

平成 6 年 度

(第 8 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 7 年 3 月 16 日 (木)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター機械電子研究所

富山県高志リハビリテーション病院

富山大学工学部

富山県立大学工学部

ご あ い さ つ

会長 高木 正 明

会員企業の皆様方には、益々ご隆昌のことと存じます。

昨今の日本経済はバブルが崩壊し、我慢の時期であったかと思えます。しかしながら経済は穏やかに回復に向かっているといわれている中、実感はなく、まだ問題を残しているのが現状かと考えられます。

本年度、当会として特筆すべきことは、全国生涯学習フェスティバル事業に参画し、その内容が県内外に広く伝わったことではないかと思えます。

これも発足以来、当会を通じて多くの若い研究者が各方面で活躍され、また、研究会員の先生方はじめ各官学関係の皆様方の絶大なるご支援、ご指導の賜物と感謝いたしております。

本年の研究活動も6件のテーマで行われ、各企業から参加された若い研究者には、異業種の方々との共同研究を通じて自己研鑽されたことと思えます。

また、研究に参加された皆様方には、各企業内の他の研究者の励みとなり、企業の発展に寄与され、ひいては富山県全体の技術向上にもつながっていくことと思えます。

関係各位の皆様方には今後一層のご指導を賜ります様お願い申し上げます。



研究の概要

富山県工業技術センター 工学博士 谷野 克巳

本書は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数24社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成6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5グループ（5テーマ）、および富山県高志リハビリテーション病院において1グループ（1テーマ）の計6グループが実施してきた研究の成果をまとめたものであり、まず、富山県工業技術センター機械電子研究所で実施した5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」の研究グループ（参加企業

4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、行動する自立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て室内を壁に沿って移動するロボットの開発を試みた。この研究から、(1) CCD カメラを視覚として用いた場合、壁に沿って移動することが可能である、(2) 画像の認識手法としてソーベル微分とハフ変換を用いたところ、壁と床との境界線の検出は可能であるが、外乱要因によるノイズが多い場合は検出が困難である、および(3) 床面に光沢がある場合は、壁などが床に投写され、正しい境界線の抽出判断ができない、などの結果が得られた。

②「リン酸系エッチング液の基礎研究」の研究グループ（参加企業1社）では、アルミニウム表面の化学磨液の研究を取り上げ、研磨液中のリン酸や硝酸などの濃度がアルミの光沢仕上げの表面状態に及ぼす影響などについて検討を加えた。この研究から、(1) リン酸濃度が低下するとエッチング速度は増加するが、表面粗さは変化しない、(2) 硝酸濃度が3wt%まではエッチング速度は低下し、表面粗さは改善される、(3) 銅を添加すると表面粗さは改善される、(4) 溶存アルミ濃度が増加するとエッチング速度は著しく低下するが、表面粗さは変化しない、および(5) アルミ-銅合金、アルミダイカスト製品には市販の化学研磨液は適用できない、などの結果が得られた。

③「傾斜機能膜素子の開発」の研究グループ（参加企業4社）では、Ni-Ti系の形状記憶合金（SMA）のマグネトロンスパッタによる薄膜化と薄膜の組成をリニアに変化させた傾斜膜の性質などに検討を加えた。この研究から、(1) 薄膜の組成はTiターゲットへの投入電力制御で任意のものが得られる、(2) NiとTiの組成を変えることにより、変態温度の異なるSMA膜が作製できる、(3) 相変態に伴って体積抵抗率も急激な変化を示し、その変態温度はDSCの測定結果と一致する、および(4) Tiターゲットへのリニアな電力制御により、傾斜機能を持つ膜が作製可能で、700℃で溶体化処理したものは傾斜機能を示し、広い変態温度範囲を示すが、800℃では均一組成の膜になる、などの結果が得られた。

④「3次元入力デバイスの開発」の研究グループ（参加企業1社、大学1校）では、バーチャルリアリティ（仮想現実感）システムに用いる新しいタイプの3次元入力デバイスの開発を試みた。この研究から、(1) 市販の1次元光電式変位検出デバイス（PM）を用いた2次元位置検出の原理確認実験およびNewton-Raphson法を用いた3次元位置演算手法より、PMによる3次元入力デバイスは理論的に可能である、(2) 2次元位置検出部用に試作したCdS光導電膜は、市販品のCdSセルと同等の特性を示す、(3) レーザ光照射部を構成する分割プリズムを試作したところ、レーザ光が設計通りに分割される、および(4) 3次元位置演算部はレーザ光の照射位置を検出可能である、などの結果が得られた。

⑤「機能性薄膜と半導体の複合素子の開発」の研究グループ（参加企業2社）では、TiO₂系の低温動作型酸素センサの開発を取り上げ、センサ部とヒーター部とをSi半導体上に一体化したものの開発を試みた。この研究から、(1) Ti中のPtの量が約2.8%（パッキンターゲットの面積比）のものを1Toorの真空中、525~550℃で熱処理したものは約180℃で酸素に対して応答する、(2) ESCA分析から、表面はTiO₂層、内部はTiO₂とPtの混合層になっていると考えられ、膜厚は熱処理後では約70~80%増加する、および(3) 試作した半導体ヒーター（幅3mm、長さ6mmのボロン拡散層）は150℃/Wの発熱能力があり、1~2Wで180℃のセンサ動作温度を得ることが可能である、などの結果が得られた。

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

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）」の研究グループ（参加企業2社）。

現在社会において、急速な高齢化現象と共に家庭や就労環境に関する問題に積極的に取り組まれるようになってきたが、その様々な障害に対する工学的支援の方策については今後の大きな課題となっている。これらは、生活の自立支援を目的としており、家庭においては食事、入浴、排泄、整容などの日常生活動作のみならず住宅改造などが対象となる。また、就労の場においては公共的な移動・移乗手段、屋内での作業空間の整備などを改善していくことが重要となってくる。



本研究では障害者・高齢者の職場、或いは家庭での屋内環境を改善し、より快適な生活を送れるように、インターフェース機器に関する検討を加えてきた。初年度には、具体的な例として電動車椅子を利用している重度障害者のためのパソコン入力機器の現状調査、及びジョイスティックを活用したリモコン入力デバイスを試作した。第2年度（今年度）では試作品の改良、及び評価テストを行った。また、今後開発すべき屋内用統合化無線インターフェースシステムのあり方について調査を行った。

以上、本書は6つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も本会もしくはそれぞれの企業などにおいて、継続して研究を進めていく必要があるものと考えている。また、過去8年間で実施した47テーマの成果はすでに関連学会で発表、および一部のものは今年中に発表を予定し、特許は共同で数件出願している。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、ご助言を賜わ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7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」グループ

研究担当者	中村 厚平 (エヌアイシ・オートテック㈱)
	杉谷 健 (コーセル㈱)
	寺本 正夫 (")
	小山 直人 (㈱タカギセイコー)
	松田 英雄 (㈱タナカエンジニアリング)
研究指導者	藤城 敏史 (工業技術センター機械電子研)
	松田 敏弘 (")
	杉森 博 (")
	鍋澤 浩文 (")
	谷野 克巳 (")

II. 「リン酸系エッチング液の基礎研究」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)
	高林 外広 (")
	谷野 克巳 (")

III. 「傾斜機能膜素子の開発」グループ

研究担当者	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)
	市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)
	福本 滋 (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 (")
	二口 友昭 (")
	谷野 克巳 (")

IV. 「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）」グループ

研究担当者 米谷 庄一（三協アルミニウム工業㈱）
五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）
研究指導者 山本 敏泰（高志リハビリテーション病院）

V. 「３次元入力デバイスの開発」グループ

研究担当者 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）
研究指導者 鍋澤 浩文（工業技術センター機械電子研）
佐山 利彦（ ” ）
藤城 敏史（ ” ）
浅田 峯夫（ ” ）
谷野 克巳（ ” ）

VI. 「機能性薄膜と半導体の複合素子の開発」グループ

研究担当者 高柳 毅（コーセル㈱）
田村 雅英（北陸電気工業㈱）
研究指導者 松田 敏弘（工業技術センター機械電子研）
田村 幾夫（ ” ）
浅田 峯夫（ ” ）
松本 岩男（ ” ）
谷野 克巳（ ” ）

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	1
1. 緒 言	1
2. 移動ロボットの視覚システム	2
3. 移動ロボットの概要	3
4. 性能評価	8
5. 結 言	9
II. リン酸系エッチング液の基礎研究	10
1. 緒 言	10
2. 化学研磨液組成の影響	11
3. アルミニウム材質の影響	14
4. スマットの解析	15
5. 結 言	17
III. 傾斜機能膜素子の開発	18
1. 緒 言	18
2. 形状記憶合金の動作原理	18
3. 実験方法	19
4. 結果および考察	20
5. 結 言	25
IV. 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)	26
1. 緒 言	26
2. 試作インターフェース概要	27
3. 試作インターフェースの評価	29
4. 現作業空間の問題点及び解決方法について	30
5. 試作インターフェースの今後の展開	31
6. 結 論	33

V. 3次元入力デバイスの開発	-----	3 4
1. 緒 言	-----	3 4
2. 3次元入力デバイスの現状	-----	3 4
3. 本研究の3次元入力デバイスの概要	-----	3 5
4. 原理の確認	-----	3 7
5. 3次元入力デバイスの試作	-----	3 9
6. 結 言	-----	4 1
VI. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発	-----	4 2
1. 緒 言	-----	4 2
2. 複合型酸素センサ	-----	4 3
3. センサ部の作製と評価	-----	4 3
4. ヒータ部の作製と評価	-----	4 7
5. 結 言	-----	4 9
○各研究グループの研究風景	-----	付- 1
○「若い研究者を育てる会」8年間の研究活動の足跡	-----	付- 7
○第6回全国生涯学習フェスティバル主催事業	-----	付-12
『中学・高校生の自作ミニチュアマツノサッカーゲームコンテスト』の概要		
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-15

I. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

Development of a Mobile Robot with Vision System

松田 英雄 杉谷 健 寺本 正夫 中村 厚平 小山 直人
MATSUDA Hideo SUGITANI Takeshi TERAMOTO Masao NAKAMURA Kouhei KOYAMA Naoto

藤城 敏史 松田 敏弘 杉森 博 編澤 浩文 谷野 克巳
FUJIKI Satoshi MATSUDA Toshihiro SUGIMORI Hiroshi NABESAWA Hirofumi TANINO Katsumi

Abstract

In contrast to industrial use, a robot is not yet general in consumer application such as housekeeping 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.

The purpose of this study is to develop a mobile robot which provide the basic capability among above-mentioned functions. The body size of the robot is about 40 x 40 x 90cm. It has four wheels, two of which are driven by two stepping motors, and has a monochrome CCD camera which can be panned and tilted by another two stepping motors. All of these stepping motors are controlled by TMPZ84C015 (Z80 compatible).

The control procedure of the robot is as follows:

- (1) It captures image from CCD camera to gsp board and 32bit personal computer.
- (2) It extracts boundary line between wall and floor by image processing technics such as Sobel operation and Hough transformation.
- (3) It selects the direction so as to trace the wall with above line position and CCD camera angle. Neural network is used for this calculation.
- (4) It sends instruction to TMPZ84C015 for control of wheels and camera.
- (5) It repeats from (1) to (4).

Although it had a difficulty to recognize poor contrast or noisy image, the robot was able to move along walls of corridor or room by capturing and processing visual information.

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、将来的には労働者の不足などに対応するため、より人間に近い自立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、未知の環境下でも適切な行動ができる能力が必要とされている。

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が最も情報量が多いと言われている。また、人の頭脳に当たる判断の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な試みられているが、依然として開発が遅れている部分である。

そこで、産業用のみならずホームメイドロボットや看護ロボットのような日常生活に適した自立型のロボットの開発を目指し、これを達成するための一歩として、室内を視覚情報を頼りに壁に沿って移動するロボットを試作し、性能などについて検討を行った。試作した移動ロボットでは、環境の把握方法としてCCDカメラによる視覚情報を用い、意志の決定にはニューラルネットワークを用いた。

2. 移動ロボットの視覚システム

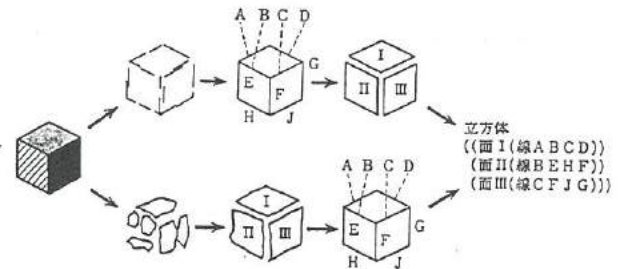
移動ロボットが行動を決定するためには、周囲の環境を把握する必要がある。ロボットが存在する空間は3次元空間であり、この空間の情報を把握するためには光を利用する光学的手法と、超音波を利用する音響学的手法がある。光学的手法は物体の細部の情報まで得られるなど非常に有効な手段であるが、奥行き情報を得る手段が容易ではない。また、音響学的手法は奥行き情報を得やすいが、物体の反射音を利用するため、反射率の悪いものや小さなものは認識しにくい欠点を持つ。一般に、移動ロボットが移動する空間では、小さな物体が存在したり反射率が未知である場合が多く、物体の存在を見落とすことが多い。そこで、本研究では周囲の環境を把握する方法としてCCDカメラを用いた視覚情報を用いることとした。CCDカメラによる視覚情報から床や壁、障害物などの3次元の位置を表す3次元マップが得られれば、ある程度の行動が決定できることになるかと判断した。

2.1 光学的な3次元計測の現状

光学的な手法で3次元空間の情報を得るための代表的な計測法を以下に示す。

①単眼視

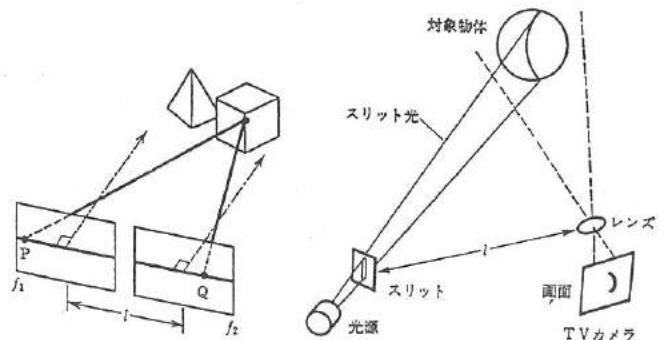
これは図1-aに示すように、1方向から眺めて得られる画像だけで物体を認識する方法である。装置はカメラが1台と簡単であるが、物体の明るさで距離を推察する方法であり、環境条件が未知の場合には適応は困難である。



(a) 単眼視

②両眼視

これは図1-bに示すように、複数のカメラからの画像情報を基に3次元計測を行う方法である。2台以上のカメラが必要で、3角測量法によって距離の算出は原理的に可能であるが、左右の画像の対応付けが容易ではない。



(b) 両眼視

(c) 光投影法

③光投影法

これはレーザー光などを被測定物に照射し、別の光学系でとらえた輝点の位置などから3次元情報を得る方法である。一例として、図1-cはスリット光を用いた3角測量法の概要を示す。ある点までの距離を正確に測定するのに適した方法であるが、3次元的な空間情報を得るためにはスリット光の走査が必要で、機構が複雑になり、処理時間も増える難点がある。

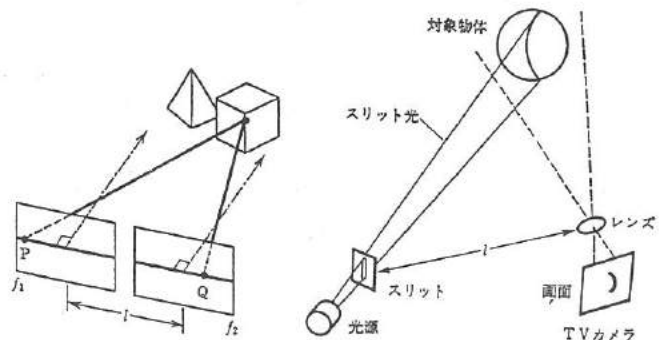


図1 代表的な光学的3次元情報計測法

Fig.1. Principal methods of 3D image processing.

2.2 移動ロボットのための3次元計測

移動ロボットの3次元計測法としては前述のように種々の方法が挙げられるが、光等を照射する能動的な方法では、物体によっては有効な反射光を得られない場合があるので、本研究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、床の情報を主に利用することと、ロボット(カメラ)が移動するので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。

移動ロボットの行動は、視覚として得られた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」で動いているかを知ることによって判断している。図2は画像情報から自分の位置および姿勢を推定する方法を示す。

最初に、カメラを壁と床の境界に向け、境界線で輝度が増加することを利用して、境界線を線分として抽出する。その後、線分の画面内の位置 (ρ) と傾き (θ) から、壁からの位置 (L) と姿勢 (γ) を推定し、とるべき行動を選択する。境界線は床にあるので、 L と γ はカメラの上下角 (α) と左右角 (β) およびカメラの取り付け高さ (H) が決まれば、画面上の ρ と θ から計算が可能である。しかし、ここで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、 α 、 β 、 ρ および θ の4つのデータをニューラルネットワークで学習 (Learning) および想起 (Recall) させる方法を用いた。

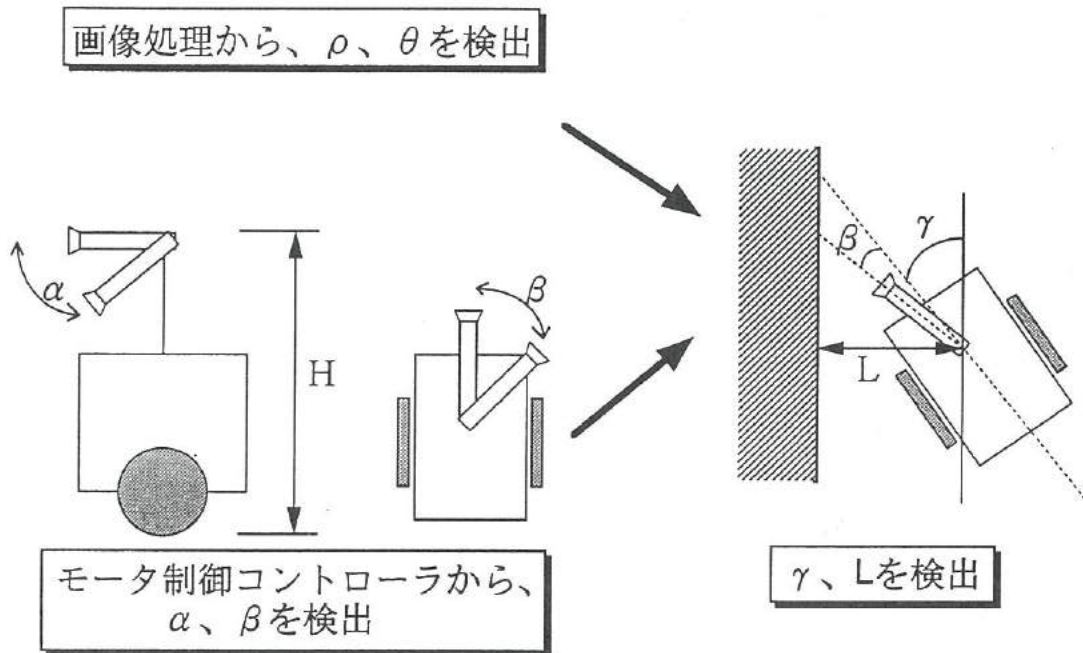


図2 移動ロボットの位置および姿勢推定方法

Fig.2. Method of location recognition of mobile robot.

3. 移動ロボットの概要

図3は移動ロボットの外観図を示す。ロボットの平面サイズは、椅子の幅 (約40 cm) を参考にして40×40 cm程度とし、机の高さ (約80 cm) と安定な高さを考慮してロボットの高さ (カメラ位置) は90 cm程度とした。ロボットの移動方法は、平坦な床を移動するという設計から車輪駆動とした。一点軸で回転出来るように、本体の中心部の左右に車輪を持つ構造とし、車輪の駆動にはハーモニックギヤ付きのステッピングモータを用いた。画像の取り込みには1台のCCDカメラを用い、視野の中に壁と床の境界線情報をとらえることが可能とするため、カメラを上下左右に回転できるようにした。カメラの移動にはギヤ付きのステッピングモータを利用した。電源は、外部電源を必要としないで自律走行出来るように、鉛蓄電池を、駆動用に2個 (12 V、8 Ahr)、パソコン・ボード等の電源用として1個 (12 V、2.5 Ahr) を使用した。

車輪は直径15 cmのゴム製とし、5万パルスで1回転する。カメラの移動範囲は、上下48°～14° (下方を正とする)、左右±90° (左方向を正とする) でどちらも20パルスで1°移動する。

図4は移動ロボットの制御の構成図を示す。移動ロボットの制御は、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。移動部と画像取り込み部はRS232C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の動作を実行させている。

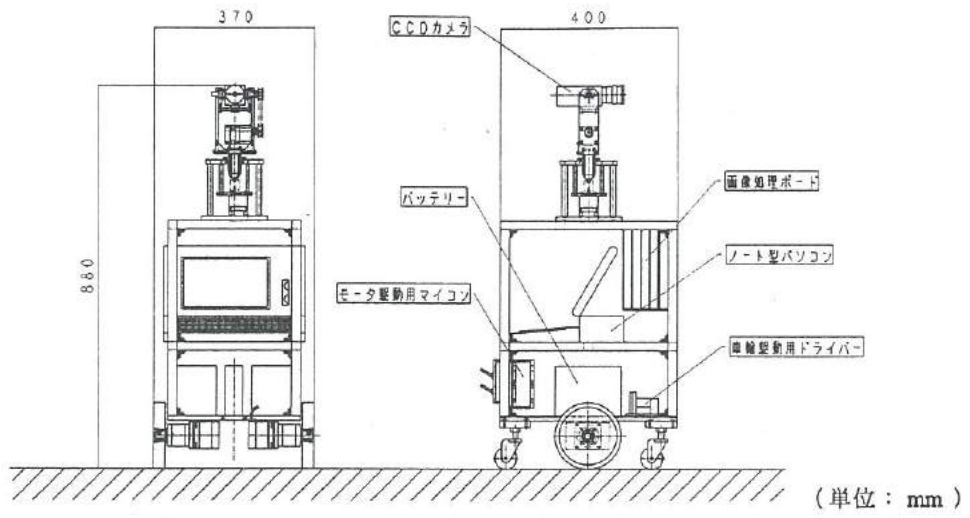


図3 移動ロボットの概要
 Fig.3. Draft of mobile robot.

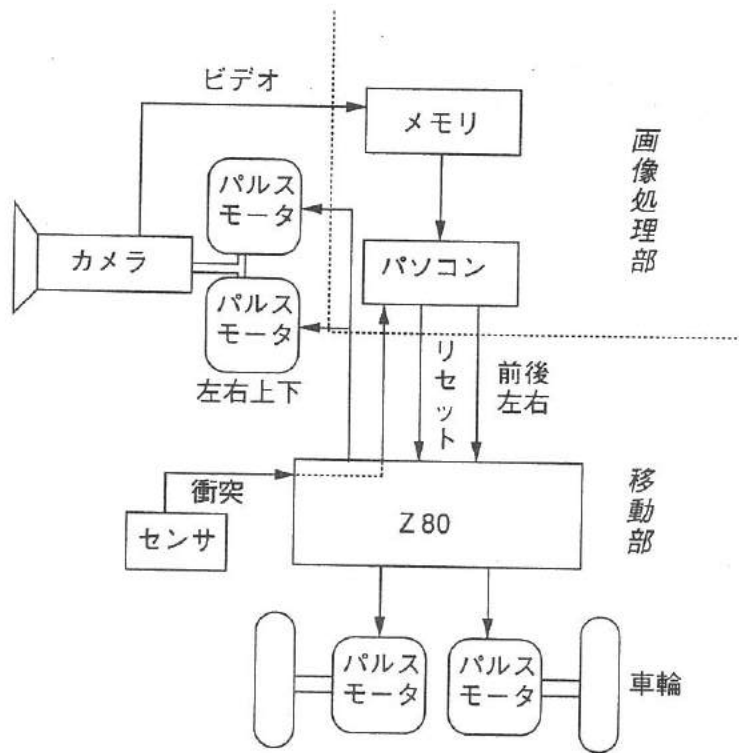


図4 移動ロボットの制御構成図
 Fig.4. Schematic diagram of mobile robot.

3. 1 移動部

(1) 移動部の概要

移動部は図4に示すように、走行用およびカメラ用のそれぞれ2つのステッピングモータと、これらを制御するワンボードマイコンで構成した。ワンボードマイコンにはZ80コンパチブルCPUであるTMPZ84C015が実装されたものを使用した。CPUに内蔵する2つのPIOのうち、ポートAはパルス出力用、ポートBはリミットスイッチの検知用に、4つのCTCはパルスの発生用、SIOはポートAとホストコンピュータとの通信用に使用した。プログラムの開発にはリモートデバッガを利用し、ホスト上でアセンブラを用いて行った。

表1は画像処理部からのコマンドの一覧を示す。走行に関しては移動方向および移動量、速度の指定が可能で、速度は加減速ともに台形制御を行っている。カメラの移動については移動方向と移動量のみ指定可能である。xxxは移動量、ssは移動速度をパルス幅で指定する(16進数、小さい方が早い)。移動量の前に符号を付けると移動方向の指定となり、符号が無い場合は前回の移動量に加算される。また、パラメータは省略が可能であり、コマンドのみを送るとカウンタの残量値(16進数)をホストに返す。

表1 移動部のコマンド

Table 1. Motor control command.

コマンド	働き
O	カメラの初期位置移動
F [[±] xxx] [, ss]	両輪の同時正転、逆転
L [[±] xxx] [, ss]	左車輪の正転、逆転
R [[±] xxx] [, ss]	右車輪の正転、逆転
H [[±] xxx]	カメラの水平左右回転
V [[±] xxx]	カメラの垂直上下回転
Z	全モータの停止

(2) 移動部のプログラムの概要

ステッピングモータのパルスの発生には、CTCのタイマ割り込み機能を利用した。チャンネル1を右車輪用、チャンネル2を左車輪用、チャンネル3をカメラ用とした。なお、チャンネル0はRS232Cのクロックの分周用として用いた。

図5はプログラムのフローチャートを示す。メインプログラムでは移動量や速度、出力信号マスクデータなどの設定のみを行い、割り込みがある毎に該当するビットの出力の反転(XOR)を行い、パルスを発生させている。パルスのカウンタとして、車輪用は3バイト、カメラ用には2バイトを使用している。さらに車輪の制御では速度制御用に1バイトを使用してパルス幅を可変している。

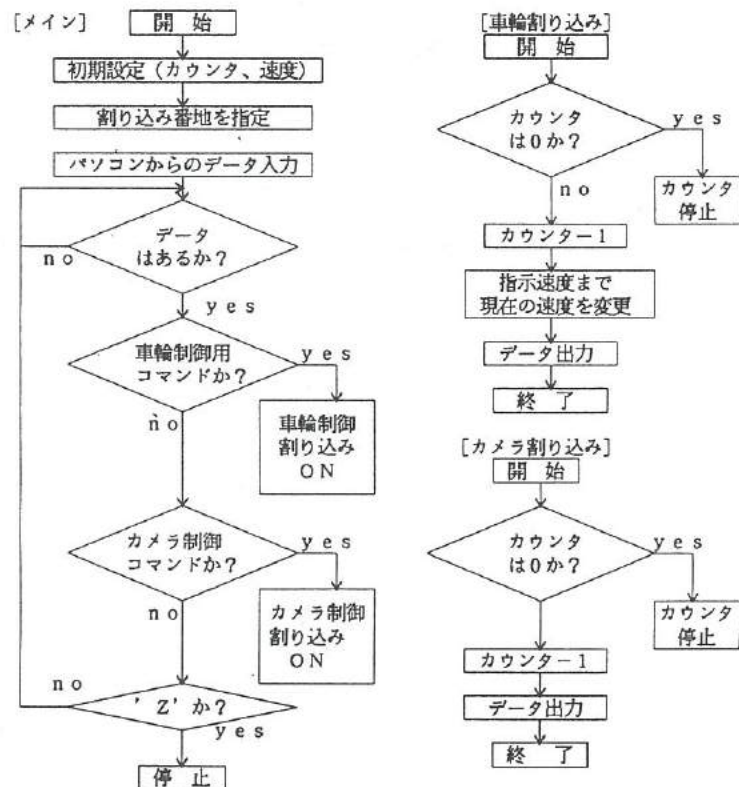


図5 プログラムのフローチャート

Fig.5. Flow of driving system.

3.2 画像処理部

(1) 画像処理部の概要

図6は画像処理部の構成図を示す。画像処理部は、モノクロCCDカメラとCPU（TMS34010、GSPと呼ばれる）付き画像メモリであるGSPボード（512×512画素×8ビット×2画面）および32ビットノートパソコンの3つで構成した。パソコンとGSP間のデータ転送はGSPボード上の共通メモリを使用した。画像処理はGSPボード上でほとんどの処理を行い、パソコンではGSPで得られた ρ および θ からニューラルネットワークなどを用いて行動を判断し、行動部へ指示している。プログラムの開発にはパソコン及びGSP共にC言語を使用した。

図7は画像処理部の処理の流れを示す。GSPで複数の ρ 、 θ の組み合わせを検出し、これらのうち最も境界線であると思われるものを抽出する。ニューラルネットワークで次に成すべき行動を選択し、移動部へ指示を転送している。表2は画像処理部のコマンドの一覧を示す。

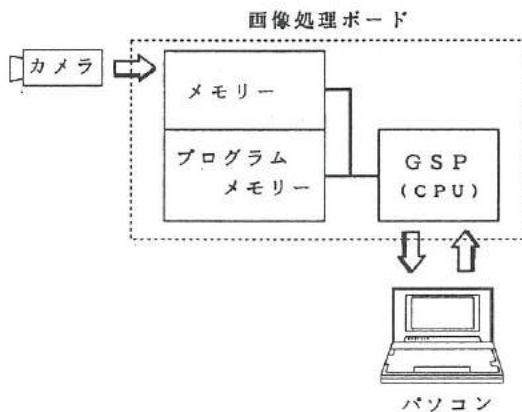


図6 画像処理部の構成図

Fig.6. Schematic diagram of image processing system.

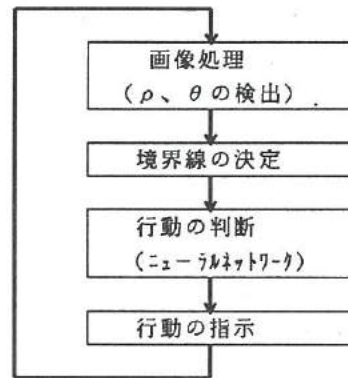


図7 画像処理部の処理の流れ

Fig.7. Flow of image processing system.

表2 画像処理部のコマンド

Table 2. Image processing command.

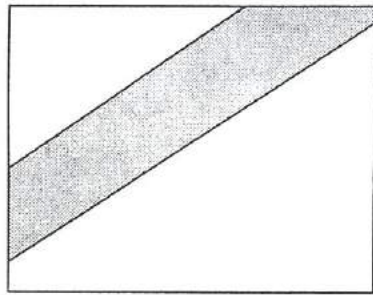
コマンド	働き	コマンド	働き
←	ウィンドウを左に移動	m	y方向ソーベル微分
↓	ウィンドウを下に移動	n	ニューラルネットワーク計算
↑	ウィンドウを上を移動	o	拡大ウィンドウの指定
→	ウィンドウを右に移動	p	ウィンドウ内の射影計算
a	平均化処理 (average)	q	プログラムの終了
b	2値化 (segment)	r	GSPレジスタの表示
c	共通領域データの表示	s	ソーベル微分
d	VRAMデータダンプ表示	v	生画像/静止画像の切り替え
e	配列バッファデータの表示	w	ウィンドウの描画
f	画像取り込み (freeze)	x	計測・判断の実行
g	ハフ変換 (レベル1)	y	画像計測処理マクロ
h	ハフ変換 (レベル2)	z	画像取り込みマクロ
i	GSPでタイトルを表示 (初期化)	!	GSPの停止
j	ピーク間の距離を表示	<	画面1の選択
k	y方向ソーベル2次微分	>	画面2の選択
l	ラベル付け	?	ヘルプ (メニュー一覧) 表示

(2) 画像処理の手法

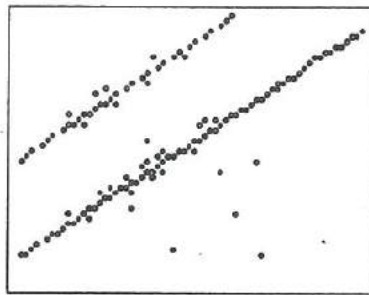
図8は画像処理の手法を示す。最初は画面全体で画像処理を実行するが、2回目以降は速度を早くするため、特徴点と思われる所に100×100画素のウィンドウを設定し、ウィンドウ内のみで処理を行った。

壁と床の境界線の検出には境界で輝度に変化する特徴を利用し、原画(1)をソーベル微分し輝度変化を計算(2)した。境界線と思われる部分の抽出には、ソーベル微分後に2値化する方法と、ソーベル微分後の極大値(再微分する)を利用する2つの方法を用いた。前者ではノイズが少なくなるが、輝度変化値の小さな特徴量が欠落することが多く、後者では輝度変化の小さなものでも検出できるが壁紙など模様がある場合はノイズとなって影響を及ぼした。どちらの手法を用いるかは周囲の環境に応じて選択するものとした。

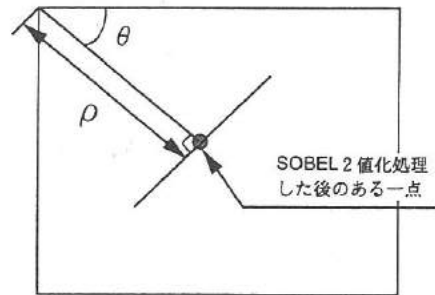
境界線と思われる点の集合から線分を求める方法としては Hough 変換(3)(4)を利用した。ハフ変換は角度 θ が $0 \sim 180^\circ$ (角度分解能 1°)、 ρ が ± 128 (画素)の範囲で行った。次に、複数の線分の候補を検出するために、 $\rho - \theta$ 空間上で最大のプロット数を持つ候補点を最初のピークとして、大きなものから順に最も近いピーク点を調べ、その距離がある値以上あれば別のピークとして分離し、登録(5)した。この様にして得られた全ての線分の候補をパソコンに送り行動するための判断データとした。



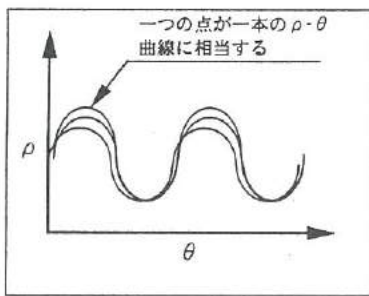
(1) 原画



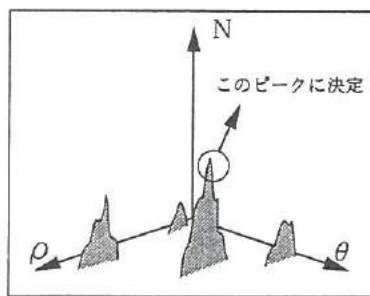
(2) SOBEL処理
2値化処理



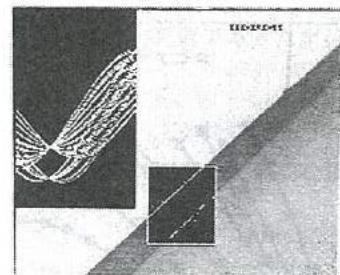
(3) 座標系の設定



(4) HOUGH変換



(5) ピーク間距離の大きいものを選択



HOUGH変換の例

図8 画像処理の手法

Fig.8. Image processing method.

(3) 行動の決定方法

画像処理で得られた $\rho - \theta$ のデータは、ウィンドウ上の座標データであり、これを画面上のデータに変換した。次に、床が均一であるとすると、これらのデータの中でカメラに最も近いもの、すなわち ρ の値が最も大きなものが壁と床の境界とみなせる。そこで、求めるデータを ρ の最大のもものと定め、画面上の角度 θ およびカメラの角度である α と β を用いてニューラルネットワークで行動を判断させた。

図9は使用したニューラルネットワークの概要を示す。ネットは3層バックプロパゲーションニューラルネットワークで、入力層は4要素、中間層は6要素、出力層は5要素である。学習には13個のデータセットを4万回繰り返し行い、教師データに対する正答率は100%であった。なお、各々の値は ± 1.0 以内となるように正規化し入力した。

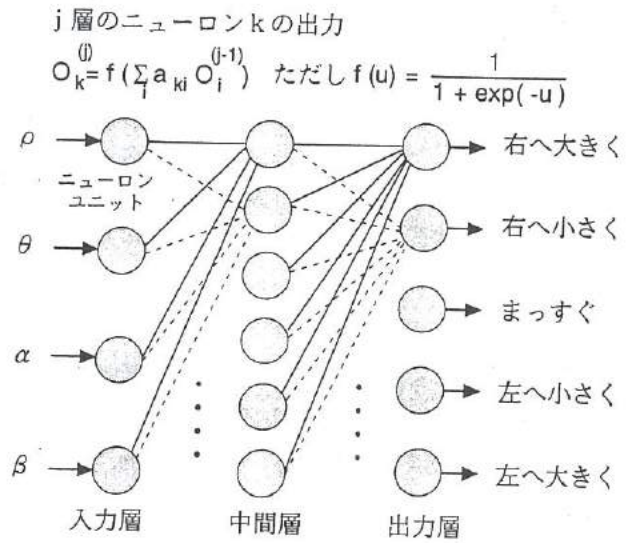


図9 行動決定ニューラルネットワークの概要

Fig.9. Navigation by neural network method.

4. 性能評価

4.1 カメラと画像の関係

図10は移動ロボットのカメラを移動したときに、 ρ と θ がどのように変わるかを測定した結果を示す。横軸は $\gamma + \beta$ となっており、 β が既知なら γ と ρ または θ との関係とみなせる。凡例の最初の値は壁からの距離 (L)、2番目の値は上下角 (α) である。図より、 $\gamma + \beta$ が大きくなると ρ は増える傾向にある。この傾向はカメラが左右どちらを向いていても同じ傾向を示す。また、 L が小さいと ρ は小さくなり、 α を増やすと ρ は小さくなる。また、 θ は $\gamma + \beta$ が大きくなると増えるが、 α を変えてもほとんど変わらない。 L が大きくなれば θ は大きくなる傾向を示す。すなわち、 α および β が固定された場合、画面上では γ が正 (左を向いている) の状態で前進すると、境界線は画面の左上から右下に移動し、 γ が負 (右を向いている) なら画面の右上から左下に移動することになる。計測用のウィンドウはこれを踏まえて移動させればよいことになる。

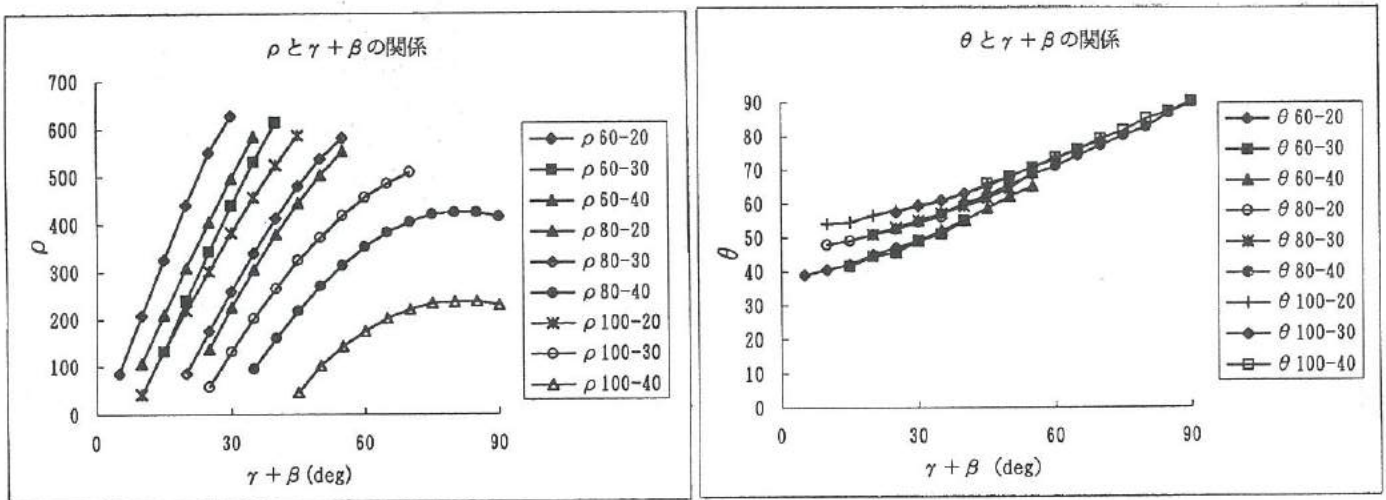


図10 カメラ向きと $\rho \cdot \theta$ の関係

Fig.10. Turning angle of CCD camera v.s. ρ and θ .

4. 2 走行テスト

図11は廊下を走行中の移動ロボット、図12は画像処理中の画像例を示す。画像処理に費やす判断時間は5~10秒で、この時間にロボットは5~10cm走行する(60cm/分)。走行状態は境界線が比較的是っきりしている場合には判断が可能であったが、壁紙などに模様のある場合には境界線を見つけるのが困難であった。平均化などの前処理を組み合わせると少しは改善されるが、処理時間をさらに要することとなるため、今後は高速で汎用性の高い特徴抽出法について検討を加える必要がある。また、床に光沢がある場合は、壁の模様や照明、窓の明かりなどが床に写って誤った判断をすることがあった。このような反射の影響は単純な画像処理では判断できず、さらに知能化した手法を取り入れることが必要であると考えている。



図11 走行中の移動ロボットの例

Fig.11. Driving test of mobile robot.

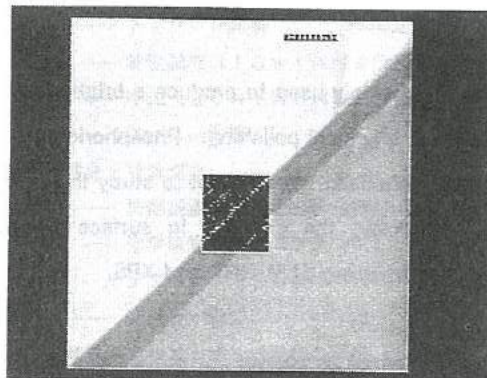


図12 処理画像の例

Fig.12. Image processing.

5. 結言

広い分野で活躍できる自立型のロボットの開発を目指し、これを達成するための一歩として、視覚情報を用いて室内で壁に沿って移動するロボットを試作し、性能などについて検討を行ったところ、以下の結果が得られた。

- (1) CCDカメラを視覚として壁に沿って移動するロボットを試作したところ、行動させることが出来た。
- (2) 画像の認識手法としてソーベル微分とハフ変換を用いたところ、壁と床の境界線の検出が可能であったが、外乱要因によるノイズの多い場合には検出が困難であった。
- (3) 床面に光沢がある場合は、壁などが床に写り正しい境界線の抽出判断ができなかった。

移動ロボットとして移動することは可能であったが、模様によるエッジ検出の困難さや、床面の反射など単純な画像処理のみで判断できないことが今後の課題として明らかとなった。

Ⅱ. リン酸系エッチング液の基礎研究

(アルミニウムの化学研磨)

Fundamental Study of Chemical Etching in Phosphoric Acid System

— Chemical Polishing of Aluminum —

山口 睦

二口友昭

高林外広

谷野克巳

YAMAGUCHI Mutsumi

FUTAKUCHI Tomoaki

TAKABAYASHI Sotohiro

TANINO Katsumi

Abstract

Chemical polishing is widely used to produce a bright finish on aluminum surface. Mixed acid of phosphoric and nitric acid are commonly employed for chemical polishing. Phosphoric acid content, nitric acid content and aluminum content practically influence the degree of surface obtained. We attempt to study these variable factors and investigate the mechanism of chemical polishing in chemical action. Moreover, the changes in surface structure that occur during chemical polishing are investigated from a microscopic standpoint by using SEM, XRD and XPS.

The results are summarized as follows;

- (1) The etching rate increased and the surface roughness unchanged with decreasing of phosphoric acid content.
- (2) The etching rate and the surface roughness decreased with increasing of nitric acid content so far as 3wt% and became constant after that. This is ascribed to the formation of oxide layer on the surface of aluminum.
- (3) The etching rate decreased remarkably and the surface roughness unchanged with increasing of dissolved aluminum content.
- (4) The surface roughness was improved with addition of copper.
- (5) Chemical polishing solution on the market can be available to pure aluminum, Al-Mg and Al-Mg-Si alloy, though it is difficult to apply for Al-Cu alloy and aluminum die cast.

1. 緒言

近年、アルミニウムは軽量、耐食性、加工性、近代的美観及びサイクル再利用が比較的容易であるなどの特徴を持つことから、建材、車両、自動車、家電製品などの各方面において需要が急速に伸びてきた金属の1つである。また、アルミニウム本来の銀白色の光沢を出す表面処理技術は、装飾品関係での需要の拡大には欠くことの出来ない技術である。

アルミニウムの表面処理は用途及び目的によって陽極酸化処理(アルマイト)、塗装、メッキなど種々な処理方法が採用されている。その中でも、陽極酸化処理は素材そのものの表面を酸化させることが基本的な特徴であり、素材の種類や加工履歴、前処理方法など多くの要因が仕上がりに影響を与えるとされている。

化学研磨はアルミニウム表面をアルマイトなどに適した素地に調製するエッチング法として非常に重要な工程である。化学研磨はアルミニウム表面のツヤ出しが必要な場合に用いられ、浴の種類は非常に多く、リン酸を主成分とするものが多い。化学研磨は光沢性に優れ、複雑な形状のものでも容易に処理できる利点がある反面、アルミニウム材質や浴管理方法、前処理などによって仕上がりが異なる。光輝仕上げに優れたリン酸-硝酸系化学研磨浴の場合は、浴管理が特に重要である。浴管理には浴温、リン酸濃度、硝酸濃度、浴中に溶存するアルミニウム濃度及び種々の添加剤濃度などの管理要因が非常に多い。これらの管理要因が変化した場合、処理表面の性状にどのような影響を与えるかについての研究は少なく⁽¹⁾、現状は現場レベルでの経験による管理となっている。

本研究では、これらの管理要因のうちリン酸濃度、硝酸濃度、溶存アルミニウム濃度及び光沢剤である銅の添加濃度の変化によってアルミニウム表面のエッチング速度及び表面状態にどのような影響を及ぼすのかについてミクロ的な観点から調査する基礎的検討を行った。さらに、最近では軽くて硬い Al-Cu 系合金（ジュラルミン）やアルミダイカストの表面処理技術が望まれているため、リン酸がこれらの材質に及ぼす挙動を現在一般的に用いられている工業用純アルミニウムや Al-Mg 系合金に及ぼす挙動とを比較調査した。

2. 化学研磨浴組成の影響

2.1 実験方法

(1) 実験手順

図1は本研究の実験手順を示す。アルミニウム試験片は厚さ2~3 mm のものを12~15 mm 角程度にカットし、バフ研磨を行った。バフ研磨は目の粗いものから徐々に細かいもので実施し、最終的にアルミニウム試験片の表面あらさが Ra : 0.02 μm 程度の鏡面状態になるようにした。バフ研磨後、トリクロロエチレン（トリクレン）中に浸漬し、アルミニウム表面に付着した接着剤を除去した。さらに化学研磨の前処理として、10 wt% 水酸化ナトリウム溶液（60℃）に10秒間浸漬（苛性脱脂）し、水洗後、30 wt% 硝酸溶液（常温）で中和した後、水洗した。ここで、化学研磨によるエッチング速度を算出するため、水洗後温風乾燥し、マイクロメーターで寸法、電子天秤で重量測定を行った。測定後、適量の中性洗剤の水溶液（50℃）で数分間洗浄した。化学研磨浴は100 ml ビーカーで調製し、オイルバスで昇温した。アルミニウム試験片は直径3 mm のアルミニウム棒に挟んで浴中に浸漬させた。化学研磨後水洗し、再び30 wt% 硝酸溶液で洗浄（デスマット）した後、温風乾燥、重量測定を行った。さらに120秒間エッチング処理したアルミニウム試験片について表面あらさ測定、X線回折、SEM、XPSによる解析を実施した。

(2) エッチング速度の算出方法

本研究では、化学研磨によるアルミニウムのエッチング速度はアルミニウム試験片の表面積及び重量変化から下記の計算方法によって求めた。なお、エッチング処理時間は30、60、120秒で行い、その平均値を求めた。

エッチング速度 (μm/min)

$$= \frac{(\text{化学研磨処理前の重量}) - (\text{処理後の重量})}{(\text{試験片の密度}) \times (\text{表面積}) \times (\text{処理時間})} \quad \text{----- (1)}$$

アルミニウム試験片 (12-15 mm角)

- バフ研磨 (#500→#1000→#2400→MOL-3μ→NAP-1μ)
- トリクレン脱脂
- 苛性脱脂 (10 wt% NaOH : 60℃×10秒)
- 中和 (30 wt% HNO₃ : 常温×10秒)
- スプレー乾燥

重量・寸法測定

- 洗剤脱脂 (適量の台所洗剤 : 50℃×数分)
- 化学研磨処理 (エッチング)
- デスマット (30 wt% HNO₃ : 常温×10秒)
- スプレー乾燥

重量測定→エッチング速度の算出

↓
表面あらさ測定・X線回折・SEM・XPS

図1 実験手順

Fig.1. Experimental process.

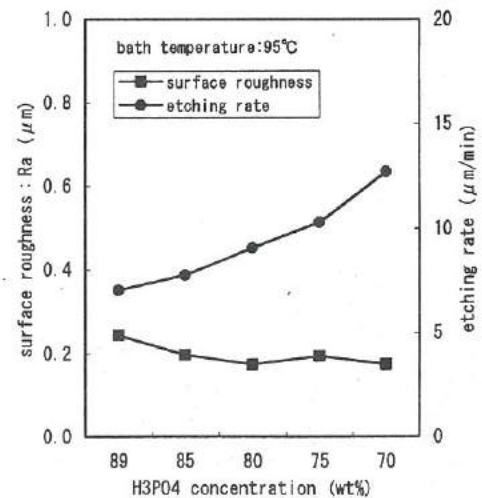


図2 リン酸濃度の影響

Fig.2. Effect of phosphoric acid concentration.

2. 2 実験結果及び考察

(1) リン酸濃度の影響

ここでは、浴組成の主成分であるリン酸濃度がアルミニウムの溶解性及び表面処理性にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

濃リン酸を水で希釈して所定濃度のリン酸溶液を調製し、これらのリン酸溶液全てに硝酸を2 wt% 添加した。処理温度(浴温)は、水の蒸発によるリン酸濃度の変化を小さくするために95℃とし、被処理材質は工業用純アルミニウム(1100材)を用いた。

図2はリン酸濃度とアルミニウムのエッチング速度及び表面あらかさの関係を示す。図2より、リン酸濃度が低下するとエッチング速度は増加するが、表面あらかさはあまり変化しないことがわかった。また、70 wt% 以下では処理表面が白く曇った。

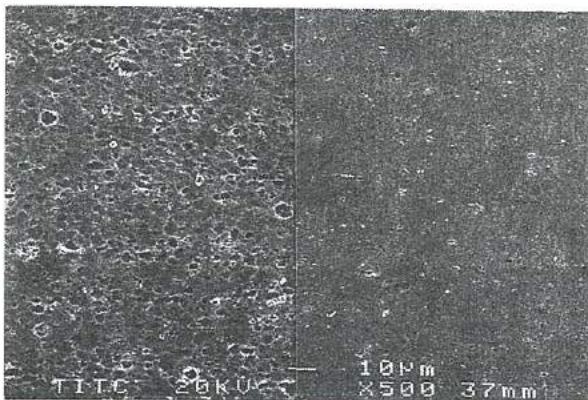
図3は80 wt% と70 wt% リン酸で処理したもののSEM写真を示す。図3より、70 wt% 処理のものにはアルミニウムの結晶粒子が見られるため、粒界で優先的なエッチングが進んだものと考えられる。

(2) 硝酸濃度の影響

85 wt% リン酸に所定濃度の硝酸を添加して調製した。浴温は100℃とし、被処理材質は1100材を用いた。

図4は硝酸添加濃度とアルミニウムのエッチング速度及び表面あらかさの関係を示す。図4より、硝酸添加濃度が3 wt% 以上では表面あらかさは改善されてほぼ一定、エッチング速度は低下するもののほぼ一定となることがわかった。

図5はアルカリ処理(苛性脱脂)後と5 wt% 硝酸処理後のXPSデプスプロファイルを示す。図5より、硝酸によりアルミニウム表面に酸化膜が形成されることが確認された。この酸化膜によってリン酸によるエッチングが抑えられたと考えられる。また、表面あらかさが抑えられたことから酸化膜がアルミニウム表面の凹部に優先的に形成されるものと考えられる。



70wt% H₃PO₄ 80wt% H₃PO₄

図3 リン酸処理したもののSEM写真

Fig.3. SEM photo of 1100 in H₃PO₄-HNO₃ treatment.

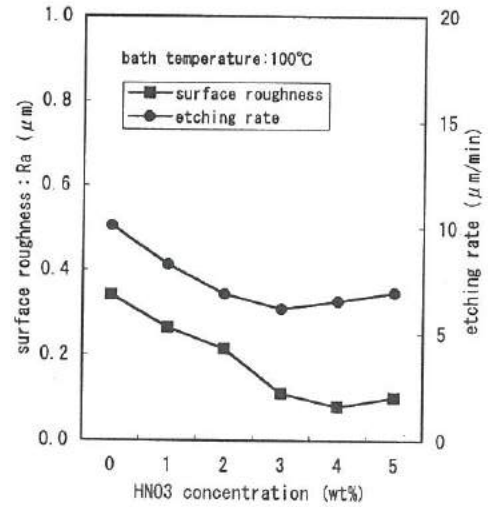


図4 硝酸濃度の影響

Fig.4. Effect of nitric acid concentration.

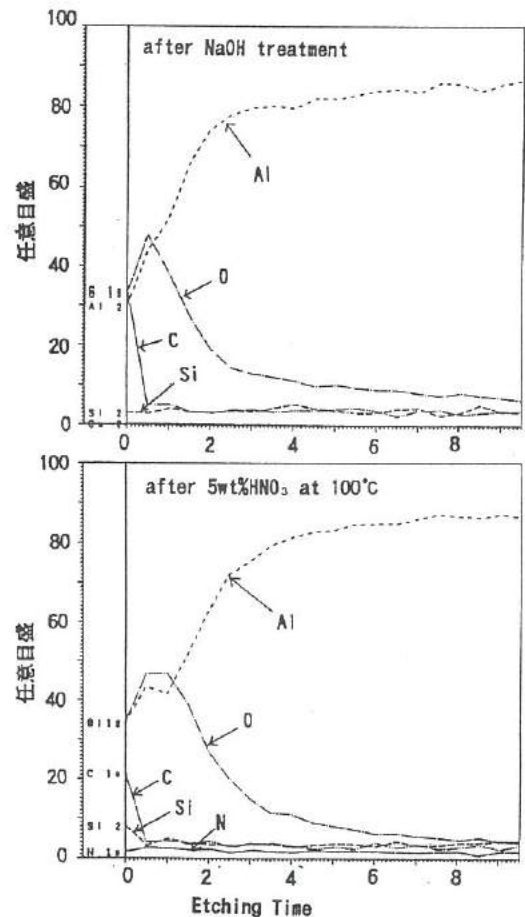


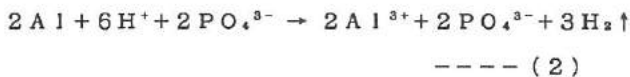
図5 アルカリ処理後と5 wt% 硝酸処理後のXPSデプスプロファイル

Fig.5. XPS depth profile of 1100.

(3) 溶存アルミニウム濃度の影響

ここでは、エッチングにより化学研磨液中に溶解したアルミニウムの濃度がアルミニウムのエッチング速度及び表面処理性に及ぼす影響を調べた。なお、アルミニウム濃度はリン酸アルミニウム濃度として算出した。エッチング液は85 wt% リン酸溶液に所定濃度の純アルミニウム粉末を溶解して調製した。浴温は100℃とし、被処理材質は1100材を用いた。

図6はリン酸アルミニウム濃度とアルミニウムのエッチング速度及び表面あらさの関係を示す。図6より、リン酸アルミニウム濃度が増加するとエッチング速度は著しく低下するが、表面あらさはあまり変化しないことがわかった。リン酸とアルミニウムの反応は次の化学反応式で進み、反応速度は化学種の濃度に支配されるため、リン酸アルミニウム濃度が増加するとエッチング速度は低下するものと考えられる。



(4) 銅濃度の影響

銅はアルミニウムの処理表面の光沢を上げる添加剤として知られており、一般に広く用いられている。このため、85 wt% リン酸溶液に所定濃度のCuSO₄·5H₂Oを添加溶解してエッチング液を調製した。さらに硝酸濃度の影響についても調べた。浴温は100℃とし、被処理材質は1100材を用いた。

図7は銅添加各種溶液の硝酸濃度とアルミニウムのエッチング速度の関係を示す。

図8は銅添加各種溶液の硝酸濃度と表面あらさの関係を示す。

図7より、エッチング速度は銅を添加すると低下し、硝酸を添加するとさらに低下することがわかった。また、図8より表面あらさは銅を添加すると増加するが、硝酸を添加した系では表面あらさは増加しないことがわかった。

図9はリン酸-硝酸-銅系における銅濃度が0、0.01、0.05 wt%のときのワイドスペクトルおよび銅のXPSデプスプロファイルを示す。図9より、銅の添加量が増加するとアルミニウム表面への銅の吸着が多くなっていることがわかる。表面あらさが抑えられるのは酸化膜が比較的薄いと考えられる凸部に優先的に銅が吸着し局部的に溶解を促進するためと考えられる。しかし、銅の吸着が多くなるとピット（表面のすり鉢状のくぼみ）が発生した。図10は三次元表面あらさ測定によるピットの状態図を示す。

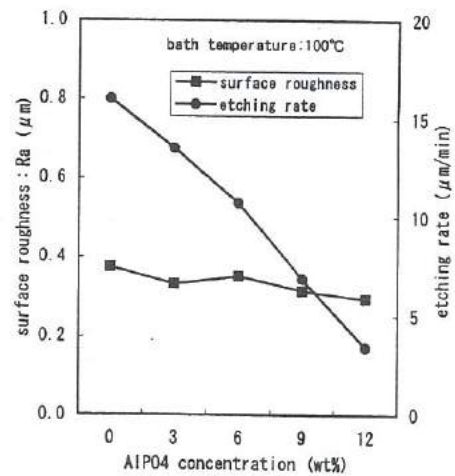


図6 リン酸アルミニウム濃度の影響
Fig.6. Effect of aluminum phosphate concentration.

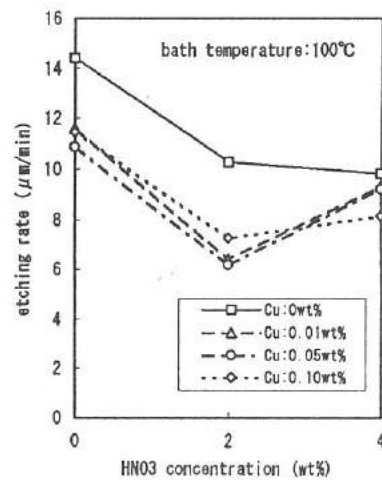


図7 銅添加濃度の影響
～硝酸濃度とエッチング速度の関係～
Fig.7. Effect of copper concentration vs. etching rate of 1100.

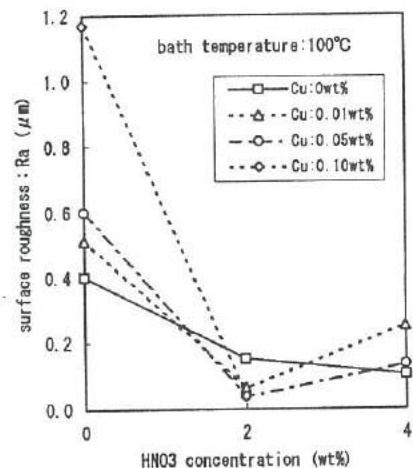


図8 銅添加濃度の影響
～硝酸濃度と表面あらさの関係～
Fig.8. Effect of copper concentration vs. surface roughness of 1100.

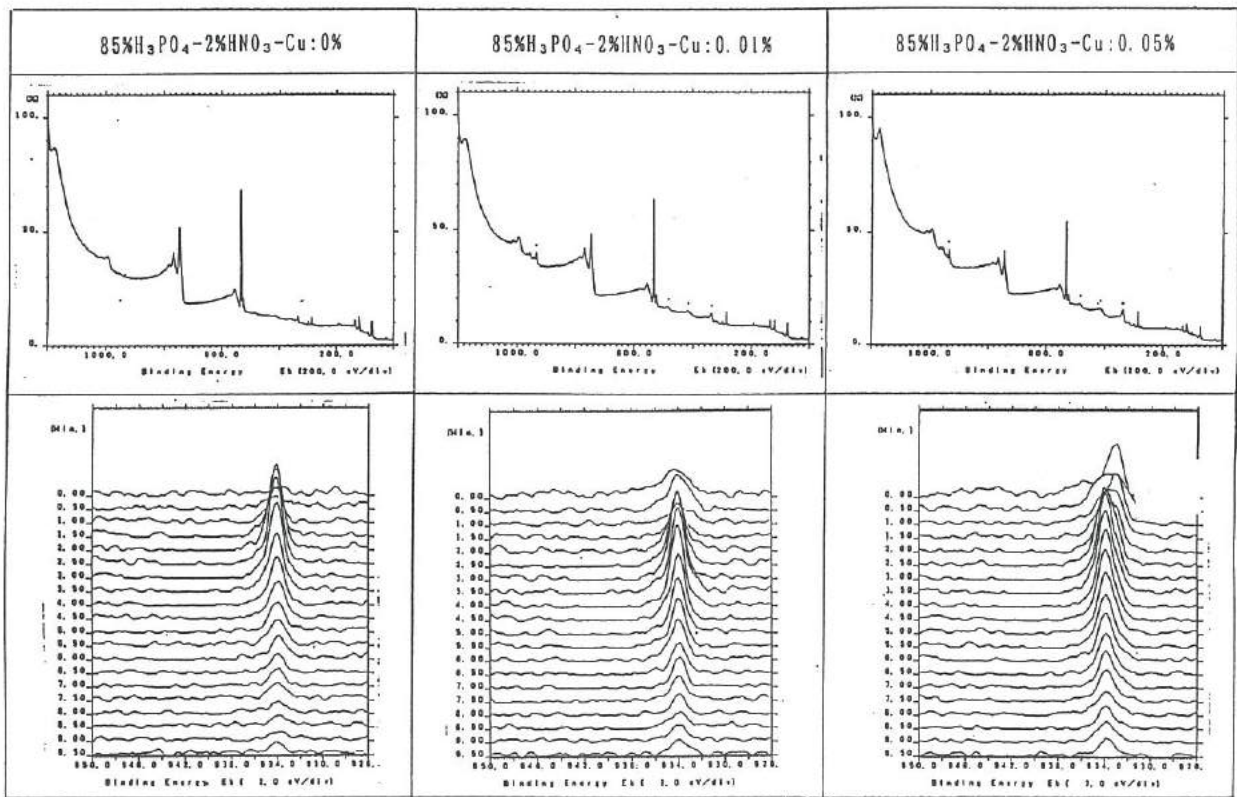


図9 リン酸-硝酸-銅系におけるXPSワイドスペクトル及びCuのデプスプロファイル

Fig.9. XPS wide spectra and depth profile of Cu in H₃PO₄-HNO₃-Cu system.

3. アルミニウム材質の影響

現在、アルミニウム材質として1000系アルミニウム（工業用純アルミニウム）及び5000系合金（Al-Mg系）、6000系合金（Al-Mg-Si系）がよく用いられている。また、ジュラルミンの名称で知られる2000系合金（Al-Cu系）もある。さらに、最近では硬度という面からアルミダイカスト（ADC）が注目され、その表面処理技術の開発が望まれている。

そこで今回は、これらのアルミニウム材質をリン酸処理した場合、材質間に違いが発生するのかを調べることにした。

エッチング浴には85wt%リン酸だけのものを用いた。

図11はアルミニウム材質別における浴温とエッチング速度の関係を示す。図12はアルミニウム材質別における浴温と表面あらさの関係を示す。図11及び図12より、5083と6063は挙動が1100とほぼ同じであるのに対して、2024とADC12はリン酸処理後に表面にスマット（すす状の残さ）が発生したので超音波で除去したものについて測定した。その結果、エッチング速度及び表面あらさは1100に比べてかなり大きな値を示した。

5000系、6000系合金については現行のエッチング液（化学研磨液）を適用できるが、2000系合金及びADCについては適用が困難であることが判明した。

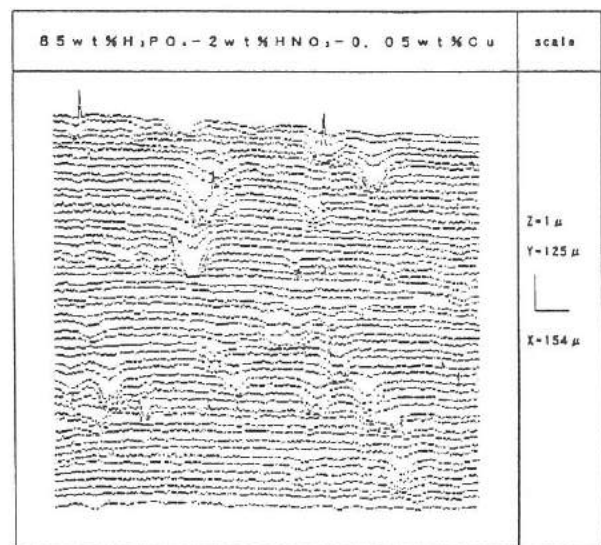


図10 三次元表面あらさ測定

Fig.10. 3D surface roughness report of 1100.

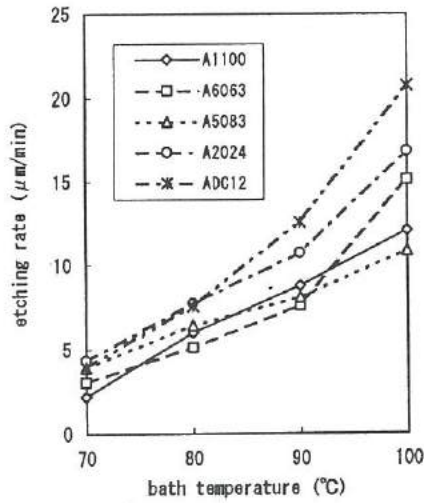


図11 アルミニウム材質の影響
～浴温とエッチング速度の関係

Fig.11. Bath temperature vs. etching raete
for several Al alloys.

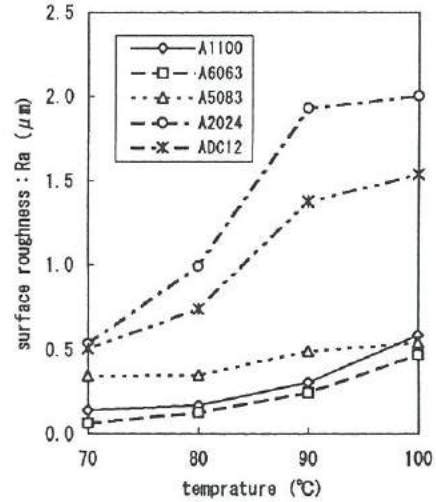


図12 アルミニウム材質の影響
～浴温と表面あらさの関係～

Fig.12. Bath temperature vs. surface roughness
for several Al alloys.

4. スマットの解析

エッチング後にスマットの発生した試験片は硝酸による酸洗をせずに水洗し、乾燥後、スマットのみを取り出して、XMA、X線回折を用いて成分及び構造の分析を行った。

4.1 2024のスマット

図13は2024で発生したスマットのXMAスペクトルを示す。これより、スマットの主成分はCu及び少量の酸素であることがわかった。図14は2024で発生したスマットのX線回折図を示す。これより、結晶構造は金属Cuとほぼ同じであることがわかった。

4.2 ADC12のスマット

図15はADC12で発生したスマットのXMAスペクトルを示す。これより、スマットの主成分がSi及び少量の酸素であり、酸素の量はSiOより少ないことがわかった。

図16はADC12で発生したスマットのX線回折図を示す。これより、結晶構造はSiと同じであることがわかった。

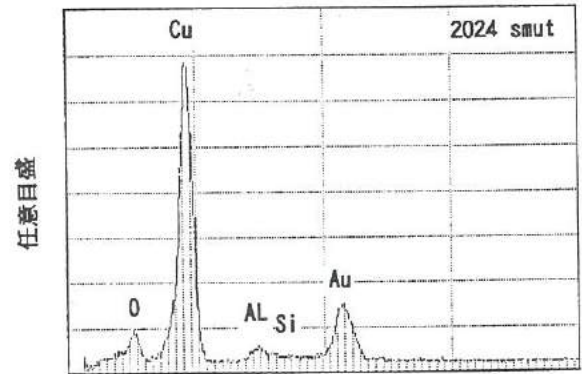


図13 2024スマットのXMAスペクトル

Fig.13. XPS spectra of 2024 smat.

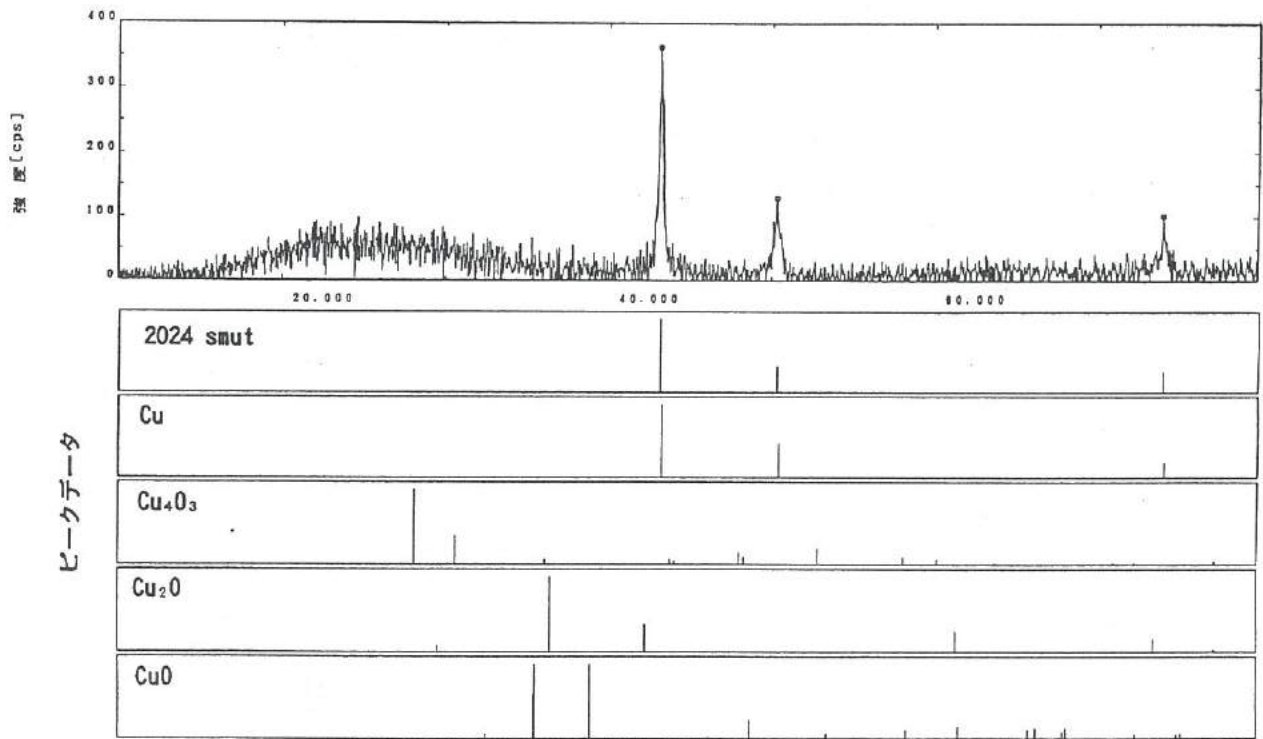


図14 2024スマットのX線回折図
 Fig.14. X-ray diffraction pattern of 2024 smut.

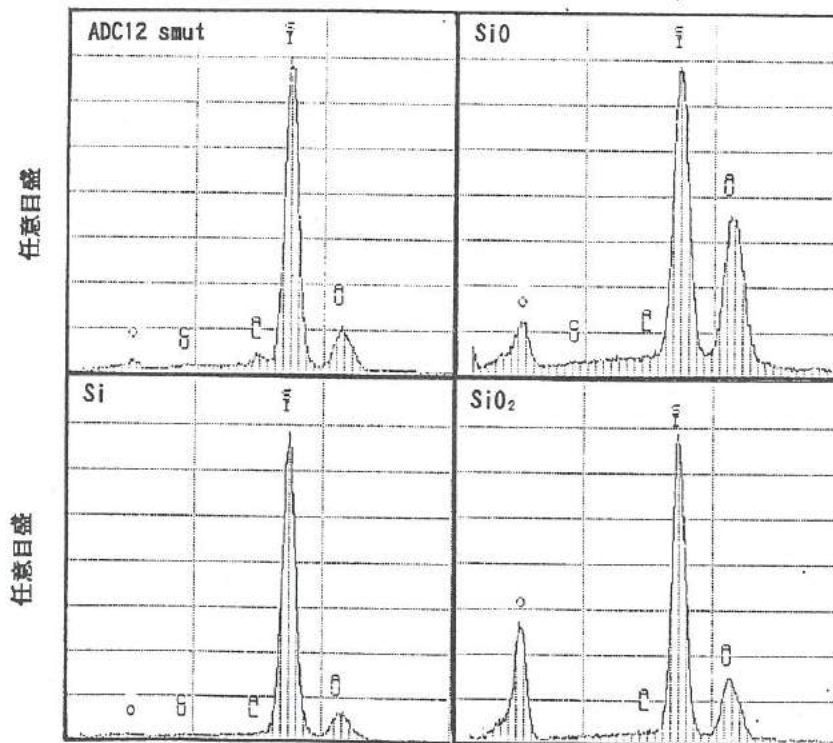


図15 ADC12スマットのXMAスペクトル
 Fig.15.1 XMA spectra of ADC12 smaut.

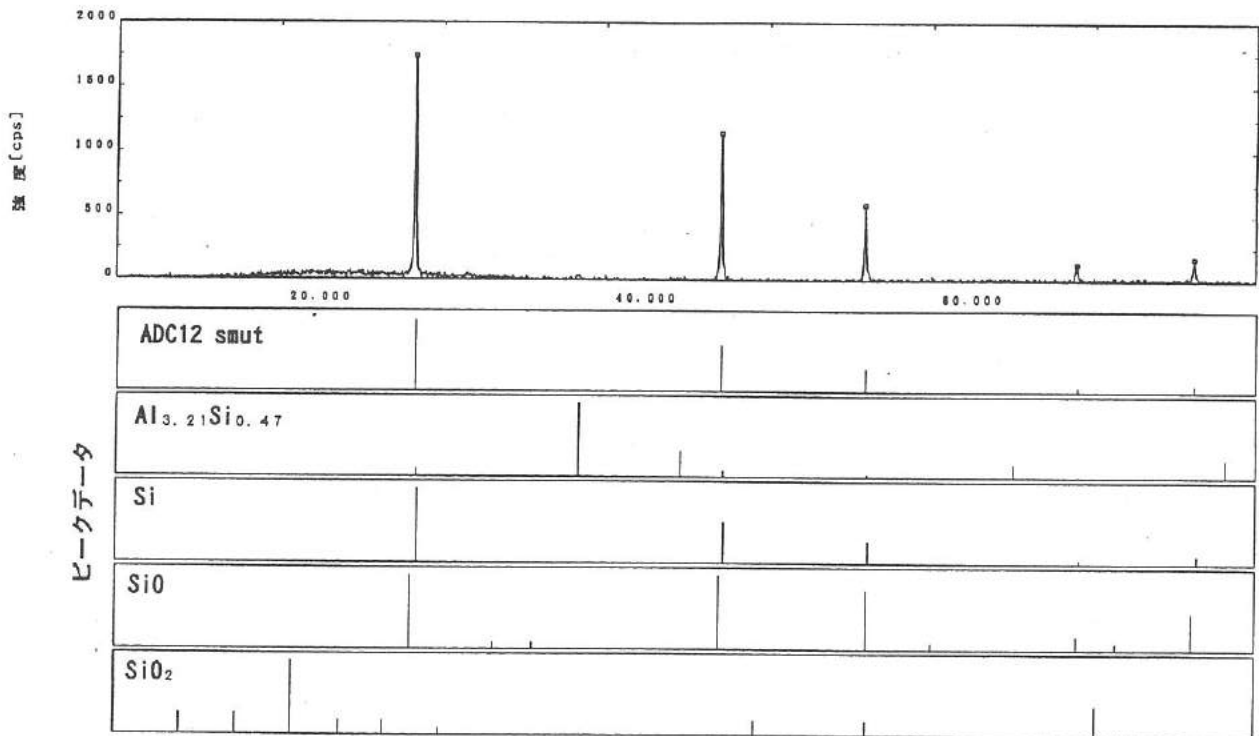


図16 ADC12スマットのX線回折図

Fig.16. X-ray diffraction pattern of ADC12 smut.

5. 結言

本研究では、リン酸系化学研磨浴の管理要因のうちリン酸濃度、硝酸濃度、溶存アルミニウム濃度及び光沢剤である銅の添加濃度を変化させた場合、アルミニウム表面のエッチング速度及び表面状態に及ぼす影響をミクロ的な観点から調べた。その結果を次にまとめて示す。

- ① リン酸濃度が低下するとエッチング速度は増加するが、表面あらさには影響を及ぼさないことがわかった。
- ② 硝酸濃度が増加すると3 wt%までエッチング速度は低下すると共に表面あらさは改善され、3 wt%以上ではほぼ一定となることがわかった。これは硝酸によってアルミニウム表面に酸化膜が形成されるためと考えられる。
- ③ 溶存アルミニウム濃度が増加するとエッチング速度は著しく低下するが、表面あらさには影響を及ぼさないことがわかった。
- ④ 銅を添加すると表面あらさが抑えられることがわかった。これは銅が酸化膜の比較的薄い凸部に優先的に吸着し、局部電池を形成しアルミニウムの溶解を促進するためと考えられる。
- ⑤ 各種アルミニウム合金のリン酸に対する挙動を調べた結果、5000系、6000系合金については現行の化学研磨（エッチング）液が適用できるが、2000系合金及びアルミダイカストについては適用が困難であることがわかった。

参考文献

- (1) MOHLER J B, Met Finish, Vol.80, No.3, 35-39(1982)

Ⅲ. 傾斜機能膜素子の開発

Development of Functionally Gradient Film Device

市川 良雄	福本 滋	三松 克次	山下 慎也	
ICHIKAWA Yoshio	FUKUMOTO Shigeru	MIMATSU Yoshitsugu	YAMASHITA Shin-ya	
高林 外広	藤城 敏史	鍋澤 浩文	二口 友昭	谷野 克巳
TAKABAYASHI Sotohiro	FUJIKI Satoshi	NABESAWA Hirofumi	FUTAKUCHI Tomoaki	TANINO Katsumi

Abstract

Ni-Ti shape memory alloy (SMA) that is made thinner film can be heated and cooled more rapidly. It is expected to obtain a wide range of transformation temperature by changing the composition gradually. In future, the functionally gradient films of Ni-Ti SMA will be available in the material of micro-actuator, micro-manipulator, micro-valve etc.

In this study, two types of Ni-Ti SMA thin films were deposited by a dual source RF magnetron sputtering apparatus. One type of film was homogeneous composition, and other was heterogeneous films with Ti content gradually. The films were solution-treated and aging-treated for crystallization and memorization. The properties of the films had been investigated using DSC, XRD, ICP etc.

The results are as follows:

- (1) Composition of the SMA films can be controlled by the power into Ti target.
- (2) XRD results make it clear that the film with less than 51 atom% Ti is composed by NiTi, Ni₃Ti and Ti₂Ni, and the film with more than 53 atom% Ti is composed by NiTi and Ti₂Ni. The films transformed in martensite, rhombohedral and austenite phase.
- (3) According to DSC results, it is possible to obtain SMA films with different transformation temperatures by means of changing the components of NiTi. It is confirmed that there is 20 °C temperature difference between Ni-48 atom%Ti film and Ni-53atom%Ti film in rhombohedral and austenite.
- (4) Volume resistivity transition due to phase transformation is observed and the results are the same properties as DSC measurement.
- (5) Ti content gradient films are obtained by changing the power into Ti target. In the condition of solution treatment at 700 °C, films are still Ti content gradient, and these have a wide range of transformation temperature. However, the film with will solution temperature at 800 °C change to homogeneous of component.

1. 緒言

半導体製造工程で微細かつ精密な加工や血管内手術の高度な医療分野などでマイクロアクチュエータが必要とされてきている。マイクロアクチュエータの種類としては、セラミックアクチュエータ、静電アクチュエータおよび形状記憶合金アクチュエータなどが提案されている。その中で、NiTi形状記憶合金アクチュエータは変化量が大きい、温度ヒステリシスが小さい、動作温度が室温から100 °C程度で扱いやすい、ならびに直接通電加熱ができるので構造が簡単で済むなどの特徴を持っている。また、これを薄膜化することによって高速度の応答性が得られ、さらに、半導体加工プロセスに対応できる微小構造にすることも可能となる。

2. 形状記憶合金の動作原理

ここで形状記憶合金(以下、SMAと略記)の原理を説明する。一般の金属では弾性の限度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り変形する。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。図1はNiTi系SMA傾斜機能膜のひずみ曲線の一例

を示す。

一方、温度によって動作する素子としては古くからバイメタルがある。バイメタルは、異種の金属を張り合わせた構造となっているため、張り合わせた面に直角の方向しか動けず、また、動作ストロークが小さい。その点 SMA は単一構造で方向依存性がないので三次元的な動きを持たせることが可能である。しかし、欠点は動作温度点で急激な形状変化を起こすために、微小な動きのコントロールやトルクを加減することができないところにある。

そこで本研究では、NiTiSMA の Ni と Ti の組成比を変えると動作点が変わることを利用し、同一膜上で組成を連続的に変化させ、アナログ的な動作や自由なトルクコントロールが可能な傾斜機能膜（以下、FGF と略記）の作製を試みた。NiTi を用いた FGF を作製するにあたり、まず、単一組成膜を作製し、組成と変態温度の関係を調べた。

以下、単一組成膜と FGF の研究結果および動作実験の詳細について報告する。

3. 実験方法

SMA 膜の作製フローチャートを図 2 に示す。膜作製には、RF マグネトロンスパッタ装置を使用した。NiTi 合金および Ti ターゲットを独立に制御し、Cu Foil 基板上に成膜した。スパッタリング条件を表 1 に示す。

成膜後、基板を取り出して 30% 硝酸溶液に浸漬し、Cu のみを溶解して SMA 膜を得た。このようにして得られた SMA 膜は真空中 (1×10^{-6} Torr) で 900 °C、30min の溶体化処理を行い、その後、400 °C、6hr の形状記憶処理を行った。

FGF の作製は、RF マグネトロンスパッタ装置のコントロール部にパソコンおよび D/A コンバータを接続し、Ti ターゲットに対

表 1. スパッタリング条件

Table 1. Sputtering conditions.

Method	Dual source
Power (NiTi)	300W
Power (Ti)	0, 25, 50, 75, 100W
Pressure	$1.8 \sim 4.0 \times 10^{-3}$ Torr
Substrate	Cu foil
Time	5Hr
Thickness	$5 \pm 1 \mu\text{m}$
Sputter rate	166Å/min

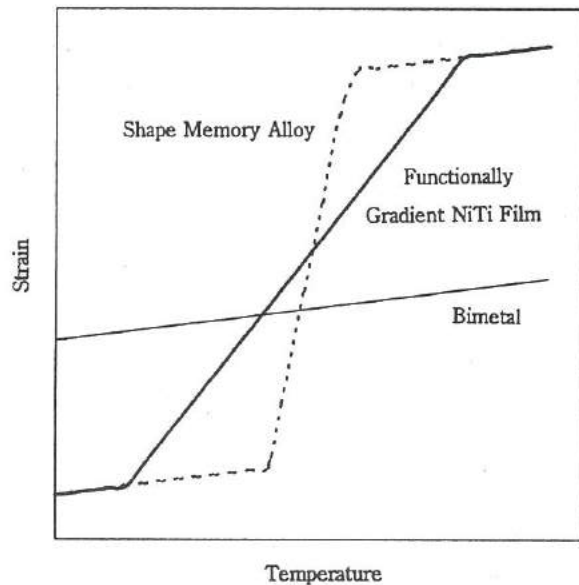


図 1. NiTi 傾斜機能膜のひずみ曲線 (予想図)

Fig.1. Strain curve of functionally gradient NiTi film(expectation).

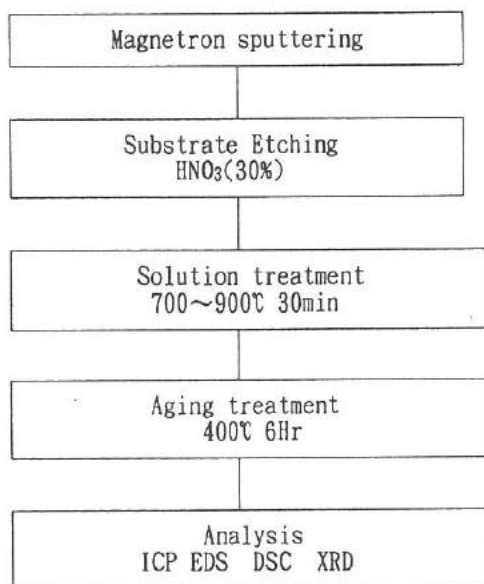


図 2. SMA 膜の作製フローチャート

Fig.2. Flow chart of fabrication of SMA films.

する投入電力を制御した。このシステムにおいて、NiとTiの組成比を連続的に変化させて傾斜化を図った。溶体化処理温度はSMA膜よりも低い700℃および800℃とし、処理時間は30min、形状記憶処理温度はSMA膜と同様に400℃、6hr行った。

得られたSMA膜およびFGFは、イオンプラズマ発光分光装置（ICP）およびエネルギー分散型X線分析装置（EDS）で元素組成分析した。また、相変態温度は示差走査熱量計（DSC）、結晶構造はX線回折装置（XRD）ならびに体積抵抗率は4端子法によって解析した。

4. 結果および考察

4.1 単一組成膜

(1) 組成制御

NiTi (Ti-50atom% Ni) 合金ターゲットへの投入電力は300W一定に設定し、Tiターゲットへの投入電力の設定を変えて二元同時スパッタすることにより、組成の異なるNiTi膜を作製した。Tiターゲットへの投入電力は0W、25W、50W、75Wおよび100Wとした。これらの試料名をそれぞれR0、R25、R50、R75およびR100とした。各試料の膜組成をICPにより定量測定した。図3は、Tiターゲットへの投入電力とNiTi膜の組成との関係を示している。

Tiターゲットへの投入電力0W、すなわちNiTiターゲットのみの一元スパッタの条件で作製した膜のTi組成は46.9atom%であった。この値は、ターゲットに使用したNiTi合金のTi組成と比較して3.1atom%少ない。これは、TiとNi

のスパッタ速度の違いによるものと考えられる。Tiターゲットへの投入電力が増加すると共に、Ti組成も直線的に増加している。このデータを基にTiターゲットへの投入電力を制御することにより、NiTi膜の組成を任意に制御することが可能となった。また、Tiターゲットへの投入電力を徐々に変化させながら、二元同時スパッタすることにより、Ti組成が膜の垂直方向に直線的に変化したNiTi傾斜機能膜の作製が可能と考えられる。

(2) X線回折

図4の(a)はR100を50℃に加熱した時、(b)はR100を10℃に冷却した時、(c)はR100を-100℃まで冷却した後10℃まで戻した時のX線回折パターンである。

図4の(a)には42°付近に強い一本のピークがみられ、CsCl型NiTi（オーステナイト）であることを示す。

図4の(b)には42°付近のピークが2つに割れたものが見られ、ロンボヒドラル相（菱面体）であることを示す。

図4の(c)には42°付近のピークが消え、44°、45°付近に回折強度の弱いピークが現れる。これはマルテンサイト相（単斜晶）であることを示す。つまりこの膜は温度によりマルテンサイト相 ロンボヒドラル相 オーステナイト相に相変態することが分かった。図5はR0およびR100がオーステナイトが変態している時のX線回折パターンである。Ti組成が48.4atom%のR0では、NiTiの回折ピークの他にNi₅TiとTi₂Niの回折ピークが見られる。また、Ti組成が54.4atom%のR100ではNiTiの回折ピークの他にTi₂Niの回折ピークが見られる。これより、R0の膜の結晶構造はNiTiとNi₅Ti、Ti₂Niが共存し、R100の膜ではNiTiとTi₂Niが共存していると考えられる。

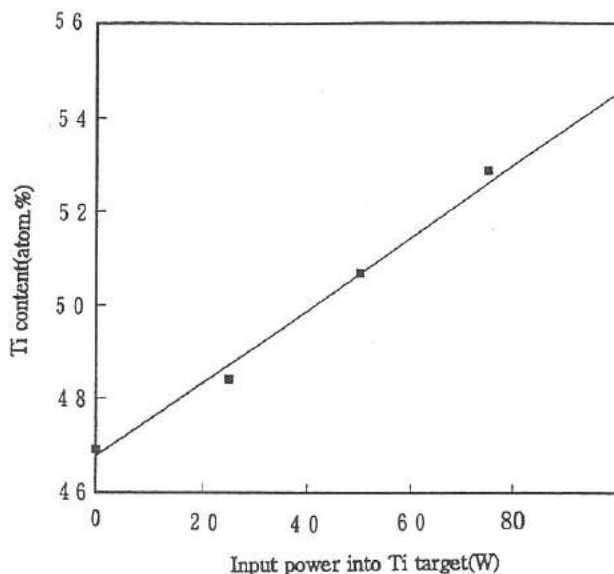


図3. Tiターゲット投入電力とNiTi膜の組成比
Fig.3. Relationship between input power of Ti and composition of NiTi film.

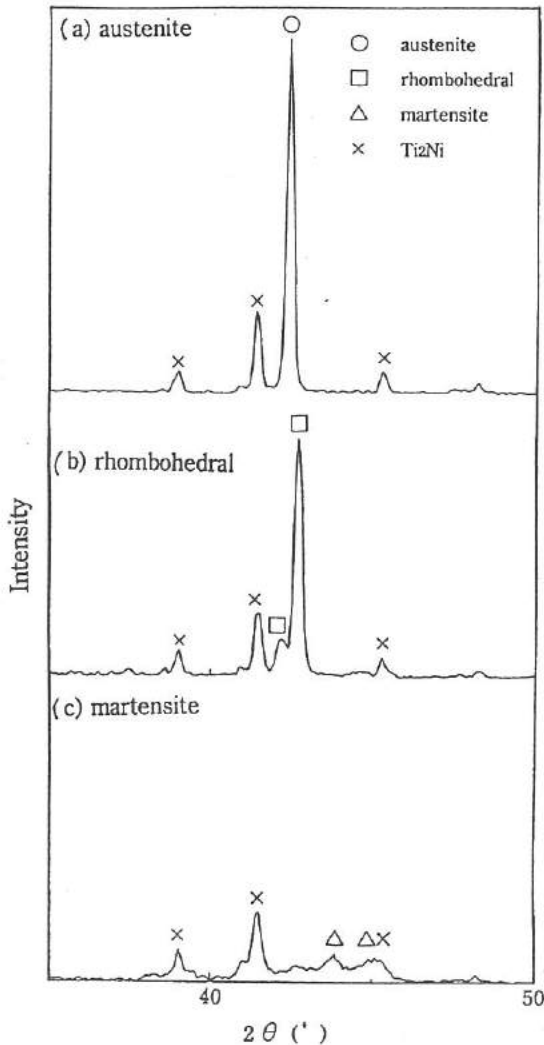


図4. R100のX線回折パターン
 (a)50℃に加熱したとき、(b)10℃に冷却したとき、
 (c)-100℃まで冷却し、これを10℃に戻したとき
 Fig.4. XRD results of R100 film
 (a) heated to 50℃, (b) cooled to 10℃,
 (c) cooled to -100℃ and heated to 10℃.

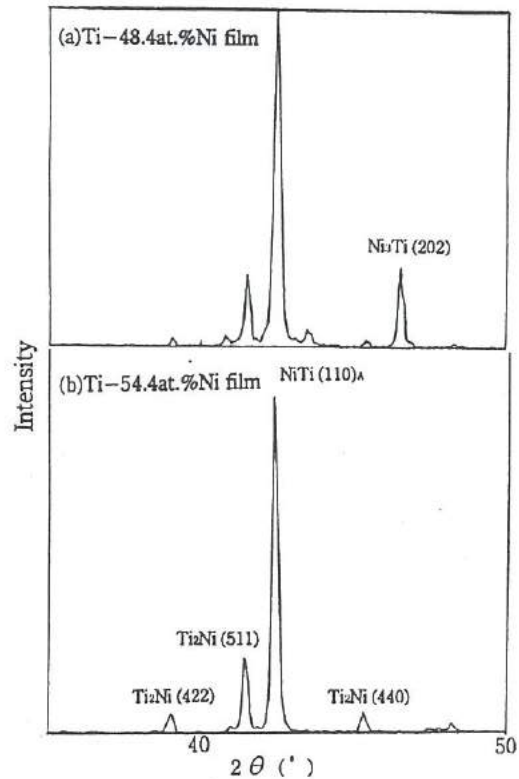


図5. 膜組成と結晶構造の関係
 (a)R0(Ti-48.4at.%)、(b)R100(Ti-54.4at.%)
 Fig.5. Relationship between Ti content and crystal structure
 (a)R0(Ti-48.4at.%)、(b)R100(Ti-54.4at.%)

(3) DSC 分析

図6 (a)と (b)は、溶体化処理および形状記憶処理したR100のDSC測定結果である。図6の (a)は-50℃~80℃の範囲で測定した結果である。昇温過程では、マルテンサイト相からロンボヒドラル相への変態による吸熱ピークが現れ、さらに、ロンボヒドラル相からオーステナイト相への変態による吸熱ピークが現れる。これらのピークの開始温度、終了温度を各々Rs、Rf、As、Afとした。また、降温過程においてはオーステナイト相からロンボヒドラル相への変態による発熱ピークが現れ、さらに、ロンボヒドラル相からマルテンサイト相への変態による発熱ピークが現れる。これらのピークの開始温度、終了温度を各々Rs*、Rf*、Ms、Mfとした。図6の (b)は、-20℃~80℃の範囲で測定した結果である。この結果では、昇温、降温過程において各1ピークしか現れない。これは、Msが-25℃と低くマルテンサイト相変態しないために、ロンボヒドラル相からオーステナイト相への変態とオーステナイト相からロンボヒドラル相への変態しか起こらないためである。

図7の (a)と (b)はSMA膜中のTi組成と各相変態開始温度および終了温度との関係を示している。図7の (a)はロンボヒドラル相変態、図7の (b)はマルテンサイト相変態に関するグラフである。Ti組成が50atom%以下のSMA膜では各相変態温度に変化が見られず、ほぼ一定である。53atom%になると各相変態温度は高温側にシフトするが、さらにTi組成が増加しても各相変態温度に変化が見られず、ほぼ一定である。このことから、各相変態温度はTi組成に比例して増加するのではなく、Ti組成が51atom%~53atom%の間のある組成を境に急激に変化することがわかる。X線回折結果ではTi組成が46.9atom%のSMA膜ではNi₃TiおよびTi₂Niが混在し、54.4atom%のSMA膜ではTi₂Niが混在している。このことから、組成変化で見られた相変態温度の変化はNiTi膜の結晶構造と関係があると考えられる。

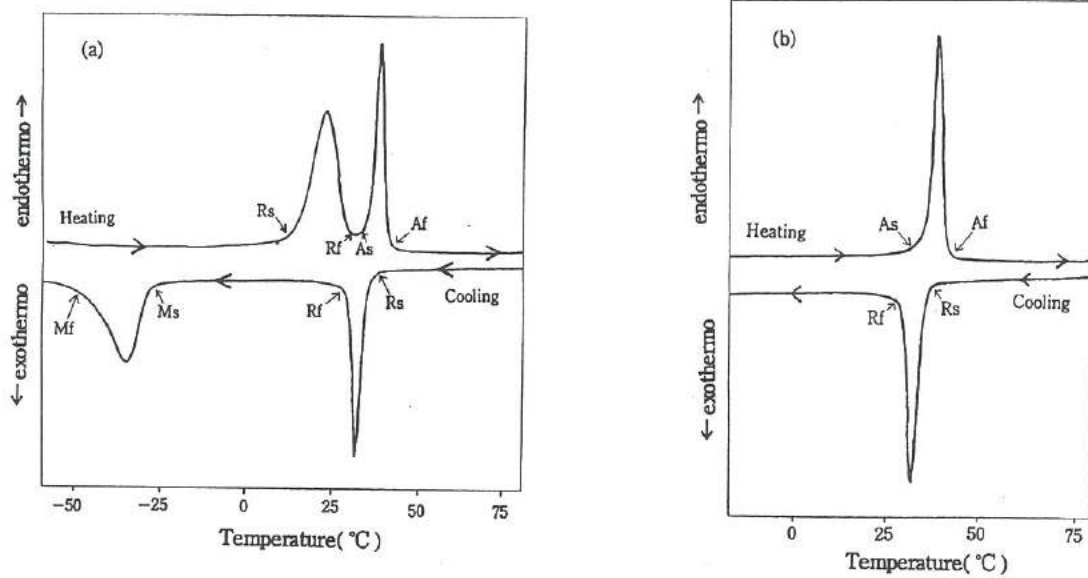


図6. DSC測定結果(R100)
 (a)測定温度範囲 $-60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ (b)測定温度範囲 $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$
 Fig.6. DSC results of R100 film solution-treated and aging-treated.
 (a)temperature range of measurement = $-60 \sim 80^{\circ}\text{C}$
 (b)temperature range of measurement = $-20 \sim 80^{\circ}\text{C}$

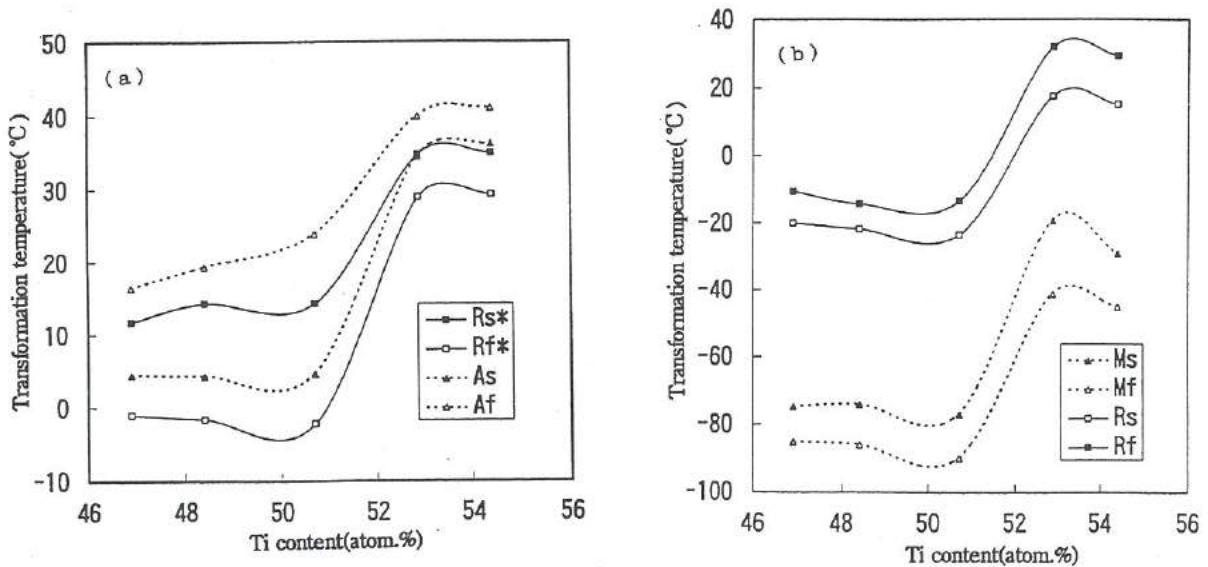


図7. NiTi膜の組成比と相変態温度
 (a)ロンボヒドラル相変態 (b)マルテンサイト相変態
 Fig.7. Relationship between Ti content and transformation temperature.
 (a)austenite phase \rightarrow rhombohedral phase (b)rhombohedral phase \rightarrow martensite phase

変態と逆変態の温度差より、ロンボヒドラル相 オーステナイト相変態と比較してマルテンサイト相 ロンボヒドラル相変態は温度ヒステリシスが大きい。また、M相 ロンボヒドラル相相変態ではTi組成が変化しても温度ヒステリシスの大きさは一定であるが、ロンボヒドラル相 オーステナイト相変態では、Ti組成が53atom%以上のSMA膜になると、温度ヒステリシスはさらに小さくなる。

アクチュエータとして利用するためには、マルテンサイト相 ロンボヒドラル相変態は変態温度が $-90^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ と低く、温度ヒステリシスも大きいため実用上問題が多い。ロンボヒドラル相 オーステナイト相変態は変態温度が $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ と比較的室温付近であり、温度ヒステリシスも小さいため実用的である。

(4) 体積抵抗率

図8はR100の体積抵抗率測定結果である。昇温過程では18℃で体積抵抗率は大きくなり始め、次に36℃で小さくなり始める。また、降温過程では30℃で急激に大きくなり始め、-25℃で小さくなり始める。これはDSCの測定結果から得られたマルテンサイト相 ロンボヒドラル相 オーステナイト相間の変態温度とほぼ一致する。すなわちロンボヒドラル相はオーステナイト相やマルテンサイト相に比べ抵抗が高いことが分かった。

4.2 傾斜機能膜 (FGF)

前節で得られた結果を踏まえて、本研究の目的である膜組成の傾斜化を図った。組成の傾斜化は前記のようにTiターゲットの投入電力を制御、変化させる方法を採用した。NiTiターゲット側の投入電力は300W一定とした。スパッタ装置、スパッタ時間は前節と同じである。このように得られた膜には700℃および800℃で30minの溶体化処理を施した。この後、引き続いて行った形状記憶処理条件は前節と同じである。ここで溶体化処理温度を前節に比べ100℃もしくは200℃程度低く設定したのは、前節の温度(900℃)ではNiとTiの拡散速度が大きくなることから膜内でこれらが短時間で拡散し、膜組成が均一化する可能性があるからである。

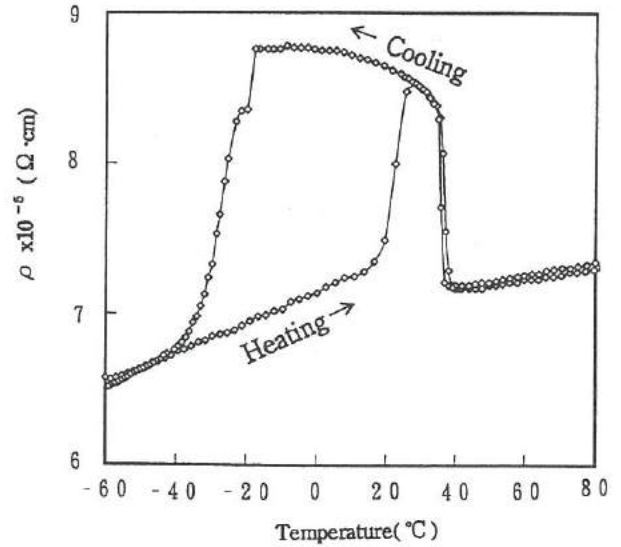


図8. R100の体積抵抗率
Fig.8. Volume resistivity of R100 film

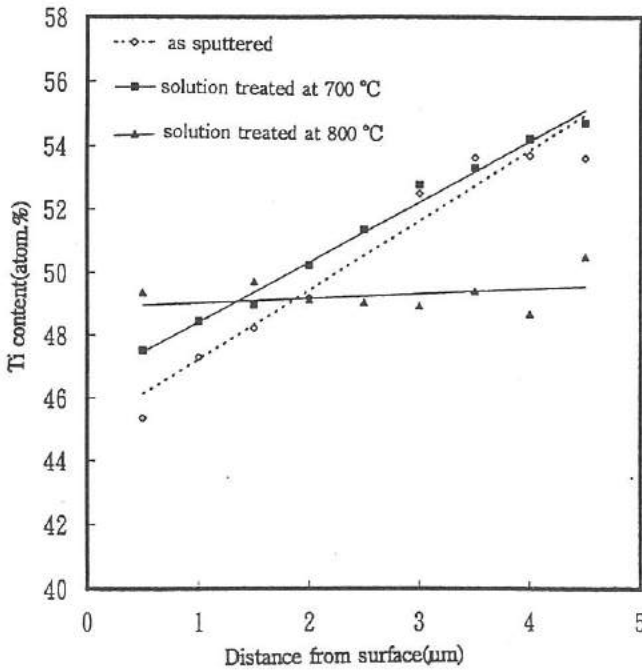


図9. 傾斜機能膜の深さ方向の組成分布
Fig.9. Depth profile of NiTi-FGF.

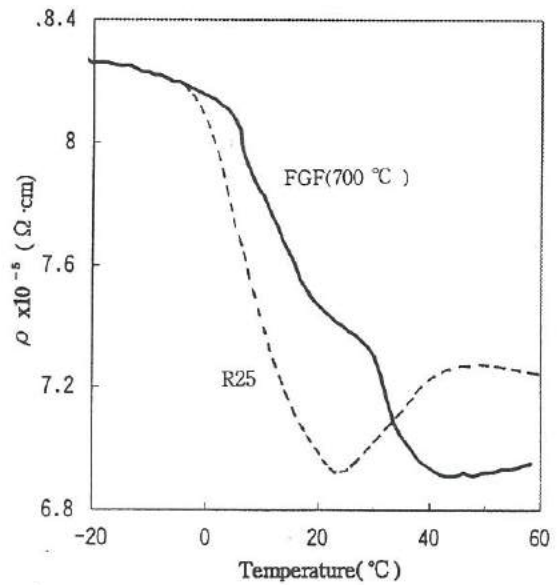


図10. 傾斜機能膜の体積抵抗率と温度の関係
Fig.10. Relationship between volume resistivity and temperature of NiTi-FGF.

図9はスパッタ直後、700℃および800℃で溶体化処理を施したそれぞれの膜の、表層からの距離と組成との関係を示したものである。スパッタ直後の膜および700℃で溶体化処理した膜は組成の傾斜が確認されたが、800℃で溶体化処理した膜は組成がほぼ均一化している。このことは、800℃で溶体化処理を施すと必要以上に原子拡散が進行して膜が均質化するため、傾斜機能膜の作製には向かないことを意味する。図10は700℃で溶体化処理した膜の温度と体積抵抗率の関係を示したものである。この図には比較として単一組成膜であるR25の特性も示した。700℃で溶体化処理した膜の変態開始温度と変態終了温度の範囲は、単一組成膜のそれに比べ明らかに広い範囲にわたっていることが確認された。

4.3 形状記憶動作の確認

4.1、4.2で得られた薄膜を図11のような形状に加工し、図中の左側部分に接着剤をおもりとしてつけ、右側の足の部分を支持台に固定した。膜の足の部分を両電極として直流電源を用いて通電加熱し、形状記憶動作の確認を行った。

通電加熱する前と通電加熱している時の写真をそれぞれ図12の(a)と(b)に示す。(a)では膜がおもりにより下方に垂れ下がっているが、(b)では膜がやや水平になり、形状記憶動作を示している様子が確認された。これはロンボヒドラル相からオーステナイト相へ相変態する際に起きる現象であり、このときの通電電流は0.35Aであった。その後、膜への通電を止めると放熱とともに次第に膜が垂れ下がり始め、やがて(a)の状態に戻る。この膜は8Hzで応答させることが可能であり、また、繰り返し動作させても形状記憶特性に劣化は認められなかった。

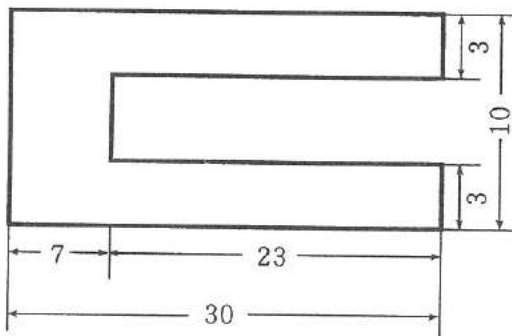
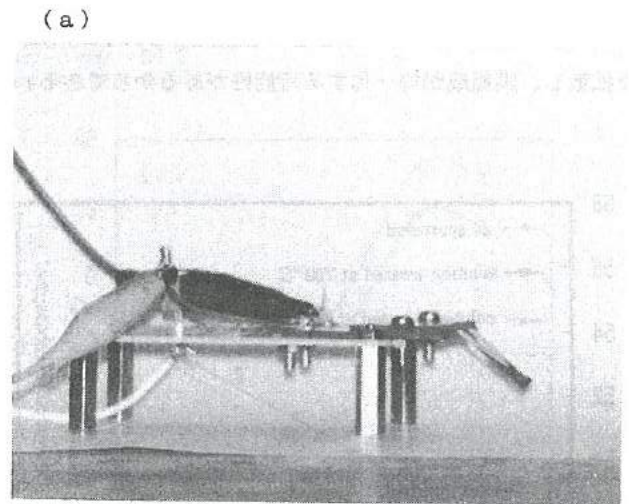


図11. 試作した形状記憶合金薄膜アクチュエータ (単位; mm)
Fig.11. SMA actuator



(a)

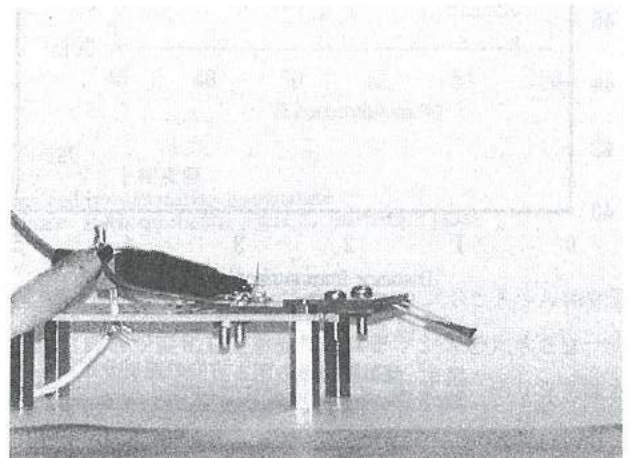


図12. 形状記憶合金薄膜アクチュエータの動作例
(a) 通電加熱していないとき (b) 通電加熱したとき

Fig.12. Action of SMA actuator (a) current off (b) current applied

5. 結 言

本研究ではSMAによるマイクロアクチュエータの作製を目的として、広い温度範囲で相変態する傾斜膜の作製を試みた。その結果、以下に示すことが明らかとなった。

- ① NiTi と Ti の二元スパッタリングにおいて、Ti ターゲットへの投入電力を制御することにより、膜の組成をコントロールすることが可能となった。
- ② XRD解析結果から、Ti 組成が 51atom % 以下では NiTi、Ni₃Ti と Ti₂Ni、53atom % 以上では NiTi と Ti₂Ni の混合相となり、さらに、温度により NiTi はオーステナイト相、ロンボヒドラル相およびマルテンサイト相に相変態することが確認された。
- ③ DSCの解析結果から、NiTi の組成を変えることにより変態温度の異なる SMA 膜を作製することが可能であり、Ti 組成が 48atom % と 53atom % では変態温度 (R 相 A 相) には約 20 °C の差があることが確認された。
- ④ 相変態 (M 相 R 相 A 相) に伴う体積抵抗率の著しい変化が観察され、その変態温度は DSC の結果と一致した。
- ⑤ Ti ターゲットへの投入電力量を変化させることにより傾斜膜を作製することができた。この膜を 700 °C で溶体化処理した場合は傾斜膜が得られたが、800 °C 以上では Ni と Ti の拡散によりほぼ均一組成の膜となった。
- ⑥ 単一組成膜と傾斜膜の体積抵抗率を比較すると、傾斜膜の方が相変態するときの温度幅が広がった。

6. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、ICPの使用にご協力いただきました富山県農業技術センター石黒研究員、山田研究員、DSCの使用にご協力いただきました工業技術センター窪田主任研究員、水野研究員、透過型電子顕微鏡の使用にご協力いただきました工業技術センター土肥主任研究員に感謝いたします。

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*, 14-15(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)

Ⅳ. 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)

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

五十嵐 隆治 米谷 庄一 山本 敏泰
IGARASHI Ryuji · KOMETANI Shoichi · YAMAMOTO Toshiyasu

Abstract

In this study, an input device of personal computer has been discussed, which is usually difficult to handle for the severely disabled. From the viewpoint of a simple and better accessibility for the electric wheelchair users, the same joystick has been revised as a substitute for keyboard, mouse, etc. This first trial manufacture was successfully assessed for some of the CP patients. It strongly suggests that it is necessary to integrate these environmental control devices for an indoor use.

Next, we have tried to figure out what kind of problems there are in the working place. Based on a draft ISO, we propose a new total indoor environmental control system for the disabled and the elderly.

1. 緒言

我々健常者が生活している現在の室内環境において、不自由と感ずることは特になく。逆に便利になってきているといえる。例えばテレビ、ビデオ、エアコンなど多機能になってきており、リモコン一つであらゆる操作が可能である。

しかし、もし我々が障害を持ったらどうなるであろうか。手に障害を持つと指先でリモコンを操ることは到底できないと思われる。また車いす利用となると、出入口のドア幅や段差の問題、窓などの開閉、トイレや風呂場など問題は山積みである。

このような背景の中で、障害者においてパーソナルコンピュータなどの情報機器は、意志表現あるいは生活維持のための必要不可欠な補助機器となる可能性がある。特に言語障害を有している脳性麻痺者などにおいて、その有効性おおいに期待されている。ところが、手指の不自由な人が健常者のために作られている情報機器を使おうとすると、いろいろな問題があることに気がつく。キーボード入力、フロッピーディスクの取り扱い、プリンターのプリント用紙の脱着、マウスなどの動作は自分では実行しにくく困難なことが多い。特に問題となるのはキーボード入力におけるキー操作である。障害の程度にもよるが、決定的に操作不可能なキー操作もある。従って、手指の不自由な人たちがコンピュータを使用するためには、キー入力およびマウスの操作性を改善するための対策を考える必要がある。

本研究は、昨年度の継続としてジョイスティックによるパソコン入力インターフェースの第2弾試作を実施し、実際に障害者での試用評価を行った。また、障害者が作業を行う環境にどのような問題があるのかを調査し、検討を加えた。最後に、今回試作したインターフェースの展開として、無線方式のインターフェースコントローラを有する、新しい統合化環境制御システムを提案する。

2. 試作インターフェース概要

試作インターフェースシステムを図1に示す。

パソコンへの入力方法として従来から用いられているものに、キーボード、マウス、トラックボールなどがあるが、手指動作の不自由な障害者にとってこれらを操作することは非常に困難である。そこで本研究ではこれらの障害者が使用している電動車椅子の操縦かんであるジョイスティックに注目し、これをパソコンの入力装置に使ってみることを試みた。障害者の数少ない操作することのできる機器を使わない手はないからである。そのために我々は、電動車いすのジョイスティックのアナログ信号をNEC社PC98のマウス信号に対応するように、試作回路を製作した。また、マウスアダプターを使用することで、Apple社マッキントッシュにも対応できる。

このジョイスティックでカーソルを8方向に移動させることができ、クリックボタン、ドラッグ機能の付いたボタンが付いている。また、カーソルのスピードを調整することのできるボリュームがついており、扱いやすい速度に合わせて使用することができる。回路機能については図2に示す。また、この試作回路の送信機・受信機の回路図をそれぞれ図3、図4に示す。

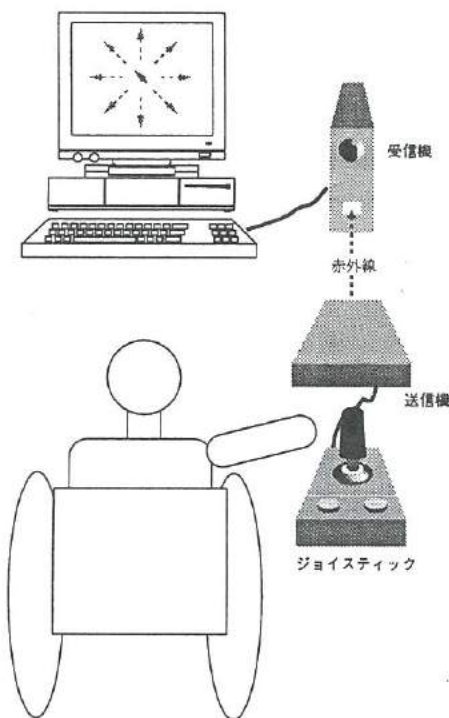


図1 試作インターフェース構成図

Fig.1. Experiment of interface.

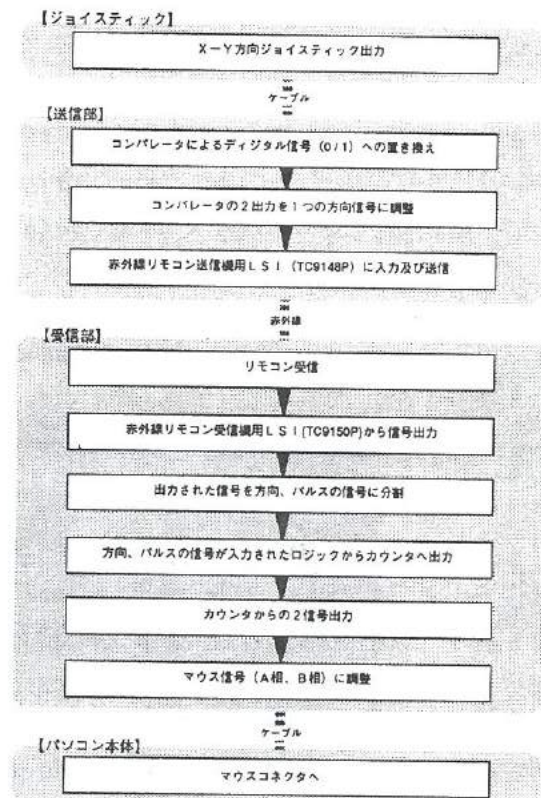


図2 回路機能構成のブロック図概略

Fig.2. Block diagram of the electronic circuit to transform joystick movements into mouse encoder signals.

・方向決定用ICの上(UP)、下(DWN)、左(LFT)、右(RGT)信号を出力する条件を論理式で示すと以下ようになる。

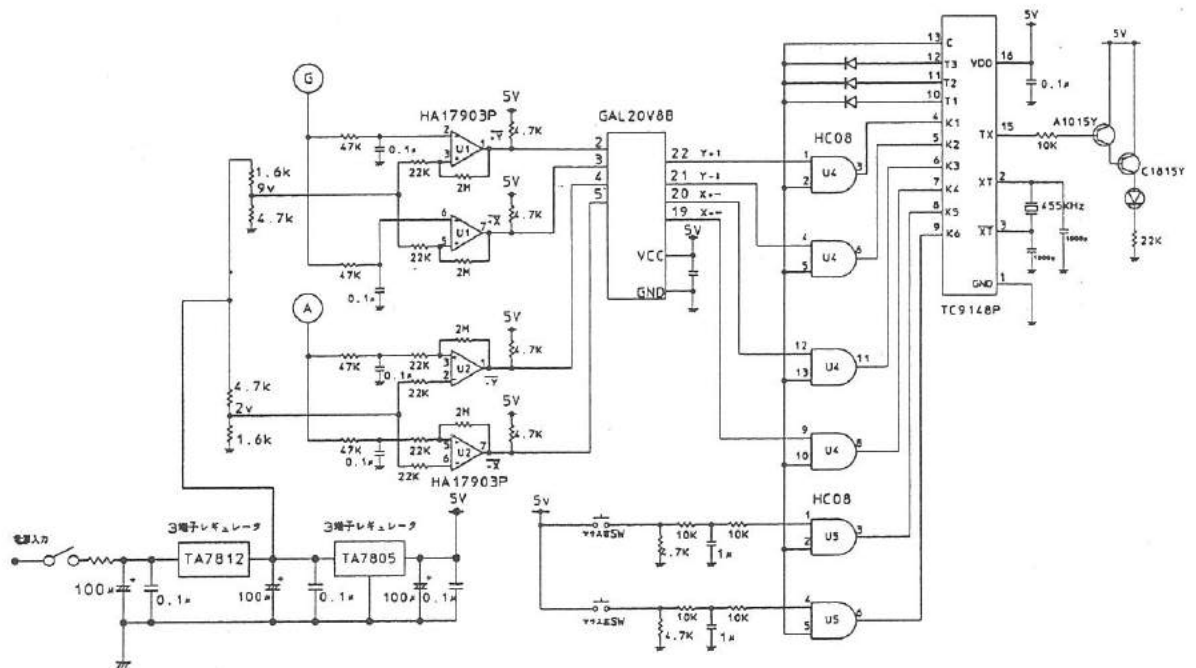
EQUATIONS

$$UP = (PX * PY * /MX * /MY) + (/PX * PY * /MX * /MY) + (PX * /PY * /MX * /MY)$$

$$DWN = (/PX * /PY * MX * MY) + (/PX * /PY * MX * /MY) + (/PX * /PY * /MX * MY)$$

$$RGT = (PX * /PY * /MX * /MY) + (PX * /PY * /MX * MY) + (/PX * /PY * /MX * MY)$$

$$LFT = (/PX * PY * /MX * /MY) + (/PX * PY * MX * /MY) + (/PX * /PY * MX * /MY)$$

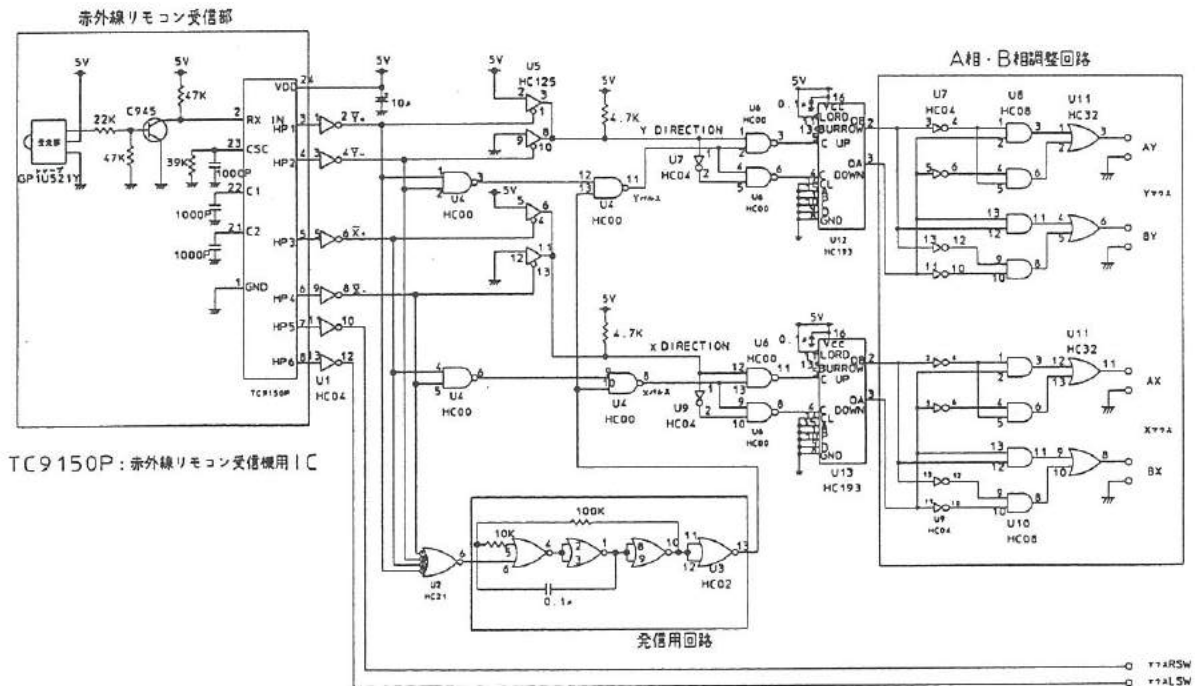


A: 電動車いす用右モーターアクセル電圧
 G: 電動車いす用左モーターアクセル電圧

HA17903P: コンパレータ TC9148P: 赤外線リモコン送信機用 IC
 GAL20V8B: 方向決定用 IC

図3 試作インターフェース送信機回路

Fig.3. Transmitter circuit of interface.



TC9150P: 赤外線リモコン受信機用 IC

図4 試作インターフェース受信機回路

Fig.4. Receiver circuit of interface.

3. 試作インターフェースの評価

試作インターフェースを実際に障害者に使用してもらい、簡単なワープロ作業を行ってもらった。障害の程度、使用機器については以下の通りである。

【障害の程度】：脳性麻痺

巧拙動作のため手指動作は困難で、上肢運動機能を全体に重度な凶性が見られる。

特に正確なポインティング動作は不可能である。

【使用機器】

ハード：マッキントッシュ、電動車いす操縦かん（ジョイスティック）、試作回路

ソフト：マックライトⅡ、Ke:nx（ビジュアルキーボード）

【評価】

試作インターフェースによるワープロ作業を実際に障害者に行ってもらったところ、自分の指で直接入力する大型キーボードよりも、試作インターフェースによる入力の方が作業時間は速く、また操作性も良いと好評を得ている。また、障害の程度によってその障害者に合ったカーソルスピードを調整できることにも好評を得ている。（図5）

今後必要な改良・開発項目について、まず試作インターフェースに対応するソフトの検討・充実を検討する必要がある。これはビジュアルキーボードのローマ字入力はクリックする回数が多く、ワープロになれていない障害者には時間がかかるためである。また、ダブルクリック操作が不可欠な機種・ソフトに対応するように、ボタン一押しでダブルクリックする機能を追加する必要がある。さらに今後の展開として、試作インターフェースにワンチップマイコンを使い、いくつかの入出力を制御できるようにすることを検討している（双方向通信）。また、ワンチップ化することによって小型化が可能になり、コンパクトになる。また、現在対応できる機種は、NEC98シリーズおよびマッキントッシュのみであるが、他の機種にも対応できるように検討しなければならない。

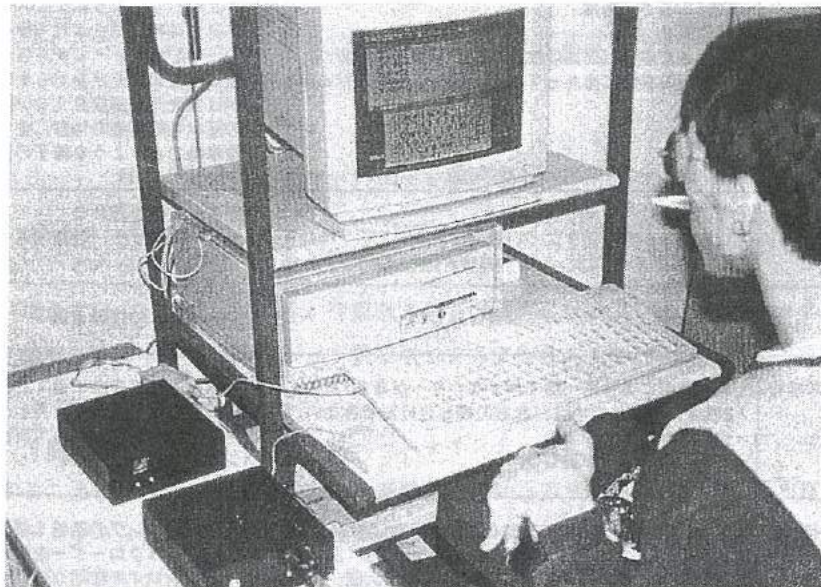
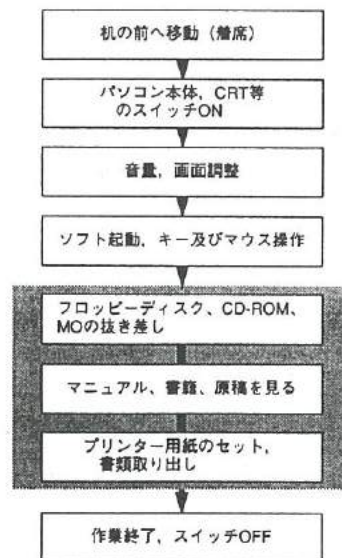


図5 試作インターフェース使用風景

Fig.5. States of using the interface.

4. 現作業空間（ワークスペース）のその問題点及び解決方法について

現在の軽作業空間（ワークスペース）において、障害者が軽作業（例えばパソコンを用いてのワープロ作業）する時に、どのような不都合点（改善点）があるのか調査した。調査対象は、脳髄損傷3名である。また、我々がパソコンを用いてワープロ作業を行う作業手順は図6に示す。ここで各作業項目における問題点及びそれに対する解決案を表1に示す。



■部分は作業状況に応じて動作の順番が変わる

図6 ワープロ作業手順

Fig.6. The process of key input.

表-1 パソコン作業各項目における問題点及び解決案

Table.1. The point at issue and replacement scheme of key input.

作業項目	問題点	解決案
机の前へ移動（着席）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車椅子の正確な位置決め ・ CRTの高さ、角度 ・ 机の高さ →大きな痙性（屈曲痙性）が起こったときに膝が机面の裏側に当たって状態が倒れる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ キーボードに手が届く位置に向かう ・ 光が反射しないようにディスプレイの向きを調整する ・ 机の高さは膝の高さよりも少し余裕をもたす ・ 机の上の配置（キーボードの位置） ・ 部屋は直接太陽光があたらない部屋が望ましい ・ 照明は蛍光灯が直接見えない間接照明が良い ・ 机の形状を障害者の体形に合わせる ・ 座位保持できるような椅子の形状にする
パソコン本体、CRT等のスイッチON	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源スイッチを押し切れない ・ 電源自体が指の届きにくい場所にある ・ ACアダプターのコンセントの抜き差しが大変 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外部スイッチを設ける ・ センサースイッチ（非接触スイッチ）
音量、画面調整	<ul style="list-style-type: none"> ・ ボリュームダイヤルの微調整が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ソフト可変式の機器を選ぶ
ソフト起動、キー及びマウス操作	<ul style="list-style-type: none"> ・ キー位置によって一回で押せないキーがある ・ 2ボタンマウスの場合、左右の押し分けができない ・ 接続ケーブルが邪魔 ・ ダブルクリックが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ キーボードは膝の上に置くと操作しやすい ・ 使用頻度の高いボタンを押しやすいボタンに割り付ける ・ ボタンを外側へ引き出して別操作にする ・ ペンタブレット（タッチパッド）の使用
フロッピーディスク、CD-ROM、MOの抜き差し	<ul style="list-style-type: none"> ・ ディスク挿入口からはみ出る部分が少ない為取り出しにくい ・ 3.5インチはブラケースから取り出すのが大変 ・ 3.5インチは奥に押し込まないと装填されない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動ローディングの機器を使用 ・ オートディスクローダーを使用 ・ ディスクトレイを使用 ・ フロッピーディスクの上端に持ち手（ヒモ）をつける
マニュアル、書籍、原稿を見る	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本を置くスペースの問題 ・ 本や書籍のセット及びページめくり 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本を置くスペースの問題（机の上の配置） ・ 回転式書見台（ターンテーブル）などで対処する
プリンター用紙のセット、書類取り出し	<ul style="list-style-type: none"> ・ プリンターモードの切り替え ・ ペーパーカートリッジへの紙補給が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 紙がたくさん補充でき、かつ装填しやすい機器を選ぶ
作業終了、スイッチOFF	スイッチON時と同様	

5. 試作インターフェースの今後の展開

● I S O 草案の紹介

I S O では電動車いすのシリアルインターフェースの草案を検討している。これは、同様にインテリジェントな電動車いすおよび車いす内外のインテリジェントな装置を操作するために、操作装置を”インテリジェント(マイクロコンピュータによる制御)”化するための標準的な接続フォーマットを策定するものである。これにより、マイクロプロセッサで制御される車いす用ジョイスティック、コミュニケーションと制御のための装置などが、電動車いすを制御するためにしよことができる。さらに、遠隔制御送信機、パーソナルコンピュータ、マネジュラータなどを車いすから操作できるようになるというものである。

・データ伝送の方法

情報は複数のバイトで構成され、装置間はRS232Cで伝送される。それぞれのデータの文字は、1つのスタートビット、8つのデータビット、パリティビットなし、1つのストップビットの10ビットのデータとして、9600ボーの速さで送られる。

・バイト

バイトには、認識/同期バイト、機能データバイト、最終バイトがある。

・認識/同期バイト

パケットの開始位置を知らせる。データパケットを区別する4ビットのID番号を含む。

データパケットの総バイト数を示す3ビットのコードを含む。

・機能データバイト

パケットによって伝送される実際のデータを含む。

・最終バイト

受信したデータの完全性を確認するバイト。

・ID/同期バイト

全7ビットで構成される。第0ビットから第2ビットは、全パケットが何バイト含むかを示す。

・パケットにおける合計バイト数は、データパケットの第1～第3ビットで総計が決まり、最低3バイト、最高82バイトまで存在する。

・IDコード

ID/同期バイトの第3・4・5・6ビットで、全パケットを識別する。第7ビットは常に1で、16機能まで制御することができる。

以上がI S O で検討されている内容であるが、この内容の中ではIDバイトが4ビットしかない。このため他の機能を追加した場合には付け足すことができないという問題がある。今後我々がこの草案に準じてジョイスティックによる環境制御装置を制御しようとするとき、機能の拡張性がないことから、ビット数を増やすことを検討する可能性があると考えられる。

・I S O の草案をもとに、今回我々が試作したインターフェースをインターフェースコントローラに改良し、特定の機能を持つ各インターフェースを制御することによって、障害者の身辺を補助するという方法が考えられる。例えば、テレビ・ビデオ・オーディオ等の多機能系機器、ドア・シャッターの開閉、ガスコンロのスイッチ等のon/off系、電話・ファックス等の通信系、また、非常事態における緊急通報システムなどの操作が考えられる。これに関する各インターフェース機能のグループ分けを、図7に示す。これによって試作インターフェースはパソコン入力インターフェースとしての機能のみならず、他の機器も操作できるインターフェースとしても利用できるようになる。また、このシステム構成を図8に示す。

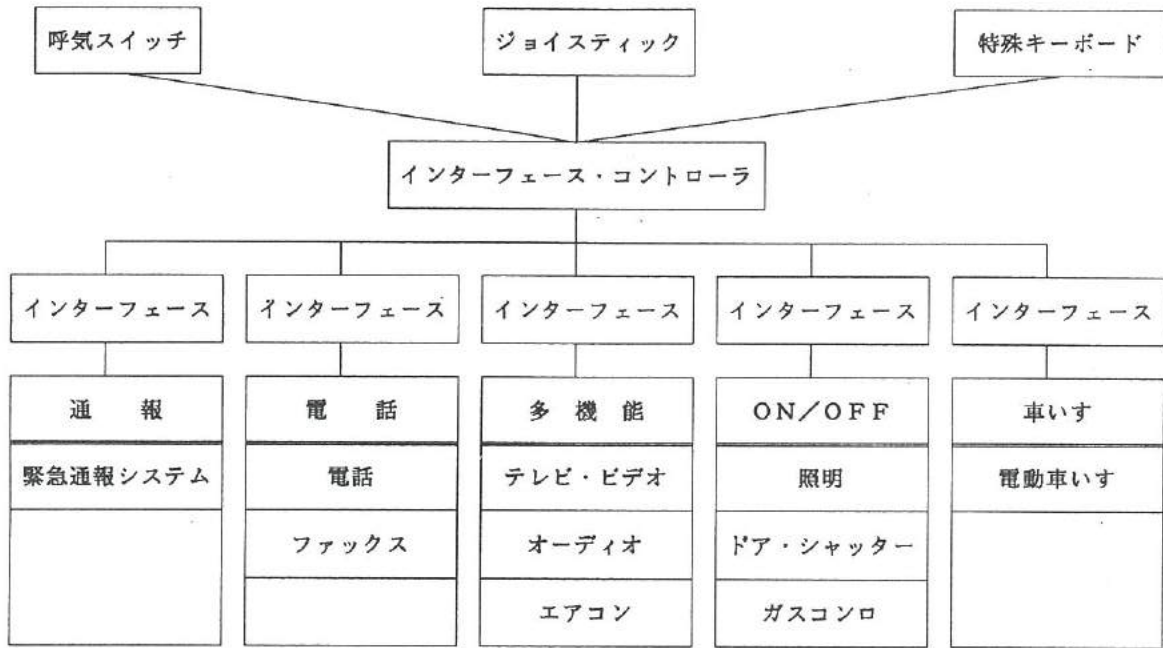


図7 インターフェースコントローラによる機能概念図

Fig.7. Concept of interface-controller.

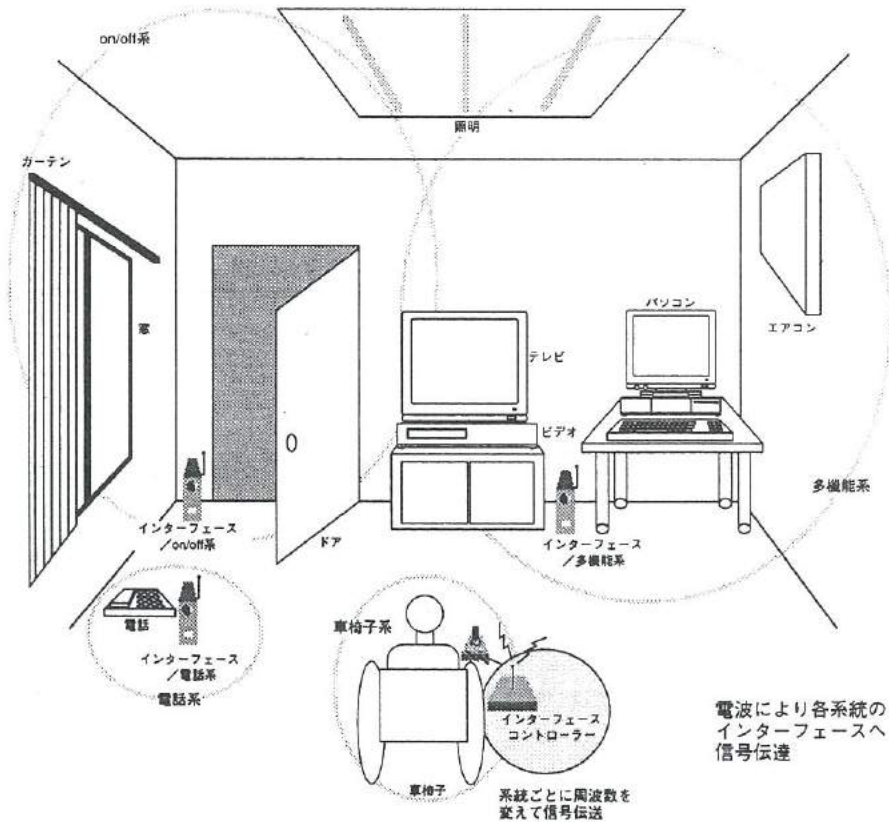


図8 インターフェースコントローラによるシステム構成図

Fig.8. The system of interface-controller.

◎インターフェースコントローラを使ったシステムの特徴

- ・インターフェースコントローラにはジョイスティック、呼吸スイッチなどが接続され、電動車いすでユーザーとともに移動することができる。
- ・電動車いすも環境制御の一環として、インターフェースコントローラを介して操作される。
- ・インターフェースコントローラと各インターフェース間は無線で連絡され、有感範囲内ならユーザーはどこにいても機器の操作が可能である。
- ・見えない位置の機器の状態は、インターフェースコントローラとインターフェース間の双方向通信によって、手元でモニターすることができる。
- ・各機能系ごとに独立したインターフェースを持つため、増設時の工事が簡便であり、故障時のフェイルセーフにも優れる。

6. 結 言

- ① 試作インターフェースは、脳髄損傷者、脳性麻痺などの障害者がパソコン入力機器として利用することに十分対応できると思われる。ただ作業性をより良くするために、画面キーボードはできれば平仮名表示で、またウィンドウズやマッキントッシュでは頻繁に使われるダブルクリック機能を追加したほうが良いと思われる。
- ② 障害者のための屋内軽作業空間を確立するためには、パソコン入力機器のみならず、作業する机の高さ、つまり車いすに乗っていても十分高さに余裕がある机や、座席に関しては長時間座っていても苦にならない工夫が必要になる。
- ③ 将来における試作インターフェースの改良のみならず、他の家庭内の電化製品などをも操作できる新しい環境制御システムの概念を提案した。

7. 謝 辞

この研究は、富山県高志リハビリテーション病院研究開発部のみなさんの指導の下で行われた。研究開発部の山本先生並びに大島さん、山科さん、田村さん、佐脇さんに深く感謝致します。

参考文献

- 1) James Mueller(Ed.): 訳・監修:末田 統、 翻訳:奥 英久、相良二郎、山本 敏泰、八藤後 猛、"The Workplace Workbook—An Illustration Guide to Workplace Accommodation and Technology"、日本障害者雇用促進協会障害者職業総合センター、79,1993
- 2) 土肥 徳秀、河村 洋、大島 徹:「ジョイスティック型マウスの試作」、第5回リハ工学カンファレンス講演論文集、ps 231-232,1990
- 3) 坂爪 三津、坂爪 新一:「手指の不自由な人達のためのキー入力処理ソフトウェア」、第7回リハ工学カンファレンス講演論文集、267-272,1192
- 4) Wisconsin 大学 Trace 研究開発センター、「ISO/W D 7176-17:電動車いすのシリアル・インターフェース」、194-221

V. 3次元入力デバイスの開発

Development of 3-D Data Input Device

細木 文夫	横山 大	編澤 浩文
HOSOKI Fumio	YOKOYAMA Yutaka	NABESAWA Hirofumi
佐山 利彦	藤城 敏史	浅田 峯夫 谷野 克巳
SAYAMA Toshihiko	FUJIKI Satoshi	ASADA Mineo TANINO Katsumi

Abstract

Three dimensional (3-D) data input devices have been developed in the divisions of CAD and VR (Virtual Reality). These devices can get three dimensional coordinate data directly and simultaneously, and are different from the conventional position sensitive devices such as mouse or joy stick. However, the devices on the market have various difficulties in price and operation, and accordingly are not so popular at the present time.

In this study, a new type of three dimensional data input device is proposed. This device aims to be low price and easy of use, therefore leads to be composed by the following three unique parts; (1) laser irradiation device part, (2) two dimensional (2-D) position detection part and (3) three dimensional coordinate data calculation part.

Each part of the device is fabricated individually. Each functions of parts are examined in various experimental methods and so the three dimensional position detection principle is confirmed totally. This study shows the possibility that the new three dimensional and functional input device will be integrated for practical use.

1. 緒言

これからのコンピュータが扱う主要な情報は、音声や映像などの多様な情報を統合したマルチメディアであると言われている。このような時代背景の中、コンピュータで現実の世界をシミュレートするバーチャルリアリティ（仮想現実感）と呼ばれる分野に注目が集まっている。この技術が熟成されれば社会的インパクトは非常に大きく、例えば宇宙や深海などの危険な場所でロボットが作業する場合、画面を通してあたかも作業者がそこに存在しているかのように作業を行ったり、医療用カテーテルの先に装着してあるマイクロメスを医師の手のように動かし、手術におけるリスクを減らすことができるなど多くのメリットが考えられている。

バーチャルリアリティを実現するためには、3次元映像装置、3次元入力デバイス、入力を人体にフィードバックする装置が必要であると言われ、これらの早期の開発が望まれている。そこで、本研究ではこれらの装置のうち、人間がコンピュータに情報を与える基本的な装置であり、また、現在のコンピュータに対してもその応用が比較的容易と考えられる3次元入力デバイスに着目し、その開発研究を試みた。

2. 3次元入力デバイスの現状

現在、3次元のデータを同時に取り込み、コンピュータに与える入力デバイスとして種々のものが提案され、試作されている。表1はそれらの原理と特徴を示す。機械式の入力デバイスは位置検出精度が高い反面、装置としては比較的大きな空間を必要とする。高精度が要求される工業的な分野では主に機械式が採用されている。非接触で測定できる装置としては、超音波式と磁気式のものがあるが、超音波式ではスピーカとマイクロフォンの間に遮音物をおけないこと、磁気式では半径120 cm以内に金属物質をおいてはいけないなどの制約がある。2次元の入力デバイスとしてはマウスやタブレットが広く普及しているのに対し、机の上でほとんど違和感がなく操作できる3次元入力デバイスは満足できるものが開発されていないのが現状である。

表1 既存の3次元入力デバイスの現状

Table 1. Various 3-D data input devices.

方 式	構 造	特 徴	
機 械 式	3軸ステージ	独立したX、Y、Zステージの移動	精度が高い 大きなスペースが必要
	リンク式	複数のリンクの角度を検出	構造が単純である
	ボール	ボールの3軸の回転量を検出	装置がコンパクト 3軸の制御が困難である
	ワイヤ	複数のワイヤの長さの変化を検出	ボックス空間が必要 力のフィードバックが容易
	スティック	X、Y軸をスティックの倒れ、Z軸をスティックの上下移動で検出	装置がコンパクト XYが円周上を動く
音	1つの音源と3つのマイクロホンで到達時間により位置検出	近距離の測定は困難	
光	光のやってくる方向から計算にて位置検出	外光の影響を受けやすい 指向性がある	
磁気	受信部3軸直交コイルの誘導起電力の変化量を検出	ノイズの影響を受けやすい 精度が高い	
圧力	球に圧力センサを張り付け、圧力と印加部分の位置検出	方向と強度の指示はできるが、絶対位置指定は不可	
加速度	慣性質量をつり支える3次元構造	ゆっくりとした移動は検知しにくい	
電気抵抗	導電ゴムの抵抗変化を測定し位置検出	構造は簡単だが、測定値の信頼度が悪い	

3. 本研究の3次元入力デバイスの概要

3.1 3次元入力デバイスの基本的概念

本研究で開発する3次元入力デバイスは、マウスパッド程度の作業空間で使用できるコンパクトなものを想定し、使いやすさを考慮して、3次元位置の検出を非接触で行うこととした。この様なデバイスの位置検出方式としては、前述の超音波方式、磁気方式および光学方式が挙げられる。超音波方式では、位置の検出精度や反射音などの影響を取り除くことが困難である。また、磁気方式ではノイズの影響があり、コンピュータの近くで使用することは困難である。そこで、本研究では光学式で3次元入力デバイスを試作することにした。光学式では照明などの周囲の光の影響が懸念される。しかし、屋内での使用を前提とすると、外光は蛍光灯や電球からの光が主であるため、計測光としてレーザを用いた場合、検出器の前に光学的なフィルタを置くことによって、蛍光灯などからの外光を遮断できる可能性がある。図1は本研究での3次元入力デバイスの概要を示す。3次元入力デバイスは2次元位置検出部、レーザ光照射部および3次元位置演算部の3つの部分で構成されている。

まず、空間上の一点を共通の光源とする3本のレーザ光をレーザ光照射部から照射する。ただし、3本の照射光相互の角度は固定されている。2次元位置検出部上では照射された3本のレーザ光が3つの像を結び、各像に対応した2次元座標値が得られる。これら3つの2次元座標値とレーザ光相互の角度から、レーザ光光源の3次元位置およびその傾きを求めることができる。

2次元位置検出部には、多数の1次元PSD (Position Sensitive Device) を平行に配列した構造のものを考案し、光導電膜上にPSDの回路パターンを形成する。なお、2次元位置検出素子としてはシリコンを用いた2次元PSDがよく知られているが、今回のデバイスのように大面積が必要な場合は、2次元のものでは作製が困難である。2次元位置検出部上でのレーザ光照射点の座標値は、PSD上の1次元位置に対応する電圧値から求められる。レーザ光照射部は入力デバイスとしての使いやすさを考えてペンシル形状とし、市販の半導体レーザと分割プリズムで構成した。半導体レーザから照射されたレーザ光は、分割プリズムによって相対角度が一定の3本のレーザ光に分割される。このレーザ光の照射位置が3次元空間上の1点である。3次元位置演算部はPSDを順次スキャンし、その測定電圧値から3つの2次元座標値を求め、レーザ光源の3次元空間上の位置を計算する。

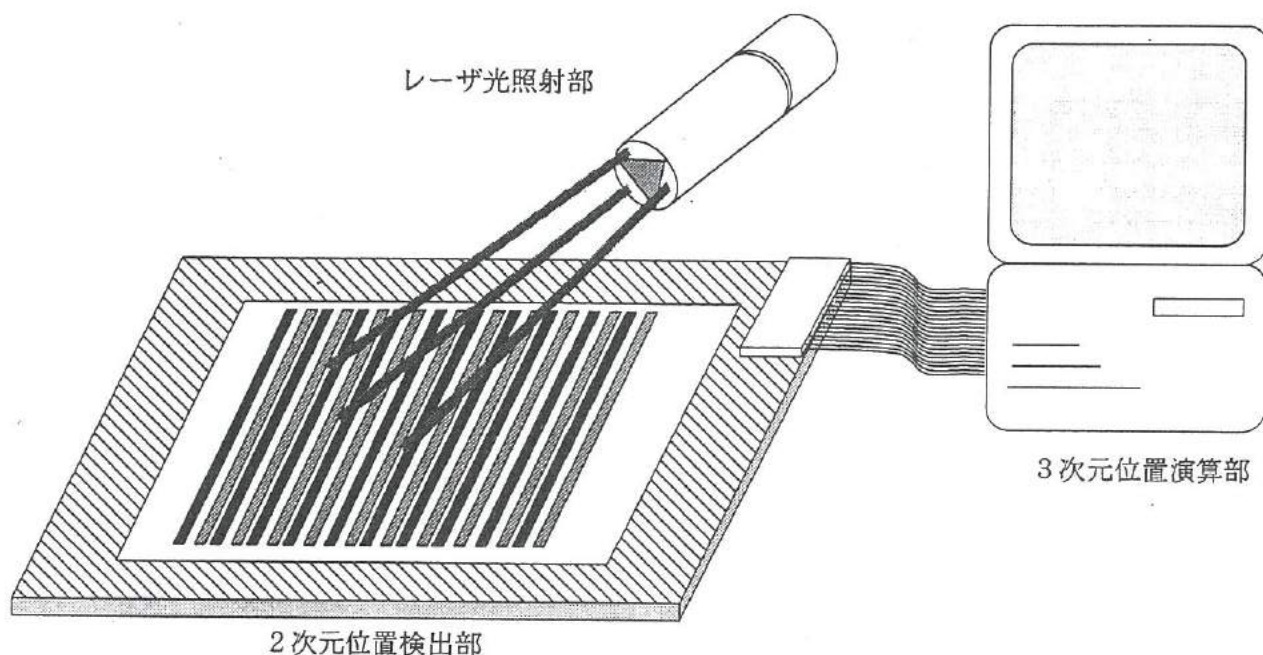


図1 3次元入力デバイスの概要

Fig.1. Concept of 3-D data input device.

3. 2 位置検出原理

図2は位置検出原理を示す。いま、2次元位置検出部をX-Y平面として直交座標系の3次元を考える。3つのレーザ照射点の座標を各々 $(X_1, Y_1, 0)$ $(X_2, Y_2, 0)$ $(X_3, Y_3, 0)$ とすれば、レーザ光の発光位置 (X_0, Y_0, Z_0) は、次の3つの式を解くことにより求めることができる。ただし、 α 、 β 、 γ はレーザ光相互の角度である。

$$\left. \begin{aligned} (X_1 - X_0)(X_2 - X_0) + (Y_1 - Y_0)(Y_2 - Y_0) + Z_0^2 - \{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \{(X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \cos \alpha &= 0 \\ (X_2 - X_0)(X_3 - X_0) + (Y_2 - Y_0)(Y_3 - Y_0) + Z_0^2 - \{(X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \cos \beta &= 0 \\ (X_3 - X_0)(X_1 - X_0) + (Y_3 - Y_0)(Y_1 - Y_0) + Z_0^2 - \{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + Z_0^2\}^{1/2} \cos \gamma &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

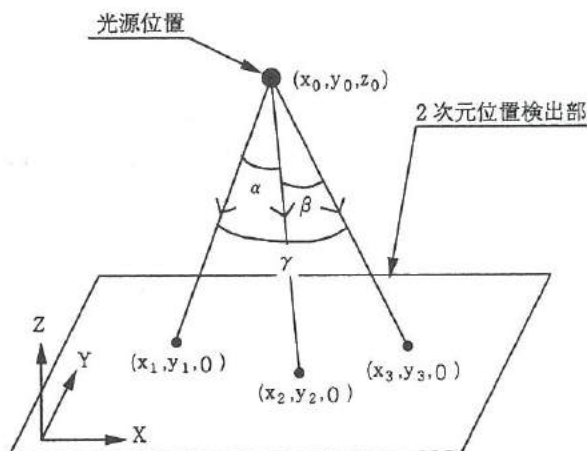


図2 位置検出原理

Fig.2. Principle of 3-D position detection.

4. 原理の確認

4.1 1次元PSDを組み合わせた2次元位置検出部

2次元位置検出原理を確認するため、市販の1次元PSDであるフォテンショマチック（モリリカ製、以下PMと略記）を用い、2次元位置検出部を試作した。

図3はPMの構造および位置検出原理を示している。PMは光導電物質である硫化カドミウム（CdS）上に抵抗膜と電極が向かい合う状態で積層した構造を持つ。光の照射がない場合、CdSは絶縁膜として働くため、出力電圧は0である。次に、CdS上のある一点に光を照射すると、その位置で抵抗膜と電極が導通状態となる。スポット位置での光導電抵抗をR2、印加電圧の陽極からスポット位置までの抵抗膜の分抵抗をR1およびR4とすると、図中の式の関係があり、Vを測定するとR1を求めることができる。試作した2次元位置検出部はPM（幅約5mm）を2次元的に配置したもので、PMを並べた方向の位置検出精度は悪い。図4は試作した2次元位置検出部を示す。PM本体は外光による影響を受けるため、中心波長が670nmの2インチ角のバンドパスフィルタを2次元位置検出部上に置き、全体を密閉した暗箱の中に固定した。暗箱の上で半導体レーザー（670nm）をPMに向けて照射し、各PMの出力電圧を測定した。各PMの端子には5Vの電圧を印加し、出力電圧をマルチプレクサ付のA/Dコンバータを介してパソコンに取り込んだ。図5はパソコンの画面に表示した2次元位置検出部の出力電圧のプロット図を示す。図より、レーザー光が照射されたPMのみにピークが見られ、このPMの出力電圧から2次元の位置情報を得ることができた。なお、蛍光灯下の室内で測定したところ、フィルタのカットオフ特性があまり良くないため、蛍光灯の照明がPMに当たると0.5V程度のノイズを生じた。

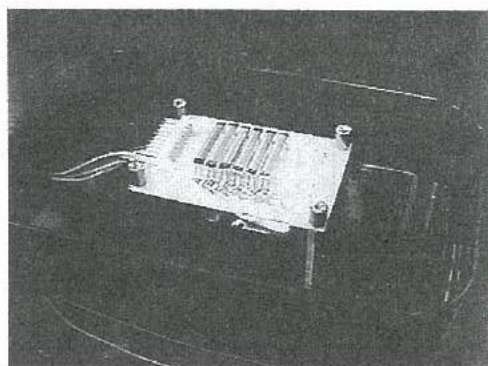
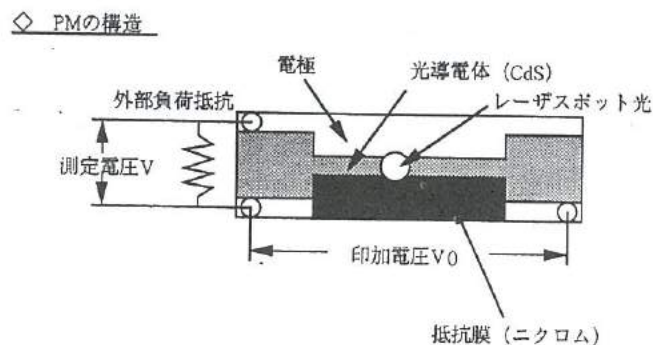
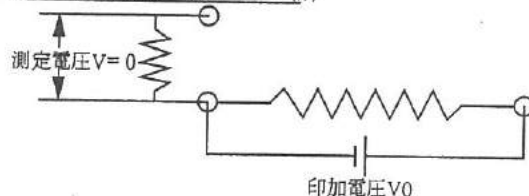


図4 試作した2次元位置検出部

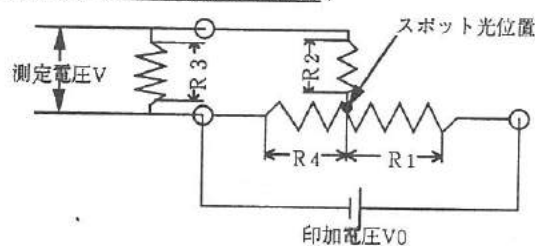
Fig.4. Trial fabrication of 2-D position detection by 1-D PSD.



◇ 等価回路 (スポット光が当たる前)



◇ 等価回路 (スポット光が当たった後)



$$\text{測定電圧 } V = \frac{R_3 R_4}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_4 + R_3 R_4)} V_0$$

R2、R3が一定より、レーザースポットの位置に相当する測定電圧Vが検出される

図3 PMの位置検出原理

Fig.3. Position detection principle of PM.

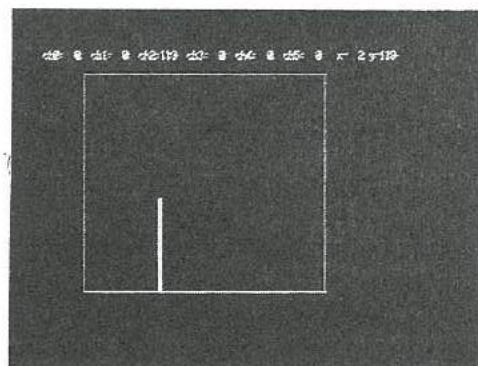


図5 出力電圧プロット図

Fig.5. Output voltage plot of 2-D position detection.

4. 2 3次元位置演算手法の確認

2次元位置検出部上の3つのレーザ光照射点の座標値から、レーザ分光位置の3次元座標値を計算する非線形3元連立方程式をNewton-Raphson法を用いて解くプログラムを作成した。プログラムは種々の例題による数値実験から検証した結果、十分な精度で3次元座標値が計算できることを確認した。また、32bitCPU搭載のパソコンを用いて本プログラムを実行した場合、一つの3次元座標値は約1.6msecで計算され、パソコン用3次元入力デバイスの演算部として支障のない計算時間であることが分かった。

しかし、2次元位置検出部上のレーザ光照射点の座標値を実際に計測する場合の計測精度を考えると、3次元座標値の計算には誤差が含まれてくる。3次元位置演算における誤差評価と原理を検証するため、図6に示す装置を用いて3次元位置演算の実験を行った。装置は6軸の位置決めテーブル上に一つの半導体レーザ光源を取り付けたもので、レーザ光は装置の最上部にある2cm角の2次元PSD上に照射される。装置は図1に

示す3次元入力デバイスと上下が逆の関係にあり、半導体レーザ光源はレーザ照射部、2次元PSD基板は2次元位置検出部にそれぞれ対応している。位置決めテーブルの θ 軸を回転して得られるPSD上の3つのレーザ光照射位置から、前述のプログラムを用いて半導体レーザ光源の3次元座標値を計算する。表2はレーザ光源位置の実際の座標値とプログラムによる計算値とを比較したものである。ほとんどの場合、計算値は実際の座標値に近いものとなっている。しかし、レーザ光相互の角度が極端に小さくなると、レーザ光照射点の座標値の計算誤差により、レーザ光源の3次元座標値には大きな計算誤差が発生している。従って、実用上はレーザ光相互の角度は30度以上に設定することが望ましいものとする。

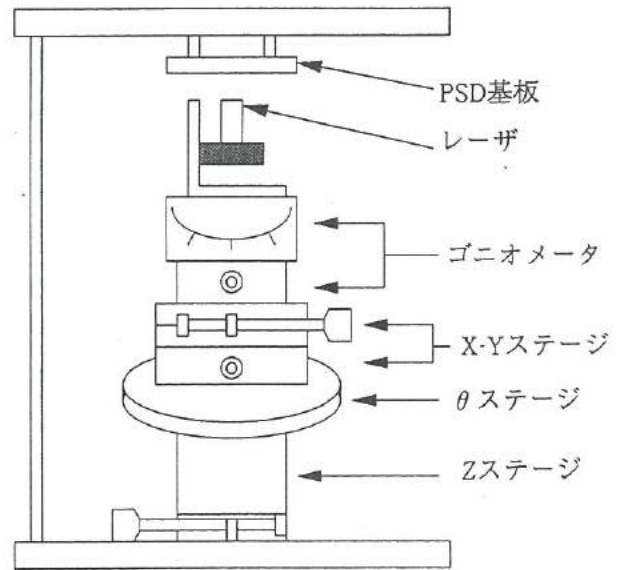


図6 3次元位置演算手法確認装置

Fig.6. Verification apparatus of 3-D position detection method.

表2 3次元座標値の計算例

Table 2. Examples of calculated 3-D coordinates.

レーザ光の開き角 ($\alpha = \beta = \gamma$)	光源位置	座標値 (mm)*		
		X	Y	Z
60°	実際の位置	0.0	0.0	5.06
	計算位置	0.054	-0.068	5.043
	(誤差)	(0.27%)	(-0.34%)	(-0.11%)
30°	実際の位置	0.0	0.0	11.63
	計算位置	0.247	-0.238	11.382
	(誤差)	(1.24%)	(-1.19%)	(-1.25%)
20°	実際の位置	0.0	0.0	17.78
	計算位置	0.618	-0.535	17.399
	(誤差)	(3.09%)	(-2.68%)	(-1.92%)
15°	実際の位置	0.0	0.0	23.86
	計算位置	1.309	-1.018	23.308
	(誤差)	(6.55%)	(-5.09%)	(-2.79%)

* 各欄の下段はPSDの一辺の長さ(20mm)を基準とした誤差

5. 3次元入力デバイスの試作

5.1 2次元位置検出部の構成

図7は2次元位置検出部の概観を示す。大きさは2インチ角である。2次元位置検出部は、光導電膜と抵抗膜および電極から構成される。電極間隔は0.02インチとし、電極および抵抗パターンを1組として9組配置した。この抵抗膜と電極の1ユニットが前述のPMに相当する。抵抗膜および電極にはニクロムを用いる。基板にはガラス基板を用い、外光を防ぐ意味で前述のバンドパスフィルタを最上部に配置した。

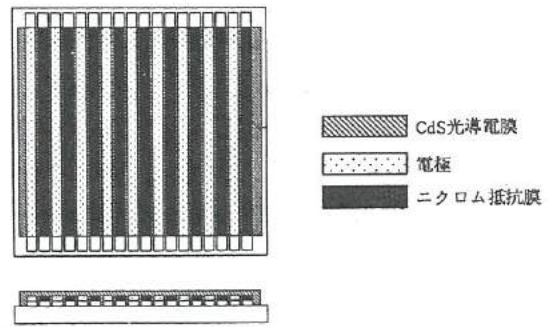


図7 2次元位置検出部の構造

Fig.7. Structure of 2-D position detection by 2-D PSD.

(1) CdS 光導電膜の作製

光導電膜の材料としては、市販半導体のレーザ光に感度波長があり、感度が非常に高い材料が要求される。そのため、これらを考慮して材料にはCdSを選択した。図8はCdS光導電膜の作製方法を示す。CdSには塩化カドミウム粉末を焼結助剤として配合し、塩化第二銅は光導電膜の感度を上げるため添加した。次に金の楕形電極を有するセラミック基板の上にCdS膜を焼結させた。焼結温度は450℃から650℃まで50℃で分割し、管状炉を用いて窒素雰囲気中で30分間加熱した。得られた膜の膜厚は2μm、組成比は焼結前後でほとんど変化がなく、モル比でCd:S=51:49であった。図9は焼結前後の様子をSEMで観察したものである。図9-(a)は焼結前、図9-(b)は600℃で焼結した光導電膜のSEM写真である。焼結後では粒成長が進んでいることが分かる。

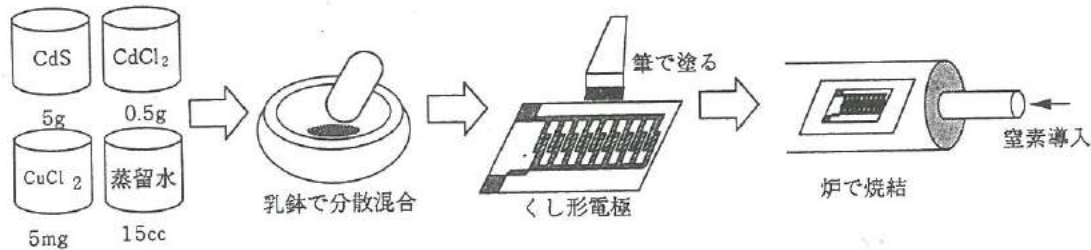
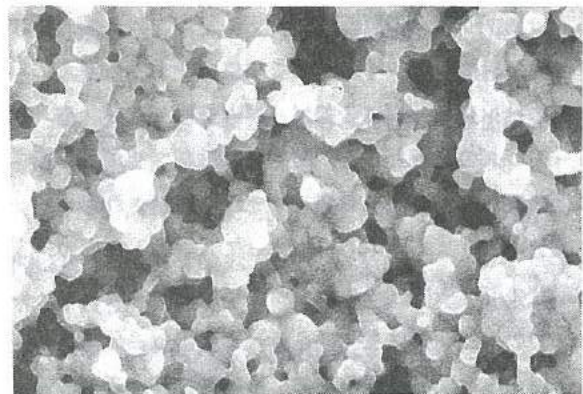


図8 CdS光導電膜の作製方法

Fig.8. Fabrication method of CdS photo-conductive film.



(a) 焼結前
(a) Before firing



(b) 600℃で焼結した光導電膜
(b) Photo-conductive film after firing at 600℃

図9 CdS光導電膜のSEM観察

Fig.9. SEM photographs of CdS photo-conductive film.

次に、各焼結温度で得られた CdS 膜の光導電性を測定した。

図 10 は各光導電膜の照度と抵抗の関係を示す。光源はハロゲンランプである。450℃の焼結膜は低照度側で抵抗値の変化が小さく、高照度側で大きな抵抗値の変化を示した。500℃、550℃の焼結膜は良好な光導電特性を示している。600℃の焼結膜は高照度側で抵抗値の変化が悪い。これらの結果から、焼結温度は500℃から550℃が望ましいものと考えられる。なお、650℃で焼結した試料は膜質が極めて悪く、光導電特性を測定できなかった。

図 11 は各光導電膜の γ 値を計算したものである。 γ 値は光導電セルの 10 lx から 100 lx の間の特性パラメータの一つであり、値が大きいほど良い。その計算式を次に示す。

$$\gamma_{10}^{100} = \log (R_{100} / R_{10}) \quad (2)$$

市販の CdS セルでは 0.6 ~ 0.7 (カタログ値) であることから、今回作製した CdS 膜はかなり良好な光導電性を有している。

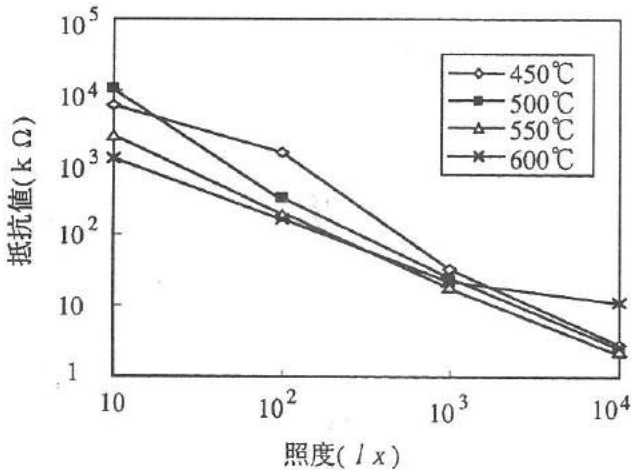


図 10 CdS 光導電膜の照度-抵抗特性

Fig.10. Illuminance vs.resistance of CdS photo-conductive films.

焼結温度 [°C]	γ 値
焼結前	測定不可
450	0.65
500	1.52
550	1.12
600	0.85
650	測定不可

図 11 光導電膜の γ 値

Fig.11. γ values of CdS photo-conductive films.

5. 2 レーザ光照射部の試作

(1) 分割プリズムの原理

レーザ光照射部はデバイスとしての使いやすさを考えて、市販のペン型レーザーに分割プリズムを取り付け、小型でコードレスの構造とした。図 12 は分割プリズムの概要および原理を示す。ペン型レーザーから照射されたレーザー光は分割プリズムの中心軸に沿って入射し、下面の三角錐形状のミラーで3つのレーザー光に分割される。さらに、3つのレーザー光は上面のミラーで反射し、分割プリズム下面から2次元位置検出部に照射される。図 12 に示す角度 α はレーザー光相互の角度であり、前述のように $\alpha = \beta = \gamma$ となるように分割プリズムを設計した。

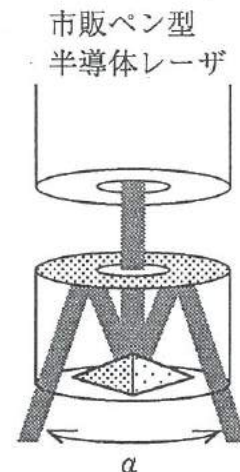


図 12 分割プリズムの原理

Fig.12. Principle of split prism.

(2) 分割プリズムの試作

分割プリズムはアクリル樹脂を圧縮成形することによって作製した。分割プリズムの上下面の反射ミラーは、金をスパッタすることにより作製した。図13は試作した分割プリズムを示す。試作した分割プリズムをペン型レーザに装着し、図14に示すように設計通りレーザ光が3本に分割することを確認した。入射レーザ光源に対して分割されたレーザ光は照度が低下していたため、今後、分割プリズムの材質および製作方法を検討する必要がある。

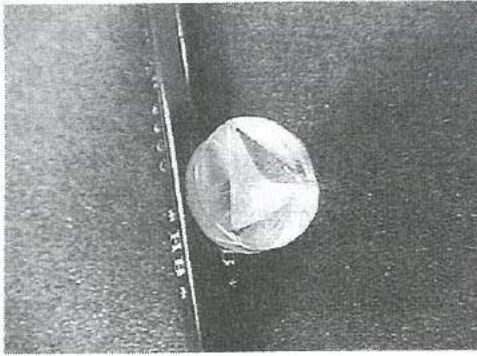


図13 試作した分割プリズム
Fig.13. Overview of split prism.

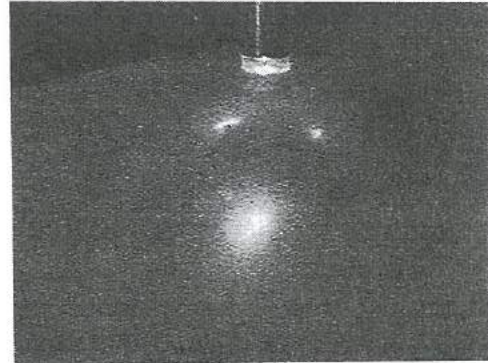


図14 分割したレーザ光の例
Fig.14. An example of split laser.

5.3 3次元位置演算部の試作

図15は位置検出回路を示す。各PMの出力はアナログマルチプレクサを介してA/Dコンバータに入り、各PM毎の電圧値として測定される。測定した値のうち最も高い電圧を示すものがレーザの照射されたPMで、そのPMの位置とそのときの電圧値/フルスケールが2次元の位置を表しているの、これからX-Y面上の位置データが決定される。

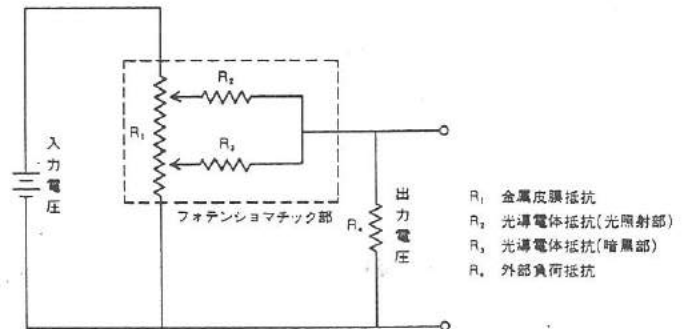


図15 位置検出回路

Fig.15. 3-D position detection circuit.

6. 結 言

今回、新しいタイプの3次元入力デバイスを提案し、原理確認、3次元入力デバイスを構成する2次元位置検出部、レーザ照射部および3次元位置演算部の試作を行った。以下に本研究で得られた成果を示す。

- ① PMを用いた2次元位置検出の原理確認実験およびNewton-Raphson法を用いた3次元位置演算手法の確認実験から、PMによる3次元入力デバイスは理論的に可能であることが分かった。
- ② 2次元位置検出部を構成する試作CdS光導電膜は市販品に相当する γ 特性を示した。
- ③ レーザ照射部を構成する分割プリズムを試作した結果、レーザ光が3つに分かれることが確認された。
- ④ 3次元位置演算部は、2次元位置検出の原理確認実験でレーザ光の照射位置を検出した。

今後、CdS光導電膜の抵抗値を下げることや分割プリズムの特性を上げることなど、各デバイスの性能を上げ、全体的なシステムインテグレーションを進めていく予定である。

VI. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

Development of Combined Device of Thin Film and Semiconductor

高柳 毅、

TAKAYANAGI Takeshi

松田敏弘、

MATSUDA Toshihiro

浅田 峯夫、

ASADA Mineo

田村 雅英

TAMURA Masahide

田村 幾夫、

TAMURA Ikuo

松本 岩男、

MATSUMOTO Iwao

谷野克巳

TANINO Katsumi

Abstract

Although various kinds of material are employed for oxygen gas sensing, most of them require high temperature for their operation such as 500 °C or higher. It may cause some difficulties in power consumption and reliability.

The purpose of this study is to develop material which is sensitive to oxygen gas at lower temperature and to integrate heater part for miniaturization. The sensor has a gas sensitive thin film on heating resistor which is a p type diffusion layer in n type Si semiconductor substrate. This structure may make it possible to integrate sensor and electronic circuits in a chip in future. The sensor film of TiO₂/Pt (TiO₂ including Pt) is obtained by oxidation of Ti/Pt (Ti including Pt) film which is sputtered in RF magnetron sputtering equipment.

The results of the study are as follows:

- (1) When Ti/Pt film was sputtered with target whose area ratio of Pt to Ti was about 2.8%, and was changed to TiO₂/Pt by oxidation at 525–550 °C in reduced oxygen pressure, TiO₂/Pt film responded to oxygen gas at 180 °C.
- (2) According to data of ESCA, TiO₂ and TiO₂/Pt are observed at surface and inside of the film respectively. After oxidation, the thickness of film increased by about 70–80%.
- (3) The fabricated semiconductor heater has boron diffused layer which is 3mm in width and 6mm in length. Its heating capacity was 150 °C/W. With 1–2W of electric power, it was able to heat up the sensor to about 180 °C that was the operation temperature of sensor.

1. 結 言

現在、ガスセンサはガス漏れ警報機やエアコン、ファンヒータ、電子レンジなどの幅広い分野で使用されている。また、大きさ、感度、消費電力、信頼性等の面で高性能化を目指して、新しい素材や反応機構についての研究が行われている。特に、酸素センサについては現在のところバルク材を使用したものが主流であるが、動作温度が 500 °C 以上と高いため、消費電力や信頼性の点で不利な場合がある。

本研究では、従来のもよりも低温で動作し、低消費電力化と小型化が可能な薄膜酸素センサを開発することを目的とした。素材として、バルク材で使用されている TiO₂ をとりあげ、これに Pt を加えた薄膜でセンサを作製し、さらに半導体ヒータを一体化して複合素子として形成することを試みた。すなわち、次に示す手順で複合素子の開発を行ったものである。

- ① Ti、Pt 複合膜のスputタリング条件の検討
- ② 酸化処理条件の検討
- ③ ヒータ部の構造の検討
- ④ 複合化の検討。

2. 複合型酸素センサ

2.1 センサの構造

酸素センサ素子としては、 ZrO_2 、 TiO_2 、 CoO などのバルク材が知られているが、これらは酸化・還元などの反応を速やかに行うために 500°C 以上という高温下での使用が前提となっている。そこで、本研究では「低温動作化」を目標とし、さらには小型化や多機能化に有利な「複合素子」へ発展させることを試みた。「低温動作化」を実現するため、Ptの触媒作用や薄膜構造を変化させる効果に注目し、センサ素子として TiO_2 にPtを加えた薄膜をとりあげ、構造や組成を検討した⁽¹⁾。また「複合素子化」については、半導体素子を利用した小型ヒータの内蔵を検討した。こうした「複合素子化」の目的の一つとして、将来の電子回路との共存の可能性があげられる。

目標とする複合型酸素センサの構造を図1に示す。本センサは、スパッタリングで薄膜を形成したセンサ（酸素反応）部と、基板にp型拡散層を形成したヒータ部とから構成される。

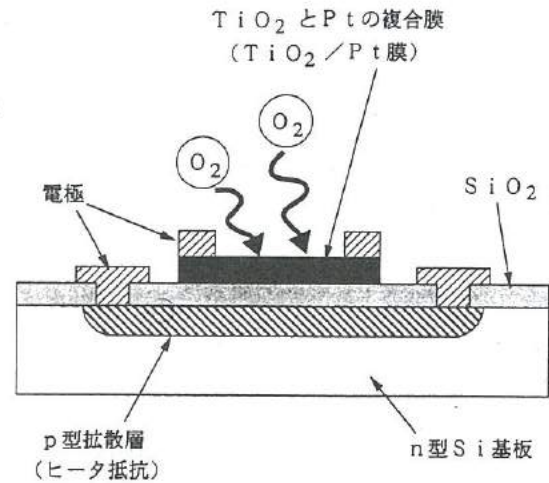


図1 複合型酸素センサの構造

Fig.1. Device structure of combined oxygen sensor.

2.2 センサの作製方法

今回作製した複合型酸素センサの作製フローチャートを図2に示す。n型Si基板を表面酸化した後、フォトリソグラフィを用いてヒータ部のパターンを形成する。その部分にボロン(B)拡散によってヒータとなるp型抵抗体を形成する。その後、酸化膜を形成した上にセンサ部のTiとPtの複合膜（以下、Ti/Pt膜と略記）をスパッタリングする。次に、酸化処理を行ってセンサ部を TiO_2 とPtの複合膜（以下、 TiO_2 /Pt膜と略記）とする。最後にヒータ部抵抗体と TiO_2 /Pt膜の両方にスパッタリングでAu電極を形成する。

3. センサ部の作製と評価

3.1 実験方法

センサ部の作製条件を検討するため、ヒータ部とは別に基板上に薄膜パターンを形成し、酸素に対する応答を評価した。表面に厚さ500 nmの熱酸化膜のついたn型(100) Siを基板として用いた。

(1) パターン形状

センサ部の評価に用いたTi/Pt膜は、抵抗部の長さが10 mm、幅が1 mmのパターン形状となるマスクを介し、スパッタリングによって作製した。酸化処理後、両端の電極となる $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ の大きさのAu薄膜パターンもスパッタリングで作製した。

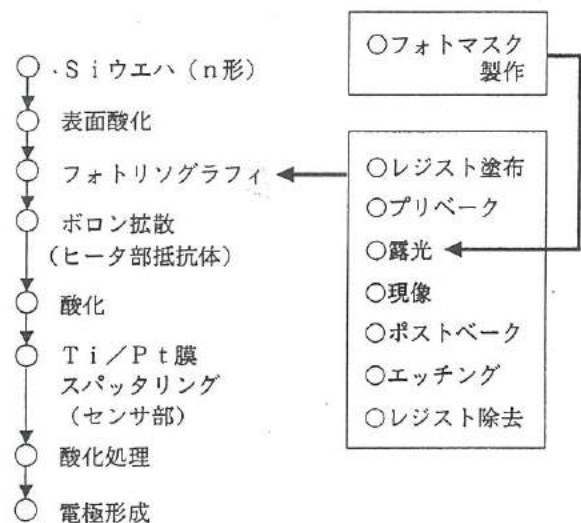


図2 複合型酸素センサの作製フローチャート

Fig.2. Fabrication flowchart of combined oxygen sensor.

(2) スパッタリング条件

Ti/Pt 膜の作製には RF マグネトロン方式のスパッタリング装置（日電アネルバ製 SPF-332H）を使用した。図3におもなスパッタリング条件を示す。センサ膜の作製条件を検討するため、スパッタリング時のパラメータとして、Pt含有量と Ar ガス圧を変化させた。このうち、Pt含有量は薄膜の構造を変化させるとともに触媒作用にも影響すると考えられたので、センサ特性を左右する主要なパラメータとして0から14%まで変化させた。実験では、Ti ターゲット上に配置した Pt 板（約 4×4 mm）の枚数を変えることによって薄膜中の Pt の量を変化させており、本文中の Pt 含有量の数値は Ti と Pt のターゲットの面積比を採用した。また、センサ膜の構造の違いによる特性の変化を調べるために、 5×10^{-3} Torr と 4×10^{-2} Torr の2種類の Ar ガス圧の下でスパッタリングを行った。成膜速度は Pt 量によって変化するので、成膜後の膜厚が 50 nm 程度となるようにスパッタリング時間を調節した。

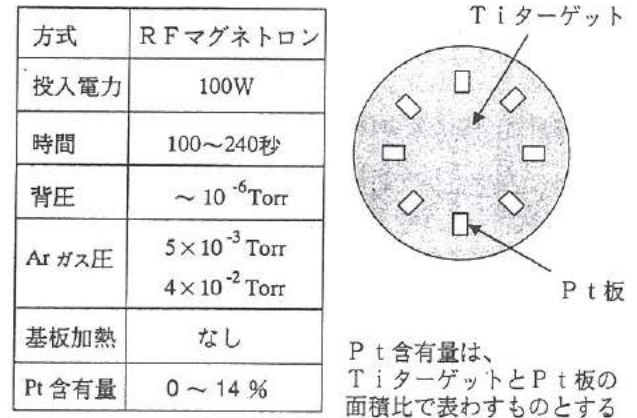


図3 スパッタリングの条件

Fig.3. Sputtering condition.

(3) 酸化処理条件

スパッタリングで成膜した Ti/Pt 膜を TiO_2/Pt 膜とするために、減圧酸素雰囲気中で酸化処理を行った。酸化処理には酸素雰囲気炉を使用し、処理温度と酸素分圧を変化させた。昇温は $4 \sim 5^\circ\text{C}/\text{分}$ で行い、所定の温度で 10 分間保持した後自然冷却させた。熱処理温度としては $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ の間の数点、酸素分圧としては 1 Torr と 200 Torr の2種類の条件で検討した。

3.2 評価方法

(1) センサ部評価装置

試作したセンサ部の酸素との反応を確認するために図4に示す装置を作製した。試料を置くチャンバは 4×10^{-2} Torr 程度に減圧が可能で、室温から 230°C まで試料温度が変えられるステージを備えている。また、チャンバ内は窒素または酸素雰囲気に切り替えられるようにし、それぞれの雰囲気での抵抗値の差を測定できるようにした。抵抗値の測定には、半導体パラメータアナライザ（YHP 製 4145B）を使用した。

(2) センサ部の評価方法

当初、チャンバ内の圧力の違いで試料とステージの密着性が変化するため、試料の温度が圧力の影響を受けてしまうという問題があった。したがって、ガスを切り換えた時の抵抗値の変化が、ガスとの反応によるものか、温度によるものかを区別するためには、チャンバ内の圧力を一定に保つ必要がある。チャンバ内を真空ポンプで減圧しながら、単位時間あたりに同量の

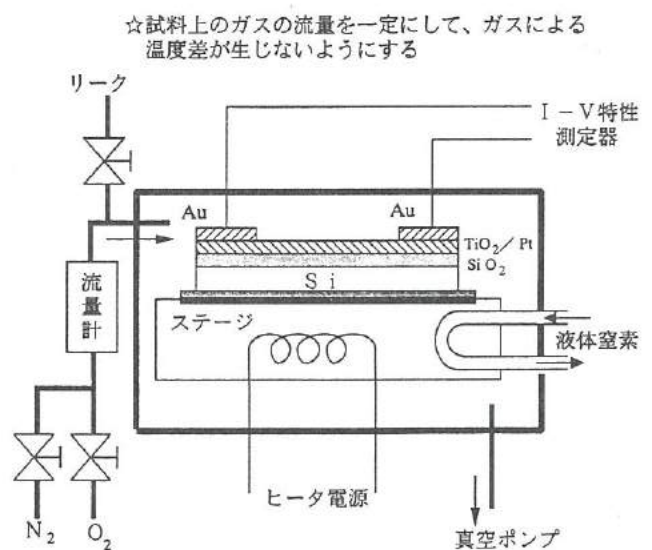


図4 センサ部評価装置

Fig.4. Measurement system of sensor part.

窒素または酸素（10 cc/min）がチャンバ内に流れ込むように調整し、内部の圧力（ 4×10^{-1} Torr）を一定にした。ガスを流し始めてから5分間放置した後、試料の電極間に ± 0.1 V \sim ± 40 V程度（試料の抵抗値によって異なる）の電圧を印加する。それぞれの電流-電圧特性から抵抗値を求め、窒素中と酸素中の差から反応の有無を判断した。

(3) 分析と膜厚測定

酸化処理前の Ti/Pt 膜と酸化処理後の TiO₂/Pt 膜は、それぞれの作製条件ごとに ESCA（島津製 ESCA1000）を使用して組成分析を行った。また、膜厚は表面粗さ計（ベルテン製ベルトメータ）を用いて測定した。

3. 3 実験結果および考察

(1) 試料作製条件の検討

以下のパラメータを検討しながら、酸素雰囲気中で応答する試料の作製を進めた。

① Pt含有量

Ptの比率が大きい（4.2%以上）試料では、抵抗値の温度係数は正になる傾向を示した。これは電流がおもにPtを流れるので、金属的な性質となるためと考えられる。この場合は、酸素の吸着はTiO₂内のキャリアの動きに影響を与えることができず、酸素との反応は起こりにくいとされる。一方、Ptの含有量が4.2%未満の場合、抵抗値の温度係数が負となって半導体的な性質を示す。このような試料では酸素との反応が起こることが予想されるため、さらにPt量を少なくして酸素との反応を測定した。

② 酸化処理条件

酸素分圧の大きい（200 Torr）試料及び酸化処理温度の大きい（550℃以上）試料は、高抵抗（数GΩ以上）になりやすかった。これは酸化が進みすぎて、TiO₂中のキャリアが著しく減少するためと考えられる。したがって、酸素分圧を1 Torrとし、500℃ \sim 550℃の間で熱処理温度を変えて酸素との反応性を調べた。

③ Arガス圧

スパッタリング時のArガス圧について 5×10^{-3} Torrと 4×10^{-2} Torrについて比較した。Arガス圧が大きいと、得られる薄膜が空隙や孔の多い微小柱状構造になりやすいため、酸素との反応面積が大きくなることを予想したが、試料の特性に大きな差は見られなかった。従って、今回は通常のArガス圧である 5×10^{-3} Torrで実験を進めた。

今回の実験では、作製条件が同じの試料間でも抵抗値が大きくばらつく傾向がみられた。この原因としては、酸化処理温度や雰囲気中の酸素分圧あるいはPt量のわずかな変化で、薄膜の微細な構造が容易に変化することや、試料の抵抗値が酸素の格子欠陥の数に強く依存することが考えられる。

(2) 酸素との反応

2つの試料（試料1、試料2）で酸素との反応が認められた。このときの抵抗値の変化を表1に示す。チャンバ内の雰囲気は、試料温度177℃で内部を真空ポンプで引きながら酸素、窒素をそれぞれ10 cc/min 流し続けた状態（ 4×10^{-1} Torr）であった。これら2つの試料のスパッタリング条件は、いずれも

表1 酸素との反応結果

Table 1. Result of oxygen sensing.

番号	窒素雰囲気中の抵抗値 (kΩ) 177℃ (40 Torr)	酸素雰囲気中の抵抗値 (kΩ) 177℃ (40 Torr)	変化率 (%)	作製条件
試料1	174	184	5.8	Pt含有量: 2.8% Ar圧: 5×10^{-3} Torr 酸化処理: 550℃ 1 Torr
試料2	793	828	4.4	Pt含有量: 2.8% Ar圧: 5×10^{-3} Torr 酸化処理: 525℃ 1 Torr

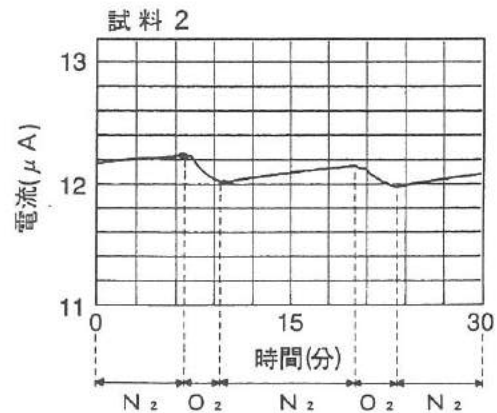


図5 酸素応答特性

Fig.5. Sensing characteristics of oxygen.

Pt含有量が2.8%、Arガス圧が 5×10^{-3} Torrであった。酸化処理は減圧酸素雰囲気(1 Torr)下で試料1は550℃、試料2は525℃の温度で行った。図5は試料2の定電圧でのガスの切り替えによる電流変化の応答特性を示す。酸素による抵抗値の増加(電流の減少)は比較的短時間(2~3分)で起こるが、窒素による抵抗値の減少(電流の増加)には時間がかかる(約12分)。図6は試料2の酸素中および窒素中の抵抗値の温度特性を示す。センサ温度が130℃以下では、酸素中と窒素中で抵抗値に差は現れていない。

(3) 分析結果

酸素に反応した試料について、ESCAで深さ方向の組成及び化学結合状態を調べた。酸化処理前後の深さ方向の組成分析結果を図7に示す。この結果から、酸化処理後では表面にTiO₂層が形成されており、内部はTiO₂とPtの混合層になっているものと考えられる。また、膜厚は酸化処理後では約70~80%増加して80~90 nmとなった。

(4) 酸素反応機構

従来的高温での反応機構と、今回の低温での反応機構の違いについて考察した。それぞれの機構の模式図を図8に示す。高温のバルク材では、TiO₂の格子欠陥に酸素原子が入り込むことで、キャリア密度が減少して抵抗値が増加する(図8(a))。Ptを添加した薄膜の場合、TiO₂の中に粒状にPtが分散し、TiO₂とPtの界面に比較的低温で酸素が吸着することで、半導体・金属界面のポテンシャル障壁の高さが増大する。その結果、Ptのまわりの空乏層領域が図8(b)のように拡大して電流通路が減少し、抵抗値が大きくなるものと考えられる⁽²⁾。

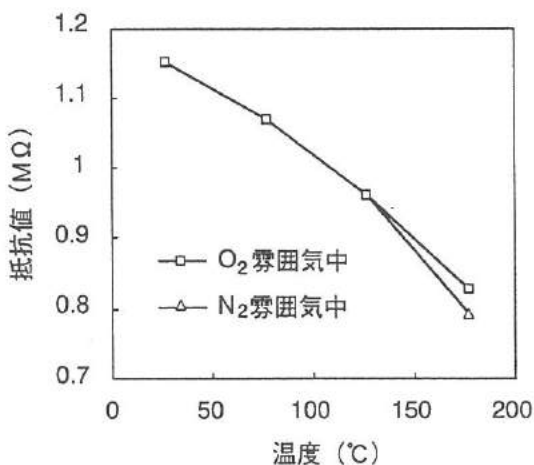
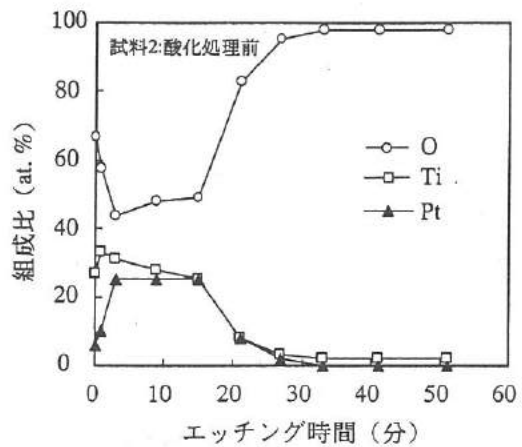
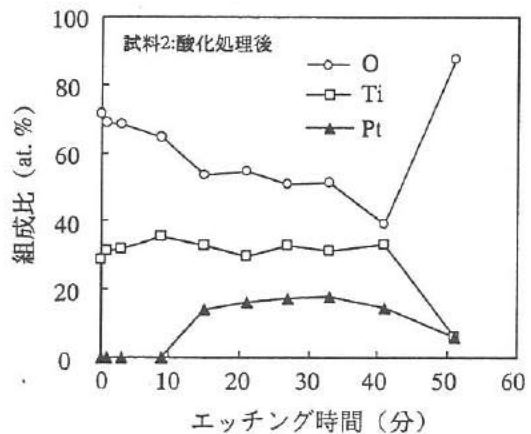


図6 ガス中での抵抗値の温度依存性

Fig.6. Temperature dependence of resistance in gas.



(a) 酸化前



(b) 酸化後

図7 ESCAによる深さ方向の組成分析結果

Fig.7. Depth profile by ESCA.

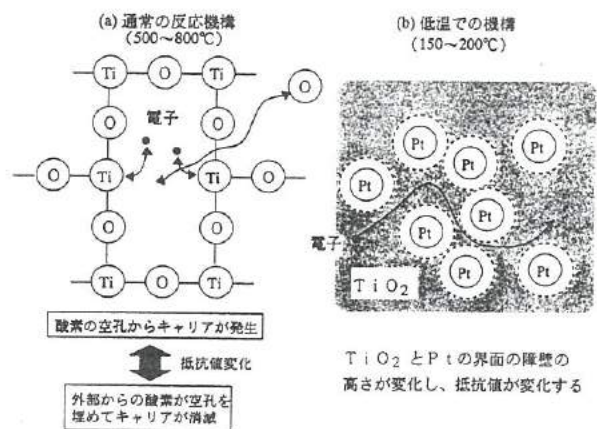


図8 酸素との反応機構

Fig.8. Sensing mechanism of oxygen.

4. ヒータ部の作製と評価

基板の加熱を目的とするヒータとしては、Ni 薄膜、厚膜抵抗などが考えられる。今回は、半導体拡散層を抵抗体とするヒータを使用することにした。その利点としては、ヒータと電子回路が同一工程で作製できるため、電子回路内蔵型のガスセンサの開発の可能性があげられる。

4.1 予備的検討

ヒータ部の設計を行うため以下の実験を行い、半導体ヒータの発熱能力の評価を行った。半導体プロセスの評価用に作製してあったボロン拡散層をヒータ用抵抗体として用いた。抵抗体の両端に密着させた2本の探針から電流量を変化させ、抵抗体の温度を熱電対で測定した。この結果を図9に示す。このヒータは、大気中で15℃/Wの発熱能力があり、センサとして必要とされる150～200℃程度の温度を得るためには8～13Wの投入電力が必要であった。この試料の平面寸法は18mm×18mmであったが、複合型酸素センサのヒータは素子面積をさらに小さくでき、投入電力の低減が可能であると考えられた。

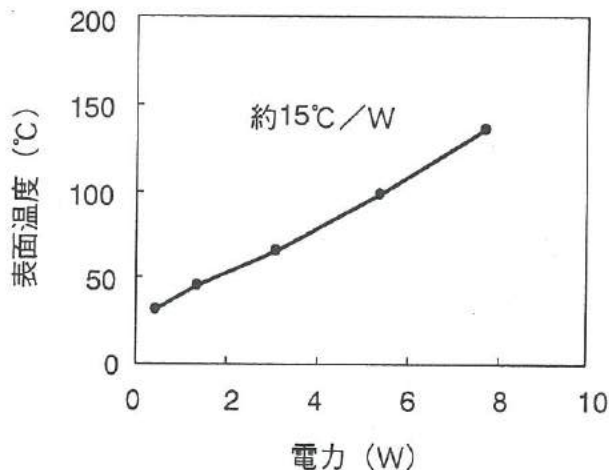


図9 ヒータ部の発熱能力

Fig.9. Heating capability of heater.

4.2 ヒータ部の設計

上記の検討結果をもとに、以下の項目を考慮してセンサに組み込まれるヒータの形状設計を行った。

- ① センサの動作温度は150～200℃程度である。
 - ② 減圧雰囲気中で、1～2Wの投入電力で必要な発熱量が得られるように素子を小型化する。
 - ③ p型拡散層とSi基板との耐圧を考慮し、印加電圧は10～20Vとする。
 - ④ ②、③の条件からヒータの抵抗値は100～200Ωとする。
 - ⑤ p型拡散層のシート抵抗は約100Ω/□であるため、ヒータパターンの長さとの比は1:1～2:1とする。
- なお、ヒータ部の抵抗値は次式で表される。

$$R = R_s \times \frac{L}{W}$$

R: ヒータ部の抵抗値 R_s : シート抵抗

L: 抵抗体の長さ W: 抵抗体の幅

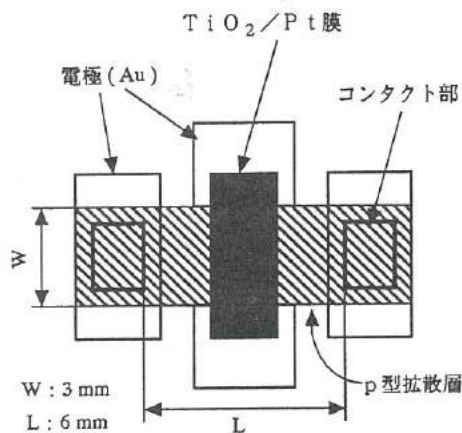


図10 ヒータ部のパターン形状

Fig.10. Pattern of heater.

設計したパターン形状を図10に示す。ヒータである抵抗体の形状を長さ6mm、幅3mmとして200Ωの抵抗値が得られるようにした。さらに、センサ部をヒータ部に直交するように配置し、電極(Au)がお互いに接触しないようにセンサ形状を決定した。設計した複合型酸素センサの外寸法は10mm×8mmであった。この設計をもとに、ヒータパターン用および電極接続部(コンタクトホール)用の2種類のフォトマスクを作製した。

4. 3 ヒータ部の作製と複合化方法

図11に複合型酸素センサの各作製工程での断面構造を示す。以下に、各工程の概要についてヒータ部を中心に述べる。

- ① 体積抵抗率が $10\Omega \cdot \text{cm}$ のn型(100)Siを基板とする。
- ② ウェット雰囲気中で 1000°C 、80分間の熱酸化を行い、約 300nm の酸化膜を形成する。
- ③ ネガ型フォトリソ(OMR83)を塗布し、 85°C で20分間プリベークする。
- ④ ヒータパターンのフォトマスクをレジスト面に合わせ露光する。
- ⑤ 現像を行い、 145°C で20分間ポストベークし、バッファードフッ酸を用いて露出した酸化膜をエッチングした後、レジストを除去する。
- ⑥ 露出したSi基板に、p型不純物であるボロンを 950°C で30分間拡散し、ヒータ部の抵抗体を形成する。
- ⑦ 再度、 1000°C で200分間のウェット酸化を行い、ヒータ上に約 500nm の酸化膜を形成する。

ここまでが、ヒータ部の作製工程である。

- ⑧ ヒータ面上にTi/Pt膜をスパッタリングで形成する。
- ⑨ $500\sim 600^\circ\text{C}$ で酸化処理を行い、Ti/Pt膜を TiO_2/Pt 膜にする。
- ⑩ ヒータの電極部用のフォトマスクを用い、③～⑤と同様の工程でコンタクトホールを形成する。
- ⑪ ヒータおよびセンサの電極部にAuをスパッタリングする。

図12は、試作した複合型酸素センサの概観を示す。

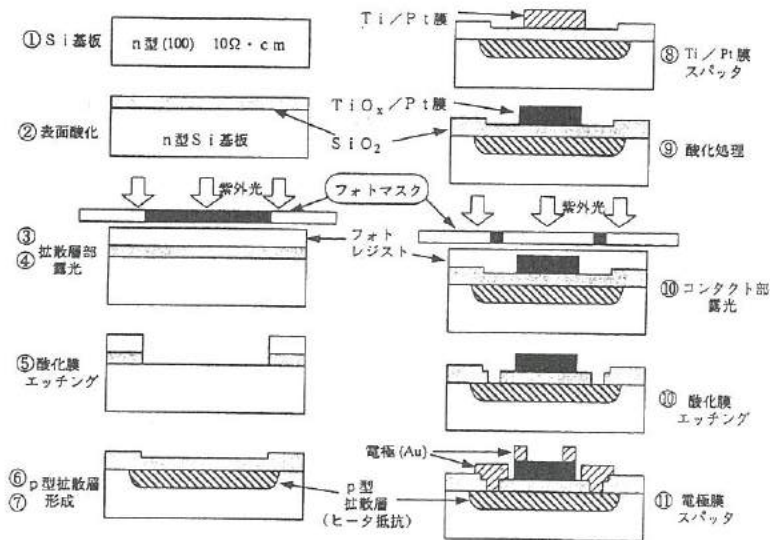


図11 センサの各工程での断面構造

Fig.11. Cross sectional views of sensor in process.

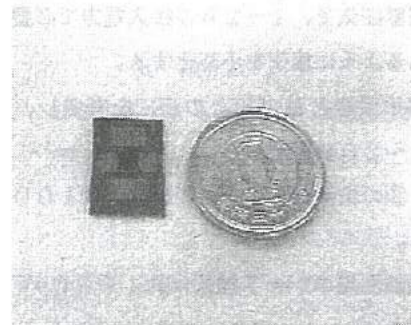


図12 複合型酸素センサの概観

Fig.12. Combined oxygen sensor.

4. 4 評価方法

作製したヒータの発熱能力を評価した。このヒータの発熱温度の測定については、測定装置の制約で熱電対の使用が困難であったため、センサ部である TiO_2/Pt 膜の温度特性を利用して行った。以下にその方法を示す。

- ① 試料を温度制御可能なステージ上に設置し、センサ部の抵抗値の温度特性を測定する。
- ② ヒータ部に電流を流して発熱させ、センサ部の抵抗値を測定する。(このときステージの温度制御はしない)
- ③ ②で測定した抵抗値を①の温度特性で換算してヒータの発熱温度を求め、投入電力と温度の関係を求める。

測定は、センサ部の評価条件である 4×10^{-2} Torrの真空中と 4×10^{-1} Torrの減圧窒素雰囲気中で行った。

4. 6 実験結果及び考察

試作したヒータ部の抵抗値は $193\ \Omega$ (室温)で、ほぼ設計どおりの値であった。このヒータ部の発熱実験の結果を図13に示す。真空中での発熱能力 $250\ ^\circ\text{C}/\text{W}$ に対し、減圧窒素雰囲気中では $150\ ^\circ\text{C}/\text{W}$ と差が見られた。これは、真空中と減圧窒素雰囲気中での熱伝導の差によるものと考えられる。対流のほとんどない真空中では表面からの放熱量が少ないのに対し、減圧窒素雰囲気中でのものは対流による表面からの放熱量が大きいと考えられる。約 $1\ \text{W}$ の投入電力で約 $180\ ^\circ\text{C}$ の温度が得られ、複合型酸素センサのヒータとしては十分な能力と考えられる。この試料に対して複合型酸素センサとしての評価を行ったが、酸素には反応しなかった。この原因が複合化によるものか、センサ部の作製条件によるものかについては、試料数を多くしてさらに検討する必要がある。

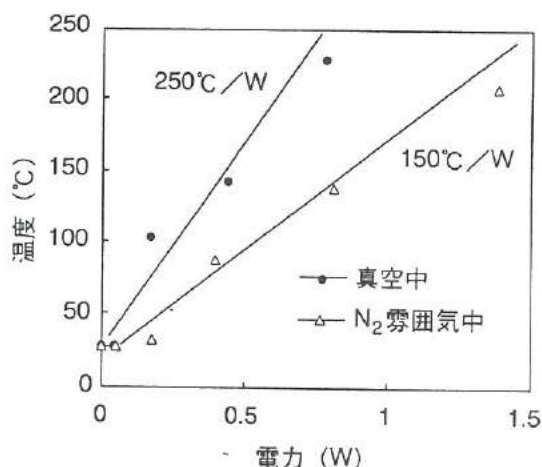


図13 試作したヒータ部の発熱能力

Fig.13. Heating capability of fabricated heater.

5. 結 言

本研究では、低温動作の酸素ガスセンサを開発するため、 TiO_2/Pt 系の薄膜を作製した。さらに、ヒータ部としてシリコン中のボロン拡散層を用いることにより、半導体基板と一体化したセンサの形成を試みた。得られた結果をまとめると以下のようになる。

- ① Ti中のPtの量が約2.8% (ターゲット面積比)のものを1 Torrの真空中、 $525\sim 550\ ^\circ\text{C}$ で熱処理した場合、約 $180\ ^\circ\text{C}$ で酸素に対する応答がみられた。
- ② ESCAによる分析結果から、表面は TiO_2 層が形成されており、内部は TiO_2/Pt の混合層になっていると考えられる。また、膜厚は酸化処理後に約70~80%増加する。
- ③ 試作した半導体ヒータは、幅3 mm、長さ6 mmのボロン拡散層の場合、 4×10^{-1} Torrの窒素雰囲気中では $150\ ^\circ\text{C}/\text{W}$ の発熱能力があり、1~2 Wの電力で $180\ ^\circ\text{C}$ のセンサ動作温度を得ることができた。

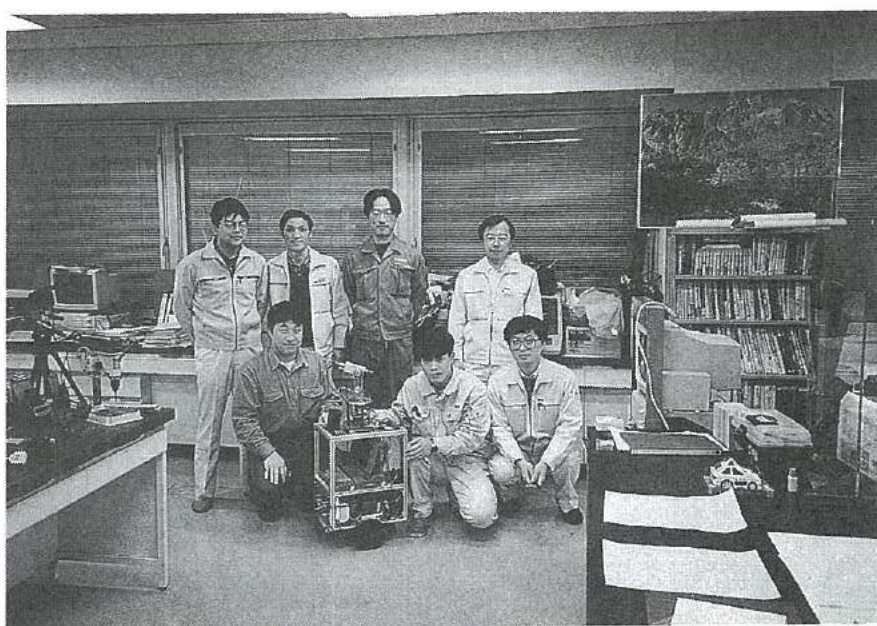
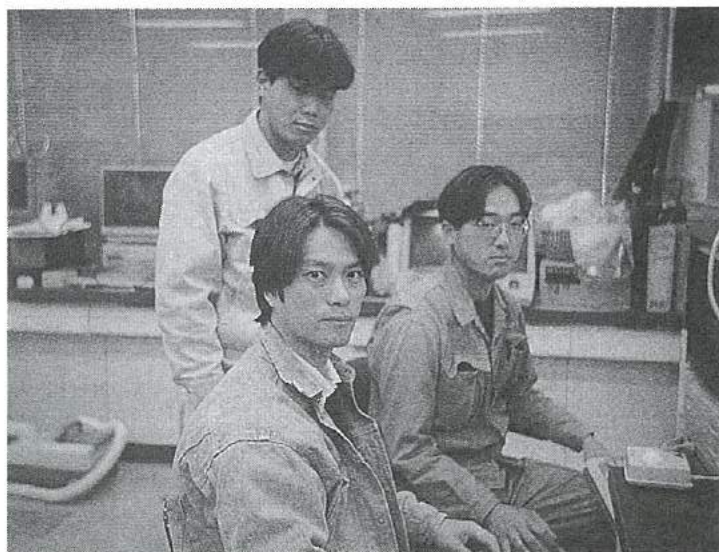
6. 謝 辞

本研究を行うにあたり、助言と協力をいただいた電気通信大学の小野洋氏に深く感謝致します。

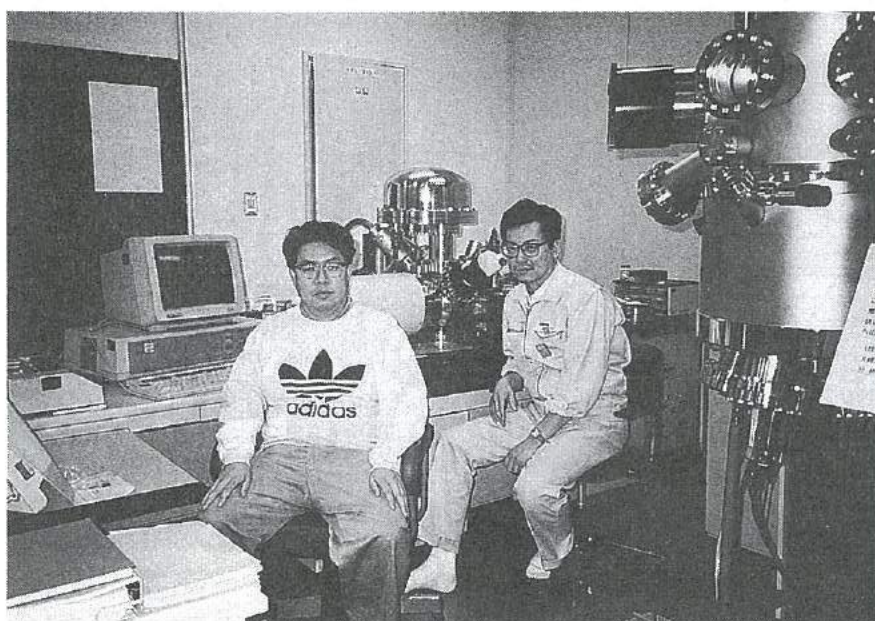
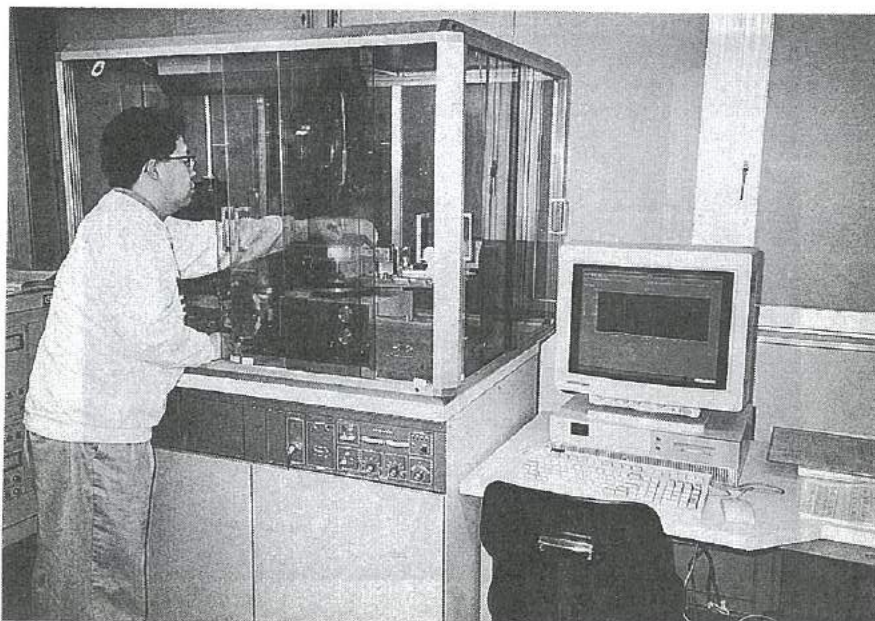
参考文献

- (1)H.Ono, H.Morisaki, A.Horiike, K.Yazawa, Jpn. J. Appl.Phys. 29 (1990) 1157
- (2)H.Ono, H.Morisaki, K.Yazawa, Tech. Dig. 7th Sensor Symp. (1988) 25

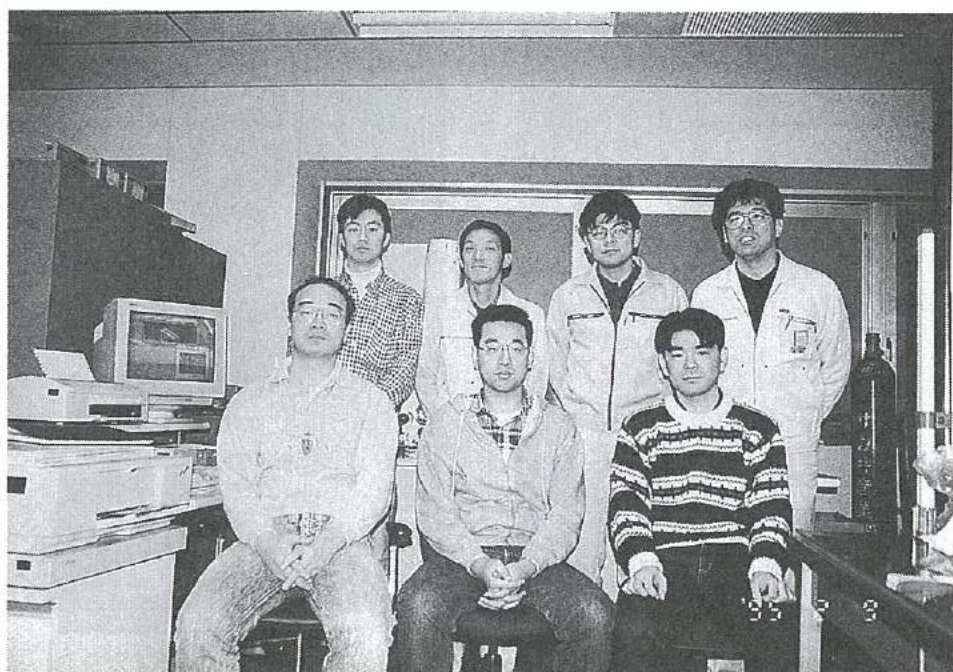
「視覚を持つ移動ロボットの開発」グループの研究活動風景



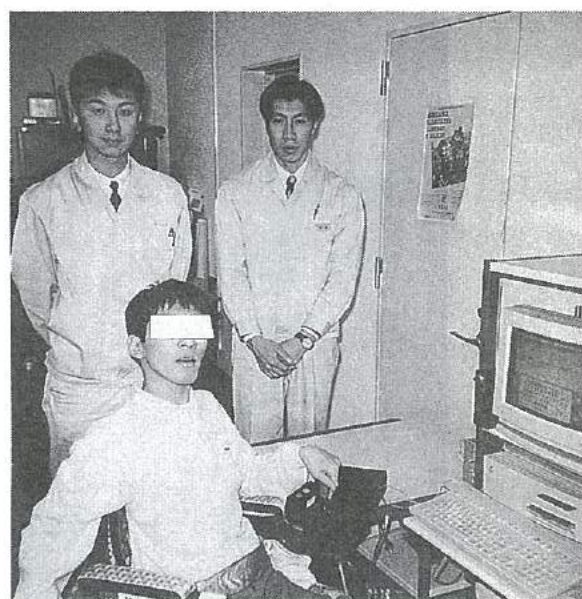
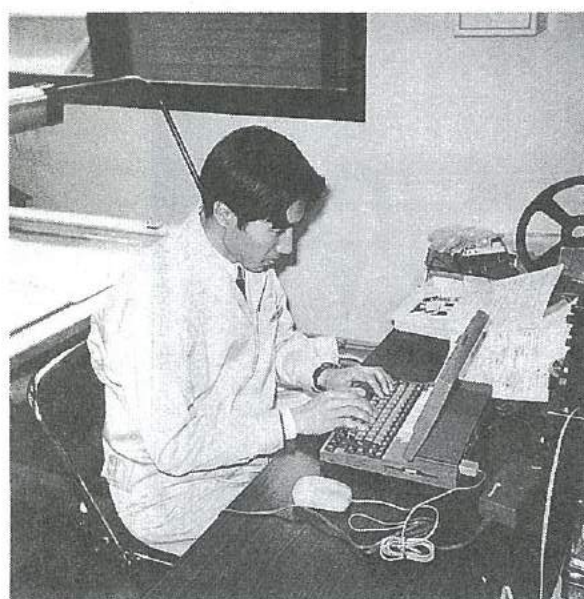
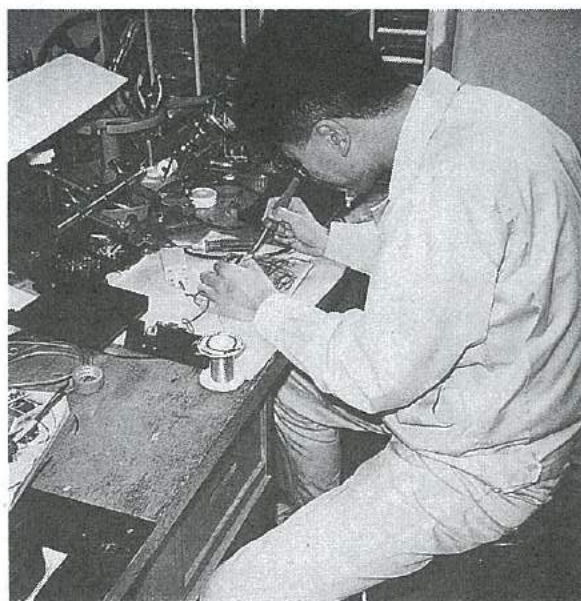
「リン酸系エッチング液の研究」グループの研究活動風景



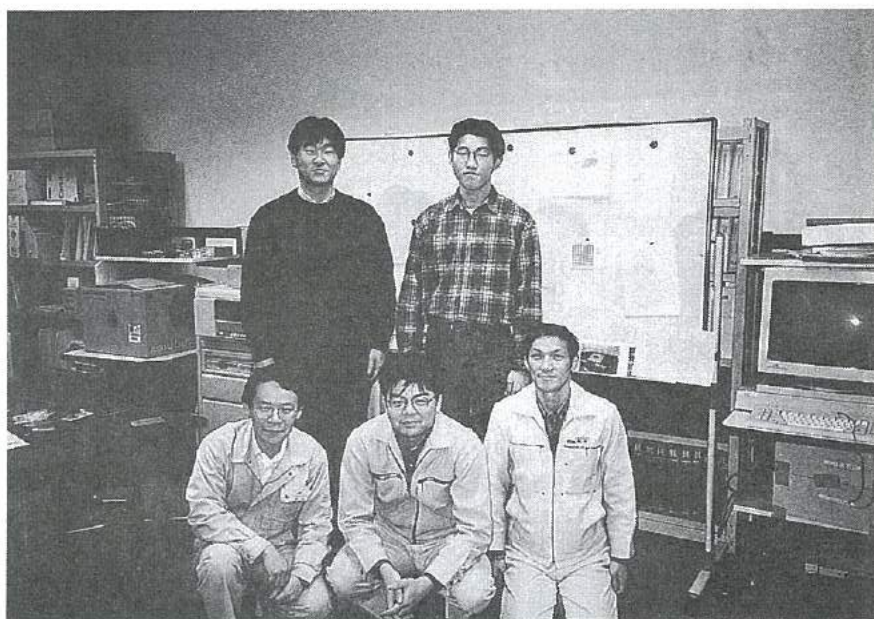
「傾斜機能膜素子の開発」グループの研究活動風景



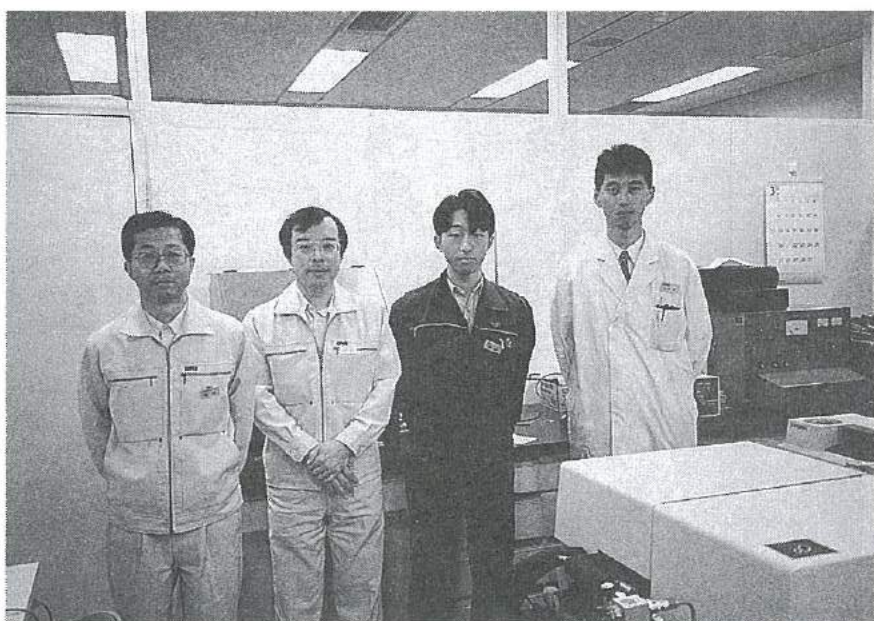
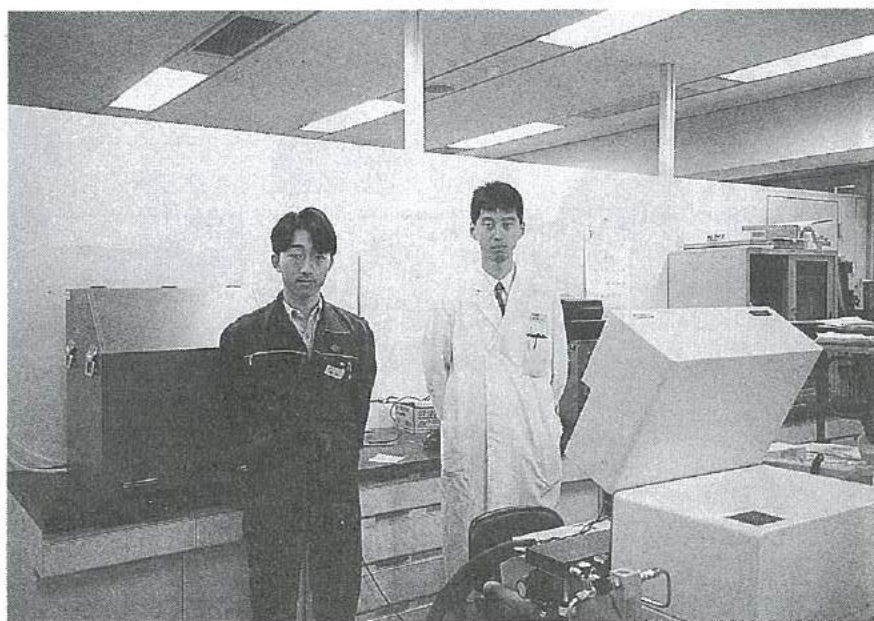
「障害者屋内環境制御装置の開発」グループの研究活動風景



「3次元入力デバイスの開発」グループの研究活動風景



「機能薄膜・半導体複合素子開発」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

○8年間の研究テーマ数：47テーマ（昭和62年度～平成6年度）

○参加研究員延べ人数：122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（燐化学工業㈱）

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（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 (㈱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
始井 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 (株)タカギセイコー)・堀田 正人 (東洋化工(株))

◎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(株))・山口 睦 (磷化学工業(株))

◎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(株))・中村 和禎 (株)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(株))

◎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 (株)タカギセイコー)・寺本 正夫・杉谷 健 (コーセル(株))

中村 厚平 (エヌアイシ・オートテック(株))・松田 英雄 (株)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(株))・田村 雅英 (北陸電気工業(株))

◎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 (磷化学工業(株))

◎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(株))・福本 滋 (北陸電気工業(株))

三松 克次 (株)タカギセイコー)・山下 慎也 (株)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(株))・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(株))・米谷 庄一 (三協アルミニウム工業(株))

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

第6回全国生涯学習フェスティバル主催事業

ま な び ピ ア と や ま '94

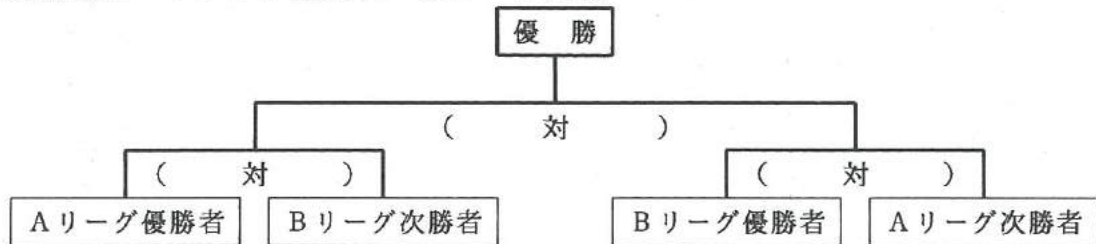
【中学・高校生の自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト】

1. 競技日：平成6年10月8日（土）午前9時～午後4時
2. 会 場：富山技術開発財団富山技術交流センター2階大研修室
3. 主 催：若い研究者を育てる会
4. 共 催：富山県工業技術センター機械電子研究所、富山技術開発財団
5. 参加チーム：10チーム、22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、次勝は本戦及びPK戦でも決着がつかず、ジャンケンで決定。
優 勝 北方 寛丈・堀 芳彰：石川県内灘町立内灘中学校
自作マシンの愛称：キャッチャーくん
次 勝 宮田 智弘・窪田 幸生：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：アクションBoy
7位7賞 大沢 貴志・野田 悟史：富山県立魚津高等学校
自作マシンの愛称：迷走六面体及び突起付回転円柱
" 町野三佐紀・沢田 純子・高井友紀子：富山県立富山北部高等学校
自作マシンの愛称：さ く ら
" 小田 巖・水野 隆・桑島 浩司：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：アタッカー
努力賞 敷 直人・針山 英明：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：初心者くん
" 釣 允大・横江 英明：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：ホースメン
" 熊田 光宏・的場 淳：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：K o K E T Y
" 山本 公祐・新井 泰：富山県立上市高等学校
自作マシンの愛称：21（トゥウェンティーワン）
" 大坪 克俊・藤掛 利夫：富山県立富山東高等学校
自作マシンの愛称：蹴鬼I号、II号
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
8. 入場者総数
102名

○サッカーゲームコンテスト次第

1. 受付：午前8時30分～
2. 抽選、競技説明、練習とメンテナンス：午前9時～午前10時
3. 競技（午前の部）：午前10時～午後0時
4. 休憩：午後0時～午後1時
5. 競技（午後の部）：午後1時～午後2時30分
6. マシン製作発表会（1チーム5分程度）と講評：午後2時30分～午後3時30分
7. 表彰式：午後3時30分～
8. 閉会

○優勝決定トーナメント戦組合せ（Aコート使用）



○予選リーグ戦組合せ表（組合せは抽選する）

Aリーグ組合せ（Aコート）

チーム名	a	b	c	d	e
a	⌘	1	6	9	3
b	1	⌘	4	7	10
c	6	4	⌘	2	8
d	9	7	2	⌘	5
e	3	10	8	5	⌘

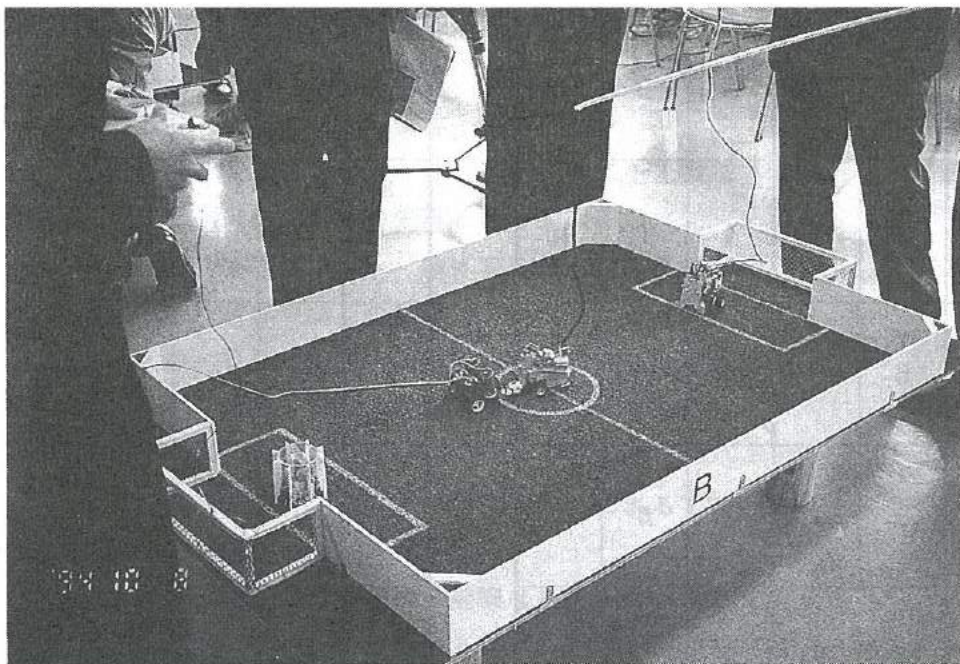
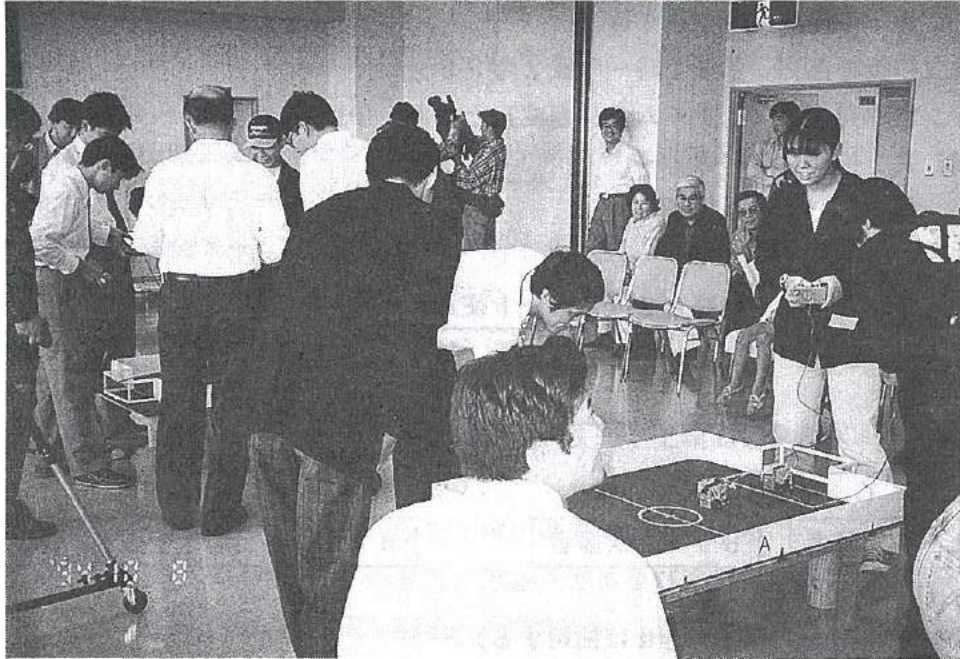
（表中の数字はゲームの順番）

Bリーグ組合せ（Bコート）

チーム名	f	g	h	i	j
f	⌘	1	6	9	3
g	1	⌘	4	7	10
h	6	4	⌘	2	8
i	9	7	2	⌘	5
j	3	10	8	5	⌘

（表中の数字はゲームの順番）

サッカーゲームコンテスト風景



会 員 企 業

平成7年3月16日現在 (50音順)

	企 業 名	代 表 者 名	当 会 運 営 委 員	電 話
1	(株)和泉電気富山製作所	坂上 勝昭		0764-69-2151
2	(株)インテック	中尾 哲雄	末岡 宗広	0764-32-5511
3	エヌアイシ・オートテック(株)	西川 健二	西尾 謙夫	0764-91-1877
4	北日本電子(株)	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
5	コーセル(株)	飴 久晴	町野 利道	0764-32-8151
6	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	0764-68-2727
7	サクセス・マーケティング(株)	鈴木 幸夫	中澤 光典	0764-25-4547
8	三協アルミニウム工業(株)	荒井 久夫	島 勲	0766-86-8000
9	(株)スギノマシン	杉野 芳宏	龍口 幹夫	0765-24-5111
10	(株)タカギセイコー	高木 正明	松山 英省	0766-84-9261
11	タカノギケン(株)	高野 啓良	杉森 智重	0764-55-2525
12	武内プレス工業(株)	武内 繁和	浅井 吉夫	0764-41-1856
13	立山アルミニウム工業(株)	竹平栄太郎	松田利喜男	0766-20-3121
14	立山科学工業(株)	水口昭一郎	掘田 孝章	0764-29-3588
15	立山製紙(株)	二木 治夫	渡辺 章夫	0764-63-1311
16	立山電化工業(株)	園 晶雄	高嶋 峰雄	0766-23-2377
17	(株)タナカエンジニアリング	田中儀一郎	杉木 康之	0764-51-5600
18	東洋化工(株)	中田 守人	藤田 晃一	0764-75-2125
19	富山軽金属工業(株)	荒井 久夫	政 誠一	0766-84-9098
20	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
21	北陸電気工業(株)	中村 正夫	若林 守光	0764-67-1111
22	(株)リッヂェル	松木 幹正	岩城 隆夫	0764-78-2155
23	磷化学工業(株)	嶋原 佑治	松本 俣博	0766-86-2511
24	YKK(株)黒部事業所	吉田 隆久	飯村 善孝	0765-57-1111

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)

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7年3月16日発行
印刷所	有限会社新響社

* 無断転載を禁ずる。非売品。