目を持ったブタジエンゴムでモールドした。表3はそれぞれの材料の音響インピーダンスの一例⁽²⁾を示す。

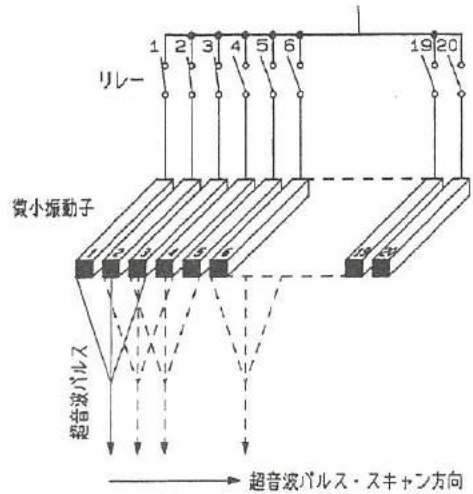


図5 リニア電子走査法
Fig.5. Outline of linear electronic scanning method.

表3 各部の音響インピーダンス
Table 3. Acoustic impedances of each part.

| PZT充填量 | 80 (wt%) | 85 (wt%) | 90 (wt%) |
|--------------------|----------|----------|----------|
| 比重 | 3.0~3.1 | 3.1~3.2 | 3.2~3.3 |
| d33(pC/N) | 10~15 | 40~50 | 80~90 |
| d31(pC/N) | 7.0~8.0 | 10 | 20 |
| ϵ_s (kHz) | 30 | 40 | 50~55 |

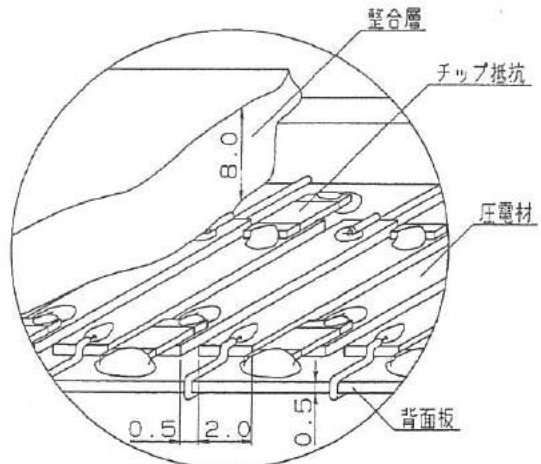
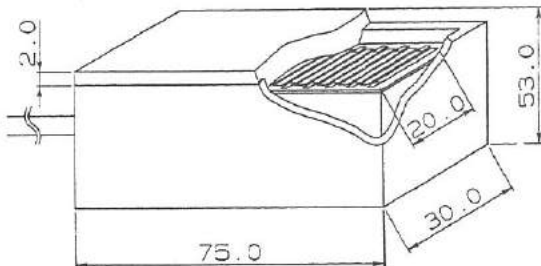


図6 超音波プローブの構造図
Fig.6. The structure of ultrasonic probe.

3.2 超音波診断装置の試作

この装置は、リニア走査によって得られた対象物の超音波静止画像を、パソコン(PC-9801)のCRT画面に表示するのが目的である。

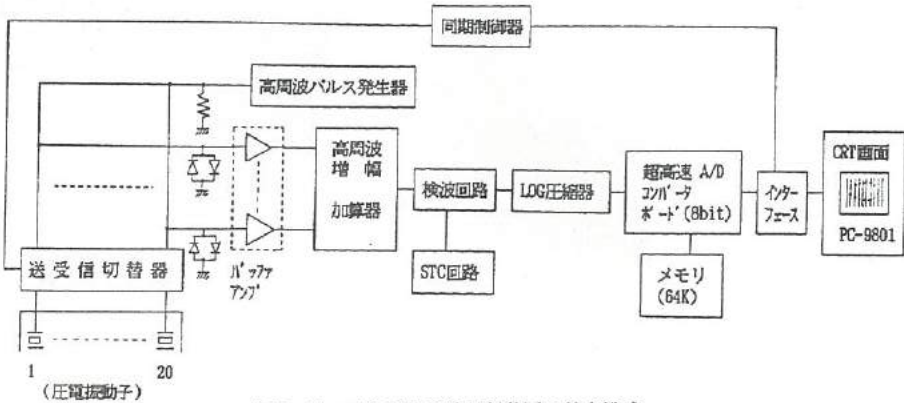


図7 リニア走査超音波診断装置の基本構成
Fig.7. Schematic diagram of ultrasonic diagnosis equipment of linear electronic scanning type.

図7は試作したリニア走査超音波診断装置の基本構成を示す。まず、高周波パルス発生器には、コンデンサに蓄えた電荷をスイッチング素子(パワーFET)を用いて放電する方法を採用し、パルス高さ250Vp-p、幅0.5μsecの電気パルスを発生させ、送受信切替器で選択された1グループ(3個)の圧電振動子群に印加し、超音波を放射する。対象物からの反射波(エコー)は、送信時と同じグループの圧電振動子群によって電気信号に変換されるが、各振動子ごとに接続されたバッファ・アンプを通して受信部に入る。このため、各振動子からの受信信号は独立して処理することができる。

受信部は高周波増幅器、加算器、検波器、STC(利得制御信号発生器)、LOG圧縮器などで構成されている。加算器によって合成された受信信号は、高周波増幅器で約30dB増幅され、STC回路によって遠近の入力信号の強弱を補正した後、検波器に入る。増幅、検波された受信信号は、小信号も大信号も変化を見やすくするために、ダイナミックレンジが50dBのLOG変換器を用いて、信号のレベル圧縮処理を行った。このような信号処理を施された受信出力は、デジタル処理部に入る。

受信波のアナログ出力は、超高速A/Dコンバータボード(変換速度: MAX50MHz/s, 8bit)によりデジタル化され、60Kbyteのメモリに蓄えられた後、パソコン(PC-9801)によって2値化等の処理を施し、リニア走査の結果をCRT画面に表示する。図8はリニア走査処理プログラムの概要を示す。

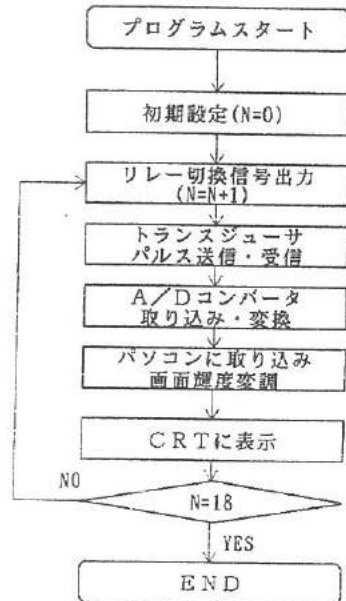
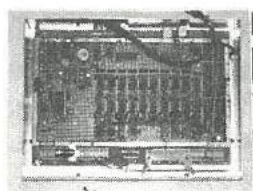


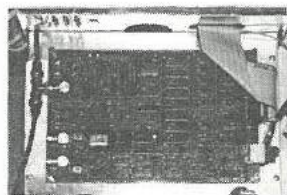
図8 リニア走査処理プログラムの概要
Fig.8. Flow chart of linear scanning process.

3. 3 実験結果と考察

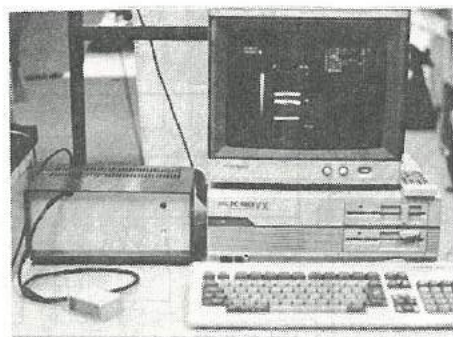
図9は試作したアナログ処理ボード部、超高速A/Dボードおよびシステムの外観を示す。



(a) アナログ処理ボード



(b)超高速A/Dボード



(c)システムの外観

図9 超音波診断システムの概要
Fig.9. Appearance of ultrasonic diagnosis equipment.

まず、試作した超音波プローブの動作周波数を測定するため、EIAJ規格AM-1B⁽²⁾に準じて、水中に設置した反射板からのエコーを観察した。図10は反射板からのエコー波形の一例を示すが、図から動作周波数 f_w を計算すると、

$$f_w = \frac{2}{\Delta T} = \frac{2}{1.74} = 1.1 \text{ MHz}$$

となった。その結果、一般の医用超音波プローブの公称周波数(2.5~5MHz)と比較してやや小さい値となった。この値は、プローブの駆動パルス幅(本研究では0.5 μ sec)に大きく左右されるが、さらに、プローブを構成する圧電振動子、背面制動材、整合層等の音響的要因にも影響を受けるものと考えられる。

次に、本装置では測定対象物の超音波画像を得るため、超音波プローブを電気的にリニア走査し、その受信強度を15階調の白黒画面輝度(グレイスケール)に分割し、CRT画面に表示する方法を採用した。また、画像を取り込む際は、予め測定対象物からのエコーが最大となるようにプローブの角度を適正に調整した。図11は水中にある3枚の亚克力板の超音波静止画像を示す。また図12は水中にある樹脂製キャップの超音波静止画像を示す。いずれも画像表示に要する時間は約20秒であった。この画面表示に多くの時間を要する理由は、安価に処理するためにパソコン本体を利用して画像を描いているためであり、表示時間を速くするためにプログラムの工夫やパソコンに演算プロセッサの使用およびBASICプログラムをコンパイルす

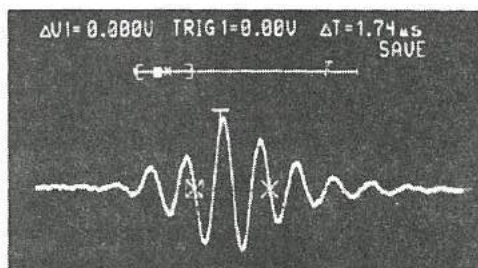


図10 反射板からのエコー波形
Fig.10. Wave form of echo from reflection plate.

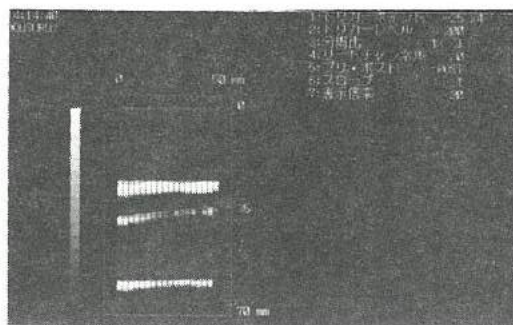


図11 水中の亚克力板の超音波静止画像
Fig.11. Static images of acrylic plastic board in water.

る等の手段を講じたが、十分に速く画像表示することはできなかった。しかし、走査本数が18本と少ないため画面は粗くなったものの、適当に配置された測定対象物は概ね判別できる結果となった。

従って、本装置を実用化するためには、(1)精密加工により微小振動子の数を多くし、分解能を向上させる、(2)超音波プローブの動作周波数を高くし、適度な指向性を持たせる、(3)DSC(デジタルスキャンコンバータ)等を利用してリアルタイムで映像化する、等の課題が残る結果となった。



図12 樹脂製キャップの超音波静止画像
Fig.12. Static image of plastic cap.

4. 結 言

本研究では、前回に引き続きエポキシ系高分子圧電材料を用いた簡易超音波診断装置の開発を目的として、トランスジューサの送受信利得の向上、トランスジューサの構造の再考、受信波信号のパソコン内取込み、さらには、CRT画面上での超音波画像表示を試みた。その結果、次の結論を得た。

- (1) PZTの充填量を増加することにより送受信利得が改善された。
- (2) トランスジューサの指向性は、アレイ型は単素子型に比較して指向特性が改善される。
- (3) 試作した超音波プローブの動作周波数は1.1MHzであった。
- (4) 対象物の超音波静止画像の表示に要する時間は約20秒であった。
- (5) 試作した超音波診断装置で、適当に配置された対象物を概ね判別することができた。

文 献

- (1) 塩崎 忠 監修：新・圧電材料の製造と応用 P189~204
- (2) 日本電子機械工業会編：医用超音波機器ハンドブック

VI. 障害者のための学習性を有する マンマシンシステムの研究

- 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究 -

Study of the Self-Learning Man-Machine
System for The Disabled

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

土田 隆一 大島 淳一 山本 敏幸

TUCHIDA Ryuuichi · OSHIMA Junichi · YAMAMOTO Toshiyasu

Abstract

We have been developing a multichannel stimulator for two years, and improving on the 2ch device into 4ch stimulator. This device has a distinctive, certain stimulating control system. At first, the receiving antenna receives 10Mhz carrier wave. This wave passes through a wave detector. The circuit makes D/A set data and triggers the signal, and to make timer 1 and timer 2. These timers decide the stimulating voltage and the stimulating period (200 μ s). The output voltage has a variable range (0mV to -15V), and it is transformed into the analog signals by a 8 bit D/A convertor. The output voltage 1LSB is about -58.5mV. We have some plans for the both sides-telemetry system. This system is realized by the two micro computer devices. Telemeter will have a 8ch stimulator and an EMG-measuring system. EMG-measuring system contains 10 bit A/D converter, LPF, HPF, and voltage amps, etc. The size of telemetry device on circuit board will be about 50mm \times 50mm.

1. 緒言

近年、脳卒中や頸髄損傷などによる四肢麻痺、また脳性麻痺、多発性硬化症、原発性脊髄側湾症などの患者にFES (Functional Electrical Stimulation : 機能的電気刺激) を適用する事によって、運動機能を回復する研究が進められている。FES装置は外部から経皮的電極を使用し、刺激を与える物が多く、心臓ペースメーカの様に完全埋め込み型の物は少ない。本研究は、昨年度に引き続き完全埋め込み型電気刺激装置を開発する事を目的とし、多チャンネル化、小型化を狙った物である。また、最終年度の双方向化テレメータへの応用をふまえて、原理試作図を下に改良を加えたものである。

研究は以下のステップで進めた。

- 1) 最終段の検討
- 2) 多チャンネル化の検討
- 3) デバイス削減の検討
- 4) 双方向テレメータ化への検討

なお、動物実験については、4)の双方向テレメータ化への過程として、第一試作基板を起こした段階でポータブル刺激装置として臨床データを取る。その後、回路の安全性等を確認し、埋め込み化して動物実験を行う。完全埋め込み型システムの応用例として、脊髄(頸髄)損傷患者や寝たきり老人への失禁防止の為の膀胱ペースメーカ等に利用できる。その場合、4CH程度が必要なため、多チャンネル化をはかる。

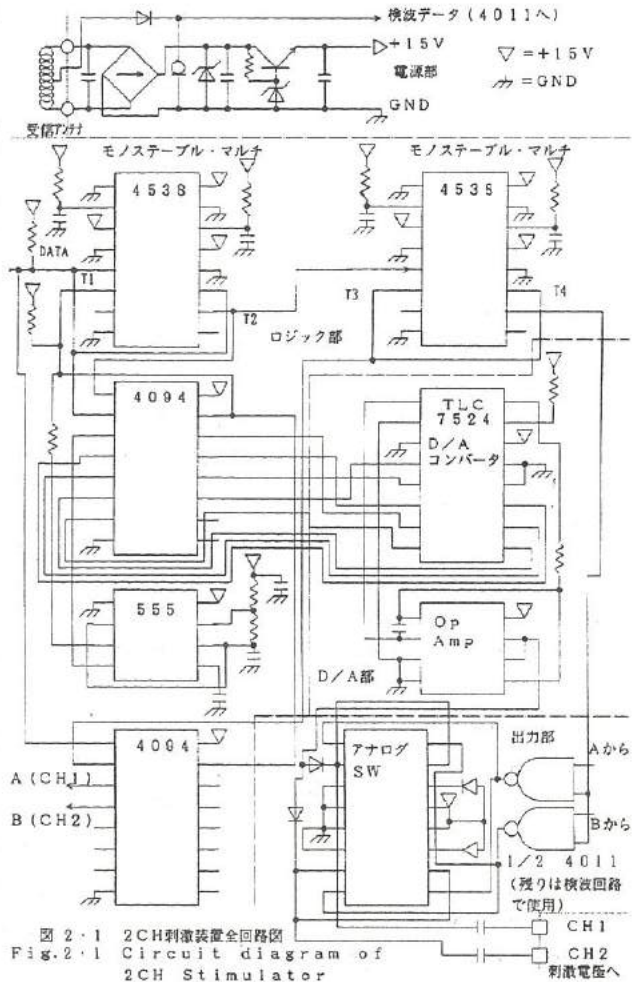


図 2.1 2CH刺激装置全回路図
Fig.2.1 Circuit diagram of 2CH Stimulator

2. システム概略

2-1 FES装置

初年度に作成した2CH刺激装置の全回路図と制御ロジック部のブロック図を示す。(図2.1, 図2.2参照)

この装置の問題点として、

- 1) 刺激電圧として、最大15Vが必要なため、回路電圧が高い。
- 2) 使用するデバイス(IC)がロジック部5個、D/Aコンバータ部、出力段で4個、合計9個と多い。

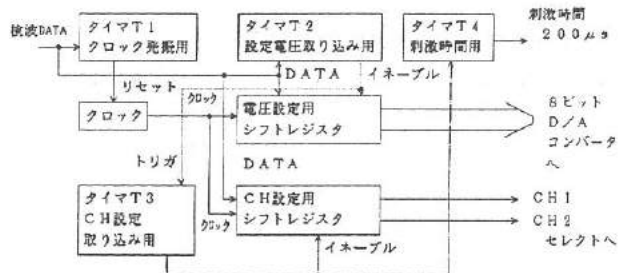


図 2.2 ロジック部の制御ブロック図
Fig.2.2 Control block diagram of logic units

- 3) CH数を増やす毎にICが1個増える。(2CH
当たり、アナログSWが1個必要)

等があった。

また、回路の動作確認時等で判明した問題として、

- 4) D/Aコンバータの電源に負電源が必要。
5) 双方向化テレメータに応用する場合に、筋電測定
が出来ない。
6) 現行のポータブル刺激装置と互換性がない。

等があった。

2-2 仕様変更

以上の問題を解決するために、現行仕様を変更した。

- 1) 電源電圧をロジック部等制御するブロックは+5V、出力部に必要な-15Vは別系統とした。これによって、現行のポータブル刺激装置と互換性が保て、省電力化となった。
- 2) ロジック部とシーケンスを見直し、制御ソフトウェアの変更とロジックの変更を行った。これによって、シーケンスの制御が確実にした。また、ICデバイスも9コから6コまで減らせた事から、埋め込み装置へのめどがついた。
- 3) 出力段をアナログSWICからトランジスタ2個のSWへ変更した。これによって、多チャンネル化(最大10CH)及び小型化が可能となった。

*表1参照

2-3 4CH刺激装置

本年度で完成した4CH刺激装置回路図とロジック図、シーケンス図を示す。(図2・3、図2・4、図2・5参照)

回路図において、電源部は倍電圧回路に変更し、正・負電圧が取り出せるようにした。また、検波回路は受信アンテナの入力から取り出すようにして、リプル・カウンタ(4040)へ直接入力している。ロジック部の構成はタイマー(モノステーブル・マルチ)、リプル・カウンタ(D/Aデータ設定用)、10進ジョンソン・カウンタ(CH設定用)となっている。シーケンスの動きとしては、

検波回路からデータが入ってくると、モノステーブル・マルチにトリガがかかり、タイマーT1が発生する。このT1でリプル・カウンタはリセットがかかり、データを取り込みカウントする。カウントしたデータどうりに4040は8ビットのポート出力を設定し、D/Aコンバータ(TLC7524)の出力電圧を決める。(0Vから-15Vまで1LSB当たり58.5mVの分解能)T1が終了後、T2が始まり、刺激時間である200μsの間、ジョンソン・カウンタで設定されたCHとNANDを取り、

表1 現行仕様表(改訂後)
Table1 The revised specification

| 4ch刺激装置 | |
|---------|-------------------|
| 方式 | 外部コントロール 完全埋め込み方式 |
| パッケージ材質 | チタニウム |
| 電力伝送方式 | M結合 |
| 搬送波周波数 | 10Mhz |
| 刺激パルス幅 | 200μs |
| 刺激パルス電圧 | Min 0V Max -15V |
| 刺激周波数 | 50ms(20hz) |
| 使用デバイス | IC 6個 |
| 電源 | 二電源(+5V, -17V) |
| 出力部の構成 | トランジスタSW |

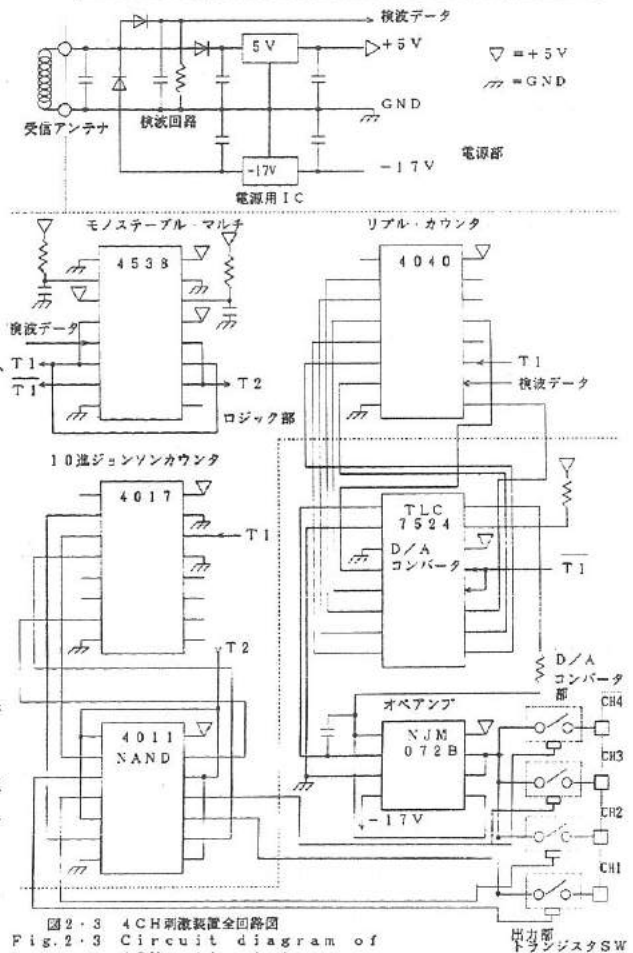


図2・3 4CH刺激装置全回路図
Fig.2.3 Circuit diagram of 4CH stimulator

そのCHのトランジスタをONする。ONされたトランジスタはD/Aコンバータで設定された電圧を刺激電極から引き込む。これで、刺激電極からマイナス電位が発生し筋肉を刺激する。その後、CH1からCH4までのローテーションを繰り返す。

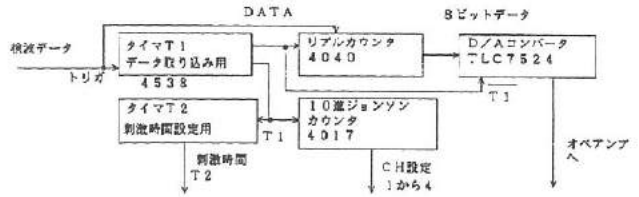


図2・4 4CH刺激装置ロジック図
Fig. 2-4 Control block diagram of logic units

3. 結果

3-1 D/Aコンバータの特性

D/Aコンバータの特性を示す。理論的には15V/256=58.6mVの分解能を持つはずである。(表3・1参照)

D/AコンバータはD/AコンバータICとOPアンプからなり、電圧の振れ幅はTLC7524のVrefに依存する。Vrefの設定を変化させてD/Aコンバータの特性を観測した結果を示す。(図3・2参照)

3-2 トランジスタSWの出力抵抗

出力部の絶縁性を考えた場合、CHのSWがオフしているときの絶縁抵抗は高いほうがよい。実際に測定した結果を示す。(表3・2参照)

3-3 実際の動作

PC9801に内蔵したウェーブジェネレータを使用して、4CH刺激装置を動作させた結果を示す。(図3・3, 図3・4参照)

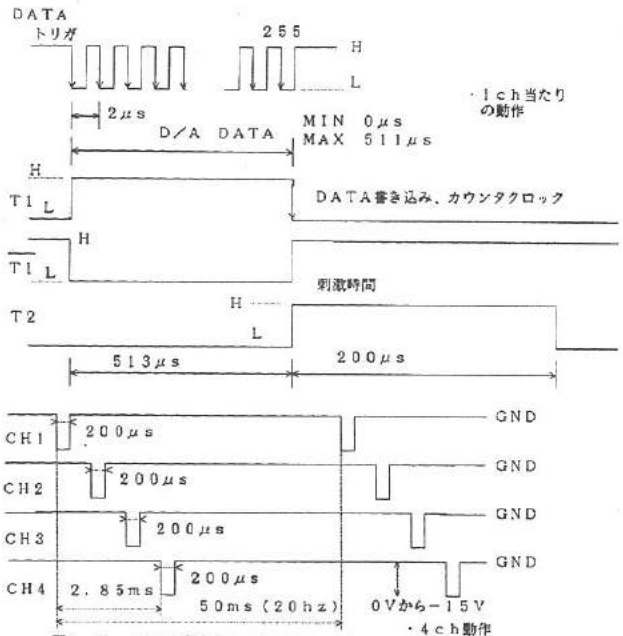


図2・5 4CH刺激装置タイミングチャート
Fig. 2-5 Timing chart of logic system

表3・1 D/Aコンバータの特性(計算値) Vref=5Vの場合
Table 3-1 A specification of D/A converter

| HEX | DEC | MSB | bin | LSB | アナログ出力 | D/A部の出力 | | | | | |
|-----|------------|-----|-----|-----|------------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| FF | 255 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -4.98V | -14.94V | | | |
| 81 | 129 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -2.52V | -7.56V | |
| 80 | 128 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2.50V | -7.50V | |
| 7F | 127 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -2.48V | -7.44V | |
| 01 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -16.5mV | -58.6mV |
| 00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0V | 0V |
| 備考 | D/A書き込みデータ | | | | D/Aコンバ-タ出力 | D/A部としての出力(3倍) | | | | | |

4. 考察

4-1 D/Aコンバータの特性

図3・2からVref=5.00V(最大値)に設定しても、設定データどおりに電圧設定されない事が判る、また逆にVref=4.23V(最小値)の場合はデータが255(DEC)でも-15Vにならず、分解能が低下している事が判る。Vref=4.73Vの場合(DEC128で-7.5Vに設定した場合)、一番理論値に近い特性となっている。これは実際のVref電圧設定の目安となる。誤差は5LSBなので、これが影響していると思われる。

D/AコンバータICの直線性は1LSBで保証されているがゲイン

4-2 トランジスタSWの出力抵抗

トランジスタSWの構成はPNPTrとNPNTrの組み合わせとなっており、出力部はスイッチング素子として使用している。通常、エミッタ接地の出力抵抗 r_{oe} は、近似的に、

$$r_{oe} \approx \frac{1}{h_{oe}}$$

だいたい10から200kΩ程度となる。実測した結果から、絶縁性に関しては問題がない。

さらに出力段の安全性を高めるために、逆流防止用ダイオードを追加する事も考えられるが、その場合負電源の電圧をさらに下げる必要があるため、検討の余地がある。

4-3 実際の動作

4chの切り換え動作としては、うまく動作している。データパルスのカウントにシーケンスを変更したので、クロックの変化による、データ取り込みエラーが無くなって、昨年のものより信頼性が高まった。

8chにする場合でも、4011(NAND)を一個追加するだけで可能なため、小型化に適している。

5. 今後の方針

刺激装置のロジック動作としては、このままでよいと思われるため、シーケンスをマイコンソフトウェアに置き換えたほうがより小型化が可能になる。また、マイコンを使用した方が双方向テレメータに適している。

刺激装置(ハード)の研究課題として、

- ・電源部の改良
- ・アンテナの高効率化
- ・安全装置の検討

などがある。

また、双方向テレメータの検討項目として、

- ・ハードロジックをマイコンソフトへの置き換え
- ・EMG Amp(筋電測定用アンプ)の検討
- ・その他

などがある。

双方向化テレメータにした場合のブロック図とEMG

Ampの予想図を示す。(図5-1, 図5-2, 図5-3参照)

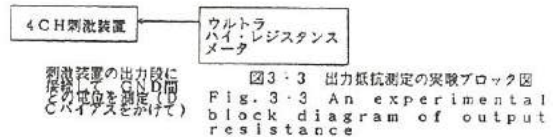
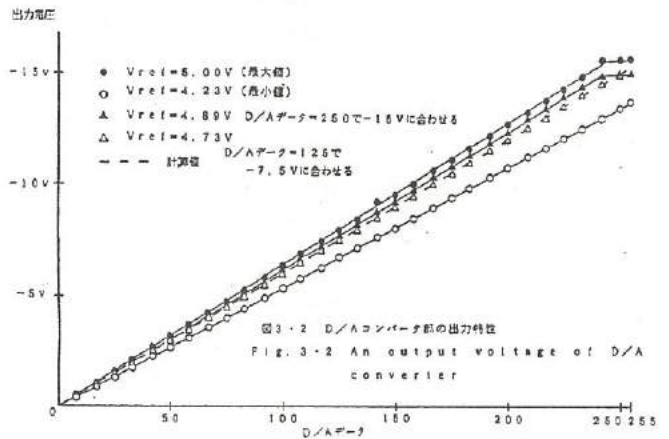
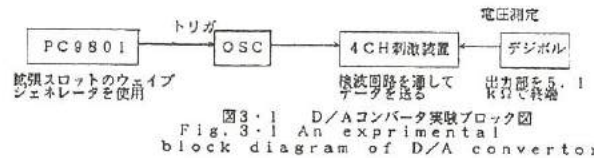
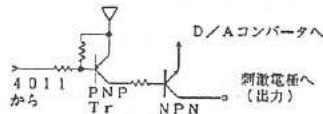


表3-2 出力抵抗の測定結果
Table 3-2 Results of output resistance.

| バイアス電圧 | CH1 | CH2 |
|--------|---------|---------|
| DC 0V | - | - |
| 1.0V | 2.0710Ω | 2.1270Ω |
| 5.0V | 8.7010Ω | 9.5870Ω |
| 1.00V | 21.110Ω | 19.570Ω |

T=テラ(10の12乗)



KIKUSUI COM 7202A

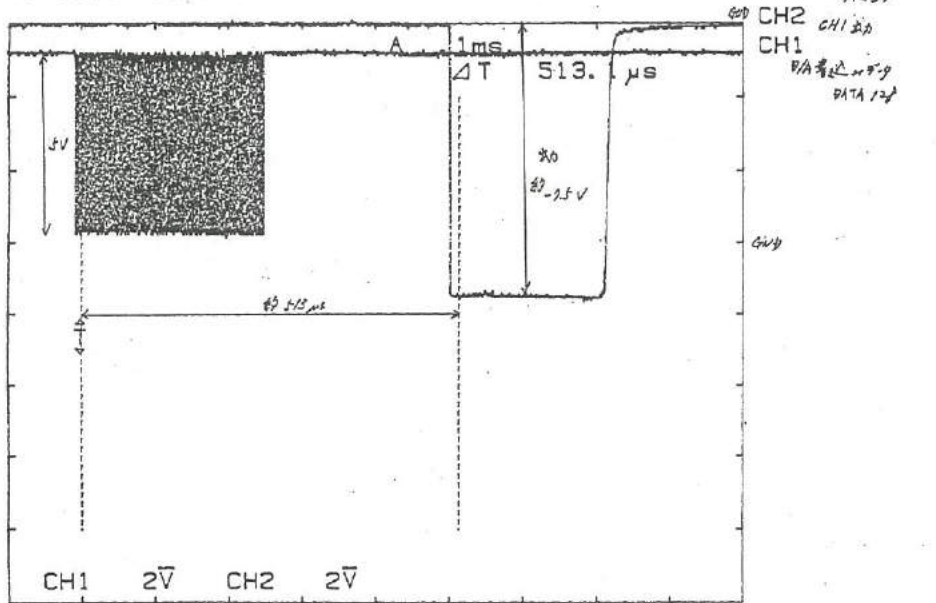


図3・4 実際の動作 1

Fig. 3・4 An example of experimental data 1

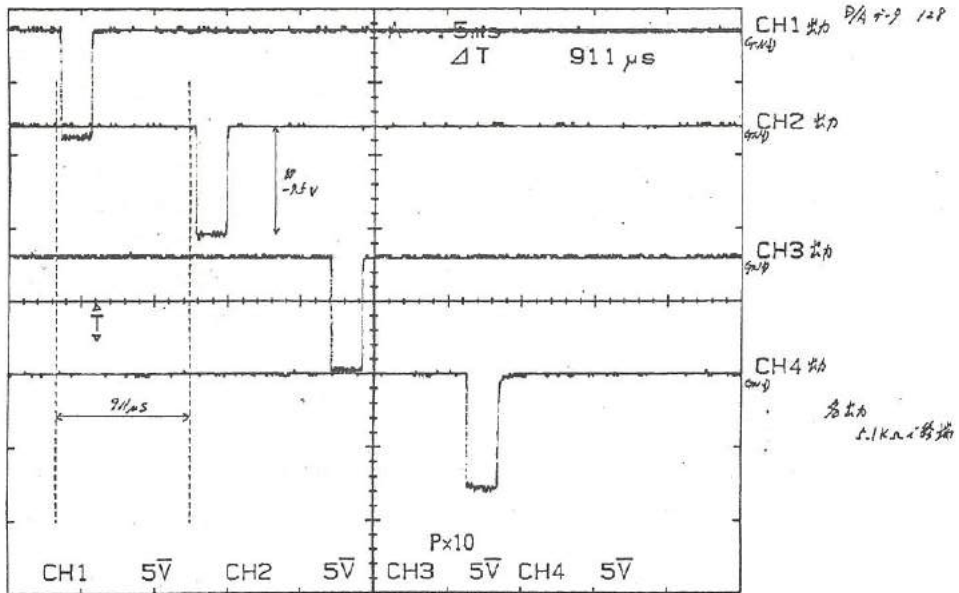


図3・5 実際の動作 2

Fig. 3・5 An example of experimental data 2

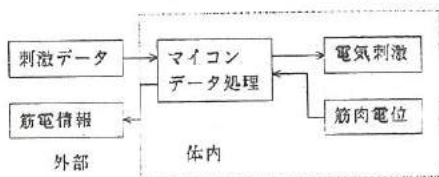


図5・1 双方向テレメータ概略図
Fig. 5.1 A total view of Bothside Telemeter

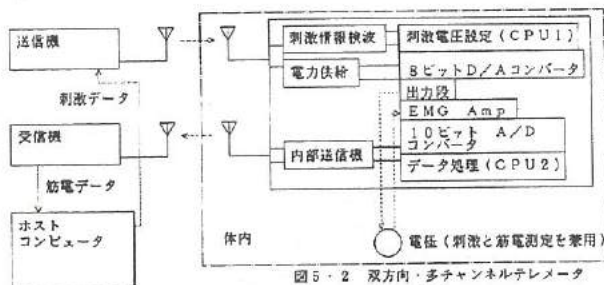


図5・2 双方向・多チャンネルテレメータ
ブロック図
Fig. 5.2 Block diagram of Bothside Multichannel Telemeter



図5・3 EMG Amp ブロック図
Fig. 5.3 Block diagram of EMG Amp.

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に行われた。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、回路の改良において相談にのっていただいた立山科学技術部顧問の島谷 信先生にも深く感謝致します。

最後に、研究を一時中断した事により、関係者の方々に多大の迷惑をかけました事もおわびいたします。

7. 参考文献

- 1) Kenneth Stokes Medtronic, inc: "Implantable Pacing Lead Technology", IEEE Engineering In Medicine And Biology, pp. 43-49, June 1990
- 2) P. Hunter Peckham, Chie W. Poon et al: "Multichannel Implantable Stimulator For Control Of Paralyzed Muscle", IEEE TRANS BIOMED ENG, VOL. BME-28 (7) pp. 530-5 35, JULY 1981
- 3) P. Strojnik, R. Acimovic et al: "Treatment Of Drop Foot Using An Implantable Peroneal Underknee Stimulator", Seand J Rehab Med 19, pp. 37-43, 1987
- 4) 末田 他: マイコンを用いた機能的電気刺激装置について、第51回バイオメカニズム研究会資料、51-59、1985
- 5) 上瀧: 電磁波で生体を測る、電波受験界、100-104、1991
- 6) リニアICデータブック、ナショナル セミコンダクター ジャパン、1988

VII. 薄膜微細加工技術の研究

Study of Microfabrication of Thin Film

船井 俊裕 竹端 精己 松本 岩男 寺沢 孝志 二口 友昭 谷野 克巳

AMEI Toshihiro-TAKEHANA Seiki·MATSUMOTO Iwao·TERASAWA Takashi·FUTAKUCHI Tomoaki·TANINO Katsumi

Abstract

Recently, the miniaturization and high integration of electronic and mechanic component have increased prominently by the use of thin films. The microfabrication technology is necessary for manufacture of high valuable product in addition to the deposit technology of thin film. In this study, we examined the microfabrication of thin film by photo-etching and laser-manufactured process.

The results of this study summarize as follows:

- (1) The microfabrication process of copper thin film by photo-etching was established for spiral type and zigzag type coils.
- (2) After the magnetic properties of these coils were evaluated, the inductance of the spiral type coil held about $4.4 \mu\text{H}$ at 1 MHz, and it showed flat response till 10 MHz. In the zigzag type coil, the inductance held about 190 nH at 1MHz, and it showed flat response till 40 MHz. The trial product of transformer was attempted to combine these coils with magnetic thin film and thin film of insulator.
- (3) In YAG laser-scribed manufacturing process, the microfabrication of only thin film was possible on the position with vertically movement of lens focus.
- (4) The measurement of AE with laser-scribed manufacturing process demonstrated effect for the position fixation of lens focus and working surface.

1. 緒言

近年、電子部品、機械部品の小型化、高密度化に伴い、金属やセラミックス等の各種薄膜の利用が盛んであるが、より高付加価値の製品を製作するためには、成膜技術に加えて、薄膜の微細加工技術が不可欠である。本研究では、フォトエッチング及びレーザー加工を用いる薄膜の微細加工法について検討した。

フォトエッチング法は、半導体集積回路からプリント基板まで、非常に多くの電子部品の製造に利用され、安価で高性能の電子部品が大量に供給されるようになってきている。また、インダクタやトランス等の磁気素子の小型化、薄膜化は、これまで比較的取り組みが遅れていたが、最近、信号処理の高周波化や電源の分散化、さらには半導体素子との複合化等も志向され、あらためて注目されている⁽¹⁾。本研究では、磁気素子の小型化、薄膜化を目的に、微細加工技術の研究を進めた。まず、コイル用の導電材料として電気伝導度の大きい銅を用い、これの微細加工方法を検討し、さらに、コイル形状と磁気特性の関係について調べた。つぎに、これらと磁性体薄膜を絶縁体薄膜を介して組み合わせたインダクタやトランス等の磁気素子の試作を検討した。

また、レーザー加工法は非接触で局所的な加工が可能で、高速化や自動化が容易であるなどの利点がある。反面、微細加工を目的に薄膜などの微小な領域加工をする場合、レーザー加工条件や材料表面状態によっては加工形状や加工溝深さが不均一となったり、基板まで加工されてしまうことがある。本研究では、YAGレーザー加工機を用いた薄膜などのスクライブ加工において、Qスイッチによるパルス繰り返し周波数、加工速度、レンズ焦点距離などの加工条件と加工領域の関係及び加工時のAEセンサ平均出力値との関係から溝加工形状の品質向上について検討を加えた。

2. フォトエッチング法による薄膜微細加工

2.1 実験方法

(1) 薄膜パターン作製方法

図1はフォトエッチング法による薄膜微細パターンの形成プロセスを示す。また、表1はスパッタの条件の一例を示す。

図において、(a)は無アルカリガラス上に3極マグネトロンスパッタにより、CrとCuをスパッタした状態を示す。

(b)はレジスト膜をスピナによって塗布した状態を示す。

(c)は薄膜微細加工用パターンの版を重ねてレジストを露光した状態を示す。

(d)はレジストを現像し、パターン化した状態を示す。

(e)はCuをウェットエッチング、Crをドライエッチングした状態を示す。

(f)は不要になったレジストパターンを除去した状態を示す。

微細加工された薄膜の膜厚は、表面粗さ計を用いて段差を測定することで評価し、パターンの仕上がり寸法は、光学顕微鏡によって測定した。

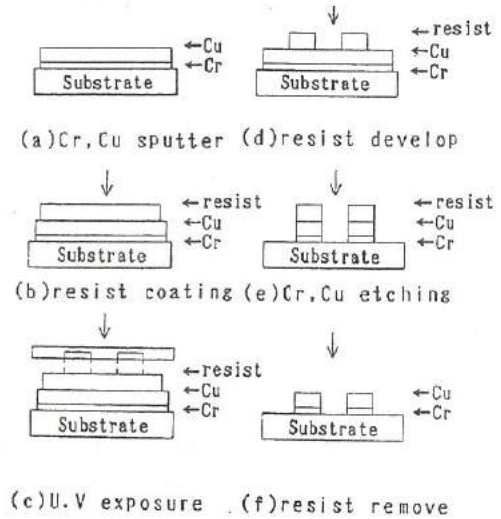


図1 薄膜パターン形成プロセス

Fig.1. Microfabrication process.

表1 スパッタの条件と膜厚

Table 1. Sputtering conditions of Cr or Cu, and thickness of these thin films.

| 条件 | Cr(クロム) | Cu(銅) |
|--------|--------------|-------------|
| スパッタ出力 | 150W | 100W |
| 雰囲気ガス | Arアルゴン | Arアルゴン |
| スパッタ時間 | 1min | 30min |
| 膜厚 | 0.01 μ m | 2.5 μ m |

2.2 実験結果及び考察

(1) レジストパターンの形成

図2はスピナの回転数及び回転時間とレジストの膜厚の関係を示す。図から、膜厚が1.0~2.0 μ mの間では、回転数が2000~5000rpm程度でコントロール可能であり、回転時間には影響されない。

図3はパターン形成に必要な露光時間と現像時間の関係を示す。図より、露光時間が短い場合は現像時間を長くする必要があるが、不要なレジストが残存する場合があった。反対に、露光時間が長い場合は現像時間は短くて済むがレジストのパターン幅がマスクより小さくなる傾向を示した。

図4は露光時間120秒の場合の現像後のレジストパターンを示す。マスクよりレジストのパターン幅が小さくなっている。

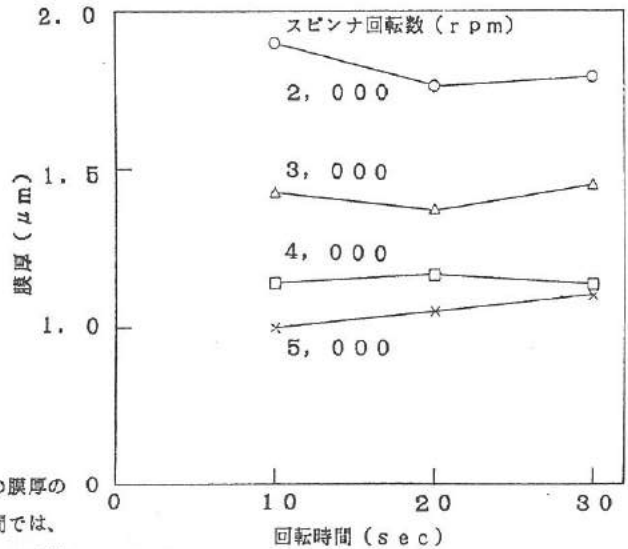


図2 レジストの塗布時間と膜厚の関係

Fig.2. Relation between revolutions time of resist and thickness of film.

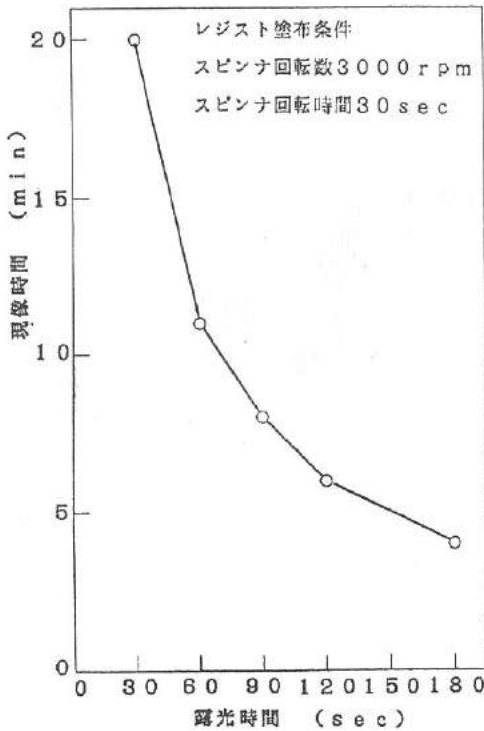


図3 レジストの露光時間と現像時間の関係
Fig.3. Relation between exposure time and develop time of resist.

(2) エッチング

銅のエッチング液には塩化第2鉄水溶液を用い、エッチング条件は60℃、45～60秒で行った。図5は、銅エッチング後のパターンを示す。図から、銅がサイドエッチングされ、パターン幅が小さくなっていることがわかる。

表2はCrのドライエッチング条件の一例を示す。

RF出力200Wではレジストへのダメージが大きく、100WではCrが残ってしまった。

2.3 薄膜コイルの試作

図6はうず巻型コイルの形状と電気的特性の関係を示す。図7はジグザグ型コイルの形状と電気的特性の関係を示す。

図6より、うず巻型コイルのインダクタンス(L)はほぼ巻数の2乗に比例している。bを大きくすれば実効線路長さが長くなりインダクタンスは大きくなるが、占有面積が大きくなるため微小なコイルを製作するには有利ではない。

図7より、ジグザグ型コイルのインダクタンスは、ジグザグ繰り返し間隔に影響はなく、繰り返し数に比例している。

図8はうず巻型コイルの周波数特性を示す。図より、10MHzまではほぼ均一なインダクタンス特性が得られた。

図9はジグザグ型コイルの周波数特性を示す。図より、40MHzまではほぼ均一なインダクタンス特性が得られた。

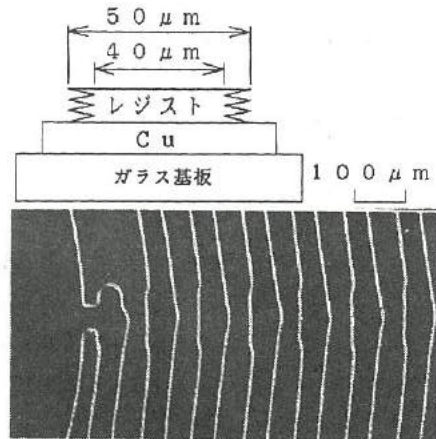


図4 レジスト現像後のパターン
Fig.4. The state of resist surface after resist

develop.

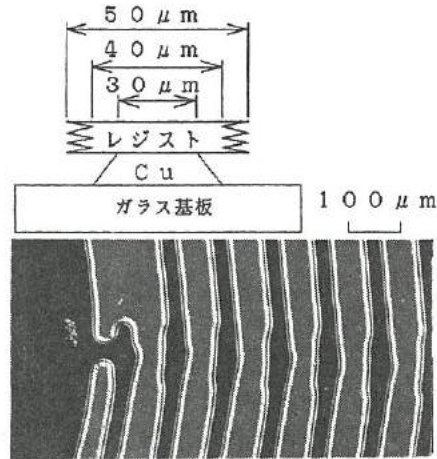


図5 銅エッチング後のパターン
Fig.5. The state of resist surface after Cu etching.

表2 ドライエッチングの条件

Table 2. Dry-etching condition.

| | |
|---------|--------------------------|
| RF出力 | 150W |
| エッチングガス | CCl ₄ (4塩化炭素) |
| ガス流量 | 15 CC/min (0℃, 1atm) |
| エッチング時間 | 3~4min |

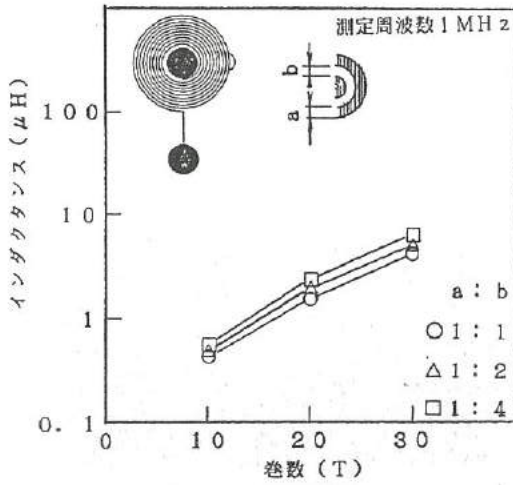


図6 うず巻型コイルの形状と特性

Fig.6. Relation between shape of spiral coil and inductance.

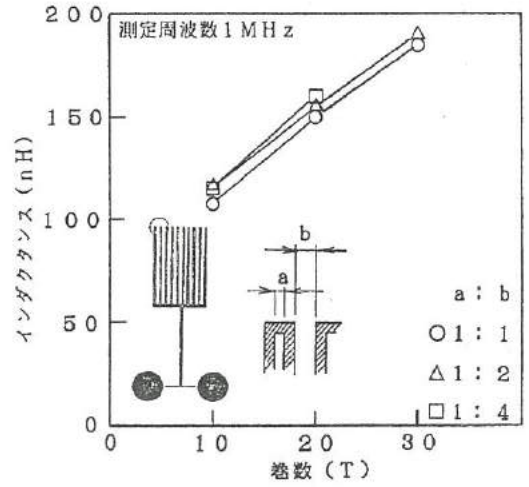


図7 ジグザグ型コイルの形状と特性

Fig.7. Relation between shape of zigzag pattern coil and inductance.

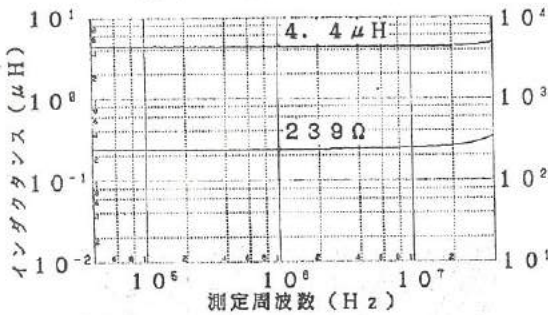


図8 うず巻型コイルの周波数特性

Fig.8. Frequency characteristics of spiral coil.

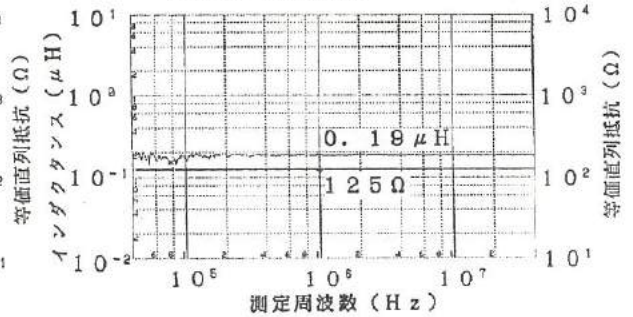
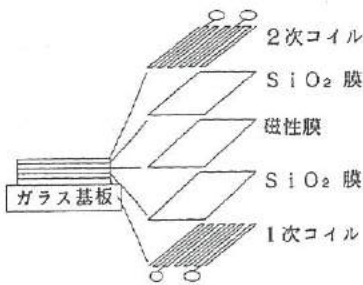


図9 ジグザグ型コイルの周波数特性

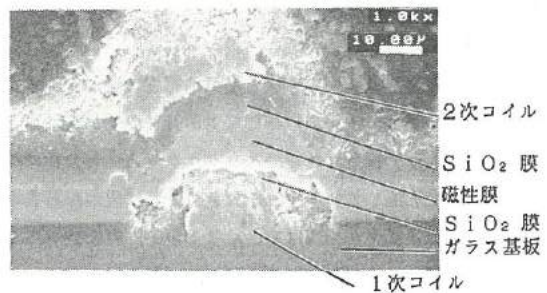
Fig.9. Frequency characteristics of zigzag pattern coil.

2. 4 薄膜トランスの試作

図10 (a) は本研究で製作した薄膜トランスの構成図を示す。図において、トランスはガラス基板上に1次コイルパターンを形成し、その上にSiO₂の絶縁膜をスパッタする。さらに、磁性膜をスパッタし、SiO₂を再度スパッタした上に2次コイルを形成する。それぞれの膜厚は、1次と2次コイルは2.5 μm、SiO₂は1.6 μm及び、磁性膜は2.3 μmである。



(a) 構成図



(b) 断面写真

図10 薄膜トランス

Fig.10. Thin films transformer.

図10(b)は試作薄膜トランスの断面写真である。図より明らかであるように、現在1次コイルパターンのエッジ部分で絶縁膜のSiO₂が破壊し、コイルと磁性膜の絶縁が不十分であり、絶縁を強化することは今後の課題である。

3. レーザ加工法による薄膜微細加工

レーザービームを利用した加工技術の一つにスクライブ(溝)加工があるが、薄膜などの微小な領域を加工する場合、加工条件によって加工形状が不均一になったり、基板まで加工が行なわれて微細な割れが入ってしまうことがある。ここでは、YAGレーザー加工機を用いた微小領域のスクライブ加工において、Qスイッチによるパルス繰返し周波数(FQ)、加工速度、レンズ焦点距離などの加工条件と加工領域及びAEセンサ平均出力値(AE)との関係から溝加工形状の向上について検討した^{(2)~(5)}。

3.1 実験方法

図11は実験装置の概要を示す。レーザー発振機には発振モードTEM₀₁でAO・Qスイッチ内蔵の定格出力30W連続励起(CW)方式のYAGレーザーを用いた。焦点距離30mmの集光レンズでレーザービームを集光し、NCコントローラによりXYテーブル上の被加工物を移動させながらスクライブ加工した。表3はこのレーザー加工条件を示す。

この時、テーブル上のAEセンサからレーザー加工時のAEを計測、記録した。AE計測は、比較的低価で小型軽量のAEテストと圧電型のAEセンサを組み合わせたもので、ここでは、HPF(ハイ・パス・フィルタ)を経て増幅されたAE信号を半波整流し、得られた平均値出力電圧をAEとした。

被加工物にはアルミナ基板上に厚さ約10μmのタングステン薄膜電気回路を形成したもの、銅箔の厚さが約35μmのベークライトプリント基板、厚さ約15μmの塩化ビニール系樹脂を塗膜したアルミニウム板を用いた。

溝加工部の形状測定には、スポット径1μmの光触針を有した表面粗さ計を用いた。また、加工断面を光学顕微鏡で観察した。

表3 レーザ加工条件

Table 3. Irradiating condition of laser cutting.

| | |
|----------------|--------------|
| YAGレーザー | |
| パルス繰返し周波数(FQ) | 0.5~4KHz |
| CWレーザー出力 | 15~30W |
| レンズ焦点距離 | 30mm |
| 焦点移動距離 | ±2.0mm |
| 加工速度(テーブル送り速度) | 45~720mm/min |

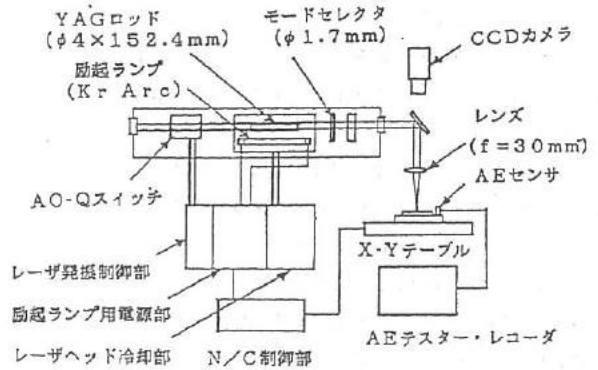


図11 YAGレーザー加工実験装置

Fig.11. The structure of YAG laser apparatus.

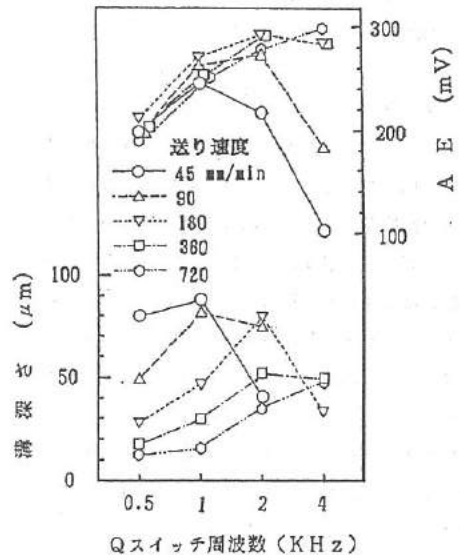


図12 レーザ加工条件と溝深さ及びAEの関係
(材料: Al₂O₃)

Fig.12. Relation between condition of laser cutting, penetration depth and output density of AE sensor on Al₂O₃ substrate.

3. 2 実験結果と考察

3. 2. 1 加工条件と溝深さ及びAEの関係

図12はパルス繰り返し周波数(FQ)と、加工速度を変化させてアルミナ部をスクライブ加工したときの溝深さ及びAEの関係を示す。図から、溝深さはFQと共に増大する傾向を示すが、180mm/min以下の加工速度では、FQが1~2KHzで溝深さが急激に低下し、レーザー加工の不安定な領域が認められる。また、FQが1KHzまでの低い領域では、加工速度が低速であるほど溝深さが大きい。

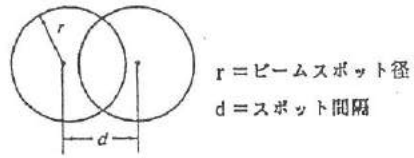
一方、AEは溝深さに影響されないが、FQが高くなると共に増大し、レーザー加工が不安定な領域では急激に小さくなる。

図13はオーバーラップ量の定義を示した。図より、オーバーラップ量はFQとテーブル送り速度から算出したφ60μmのレーザースポットの重なりを割合を表わしている。図14は図12から求めたオーバーラップ量と溝深さの関係を示す。図から、溝深さはいずれの速度においてもオーバーラップ量に強く依存しており、90%から急激に増大する傾向を示している。

このことから、アルミナセラミックスのスクライブ加工においては、オーバーラップ量を基に効率的な加工速度などの加工条件の選定が必要である。

3. 2. 2 薄膜スクライブ加工とAE

図15はアルミニウム板の塗膜面のスクライブ加工において、加工面からビーム焦点位置を上下方向に変えた時の焦点位置と溝深さ、溝幅及びAEの関係の一例を示す。図から、溝深さと溝幅は焦点位置周辺でそれぞれ最大値と最小値に達している。また、この焦点位置から上下に約1.5mmを越えた加工面では、主に、膜厚15μmの樹脂塗膜面だけの加工が認められた。このことは、レーザービームの強度分布がガウス形を保って発散、伝搬することから、焦点位置の離れた加工面では材料の熔融、蒸発に要するエネルギーの小さい樹脂塗膜部のみが加工されたものと考えられる。一方、AEは溝深さの増減に類似した傾向を示しており、アルミニウム材の加工の開始位置で、急激に上昇している。



$$\text{オーバーラップ量 (\%)} = (1 - d/2r) \times 100$$

図13 オーバラップ量の定義

Fig.13. Geometrical definition of overlap quantity.

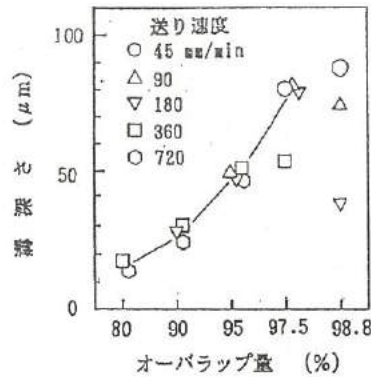


図14 オーバラップ量と溝深さの関係(基板: Al₂O₃)

Fig.14. Relation between overlap quantity by laser cutting and penetration depth on Al₂O₃ substrate.

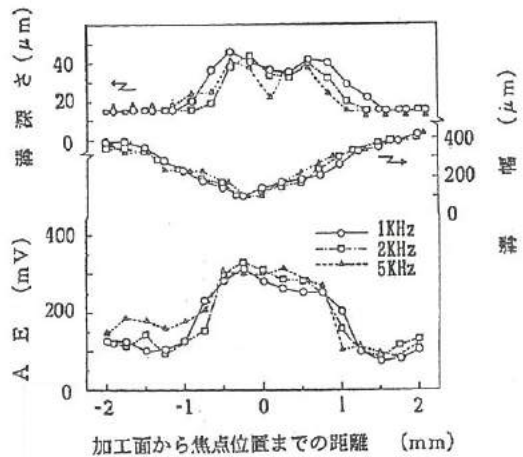


図15 焦点位置と溝深さ及びAEの関係

(基板: 塩化ビニール系樹脂塗膜Al板)

Fig.15. Relation between condition of laser cutting, penetration depth and output density of AE sensor on resin coated Al substrate.

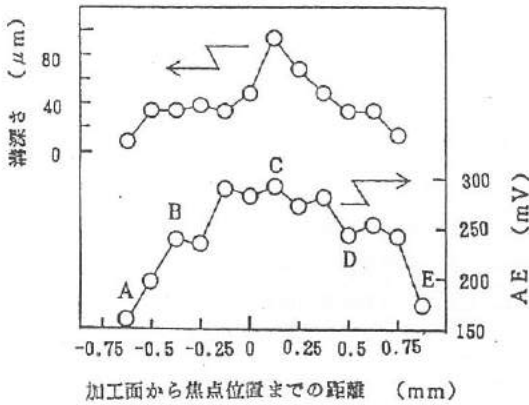


図16 焦点位置と溝深さ及びAEの関係
(基板: Cu/ペークライト)

Fig.16. Relation between position of focus, penetration depth and output density of AE sensor on Cu stucked phenol laminate board.

同様に、図16は銅箔張りプリント基板の加工におけるレンズ焦点位置と溝深さ及びAEの関係を示す。図から、溝深さは焦点位置で最大値となり、その両側に銅箔の厚さ(約 $35\mu\text{m}$)だけ加工されている領域が見られ、AEも溝深さの増減に沿って変化している。図17はこの時の各焦点位置での断面写真を示す。図から、焦点位置より上下に外れた所(図16のBとD)で銅箔だけが加工されている領域があり、その領域でAEの値が段階的に変化している。

また、図18はタングステン薄膜形成アルミナ基板を傾斜させた状態でテーブルを移動し、連続的に焦点距離を変化させながらスクライブ加工した時の、アルミナ素材部とタングステン薄膜部それぞれのAE波形を示す。

図より、この二つの波形を重ね合わせると、焦点位置近くでは重なり合うが、その両側では $\text{W}/\text{Al}_2\text{O}_3$ の方が大きくなっている。この二つの波形の交点位置周辺では、上記の樹脂塗膜や銅箔面と同様に、タングステン薄膜部だけの微小領域加工が観察された。

以上の結果から、AEと溝形状の関係について考察する。一般に、AEは固体が塑性変形もしくは破壊するときに発生する音であって、音声周波数(20~

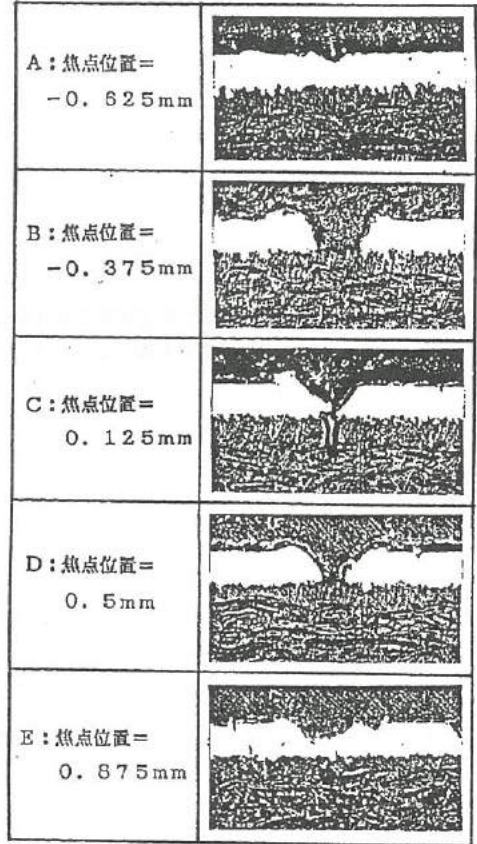


図17 レーザ加工溝の断面(基板: Cu/ペークライト)
Fig.17. Cross section of PC board after laser irradiated.

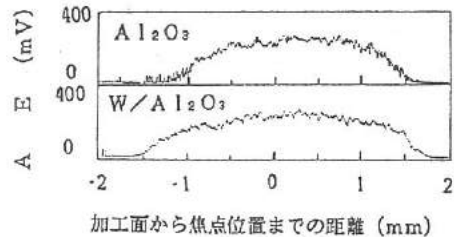


図18 焦点距離とAEの関係(基板: Al_2O_3 と $\text{W}/\text{Al}_2\text{O}_3$)
Fig.18. Relation between position of focus and output density of AE sensor on Al_2O_3 and W thin film coated Al_2O_3 substrate.

20000Hz)以上の超音波の領域を取扱っている。今回のAE計測では被加工物とセンサ形状及びレンズ焦点距離などの制約から、センサ取り付け位置がXYテーブル上であり、材料中に発生したAE波が実験装置中の比較的長い距離を伝搬するため、減衰した信号を検出していることになる。また、原信号も微弱なことが多く、レーザー加工部の微小なクラックからのAE原信号の評価には、不向きと考えられる。図12に示した実験結果から、AEは加工速度による溝深さが変化してもほぼ一定値を示し、反面、FQと共に増大する傾向を示している。これは1回のパルスレーザーで起こる材料の熱加工時に発生するAEに比べて、パルス毎に繰返し発生するAEのウェイトが高いことによるものと推定される。これらのことから、正常にレーザー加工が継続されている間のAEは、レーザーによる材料の除去量の増減よりも、被加工物やFQでその値が決まる傾向を示しているものと考えられる。このため、膜だけが除去されている領域と、膜と基板と一緒に加工されている領域の境界付近で、AEには図15、図16で示したような断差が生じたり、図18で示したような差が生じたものと推察する。従って、AE計測法はこのAEの差を利用して、下地に損傷を与えないで膜のみを除去できる領域を探す場合や、ビーム焦点位置の決定さらにはレーザー加工監視モニタとして有効な手段になるものと考えている。

4. まとめ

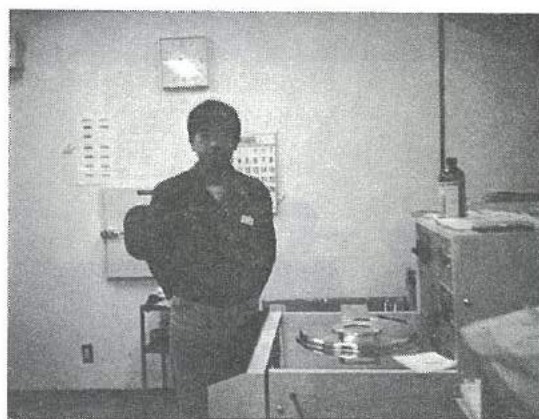
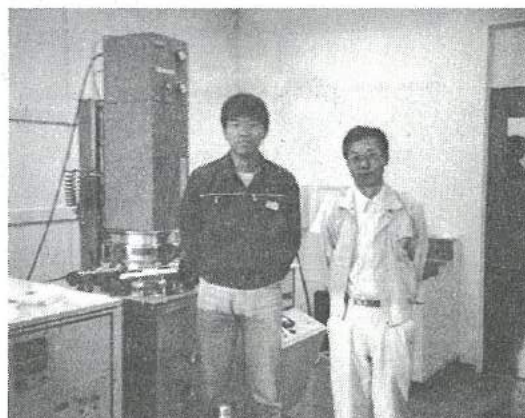
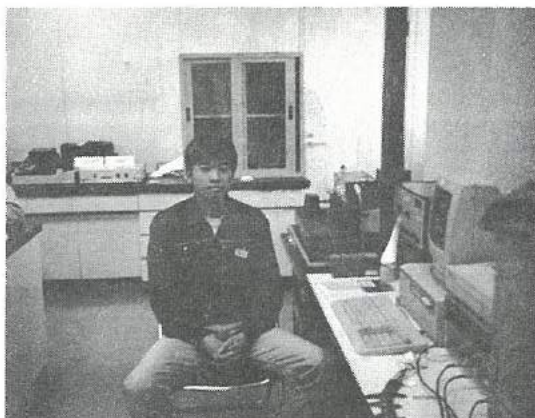
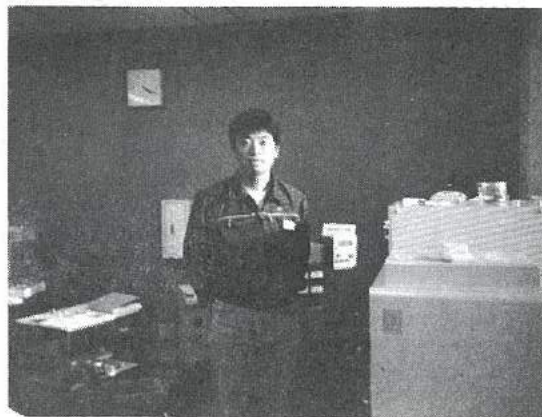
以上の結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 銅薄膜を用いたコイルパターン形成のためのフォトエッチングプロセスを確立した。
- (2) うず巻型コイルおよびジグザグ型コイルの形状と磁気特性の関係ならびに周波数特性を調べた結果、うず巻型コイルでは1MHzにおけるインダクタンスは4.4μHの値を示し、10MHzまでほぼ均一な特性が得られた。また、ジグザグ型コイルでは、1MHzにおけるインダクタンスは190nHの値を示し、40MHzまでは均一な特性が得られた。
- (3) これらのコイルと磁性体薄膜を絶縁体薄膜を介して組みあわせた薄膜トランスを試作した。
- (4) アルミナセラミックスのレーザスクライプ加工の溝深さは、ビームスポット径とパルス繰返し周波数及び加工速度で決まるオーバーラップ量に依存し、このオーバーラップ量の増加と共に増大する。
- (5) レーザビームを用いた薄膜加工においては、加工面をビーム焦点位置から上下いずれかに移動させることによって薄膜部だけの微小領域加工が可能である。
- (6) AE計測法は、ビーム焦点や微小領域加工面の位置決め、さらには加工監視モニターとして非常に有効な手段である。

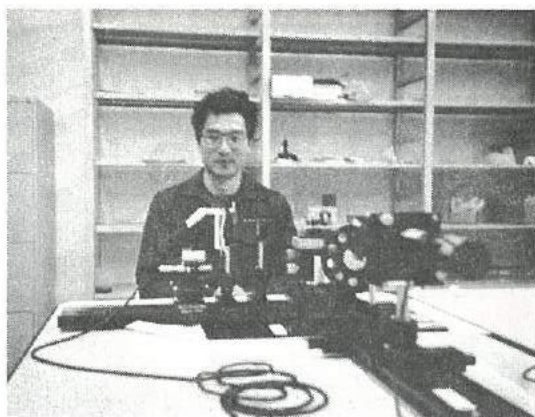
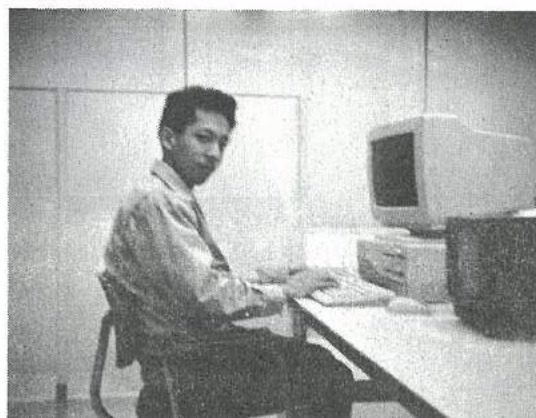
<参考文献>

- (1) 松本：日本応用磁気学会誌 Vol. 14, No. 5, 1990.
- (2) 手塚信一ほか：「ICパッケージのYAGレーザーマーキング」, 精密工学会誌, 57, 9 (1991) 1585.
- (3) 塩崎忠ほか：「レーザーによるセラミックスの微細加工」, セラミックス, 25, 10 (1990) 970.
- (4) 妹尾具展ほか：「Qスイッチ素子の動作特性」, 応用物理, 59, 2 (1990) 199.
- (5) 森田昇ほか：「セラミックスのレーザ加工」, 昭和61年度精密工学会春季大会学術論文集, (1986) 671.

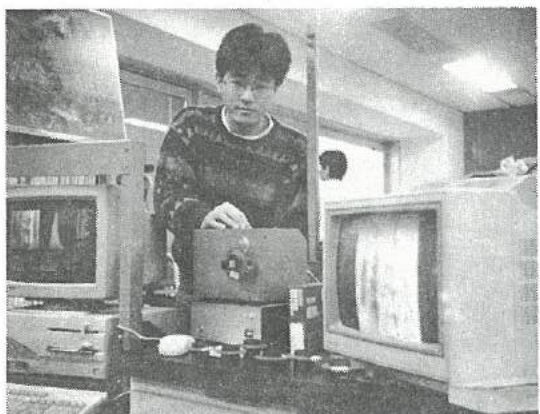
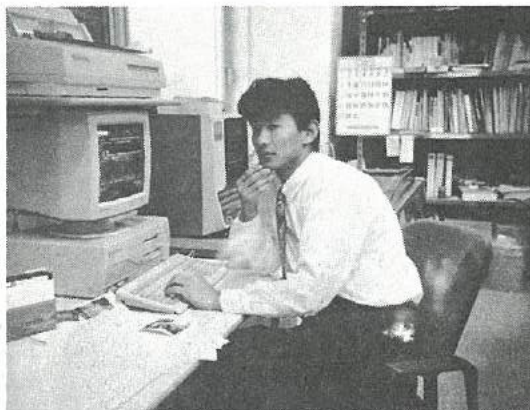
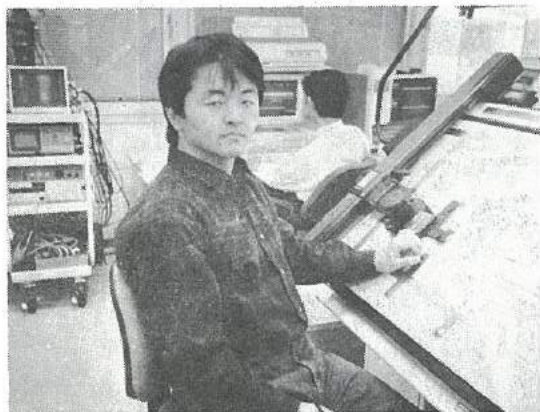
「強誘電体薄膜の応用」グループの研究活動風景



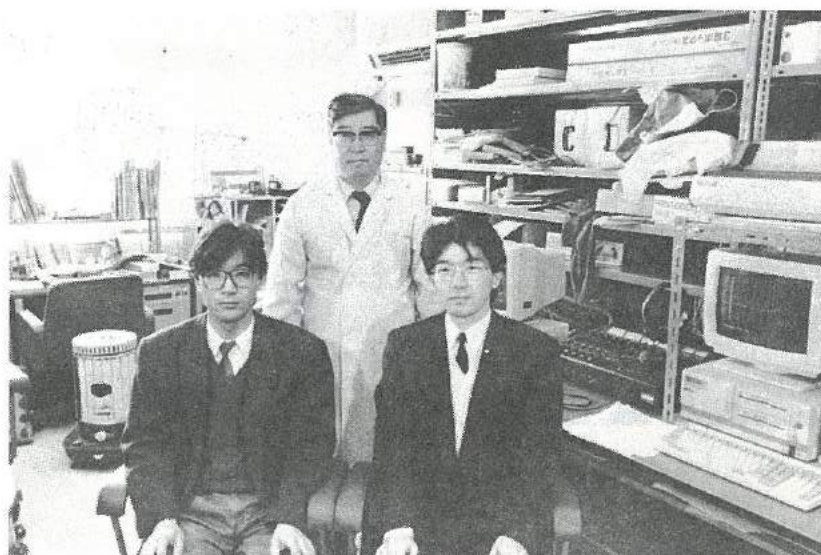
「面粗さ自動測定装置の開発」グループの研究活動風景



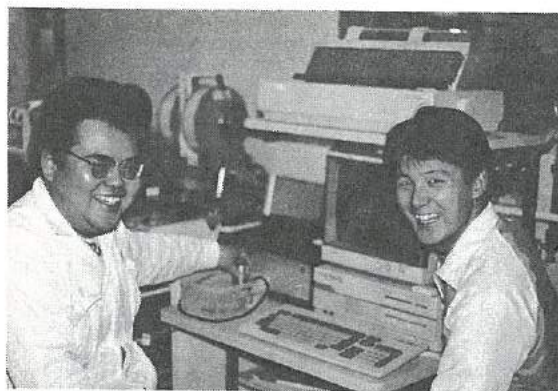
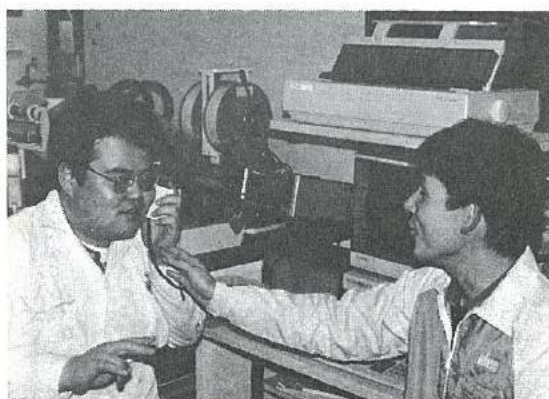
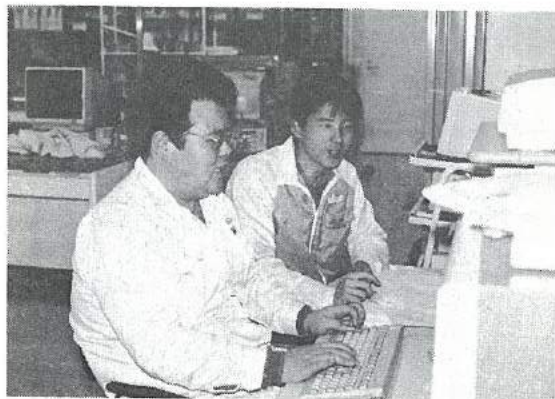
「画像による円筒内面計測の開発」グループの研究活動風景



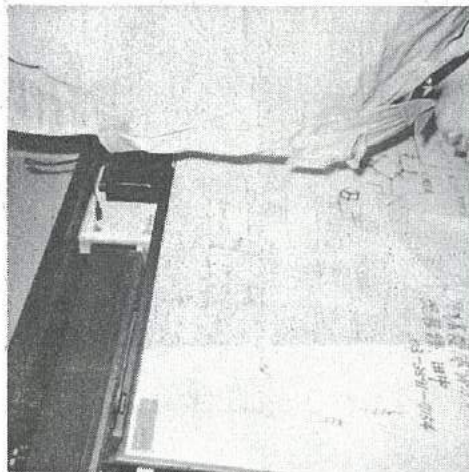
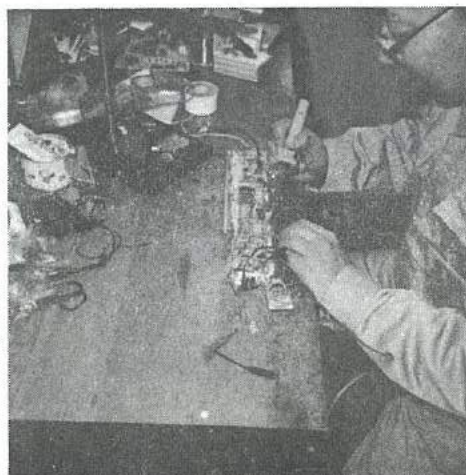
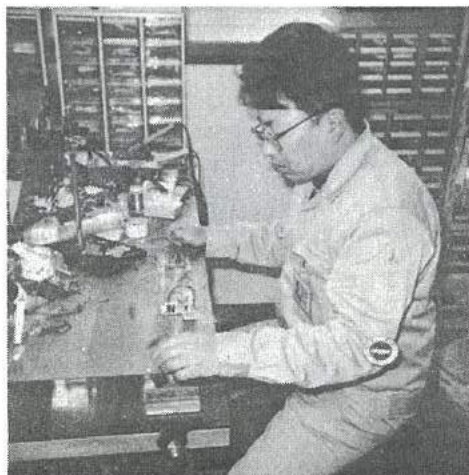
「音声点字変換装置の開発」グループの研究活動風景



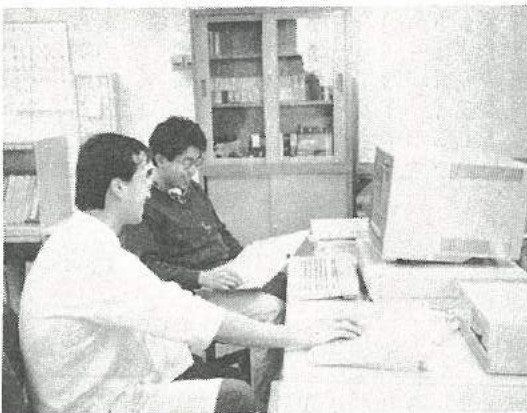
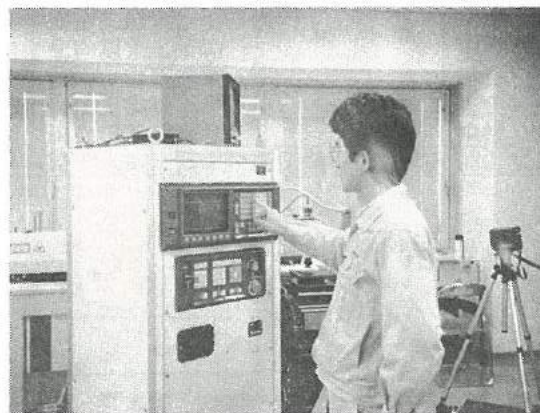
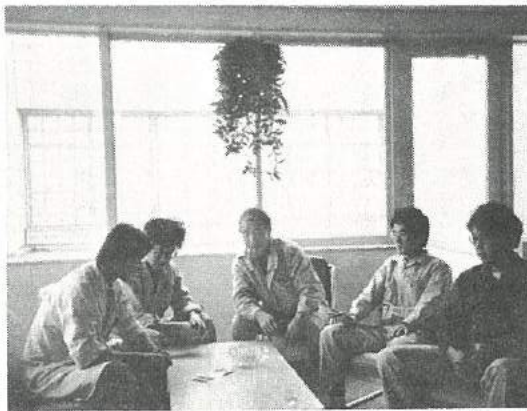
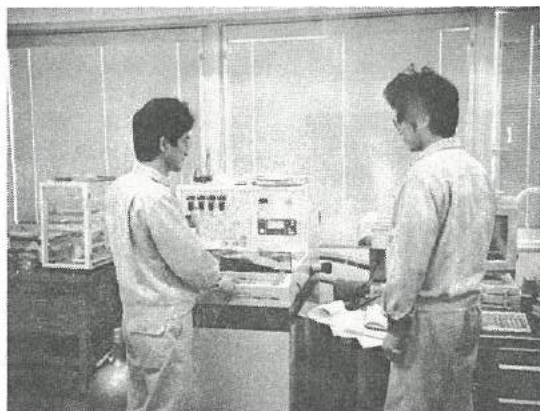
「超音波診断装置の開発」グループの研究活動風景



「マンマシンシステムの開発」グループの研究活動風景



「薄膜微細加工技術の研究」グループの研究活動風景



会 員 企 業

平成4年3月17日現在（50音順）

| | 企 業 名 | 代 表 者 名 | 当 会 運 営 委 員 | 電 話 |
|------------------------------------|----------------------------|---------|-------------|--------------|
| 1 | (株)和泉電気富山製作所 | 藤田 貞三 | 舟岡 矩夫 | 0764-69-2151 |
| 2 | (株)インテック | 金岡 幸二 | 水野 武 | 0764-32-5511 |
| 3 | NKK(株)富山製造所 | 笹生 宏明 | 橘 克彦 | 0766-84-4171 |
| 4 | エルコー(株) | 始 久晴 | 町野 利道 | 0764-32-8151 |
| 5 | 北日本電子(株) | 中村 正夫 | 広野 照二 | 0764-51-2155 |
| 6 | (株)黒田精型 | 黒田 辰春 | 米陀 正行 | 0765-32-8006 |
| 7 | (株)斉藤製作所 | 斉藤 恵三 | 森本 政典 | 0764-23-4541 |
| 8 | サクセス・マーケティング(株) | 鈴木 幸夫 | 中澤 光典 | 0764-25-4547 |
| 9 | 三協アルミニウム工業(株) | 戸田 清一 | 島 勲 | 0766-20-2366 |
| 10 | (株)スギノマシン | 杉野 博 | 龍口 幹夫 | 0765-24-5111 |
| 11 | ダイヤモンドエンジニアリング(株) 魚津事業所 | 早川 元彦 | 中里 博吉 | 0765-24-5670 |
| 12 | (株)タカギセイコー | 高木 正明 | 松山 英省 | 0766-84-9261 |
| 13 | タカノギケン(株) | 高野 啓良 | 杉森 智重 | 0764-55-2525 |
| 14 | 武内プレス工業(株) | 武内 繁和 | 浅井 吉夫 | 0764-41-1856 |
| 15 | 立山科学工業(株) | 水口 昭一郎 | 掘田 孝章 | 0764-29-3588 |
| 16 | 立山電化工業(株) | 團 晶雄 | 鈴木 富雄 | 0766-23-2377 |
| 17 | (株)タナカエンジニアリング | 田中 儀一郎 | 岩井 逸雄 | 0764-51-5600 |
| 18 | 東洋化工(株) | 中田 守人 | 三田 一夫 | 0764-75-2125 |
| 19 | 長柄鉄工(株) | 長柄 勝 | 長柄 勝 | 0766-22-3170 |
| 20 | (株)不二越東富山製鋼所 | 中田 隆 | 吉本 隆志 | 0764-38-4411 |
| 21 | 北陸電気工業(株) | 中村 正夫 | 横山 充 | 0764-67-1111 |
| 22 | マルマス機械(株) | 平野 治親 | 加納 徹 | 0764-72-2233 |
| 23 | 吉田工業(株)黒部工場 | 吉田 忠雄 | 竹島 清 | 0765-57-1111 |
| 24 | 燐化学工業(株) | 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 |
| 山智 榮 | 富山大学工学部 教授 工学博士 | 0764-41-1271 |
| 谷野 克巳 | 富山県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 (富山県工業技術センター所長兼務) | 0766-56-7500 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4年3月17日発行 |
| 印刷所 | 有限会社 新響社 |

* 無断転載を禁ずる。非売品。