

平成 2 年 度
(第 4 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 3 年 3 月 20 日(水)
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 鮎 久 晴

大型景気が続き人手不足も益々深刻化しているなか、一層の先行き不透明感が強くなっておりますが、会員企業の皆様には、益々御健勝のことと存じます。

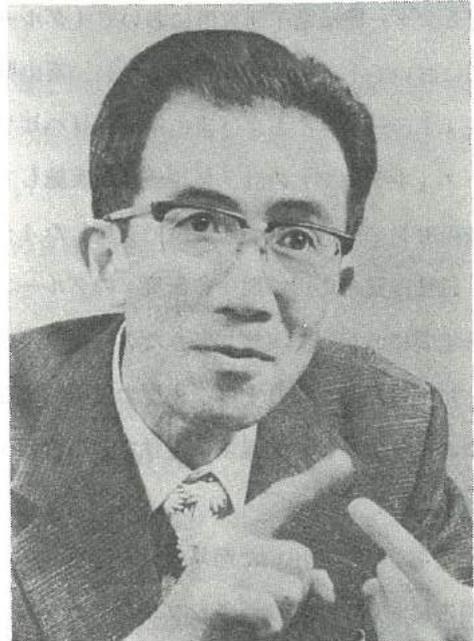
本年は研究テーマも7件と増え、富山大学殿、県工業技術センター殿、県高志リハビリ病院殿とともに絶大なる御支援、御指導をいただき、研究活動、学会発表と熱心な活動ができたと思います。

研究に参加される企業も増え、今年は磁性薄膜を使った磁界検出器の特許申請ができるなど活動が活発になってきたことは、たいへん喜ばしいことと思っております。

また、過去4年間、研究に参加された若い研究者の皆さんも、それぞれの企業で御活躍されていることと思っております。

こうして研究者の皆さんがお互いに影響を与え合うことが、思考の幅を拡大させ、自ら大きく成長することで、企業発展の原動力となり、ひいては富山県全体の技術力向上と産業発展に進展して行くことと信じております。

本会を御理解賜り、暖かい御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25社）の研究者が7つの研究課題とグループを定め、平成2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。



「磁性薄膜の応用に関する研究」のグループ（参加企業数2社）の研究報告においては、前年度までの2年間にわたって実施してきたアモルファス磁性膜膜に関する研究を基礎にして、高感度の薄膜磁気センサーの開発を取り上げ、小型の倍周波型磁気センサなどを試作し、このものの磁界検出感度、検出範囲および出力特性の温度依存性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）。

「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、フレキシブルなエポキシ・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、アレイ型送受信超音波トランスジューサなどを試作し、これらの送受信感度、検出周波数範囲および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。

「拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究」のグループ（参加企業数2社）の研究報告においては、LiNbO₃単結晶基板を用いた音響光学素子の開発を取り上げ、表面層をTi拡散もしくはプロトン交換したLiNbO₃単結晶基板などを試作し、拡散条件、プロトン交換条件、表面層のTi濃度と屈折率の関係、圧電性および電極の形成方法などに検討を加えた結果について述べている。

「画像による寸法計測に関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、複雑形状をした工業製品の画像処理による寸法計測法の開発を取り上げ、CCDカメラと超高輝度LED照明を採用した画像処理装置を試作し、リテーナーの棧幅と窓枠幅の寸法測定、バリの検出、照明方法および測定時間、ならびに応用例として金属缶内面の傷検出装置の試作と性能など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

研究は工業技術センター機械電子研究所で実施した。

「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）の研究においては、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。このため、(1) 試料表面に当てた光の反射光分布の測定、(2) 評価方法の検討、(3) 実験装置の試作を行なった。



平面試料について、変角光度計による反射光の角度分布測定と、触針式粗さ計による断面プロファイル測定を行なって対比した。両者の比較から評価方法を求めたが、さらに詳細の検討は今後に残されている。なお、凹面試料については、今後引続いて検討したい。

プロトタイプの実験装置は、若干改良の余地はあるものの良好な性能のものができた。今後上記の検討結果によってソフト面の改良を進めたい。

富山大学工学部 工学博士 八木 寛

これまでの盲人の感覚は、杖の及ぶ範囲に限られていた。「超音波杖の研究」（参加企業数2社）では、盲人の感覚の視野を増大させるために、超音波を用いて、障害物を検出し、杖の及ばない範囲からの情報も盲人に知らせるように工夫した。しかし、反射物体が小さい場合や、反射効率の悪い場合もあるので、杖との併用をとることにより、より安全性をはかった。また、反射物体からの情報は、感覚能力の強い指に知らせるようにしたところに工夫が見られる。超音波受信器を複数にすることにより、S/N比を上げることができ、実用化のめどもついた。



高志リハビリテーション病院 理学博士 山本 敏泰

機能的電気刺激に関する研究、特に障害者に適した当該システムの制御・操作方法を検討するMAN-MACHINE INTERFACEに関連したテーマを過去2年間にわたり取り扱ってきた。本年度は完全埋め込み型刺激装置の開発というハード的なテーマを取り扱ったが、システムの小型化・高機能化は操作者の負担を軽減するものであり、又TELEMETRYの導入は経皮性ケーブルを不用にし、より自然なINTERFACE SYSTEMを構築するために必要なものである。



さて、完全埋め込み型システムについて、例えば全国において約10万弱といわれる脊髄（頸髄）損傷患者、あるいは高齢化に伴う寝たきり老人失禁防止の為に膀胱ペースメーカ等の開発においては、膀胱内圧力、被刺激筋の状態をモニターしながら、必要な電気刺激情報を伝送するなどの機能が求められる。

即ち、本研究においては、生体内のIN VIVO な情報を取り出すと共に、制御に必要な情報を生体内に送り込むことを目的とした、（双方向性）テレメータシステムを最終的な開発目標とする。これらの応用研究には、1）PACKAGE(SEALING)技術、2）アンテナの伝送効率の最適化、3）電力を含む信号の（双方向）送受信部回路の小型化等が解決すべき課題である。本年度は、特に2及び3について予備的調査・研究を実施し、主要な設計パラメータを見出だす検討を重ねたものである。

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4年間で実施した22テーマの成果は全て関連学会で発表し、特許は共同で4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3年3月

研 究 グ ル ー プ の 構 成

I. 「磁性薄膜の応用に関する研究」グループ

研究担当者	高島 誠 (憐エルコー)
	越濱 哲夫 (憐不二越)
研究指導者	田村 幾夫 (工業技術センター機電研)
	浅田 峯夫 (")
	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 潔 (憐黒田精型)
	高柳 敏信 (憐タカギセイコー)
	田村 正行 (吉田工業憐)
研究指導者	吉田 勉 (工業技術センター機電研)
	山本 倫久 (富山県立大学工学部)

III. 「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 (憐和泉電気富山製作所)
	山田 義昭 (東洋化工憐)
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 (")

IV. 「拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究」グループ

研究担当者	若林 成喜 (北陸電気工業憐)
	煙田不二男 (憐化学工業憐)
研究指導者	二口 友昭 (工業技術センター機電研)
	本保 栄治 (")
	谷野 克巳 (")

V. 「画像による寸法計測に関する研究」グループ

研究担当者	窪池 義文（エルコー㈱）
	村井 哲雄（㈱タカノギケン）
	西浦 慎一（　　　　　　）
	石黒 哲也（㈱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）

VI. 「超音波杖の開発」グループ

研究担当者	堀 登紀男（㈱和泉電気富山製作所）
	中村 亮（北日本電子㈱）
研究指導者	八木 寛（富山大学工学部）

VII. 「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（　　　　　　　　）

註：各グループ中、企業名は50音順

目 次

I. 磁性薄膜の応用に関する研究	1
一倍周波型磁気センサの開発	
1. 結 言	1
2. 原 理	1
3. 試料の概要および実験方法	2
4. 実 験 結 果	3
5. 設計と動作確認	6
6. 結果のまとめ	7
7. 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	8
1. 結 言	8
2. 金型仕上げ面とその表面性状の評価	8
3. 変角光度計による等方性鏡面の評価	12
4. 非接触仕上げ面評価実験装置の試作とその性能評価	14
5. 結 言	17
III. 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	18
1. 結 言	18
2. エポキシ系高分子複合圧電材料を用いた超音波 トランスジューサの基本的特性	19
3. 超音波診断装置への応用	21
4. 結 言	23
IV. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究	24
1. 結 言	24
2. 音響光学素子の原理と構造	25
3. 光導波路の作製	25

4. IDTの作製	28
5. 結 言	30
V. 画像による寸法計測に関する研究	31
1. 結 言	31
2. 検査対象物の概要	32
3. 検査装置の概要	32
4. 画像取り込み条件の検討	33
5. 開発の経緯と測定結果	35
6. 考察と今後の課題	39
7. LED照明法の応用	39
8. 結 言	40
VI. 超音波杖の開発	41
1. 結 言	41
2. 実 験 方 法	42
3. 実験結果及び考察	45
4. 謝 辞	48
VII. 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	49
—完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究—	
1. 結 言	49
2. システムの概略	50
3. 分 析	53
4. 結 果	53
5. 考 察	56
6. 今後の課題	58
7. 謝 辞	58

I. 磁性薄膜の応用に関する研究

- 倍周波型磁気センサの開発 -

Study on the Application of Magnetic Thin Films

- Development of the Magnetic Sensor of Frequency Multiple Modulation Type -

越浜 哲夫 高島 誠 田村 幾夫 浅田 峯夫 谷野 克巳
KOSHIHAMA Tetsuo · TAKASHIMA Makoto · TAMURA Ikuo · ASADA Mineo · TANINO Katsumi

Abstract

Generally describing, Hall or magnetoresistance elements are used to measure DC magnetic field. The sensors those were used these elements are sensitive to environmental temperature and their output voltages are fairly small. In this study, we fabricated a magnetic sensor of frequency multiple modulation type which has amorphous magnetic thin films as a magnetic core in order to overcome the shortcomings of above mentioned though to aim at miniaturization of magnetic sensor. We wound enamel copper wire on a core. We investigated its detection sensitivity, detection range of magnetic field and temperature dependence of output voltages. We also compared these output characteristics with those of a sensor of asteroid type. The sensor has been designed completely based on the data of output characteristics varying film size, permeability, exciting frequency, intensity of exciting current and turns of coils maintain detection sensitivity of 0.15 volt/Gauss and its sensibility range of magnetic field is 2.0 Gauss. The problem of miniaturization of sensor and realization of higher precision and sensitivity are remained, but solution of these are expected to be conquered practically by using planer coils for magnetic core.

1. 緒言

昨年度までの研究においては、RFマグネトロンスパッタ成膜法により、一軸異方性を有し、熱処理なしで可飽和かつ比較的初透磁率の高いCo-Nb-Zrアモルファス薄膜の作製が可能となったので、その特性を有効利用できる素子への応用を今回の研究課題とした。そこで、その応用として着目したのが、磁界検出装置（磁気センサ）である。

従来、直流磁界を測定できる磁気センサとしては、ホール素子あるいは磁気抵抗素子を用いたものが一般的である。ホール素子は、電流が流れている固体に磁界を加えたときに、ホール効果によって生じる電圧を利用して磁界を検出し、磁気抵抗素子はこの現象を電流の変化、すなわち、固体の電気抵抗の変化として検出する。しかし、これらの素子は周辺温度変化の影響を受けやすく、また、一般に出力感度が低いことから、補正回路などの複雑な周辺回路が必要となる。Co-Nb-Zrアモルファス薄膜の磁気センサへの応用を考えた場合、その磁気特性より従来素子における上記問題点を十分に解決できるものと考えられる。

そこで、本研究では従来素子の問題点を克服し、さらにセンサの小型化を実現するために、Co-Nb-Zrアモルファス磁性薄膜を用いた磁気センサの試作を行ない、その入出力特性を調べたのでその概要を報告する。

2. 原理

高感度磁気測定に関しては、1936年に倍周波型磁気変調法を利用したフラックスゲート型磁力計が提案されている。本研究ではこの倍周波型磁気変調法を採用しており、以下に倍周波型センサの動作原理について述べる。

この方法は、図1 (b) に示す磁性体のB-H非直線特性の点対称性を積極的に利用したもので、図1 (a) に示すように、直流磁界(非変調信号) H_i と励磁磁界(搬送信号) H_r を重畳して加えると、起磁力 H は図1 (c) のようになる。このとき、磁心の磁束 Φ と検出巻線の出力電圧 E_o は、図1 (d)、(e) のように非対称となる。 $H_i = 0$ のときは E_o は対称波で、その高調波成分は奇数次のみである。 $H_i \neq 0$ では E_o は非対称になるため、偶数波成分が発生し、第2調波成分の大きさは H_i に比例する。すなわち、出力電圧 E_o の周波数スペクトルのうち、励磁 H_r の周波数の2倍の高調波成分を選択的に測定することによって、 H_i に比例した出力が得られることになる。

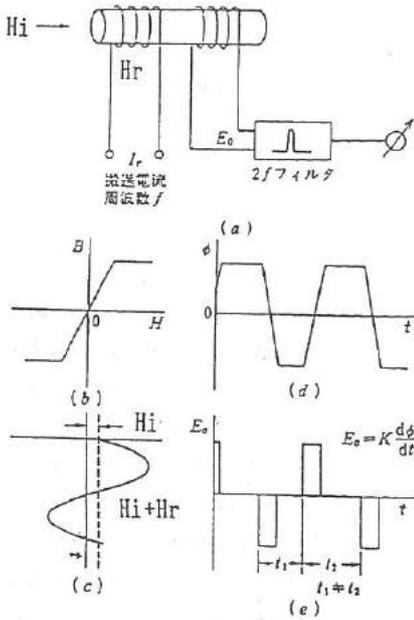


図1 倍周波型磁気センサの原理:

- (a) 構成
- (b) 薄膜のB-H曲線
- (c) 直流磁界 H_i と励磁磁界 H_r の時間変化
- (d) 磁束 ϕ の時間変化
- (e) 出力電圧 E_o の時間変化

Fig.1. Principle of magnetic sensor of magnetic modulation type: (a) Structure. (b) B-H curve. (c) Time dependence of DC magnetic field H_i and excitation magnetic field H_r . (d) Time dependence of magnetic flux ϕ . (e) Time dependence of output voltage E_o .

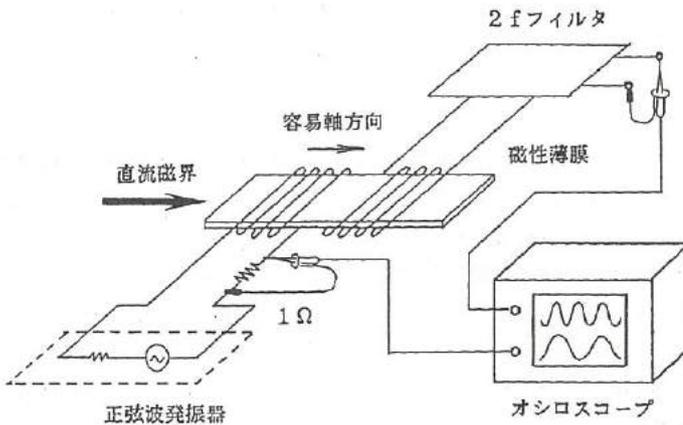


図2 実験回路の概略図

(直流磁界は薄膜をヘルムホルツコイルのなかに置いて印加し、ガウスメータで、その大きさをモニターする。)

Fig.2. Schematic view of the circuit for this experiment.

(DC magnetic field is applied at thin films in a Helmholtz coil, whose intensity of field is monitored by Gauss meter.)

3. 試料の概要および実験方法

3.1 実験回路

図2は今回の実験回路の構成概略図を示す。回路はアモルファス磁性膜磁心に励磁巻線と検出巻線を巻回し、励磁の正弦波交流電流はファンクションジェネレータから供給することによって、検出巻線に誘起した出力電圧を市販のアクティブフィルタに通して第2調波成分を検出する。また、被測定直流磁界はヘルムホルツコイルを用いて印加する。

3. 2 アモルファス磁性薄膜

今回の実験に磁心として用いたアモルファス磁性薄膜の特徴は以下の通りである。

(1) 作製方法：マグネトロンスパッタ法

As-sputtered

(2) 組成： $\text{Co}_{98}\text{Nb}_7\text{Zr}_3(\text{at}\%)$

(3) 厚さ： $1\sim 3\ \mu\text{m}$

(4) 面積： $50\sim 150\ \text{mm}^2$

3. 3 実験項目

(1) 入出力特性の確認

① 感度：入出力特性における直線部分の傾き

② 検出範囲：入出力特性における直線関係の上限値（直線関係の成立する入力側の上限値）

(2) 入出力特性の温度依存性

(3) アステロイド型センサとの特性比較

4. 実験結果

4. 1 入出力特性の確認

4. 1. 1 入出力特性に影響を及ぼすパラメータの選定

センサを構成する、すべての部品が理想的に動作した場合、次のパラメータの設定が重要であると考えられる。

(1) a ：磁性膜の困難軸方向の長さ

(2) b ：磁性膜の容易軸方向の長さ

(3) μ ：磁性膜の容易軸方向の透磁率

(4) $N\cdot l$ ：励磁のアンペア・ターン

(5) f ：励磁の周波数

(6) N_0 ：検出巻線の巻数

なお、薄膜の厚さも重要なパラメータの一つと考えられるが、良好な特性の薄膜を得るためのスパッタ条件と磁心の断面積を大きくするという観点から、膜厚は約 $3\ \mu\text{m}$ と固定した。

4. 1. 2 入出力特性の向上

図3(1)～(6)は、4. 1. 1であげた各パラメータが入出力特性（感度および検出範囲）に与える影響の実測結果を示す。また、表1はその結果をまとめたものを示す。ただし、この実験において、 a 、 b 、 μ 、 f については2水準で、 $N\cdot l$ については3水準で、 N_0 については4水準で測定を行っており、あるパラメータの影響を調べる場合には、それ以外のパラメータは任意の水準の組合せで固定した。

一般に、巻線のインダクタンスを大きくして感度を高くするという考え方に立つと、 a は長くし（磁心の断面積を大きくする方向）、 μ は大きくする方向となり、実験とは一致するが、 b は短くする方向（磁路長を小さくする方向）となり実験結果と合致しない。これは、 b を短くすると反磁界の影響が強く現れることが原因の一つであると推測される。

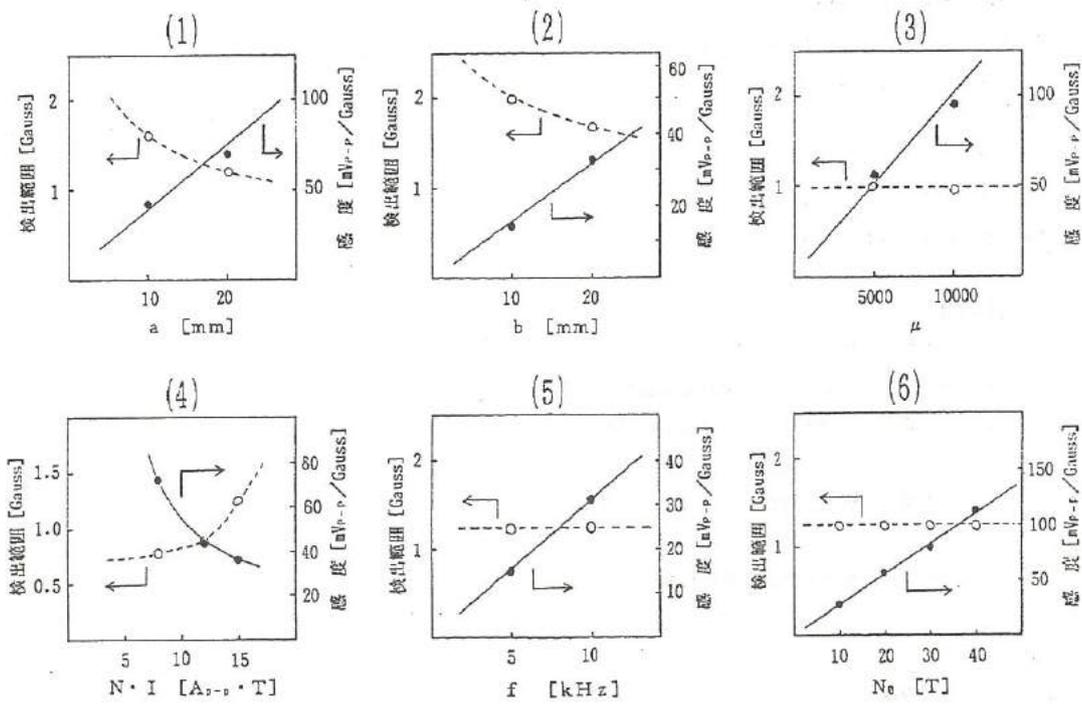


図3 入出力特性に及ぼす各パラメータの影響:

- (1) a : 磁性膜の困難軸方向の長さ (2) b : 磁性膜の容易軸方向の長さ
 (3) μ : 磁性膜の容易軸方向の透磁率 (4) $N \cdot I$: 励磁のアンペア・ターン
 (5) f : 励磁の周波数 (6) N_e : 検出巻線の巻数

Fig. 3. Influence of each parameters on input-output characteristics of the sensor:

- (1) a: Dimension of the film in the direction of hard-axis. (2) b: Dimension of the film in the direction of easy-axis. (3) μ : Permeability of the film in the direction of easy-axis.
 (4) NI : Ampere-turns of excitation current and coil. (5) f: Excitation frequency. (6) N_e : Turns of detecting coil.

表1 入出力特性の向上

Table 1. Improvement of input-output characteristics.

	パラメータ	高感度化	検出の広範囲化	備考
1	a	長くする	短くする	記号 — は μ 、f、 N_e の値を変えても検出範囲の広範囲化には影響しないことを示す。
2	b	長くする	短くする	
3	μ	大きくする	—	
4	$N \cdot I$	小さくする	大きくする	
5	f	高くする	—	
6	N_e	多くする	—	

4. 2 入出力特性の温度依存性

図4は倍周波型センサの入出力特性の温度依存性を示す。本実験では、コバルトベースのトロイダル状アモルファスコアに第3の巻線を設け、巻線に流す直流電流を検出する電流センサとして動作させ、その特性を評価した。図より、60℃以下では入出力特性は一定であるが、100℃では5~10%程度のずれが生じた。この理由としては、アモルファス磁性材料の特性値のなかで温度依存性が比較的強く、倍周波型センサの入出力特性に影響を与えるものとしては飽和磁束密度 B_m が考えられ、この温度依存性が主要原因であると推測される。本実験で用いたアモルファスコアの飽和磁束密度は、60℃付近までは一定で、それ以上の温度上昇に伴って直線的に減少し、100℃では約5%程小さくなるというデータが得られた。倍周波型センサの場合はコアの磁化を飽和状態で使用するため、 B_m の低下は検出感度に影響し、その関係はリニアであると推定できる。従って、 B_m の温度依存性が60℃以上でリニアに減少するということから、センサの感度もリニアに変化するものと推測される。それ故、開発したものにはセンサ感度の温度依存性は若干あるものの、簡単な温度補償回路により高精度化が可能と考えられる。

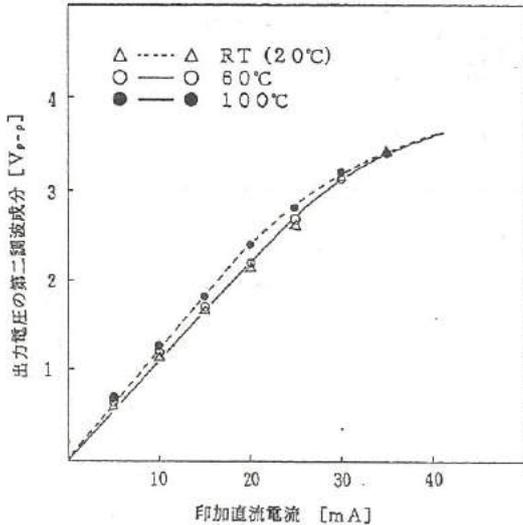


図4 倍周波型センサの温度依存性
Fig. 4. Temperature dependence of the sensor of magnetic modulation type.

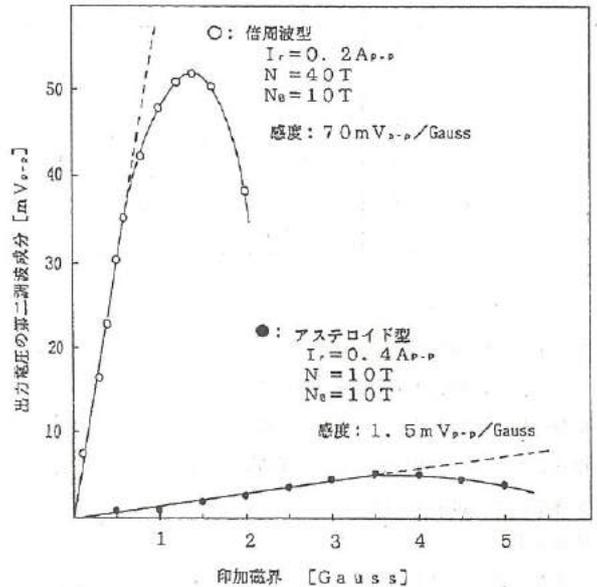


図5 倍周波型センサとアステロイド型センサの入出力特性の比較
Fig. 5. Comparison of input-output characteristics of the sensor of magnetic modulation type with those of asteroïd one.

4. 3 アステロイド型センサとの特性比較

倍周波型センサと同様に、磁性体を用いた磁気センサには、アステロイド型と呼ばれるものがある。これは磁気的な一軸異方性を有する薄膜の磁化反転の臨界曲線(アステロイド曲線)を利用した方式であるが、倍周波型とよく似た回路構成で実現できる。図5は倍周波型センサとアステロイド型センサの入出力特性の比較を示す。それぞれのセンサの動作原理が異なるために実験条件を統一することは無理であり、一概に比較はできないが、図から大雑把に概算すると次のことが言える。

(1) 感 度 : 倍周波型の方が約30倍程高い。

(2) 検出範囲 : アステロイド型の方が約5倍程広い。

なお、本研究で倍周波型を採用した理由は、高感度化を優先したためである。

5. 設計と動作確認

5.1 設計

表2は4.2で得られたデータをもとに、高感度化、他素子とのサイズ比較および実施の容易性等を考慮し、現状で最良と考えられる各パラメータの設計値を示す。すなわち、高感度化のために主に a 、 N_a を大きく、また、広範囲化、小型化を考慮して b を小さく設計した。

表2 各パラメータの設計値

Table 2. Specification for the magnetic sensor.

	パラメータ	設計値	単位	備 考
1	a	20	mm	コイルについては 0.12mmφの線径 のものを使用した。
2	b	10	mm	
3	μ	5200	無名数	
4	$N \cdot I$	0.4×40	$A_{p-p} \cdot T$	
5	f	10	kHz	
6	N_a	80	T	

5.2 動作確認

ここでは、微小磁界検出を高感度で行うことに着目し、従来素子の10~100倍の感度を得ることを目的に感度および検出範囲の目標値を選定した。図6は設計したセンサの入出力特性を示す。

また、表3は設計した目標値と、実験で得られた実測値を示す。表より、感度については目標値を越える0.15V/Gaussが得られ、検出範囲についても目標値の2.0Gaussを達成することができた。

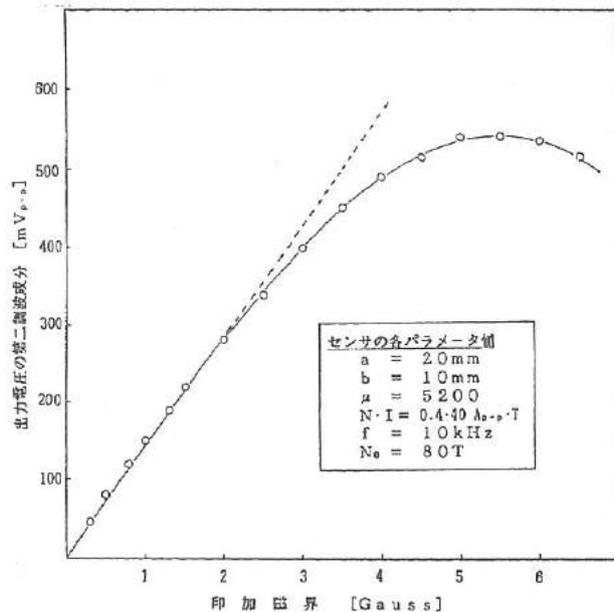


図6 設計したセンサの入出力特性

Fig. 6. Input-output characteristics of the designed sensor.

表3 入出力特性の目標値と実測値

Table 3. Designed and measured values of input-output characteristics.

	特 性	実 測 値	目 標 値	単 位
1	感 度	0.15	0.10	V/Gauss
2	検出範囲	2.0	2.0	Gauss

6. 結果のまとめ

本研究で開発したCo-Nb-Zrアモルファス薄膜を用いた磁気センサにおいては、以下のような結果を得た。

- (1) センサの各構成パラメータの入出力特性に与える影響は、表1に示すとおりである。
- (2) 検出感度は、2.0 Gauss までの微小磁界検出においては、最大0.15 V/Gauss であり、従来素子（ホール素子、磁気抵抗素子）の約10～100倍の値が得られた。

7. 結 言

本研究では、アモルファス磁性薄膜を用いた倍周波型磁気センサの作製を試み、薄膜のサイズ、磁気特性、励磁周波数、励磁電流の大きさ、励磁および検出巻線の巻数等をパラメータとして、入出力特性の検討を行った。その結果、設計したパラメータ値により感度と検出範囲の目標値を達成することができた。しかし、高精度化・小型化・高感度化さらには応用化のための課題は多く残っており、これらの課題を基本的に解決するためには、コイルの蒸着による平面化およびコイルの構造等を検討しなければならない。以下に残された課題を示す。

(1) 高精度化

- ① 第2調波成分の検出精度の向上（例：基本波等のノイズの消去、フィルタ特性の改善）
- ② 巻線構造の最適化（例：巻線の結合改善）

(2) 小型化

- ① 巻線方法・構造の改善（例：コイルの平面化）

(3) 高感度化

- ① 搬送波の高周波化（例：フィルタ特性の改善）
- ② 薄膜の透磁率の高周波特性改善（例：スパッタ条件、熱処理等）
- ③ 巻線構造の最適化（例：巻線の結合改善）

(4) 応用化

- ① 小型地磁気センサ（例：小型方位センサ用）
- ② 漏れ磁界検出センサ（例：磁気シールドボックス用）
- ③ 微小直流電流検出センサ

8. 参考文献

- (1) 近角 他編：磁性体ハンドブック 朝倉書店（1975）
- (2) 和田：センサ技術 Vol. 2 No. 12 p. 18（1982）
- (3) 松木：日本応用磁気学会誌 Vol. 14 No. 5 p. 689（1990）

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 the Instrument
Evaluating the Finished Surface Roughness of Metal Molds

柳原 潔 田村 正行 高柳 敏信 吉田 勉 山本倫久

YANAGIHARA Kiyosi-TAMURA Masayuki-TAKAYANAGI Toshinobu-YOSHIDA Tsutomu-YAMAMOTO Tomohisa

Abstract

Now, there are many enterprises that undertake designing and producing metal molds for plastic products and many of them are produced in Toyama prefecture. By the way, how to evaluating the surfaces roughness of metal molds depends mainly on the sense of sight of the technical experts who engage in producing. Though the sense of sight recognizes well the heterogeneous patterns on the surfaces, it do not well the homogeneous. Moreover, the sense of sight tend to takes the light intensity as about a half, when it decreases actually about its 90%. So the sense of sight is not so credible as expected.

We studied about how to evaluating numerically the surfaces roughness of metal molds using light. At first, we looked up the surfaces that were mirror finished and almost flat; we measured the surface profiles and roughness of them by the stylus method and the reflection of them with the goniphotometer and considered about the results. Next, we produced on trial the optical measuring instrument evaluating the characteristics of the surfaces of metal molds and checked its performances.

1. 緒言

現在、富山県内ではプラスチック金型を設計製造する企業は多く、金型の生産量は非常に多い。ところで、実際に仕上がった製品の出来具合の評価は、仕上げ面加工技術者の目でみた感覚によるところが大きい。しかしながら、肉眼では、表面状態の不均一性には高い検出能力を持つ一方、均一な模様に対する認識力は低下する。また、光沢が半分になったと認識するのは、実際には1/10程度まで光量が落ちていると考えられている程、案外脆い。本研究では、実際の金型製造現場に供しうる仕上げ面自動評価装置の開発を目的として、この1年間、光を用いた金型仕上げ面性状の定量化について調査研究を行った。最初に対象とした仕上げ面は表面がほぼ平面の等方性鏡面である。このような面に対して、触針式粗さ計及び変角光度計を用い、断面プロファイル、粗さ、反射光を検討した。次に、我々は非接触仕上げ面粗さ評価実験装置を試作して、その性能について検討を行った。

2. 金型仕上げ面とその表面性状の評価

金型仕上げ面加工プロセスは、概ね最初が切り出し、切削、放電加工等の形状創生過程より始まる。放電加工後の、比較的粗さの大きい面を仕上げ面とする場合、研削、ペーパー仕上げ後の中程度の粗さの面を仕上げ面とする場合、ダイヤモンドあるいはアルミナ、BN等の粉末を用いてラッピング、バフ研磨を施した粗さの小さい面を仕上げ面とする場合、金型による成形製品のニーズ、仕上げ加工コストにより、要求される仕上げ加工面は様々ある。筆者らは研究の当初に、表1に示す仕上げ面を金型メーカーより取り寄せ、面粗さ及び、後述する変角光度計を用いての反射光強度の角度分布について、予備調査を行った。

その結果、以下の事柄が認められた。

- 1) 放電加工面について、十点平均粗さは4.0~5.0 μm 程度、中心線平均粗さは0.3~0.4 μm 程度。研削加工面について、十点平均粗さは0.2~3.0 μm 程度、中心線平均粗さは0.03~0.4 μm 程度。ラップ加工面について、十点平均粗さは0.1~0.3 μm 程度、中心線平均粗さは0.02~0.04 μm 程度。
- 2) 表面加工方法により、反射光強度の角度分布は粗さが同じでも異なる。また、研削加工面等異方性の強い面の場合で

は、試料面に対する走査方向を変えることにより、反射光強度角度分布の分布幅が全く異なる。それに対し、ペーパー仕上げ面、ラップ仕上げ面等の等方性表面の場合では、さほど変わらない。

筆者らは、加工方法により別々に詳細に調べる必要性を認識し、まず、金型材を等方性鏡面に仕上げた面について検討することとした。最近、金型による成形技術の著しい向上により、転写性の優れた成形品ができるようになった。それに従い、形状精度の高精度化は当然のこととして、表面粗さも中心線平均粗さRaで数nm程度まで要求されるようになった。我々は、対象とする試料表面の粗さ範囲をRaで数nmから40nm程度のもので、平面の試料を作成、検討することとした。

サンプル№	材 質	加工方法	製造元
1	S K D 6 1	放 電	A 社
2	"	放電後ラップ9μ	"
3	"	" 6μ	"
4	"	研 削	"
5	"	研削後ラップ9μ	"
6	"	" 6μ	"
7	M A S 1	エンドミル	"
8	"	エンドミル後ラップ9μ	"
9	"	" 6μ	"
10	"	研 削	"
11	"	研削後ラップ9μ	"
12	"	" 6μ	"
13	"	放 電	"
14	"	放電後ラップ6μ	"
15	樹 脂	ペーパー仕上げ	B 社
16	合 金	"	"
17	S K S 3	並研削	C 社
18	"	上研削	"
19	"	放電後ラップ	"
20	S K D 1 1	並研削	"
21	"	上研削	"
22	"	上研削後ラップ	"
23	"	放電後ラップ	"
24	R I G O R	並研削	"
25	"	上研削	"

表1 金型メーカー各社より取り寄せた仕上げ面

Table1 The finished-surface samples derived from the metal mold manufacturing companies

次に、等方性鏡面試料の、表面性状の触針法による評価について述べる。触針法は、約半世紀にも及ぶ技術研究の歴史がある。この間、レーザー光の実用化、トンネル顕微鏡の開発など、様々な技術革新があったにも関わらず、依然として他の方式と比較して最も理論的に明確で信頼性が高いとされ、非接触表面評価装置の開発の際、その測定値の検証(校正)に用いられている¹⁾。

筆者らは、触針法による評価の際、触針式粗さ計(Perthen製、PERTHOMETER PRK)、スタイラス径が5μmの触針を用いた。測定条件はトレース速度0.1mm/s、測定長さ1.5mm、カットオフ長さ0.25mmとした。

試料テーブル上の振動状況を調べる為、スタイラスを試料上に接触、静止させ、センサ、アンプからの出力電圧をスペクトルアナライザを用いて計測した。図1(a)は出力電圧の時間的変動状況を示す。また、図1(b)はFFT計算により求めた出力電圧の周波数依存性を示す。なお、出力電圧±10Vがスタイラス変位±0.625μmに相当する。図1より、最大2.5nmの誤差が生じ、30Hz近辺で最高値をとることがわかる。したがって、サンプリング間隔が1μm、サンプリング周期が100Hzであることから、波長2.9μm(35Hz)~4.0μm(25Hz)に振動ノイズの影響が最も大きく現れることになる。

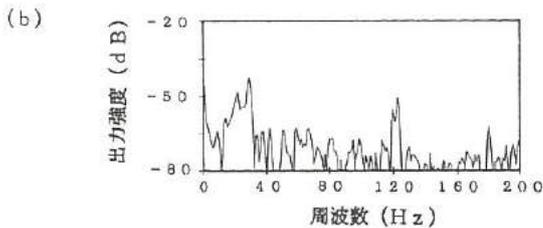
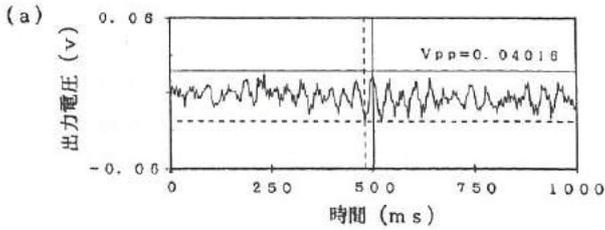


図1 試料上の振動の時間依存性 (a) 及び周波数依存性 (b)
 Fig.1 The time-dependancy(a) and the frequency-dependancy (b) of the amplitude of the vibration on the sample

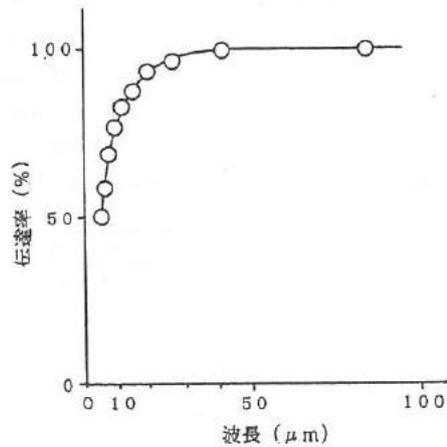


図2 ローパスフィルタの伝達率特性
 Fig.2 The wave length dependency of the transmissibility of the low pass filter

そこで、図2に示す伝達率特性を持つ遮断周波数23 Hzのローパスフィルタを用いることとした。ローパスフィルタを経由させた時の出力電圧を測定したものを図3に示す。振動による影響が、最大1 nm程度に抑制されているのがわかる。また、このようにして測定した断面プロファイルの1例を図4に示す。ほぼ振動の影響を受けずに試料面の断面プロファイルが得られていると考え、鏡面の断面プロファイル、粗さ評価²⁾の実験を行うこととした。さらに、断面プロファイルの1024個の離散データ(サンプリング間隔1 μm)に対し、FFT計算させ、表面凹凸の周期成分の検討を行った。

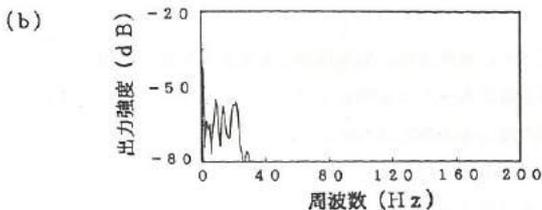
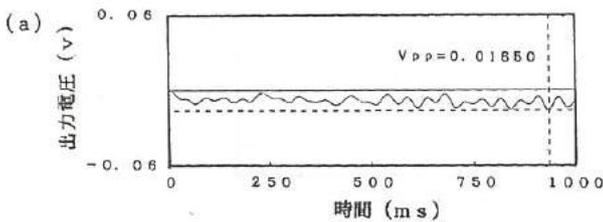


図3 ローパスフィルタ経由時における試料上の振動の時間依存性 (a) 及び周波数依存性 (b)
 Fig.3 The time-dependancy(a) and the frequency-dependancy (b) of the amplitude of the vibration on the sample through the low pass filter

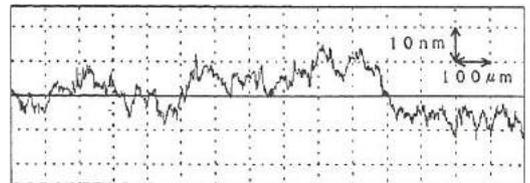


図4 ダイヤモンド粒子0.25 μmによるバフ研磨仕上げ面の断面プロファイル
 Fig.4 The surface profile of the buffed using diamond powder that is about 0.25 μm in diameter

本研究にて使用した試料は、直径約20mmの金型材SKD11を、長さ約30mmに切断・平面研削したものを表面がほぼ平面で鏡面かつ等方性となる様に、表面仕上げ装置（STRUES製 PEDEMA X-2）を用いて作成した。試料作成・表面性状評価手順を図5に示す。なお、表面仕上げ装置における仕上げ加工では、加工方法が変わる毎に、水で加工残り屑等を洗い落とした。この様にして得られた等方性鏡面とその粗さについて表2に示す。なお、表中の粗さ値は、試料中央部にて直交する様に2度測定した粗さ値の平均値を載せた。

また、十点平均粗さRzと中心線平均粗さRaの関係についてプロットすると図6に示す様になる。これを最小自乗法による近似計算をおこなうと、相関係数0.998、 $y = ax + b$ の回帰定数は $a = 8.275 (10^{-3} \mu\text{m}/\text{nm})$ 、 $b = 5.650 (10^{-4} \mu\text{m})$ となる。本研究にて使用する試料面の中心線平均粗さと十点平均粗さとは比例関係にあることを確認した。

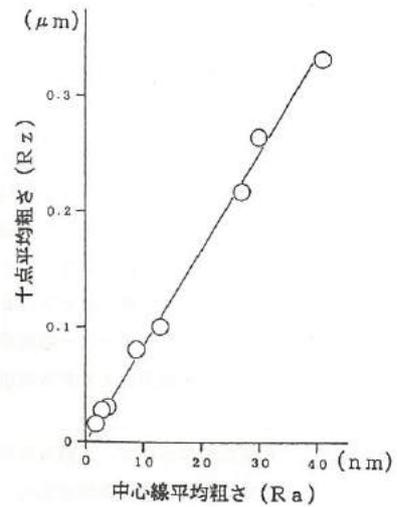


図6 中心線平均粗さ (Ra) と十点平均粗さ (Rz) との関係

Fig.6 The relation between Ra and Rz

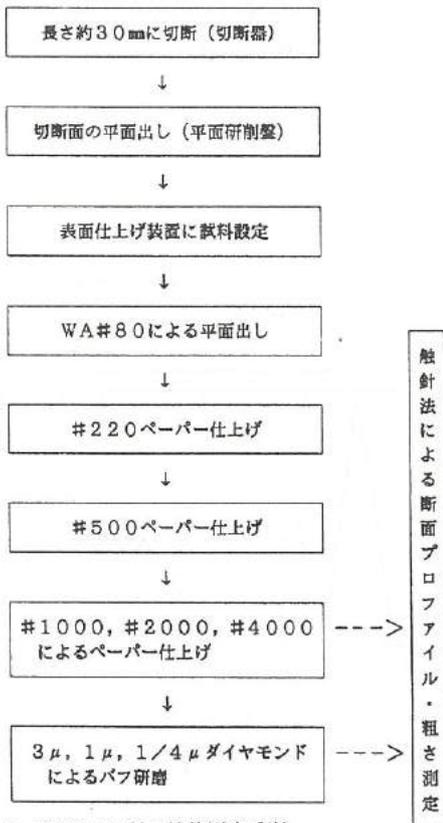


図5 試料作成・断面性状測定手順

Fig.5 The procedure to make the finished samples and measure those profiles and roughness

試料番号	加工方法	Rz (μm)	Ra (μm)
1	#1000ペーパー (乾式)	0.334	0.041
2	#1000ペーパー (湿式)	0.217	0.027
3	#2000ペーパー (乾式)	0.265	0.030
4	#2000ペーパー (湿式)	0.100	0.013
5	#4000ペーパー (湿式)	0.081	0.009
6	3μmバフ研磨	0.031	0.004
7	1μmバフ研磨	0.028	0.003
8	0.25μmバフ研磨	0.016	0.002

表2 等方性鏡面研磨試料面

Table.2 The samples that were mirror finished and isotropic

3. 変角光度計による等方性鏡面の評価

反射光分布を調べるため、村上色彩技術研究所製GP-1 R型変角光度計を用いて測定を行った。装置の原理を図7に示す。光源としてハロゲンランプを用い、コンデンサレンズ、ピンホール、シャッター、コリメータレンズ、光束絞りを通して平行な $\phi 1.7\text{ mm}$ の光束に調節された光を試料面に照射し、その反射光を受光絞りを $\phi 1.1\text{ mm}$ を通し、光電子増倍管により検出し、光起電力電圧はAD変換されて、パーソナルコンピュータPC9801RX (NEC製)にとりこまれる。なお、試料ステージ及び受光部が独立にモーター回転ができ、試料面の入射角度の設定後、反射角度を変えながら反射光強度の角度分布が測定できる。

まず、1つの等方性鏡面試料について、入射角度を $5^\circ \sim 80^\circ$ の範囲で色々を変えながら設定し、反射光強度の角度分布を測定した。次に、反射光強度を度数と仮定し、さらに、反射光強度の角度分布は正規分布と仮定して、それぞれ、統計的に標準偏差を計算して求めた結果を図8に示す。入射角度を変えても光の強度(ピーク高さ)の差が認められなかった事及び図8から、光入射角度の反射光強度の角度分布に対する影響は認められない。従って、光の入射角度は自由に設定しても良いことが確認された。以下、光の入射角は 10° に固定して反射光強度の角度分布測定実験を行った。

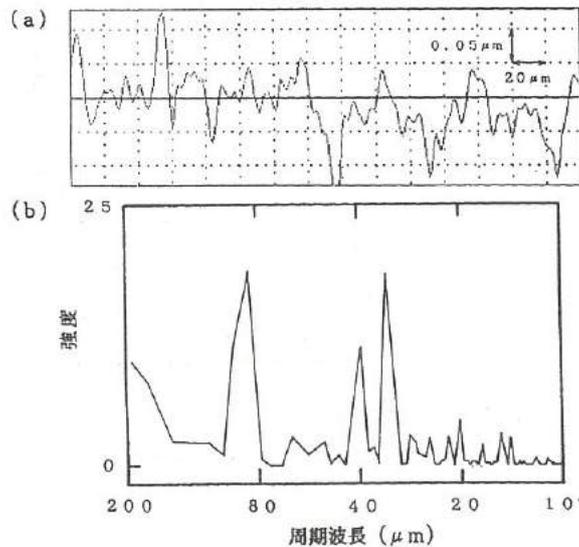


図9 #1000ペーパー仕上げ面の断面プロフィール(a)及びフーリエスペクトル(b)

Fig.9 The surface profile(a) and its fourier spectrum(b) of the finished with #1000 paper

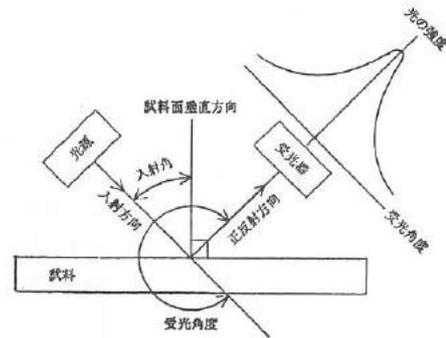


図7 変角光度計の原理と光散乱

Fig.7 The schematic principle of the goniphotometer and light scattering

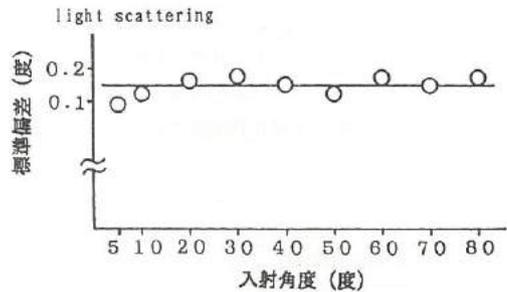


図8 標準偏差の光入射角度依存性

Fig.8 The incident angle dependency of the standard deviation

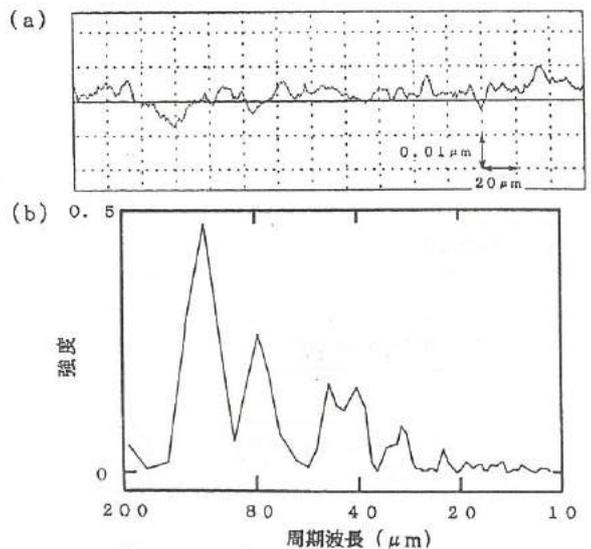


図10 $3\text{ }\mu\text{m}$ ダイヤモンド粒子バフ研磨面の断面プロフィール(a)及びフーリエスペクトル(b)

Fig.10 The surface profile(a) and fourier spectrum(b) of the buffed using diamond powder(about $3\text{ }\mu\text{m}$ in diameter)

図9、図10は、それぞれ、#1000ペーパー仕上げ面、3 μ mダイヤモンド粒子によるバフ研磨面を触針式粗さ計を用いて測定した断面プロファイル及びそのFFT計算結果である。図より、#1000ペーパー仕上げ面に比べ、3 μ mダイヤモンド粒子によるバフ研磨面の方が波長の長い成分の強度はある程度残るものの、波長の短い成分は大幅に減少する傾向にあることが認められる。それらの試料に対して、変角光度計より計測した反射光強度の角度分布を図11に示す。図より、#1000ペーパー仕上げ面の方がピーク高さが低く、わずかながらピーク幅が広い。反射光強度の角度分布曲線において、ピークの裾野付近は波長の短い成分と関連があるものと示唆される。

次に、中心線平均粗さRaと、反射光強度の角度分布から求めた光の強度（ピーク高さ）及び光の強度（面積）との関係を、それぞれ、図12、図13に示す。なお、図にあるSENS. ADJ. 995及びSENS. ADJ. 531は光電子増倍管の感度調節値で、感度を変えることにより、中心線平均粗さRaと光の強度（ピーク高さ、面積）は相関性良く調整することが可能であることが認められる。

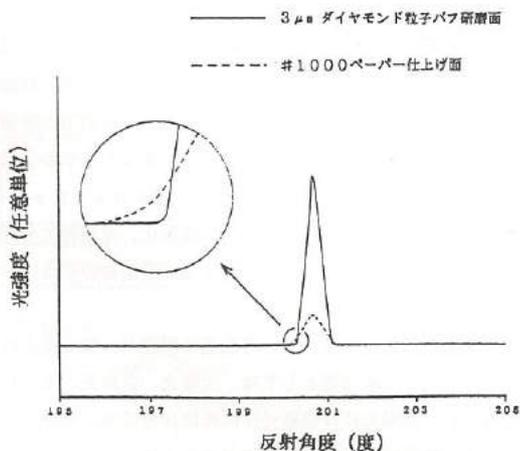


図11 反射光強度の角度分布

Fig.11 The angle distribution of the reflected light intensity

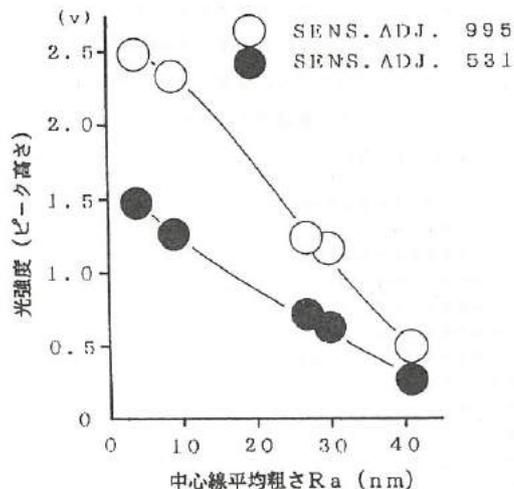


図12 中心線平均粗さRaと光強度（ピーク高さ）との関係
Fig.12 Ra vs. the peak height of the angle distribution of the reflected light intensity

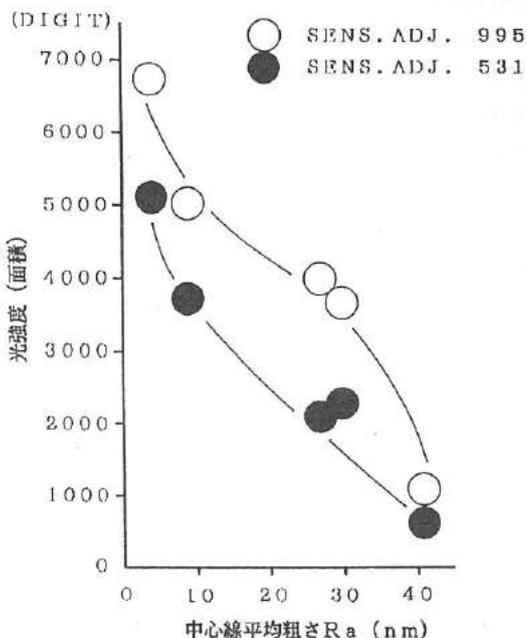


図13 中心線平均粗さRaと光強度（面積）との関係
Fig.13 Ra vs. the peak area of the angle distribution of the reflected light intensity

4. 非接触仕上げ面評価実験装置の試作とその性能評価

触針法による評価は理論的に明確で最も信頼性があるとされながら、柔らかい材料に対しては測定痕を残す。また、複雑形状の表面粗さは測定が困難であり、振動に対して加工現場では対応が困難な配慮が求められる。それ故、光を用いての非接触表面粗さ評価研究は今まで数多く行われている^{1)~5)}。我々は、振動に対する配慮が不用で、位置決めが容易な光散乱法による表面性状評価装置を試作することとした。光散乱法による表面粗さ評価も研究がさかんに行われ^{3)~5)}、nmオーダーの粗さと光散乱分布との間に相関があることが確認されている。またレーザの空間的コヒーレンス性を用いて、表面の周期成分を推定しようとする試みがある^{4),5)}が、その報告の大部分は、光源にHe-Neレーザを用いている。本研究では装置の小型軽量化、低価格化をはかる観点から、半導体レーザを用いての仕上げ面粗さ評価装置の試作及び検討を行うこととした。

光を使用した測定において、外乱光の影響が一番心配される。金型製造時の照明用光源としては、太陽光、白熱光、蛍光灯が考えられるが、太陽光及び白熱光は発光波長分布が広範囲にわたるので、蛍光灯照明下での計測評価ができる装置を試作することとした。図14に、試作した計測実験装置に使用した半導体レーザ及び受光センサ、フィルタ並びに蛍光灯の発光特性、感度特性、透過特性の波長依存性を示す。図からわかるように、蛍光灯による外乱光の影響がなく、半導体レーザ光を検出することができる。

試作した計測実験装置の光学系を図15に示す。光源には出力30mW、波長830nmの半導体レーザを用いAPC (Auto Power Control、光量フィードバック制御) 回路により駆動させた。コリメータレンズを通過することにより、点発光するレーザ光は平行光となり、シリンダリカルビームコンバータにより比率1:3の楕円型ビームを真円型ビームに矯正され、ピンホールを通過することにより約1mmφの平行ビームとして、試料表面に照射される。そして、その反射光は、ビームスプリッタにより角度調整され、アクロマテックレンズにはほぼ垂直に入射し、センサの中央部に結像し、受光される。アクロマテックレンズは、直径50mm、焦点距離120mmのものを用いた。1次元ラインセンサは1画素2500μm×25μmのものを用い、アクロマテックレンズの焦平面上に配置させた。露光時間は40msecとし、受光起電力電圧は16BitにAD変換され、DMAによりリアルタイムにパーソナルコンピュータPC9801RX (NEC製) にとりこまれる。なお、光強度分布の測定の際、50回測定してその平均値をとった。ラインセンサはアクロマテックレンズ焦平面上で回転できる様にし、また、ラインセンサの直前には赤外光透過、熱線吸収からなる組合せフィルタ及び減光フィルタを配置させた。なお、本実験は全てブラインドにより直射日光を遮蔽し、室内蛍光灯照明下で行なった。また、評価・検討は図16に示す手順で行った。

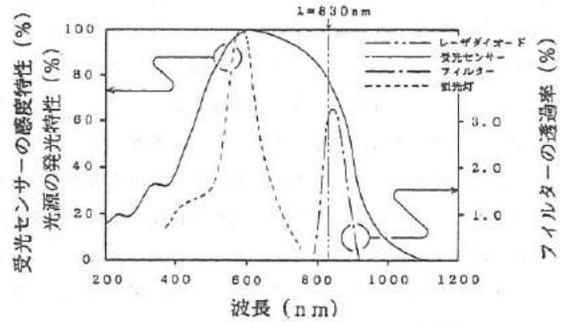


図14 波長特性

Fig.14 The wave length dependency of some characteristics

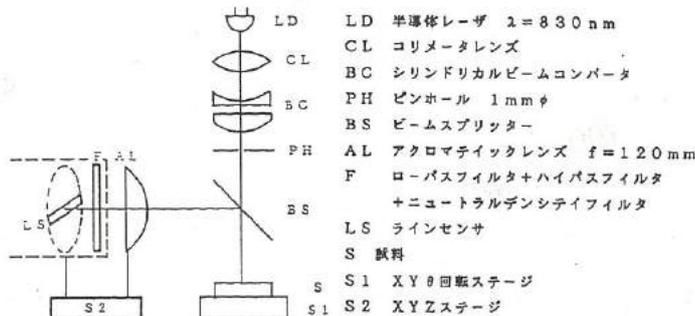


図15 試作した実験装置の光学系

Fig.15 The optical system of the experimental instrument produced on trial

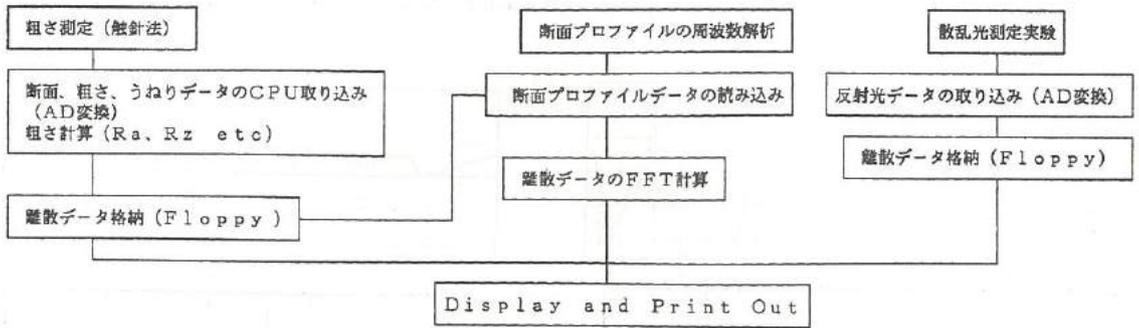


図16 表面性状の測定評価フロー

Fig.16 The procedure to study about the surface with the instrument assisted by the stylus method

まず、エンドミル加工後の周期性がはっきりしている試料面を用いて、本測定法のあらさ成分とうねり成分分離評価性能実験を行った。エンドミル加工面の触針法による断面プロファイル、断面プロファイルをFFT計算したフーリエスペクトル及び試作した実験装置で測定したフラウンホーファ回折光パターンを図17に示す。 $\lambda = 830 \text{ nm}$ とし、第0次回折光ピークと第1次回折光ピーク間距離 $\eta = 6091 \mu\text{m}$ より表面形状周期のピーク波長は $16.4 \mu\text{m}$ と計算でき⁵⁾、フーリエスペクトルの最大強度周期波長 $16.5 \mu\text{m}$ と良く一致する。この値はエンドミル加工時の送り量に相当すると考えられる。また、試料面及びセンサ面を共に90度回転させたときの回折光スペクトルは図17(c)と一致し、半導体レーザー光の径方向による差異は認められなかった。またレーザー照射部の粗さが大きくなるにつれて、第0次回折光ピーク高さと第一次回折光ピーク高さとの比は減少し、図17(c)に示す様になるのが確認された。

つぎに、等方性鏡面について検討した。#1000ペーパー仕上げ(乾式)面、 $0.25 \mu\text{m}$ のダイヤモンド粒子によるパフ研磨面の断面プロファイル、フーリエスペクトル、フラウンホーファ回折光強度分布曲線をそれぞれ、図18、図19に示す。#1000ペーパー仕上げ面のフーリエスペクトルをみると、周期波長 $30 \mu\text{m}$ より急激に立ち上がり、それ以下の周期波長成分は比較的小さい。 $0.25 \mu\text{m}$ ダイヤモンド粒子によるパフ研磨面のフーリエスペクトルについては、それに比べ、強度は全体的に小さく、#1000ペーパー仕上げ面の $1/500$ 程度であり、 $40 \mu\text{m}$ 付近より立ちあがっているのがわかる。試作した実験装置にて計測したフラウンホーファ回折光強度分布曲線で比較してみると、図より、#1000ペーパー仕

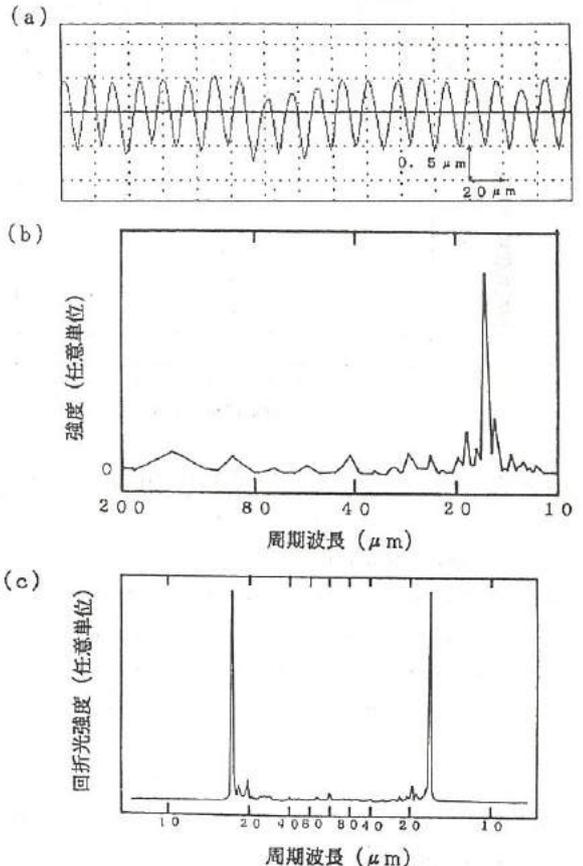


図17 エンドミル加工表面の断面プロファイル(a)及びフーリエスペクトル(b)、フラウンホーファ回折パターン
Fig.17 The surface profile(a) and fourier spectrum(b), fraunhofer diffraction pattern(c) of the end-milled

上げ面の方が周期波長の短いところから立ち上がっていて、ピーク高さが小さくなっているのが認められる。

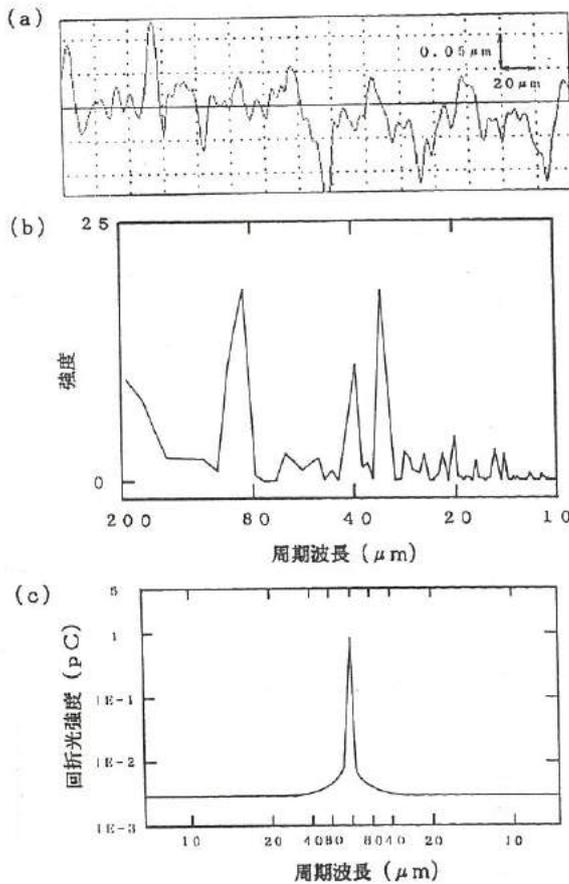


図18 #1000ペーパー(乾式)仕上げ面の断面プロファイル(a)及びフーリエスペクトル(b)、フラウンホーファ回折光強度分布

Fig.18 The surface profile(a) and its fourier spectrum(b) and the distribution of fraunhofer diffracted light intensity(c) of the finished with #1000 paper in dry process

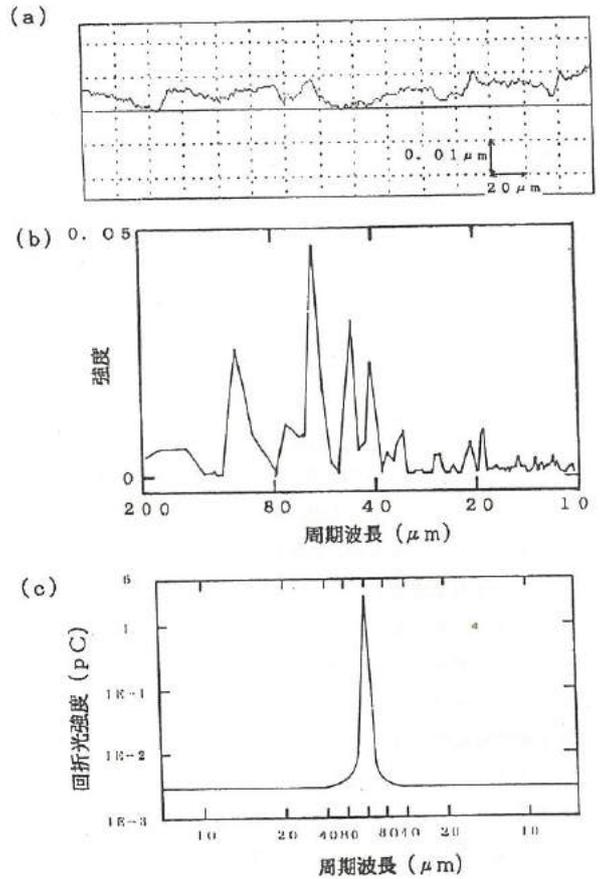


図19 0.25μmダイヤモンド粒子バフ研磨面の断面プロファイル(a)及びフーリエスペクトル(b)、フラウンホーファ回折光強度分布(c)

Fig.19 The surface profile(a) and its fourier spectrum(b) and the distribution of the fraunhofer diffracted light intensity(c) of the buffed using diamond powder (about 0.25μm in diameter)

表1で挙げた試料面全てについて、中心線平均粗さRaと第0次回折光強度高さI0との関係を図20に示す。RaとI0との関係には相関性が認められる。

同様に、中心線平均粗さRaとフラウンホーファ回折光強度分布の面積強度比(ISPOT/ITOTAL)の関係を図21に示す。ただし、ITOTALはラインセンサ全素子(1024素子)の受光起電力の和で、ISPOTは回折光強度分布の最高値をとる点を中心に±50素子(±1250μm)の受光起電力の和である。RaとISPOT/ITOTALの関係も相関性が認められる。ISPOT/ITOTALは材質に依存しないことから、異なる材質でも面性状が同じであれば、図21の関係が成り立つと考えられる。

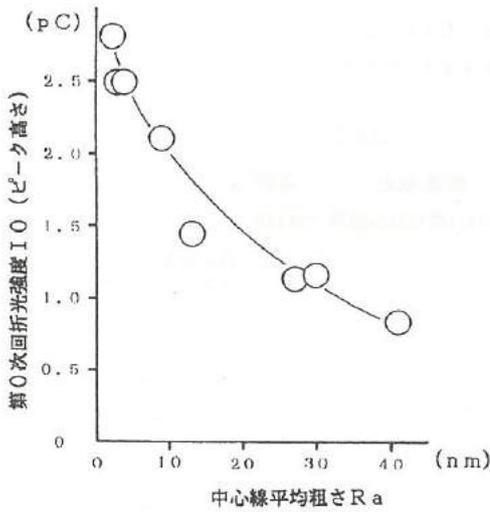


図20 中心線平均粗さ R_a と第0次回折光強度 (ピーク高さ) I_0 との関係

Fig.20 R_a vs. the peak height of the zeroth diffracted light intensity

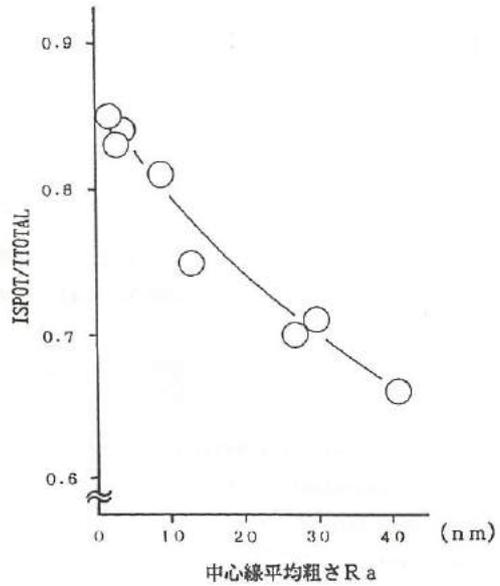


図21 中心線平均粗さ R_a と面積強度比ISPOT/ITOTALとの関係

Fig.21 R_a vs. the ratio of the area light intensity

5. 結 言

金型材の表面を等方性鏡面に仕上げた試料について以下のことを確認した。

- 1) 自然光及びレーザー光を用いた反射光強度と中心線平均粗さとは、 $R_a 0.002 \mu\text{m} \sim 0.041 \mu\text{m}$ ($R_z 0.016 \mu\text{m} \sim 0.334 \mu\text{m}$) の範囲で、共に相関性良く検出することができた。
- 2) 自然光を用いた場合、反射光強度の角度分布に光入射角度の依存性は認められなかった。すなわち、入射角度は自由に設定できることを確認した。

また、本研究で試作した実験装置は全て、室内蛍光灯照明下での測定ができた。半導体レーザー光の出力波形はHe-Neレーザーに比べて劣るが、エンドミル加工面の送り量が測定後直ちに計算できたことから、本測定方法は粗さ評価並びに、表面凹凸の周期成分検出ができ、粗さとうねり成分分離評価、加工プロセスの推定が可能であることが確認された。

なお、本測定方法の性能検査、例えば、異なる周期で粗さが同程度の場合の周期成分評価、さらに表面形状が平面でない場合における粗さ評価、自動評価装置の開発等は今後の課題である。

参考文献

- 1) 例えば、塚田 忠夫、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) JISハンドブック「機械計測」日本規格協会 1986, JIS B 0651
- 3) 栗野 陽一 他、変角光度計による表面粗さの評価、昭和63年度精密工学会秋期大会学術講演会論文集
- 4) 吉田 浩二 他、レーザー反射散乱光による超精密切削面の粗さ測定技術 精密工学会誌、54, 5, 1988
- 5) 三好 隆志 他、Fraunhofer回折による超精密ダイヤモンド切削面の粗さ測定、精密工学会誌 53, 5, 1987

Ⅲ. 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 Compositd with
Ferroelectric Ceramics.

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

Abstract

Ordinary, the piezoelectric materials which are served as ultrasonic transducer have ferroelectric ceramic characteristic. Repentantly, these solid matter has been restricted in a few short conings in spite of superior sensitivity. These defects are present at the followings; (1) acoustic impedances show at high range about 20 times compared with water, oil and living body, (2) permittivities show high values and (3) it is difficult to get them with various shapes at will. Consequently, a number of macromolecule structures piezoelectric materials are attract to make up forceramic's faults. In this group for study, a research squad attempted to develop special simple-type ultrasonic diagnosis equipment to applicate epoxy resin piezoelectric materials, so as to increase piezoelectric efficiency, which is made a composition with ferroelectric ceramics.

The results of this study summarise as follows:

- (1) Epoxy resin sheet which was made a composition with ferroelectric ceramics, was possible to use in frequency of wide band.
- (2) The sensitivities of transmission and reception were improved to adjust thickness of copper plate using rear electrode of ultrasonic transducer.
- (3) The directivity of ultrasonic wave was improved to arrange appropriate suitable curvature for ultrasonic transducer.
- (4) The prototypal ultrasonic transducer was able to recognize the various figures of objects in sillicon oil.

1. 緒言

高分子圧電材料の超音波領域での適切な応用分野の一つとして超音波診断用のトランスジューサが挙げられる。一般に、超音波診断に用いられるトランスジューサの圧電材料としては、PZTなどのセラミックス強誘電体材料が利用されている。セラミックス材料は感度の点で優れているが、いくつかの欠点も持っている。まず第一には、音響インピーダンスは音波伝搬体である生体や水と比較して約20倍も大きいため、測定対象物の表面で音波が反射して感度が低下する。第二には、誘電率が大きいため、面積の大きい振動子で駆動する場合には、その電気インピーダンスが小さくなり、電源とのインピーダンス整合が取りにくくなる。第三には、加工性に劣るため、診断用のトランスジューサーとして種々の形状が要求される場合には、均一な性能の素子に加工することは困難である。

そこで、これらの欠点を補う材料の一つとして注目されているのが高分子圧電材料である。このため、本研究ではトランスジューサとして、エポキシ系高分子圧電材料と強誘電体セラミックス粉末を複合化することによって圧電性が強化された、高分子複合圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発を試みたので、その成果の概要を報告する。

2. エポキシ系高分子複合圧電材料を用いた超音波トランスジューサの基本的特性

2. 1 超音波トランスジューサの試作

ここでは、下部電極を銅板としたエポキシ系複合圧電材料による超音波トランスジューサを製作した。図1はその作製フローチャートを示す。図2に、測定に用いた超音波トランスジューサの概要を示す。

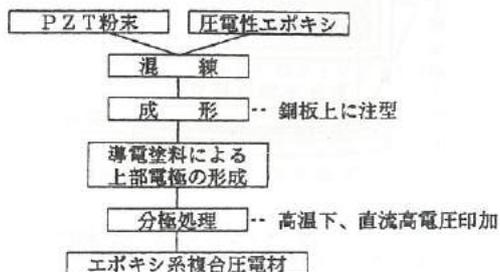


図1 超音波トランスジューサの作製フローチャート
Fig.1. Flow sheet for preparation process of ultrasonic transducer.

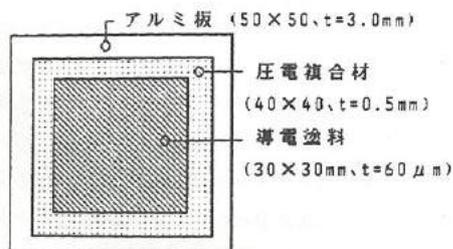


図2 超音波トランスジューサの構造
Fig.2. Structure of composite type ultrasonic transducer.

2. 2 実験結果と考察

(1) 超音波トランスジューサの電気的特性

まず、LFインピーダンスアナライザを用いて、超音波トランスジューサの比誘電率 ϵ の周波数特性を測定した。図3に、その結果を示す。この結果、誘電率は100KHzまでは約20前後であるが、500KHz前後から減少し、損失は増加する。しかし、特に共振周波数は見当たらないことから、広帯域での使用が可能と考えられ、従来の強誘電体セラミックスセンサにはない特徴の一つである。

(2) 超音波トランスジューサの送信性能

まず、送信用超音波トランスジューサとしてPZT配合のポリフッ化ビニリデン(PVDFと略称)の高分子複合圧電シート、エポキシ系高分子複合圧電シート、および銅板上にエポキシ系高分子複合圧電材を形成した3種類の送信素子を用意した。そして、受信用超音波センサには市販のセラミックセンサを使用してそれぞれの送信出力電圧を測定したところ、空気中では超音波エネルギーの減衰が著しいため、測定は困難であった。このため、電気絶縁性も考慮してシリコンオイル中にて送信性能を測定した。この時の超音波周波数は40KHzである。表1は実験結果を示す。その結果、エポキシ系高分子複合圧電材料単体での送信出力電圧は小さいが、銅板上に形成することによって出力電圧は3倍程度向上した。このことは、銅板上に形成することによって、超音波が有効に前面へ出力されるものと考えている。

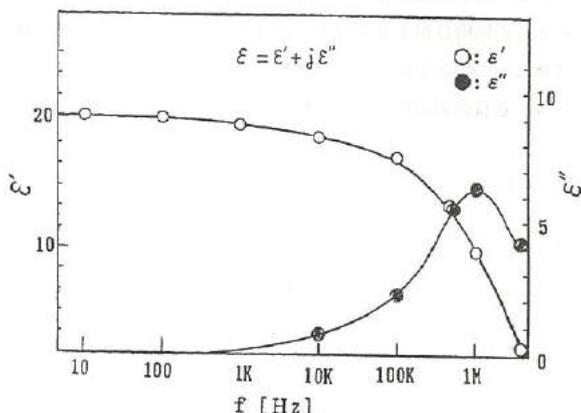


図3 誘電率の周波数特性
Fig.3. Permittivity vs. frequency characteristic of ultrasonic sensor.

表1 超音波トランスジューサの送信性能
Table 1. Transmitting ability of ultrasonic transducer.

送信用超音波センサ材料	受信波電圧(mV _{p-p}) 送受信間距離D=150mm	
PZT配合PVDF	3	
エポキシ系複合圧電材料	単体	7
	銅板上	22

(3) 超音波トランスジューサの指向特性

図4は本実験で試作した単素子凹面型のエポキシ系高分子複合超音波トランスジューサの一例を示す。試作したものは、銅板上にエポキシ系高分子複合圧電材と表面電極（カーボンペースト）を形成し、それを凹型に成形したものである。ここで、銅板は背面電極と同時に音響反射板の役目も果たしている。図5はセンサの指向特性測定方法の概要を示す。測定は、まずファンクションジェネレータを使ってパルス信号を発生させ、その出力電圧を更にアモルフスコアを用いたトランスで昇圧した。送信側にはエポキシ系高分子複合圧電材料を設置し、受信側には市販の高周波型セラミックス超音波センサを配置した。出力側に用いたエポキシ系高分子複合超音波トランスジューサの形状は、平坦なもの、曲率半径が $R=200$ 、および $R=130$ のもの3種類である。なお、送信超音波周波数は 400 KHz である。図6に指向特性を示す。図より、わん曲している超音波トランスジューサには音波の収束がみられた。

例えば、曲率半径 R が 130 mm のものについては、センサの中心からの距離 D が 130 mm 前後の位置に焦点らしきものが確認できた。このことから、センサ自体にわん曲を与えることによって、送信超音波の指向性は向上することが分かった。

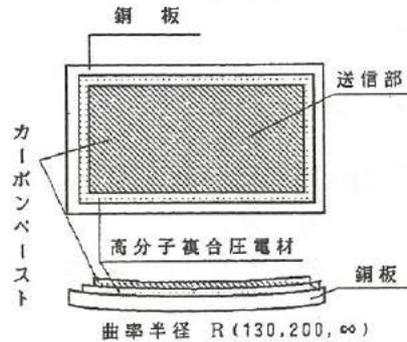


図4 凹面型超音波トランスジューサの構造
Fig.4. Structure of concave type ultrasonic transducer.

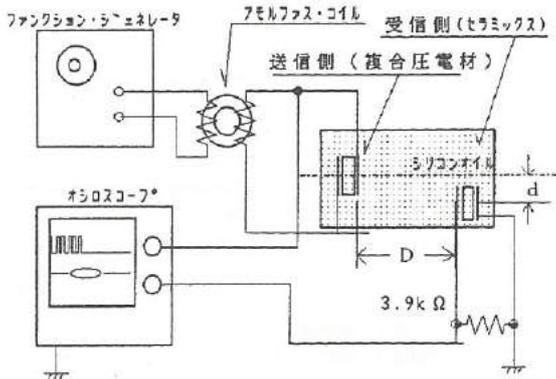


図5 指向性測定方法の概要
Fig.5. Outline of directivity measurement.

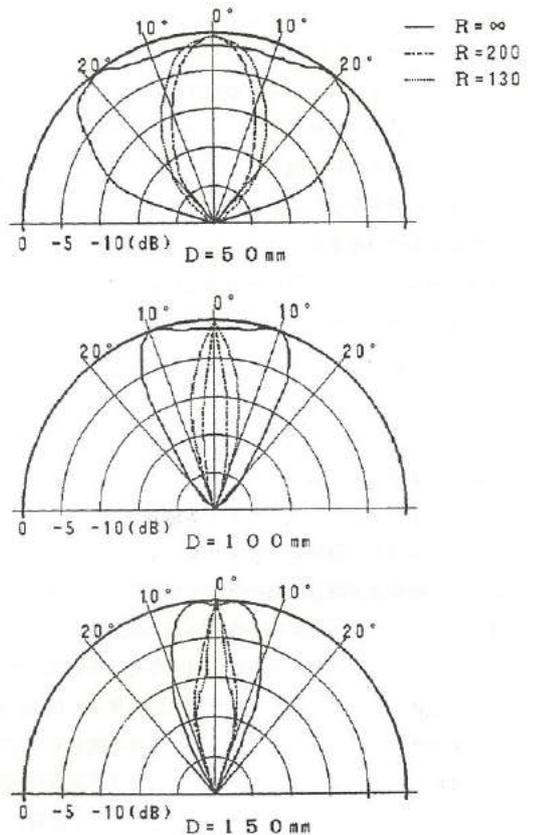


図6 超音波トランスジューサの指向特性
Fig.6. Directivity of ultrasonic sensor.

3. 超音波診断装置への応用

超音波診断で最も多用されているのはパルスエコー法である。これは、超音波送信器からパルス波を対象物に発射し、音波の進行方向にある物体の音響的性質（音響インピーダンス、吸収など）に対応して生じる反射波を受信器で受け、その戻り時間と強度で対象物の様子を探る方法である。そこで、ここではエポキシ系高分子複合圧電材料の超音波診断用トランスジューサへの応用について検討を加えた。

3.1 実験方法

トランスジューサとして次の2つのタイプのもを試作した。

(1) タイプ I

図7はタイプ I の概要を示す。これは、複合圧電材を1 mm厚の銅板上に直接硬化させ、カーボンペーストで上部電極を形成して2つに分割して一方を送信部、他方を受信部とした送受信一体型の素子である。

(2) タイプ II

図8にタイプ II の概要を示す。これは、タイプ I と同様に送信部と受信部を分割し、更に受信部を4つに分割した後、素子全体に曲率をつけて指向性をもたせたアレイ型の素子である。また、測定対象物との音響インピーダンス整合をとるために、送受信面に厚みが10 mmの液状ゴムを追加形成した。この整合層による減衰は10%程度であった。図9は、その外観を示す。

ここで、銅板の厚みを使用周波数における銅板中の波長の1/4に選ぶと、圧電膜からみた背面銅板の音響インピーダンスが極めて大きくなり、背面銅板へ音が洩れなくなる。そこで、一般に生体を診断するのに適した周波数が2~5 MHz であることから、背面電極としての銅板の厚みを1.0 mm とした。また、高分子複合圧電材は、電極の切断だけで隣接素子間の電氣的・音響的の相互干渉は十分に小さくなることから、上記のトランスジューサの分割は簡単に実現できた。

図10は超音波送信部の原理図を示す。これは、あらかじめ直流高電圧をコンデンサーCに充電した後、抵抗器Rを通して放電させその時に発生するパルスを利用したもので、この繰り返し周期は2 msecである。そこで本装置では、送信パルスを450 V_{p-p}、2 MHz（パルス幅500 nsec）に設定した。

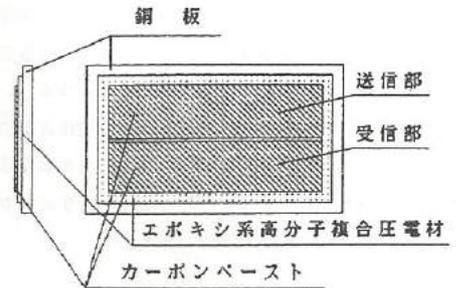


図7 超音波トランスジューサ [タイプ I]
Fig. 7. Structure of ultrasonic transducer [type I].

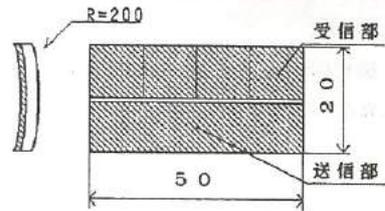


図8 超音波トランスジューサ [タイプ II]
Fig. 8. Structure of ultrasonic transducer [type II].

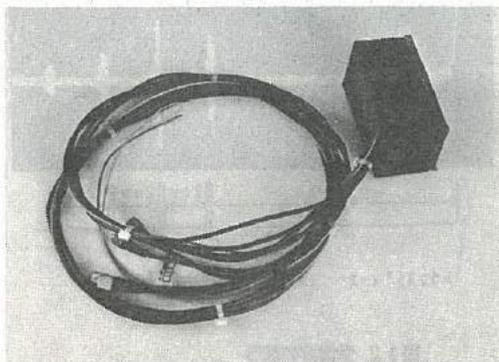


図9 超音波トランスジューサ [タイプ II] の外観
Fig. 9. External appearance of ultrasonic transducer [type II].

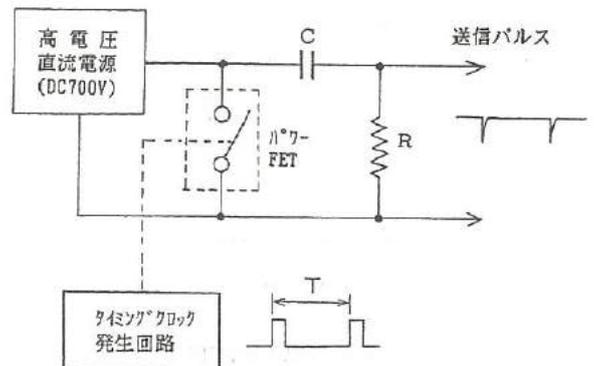


図10 超音波送信部の原理図
Fig. 10. Principle of ultrasonic transmitter.

3. 2 実験結果と考察

(1) タイプ I のトランスジューサーによる送受信波の観察

図 11 は、送信パルスの波形を示す。図 12 は、タイプ I のトランスジューサーを用いて、シリコンオイルに浸漬したアクリル板と銅板の 3 種類の組合せの様子をとらえた受信波の波形を示す。一般に、固有音響インピーダンスの異なる二つの媒質の境界面では、音波の透過と反射が生ずる。つまり、固有音響インピーダンスの値が同程度であると、音波はよく透過し反射波は少ない。しかし、固有音響インピーダンスが異なる境界面では反射波が生じる。従って、ここではアクリル板や銅板からの反射波の形状ははっきりと確認できた。

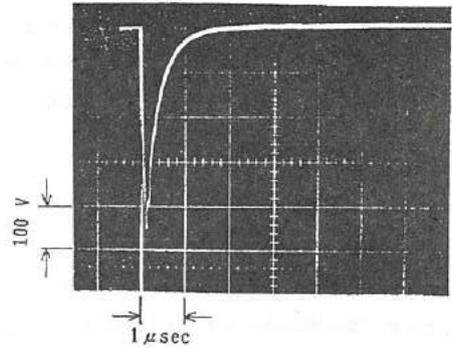


図 11 送信パルスの波形
Fig.11. Wave form of transmission pulse.

(2) タイプ II のトランスジューサーによる送受信波の観察

図 13 および表 2 はタイプ II によるトランスジューサーを用いて、水とシリコンオイル中で超音波の伝搬特性を測定した結果を示す。図及び表より、各媒体とも測定値は文献値とはほぼ一致した。なお、空気中の伝搬速度の測定は、超音波距離計を用いて測定したものである。

また、図 14 はアレイ型素子 (タイプ II のトランスジューサー) を使用したときの形状判別の一例を示す。

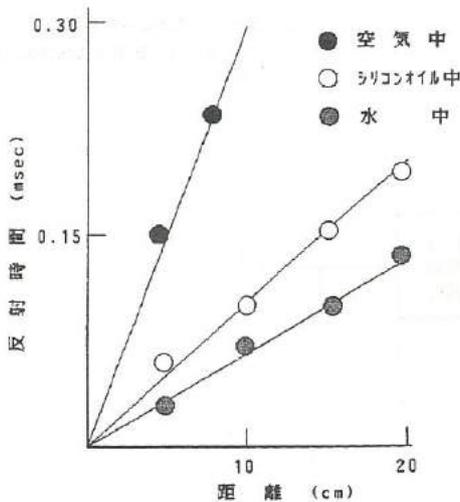


図 13 測定距離と伝搬時間
Fig.13. Measurement distance vs. propagation time.

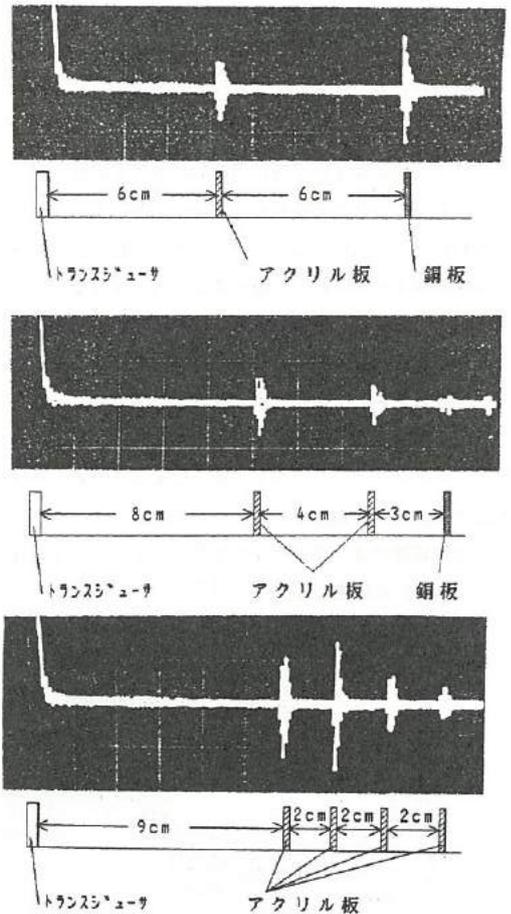


図 12 受信波の波形
Fig.12. Wave forms of reflection wave.

表2 種々の媒体における超音波の伝搬特性
Table 2. Propagation characteristics of
ultrasonic in several materials.

項目 物質	密度 ρ (g/cm ³)	物質中の音速度 c_1 (m/sec)	音響インピーダンス $\rho c_1 \times 10^{-5}$ (cgs)
空気	1.29×10^{-3}	340	4.39×10^4
水	1.00	1520	1.52
シリコンオイル	0.95	960	0.93
* 人体組織	0.90~2.00	1490~1810	1.34~3.22
* Cu	8.93	5010	44.7

*印は文献値

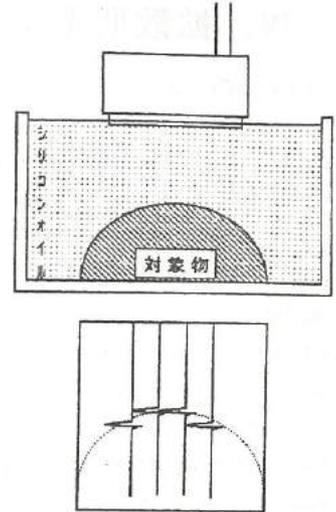


図14 アレイ型素子による形状判別
Fig.14. Distinction of figure by
array type element.

4. 結言

本研究では、トランスジューサとして、エポキシ系高分子複合圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発について検討を加えた。その結果、次の結論を得た。

- (1) 高分子圧電複合シートは、広帯域での使用が可能である。
- (2) 超音波トランスジューサの背面電極に用いる銅板の厚みを調整することによって、送受信の感度は向上する。
- (3) 超音波トランスジューサに適当な曲率半径を設けることによって指向性が向上した。
- (4) 試作した超音波トランスジューサを使用して、シリコンオイル中にある物体形状を確認することができた。

<参考文献>

- 1) 大東弘二：材料技術 Vol. 3, No. 7 (1985)
- 2) 社団法人 日本セラミックス協会編：セラミックコンポジット pp. 39-62 (1989)
- 3) 川端 昭：やさしい超音波工学 (1989)

IV. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

Study of Acoustooptic Device Using In-diffusion Waveguide

若林 成喜 煙田 不二男 二口 友昭 本保 栄治 谷野 克巳

WAKABAYASI Sigeki·TABATA Fujio·PUTAKUCHI Tomoaki·HONBO Eiji·TANINO Katsumi

Abstract

Single crystal of LiNbO_3 exhibits excellent optical and electrical properties, while its large single crystal is available for optical devices. And optical waveguides by LiNbO_3 have been investigated for realization of integrated circuit of optical elements.

In this study, for the development of acoustooptic deflecting waveguide by LiNbO_3 , we analyzed the composition and structure of LiNbO_3 waveguide by Auger electron spectroscopy and X-ray diffraction pattern. Besides, we evaluated the piezoelectricities of LiNbO_3 by admittance curve of IDT (Interdigital Transducer). IDT was fabricated on the waveguides with Al thin film that was deposited by EB evaporation or RF magnetron sputtering.

The results summarize as follows:

- (1) Ti concentrations in Ti in-diffusion LiNbO_3 waveguides were analyzed by Auger electron spectroscopy and converted into refractive index changes.
- (2) Lattice constants were analyzed by X-ray diffraction pattern on Z-cut proton-exchanged LiNbO_3 waveguides, but on Y-cut proton-exchanged LiNbO_3 waveguides more precision measurement were needed.
- (3) Excellent piezoelectricity was degraded in the proton-exchanged LiNbO_3 waveguides, although it came into being in the Ti in-diffusion LiNbO_3 .
- (4) The deposition process must have a facility for high quality and good adhesive metal so as to fabricate the electrodes to be make use of the integrated optical devices.

1. 緒言

これからの高度情報化社会においては、光通信や光情報処理がより高機能化し、さらに普及することが期待されている。このためには、半導体集積回路 (IC) の出現により、これまでの電子回路の小型化、低価格化が進み、コンピュータをはじめとする多くの電子機器が開発され普及したように、オプトエレクトロニクス分野においても、種々の光学素子を一体化し、小型化した光集積回路を開発することが必要である。特に、光ビームの進行方向や空間位置を制御する光偏向技術は、記録、表示および光情報処理など広い分野で用いられる基礎的な技術である。ここでは、音響光学効果を利用して、光ビームを制御する素子について研究した。従来、光集積回路の材料として種々のものが研究されてきているが、その中でも LiNbO_3 は、高品質な単結晶が比較的安価かつ大量に供給されており、これを用いた素子の試作研究が多くなされている⁽¹⁾。しかし、単結晶基板の量産技術が確立しているのに比べ、素子を安定かつ大量に作製する技術はまだ未完成で、多くの問題が残されている⁽²⁾。 LiNbO_3 基板を用いた光導波路は、表面に Ti を拡散した層、あるいは Li とプロトンを交換した層を形成して光を導波させるのものであり、この導波路層の組成評価は、安定に製品を作製する上でぜひ必要である。このため、これまでの X 線マイクロ分析 (XMA) を用いて断面を分析する組成評価が行われてきたが、実際にデバイスとして利用されるのは単一モード光導波路が多く、その拡散深さはサブミクロンであるため、XMA では組成を正確に知ることができなかった⁽³⁾。そこで、本研究ではオージェ電子分光分析と X 線回折を用いて、光導波路層の組成評価を非破壊で行った。また、音響光学素子では LiNbO_3 の圧電性を利用しているが、導波路層の圧電性に関する研究はあまりなされていないため、これについても検討を行った。さらに、これまでこれらの素子の電極として Al が用いられてきたが、本研究では電極の安定な形成方法についても検討を加えた。

2. 音響光学素子の原理と構造

図1は光導波路の構造を示す。図2はこの研究において最終目標とする音響光学素子の構造を示す。図を簡単に説明すると、 LiNbO_3 基板にTiを拡散した層を作ることによってTi拡散部分の屈折率が高くなり、光導波路として利用することができる。同様に、Liをプロトン交換した層も屈折率が高くなることが知られている。また、 LiNbO_3 基板にくし型電極 (Interdigital Transducer, 以下にIDTと略記する) を取り付け、高周波信号を印加すると表面弾性波 (Surface Acoustic Wave, 以下にSAWと略記する) が励振される。励振されたSAWが回折格子として作用し、光導波路に入射されたレーザー光の進行方向を変えることができる。

本実験では光導波路の形成方法としてTi拡散と、ピロ燐酸によるプロトン交換を採用した。一般に、プロトン交換には安息香酸が用いられているが、処理が容易なピロ燐酸によるプロトン交換でも光導波路が形成されることを実験より確かめた。光源にはHe-Neレーザーを用い、レーザー光は TiO_2 プリズムを介して光導波路中に入射した。また、IDT電極のAlの成膜方法としてはEB蒸着とスパッタ法について検討を加えた。なお、IDTのパターン形成はフォトリソ技術で行い、その中でも行程数の少ないリフトオフ法を採用した。IDTは周期が $5\mu\text{m}$ と $10\mu\text{m}$ の2種類のを形成した。SAWの速度は物質によって一定の値を取るのので、IDT周期を決定すると必然的に振動数も決ってくる。理論値としては、図2中の式(1)より、IDT周期が $5\mu\text{m}$ のものは振動数175MHz、 $10\mu\text{m}$ のものは87.5MHzとなる。

3. 光導波路の作製

3.1 実験方法

光導波路は LiNbO_3 基板表面にTi拡散と、プロトン交換を行うことによって作製した。

(1) Ti拡散法

市販の LiNbO_3 基板 (Yカット、 $25 \times 24\text{mm}$ 、厚さ 0.5mm 、片面鏡面研磨) 上に、電子ビーム蒸着法 (到達真空度 $5 \times 10^{-6}\text{Pa}$ 、着膜速度 $12\text{\AA}/\text{min}$) により所定厚みのTi膜を形成した。本方法では高真空中で高純度な膜が得られ、水晶振動型膜厚計を用いて、膜厚を正確にモニターしながら成膜した。Ti膜を形成した試料は、 O_2 ガス雰囲気中で所定の温度と時間で熱処理することによって、Ti拡散を行った。図4は熱処理の温度プロファイルを示す。

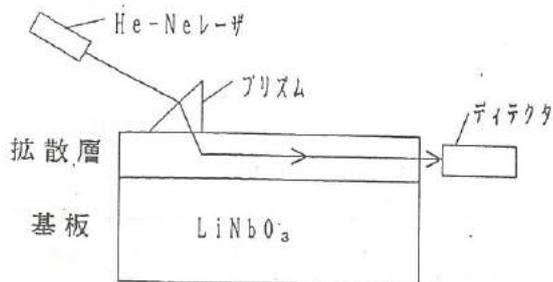
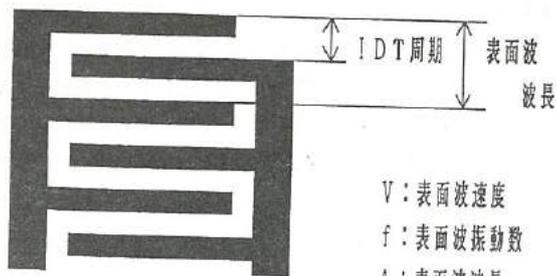
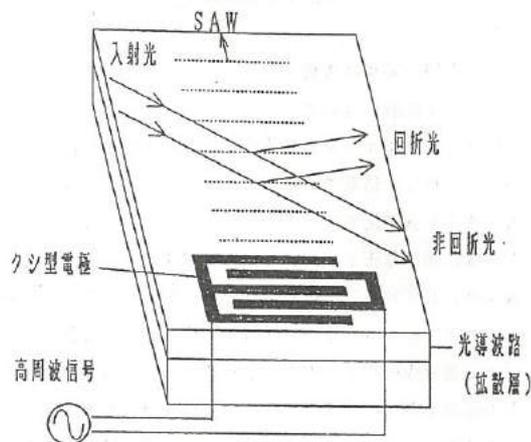


図1 光導波路

Fig.1. Optical waveguide



IDT説明図

V : 表面波速度
 f : 表面波振動数
 Λ : 表面波波長

$$V = f \cdot \Lambda \quad \text{----- (1)}$$

図2 音響光学素子

Fig.2. Acousto-optic device

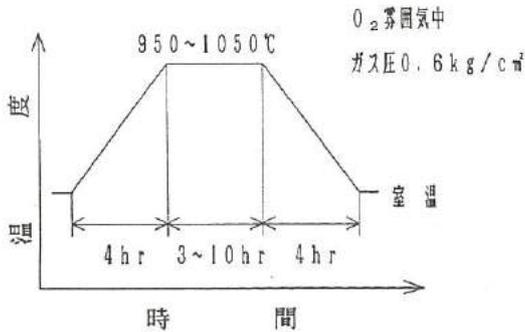


図3 熱拡散条件(温度プロファイル)

Fig.3. In-diffusion by heat-treatment

(2) プロトン交換法

LiNbO₃ 基板(Ti 拡散した基板)をピロ磷酸に浸し、所定の温度と時間で加熱することによって、プロトン交換を行った。

3. 2 実験結果及び考察

(1) Ti 拡散について

図4は走査型オージェ電子分光分析装置でTi 拡散した光導波路を分析した結果である。分析は、Arイオンエッチングで表面を50Å程度クリーニングしたものについて、試料傾斜75度、加速電圧3KV、プローブ電流5×10⁻⁷Aで行った。図より、LiNbO₃ 基板にTiが拡散していることがわかる。図5はTiとNbのオージェピーク比から、熱処理温度の違いによる基板表面のTi濃度の変化を求め、屈折率の変化を推定した結果を示す。図より、Tiの表面濃度は熱処理温度を高くするに従って低くなる。これは、Tiが深く拡散したため表面の濃度が低くなったことによるものと考えている。また、Tiの表面濃度が高くなるに従って表面の屈折率も高くなると推定する。

Ti 拡散による組成変化が結晶構造に及ぼす影響は、試料をX線回折で調べることによりわかる。図6は熱処理温度を変えたときのX線回折図を示す。ピーク位置は2θ=62.6°である。図より、熱処理温度が高くなるに従って、回折ピークがブロードになっている。これは、熱処理温度が高い場合は拡散が深くなり、結晶構造の変化が大きくなることを示している。図7は拡散させるTiの量を変化させたときのX線回折図を示す。図より、拡散させるTiの量が多くなるに従って、回折ピークがブロードになっている。これは、Tiの量が多くなると組成変化が大きくなり、結晶構造の変化も大きくなることを示している。

(2) プロトン交換について

図8はプロトン交換した試料表面のSEM写真を示す。図より、Ti 拡散していないYカット基板をプロトン交換すると、

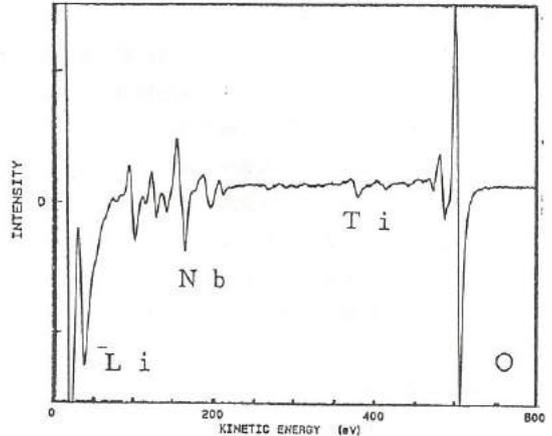


図4 Ti 拡散光導波路のオージェスペクトル

Fig.4. Structural analyzed by Auger electron spectroscopy for Ti in-diffusion waveguide

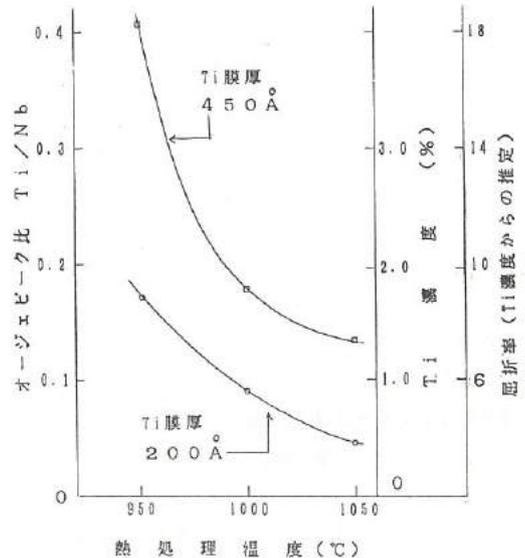


図5 Ti 拡散の拡散温度とTi濃度の関係

Fig.5. Ti in-diffusion temperature vs. Ti concentration

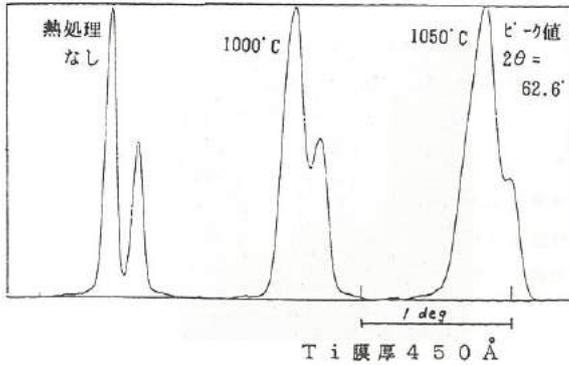


図6 Yカット面Ti拡散光導波路のX線回折図
(Ti膜厚450Å)

Fig.6. X-ray diffraction patterns of Ti in-diffusion waveguide on Y-cut surface
(Ti film thickness 450Å)

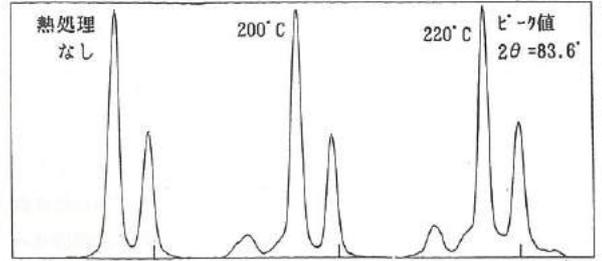


図9 Zカット面プロトン交換光導波路のX線回折図
(プロトン交換時間30分)

Fig.9. X-ray diffraction patterns of proton exchange waveguide on Z-cut surface
(proton exchange time 30 min.)

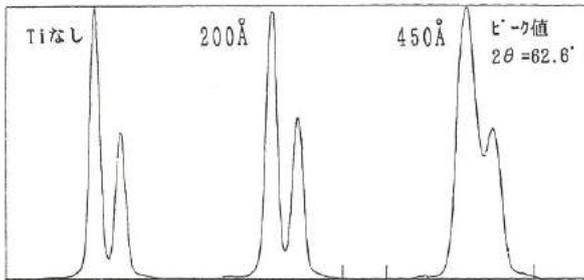


図7 Yカット面Ti拡散光導波路のX線回折図
(Ti拡散条件1000°C, 10時間)

Fig.7. X-ray diffraction patterns of Ti in-diffusion waveguide on Y-cut surface
(Ti in-diffusion condition 1000°C, 10hr.)

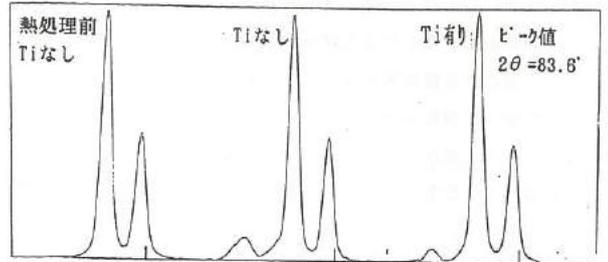
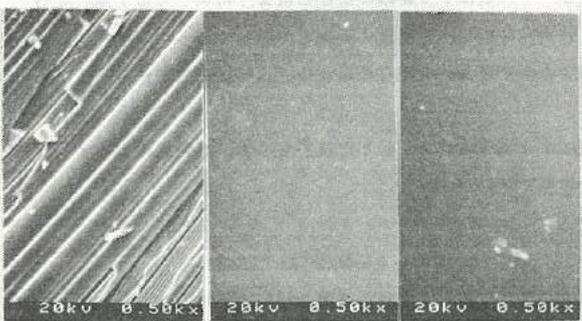


図10 Zカット面プロトン交換光導波路のX線回折図
(プロトン交換条件200°C, 30分)

Fig.10. X-ray diffraction patterns of proton exchange waveguide on Z-cut surface
(proton exchange condition 200°C, 30min.)



Yカット面プロトン交換 Yカット面Ti+プロトン交換 Zカット面プロトン交換

図8 光導波路のSEM写真

Fig.8. Scanning electron micrograph of waveguide

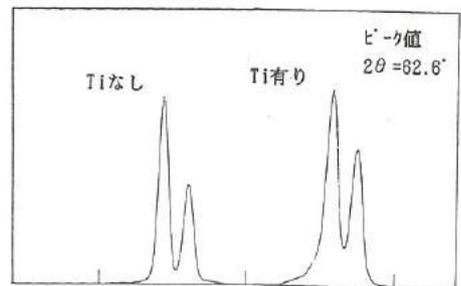


図11 Yカット面プロトン交換光導波路のX線回折図
(プロトン交換条件200°C, 30分)

Fig.11. X-ray diffraction patterns of proton exchange waveguide on Y-cut surface
(proton exchange condition 200°C, 30min.)

表面が荒れてしまい、光導波路として用いることができないことがわかる。しかし、Zカット基板を用いるとTi拡散なしでも、表面は荒れない。そこで、Zカット基板をプロトン交換した試料をX線回折で調べた。図9はプロトン交換するときの加熱温度を変えたときのX線回折図を示す。ピーク位置は $2\theta = 83.6^\circ$ である。図より、プロトン交換された試料は低角側に別のピークを持つようになる。LiNbO₃のX線回折ピークから明らかに違うところにピークが現れることから、プロトン交換は格子間隔を大きく変化させることがわかる。なお、プロトン交換によって発生したピーク位置は $2\theta = 83.4^\circ$ である。これより、格子間隔が0.34%伸びたことがわかる。LiNbO₃のZ方向の格子間隔が13.863Åであるから、格子間隔の伸びは0.048Åであることがわかった。また、加熱温度が高くなるに従って低角側のピークが高くなる。これは、加熱温度が高くなるとプロトン交換速度が速くなり、プロトン交換される量が多くなったことを示している。図10はTi拡散した試料をプロトン交換したときのX線回折図を示す。図より、Ti拡散した試料は低角側のピークが低くなっている。これは、Ti拡散されているためにプロトン交換されるべきLiが少なく、プロトン交換が抑制される結果になっていることを示している。従って、Ti拡散したYカット基板をプロトン交換しても表面が荒れないのは、同様の理由によるものと考えている。図11はTi拡散したYカット基板をプロトン交換したときのX線回折図を示す。図より、プロトン交換したTi拡散試料は低角側のピークスロープが緩くなっている。これは、Ti拡散したYカット基板においても、プロトン交換されていることを示している。

(3) 光導波路への光の入射

本研究では、Ti拡散光導波路をシングルモード光導波路にするために、Ti膜厚200Å、拡散温度1000°Cおよび拡散時間5時間の条件で作製した。Ti拡散光導波路の場合、励振されるモードの数はTi膜厚および拡散条件によって決まるところの表面屈折率変化と拡散深さに依存するが、従来は、シングルモードの場合は表面屈折率変化の測定が困難であった。今回、オージェ分析したことにより、Ti濃度から表面屈折率の変化を推定することができた。このことにより、適切な拡散条件の設定が可能となった。

図12は光源としてHe-Neレーザーを用い、プリズム結合法によって導波光を入射した様子を示す。出射光のmラインが単一なことから、シングルモード光導波路になっていることが確認できた。

4. IDTの作製

4-1 作製方法

図13はIDTの作製方法の一例を示す(リフトオフ法)。作製方法は、まずTi拡散またはプロトン交換したLiNbO₃基板をアセトン、純水の順に各5分間超音波洗浄し、120°C中で10分間乾燥する。次に、スピナーを用いて基板にレジストを塗布する(4000rpm 15min)。この時のレジスト膜厚は1μmであり、レジストにはポジ型のOFPR2(TOK)を用いた。次に、レジスト塗布基板を84°Cで20分間プリベイクした後、基板上にフォトマスクをセットし、1分間UV照射を

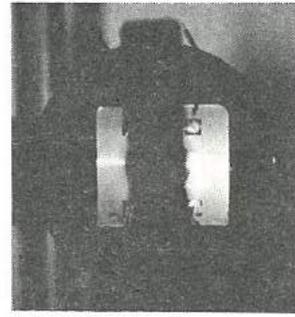


図12 光導波路への光入射

Fig.12. Laser incidence into waveguide

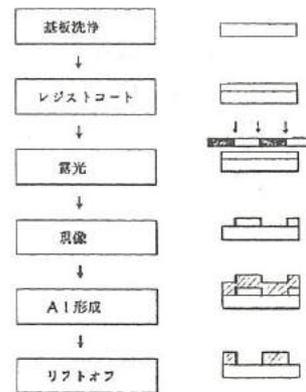


図13 IDT形成法

Fig.13. IDT forming process

行った。現像、リンスはそれぞれ2分間行い、CO₂ スプレーで水を除いた後、84℃で20分間乾燥した。最後に、EB蒸着等によってAl膜を形成した後、アセトンに15分間浸漬し、5分間超音波洗浄することによりレジストを溶かしてリフトオフした。このようにして、Ti拡散またはプロトン交換したLiNbO₃基板の上にIDTを形成した。

Al膜の形成は一般には真空蒸着法により行われているが、Al膜単独では基板との密着性が悪く、今回のIDTのような微細パターンを安定に作製することが困難である。このため、Ti膜を基板とAl膜の間に形成することにした。また、Al膜の形成にスパッタ法を用いると密着性のよい膜が得られたが、基板温度が上がるためにレジストが硬化し、リフトオフできない場合があった。そこで、基板の放熱を改善すると、レジストの硬化が起こらず膜質も良くなったが、密着性が悪くなり、この場合にもTi膜を基板とAl膜の間に形成する必要があった。Tiの膜厚は100Å、Alの膜厚は1500Åに制御した。

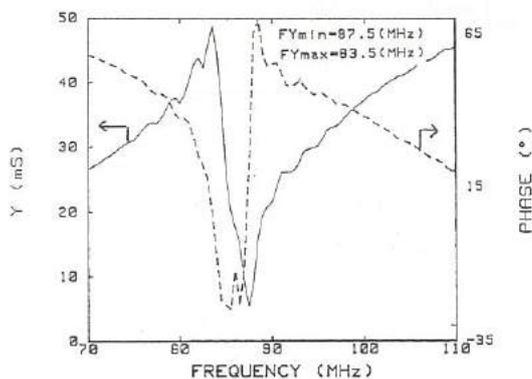


図14 10 μ m周期IDTのアドミッタンスカーブ
(Ti拡散光導波路へEB蒸着で形成)
Fig.14. Admittance curve of IDT of 10 μ m period
(deposition on Ti in-diffusion waveguide
by EB evaporation)

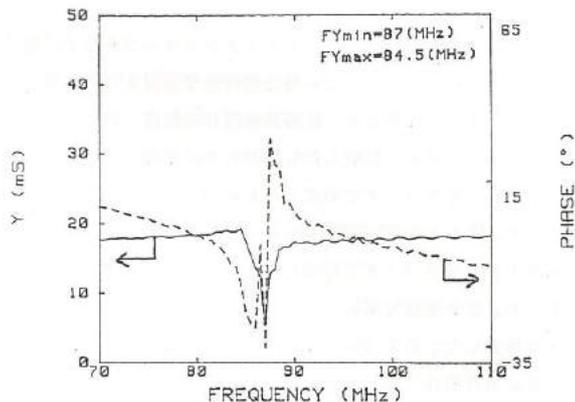


図16 10 μ m周期IDTのアドミッタンスカーブ
(Ti拡散光導波路へスパッタ法で形成)
Fig.16. Admittance curve of IDT of 10 μ m period
(deposition on Ti in-diffusion waveguide
by sputtering)

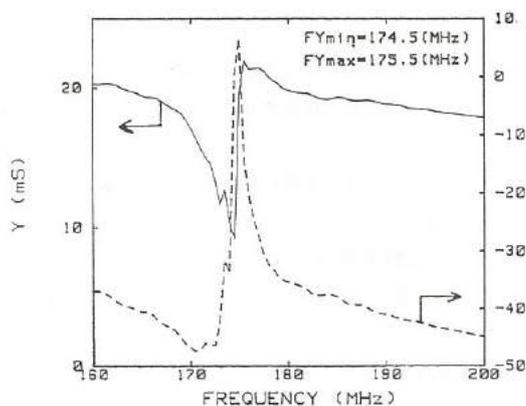


図15 5 μ m周期IDTのアドミッタンスカーブ
(Ti拡散光導波路へEB蒸着で形成)
Fig.15. Admittance curve of IDT of 5 μ m period
(deposition on Ti in-diffusion waveguide
by EB evaporation)

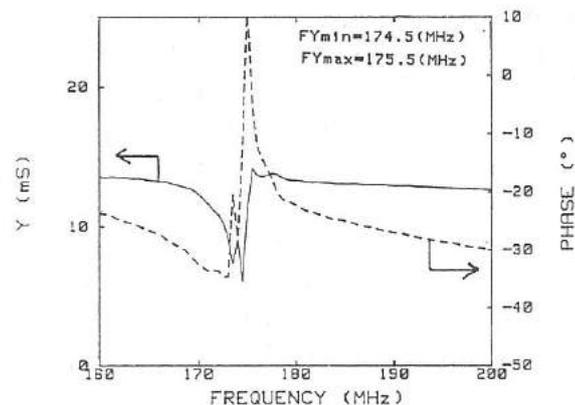


図17 5 μ m周期IDTのアドミッタンスカーブ
(Ti拡散光導波路へスパッタ法で形成)
Fig.17. Admittance curve of IDT of 5 μ m period
(deposition on Ti in-diffusion waveguide
by sputtering)

4-2 評価及び考察

LiNbO₃ 基板上に作製した IDT による表面弾性波の共振状態を、インピーダンスアナライザを用いてアドミッタンスの変化と位相のズレを測定、評価をした。図14はTi拡散したLiNbO₃ 基板上に10μm周期のIDTをEB蒸着で形成したもののアドミッタンスカーブを示す。図より、SAWは85MHzの周波数付近で共振されていることがわかる。図15はTi拡散したLiNbO₃ 基板上に5μm周期のIDTを

EB蒸着で形成したもののアドミッタンスカーブを示す。図より、SAWは175MHzの周波数付近で共振されている。10μm、5μm周期とも、共振周波数は理論値に良く一致している。図16はTi拡散したLiNbO₃ 基板上に10μm周期のIDTをスパッタで形成したもののアドミッタンスカーブを示す。図17はTi拡散したLiNbO₃ 基板上に5μm周期のIDTをスパッタで形成したもののアドミッタンスカーブを示す。EB蒸着で形成したIDT(図14、15)とスパッタで形成したIDT(図16、17)を比較すると、10μm、5μm周期共にスパッタで形成したもののほうがアドミッタンスの変化は小さく、表面波の共振効率が悪いことがわかる。これは、スパッタ膜の導電性が悪いことによるものと推察する。図18はTi拡散およびプロトン交換したLiNbO₃ 基板上に10μm周期のIDTをEB蒸着で形成したもののアドミッタンスカーブを示す。プロトン交換しないTi拡散だけの(図14)とプロトン交換したもの(図18)を比較すると、プロトン交換したものの方がアドミッタンスの変化が小さく、表面波の共振効率が悪いことがわかる。これは、プロトン交換すると、圧電効果が小さくなることによるものと推察する。

5. 結 言

本研究では、Ti拡散型光導波路の作製方法とその特性などに検討を加えた。その結果を次にまとめて示す。

- (1) LiNbO₃ を利用した光導波路におけるTi拡散の状態は、オージェ電子分光分析を採用することによって非破壊的に評価することができ、導波路層の屈折率変化も推定できた。
- (2) LiNbO₃ を利用した光導波路におけるプロトン交換の状態は、Z面基板についてはX線回折によって非破壊的に評価することができるが、Y面基板についてはより精密な評価方法が必要である。
- (3) LiNbO₃ のTi拡散光導波路の圧電性は良好な特性を示すが、プロトン交換光導波路の圧電性は劣化している。しかし、一般にプロトン交換光導波路はTi拡散光導波路に比較して光損傷に対して強いことが知られており、デバイスを構成する場合には、それぞれを用途に応じて使い分けることが必要である。
- (4) 光集積回路において使用される電極は微細で、膜厚も薄いことから、高純度で密着性の良い形成プロセスを選ぶ必要がある。

参考文献

- (1) Chen, S. Tsai : IEEE, Vol. CAS-26, No. 12, (1979) 1072
- (2) 野次 : 応用物理 Vol. 59, No. 8, (1990) 996
- (3) Makoto Minakata : J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 9, (1978) 4677

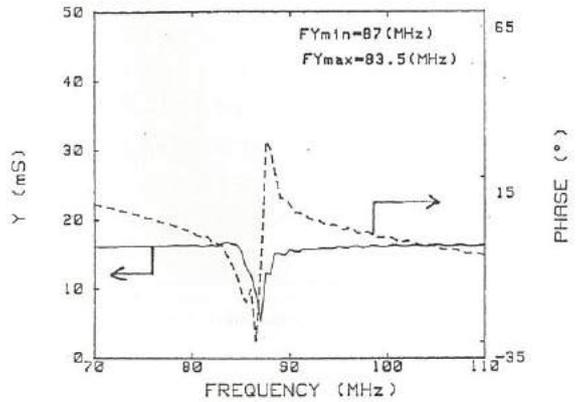


図18 10μm IDT 周期のアドミッタンスカーブ (Ti 拡散+プロトン交換光導波路へ EB 蒸着で形成)

Fig.18. Admittance curve of IDT of 10μm period (deposition on Ti in-diffusion + proton exchange waveguide by EB evaporation);

V. 画像による寸法計測に関する研究

Study of Measuring system by Image Processing

村井 哲雄 西浦 慎一 石黒 哲也 窪池 義文
MURAI Tetsuo · NISHIURA Shinichi · ISHIKURO Tetsuya · KUBOIKE Yoshifumi
藤城 敏史 角崎 雅博 中川 章 谷野 克巳
FUJIKI Satoshi · KADOSAKI Masahiro · NAKAGAWA Akira · TANINO Katsumi

Abstract

Recently, in inspecting or measuring a lot of articles by image processing method, we will be able to get the satisfactory answer in the present technology. But actually, in the case that was required more lower cost or more shorter measuring time, it is difficult to produce a system. And it is difficult to measure sizes of an object which has three dimensions figure too.

A retainer which used in a roller bearing is a figure of truncated cone, and it has many square holes on conic surface those used to support roller. And it is required exact hole width and hole pitch. We are testing them at mechanical method which was conformed to contact to master tool, but it is impossible to inspect a burr and etc. So, we attempted to measure the width of retainer with image processing which used CCD camera and super brightness LED array for lighting method.

The results summarize as follows:

- Image processing apparatus which was able to measure the frame width and square hole width of conic-trapezium retainer was produced on trial.
- No-shading image was obtained by using super brightness LED which arranged around the object.
- The rotate method to object was to skip to measuring position, and the measuring time was less than 8 seconds per a piece of retainer, and the measuring precision was plus $\pm 0.06\text{mm}$ in this method.

Moreover, for example of application of super brightness LED, we manufactured for trial of visual inspection apparatus for inside surface defect of metal can.

1. 緒言

最近、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つつある。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、生産ライン上で画像による測定や判別を実現することは困難な状況にある。また、画像処理の対象物も、複雑な3次元形状をもつもの、反射率の異なるもの、およびキズや模様など数値では表現しにくいものの検査・検出が要求されるてきている。

このため、ここでは生産ライン上で画像処理を行う対象物の一例として、プレス加工ライン上で製造されるリテーナを取り上げ、その寸法測定への応用について検討を加えた。測定対象物は円錐台に、プレスで等間隔に打ち抜き加工された、角穴を持つ形状を有しており、従来の機械式測定機でもその測定は容易ではない。現在のところ、多くの生産現場では目視検査または機械式噛み合い法により、寸法不良を間接的に判断している(処理時間は1サンプルにつき約8秒)。しかし、この対象物の良否の判断にはバリ等の測定項目も上げられており、従来の方法では対応が困難である。従って、本報ではバリ等を含めた総合的な寸法計測を画像処理法で行うことを目的として、各種の画像処理手法について検討を加え、生産ライン速度に対応できる画像検査装置を試作したのでその概要について述べる。

2. 検査対象物の概要

図1および表1は測定対象物であるリテーナの形状及び概略寸法の一例を示す。リテーナはテーパローラーベアリング（円錐コロ軸受）のローラ（コロ）の保持器として使われているプレス成形品である。このようなリテーナにはベアリングを使用する軸径に対応して非常に多くの種類があるが、今回はその中でも比較的良好に使われているサイズの製品を選定した。

今回の実験では製品（ベアリング）の性能を大きく左右するリテーナの棧幅と打ち抜き穴幅を測定した。図2は実験に使用したリテーナの棧幅と穴幅の実測値の例を示す。

表1 測定対象物の諸寸法
Table 1. Size of measurement object

	寸法、その他
窓数 N	16
大端径 D	51.6mm
内径 D'	47.5mm
小端径 d	45.0mm
幅 H	19.5mm

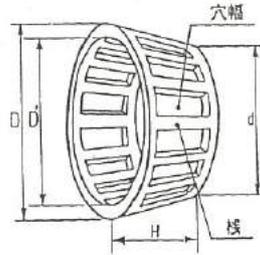


図1 測定対象物の形状
Fig.1. Shape of measurement objects

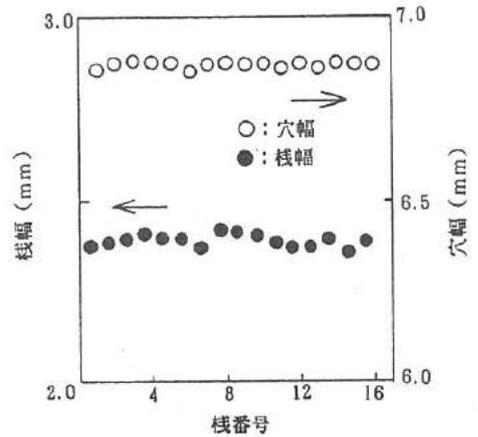


図2 棧幅と穴幅の実測値
Fig.2. Measurement value of frame width and hole width

3. 検査装置の概要

図3は試作した画像検査装置のブロック図を示す。図より、本装置はCCDカメラにより取り込まれた画像を処理する画像取り込み装置、検査装置全体の制御およびデータを処理する制御装置（パソコン）、ワークを保持する保持装置、ワークを駆動するモータおよび照明装置から構成されている。

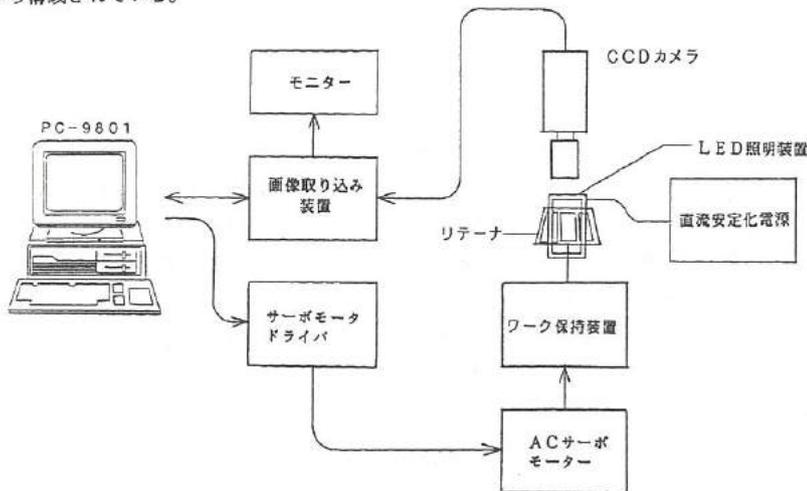


図3 画像検査装置のブロック図
Fig.3. Block diagram of visual inspection apparatus

図4は試作した画像検査装置の概要、表2は画像取り込み装置（高岳製作所製、SP-1000）の仕様を示す。画像取り込み装置は単独で画像の取り込み、2値化、ウィンドウの設定、面積の測定が可能であり、ウィンドウの設定および2値化のしきい値は画像取り込み装置で設定し、その値は固定とした。制御装置と画像取り込み装置はRS232Cで接続され、制御装置よりスタート信号を画像取り込み装置に転送すると、画像取り込み装置はCCDカメラから画像を取り込み、2値化し、ウィンドウ内のしきい値以上のピクセルの数（以後ピクセル数と述べる）を制御装置に送り返す。制御装置は、測定試料の回転送りも同時に制御し、その回転角およびピクセル数を用いて、それぞれの栈幅および穴幅の寸法を計算している。試料の回転送りは、ACモータの場合には制御を行わず、画像取り込みは送りと非同期で行なった。ステッピングモータの場合は1パルス毎に試料を停止させ、画像を取り込み測定を行った。ACサーボモータの場合は、移動の中間時の速度は早く、移動開始時と終了時に速度が遅くなるよう回転速度の台形制御を行い、回転停止時に画像を取り込んでいる。

表2 画像入力装置の仕様

Table 2. Specification of Image processor

グレイスケール	256階調
2値化方式	固定2値化
フレームメモリ	512×256
ウィンドウ	長方形、円、リング
計測値	面積、重心
ビデオ信号出力	NTSC準拠×1ch
インターフェース	RS232C×1ch
メモリーカード	8KB×1

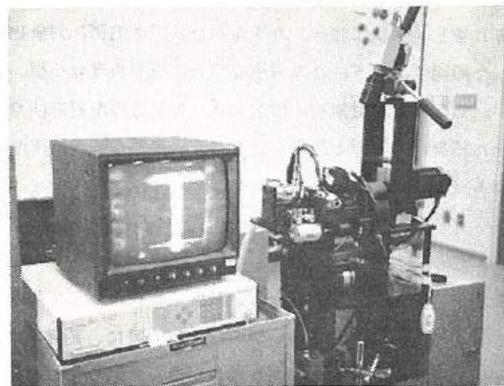


図4 画像検査装置

Fig.4. Appearance of visual inspection apparatus

4. 画像取り込み条件の検討

画像計測では入力画像の良否が精度の全てを決めるといっても過言ではない。入力画像の品質は、レンズ系、照明方法、撮像素子の選定等に大きく影響される。本研究では画像入力装置として、レンズとCCDエリアセンサから構成されるCCDカメラを使用した。この構成で正しく画像計測するためには、構成要素の設定条件および照明方法について検討を加える必要がある。CCDの出力は露光量（光の強さ×電荷蓄積時間）に比例し、ダイナミックレンジが変えられるという特徴を持っており、動作に必要な照度については飽和出力特性と入力感度特性があるため、一定の照度範囲がある。また、CCDセンサは素材がSiより成っているため、波長が400～1100nmまでの可視光から近赤外の波長に対して感度を有しているなどの特徴があり、照明光源の種類および照度にその性能が強く左右される。このため、ここでは可視光の照明源としてコールドスポット、タングステン電球および超高輝度LEDを用いた場合の取り込み画像の良否について検討を加え、更にレンズの焦点深度を調べるため、絞り（F値）と測定データの関係も調べた。なお、ここでは画像抽出時の重要なパラメータとなる、2値化のしきい値と測定データとの関係についても調べた。

< 4. 1 > 照明方法について

a. コールドスポット

コールドスポットはハロゲンランプを光源とし、光ファイバーを利用した、レンズ径20mm位の照明装置である。この照明装置はフレキシブルな光ファイバーを利用し、かつ照明部が小さいため、測定対象物に接近して照明をすることが容易である。しかし、照明範囲が狭く、また一定方向からの照明であるため、対象物に対して照明ムラができ易く、正確な画像を取り込みにくい。正確な画像を取り込むには、光ファイバーをリング状に配置することによって改善できると考えられるが、照明装置が高価となる欠点がある。

b. タングステン球

タングステン球を使用した場合は、コールドスポットよりも多少照明ムラが少なくなったが、それでも数台の照明や反射板が必要である。また、照明装置全体が大きくなり、対象物に接近できないうえ、放射熱が強いため長時間の照明には不適當である。

c. 超高輝度LED

超高輝度LEDによる照明法は、対象物の上方数センチに十数個の超高輝度LEDをリング状に並び、カメラからリング内側に対象物が見えるようにした照明法である。この方法の場合、照明装置は小型、安価で発熱もない。照明装置を対象物に接近させ、LEDの配置方法や数量に検討を加えた結果、ほとんど照明ムラもなく、良質な画像を取り込むことが可能であった。

< 4. 2 > 絞りの影響

図5は焦点およびしきい値固定とし、照度をF値に応じて可変した時の、F値とピクセル数との関係の一例を示す。一般に、F値を大きくすれば焦点深度が深くなり、より鮮明な画像が得られ易くなるが、その分暗くなり、高い照度が必要となる。図より、F値が8以上では測定データがほぼ一定となるため、なるべく低照度という条件も考慮してF値を8に決定した。

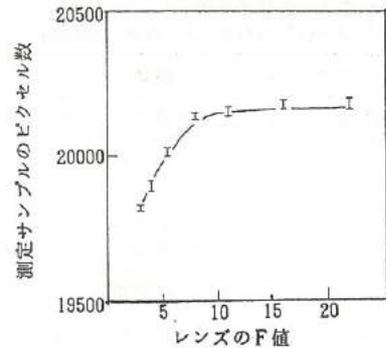


図5 F値とピクセル数の関係
Fig.5. F value vs. measurement value of pixel

< 4. 3 > 2値化のしきい値

図6はしきい値とピクセル数の関係の一例を示す。図に示すように、しきい値を変えることにより測定されるピクセル数が変化し、しきい値の変化に対してピクセル数の変化が最も小さいのは、しきい値を160付近にした場合である。このピクセル数の変化が最も少ない条件は、画像の濃淡の差が最も大きな場所と考えられ、リテーナのエッジ部と見なすことができる。そこで、しきい値としては160が最適と考える。

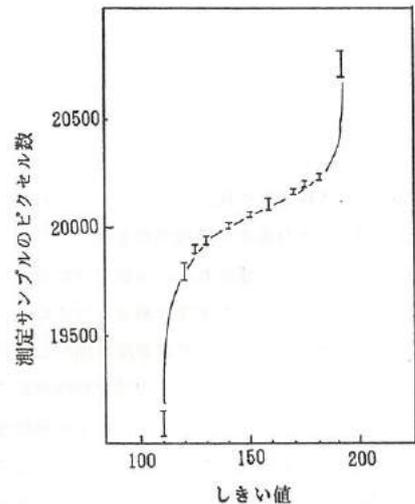


図6 しきい値とピクセル数の関係
Fig.6. Threshold level vs. measurement value of pixel

< 4. 4 > 画像取り込み条件

以上の結果から、今後の測定の条件を以下ように決定した。

- ・照明法： 超高輝度LED照明
- ・カメラの絞り： F8
- ・2値化のしきい値： 160

5. 開発の経緯と測定結果

測定は表3に示す4つの方法について順次検討した。

表3 開発の経緯と測定方法
Table 3. Development process and Measurement method

case	試料の送り方法	画像による測定方法
1	ACモータ（ベルト駆動）	穴のピクセル数のみ測定
2	パルスモータ（ベルト駆動）	ピクセル数がウィンドウ面積の半分となる送りパルス数から穴幅と棧幅を測定
3	ACサーボモータ（ダイレクト駆動） 中間スキップ	ピクセル数がウィンドウ面積の半分となる送りパルス数から穴幅と棧幅を測定
4	ACサーボモータ（ダイレクト駆動） 分割位置へ強制スキップ	ピクセル数とウィンドウの半分との差により 誤差パルス数を換算の上穴幅と棧幅を測定

< 5. 1 > ケース1

今回使用した画像取り込み装置では、ピクセル数の大小により良否を判別する機能があるので、この機能をそのまま利用することとし、穴の面積のみで製品の良否を総合的に判断できないかの検討を行った。

図7は測定方法の概要を示す。ACモータは画像処理装置とは無関係に回転している。図8は正常品とバリの発生した不良品の穴の面積をピクセルで測定した結果であるが、このような不良の場合には製品選別が可能である。しかし、穴幅等の寸法の不良を測定することはできなかった。また、試料を連続回転するモータで駆動しているため、取り込み画像には不安定要素が見られた。

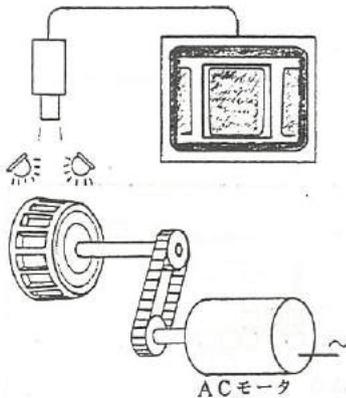


図7 ケース1の測定方法
Fig.7. Measurement method of case 1

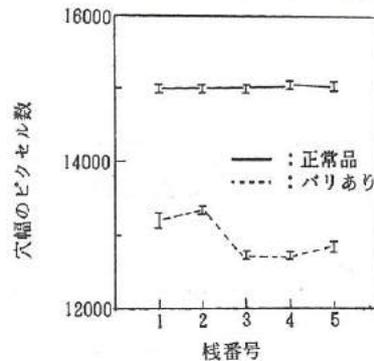


図8 穴幅の測定値
Fig.8. Measurement value of hold width

< 5. 2 > ケース2

ここでは、試料の穴幅と棧幅を計測するため、試料の回転送り機構として減速機付きのステッピングモーターを用いた。送りはパソコンで制御され、移動停止時に画像を取り込んでいる。寸法の測定方法としては、画像上にウィンドウを作成し、このウィンドウ内でピクセル数がウィンドウの面積の半分となる送り角度（パルス数）を求め、1パルス当りの寸法値（0.05mm/パルス）から計算で求めた。図9は測定方法の概要、図10は幅の測定手法を示す。

図11はウィンドウの大きさを変えた場合の枠幅の測定値の一例を示す。図より、ウィンドウの大きさを大きくすると、枠幅が大きくなる。これは枠の4隅が丸くなっているためと考えられ、ウィンドウは大きくしない方がよい。図12はウィンドウの設定場所を変えた場合の枠幅の測定値の一例を示す。図より、ウィンドウの設定場所は測定値に影響を与えるが、測定値の傾向は類似しているため、以後の測定位置は中央部とした。図13はバリのない試料の枠幅と穴幅、図14はバリのある試料の枠幅と穴幅の測定値の一例を示す。バリのあるサンプルを測定した例では、バリのある枠では明らかに数値が大きくなっており、バリの有無が判断可能である。枠幅の測定値は実測値よりも大きな値となっているが、これはドットあたりの長さを設定する時の誤差によるものと思われる。この方法では、一応、ピッチや枠幅を計ることができるが、1パルス毎に測定を行っているため、1個のリテーナの測定(3000回の処理)に2分以上を必要とした。

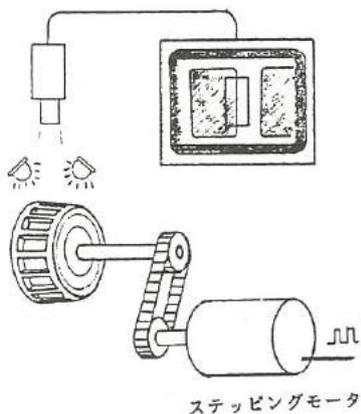


図9 ケース2の測定方法
Fig.9. Measurement method of case 2

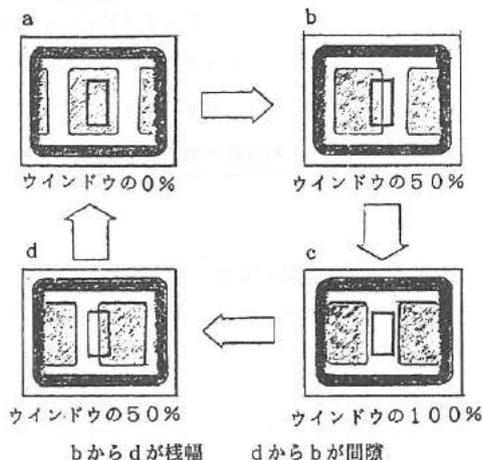


図10 枠幅の測定方法
Fig.10. Measurement method of frame width

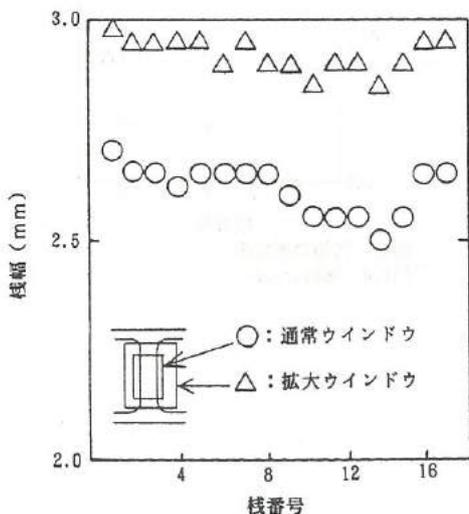


図11 ウィンドウの大きさと枠幅の関係
Fig.11. Relation of window area and frame width

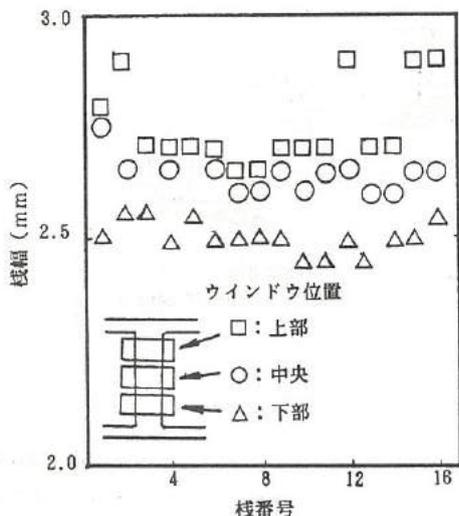


図12 ウィンドウの位置と枠幅の関係
Fig.12. Relation of window position and frame width

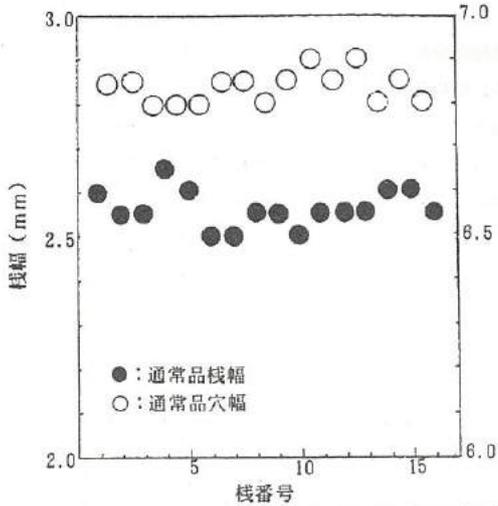


図 13 ケース 2 による棧幅と穴幅の測定値 (バリ無し)
 Fig.13. Measurement value of frame width and hole width by case 2 (normal sample)

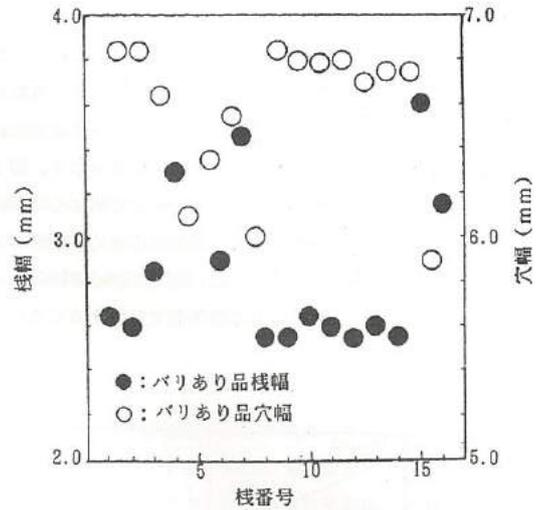


図 14 ケース 2 による棧幅と穴幅の測定値 (バリ有り)
 Fig.14. Measurement value of frame width and hole width by case 2 (abnormal sample)

< 5. 3 > ケース 3

ここでは、測定に要する時間を短縮するため、速度を早くすることができる AC サーボモーター (1/10 の減速ギア付き) を回転送り機構に採用した。また、画像処理回数を少なくするため (ケース 2 では処理回数が多く処理速度に限界があった)、ピクセル数がウィンドウの面積が半分になると思われる位置付近のみで画像計測し、途中はスキップする方式とした。なお、1 パルスは約 0.035 mm に相当する。図 15 は測定方法、図 16 は測定した穴幅と棧幅の測定値を示す。図より、棧幅は実測値とほぼ同じ値であるが、穴幅は小さな値となった。これは、画像に取り込むときに棧のエッジの輝度が高くなり、2 値化時にピクセル数が多くなったためと思われる。測定値は実測値よりもばらつきが大きくなった。ばらつきの大きさは ± 0.06 mm 位で、パルスの送り 2 ピッチ分にあたり、このような方式では避けることのできない誤差の範囲と考える。なお、測定時間は 1 カ所の測定につき 10 回の画像処理を行う場合で約 2.3 秒であり、まだ十分な速度とは言えない。

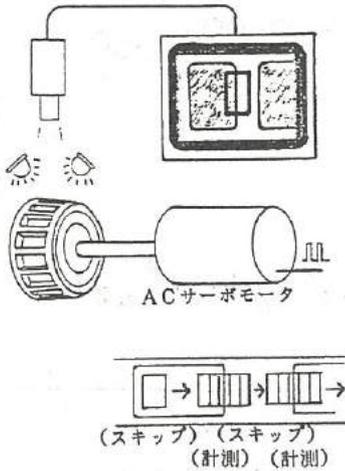


図 15 ケース 3 の測定方法
 Fig.15. Measurement method of case 3

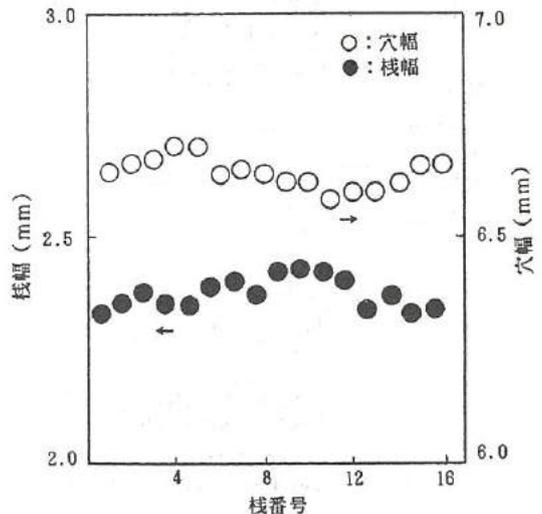


図 16 ケース 3 による棧幅と穴幅の関係
 Fig.16. Measurement value of frame width and hole width by case 3

< 5. 4 > ケース 4

ここでは、測定時間を更に早くするため、設計で定められた窓幅や棧幅が分かっているので、ピクセル数がウィンドウの面積の半分になると思われる場所にリテーナを回転移動させて画像を取り込み、この時に測定したピクセル数から、パルス数にしてどれ位ずれているかを換算し、穴幅と棧幅を計算によって求めた。図17はウィンドウの面積が2820ドットの時のピクセル数とパルス数との関係を示す。図18は測定方法の概要を示す。図19はこの方法によって求めた穴幅と棧幅の測定の結果を示す。図19より、測定値は穴幅および棧幅共に実測値より小さくなった。これは、測定対象物が平面ではなく3次元の曲面形状を有しているためと考えられるが、各測定点での誤差は小さく、類似しているため補正が可能と考える。また、測定値のばらつきはケース3と同様に±0.06mm以内であった。測定に要する時間は位置決めから終了まで約8秒（実測定時間は約6秒）であり、現在のメカニカル方式の時間とはほぼ同じ処理時間で計測することができた。

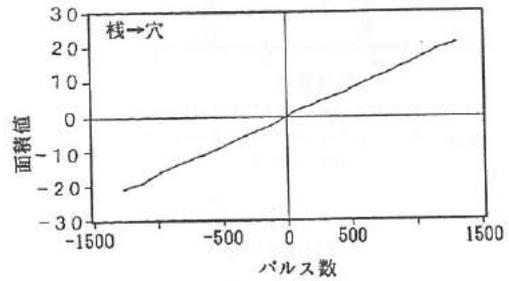
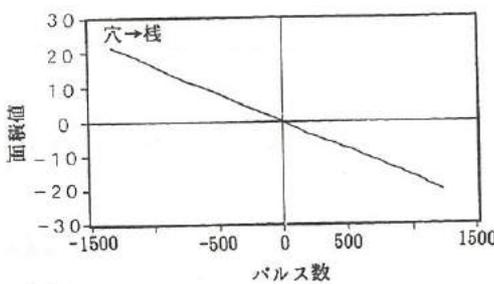


図17 面積値とパルス数の関係
Fig.17. Area vs. pulse count

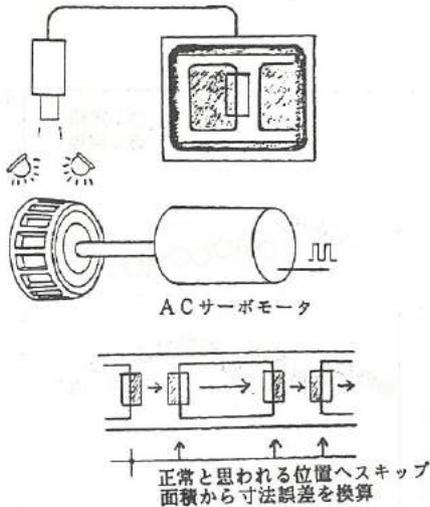


図18 ケース4の測定方法
Fig.18. Measurement method of case 4

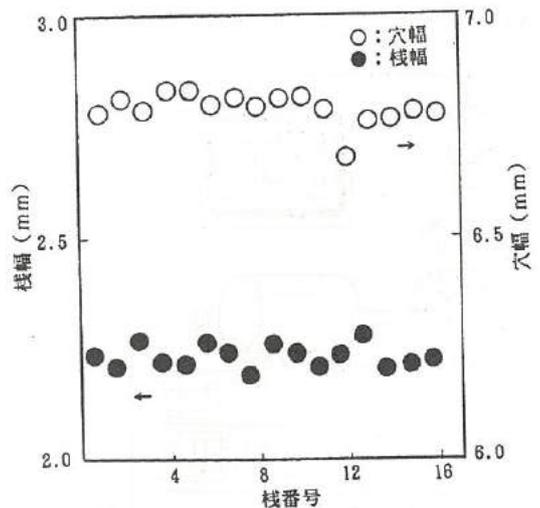


図19 ケース4の棧幅と穴幅の測定値
Fig.19. Measurement value of frame width and Holed width by case 4

6. 考察と今後の課題

測定時間は画像取り込み装置の画像処理時間で処理速度がほぼ決められてしまう。寸法計測機能の無い画像取り込み装置を用いた場合は、測定時間は8秒がほぼ限界ではないかと考える。従って、更に処理速度を上げるためには、ラインセンサ、専用のハード等を用いた場合には高速化が図れるものと考えられる。しかし、画像処理では技術的に可能であっても、開発コストとの関係を十分に考慮する必要がある。

測定精度は機械的な回転送りを採用している場合は回転機構の精度によって決まる。従って、更に高精度かつ高分解能の送り機構を用いると改善が可能であると考えられるが、測定速度やコストに問題が生じる。また、2次元の画像上で直接測定する方式もあるが、3次元形状を有する試料であるので、形状がゆがむなどサンプルの停止位置精度が影響するものと考えられる。

7. LED照明法の応用

LEDを使用した照明法は、小形、安価、かつ照明ムラが少ないなど、他の照明法に比べ多くの利点がある。今回、このLED照明法を利用し、円筒製品の内部表面の傷を検出する装置を試作した。一般に、円筒製品の内部表面を観察する方法としては、小形のCCDカメラや光ファイバーを利用した装置などがあるが、これらは円筒製品の内部表面に対して水平方向から観察するものが大半であり、内部表面の垂直方向からの観察は困難である。

<7.1> 試作した傷検出装置の概略

表4および図20は今回試作した傷検出装置の仕様と概要を示す。この傷検出装置は円筒状の測定物を超音波モーターで回転させながら、光源のLEDアレイで円筒製品の内部表面を照らし、レンズを通してラインセンサーに内部表面の像を取り込む方法を採用している。この時、照明による反射光軸とラインセンサーの受光軸は一致していないため、内部表面などに傷がある場合は乱反射し、その傷の部分だけの像が取り込まれる。

表4 試作機の仕様

Table 4. Specification of trial inspection apparatus

項番	項目	仕様
1	画素数	1024ドット
2	分解能	0.02mm/ドット
3	送り速度	20mm/SEC
4	照明	超高輝度タイプLED
5	使用レンズ	トリプレットレンズ
6	装置外形	W65×D50×H70

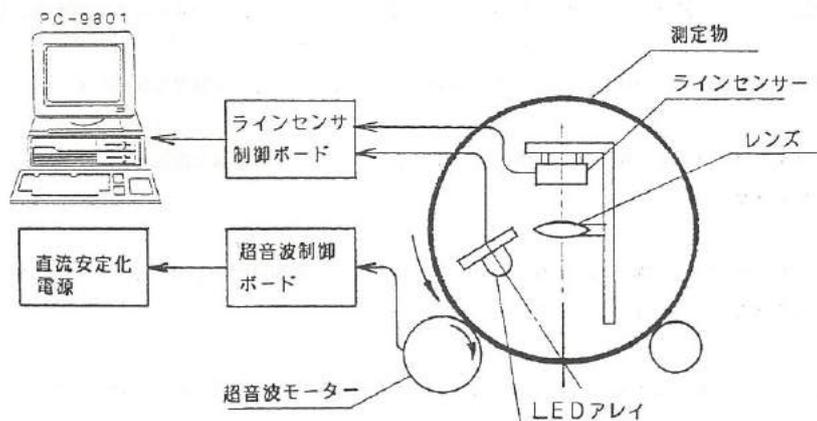


図20 傷検出装置の概要

Fig.20. Structure of inspection apparatus for surface defect

< 7. 2 > 試作機を用いた傷の検出例

図21は試作機を用いて傷の画像取り込みをした一例を示す。また、図22は実際の傷の長さを取り込んだ傷の長さの測定結果を示す。これらの図より分かるように、傷を鮮明に取り込むことができ、また、取り込んだ傷の長さの測定結果も実測値と比例する直線関係が得られた。実測値と測定値との差は0.1mm以内にある。これらのことから、LED照明を使用した試作機は円筒製品の内部表面の傷検出を行うことが十分に可能であると考えている。

この試作機のようにレンズを通してCCDラインセンサに像を取り込む方式はレンズの焦点距離で装置の大きさが決まることから、焦点距離以上の小型化は困難である。今後、更に小型化を図るため、密着型ラインセンサーとLED照明法を利用した傷検出装置を開発する予定である。

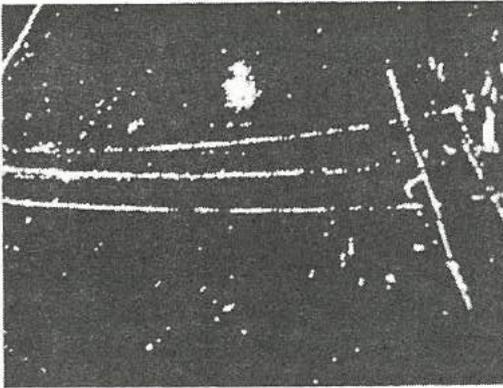


図21 傷の画像取り込み例
Fig.21. Portrait of surface defect by trial inspection apparatus

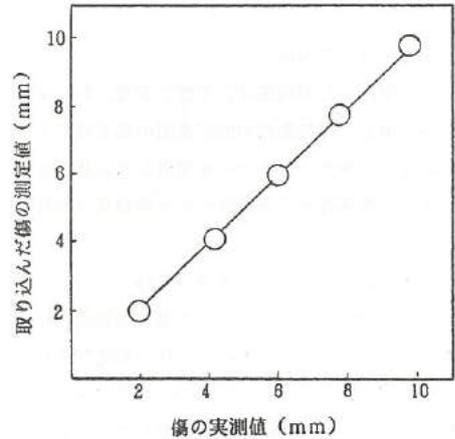


図22 傷測定値と実測値の関係
Fig.22. Measurement value of surface defect length

8. 結 言

本研究では、プレス加工ラインで生産されるリテーナを寸法測定対象とし、その棧幅および穴幅の寸法を画像処理によって測定する方法に検討を加え、更に生産ラインの速度に対応できる装置の試作を行った。その結果をまとめると、以下のようになる。

- ① 円錐台形状を有するリテーナの棧幅と穴幅寸法を画像処理法により測定できる装置を試作した。
- ② 画像取り込み用の照明は、超高輝度LEDを、測定部分を中心にしてリング状に配置することにより、照明ムラのない画像を得ることができた。
- ③ ステップ送り方式を利用した画像処理法を採用することによって、8秒以内で1個のリテーナの測定が可能であった。また、このときの測定精度は+0.06mmであった。
- ④ 更に、超高輝度LED照明法の応用として、円筒製品の内部表面の傷検出装置を試作した。試作した傷検出装置は傷の検出が可能であった。

VI. 超音波杖の研究

The Development of Ultra Sonic Stick

堀 登紀男 中村 亮

HORI Tokio · NAKAMURA Toru

Abstract

Ordinally blind man uses stick in walking. But, area of the destination by stick is limited inside arrival distance of the one in the recognition of obstacle. So, electronic apparatus for aid of walking has been developed recently. Many paper has reported already.

This paper also is related with apparatus to help smooth walking. Ultra sonic apparatus is added in the stick. Ultra sonic oscillator is arranged in the place of handgrip. And some parts receive the reflected ultra sonic waves. Blind man can measure the distance by himself and obstacle by this difference between radiation time of pulse by vibrating relay devices. Blind man can know standing position of himself against the obstacle. They can escape the obstacle by this method freely and walk smoothly the road.

1. 緒言

人間は、視覚的な動物であるといわれるが如く、我々の日常生活において、視覚は不可欠なものである。この重要な視覚を失った人々は、わが国では、約35万人、世界中でも1500万人いるといわれるが、将来ともに急激な減少は、期待できないと思われる。このような視覚障害者は、晴眼者に比べ、多くのハンディキャップを有している。視覚障害者が、晴眼者と同様の視覚とは、行かないまでも日常生活の支障を軽減する装置を開発し、社会活動を可能にすることは、重要であり、これまでも、点字、手話、及び、白杖などの手段が考案され、使用されているが、これだけでは、健常者とのコミュニケーションが難しく、外部から受け取る情報にも限りがある。

そのためセンサー、半導体、信号処理など最近、急速に進歩してきた技術を用いて、受け取る情報量を補なおうと言う感覚代行についての研究も盛んに行われている。

感覚代行とは、センサー部で環境情報を検出した後、特徴抽出や情報圧縮などの何らかの情報処理を行った後、視覚障害者の残っている感覚や神経を刺激し、視覚の代行を行うことである。この場合、過去、その情報を伝達する方法としては、触覚を利用するか、または、聴覚を利用するのか、または、視神経を刺激するのにかによる3つの方法が提案されている。

本研究では、これらの背景をもとに、超音波の特性を利用して、視覚障害者が杖無しに道路上の2~3m以内の障害物を検出しながら自由に歩行することができるような補助器具の開発を目的とし、超音波杖の研究を行ってきた。前年度の研究では、①反射物体が、球体などのように音源に対し垂直面がわずかなものは、検出できない。②くぼみや下り階段に関しては、全く対応できない。③誤動作が多い。④使用者の触覚に与える刺激が認知しづらい。といった不具合点が確認された。本研究では、超音波探索装置のついた杖を作成し、それと同時に上記不具合点についての対策点について検討したのでここに報告する。

2. 実験方法

2.1 超音波杖の試作

本研究の対象である視覚代行装置としての超音波杖の基本的構成は、図1の通りである。

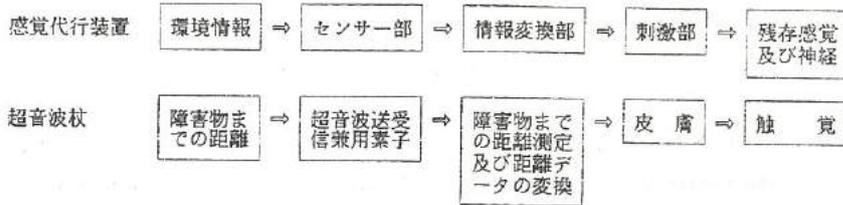


図1. 超音波杖の構造

Fig 1. Block diagram of ultra sonaic stick

図1の基本的構成をもとに開発・試作した超音波杖の詳細について、解説する。

1) 発信源

超音波の発信源として、コンパクトという観点より、電歪型の超音波送受信兼用素子（村田製作所 MA40B6）が使用されている。本研究に使っている送受信兼用素子の概形図、及び、その基本的特性を図2に示す。

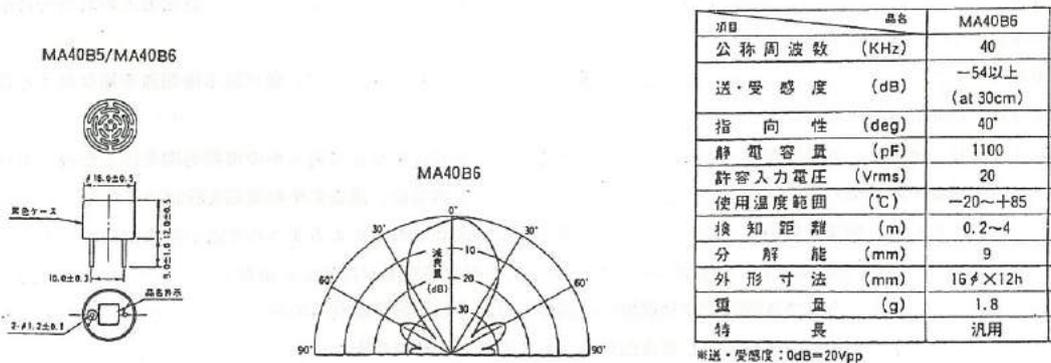


図2. 超音波送受信兼用素子の外形図及びその基本特性

Fig 2. The structure of ultra sonic devices and its characteristics

2) 距離測定回路

本研究では、誤動作防止という意味で、前年度は、近距離受信信号のキャンセル回路として、遅延回路を用いていたが、今回は、デジタル式に、キャンセルを行う回路を用いた。また、今回は、Noise対策として、前年度までは、アナログ部とデジタル部を同一電源(9V)で作動させていたが、これでは、デジタル部からアナログ部へ電源Noiseが混入する恐れがあるため、デジタル部、アナログ部の電源をそれぞれ別電源とすることにした。

本回路のブロック図を図3、そのタイミングチャートを図4に示す。

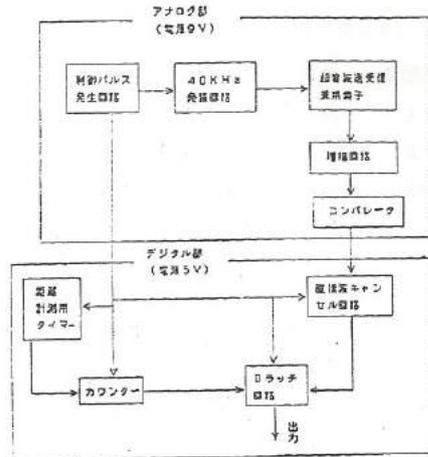


図3. ブロック図

Fig 3.Schematic diagram of this instrument

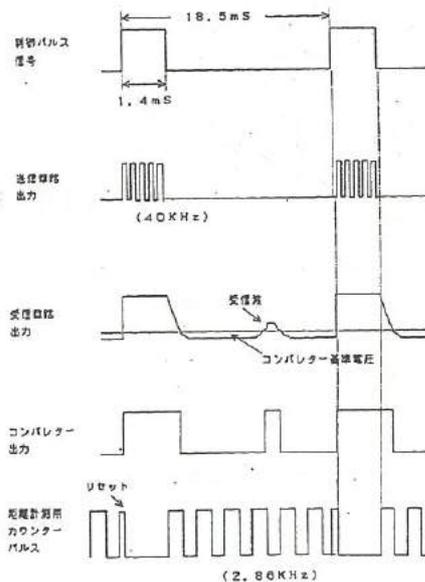


図4. タイミング チャート

Fig 4.Timing chart of this instrument

3) 距離データー伝達方法

本研究では、距離データーの伝達方法として、触覚を利用することとした。その方法は、振動子として、電磁リレーを4個用い、使用者から反射物体までの距離を4段階に分け、その距離に対応した振動子を振動させることとした。各振動子とその距離設定は、以下に示す。

また、今回は、使用者に認知しやすいような刺激を与える方法として、電磁リレー上の可動板バネに刺激針を設け、その刺激針を振動させることにより伝達することとした。その構造を、図5に示す。

振動子	触指	障害物検出距離
1	人差し指	50～60cm
2	中指	60～100cm
3	薬指	100～150cm
4	小指	150～200cm

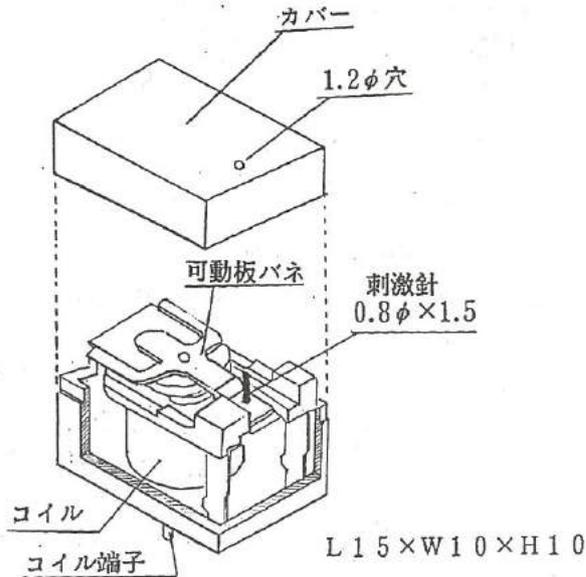


図5. 電磁リレー

Fig 5. Electro-magnetic relay

2. 2 実験内容

本研究では、反射物体の検出率を向上させる方法として、以下の事項について検討した。

- a) 回路上の改良によるNoise対策の検討
- b) 超音波送受信兼用素子を複数個用いることによる反射物体の検出率向上

3. 実験結果及び、考察

a) 回路上の改良によるNoise対策の検討

今回の実験においては、回路上で、アナログ部をデジタル部に交換することにより、そのNoiseレベルを減少させるよう、改良を行った。この改良により、Noiseレベルの減少が確認され、このことより反射波の出力電圧の増幅度をあげることが可能となった。

今回の改良における効果の確認として、前年度に測定した反射物体と同一のサンプルを用い、その反射物体の検出範囲を測定した。

その結果を図6に示す。図6よりわかるように回路改良による増幅度UPにより検出範囲が、広くなり、特に、X方向について、その検出率の向上が確認された。

これらの結果により、回路の改良によるNoise対策の効果が確認され、今後は、さらにそのNoise発生要因について調査し、回路上から発生するNoiseをできるだけ排除するような検討が必要であろう。

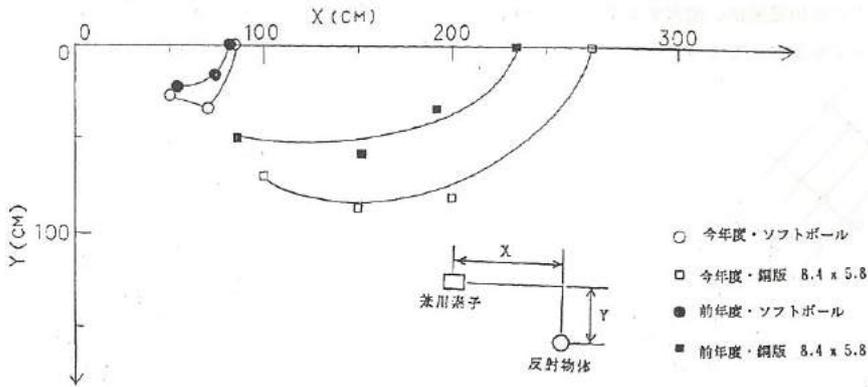


図6. ボール、銅版をもちいての反射物体の検出範囲 (前年度と今年度の比較)

Fig 6.Reflector characteristics of copper and ball

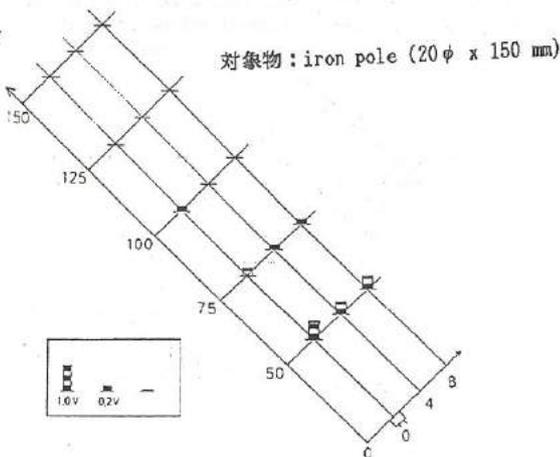


図7. 反射物体の出力電圧 (素子1個)

Fig 7.Received wave voltage of reflector(one sensor)

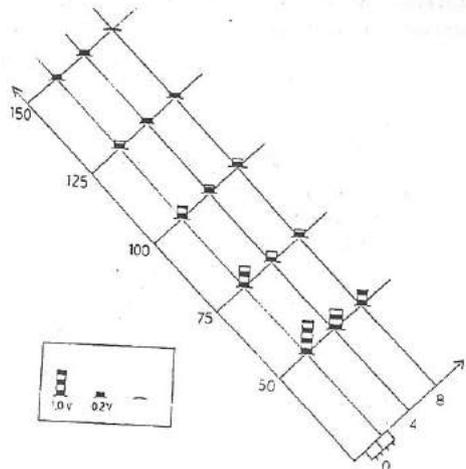


図8. 反射物体の出力電圧 (素子2個) 一素子間距離 0 cm

Fig 8.Received wave voltage of reflector(double sensors)
 -sensor space at 0 cm

b) 超音波受信兼用素子を複数個用いることによる反射物体の検出率向上の検討

本検討は、反射波を受ける受信素子が、複数個あれば、それだけ検出率が広くなり、かつ、反射波の出力電圧も、増加するという観点より、まず、素子を2個用い、その素子間の距離を変えながら測定した。その測定結果を図8～図12に示す。referenceデータとして素子1個の場合の測定結果を図7に示す。

この結果より、素子を2個用いた場合は、素子1個の場合に比べその素子間の距離に関わらず、反射波の出力電圧は、約2倍となっている。また、素子間の距離と反射波の出力電圧の関係は、素子間の距離が大きければそれだけ検出範囲が大きくなるが、反射波の出力電圧がほとんど検出出来なくなる点が、生じている。これは、素子間の距離が大きい場合、波の干渉が生じこのような現象が起こるものと思われる。

これらの結果及び、実用面を考慮すると、素子間の距離は、余りはなきない方がいいと思われる。(素子間の距離=4cm以内)

今後については、素子間の距離とその反射波の出力電圧の詳細について研究する必要があると思われる。

図13には、素子を3ヶ、2ヶ、1ヶ 用いた場合のそれぞれの検出範囲を示す。これより、素子を増やすことによりx軸方向については、その検出範囲が、増大するが、y軸方向については、逆にその検出範囲が、減少した。これについては、素子の配置方法によっても異なってくると思われ、今後は素子の配置方法についても検討が必要である。

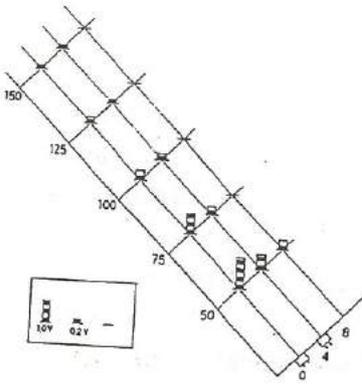


図9. 反射物体の出力電圧(素子2個) -素子間距離 4 cm
Fig 9. Received wave voltage of reflector(double sensors) -sensor space at 4 cm

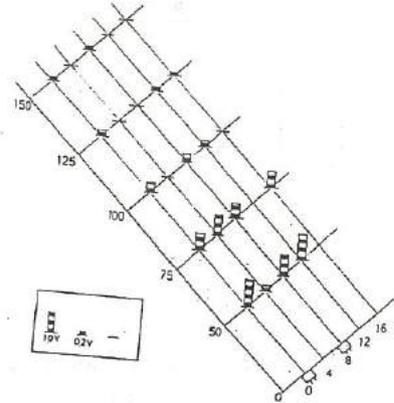


図10. 反射物体の出力電圧(素子2個) -素子間距離 8 cm
Fig 10. Received wave voltage of reflector(double sensors) -sensor space at 8 cm

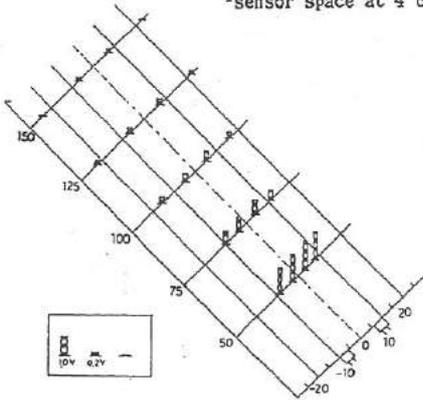


図11. 反射物体の出力電圧(素子2個) -素子間距離 20 cm
Fig 11. Received wave voltage of reflector(double sensors) -sensor space at 20 cm

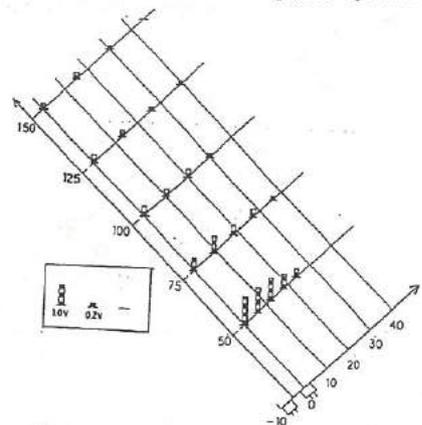


図12. 反射物体の出力電圧(素子2個) -素子間距離 10 cm
Fig 12. Received wave voltage of reflector(double sensors) -sensor space at 10 cm

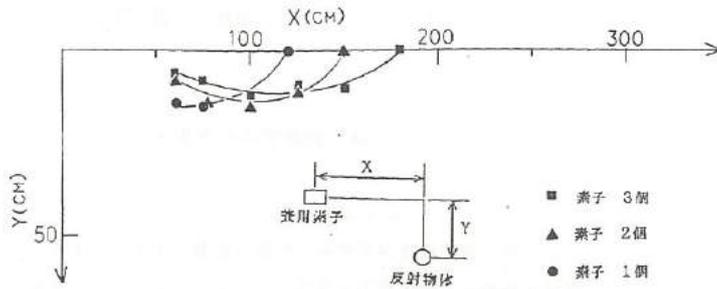


図13. 使用素子数による検出範囲の相違

Fig 13. Difference of reflector characteristics by number of using sensors

最後に、今回の研究結果をもとに、超音波杖の試作品を作製したので、その概略図を図14に、及び、その使用例を図15に示す。

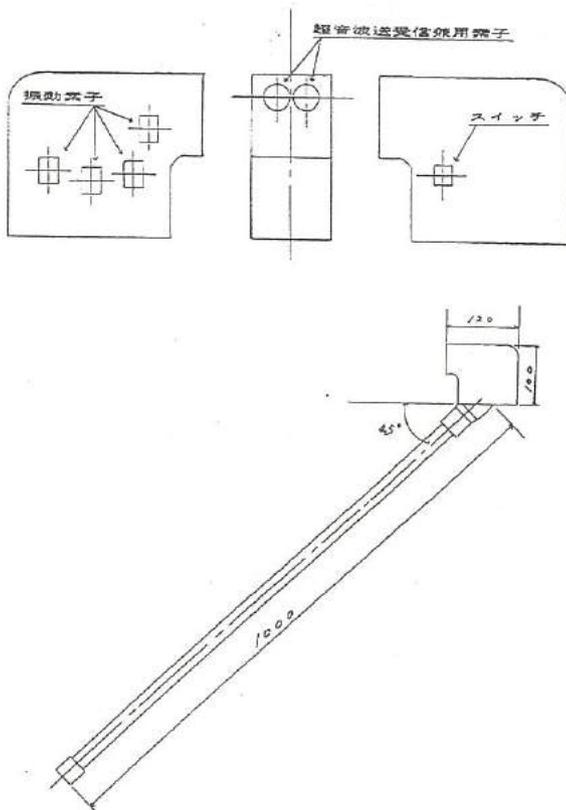


図14. 超音波杖の概略図

Fig 14. The structure of ultra sonic stick

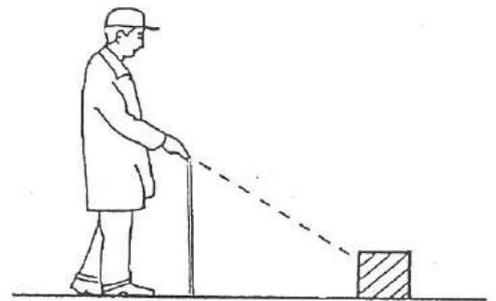


図15. 超音波搜索装置のついた杖

Fig 15. Stick arranged by probe of ultra sonic wave

4. 謝辞

この研究を進めるにあたり、ご協力頂いた富山大学工学部 八木博士、並びに、富山大学 学部生 岡田氏に深く感謝致します。

参考文献

- 和気 典二・清水 豊：「小特集・福祉工学 視覚代行システム」計測と制御 14, 910/918 (1975)
- 館 　：「感覚代行装置 -研究の現状と将来-」医用電子と生体工学 17, 177/184 (1979)
- 谷江 和雄：「感覚代行の最近の進歩」計測と制御 18, 92/99 (1979)
- 伊福部 達：「触知ボコーダにおける最大伝達情報量 -一定常刺激の場合-」医用電子と生体工学 17, 230/236 (1979)
- 伊福部 達：「感覚代行」医用電子と生体工学 20, 597/599 (1982)
- 館 　：「感覚代行システムの現状と将来」計測と制御 20, 1113/1121 (1981)
- 伊福部 達：「MEの未来 -感覚代行-」医用電子と生体工学 20, 597/599 (1982)
- 館 　：「特集・人工臓器 人工臓器の現状と問題点 11)人工感覚」医用電子と生体工学 21, 401/403 (1983)
- 伊福部 達：「感覚補助代行」電気学会雑誌 106, 455/460 (1986)
- 伊福部 達：「感覚代行」BME 2, 715/721 (1988)

VII. 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 敏彦

TUCHIDA Ryuichi·OHSHIMA Junichi·YAMAMOTO Toshiyasu

Abstract

The percutaneous electrodes FES (Functional Electrical Stimulation) system has been used to regain a part of movement of the upper and lower extremities in the upper neuron lesions.

However, in a clinical use, it has some problems to solve from a standpoint of ADL (Activities of Daily living): 1) troublesome treatment of the percutaneous electrodes and connectors, 2) a risk of skin infection, 3) a bulky interface system, etc.

So, we develop a complete implantable FES system. The system is intended for permanent usage, which should be small, lightweight, and has low power consumption. In this report, we have tried to figure out a basic specification, and to construct a circuit. The stimulator circuitry consists of power supply units, control logic units, and output units. The power supply units contain a receiving antenna, diode bridge, zener diode, etc. The control logic units contain 5 CMOS IC devices. The output units are made up of 8 bit D/A converter, Op-Amp, and analog switches.

On this time, we suggest

- 1) Logic IC: Better to use one chip microcomputer IC to reduce the numbers of ICs.
 - 2) Power Pupply: It is useful to divide into two supply voltage; +5V for logic circuit, +18V for output stage amplifier.
 - 3) Receiving antenna: It is very important to hold in a condition of fixed gain, even if the antenna moves in a body.
 - 4) Safety circuit
- etc.

1. 緒言

近年、脳卒中や頸髄損傷などによる四肢麻痺、また脳性小児麻痺、多発性硬化症、原発性脊柱側湾症などの患者に FES (Functional Electrical Stimulation : 機能的電気刺激) を適用すること

によって、運動機能を回復する研究が進められている。FESとは、障害者の麻痺した四肢の神経、筋に選択的に直接電気刺激を与え、その活動を制御し、筋収縮を起こすことで機能を代償しようとするものである。また、その操作については、自らの残存機能を使っての制御信号を電気刺激装置に送ることで、自らの意志で麻痺肢を動作させるものである。

本研究は、現在、高志リハビリ病院で使用されている、ポータブル刺激装置を改良し、高機能化、小型化を目指した完全埋め込み型機能的電気刺激装置を開発する事を目的とする。

研究は、以下のステップで進めた。

- 1) 仕様決定
 - 2) 原理試作・回路図作成
 - 3) 動作確認
 - 4) 送信機・アンテナの評価
 - 5) 動物実験
- } 受信機の評価

今回は(4)の段階まで研究を行った。即ち基礎的な研究として、回路的な検討を行い、今後何を研究していかなくはないかを見きわめた。

2. システム概略

2-1 FES装置

現在、リハビリ病院で使用しているFESシステムを図2・1に示す。このポータブル刺激装置は、経皮的埋め込み型電極を用いたもので16chの刺激電極を持つ。

経皮的電極を用いたポータブル刺激装置の工学的問題は、

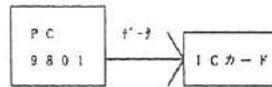
1. より小さく、軽いバッテリーが使用できるようになるまで、装置の小型化と軽量化はありえない。
 2. 経皮的電極による皮膚上からの感染の可能性(細菌など)
 3. 経皮的電極の挿入方法部位の改良
- などがある。

しかし、完全埋め込み型刺激装置にする際に生じる新たな問題を以下に示す。

1. 電力伝送の方法 - 伝達効率、刺激情報の解読
 2. 小型化(容量的に)する技術 - カスタムICの開発(集積化)
 3. パッケージング - 生体に対する拒絶反応を引き起こさない物質の選定
 4. シーリング技術 - 生体材料の選定
 5. その他
- などがある。

ポータブル 刺激装置

(データ の 書き込み)



(全体図)

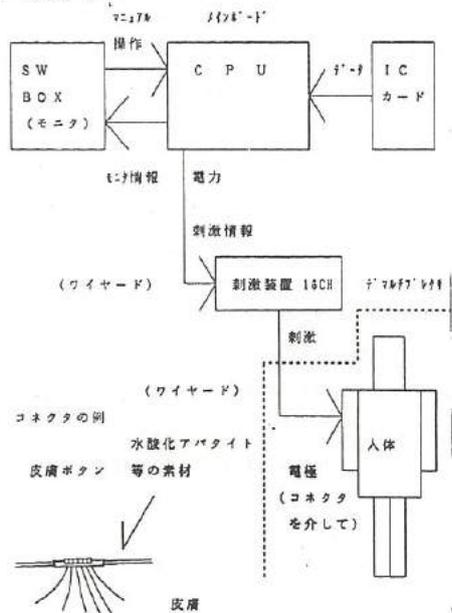


図2・1 現行の刺激装置 経皮的電極を用いたもの
Fig. 2・1 The percutaneous electrodes FES system

2-2 仕様

現時点での仕様を表2・1に示す。現在、リハビリ病院で使用しているものと比較すると、ワイヤレスとなる事と、チャンネル数が減る事が大きな変更である。刺激パルス幅と刺激パルス電圧（最大値）はコンパチブルになっている。パッケージ材質にチタニウムを使用する理由として、心臓のペース・メーカにも使用され、実績がありコストも余りかからない事が挙げられる。

伝送周波数を10MHzに設定した。この周波数を選んだ理由は、生体内RF伝送の場合の浸透深さdは、

$$d = \sqrt{\rho / (\pi \mu f)}$$

となり、ここで

ρ : 組織内抵抗 μ : 磁気透磁率 f : 伝送周波数
 となる。例えば100MHzの場合、約11cmとなるため、 f は比較的低い方がよいと思われる。

また、周波数が高いと生体に影響がでる恐れもあるからである。送信電力を大きくすると国内の電波法に引っかかる可能性もあるため、電波を遮断する方法を考える必要がある。これは外部からの妨害電波の遮断にもなり、有効であると思われる。

2-3 回路方式

埋め込み刺激装置のブロック図を図2・2に示す。回路は電源部、ロジック部、出力部からなり、電源部は受信アンテナと電源回路、検波回路からなる。ロジック部はクロック、タイマ（モノステーブルマルチ）、シフトレジスタから構成されている。（図2・3参照）出力部は8ビットD/Aコンバータとオペアンプ、アナログSWからなる。

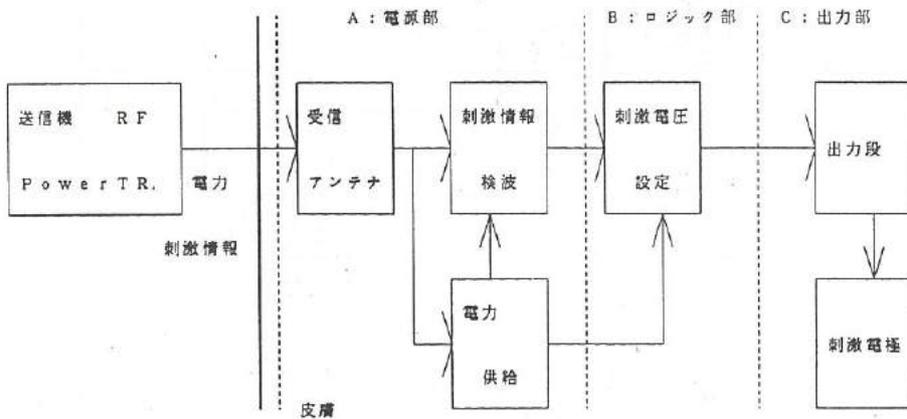


図2・2 埋め込み刺激装置のブロック図
 Fig. 2・2 Block diagram of implantable stimulator

Table. 2・1 The specification of 2ch implantable stimulator

表2・1 2CH埋め込み刺激装置の仕様

	現行仕様	ポータブル刺激装置
方式	外部コントロール 完全埋め込み方式	外部コントロール 半埋め込み方式
チャンネル数	2CH	16CH
パッケージ材質	チタニウム	—————
電力伝送方法	RF電磁誘導	ワイヤード(有線)
搬送波周波数	10MHz	—————
刺激パルス幅	200μs	同左
刺激パルス電圧	MAX -15V (P-P)	同左
刺激周波数	20Hz (50ms)	同左

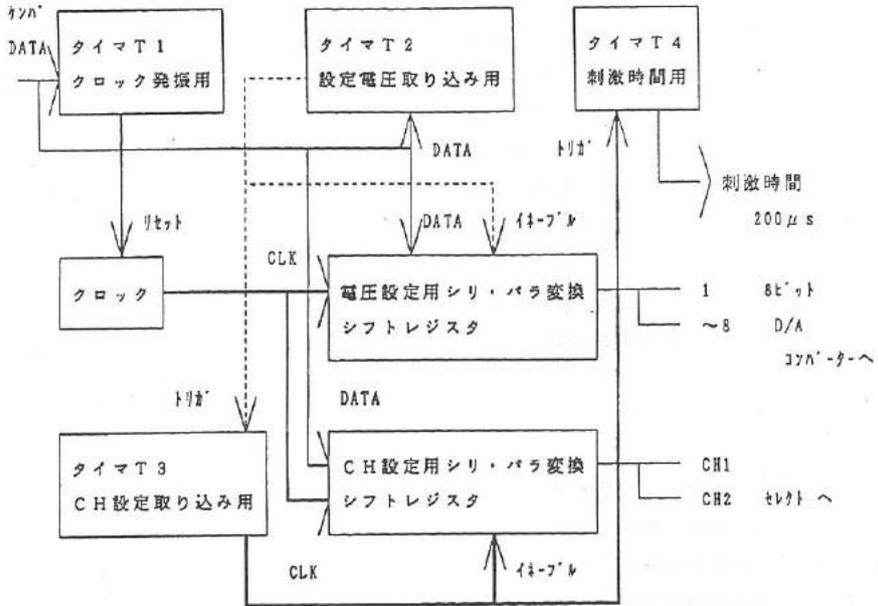


図 2・3 ロジック部の制御ブロック図

Fig. 2・3 Control block diagram of logic units

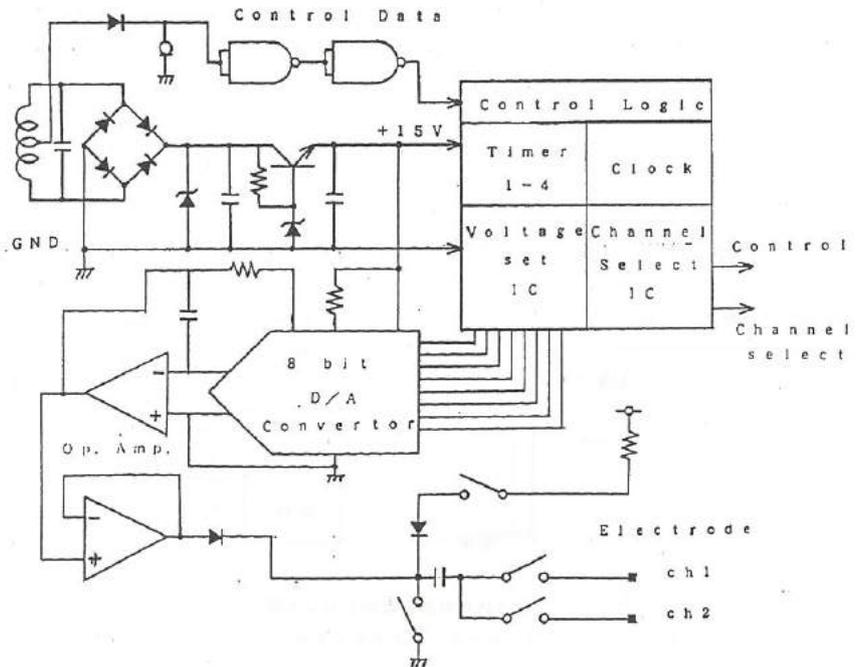


図 3・1 2,CH 刺激装置 全回路図

Fig. 3・1 2ch stimulator circuit diagram

3. 分析

3-1 刺激装置回路(受信部)

2ch刺激装置の全回路図を図3・1に示す。電源部の受信アンテナは10MHzの周波数に共振するようにし、ダイオード・ブリッジを通過後、ツェナー・ダイオードでDCに変換する。またアンテナコイルの中間タップから、検波信号を取り、ロジックのタイミングデータとしている。ロジック部はモノステーブルマルチタイマー(T1~T2)、シフトレジスタ(電圧設定、CH設定)とクロックからなるデータが入ってくると、クロックが立ち上がり、シフトレジスタ(電圧設定用)にデータを取り込んだ後、別のシフトレジスタ(CH設定用)にもデータを取り込む。

出力部の8ビットD/Aコンバータはシフトレジスタのデータをもとに、刺激電圧を設定する。設定された電圧はオペアンプで必要な電圧に増幅され、刺激時間の200μs間、電圧を保ちつづける。

3-2 受信アンテナ

受信アンテナは10MHzにマッチする様に設計しなくては行けない。今、細い導線を密接して巻いた場合(図3・2)

$$L = 10^7 \lambda \{ (2\pi RN)^2 / l \} \quad (3-1)$$

となる。ここで、R:円筒の半径、l:コイルの軸長、N:総巻き数、λ:長岡係数(図3・3) $d = 2R$ である。

各パラメータを設定して計算し、実験で確認した結果を次章で述べる。

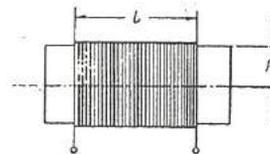


図3・2

Fig. 3・2

4. 結果

4-1 ロジック部

ロジック部の各動作を確認した結果を示す。

a) タイマ動作

タイマの時定数は、 $T1 = 105 \mu s$, $T2 = 85 \mu s$, $T3 = 20 \mu s$, $T4 = 200 \mu s$ である。

実際の動作をプロット・アウトした波形を図4・1-4・3に示す。

b) クロック動作

タイマイC555を使用したものと、セラミック発振子を使用したものの結果を図4・4-4・5に示す。

4-2 出力部

出力部の動作確認結果を示す。刺激電圧を変えた場合と人体の抵抗を変化させた場合の結果を図4・6-4・11に示す。

4-3 受信アンテナ

直径25.5mmの円筒に銅線を6回巻いたものをアンテナとすると、式(3-1)から $L = 1.489 (\mu H)$ となる。

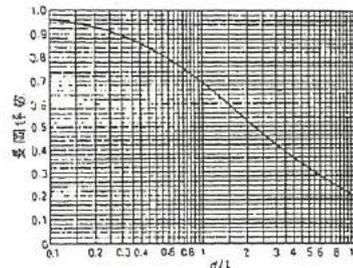


図3・3 長岡係数

Fig. 3・3

Nagaoka coefficient

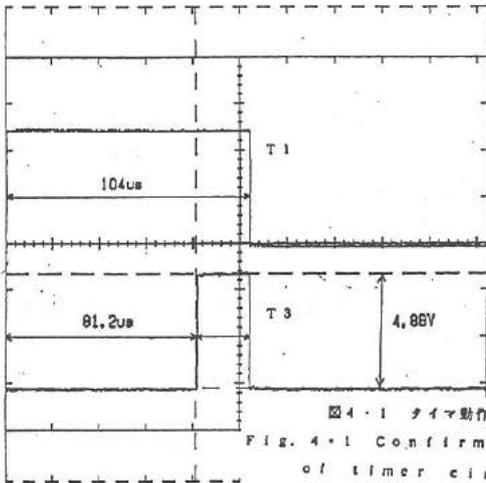


図4-1 タイマ動作確認
Fig. 4-1 Confirmation of timer circuit

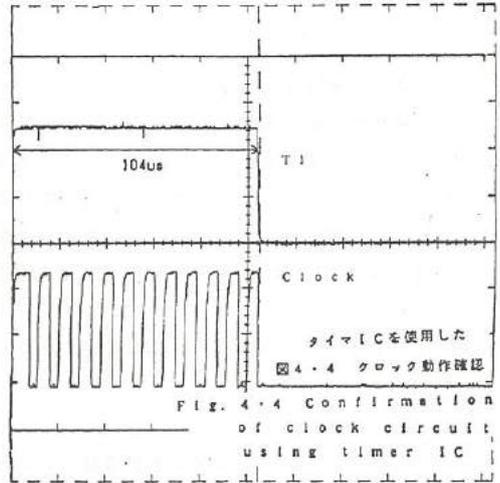


Fig. 4-4 Confirmation of clock circuit using timer IC

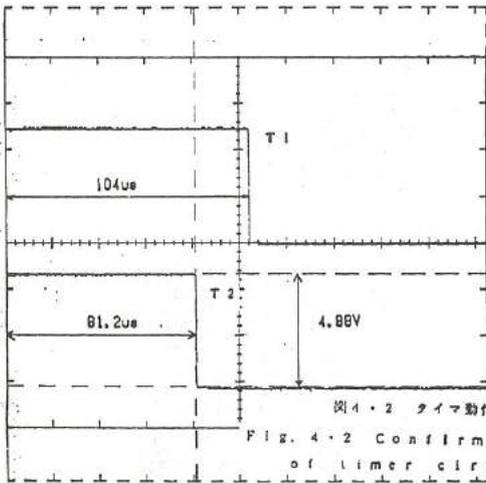


図4-2 タイマ動作確認
Fig. 4-2 Confirmation of timer circuit

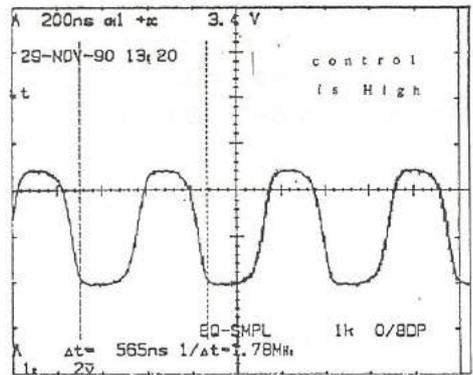


図4-5 クロック動作確認 (セラミック共振子)
Fig. 4-5 Confirmation of clock circuit using ceramic resonator

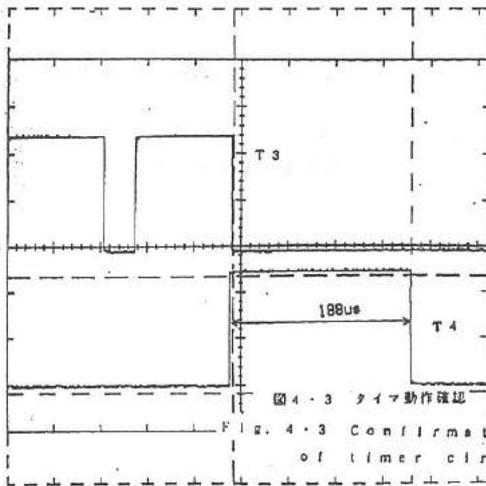


図4-3 タイマ動作確認
Fig. 4-3 Confirmation of timer circuit

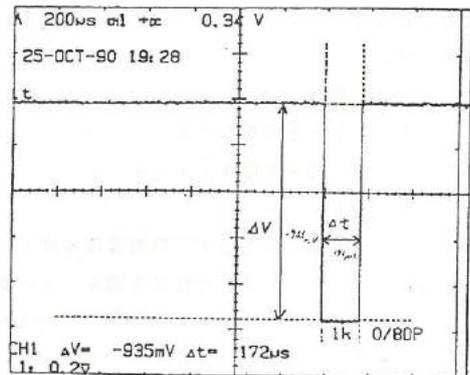


図4-6 刺激電圧の変化による確認 (0.998V)
Fig. 4-6 Inflection of stimulator voltage

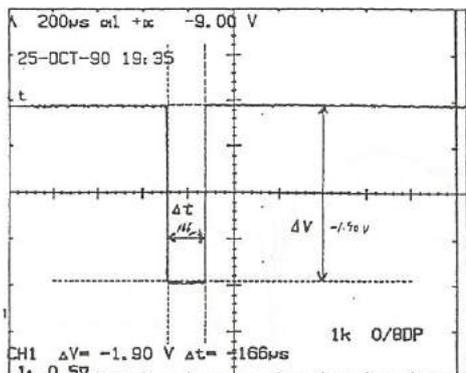


図4・7 刺激電圧の変化による確認(2.0V)

Fig. 4.7 inflection of stimulator voltage

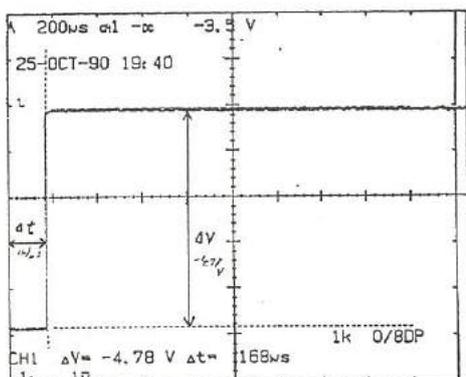


図4・8 刺激電圧の変化による確認(5.0V)

Fig. 4.8 inflection of stimulator voltage

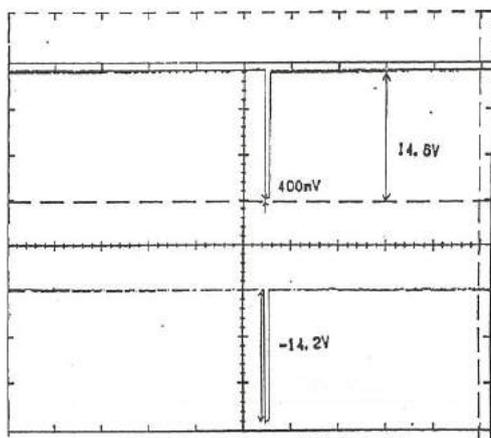


図4・9 人体内の抵抗を変化させて確認(3kΩ)

Fig. 4.9 inflection of tissue resistance

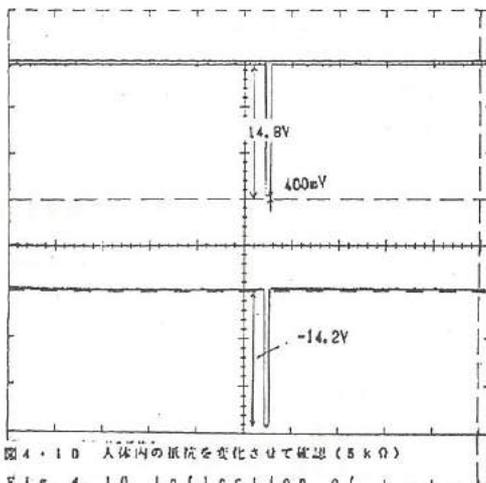


図4・10 人体内の抵抗を変化させて確認(5kΩ)

Fig. 4.10 inflection of tissue resistance

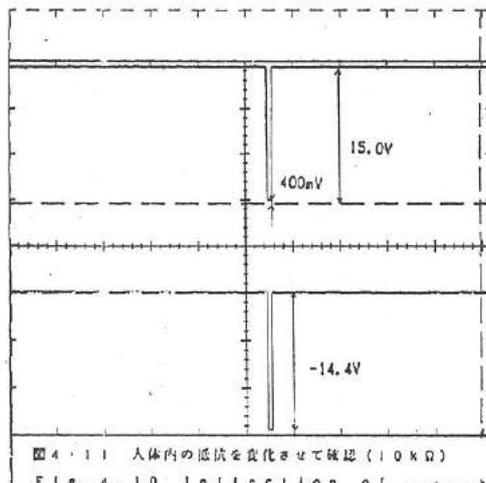


図4・11 人体内の抵抗を変化させて確認(10kΩ)

Fig. 4.10 inflection of tissue resistance

実際に2つのコイルを作成し、インピーダンス・アナライザで測定した結果を図4・12に示す。

10MHzで共振させるコンデンサCの値は、
 $C = 1 / (\omega^2 L) = 1 / \{(2\pi f)^2 L\}$
 $= 170.11 \text{ (pF)}$ となる。

実際に180pFをバラ付けして、確認した結果を図4・13-4・16に示す。

5. 考察

5-1 ロジック部

タイマの動作結果を表5・1に示す。T1は、105μsに対して104μsとなっている。T2は85μsに対して81.2μsとなっている。T3は20μsに対して、20μsとなっている。T4は200μsに対して188μsとなっている。全体的にタイマが短めなので抵抗とコンデンサのバラツキなのかどうかつかむ必要がある。また、ロジックの誤動作を防ぐために各タイマのANDを取る必要があるかも知れない。

クロックはタイマICを使用した場合も、セラミック発振子を使用した場合もどちらも動作しているが、安定性を考えるとセラミックあるいはX'talの発振子を使用したほうがよいかも知れない。

5-2 出力部

現時点で、出力電圧はダイオードの順方向電圧降下(0.1-0.3V)があるが動作している。この電圧降下はショットキー・ダイオードの使用によりより少なく改善できるだろう。また人体内の抵抗値を変化させた場合も、電圧の変化が見られず電圧値制御となっている事がわかる。電気刺激には電流値制御と電圧値制御の二方式があるが、電圧値制御のほうが人体に対して安全である。この方式は現在、リハビリ病院での方法と同じである。最大3mAしか電流が流れないため(人体抵抗5KΩの場合)、消費電力も抑えることができる。

5-3 アンテナ

コイルは理論値と実測値がほぼ一致しており10MHz近辺でのQが高く、Lが安定し非常に良い特性となっている。

入力電圧23.1V(p-p)に対して、16mmの間隔で置くと52.3V(p-p)の電圧が発生した。ブリッジで整流すると、DC35.4Vとなった(無負荷時)

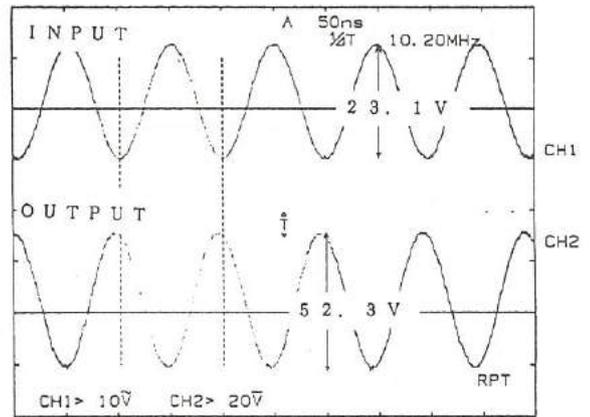
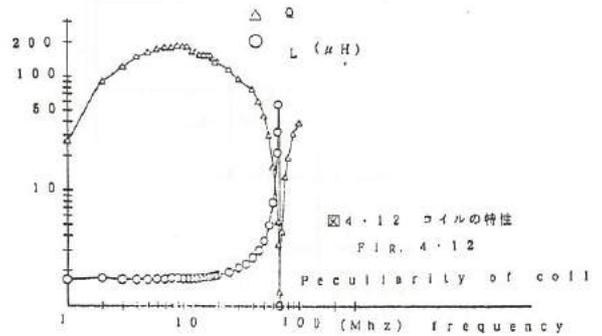


図4・13 10MHz入力
 Fig. 4.13 Input 10MHz carrier

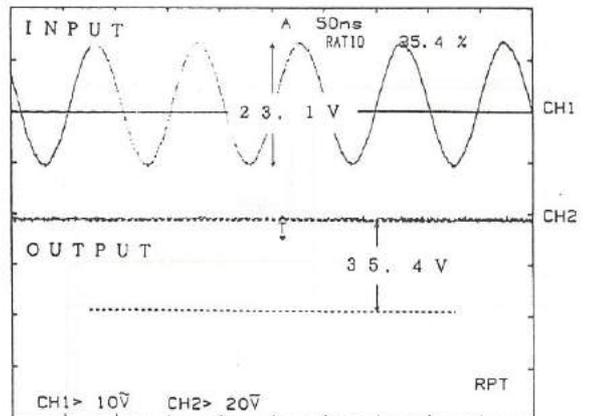


図4・14 ブリッジで整流
 Fig. 4.14 rectifying by the diode bridge

が、1.2 K Ω の抵抗を接続すると、6.79 Vまで電圧が落ちた。

よって、ロード・カレントは、

$$6.79 \text{ V} / 1.2 \text{ K}\Omega = 5.658 \text{ mA}$$

常時、6.79 Vの電圧と5.658 mAの電流を取り出せる。装置として15 V、10 mA (150 mW)は必要のため出力電圧を上げるか、アンテナの効率をもっとよくする必要がある。

アンテナの効率に影響する因子としては、

1. アンテナの形状 — 製作、支持の容易さ
2. 入力インピーダンスの整合 — 周波数に合わせる。
3. 給電点の位置
4. 指向性
5. 周波数特性

などがある。

また、電流を取りだしたとき、リップルが発生しているためリップル除去回路も検討する必要がある。

Table. 5-1

Result of logic timer

表5-1 ロジック・タイマの動作結果

	T1	T2	T3	T4
実測値	104 μ S	81.2 μ S	20 μ S	188 μ S
設定値	105 μ S	85 μ S	20 μ S	200 μ S

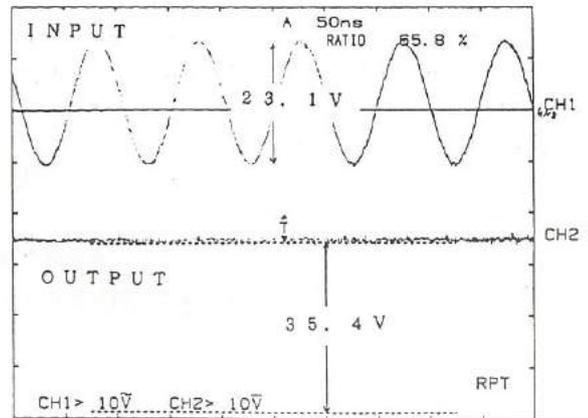


図4-15 0.1 μ Fコンデンサを接続

Fig. 4.15 link to 0.1 μ F condenser

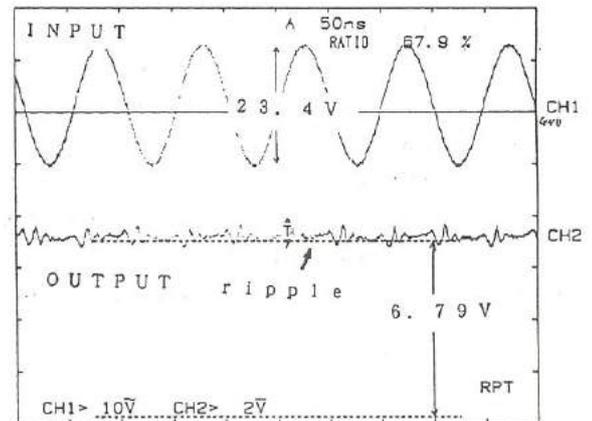


図4-16 抵抗をつなぐ

Fig. 4.16 connect with a resistor

6. 今後の課題

この装置の課題としては、ロジック部の一連の動作確認、出力部の動作確認、アンテナの最適化設計の検討とそれにもなう送信機の作成、さらに刺激電極の選定後、動物実験がある。

将来的には、チャンネル数の増加とロジック部の1チップ化、双方向でのデータ伝送、あるいはファジィ制御(ソフトウェア的に)を取り込む事などが挙げられる。

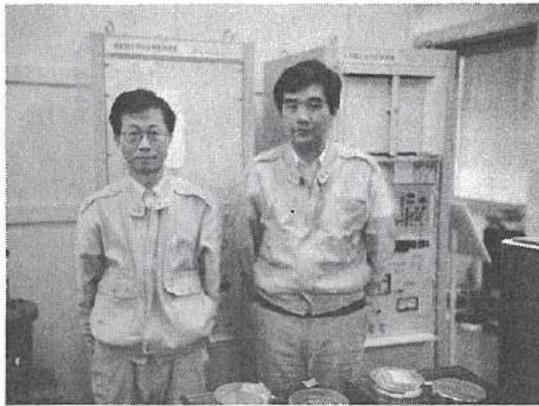
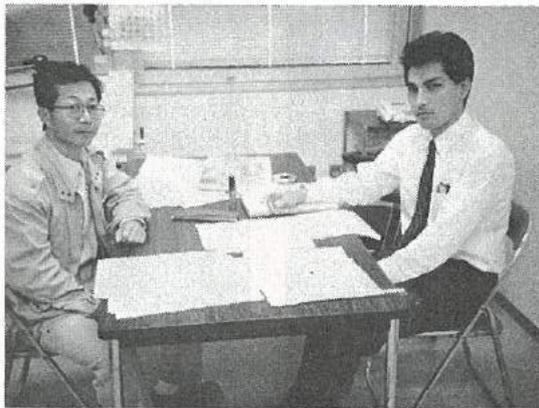
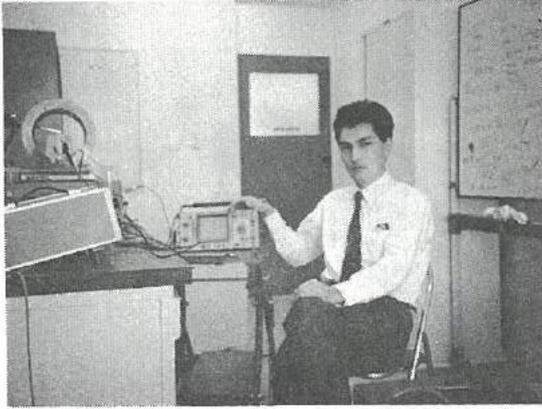
7. 謝辞

この研究は、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、検討回路の作成にあたって、サンプルを供給して下さいたローム(株)の方々に深く感謝致します。

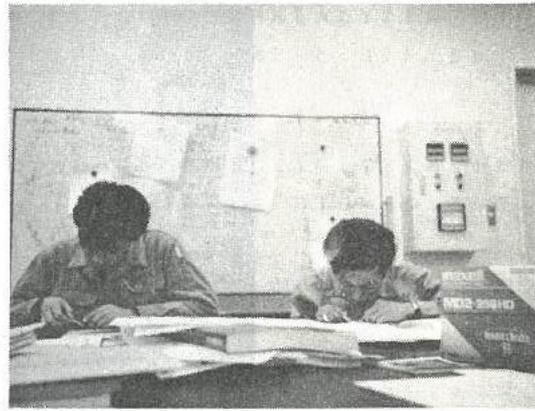
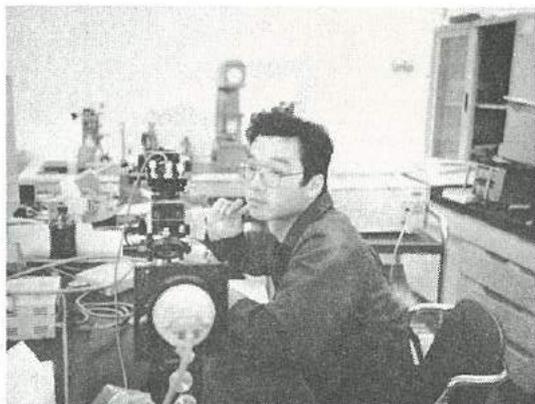
参考文献

- 1) G. Bergmann, F. Graichen et al :
" Multichannel Strain Gauge Selemetry Orthopaedic Implants " J. Biomechanics Vol. 21
- 2) BRIAN SMITH, P. HUNTER PECKHAM et al :
" AN EXTERNALLY POWERED, MULTICHANNEL, IMPLANTABLE STIMULATOR FOR VERSATILE CONTROL OF PALALYZED MUSCLE ", IEEE TRANS BIOMED ENG, VOL. BME-34 (7), pp. 499-508, JULY 1987
- 3) WILLIAM J. HEETDERKS :
" RF POWERING OF MILLIMETER- AND SUBMILLIMETER-SIZED NEURAL PROSTHETIC IMPLANTS ", IEEE TRANS BIOMED ENG, VOL. 35 (5), pp. 323-327, MAY 1988
- 4) 若尾 : 「新しい医療用テレメータについて」、CLINICAL ENG, VOL. 1 (1), pp. 80-85, 1990
- 5) 今村 : 埋め込み刺激電極による麻痺筋駆動について、総合リハ、12 (7)、505-509, 1984
- 6) 虫明 他 : 「アンテナ工学ハンドブック」、電子情報通信学会編、オーム社、1980

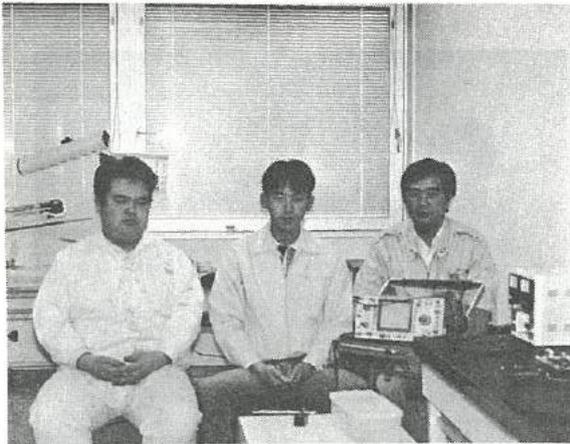
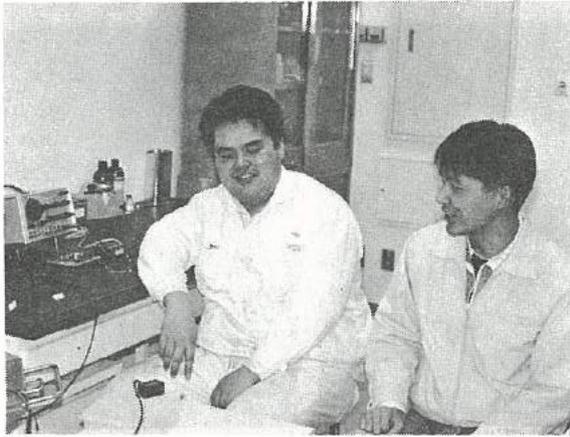
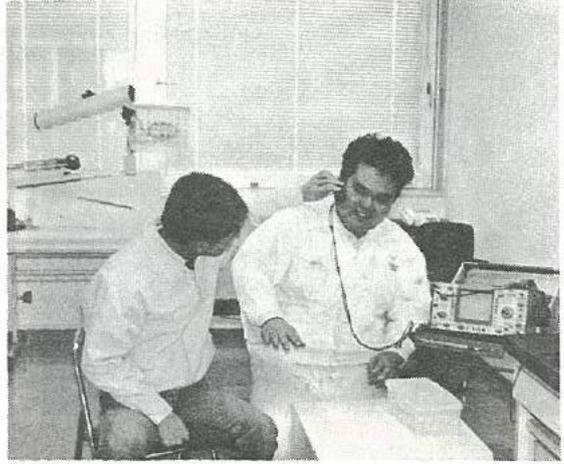
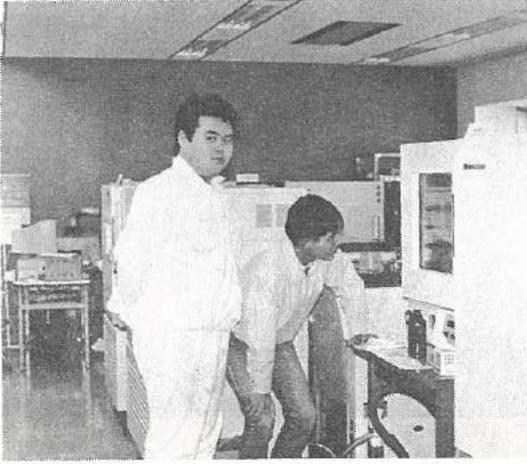
「薄膜磁気センサの開発」グループの研究活動風景



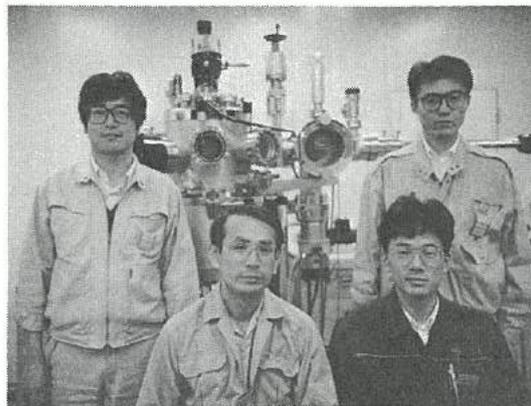
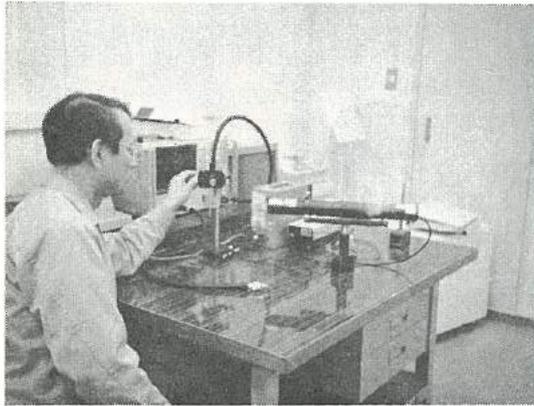
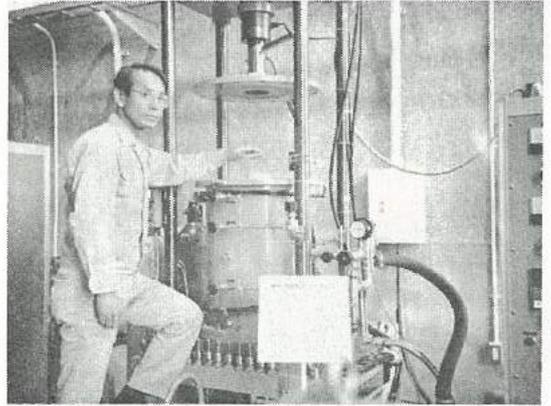
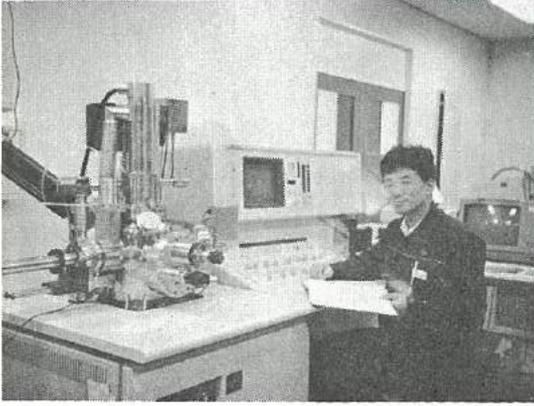
「面粗さ自動測定装置の開発」グループの研究活動風景



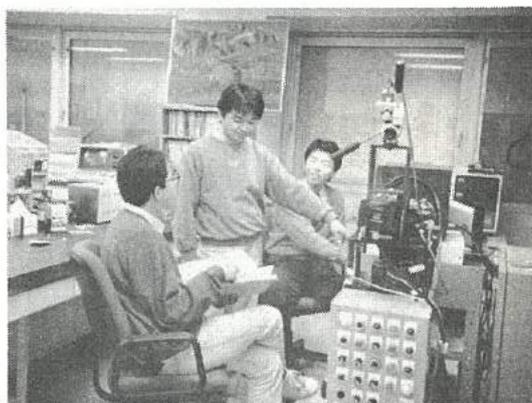
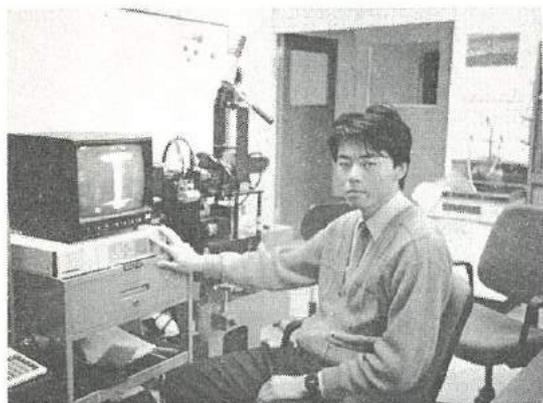
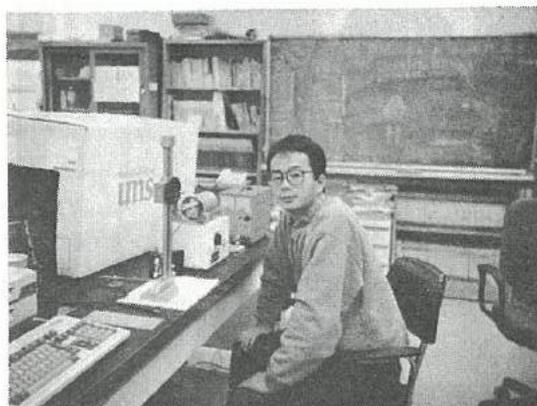
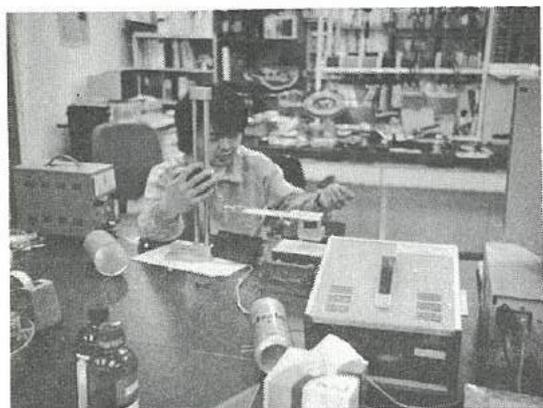
「超音波診断装置の開発」グループの研究活動風景



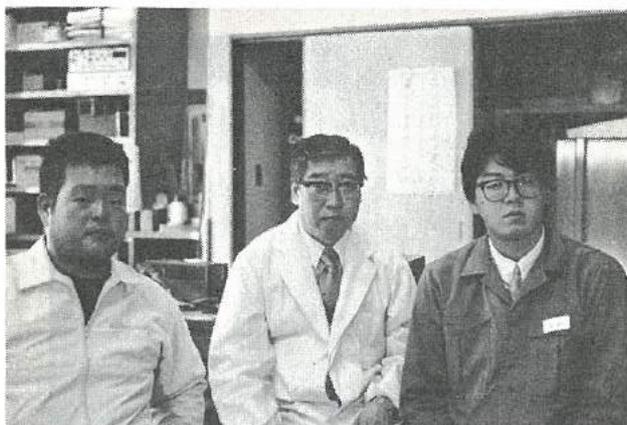
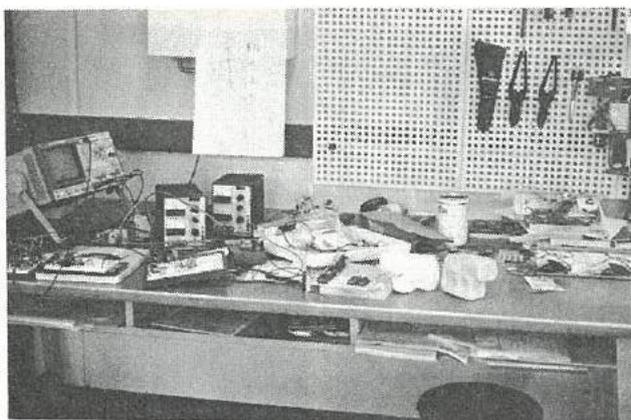
「音響光学素子の開発」グループの研究活動風景



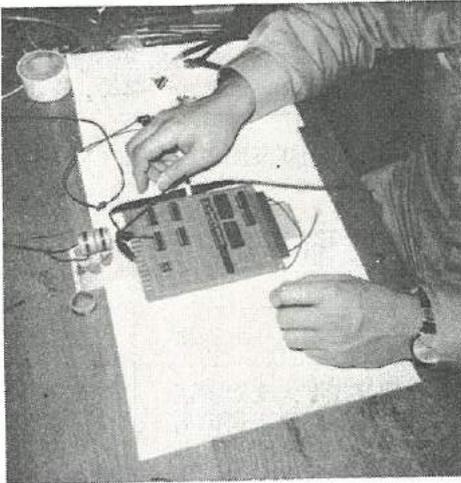
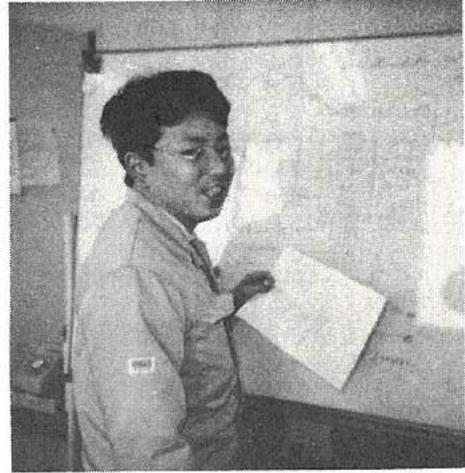
「画像による寸法計測の開発」グループの研究活動風景



「超音波杖の開発」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



会 員 企 業

平成3年3月20日現在（50音順）

	企 業 名	代表者名	当会運営委員	電 話
1	㈱和泉電気富山製作所	藤田 貞三	舟岡 矩夫	0764-69-2151
2	㈱インテック	金岡 幸二	水野 武	0764-32-5511
3	NKK㈱富山製造所	笹生 宏明	橘 克彦	0766-84-4171
4	エルコー㈱	飴 久晴	町野 利道	0764-32-8151
5	北日本電子㈱	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
6	㈱黒田精型	黒田 辰春	米陀 正行	0765-32-8006
7	㈱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㈱	鈴木 幸夫	中澤 光典	0764-25-4547
9	三協アルミニウム工業㈱	戸田 清一	島 勲	0766-20-2366
10	㈱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㈱ 魚津事業所	早川 元彦	中里 博吉	0765-24-5670
12	㈱タカギセイコー	松木 康祐	高多 修三	0766-24-5522
13	タカノギケン㈱	高野 啓良	杉森 智重	0764-55-2525
14	武内プレス工業㈱	武内 宗八	中澤 行雄	0764-41-1856
15	立山科学工業㈱	水口昭一郎	堀田 孝章	0764-29-3588
16	立山電化工業㈱	園 晶雄	鈴木 富雄	0766-23-2377
17	㈱タナカエンジニアリング	田中儀一郎	高安 義雄	0764-51-5600
18	東洋化工㈱	中田 守人	三田 一夫	0764-75-2125
19	㈱東洋電制作所	片山 俊雄		0764-72-0381
20	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
21	㈱不二越東富山製鋼所	中田 隆夫	吉田 正就	0764-38-4411
22	北陸電気工業㈱	中村 正夫	横山 充	0764-67-1111
23	マルマス機械㈱	平野 治親	加納 徹	0764-72-2233
24	吉田工業㈱黒部工場	吉田 忠雄	大村 啓	0765-57-1111
25	燐化学工業㈱	中村 久一	金山 敦	0766-86-2511

事務局：（財）富山技術開発財団内 〒930 富山市高田529 TEL 0764-33-6402

研究会員（研究幹事）

氏 名	所 属 ・ 役 職 ・ 学 位	電 話
植 松 哲太郎	富山県立大学工学部 教授 工学博士	0766-56-2495
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
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 0766-21-2121）	0766-56-7500

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3年3月20日発行
印 刷 所	有限会社 新 響 社

* 無断転載を禁ずる。非 売 品。