

平成元年度  
(第3回)

若い研究者を育てる会研究発表会

# 研究論文集

平成2年3月20日(火)

於：富山県民会館

若い研究者を育てる会

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

## ご あ い さ つ

会長 飴 久 晴

本会発足から3年が過ぎ、加盟会社も24社、年間の研究テーマも6件と年々会の発展を感じます。

本年は、新たに富山大学殿へも共同研究をお願い致し、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。

これも参加企業の御理解と、研究者の育成に対する熱情の表われではないかと推察しております。

また、研究に参加されている一部企業から、出向されている研究者が週1日、本会の共同研究に時間を取られているにもかかわらず、社内においてスキルが高く、仕事のアウトプットも多いとうかがい、本会の目的をいくぶんか達成しつつあると喜んでいます。

昨今の深刻な人手不足のおり、企業内の人材育成が重要な経営課題であります。研究テーマを通して芽生えた、人と人のネットワークは、将来大きな財産になって行く事と信じております。

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のお陰を持ちまして、若い研究者が大きく羽ばたいて行く姿こそ、究極の技術立県、富山の将来像ではなかろうかと存じます。

今後共一層の御指導賜りますようお願い申し上げます。



## 研究の概要

富山県工業技術センター 工学博士 谷野 克巳

本書は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数24社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成元年4月から富山県工業技術センター機械電子研究所（元年10月に富山研究所が名称変更）において4グループ（4テーマ）、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）、および富山大学工学部において1グループ（1テーマ）の計6グループが実施してきた研究の成果をまとめたものであり、まず、富山県工業技術センター機械電子研究所で実施した4グループの研究の概要は次のようなものである。

「樹脂・ファイバー複合材に関する研究」のグループ（参加企業数4社）の研究報告においては、前年度に引き続き、高強度、軽量ならびに耐食性を有するFRP製バネ材の開発を取り上げ、VAR法（Vacuum Assisted Resin Injection）を用いてコイルバネ、およびFW法（Filament Winding）を用いて板バネを試作し、これらの成形方法と機械的特性などに検討を加えた結果について述べている。

「ZnO系セラミックス薄膜に関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、ZnO系薄膜の透光性および圧電性の向上と音響光学素子の開発を取り上げ、マグネットロンスパッタを用いてサファイア基板上にZnO系薄膜をエピタキシャル成長させた試料を試作し、これらの製膜条件と基板方位および金属酸化物の添加の影響などに検討を加えた結果について述べている。

「焦電型赤外線センサに関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、高感度の焦電型薄膜赤外線センサの開発を取り上げ、今回は基礎研究としてマグネットロンスパッタを用いてチタン酸鉛系薄膜を試作し、これら薄膜の成膜条件とX線回折パターンとの関係ならびにターゲットへの鉛酸化物などの添加とターゲットの焼結体化による膜特性の改善などに検討を加えた結果について述べている。

「Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究」のグループ（参加企業数3社）の研究報告においては、Co系アモルファス磁性薄膜を応用了した薄膜インダクタなどの開発を取り上げ、マグネットロンスパッタを用いてCo-Nb-Zr系薄膜を試作し、これらの膜の作製条件と透磁率およびB-Hループなどの磁気特性の向上、ならびに薄膜インダクタの試作などに検討を加えた結果について述べている。

富山県高志リハビリテーション病院 理学博士 山本 敏泰

富山県高志リハビリテーション病院で実施した1グループの研究の概要は次のようなものである。

「障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究」のグループ（参加企業数2社）の研究は、(1) 音声認識および筋電位を利用した操作システムの開発、(2) 筋骨格モデルに基づいた学習機能を有する刺激パターン生成システムの開発、(3) 刺激時の生成運動のグラフィックシミュレーションの開発、の三つのサブテーマから成っている。2年目にあたる本年は、特に(1) の研究に重点をおき、音声認識についてはauto gain control 部の付与など装置の改良と共に、認識率の高い操作単語の検討を実施し、本装置の有用性を検討した。筋電位の利用については、自己回帰(autoregressive) 時系列解析に基づいたパワースペクトラム等を活用した操作用動作自動判定基準の検討を実施すると共に、実用化の可能性を示した。

富山大学工学部 工学博士 八木 寛

盲人を誘導する電子装置はいろいろ開発されてきている。これまでの杖による誘導より広い範囲にわたり情報を集め、物体の存在位置を認識することができるためである。物体の存在に関する情報はレーザー光の場合や超音波の場合など様々である。

「超音波メガネの研究」（参加企業数2社）では、杖の一部から超音波を発振させ、その物体による反射を検出する。超音波の反射波の時間間隔を音の強弱に変換して、聴覚を通して知らせたり、リレーのような振動に変換し、その間隔、いわゆる距離を並列的に配置したりレーザーにより知らせたりした。本研究では、後者の通知方法を採用している。今後さらに、盲人への物体の存在位置、通知方法を検討する。

以上、本書は6つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も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。しかし、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向上と発展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、多大な成果を上げられんことを期待する。

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、ご助言を賜わったことに対して、深く感謝の意を表します。

平成2年3月

## 研究グループの構成

### 1. 「樹脂・ファイバー複合材に関する研究」グループ

研究担当者	柳原 潔（㈱黒田精型）
	高柳 敏信（㈱タカギセイコー）
	池田 秀雄（　　〃　　）
	上段 一徳（東洋化工㈱）
	長柄 勝（長柄鉄工㈱）
研究指導者	松本 岩男（工業技術センター機電研）
	林 博（　　〃　　）
	中川 章（工業技術センター中央研）
	土肥 義治（　　〃　　）
	谷野 克巳（工業技術センター機電研）

### 2. 「ZnO系セラミックス薄膜に関する研究」グループ

研究担当者	平能 司（㈱和泉電気富山製作所）
	小西 孝浩（タカノギケン㈱）
	煙田不二男（燐化学工業㈱）
	瀧川 義弘（　　〃　　）
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（　　〃　　）

### 3. 「焦電型赤外線センサーに関する研究」グループ

研究担当者	吉田 孝一（㈱タカギセイコー）
	山田 義昭（東洋化工㈱）
	吉野 正浩（吉田工業㈱）
研究指導者	田村 幾夫（工業技術センター機電研）
	谷野 克巳（　　〃　　）

#### 4. 「Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究」グループ

研究担当者 前坂 昌春（エルコーカ）  
越浜 哲夫（㈱不二越）  
西田 達也（北陸電気工業㈱）  
研究指導者 浅田 峰夫（工業技術センター機電研）  
谷野 克巳（ ” ” ” ” ）

#### 5. 「障害者のための学習機能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 古瀬 正浩（㈱インテック）  
堀井 孝（エルコーカ）  
研究指導者 山本 敏泰（高志リハビリテーション病院）

#### 6. 「超音波メガネの研究」グループ

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

註：各グループ中、企業名は50音順

# 目 次

I. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究	1
1. 緒　　言	1
2. FRPコイルバネの開発	1
3. CFRP板バネの開発	6
5. 結　　言	10
II. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究	11
－圧電薄膜音響光学素子の開発－	
1. 緒　　言	11
2. ZnO系薄膜の作製	11
3. 音響光学素子への応用	15
4. 結　　言	17
III. 焦電型赤外線センサーに関する研究	18
－RFマグнетロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製－	
1. 緒　　言	18
2. 実　験　方　法	18
3. 実験結果および考察	20
4. 結　　言	25

IV. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究	26
1. 緒　　言	26
2. 実　験　方　法	26
3. 実験結果および考察	27
4. 結　　言	32
V. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究	33
－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発－	
1. は　じ　め　に	33
2. FESシステム	34
3. 音声認識モジュール	34
4. 筋電位計測モジュール	38
5. 今後の課題	41
VI. 超音波メガネの研究	43
1. 緒　　言	43
2. 実　験　方　法	44
3. 実　験　結　果	47
4. 討　　論	49

# I. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

Study of Fiber Reinforced Plastics  
with a View to Spring Materials

## Abstract

The last time, an investigation was carried out to develop the carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with the object of spring materials. In its experiment, we examined about the several characteristics of matrix resin and the method of matched die molding. As the result of above-mentioned, the alicyclic epoxy resin was suited to the matrix resin of CFRP spring.

In this study, an investigation was preformed to utilize these materials for CFRP springs. Namely, we prepared the coil spring by VARI method ( Vacuum Assisted Resin Injection ) and the plank springs by FW method ( Filament Winding ), and examined to their mechanical properties.

The results summarize as follows:

- (1) VARI method is established for the molding of CFRP coil spring, and nearly, the transverse modulus of its spring is 1,300 Kgf/mm<sup>2</sup>.
- (2) The conditions of molding for strong CFRP coil spring are as follows; ① to wind the fiber along coil axis in the direction of 45°, ② to increase the quantity of fiber and ③ to use the fiber of high strength.
- (3) The longitudinal modulus of several CFRP plank spring by FW method is 8,500 Kgf/mm<sup>2</sup>, and in round numbers, it's bending strength is 133 Kgf/mm<sup>2</sup>.

## 1. 緒 言

近年、新素材の開発は関係方面で盛んに行われており、工業材料の役割も機械や構造物を対象とする機械的特性ばかりでなく、熱的、電気的、化学的特性といった機能的特性を有する新しい構造材料の展開がなされている。

プラスチック系複合材は、繊維強化プラスチック ( F R P ) で代表されるように、優れた機械的特性を有する強化繊維とマトリックス樹脂の組合せによって、新しい工業材料として広い範囲に用途の展開が行われている。

本研究は、各種産業機械や自動車等で要素部品として数多く使われているバネ材の開発を対象としたもので、F R P の特徴である高強度、軽量、耐食性を生かした F R P バネ材の開発を目的としている。ここでは、V A R I 法 ( Vacuum Assisted Resin Injection ) を利用して成形するコイルバネ及び FW 法 ( Filament Winding ) による板バネをそれぞれ製作して、各成形方法と機械的特性について検討したのでその概要を報告する。

## 2. F R P コイルバネの開発

### 2. 1 実験方法

#### (1) 供試材 ( 原材料の概要 )

表 1 は、F R P の構成材料として用いた強化材のガラス繊維 ( G F ) 、炭素繊維 ( C F ) とマトリックスの酸無水物硬化エポキシ樹脂 ( E P ) の主な物性値を示す。マトリックスにはバランスのとれた物性、成形の容易さ、強化材との良好な接着性、更に耐熱性が良好という前年度研究結果から、表に示す脂環式エポキシ樹脂を選定した。

表 1. F R P の構成材料の主な物性値

Table 1. Characteristic values of material for FRP.

	引張強度 ( Kgf/mm <sup>2</sup> )	弾性率 ( Kgf/mm <sup>2</sup> )	密度 ( g/cm <sup>3</sup> )	摘要
炭素繊維	360	23500	1.75	PAN系
ガラス繊維	150	7400	2.54	Eグラス
エポキシ樹脂	9	300	1.2	脂環式

(2) 成形方法

図1、図2はFRPコイルバネの成形プロセスとVARI成形の原理図の一例を示す。また、図3、図4はFRPバネ素線の強化繊維巻き付け方法とこの素線の構造断面の一例を示す。図3に示すようにバネ素線はガラス繊維チューブの一端をハンドドリルのチャックで固定し、他端は軸受を介して固定して、チューブの周りにCFもしくはGF繊維をそれぞれ軸方向に0、30、45、60、90°の角度で巻き付け、このようにして得られたバネ素線をシリコンチューブ内に挿入した後、VARI試作装置を用いてコイルバネを作製した。試作装置は、図2に示すように樹脂注入側と反対側のチューブ内を真空にしながら液状樹脂を加圧注入するもので、樹脂注入圧は加圧タンク内の空気圧調整弁によって2~4Kgf/mm<sup>2</sup>に調整した。

次に、強度評価用試料は、この注型品をコイル状型に巻き付け、恒温槽内で加熱硬化させた。図5は、強度評価用の試作FRPコイルバネの外観を示す。また、バネの寸法は、線径：φ6mm、コイル平均径：φ46mm、コイル自由高さ：100mm、有効巻数：7回とした。

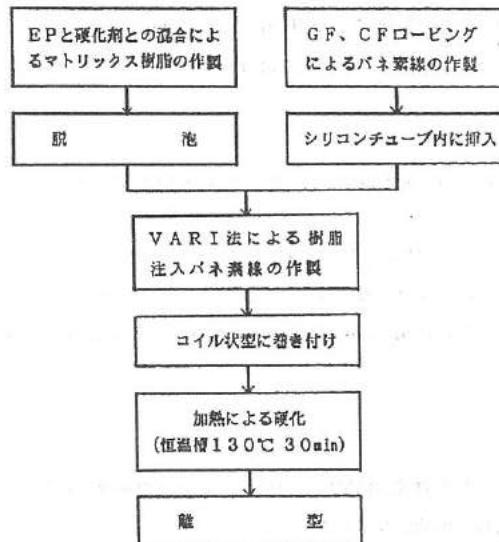


図1 FRPコイルバネの成形プロセス

Fig.1. Molding flow chart of FRP coil spring.

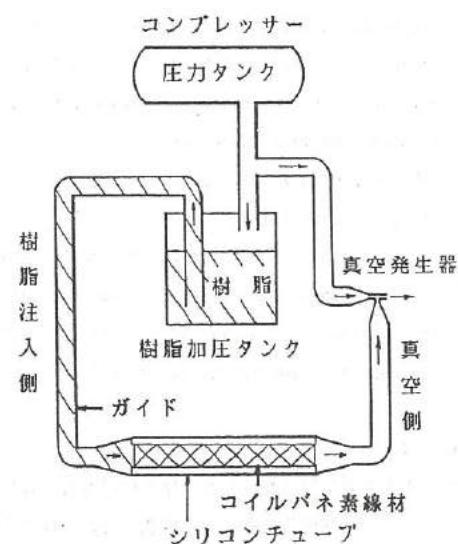


図2 VARI成形の原理図

Fig.2. Principle of VARI molding.

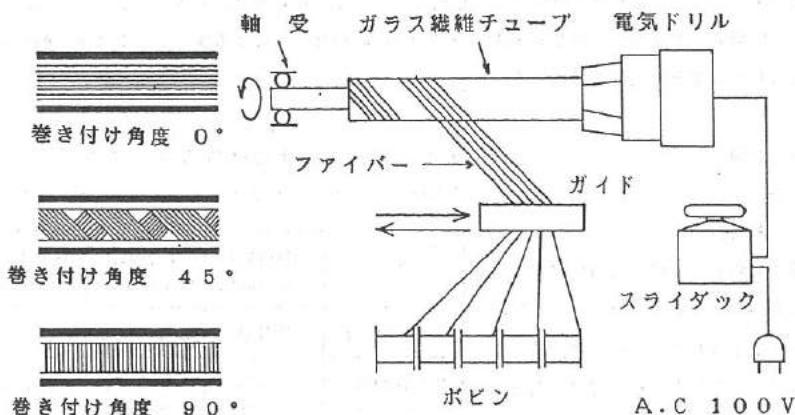


図3 強化繊維巻き付け方法

Fig.3. Winding method of fiber.

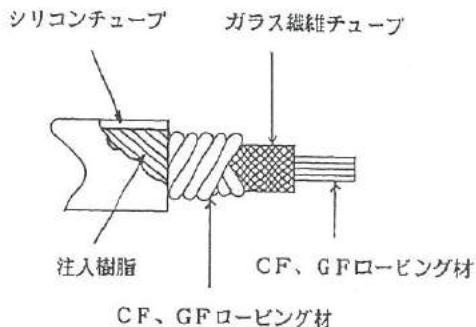


図4 F R P バネ素線の構造  
Fig.4. Structure of FRP coil spring

図5 F R P コイルバネの外観  
Fig.5. Appearance of molded FRP coil spring.

### (3) 硬化条件

前記の成形方法によるバネの離型工程には、F R P バネとシリコンチューブとを剥離する作業がある。しかし、硬化条件によっては、E P とシリコン樹脂とが反応して、剥離しにくくなるため非常に手間がかかる作業となる。このため、作業性の改善を目的に、最適な硬化条件を求める実験を実施した。

表2は、シリコンチューブ内に注入したE P の硬化条件とチューブの剥離評価試験結果を示す。表から、硬化温度が高くなるほど、また、保持時間が長くなるほどE P とチューブの剥離が悪くなることが解る。

また、図6はF R P バネ材のE P の硬化条件と曲げ強さの関係の一例を示す。図から、E P の曲げ強さには特に大きな変化が認められない。これらの結果から、F R P コイルバネの硬化条件は、硬化温度を130°C、保持時間を30分とした。

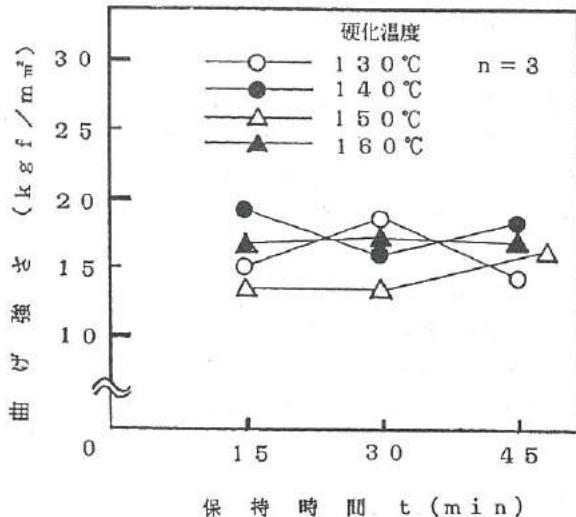


図6 F R P コイルバネ材の硬化条件と曲げ強さの関係  
Fig.6. Curing conditions of FRP spring material vs. bending strength.

表2 F R P コイルバネの硬化条件とシリコンとの剥離評価結果  
Table 2. Curing conditions of FRP coil spring vs. releasability from silicon tube.

温度 (°C)	130			140			150			160		
時間(min)	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45
剥離評価	○	○	○	○	△	△	△	×	×	△	×	×

(チューブ剥離評価 ○：良好、△：やや良、×：不可)

## 2. 2 実験結果及び考察

コイルバネの強度設計は、基本的には荷重とたわみの関係、荷重と応力の関係を求めることがあり、図7に示す圧縮コイルバネにおいては、次の基本式でその関係が求められる。

$$\kappa = P / \delta = G d^4 / 8 N a D^3$$

$$\tau_g = 8 D P / \pi d^3$$

d : 材料の直径

D : コイル平均径

N a : 有効巻数

G : 横弾性係数

P : バネにかかる荷重

$\delta$  : たわみ

$\kappa$  : バネ定数

$\tau_g$  : ねじり応力

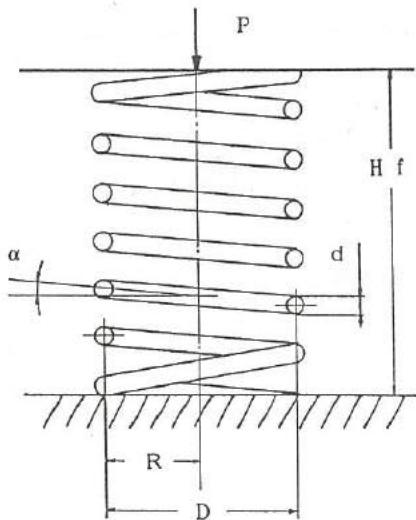
試作FRPコイルバネの強度評価は、インストロン形材料試験機を使用したバネの圧縮試験から荷重(P)とたわみ( $\delta$ )量を測定し、次に、この基本式から横弾性係数(G)を算出して、Gの値と繊維の強化方向及び繊維含有率等の関係について検討を加えた。

### (1) 強化方向と横弾性係数

図8は、GF体積含有率(Vf)が3.5%及び4.5%のFRPコイルバネの繊維強化方向(巻き付け角度: $\theta$ )とGの関係を示す。図から、Gの値は、いずれも $\theta$ が45°までは角度に比例して増大し、45°を過ぎると逆に減少している。

これは、図7で示したコイルバネに荷重Pが作用した場合、バネ素線はねじりモーメント( $P R \cos \alpha$ )及び曲げモーメント( $P R \sin \alpha$ )等を受けるが、ピッチ角( $\alpha$ )が10°以下であるため、曲げモーメント等の影響は小さく、バネ素線はほとんどねじりモーメント( $P R \cos \alpha \approx P R$ )のみを受けるものと考えられる。ねじりを受ける丸棒の表面層における主応力は、棒の軸に対して45°傾斜した直交2方向に生じることから、この方向と一致する $\theta$ が45°のとき、Gの値は最大値を示すものと考えられる。

このことは、繊維の効果的な強化方向を示すもので、円周上を45°方向に強化繊維を巻き付けた素線を使用することによって、剛性の高いFRPコイルを得ることができる。



P: 荷重

R: コイル平均半径

D: コイル平均直径  $\alpha$ : ピッチ角

d: コイル線径 Hf: バネ自由高さ

図7 圧縮コイルバネ

Fig.7. Compression coil spring.

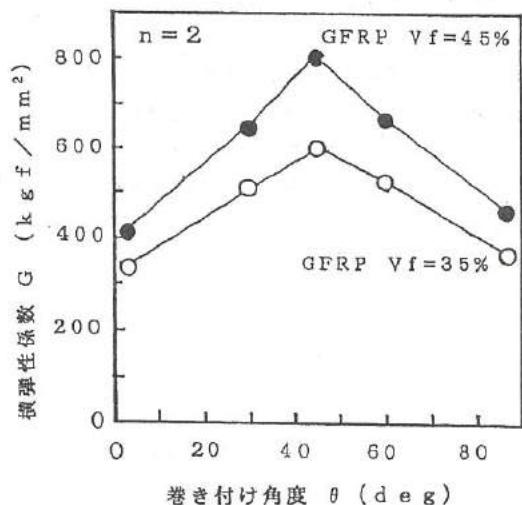


図8 繊維強化方向(巻き付け角度)と横弾性係数  
Fig.8. Winding angles of fiber vs. modulus of transverse elasticity.

### (2) 含有率と横弾性係数

図9は、 $\theta$ が45°のFRPコイルバネのVfとGの関係の一例を示す。図より、CFRP、GFRPいずれの場合もVfの増加に正比例してGの値が増大する。また、繊維の引張弾性率の大きいCFRPは、GFRPに比べて高いG値を示している。これらより、繊維の力学的特性とその含有率は、FRPコイルバネの機械的特性を決定する重要な因子であることを示している。

従って、これらの因子を組み合わせることにより、柔らかいバネ、剛性の高いバネ等を自由に設計できるものと考えられる。

一方、本実験では装置の関係でVfは50 vol %が限度であった。更にVfを大きくするためには、フレキシブルなシリコンチューブ内に余剰樹脂を注入させないため、チューブに外圧を与える検討が必要であると考えている。

### (3) 热的特性

図10は、FRPコイルバネの热的特性試験の結果を示す。図より、G値の5%低下温度は、いずれも130~150°Cを呈していることから、強化材の種類や含有率の違いとG値の温度変化の間には、相違点は認められない。

なお、マトリックスとして用いたEポリマーの热変形温度が200°C前後であるので、FRPコイルバネの高温特性を充分発揮させるためには、ポストキューリングについてさらに検討が必要なものと考えている。

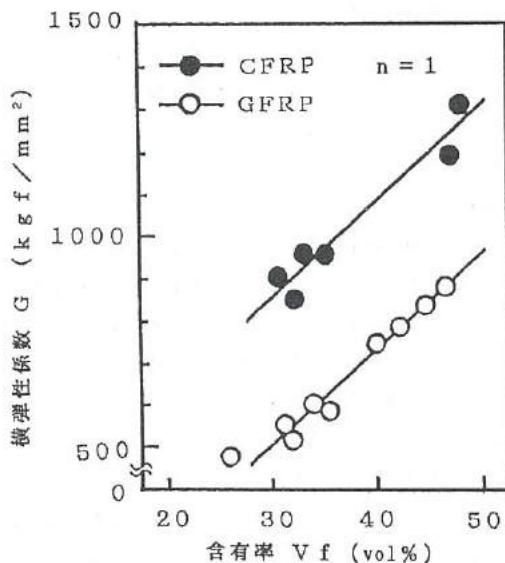


図9 繊維含有率と横弾性係数

Fig.9. Volume fractions of fiber vs. modulus of transverse elasticity.

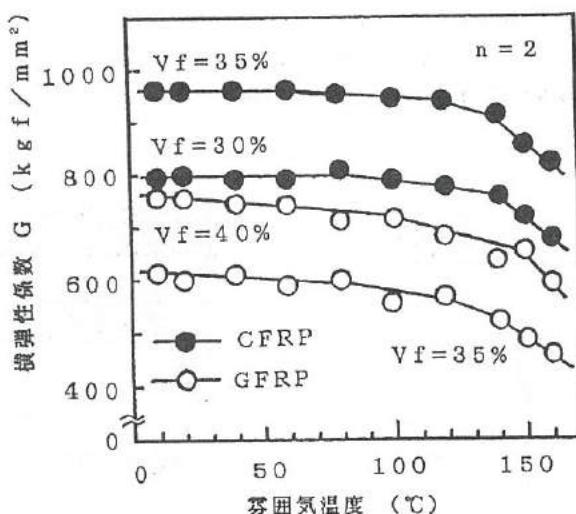


図10 雰囲気温度と横弾性係数

Fig.10. The temperature dependence of modulus of transverse elasticity.

### 3. CFRP板バネの開発

ここでは、より高強度・高剛性なバネ用複合材の開発を目的とし、CFのローピング材やクロスを併用したミニ板バネの圧縮成形をFW法により試作し、各種評価試験等を実施した。

#### 3. 1 実験方法

##### (1) 成形方法

成形に使用した強化繊維及びマトリックス樹脂は、前記の表1の通りである。また、一方方向強化繊維CFRPの欠点を補完する目的で用いたCFクロスの仕様は、フィラメント数1000本、重さ $11.9\text{ g/m}^2$ である。

FW法は、ボビンに巻いたCFのローピング材を本研究で試作した樹脂含浸装置を通過させた後、旋盤の低速回転域を用いてコアに巻き上げる方法を採用した。図11はその概要を示す。クロス積層構造（挿入枚数：2層及び6層）のCFRPは、所定のFW成形段階でハンドレアップ方式により挿入した。樹脂を含浸させたローピング材及びクロスが所定重量に達したあと、シーズヒータを組み込んだ上型（ミニ板バネ成形部：R900mm）及び下型（試験試料成形部）の試作金型によりホットプレス成形を行つた。図12に金型の外観を示す。

成形荷重は、金型温度が $50^\circ\text{C}$ に達した時点で徐々に加え、ストッパーに隙間がなくなるところで荷重（約1.5t前後）を保持し続けた。成形温度は、 $100^\circ\text{C}$ で10分間保持した後、 $160^\circ\text{C}$ まで昇温させた。成形試料は離型後、アフターキュアを $160^\circ\text{C}$ で3時間施した。図13はこのようにして成形したCFRPの外観を示す。

##### (2) 機械的特性の評価

ループ型の成形試料より削り出した評価用試験体は、インストロン型定ひずみ試験機により曲げ試験等を行つた。また、ミニ板バネの繰り返し曲げ試験は、小型油圧加振機を使用し、その疲労破面観察には、走査型電子顕微鏡(SEM)等を使用した。

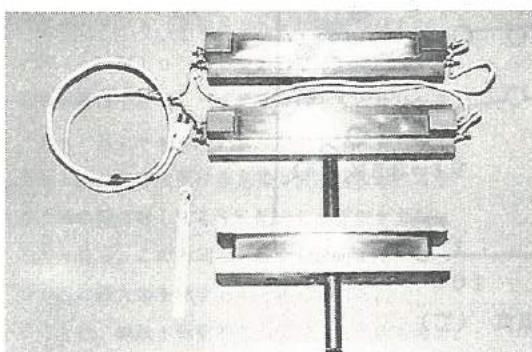


図12 金型の外観  
Fig 12. Appearance of molding die.



図13 FW法による成形したCFRPの外観  
Fig 13. Appearance of molded CFRP by FW method.

### 3. 2 実験結果及び考察

図14は、繊維と樹脂の分散性を検討するために、CFRP（V<sub>f</sub> : 6.5%、FW法 - クロス6層積層法）の断面写真的代表的な一例を示したものである。一方強化繊維とマトリックス樹脂の状態は、繊維の分散性が全体的に良好であり、樹脂も繊維を包む形で含浸している。また、クロス部分においても同様である。

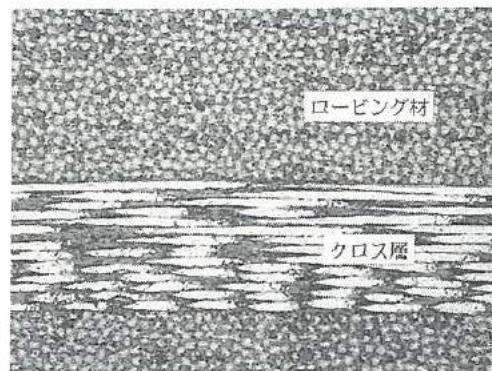


図14 CFRP板バネの断面  
Fig. 14. The cross section of CFRP plate spring.

#### (1) 曲げ強さ及び曲げ弾性率

図15は、CFの含有率と曲げ強さ及び曲げ弾性率の関係の一例である。図中には、比較のために前年度で報告したクロス積層のみの結果も合わせ示した。図より、FW法によるCFRPの曲げ強さは、ほぼ110～130Kgf/mm<sup>2</sup>の範囲にあり、クロス積層のみの様な大きな変化は認められなかつた。また、クロス積層の時に比べ、FW法によるCFRPの曲げ強さは、V<sub>f</sub>が6.0%前後で約35～40Kgf/mm<sup>2</sup>向上させることができた。

これは、FW法により、繊維の積層方向が力の作用方向に対して同じになつたためと考えられる。

また、曲げ強さはV<sub>f</sub>が6.0数%前後で最大値を示し、7.0%以上では低下する傾向にある。これは、クロス積層法の時にも述べたが（前年度報告）、繊維一本一本の周囲を包括するためのマトリックス樹脂がはじき出され、界面において繊維と接着するための樹脂量が不十分になるためと考えられる。また、曲げ弾性率は、V<sub>f</sub>の増加とともにほぼ直線的に上昇している。これは、繊維の剛性が曲げ弾性率に直接的に関与しているためと考える。また、クロス積層法に比べ曲げ弾性率は約3×10<sup>3</sup>～4×10<sup>3</sup>Kgf/mm<sup>2</sup>向上させることができた。次に、V<sub>f</sub>が6.5%の時的一方向繊維強化材の複合則

$$E_c = V_f E_f + (1 - V_f) E_m \quad (\text{理論値})$$

について検討を加えた。

ここで、E<sub>c</sub>は繊維強化材の弾性率、E<sub>f</sub>は繊維の弾性率：23500Kgf/mm<sup>2</sup>、E<sub>m</sub>はマトリックス樹脂の弾性率：300Kgf/mm<sup>2</sup>である。これより、E<sub>c</sub>は約15400Kgf/m<sup>2</sup>となり、実験結果と約6400Kgf/mm<sup>2</sup>の差が出た。すなわち、本実験では、繊維と樹脂との界面での親和性や分散性、更には気孔の混入等の種々の要因が繊維強化材の弾性率E<sub>c</sub>を低下させているものと考えられる。

バネへの適用を検討した場合、V<sub>f</sub>は曲げ強さが低下せず、しかも弾性率が約8.5×10<sup>3</sup>Kgf/mm<sup>2</sup>前後を取ることが出来る含有率6.5%前後に設定することが望ましいと考える。図中の○、●及び▲、△は、耐ねじり強度を付加するためにFW法によるV<sub>f</sub>が6.5%のうち、約10%弱をクロス（2層積層構造）、及び30%弱をクロス（6層積層構造）に置き換えて挿入し

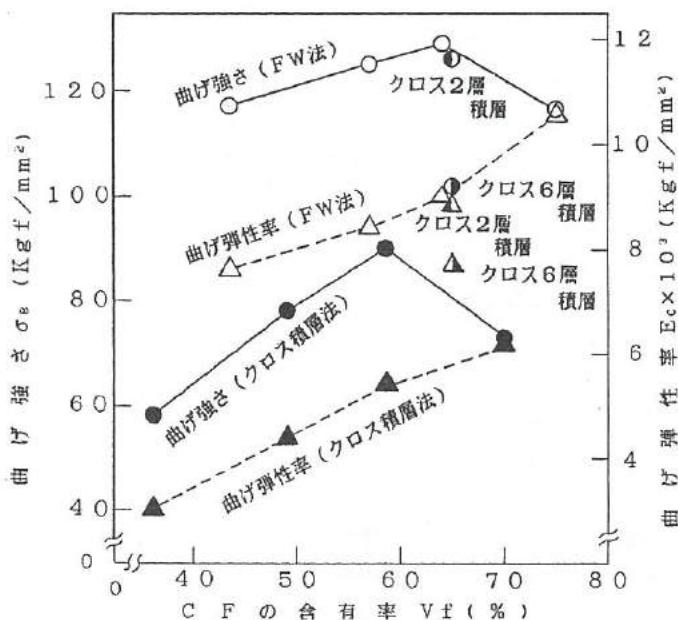


図15 CFの体積含有率と曲げ強さ  
及び曲げ弾性率の関係  
Fig. 15. Volume fraction of CF vs. bending strength and bending modulus.

た試料の試験結果である。図より、クロス2層積層構造では、曲げ強さ及び弾性率において、FW法に比べほとんど差異は認められない。しかし、6層積層構造では、曲げ強さで $15 \text{ Kg f/mm}^2$ 、弾性率で $700 \text{ Kg f/mm}^2$ 前後低下した。

### (2) 耐熱特性

図16は、 $30^\circ\text{C}$ における引張り弾性率(DMA試験)を100%とし、それより5%低下した時の温度とVfとの関係を示した一例である。図より耐熱温度は含浸しているマトリックス樹脂の量に影響されるため、Vfの増加とともに上昇する傾向にある。クロス積層法の場合は、 $160\sim170^\circ\text{C}$ 、FW法では $170\sim180^\circ\text{C}$ の範囲にあり、ほぼ $10^\circ\text{C}$ 程度の差が認められる。Vfが65%一定で、FW—クロス2枚(①)及び6枚(②)の積層構造では、FW法とほとんど同じ耐熱温度を示し、ほぼ $180^\circ\text{C}$ 前後であった。

### (3) 繰り返し曲げ試験

表3は、ミニ板バネの繰り返し曲げ試験の結果である。試験は、部分片振りによる3点曲げ(スパンL = 191 mm)とし、繰り返し曲げ試験中に発生する最大応力が、その材料の曲げ応力 $\sigma_{max}$ の95%となるように初期設定を行い、試験周波数は10 Hz、変位が±4 mmの加振条件で制御した。また、繰り返し寿命回数は、板バネの疲労破断または外観に損傷が生じた回数とした。FW法により作製した一方向強化材では、破断に至るまでの繰り返し回数は、Vfの増加とともに増大する傾向

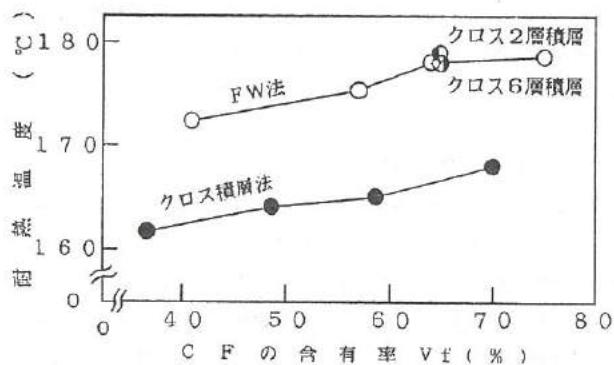


図16 CFRPの含有率と耐熱温度の関係  
Fig. 16. Volume fraction of CFRP vs. thermal-proof temperature.

表. 3 繰り返し曲げ試験の結果

Table 3. The result of repeated flexural test.

試料No.	CF含有率 Vf (%)	強化形態	繰り返し寿命 (回数)	摘要 (最大振幅応力: Kg/mm <sup>2</sup> )
1	43	一方向強化	$2.03 \times 10^5$	114
2	57	"	$3.13 \times 10^5$	118
3	64	"	$4.75 \times 10^5$	120
4	65	一方向強化 + クロス2層	約 $7 \times 10^4$ (注1)	116
5	65	一方向強化 + クロス6層	約 $9 \times 10^4$ (注1)	98
6	75	一方向強化	$9.65 \times 10^5$	110

(注1) クロスの剥離が認められた回数

にあつた。一方、FW法とクロス積層法を組み合わせたものでは、FW法と比較して1桁少ない回数でクロス層の剥離が発生した。しかし、剥離の発生後、 $10^6$ 回まで加振を加えたが、破断までには至らなかつた。破断しなかつた原因は、クロス層が剥離したため、強化繊維の力の伝達が十分に行われない状態になったことによるものと考えられる。実際に、クロス積層法を組み合わせたものでは、バネ定数は2層積層材で $5.9 \text{ Kg f/mm}$ (試験前)が $1.8 \text{ Kg f/mm}$ ( $10^6$ 回後)に、6層積層材では $4.9 \text{ Kg f/mm}$ (試験前)が $2.2 \text{ Kg f/mm}$ ( $10^6$ 回後)と、それぞれ著しく低下していた。前述の静的強度試験の結果からは2層程度のクロスの積層でも強度の低下はほとんど認められなかつたが、クロスを組み合わせることは、耐疲労特性の著しい低下をもたらすことがわかつた。

図17は、CFRP板バネの破壊の様相を示したものである。ただし、クロス層を組み合わせた材料は、 $10^6$ 回まで加振後、曲げにより強制的に破断させたものである。図より、一方向強化のみでVfが75%では、破断後、強化方向の繊維がバラバラ

の状態になつており、CFを十分に集束するためのマトリックス樹脂が足りない状態にあるものと考えられる。Vfを64%とすることにより、Vfが75%の時のようなバラバラな破断状態は避けることができる。しかし、繊維の強化方向と垂直な2方向、即ち板厚方向、横方向のクラックが認められた。また、CFクロスを組み合わせた場合は、板厚方向のクラックは改善され、ねじれに対する補強効果は期待されるが、クロスの剥離が生じやすい。したがつて、板バネとしての耐久性の向上には、こうした層間剥離の防止のため、①マトリックス樹脂の改質、②クロスの選定や表面処理といった新たな対策が必要である。

図18は、一方向強化材の繰り返し曲げ試験による破断面をSEM観察したものである。破断面には圧縮応力側と引張り応力側とが中立軸を境にして明瞭に区分がされている。また、板厚方向のクラックや中立軸に沿ったクラックが認められる。圧縮部分では、マトリックス樹脂と繊維が細かく粉砕された状態にあり、表面近傍が挫屈したように見受けられる。引張り部分では、繊維の引き抜き、母材と繊維の剥離、マトリックスの割れ等が複合的に認められる。今回の評価試験では、破壊を事前に予測するといった観点に立った取り組みまでは、実施することができなかつたが、板バネ材としての信頼性の向上を図るためにには、①超音波や軟X線による非破壊検査、②AEを利用した破壊機構の解析により、微視的な破壊挙動の解明がさらに必要である。

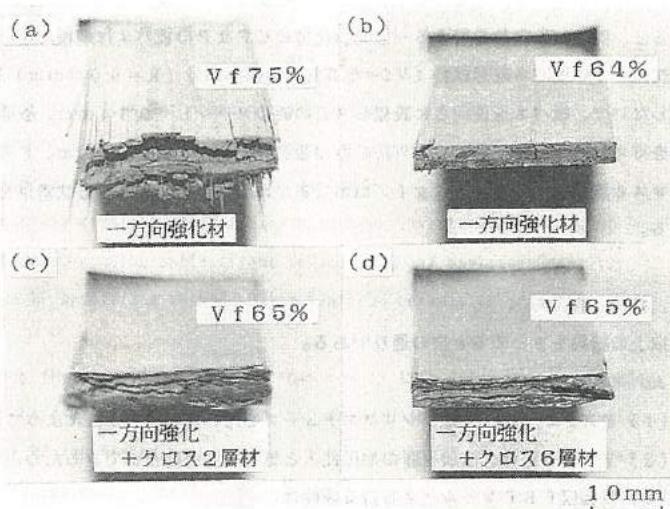


図17 CFRP板バネの破壊の様相  
Fig 17. The breaking aspect of CFRP plate spring.

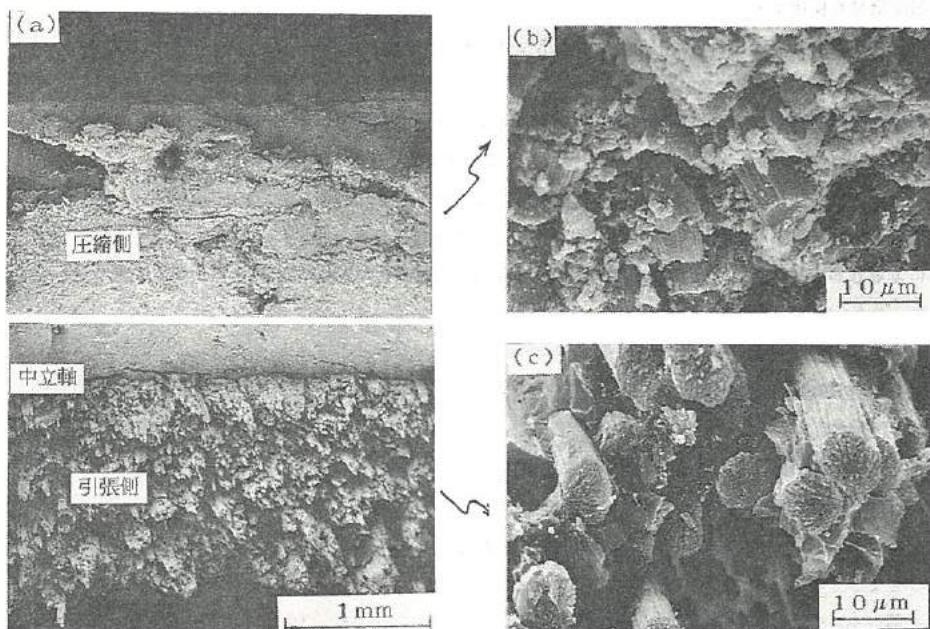


図18 一方向強化材の破面のSEM観察  
Fig 18. Scanning electron micrograph of fractured surface of uni-reinforced composite.

#### (4) 板バネの軽量化と弓型形状のバネ特性

ここでは、一例として鋼板バネと比較したときの軽量化について述べる。板バネの寸法を長さL、板幅B、板厚hとしたときの3点曲げにおけるバネ定数Kは、 $K = 4 E B h^3 / L^3$ で表される。今、バネ鋼の弾性率Es:  $2 \times 10^4 \text{ Kg f/mm}^2$ 、板厚hとする。CFRPの弾性率Ecを $9 \times 10^3 \text{ Kg f/mm}^2$  (FW法-Vfが6.5%のもの)、板厚をhcとする。ここで、CFRPの板バネでバネ鋼と同じバネ定数を求めようとする場合、長さL、幅Bと同じとした時は、 $Es \cdot h^3 = Ec \cdot hc^3$ 、 $hc/h = (Es/Ec)^{1/3} = 1.33$ となり、CFRPの板厚はバネ鋼の約1.3倍となる。この時の重量を体積と密度(表1参照)より求めると、同じバネ定数を有する一方強化型のCFRPの板バネは鋼板バネの重量の約4分の1弱である。

次に、ミニ板バネ成形試料(Vf=6.5%)の曲率部分( $R=900\text{mm}$ )を利用して弓状バネについて述べる。曲げ治具等を使用しないで、板バネを逆向きに設置し(この時のスパンL=234mm、板幅B=29mm、板厚T=3mmとする)、変位6mmを与えた時のバネ定数は、FW法のみの場合で約3.6Kg f/mm、FW-クロス2層積層で約3.3Kg f/mm、FW-クロス6層積層で約2.7Kg f/mmであった。このことより、形状効果を利用して十分に産業機器等への組み込みが可能である。

### 4. 結 言

以上の結果をまとめると次の通りである。

#### A. コイルバネ

- (1) F R Pコイルバネは、シリコンチューブを用いたV A R I法によつて成形できる。
- (2) V A R I法は、液状樹脂の加圧注入と気泡発生の防止ができるため、コイルバネ製作にとって有用な手段である。
- (3) 高強度F R Pコイルバネを得る条件は、

- a) 素線外周上を45°方向に強化する
- b) 繊維含有率を高める
- c) 高強度繊維を使用する

等が掲げられ、本研究ではGの値が約1,300Kg f/mm<sup>2</sup>のCFRPコイルバネを開発した。

#### B. 板バネ

- (1) 一方強化繊維積層法としてのFW法では、CFのVfが6.0%前後において、積層法に比べ曲げ強さは35Kg f/mm<sup>2</sup>、曲げ弾性率は約 $4 \times 10^3 \text{ Kg f/mm}^2$ 前後、向上させることができた。
- (2) FW法-クロス積層法を組み合わせた構造では、板厚方向のクラックは改善され、ねじれに対する補強効果は期待されるが、疲労特性においては、層間剥離を生じ易いので十分なる対応が必要である。
- (3) FW法によるCFRPの板バネは、バネ鋼に比べ約4分の3の軽量化が可能である。

#### <参考文献>

- 1) 斎藤 他 「新材料成形加工辞典」 (株)産業調査会
- 2) 和田 他 「機械要素設計」 実教出版 (株)
- 3) 宮入 他 「F R P試験マニュアル」 (財)日本規格協会
- 4) 複合材料次世代技術調査研究報告書 昭和63年度  
(社)日本機械工業連合会編

## II. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究

-圧電薄膜音響光学素子の開発-

Inquiry of ZnO Thin Films and Their Application

- The development of piezoelectric thin film for acousto-optic device -

### Abstract

ZnO thin films that are oriented with C-axis in their crystallographic axes have been investigated as one of the promising materials for the optical waveguide elements, acousto-optic effect devices and SAW devices. Generally, the growth techniques of ZnO thin film are adopted RF sputtering method, using sintered ceramic targets that contain any amount of Li<sub>2</sub>O or MnO.

In this study, we scrutinized in order to develop the acousto-optic effect devices by thin films ZnO metal oxide composite. Namely, we examined the influence of subsidiary oxide, substrate temperature and substrate orientation for characteristic improvement of ZnO thin film by RF sputtering method. The crystal structure of ZnO film was analyzed by X-ray diffraction pattern and X-ray rocking curve. The loss of optical waveguide was measured by prism-film coupler method.

ZnO thin films that are oriented along c-axis could be grown on sapphire plate of (0001) surface in comparatively low temperature in case of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was added as subsidiary oxide. Single crystal films of (1120)ZnO that have high electrical resistance could be grown on sapphire plate of (0112) surface on the occasion of Li<sub>2</sub>O was added as subsidiary oxide. In such case both subsidiary oxides were added to ZnO thin film. ZnO thin film of comparatively high electrical resistance that is oriented along c-axis could be grown on sapphire plate of (0001) surface.

### 1. 緒言

電子産業の今後の発展の方向として、光技術と融合したオプトエレクトロニクスの分野が考えられている。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により、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。

この光集積回路を構成する要素として、強誘電体あるいは圧電体セラミックスの薄膜が利用されようとしており、特に、圧電性や透光性の優れた配向膜あるいは単結晶膜が求められている。

ここでは、圧電体セラミックスの一つであるZnO系薄膜の作製とその応用について研究を行った。ZnOはウルツァイト構造を有する化合物半導体であり、そのバンドギャップは室温で3.1 eVと大きいため、可視光に対して透光性を示し、さらに価電子制御によってその導電性を大きく変化させることができる。また、対称中心を持たない構造であるため、その単結晶体やC軸が配向したものにおいては、圧電性あるいは電気光学効果を示す。音響光学素子への応用については、これまで主として、サファイア面（0112）を基板に用いて、Li<sub>2</sub>Oを添加したZnOの[1120]方向に成長したエピタキシャル膜が検討されている<sup>(1)</sup>。本研究では、まだ報告例のないNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を添加した系について、薄膜の作製条件および特性の検討を行った。

### 2. ZnO系薄膜の作製

## 2. 1 実験方法

### (1) スパッタ用ターゲットの作製

図1は焼結体ターゲットの作製工程を示す。原料粉末には、ZnO、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>等の酸化物及び炭酸塩を用いた。ターゲットの作製はこれらを所定量混合し、さらにバインダーとしてPVA（ポリビニルアルコール）を添加し、150kgf/cm<sup>2</sup>の圧力でプレス成形して、1000°C前後で2時間焼成した。このようにして、ZnO-ZnO-2.5mol%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZnO-1.5mol%Li<sub>2</sub>O、ZnO-5mol%Li<sub>2</sub>O-1.5mol%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の組成のものを得た。

### (2) 薄膜の作製

エピタキシャル成長用の基板には、片面鏡面研磨のサファイア（R面、C面）を用いた。基板の洗浄は、中性洗剤、アセトン超音波、トリクロレン超音波等を組み合わせた。ZnO薄膜のエピタキシャル成長には、RFマグネットロンスパッタ装置を用いた。図2は本装置の概要を示す。また、薄膜の電気抵抗測定を行う場合は、下部電極としてA1、上部電極としてAuをRFマグネットロンスパッタ装置にて着膜した。

### (3) 試料の諸特性の測定

得られたサンプルの膜厚は、接触式表面粗さ計で測定した。膜の構造や配向性の評価は、X線回折装置（理学電機RAD-II b）を用い、X線回折、ロッキングカーブ、ラウエ写真から行った。膜の組成評価には、走査型オージェ電顕（日本電子JAMP7100）を用いた。電気特性の評価は試料にAgペーストでリード線付けした後、デジタルマルチメータ及び絶縁抵抗計で測定した。膜の表面状態の観察には、走査電顕（明石製作所α-30 AW）を用いた。

## 2. 2 実験結果及び考察

### (1) 添加物及び基板加熱温度の影響

スパッタ条件は、初期到達真空度 $3 \times 10^{-4}$ Pa、Arガス圧 $5 \times 10^{-1}$ Pa、O<sub>2</sub>ガス圧 $5 \times 10^{-1}$ Pa、進行波電力150W、反射波電力0Wとして実験を行った。スパッタ時間が60~100分で、1.5μm程度の膜厚のものが得られた。図3はサファイアC面を基板に用いたZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系薄膜のX線回折図を示す。図より、200°Cから400°Cまではスパッタ時の基板温度を上げるに従ってC軸方向の結晶成長が著しくなることが判る。しかし、400°C以上では[0001]方向以外に[1011]方向の結晶成長が起り始めた。

図4はスパッタ時の基板温度300°CにおけるZnO薄膜とZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系薄膜のX線回折図を示す。図より、C軸の配向性はほぼ同程度であるが、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を添加したものはピーク位置がやや低角度側へシフトしている。これは格子定数が大きくなつたことを表している。

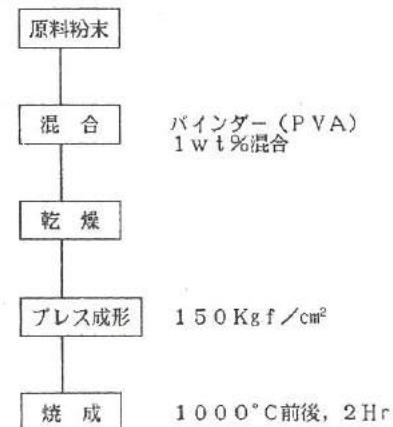


図1 ターゲットの作製工程

Fig.1. Flow sheet for preparation of targets.

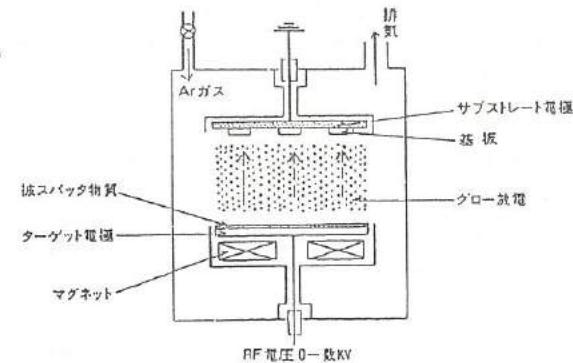


図2 RFスッパタ装置

Fig.2. Apparatus of r.f. magnetron sputtering.

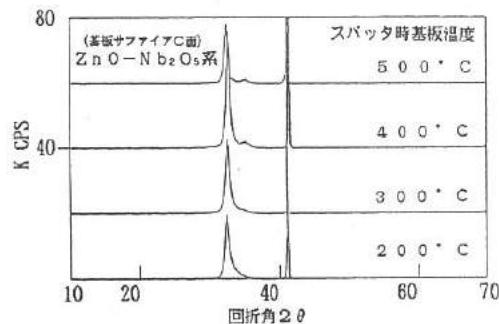


図3 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>薄膜のX線回折図(1)

Fig.3. X-ray diffraction patterns of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.(1)

図5は薄膜表面のSEM写真を示す。図より、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を添加したものは粒子が細かく、表面の凸凹が少ないことが判る。

### (2) 添加物の電気抵抗への影響

表1はZnO-Li<sub>2</sub>O-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系焼結体の体積抵抗率を示す。表より、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>のみを添加した系では無添加のものより抵抗率は高い。また、添加量は2.5mol%のものより1.5mol%の方が抵抗率は高かった。Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>のみを1.5mol%添加した場合は、非常に抵抗率が高くなつた。両方を添加した系では、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の添加量が増加するにつれて抵抗率が増加した。一般に、ZnOは、高温で熱解離して脱酸するため自由電子が生成してn型半導体となり、電気伝導を示す。また、2価イオンであるZn<sup>2+</sup>を1価イオンであるLi<sup>+</sup>で置換すると自由電子の生成を抑えることができ、2価より価数の多いイオン(A<sub>1</sub><sup>3+</sup>やC<sub>r</sub><sup>3+</sup>)で置換した場合は、自由電子の生成が多くなることが知られている。しかし、これらを過剰に添加した場合は、電気伝導が低下することが認められている。従つて、本実験のNb<sup>5+</sup>の添加量ではこのような原子価制御の範囲を越えているものと思われる。

表2は薄膜試料の体積抵抗率を示す。表より、薄膜は焼結体ターゲットに比べて、抵抗率が低下していた。これは、スパッタ中に脱酸が起ることによるものと考えられる。

図6は試料の走査型オージェ電顕による組成分析の結果を示す(試料を70°に傾斜させることにより、これらの絶縁体の組成分析が可能であった)。図より、ターゲットとほぼ同程度のNbおよびLiが含まれていることが判る。

### (3) 添加物と基板方位の影響

図7はLi<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を1.5mol%添加したターゲットを用いて、サファイヤ基板のC面(0001)及びR面(0112)に成長させた薄膜試料のX線回折図を示す。図より、R面を用いた場合には、良好な[1120]方向の単結晶膜が得られるが、C面を用いた場合は(0001)以外のビークも観測され、配向性の悪い多結晶膜しか得られないことが判る。図8はR面上薄膜のラウエ写真を示す。図より、サファイヤ基板による回折点の他に、ZnO単結晶薄膜による回折点が見られた。

図9はNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を2.5mol%添加したターゲットを用いて、サファイヤ基板のC面、及びR面に成長させた薄膜試料のX線回折図を示し、図10はC面上薄膜のロッキングカーブを示す。図より、この系の場合はR面を用いても[0001]方向の配向性があり、C面を用いた場合は配向性の優れた[0001]方向の薄膜が得られることが判る。

図11はLi<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を5mol%、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を1.5mol%

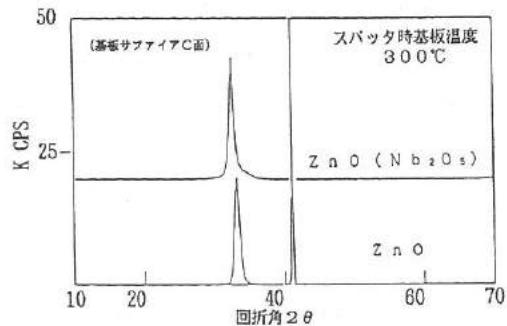


図4 ZnO系薄膜のX線回折図  
Fig.4. X-ray diffraction patterns of ZnO thin films.

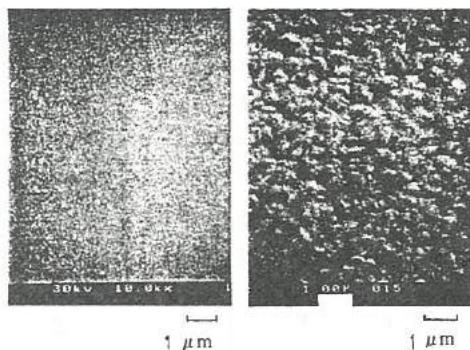


図5 試料のSEM写真  
Fig.5. Scanning electron micrograph of sample.

表1 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O焼結体の体積抵抗率

Table 1. Volume resistivities of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O sintered ceramics.

	配合比 (mol%)			抵抗率ρ(Ωcm)
	ZnO	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1	100.0	---	---	5.0×10 <sup>5</sup>
2	97.5	---	2.5	3.5×10 <sup>6</sup>
3	98.5	---	1.5	9.9×10 <sup>7</sup>
4	98.5	1.5	---	>10 <sup>11</sup>
5	97.0	1.5	1.5	1.3×10 <sup>8</sup>
6	96.0	2.5	1.5	5.1×10 <sup>9</sup>
7	93.5	5.0	1.5	3.2×10 <sup>9</sup>

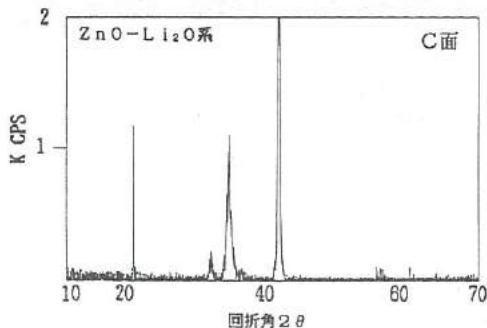
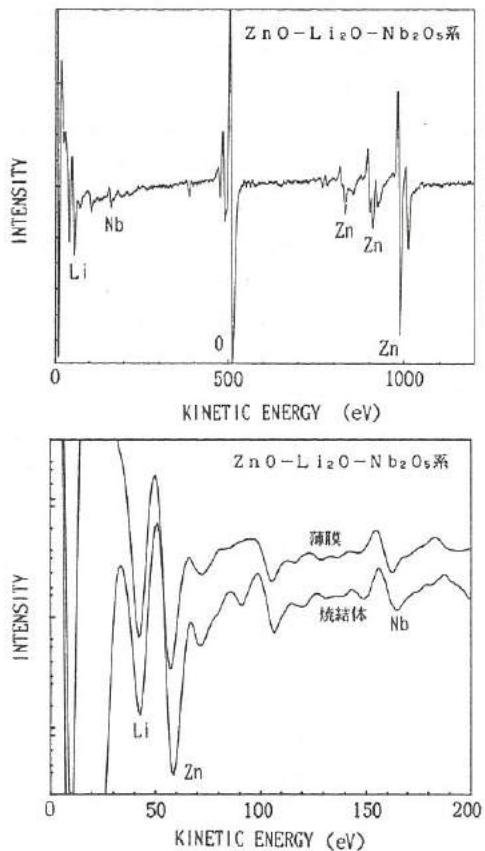
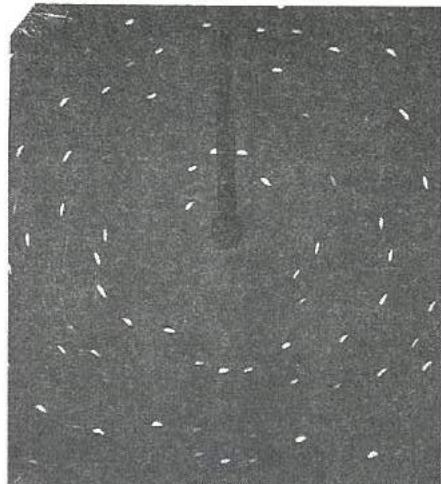
表2 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O薄膜の体積抵抗率Table 2. Volume resistivities  
of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O thin films.

使用ターゲット	$\rho$ (Ω cm)
ZnO-Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (2.5mol%)	$1 \times 10^4$
ZnO-Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (1.5mol%)	$1 \times 10^{18}$
ZnO-Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (5mol%)-Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (1.5mol%)	$2 \times 10^8$

%添加したターゲットを用いて、サファイヤC面に成長させた薄膜試料のX線回折図を示す。また、図12にはこの薄膜のロッキングカーブを示す。図より、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を添加したC面に比べて、配向性は少々劣るもの、かなりの[0001]方向の配向性を示している。

これらのことから、膜の方位は基板の方位に大きく影響されるが、添加物で格子定数を変化させることにより、膜方位をある程度制御できるものと考える。

以上の結果から、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の添加は[0001]方向への配向性には非常に有効であり、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の添加は抵抗値の向上に有効であることが判った。更に、両方を添加するとそれぞれの特徴をある程度示すものが得られることも判った。

図7 ZnO-Li<sub>2</sub>O薄膜のX線回折図Fig.7. X-ray diffraction patterns of ZnO-Li<sub>2</sub>O thin films.図6 ZnO-Li<sub>2</sub>O-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>薄膜のオージェスペクトルFig.6. Structure analyzed by Auger electron spectroscopy for ZnO-Li<sub>2</sub>O-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.図8 ZnO-Li<sub>2</sub>O薄膜のラウエ写真Fig.8. Laue photograph of ZnO-Li<sub>2</sub>O thin films.

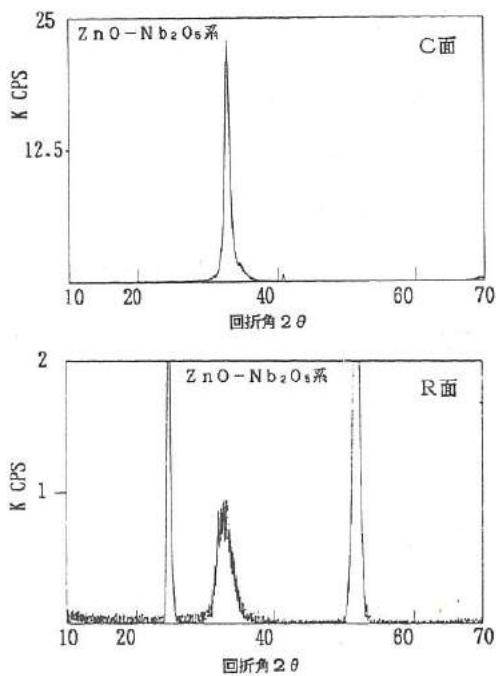


図9 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>薄膜のX線回折図(2)

Fig.9. X-ray diffraction patterns of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.(2)

### 3. 音響光学素子への応用

#### 3. 1 透光性の評価

薄膜試料の光導波路としての透光性の評価はプリズムカプラ法を採用し、ZnO薄膜中にHe-Neレーザ光を導光して行った。図13はその概要を示す。ここでは、プリズムの位置をずらし、導波する距離を変えて出射光強度をパワーメータで測定した。図14は試料の透光性の測定結果を示す。図より、サファイヤR面上のZnO薄膜、サファイヤC面上のZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>薄膜ともほぼ2dB/cm程度の減衰率であり、音響光学素子としての利用は可能であると考えている。

#### 3. 2 音響光学素子(ブリッジ回折型光スイッチ)の設計

これまでに、サファイヤR面上[1120]方向に成長させたZnO薄膜を利用した音響光学素子については、関係方面で研究が行われている。一方、サファイヤC面上[0001]方向に成長した単結晶膜では、表面波の結合エネルギーが小さいことが計算されており<sup>(2)</sup>、また同じくサファイヤC面上[0001]方向に成長した配向膜の場合は、R面上の単結晶膜と同様な表面波の特性が得られると考えられている<sup>(3)</sup>。しかし、これらについては、まだ実験が行われたという報告はない。

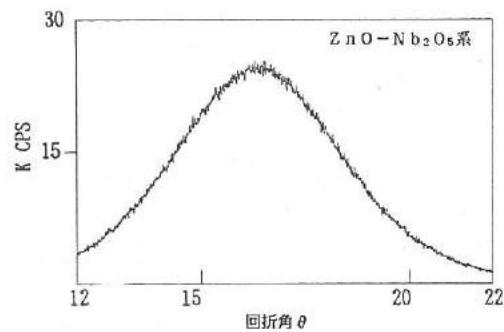


図10 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>薄膜のロッキングカーブ

Fig.10. Rocking curve of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films.

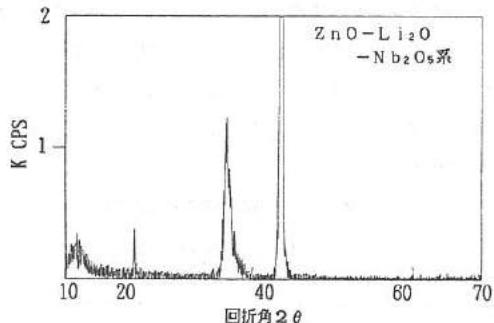


図11 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O薄膜のX線回折図

Fig.11. X-ray diffraction patterns of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O thin films.

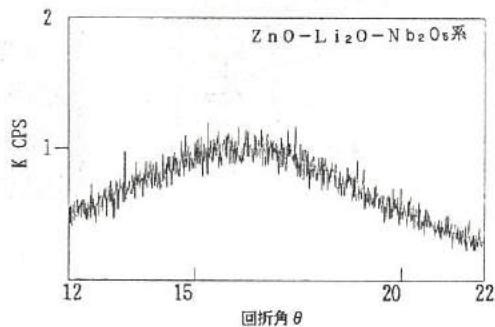
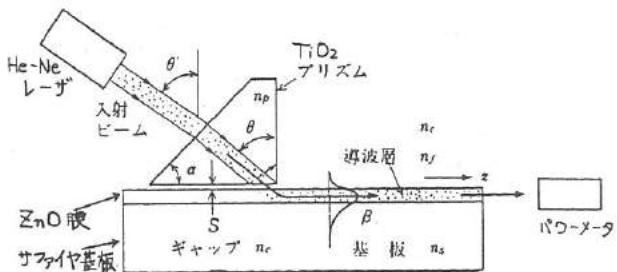


図12 ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O薄膜のロッキングカーブ

Fig.12. Rocking curve of ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O thin films.



$$\begin{aligned} n_c \sin(\theta' - \alpha) &= n_p \sin(\theta - \alpha) \\ n_p &= 2.872 \\ n_c &= 1 \\ n_s &= 1.76 (\text{サファイア}) \\ n_r &= 1.999 \\ \sin^{-1}(n_s/n_p) < \theta &< \sin^{-1}(n_r/n_p) \end{aligned}$$

を使って計算すると、  
 $28.9^\circ < \theta < 42.3^\circ$   
 であり、42°くらいで導波光が励振された

図13 プリズムカプラ法による透光性の測定

Fig.13. Prism-film coupler method.

そこで、ここでは今回得られた比較的透光性のよいサファイヤC面上の[0 0 0 1]配向膜に表面波を励振させ、この表面波による密度の違いを回折格子として利用し、ZnO膜に導波されたレーザ光の進行方向を変える素子（音響光学素子）について検討した。図15はこの素子の概略図を示す。また、表3は音響光学素子の特性である表面波の励振周波数、及び回折角度の計算結果を示す。

表3 音響光学素子の特性

Table 3. Characteristics of acousto optic device.

IDT周期	$\Delta$	f	$\theta$
20 μm	40 μm	125MHz	0.9°
10 μm	20 μm	250MHz	1.8°

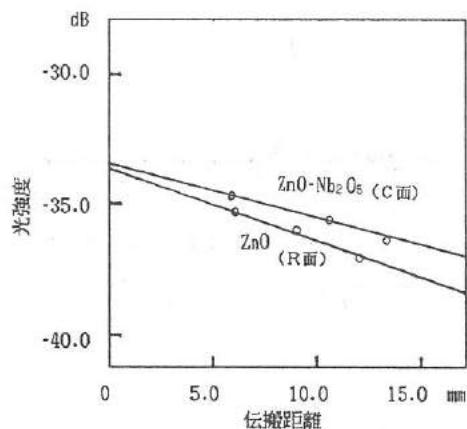


図14 導波路における伝搬距離と光強度

Fig.14. Optical intensity vs. propagation distance in thin film waveguide.

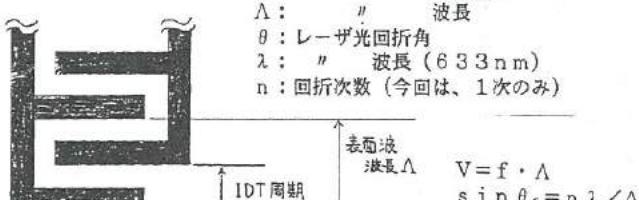
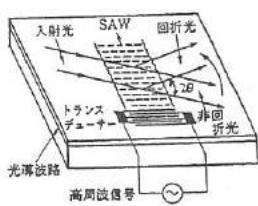


図15 ブラッグ回折型光スイッチ

Fig.15. Bragg diffraction optical switch.

### 3. 3 音響光学素子（ブラッグ回折型光スイッチ）の試作

図16は試作素子の断面を示す。すなわち、図においてサファイヤR面基板にZnO-Li<sub>2</sub>O膜、サファイヤC面基板にZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜もしくはZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O膜を成長させ、その上にA1による蒸着膜でIDT (Inter Digital Transducer)

パターンを形成した。また、A1蒸着膜のバターニングには、図17に示すようなフォトリソグラフィ工程を利用した。

先にエッティング法で実験を進めたが、A1を酸またはアルカリで化学エッティングした場合は、ZnOも侵されてしまった。従って、エッティング法でバターニングする場合は、真空でのプラズマを利用してドライエッティングが必要である。現在はリフトオフ法によるバターニング実験も進めている。

#### 4. 結 言

次に本研究の成果をまとめて示す。

- (1) ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系薄膜は、比較的低温でサファイヤC面上にC軸結晶成長が可能であった。
- (2) ZnO-Li<sub>2</sub>O系薄膜は、比較的低温でサファイヤR面上に[1120]方向の単結晶膜が得られ、その抵抗値も高かった。しかし、サファイヤC面上でのC軸結晶成長は、あまり良好な配向性を示さなかった。
- (3) ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Li<sub>2</sub>O系薄膜は、C軸配向性およびその電気抵抗において、それぞれを単独に添加したものと比較して、その中間的な性質を示した。

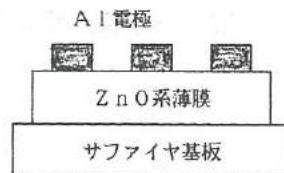


図16 素子断面

Fig.16. Cross section of device.

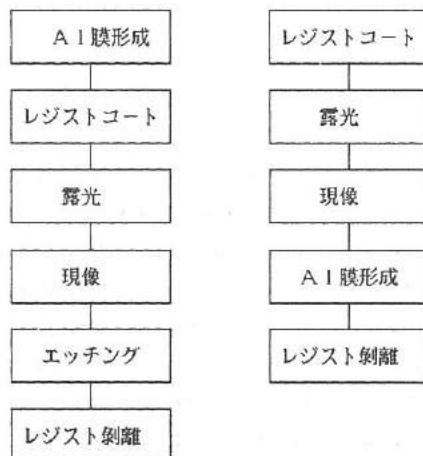


図17 フォトリソグラフィ工程

Fig.17. Photolithography process.

#### 参考文献

- 1) 東他4名：「低損失光導波路ZnO薄膜を用いた表面波による導波光のブレーグ回折」  
第48回応用物理学会学術講演会予稿集 20a-ZG-1
- 2) G. S. Kino and R. S. Wager: J. Appl. Phys., 44 (1973) 1480
- 3) 和佐、早川：応用物理 50巻 6号(1981) 580

### III. 焦電型赤外線センサーに関する研究

—RFマグネットロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製—

Development of Pyroelectric Infrared Sensor

—Trial production of PbTiO<sub>3</sub> thin films by RF magnetron sputtering method—

#### Abstract

The crystal of lead titanate (PbTiO<sub>3</sub>) is a kind of ferroelectrics which has a small relative dielectric constant and a large pyroelectric modulus. Therefore, PbTiO<sub>3</sub> is a suitable material for the pyroelectric infrared sensor. However, synthesis of pure single crystal is very difficult.

So in this study, somehow or other we attempted to constitute PbTiO<sub>3</sub> thin films on platinum by RF magnetron sputtering method in order to develop the pyroelectric infrared sensor of high sensitivity. The substrate temperature was changed from 600 °C to 750 °C and an electric power on account of RF incidence was covered with wide range from 70W to 160W in this experiment. Gas pressure for sputtering was unified at 2 Pa (Ar:O<sub>2</sub>=1:1) and the distance between target-substrate was fixed at 69 mm.

The crystal structure of films was analyzed by X-ray diffraction pattern and electric properties were measured by impedance measuring-set. We were recognized that crystal structure and electrical properties of film can be improved to mix lead oxide (PbO) in PbTiO<sub>3</sub> target, from the relations of X-ray diffraction pattern and electrical property by the variations of sputtering condition. On the other hand, we were convinced of success to elevate the deposition rate from 0.07 μm/h to 0.6 μm/h by means of using sintered targets instead of powdered ones.

#### 1. 緒言

近年、焦電型赤外線センサーは低価格化が進み、自動ドアをはじめとして、オートメーションラインでの人体検知、夜間の防犯装置、車庫に於ける車の検知、ポスター、果ては玩具等に至るまで、様々な分野で応用される様になって来た。しかし、従来のものは応答速度や感度が低く、今一つ安価でないなどの点から、応用分野の拡大は未だ十分とはいえない。素子の薄膜化は、このような欠点を補完し、高品質の素子を作製する方法としては大変有効な手段であり、焦電型薄膜赤外線センサーは用途拡大の可能性を十分に秘めている。

そこで、本研究では鉛系の強誘電体の中で優れた焦電性を持つチタン酸鉛 (PbTiO<sub>3</sub> 以下 PTと略記) を用いた高感度焦電型赤外線センサーの開発を目的として、RFマグネットロンスパッタ法を用いてPTの薄膜化を試みた。すなわち、薄膜の作製条件とX線回折パターンおよび電気的特性との関係、ターゲットへの酸化鉛の添加による膜質の改善ならびにターゲットの焼結体化による着膜速度の向上等の検討を行ったので、得られた成果の概要を報告する。

#### 2. 実験方法

スパッタリングは日電アネルバ製のRFマグネットロンスパッタ装置SPF-332Hを用い(図1は装置の概略を示す)、薄膜形成用基板にはステンレス基板を用い、基板と電極との密着性を良くするため、まずニクロムを着膜後、下地電極として白金膜を

形成し、その上に P T 膜を着膜した。

スパッタに用いるターゲットには、粉末および焼結体ターゲットの 2 種類を用意した。粉末ターゲットは、ステンレス皿の上に粉末を置き、 $100 \text{ Kg/cm}^2$  の圧力でプレスして作製した。焼結体ターゲットについては、P T のみでは焼結が困難なため、各種添加物 ( $\text{MnO}_2$  等) を加えて、焼結状態および誘電特性を検討した後、図 2 に示す様な方法で作製した。すなわち、P T 粉末に添加物を混合し、バインダーとしてポリビニルアルコール (P V A) を添加し、 $\phi 75$  の型を用いて約  $800 \text{ Kg/cm}^2$  の圧力でプレス成形後、大気中  $1200^\circ\text{C}$ 、2 時間保持で焼成した。

膜厚測定には表面粗さ計、結晶構造解析には X 線回折装置、電気的特性測定にはインピーダンスアナライザーならびに表面状態観察には走査型電子顕微鏡をそれぞれ用いた。

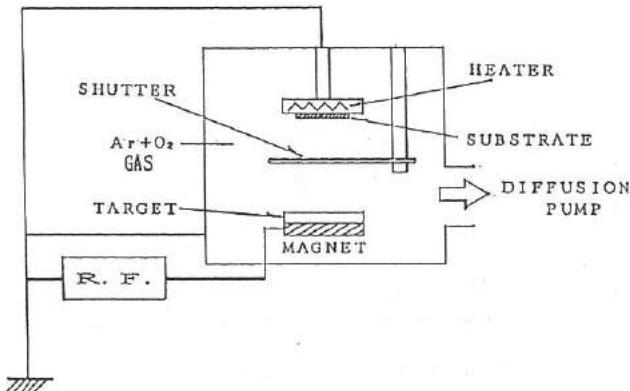


図 1 R F マグネトロンスパッタ装置

Fig. 1. Apparatus for the r.f. magnetron sputtering.

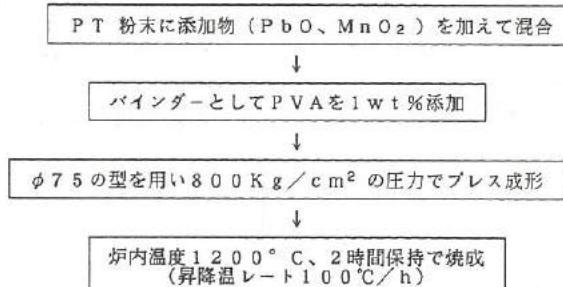


図 2 焼結体ターゲット作製工程

Fig. 2. Flow sheet for preparation of sintered targets.

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1 スパッタ時基板温度と結晶性

図3はスパッタ時基板温度を600°Cから750°Cまで変化させたときの、PT膜のX線回折パターンを示す。通常スパッタ法で薄膜を作製する場合、基板温度が高くなるに従って基板表面でのスパッタ粒子の移動が容易になり、薄膜の結晶性に影響を与える。図より、基板温度が600°Cでは、検出されたPT膜のピークが微弱であることから、膜の構造はアモルファスの状態に近いものと考えられる。700°Cでは、PTの(111)と(101)の明瞭なピークが観察され、薄膜が結晶化していることが確認できる。基板温度が750°Cになると、(101)と(111)ピークの強度は700°Cのときに比べ低くなっている、PT以外のピークが検出された。これは基板温度が高くなり過ぎたため、PTの分解が起こり、別の化合物に変化したものと考えられる。

表1 PTのスパッタリング条件

Table 1. Sputtering condition of PT target.

Input Power	7.0	(W)
Plate Voltage	1.15	(kV)
Plate Current	8.0~9.0	(mA)
Ar:O <sub>2</sub> Pressure	1:1 2.0	(Pa)
Substrate Temp.	600~750	(°C)

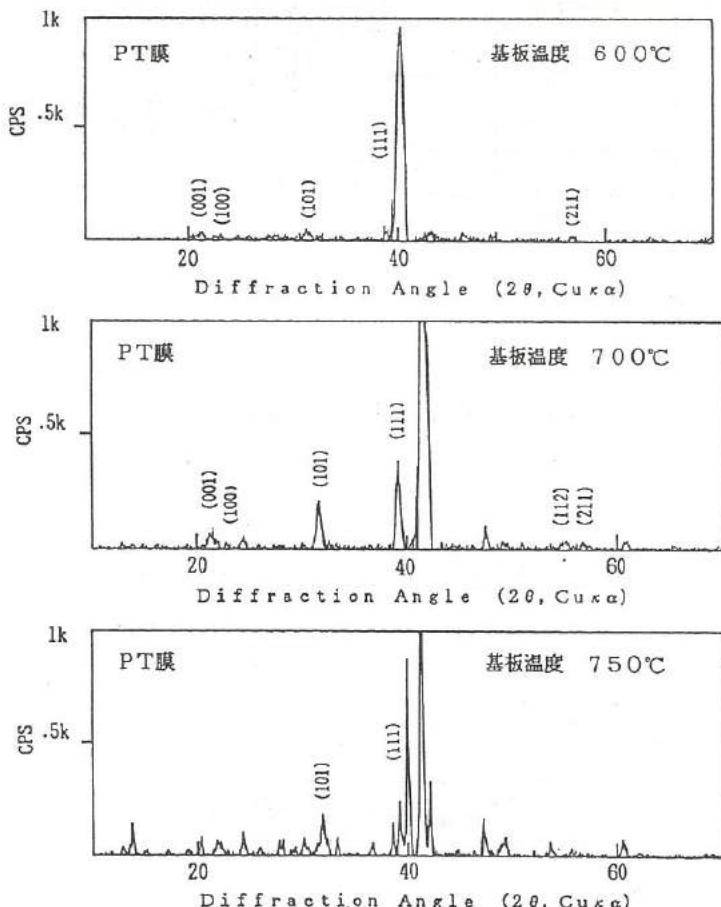


図3 基板温度を変えたときのPT膜のX線回折パターン

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of PT thin film.

次に、各基板温度における膜の微視的な組織をSEMにより調べた。図4は、膜表面のSEM写真を示す。図より基板温度の上昇とともに、結晶粒の成長が観察される。膜組織は700°Cで成膜した試料が一番良好な状態を示しており、それ以下の温度では粒間に隙間がみられ、それ以上の温度では膜の表面状態が悪くなっている。表2は各基板温度におけるPT膜の電気的特性の一例を示す。表より600°Cで成膜した試料は、電極間に導通があるため測定することが出来なかった。これは前述のように、結晶状態や膜組織が良好でないことが原因と考えられる。他の2試料については測定可能であったが、PT焼結体の数値と比較すると、かなり低い値であった。これは、膜の結晶状態や組織の不完全性が原因しているものと考えられる。

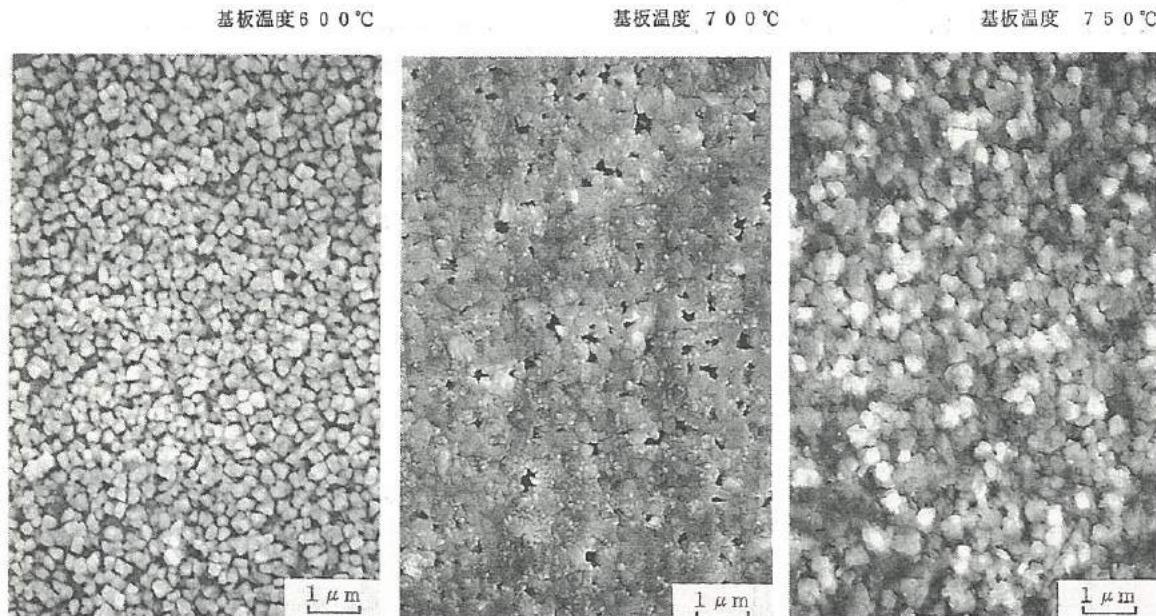


図4 PT膜表面のSEM写真

Fig.4 SEM photographs of PT thin film

表2 PT薄膜の電気的特性

Table 2. Electrical properties of PT thin films.

ターゲットの組成	基板温度(°C)	比誘電率(ε)	誘電損失(D)
PT	600	—	—
	700	1.7	0.2
	750	3.5	0.5
PT焼結体	—	116	0.07

### 3.2 ターゲットへのPbO添加の影響

一般に、Pb系の酸化物薄膜や焼結体を作製する場合、高温時のPbO蒸発が膜特性に影響を及ぼす。前節での基板温度の影響を調べた実験では、化学量論組成のPT粉末ターゲットを使用した。ここでは、PbOを20mol%過剰に添加したターゲットを試作し、膜特性に及ぼすPbO添加の影響を調べた。表3はPT系ターゲットのスパッタリング条件を示す。図5は試作ターゲットを用いて作製したPT系薄膜のX線回折の結果を示す。

図よりPbOを過剰添加したターゲットで作製した薄膜試

料は、化学量論組成のターゲットで作製した試料に比べて、X線回折パターンのピーク強度が全体的に高くなっている。無添加の試料では検出されなかったピークが検出されている。また、無添加の試料の(001)ピークは(111)ピークの強度に比べてかなり低かったが、PbO添加の試料では、(001)のピーク強度が非常に高くなっている。これは、ターゲットへのPbOの添加により、膜がC軸方向に配向する傾向にあるものと考えられる。

図6は、PbO添加ターゲットで成膜した試料表面のSEM写真を示す。図6と図4の化学量論組成のターゲットで作製した試料とを比較すると、図6では粒径が大きく、緻密な組織となっている。表4はPbO添加ターゲットで作製した膜の電気的特性を示す。表より通常の焼結体と比較すると低い数値であったが、化学量論組成のターゲットで成膜した試料の数値と比較すると、かなり改善された値であった。電気特性は粒径や空孔率に影響されるので、SEM写真でみられるように、膜組織がPbOの過剰添加により改善されたため、特性が向上したものと考えられる。

表3 PTのスパッタリング条件

Table 3. Sputtering condition of PT target.

Input Power	70	(W)
Plate Voltage	1.15	(kV)
Plate Current	80~90	(mA)
Ar:O <sub>2</sub> Pressure	1:1 2.0	(Pa)
Substrate Temp.	700	(°C)

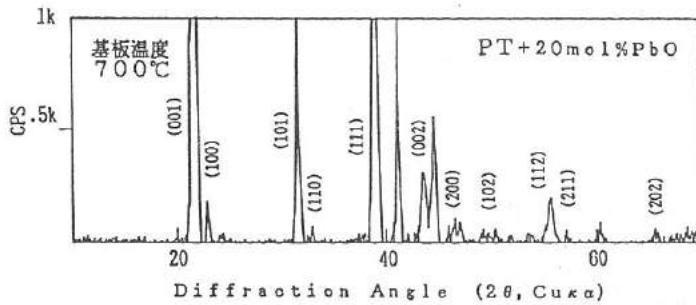
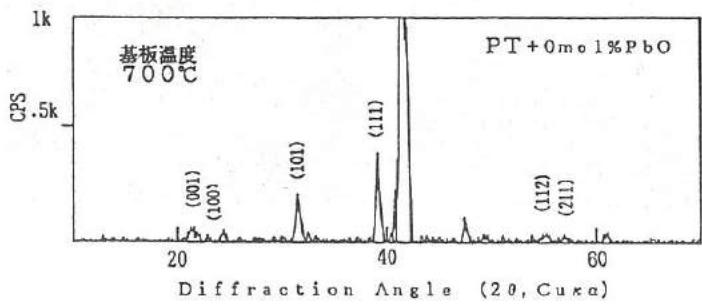


図5 ターゲット組成を変えたときのX線回折パターン

Fig. 5 X-ray diffraction patterns of PT thin films.

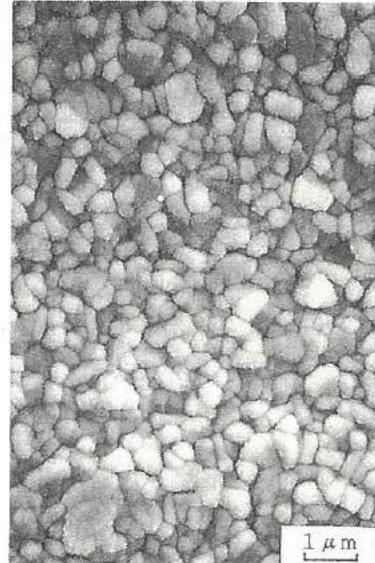


図6 PT膜表面のSEM写真

Fig. 6. SEM photographs of PT thin film

表4 PT薄膜の電気的特性

Table 4. Electrical properties of PT thin films

ターゲットの組成	基板温度 (°C)	比誘電率 ( $\epsilon$ )	誘電損失 (D)
PT + PbO	700	80	0.24

### 3.3 ターゲットの焼結体化

粉末ターゲットを使用して、良好な膜質のPT膜を成膜する場合、膜厚を $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上にするためには10時間以上のスパッタ時間が必要する。成膜時間を短縮するには、電力密度を上げ、スパッタレートを高くすれば良いが、粉末ターゲットでは電力密度を上げると割れやすく、しかも粉体の飛散が生じ、良好な成膜状態が得られない。このため、ここではターゲットを焼結体化し、スパッタレートの向上を図ったので、その結果を以下に示す。表5はスパッタ条件を示す。なお、スパッタ時の基板加熱の温度は、ヒーターの寿命の関係で今回は $650^{\circ}\text{C}$ とした。表において、aは粉末ターゲット時と同一の条件、bはスパッタレート向上のため、Plate Voltageを上げた時の条件である。焼結体ターゲットは2種類試作し、一つにはPbOを20mol%添加し、もう一方にはPTに10mol%PbOを添加した。図7は作製した薄膜のX線回折パターンを示す。図より同組成のターゲットを用いて、Plate Voltageを上げた場合、(001)ピークが低くなり、(111)ピークが高くなっている。また、電圧を上げる前 [a]には検出されなかったPbOのピークが検出された。Plate Voltageを上げたPT膜の回折ピークが変化した理由としては、電圧を上げると結晶のC軸方向への配向性が弱くなり、(111)面が基板と平行になるためと考えられる。つぎに、Plate Voltageを $1.7\text{kV}$ に固定し、ターゲットへのPbO添加量を変化させた場合は[b]および[c]、いずれのPT膜にもPbO添加量に関係なく同程度のPbOピークが検出されている。従って、このことはPbO添加量以外の要因によってPbOが検出されていると考えられる。

表5 PTのスパッタリング条件

Table 5. Sputtering condition of PT target.

Condition a		
Input Power	70	(W)
Plate Voltage	1.15	(kV)
Plate Current	80~90	(mA)
Ar:O <sub>2</sub> Pressure	1:1 2.0	(Pa)
Substrate Temp.	650	(°C)
Sputtering Rate	0.07	$\sim 0.1\text{ }(\mu\text{m}/\text{h})$

Condition b		
Input Power	160	(W)
Plate Voltage	1.7	(kV)
Plate Current	140~150	(mA)
Ar:O <sub>2</sub> Pressure	1:1 2.0	(Pa)
Substrate Temp.	650	(°C)
Sputtering Rate	0.4	$\sim 0.6\text{ }(\mu\text{m}/\text{h})$

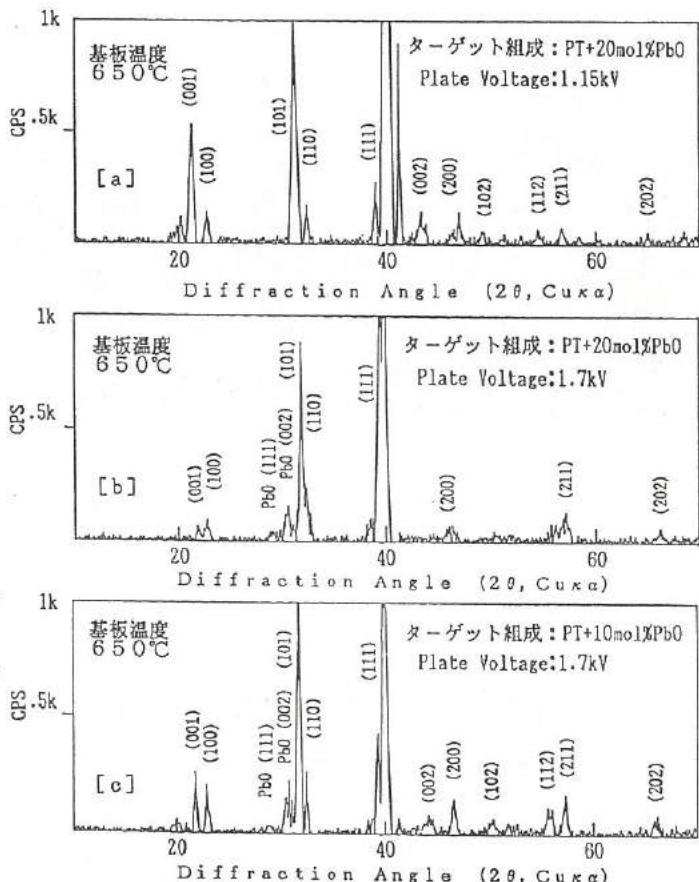


図7 ターゲット組成を変えたときのX線回折パターン

Fig. 7 X-ray diffraction patterns of PT thin film.

図8は、作製した薄膜のSEM写真を示す。図より、まずスパッタレートを上げた影響を調べると、プレート電圧が1, 1.5 kVで作製した試料では結晶粒は角張った形状をしているが、1, 7 kVで作製した試料では角が丸くなっていることが観察される。このことより、PbOの添加量の影響としては、添加量を20mol%から10mol%に減少させることにより、結晶粒間の間隔が広くなっていることが挙げられる。

次に、表6はPT薄膜の電気的特性の一例を示す。表より、電気的特性はスパッタレートを上げることにより低くなる傾向があることが判る。また、ターゲットへのPbOの添加量は、20mol%以下にした場合、膜組織の緻密化の程度や結晶性が低くなっていくことから、電気的特性も低下していく傾向にある。

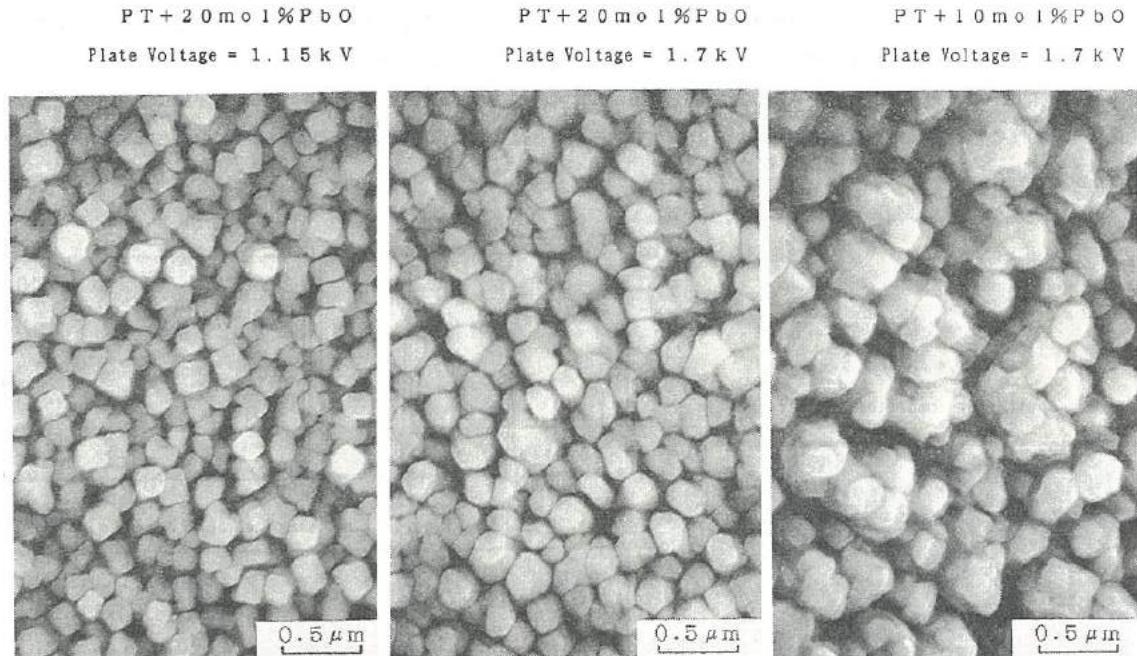


図8 PT膜表面のSEM写真

Fig. 8 SEM photographs of PT thin films.

表6 PT薄膜の電気的特性

Table 6. Electrical properties of PT thin films.

	組成	Plate Voltage (kV)	比誘電率(ε)	誘電損失(D)
焼結体	PT+20mol%PbO	—	106	0.17
	PT+10mol%PbO	—	164	0.07
薄膜	PT+20mol%PbO	1.7	5.9	0.12
	PT+10mol%PbO	1.7	4.3	0.30
	PT+10mol%PbO	1.15	5.3	0.17

### 3.4 焦電流の測定

焦電型赤外線センサーとして高い感度を得るために、焦電素子の比熱と比誘電率が小さいこと、ならびに焦電率が大きいことが要求される（さらに信号対雑音比を低くするために、誘電損失が小さいことが必要である）。

前節で述べたように、PbOの添加量が20mol%で、かつスパッタレートを低く抑えると、PT薄膜の電気的特性は向上する。そこで、我々はこの条件下で作製したPT薄膜および同組成の焼結体の焦電流の測定を試みた。焦電率は試料を一定の割合で昇温したときに流れる焦電流を測定することにより評価することができる。表7は焦電流の測定結果の一例を示す。表より焦電流の値が小さく、しかも温度変化が大きいのは、電極との接触等測定方法に問題があり、また膜質が十分でなく、空間電荷の影響も大きいことによるものと考えられる。

表7. PT薄膜の焦電流

Table 7. Pyroelectric current of PT thin film

	分極処理方法	焦電流の温度変化		
		40°C 12 pA	80°C 42 pA	120°C 124 pA
PT 薄膜	80 kV/cm 150°C, 2 hr			
焼結体	14 kV/cm 150°C, 12 hr	40°C 98 pA	120°C 230 pA	200°C 3.4 nA

### 4. 結言

本研究では、高感度薄膜赤外線センサーの開発を目的として、PT薄膜の作製条件等について検討を加えた。その結果をまとめると以下のようになる。

(1) PT薄膜を作製する場合のスパッタ時の基板温度は650°Cから700°Cの間が適当である。

(2) ターゲットに過剰のPbOを添加すると、分極軸(C軸)方向へ配向する傾向がみられ、電気的特性も向上する。

(3) ターゲットを焼結体化することにより着膜速度を上げることができ、生産性の向上が図れる。

### 参考文献

- 1) 「セラミック誘電体工学」 岡崎清 著  
学叢社 1978
- 2) 「新・圧電材料の製造と応用」 塩崎忠 監修  
シーエムシー 1987

## IV. Co-Nb-Zr アモルファス軟磁性薄膜 に関する研究

Study of Co-Nb-Zr Amorphous Soft-Magnetic Thin Films

### Abstract

Co-Metal(ex.Zr,Nb,Ti,Ta) amorphous films have the attention of many researchers attracted because of their high saturation magnetization, high permeability, low coercive force, and nearly zero magnetostriction. So they are expected to use the magnetic head materials as the mechanisms of high performance magnetization and the inductor materials as the high-frequency electronic devices.

In this study, we manufactured for trial of Co-Nb-Zr amorphous thin films deposited by RF magnetron sputtering method that was improved the soft-magnetic properties, and examined to apply their magnetic thin films for the film-inductor.

The results summarize as follows:

- (1) The soft-magnetic properties can be improved to use the alloy-target of high purity.
- (2) The soft-magnetic properties are controlled to Ar gas pressure in sputtering. And the most suitable Ar gas pressure is 0.5 Pa.
- (3) We may be able to make the excellent characteristic film-inductor, as matters stand the gap between film and coil is regulated nearly zero.

### 1. 緒 言

近年、電子部品においては小型化、高周波化に対応できるものの開発要望が強く、磁気素子についても例外ではない。現在、これらの要望を満たすために軟磁性アモルファス合金薄帯の利用が検討されているが、十分に対応できる材料の開発は未だ見られず、アモルファス薄帯以外の新しい製造方法ならびに複合材料などの開発による高性能磁気素子材料の出現が望まれている。このような背景の中で注目されているものには、スパッタ法によるアモルファス軟磁性薄膜、特に Co-Me系アモルファススパッタ膜があげられる。Co-Me系スパッタ膜には、①アモルファス相が得られる組成範囲が広く、多種の新しいアモルファス組成が得られる、②この系では全体にわたり飽和磁化が大きく、結晶化温度が高いおよび磁歪が小さいなどの基本的特性に優れている、③Coを主成分とするため不純物の混入が少なく、軟磁性に優れた機械的強度の高い合金が得られる、などの利点があり、磁気ヘッド材料（一部実用化している）、高周波磁心材料などへの応用が強く期待されている<sup>(1)</sup>。

前年度の研究では、RFマグネットロンスパッタ法によって作製した Co-Nb-Zrスパッタ膜においては、その軟磁気特性（飽和磁化、透磁率、アモルファス化度など）から最良膜合金組成として Co<sub>87</sub>-Nb<sub>8</sub>-Zr<sub>5</sub>at%を決定したが<sup>(2)</sup>、作製条件の最適化が不十分であったため、満足できる特性を得ることができなかった。そこで、本研究では、作製条件の適正化により軟磁気特性向上させることに成功し、さらに特性の向上した薄膜での薄膜インダクタへの応用の可能性について検討を加えた。

### 2. 実験方法

#### 2. 1 薄膜作製方法

薄膜作製装置には高周波マグネットロンスパッタ装置（日電アネルバ製SPF-332H、概略図を図1に示す）を使用し、スライドガラス基板上に膜を形成した。なお、スパッタ条件は、表1に示すとおりである。

## 2. 2 実験項目

### (1) Co-Nb-Zrスパッタ膜の軟磁気特性向上

- ①高純度合金ターゲットの効果（複合ターゲットより変更）。
- ②スパッタ膜の磁化方向について。
- ③スパッタ中のArガス圧の最適化。

### (2) 上記結果をもとにしたCo-Nb-Zrスパッタ膜の応用

- ①高周波薄膜インダクタの試作
- ②薄膜トランジストの試作

## 2. 3 諸特性評価方法

作製した薄膜の諸特性は、以下に示す方法で検討を加えた。

- (a) 膜厚：表面粗さ計により、基板面と着膜面との段差を測定。
- (b) 薄膜組成：EPMAにより分析。
- (c) 飽和磁化：試料振動型磁化測定器(VSM)を用いて測定。
- (d) 磁化曲線：B-Hトレーサーを用い直流磁化で評価。
- (e) 透磁率：図2に示す測定治具を用い、インピーダンスアナライザにて磁性膜装入時のインダクタンス変化を測定し、図中の式(1)で算出<sup>(3)</sup>。

なお、今回の諸特性の検討は全てas-sputtered試料で行った。

表1 スパッタ条件  
Table 1. Sputtering condition

進行波電力	300 W
反射波電力	60 ~ 70 W
Arガス圧	0.1 ~ 1 Pa (ターゲット効果確認時: 1 Pa) (条件最適化後: 0.5 Pa)
基板/ターゲット間距離	70 mm
基板温度	常温

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 Co-Nb-Zrスパッタ膜の軟磁気特性向上

#### 3. 1. 1 高純度合金ターゲットの効果

表2はターゲットの違いによる諸特性の比較を示す。表より、Co円板上にNb, Zrチップを配備した複合ターゲットに比べ、合金化した合金ターゲットは着膜速度が早く、磁気特性においてもかなり改善されている。合金ターゲットの着膜速度向上（複合ターゲットの約2.5倍）の主たる要因は、図3に示すように、ターゲット表面上のもれ磁束の増加により、スパッタ中のマグネットロン効果が大きくなっていることが挙げられる。もれ磁束の増加は、純Coと比較して合金化することによって透磁率が低下したことよりもたらされたものといえる。

合金ターゲットによる磁気特性の向上は、1 MHzでの透磁率が2.5倍に、またB-Hループの形状も小さな磁界で飽和領域まで達し、かつ保磁力が小さいという良好な軟磁気特性を示すものとなった。特性向上の原因としては、着膜速度の向上に表れているように、作製膜の緻密化に加え、不純成分が入りにくくなったことがあげられる。図4はターゲットの違いによる作製膜中の吸着酸素の一例を示す。図より明かなように、合金ターゲットによるスパッタ膜には酸素の存在は認められないが、複合ターゲットによるスパッタ膜にはその存在が認められる。

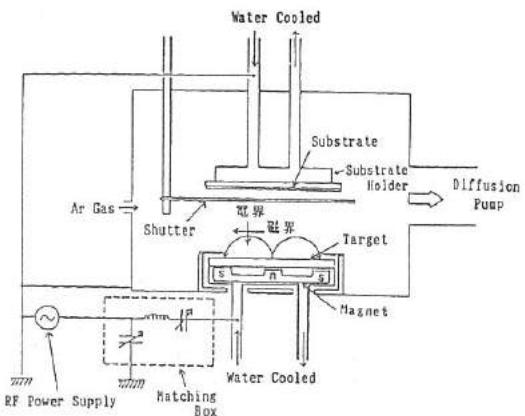
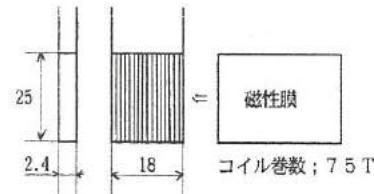


図1 RFマグネットロンスパッタ装置の構造概略図

Fig.1. The structure of R F magnetron sputtering.



$$\text{透磁率; } \mu \text{ 算出式: } \mu = \frac{A_a}{A} \cdot \frac{L - L_0}{L_0} \quad (1)$$

Aa: 測定用コイル断面積(60mm<sup>2</sup>)

A: 磁性膜の断面積

L: 空心時のインダクタンス

L<sub>0</sub>: 磁性膜装入時のインダクタンス

図2 透磁率測定用治具および算出方法

Fig.2. Jig for measurement of permeability, and calculation method of permeability.

表1 ターゲットの違いによる諸特性の比較

Table 1. Comparison of characteristic by difference of target.

	合金ターゲット			複合ターゲット		
構造						
ターゲット組成 合金ターゲット; at % 複合ターゲット; 面積比	Co	Nb	Zr	Co	Nb	Zr
	87.01	7.95	5.04	74.78	14.12	11.09
スパッタ膜組成 at %	Co	Nb	Zr	Co	Nb	Zr
	90.0	6.7	3.3	86.8	7.5	5.7
着膜速度(条件同一)	3.0 $\mu\text{m}/\text{h}$			1.2 $\mu\text{m}/\text{h}$		
磁気特性	飽和磁化, M s (*: 推定値)			14.5 kG		
	透磁率, $\mu$ hard axis (f=1MHz, H=15mOe)			13.5 kG		
	685			274		
BHループ(DC)						

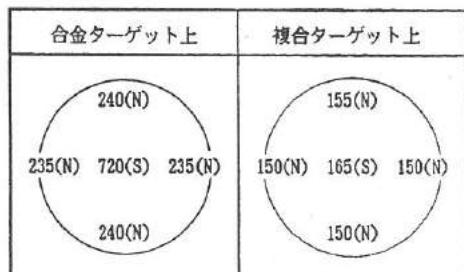


図3 ターゲット表面上のもれ磁界分布 (G, ( )内極)

Fig.3. Leakage of magnetic field on the target.

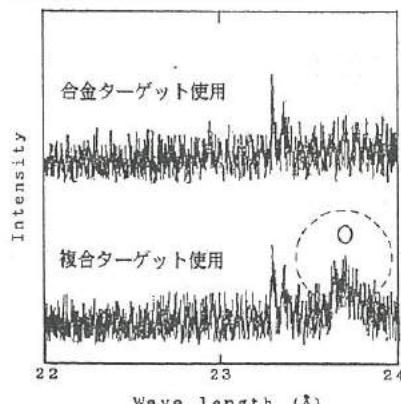


図4 ターゲットの違いによる薄膜中の吸着酸素 [EPMA分析結果]

Fig.4. Comparison of oxygen quantity in the sputtering films.

## 3.1.2 スパッタ膜の磁化方向について（容易軸および困難軸）

今回使用の装置で作製した磁性膜には容易軸と困難軸が存在し、図5に示すように、チャンバーの半径方向に容易軸、その直角方向に困難軸が常にできることを確認した。この原因是、ターゲットホルダー下部にあるターゲット表面への磁界印加用マグネットの影響と考えられる。そこでこのマグネットにより生じる基板表面の磁界分布の様子を推定するために、ターゲットホルダーよ

り70mm上方（基板ホルダーの設置位置）での磁界分布を測定した。図6はその測定結果を示している。従って、この様な磁界分布が基板表面上に存在するため、図5で示したように容易軸、困難軸が常に決まった方向に発生するものと推測される。

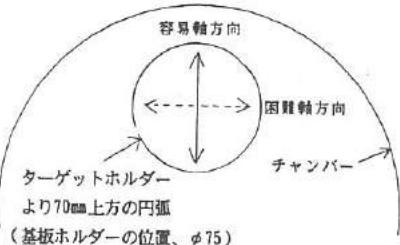


図5 スパッタ膜面の磁気異方性

Fig.5. Domain structure of magnetization of sputtering films.

### 3.1.3 スパッタ中のArガス圧の最適化

図7は作製膜の保磁力とArガス圧の関係の一例を示す。図より、膜の保磁力はArガス圧に大きく依存し、Arガス圧が0.5Paで最小値を示していることがわかる。このような保磁力の変化は、膜の柱状構造の成長度と基板側のスパッタ効果に深い関係がある。Arガス圧を上げ過ぎるとスパッタ粒子の膜表面での拡散がしにくくなり、柱状構造の成長がみられ保磁力を増大させる。逆にArガス圧を下げ過ぎても基板側のスパッタが起り、保磁力を増大させる<sup>(4)</sup>。

また、図8は透磁率とArガス圧の関係を示す。図より、困難軸方向では、Arガス圧の影響は見られず、透磁率はほぼ一定であるが、容易軸方向では、Arガス圧が0.5Pa以上で透磁率が次第に減少する傾向を示す。

以上の結果より、良好な軟磁気特性を有した磁性膜を得るためにArガス圧=0.5Paでのスパッタが最適であることが判る。

なお、図9には最適Arガス圧(0.5Pa)でスパッタした磁性膜のB-Hループの一例を示した。

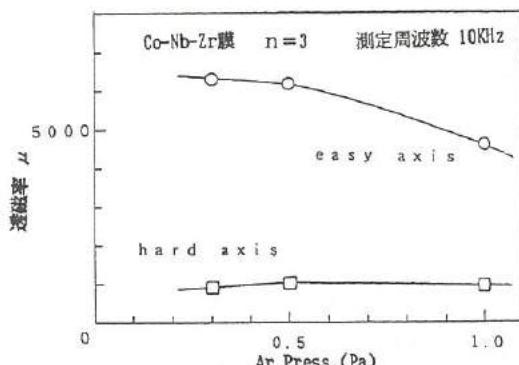


図8 透磁率-Arガス圧特性

Fig.8. Permeability of thin film vs. Ar gas Press. of sputtering.

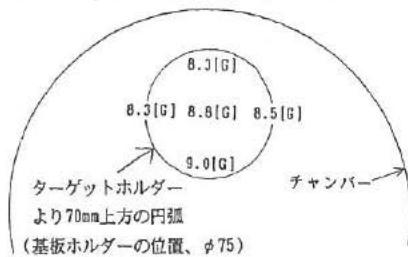


図6 基板ホルダー上の磁界分布

Fig.6. Magnetic field distribution on the substrate holder.

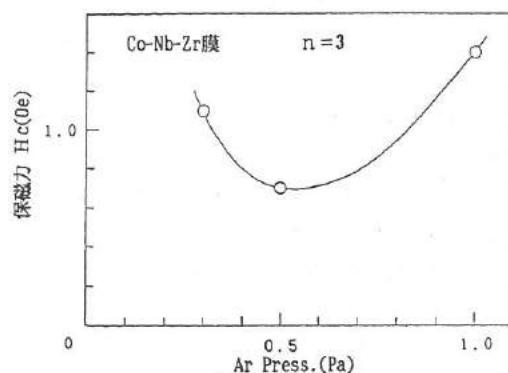


図7 保磁力-Arガス圧特性

Fig.7. Coercive force of thin film vs. Ar gas Press. of sputtering.

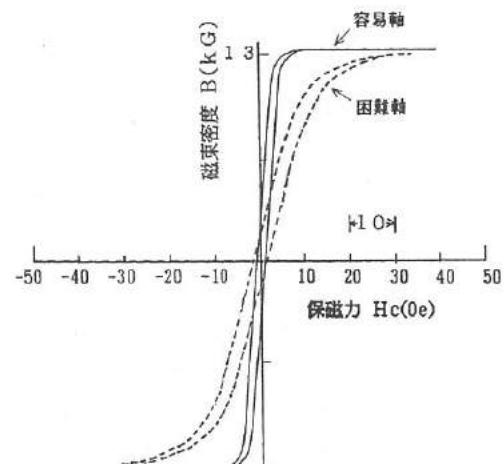


図9 最適Arガス圧で成膜した磁性膜の

B-Hループ [D C]

Fig.9. B-H major rupe [best Ar Press.]

### 3.2 Co-Nb-Zrスパッタ膜の応用

前記した Co-Nb-Zrスパッタ膜の特長を活かして使用できる素子としては、薄膜トランジスタまたは薄膜インダクタなどが考えられる。

このため、ここではアモルファス薄膜をインダクタとして使用する場合には、どの様な構造が良いかを検討することにした。

薄膜インダクタやトランジスタへの応用方法については、現在文献<sup>(5)</sup>において紹介されているもののほとんどが図10で示したように、コイルを絶縁物で挟み込み、その表面を磁性薄膜でサンドイッチにした構造となっている。しかし、この構造ではコイルと磁性膜の間に gapが存在することになってしまい、高透磁率という特長を十分に活かすことが出来ないものと考えられる。そこで、gapとインダクタンスとの関係を、実験と計算で求めてみることにした。

実験には図11に示すようなつづら折り形状コイル（巻数N = 6ターン）を用い、計算もこのコイルの各定数を用いてインダクタンスを求めるものとした。なお、計算には、図12に示す等価回路を採用し、MKS単位系で下式(2)のように行った。

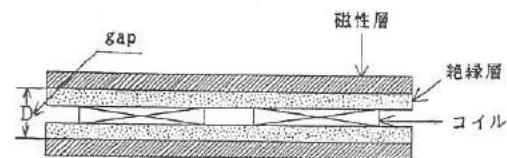
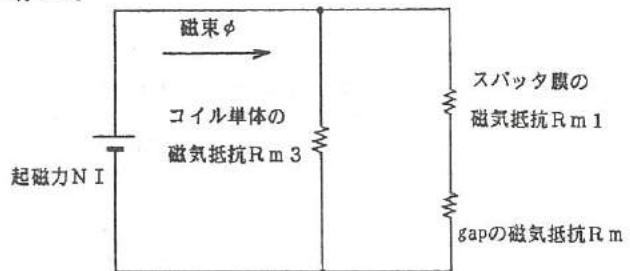


図10 薄膜インダクタの構造（コイル分離型）

Fig.10. Structure of thin film inductor.  
(separate type)

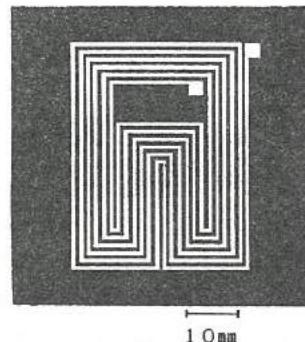


図11 実験に用いたつづら折り形状コイル

Fig.11. Zigzag pattern of coil for experimental study.

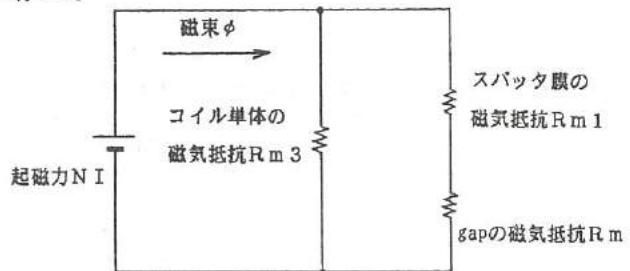


図12 計算に用いた等価回路  
Fig.12. Equivalent circuit for  
calculation of inductance.

$$\text{インダクタンス } L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2}{(R_{m1}+R_{m2}) \cdot R_{m3}} = \frac{N^2 \cdot (R_{m1}+R_{m2}+R_{m3})}{(R_{m1}+R_{m2}) \cdot R_{m3}} \quad [H] \quad (2)$$

$$\text{ただし } R_{m1} = \frac{d_1}{\mu_1 S_1} = \frac{1.0 \cdot 10^{-2}}{8990 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8.3 \cdot 10^{-2} \cdot d_3} = \frac{1.07 \cdot 10^1}{d_3} \quad [A/Wb]$$

$$R_{m2} = \frac{d_2}{\mu_2 S_2} = \frac{2 \cdot D}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8.3 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 3.84 \cdot 10^{18} \cdot D \quad [A/Wb]$$

$$R_{m3} = \frac{N^2}{L_3} = \frac{6^2}{1.45 \cdot 10^{-8}} = 2.48 \cdot 10^7 \quad [A/Wb]$$

R<sub>m</sub> : 回路全体の磁気抵抗

D : 2枚の磁性薄膜間の距離

R<sub>m1</sub> : 2枚の磁性薄膜の磁気抵抗

$\mu_1$  : 磁性薄膜の透磁率

R<sub>m2</sub> : 2枚の磁性薄膜間のgapの磁気抵抗

$\mu_2$  : 空気の透磁率

R<sub>m3</sub> : 磁性薄膜がない時の磁気抵抗

S<sub>1</sub> : 磁性薄膜の断面積

d<sub>1</sub> : 磁性薄膜の磁路長

S<sub>2</sub> : gapの断面積

d<sub>2</sub> : 2枚の磁性薄膜間の実質的gapの距離

L<sub>3</sub> : 磁性薄膜がない時のインダクタンス

d<sub>3</sub> : 磁性薄膜の厚み

N : コイルの巻数

図13はインダクタンスを計算した結果を示す。また、実験値を●で示した。

図より明かであるように、計算値と実測値はほぼ一致している。

図14は、この計算式を用いて、磁性薄膜の厚み $d_3$ をパラメータとしたときの「gap - インダクタンス特性」を示す。

図から、磁性薄膜の厚み $d_3$ （または磁性薄膜の透磁率 $\mu_1$ ）を増加させていくほど、gapがインダクタンスを極度に低化させていくことがわかる。従って、高透磁率の磁性膜という特長を十分に活かすには、gapをなくさなければならないと判断した。このために考案したのが、gapの存在しない図15の構造である。

表3は図10、15に示した2種類の構造が、今回作製したCo-Nb-Zrスパッタ膜の特長を活かすことができるか否かを比較したものである。

また、コイル分離型はその構造上 gapから漏れ磁束が発生するので、まわりに悪影響を与えることが予想される。従って、これらの結果から、コイル一体型が実用上優れていると判断し、現在コイル一体型薄膜インダクタおよび薄膜トランジスタを試作中である。

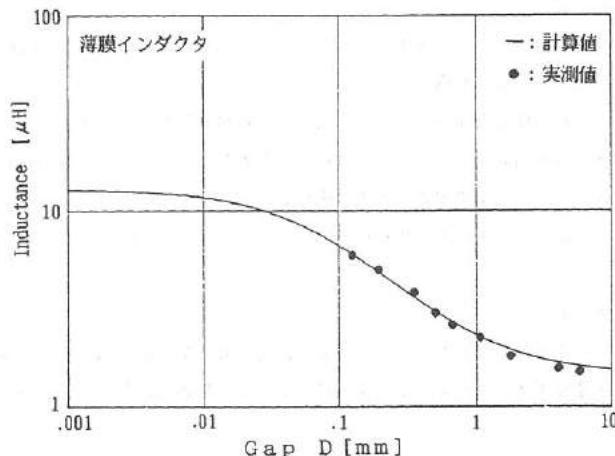


図13 Gap-インダクタンス特性の計算値と実測値の比較  
Fig.13. Inductance of thin film inductor vs. gap.

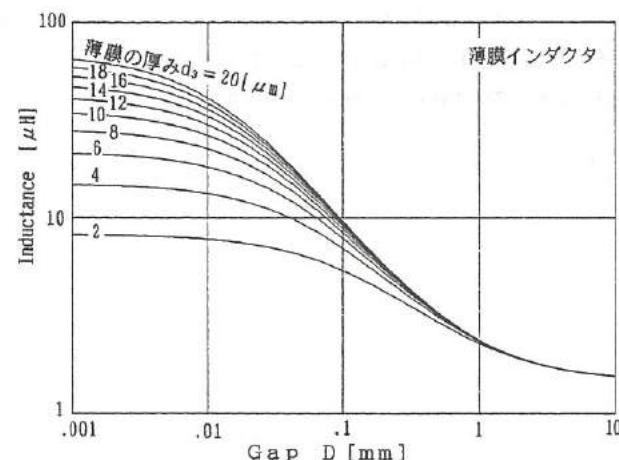


図14 Gap-インダクタンス特性の磁性膜厚による変化  
Fig.14. Relation between gap vs. inductance and thickness of magnetic film.

表3 薄膜インダクタの構造による  
磁性薄膜の有用性比較  
Table 3. Comparison between separate type  
and one piece type.

磁性薄膜の特長	コイル分離型 (図10)	コイル一体型 (図15)
① 低損失	○	○
② 高透磁率	×	○
③ 薄い	△	○
④ 高飽和磁束密度	○	○

○：特長を活かせる

△：特長をあまり活かせない

×：特長を活かせない

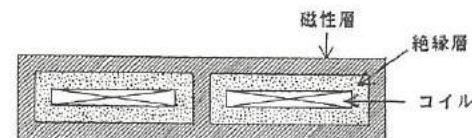


図15 薄膜インダクタの構造（コイル一体型）  
Fig.10. Structure of thin film inductor.  
(one piece type)

#### 4. 結 言

本研究では、R F マグネトロンスパック法で作製した Co-Nb-Zr 薄膜の磁気特性の向上および用途開発について検討を加えた。その結果、次の結論を得た。

- (1) 高純度合金ターゲットの使用により軟磁気特性が向上する（高透磁率化、低保磁力化）。
- (2) 3極対向型マグネトロンスパック装置ではチャンバー半径方向が容易軸、その垂直方向が困難軸となる。
- (3) スパック中の最適 Ar ガス圧は、0.5 Pa である。
- (4) 薄膜インダクタの構造は、gap のないコイル一体型がよい。

#### 5. 謝 辞

本研究を進めるに当たり、VSMでの測定においてご協力頂いた富山大学の石川助教授、また、成分分析においてご協力いただいた工業技術センター中央研究所の松井氏ほか関係各位に対し深く感謝いたします。

#### 6. 参考文献

- (1) 島田：日本金属学会会誌 V o l. 22 No. 11 (1983)
- (2) 昭和 63 年度若研研究論文集
- (3) 白江：日本応用磁気学会誌 V o l. 10 No. 2 (1986)
- (4) 岩坪：昭和 61 年度富山県工業技術センター研究報告
- (5) 山沢：電気学会マグнетイクス研究会資料 MAG-89-132 (1989)

## V. 障害者のための学習機能を有する マンマシンシステムの研究

-機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発-

Self-Learning Man-Machine System for the Disabled

-Development of simulation system of the human upper extremities  
applying for functional electrical stimulation-

### Abstract

Recently, in clinical use, functional electrical stimulation(FES) is very worth noticing as an aid to regain a part of upper motor neuron control which may be lost through cerebral palsy, stroke, brain injury, inflammation, tumor or spinal lesion.

The main object of this project is to simulate movement of the musculoskeletal system with the muscles which will be stimulated in the upper extremities. The simulator is consisted of such a total system as follows.

- 1)development of communication device operated by spoken word and electromyogram through the extant functions of the disabled.
- 2)development of musculoskeletal model to estimate muscular forces pattern necessary for intended movement, and its application for self-learning discrimination of stimulation pattern suitable to produce a specific composite movement.
- 3)development of graphic simulator to estimate a specific movement created by groups of stimulated muscles.

As the second year's step of this project, the above (1) subject has been mainly studied. On the spoken word recognition system, appropriate words are also selected, and tried to apply for a portable FES system, which has been developed in Koshi Rehabilitation Hospital. On the EMG-controlled interface system, raw EMG signals of two kinds of command movement has been processed by the autoregressive time series analysis technique, and inquired a discrimination ratio of a specific command control for practical use.

### 1. はじめに

現在、脊髄損傷や脳卒中などの中枢神経障害者については、医療的に機能回復の可能性が低く、適切な装具も開発されていないため、運動機能を補う装置の開発が期待されている。このため近年各國で、運動機能の再建を目的とした機能的電気刺激(Functional Electrical Stimulation : FES)の研究が行なわれている<sup>1)</sup>。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、筋収縮を制御することで日常生活動作を代償しようとするものである。その際、障害者が自らの意志で、残存機能を利用して操作信号を電気刺激装置に送り、麻痺肢を動作させることが重要である。残存機能としては、関節運動、呼吸、音声、生体電位などが考えられ、その中で関節運動による機械的スイッチ、呼気・吸気スイッチ、音声認識の応用が具体化している<sup>1,2)</sup>。しかし、障害の程度によって利用できる残存機能が異なったり、限定されたりする。また、筋電位の振幅を利用した操作スイッチでは安定な性能を得られていない。

そこで本研究は、上肢麻痺のためのFESを想定し、そのシステムのマン・マシン・インターフェース向上を図るための上肢機能シミュレータの開発を目的とする。このシミュレータは、音声認識や上肢の筋電位解析からFES操作信号を生成し、そのコマンドによって幾つかの上肢の動作を指定し、そのときの筋力を数学モデルから推定する。さらに、その結果をコンピュータグラフィックスによって上肢運動を視覚的に表示する。一方、得られた筋力からFESのための筋刺激電圧パターンが生成される。

研究のステップは、以下の4段階に分けられる。

- (1) 音声認識を利用したFES操作信号の生成
- (2) 筋電位計測を利用したFES操作信号の生成
- (3) 筋骨格数学モデルによる筋力推定及び学習性のある組合せ動作刺激パターンの生成
- (4) 刺激による上肢運動を視覚的に把握できるグラフィック・シミュレーション・ソフト製作

今回は、(1), (2)について研究を行なった。(1)については音声認識ボードの製作を行ない、認識率の高い操作単語の検討を行なった。さらに、操作単語をポータブルFES装置の操作に適用した。一方(2)については上肢の動作2種類の筋電位計測を行ない、結果を時系列解析して、筋電位の計測から操作信号を判別できるか検討した。

## 2. FESシステム

本研究が目標としているFESシステム全体図を図2.1に示す。本システムは、5つのブロックから構成されている。

まず、①音声認識モジュール及び、②筋電位計測モジュールは、残存機能を利用した操作信号の生成部である。音声認識モジュールは、予め操作単語を登録しておき、発声単語を音声認識して操作信号を生成するのに対し、筋電位計測モジュールは、上肢の動きの筋電位変化を解析し、その結果から動きを判別して操作信号を生成する。次に、③筋力計算モジュールは、運動学的データ、解剖学的制約、運動生理学的法則

を上肢の筋骨格系のモデルに考慮

して力学計算を行ない、操作信号に応じた動作をシミュレートして、筋力を推定する<sup>3)</sup>。ここで筋力は、力及びモーメントの運動方程式から計算する。そして、④グラフィックモジュールでは、その上肢の動きのシミュレーション結果を3次元表示して視覚的に上肢の動きを検証する。さらに、⑤筋刺激モジュールは、筋刺激電圧を生成し、障害者の麻痺筋を収縮させて動作を代償させる。

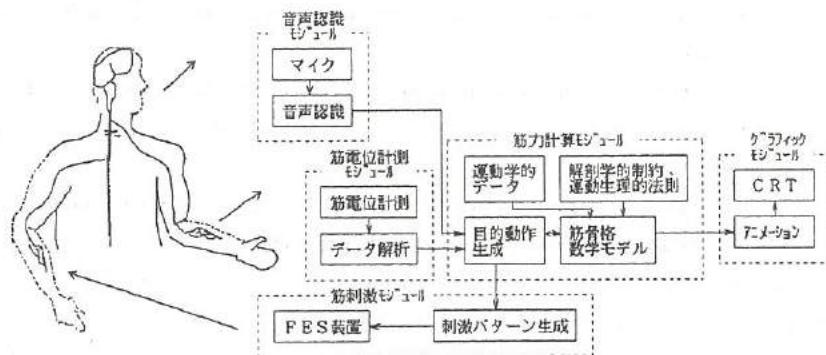


図2.1 FESシステム全体図

Fig. 2.1 FES system

## 3. 音声認識モジュール

今回は、音声操作で考えられる問題点の一改善方法として、入力音声の振幅の安定化を試みた。そしてその結果を参考に音声単語を選定し、音声操作部の開発を行なった。

### 3.1 音声操作型FES装置

今回開発した音声操作型FES装置は、NEC PC-9801をホストコンピュータとした図3.1の構成である。

マイクに入力した音声単語は、音声認識ボードで、上肢動作の選択と実行命令が判断される。そこではまず音声分析器内のアンプで増幅し、バンドパスフィルターで短時間スペクトル分析をする。

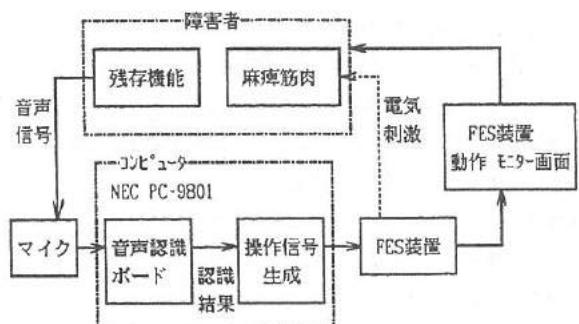


図3.1 音声操作型FES装置の構成

Fig. 3.1 Block diagram of a voice controlled FES system

分析結果は、音声認識プロセッサで予め登録したn種類の操作単語（標準パターン）とマッチングし、最も似ている標準パターンの登録番号を認識結果として出力する。この結果は、さらに操作信号に変換して刺激装置に送る。刺激装置は、操作信号に応じた刺激パルスを麻痺筋肉に作用し、目的動作を再現させる。ここで、今回使用した音声認識ボードの主な特徴は、最大登録語200語または有音時間124秒、最大入力音声長さ2秒、応答時間0.3秒以内であり、認識時のしきい値設定も可能である。なお、ここで使用したマッチング手法は、動的計画法（Dynamic Programming:DP）<sup>7)8)9)</sup>である。

### 3. 2 音声認識の問題点

#### （1） 現状の問題点

音声認識は、他の方法に比べ、体の健常な部分を大きく動かさない反面、①個人差による音声スペクトルの違い、②同一単語の発声ごとの音声波形長さや振幅の変動、③声の経時変化及び、④マイクへの周囲雑音の混入、などの要因から音声認識率が低下し、操作信号が確実に入力できなくなる問題点がある<sup>9)10)</sup>。そこで今回は、これらの問題の①、②を改善するための実験を行なった。改善策は、登録単語の発声者と認識単語の発声者が同じである特定話者による音声認識をすること及び、音声入力部にA G C（Auto Gain Control）回路を付加することで、音声信号の振幅レベルを一定に保つことを試みた。

#### （2） 実験方法

実験条件は、表3.1に従って、特定話者で行ない、各単語の音声認識率を調べた。ここで用いた単語は、F E S装置の使用を想定して選定した単語である。図3.2にA G C回路ブロック図を示す。このA G Cは一般に補聴器などに用いられている出力制限（Output Power Control:OPC）を応用した。当回路は、音声認識ボードとマイクの間に接続し、可変抵抗器でO P Cフィードバックゲインを変化させた。

実験方法は、各単語を3回発声し、1回目を標準データとして登録し、残りを未知入力データとして認識実験をした。認識結果は、C R T画面に出力させて認識率を算出した。さらに、未知入力データの振幅レベルは、図3.1の音声認識ボード内のアンプゲインで可変し、模擬的に音声の変動を発生させた。

表 3.1 実験条件

Table 3.1 Experimental conditions

被験者	男性 2名（障害者:C4 完全四肢麻痺 1名 健常者 1名）
使用単語	51 単語 ・選択、コッフ <sup>°</sup> 、鍵、トランフ <sup>°</sup> 、チャンネル ・電圧、時間、ステップ <sup>°</sup> 、かづ、モード、パターン ・いきち、最大値、ロード、セーフ、セット ・変更、圧縮、拡大、追加、削除、から、まで ・動作、始め、終わり、手、肘、腕、前、後ろ、上、下、右、左、内、外、曲げる、伸す、開く、閉じる。 ・1、2、3、4、5、6、7、8、9、0
AGC回路	有り、なし

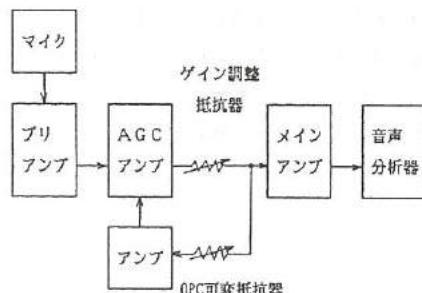


図 3.2 A G C回路ブロック

Fig. 3.2 Block diagram of AGC circuit

#### （3） 実験結果

未知音声入力ゲインと認識率の関係を図3.3に示す。図中の線は平均値を示す。そして図3.4は、障害者のA G Cの有無による音声データのばらつきを示す。さらに表3.2、表3.3には、認識率が低い単語のワースト2を示した。ただし、この場合の障害者は、健常者と違って発声練習を十分に行なっていない。

図3.3からA G C回路有りは、なしに比べ、認識率が高い入力ゲインの幅が広く、健常者の場合、認識率が90%以上で9dBの差がある。また、O P Cフィードバックゲインは大きいほうが、認識率が高い入力ゲインの幅が広い。さらに、認識率は障害者が約10%低いといえる。

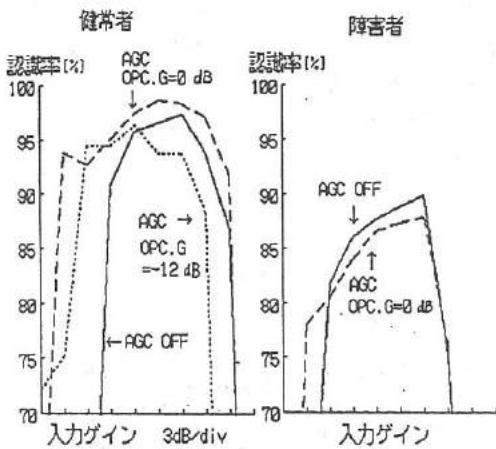


図 3.3 未知音声入力ゲインと認識率

Fig. 3.3 Relationship between input gain of spoken word and spoken word recognition

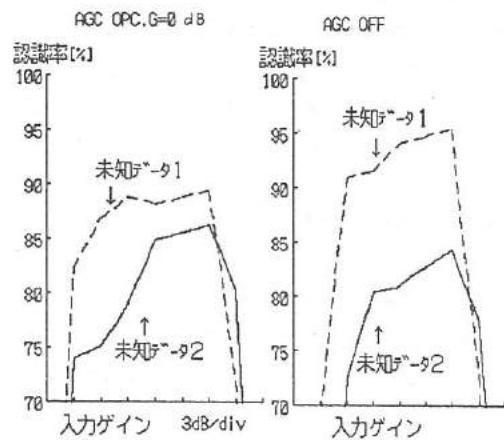


図 3.4 障害者の認識率のばらつき

Fig. 3.4 Deviation of spoken word recognition in disable

表 3.2 認識率が低い単語（健常者）

Table 3.2 Poor recognized words  
in normal

単語	誤り率(%)	誤認識単語 (%)
モード	29	ロード(100)
肘	26	1(91), モード(9)

(注) 各単語の全データ数は、42個

表 3.3 認識率が低い単語（障害者）

Table 3.3 Poor recognized words  
in disable

単語	誤り率(%)	誤認識単語 (%)
1	97	いき直(51), 7(31)
ロード	89	時(9), 内(9) 動作(69), カーブ(13) 6(9), 外(6), 拡大(3)

(注) 各単語の全データ数は、35個

図 3.4 から障害者の各入力ゲインにおける未知データ間の認識率の差は、AGCなしの場合だけ有意水準 5%で差がある。

表 3.2、表 3.3 から「肘」と「1」は、被験者に共通して誤認識しており、特に障害者の「1」は全く認識されていない。さらに、健常者においても「モード」が「ロード」に誤認識されている。

## (2) 考察

- 1) 被験者によらず AGC 回路は、未知入力データの振幅変動を改善し、認識率を安定にする。
- 2) 障害者の認識率が低い要因は、障害で発声し難かったこと並びに十分発声練習を行なわなかったためと考えられる。そこで、障害者の発声訓練効果を調べ図 3.5 に示した。図から訓練効果によって認識率が向上したことがわかる。
- 3) 認識率が低い単語の特徴は、異なる単語同士の発音が似ていること、子音が多い、摩擦音が多い、短い、など単語としての特徴が乏しいといえる。よって、音声操作単語の選定時には、これらを考慮する必要があるといえる。

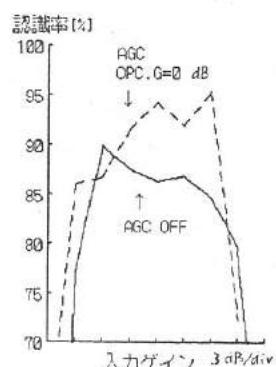


図 3.5 発声訓練後の障害者の認識率

Fig. 3.5 Spoken word recognition after training in disable

### 3.3 音声操作部の開発

我々が研究を行っている高志リハビリテーション病院で開発中のポータブルFES装置の操作信号入力部に使用するために、音声操作部を開発して、その動作をチェックした。

#### (1) 音声操作部の構成

音声操作部の詳細を図3.6に示す。FES装置本体には、4つの入力チャンネルがあり、各々に接続したスイッチ（この場合リレーに相当する）のON/OFF回数で操作信号が伝達、決定される。各チャンネルと主な機能は表3.4に示す。プログラム上で、認識結果である登録番号から各リレーのON/OFF回数を変換、制御することで、4チャンネルにパルス数に対応する制御信号を伝達している。

#### (2) 単語の選定と音声操作の特徴

51単語認識実験結果から次の項目を考慮して、表3.4に示す24単語を選定した。なお、今回の操作部は、1単語入力毎に1操作を実行する。

- 1) 他の単語と発音が似ていない
- 2) 発音しやすい
- 3) 目的とする動作をよく表現している

音声操作の良い点は、機械的スイッチで2回分の操作を音声単語1語で連続操作できることや、スイッチのON/OFFをプログラム制御するのでON/OFF処理スピードが短くなる。さらに、話者が使いやすい単語を設定できなど、自由度は大きい。

#### (3) システムの動作状況

健常者でシステムの動作チェックをした結果処理時間は、約0.9秒（音声入力から4チャンネル間0.5秒+パルス信号0.4秒）であった。この時は使用者に遅いと感じさせるので、今後は、処理時間の短縮が必要である。一方、音声認識率は、約95%であった。胸元にマイクを取り付けたため、服との摩擦音が周囲雑音となつたが、問題は起きたなかった。しかしながら、偶然登録単語に似た雑音が混入して誤動作したことがあった。このことから、安全性を考慮すると、使用環境によっては、一操作を2単語で入力する方法（2単語を連続認識後、一操作を実行する）が必要と考えられる。

#### (4) システムの小型化

現在の音声操作型システムの体積と重量は、PC-98本体を除いて、7500cc、2kg（内FES装置本体+動作表示部は、700cc、0.4kg）である。今後は、携帯できるサイズまで小型化する必要がある。現段階で、無駄なスペースを削除し、小型化するだけで、1000cc、0.8kgまで可能と考えられる。将来的にも、ホストコンピュータのマイコンチップ化などの開発によって、音声操作型FES装置は、より小型・軽量化できると考えられる。

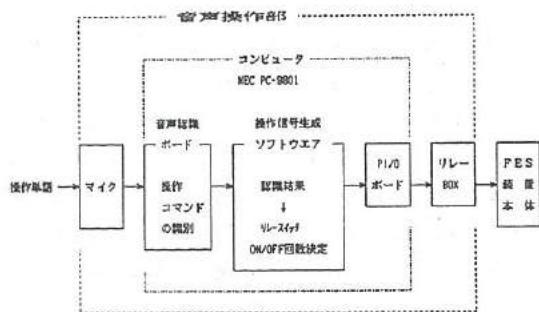


図3.6 音声操作部の構成

Fig. 3.6 Block diagram of a voice contorolled system

表3.4 各チャンネルと主な機能

Table 3.4 The functions of four channels

チャンネル番号	主な機能
1	電源のON/OFF、
2	動作の開始／停止、動作の微調整
3	上肢を伸ばす（例：腕を伸ばす）
4	上肢を曲げる（例：腕を曲げる）

表3.5 操作単語

Table 3.5 The words to control

24単語	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源、スイッチ、スタート、ワープロ、訓練、実行、停止、</li> <li>・動作、選択、部位、角度、力、伸ばす、肩、肘、腕、手首、ジョイント、鍵、登録、ヘーリー</li> <li>・開く、閉じる、止め</li> </ul>
------	---

#### 4. 筋電位計測モジュール

##### 4.1 筋電位計測モジュールの構成

筋電位計測モジュールは、障害者の健常部位の動かし方と、それに対応する操作コマンドを設定しておき、筋電位波形を時系列解析することによってどの操作コマンドかを判別する。この場合の FES システムを図 4.1 に示す。健常部位には、表面電極又はワイヤ電極が接続される。電極から得られた筋電位は、増幅器を経て A/D 変換され、マイコンによって時系列解析される。時系列解析は、筋電位波形を自己回帰モデルにあてはめ、モデル・パラメータの推定を行なう。そのパラメータ値とパワースペクトルからどのような動作が行なわれたかを判別し、操作コマンドを決定する。FES 装置からは、動作に対応した筋刺激電圧が出力され、麻痺部位の刺激電極に与えられる。将来的には、高速マイコン等を用いて小型化の必要があるが、今回は、上記モジュールを実現するために、パソコンを用いて、筋電位波形から動作の判別が可能かを検討した。

##### 4.2 自己回帰モデル (Autoregressive model : AR モデル)

AR モデルは、現在の出力がいくつかの過去の出力の線形結合で表わされると仮定した数学モデルであり、その結合係数から系の特性を同定する方法である。モデルの次数を N 次とすると、現在の出力  $y_p$  は過去の出力  $y_{p-n}$  の線形結合に雑音  $n_p$  が加わったものとして表わされる。雑音は、モデルの誤差をランダム雑音として表わしたものである<sup>13)</sup>。

$$y_p = - \sum_{n=1}^N a_n y_{p-n} + n_p \quad (4.1)$$

AR モデル推定は、自己共分散係数による AR パラメータ推定を行なう。出力信号の予測値  $y_{p'}$  と測定値  $y_p$  との誤差が最小となる係数  $a_n$  を最小二乗法によって決定する。 $(4.1)$  式から系のパワー伝達関数  $(4.2)$  式が得られる。

$$|H(z)|^2 = \frac{G^2}{\left| 1 + \sum_{n=1}^N a_n z^{-n} \right|^2} \quad (4.2)$$

G : 利得

この式から周波数特性を求めればパワースペクトルが得られる。AR パラメータによるパワースペクトルは直接フーリエ変換したものに比べてなめらかな波形となる。なお、等周波数間隔でパワースペクトルを計算するときには、FFT が適用できる<sup>14)</sup>。

筋電位は、本来非定常であるため、AR モデルでは扱えず自己回帰移動平均モデルで扱うべきであるが、実験的に定常とみなして AR モデルで推定する。AR パラメータの次数は 4 次で十分モデルを表現できるといわれ、それ以上の次数では計算量が多くなるわりにはモデルの特性に変化はみられない<sup>15,16)</sup>。

##### 4.3 分析システムの構成と方法

筋電位による動作判別は、C4 から C5 レベルの脊髄損傷あるいは片麻痺による上肢麻痺を想定し、僧帽筋（背中から肩）と三角筋（上腕）から得られる筋電位を利用した。動作は、脊髄損傷の残存機能と思われる肩挙上（肩上げ動作）と上腕外転（腕振り動作）の 2 種類を行った。

まず、図 4.2 の様に背筋、肩、上腕に 13 チャネルの表面電極を配置し、積分筋電位を計測した<sup>17)</sup>。動作は、各動作について大、中、小および速い（毎分 100 回）、遅い（毎分 40 回）について計測した。外乱動作は、1) 頭を左右に向ける、2) 首を旋回する、3) 腕を伸ばして手首を捻るといった動作を行った。図 4.3、図 4.4 に肩挙上と首旋回の積分筋電位の最大振幅を示す。これらの結果から、外乱動作の影響を受けにくく、動作筋電位の大きな電極位置として 6 と 12 チャネルの位置に電極を配置する。この位置は各動作の主動筋の位置と対応している。また、肩と上腕にまたがる電極（10 と 12 チャネルを連結）についても動作判別の可能性を検討した。

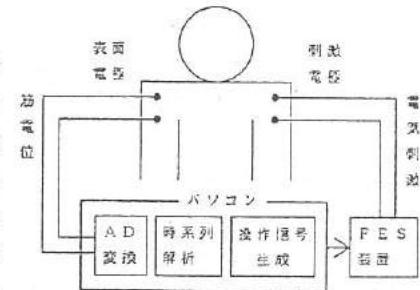


図 4.1 筋電位操作型 FES 装置の構成

Fig.4.1 EMG-controlled FES system

表 4.1 サンプル条件

Table 4.1 Sampling condition

サンプル周波数	2KHz
ハミング窓関数	
AD分解能	12bit

表 4.2 AR推定条件

Table 4.2 Computation parameters  
for AR model

時間幅	50ms
データ点数	100点
モデル次数	4次

表面電極からの筋電位は、入力24チャネルの筋電位計を経て、500Hz ローパスフィルタをかけ、一旦レコーダに記録した。その後A/D変換してファイルにセーブした。ARパラメータの計算は、50ms毎にデータを切り出し、次数4次のARモデル推定を行なった。この計算時間は、パソコン（動作クロック 10MHz、数値演算プロセッサ付）で248ms 要した。

#### 4.4 ARモデル推定の結果と考察

上腕外転の12chから得られたEMG波形と、それを50ms間隔で推定したARパラメータの変化を図4.5、図4.6に示す。動作の開始と共にARパラメータが顕著に変化している。この後、動作の終了と共にARパラメータが元に戻ることも確認された。肩挙上の場合も、同じ様に動作と共にARパラメータが変化した。

図4.7～図4.10は、ARパラメータ1次と2次をプロットし、動作や筋の違いによるパラメータ分布を示したものである。図4.7に肩挙上と上腕外転の6chと12chについて示す。動作の主動作筋とそうでない筋ではARパラメータ分布が異なる。図4.8は6chと12chの肩挙上と上腕外転について示す。同じ筋でも動作によってARパラメータ分布が異なる。図4.9に上腕外転の12chについて、小動作と中動作の場合を示す。動作の大きさによってARパラメータ分布が異なる。図4.10は肩と上腕にまたがる電極配置について、肩挙上と上腕外転の場合を示す。筋にまたがる電極でも、動作の違いによってARパラメータの分布が異なる。

以上の結果から、

- (1)動作の開始とともに、主動作筋ではARパラメータが顕著に変化する。
- (2)ある動作について、主動作筋と他の筋とではARパラメータ分布が異なる。
- (3)動作の大小によってARパラメータ分布が移動する。

- (4)筋にまたがる電極でも、動作の違いによってARパラメータ分布が異なる。

動作の大小によってARパラメータの分離が不完全なのは、動作の大きさが一定ではないためと考えられる。また、筋にまたがる電極配置でARパラメータの分離が不完全なのは、主動作となる筋だけから筋電位を計測するのではないかため、他方の筋の緊張の度合が影響していると考えられる。

この様に、主動作筋に電極を配置した場合には、ARパラメータの分布の違いから肩挙上と上腕外転の動作判別は可能といえる。また、筋にまたがる電極配置でも2種類程度の動作判別が可能と思われる。しかし、動作中のARパラメータは一定値ではなく、変動しながら推移する。この変動幅がARパラメータの値に比べて無視できないため、ARパラメータの分布だけからは動作の開始点を知ることは難しい。また、動作中のARパラメータ値を使って動作判別を行うか明白に決定できない。また、モデル推定は4次であるが、動作の判別には1

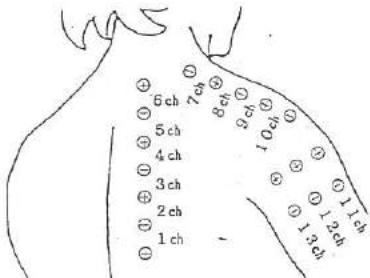


図 4.2 表面電極配置 (電極間隔 2cm)  
Fig.4.2 Electrode position

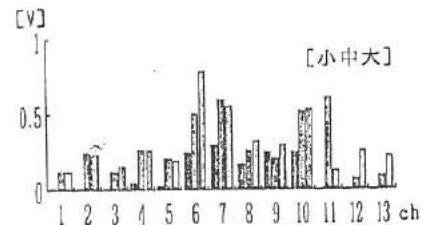


図 4.3 積分筋電位の最大振幅 (肩挙上)  
Fig.4.3 Maximum IEMG of 13 channels



図 4.4 積分筋電位の最大振幅 (首旋回)  
Fig.4.4 Maximum IEMG of 13 channels

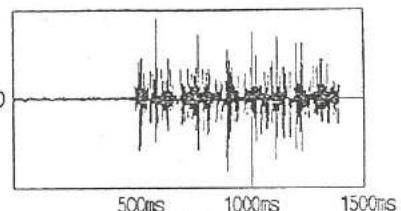


図 4.5 EMG波形  
Fig.4.5 Raw EMG wave  
(上腕外転、動作小、12ch)

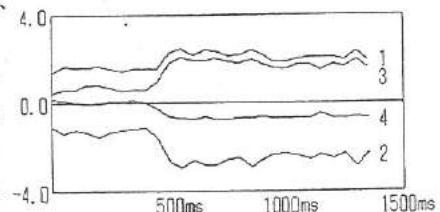
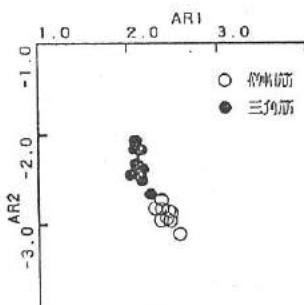
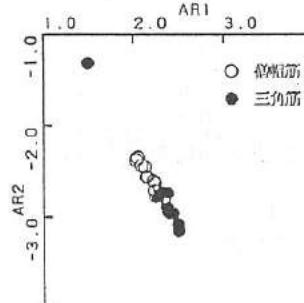


図 4.6 ARパラメータの変化  
Fig.4.6 AR parameters wave  
with the arm swinging  
(上腕外転、動作小、12ch)

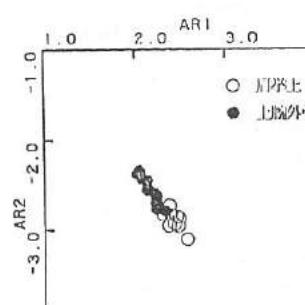


(a) 肩挙上

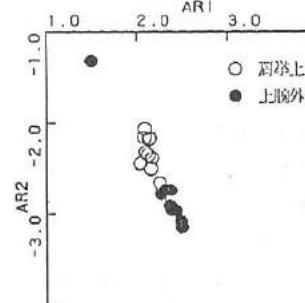


(b) 上腕外転

図 4.7 筋の違いとパラメータ分布  
Fig.4.7 Muscular parameters distribution  
(動作中、6ch, 12ch)



(a) 肩挙筋



(b) 三角筋

図 4.8 動作の違いとパラメータ分布  
Fig.4.8 Motion parameters distribution  
with inter-channels  
(動作中、6ch, 12ch)

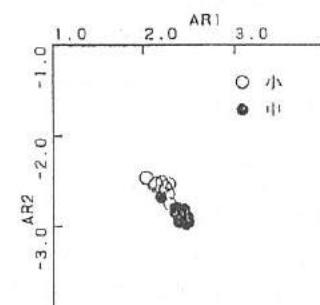


図 4.9 動作の大きさとパラメータの分布  
Fig.4.9 Parameters distribution  
with different motions  
(上腕外転、12ch)

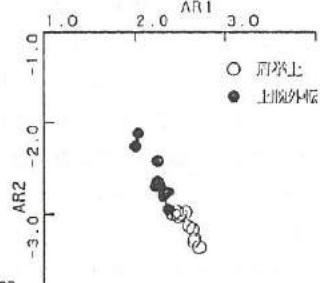


図 4.10 動作の違いとパラメータ分布  
Fig.4.10 Motion parameters distribution  
with inter-electrodes of different muscles  
(動作中、筋にまたがる電極)

次と 2 次 AR パラメータ分布を利用し、3 次、4 次 AR パラメータを利用してい  
ない。

#### 4.5 パワースペクトルによる動作判別

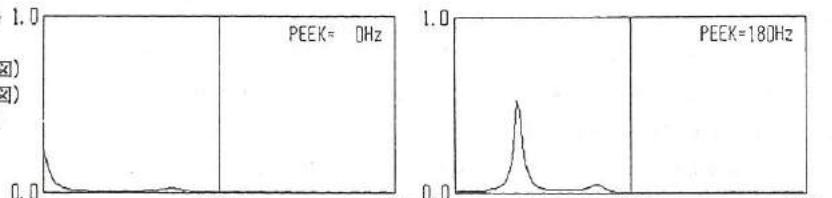
どの時点の AR パラメータ値を使って動作を判別するかを、AR パラメータだけから判断するのは難しい。そこで、AR パラメータからパワースペクトルを計算し、そのピーク周波数の変動を利用することを試みた。計算は、AR パラメータをパワー伝達関数に代入し、周波数分解能 7.8Hz(2kHz/256 点)で計算した。AR パラメータからのパワースペクトルはなめらかな波形となるため、容易にピーク周波数が得られる。また、モデル次数 4 次の AR パラメータを全て利用するため、推定したモデルを反映することができる。

図 4.11 に上腕外転の 12ch から得られたパワースペクトルを示す。動作開始前に 0Hz であったピークが動作開始後に 180Hz に位置している。図 4.12 は図 4.11 のパワースペクトルのピーク周波数の変化を示す。主動作筋のピーク周波数の変化は、上腕外転では動作開始前に 0Hz から 400Hz 付近にあるピーク周波数が、動作開始とともに 200Hz 付近(150~230Hz)に移動する。肩挙上も同様に 0Hz から 400Hz 付近にあるピーク周波数が 150Hz 付近(110~200Hz)に移動する。一方、主動作筋でない筋については、ピーク周波数は 0Hz から 400Hz 付近のままであり、ピーク位置が移動したとしても、主動作筋に比べて小さいパワー値であった。主動作筋のピーク周波数幅がオーバラップしているのは、AR パラメータの変動により、周波数幅が広がるためと思われる。また、主動作筋でない筋でピーク周波数が移動するのは、動作の仕方が不完全なため、両方の筋が緊張したためと考えられる。

これらの結果から、ピーク周波数の移動によって動作の開始を知ることが可能である。さらに、どちらの筋が動作しているかによって動作判別が可能である。実際に、この結果を基に、動作判別プログラムを作成し、動作判別の妥当性を確認した。閾値を厳しくしたため、判別不能の場合があるが、誤認識はなかった。

図 4.11 パワースペクトル 1.0

Fig.4.11 Power spectrum  
 (a)動作開始前(-150ms)(左図)  
 (b)動作開始後(+250ms)(右図)  
 (上腕外転、動作小、12ch)



PEEK= 0Hz

PEEK=180Hz

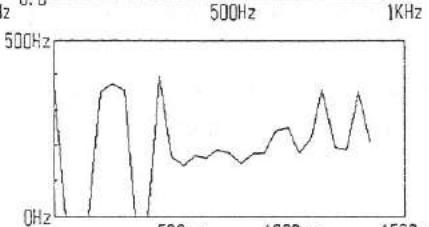


図4.12 ピーク周波数の変化

Fig.4.12 Peak frequency  
 (上腕外転、動作小、12ch)

## 5. 今後の課題

### 5. 1 音声認識モジュール

現状の音声操作部は、FES装置の音声による操作を実現したにすぎない。しかしながら、臨床応用に際しまだ実用面で不十分である。そこで、以下に残された研究課題をまとめる。

#### (1) 音声認識率の向上

- |               |  |
|---------------|--|
| 1) 最適な操作単語の選定 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・単語同士誤認識しないこと</li> <li>・誰でも発声し易いこと</li> </ul>       |
| 2) 周囲雑音対策     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用環境を考慮した、しきい値の調整</li> </ul>                       |
| 3) 音声登録作業の簡素化 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一操作を2単語で入力する方法の利用（例：「ひらけ」+「ごま」で、一操作を実行）</li> </ul> |
| 4) 発音訓練装置の開発  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発音の安定度を判定し、フィードバックする</li> </ul>                    |

#### (2) システムの改善

- |               |   |
|---------------|---|
| 1) 操作部の小型、軽量化 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・音声認識ボードの小型化</li> <li>・ホストコンピュータのマイコンチップ化</li> </ul> |
| 2) 認識処理時間の短縮  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・処理アルゴリズムの見直し</li> <li>・使用言語の見直し</li> </ul>          |

### 5. 2 筋電位計測モジュール

筋電位計測モジュールにおいて、筋電位波形による動作判別の可能性を検討した結果、ARモデルからパワースペクトルを計算し、そのピーク周波数を利用して動作判別できることを確認した。しかし、実際に筋電位をFES操作信号に利用する際には幾つかの課題がある。

- |                |  |
|----------------|--|
| 1) 訓練による安定な動作  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一定の大きさで主動筋だけを動作させる</li> </ul>              |
| 2) 埋め込み電極の使用   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・安定な筋電位検出</li> </ul>                        |
| 3) 筋にまたがる電極の検討 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数動作の判別</li> <li>・ブリホワイトニング処理</li> </ul>   |
| 4) 高速マイコンの使用   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・リアルタイム処理</li> <li>・コンパクトなアルゴリズム</li> </ul> |
| 5) 装置の小型化      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・可搬性</li> </ul>                             |

筋電位から動作判別する際、A R パラメータ分布やピーク周波数幅がオーバラップしていれば、動作判別の精度に直接影響がある。そのため、一定の大きさで主動作の筋だけを動作させるように訓練が必要である。電極に関しては、実用性と安定性の点から埋め込み電極を使用し、また、障害者の負荷や装身上の点から、少ない電極数で動作判別できることが望ましい。そのために、筋にまたがる電極配置で多くの動作を判別できれば実用上有効である。

今後、上記課題を解決するとともに、上肢機能シミュレータを開発する必要がある。シミュレータには、解剖学的制約、生理学的知識、運動学的制約及び学習機能の付加が困難な課題として考えられる。

最後に、この研究を進めるにあたり、ご協力頂いた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、並びに、音声認識ボードは日本電気株 C&C情報研究所、AGC はリオン㈱の協力を得たことを深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 山本、堀井、古瀬：「障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究」、若い研究者を育てる会研究論文集、pp39-48、1989
- 2) 山本、古瀬：「F E S 操作信号について」、第4回リハ工学カンファレンス講演論文集、p217-220、1989
- 3) 山本、堀井：「F E S 操作信号について」、第4回リハ工学カンファレンス講演論文集、p221-224、1989
- 4) 星宮、半田：「機能的電気刺激の現状と将来」、システムと制御、vol.31、no.6、pp.406-414、1987
- 5) 星宮 他：「麻ひ上肢制御のための高機能多チャネル機能的電気刺激システム」、電学論C、vol.108、no.7、pp.447-452、1988
- 6) R.Arvikar,A.Seireg:"Evaluation of Upper Extremity Joint Forces During Exercise",ASME annual meeting,1980
- 7) 田中、迫江：「音声認識におけるパターンマッチング手法」、計測と制御、vol.22、no.1、pp.99-105、昭 58
- 8) 白井：「パターン認識」、オーム社、1987
- 9) 三浦：「聴覚と音声」、電子通信学会編、コロナ社、昭 57
- 10) 半田、星宮 他：「麻痺手制御のための音声制御型機能的電気刺激システム」、医用電子と生体工学、vol.23、no.5、pp.8-14、1985
- 11) 神田 他：「マイクロコンピュータ技術を用いた携帯用機能的電気刺激装置の開発」、第3回リハ工学カンファレンス講演論文集、p217-220、1988
- 12) 内藤：「麻痺肢への機能的電気刺激」、第3回リハ工学カンファレンス講演論文集、p291-298、1988
- 13) 城戸：「デジタル信号処理入門」、丸善、昭 62
- 14) 安居院、中嶋：「コンピュータ音声処理」、秋葉出版、1988
- 15) G.Hefftner et.al.: "The Electromyogram(EMG) as a Control Signal for Functional Neuromuscular Stimulation", IEEE Trans.Biomed.Eng., vol.35,no.4,pp.230-242, April, 1988
- 16) D.Graupe and W.K.Cline : "Functional Separation of EMG Signals via ARMA Identification Methods for Prostheses Control Purposes", IEEE Trans.Syst., Man, Cybern., vol.SMC-5, no. 2, pp.252-259, March, 1975
- 17) F.miller et.al.: "Myoelectric Control Sites for Upper-Extremity Device", Arch Phys Med 702-707 (Dec.) 1970

## VI. 超音波メガネの研究

The Development of Ultra Sonic Glasses

### Abstract

Ordinarily 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 ultra sonic and the reflected wave. This difference time is changed to stimulating strength and transited to palm 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

われわれのまわりには障害をもつ多くの人々がいる。目の不自由な人、耳の都合の悪い人、身体に故障のある人達である。とりわけ、人にとって、かなりの情報をぎっている視覚に障害のある場合には、人の生活圏も限定されてくる。現在、この重要な感覚を何らかの理由により失った視覚障害者の数は、わが国でも約25万人、世界中でも1500万人いるといわれている。これらの人々は健常者に対して大きなハンディキャップを有している。視覚障害者の人々がある程度の視覚を取得できれば、彼らの生活領域は著しく拡大する。一方、最近のセンサー技術、IC技術、信号処理技術の著しい発展に相まって、それらと視覚障害者の残存感覚機能とを巧みに利用して失われた感覚を補い代行してゆこうとする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あと視覚障害者に残っている感覚や神経を刺激し視覚の代行を行なうことである。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、聴覚を利用するか、または視神経を刺激するかによる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持つ特性を利用して、超音波メガネの開発を行なった。この超音波メガネの研究は、視覚障害者が杖なしに道路上の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た。すなわち使用者である視覚障害者が、自分と障害物までの距離データを超音波の発信位置から障害物による反射波の受信までの時間によって置換えることによってその物体の距離を測ることである。また、その得られた距離データを聴覚や触覚を通して伝達する方法について、検討したのでここに報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1 超音波メガネの試作

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

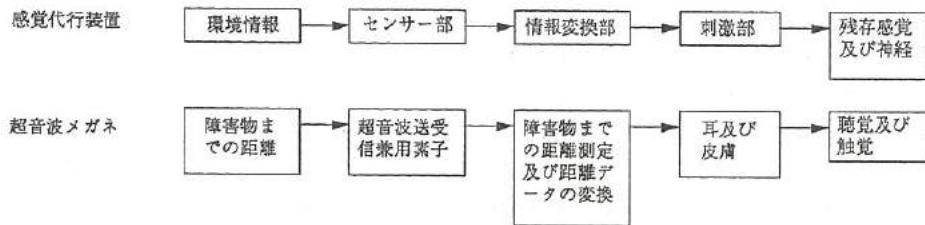


図1. 超音波メガネの構造

Fig 1. The structure of ultra sonic glasses

図1の基本的構成をもとに開発・試作した超音波メガネの詳細について解説する。

#### 1) 発振源

超音波メガネとして、歩行時、身に付けて支障をきたさないものが必要となり、コンパクトなものが要求されるため、本研究では、サイズ及び重量の関係から、超音波の発振源として、電歪型の超音波送受信兼用素子（村田製作所製 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。

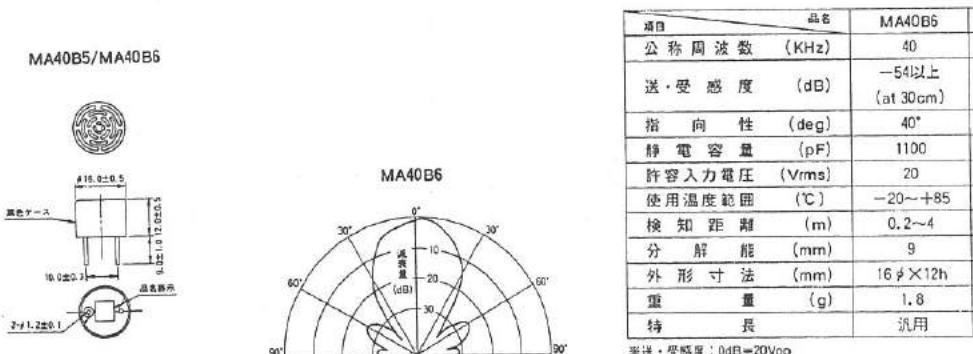


図2. 超音波送受信兼用素子の外観図及びその基本特性

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

## 2) 距離測定回路

視覚障害者から障害物までの距離データを求めるために、超音波の発振源から、障害物による反射波の受信にいたるまでの時間を測定した。いま図3のようなモデルを考えると、視覚障害者から障害物までの距離をLとすると、Lは次の式で求められる。

$$V = 331.5 + 0.6t \quad (V: \text{音速}, t: \text{温度})$$

$$L = V \times S / 2 \quad (S: \text{超音波の到達時間})$$

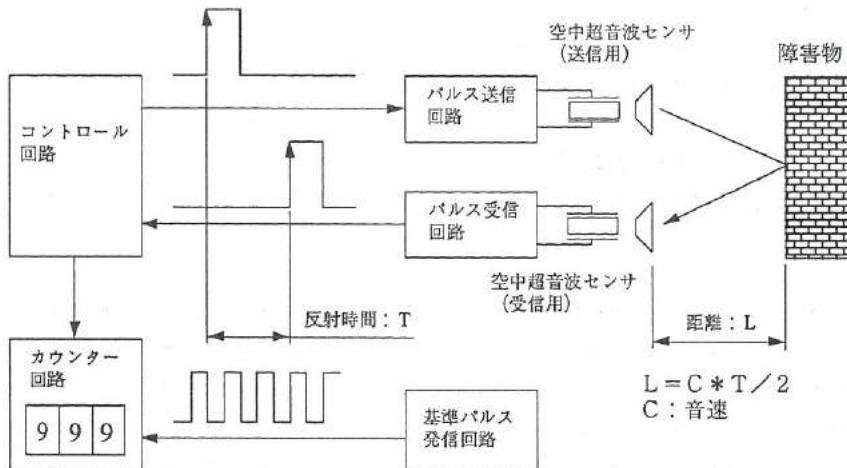


図3. 距離測定の原理図 (パルス反射法)

Fig 3. Principle of measurement of the distance between oscillator and reflector

本研究では、センサー部に超音波送受信兼用素子を用いているので、送信時の素子の機械的振動が減衰しないうちに受信信号を受け取ると、2つの信号の判別がつかなくなる。その混乱を避けるため、送信開始後からある一定の時間(3 msec)は受信信号を受け付けないような遮断回路を設けた。しかし、この回路を付加することにより、障害物がごく近くにあり、受信信号が早く戻ってくる場合は、その信号が認識できなくなるが、その距離は20cm程度なのでそれほど問題にならない距離である。また、測定可能な最長距離は、少なくとも視覚障害者が用いる杖より長く設定し、本研究では約3mとした。したがって、本研究で試作した超音波メガネは、使用者からの距離が20~220cmの範囲内の障害物を認識するものと設計されている。図4に、超音波メガネのブロック図を示す。

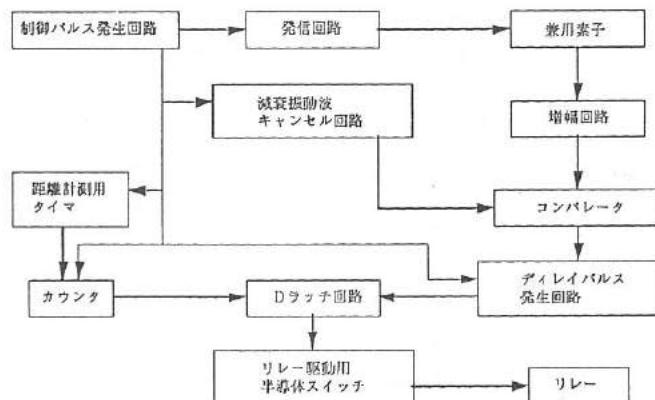


図4. ブロック図

Fig 4. Schematic diagram of ultra sonic glasses

## 2. 2 実験内容

### (1) 超音波送受信兼用素子を用い、その素子特性についての測定

素子のもつ特性を測定するために、以下の事項について行った。

- a) 距離と音波の減衰特性
- b) 指向特性
- c) 銅板と用いての反射物体の検出範囲の測定
- d) ポールを用いての反射物体の検出範囲の測定

### (2) 距離データを聴覚により伝達する方法の検討

距離データを聴覚により、伝達する方法として、今回は、障害物までの距離データをパルス音の発振間隔変化に変換する回路を検討した。

本研究のために試作した回路は、遠近感を決定する距離の分解能を5 cmに設定し、最短から最長まで50段階のレベルで遠近感を認識できるようにした。回路の原理について記述すると、超音波の送信時からある周波数のパルスをカウンタICによりカウントし、受信信号を受けた時点でカウントデータをレジスタに転送する。このレジスタは、ほぼ1:2:4:8の比の抵抗値を有する固定抵抗に接続され双方向スイッチICに接続されており、レジスタ内のBCDデータが最大1Mオームの抵抗値を段階的に作り出す。そして、この抵抗値は、CRタイマーの外部抵抗となり、パルス音の発振間隔変化を作り出すことになる。図7にこのシーケンスのタイミングチャートを示す

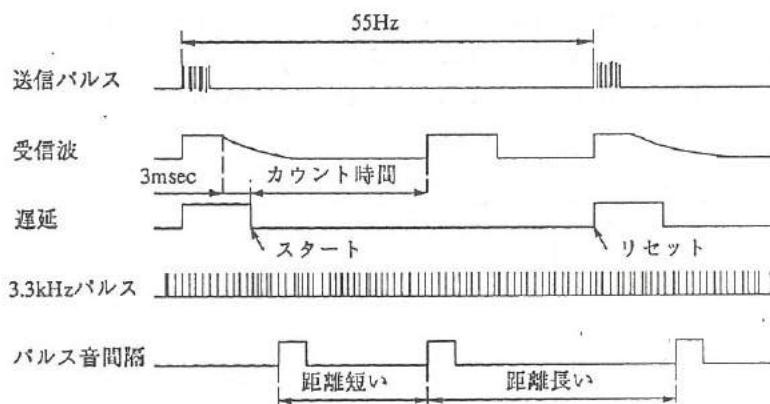


図5. タイミングチャート

Fig 5. Timing chart of this instrument

### (3) 距離データを触覚により伝達する方法の検討

距離データを触覚により伝達する方法として、本研究では振動子として電磁リレー（図9参照）5個用い、使用者から反射物体までの距離を5段階にわけ、その距離に対応した振動子を振動させることにより、その距離データを伝達する回路を検討した。各振動子と、その距離設定は図10のように行なった。

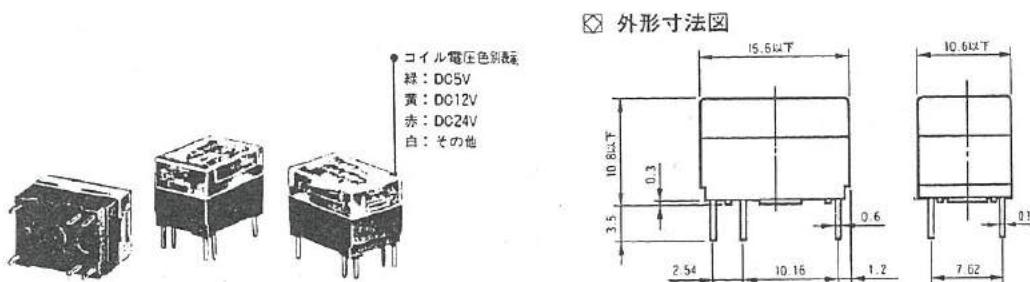


図6. 電磁リレー

Fig 6. Electro-magnetic relay

### 3. 実験結果

(1) 超音波送受信兼用素子の素子特性について求めたので、以下に示す。

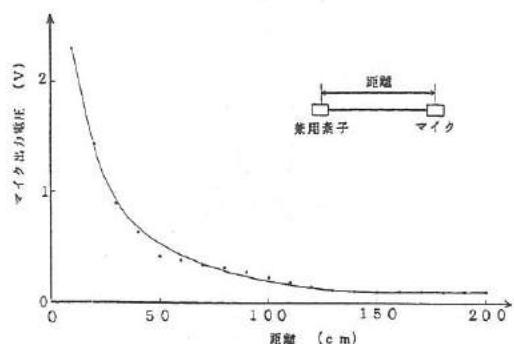


図7. 距離と音波の減衰特性

Fig 7. Relationship Decay curve of sound and distance

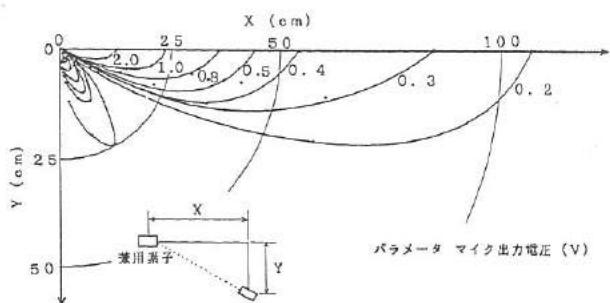


図8. 指向特性

Fig 8. Directional characteristics of ultra sonic device

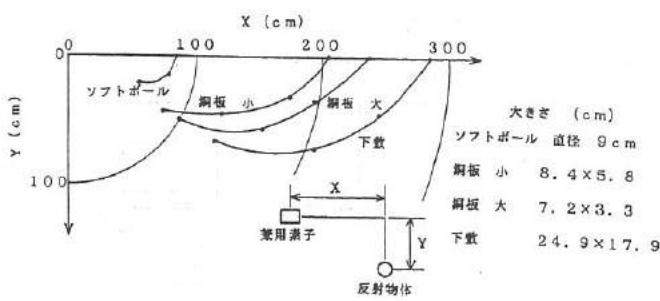


図9. 銅板を用いての反射物体の検出範囲

Fig 9. Reflecter characteristics of copper plate

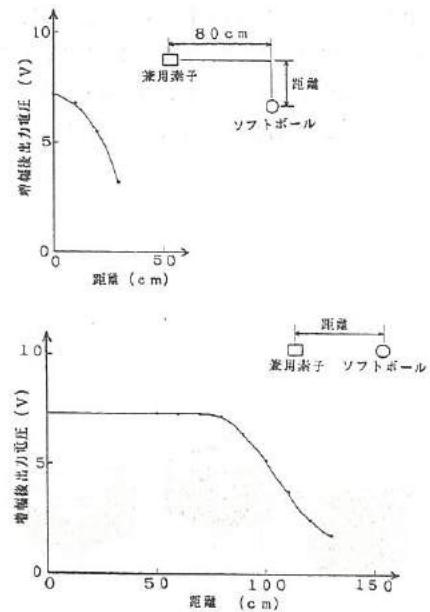


図10. ボールを用いての反射物体の検出範囲

Fig 10. Reflection characteristics of ball

#### (2) 距離データを聴覚により伝達する方法の検討

本研究をまとめるためにあたり試作した装置を実際の歩行補助器具として健常者に目隠しをしてもらい、歩行場所は椅子等の障害物を仮に設置した廊下で使用してみた。その結果は歩行速度は遅かったが、障害物及び壁等を避けながら約50mの距離を歩行できた。

#### (3) 距離データを触覚により伝達する方法の検討

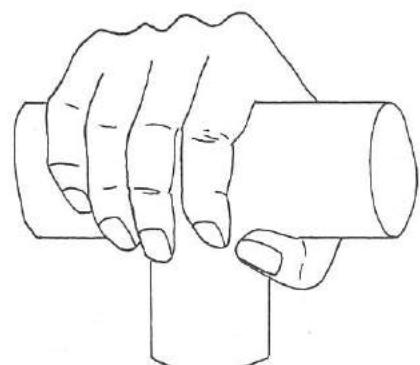
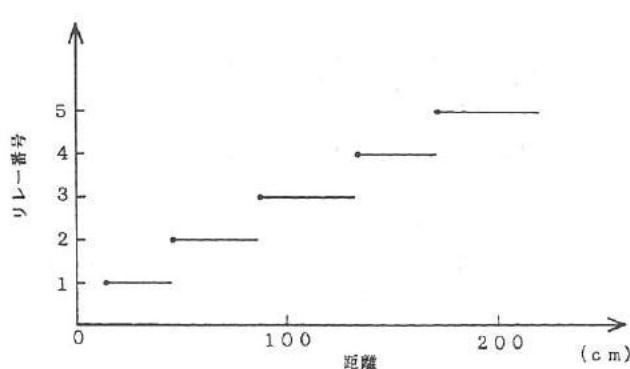


図11. リレー装着状態とその特性

Fig 11. Stimulating states to palm by relay

#### 4. 討論

超音波の特性として、その距離と、音波の減衰特性は、図7により、指數関数的に減衰していることがわかる。また、超音波送受信兼用素子の特性として、図8、9、10より、反射物体が音源に対して垂直面を持っては識別できる。反射物体が球体などのように音源に対して垂直面がわざかなものは、ほとんど検出できないため、その増幅度についての検討を行なわなければならない。また、それと同時に増幅度を上げた場合、ノイズレベルとの判別がつかなくなることが予想されるため、現状では上記の不具合については無視せざるを得ない。また、今後は反射物体の材質により、その反射波の出力がどのように異なるかについての測定を行なう必要がある。また図11はリレー装着状態とその特性を示す。また図12には杖に超音波装置を装着すると同時に、その反射信号で手に触れるリレーを駆動させ、距離を知らせている様子を示す。

距離データの伝達方法として、聴覚を利用する方法について検討を行なった。試作した回路はパルス音の発振間隔変化によって距離の認識を行なうものだが、本研究では距離の分解能を5cmに設定した。しかし、その距離5cmの変化がパルス音の発振間隔変化として認識できなかった。また、障害物の移動速度が早い場合、もしくは超音波メガネを上下左右に素早く振った場合に、音の間隔変化が起こらないことがあった。これは、センサーが検知しなかったのか、または回路が追従できないのか確認する必要がある。超音波メガネとしては、致命的なこととして、くぼみや下り階段等に関して全く対応しきれないでの、杖との併用あるいは、杖との一体化が必要となってくる。この方法を実施するには、パルス音の発信間隔変化がどの程度人間の聴覚として、受け取えることができるか実験し、人間の聴覚の能力をより深く把握する必要がある。

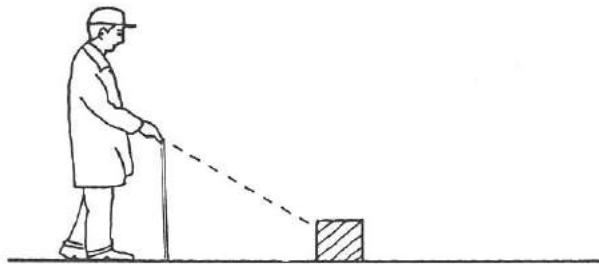


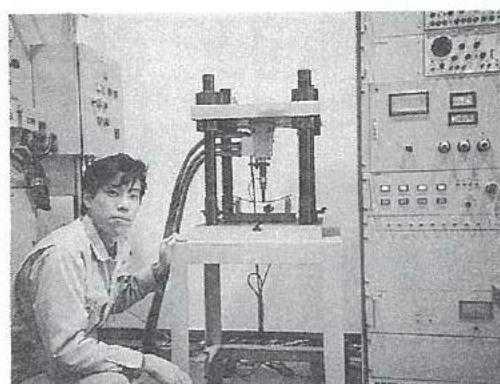
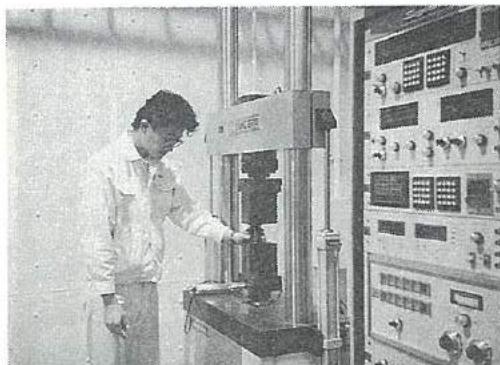
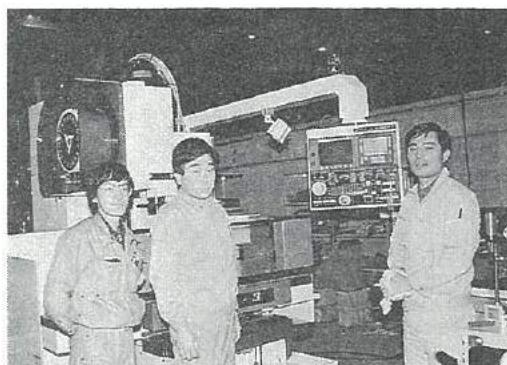
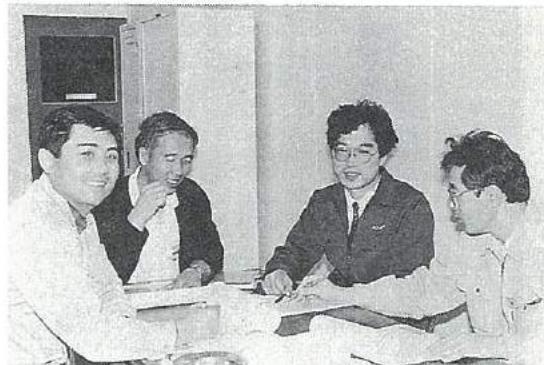
図12. 超音波探索装置のついた杖

Fig 12. Stick arranged by probe of ultra sonic wave

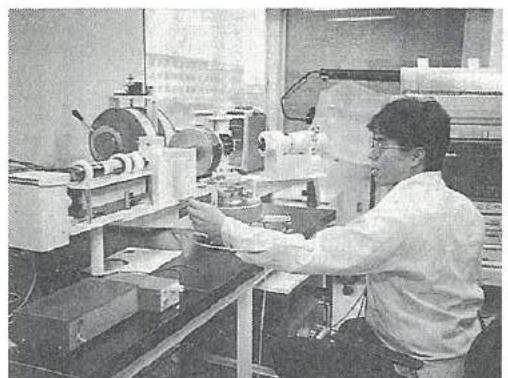
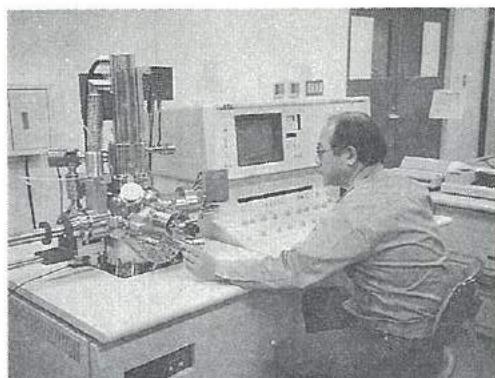
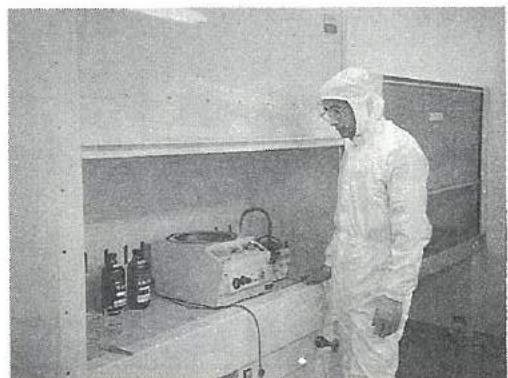
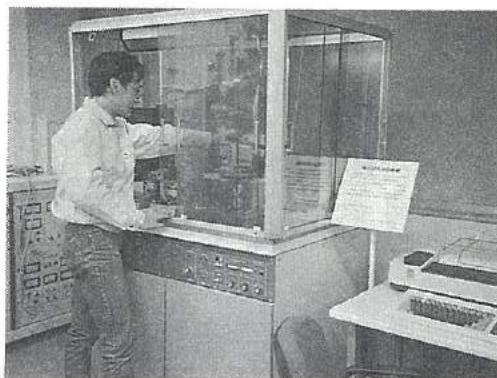
#### 参考文献

- 和氣 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 順：「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 - 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 順：「感覚補綴・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 順：「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, 400/403 (1983)  
吉本 千穂：「盲人および聾者の感覚代行補助」医用電子と生体工学 22, 401/406 (1984)  
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)

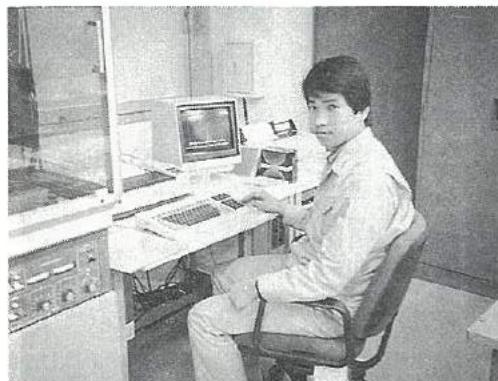
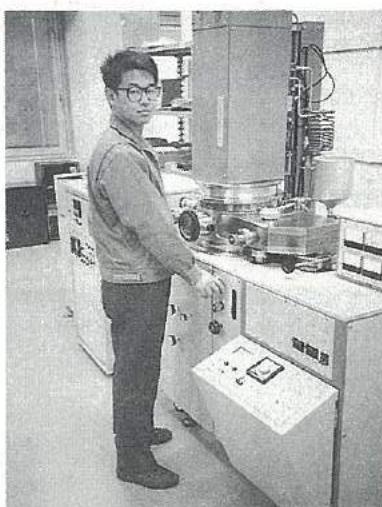
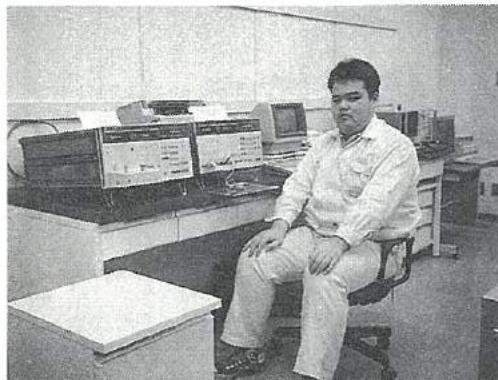
## 「複合材バネの開発」グループの研究活動風景



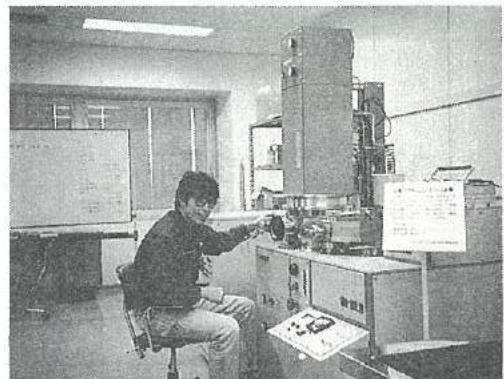
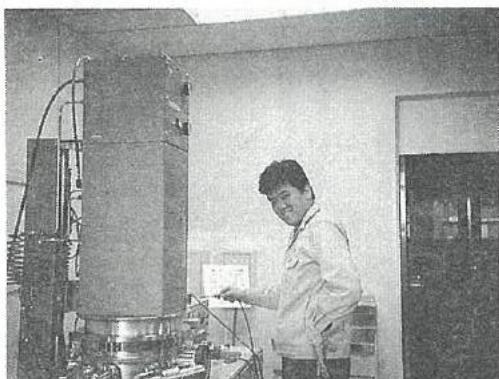
## 「ZnO系薄膜の開発」グループの研究活動風景



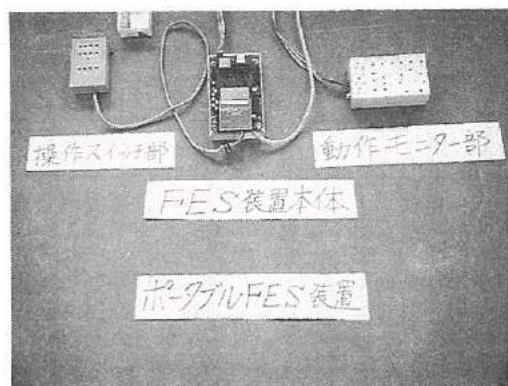
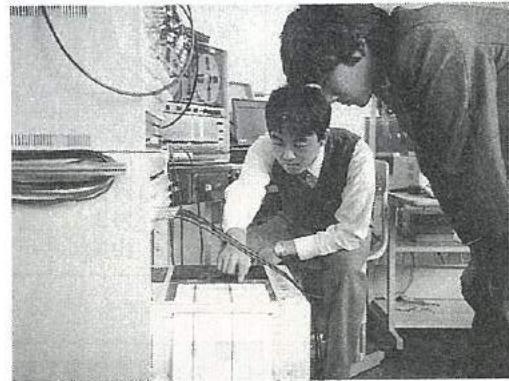
## 「赤外線センサの開発」グループの研究活動風景



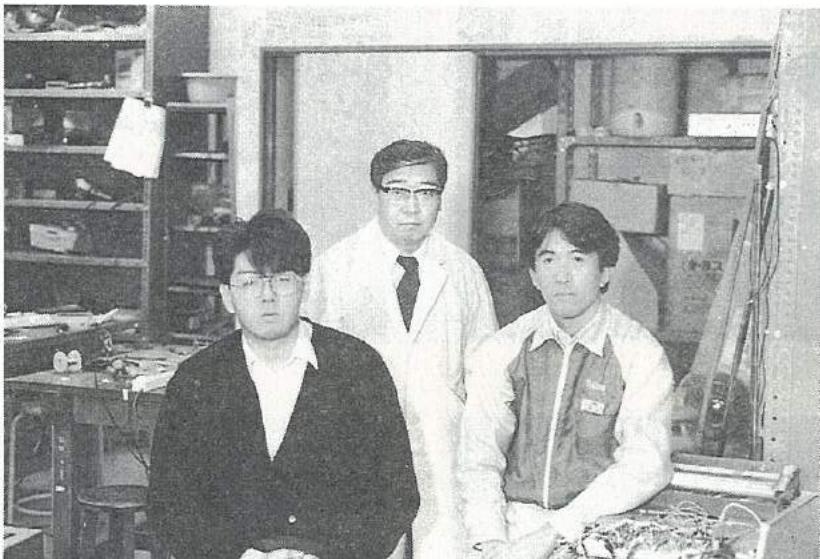
## 「磁性薄膜の開発」グループの研究活動風景



## 「マンマシンシステムの開発」グループの研究活動風景



「超音波メガネの開発」グループの研究活動風景



## 会員企業

平成2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	株和泉電気富山製作所	藤田 貞三	舟岡 矩夫	0764-69-2151
2	株インテック	金岡 幸二	水野 武	0764-32-5511
3	エルコー㈱	飴 久晴	町野 利道	0764-32-8151
4	北日本電子㈱	中村 正夫	北村 紹幸	0764-51-2155
5	㈱黒田精型	黒田 辰春	米陀 正行	0765-32-8006
6	㈱齊藤製作所	齊藤 恵三	森本 政典	0764-23-4541
7	サクセス・マーケティング㈱	鈴木 幸夫	中沢 光典	0764-25-4547
8	㈱スギノマシン	杉野 博	龍口 幹夫	0765-24-5111
9	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
10	㈱タカギセイコー	松木 康祐	高多 修三	0766-24-5522
11	タカノギケン㈱	高野 啓良	奥野 弘之	0764-55-2525
12	武内プレス工業㈱	武内 宗八	中沢 行雄	0764-41-1856
13	立山科学工業㈱	水口 昭一郎	掘田 孝章	0764-29-3588
14	立山電化工業㈱	園 國晶	富雄 鈴木	0766-23-2377
15	㈱タナカエンジニアリング	田中儀一郎	川上 吉夫	0764-51-5600
16	東洋化工㈱	中田 守人	田上 輝次	0764-75-2125
17	㈱東洋電制製作所	片山 俊雄	近堂 純也	0764-72-0381
18	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
19	NKK㈱(日本钢管) 富山製造所	笛生 宏明	川崎 清	0766-84-4171
20	㈱不二越東富山製鋼所	中田 隆	吉田 正就	0764-38-4411
21	北陸電気工業㈱	中村 正夫	横山 充	0764-67-1111
22	マルマス機械㈱	平野 治親	浅野 浩一	0764-72-2233
23	吉田工業㈱黒部工場	吉田 忠雄	大村 啓敦	0765-57-1111
24	燐化学工業㈱	中村 久一	金山 敦	0766-86-2511

運営アドバイザー：富山県工業技術センター機械電子研究所 東保 喜八郎 0764-33-5466

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

### 研究会員（研究幹事）

氏名	所属・役職・学位・電話
植谷 松野 哲太郎 哲克巳	富山技術短期大学 教授 工学博士 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 0766-56-2495 0764-33-5466
八山 木本 寛敏泰	富山大学工学部 教授 工学博士 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 0764-41-1271 0764-38-2233

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2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。