

平成 7 年 度

( 第 9 回 )

若い研究者を育てる会研究発表会

# 研究論文集

平成 8 年 3 月 15 日 ( 金 )

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター機械電子研究所

富山県高志リハビリテーション病院

富山大学工学部

富山県立大学工学部

富山医科薬科大学

# ご あ い さ つ

会長 中 田 守 人

「若い研究者を育てる会」が設立されてから来年で丁度10年になろうとしています。この間に日本や世界では実に多くの技術開発が実行され、産業界を始めとする社会のあらゆる分野で以前とは比較にならない生活の進歩がありました。技術の進歩に比べて現在の我が国の経済は閉塞状況にあります。



技術の進歩が経済の促進に大きく寄与していない現象は”日本の産業の交代”という新しい産業革命を呼び起こしています。更に成熟しつつある我が国の市場経済は自動車、家電産業から情報通信・医療・サービス産業へと重心を移動させようとしています。この流れは当然、研究開発の分野においても、実験の後で論理を構成して物作りを優先していた傾向から、研究計画の立案における初期流動管理化へとシフト移動を示しています。また、このようなシフトは大企業の大規模な研究体制から、多様性のある色彩豊かな小規模集団による技術開発への移動を意味し、研究者の質と量の変化を意味します。このような研究体制は「若研」が当初から求めていた理念でもあります。

10年を技術開発の1つの節目としますと、当研究会が次のさらなる10年でどのような変化を遂げているのか、将来の新しい出会いを思い浮かべるに、これを今後も育成していただける富山県工業技術センター、地元大学、そして企業経営者の方々に厚い感謝を捧げる次第です。

# 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21社）の研究者が8つの研究課題とグループを定め、平成7年5月から富山県工業技術センター機械電子研究所において7グループ（7テーマ）、および富山県高志リハビリテーション病院において1グループ（1テーマ）の計8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7グループの研究の概要は次のようなものである。



- ①「視覚システムを持つ移動ロボットの開発（2）」の研究グループ（参加企業2社）では、知覚システムを通して周囲の状況を認識し、次の行動を自ら決定、行動する自律走行型ロボットの開発を最終目標として、今年度は視覚情報を用い、廊下等のコーナーや障害物を識別しながら移動するロボットの開発を試みた。

この研究から、(1) 直進時に30m/min（昨年度は0.6m/min）の高速走行が可能となった、(2) 廊下の曲がり角を検出し、そのコーナーを曲がるのが可能となった、および(3) 前方に障害物がある場合は停止し、障害物が存在しなくなった時には再び走行を開始するロボットを開発した、などの成果を得た。

- ②「金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、冷間鍛造における鍛造工程分割や金型形状を最適化するために、金型設計段階での金型内の応力分布や材料の流れを評価するための鍛造成形シミュレーションの開発を試みた。

この研究から、(1) 汎用構造解析プログラムをベースにして、プランクと金型との接触、摩擦解析や有限要素のリゾーニングなどの技術を適切に導入することにより、鍛造成形シミュレーションは容易に実行できる、(2) 実際の高速度掘込み試験のデータに基づいた簡易な変形抵抗式を用いた場合、比較的高い精度の解析が可能である、および(3) 軸対称形状の鍛造品に対しては、本研究で開発したシミュレーションは金型設計段階で十分に実用可能である、などの成果を得た。

- ③「電子回路用ウエットエッチング液の開発」の研究グループ（参加企業1社）では、LCDのアルミ配線用のリン酸-硝酸-酢酸-水系ウエットエッチング液について、それぞれの濃度や溶存アルミ濃度などが配線用アルミ膜のエッチング速度やテーパ形状などに及ぼす影響を実験、調査した。

この研究から、(1) 硝酸濃度を調整することでテーパ角度を制御することが可能である、(2) 酢酸濃度を高くするとエッチング速度は低下するが、酢酸にはレジスト材の保護と水素ガス離脱促進作用がある、(3) 水を少量添加することによってエッチング速度は安定する、(4) 溶存アルミ量が5g/l前後ではエッチング速度およびテーパ形状には大きな影響を及ぼさない、および(5) 浴温は40℃前後が最適である、などの成果を得た。

- ④「形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発」の研究グループ（参加企業3社）では、NiTi系形状記憶合金薄膜素子を用いたグリップ方式可逆動作型マイクロアクチュエータの開発を試みた。

この研究から、(1) NiTi膜を剥離するための下地材料としては、フォトレジストを熱硬化させたものが最も適する、(2) 形状記憶合金薄膜アクチュエータのバイアス膜にはNiおよびCr膜が適する、(3) グリップ方式アクチュエータを試作したところ、電流のON-OFFでグリップを開閉することができた、および(4) NiTi形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの作製プロセスを確立した、などの成果を得た。

- ⑤「微動機構による機械の高度化の研究」の研究グループ（参加企業1社）では、工作機械の工作精度の高度化を図ることを目的として、工作機械の移動テーブルの真直度誤差をレーザー光の直進性を基準とした光位置検出器で検出し、圧電アクチュエータによる微動装置によって補正するシステムを試作、評価した。

この研究から、(1) LDによる光位置検出方法は測定環境、LDの強度、レーザー駆動後の経過時間などが精度、感度に影響を及ぼす、(2) 試作した真直度補正システムによって送りテーブルの真直度補正を行ったところ、鉛直方向で $0.5\mu\text{m}$ 、水平方向で $1\mu\text{m}$ 程度に真直度を抑えることが可能であった、および(3) 試作したシステムを機械加工に適用したところ、低速回転時には真直度に改善が見られたが、高速回転時には応答性に問題が生じた、などの成果を得た。

- ⑥「薄膜磁歪素子の研究」の研究グループ（参加企業2社）では、希土類-遷移金属化合物の中でも磁歪が特に大きいTb-FeおよびSm-Fe系の金属化合物薄膜を作製し、弱磁界で大きな歪みを示す材料の開発を試みた。

この研究から、(1) Tb-Fe膜はTb量が40at%付近の狭い領域で磁気歪みが大きくなり、特にTb41-Fe59at%のもの低磁界での歪み量は最大を示した、(2) Sm-Fe膜はSm量が30~40at%の領域で磁気歪みが大きくなり、特にSm37-Fe63at%のもの低磁界での歪み量は最大を示した、および(3) アルミ箔の両面にTb-Fe膜およびSm-Fe膜を着膜したバイモルフ型片持ちはりアクチュエータは、1kOeの低磁界で $250\mu\text{m}$ の変位を示した、などの成果を得た。

- ⑦「レドックス型太陽発電システムの開発」の研究グループ（参加企業2社、公設試1機関）では、低価格、高性能のレドックス（酸化還元）型太陽電池の開発を最終目標として、今年度はTiO<sub>2</sub>膜を用いた液体電解質型太陽電池の性能に対して基礎的な検討を加えた。

この研究から、(1) Ti板の熱酸化膜では、表面にTiアルコキシドを塗布したものが比較的高い光電変換電力密度を示す、(2) ソルーゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜の焼成条件は450℃、1時間程度で十分である、および(3) ソルーゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜では、電解液にNaOH水溶液を用いたものが比較的高い光電変換電力密度を示す、などの成果を得た。

次に、高志リハビリテーション病院で実施した1グループの研究概要を示す。

高志リハビリテーション病院 理学博士 山本 敏泰

⑧「障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(3)」の研究グループ(参加企業1社)。

電動車椅子利用者という比較的重度な障害者を対象にした統合化屋内環境制御システムについて検討を加えてきた。第1および第2年度においては車椅子用ジョイスティックを利用したパソコンのリモート制御装置の試作と、その応用方法について検討を加えた。また、屋内の家電製品、照明、更に電話や緊急通報などの通信機能を含む統合化について検討を加えた。

本年度においてはそのシステムの実現に向けて、高岡ウエルフェアテクノハウスの場において統合化機器操作支援システムの基盤整備の一貫として、環境制御装置のあり方について具体的な検討を加えることができた。

本論文は、障害者のための環境制御装置のあり方を含めたシステム開発の概要について述べている。



以上、本書は8つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も本会もしくはそれぞれの企業などにおいて、継続して研究を進めていく必要があるものと考えている。また、過去9年間で実施した55テーマの成果はすでに関連学会で発表、もしくは今年中に発表を予定し、特許は共同で数件出願している。これらの内の幾つかのものは企業化や生産ラインの自動化などに応用されているものもある。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立つものであることを確信している。

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

(谷野記)

平成8年3月

# 研究グループの構成

## I. 「視覚システムを持つ移動ロボットの開発(2)」グループ

研究担当者	高田 謙一 (コーセル㈱)
	大浦 真司 (三協アルミニウム工業㈱)
研究指導者	藤城 敏史 (工業技術センター機械電子研)
	松田 敏弘 ( " )
	鍋澤 浩文 ( " )
	清水 孝晃 ( " )
	谷野 克巳 ( " )

## II. 「金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究」グループ

研究担当者	永森 和久 (㈱タナカエンジニアリング)
研究指導者	佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)
	松本 岩男 ( " )
	高林 外広 ( " )
	清水 孝晃 ( " )
	谷野 克巳 ( " )

## III. 「電子回路用ウエットエッチング液の開発」グループ

研究担当者	山口 睦 (燐化学工業㈱)
研究指導者	二口 友昭 (工業技術センター機械電子研)
	松田 敏弘 ( " )
	谷野 克巳 ( " )

## IV. 「形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発」グループ

研究担当者	高橋 伸忠 (㈱タカギセイコー)
	山下 慎也 (㈱タナカエンジニアリング)
	能村 輝一 (北陸電気工業㈱)
研究指導者	高林 外広 (工業技術センター機械電子研)
	藤城 敏史 ( " )
	鍋澤 浩文 ( " )
	谷野 克巳 ( " )

V. 「微動機構による機械の高度化の研究」グループ

研究担当者	佐野 仁一（東洋化工(株)）
研究指導者	杉森 博（工業技術センター機械電子研）
	中川 章（ ” ）
	浅田 峯夫（ ” ）
	清水 孝晃（ ” ）
	谷野 克巳（ ” ）

VI. 「薄膜超磁歪素子の研究」グループ

研究担当者	酒井 隆正（コーセル(株)）
	谷上 英樹（北陸電気工業(株)）
研究指導者	浅田 峯夫（工業技術センター機械電子研）
	田村 幾夫（ ” ）
	谷野 克巳（ ” ）

VII. 「レドックス型太陽発電システムの開発」グループ

研究担当者	三井 清隆（(株)タナカエンジニアリング）
	市川 良雄（富山軽金属工業(株)）
	大橋 伸一（ ” ）
	長谷川益夫（林業技術センター木材試験場）
研究指導者	松田 敏弘（工業技術センター機械電子研）
	高林 外広（ ” ）
	鍋澤 浩文（ ” ）
	谷野 克巳（ ” ）

VIII. 「障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（3）」グループ

研究担当者	五十嵐隆治（立山アルミニウム工業(株)）
研究指導者	山本 敏泰（高志リハビリテーション病院）

註：各グループ中、企業名は50音順



# 目 次

I. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発 (2)	1
1. 緒 言	1
2. 移動ロボットの3次元計測と制御方法	2
3. 「まがる君」の開発	3
4. 結 言	8
II. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究	9
1. 緒 言	9
2. 冷間鍛造の現状	9
3. 解析モデルおよび解析手法	10
4. 鍛造材料の変形抵抗式	11
5. 簡易形状品によるシミュレーションの検証	12
6. 金型設計への適用	14
7. 結 言	16
III. 電子回路用ウェットエッチング液の開発	17
1. 緒 言	17
2. 実験方法	18
3. 結果および考察	19
4. 結 言	22
IV. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発	23
1. 緒 言	23
2. アクチュエータの動作原理	24
3. 実験方法	24
4. 結果および考察	26
5. 結 言	28
V. 微動機構による機械の高度化の研究	29
1. 緒 言	29
2. 真直度の補正方法	29
3. 実験装置および特性評価	30
4. 送りテーブルの真直度補正	33
5. 機械加工への適用	34
5. 結 言	34

<b>VI. 薄膜超磁歪素子の研究</b>	-----	35
1. 緒言	-----	35
2. 超磁歪材料について	-----	35
3. 試料の作製および測定方法	-----	36
4. 実験結果および考察	-----	37
5. 片持ちはりアクチュエータの試作	-----	40
6. 結言	-----	41
<b>VII. レドックス型太陽発電システムの開発</b>	-----	42
1. 緒言	-----	42
2. レドックス型太陽電池	-----	43
3. 試料の作製と実験方法	-----	43
4. 結果および考察	-----	45
5. 結言	-----	49
<b>VIII. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(3)</b>	-----	50
1. 緒言	-----	50
2. 統合化環境制御装置について	-----	50
3. ハードウェアの構成	-----	51
4. 環境制御装置の画面操作方式の検討	-----	51
5. 表示画面の例	-----	53
6. インターフェース検討委員会の仕様案との比較	-----	54
7. 結言	-----	55
○各研究グループの研究風景	-----	付-1
○「若い研究者を育てる会」9年間の研究活動の足跡	-----	付-9
○第2回『中学・高校生の自作ミニチュアマシンサッカーゲームコンテスト』の概要	-----	付-15
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-17
○入会申込書	-----	付-18

# I. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発(2)

## Development of a Mobile Robot with Vision System (2)

高田 謙一 TAKATA Ken-ichi	大浦 真司 OHURA Shinji	藤城 敏史 FUJIKI Satoshi	松田 敏弘 MATSUDA Toshihiro
鍋澤 浩文 NABESAWA Hirofumi	清水 孝晃 SHIMIZU Taka-aki	谷野 克巳 TANINO Katsumi	

### Abstract

In contrast to industrial use, robot is not be yet general in consumer application such as household and medical care. This type of robot should accommodate itself to unpredictable environment and should manipulate complicated job. It is essential for it to recognize the environment through its sensory systems and to decide following actions.

Last year, we developed a mobile robot with vision system (Massugu-Kun) which provided quite basic capabilities among those above-mentioned. This year, based on the preceding work, we improved its capabilities such as turning corners and detecting obstacles. The robot (Magaru-kun) has new stepping motors whose gear ratio is smaller than before, more over can be made to move 50 times faster. Besides the head camera, 3 CCD cameras ( front, left and right of the body) were added for the control of turn of corners. The control procedure of the turning is as follows:

- (1) Move along the wall until detecting the corner with head camera
- (2) Calculate the distance from the corner and proceed before the corner
- (3) Switch to the left(right) camera and proceed to the position starting the turn
- (4) Turn the corner controlling its position with left(right) camera
- (5) Repeat (1) through (4).

Throughout the movement, the robot examines with front camera whether there is obstacle or not in its way. If it detects the obstacle, the robot stops until the obstacle is removed. To maintain reasonable time of complicated image processing, we improved some software programs such as Hough Transformation routine.

### 1. 緒言

近年、ロボットの産業分野への応用は一般化しつつあるが、将来的には労働力の不足などに対応するため、より人間に近い自律型のロボットの登場が望まれている。このようなロボットは単機能的なロボットではなく、自分の周囲の環境を適切に把握し、作業の手順や条件などを自分で決定して、未知の環境下でも適切な行動ができる能力を持つことが必要とされる。

周囲の環境を把握する方法としては、人の五感にあたる目や耳などの機能を持つことであるが、これらのうち目に当たる視覚の情報量が最も多いと言われている。また、人の頭脳に当たる判断部分には遺伝的手法やニューラルネットワークなどの応用が試みられているが、開発は依然として遅れている。

昨年は、ホームメイドロボットや看護ロボットなどの日常生活に適合した自律型のロボットの開発を達成するための第一歩として、視覚情報を頼りに室内の壁に沿って移動するロボット(愛称は「まっすぐ君」)を試作した。本年はこのロボットの更なる性能向上を図るため、壁に沿って移動するだけでなく、廊下などの曲がり角に沿って移動し、さらに前方の障害物の検知も行うロボット(愛称は「まがる君」)の開発を行った。

## 2. 移動ロボットの3次元計測と制御方法

移動ロボットが行動を決定するためには、周囲の環境を把握する必要がある。ロボットが存在する空間は3次元空間であり、この空間の情報を把握する方法としては光を利用する光学的手法や超音波を利用する音響学的手法などがある。本研究では周囲の環境を把握する方法として、より多くの情報が得られる光学的手法を採用することとし、視覚情報源としてCCDカメラを利用した。

光学的な3次元計測法としては種々の方法が挙げられるが、自ら光等を照射する能動的な方法で、対象となる計測物体からは必ずしも有効な反射光を得られない場合がある。このため「まがる君」では光照射を行わない方法を採用した。3次元計測には両眼視が有効であるが、床からの情報を主に利用することや、ロボット（カメラ）が移動している時の視覚情報を運動視として利用できる可能性があるため、コストが安く、構造を簡単にできる単眼視を採用した。

「まがる君」は、画像情報から壁が自分より「どれくらいの距離」にあり、壁に対して「どれくらいの角度」で動いているかを認知して行動を決定している。図1は自分の位置および姿勢を画像情報から推定する方法を示す。

最初に、カメラを壁と床面の境界に向け、境界線で輝度が増えることを利用して、境界線を一つの線分として抽出する。その後、画面左上の原点から線分におろした垂線の長さ（ $\rho$ ）と傾き（ $\theta$ ）から、壁からの距離（ $L$ ）と姿勢（ $\gamma$ ）を推定して、次の行動を選択する。 $L$ と $\gamma$ はカメラの上下角（ $\alpha$ ）と左右角（ $\beta$ ）およびカメラの取り付け高さ（ $H$ ）が決まれば、画面上の $\rho$ と $\theta$ から計算が可能である。

図2は床面と壁との境界線を抽出する方法を示す。境界で輝度が増える特徴を利用し、カメラから取り込んだ原画（図2(a)）をSobel2次微分し輝度変化を計算する。この結果を2値化して境界線と思われる点の集合を抽出する（図2(b)）。

これらの点の集合から線分を求める方法としては以下に述べるHough変換を利用する。

画像上にある点 $P(x,y)$ を通る全ての直線は、画面の左上を原点とする極座標系（ $\rho-\theta$ ）では、 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$  で表すことができる（図2(c)）。

ここで、 $\theta$ を $0 \sim 180^\circ$ の範囲で変化させると $\rho$ の値は $\rho-\theta$ 空間上の曲線として図2(d)ようになる。同様に点 $Q$ を通る直線も $\rho-\theta$ 空間上の別の曲線で表わすことができる。そして、この2つの曲線の交点の（ $\rho_1, \theta_1$ ）の組み合わせは図2(e)で点 $P$ と $Q$ を通る直線（ $L_0$ ）を表す。この処理を画像上の全ての点について実行すると、 $\rho-\theta$ 空間上で $n$ 個の曲線が交わる点の（ $\rho, \theta$ ）は、元の画像では $n$ 個の点を通る直線を表すことになる。

直線の候補である（ $\rho, \theta$ ）の組み合わせを、そこで交わる曲線の数を $N$ 軸としてグラフ化すると図2(e)のようにいくつかのピークを持つ3次元グラフとして表される。（ $\rho, \theta$ ）の組み合わせの値が近似している場合は、位置も傾きもほとんど変わらないので、ある範囲内の（ $\rho, \theta$ ）は同一の直線を表すものとした。

行動の選択方法としては、計算速度の向上と事前に想定されていない入力データの組み合わせにも対応できるように、 $\alpha, \beta, \rho$ および $\theta$ を入力とする3層のバックプロパゲーションニューラルネットワーク（入力層4、中間層6、出力層5）を用いた。

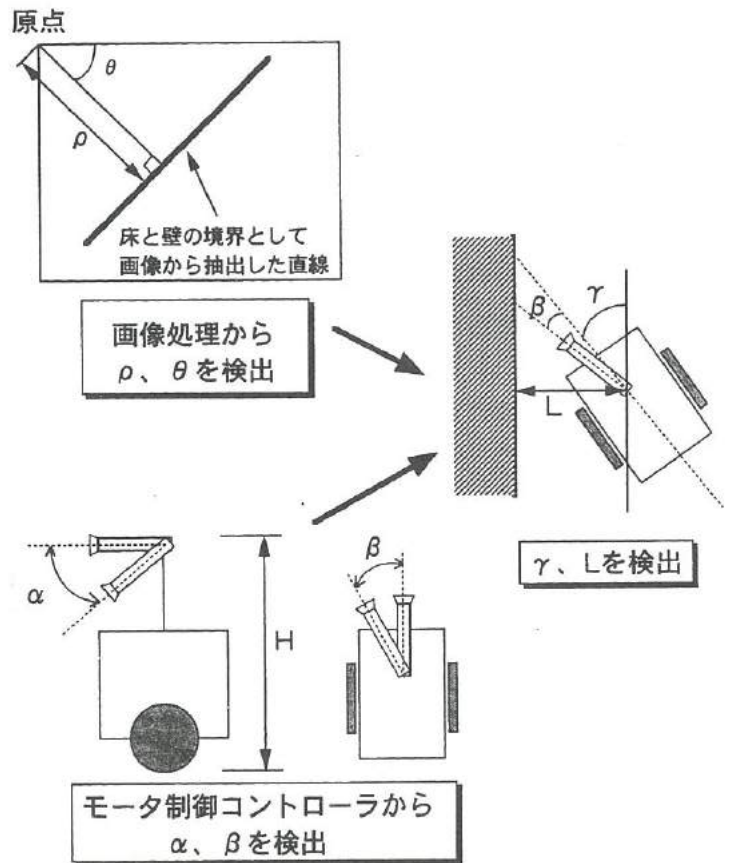
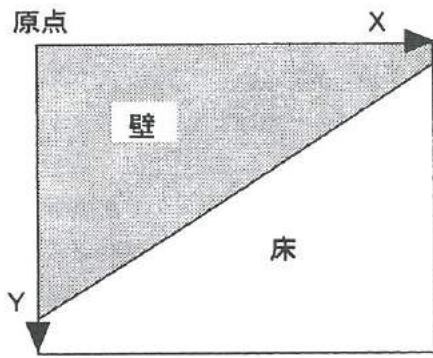
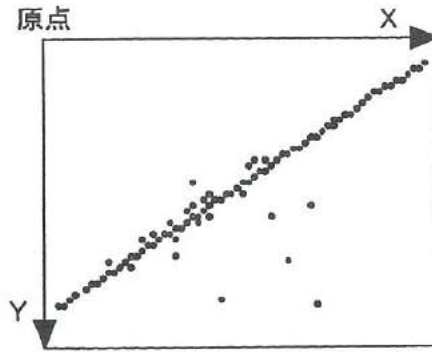


図1 移動ロボットの位置および姿勢推定方法

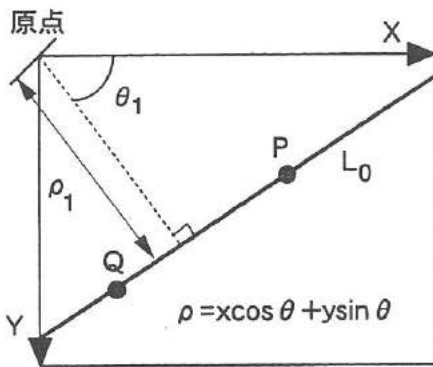
Fig.1. Location and position recognition method.



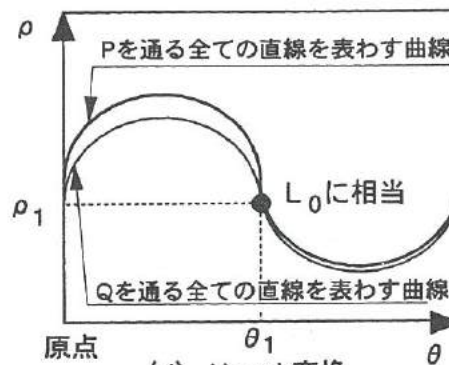
(a) 原画像



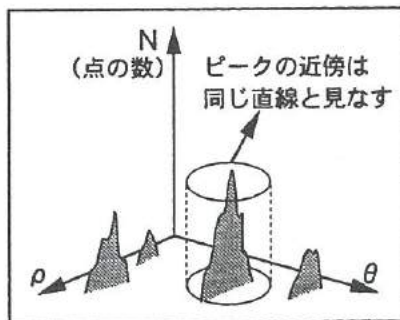
(b) Sobel処理  
(再微分処理)  
(2値化处理)



(c) 座標系の設定



(d) Hough変換



(e)  $\rho$ - $\theta$  平面上で点が重なった  
ところを直線としてとりだす

図2 境界線の抽出方法

Fig.2. Detection method of boundary line

### 3. 「まがる君」の開発

昨年度に開発した「まっすぐ君」は、0.6m/minの速度で壁に沿って移動することが可能であったが、案内ロボット程度として使用できるようにするためには、少なくとも以下のような問題を解決しなければならない。

- (1) 走行速度が遅い。
- (2) 壁面に沿った移動しかできず、曲がり角を曲がることができない。
- (3) 走行先に障害物があっても認識することができない。

以上の問題点の解決を図るため、「まがる君」の開発を行った。

### 3.1 「まがる君」の概要と走行性能の向上対策

図3は「まがる君」の概要を示す。「まがる君」の平面サイズは40×40cm、高さ（カメラ位置）は90cmである。「まがる君」の移動方法は、平坦な床面移動に限定したため車輪駆動とした。また、ロボットが一点軸で回転出来るように本体の左右に駆動輪を持つ構造とした。

走行性能の向上を図るため、「まがる君」は、昨年の「まっすぐ君」のハーモニックギヤ（ギヤ比1:100）からスパーギヤ（ギヤ比1:7.2）に変更した。また、トラクション性能向上のために車輪およびモータをウレタンブッシュによって懸架する構造に変更し、さらに、タイヤの材質を柔らかいゴムに変更した。

画像を取り込むため、頭（上下左右に回転制御が可能）、前、左および右に4台のCCDカメラを取り付け、アナログスイッチで切り替えて画像処理を行った。外部電源を使用しないで自律走行出来るように、電源には鉛蓄電池（12V、0.9Ah）を3個搭載した。車輪は直径15cmのゴム製のもので5万バルスで1回転する。カメラの動作範囲は、上下50°～-15°、左右±90°でどちらも20バルスで1°動く構造とした。

「まがる君」の制御はモータを駆動する移動部と、画像を取り込み、認識、処理する画像処理部に大別される。移動部と画像処理部はRS-232Cにより接続され、画像処理部から移動部にコマンドを送ることによって各モータを動作させている。

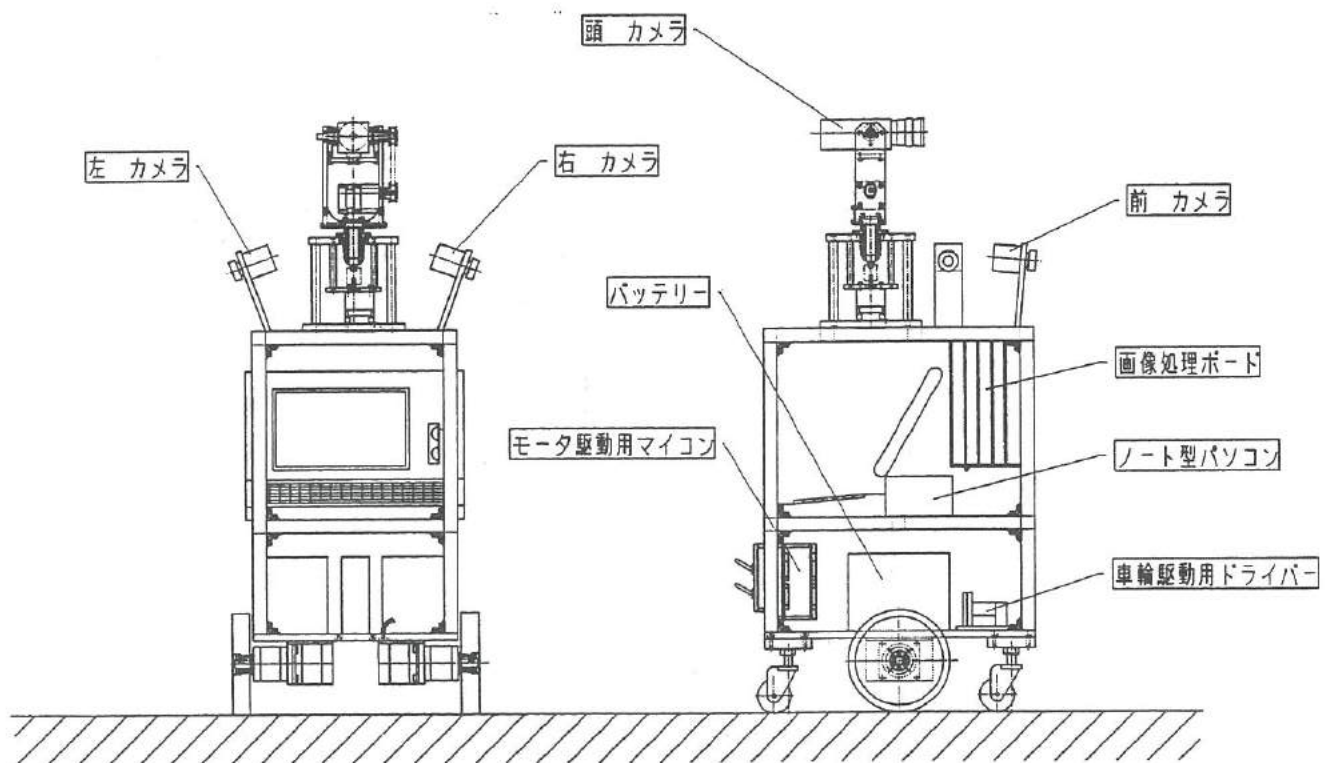


図3 「まがる君」の概要

Fig.3. Appearance of "Magaru-Kun".

### 3.2 操縦性能の向上

#### 3.2.1 角を曲がるアルゴリズム

図4は「まがる君」が角を曲がる方法を示し、以下のステップで行った。

ステップ1：頭カメラで、壁と床の境界線を検出し、壁と平行に前進する。

ステップ2：頭カメラで角を検出する。さらに画面内の角の線の位置から角までの距離を計算し、角の手前まで移動する。

ステップ3：横カメラに切り替え、角の真横まで移動する。

ステップ4：横カメラの画像を基に、回転角度を制御しながら角を曲がる。

ステップ5：頭カメラに切り替えて、壁に平行に前進する。

(1) 角の検出

ロボットが角を曲がるためには、カメラから取り込んだ画像データを基に角を検出する必要がある。検出する方法として、複数ウィンドウによる方法およびヒストグラムによる方法の2種類の方法を考え、それぞれの有効性について検討を加えた。

① 複数ウィンドウによる方法

図5は複数ウィンドウによる角の検出方法を示す。最初にウィンドウAを開き、Sobel処理、Hough変換を行ってLine1を検出し、次にウィンドウBを開いて同様に縦線（角の線）を検出する。縦線がある場合は、ウィンドウCをLine1の延長線上に開き、この中に線がない場合には角と判断する。

② ヒストグラムによる方法

図6はヒストグラムによる角の検出方法を示す。これは、角の線と思われる線の左右に小さな2つのウィンドウA、Bを設定し、それぞれの輝度のヒストグラムを比較して、パターンが異なる場合にその線は角の線と判断する。

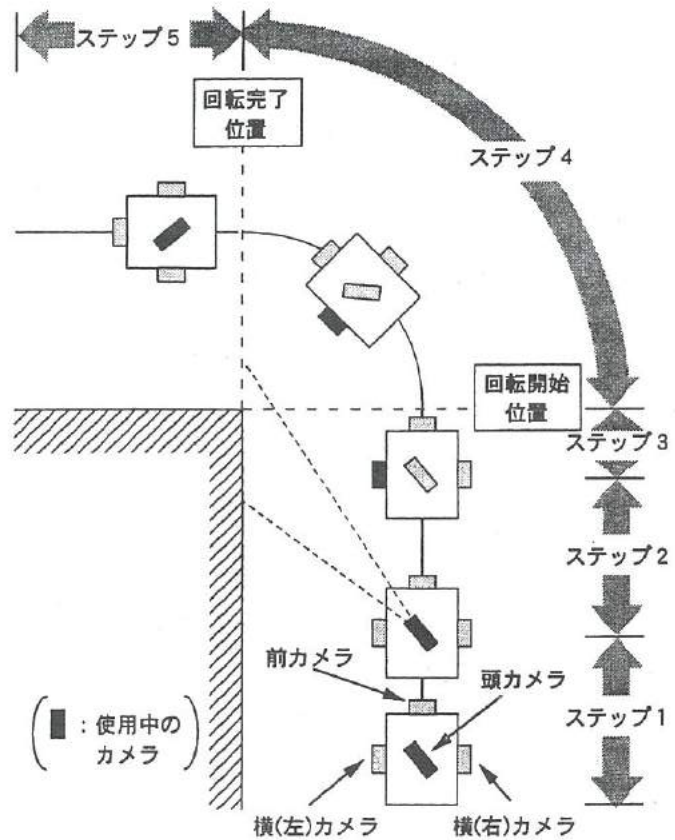


図4 角を曲がる方法

Fig.4. Turning Method of corner.

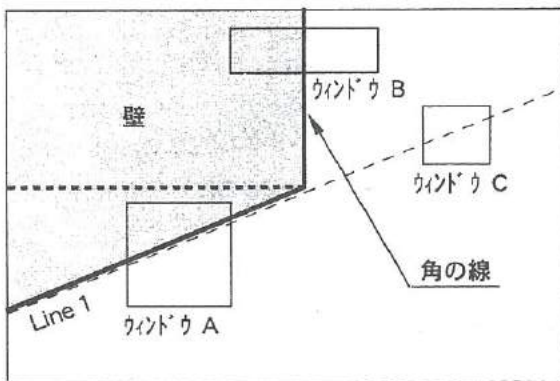


図5 複数ウィンドウによる角の検出方法

Fig.5. Detection method of corner by multi-windows.

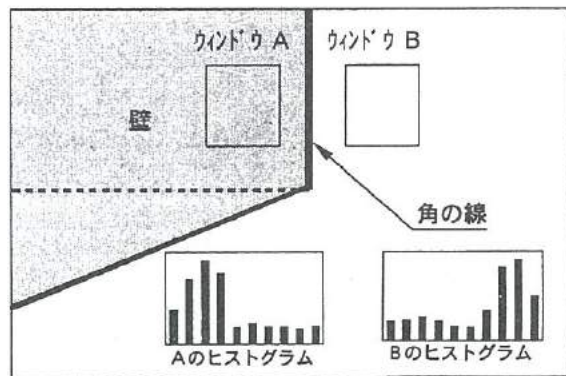


図6 ヒストグラムによる角の検出方法

Fig.6. Detection method of corner by histogram.

これらの2種類の方法に対応したプログラムを作成して曲がり角を判断できるかテストを行った結果、複数ウィンドウによる方法は角を十分に判断することができた。しかし、ヒストグラムによる方法は明るさが類似している壁と床の場合にはヒストグラムの結果にほとんど差が出ず、角を判断することができなかった。

(2) 角までの距離計算と角への移動

角の線を検出後角を曲がるためには、実際の角までの距離を計算して移動する必要がある。そこで、画面上の角の線の位置と実際の角までの距離を測定して関係式を求めることにした。図7は $\alpha = 40^\circ$ 、 $\beta = 30^\circ$ 、壁からの1m離れて走行する場合に、画像から求めた角の位置(x)と実際の距離(y)の関係を示す。画像の位置と距離はほぼ直線関係にあるので、図中の式で近似した。

このようにして求めた関係式を用いて実際の距離を求め、パルス数に変換してモータに制御信号を送り、角の手前まで移動させた。

(3) 回転開始位置への移動

角までの距離を計算して「まがる君」を移動させただけでは、計算誤差や本体の向き、路面状態などによって、正しく回転開始位置にたどり着けない場合がある。そこで、画像取り込みを横カメラに切り替え、画面の中央に角の線が来るまで少しずつ前進する動作を繰り返すことによって、角の真横まで正確に移動させた。

(4) 角を曲がる動作

角を曲がる方法は、左右の車輪の回転数を変える方法ではなく、直進と向きを変える動作の組み合わせから実現させた。この組み合わせ動作を1回行う毎に、横カメラで画像を取り込み、この画面の中央にウィンドウを開き、角の垂直線がウィンドウの中央付近に来るように制御した。曲がり角は直角の場合だけを想定し、回転完了は移動距離(車輪の回転数)で判断した。

3.2.2 Hough変換の改良

「まがる君」は角を検出するために複数のウィンドウを開き、それぞれについてHough変換を行うため、「まっすぐ君」と比較すると計算処理時間が約3倍長くなる。これを解決するため、処理時間を高速化するプログラムを開発した。

(1) Hough変換の高速化

計算精度を低下させずに処理時間を短くするため、図8に示すように $\theta$ の計算範囲を絞ることを検討した。、壁と床の境界線を $\rho - \theta$ 空間にHough変換をする場合、境界線の傾きは急激には変化しないと仮定でき、 $\theta$ の値は図の斜線の範囲にあると予測できる。そこで、Hough計算する場合に、 $\theta$ の

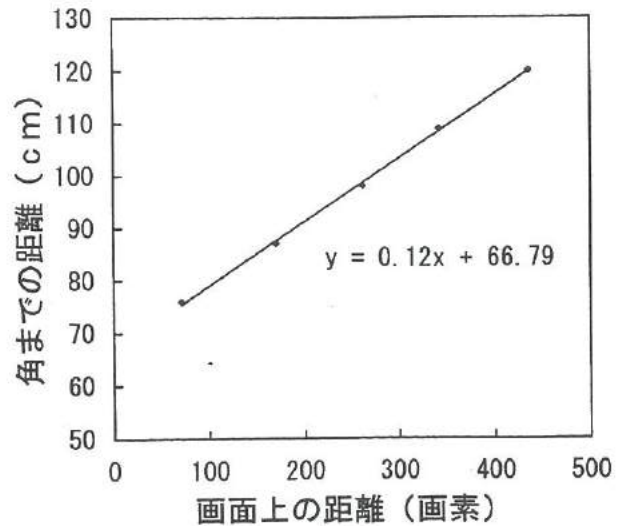
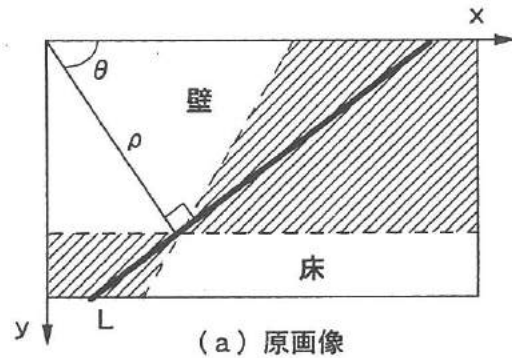
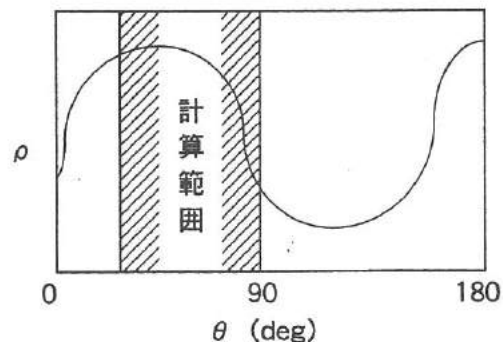


図7 画像上の角の線の位置と実際の距離との関係

Fig.7. Relationship between position in image and practical distance to corner.



(a) 原画像



(b) Lの $\rho - \theta$ 空間への写像

図8 Hough変換の高速化の方法

Fig.8. Rapid treatment method of Hough transfer.



計算範囲を限定することによって計算量を減らすことができ、計算速度の向上が可能である。この計算範囲としては、壁と床との境界線を探す場合は30から90°、延長線上の線分を探す場合は $\theta \pm 5^\circ$ 、角の縦線を探す場合は $0 \pm 10^\circ$ で計算を行った。

### (2) $\theta$ が0および180° 付近データの認識

角の線のような縦線についてHough変換を行うと、Hough曲線の交点の存在する $\theta$ 値は図9(a)に示すように0と180° 付近に分かれて出てくる。これらの交点は同一の直線のものであると判断すべきであるが、このように分離した状態での認識は難しい。このため、図9(b)のように元の画面上のx軸とy軸を入れ換えてHough変換をすることによって、交点の存在する場所を90° 付近に集めることができる。この時、変換座標系の $\theta'$ は  $\theta' = 90^\circ - \theta$  の関係がある。

### 3.3 障害物への対応

最も簡単な障害物への対応方法として、前方に障害物を発見した場合には「まがる君」の移動を停止させることにした。具体的には、移動毎に他のカメラから前方カメラに切り替え、画面下方にウィンドウを開き、そのウィンドウ内の輝度の平均値を求めて、前回の平均値と差が大きくなるようであれば障害物があると判断した。

### 3.4 走行性能の評価

「曲がる君」の最高速度は30m/minと昨年の「まっすぐ君」(0.6m/min)に比較して大きく向上した。また、壁に沿って進行しているときの画像処理時間は1~2秒であり、この間に「曲がる君」は約15cm進む。

図10は角を曲がって移動する「まがる君」の一例を示す。「まがる君」は角をほぼ1mの円弧を描きながら曲がる事が可能であった。角を曲がった後は再び壁に沿って走行させることに成功した。図11および図12は「まがる君」が角の認識処理をしている一例を示す。ドアの場合は床面との境界線の延長線上に線が現れ、角ではないと判断している。「まがる君」が角を認識してから曲がりきるまでに要する時間は約20秒である。

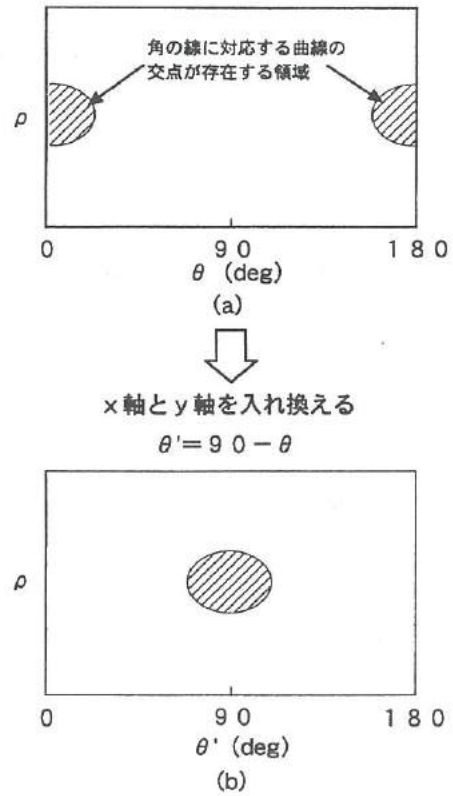


図9 0° および 180° 付近のデータの計算方法  
Fig.9. Calculating method at 0 and 180 degree.

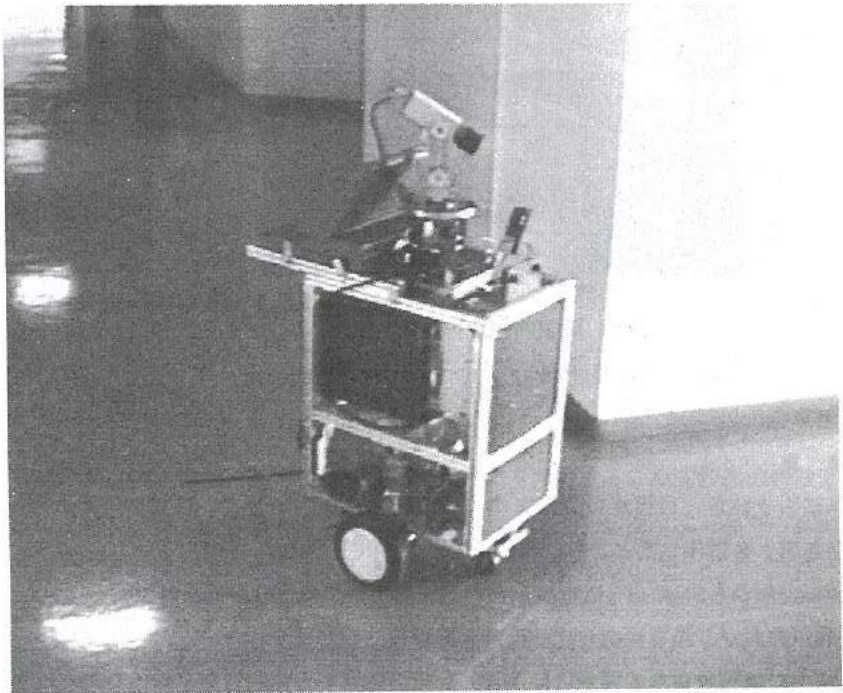


図10 角を曲がる「まがる君」の走行例  
Fig.10. Turning test of "Magaru-Kun".

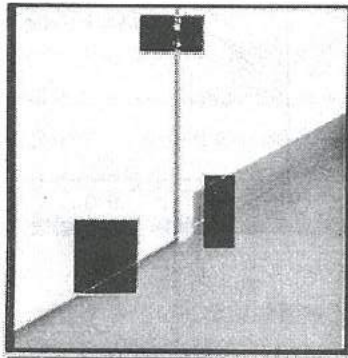


図11 角ではないと判断している場合  
Fig.11. Recognition example of non-corner.

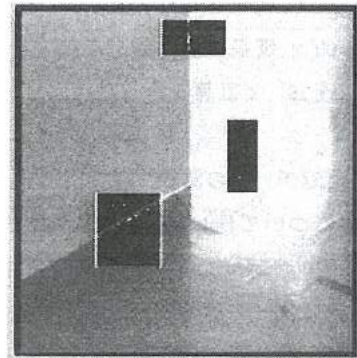


図12 角であると判断している場合  
Fig.12. Recognition example of corner.

障害物への対応の一例として、人が前方に立つと停止し、前方の人が移動すると再び走行を開始することを確認した。しかし、照明ムラなどの影響によって、ウィンドウ内のデータが大きく変わり、正確な判断が行えないこともあった。図13は前方に障害物がない場合、図14は前方に人がいる場合の処理画面である。図13、図14から画面左上のヒストグラムが大きく異なることが良く分かる。

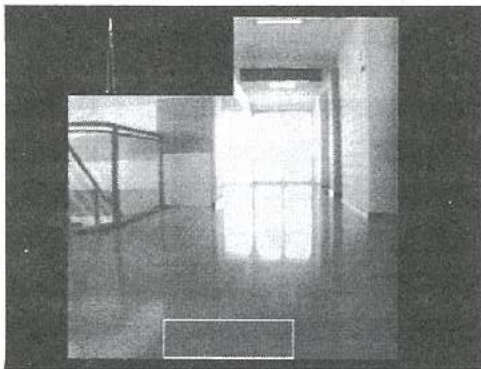


図13 障害物がない場合  
Fig.13. Picture of non-obstruction.

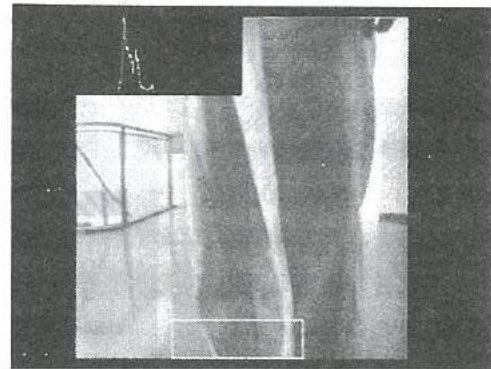


図14 前方に人がいる場合  
Fig.14. Picture of obstruction.

#### 4. 結 言

昨年に引き続き、自律走行型のロボットの開発を目的として、視覚システムを持つ移動ロボットの「まっすぐ君」を改良した「まがる君」を試作したところ、次に示す成果が得られた。

- (1) 0.6m/minから30m/min（直進時）と、高速で走行する性能が得られた。
- (2) 廊下の曲がり角を検出し、その角を曲がる性能が得られた。
- (3) 前方に障害物がある場合には停止し、その障害物が存在しなくなった時には再び走行を開始するロボットを開発した。

## II. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

### A simulation of metal forging process

- A finite element simulation for the optimization of work pieces and tools in cold forging process -

永森 和久	佐山 利彦	清水 孝晃
NAGAMORI Kazuhisa	SAYAMA Toshihiko	SHIMIZU Takaaki
高林 外広	松本 岩男	谷野 克巳
TAKABAYASHI Sotohiro	MATSUMOTO Iwao	TANINO Katsumi

#### Abstract

One of the most serious problem in cold forging process is damage of tools caused by the fact that the extremely high load is applied to the tools over the yielding point of work piece. In many forging industries, tools with appropriate life are finally produced through many trial and error process with high cost. Metal forging process simulation is expected to utilize for the optimization of work pieces and tools as in mobile or machine manufacturing, where CAE represented by FEM simulation technology has been using and rewarded with great success in reducing fabrication process and prediction of products' defects.

In this investigation, some techniques for cold forging process were developed to evaluate the stress appeared in the tools, deformation shapes and plastic strain distribution of work piece. As the result, cold forging simulation was performed easily by adding some numerical techniques to general purpose analysis program such as body contact algorithm or mesh rezonig method, and with comparatively high precision using simple expression of flow stress-plastic strain curve obtained from upsetting test. Some simulation results with real forging products and related several dies verify the possibility that cold forging simulation could introduced in design phase for the optimization of work pieces and tools.

#### 1. 緒言

冷間鍛造とは、常温において材料に圧縮荷重を加え、塑性変形を利用して成形する加工法である。冷間鍛造は材料の節約ができること、加工速度が大であるため高い生産性が得られること、製品強度が大きいことなどの点で他の多くの加工法に比べて優れた性質を持っている。一方、この加工法では金型にはその限界強度に近い荷重が加えられ、また、材料には初期降伏点をはるかに超えた大きな変形が与えられる。すなわち、他のプレス加工法に比べ加工条件が極めて厳しく、適切でない設計のために高価な金型を破損する可能性が大きい。また、生産現場では厳しいコストダウンが要求されており、試作工程の短縮を図るためには成形シミュレーションの導入が望まれている。本研究では、冷間鍛造工程における金型内の応力分布や材料の流れをシミュレーションする技術を開発し、金型寿命を含めた鍛造工程および金型形状の最適化を図ることを試みた。

#### 2. 冷間鍛造の現状

##### 2.1 冷間鍛造の特徴

冷間鍛造の基本的な成形法は図1に示すように、前方押出、後方押出、複合押出、据込に分類できる。冷間鍛造の特徴は、短時間に歩留り良く材料を成形できることであり、経済的で大量生産に向いている。生産速度は毎分30~60個程度であり、歩留りは一般的に90~95%に達する。また、鍛造加工を行うと、材料は非常に大きな圧縮応力を受けて塑性変形し、ファイバーフローを生じて機械的性質が改善される。

しかし、冷間鍛造では金型に非常に大きな荷重が加わるため、金型が破損したり寸法精度に誤差を与えるなどの問題点が生じる。図2は金型の破損例を示す。鍛造用金型は高価であるため、金型寿命が短い場合はコスト面で不利になる。また、非常に大きな荷重を受けた金型は、弾性変形によって製品の寸法に誤差を与えてしまう。材料もまた非常に大きな塑性変形を受けるため、材料の成分、異方性、熱処理法、鍛造工程によっては製品に割れを生じることがある。

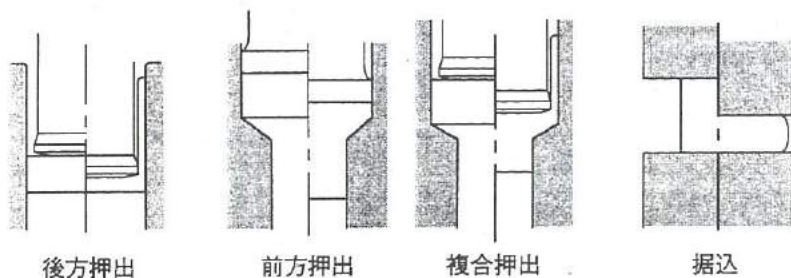


図1 冷間鍛造の様式  
Fig.1. Various cold forging processes.

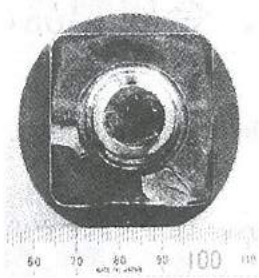


図2 金型の破損例  
Fig.2. An example of cracked die.

## 2. 2 冷間鍛造シミュレーションの現状

表1は鍛造シミュレーション技術の動向をまとめたものである。1980年代前半から鍛造シミュレーションの研究が行われているが、80年代はまだ基礎的段階であり、90年代にようやく実用段階に入っていることが分かる。90年代では、自動メッシュ作成などソフトの多機能化も図られてきている。基本的には鍛造品を有限要素法で、金型を境界要素法で解析する事例が多い。また、1994年には流体解析の考えを導入した動的陽解法によるシミュレーションソフトも登場している。

## 3. 解析モデルおよび解析手法

鍛造工程を解析するにあたり、金型（パンチ、ダイ）およびブランクを有限要素によってモデル化した。解析の対象物が軸対称体の場合は4節点軸対称要素を、それ以外の場合は8節点3次元ソリッド要素を用いた。また、解析は以下の手法に基づき、汎用構造解析プログラムMARCを用いて実施した。

### (1) 大変形、大ひずみ解析

鍛造工程におけるブランクの変形量は微小変形弾性解析の範囲をはるかに超えている。このため、剛体変位や剛体回転およびひずみの高次非線形項を考慮した変位-ひずみ関係式を用いて有限要素の定式化を行った。また、ブランクの最大ひずみは100%を大幅に超えているため、応力-ひずみ関係における材料非線形性の影響は大変大きい。本解析では、大変形、大ひずみによる幾何剛性マトリックスへの影響を考慮すると同時に、応力および非弾性ひずみの補正計算を行った。

剛性マトリックスの定式化にあたっては、各増分ステップが終了した段階で、物体の変形に従って要素座標系を更新するアップデート・ラグランジュ法を採用した。したがって、変形後の要素形状で剛性マトリックスが作成され、応力およびひずみは変形後の

表1 冷間鍛造シミュレーション技術の動向  
Table1. Progress of metal forging process simulation.

年代	鍛造シミュレーション	解析手法	適用例
80年代前半	<ul style="list-style-type: none"> <li>単純モデルを利用した冷間鍛造用金型の応力状態</li> <li>接触圧力分布を考慮した鍛造用金型と補強リングの応力解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有限要素法</li> <li>ダイス設計に境界要素法を利用し、2次元応力問題における変形と応力の解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金型補強用ストレスリング</li> <li>押出用金型</li> </ul>
80年代後半	<ul style="list-style-type: none"> <li>有限要素法を用いた3次元の剛塑性体の変形挙動</li> <li>長方形ブロックの据込に関する弾塑性3次元有限要素解析と実験との比較</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用鍛造シミュレーターによる3次元変形の解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タービンブレード</li> <li>ディスク</li> </ul>
90年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>計算機支援形状最適化法による金型の疲労強度の改善</li> <li>金型設計へのCAD-FEMモデルの適用</li> <li>冷間鍛造用金型のすみ肉の設計</li> <li>3次元剛塑性有限要素法によるクランク軸鍛造工程の解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動メッシュ作成法の開発</li> <li>鍛造用金型のソリッドモデル表現による鍛造解析</li> <li>動的陽解法の導入(1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>歯車</li> <li>コンロッド</li> <li>クランク軸</li> <li>ボルト</li> </ul>

要素座標系に基づいて計算、出力される。

(2) 接触、摩擦問題の取り扱い

鍛造においては、金型との接触、摩擦によってブランクに力が伝達され、変形が進行する。しかし、ブランクの変形に応じて金型との接触面積が拡大し、摩擦の大きさおよび方向も変化することから、物体の境界条件（拘束条件、負荷条件）が逐次変化する、いわゆる境界非線形問題となっている。そこで、接触、摩擦問題を取り扱うために、ブランクや金型といった物体の境界面で囲まれたボディを定義し、このボディを用いて境界面の幾何形状を認識して、ボディが相互に貫通しないように制約条件を与えた。

接触、摩擦を取り扱う解析手順は、次のとおりである（図3参照）。

- (a)物体を構成する要素の境界面によりボディを定義する。
- (b)各増分ステップの開始時において、あるボディの境界節点と他のボディとの接触判定を行う。境界節点とボディとの距離があるしきい値よりも小さい場合は、境界節点はボディに接触しているものと判断する。
- (c)接触節点に対して座標変換を施し、接触節点への拘束条件（接線方向増分変位量、タイピング）の設定を行う。
- (d)非線形弾塑性解析のアルゴリズムに従って収束計算を行う。
- (e)解析の収束後に、接触節点の反力を評価する。引張反力が発生した場合はその節点をかい離し、(d)から操作を繰り返す。
- (f)接触していない節点について、他のボディとの貫通がないかを調べる。
- (g)次の増分ステップへ進み、(b)から実行する。

(3) リゾーニング

アップデート・ラグランジュ法は変形履歴を精度良く追跡する方法としては有効であるが、物体の変形が大きくなった場合は、要素形状のゆがみによって解析精度が低下したり、剛性マトリックスの要素が非正定になり、解析の続行が困難になるという問題がある。このため、変形した物体の外形を保った状態で内部の要素を再分割するリゾーニングの手法を採用した。すなわち、増分計算を進める一方で、要素のアスペクト比、ヤコビアン（ゆがみ）、非線形ひずみなどの変化を逐次調べつつ、タイミングを計ってリゾーニングを実施した。また、変形後の節点座標データから変形物体の境界形状を作成するプログラムを作成し、リゾーニングに用いた。

4. 鍛造材料の変形抵抗式

4.1 変形抵抗式の構成方法

冷間鍛造加工中における材料の変形抵抗は、ひずみ硬化に加え、ひずみ速度に依存する硬化、および材料の自己発熱に起因した温度上昇による軟化などのため、動的にかなり複雑な変化をする。したがって、冷間鍛造工程を厳密に解析するためには、ひずみ、ひずみ速度および温度を状態変数として考慮した変形抵抗式を用いる必要がある。

しかし、実際の鍛造では、機械プレスを用いた高速加工条件で一気に入工が終了するので、加工中は準断熱状態であると仮定でき、金型とブランクとの間の熱伝導は無視できる<sup>(1)</sup>。断熱変化を仮定すれば、ブランク内の各点での発熱エネルギー  $dQ$  は、塑性仕事増分  $dW$  を用いて次式のように表される。

$$dQ = \eta dw = \eta \sigma d\varepsilon \tag{1}$$

これを積分型で表示すると、ブランク内の各点の温度 $T$ は、次式で与えられる。

$$T = T_0 + \eta / (C_p \rho) \int \sigma d\varepsilon \tag{2}$$

ここに、 $\eta$ は熱変換効率、 $\sigma$ は変形抵抗、 $d\varepsilon$ は塑性ひずみ増分、 $T_0$ は初期温度、 $C_p$ は比熱、および $\rho$ は密度である。したがって、

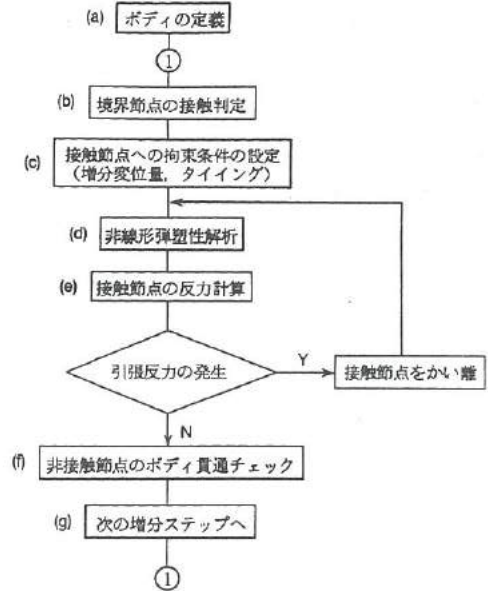


図3 接触解析の手順  
Fig.3. Flow chart of contact analysis.

ブランク内の各点の温度は塑性ひずみだけの関数となり、状態変数としての温度は変形抵抗式の中に見かけ上現れなくなる。

さらに、冷間鍛造用の常用鋼材においては、ひずみ速度感度係数  $m$  は、 $0.01 < m < 0.03$  と小さな値をとるので<sup>(2)</sup>、ブランク内の各点におけるひずみ速度の違いは、全体としての変形抵抗の差異となって現れることはほとんどない。したがって、ひずみ速度の影響としては、加工速度に応じた平均的なひずみ速度レベルだけによって変形抵抗が変化すると仮定した<sup>(3)</sup>。以上より、本研究では機械プレスを用いた高速加工試験を実施し、ひずみだけで表した変形抵抗式を得ることとした。また、解析はこの変形抵抗式を用いて行い、間接的に温度およびひずみ速度の影響を考慮するものとした。

#### 4.2 冷間据込み試験

鍛造材料SCM420Hの変形抵抗式を得るために、図4に示す冷間据込み試験<sup>(4)</sup>を実施した。端面拘束した試験片を、機械プレス(負荷能力4MN)を用いて平均押し込み速度22mm/sで圧縮した。変形抵抗は試験片の圧縮率と圧縮荷重により次式から求めた。

$$\sigma = P / (f \cdot A_0) \quad (3)$$

ここに、 $\sigma$ は変形抵抗、 $P$ は圧縮荷重、 $f$ は圧縮率によって決まる係数<sup>(5)</sup>、 $A_0$ は試験片の公称断面積である。また、塑性ひずみは圧縮率から計算した。試験の結果、次式の変形抵抗と塑性ひずみとの関係を得た。

$$\sigma = 484 \varepsilon^{0.176} \quad (\varepsilon > 0.01) \quad (4)$$

図5は試験データに基づく変形抵抗曲線を示す。なお、降伏点は247MPaであった。

#### 5. 簡易形状品によるシミュレーションの検証

図6はシミュレーションを行った鍛造品(機械部品のホルダ)の形状および鍛造工程を示す。丸棒を切断した材料片に対してプレスによる穴の打ち抜き加工を施し、焼なまし後、2工程に分けて鍛造を行う。鍛造中間形状は軸対称形であるが、最終形状ではフランジ部が長方形に変形するため軸対称形とはならない。解析は、穴あき材から中間形状への第1工程、中間形状から最終形状への第2工程のそれぞれについて実施した。前者は軸対称解析を行い、後者はその対称性を考慮して1/4の部分モデル化し、3次元形状として解析を行った。

まず第1工程については、パンチ中心軸の半径方向、ダイ底面の高さ方向を変位拘束し、さらに、パンチを高さ方向に移動させてブランクに荷重を加えて行く。パンチは50mm/sの速さで押し込み、単位増分当たり0.1mmの押し込み量で解析を行った。物体間に

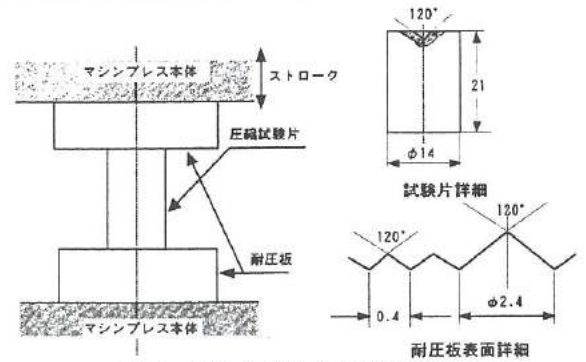


図4 据込み試験および試験片  
Fig.4. Upsetting test and specimen.

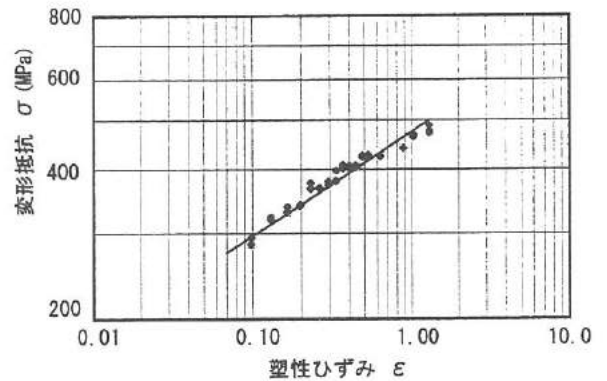


図5 変形抵抗曲線  
Fig.5. Flow stress-plastic strain curve.

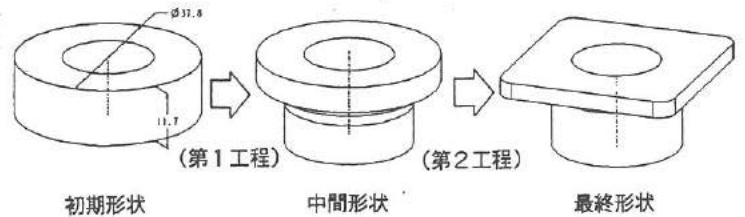


図6 シミュレーションの検証に用いた鍛造工程  
Fig.6. Work piece and forging process used for the verification of the simulation.

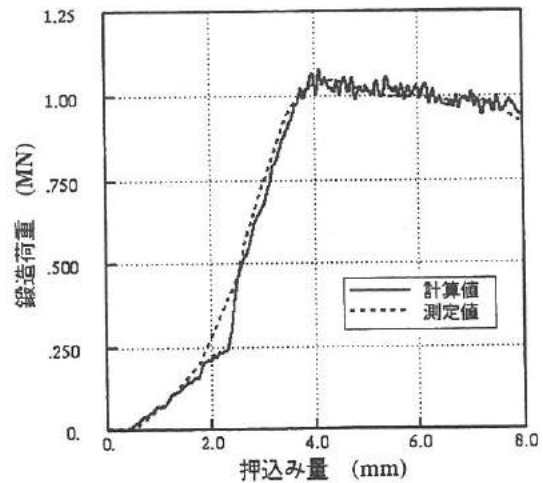


図7 第1工程における鍛造荷重曲線の比較  
Fig.7. Comparison of load curve by measurement and simulation in the 1st stage.

は摩擦係数0.1のクーロン摩擦を想定した。初期形状においては、要素数485、節点数570、自由度1140のモデルである。図7はシミュレーションと実測による鍛造荷重の変化を示す。荷重ピークは両者とも約1.0MNでよく一致している。しかし、シミュレーションでは押込み量2.5mm以降急激に荷重が立ち上がるのに対し、実測の荷重はなめらかな曲線となっている。ピークに達した後、荷重が漸減する傾向は両者ともに同じである。シミュレーションは全体として比較的精度の高いものといえる。次に、図8はシミュレーションと鍛造品とにおいてブランクの形状変化を比較したものである。いずれの増分においてもシミュレーションは鍛造品とよく一致しており、ブランクのファイバーフローもよく再現されていることが分かる。

図9は第2工程におけるブランクの変形図を示す。シミュレーションでは、実際のブランクの変形形状を再現していることを確認した。なお、第2工程の解析は、初期形状において要素数1602、節点数2371、自由度7113の大規模なモデルを用いた非線形解析である。第1工程の軸対称モデルと比較し、自由度が約6.2倍と多くなるため、計算時間は軸対称モデルの10増分あたり約20分と比較して約3.5時間と大幅に長くなった。したがって、3次元モデルによる鍛造解析は、時間、労力、費用の点で現実的レベルに達していないといえる。

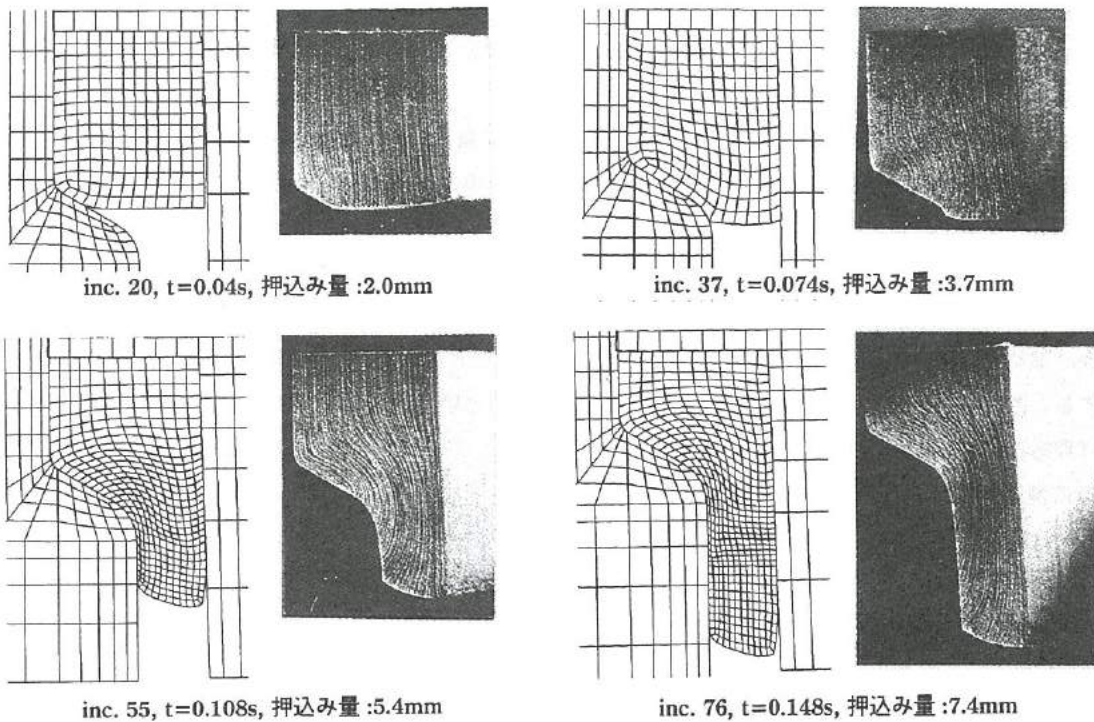


図8 第1工程における変形形状の比較

Fig.8. Comparison of deformed shape of work piece and finite element model in the 1st. stage.

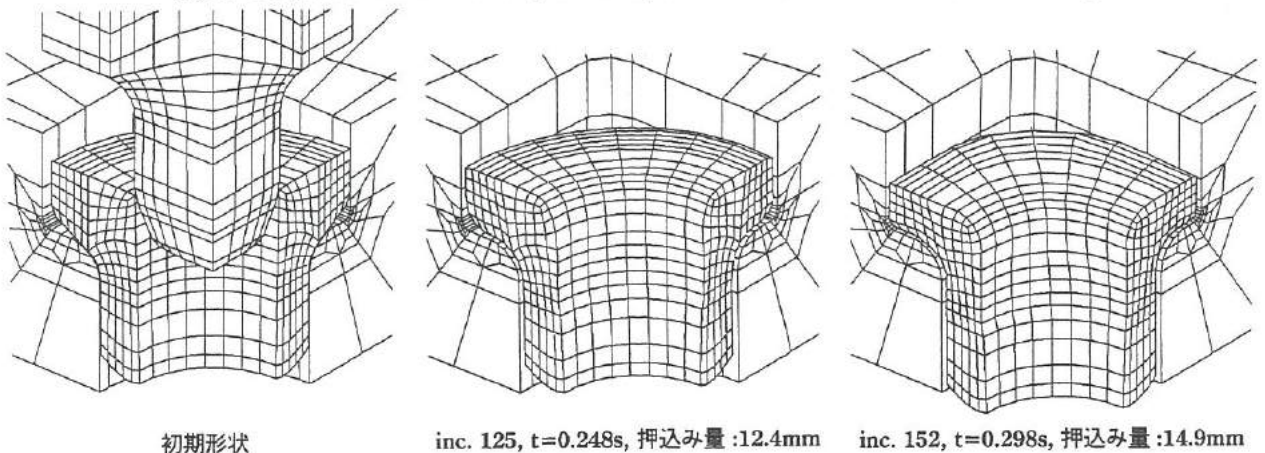


図9 第2工程におけるブランクの変形形状

Fig.9. Deformed shape of finite element model in the 2nd. stage.

## 6. 金型設計への適用

### 6.1 鍛造品および金型

実際の鍛造品への適用例として、図10に示す自動車エンジン用VSR(Valve Spring Retainer)の冷間鍛造を取り上げた。対象となるVSRは多段鍛造によって成形加工されるが、その最終工程の金型においては比較的少ない鍛造回数で損傷が発生するため、金型の長寿命化が課題となっている。VSR金型の断面を図10に併せて示す。金型Aは損傷が発生する金型であり、ダイは一体型の構造である。損傷発生箇所はダイのコーナーR部であり、この部分の応力集中を緩和するために考案されたのが金型Bである。金型BのダイはコーナーR部付近で内側と外側に分割された構造となっている。ここでは、ダイを分割することによる金型内の応力低減の効果を定量的に解析する。また、比較のために、類似形状のVSRを成形する金型で、損傷が発生しない一体型ダイの金型Cについても解析を実施した。

### 6.2 鍛造工程の解析

プランクおよびダイを4節点軸対称要素を用いてモデル化した。初期形状においては、3種類の金型の平均要素数は1100、平均節点数は1200、平均自由度は2400としたが、非線形解析では中規模のモデルである。また、パンチの平均押込み速度を50mm/s、単位増分ステップあたりの平均時間増分を0.5ms(押込み量25 $\mu$ m/s)と設定した。金型AおよびBにおいては、約150ステップで鍛造工程の解析が終了する。

金型Bについて、図11は鍛造荷重の変化、および図12は損傷の対象となるコーナーR部における応力の変化を示す。なお、応力はコーナーRの中心点に局所極座標系を設定し、 $\sigma_{rr}$ 、 $\sigma_{\theta\theta}$ 、 $\sigma_{zz}$ の3成分だけを表示した。また、図11および図12中の各指示点に対応するプランクの変形形状を図13に示した。

鍛造の初期状態においては、プランクと内側のダイとがコーナーR部付近で接触を開始する。パンチがプランクの内径側を滑りながら徐々に接触面積を拡大し、a点(押込み量1.5mm)でパンチの面取り部とプランクとが接触を開始すると、本格的にプランクに荷重がかかり始める。その直後のb点(押込み量1.53mm)でコーナーR部にプランクが接触を開始し、コーナーR部の応力は一時的に低下する。この段階では、プランクはパンチで圧縮されているというよりも、外側のダイの側面方向に拡大している。プランクがc点(押込み量1.8mm)でダイのコーナーR部に完全に接触し、さらに、パンチの平坦部がプランクの上部を押し始めると、荷重が急速に増加しコーナーR部の $\sigma_{\theta\theta}$ 、 $\sigma_{zz}$ も増加に転ずる。パンチがd点(押込み量1.95mm)でプランクに完全に接触すると、コーナーR部の応力増加は一段落するが、この段階ですでに $\sigma_{\theta\theta}$ =0.47GPaの引張応力が発生している。パンチの押込みにつれて荷重、応力ともに増加を続け、プランクがe点(押込み量2.75mm)でダイの下部に接触し始めた時点で、 $\sigma_{\theta\theta}$ は0.82GPaとなり最大値を示す。その後、荷重の増加につれてコーナーR部の応力は漸減していく。f点(押込み量3.05mm)においてはプランクはダイの下部に完全に充填され、プランクの上部はパンチと外側のダイとによって掘込み変形を受け、つば状に広がっていく。

### 6.3 金型の応力比較

A、B、C3種の金型のコーナーR部における $\sigma_{\theta\theta}$ の変化を図14に示す。金型Aと金型Bとでは、プランクがダイ下部に完全充填した(押込み量約3.0mm)後の $\sigma_{\theta\theta}$ の変化は全く異なったものとなっている。金型Aでは一体型ダイのためにコーナーRを

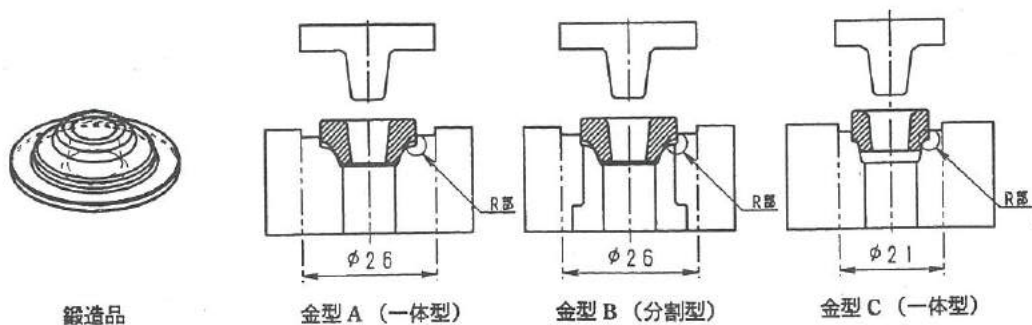


図10 解析の対象とする実鍛造品および金型

Fig.10. A real forging product and related dies.



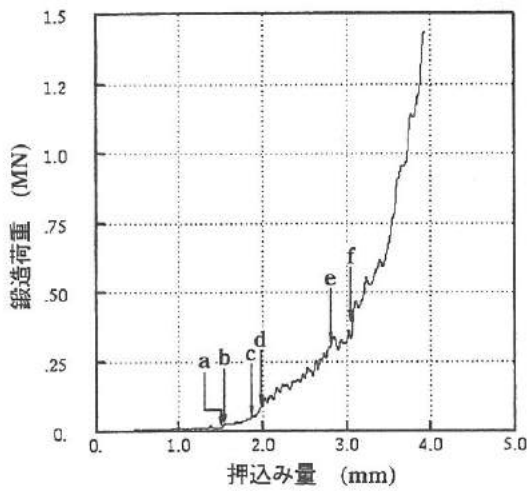


図 11 金型Bの鍛造荷重曲線  
Fig.11. Forging load curve of die B.

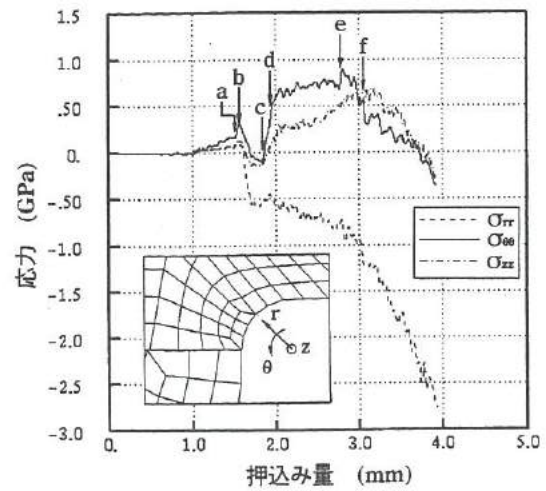


図 12 金型BのコーナーR部における応力変化  
Fig.12. Stress change at the corner fillet of die B.

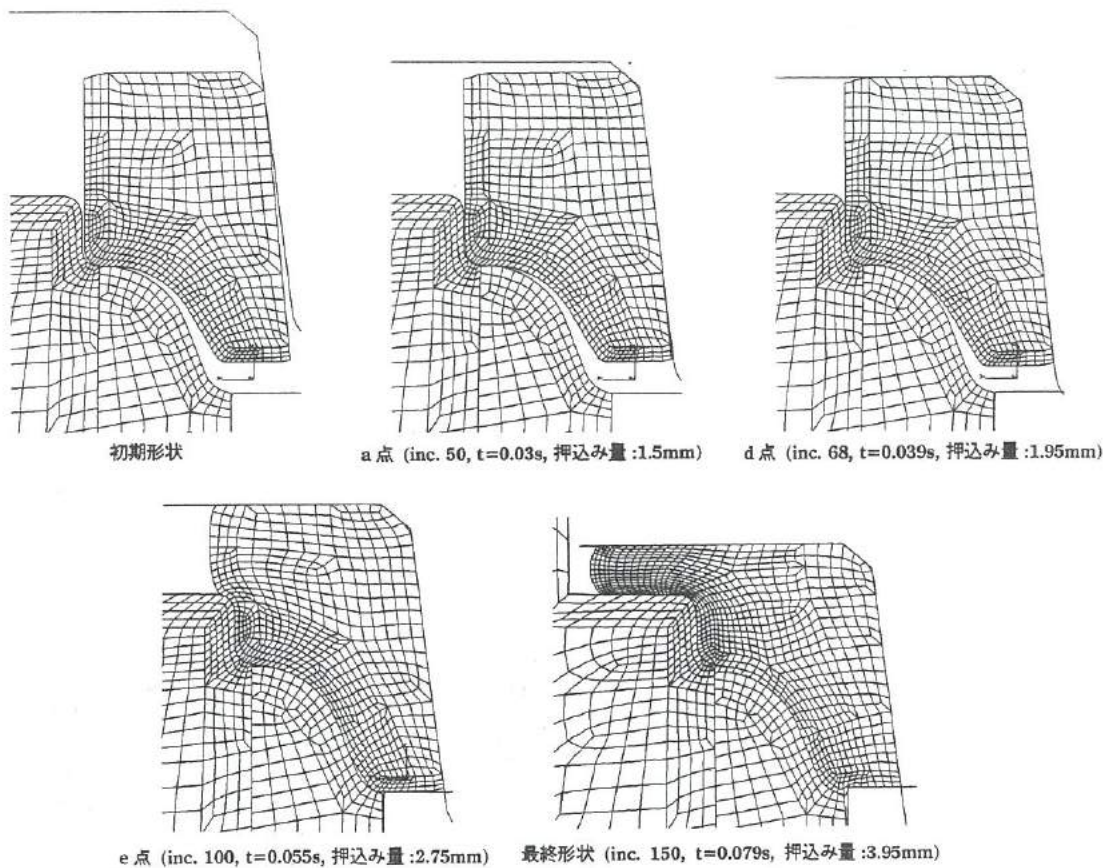


図 13 金型Bにおけるブランクの変形形状  
Fig.13. Deformed shape of finite element model in the case of die B.

押し広げる力がコーナーRに直接集中してしまうため応力は急激に上昇するが、金型BではコーナーR部付近でダイが分割されているために分割面の滑りでこの力を分散してしまうので、応力は逆に低下する。金型Aでは、コーナーR部の応力は押込み量 3.35mmで最大値  $\sigma_{\theta\theta}=1.64\text{GPa}$ にも達する。このときの金型AおよびB内のMisesの相当応力  $\sigma_{\text{eq}}$ の分布を図15に示す。金型AのコーナーR部における応力集中は金型Bでは解消されていることがわかる。他方、金型Aと同じ一体型ダイである金型Cにおいては、応力レベルが相対的に低く押さえられている。これは、金型AおよびBではダイの下部にプランクが完全充填した後につばの部分広がるのに対し、金型Cではダイの下部へのプランクの充填が鍛造工程の終了時に近いために、大きな面圧がコーナーR部周辺に作用するタイミングが比較的遅くなるためである。

以上の解析により、金型分割および多段鍛造におけるプランク形状の決定という金型設計における2つの重要項目について、本鍛造成形シミュレーションを用いることによってその効果を定量的に推定できることが明らかとなった。

7. 結 言

冷間鍛造における鍛造工程分割および金型形状を最適化するために、金型設計段階での金型内の応力分布や材料の流れを評価することを目的として、鍛造成形シミュレーションの開発を行った。その結果、以下に示す成果が得られた。

- (1) 汎用構造解析プログラムをベースとして、プランクと金型との接触、摩擦解析や有限要素のリゾーニングなどの技術を適切に導入することにより、鍛造成形シミュレーションが容易に実行できるようになった。
- (2) 機械プレスを用いた高速の据込み試験を実施し、このデータに基づいた簡易な変形抵抗式を用いた場合、比較的高い精度の解析が可能であることを確認した。
- (3) 実際の鍛造品の成形に対して開発した鍛造成形シミュレーションを適用して、金型分割および多段鍛造におけるプランク形状の決定という金型設計における2つの重要項目について、その効果を定量的に推定できた。特に、軸対称形状の鍛造品に対しては、本鍛造成形シミュレーションが金型設計段階で十分実用可能であることが明らかとなった。

文 献

- (1) 加藤・品川, 塑性と加工, 30-342 (1989), 1030.
- (2) 工藤, 塑性学 (1968), 120, 森北出版.
- (3) 加藤・品川, 塑性と加工, 30-346 (1989), 1532.
- (4) 日本塑性加工学会冷間鍛造分科会材料研究班, 塑性と加工, 22-241(1981),139.
- (5) Osakada, K., et al., Ann. C.I.R.P., 30-1 (1981), 135.

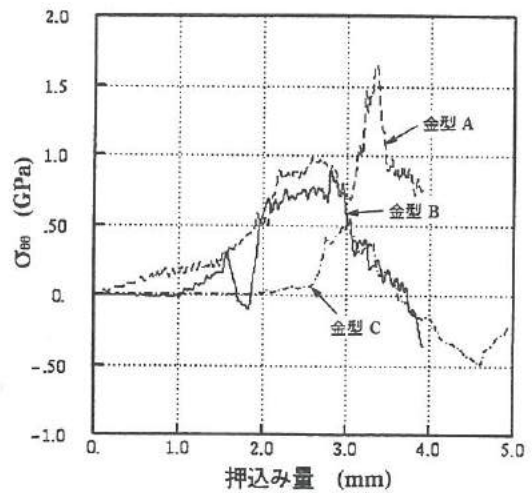


図14 3種類の金型における応力  $\sigma_{\theta\theta}$  の比較  
Fig.14. Comparison of stress  $\sigma_{\theta\theta}$  change of the corner fillet among the three types of dies.

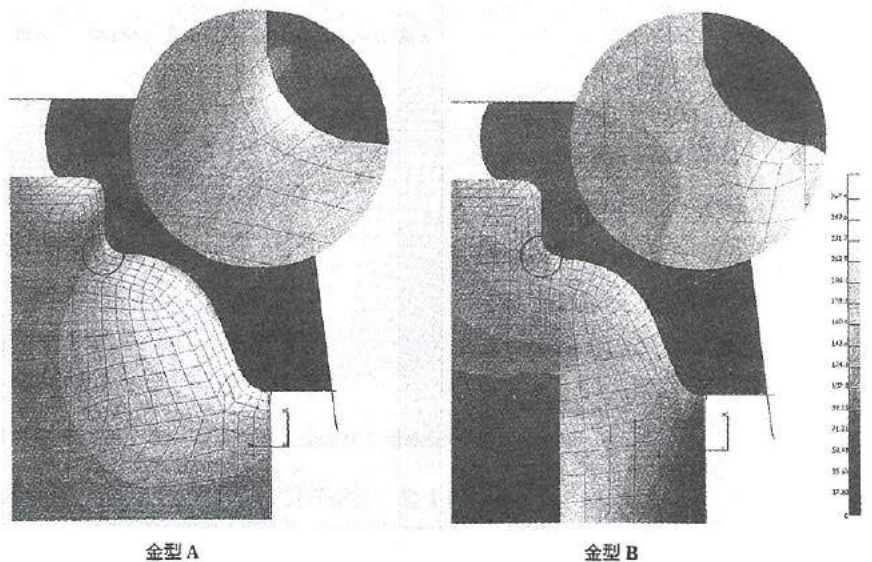


図15 金型AおよびBにおける Mises の相当応力  $\sigma_{\text{eq}}$  分布の比較  
Fig.15. Comparison of Mises stress  $\sigma_{\text{eq}}$  distribution between die A and B.

# Ⅲ. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

## Study of Wet Etching for Electronic Circuits

山口 睦                      二口 友昭                      松田 敏弘                      谷野 克巳  
YAMAGUCHI Mutsumi    FUTAKUCHI Tomoaki    MATSUDA Toshihiro    TANINO Katsumi

### Abstract

Wet etching is widely used to produce conductible patterns of electronic circuits (ex.TFT-LCD). Mixed solution of  $H_3PO_4-HNO_3-CH_3COOH$  are commonly employed for wet etching of aluminum. The composition and temperature of solution all shall influence the etching rate and the degree of undercutting property and taper angle.

We attempt to study these variables and to find the most suitable etching solution and discuss the mechanism of wet etching of aluminium.

The results are summarized as follows;

- (1) The etching rate increased with addition of  $HNO_3$ , although it was scarcely affected with increasing of  $HNO_3$  content.
- (2) The taper angle could be controlled by  $HNO_3$  content.
- (3) The etching rate decreased with increasing of  $CH_3COOH$  content. But  $CH_3COOH$  protects the photo resist and detach  $H_2$  gas from the surface of substrate.
- (4) The etching rate was stabilized with addition of a small quantity  $H_2O$ .
- (5) The etching rate and the taper angle were scarcely affected by dissolved aluminum content until 5g/l.
- (6) Bath temperature of  $40^\circ C$  was suitable for the etching. The productivity lowers under  $30^\circ C$  and the detection of end point of etching is hard above  $50^\circ C$ .

### 1. 緒 言

フォトエッチングは、半導体工業をはじめとして極めて広い範囲の産業で用いられており、現在の産業においてはなくてはならない重要な加工技術となっている。一般に、フォトエッチングとは、半導体素子やLCD（液晶ディスプレイ）、プリント配線基板などの製造工程において、基板上に成膜された絶縁物や半導体、金属などの薄膜に対して、設計通りの形状・寸法を得るために不必要部分を光学のおよび化学的方法によって取り除く技術である。

フォトエッチングはウェットエッチングとドライエッチングに分けることができる。半導体製造においては、当初は化学薬品を使用するウェットエッチングが主流であったが、最近ではプラズマやイオンビームを利用したドライエッチングが適用されている。ウェットエッチングは、LCD製造分野において微細加工性の向上は当然のこととして、今後は大面積加工におけるエッチングの均一性と再現性の確保、多層薄膜化に対するエッチング断面のテーパ形状の制御などが重要課題となってくる。

LCDにおいてはメタル配線に主にTaやCuなどが用いられているが、パターンの高密度化と微細化に伴う低抵抗化の必要性などからアルミニウムが用いられるようになってきている。アルミニウムは各種の酸やアルカリに溶解するが、フォトエッチング工程でウェットエッチングに対応できるためには、エッチングした表面が平滑である必要がある。現在、エッチング液としてはリン酸に硝酸および酢酸と水を少量加えた混合液が液温 $40^\circ C$ 付近で使用されているのが最も一般的である。

現在、ウェットエッチングにおいて最も重要な技術的課題はサイドエッチの低減である。サイドエッチについてはエッチング液の等方性エッチングに起因するが、それだけではなく、レジスト被膜と被エッチング物との密着性あるいはレジストの耐硝酸性といった問題にも原因がある。また、LCDのように多層配線を必要とするものでは、下層部の配線のテーパ形状制御（サイドエッチ

チのコントロール)が重要であり、狙ったとおりの角度のテーパ形状が得られない場合は上層部の配線の断線などを引き起こすことがある。

本研究では、LCDのアルミニウム配線に対するウェットエッチングに関連して、リン酸-硝酸-酢酸-水系エッチング液の液組成および浴温の変化が、エッチング速度およびテーパ形状に及ぼす影響などに関する基礎的な検討を行った。

## 2. 実験方法

### (1) 実験手順

図1は本研究の実験手順を示す。基板上にRFマグネトロンスパッタリング法を用いてAl薄膜を成膜した。膜厚は $0.8 \pm 0.1 \mu\text{m}$ に調製した。

基板には、厚さ $0.5\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ のガラス板(コーニング7059)および酸化膜付きシリコン基板を用いた。

ターゲットにはAl-1%Cu合金を使用した。スパッタリング条件はArガス圧が $0.5\text{Pa}$ 、投入電力は $100\text{W}$ でスパッタリング時間は30分とした。膜厚は表面粗さ計で測定した。

Al上にポジ型フォトレジスト(OFPR-8000)をスピンコート法で塗布し、乾燥機で $85^\circ\text{C}$ 、30分の熱処理(プリベーク)を施した後、テストパターンでマスキングし、紫外線を12~15秒間照射して露光した。露光後、現像液(NMD-3)に2分間浸漬し、蒸留水で1分間リンス処理を行い、再び乾燥機で $135^\circ\text{C}$ 、30分の熱処理(ポストベーク)を施した。

エッチング液はリン酸、硝酸、酢酸および水を所定の配合比に調製し、ウォーターバスで昇温した。文献<sup>(1)</sup>より、配合比の基本組成はリン酸(濃度85wt%) : 硝酸(濃度61wt%) : 酢酸 : 水 = 16 : 4 : 4 : 1(容量比)とした。エッチングは12~16分割したガラス基板あるいはシリコン基板を無攪拌のエッチング液に浸漬させる静止浸漬法で行った。エッチング後、水洗、温風乾燥を施した。

### (2) エッチング速度の算出方法

エッチング速度の算出には、ガラス基板のものを用い、エッチング液に浸漬した後、目視でエッチング終点までの時間を測定し、下記の計算方法から求めた。

$$\begin{aligned} & \text{エッチング速度 (nm/min)} \\ & = \text{Al薄膜の膜厚 (nm)} / \text{エッチング時間 (min)} \end{aligned}$$

### (3) テーパ形状の観察

テーパ形状の観察にはシリコン基板のものを用い、求めたエッチング速度を参考にしてエッチング終点までエッチングし、断面をSEMにて観察した。

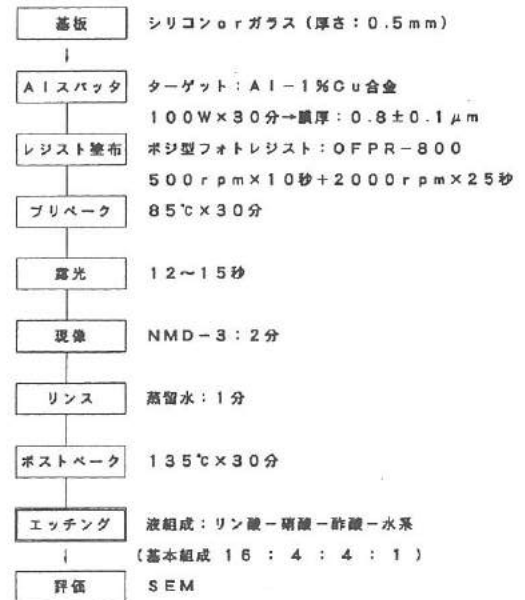


図1 実験手順

Fig.1. Experimental process.

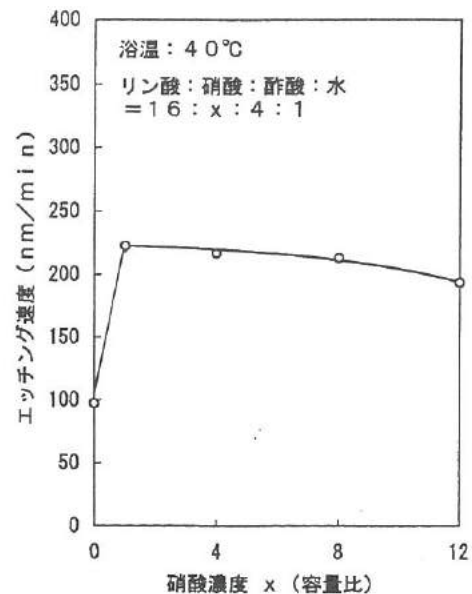


図2 硝酸濃度とエッチング速度の関係

Fig.2. Relationship between nitric acid content and etching rate.

### 3. 結果および考察

#### (1) 硝酸濃度の影響

ここでは、硝酸濃度がエッチング速度およびテーパ形状にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

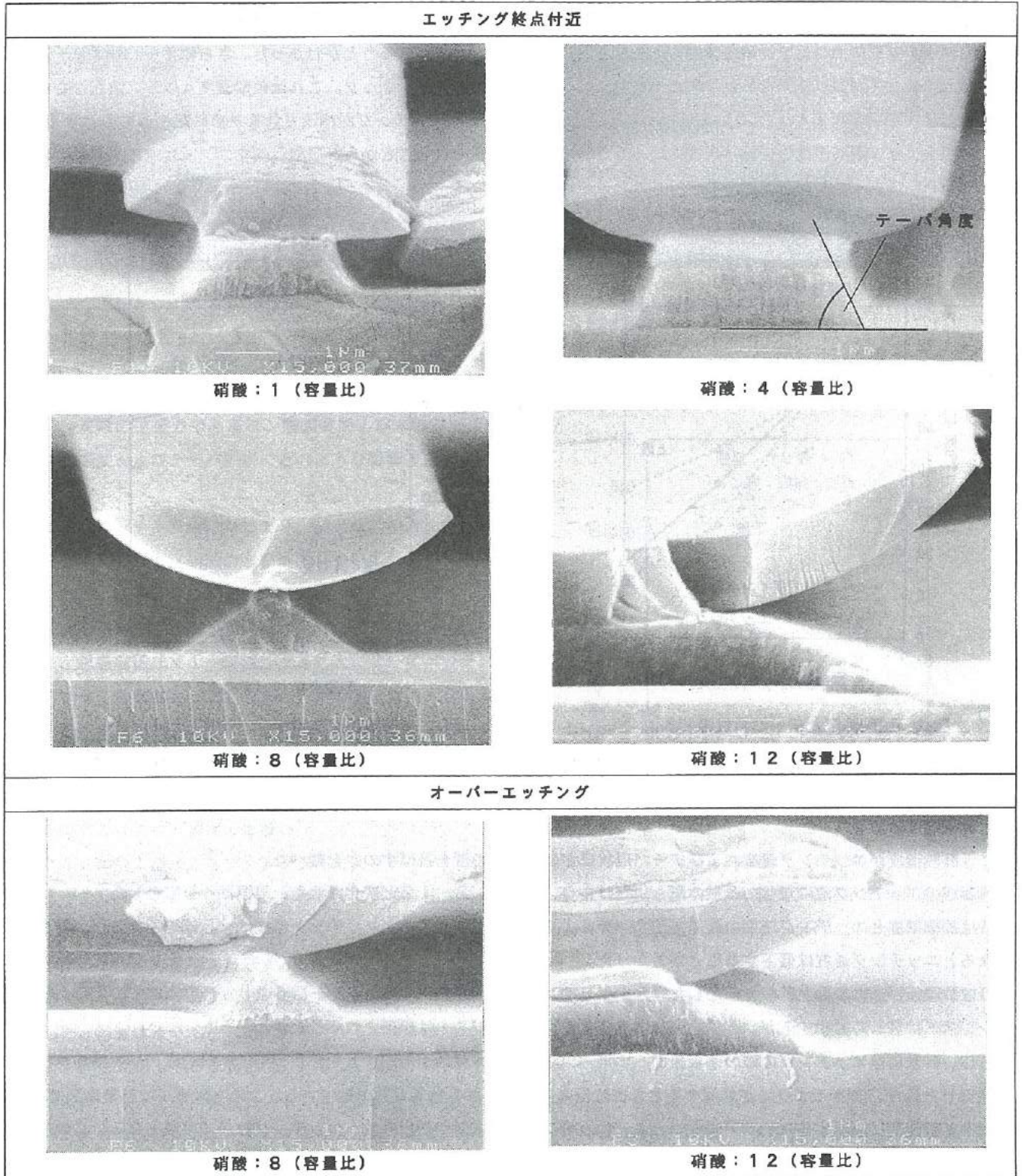


図3 エッチング断面のSEM写真

Fig.3. SEM photographs of etched cross sectional views.

基本組成とした85wt%リン酸：61wt%硝酸：酢酸：水=16：4：4：1のエッチング液に対して、硝酸の配合比だけを0、1、4、8、12と変化させた。浴温は40℃とした。

図2は硝酸濃度とエッチング速度の関係を示す。図2より、硝酸を添加するとエッチング速度は速くなるが、硝酸濃度には大きく影響されないことがわかった。

図3は硝酸の配合比を変化させた場合のエッチング断面のSEM写真を示す。図4は硝酸濃度とテーパ角度の関係を示す。図3より、エッチング終点付近では硝酸濃度が高くなるとテーパ角度が小さくなることがわかった。さらにオーバーエッチングした場合、硝酸の配合比が8以上になると2段のテーパ形状が形成されることもわかった。これは硝酸濃度4以下では起こらないことから、硝酸濃度が高くなるとレジストの劣化が進み、レジスト界面でのエッチングが加速されるために起こるものと考えられる。

また、図4より、硝酸濃度とテーパ角度にはある程度の相関性が見られることから、硝酸濃度をコントロールすることによってテーパ角度を制御することが可能であると推察される。

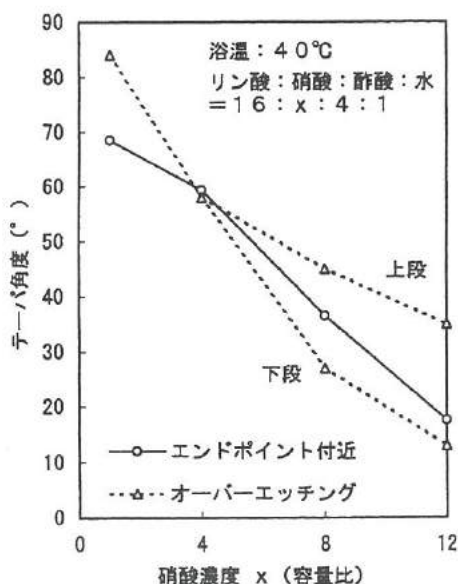


図4 硝酸濃度とテーパ角度の関係

Fig.4. Relationship between nitric acid and taper angle.

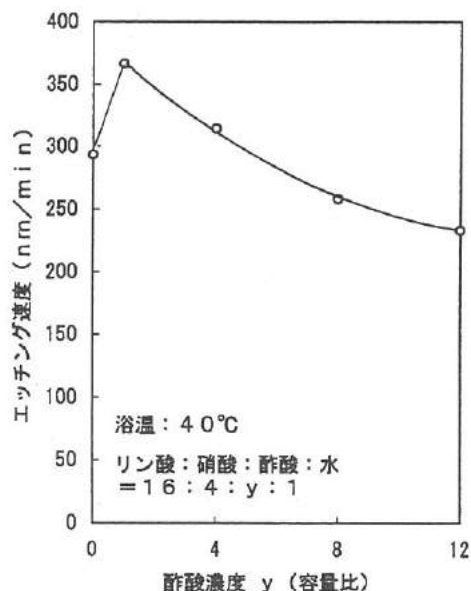


図5 酢酸濃度とエッチング速度の関係

Fig.5. Relationship between acetic acid and etching rate.

## (2) 酢酸濃度の影響

次に、酢酸濃度がエッチング速度およびテーパ形状にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

基本組成のエッチング液に対して酢酸の配合比だけを0、1、4、8、12と変化させた。浴温は40℃とした。

図5は酢酸濃度とエッチング速度の関係を示す。図5より、酢酸を添加するとエッチング速度は一旦は速くなるが、酢酸濃度が高くなるとエッチング速度は低下することがわかった。

図6は酢酸無添加の場合と酢酸を添加した場合のエッチング断面のSEM写真を示す。図6より、酢酸無添加の場合、硝酸によってレジストは著しく劣化するが、酢酸を添加することによってレジストは保護されることがわかった。

さらに、酢酸にはエッチングの際の基板表面への気泡の吸着を防ぐ働きがあることもわかった。一般的に、リン酸をエッチング液に使用した場合、アルミニウムが溶解するときには反応生成物である水素ガスが発生する。この水素ガスは基板表面で発生し、そのまま基板表面に吸着するため、アルミニウムとエッチング液の接触が妨げられ、エッチングむらの原因となる。しかし、酢酸を添加することにより、酢酸は基板表面と水素ガスの間に入り込むため、水素ガスの離脱を促進させる効果があるものと考えている。

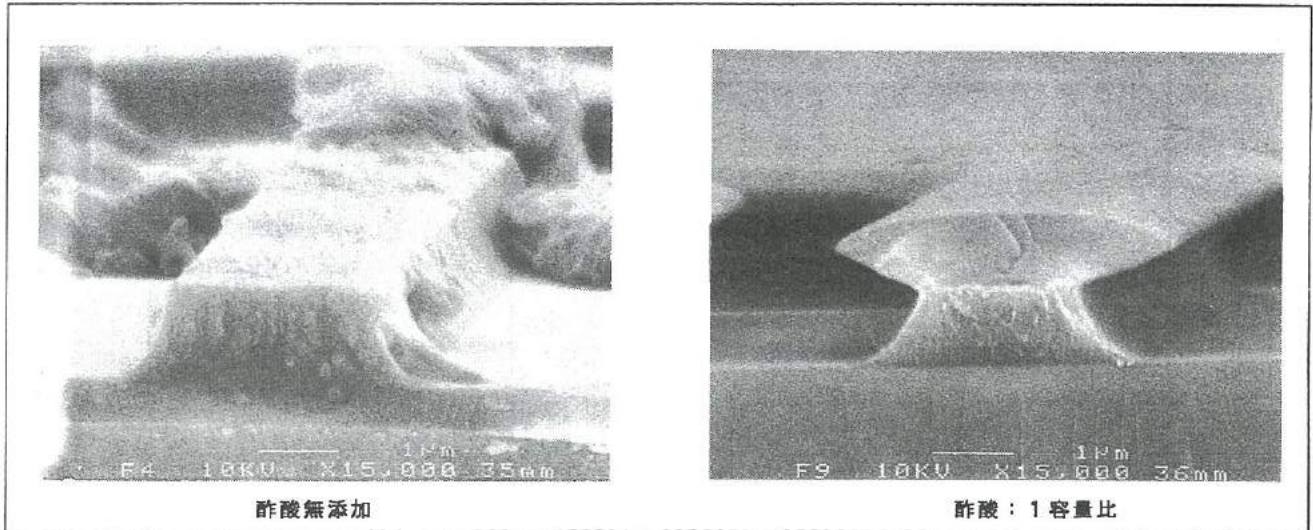


図6 エッチング断面のSEM写真

Fig.6. SEM photographs of etched cross sectional views.

### (3) リン酸濃度の影響

エッチング液の主成分であるリン酸濃度および水の添加濃度が、エッチング速度およびテーバ形状にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

基本組成のエッチング液に対してリン酸と水の配合比の合計が17になるように調製した(硝酸および酢酸については変化しないようにした)。浴温は40℃とした。

図7は水の濃度(リン酸濃度)とエッチング速度の関係を示す。図7より、水を容積比で1~2添加することによってエッチング速度が安定することがわかった。しかし、水の濃度が高くなるとリン酸濃度が低下するため、エッチング速度も低下する。なお、テーバ形状にはほとんど変化はなかった。

### (4) 溶存アルミニウム濃度の影響

溶存アルミニウム濃度がエッチング速度およびテーバ形状にどのような影響を及ぼすのかを調べた。溶存アルミニウム濃度については、エッチング液の液寿命(処理能力)に関係するものであり、生産性やコストの面にも影響を及ぼす。

基本組成のエッチング液に対して溶存アルミニウム濃度が0~5g/lとなるよう純アルミニウム粉末を溶解してエッチング液を調製した。浴温は40℃とした。溶存アルミニウム濃度が5g/lとは、5cm角で膜厚が1μmのアルミニウム薄膜をエッチング液1l当たり約1000枚処理した場合に溶存するアルミニウム濃度である。

図8は溶存アルミニウム濃度とエッチング速度の関係を示す。図8より、エッチング速度は全般的に比較的安定であるものの、溶存アルミニウム濃度が5g/lになると若干低下する。なお、テーバ形状については変化がなかった。エッチング液の処理能力という点から考えれば、溶存アルミニウム濃度が5g/l以上でもエッチング時間を調整すれば使用できるものと考えられるが、溶存するアルミニウムがリン酸アルミニウムの結晶として基板表面に析出し、配線パターンに障害を与える恐れがあるので、使用に際しては充分検討する必要がある。

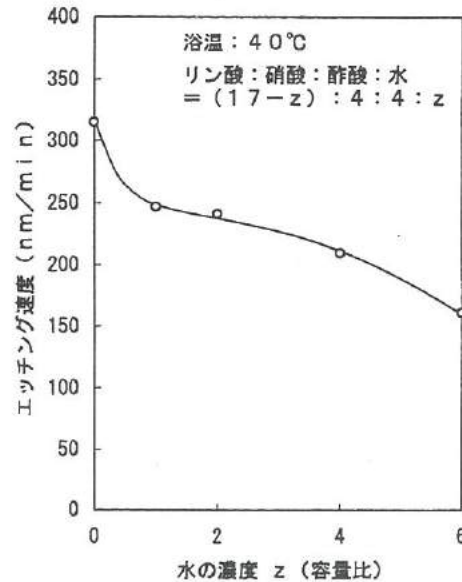


図7 水添加量(リン酸濃度)とエッチング速度の関係

Fig.7. relationship between phosphoric acid and etching rate.

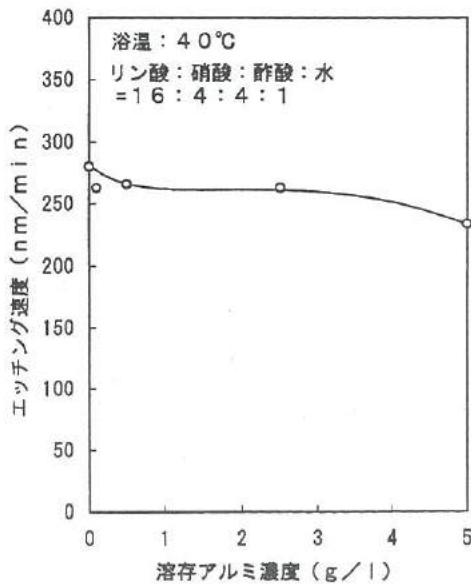


図8 溶存アルミ濃度とエッチング速度の関係

Fig.8. Relationship between Al content and etching rate.

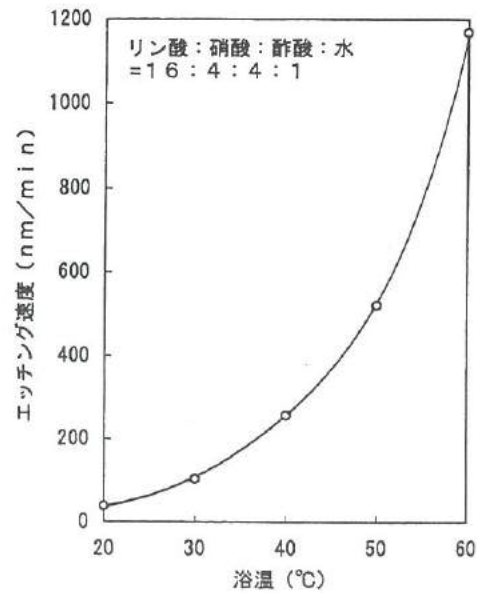


図9 浴温とエッチング速度の関係

Fig.9. Relationship between bath temperature and etching rate.

#### (5) 浴温の影響

ここでは、浴温がエッチング速度およびテーパ形状にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

エッチング液には基本組成のものを使用し、浴温は20、30、40、50、60°Cと変化させた。

図9は浴温とエッチング速度の関係を示す。図9より、浴温によってエッチング速度が大きく変化することがわかった。20および30°C付近ではエッチングにかなりの時間を要するので膜厚の薄いものを処理する場合には有効であるが、1 μm以上の膜厚のものに対しては生産性に問題が生じる。また、50および60°Cになるとエッチング速度が速すぎるため、エッチング終点の見極めが困難になるという問題が生じる。このため、浴温は40°C付近が最適であると考えられる。なお、エッチング終点付近でのテーパ形状には変化は見られなかった。

#### 4. 結言

本研究では、LCDを対象としたアルミニウム配線用のリン酸-硝酸-酢酸-水系ウェットエッチング液に対して、硝酸濃度、酢酸濃度、水濃度（リン酸濃度）、溶存アルミニウム濃度および浴温を変化させた場合、これらのパラメータがエッチング速度およびテーパ形状に及ぼす影響を調べた。その結果を次にまとめて示す。

- ① 硝酸を添加するとエッチング速度は速くなるが、濃度の影響はほとんど受けないことが判明した。
- ② 硝酸濃度を調整することでテーパ角度を制御することが可能である。
- ③ 酢酸濃度が高くなるとエッチング速度は低下するが、酢酸にはレジストの保護と基板表面からの水素ガスの離脱促進作用がある。
- ④ 水を少量添加することによってエッチング速度が安定することが判明した。
- ⑤ 溶存アルミニウム濃度が5 g/l前後ではエッチング速度およびテーパ形状に大幅な影響を及ぼさないことが判明した。
- ⑥ 浴温は40°C付近が最適である。30°C以下ではエッチング速度が遅く、50°C以上ではエッチング終点の見極めが困難となることが判明した。

#### 参考文献

- (1) 二瓶, フォトエッチングと微細加工 (総合電子出版), 82 (1977)



## IV. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発

### Development of an actuator using shape memory alloy film

山下 慎也

YAMASHITA Shin'ya

高橋 伸忠

TAKAHASHI Nobutada

能村 輝一

NOMURA Kouichi

高林 外広

TAKABAYASHI Sotohiro

鍋澤 浩文

NABESAWA Hirohumi

藤城 敏史

FUJIKI Satoshi

谷野 克巳

TANINO Katsumi

### Abstract

NiTi shape memory alloy (NiTi-SMA) devices can exhibit advantages such as large deformation and recovery force, small temperature hysteresis of rhombohedral phase austenite phase, tough to repeated use and ability to use resistance heating as a source of heat energy for the shape recovery. NiTi-SMA devices have, however, a disadvantage in that they exhibit a slow response due to their low of the cooling rate. Therefore, NiTi-SMA films are expected for use as micro devices because they have a short response time due to their high cooling and heating rates.

In this study, a grip type actuator that consisted of two layers (SMA layer and inverse layer) was fabricated for trial. The SMA layer was deposited by dual source RF magnetron sputtering apparatus, and the inverse layer was deposited by sputtering and electroless plating. The results are as follows.

- (1) The micro-fabrication process of SMA films was established.
- (2) The heat resisting resin spread by spinner was most suitable for under layer between a silicon substrate and a SMA film.
- (3) Electroless plated Nickel layer was most suitable for the inverse layer, because it adhered to SMA uniformly and the quality of this layer was satisfactory without any defaults.
- (4) It was verified that the grip type actuator worked repeatedly by current.

### 1. 緒言

最近、省資源、省エネルギー、無公害等の社会的ニーズに対応した、新素材の開発が強く望まれるようになってきている。その中で、新しい機能性材料の一つである形状記憶合金は、形状回復時にきわめて大きな回復力および回復ひずみ量を発生する等の特性を持つことから、実用化の期待が高まっている材料である。この中で、NiTi合金は唯一実用化されている材料で、R相変態といわれるこの合金にしか見られない現象を用いることで、温度ヒステリシスを2℃以下と非常に小さくでき、かつ動作温度も室温から100℃前後で扱いやすく、さらに直接通電加熱ができるので構造が簡単で済む等の特徴を持っている。しかし、NiTi形状記憶合金の形状変化は温度に対して非可逆的であり、アクチュエータとして使用する場合、バネやおもりなどのバイアス力が必要となる。

本研究では、NiTi形状記憶合金薄膜にバイアス膜として銅やニッケルを着膜することで、可逆的記憶効果を示す機能性薄膜を考案、試作した。さらに、フォトリソグラフィを組み合わせることにより、グリップ方式のアクチュエータを試作して、その動作確認を行った。本論文はこれらの概要について述べている。

## 2. アクチュエータの動作原理

まず形状記憶合金（以下、SMAと略記）の形状記憶効果の原理を説明する。一般の金属では弾性限界を超えた応力が加わると原子間にすべりが生じ、塑性変形を起こす。しかし、SMAではMf点（冷却時、マルテンサイト変態が終了する温度）以下の温度で応力が加わると、マルテンサイト双晶界面に移動が起こって変形する。すなわち、隣接原子の位置を変えることなく変形が進む。これを加熱すると、母相（オーステナイト相）への変態に伴って変形前の形状に戻る。

ここでSMAのアクチュエータへの応用に関して重要な役割を果たすロンボヒドラル相（R相）変態について説明する。R相はNiTiを特定の条件で熱処理した際に生じる相で、マルテンサイト相（M相）とオーステナイト相（A相）との中間相に位置する。M相 A相間の変態は形状回復量および回復力は大きいものの、温度ヒステリシスが数10°Cと大きいため、アクチュエータへの利用としては適さない。一方、R相 A相間の変態の利用は形状回復量および回復力は小さいものの、温度ヒステリシスがわずか数°Cと小さく、ほぼ可逆的に起こるため、アクチュエータとして用いるには適している。

次に、本研究で開発したグリップ方式のアクチュエータの動作原理を説明する。この模式図を図1に示す。フォトリソグラフィで加工したNiTi-SMAをアクチュエータが開いた状態、すなわち平板状に形状記憶させるための時効処理を行う。次にアクチュエータが把持した状態、すなわちつかみの部分がわん曲した状態で銅やニッケル等のバイアス膜を着膜する。このアクチュエータを通电等によって加熱すると、SMA膜は逆変態温度を超えてA相に相変態する。このA相はヤング率が大きく、バイアス力に打ち勝って形状記憶された平板状に形状を回復する。これによりアクチュエータが開いた状態になる。一方、通电を停止し膜が冷却されるとSMA膜はR相に相変態する。このR相は、見かけのヤング率が極端に小さいため、バイアス膜の曲げようとする力が優勢になり、アクチュエータが把持した状態となる。

## 3. 実験方法

SMA膜の作製には3極マグネトロンスパッタを用いた。基板には、銅箔（膜厚20μm）およびSiウエハを用いた。基板からのSMA膜の剥離のため、Siウエハの上には、スパッタによって着膜した銅薄膜、スピナーによって塗布したフォトリソ、ならびにポリイミドテープを下地材料として用いた。

図2はアクチュエータの作製フローの一例を示す。Siウエハ上



図1 アクチュエータの動作原理

Fig.1. The moving principle of actuator.

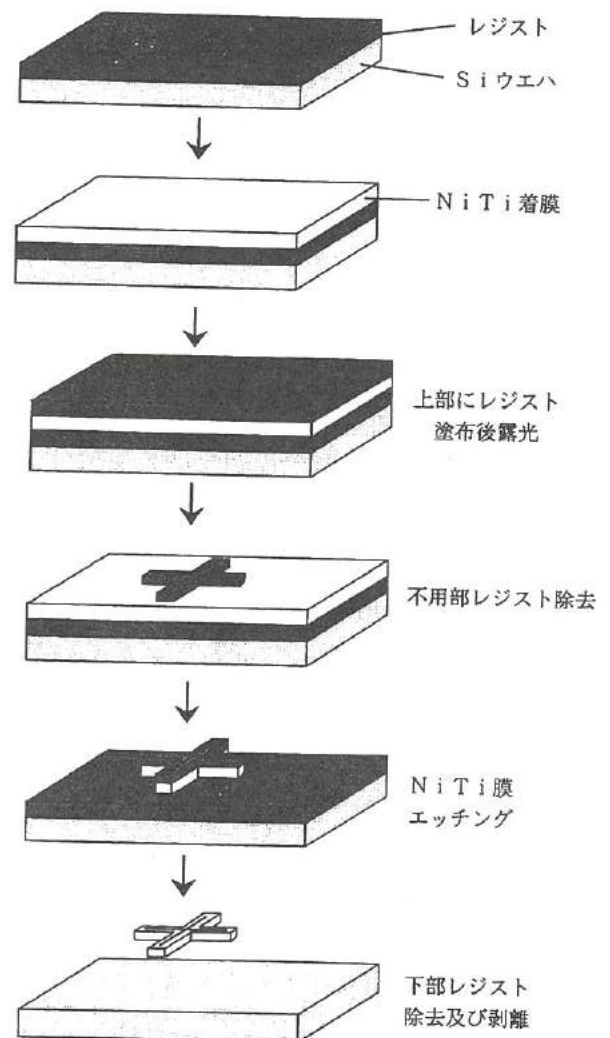


図2 アクチュエータの作製フローの一例

Fig.2. An example of fabricating flow of actuator.

にポジ型レジストを200°C、30分で硬化させその上にSMA膜を着膜した。このときの条件を表1に示す。基板上に作製されたSMA膜をフォトリソグラフィによりFig.3の形状に加工した。NiTiのエッチング液には混酸 (HF:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O=1:5:5) を使い、基板からの剥離には10%NaOH水溶液および剥離液を用いた。SMA膜にスリットを入れることで、膜全体に電流が流れるようになっている。膜を洗浄後、結晶化のための溶体化処理を真空中(2.66×10<sup>-3</sup> Pa)800°Cで30分行い、引き続き形状記憶のための時効処理を真空中400°Cで6時間行った。

熱処理の後、図4に示すバイアス膜作製治具(テフロン製)を用い、SMA膜をアクチュエータ把持の状態に保ちながら、その上にバイアス膜を着膜した。着膜には図5に示すように無電解メッキ法およびスパッタリング法を併用した。

無電解メッキした材料はニッケルおよび銅であり、そのフロー

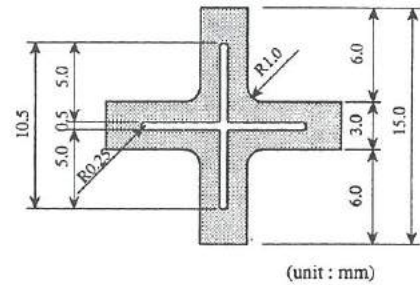


図3 アクチュエータの形状  
Fig.3. An experimental actuator.

表1 スパッタリング条件

Table 1 Sputtering conditions.

Target-substrate distance	60mm
RF power	NiTi 300W Ti 100W
Deposition rate	1μm/h
Back pressure	1.6×10 <sup>-3</sup> Pa
Ar pressure	2.4×10 <sup>-1</sup> Pa
substrate rotation	20 r. p. m

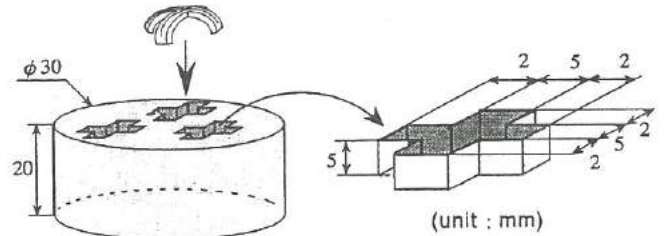


図4 テフロン製ジグ  
Fig.4. A teflon instrument.

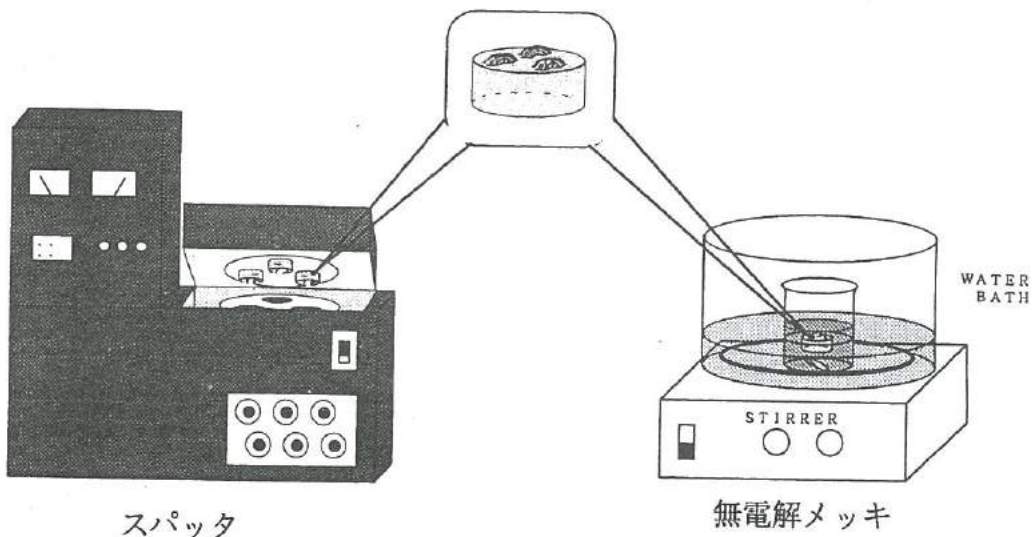


図5 バイアス膜の着膜方法  
Fig.5. Fabrication methods of inverse force films.

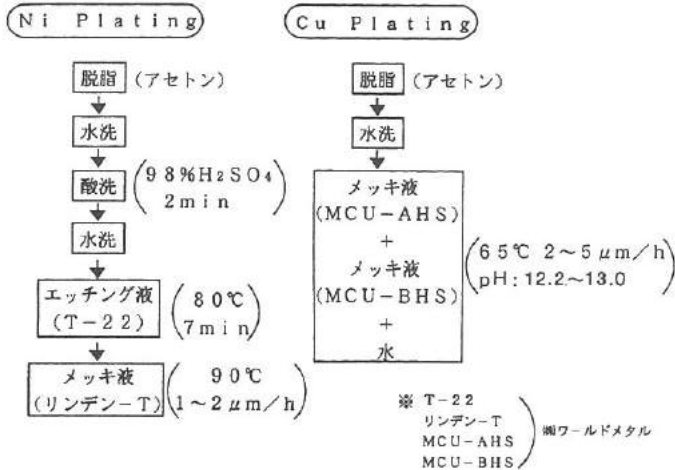


図6 無電解メッキのフロー

Fig.6. Flows of electroless plating.

表3 基板および下地材料の種類と結果

Table 3 Relationship between substrate, under layer and quality of film.

基板および下地材料	結果	詳細
基板: Cu箔 下地: なし	×	リソグラフィの際、レジストが均一に塗布できない
基板: Siウエハ 下地: Cu(スパッタ膜)	×	エッチングでCuを溶解する際、水素を発生しNiTi膜を破砕する
基板: Siウエハ 下地: フォトレジスト 基板ホルダー: 回転	○	フォトリソグラフィにより任意の2次元形状が得られる
基板: Siウエハ 下地: フォトレジスト 基板ホルダー: 固定	×	熱によりフォトレジストが変質、変形する
基板: Siウエハ 下地: ポリイミドテープ	×	ポリイミドからのNiTi膜の剥離ができない

表2 ハイアス膜のスパッタリング条件

Table 2 Sputtering conditions of inverse force film.

Target-substrate distance	60mm	
RF power	Ni	150W
	Cu	150W
	Cr	150W
Back pressure	$1.6 \times 10^{-3}$ Pa	
Ar pressure	$2.4 \times 10^{-1}$ Pa	
substrate rotation	20 r.p.m	
Time	3.5.8.10.13Hr	

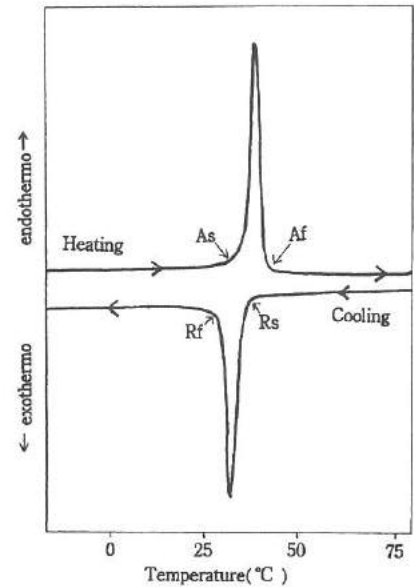


図7 NiTi膜のDSC曲線

Fig.7. DSC results of NiTi film.

図6に示す。スパッタリングで着膜した材料は、ニッケル、銅、クロムである。このときのスパッタリング条件を表2に示す。

ハイアス膜を着けたアクチュエータには、スポット溶接によってリード線を取り付け、通電加熱による動作実験をした。

また、この膜の物理的性質等を評価するため、断面組織観察はSEM（走査型電子顕微鏡）、組成はICP（誘導結合高周波プラズマ発光分光分析装置）、結晶構造はXRD（X線回折装置）、ならびに変態温度はDSC（示差走査熱量計）を用いて測定した。

#### 4 結果及び考察

##### 4.1 NiTi膜の物性

NiTi膜の組成比はNi:ti=45.6:54.4 (at比)であった。この膜のDSC曲線を図7に示す。昇温時にはR相からA相への相変態に伴う吸熱のピークが38.8°Cにおいて確認された。また、冷却時にはA相からR相への相変態に伴う発熱のピークが31.8°Cにおいて確認された。この膜の温度ヒステリシス(Af-Rs)は7°Cであった。

#### 4.2 基板および下地材料の種類と結果

表3は基板および下地材料の種類と膜質を示す。この結果、Siウエハ上にフォトレジストを塗布し、回転させながら着膜したものは良い膜質が得られることが分かった。

一方、基板にCu箔を用い、この上にNiTiを直接着膜させたものは、シワが生じるためリソグラフィの際にレジストを均一に塗布できない。

Siウエハ上にスパッタリングによってCuを下地として着膜したものは、エッチングの際に発生する水素がNiTi膜を破砕してしまう。Siウエハ上に下地としてポリイミドテープを貼付したものは、エッチングは問題ないもののポリイミドテープとNiTi膜の剥離が困難である。

Siウエハ上に下地としてフォトレジストを用いたものは、連続的にスパッタリングを行うとプラズマの熱によってフォトレジストが変質してしまうが、基板ホルダーを回転させることで変質が起きず、着膜は可能である。これは、スパッタ装置が3元系であるため、基板ホルダーを回転させることによってプラズマがレジスト面に照射されない部位があり、この間に放熱するため、フォトレジストの温度の上昇とこれに伴う変質を抑えることができたためである。

#### 4.3 バias膜の種類と膜質

bias膜の種類と着膜方法、および得られた膜質の結果を表4に示す。以下に着膜法ごとに考察する。

##### 4.3.1 メッキによる着膜

Ni無電解メッキ（塩化パラジウムによる前処理を施さないもの）による膜は、着膜速度が極めて遅いものの質の良い膜が得られ、また複雑な形状のものに対しても全体的に均一に着膜するため、bias膜として最も適していることが分かった。

また、通常の無電解メッキでは不可能であったCuについてはPdCl<sub>2</sub>処理をすることによってメッキは可能であった。しかし、塩化パラジウムで前処理したものはNi, Cuともに着膜速度は速いが、NiおよびCuのいずれも膜中の欠陥が多く、良い質の膜が得られないことが分かった。

##### 4.3.2 スパッタリングによる着膜

Cuはスパッタリングによる着膜でもNiTiとの密着性が悪く、bias膜に適さない。NiおよびCrは良好な質の膜が得られたが、スパッタリングの性質上、複雑な形状のものに対して均一に着膜させることは困難である。

図8はスパッタリングによってNiを着膜したNiTi膜の断面の写真を示す。NiTiとNiの膜厚はそれぞれ7μmと0.5μmであり、NiがNiTi上に密着しているのが確認される。

#### 4.4 アクチュエータの動作確認

作製したグリップ方式のアクチュエータに0.7Aの電流をON、

表4 bias膜の種類と膜質

Table 4 Inverse force films and qualities.

bias膜	結果	詳細
Ni (メッキ: PdCl <sub>2</sub> 処理なし)	◎	形状に沿った着膜が可能 複雑な形状でも可能 着膜速度が遅く、厚い膜ができない
Ni (メッキ: PdCl <sub>2</sub> 処理あり)	×	着膜速度は速いが、膜質が悪い 厚い膜ができる
Ni (スパッタ)	○	膜質は良好 均一に着膜できない
Cr (スパッタ)	○	膜質は良好 均一に着膜できない
Cu (メッキ: PdCl <sub>2</sub> 処理あり)	×	着膜速度は速いが、膜質が悪い NiTiとの密着性が悪い
Cu (スパッタ)	△	膜質は良好 NiTiとの密着性が悪い 均一に着膜できない

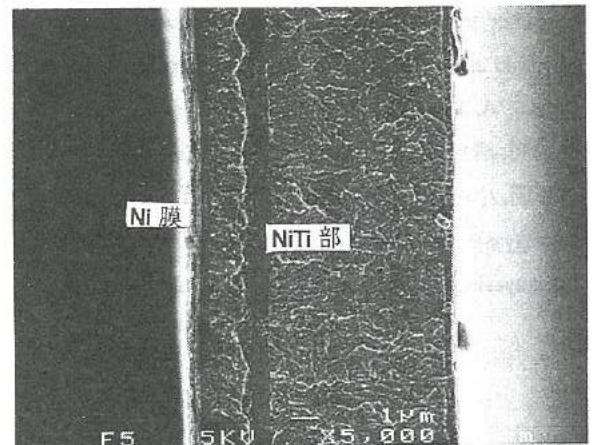


図8 アクチュエータの断面 (SEM 写真)

Fig.8. Section of actuator (SEM photograph).

OFFしたところ、可逆形状記憶効果を伴う動作を示した。図9の(a)は通電加熱によってアクチュエータのグリップが開いた様子を示したものである。図9の(b)は通電を止めて冷却した結果、グリップが閉じた様子を示したものである。このアクチュエータの応答性は1/2Hzであり、繰り返し作動でもバイアス膜の剥離や応答性の低下などの劣化は見られなかった。

## 5 結 言

本研究では、形状記憶合金膜にバイアス膜を着膜した可逆的形状記憶素子を用いたマイクロアクチュエータの開発を試みた。この結果は以下の通りである。

- (1) NiTi形状記憶合金を用いたマイクロアクチュエータの作製プロセスを確立した。
  - (2) NiTi膜を剥離するための下地材料としては、フォトレジストを熱硬化させたものが最も適する。また、スパッタリング時に基板ホルダーを回転させることにより、下地材料の変質を防止することができた。
  - (3) NiTiのエッチング液には混酸 (HF:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O=1:5:5) が良い。
  - (4) NiTiの基板からの剥離には10%NaOH水溶液が良い。
  - (5) バイアス膜にはNiおよびCrが適する。
  - (6) バイアス膜の着膜方法としては無電解メッキ、スパッタリングが適当である。
- ・グリップ方式のアクチュエータの動作に関しては、電流をオン・オフすることによってグリップを開閉することができた。

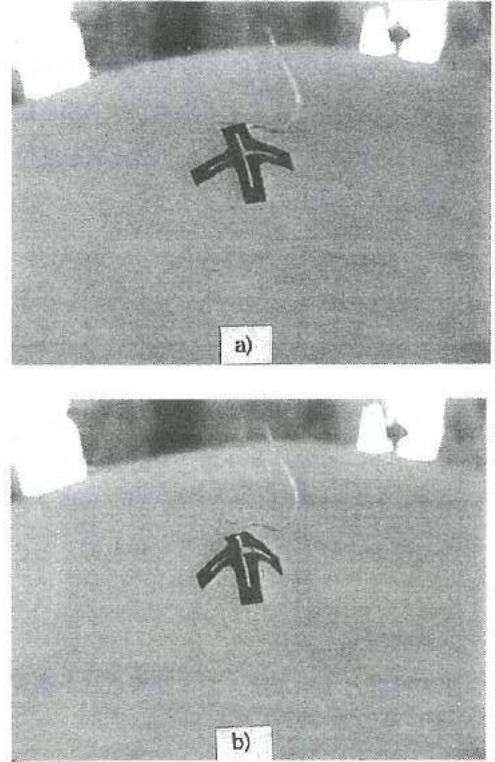


図9 アクチュエータの動作例 a) 通電加熱時 b) 冷却時  
Fig.9. Motion of trial actuator. a)Current on b)Current off

## 参考文献

- 1) J. D. Busch, A. D. Johnson, D. E. Hodgson, C. H. Lee and D. A. Stevenson, Mater. Sci. Forum. 56-58(1990)729
- 2) J. A. Walker and K. J. Gabriel, Sens. Actuators A, 21-23(1990)243.
- 3) S. Miyazaki and A. Ishida, Marer. Transactions, 14-19(1994)35
- 4) A. Ishida, A. Takei and S. Miyazaki, Thin Solid Films. 210-214(1993)228
- 5) 栗林勝利, 清水聖治, 西ノ原隆行, 谷口隆雄, Micro Machine, 136-141(1993)6
- 6) 吉竹正明, 小川倉一, 栗林勝利, 清水聖治, 第3回インテリジェント材料シンポジウム講演要旨集, 19-21(1993)
- 7) S Takabayashi et al. Journal of Society of Material Science Japan, 44, 506, (1995)
- 8) S Takabayashi et al. Japan Journal of Applied Physics 35, 1, (1996)

# V. 微動機構による機械の高度化の研究

## Study of High Performance Technology in Machine by Micro-moving Mechanism

佐野 仁一      杉森 博      浅田 峯夫      清水 孝晃      中川 章      谷野 克巳  
SANO Masakazu    SUGIMORI Hiroshi    ASADA Mineo    SHIMIZU Takaaki    NAKAGAWA Akira    TANINO Katsumi

### Abstract

The carriage straightness is require for a machine tool or coordinate measuring machine. The deviation in the relative distance between the work and the tool, is caused by the error in straight motion of the carriage with machine tool. In the measuring machine, the signal from the displacement sensor includes inevitably the error due to the erratic straight motion of the carriage.

In this study, we would like to develop the system which correct the error in straight motion of the carriage and to make the carriage high accuracy. By using the light position sensor and the piezo-compensator, the carriage on a slide table is able to travel straight along the laser beam as a standard straight datum. This system enable the straightness of a slide table to be less than  $1\mu\text{m}$  for vertical direction and something like  $1\mu\text{m}$  for horizontal direction. It is possible to improve surface waviness by adjusting this straightness compensation system to machining.

### 1. 緒言

機械加工においては加工中の工具と工作物の相対的な位置関係が加工精度を決定しているため、機械固有の精度や加工中の工具の状態等が工作物の加工精度に大きな影響を及ぼしている。機械固有の精度には主軸の振れ、直進運動の位置決め、真直度、直角度等があり、これらのうち真直度の精度誤差は移動テーブルの運動中あるいは停止時の姿勢によって生じる。

一方、機械加工の高精度化が望まれている昨今、機械固有の運動精度を超えた加工精度が要求されており、その解決策の1つとして加工中の機械要素の微小な真直度誤差、真円度誤差、加工中に発生する機械の熱変位や振動等による微小な加工誤差等をインプロセス計測し、これを能動的に補正することで加工精度の向上を図ろうとする研究がなされている。

本研究では機械の高精度化のため、移動テーブルの運動によって生じる真直度誤差をレーザー光の直進性を基準にして、圧電アクチュエータによる微動機構で補正するシステムを考案し、その性能評価を行った。

### 2. 真直度の補正方法

図1は真直度補正システムの概念図である。機械の移動テーブルを1方向に直進運動させると、その運動方向に対して直角方向に微小偏差を生じる。この偏差を真直度といい、これが測定機では測定誤差を生じ、加工機においては加工精度に影響を及ぼす。そこで、レーザー光の直進性を基準にして、移動テーブルの真直度誤差を光位置検出器によって測定し、その誤差を打ち消すように微動装置を動かす方法を考案した。この方法によって移動テーブルをレーザー光に沿って真っ直ぐに移動させ、真直度の改善を図ることとした。

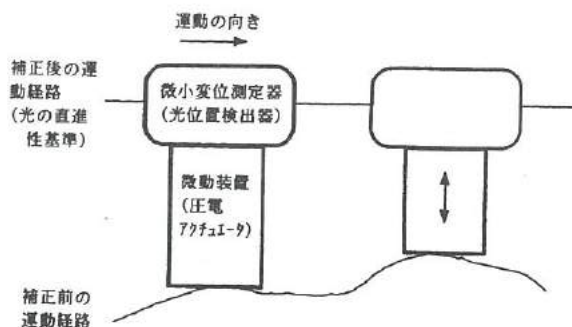


図1 システムの概念図

Fig.1. Principle of compensation system for straightness measurement.

### 3. 実験装置および特性評価

#### 3.1 実験装置の構成

図2はシステムの構成を示す。真直度を測定する光位置検出器は半導体レーザ（光波長 670nm, 以下にLDと略記）、ピンホール、4分割シリコンフォトダイオード（以下に4素子光センサと略記）によって構成されている。LDのコリメート光は真直の基準であり、これが移動テーブル上のピンホールを通過して4素子光センサで受光する。この際、外乱光の影響を低減するため、4素子光センサは光学フィルタ（669 nmのバンドパスフィルタ）を通過した光を受光している。移動テーブルが真直度誤差を生じると、ピンホールも同様に偏差を生じ、4素子光センサからはこれに対応した出力信号が得られる。このセンサからの出力信号は、信号処理回路および増幅器を通過してA/D変換され、12ビットデータとしてパソコンに取り込まれる。この際、32回の取り込みデータを平均化することによって入力信号のS/N比を向上させている。このときのサンプリング速度は240Hzである。次に、パソコンに取り込んだデータから圧電アクチュエータへの出力信号を算出し、D/A変換した後、アクチュエータ駆動用増幅器を経て微動装置を駆動することによって移動テーブルの真直度誤差を補正する機構となっている。

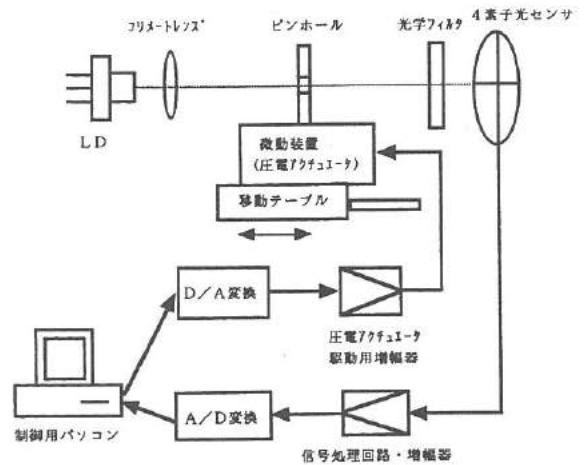


図2 システムの構成

Fig.2. Schematic of system.

#### 3.1.1 光位置検出器

図3は光位置検出器の概要を示す。LD光を4素子光センサ（浜松フォトニクス製 S4521）で受光し、4つのフォトダイオードからの信号をそれぞれ電流・電圧変換した後、和・差の演算回路、増幅器を通過することによって鉛直、水平の2方向のビームの位置信号として出力している。図4は光源に真円コリメートされたLD（光束径6.5mm、波長670nm、光強度1.5mW）を用いて、光位置検出器を微動させた時の変位置と出力電圧の関係を表している。出力電圧は変位置に対してほぼ線形の関係にあり、また、最小分解能はノイズが多少認められるものの  $0.3\mu\text{m}$  程度であった。しかし、100秒間で約  $0.5\mu\text{m}$  に相当する緩い信号変動が認められ、長時間の安定性に問題があった。なお、光位置検出器のセンサ部の大きさは  $80 \times 50 \times 30\text{mm}$  であり、予定よりやや大きいサイズになった。

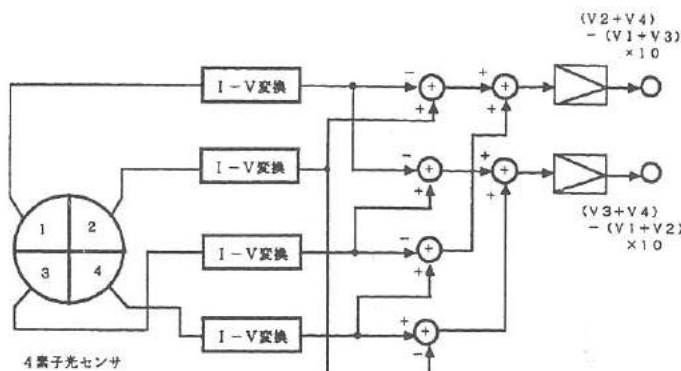


図3 光位置検出器の概要

Fig.3. Block diagram of position sensor.

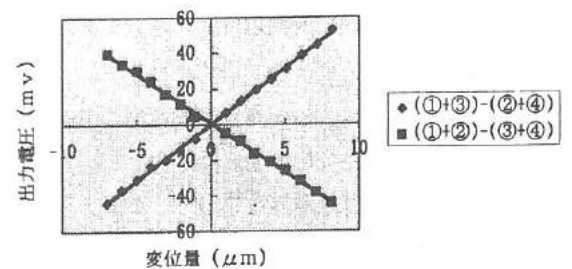


図4 変位置と出力電圧の関係

Fig.4. Relationship between displacement quantity and output voltage of position sensor.



### 3. 1. 2 圧電アクチュエータによる微動装置

微動装置の駆動源には積層型圧電アクチュエータ（トキン製 NLA-10×10×18）を用いた。圧電アクチュエータは、10×10×18mmの直方体で、100Vの入力電圧に対して最大15 $\mu$ mの変位を生じる。図5に示すように、このアクチュエータはヒステリシスを持ち、電圧の増減によって伸縮する性質をもっている。また、耐荷重は最大変位時で約3kNであった。図6は鉛直方向と水平方向の微動装置の概要を示す。鉛直方向のものでは圧電アクチュエータは黄銅製の円筒状のケースに入っており、4本のボルトで圧縮力がかけられている。また、水平方向のものはアルミ製の1体構造で、平行バネの形をしており、圧電アクチュエータにはやはり圧縮力がかけられている。この2方向の微動装置を上下に積み重ねて1体化し、2軸の微動装置を作製した。図7は作製した微動装置の外観を示す。

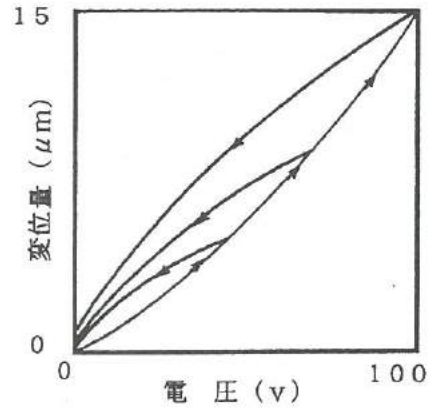


図5 電圧-変位特性

Fig.5. Displacement characteristics of piezo-actuator.

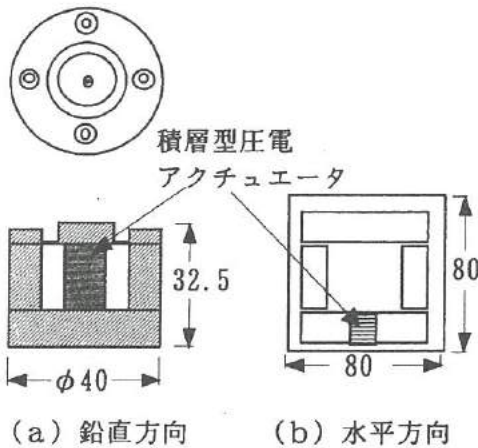


図6 微動装置の概要

Fig.6. Outline of micro-moving unit.

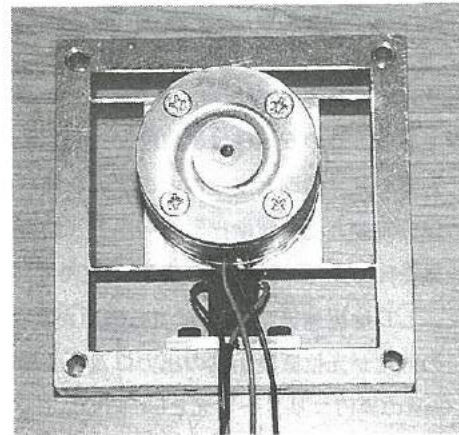
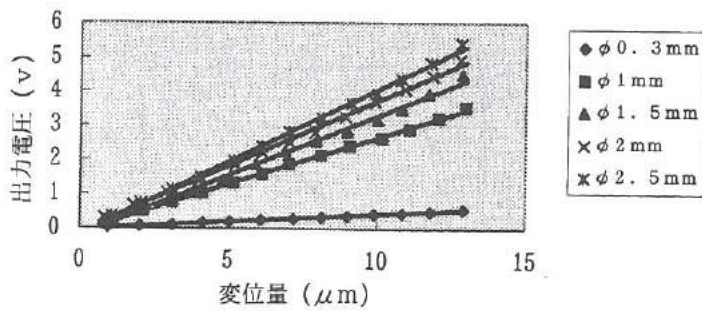


図7 微動装置の外観

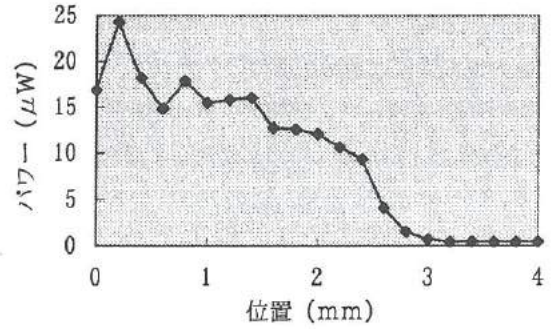
Fig.7. Appearance of micro-moving unit.

### 3. 2 ピンホールの大きさの決定

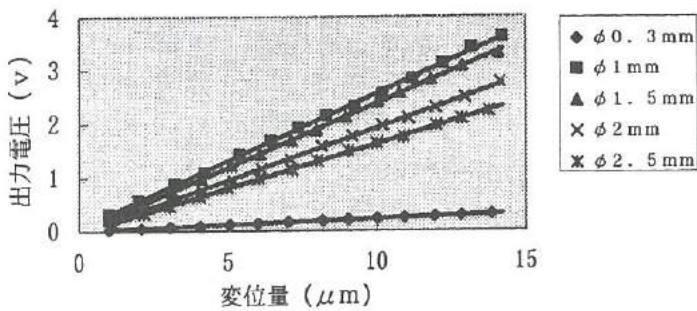
試作した光位置検出器は移動テーブルに搭載するには大きいため、光源と受光素子の間にピンホールをもうけ、これをテーブルに取り付けて光位置検出を行った。図8はピンホールの大きさをパラメータとした時の変位量と検出器出力との関係を示す。光源にはコリメートされたLD（光強度5.4mW、スポット径7mm×3mm）を用いた。鉛直方向は、ピンホールの大きさが大きくなるに従って感度は高くなるが、水平方向は $\phi$ 1mmで最も感度が高くなっている。図9は、LDの強度分布を調べるために $\phi$ 0.3mmのピンホールをビームの中心から一定間隔で走査したときの受光強度に相当する4素子光センサの総和の信号と中心からの距離の関係を示している。鉛直方向は2.5mm、水平方向は0.5mm程度まで15 $\mu$ W以上の強度があるが、それより外側では急激に強度が低下する傾向にある。この結果、水平方向で $\phi$ 1mm以上のピンホールを採用した場合に感度が低下する理由は、LDの強度分布の影響によるものと思われる。従って、本システムでは2軸制御するため、2方向ともに感度が高い $\phi$ 1mmのピンホールを採用した。



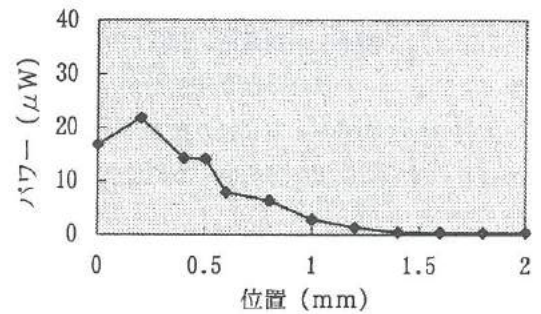
(a) 鉛直方向



(a) 鉛直方向



(b) 水平方向



(b) 水平方向

図8 ピンホールの大きさと出力の関係  
Fig.8. Pinhole diameter v.s. output voltage.

図9 LDの強度分布  
Fig.9. Distribution of LD beam density.

### 3.3 レーザ光の安定性

直線の基準であるLDの安定性は測定精度に大きな影響を及ぼすため、LDの発光時間と安定性との関係を調べた。図10はLDの駆動時間と光位置検出器の各出力（鉛直方向、水平方向、4素子光センサの総和）の変動（測定時間250秒間）の関係を示す。LDは駆動後240分程度で各出力が安定する。

次に、LDの強度が光位置検出器の出力に及ぼす影響を調べるため、1.6mWの真円コリメート光と5.4mWのコリメート光の2種類を比較した。最も感度が高くなるピンホールを用いて変位と光位置センサの出力の関係を調べたところ、それぞれ34mW/μmと423mW/μmの感度となり、強度の強い方が高感度になることがわかった。光位置検出器の一定時間内での出力変動を調べ、これを先に示した感度によって変位に換算した際のノイズレベルをそれぞれのLDで比較したところ、

1.6mWのLDで1.23μm、5.4mWのLDで0.3μmの変動がみられた。以上の結果よりLDの強度が光位置検出器のS/N比に大きく影響を及ぼすことがわかった。

最後に、空気の流れ等の環境が出力信号に与える影響を調べるため、装置に簡易カバーを施してその影響を調べた。図11はカバーの有無による出力波形の違いを示す。カバーを施すことによって光位置検出器出力のノイズが低減されることがわかる。レーザー光が空気のゆらぎの影響を受けているものと思われる、さらに高精度測定を行う場合は、外気の遮断が必要であると考えている。以上のレーザー光の安定性について検討した結果に基づいて、最も良好な条件で光位置検出器の最小分解能を調べたものを図12に示す。図より明らかであるように0.1μm程度の変位の検出が可能となった。

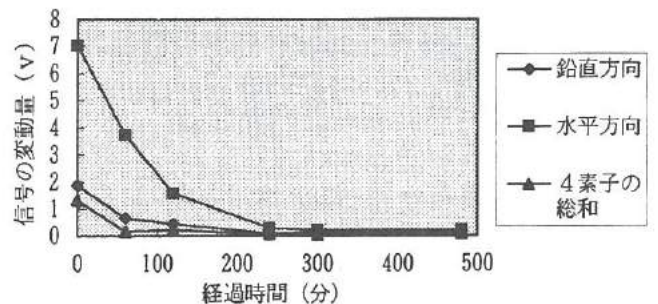
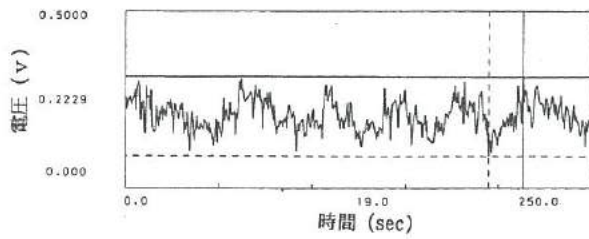
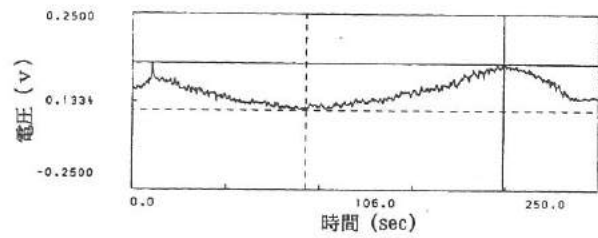


図10 経過時間に対する信号の変動量  
Fig.10. LD beam stability with time elapsed.



(a) カバーなし



(b) カバーあり

図11 環境による影響

Fig.11. Effect of air flow v.s. stability of noise voltage.

#### 4. 送りテーブルの真直度補正

本システムの有用性を確認するため、レーザ測長機 (HP製、5528A) を使ってその性能を確認した。1方向の移動テーブル上にレーザ測長機の干渉計を乗せ、本システムによる補正の有無がレーザ測長機による真直度測定結果に及ぼす影響を調べた。図13は、鉛直方向と水平方向をレーザ測長機によって真直度測定した結果を示す。本システムによって補正を行わない場合、鉛直方向と水平方向の真直度はそれぞれ  $1.477\mu\text{m}$

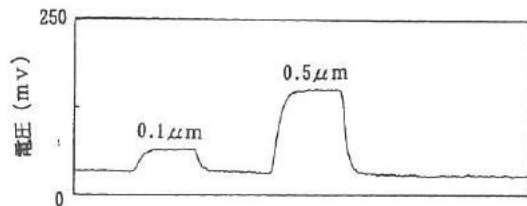
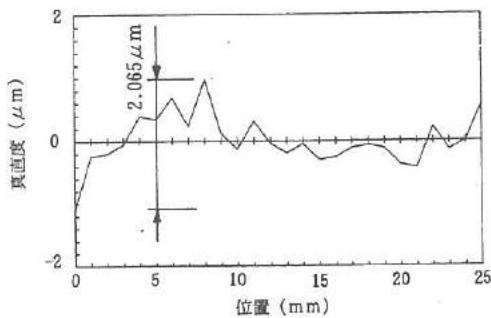


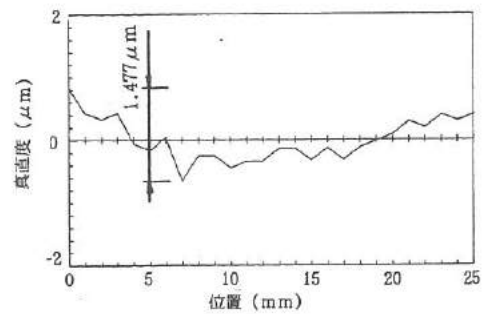
図12 光位置検出器の出力信号

Fig.12. Output voltage of position sensor.

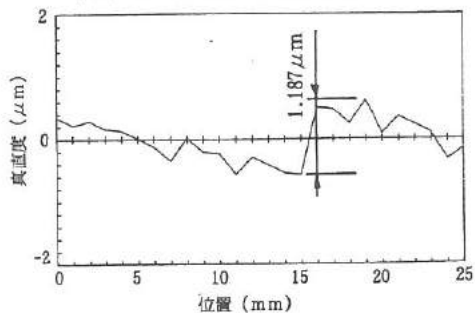
$/25\text{mm}$ 、 $2.065\mu\text{m}/25\text{mm}$  であった。一方補正した場合はそれぞれ  $0.586\mu\text{m}$ 、 $1.187\mu\text{m}$  とほぼ半減しており、本システムが有効であることを確認した。図14は試作した光位置検出器の出力から得た移動テーブルの真直度測定結果を示す。レーザ測長機による測定結果と概ね一致しており、簡易測定機としての利用も可能であることがわかった。



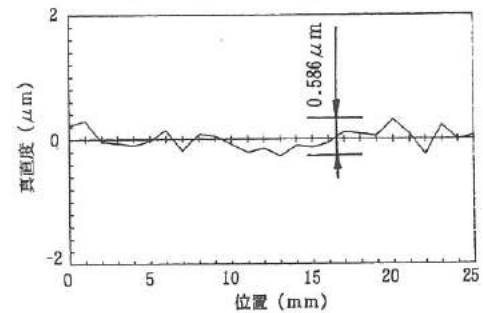
(a) 水平方向 (補正なし)



(c) 鉛直方向 (補正なし)



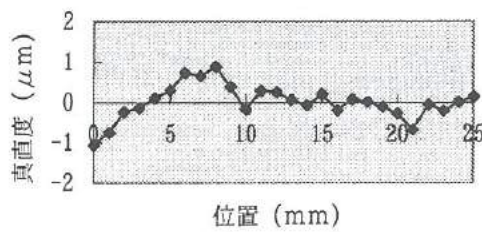
(b) 水平方向 (補正あり)



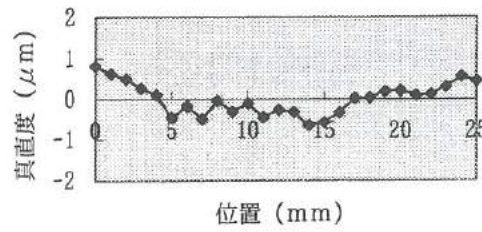
(d) 鉛直方向 (補正あり)

図13 レーザ測長機による真直度測定の結果

Fig.13. Straightness measurement by laser measurement system.



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図14 光位置検出器による真直度の測定

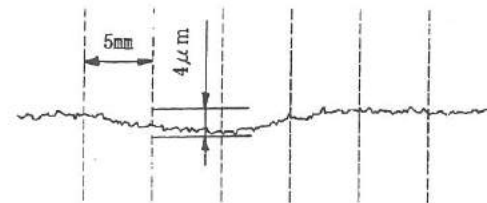
Fig.14. Straightness measurement by position sensor.

## 5. 機械加工への適用

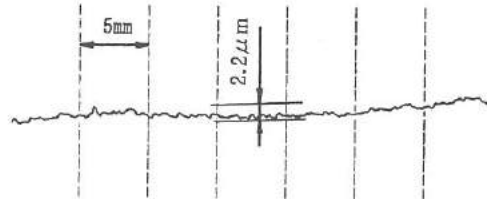
応用例として本システムを機械加工に適用した。微動装置上に試料をのせ、真直度の補正の有無がフライス加工後の試料の表面うねりに及ぼす影響を調べた。表1はこの時の加工条件を示し、図15は加工後の試料の表面うねり形状を示す。補正がない場合は  $4\mu\text{m}/35\text{mm}$  の真直度が、補正することによって  $2.2\mu\text{m}/35\text{mm}$  と低減しているのがわかる。しかし、主軸の回転数を高速にしていくと補正の効果は見られなくなり、応答性に関する問題点が明らかとなった。これは、圧電アクチュエータの変位特性、データ処理時間等が原因と考えられ、圧電アクチュエータの変位特性の線形化による高速応答化、DSPによる高速データ処理等の対策が必要である。

表1 加工条件  
Table 1. Cutting condition.

工 具	$\phi 18\text{mm}$ 2枚刃エンドミル
被 削 材	パラフィン (厚さ: $5\text{mm}$ )
主軸回転数	$30\text{rpm}$
送り速度	$3\text{mm}/\text{min}$
切り込み	$0.01\text{mm}$



(a) 補正なし



(b) 補正あり

図15 試料の表面うねり曲線

Fig.15. Surface waviness of workpiece.

## 6. 結 言

レーザ光の直進性を基準にして、移動テーブルの真直度誤差をピンホール、4分割フォトダイオードから構成される光位置検出器によって検出し、その誤差を圧電アクチュエータによる微動装置によって補正するシステムを試作し、その評価を行ったところ、以下のような結果を得た。

- (1) LDによる光位置検出方法は測定環境、LDの強度、レーザ駆動後の経過時間、ピンホールの大きさ等が精度、感度に影響を及ぼす。
- (2) 試作した真直度補正システムによって1方向の送りテーブルの真直度補正を行ったところ、鉛直方向で  $0.5\mu\text{m}$ 、水平方向で約  $1\mu\text{m}$ 程度に真直度を抑えることが可能となった。
- (3) 試作したシステムを機械加工に適用したところ、低速回転時には若干の真直度の改善が見られた。しかし、高速回転時の応答性については問題がみられたため、今後の課題として残った。

## VI. 薄膜超磁歪素子の研究

### Study of Giant Magnetostrictive Alloy Films

酒井 隆正  
SAKAI Ryusei

谷上 英樹  
TANIGAMI Hideki

浅田 峯夫  
ASADA Mineo

田村 幾夫  
TAMURA Ikuo

谷野 克巳  
TANINO Katsumi

#### Abstract

The magnetostrictive alloy films can be used for micro magnetomechanical devices such as micro-actuators operating without power supply cable, if the films have large striction at low magnetic field. In this study, we prepare Tb-Fe and Sm-Fe films by sputtering method and investigate how to obtain both soft magnetic properties and large magneto-striction in these systems. Then we make a cantilever by accumulating Tb-Fe and Sm-Fe on a aluminum film and measuring displacement of the free end of the cantilever.

The results and conclusions are summarized as follows:

- (1)The Tb-Fe thin films have easy-axis perpendicular to the film planes in the compositional rang of 26-30 at% of Tb content and have in-plane easy-axis in the range of 40-55 at%. On the other hand, films of Sm-Fe have in-plan easy-axis in the wide range of 18-60 at% of Sm content.
- (2)The Tb-Fe thin films have large magneto-strictions in the neighbourhood of 40 at% of Tb content and exhibit maximum striction in 41 at% at low magnetic field (1kOe).
- (3)The Sm-Fe thin films have large magneto-strictions in the range of 30-40 at% of Sm content and exhibit maximum striction in 37 at% at low magnetic field (1kOe).
- (4)Curie temperture of the magnetostrictive films are 100-110°C in Tb-Fe films and 150-160°C in Sm-Fe films respectively at the compositional range of exhibiting large magneto-strictions.

#### 1. 緒言

磁性材料は、我々が日常目にするほとんどの電子機器の中に用いられている。その中で、磁歪材料とは外部からの磁界の作用によって形状そのものが変化する性質を持つ。しかし、これまで知られている磁歪材料の磁歪定数は小さく ( $\sim 10^{-6}$ )、かつ大きな磁界を必要とするため、従来はごく限られた分野での応用にとどまっていた。ところが最近、希土類-遷移金属化合物の中には室温における磁歪が  $10^{-3}$  以上を示すものが発見され、大きな変位を発生するアクチュエータの駆動源として期待されている。これらは主に単結晶や結晶配向されたバルク材料であり、結晶制御技術を必要とするなど製法過程も複雑である。そこで、我々はこれらの組成系の中でも特に磁歪が大きい Tb-Fe および Sm-Fe 系のものについて、製法が比較的容易なスパッタ法によって薄膜化を試み、弱磁界で大きな歪みを示す薄膜磁歪材料についての基礎的な検討を行った。更に、これらを用いてバイモルフ形片持ちはりアクチュエータを試作し、その性能に基礎的検討を加えた。

#### 2. 超磁歪材料について

テルビウム等の希土類金属単結晶は極低温領域で巨大な磁歪を発生するが、キュリー点が室温以下であるため常温で安定な磁気特性を得ることが課題であった。最近、希土類金属(R)と遷移金属(T)からなる  $RT_2$  系金属間化合物が発見され、室温においても超磁歪の発生が実現した。磁歪素子が伸縮する原理を図1に示す。磁界が存在しないときには図1(a)のように磁区の向きがばらばらの状態であるが、磁界をかけると図1(b)のように磁区が一斉に磁力線の方向にそろい、その方向に伸びひずみを生じ

る。すなわち、もともと磁性体内部の結晶が自発磁化によってひずんでいたものが、外部からの磁界によって自発磁化の方向がそろっていくことによって、全体としての外形寸法が変化する<sup>1)</sup>。磁歪材料をアクチュエータやセンサなどに応用するためには次の点が研究課題となる。

- 1) ひずみ(変位置)が大きいこと
- 2) 正磁歪、負磁歪を示す材料の開発
- 3) キュリー温度( $T_c$ )が高い(高温使用可能)こと
- 4) 弱磁界に敏感であること

一方、超磁歪材料を多結晶体のまま使用すると結晶磁気異方性が大きいため、弱磁界で大きな磁歪を得ることは困難であり、結晶磁気異方性を低減させる必要がある。このためにはR-T膜を非晶質構造にして、結晶磁気異方性をなくす方法が考えられる。しかし、非晶質構造では金属間化合物とは異なった磁的な特性を示すことが予想される。

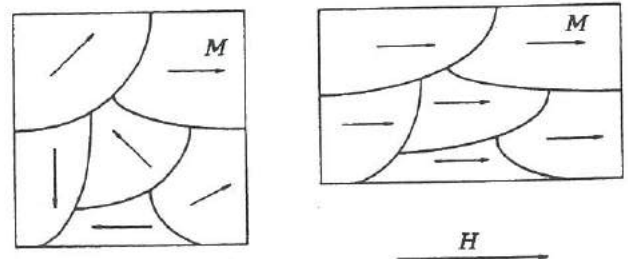
### 3 試料の作製および測定方法

#### 3.1 Tb-Fe、Sm-Fe系磁歪膜の作製方法

磁歪膜の作製にはRFマグネトロンスパッタ装置を用いた。ターゲットは任意の合金組成比が得やすいように、純Feディスク状ターゲット(75φ)上にTbやSmチップ(10×10mm)を配置した複合ターゲットとした。この時、元素同士が金属間化合物を形成し易いように、同心円状に均等にチップを配置した。図2は複合ターゲットの概要とスパッタ条件を示す。基板にはスライドガラス(1mm厚)、アルミ箔および銅箔などを用いた。スパッタ室内は予め $1 \times 10^{-8}$ Torr以下に排気して残留ガスをなるべく取り除いた後、高純度のArガスを導入した。図2に示すスパッタ条件で150~180分間の着膜操作を施し、ガラス基板およびフィルム基板の上に磁歪膜を形成した後、その上に酸化防止のためSiO<sub>2</sub>を200Å程度着膜した。本研究で使用したスパッタ装置は基板取付部が水冷構造ではないため、成膜過程での基板温度の上昇による磁性膜の酸化や結晶化を防ぐことを目的として、基板ホルダへの放熱器の取り付けや基板付近に熱遮蔽板を配置することによって、成膜に関係のない原子や二次電子の飛来による基板加熱を極力抑える工夫をした。

#### 3.2 磁気特性および磁気歪みの測定方法

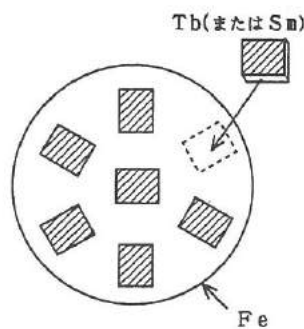
磁化特性やキュリー温度( $T_c$ )の測定には、ガラス基板に直径6mmの磁性膜を形成したものをを用い、試料振動型磁力計で特性を測定した。また、磁気ひずみの測定は一般に光てこ法や三端子静電容量法などが用いられているが、機械電子研究所にはこれらの測定装置がないため、ひずみゲージを用いた簡易な磁気ひずみ測定方法を考案した。図3はひずみゲージによる



(a) 消磁状態 (b) 飽和状態

図1 磁歪材料の変形モデル

fig.1. Principle of magnetostriction.



複合ターゲット

到達真空度	$< 1 \times 10^{-8}$ Torr
投入電力	Tb-Fe : 200W Sm-Fe : 200W SiO <sub>2</sub> : 100W
Arガス圧	4 mTorr
膜厚	0.8 ~ 1 μm
基板温度	加熱無し

図2 スパッタ条件

Fig.2. Sputtering condition and composite target.

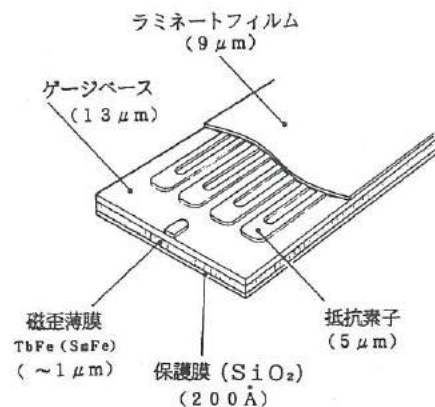


図3 ひずみゲージを用いた測定法

Fig.3. Measurement method by strain gauge.

測定法の概要を示す。接着面が平滑なフラットベースの歪みゲージ（ポリイミドフィルム製）を用意し、ゲージの接着面に厚み $1\mu\text{m}$ 程度の磁性膜と保護膜を形成した。これを磁界発生器の中に入れ、磁界に対するひずみ量を動ひずみ測定器を用いて測定した。図4は磁歪測定の概要を示す。考案した測定方法については、スパッタ膜の熱応力ひずみ（圧縮ひずみ）などによるゲージのそりが誤差要因として含まれるが、再現性がかなり高いため、簡便な方法として採用した。ただし、得られたデータは磁性膜と歪みゲージとの合成ひずみであり、ひずみゲージの物理的定数が不明のため、膜自体の磁歪定数は測定できない欠点がある。なお、膜の組成はエネルギー分散型X線分析装置、結晶構造はX線回折装置によって評価した。

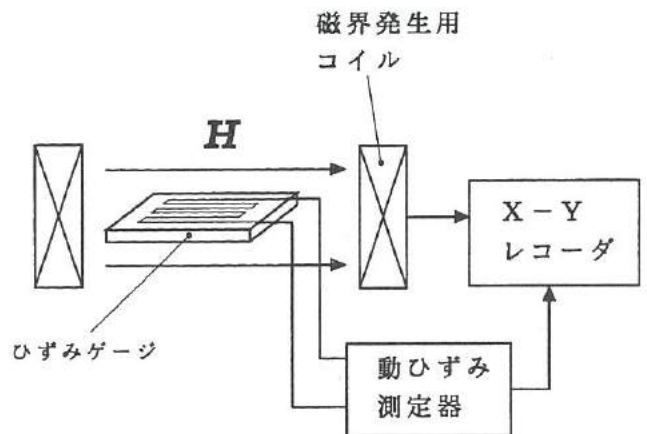


図4 磁歪測定の概要

Fig.4. Measurement method of magnetostriction.

#### 4 実験結果と考察

##### 4.1 磁化特性

Tb-Fe膜は光磁気記録で用いられている代表的な磁気媒体で、Tb量が $20\sim 30\text{at}\%$ の範囲で垂直磁化膜となる<sup>2)</sup>。図5は、作製したTb-Fe膜およびSm-Fe膜の磁化特性の一例を示す。今回の実験では、Tb量が $26\sim 30\text{at}\%$ の狭い範囲で、膜面に対して垂直方向が磁化容易軸であることを確認した。一般に、磁性膜は膜厚が薄くなると反磁界のためにスピンは垂直に立ちにくくなるが、膜の飽和磁化( $M_s$ )の大きさが小さくなると形状異方性による反磁界( $4\pi M_s$ )が緩和され、垂直磁化膜となり易い。実際に、図6に示す磁歪膜の飽和磁化特性の結果から、 $\text{Tb}_x\text{Fe}_{100-x}$ 膜において垂直磁化膜となった $x$ が $20\sim 30\text{at}\%$ の範囲では、 $M_s$ が最小に近くなっていることが確かめられた。また、Tb量が $40\sim 55\text{at}\%$ の範囲では膜面内が磁化容易軸であった。一方、Sm-Fe膜ではSm量が $18\sim 60\text{at}\%$ の広い範囲において膜面内に磁化容易軸を形成しており、磁化特性はいずれも安定していた。これは、Sm-Fe膜はTb-Fe膜と比べて飽和磁化が $300\sim 500\text{emu/cc}$ と大きいため、広い範囲で膜面内が磁化容易軸となるものと考えられる。用途展開を考える場合、膜面内に磁化容易軸があり、面内方向の伸びは磁界に対して感度が高いことが望まれる。

また、それぞれの保磁力( $H_c$ )を最大ひずみを示す組成で見た場合Tb-Fe膜では約 $1000\text{e}$ 、Sm-Fe膜では $3700\text{e}$ とやや大きくなった。さらに、Sm-Fe膜ではスパッタ時の基板付近の磁界分布に基づく誘導磁気異方性が生じやすく、膜面内に加わる磁界方向に磁化容易軸を生じた。それに対してTb-Fe膜は膜面内では等方的な磁化特性を示した。

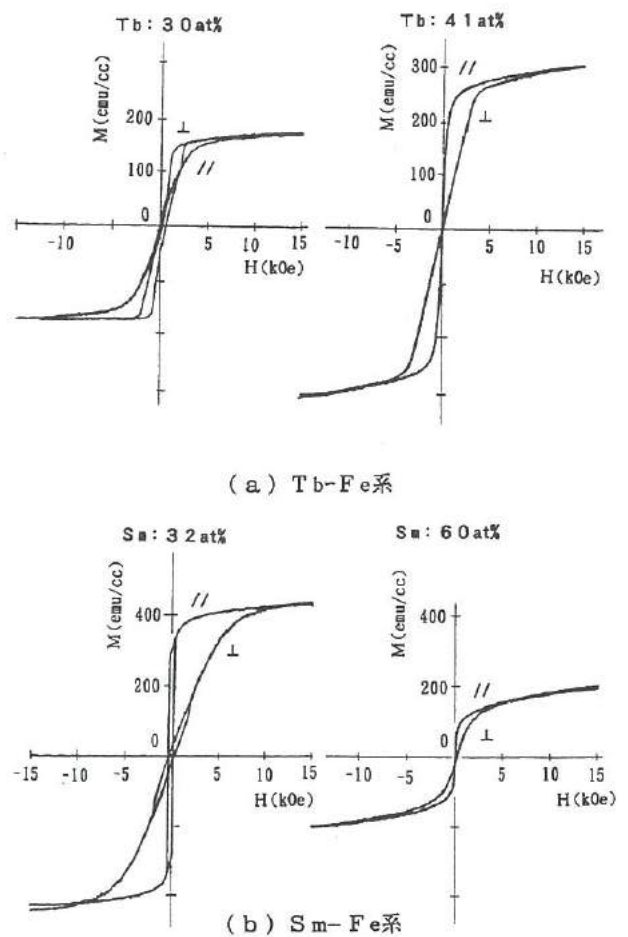


図5 磁化特性

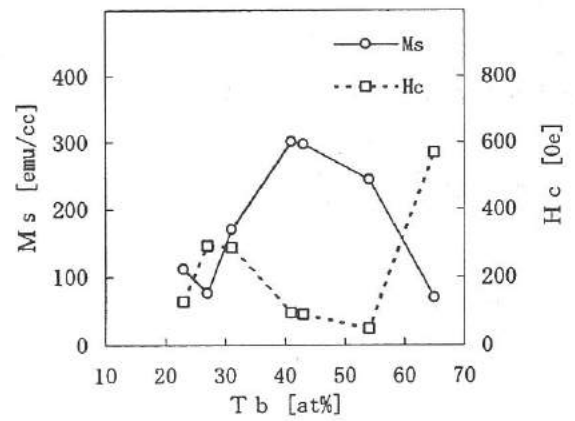
Fig.5. Typical magnetics curves.

#### 4.2 磁歪特性

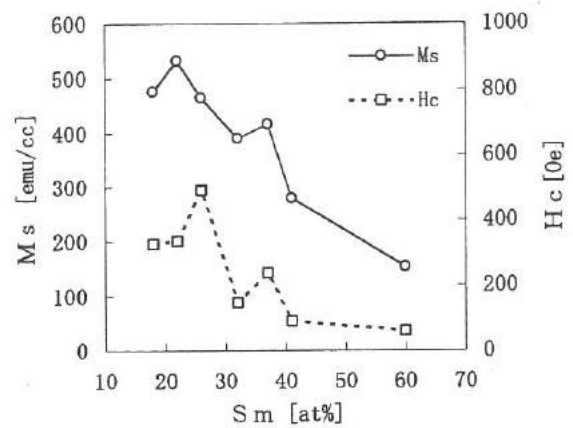
図7は磁歪膜が最大ひずみ量を示す組成での磁歪特性を示す。図より、Tb-Fe膜では膜面内で印加磁界方向と平行に大きな伸びひずみが発生し、それと直角方向では縮みひずみが発生した。これに対して、Sm-Fe膜では印加磁界方向で縮みひずみが発生し、それと直角方向では大きな伸びひずみが発生した。この特性の違いは、超磁歪発生メカニズムの主原因となる希土類元素TbおよびSmのうち、Tbは重希土類に属し、Smは軽希土類に属するため、Tb-Fe膜とSm-Fe膜では4f電子数の違いから磁氣的構造が異なることによるものと考えられる。

また、Tb-Fe膜とSm-Fe膜の磁歪特性の間には立ち上がり特性の違いが見られるが、この理由としては磁化特性と同様にTb-Fe膜は膜面内で等方的な磁歪を示すのに対し、Sm-Fe膜では不等方磁歪を示すことに関係があるものと推察する<sup>1)</sup>。また、最大ひずみを示すいずれの膜でも、5kOeの強い磁界では飽和ひずみ量の80~90%を示すものの、1kOeの比較的弱い磁界では飽和ひずみ量の20~40%しか示さなかった。磁化特性の急峻な立ち上がりと比較して磁歪特性が比較的緩やかな立ち上りを示す理由は、基板の弾性的な影響によるものと考えられる。従って、外部の磁界の変化が磁気ひずみに敏感に反映させるためには、アクチュエータなどへの応用については基板を含めて考慮する必要があることを示唆している。

図8は、磁歪膜のTb量とSm量をそれぞれ変化させた場合の磁界と磁気ひずみ特性の関係を示す。図より、Tb-Fe膜はTb



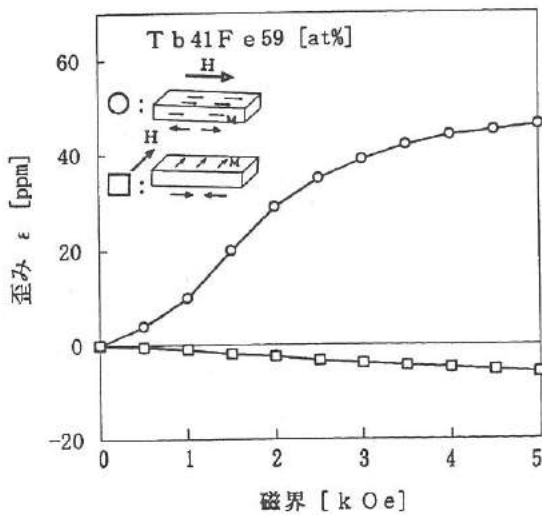
(a) Tb-Fe系



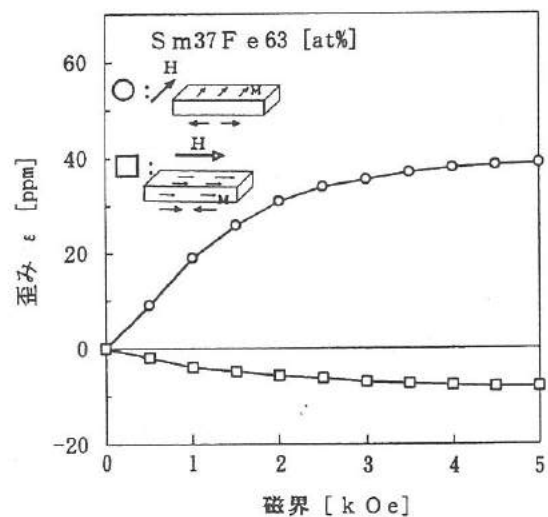
(b) Sm-Fe系

図6 飽和磁化と保磁力の組成依存性

Fig.6. Dependence of the Ms and Hc on Tb or Sm content.



(a) Tb-Fe系



(b) Sm-Fe系

図7 磁気ひずみ特性

Fig.7. magneto-striction characteristics.

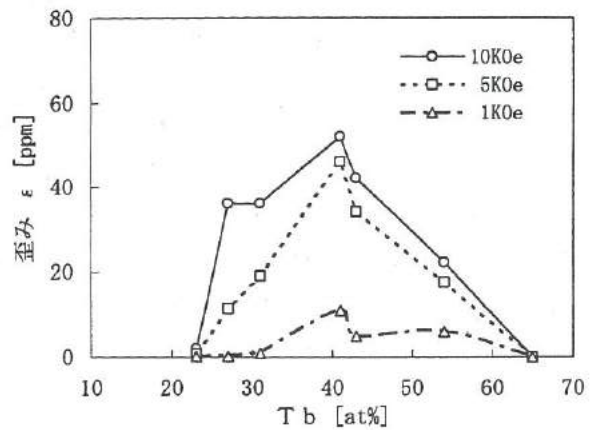


量が40at%付近でひずみ量が大きくなり、特に、 $Tb_{41}Fe_{59}$  at%系では低磁界でのひずみ量が最大となった。一方、 $Sm-Fe$ 膜では $Sm$ 量が30~40at%の範囲でひずみ量が大きくなり、特に、 $Sm_{37}Fe_{63}$ at%系では低磁界のひずみ量が最大となった。この結果、希土類金属(R)と遷移金属(T)からなる $R_xT_{100-x}$ 系金属間化合物は、 $RT_2$ ラーベス相構造となる $x=30\sim40$  at%付近で最大の磁歪を示すことが分かった。また、 $Sm-Fe$ 膜と比べて $Tb-Fe$ 膜が狭い範囲でしかひずみを示さないのは、 $Tb$ 量が26~30at%の範囲では膜面に垂直に磁化容易軸を持つため、面内方向に磁界を印加しても磁化が困難であり、ひずみの増加が緩やかになることによるものと考えられる。

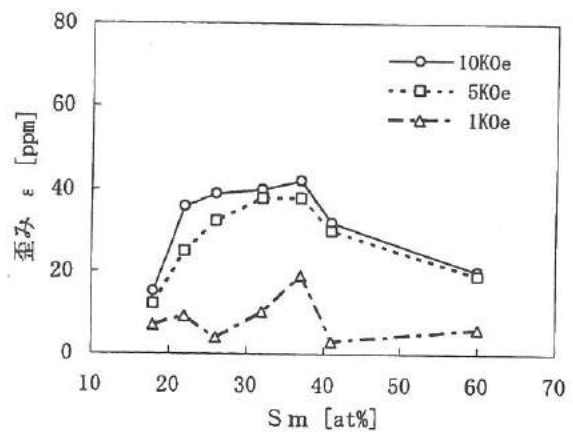
#### 4.3 結晶構造

本研究では、磁歪膜の非晶質化によって結晶磁気異方性を除去し、軟磁気特性を得ることを目的としている。図9は磁歪膜のX線回折図を示す。図より $Sm-Fe$ 膜ではほぼ非晶質化しているのに対して、 $Tb-Fe$ 膜では $Tb$ の酸化物の弱い回折ピークが見られた。スパッタ時にチャンバ内の排気を十分に行うなどの工夫を施したが、この回折ピークを取り除くことはできなかった。

ここで、この原因について考察してみる。スパッタ法ではターゲット材料をいったん原子レベルまで分解し、基板上で再編成するものであるため、ターゲットから飛び出した材料は、基板表面にたどりつくまでの間、プラズマ中に存在する多くの不純物分子を膜中に取り込むことが予想される。たとえ高真空状態であっても、装置内には $H_2O$ や $O_2$ 、 $CO_2$ などの数多くの気体分子が存在している。希土類元素は酸素との反応性が非常



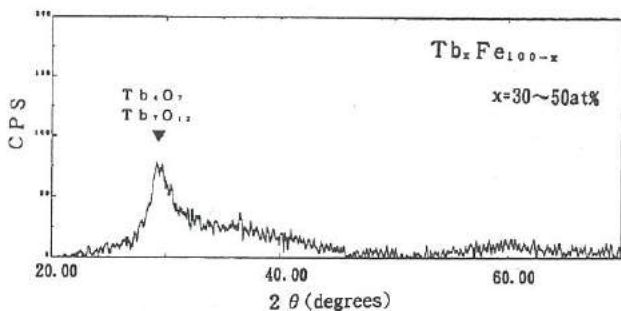
(a)  $Tb-Fe$ 系



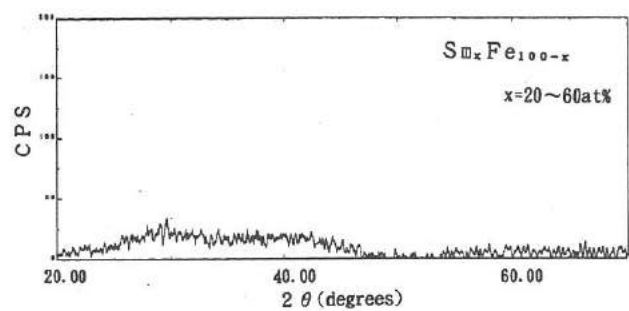
(b)  $Sm-Fe$ 系

図8 磁気ひずみの組成依存性

Fig.8. Dependence of the magneto-striction on Tb or Sm content.



(a)  $Tb-Fe$ 系



(b)  $Sm-Fe$ 系

図9 X線回折図

Fig.9. X-ray diffraction pattern.

に高いことから、これらの不純物を膜中に取り込んで酸化物を形成していく可能性が極めて高いものと考えられる<sup>2)</sup>。表2はスパッタ中に残留ガスが材料の及ぼす影響について考察をしたものである。この表に示すように、到達圧力が $1 \times 10^{-6}$ Torrの真空度でも、スパッタ中の $O_2$ 分子の磁性膜との総衝突数と磁性膜の総原子数がほぼ同じオーダーとなることが分かった。

図10はTb-Fe膜の酸化状態の予想図を示す。本来はTb原子間にFe原子が介在し、Fe原子が磁気ひずみの主要因となるTb原子の働きを助けている。そこへO原子が混入しすると、O原子はTb原子とFe原子の間に入り、周囲のイオン電界の効果を遮蔽してしまう。このため、Tb原子とFe原子の磁気的な結合が妨げられ、磁気ひずみ効果を減少する要因になる。

#### 4.4 キュリー温度

図11は磁歪膜のキュリー点( $T_c$ )の組成依存性を示す。図より、磁気ひずみが大きい組成域で $T_c$ は、Tb-Fe膜では $100 \sim 110^\circ\text{C}$ 、Sm-Fe膜では $150 \sim 160^\circ\text{C}$ であった。また、いずれの膜も希土類元素が増加すると $T_c$ は減少傾向を示した。この結果、作製した磁歪膜では磁気ひずみが大きい組成域で、磁化が十分安定していることが分かった。

### 5 片持ちはりアクチュエータの試作

#### 5.1 素子構成と原理

図12は試作した片持ちはりアクチュエータの概要を示す。基板には、アルミ箔および銅箔(3×20mm、厚さ $15 \sim 20 \mu\text{m}$ )を用いた。片面にTb-Fe膜(0.8 $\mu\text{m}$ )を、その反対側にはSm-Fe膜(0.8 $\mu\text{m}$ )を成膜し、表面には酸化防止のため $\text{SiO}_2$ を着膜した。いずれの磁歪膜も低磁界で最大のひずみを示したものを使用した。このアクチュエータの動作は、長さ方向に磁界を印加した場合にはTb-Fe膜は長さ方向に伸び、Sm-Fe膜は縮むため、はりは図(a)のように下向きにたわむ。幅方向に磁界を印加した場合にはTb-Fe膜は長さ方向に縮み、Sm-Fe膜は伸びるため、図(b)のように上向きにたわむ。

#### 5.2 実験結果

試作したアクチュエータを磁界発生器内に置き、はりの先端の変位( $\Delta$ )を測定した。この時、磁性膜が磁界から受ける磁気力のために生じる誤差を軽減させるため、磁界発生器のできるだけ均一な磁界中に、磁界Hに平行に測定試料を置いた。図13は試作したアクチュエータのひずみ特性を示す。図より、1kOeの比較的弱い磁界で、アルミ箔基板(15 $\mu\text{m}$ )を用いたものでは

表1 残留ガスの影響

table 1. Influence of remaining gas.

◎スパッタ中に残留ガスが及ぼす影響 (成膜速度: 1.1 A/sec)		
到達圧力 [Torr]	1秒間に基板表面にあたる残留ガス分子の数 (個/cm <sup>2</sup> ·sec) 〔残留ガスが全て空気と仮定〕	2.5Hスパッタ中のO <sub>2</sub> 分子の総衝突数 (個/cm <sup>2</sup> )
$1 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{14}$	$6.8 \times 10^{17}$
◇TbFe膜を形成する総原子数・・・ $8.4 \times 10^{14}$ 個(全てFe原子の場合) (1cm×1cm×1 $\mu\text{m}$ ) $3.2 \times 10^{14}$ 個(“Tb原子”) )		

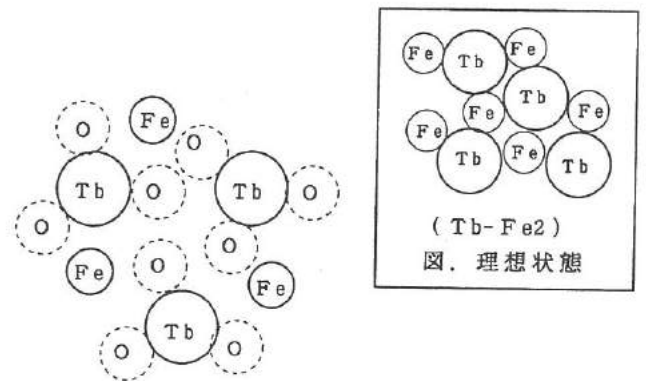


図10 Tb-Fe膜の酸化の状態 (予想図)

Fig.10. Image of oxidized state of Tb-Fe films.

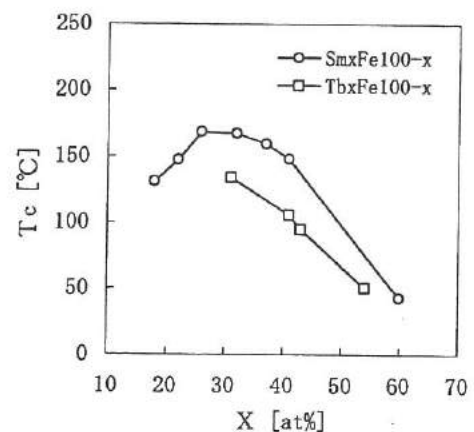


図11 磁歪膜のキュリー温度 ( $T_c$ )

Fig.11. Curie temperature for magnetostrictive films.

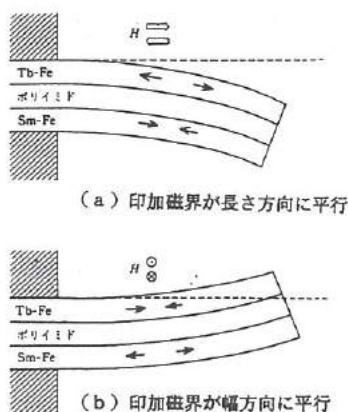


図 12 片持ちはりアクチュエータ

Fig.12. The structure of cantilever beam actuator.

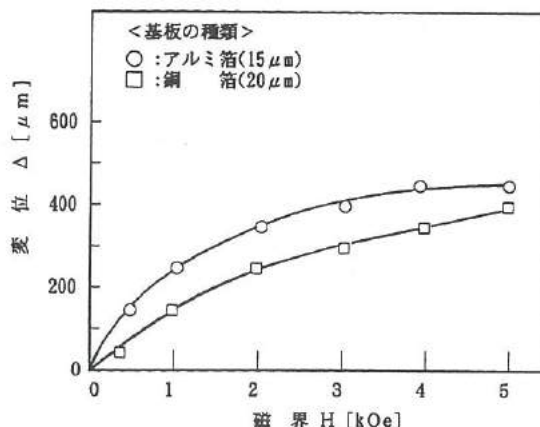


図 13 ひずみ特性

Fig.13. magneto-striction characteristics.

250 μmの変位が発生し、銅箔基板(20 μm)では150 μmの変位が発生した。ただし、この変位は磁気ひずみによる変位と、磁性膜が磁界から受ける磁力による多少の変位が加わったものとなっている。磁歪膜には、常に磁気ひずみと磁力の両方の作用が大きく影響し合うため、アクチュエータへの応用上十分に考慮する必要がある。

## 6. 結 言

希土類-遷移金属化合物の中で特に磁歪が大きいTb-FeおよびSm-Fe系のものについて、スパッタ法によって薄膜を作製し、弱磁界で大きな歪みを示す薄膜磁性材料開発のための基礎的な検討を行った結果、次のような結論を得た。

- (1) Tb-Fe膜は、Tb量が26~30at%の範囲で膜面内に垂直に磁化容易軸を持つものが得られ、40~55%の範囲で膜面内に磁化容易軸を示すものが得られた。一方、Sm-Fe膜ではSm量が18~60at%の広い範囲で膜面内に磁化容易軸を示すものが得られた。
- (2) Tb-Fe膜は、Tb量が40at%付近の狭い範囲で磁気ひずみが大きくなり、特に、Tb41Fe59at%のものは低磁界(1kOe)においてひずみ量は最大を示した。
- (3) Sm-Fe膜は、Sm量が30~40at%の範囲で磁気ひずみが大きくなり、特に、Sm37Fe63at%のものは低磁界(1kOe)でのひずみ量は最大を示した。
- (4) 磁歪膜のキュリー点( $T_c$ )を測定したところ、磁気ひずみが大きい組成域でTb-Fe膜では100~110°C、Sm-Fe膜では150~160°Cであった。
- (5) アルミ箔の両面にTb-Fe膜およびSm-Fe膜を着膜したバイモルフ形片持ちはりアクチュエータを試作したところ、低磁界(1kOe)で250 μmの変位が発生した。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、特製ひずみゲージを無償で提供していただきました(株)共和電業の山浦義郎氏に感謝いたします。

## 〈参考文献〉

- (1) 近角聡信:「強磁性体の物理」
- (2) 桜井他:「磁性材料セラミックス」
- (3) 精密工学会誌 Vol.60, No.12, 1709-1710(1994)
- (4) Y.Hayashi, T.Honda, K.I.Arai, K.Ishiyama and M.Yamaguchi: IEEE Trans. Magn., vol.29, pp.3129-3131(1993).
- (5) T.Honda, Y.Hayashi, K.I.Arai, K.Ishiyama and M.Yamaguchi: IEEE Trans. Magn., vol.29, pp.3126-3128(1993).

## VII. レドックス型太陽発電システムの開発

### Development of Redox Solar Cell System

三井 清隆 MITSUI Kiyotaka	大橋 伸一 OHASHI Shin-ichi	市川 良雄 ICHIKAWA Yoshio	長谷川 益夫 HASEGAWA Masuo
松田 敏弘 MATSUDA Toshihiro	鍋澤 浩文 NABESAWA Hirofumi	高林 外広 TAKABAYASHI Sotohiro	谷野 克巳 TANINO Katsumi

#### Abstract

Nowadays, photovoltaic devices for electricity generations is prohibitively expensive at present. The objective of this study is to create a low cost photovoltaic cell which exhibits a higher energy conversion efficiency. The device is based on redox reaction of the surface between titanium dioxide film and metal/ITO electrode in electrolyte under photo-irradiation. Although these elements are chemically stable, safe and cost keeping, its efficiency still stays low. We examined various parameters to improve it, such as  $\text{TiO}_2$  thin layers preparation conditions by sol-gel method, electrode material, inorganic or organic electrolytes, and contribution of dye on energy conversion efficiency. Results are as follows;

- 1) In prepared samples of  $\text{TiO}_2$  film on Ti-electrode, samples which coated Ti-alkoxide sol and heated up to  $800^\circ\text{C}$  and maintained for 20min had best maximum output power ( $9.1\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).
- 2) In  $\text{TiO}_2$  films on ITO-glass, samples coated with the sol and heated up to  $450^\circ\text{C}$  had best maximum output power ( $1.5\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).
- 3) 0.2M NaOH aq. solution was the best electrolyte.
- 4) Samples sensitized by dye Ru-L<sub>2</sub> and top-coated with the same sol showed good light harvesting efficiency ( $3.6\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

#### 1. 緒言

産業革命以来、人類は太陽光エネルギーの缶詰ともいえる石炭・石油を使って豊かな生活を築こうとしてきた。第2次世界大戦以後は原子力の利用が進められてきたが、依然として石油や石炭などの過去の太陽エネルギーに頼っているため、その枯渇と環境汚染が問題となっている。一方、地球に注がれる太陽光エネルギーは毎秒約40兆kcalであり、約40分間で現在の人類が消費する1年分のエネルギーに相当すると言われている。

太陽光から直接電力を取り出す研究は、Pearsonの太陽電池（1954年）に始まる。現在、太陽電池の価格は当初の数万円/kWhから数百円/kWhにまで低下してきているが、一般商用電力と対抗するためには数十円/kWhにまで引き下げる必要がある。コストダウンを図りながら光電変換効率を上げ得る材料として、酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )などの光半導体に関心が高まっている。

$\text{TiO}_2$ を構成するチタン(Ti)は地殻中では9番目に多い元素である。さらに、 $\text{TiO}_2$ は白色顔料として広く使用されており、歯磨き粉や化粧品にも使われている毒性の低い物質で、きわめて耐久性が高い。 $\text{TiO}_2$ は光照射されると強い酸化力を持ち、水溶液中では水酸基ラジカルを発生する。この酸化ポテンシャルはオゾンや塩素のそれを超えるほど高く、有害物質の分解や光電変換等への利用が検討されている。本研究では、 $\text{TiO}_2$ を用いた酸化還元(レドックス)型太陽電池開発のための基礎的検討を行った。

## 2. レドックス型太陽電池

図1はTiO<sub>2</sub>を用いたレドックス型太陽電池の原理を示す。TiO<sub>2</sub>膜に太陽光が照射されたとき、TiO<sub>2</sub>膜中に正孔が生じ、電子は近傍の物質に移る。正孔を有したTiO<sub>2</sub>膜は強い酸化力を持ち、電子を得た近傍の物質は還元力を持つ。TiO<sub>2</sub>膜の導電性担体から電子を取り出し、対向電極から電解液を通じて電子を補給するという回路によって電池が形成される。つまり、TiO<sub>2</sub>膜の表裏で酸化と還元（レドックス反応）が行われる太陽光発電装置が可能とされている。しかし、TiO<sub>2</sub>単独の膜では太陽光の紫外領域だけが光電変換に寄与しており、エネルギー変換効率向上のためには可視光領域の利用が求められる。ポルフィリン錯体をはじめとする色素は可視光によって励起され、電子を放出する電子供与体として働くことが知られている。このため、TiO<sub>2</sub>膜と色素の組合せによって、より変換効率の高いレドックス型太陽電池を作り出すことが可能と考えられている。図2は色素を利用した太陽電池セルの構造の一例を示す。

具体的な太陽光エネルギーの光電変換効率の向上のためには、TiO<sub>2</sub>膜の多孔質化や焼成による結晶構造の改変、組合せ色素の選択など、応用上の問題を一つ一つ検討し、成果を積み重ねていく必要がある。本研究では、負極材料としてTi板の酸化およびゾルゲル法で作製したTiO<sub>2</sub>膜について光電変換特性を測定し、電解液、色素コートの影響について検討した。

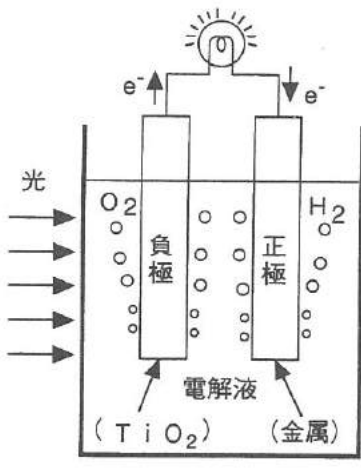


図1 レドックス型太陽電池の原理

Fig.1. Principle of redox solar cell.

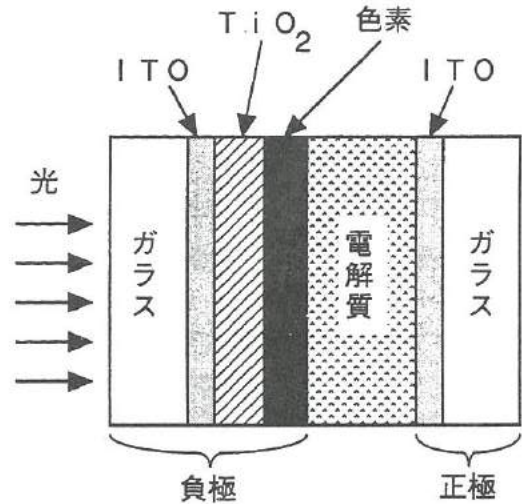
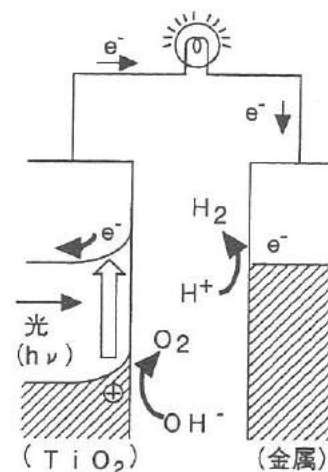


図2 色素を利用した太陽電池セルの構造例

Fig.2. Example of dye-coated solar cell structure.

## 3. 試料の作製と実験方法

### 3.1 光電変換特性評価装置

光電変換特性評価装置の概要を図3(a)に示す。評価用の太陽電池セルには、電解液を満した光照射用窓のついたプラスチック製容器に電極を入れる構造（図3(b)）のもと、シリコンゴムをスペーサとして正負の電極間に電解液を入れる構造（図3(c)）のもの2種類を使用した。(b)の容器には直径20mmの光照射用のガラス窓（光照射面積314mm<sup>2</sup>）と、光源側10mmの位置に同径のスリットを設けた。採光穴から容器の内側方向10mmの位置に試料電極を、8mm隔てて対向電極を置いた。電解液の深さは40mmとした。(c)のスペーサの厚さは5mm、電解液が一方の電極と接する面積は425mm<sup>2</sup>とした。図3(b)は主に水溶液系の電解液での評価、(c)は有機溶媒系の電解液での評価に使用した。

光源にはハロゲンランプ（島津製AT-100HG）を使用した。この光源は、TiO<sub>2</sub>の光電変換に有効な波長とされる紫外線領域（400nm以下）の波長成分が少なく、ガラスや電解液での吸収分も加味すると、TiO<sub>2</sub>膜に到達する紫外線量はかなり少ないものと考えられる。しかし、作製した試料の特性の比較は可能であることと、可視光の利用という目標を考慮してこの光源を使用した。光の強度は試料面位置で100,000[x]（直接照射光を測定した値）一定とした。これは、波長600nm換算で15mW/cm<sup>2</sup>に相当する。

太陽電池セルの負荷として4Ωから5MΩまでの抵抗体を用意し、電圧-電流特性を測定した。測定系は、抵抗体の接続切り替え以外は自動で行えるようにした。

正極に用いる電極には、ガラス基板上にスパッタリングで形成した白金 (Pt) 膜 (厚さ約0.1μm) を使用した。Pt膜の下地には、ガラス基板との密着性の改善のため、Ti膜をスパッタリングで形成した。

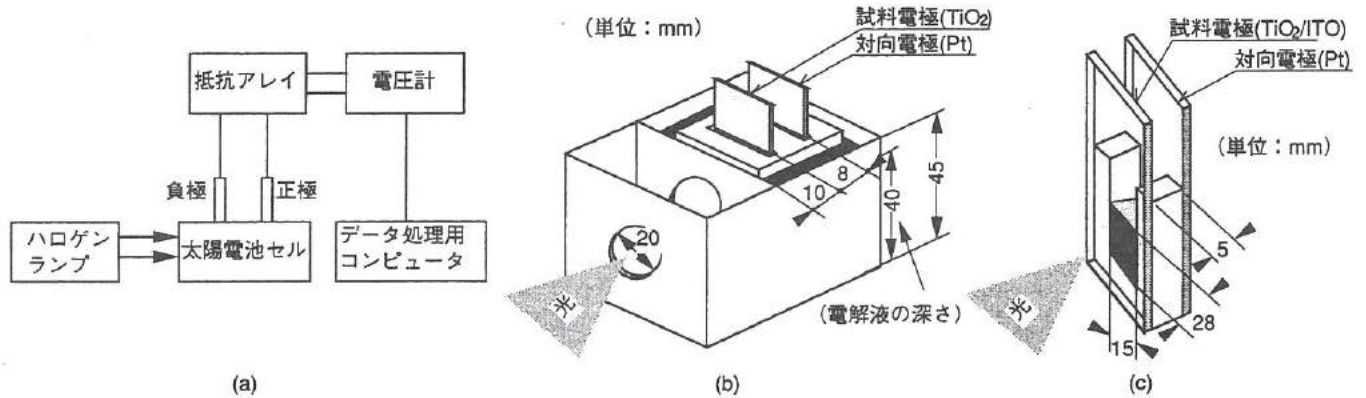


図3 光電変換特性評価装置

Fig.3. Measurement system of photovoltaic characteristics.

### 3. 2 TiO<sub>2</sub>膜の形成方法

#### (1) Ti板の酸化によるTiO<sub>2</sub>膜

まず、基板にTi板を用いた負極について検討を加えた。Ti板は#500の紙ヤスリで表面を荒らして金属面を出した後、超音波洗浄器で研磨粉を水洗し、最後にアセトンで洗浄した。TiO<sub>2</sub>膜の形成は、Ti板だけを酸化する方法と、Ti板にTiアルコキシド液を塗布した後に酸化する方法の2種類とした。Tiアルコキシドには、チタンテトライソプロポキシド (Ti[OCH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>4</sub>) を使用した。いずれの膜も、大気中600および800°Cの雰囲気中で20分間加熱酸化した後、室温で自然冷却した。

#### (2) ゼルゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜

次に、透明な導電性膜 (ITO) 付きガラス基板 (ITOガラス) にTiO<sub>2</sub>膜をゼルゲル法で形成し、光電変換特性を測定した。ゾル液の作製方法を図4に示す。分散剤としてエタノールを使用したA法と、水を用いたB法の2種類を検討したが、実験の結果、TiO<sub>2</sub>膜の密着性の良いB法を採用した。B法では、合成直後の白濁溶液を約1週間室温中に放置し、無色、透明とした後実験用として用いた。ゾル液はヘラ塗りまたはスピナー (1500rpm) でITOガラス上に塗布した。塗布後、室温もしくは60°Cで乾燥し、大気中で400および450°Cで1時間焼成した。

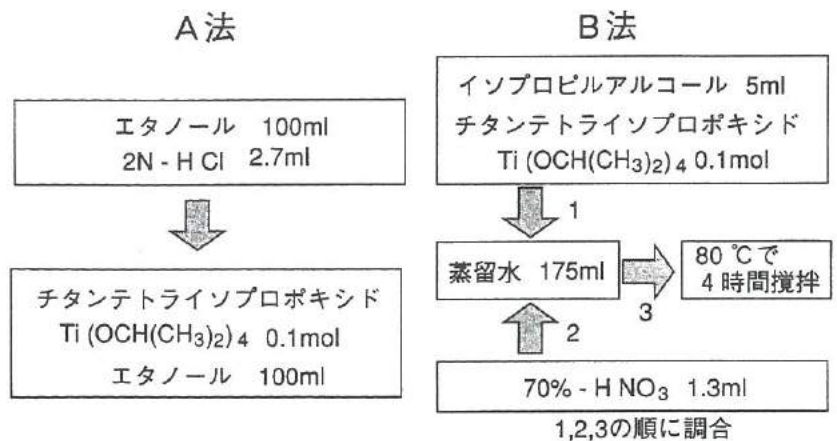


図4 ゼル液の作製方法

Fig.4. Preparation method of sol solution.

### 3.3 電解液

水溶液系の電解液には、0.2M-NaOHを使用した。また、有機系の電解液としては、以下の3種類について評価した。

- ①テトラプロピルアンモニウムヨウ化物 :  $5 \times 10^{-2}$ M、ヨウ化カリウム (KI) :  $2 \times 10^{-3}$ M、ヨウ素 :  $4 \times 10^{-3}$ M、  
溶媒: エチレンカーボネート (EC) (80%) / アセトニトリル (20%) →以下、I-ECと略記。
- ②過塩素酸リチウム ( $\text{LiClO}_4$ ) : 0.1M、溶媒: 炭酸プロピレン (PC) →以下、LCO-PCと略記。
- ③4フッ化ホウ酸リチウム ( $\text{LiBF}_4$ ) : 0.1M、溶媒: 炭酸プロピレン (PC) →以下、LBF-PCと略記。

### 3.4 色素のコート

ITOガラス基板の上にゾル-ゲル法で作製した $\text{TiO}_2$ 膜表面に色素をコートし、光電変換特性の改善を試みた。色素のコートは、ルテニウム (Ru) 錯体である cis-di(thiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II) (以下、Ru-L<sub>2</sub>と略記)の $3 \times 10^{-4}$ M無水エタノール溶液に $\text{TiO}_2$ 膜を浸漬させる方法を採用した。浸漬時間は3時間以上とし、取り出した直後に太陽電池セルに組み立てた。また、色素溶液から取り出して乾燥した後、ゾル液を再度塗布し、210°C、5時間で焼成する方法も検討した。これら $\text{TiO}_2$ 膜を形成した後に色素をコートする方法の他に、ゾル液自体に色素を $3 \times 10^{-4}$ Mから $2 \times 10^{-2}$ Mの濃度で配合したものを塗布して450°C、1時間で焼成する方法も試みた。

## 4. 結果および考察

### 4.1 Ti板の酸化による $\text{TiO}_2$ 膜の特性

本研究では、 $\text{TiO}_2$ の基本的な光電変換特性を調べるため、Ti板およびTiアルコキシドを塗布したTi板の酸化による電極を作製した。

#### (1) 熱処理温度

酸化程度の差が特性に及ぼす影響を調べるため、Ti板およびTiアルコキシドを塗布したTi板を600もしくは800°Cで熱処理を行った試料の光電変換特性を測定した。図5はその一例を示す。一般に、太陽電池の外部に現れる電圧は、負荷抵抗を小さくして電流を取り出すにしたがって、開放電圧値から低下して行く。電流密度と電圧の積である電力密度は、電圧に対して上に凸の曲線となり極大値を持つ。この値を最大電力密度と呼ぶ。800°Cで熱処理した電極は600°Cのものより大きな最大電力密度を示した。

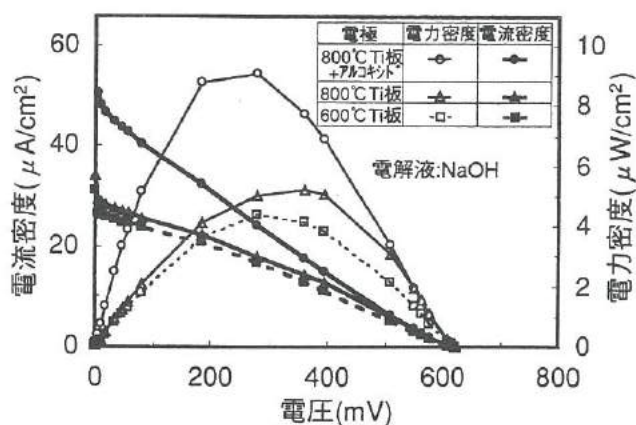


図5 熱処理温度と光電変換特性の関係

Fig.5. Relationship between annealing temperature and photovoltaic characteristics.

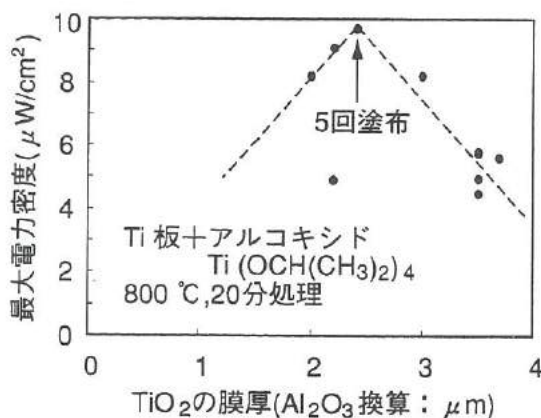


図6  $\text{TiO}_2$ 膜厚と最大電力密度の関係

Fig.6. Relationship between  $\text{TiO}_2$  film thickness and maximum output power density.

また、800°Cで熱処理した場合、アルコキシドの塗布によって最大電力密度は改善された ( $9.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ )。アルコキシドの塗布は  $\text{TiO}_2$  膜面に粗い表面層をもたらし、受光の実効面積を増大させたことが光電変換効率の改善につながっているものと考えられる。

## (2) アルコキシド塗布回数

図6はアルコキシドの塗布回数を1、5、10回と変え、表面層の膜厚を変化させた場合の最大電力密度を示す。図中の膜厚は渦電流方式の膜厚計で測定した  $\text{Al}_2\text{O}_3$  換算の値である。塗布回数5回で、最大電力密度は極大値を示した。X線回折装置 (XRD) による結晶構造解析の結果では、塗布回数の増加に伴って、光電変換に有効なアナターゼ相の回折ピークの増大が見られるが、 $\text{TiO}_2$  膜がある程度以上厚くなると内部抵抗が高くなり、光励起された電子を外部へ取り出しにくくなって特性が低下するものと考えられる。

## 4. 2 ゼルゲル法による $\text{TiO}_2$ 膜の特性

最終的な目標である図2の構造の太陽電池とするためには、透明な導電性基板に  $\text{TiO}_2$  膜を形成する必要がある。本研究では、ITO ガラスの耐熱温度を考慮し、450°C以下の比較的低温で  $\text{TiO}_2$  膜をゼルゲル法によって作製することを検討した。

### (1) 焼成温度

図7はゾル液の相転移温度を調べるために行った熱分析結果を示す。400°C付近にアナターゼ相への相転移、550°C付近にルチル相への相転移が観察された。したがって、焼成温度としては光電変換に有効とされるアナターゼ相領域である400および450°Cに検討を加えた。図8は400および450°Cで1時間焼成した  $\text{TiO}_2$  膜のXRDの結果を示す。400と450°Cを比較すると、450°Cの方はアナターゼ相を示す回折ピークが大きくなっており、相転移が進んでいることを確認した。

図9はゾル液をスピンコートし、焼成温度400および450°Cで作製した  $\text{TiO}_2$  膜の光電変換特性を示す。アナターゼ相への相転移が進んでいる450°C焼成のものは400°Cのものと比較して高い光電変換特性 ( $1.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) を示したので、以後の実験では焼成温度を450°Cとした。

### (2) ゼル液塗布回数と光電変換特性の関係

図10はゾル液の塗布回数を変え、 $\text{TiO}_2$  の膜厚を変化させたときの光電変換特性を示す。この場合は、ゾル液塗布ごとに450°Cでの焼成を繰り返すものとした。表面粗さ計で測定した膜厚は、塗布1回当たり約  $0.3 \mu\text{m}$  であった。塗布回数が2回のものがもっとも高い最大電力密度 ( $2.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) を示した。3回塗布したものの特性が低下する原因は、Ti板の場合と同様に内部抵抗の増大によるものと考えられる。

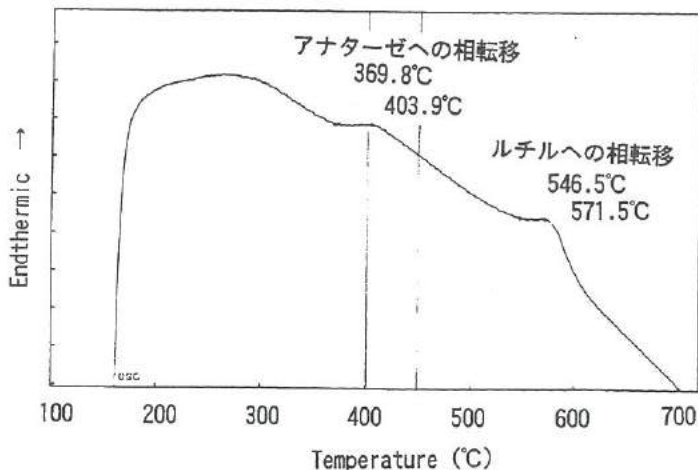


図7 ゼル液の熱分析結果

Fig.7. Thermal analysis of sol solution.

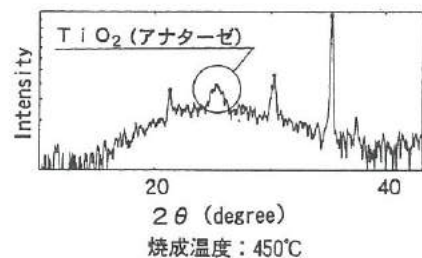
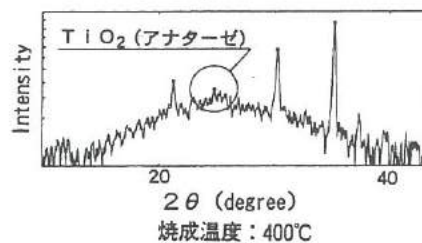


図8  $\text{TiO}_2$  膜のX線回折結果

Fig.8. XRD of  $\text{TiO}_2$  film.



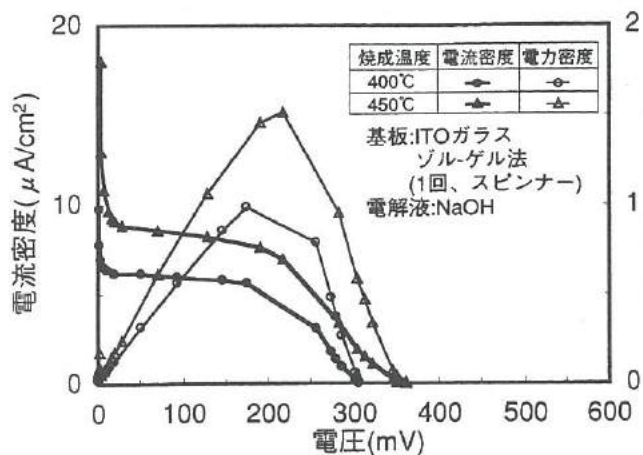


図9 焼成温度と光電変換特性の関係  
Fig.9. Relationship between firing temperature and photovoltaic characteristics.

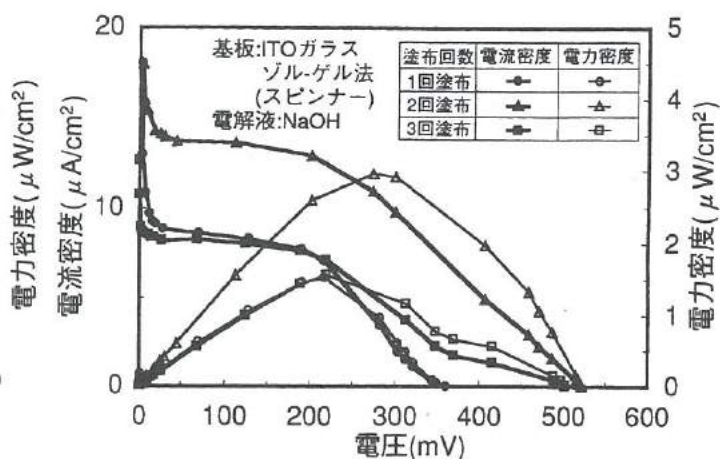


図10 塗布回数と光電変換特性の関係  
Fig.10. Relationship between coating counts and photovoltaic characteristics.

#### 4. 3 電解液の光電変換特性への影響

図11はITOガラス上にゾル-ゲル法(1回塗布)で形成したTiO<sub>2</sub>膜を電極として、0.2M-NaOH、I-EC、LCO-PCおよびLBF-PCの電解液を使用した場合の光電変換特性を示す。電解液のうちI-ECは赤褐色をしており、図3(b)の評価用セルではTiO<sub>2</sub>表面まで短波長光が届かないため、図3(c)のセルを用いて比較した。NaOHを用いたものが最も高い最大電力密度(1.6μW/cm<sup>2</sup>)を示した。また、電圧-電流特性は溶媒によって大きく異なる。I-ECでは、負荷抵抗が小さいときの電流供給能力はNaOHと同等であるが、開放電圧は低く、最大電力密度も小さくなっている(0.6μW/cm<sup>2</sup>)。

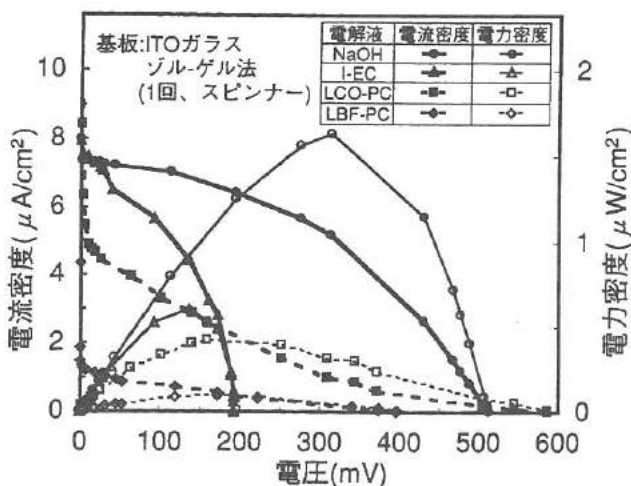
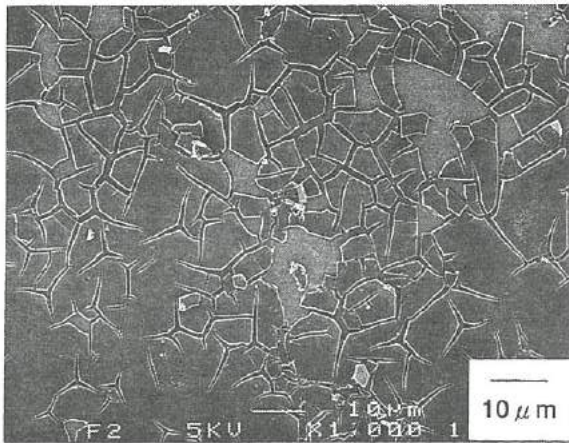


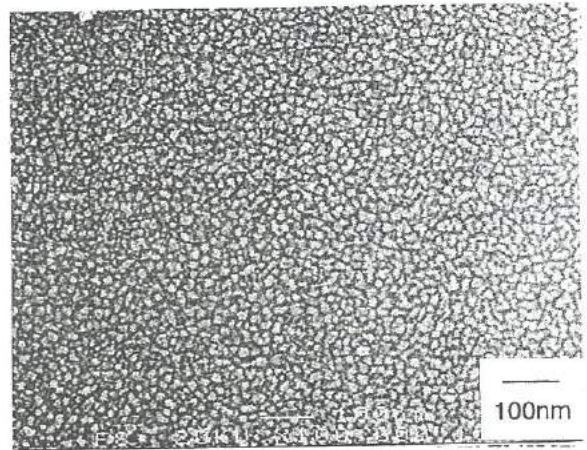
図11 電解液と光電変換特性の関係  
Fig.11. Relationship between electrolyte and photovoltaic characteristics.

#### 4. 4 色素コートした場合の光電変換特性

可視領域の光を利用するため、ITOガラス上にゾル-ゲル法(1回塗布)で形成したTiO<sub>2</sub>膜をRu-L<sub>2</sub>溶液中に浸漬し、色素コートを施した。しかし、光電変換特性には大きな変化は見られなかった。この色素は電解液の溶媒である水にもECにも溶解するため、太陽電池セルを組み立てた時点で電解液に溶け出てしまうものと考えられる。このため、TiO<sub>2</sub>膜を多孔質にするなどして、色素の定着性を向上させる必要がある。図12はTiO<sub>2</sub>膜の表面写真の一例を示す。今回作製したTiO<sub>2</sub>膜は、焼成時に発生したと見られる大きなクラックはあるものの(a)、膜自体はきわめて緻密な構造となっている(b)。大きなクラックは、焼成時の昇降温速度を遅く(100°C/h)すれば改善されるが、多孔質化については今後の検討課題である。



(a) (×1,000)



(b) (×100,000)

図12 TiO<sub>2</sub>膜のSEM写真

Fig.12. SEM photograph of TiO<sub>2</sub> film.

多孔質化のほかに色素の定着化を図る方法として、ゾル液自体に色素を配合する方法とコートされた色素の上にゾル液を塗布、焼成する方法を検討した。図13はゾル液に配合した色素の濃度と最大電力密度の関係を示す。色素濃度が増加するにつれて特性は劣化している。これは、膜中に多くの色素が存在することによってTiO<sub>2</sub>の半導体としての特性が損なわれるためと考えられる。図14は色素の上に再度ゾル液を塗布した膜の光電変換特性を示す。図よりITOガラス基板上に形成したTiO<sub>2</sub>膜としては、最も高い最大電力密度を示した(3.6μW/cm<sup>2</sup>)。この要因としては、ゾル液の塗布によって色素の定着性が改善されたことが考えられる。したがって、今後はTiO<sub>2</sub>膜自体の改善とともに、電極構造についても検討して行く必要がある。

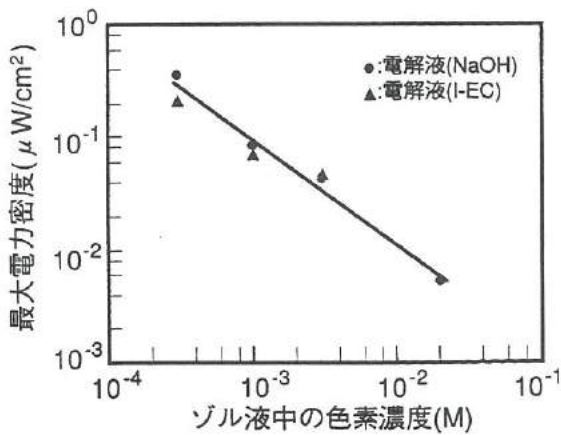


図13 色素濃度と最大電力密度の関係

Fig.13. Ru-L<sub>2</sub> concentration versus maximum output power density.

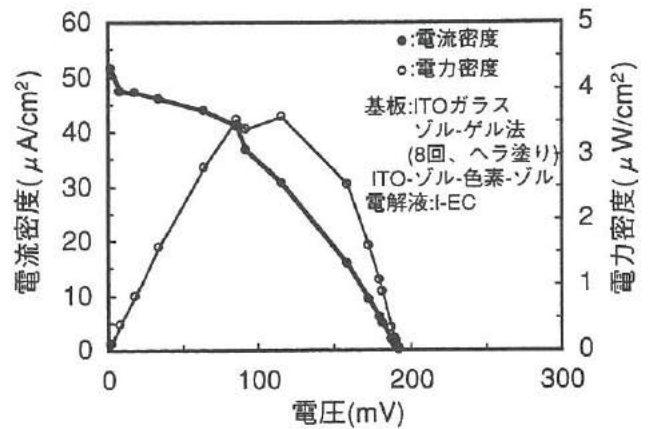


図14 TiO<sub>2</sub>/色素/TiO<sub>2</sub>と最大電力密度の関係

Fig.14. Ru-L<sub>2</sub> concentration versus maximum output power density.

## 5. 結 言

TiO<sub>2</sub>膜を用いたレドックス型太陽電池について検討し、以下の結果を得た。

- (1) Ti板の酸化によるTiO<sub>2</sub>膜では、表面にアルコキシドを塗布し、300°Cで20分間熱処理したものが最も高い最大電力密度を示した(9.1 μW/cm<sup>2</sup>)。
- (2) ゼル-ゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜では、焼成温度が450°C、1時間のものが最も高い最大電力密度を示した(1.5 μW/cm<sup>2</sup>)。
- (3) ゼル-ゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜では、電解液にはNaOH水溶液を用いたものが最も高い最大電力密度を示した。  
I-ECの場合は、負荷抵抗の小さいときの電流供給能力はNaOHと同等であるが、開放電圧は低く、最大電力密度も小さい。
- (4) ゼル-ゲル法によるTiO<sub>2</sub>膜をRu-L<sub>2</sub>溶液中に浸漬し、色素コートを実施したが、光電変換特性には大きな改善は見られなかった。色素の上に再度ゾル液を塗布した膜は、ITOガラス基板上に形成したTiO<sub>2</sub>膜としては最も高い最大電力密度を示した(3.6 μW/cm<sup>2</sup>)。

## 参考文献

- (1) B. O'Regan, M. Gratzel, *Nature* **353** (1991) 737
- (2) M.K. Nazeeruddin, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **115** (1993) 6382

## VIII. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(3)

### Study of the Total Indoor Environmental Control System for the Disabled and the Elderly

五十嵐 隆治  
IGARASHI Ryuji

山本 敏泰  
YAMAMOTO Toshiyasu

#### Abstract

Environmental-control-system (ECS) is typically used as an assistive device to control the indoor electric, and communication devices for the activities of daily living at home on the disabled and the elderly. ECS is operated by several types of the switches suitable for the residual functions of the disabled with the difficulties in the upper extremities. Here a new integrated ECS system has been developed especially for the severely disabled person with the electric wheelchair.

The main contents discussed are (1) the input switch controller,(2) the infrared remote control system, and (3) the display panel.

#### 1. 緒言

障害を持っている人の生活は、介護する人はもちろんのこと、電動車いす、環境制御装置、介護用ベッドなどの各種支援機器によって支えられている。この中で、環境制御装置というものは、テレビ、ビデオなどのAV機器、照明器具、ナースコールや電話、エアコンや電動カーテンなどの住宅設備機器を電気的信号で操作することのできる装置である。また、高齢者や障害者に対応したモデルハウス等では手すりが設置されていたり、廊下の幅に余裕があったり、床段差が解消されていたりする。さらに非常時のための緊急通報装置が付いている場合もある。これらは今後日本が高齢化社会を迎えることから、世の中ではそれに対応するための改善と考えられる。

本研究では、障害者の日常生活における支援機器として、電動車いすにノート型パソコン及びコントローラを搭載した、屋内における各種機器操作が可能でかつ赤外線リモコン学習機能を持った統合化環境制御システムについて開発研究を行ったものである。

#### 2. 統合化環境制御装置について

環境制御装置とは、重度障害者が身体のおよそ残存機能を利用して、屋内や身の回りの各種電子機器を操作するための生活支援装置である。既存の環境制御装置では、入力することのできるスイッチや操作方法がその対象機器によって限定されている。そこでこの環境制御装置の機能はそのまま、ボタンスイッチやジョイスティックなどの各種入力スイッチを接続可能にしたり、また後述する特殊な操作方法を利用した、障害者が利用しやすい操作方法を選べるコントロール部について検討した。なお、現在このシステムは完成されていないが、高岡市に建設中のウェルフェアテクノハウス（先端在宅介護機器システム）に一部組み込むことが決まっている。このウェルフェアテクノハウスとは、通商産業省工業技術院の医療福祉機器技術研究開発制度の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が、技術研究組合医療福祉機器研究所に委託して先端在宅介護機器システムの研究開発を実施するための研究用施設のことである。ここに組み込まれた後、さらに改良・改善されていく予定である。以下に組み込み予定のシステムについて説明する。

#### ◆システム構成

このシステムは、屋内の機器操作の制御を行うサブコントローラ、サブコントローラからの信号によってリレーのON/OFFを行うリレーユニット、操作インターフェースから入力された信号をサブコントローラに指示を出したり、どのサブコントローラからどの機器がいつ操作されたかの履歴を記録したりするメインコントローラで構成される。図1にサブコントローラの構成案を示す。

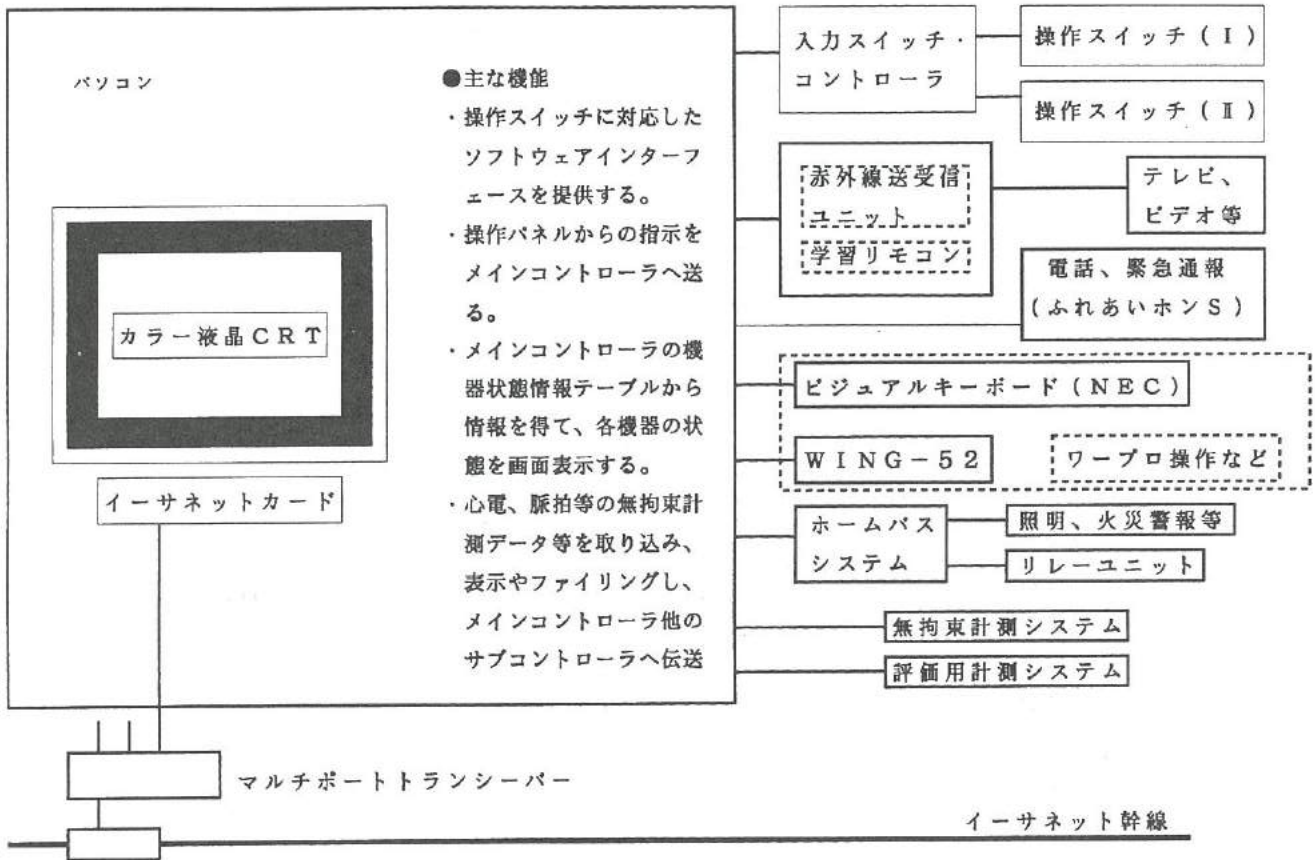


図1. サブコントローラ構成案

Fig.1. Schematic diagram of sub-controller.

制御用パソコンには、操作スイッチを接続する入力スイッチコントローラ、赤外線送受信ユニットと学習リモコン装置、ホームバスシステム等が接続される。

#### 3. ハードウェアの構成

ハードの構成例を図2に示す。パソコンへの入力スイッチには1~10スイッチ、直接選択(キーボード)、ジョイスティックマウスなどが接続可能である。パソコンからの出力は、PIOを介してリレーユニットを駆動し、RS232Cからコントローラを介してLED送受信部を駆動する。LED送受信部は、屋内の赤外線リモコンで操作できる機器へ操作信号を送信したり、学習するためのものである。

#### 4. 環境制御装置の画面操作方式の検討

重度の障害者において、複雑な操作や多くの押しボタンを操作し分けることは難しい。このような障害者に対応するために考えられたいくつかの操作方式があるが、その例についてまとめたものを表1に示す。これらの操作方法は、障害者の限定された残存機能を活用して、電子機器等を適切に操作できるよう考察されたものである。直接法は、1回のスイッチ操作で機能を直接決定で

きるため効率的な操作が可能であるが、障害者にとってはスイッチを押し分ける身体残存機能の選択が必要となる。間接法の一つとしての逐次スキャンは、あらかじめ並べられた選択肢において、1つ目のスイッチを利用して画面上のカーソルを順次移動させ、2つ目のスイッチ操作で機能を決定する方式である。

表1. 操作方法の種類

Table.1. Kind of operation.

操作方法の種類	内容
直接法	使用機器の機能とスイッチが1対1に対応しているもの。 例. キーボード等
間接法	ボタンスイッチ等を1~数個利用して、提示される選択肢の中から希望するものを入力する方法。 分類. 逐次スキャン, 自動スキャン, コード化法

また、自動スキャンは一つのスイッチで選択を行うもので、1回目の操作でカーソルが移動、2回目の操作で機能を決定する。コード化法は、スキャンと同程度の数のスイッチを利用してコードを発生させ、そのコードに割り当てられた機能を選択する方式である。コード化法の例を図3に示す。これは通信におけるモールス・コードと同等である。モールス・コードの基本符号は短点(・)と長点(-)で、例えば一つのスイッチで「C」という文字を選択する操作は、-・-・(長点+短点+長点+短点)という信号コードを発生させると選択できる。短点と長点はスイッチを押し続ける時間の違いで区別される。ただしコード化法では、次項に述べる階層構造と同じように、該当する文字や機能のコードを使用者があらかじめ知らなければ、選択したい対象がどこに割り当てられているかわからないという問題が起こる。また、信号コードについては障害に合わせてコードの組み合わせを工夫する必要がある。

◆表示画面における階層構造

画面構造における機能(あるいは文字)選択において、選択対象が多い場合、一つの文字盤にすべての機能(あるいは文字)を表示せずに、その中の一部あるいはすべてをいくつかのグループに分けて、最初の文字盤より下位の文字盤に表示するものである。階層構造の例を図4に示す。階層構造の問題点として挙げられることは、最上位の文字盤や途中階層の文字盤では最終的に選ぶべき対象(文字、機能等)を直接見ることができないということである。

以上の操作方式、階層構造を考慮して、表示画面を検討した例を次節に示す。

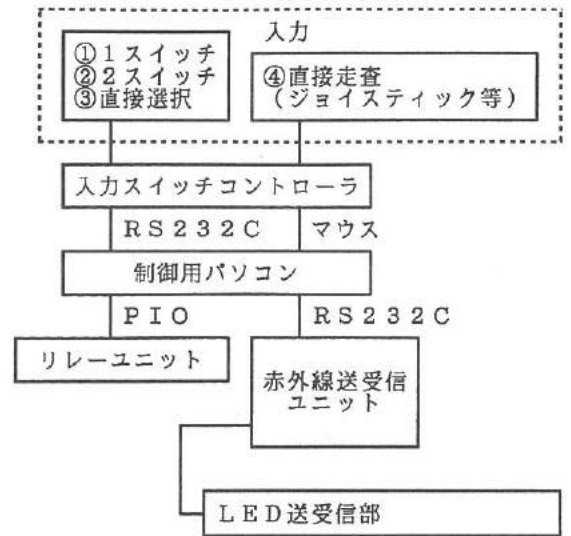


図2. ハードの構成  
Fig.2. Schematic diagram of Hardware.



図3. モールス・コードの例

Fig.3. Example of Morse code.

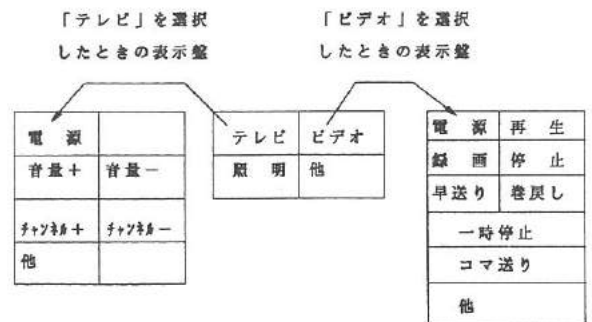


図4. 階層構造の例

Fig.4. The structure of the class.

## 5. 表示画面の例

表示画面の一例を図5に示す。1～25までの数字には、利用者が操作したい機器名を登録することができる。登録された番号を選択すると、1～25の番号は登録した機器の機能を示す番号に切り替わる。例えば図5において、番号「1」を選択し、機器名を「テレビ」と登録したとする。次に図6において、機能選択番号に機能がすでに登録されているとして、番号「3」を選び、その機能が「音量+」であるとする。この状態で「送信」を選択すると、「テレビの音量+」に相当する信号が送信機から送信される。なおこの機器名および機能名は当然最初は何も登録されていないので、利用者が自分で登録することになる。機器の機能を登録するとき、「学習」の部分を選択すると、赤外線リモコンで動作する機器の機能をコントローラに覚えさせることができる。

「空番号表示」は、機器名あるいは機能名を登録させるときに、その番号がすでに登録されているかどうかを知るために選択するところで、登録されていたら網掛けで表示され、網掛けされていない番号が空番号となる。

表示画面の右下部には、非常時に備えるための「緊急通報」という部分があり、ここが選択されると使用者があらかじめ緊急用に設定した相手先へ通報するようになっている。

次に、1～25の番号を選択する操作方式について説明する。まず1番の直接操作は、キーボード等を利用して直接番号を入力する方式である。

2番目の逐次スキャンは、最低2つのスイッチを用い、1つ目がカーソルの移動でもう1つが確定用のスイッチとなる。カーソル移動用スイッチを1回押す毎に1つずつ番号が移動するため、目的の番号まで達するのにスイッチを押す回数と時間がかかるという問題がある。

3番目の自動スキャンは、1つのスイッチで番号選択をするものである。1度スイッチを押すとカーソルが一定時間間隔で移動を開始し、目的の番号でもう1度スイッチを押すことで確定する方式である。この方法も目的の番号に達するまで時間がかかるという問題がある。

4番目の逐次行列スキャンは、逐次スキャンと同様最低2つのスイッチを用いる。カーソル移動用スイッチを1回押すと、1～5までが1つのカーソルとなる。もう一度同じスイッチを押すと、今度は6～10の番号がカーソルとなる。例えば選択したい番号が「3」なら、カーソル移動用スイッチを1回押し、確定用スイッチを押す。これで1～5がカーソルとなる。次にもう一度カーソル移動用スイッチを押すと、今度は1～5までの数字を順に移動するので「3」の位置にカーソルがきた時点で確定用スイッチを押すと、番号選択が完了する。

5番目の自動行列スキャンは、自動スキャンと同じように1つのスイッチで番号選択するものである。一度スイッチを押すと1行がカーソルとなって一定時間間隔で移動を開始し、次のスイッチ操作でそのときの行の番号を順に移動し、3回



図5. 表示画面の例

Fig.5. Example of indicate screen.



図6. 機能送信画面の例

Fig.6. Transmitter screen of the function.

目のスイッチ操作で選択番号を決定するものである。

以上が表示画面の例および操作方式であるが、各操作方式および階層構造における問題点を表2に示す。

表2. 各方式における問題点

Table.2. The problem of the each style.

走査法	・逐次スキャン方式でスキャンするとき、選択対象までのカーソル移動回数が多い場合、スイッチ操作がめんどうとなる。 ・自動スキャン方式で、カーソルが移動している時間の待ち時間がある。
コード化法	・選択対象である機能あるいは文字等のコードがわからないと選択できない。
階層構造	・最上位（最初の状態）の表示盤や途中階層の表示盤では、最終的に選びたい対象を直接見ることができない。

## 6. インターフェース検討委員会<sup>41</sup>の仕様案との比較

### 6. 1 操作スイッチ入力法

#### (a) 1スイッチ

重度障害者の機器操作インターフェース検討委員会での案では文字盤操作において、コード化入力を使っているが、我々の検討した入力法にはコード化法は使われていない。委員会案でのコード化法の機能は、基本動作機能と拡張動作機能が割り当てられており、その中から選択する。その一例を表3に紹介する。その他、自動スキャン入力では列・行スキャン、行・列スキャン、4分割スキャン、スイッチ操作によってスキャン方向が変化するターンスキャン等があるが、本研究案では番号を順番に移動するスキャンか、文字盤上でまず行を決定し、その行の中から選択対象の番号を選択する行列スキャン方式の2種類である。

#### (b) 2スイッチ

2スイッチによる方法は、委員会案および本研究案ともほぼ同じで、1つのスイッチがカーソル移動用で、もう1つが確定用となっている。

表3. カーソル動作機能表

Table.3. The table of the function of cursor movement.

基本動作機能	拡張動作機能
右方向移動/右方向転換	高速化保持時間設定
停止	ドット単位の移動機能の有無の設定
左クリック	移動速度設定
右クリック	UNDO
左ダブルクリック	スキャン開始（走査作業の開始）
右ダブルクリック	終了
上方向移動	マークスキャン（カーソル操作時）
左ドラッグ	
右ドラッグ	

### 6. 2 操作スイッチと操作対象（機器操作インターフェース検討委員会案）

#### (a) 操作スイッチ

以下に示すスイッチが利用可能。

キーボード	圧力スイッチ
ジョイスティック	呼気スイッチ
マウス/トラックボール	関節角度（肩、肘、手関節、手指）
接点スイッチ（押しボタン）	音声
接触スイッチ	その他
近接スイッチ（非接触）	



## (b) 操作対象

- ①キーボード・エミュレータなどのワープロ操作
- ②画面設計ツールを利用して作成された操作画面、照明などのホームバスシステム、家電製品の制御
- ③緊急通報、火災警報などの制御
- ④その他

## 7. 結 言

本研究では、障害者のための統合化環境制御システムの開発を目標に、初年度はパソコン用入力機器の調査及びジョイスティックを利用したリモコン入力デバイスを試作、昨年度は試作品の改良、及び評価テストを行った。今年度はこれまでのものをさらに発展させた統合化環境制御システムについて検討を行った。検討した内容を以下に示す。

- ①環境制御システムの入力スイッチコントローラの基本仕様の検討
- ②赤外線リモコンを構成するハード等について
- ③環境制御装置の操作方法について（直接法、走査法、コード化法）
- ④表示（操作）画面の検討

このシステムは前述した通り、「ウェルフェアテクノハウス」に組み込まれることが決定している。システム設置後はさらに改良が加えられ、家庭生活の場で 障害者にとってより扱いやすいシステムが開発されることが期待される。

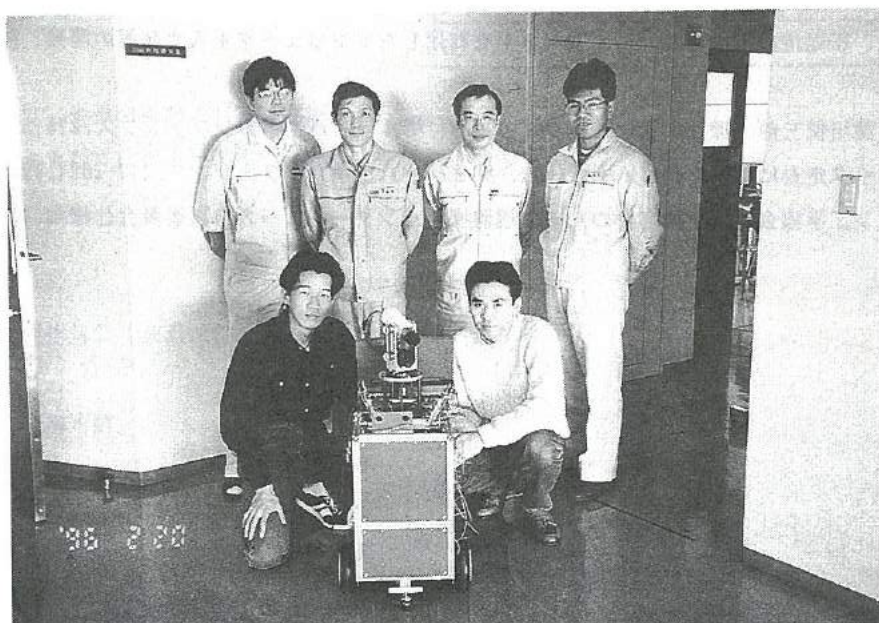
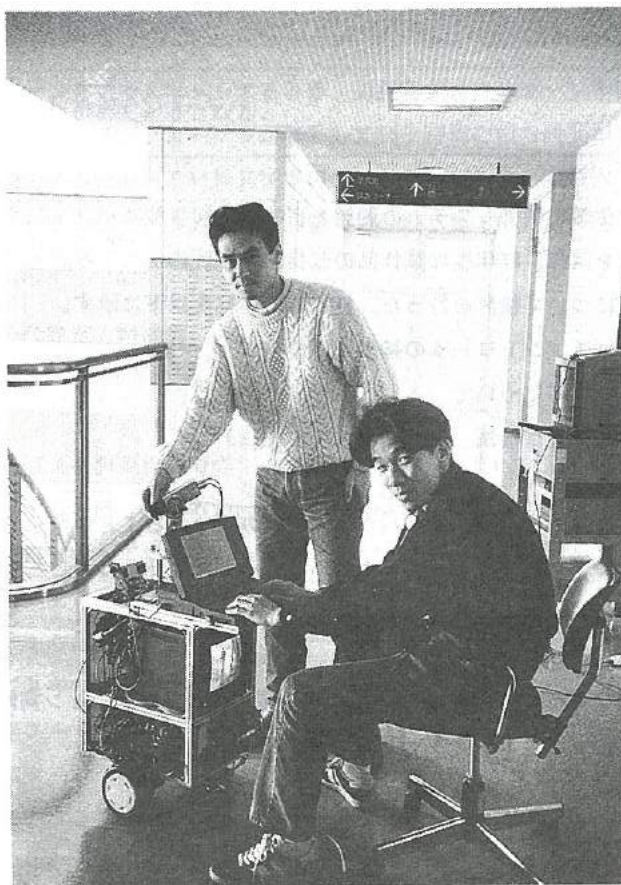
## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究にご協力をいただいた富山県高志リハビリテーション病院研究開発部の山本科長、大島さん、山科さん、佐脇さんに深く感謝致します。

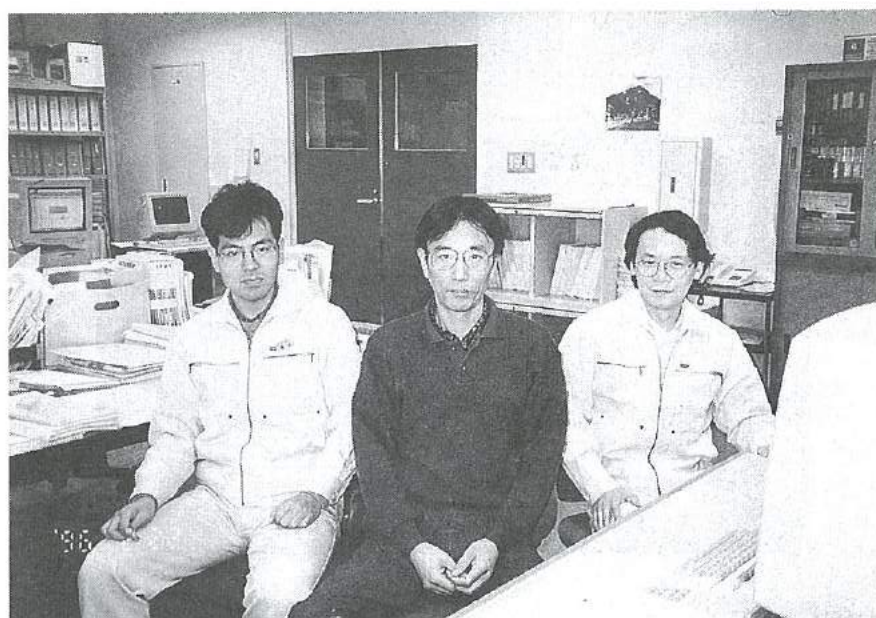
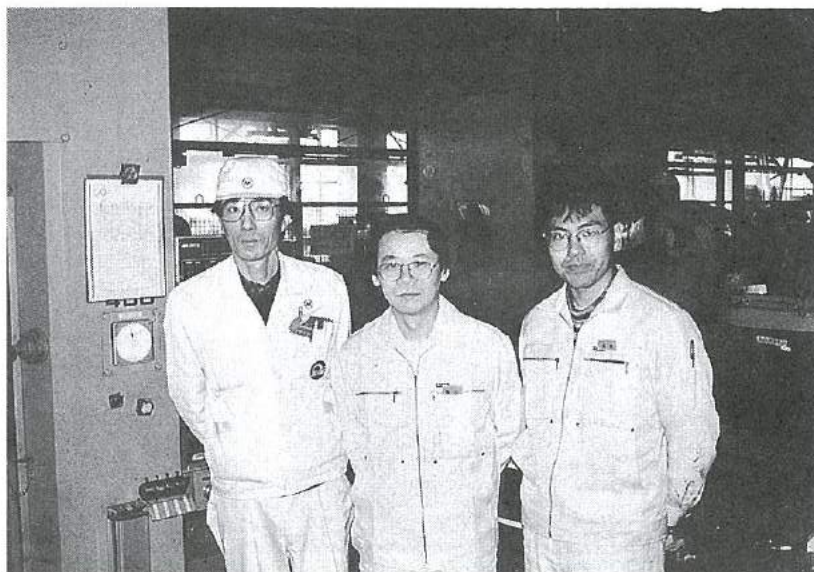
## 参考文献

- 1) 井手將文、御手洗謙二、松尾清美他、電動車いす操縦かんを利用したコンピュータ用入力装置の開発、第4回リハ工学カンファレンス, 271-274 (1989)
- 2) 伊藤英一、藤井直人、沖川悦三他、押しボタン式マウスの試作、第4回リハ工学カンファレンス, 275-278 (1989)
- 3) 川上博久、1入力クリック走査による電動車いす操作法、第8回リハ工学カンファレンス, 277-280 (1993)
- 4) 日本リハビリテーション工学協会、重度障害者のための機器操作インターフェース検討委員会仕様案、1995年度

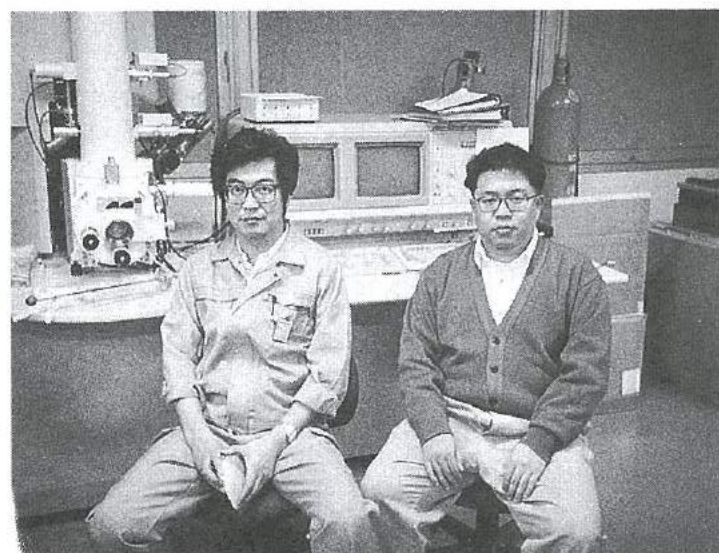
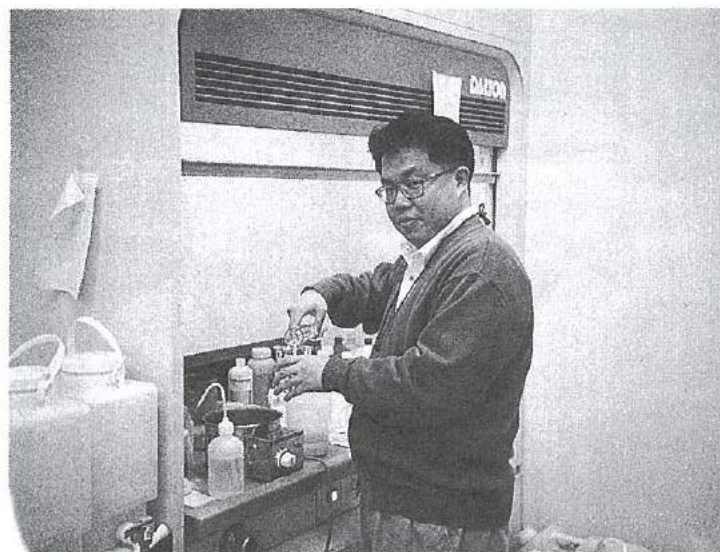
「視覚を持つ移動ロボットの開発」グループの研究活動風景



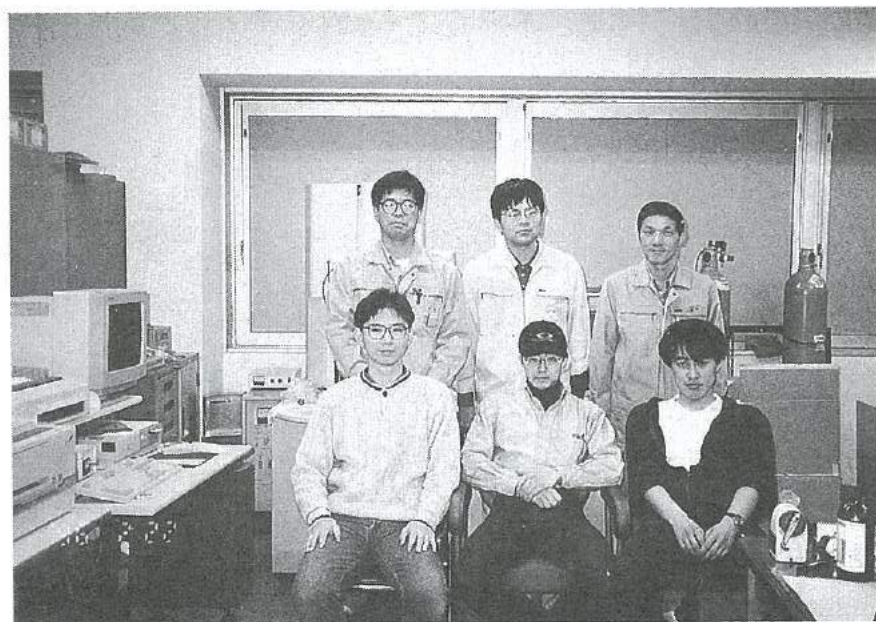
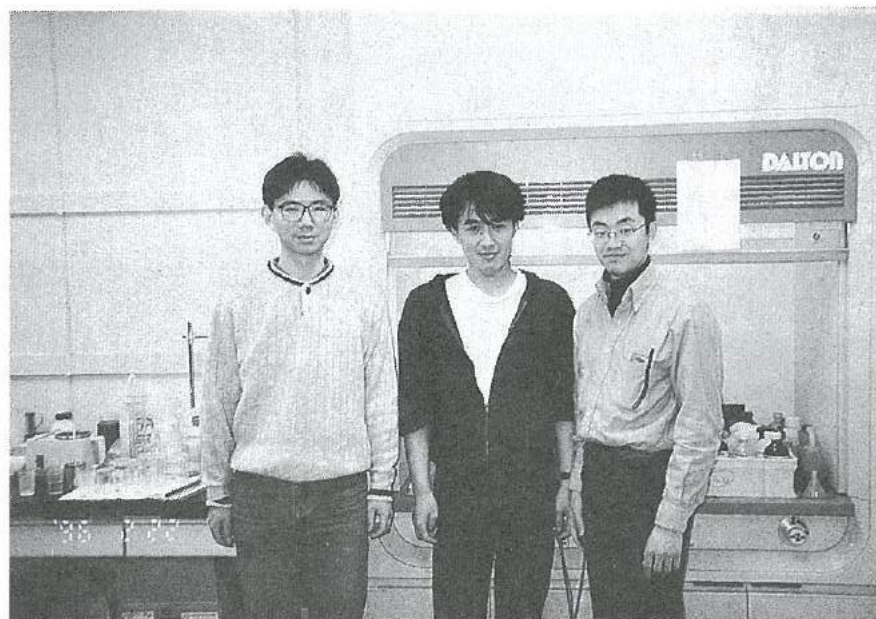
# 「鍛造成形シミュレーションの研究」グループの研究活動風景



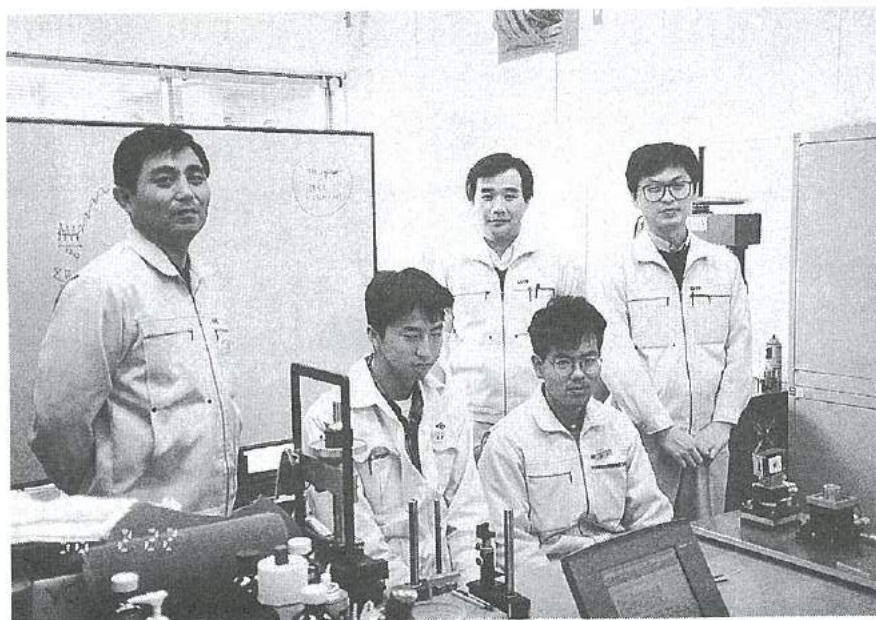
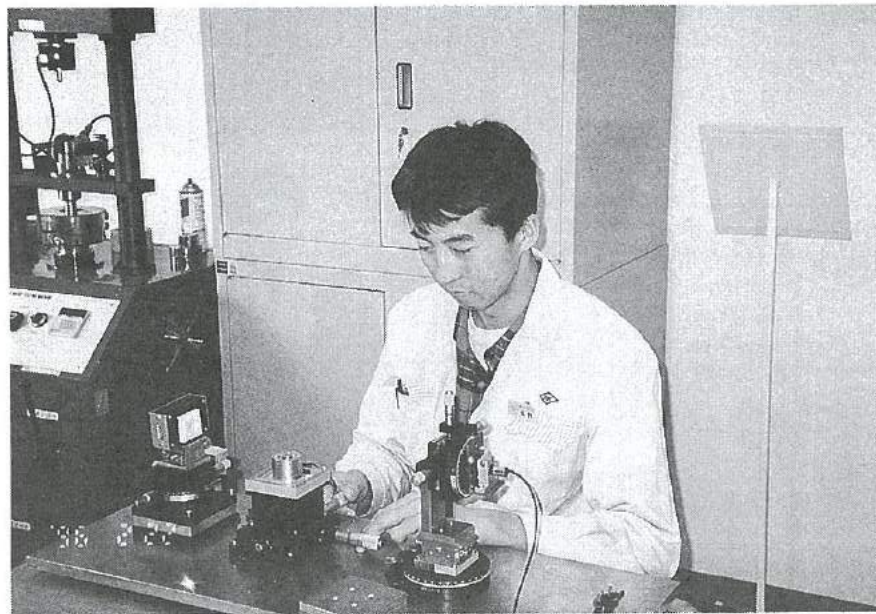
「ウエットエッチング液の開発」グループの研究活動風景



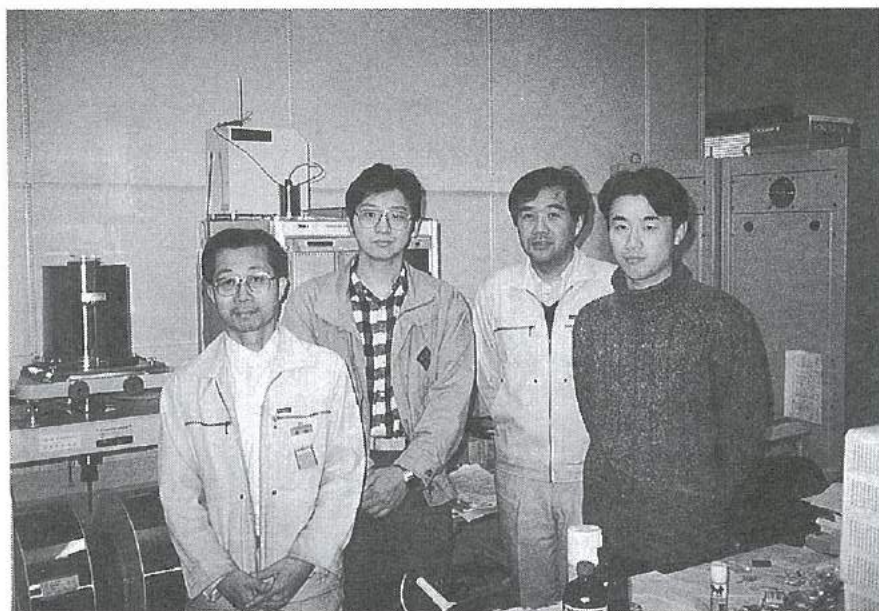
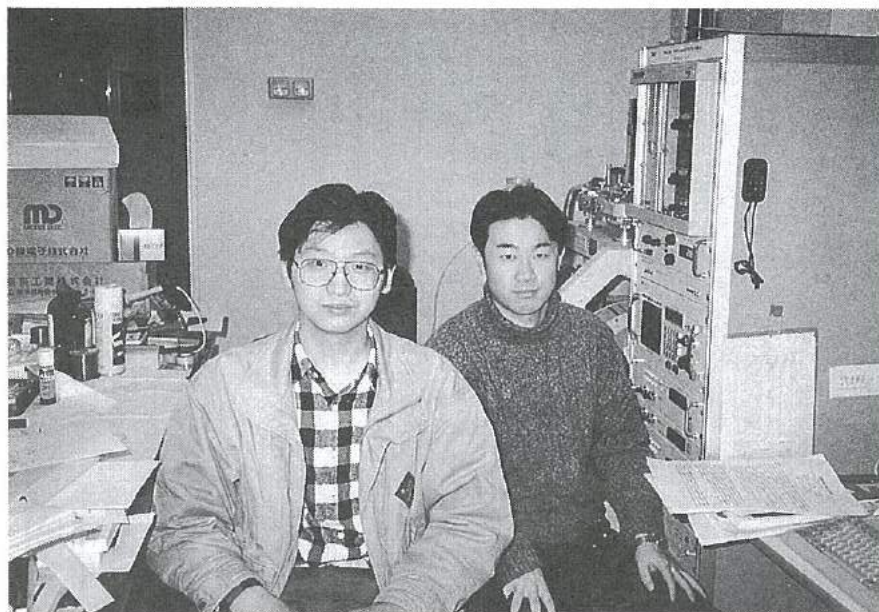
「マイクロアクチュエータの開発」グループの研究活動風景



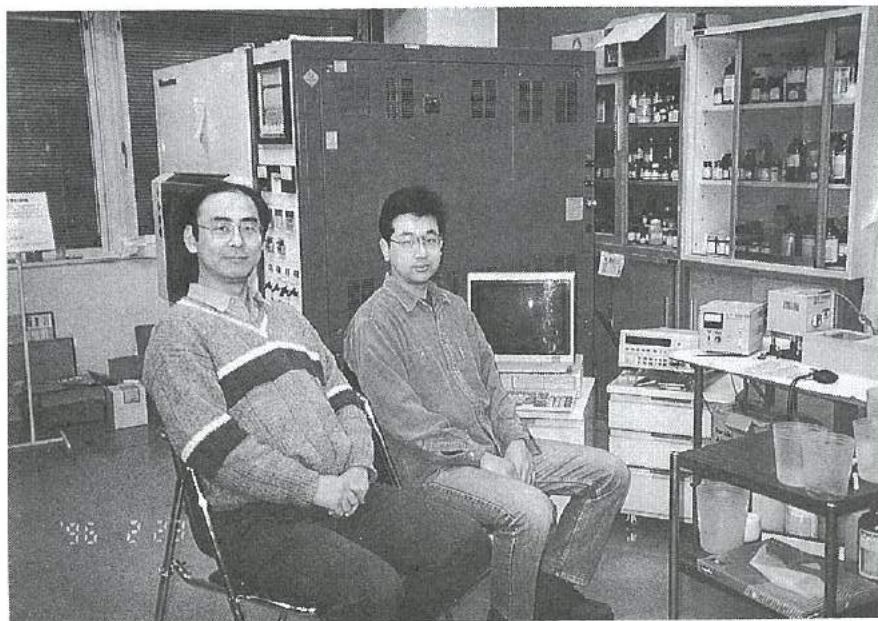
## 「機械の高度化の研究」グループの研究活動風景



# 「薄膜超磁歪素子の研究」グループの研究活動風景

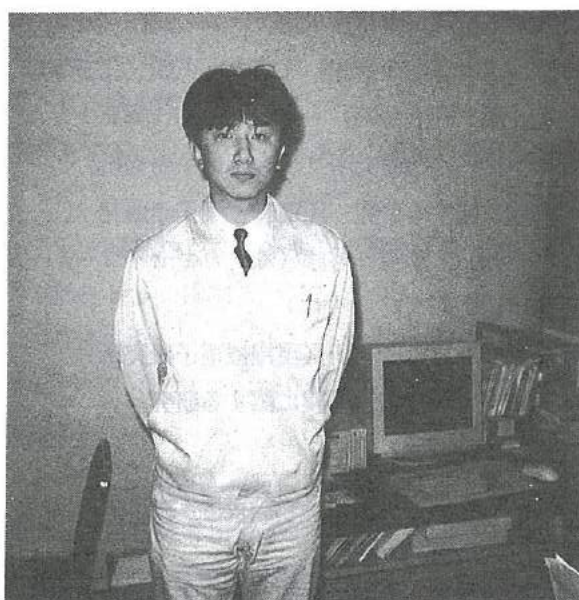
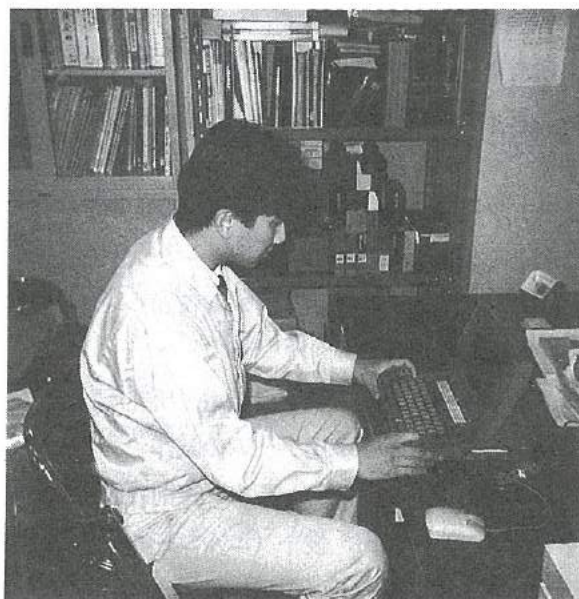


# 「レドックス型太陽発電の開発」グループの研究活動風景





# 「障害者屋内環境制御装置の開発」グループの研究活動風景



## 「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

○9年間の研究テーマ数：55テーマ（昭和62年度～平成7年度）

○参加研究員延べ人数：137名（指導機関の研究員を除く）

### ☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

#### 1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発

竹本 要一（㈱タカギセイコー）・田上 輝次（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発—中高温用サーミスタの開発

岡崎 誠一（北陸電気工業㈱）・加藤 昌憲（日本鋼管㈱）・滝川 義弘（磷化学工業㈱）

堀田 孝章（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 3. フレキシブルハンドの開発—介護ロボット用アームの試作

石崎 浩・滝森 幸浩（タカノギケン㈱）・茨木 正則（北日本電子㈱）

西田 信孝（㈱タカギセイコー）・山田 俊一（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### ☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

#### 1. フレキシブルハンドに関する研究—ロボット用アームの試作（Ⅱ）

石崎 浩・滝森 幸浩（タカノギケン㈱）・茨木 正則（北日本電子㈱）

窪池 義文（エルコー㈱、現コーセル㈱）・滝脇 優治（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電音響素子の開発

小西 孝浩（タカノギケン㈱）・小町 秀彦（㈱タカギセイコー）・滝川 義弘（磷化学工業㈱）

平能 司（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 3. Co-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜 哲夫（㈱不二越東富山製鋼所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 4. 樹脂・ファイバー複合材バネに関する研究

池田 秀男（㈱タカギセイコー）・上段 一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）

柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

#### 5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究—光シャッター及び赤外線センサの開発

中溝 佳幸（北陸電気工業㈱）・水谷 里志（立山電化工業㈱）

宮沢 進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）・山田 義昭（東洋化工㈱）

山本 直樹（NKK（日本鋼管㈱）富山製造所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

6. 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

古瀬 正浩 (㈱インテック)・堀井 孝 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度 (第3回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、19名)

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田 秀男・高柳 敏信 (㈱タカギセイコー)・上段 一徳 (東洋化工㈱)

長柄 勝 (長柄鉄工㈱)・柳原 潔 (㈱黒田精型)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 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

小西 孝浩 (タカノギケン㈱)・滝川 義弘・煙田不二男 (燐化学工業㈱)

平能 司 (㈱和泉電気富山製作所)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 焦電型赤外線センサに関する研究—RFマグネトロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製

山田 義昭 (東洋化工㈱)・吉田 孝一 (㈱タカギセイコー)

吉野 正浩 (吉田工業㈱、現YKK㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜 哲夫 (㈱不二越)・西田 達也 (北陸電気工業㈱)

前坂 昌春 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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—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

古瀬 正浩 (㈱インテック)・堀井 孝 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮 (北日本電子㈱)・中山 正明 (㈱和泉電気富山製作所)

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度 (第4回) 研究テーマと研究参加者 (7テーマ、16名)

1. 磁性薄膜の応用に関する研究—倍周波型磁気センサの開発

越浜 哲夫 (㈱不二越)・高島 誠 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳 敏信 (㈱タカギセイコー)・田村 正行 (吉田工業㈱、現YKK㈱)

柳原 潔 (㈱黒田精型)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

◎指導機関：富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究  
尾畑 哲史(㈱和泉電気富山製作所)・山田 義昭(東洋化工㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究  
煙田不二男(㈱磷化学工業㈱)・若林 成喜(北陸電気工業㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 画像による寸法計測に関する研究  
石黒 哲也(㈱タナカエンジニアリング)・窪池 義文(エルコー㈱、現コーセル㈱)  
西浦 慎一・村井 哲雄(㈱タカノギケン)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 超音波杖の開発  
中村 亮(北日本電子㈱)・堀 登紀男(㈱和泉電気富山製作所)  
◎指導機関：富山大学工学部
7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究—完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究  
土田 隆一(立山科学工業㈱)  
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成3年度(第5回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、14名)

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究—光書き込み型メモリの開発  
玉川 勤(北陸電気工業㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究  
桜栄 和則(㈱タカギセイコー)・田村 正行(吉田工業㈱、現YKK㈱)  
柳原 潔(㈱黒田精型)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所  
◎指導機関：富山県立大学工学部
3. 画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究  
荒木 満男(㈱タナカエンジニアリング)・西浦 慎一(㈱タカノギケン)  
山本 達生(エルコー㈱、現コーセル㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究  
尾畑 哲史(㈱和泉電気富山製作所)・山田 義昭(東洋化工㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 薄膜微細加工技術の研究  
鮎井 俊裕(エルコー㈱、現コーセル㈱)・竹端 精己(㈱不二越)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究

岩田 雅明（北日本電子㈱）・島野 英明（㈱インテック）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究—完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田 隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンに関する研究

白石 信幸（コーセル㈱）・新谷 哲也（北陸電気工業㈱）

吉井 靖岳（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 薄膜微細加工技術の研究—トランスの試作

伊勢 寿夫（コーセル㈱）・戸田 雅規（㈱不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 形状測定装置の開発に関する研究

野末 昌朗（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発

大岩 秀徳（三協アルミニウム工業㈱）・長峰 浩幸（㈱タカギセイコー）

本堂 裕（㈱斎藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究

北喜 靖規（北日本電子㈱）・島野 英明（㈱インテックシステム研究所）

◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田 隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. 機能性膜の微細加工に関する研究—磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作

伊東 守（コーセル㈱）・森田 智之（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンに関する研究

後藤 肇（コーセル㈱）・川西 和昭（三協アルミニウム工業㈱）

佐々木啓充（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. 有機電子材料に関する研究

雨野 孝信 (㈱タカギセイコー)・堀田 正人 (東洋化工㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究

黒川 寛幸 (北陸電気工業㈱)・山口 睦 (燐化学工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 5. RIMのCAEに関する研究

杉田 孝嗣 (三協アルミニウム工業㈱)・中村 和禎 (㈱タカギセイコー)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (I)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

## ☆平成6年度 (第8回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、16名)

### 1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山 直人 (㈱タカギセイコー)・寺本 正夫・杉谷 健 (コーセル㈱)

中村 厚平 (エヌアイシ・オートテック㈱)・松田 英雄 (㈱タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅 (コーセル㈱)・田村 雅英 (北陸電気工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. リン酸エッチング液の基礎研究

山口 睦 (燐化学工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. 傾斜機能膜素子の開発

市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)・福本 滋 (北陸電気工業㈱)

三松 克次 (㈱タカギセイコー)・山下 慎也 (㈱タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 5. 3次元入力デバイスの開発ー (バーチャルリアリティ用)

細木 文夫 (三協アルミニウム工業㈱)・横山 大 (長岡技術科学大学)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (2)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)・米谷 庄一 (三協アルミニウム工業㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

## ☆平成7年度 (第9回) 研究テーマと研究参加者 (8テーマ、15名)

### 1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発 (2)

大浦 真司 (三協アルミニウム工業㈱)・高田 謙一 (コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究  
永森 和久 (㈱タナカエンジニアリング)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 電子回路用ウェットエッチング液の開発  
山口 睦 (㈱化学工業㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発  
高橋 伸忠 (㈱タカギセイコー)・能村 輝一 (北陸電気工業㈱)  
山下 慎也 (㈱タナカエンジニアリング)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 微動機構による機械の高度化の研究  
佐野 仁一 (東洋化工㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 薄膜超磁歪素子の研究  
酒井 隆正 (コーセル㈱)・谷上 英樹 (北陸電気工業㈱)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
7. レドックス型太陽発電システムの開発  
市川 良雄・大橋 伸一 (富山軽金属工業㈱)・三井 清隆 (㈱タナカエンジニアリング)  
長谷川益夫 (富山県林業技術センター・木材試験場)  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (3)  
五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)  
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

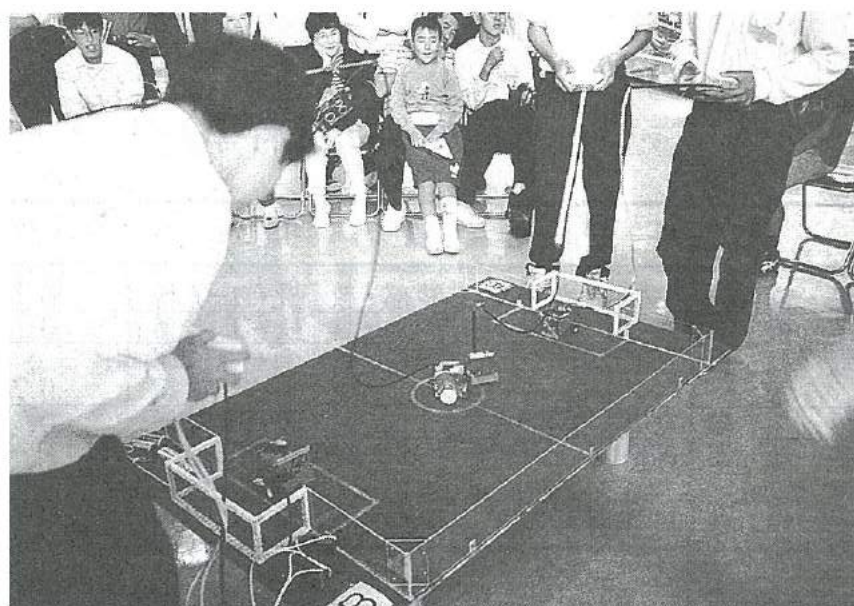
## 第2回『中学・高校生の自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』

1. 競技日：平成7年10月1日（日）午前10時～午後5時
2. 会場：テクノホール（富山産業展示館）・エントランスホール
3. 主催：若い研究者を育てる会
4. 共催：とやまテクノフェア実行委員会、（社）富山県機械工業会  
富山技術開発財団、富山県工業技術センター機械電子研究所
5. 参加チーム：8チーム、20名
6. ゲーム結果（全チームに賞状、トロフィ、メダル、副賞授与）

優勝	藤岡 寛昌・高見 聡	富山県立大沢野工業高等学校
	自作マシンの愛称：ユンカース	
次勝	畑中 伸之・鏡 友宜・塚原 又晴	富山県立二上工業高等学校
	自作マシンの愛称：友宜1号	
7777賞	村中 源晃・本田 淳也	
	河上 岳・光地 正広・堀埜 明日香	富山県立呉羽高等学校
	自作マシンの愛称： <i>フイ</i> （フォルテシモ）と <i>PP</i> （ピアニシモ）	
7777賞	高島 利英・高見沢 仁	富山県立大沢野工業高等学校
	自作マシンの愛称：バルデラマ	
努力賞	松原 裕二・深本 康夫	高岡市立五位中学校
	自作マシンの愛称：Y & Y	
努力賞	土田 正志・中村 祐哉	富山県立大沢野工業高等学校
	自作マシンの愛称：グラランダッシャー	
努力賞	小田 政樹・原 啓詞	富山県立二上工業高等学校
	自作マシンの愛称：メガ1号	
努力賞	中市 吉俊・林 洋介	富山県立二上工業高等学校
	自作マシンの愛称：基本・改	
7. 試合方式
  - ・1チーム2台（攻撃マシンとキーパーマシン）による1試合2チームの対戦方式
  - ・サッカーコート寸法：90×120cm
  - ・マシンの寸法：9×9×9cm以内・有線リモートコントロール方式
  - ・試合方式：予選リーグ（A、Bの2リーグ）戦およびリーグ優勝、次勝チームによる決勝トーナメント戦方式。試合時間は5分ハーフの計10分



# サッカーゲームコンテスト風景



# 会 員 企 業

平成8年3月15日現在（50音順）

	企 業 名	代 表 者 名	運 営 委 員	電 話
1	(株)インテック	中尾 哲雄	末岡 宗広	0764-44-1111
2	エヌアイシ・オートテック(株)	西川 健二	西尾 謙夫	0764-91-1877
3	北日本電子(株)	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
4	コーセル(株)	飴 久晴	町野 利道	0764-32-8151
5	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	0764-68-2727
6	三協アルミニウム工業(株)	荒井 久夫	吉岡 茂喜	0766-20-2366
7	(株)タカギセイコー	高木 正明	柳本 暁雄	0766-84-9261
8	タカノギケン(株)	高野 啓良	滝森 幸浩	0764-55-2525
9	武内プレス工業(株)	武内 繁和	浅井 吉夫	0764-41-1856
10	立山アルミニウム工業(株)	竹平栄太郎	伊藤 房男	0766-20-3121
11	立山科学工業(株)	水口昭一郎	掘田 孝章	0764-29-3588
12	立山製紙(株)	二木 治夫	渡辺 章夫	0764-63-1311
13	立山電化工業(株)	園 晶雄	高嶋 峰雄	0766-22-2377
14	(株)タナカエンジニアリング	田中儀一郎	杉木 康之	0764-51-5600
15	中越合金鑄工(株)	本多 秀治	石金 良一	0764-63-1211
16	東洋化工(株)	中田 守人	藤田 晃一	0764-75-2125
17	富山軽金属工業(株)	荒井 久夫	政 誠一	0766-84-9082
18	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
19	北陸電気工業(株)	中村 正夫	若林 守光	0764-67-1111
20	燐化学工業(株)	鶴田 幸晴	松本 俣博	0766-86-2511
21	YKK(株)黒部事業所	吉田 隆久	飯村 善孝	0765-54-8000
事務局：(財)富山技術開発財団内 〒930 富山市高田529 TEL:0764-33-6402				
運営アドバイザー：東保喜八郎 工業技術センター中央研究所副所長 TEL:0766-21-2121				

## 研究会員（研究幹事）

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

☆会員企業を募集しています。県内に事業所がある企業に限ります。入会のお問合せは事務局へ。

(様式1)

## 「若い研究者を育てる会」入会申込書

企 業 名 (事業所名)
代 表 者 名
住所、電話番号及びファクシミリ番号 〒 TEL : FAX :
連絡担当者所属、役職及び氏名
上記のとおり貴会へ入会を申し込みます。  平成 年 月 日  企 業 名 印 (事業所名)  「若い研究者を育てる会」殿

申し込みは郵送またはファクシミリにてお願いします。

申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。

その他不明な点は事務局へお問合わせください。

☆申し込み先

〒930 富山市高田529

(財)富山技術開発財団内

「若い研究者を育てる会」事務局

TEL 0764-33-6402

FAX 0764-33-6170

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8年3月15日
印刷所	有限会社 新響社

\*無断転載を禁ずる。非売品。