

平成 9 年 度

(第 11 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研 究 論 文 集

平成 10 年 3 月 13 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

富 山 大 学 工 学 部

富 山 県 立 大 学 工 学 部

富 山 県 高 志 リ ハ ビ リ テ ー シ ョ ン 病 院

富 山 医 科 薬 科 大 学

ご あ い さ つ

会長 野村正也



若い研究者を育てる会は、この発表会をもって
11回ということになります。

全国的にみても県と民間企業が協力して技術開発
にあたっている例は多くはないようですし、“研究
者を育てる”ことを主旨とする会は他に例がないの
ではなかろうかと思えます。

11年もの長きにわってこの会を支えていただい
た谷野課長をはじめとする工業技術センターの皆さん、技術開発財団を通して御支援をい
ただいている県当局、そして御多忙の時間を割いて見守っていただいている石坂誠一富山
国際大学長、特別顧問の南日康夫先生をはじめとする皆様に心から感謝申し上げます。

また参加企業の各位におかれましては、技術的人材の育成の観点から貴重な技術者を派
遣して来られたことに敬意を表したいと思います。技術者は一般に自分の仕事に埋没して
井の中の蛙になる傾向は否めません。このような会を通して技術者同士の出会いの中から
視野が広まり、更には研究開発のメソッドを実践的に学ぶことができるのは非常に大きな
意味を持つものであります。副産物として工業技術センターのメンバーと友達になり、気
軽にアドバイスを求めることができるようになってきているのも大きな収穫のひとつでありま
す。

富山県工業技術センターは県民1人当りに換算した特許出願数は日本一であるとのこと、
このような名誉あるポジションを占められたことを素直にお喜び申し上げますと共に、育
てる会をひとつの例とする官民協力がお互いの刺激となってこの結果に少しは寄与してい
るものと自負しているところです。企業の側においても技術開発の刺激になっていること
は間違いのないところではないでしょうか。

この若い研究者を育てる会が今後も有意義に発展して行くよう、各位の変わらざる御支
援をお願いしてごあいさつとさせていただきます。

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20社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成9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6グループ（6テーマ）が実施してきた研究の成果をまとめたものである。なお、6テーマの内2テーマについては、富山大学工学部および富山県立大学工学部が研究指導協力を行った。



ここでは、まず最初に富山県工業技術センター機械電子研究所で実施した6テーマの研究の内の4テーマの研究概要について述べ、次に富山県立大学工学部が研究指導協力した1テーマの研究概要、最後に富山大学工学部が研究指導協力した1テーマの研究概要について述べる。

①「レドックス型太陽発電システムの開発（3）」の研究グループ（参加企業3社、公設試1機関）では、昨年度に引き続き、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目的として、 TiO_2 膜およびルテニウム錯体を用いた液体電解質型太陽電池の性能に検討を加えた。

この研究から、(1) TiO_2 粉末の最適粒径は30nm、最適焼成温度は300℃および最適膜厚は10 μ m前後である、(2)カソードの表面積が高いほど、また、電極間距離が狭いほど高い光電変換効率を得ることができる、および(3)これらの最適条件を揃えたレドックス型太陽電池の光電変換効率は3.6%前後であった、などの成果を得た。

②「電力変換用圧電セラミックストランスの開発」の研究グループ（参加企業2社）では、圧電トランスに適した圧電セラミックス材料の開発と、高周波駆動に適した新型構造の圧電トランスの考案、試作を試みた。

この研究から、(1)チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）に種々の材料を添加して性能の向上を図ったところ、PZTにMn-Nbを添加した材料は電気機械結合係数および機械品質係数がともに向上する、(2)入力に厚みすべり振動を、出力に縦効果振動を利用した新型の圧電トランスを考案、試作した結果、共振周波数530KHzにおいて3.8W/cm³の電力密度を有する圧電トランスを開発した、などの成果を得た。

③「局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発」の研究グループ（参加企業3社、大学1校）では、形状記憶合金膜に局部的なレーザー加熱処理を施すことによって、ねじれなどの3次元的动作をするアクチュエータの開発を試みた。

この研究から、(1)バイアス膜（銅箔）と形状記憶合金膜との熱膨張係数の差を利用した、可逆的な形状変化を示すアクチュエータを作製することが可能である、(2)NiTi形状記憶合金膜で作製したアクチュエータに局部的なレーザー加熱処理を施すことによってねじれ動作が可能となり、ねじれ量はレーザーの照射幅、照射角度で調整できる、などの成果を得た。

④「電気自動車の開発」の研究グループ（参加企業3社）では、まず、既存の電気自動車（3種類）の利点、問題点などを調査し、その結果を踏まえて新しいコンセプトによる電気自動車を企画、設計、試作した。

この研究から、(1)グランドアップ方式のものには電気自動車としての優位性が見られる、(2)調査結果に基づき、左右輪独立駆動制御方式、ステアリングおよびペダルのないジョイスティック操作方式の一人乗り電気自動車を試作した、(3)試作したものは直進走行は十分に可能であったが、左右輪の駆動力だけで右折、左折を試みた結果、現時点では不可能であった、などの成果を得た。

富山県立大学工学部 工学博士 山本 倫久

⑤「複数のロボットによる協調制御の研究(2)」の研究グループ（参加企業2社）では、昨年度に引き続き視覚機能を持った2台のロボットにおいて、目標に向かって進むマスターロボットを、スレーブロボットが一定の距離を保って追いかけるシステムの開発を試みた。

昨年度の問題を解決するため、(1)駆動用パルスモーターのトルクを3倍に向上、(2)タイヤのスリップの防止、(3)モータドライバICのパワー向上とプログラム変更を容易にするための変更、などの改造を行った。

相手ロボットをLEDとCCDカメラの測定システムで認識の上、自機の方向と速度をニューラルネットワークを用いて決定し、ロボットの動きを制御した。

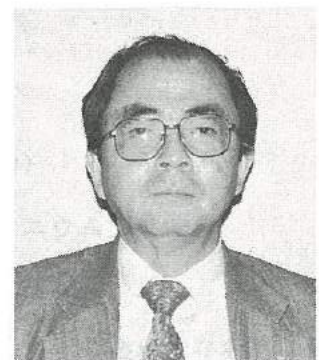
その結果、マスターロボット直進時に、ロボット間距離が 300 ± 10 mmで安定した走行を行なうことができた。そして、お互いのロボットが荷物を落とさずに搬送し、協調制御を行なっていることを確認した。



富山大学工学部 工学博士 龍山 智榮

⑥「生活環境用臭センサの開発」の研究グループ（参加企業3社）では、最近問題となっている「シックハウス症候群」の原因と考えられるVOC（揮発性有機物質）ガスを検出し、室内の空気汚染度を評価するセンサの開発を試みた。センシングには複数の異なった特性を有する半導体ガスセンサを組み合わせる手法を検討した。

この研究から、(1)3種（ホルムアルデヒド、キシレン、トルエン）の汚染ガスに対して、23種類の酸化半導体のガス感度を調べたところ、n型4種（ ZnO 、 SnO_2 、 WO_3 、 In_2O_3 ）、p型2種（ Co_3O_4 、 Cr_2O_3 ）が特に感度がよい、(2)上記3種の汚染ガスそれぞれに対しては、ホルムアルデヒドに SnO_2 、 In_2O_3 、キシレンに WO_3 、 In_2O_3 、トルエンに In_2O_3 、 ZnO が感度がよい、(3)センサの高感度化を図るため、触媒として貴金属を添加したところ、大幅な感度向上がみられた、などの成果を得た。



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11年間で実施した67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ている。特許出願に関しては、本会の研究は必ずしも企業化を目的とはしていないにもかかわらず、今年度出願した1件を含めて、過去に共同で10件程度出願している。

また、本研究で得られた成果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。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10年3月

研究グループの構成

I. レドックス型太陽発電システムの開発（3）グループ

研究担当者 田畑 裕信（中越合金鋳工㈱）
市川 良雄（富山軽金属工業㈱）
野中 義夫（㈲トヤマ技術開発研究所）
長谷川益夫（林業技術センター木材試験場）
研究指導者 ○山崎 茂一（工業技術センター機械電子研）
松田 敏弘（ ” ” ）
角崎 雅博（ ” ” ）
谷野 克巳（工業技術センター企画管理部）

II. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）グループ

研究担当者 森田 裕之（立山アルミニウム工業㈱）
渡辺 暁信（㈱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）
藤井 弘之（ ” ” ）
清水 孝晃（ ” ” ）
谷野 克巳（工業技術センター企画管理部）
山本 倫久（富山県立大学工学部）

III. 生活環境用臭センサの開発グループ

研究担当者 垣内由美子（コーセル㈱）
小島 理敬（三協アルミニウム工業㈱）
角谷 哲哉（北陸電気工業㈱）
研究指導者 ○角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）
二口 友昭（ ” ” ）
寺澤 孝志（ ” ” ）
谷野 克巳（工業技術センター企画管理部）
龍山 智榮（富山大学工学部）

IV. 電力変換用圧電セラミックストランズの開発グループ

研究担当者 堀井 一宏 (コーセル㈱)
柳川 新 (立山科学工業㈱)

研究指導者 ○二口 友昭 (工業技術センター機械電子研)
杉森 博 (")
角崎 雅博 (")
谷野 克巳 (工業技術センター企画管理部)

V. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発グループ

研究担当者 野上 拓也 (㈱タナカエンジニアリング)
山田 浩美 (東洋化工㈱)
丹保 哲也 (北陸電気工業㈱)
滝川健太郎 (金沢大学工学部)

研究指導者 ○高林 外広 (工業技術センター機械電子研)
佐山 利彦 (")
清水 孝晃 (")
谷野 克巳 (工業技術センター企画管理部)

VI. 電気自動車の開発グループ

研究担当者 坂本 雅美 (㈱斉藤製作所)
藤木 和幸 (㈱タカギセイコー)
高橋 聡 (㈱タナカエンジニアリング)

研究指導者 ○清水 孝晃 (工業技術センター機械電子研)
藤城 敏史 (")
寺澤 孝志 (")
中川 章 (")
谷野 克巳 (工業技術センター企画管理部)

註：各グループ中、企業名は50音順

○印は各研究グループのチーフ

目 次

I. レドックス型太陽発電システムの開発 (3)	1
1. 緒 言	1
2. レドックス型太陽電池	2
3. 試料の作製と実験方法	2
4. 結果および考察	4
5. 結 言	8
II. 複数のロボットによる協調制御の研究 (2)	9
1. 緒 言	9
2. 搬送ロボットの概要	9
3. 本年度の課題と目標	11
4. 搬送ロボットの性能	13
5. 結 言	14
III. 生活環境用臭センサの開発	15
1. 緒 言	15
2. ガスセンサ	16
3. 実験方法	17
4. 実験結果および考察	19
5. 結 言	22
IV. 電力変換用圧電セラミックストランスの開発	23
1. 緒 言	23
2. ローゼン型圧電トランス	23
3. 圧電トランス材料に関する検討	24
4. 新型圧電トランスの検討	26
5. 結 言	30

V. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発	-----	3 1
1. 緒 言	-----	3 1
2. 動作原理	-----	3 2
3. 実験方法	-----	3 2
4. 実験結果および考察	-----	3 3
5. 結 言	-----	3 6
VI. 電気自動車の開発	-----	3 7
1. 緒 言	-----	3 7
2. 電気自動車の概要	-----	3 7
3. 電気自動車の基本設計	-----	3 9
4. 電気自動車の試作	-----	3 9
5. 走行実験結果	-----	4 1
5. 結 言	-----	4 2
○各研究グループの研究風景	-----	付- 1
○「若い研究者を育てる会」11年間の研究活動の足跡	-----	付- 7
○第4回『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-14
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-15
○入会申込書	-----	付-16

I. レドックス型太陽発電システムの開発 (3)

Development of Redox Solar Cell System (3)

市川 良雄 <i>ICHIKAWA Yoshio</i>	田畑 裕信 <i>TABATA Hironobu</i>	野中 義夫 <i>NONAKA Yoshio</i>	長谷川 益夫 <i>HASEGAWA Masuo</i>
山崎 茂一 <i>YAMAZAKI Shigekazu</i>	松田 敏弘 <i>MATSUDA Toshihiro</i>	角崎 雅博 <i>KADOSAKI Masahiro</i>	谷野 克巳 <i>TANINO Katsumi</i>

Abstract

A redox solar battery which uses dye-sensitized titanium dioxide was investigated. The solar battery cell had an anode of ruthenium complex dye adsorbed TiO₂ film. The TiO₂ film was prepared by sol-gel coating method on ITO glass. Solution of tetrapropylammonium iodide (TPAI), potassium iodide (KI) and iodine (I₂) was mainly used as electrolyte. Mixture of ethylene carbonate (EC) and acetonitrile (AN) was used as the solvent. Cathode material was Pt. We examined the influence of material of anode, electrolyte, cathode, and the structure of solar battery cell on photovoltaic characteristics.

The results were as follows:

- (1) Anode: When the heat treatment temperature was 300°C and the dipping count was three times, the highest light-to-electric energy conversion efficiency was obtained. The particle size of TiO₂ powder did not influence the conversion efficiency.
- (2) Electrolyte: TPAI showed higher conversion efficiency than NaI as electrolyte. The highest conversion efficiency was obtained, when the solvent ratio of EC / AN examined was 10 / 90.
- (3) Cathode: The larger cathode surface area resulted in higher conversion efficiency.
- (4) Structure of battery: The shorter distance of the interelectrode resulted in the higher conversion efficiency. The use of copper foil as current collector on ITO glass resulted in considerable improvement on conversion efficiency.
- (5) The highest conversion efficiency obtained in this research was 3.6%.

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や石油を使って豊かな生活を築いてきた。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、依然として石炭や石油などの過去の太陽エネルギーの賜に頼っているため、その枯渇と環境汚染が問題となっている。一方、地表に注がれる太陽光エネルギーは毎秒約20兆kcalであり、そのエネルギーは約80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、太陽電池によるエネルギー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まで引き下げる必要がある。コストダウンを図りながら変換効率を上げ得る材料として、二酸化チタン(TiO₂)などの光半導体への関心が高まっている。

TiO₂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、TiO₂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、耐久性はきわめて高い。TiO₂は光照射されると強い酸化力を持ち、水溶液中では水酸ラジカルを発生させる。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いため、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。また、ルテニウム(Ru)錯体などの色素をTiO₂にコートすることにより、TiO₂が利用できない可視光で光電変換する特性を示すことから変換効率の大幅な向上が期待できる^{(1)~(6)}。本研究では、酸化還元(レドックス)型太陽電池開発のため、初年度はTiO₂膜の作製条件と光電変換特性について検討し、昨年度はピピリジン系ルテニウム錯体をコートしたTiO₂膜の光電変換特性について基礎的検討を行った。本年度は昨年度に引き続き、ピピリジン系ルテニウム錯体をコートしたTiO₂膜について基礎的研究を行い、さらに、変換効率向上のためにレドックス型太陽電池のセル構造について検討を加えた。

2. レドックス型太陽電池

アノードであるTiO₂膜に太陽光が照射されると、TiO₂の価電子帯には正孔、伝導帯には電子が生じる。TiO₂に生じた正孔は電解液中の電解質（還元剤）から電子を受け取る。一方、電子は外部回路を通過して対向電極へ移動し、対向電極では電解液中の電解質（酸化剤）に電子を補給するという回路が形成される。つまり、TiO₂電極と対向電極で電解質（酸化還元対）の還元と酸化（レドックス反応）が行われ、太陽光発電が可能となる。しかし、TiO₂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。ピピリジン系ルテニウム錯体をはじめとする一部の金属錯体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。今回用いたルテニウム錯体の吸収スペクトルを、図1に示す。このルテニウム錯体は赤紫色を呈し、300~700nmの広い波長幅の光で励起反応を起こす。このためTiO₂膜とルテニウム錯体の組合せによって、紫外領域から可視領域の広い波長領域にわたって光電変換を示す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はルテニウム錯体をコートしたアノードの電子移動機構を示す。ルテニウム錯体の光励起反応により生じた電子は電極側へ移動し、ルテニウム錯体の正孔には電解液中の還元剤から電子の注入が起こる。図3はルテニウム錯体を利用した太陽電池セルの構造の一例を示す。

本研究では、アノード材料としてTiO₂ゾル液にTiO₂粉末を添加して塗布、焼成し、さらにルテニウム錯体をコートした膜について、アノードの作製条件、カソードの表面積、電解液の組成、電極構造が光電変換特性に及ぼす影響について検討した。

3. 試料の作製と実験方法

3.1 光電変換特性評価装置

評価用の太陽電池セルには、図4に示すようにアノードとカソードの間にスペーサをはさみ、そこに電解液を入れる構造のものを使用した。光源にはAM1.5の模擬太陽光（キセノンランプ）を用いた。入射光の強度は試料面位置で100,000lx（照射光を照度計で測定した値）であり、これは赤道直下南中時の快晴の太陽光強度（電力密度100mW/cm²）に相当する。測定には定エネルギー分光感度特性測定装置を用い、電圧-電流特性を測定した。また光電変換効率は最大電力密度を入射光の強度（100mW/cm²）で割った値とした。

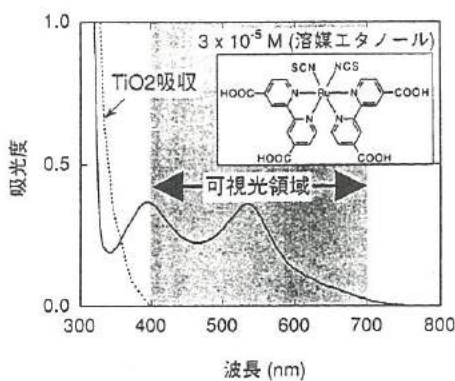


図1. ルテニウム錯体の吸収スペクトル

Fig.1. Absorption spectrum of ruthenium complex dye.

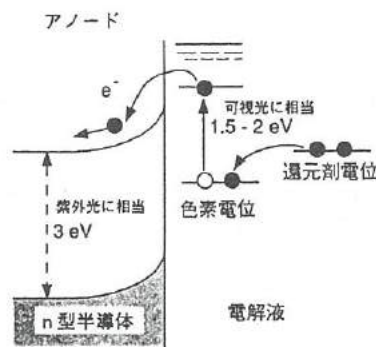


図2. ルテニウム錯体をコートしたアノードの電子移動機構

Fig.2. Electron transfer model of dye-coated anode.

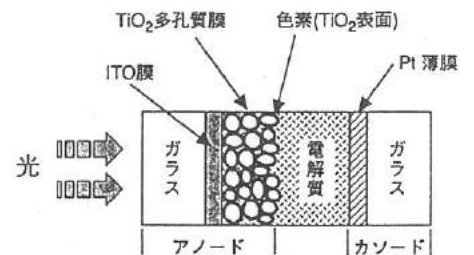


図3. ルテニウム錯体を利用した太陽電池セルの構造例

Fig.3. Structure of dye-coated TiO₂ solar cell.

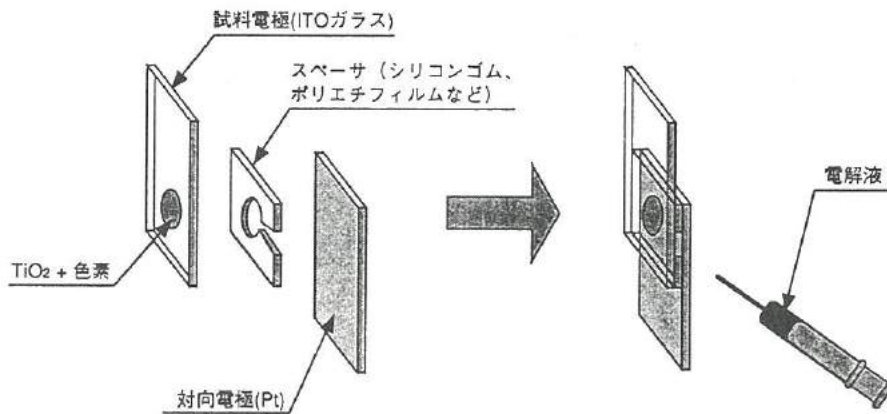


図4. 光電変換特性評価セル

Fig.4. Dye-sensitized TiO₂ cell for measurement of photovoltaic characteristics.

3.2 アノードの作製方法

(1) ソルゲル法によるTiO₂膜

透明な導電性膜付きガラス基板 (ITOガラス) にTiO₂膜をソルゲル法で形成した。図5はゾル液の作製方法を示す。ゾル液の合成後、約1週間室温中に放置した後、約1~2倍に濃縮し、さらにTiO₂粉末 (アナターゼ型) を添加した。TiO₂粉末は昭和タイタニウム㈱製の平均粒径が15、30および60nmのもの、A社製の20nm、B社製の30nmおよびC社製の15nmのものを用いた。DIP法の引き上げ速度は5mm/secとし、アセトン中で超音波洗浄したITOガラス面にTiO₂を付着させた後、70℃で10分間乾燥し、TiO₂は半径6mmの円状部分を残してほかの部分はアセトンでふき取り、大気中100~500℃の温度で1時間の焼成処理を施した。

(2) ルテニウム錯体の合成と電極へのコート

ルテニウム錯体には Grätzel の文献⁽²⁾より、もっとも光電変換効率の高い *cis*-di(thiocyanato) bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) ruthenium (II) を選定した。図6はこのルテニウム錯体の合成方法を示す。作製したTiO₂電極を70℃で1時間以上乾燥させた後、乾燥エタノール中にルテニウム錯体を 3×10^{-4} M溶解した液に、2~4時間以上浸漬させてルテニウム錯体の電極へのコートを行った。

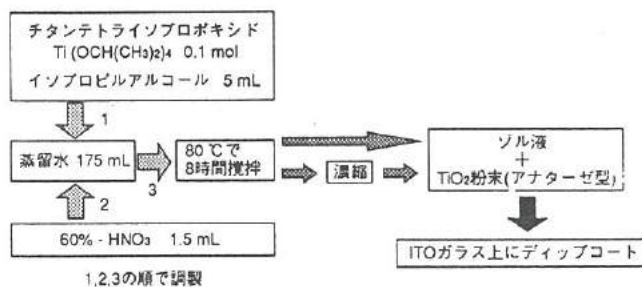


図5. ソル液の作製方法

Fig.5. Preparation method of sol solution.

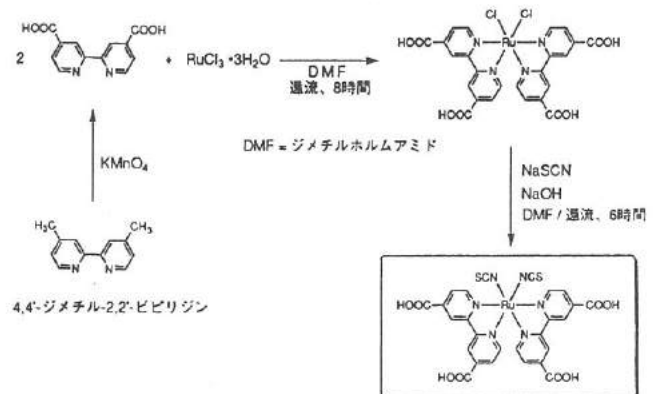


図6. ルテニウム錯体の合成方法

Fig.6. Synthetic method of ruthenium complex dye.

3.3 カソード材料の選定

カソードは、主にガラス基板上に白金 (Pt) 膜 (厚さ約 $0.1\mu\text{m}$) をスパッタリングで形成したものをを用いた。白金膜の下地には、ガラス基板との密着性の改善ためTi膜をスパッタリングで形成した。また白金板、白金板の表面を#400のサンドペーパーでこすり荒らしたもの、および白金黒についても検討を加えた。

3.4 電解液

酸化還元対には $3\text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$ 系を使用し、電解液の電解質と溶媒について検討を加えた。電解液には2系統のものをを用い、これらの概要を以下に示す。

①ヨウ化ナトリウム (NaI) : $0.1\sim 1.0\text{M}$ 、ヨウ素 : 0.04M 、

溶媒 : エチレンカーボネート (EC) / アセトニトリル (AN) = $10/90$ 、 $30/70$ 、 $50/50$ および $80/20$

②テトラプロピルアンモニウムヨージド (TPAI) : 0.5M 、ヨウ化カリウム (KI) : 0.02M 、ヨウ素 : 0.04M 、

溶媒 : EC/AN = $10/90$ 、 $30/70$ 、 $50/50$ および $80/20$

4. 結果および考察

4.1 アノードの検討

本研究では、アノード物質であるルテニウム錯体をコートした TiO_2 膜の光電変換特性を調べるために、焼成温度、 TiO_2 粉末の粒径および TiO_2 膜の膜質について調査した。

(1) 焼成温度

予備実験として、DIP法の引き上げ速度を $0.1\sim 5\text{mm/s}$ まで変化させて実験を行った結果、引き上げ速度が速いほど、均一で厚い膜が得られたため、以後の実験は引き上げ速度を 5mm/s とした。

TiO_2 膜の焼成温度がITOの表面抵抗および光電変換特性に及ぼす影響を調査した。ITOの表面抵抗は焼成温度 300°C 以上で急激に上昇した。図7は TiO_2 膜の焼成温度と変換効率の関係を示す。図より焼成温度が 300°C で変換効率は極大値を取ることが分かった。これはITOの抵抗が 300°C 付近から急激に上昇したことと一致する。すなわち焼成温度が 300°C 以上ではITOの抵抗が増大することによりセル全体の内部抵抗が上昇し、変換効率の低下を招くものと考えられる。

(2) TiO_2 粉末の粒径

TiO_2 膜の表面積が光電変換特性に及ぼす影響を調べるため、配合する TiO_2 粉末 (昭和タイタニウム製) の粒径を 15 、 30 および 60nm と変化させて作製した TiO_2 膜上に、ルテニウム錯体をコートしたアノードの光電変換特性を測定した。図8は TiO_2 粉末の粒径とラフネスファクターおよび変換効率の関係を示す。ラフネスファクターとは試料に吸着した金属錯体の量を平面に吸着した金属錯体の量 (計算値) で割った値であり、 TiO_2 膜の表面積を表す。図より TiO_2 粉末の粒径が小さいほどラフネスファクター (表面積) は大きく、色素吸着量が増大した。しかし、変換効率はほとんど上昇しなかった。この原因として、粒径 15nm の TiO_2 膜とITOとの密着力が弱いことが考えられたため、膜の表面をSEM観察した。図9 (a)、(b)は観察結果を示す。図9 (a)より、粒径 15nm の膜にはクラックが観察された。また、粒径が小さくなるほど粉末の凝集度合いが強くなることが分かった。クラックの発生を防止するため、ゾル液の濃縮度を下げて粉末の凝集を弱くすること、および TiO_2 膜を重ね塗りしてクラックを埋めることを検討した。図10はゾル液の濃縮度と変換効率の関係を示す。ゾル液の濃縮度を低下させることにより、変換効率が上昇し、さらに、塗布回数を増やすことによって変換効率が上昇した。図9 (c)、(d)は濃縮度 $1/1$ 、塗布回数1回および3回の TiO_2 膜の表面SEM写真を示す。図9 (a)に比べ、凝集度合いが弱くなり、クラックが埋まっているのが分かる。

さらに、他社の TiO_2 粉末について検討を加えた。図11は各メーカー、各サイズの TiO_2 粉末を用いて膜形成を行った場合の変換効率の一例を示す。どのメーカーも塗布回数3回が変換効率の最大値となり、塗布回数5回では効率が低下した。また、得られた TiO_2 の膜厚はメーカーによって大きく異なったが、変換効率には大きな差はみられなかった。

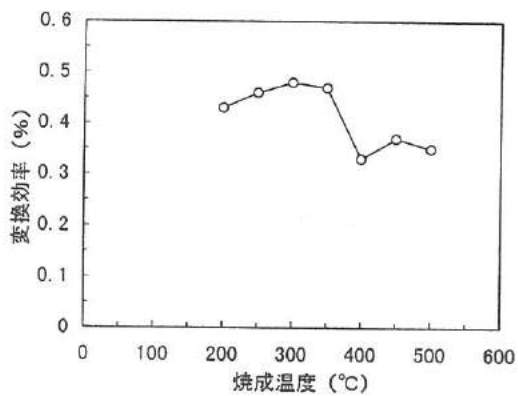


図7. TiO₂膜の焼成温度と変換効率の関係
Fig.7. Relationship between heat treatment temperature of TiO₂ and conversion efficiency.

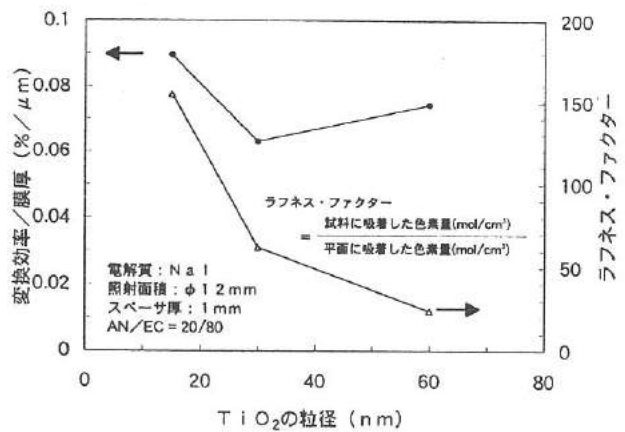
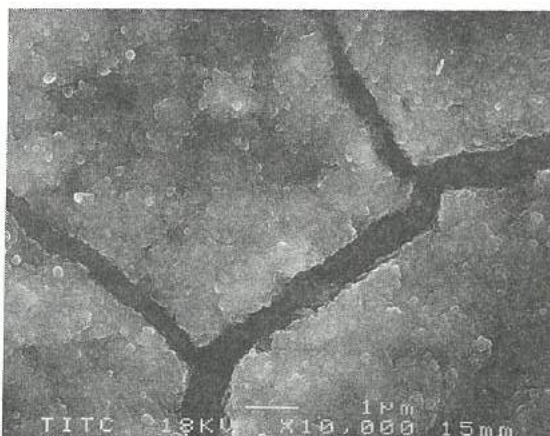
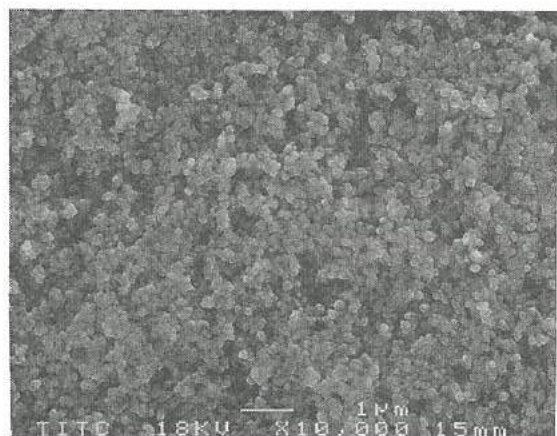


図8. TiO₂粉末の粒径とラフネスファクターおよび変換効率の関係
Fig.8. Relationship between particle size of TiO₂ powder and conversion efficiency.



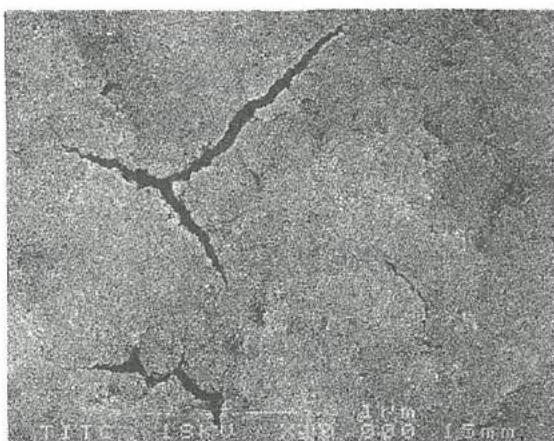
× 10,000

(a) TiO₂粒径:15nm、濃縮度:4/9、塗布回数:1回



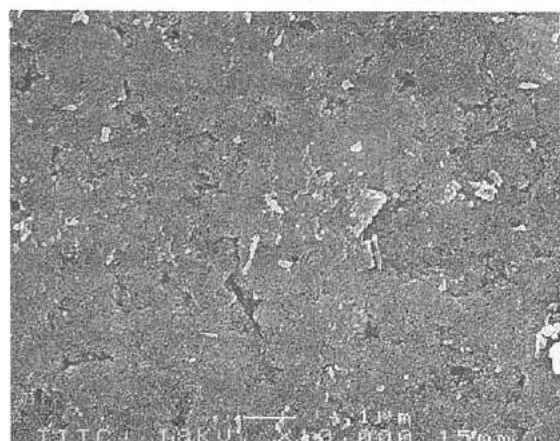
× 10,000

(b) TiO₂粒径:60nm、濃縮度:4/9、塗布回数:1回



× 10,000

(c) TiO₂粒径:15nm、濃縮度:1/1、塗布回数:1回



× 10,000

(d) TiO₂粒径:15nm、濃縮度:1/1、塗布回数:3回

図9. TiO₂膜のSEM写真

Fig.9. SEM photographs of various TiO₂ films.

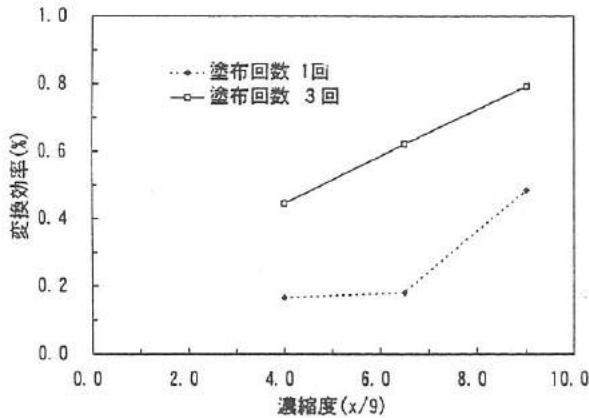


図10. ソル液の濃縮度と変換効率の関係

Fig.10. Relationship between concentration value of sol solution and conversion efficiency.

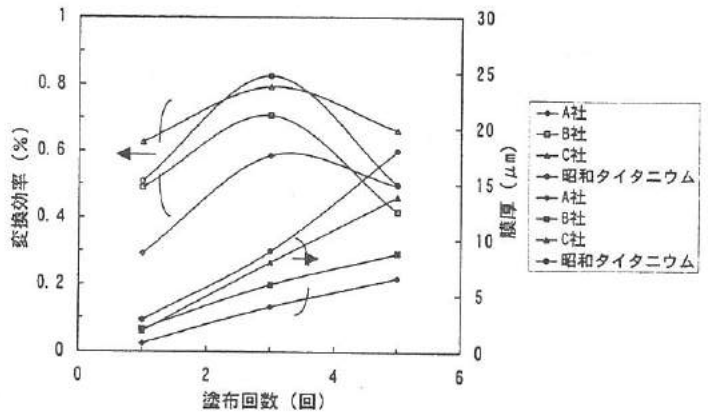


図11. メーカー別TiO₂粉末の変換効率

Fig.11. The conversion efficiency of various TiO₂ powder.

4.2 電解液の検討

(1) 溶媒

溶媒に用いるECとANの混合比を変化させた結果、図12に示すようにANの比率が増加するに従い導電率が上昇し、変換効率も上昇した。導電率が上昇した原因は、ANの比率が増加することで溶媒の粘度が低下するため、粘性抵抗がイオンの移動に影響を与えることによるものと考えられる。

(2) 電解質

昨年の結果ではNaIとTPAIの間には光電変換特性に変化はみられなかったが、今回新しい測定装置を用い、電極構造もスペーサーを用いるなどによって性能の向上がみられたので、NaIとTPAIとの間には光電変換特性に差が現れるものと考えられたので、再度測定を行った。その結果、TPAIを用いた方が変換効率は約50%高くなった。

また、電解液中の電解質(NaI)の濃度を変化させた結果、0.3M以上では効率にあまり変化はみられなかった。

4.3 カソードの検討

昨年度の実験では、カソード材料は白金が最も良く、表面積が大きいほど、変換効率が高くなる傾向が得られた。しかし、カソードに白金のスパッタ膜(膜厚0.1μm程度)を用いていたため、表面積を増大させるための表面処理(例えば、サンドペーパーで荒らす)を施すことができなかった。本年度は白金板を用いて表面をサンドペーパーで荒らし、変換効率の向上を目指した。

(1) カソードの表面積

アノードの表面積を一定とし、スペーサーの穴の面積を大きくしてカソードの表面積をアノードの約3倍にした結果、変換効率は約30%上昇した。

(2) カソードの表面状態

図13はサンドペーパーでこすり、表面を荒らした白金板、荒らしていない白金板、白金スパッタ膜および白金黒を用いた場合の電流-電圧曲線を示す。図より明らかなように、荒らした白金板、白金スパッタ膜、荒らしていない白金板および白金黒の順で高い変換効率を得られた。荒らした白金板、荒らしていない白金板、白金スパッタ膜については、先の実験結果と同様に表面積が広いものほど高い変換効率を示した。しかし、白金黒については、表面積は白金板の約1,000倍であるものの、変換効率は白金板の約1/2であった。

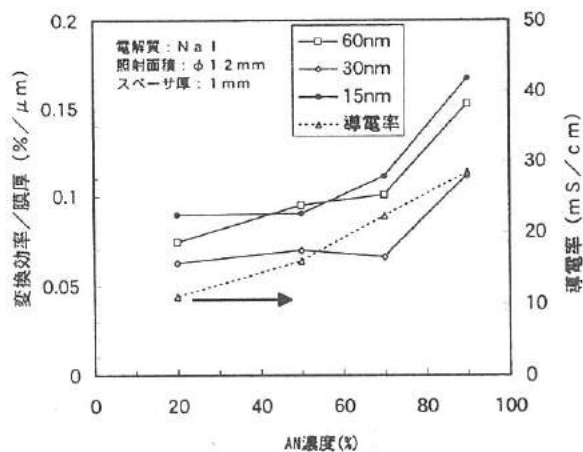


図12. 溶媒の混合比と変換効率の関係

Fig.12. Relationship between the solvent ratio and conversion efficiency.

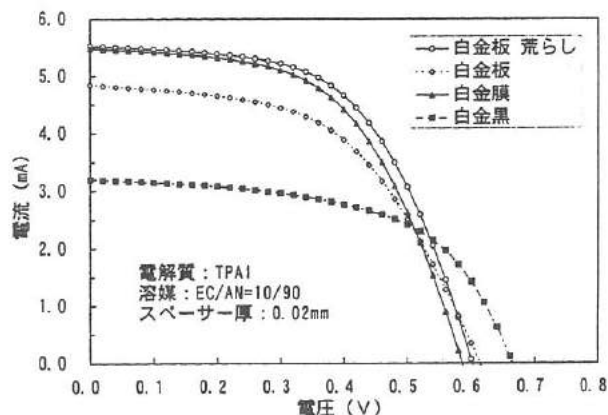


図13. 種々のカソード表面状態の影響

Fig.13. Influence of cathode surface conditions on conversion efficiency.

4.4 電池構造の検討

(1) 電極間距離

スペーサーとして0.02~0.15mmのポリエチレン膜、0.5~1.5mmのシリコンゴムを使用し、電極間距離を短くして電解液の内部抵抗を減少させた場合の光電変換特性に及ぼす影響について検討を加えた。図14は電極間距離と変換効率の関係を示す。図より、電極間距離が短いほど高い変換効率を示すことが判る。

(2) ITOの表面抵抗の検討

ITOの表面抵抗による電力の損失が考えられたので、TiO₂膜になるべく近いところに電解液と接触しないよう銅箔をITOに張り付けて電流取り出し端子として、測定を行った。図15に示すように銅箔があることで変換効率には大きな差がみられた。すなわち、電子がITO表面を流れる間に電力損失が発生していたことが分かった。従って、発生した電子を有効に取り出す方法にも検討を加える必要がある。

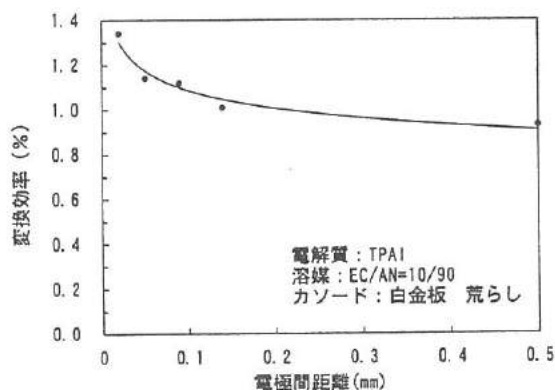


図14. 電極間距離と変換効率の関係

Fig.14. Relationship between interelectrode distance and conversion efficiency.

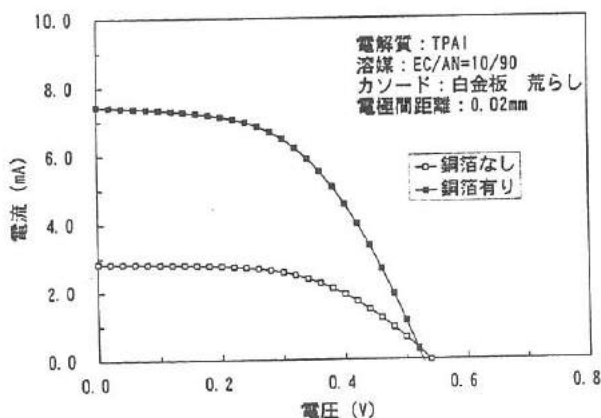


図15. 電流取り出し端子による変換効率への影響

Fig.15. Influence of the copper foil on conversion efficiency.

4.5 太陽電池の最適化

アノード、カソード、電解液および電極構造について、今回得られた最適条件で太陽電池を作製し、その性能を調べた。その結果、図16に示すように、開放電圧0.587V、短絡電流11.10mA、フィルファクター0.554の電流-電圧曲線が得られ、その光電変換効率は3.6%であった。

作製条件

- ・TiO₂: 焼成温度300℃、塗布回数3回
- ・カソード: 白金板表面荒らし処理
- ・電解液: TPAI、EC / AN = 10 / 90
- ・電極間距離 (スペーサー厚さ) : 0.02 mm
- ・電流取り出し用銅箔使用

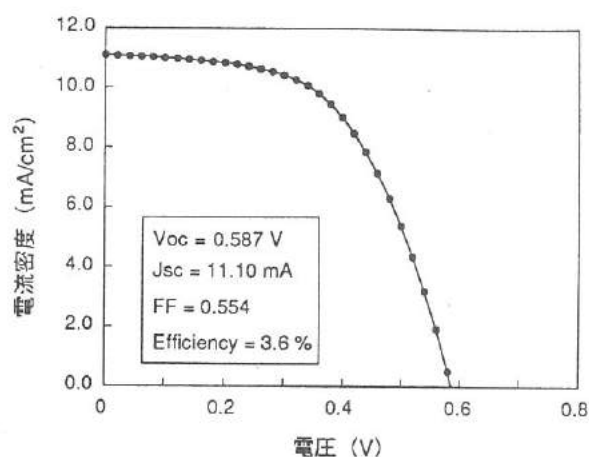


図16. レドックス型太陽電池の電流-電圧特性

Fig.16. Current-Voltage characteristics of redox solar cell

5. 結 言

本研究では、TiO₂膜およびルテニウム錯体を用いたレドックス型太陽電池について検討を加え、以下の結果を得た。

- (1) アノード: 焼成温度、TiO₂粉末の粒径および塗布回数について検討を加えた結果、焼成温度は300℃、塗布回数は3回で最も高い変換効率を示した。また、粒径は15、30および60nmともほぼ同じ変換効率を示した。
- (2) 電解液: TPAIはNaIより高い変換効率を示し、ECとANの混合比はANの比率が増加するに従い変換効率が増加した。
- (3) カソード: カソードの表面積が広いほど変換効率が高くなり、表面をサンドペーパーで荒らした白金板が最も高い効率を示した。
- (4) 電極構造: 両極間距離が短いほど高い変換効率を示した。また、銅箔を用いてアノードの電流取り出し端子とすることで変換効率は大きく向上した。
- (5) アノード、電解液、カソードおよび電極構造を最良の条件として太陽電池の性能を評価したところ、変換効率の最大値が3.6%のものが得られた。

参考文献

- (1) B. O'Regan, M. Grätzel, *Nature*, **353**, 737 (1991).
- (2) M. Grätzel, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **115**, 6382 (1993).
- (3) A. Hagfeldt, et al., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **31**, 481 (1994).
- (4) 加藤, セラミックス, **30**, 1024 (1995).
- (5) 埴田, 工業材料, **44**, 102 (1996).
- (6) 村澤, 高岡, セラミックス, **31**, 833 (1996).

II. 複数のロボットによる協調制御の研究(2) Study of Cooperative Control for Multiple Mobile Robot (2)

渡辺 暁信 森田 裕之 藤城 敏史 藤井 弘之
WATANABE Akinobu MORITA Hiroyuki FUJIKI Satoshi FUJII Hiroyuki

清水 孝晃 谷野 克己 山本 倫久
SHIMIZU Taka-aki TANINO Katsumi YAMAMOTO Tomohisa

Abstract

Two transfer robots which conveyed cooperatively the loads on their tables and kept the constant distance between them so that robot do not drop the load were produced. It is necessary to control cooperatively a robot who recognize the position of another robot on his coordinate and the direction of moving way of another robot himself. Though there is several methods of recognizing an environment around the robot, the visual system with 2-dimentional sensor, i.e.CCD camera, is most suitable for robot to get amount intelligence as humans eye. Four LED are set up in the rectangle corner of the robot so that the other robot can easily detect him.

Structure of transfer robots whose size is 300mm of wide and depth and 300mm of height. Four LED set up at rectangle position of the robot frame and CCD camera fitted in the central of robot. 16-bit microcomputers system was used for image processing and control of robot. Two stepping motor with rubber wheels and two free casters were used four driving units. The robot decides next speed and direction of own driving course by back propagation neural network used these data. The distance between both driving robots was able to be kept stable 300 ± 10 mm.

1. 緒言

近年、ロボットに求められる能力が大規模化、複雑化してきており、従来の集中管理システムでは柔軟性が乏しく、故障しやすくなっている。このため複数の知的ロボットが集まり、共通の場を形成し、各ロボットが個々の目的あるいは共通の目的を持って協調しながら行動する群知能ロボットの実現が望まれている⁽¹⁾。このようなロボットは単純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することにより、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。

そこで、単純な知能を持つ複数のロボットを実際に試作し、これらを用いて群知能ロボットに必要な機能や基本的な特性、問題点などを明らかにすることによって、生産ラインや民生用の協調ロボットの開発の手がかりを得ることを目的とし、昨年度は、図1に示すような2台の搬送ロボットを試作した⁽²⁾。この搬送ロボットはその上にパレットをセットし、ロボット同士の距離を一定に保ちながら、パレット上においた荷物を落とさずに運ぶロボット^{(3)・(4)}である。実験の結果、定速で直進するマスターロボットにスレーブロボットが追従することは確認できたが、タイヤがスリップするなど、走行性能に問題があった。

今年度は、走行性能の向上を図り、双方のロボット同士で情報の交換を行うことなく、相手の動作を認識しながら協調制御を行う搬送ロボットを試作し検討を行った。

2. 搬送ロボットの概要

2.1 搬送ロボットの概略

図2はロボットの概略図を示す。ロボットのサイズは300mm×300mm、高さ300mmである。2台の搬送ロボットの上にパレットを置いて荷物を運ぶ時に、お互いのロボットの動きがパレットを通じて相互に干渉し合わないよう、パレットを支持するテーブルのX軸、Y軸、回転角 α が自由に動く構造とした。製作した2台の搬送ロボットの基本構造は全く同じであるが、機能的な違いは、目的地を探して進行するマスターロボットと、マスターロボットに合わせて追従していくスレーブロボットに区別した。

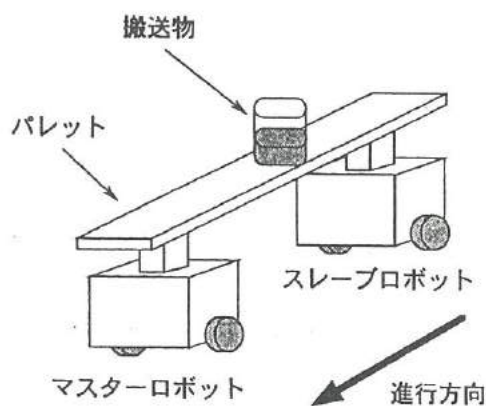


図1. 搬送ロボットの模式図

Fig.1. Idea of multiple transfer robot.

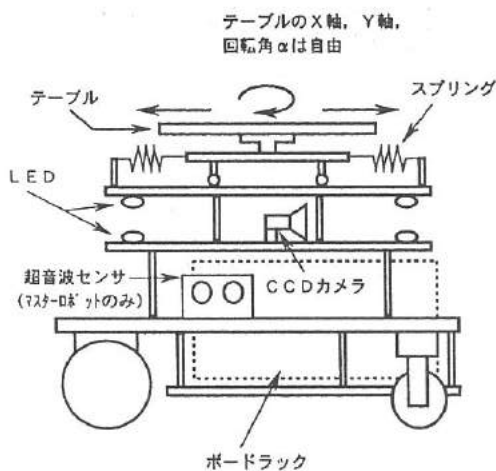


図2. 搬送ロボットの概略図
Fig.2. Outline of transfer robot.

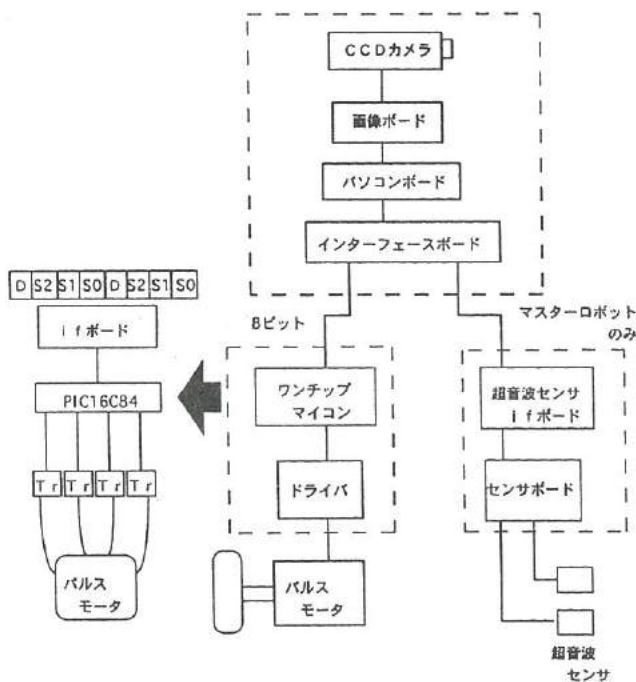


図3. 搬送ロボットの構成図
Fig.3. Construction of transfer robot.

ロボットは4輪走行で、前輪には駆動用としてパルスモータを使用し、後輪にはフリーキャスターを使用した。ロボットの旋回は左右の駆動モータに速度差を付ける方法を用いた。ロボットの中心部付近に CCD カメラを取り付け、相手ロボットの画像を取り込む。この時、CCD カメラに光学フィルターを取り付けることによって、外光の影響を受けずに相手のロボットの LED の光だけをとらえるようにした。また、マス

ターロボットには進行方向を決定するために、側壁までの距離を測定する超音波センサおよびセンサボードを搭載した。コードレスで自立走行できるように Ni-Cd 電池を搭載した。

図3は制御および駆動システムの構成を示す。搬送ロボットは CCD カメラ、ホストコンピュータ(画像ボード、16ビットボードパソコン)、2個のワンチップマイコン(PIC16F84、モータ駆動用ドライバ付き)、2個のパルスモータおよび、超音波センサ(マスターロボットのみ)で構成した。各コンピュータは RS-232C で外部からデバッグできるようにした。

2.2 相手ロボットの認識方法

搬送ロボットが行動を決定するためには、相手ロボットの相対位置や進もうとしている方向を認識する必要がある。そこで、相手ロボットの位置や姿勢の認識方法として、CCD カメラからの画像情報を用いた。この方法を図4に示す。すなわち、4つの LED を四角形の角にそれぞれ配置し、LED からの光を CCD カメラで取り込み、画像上の LED の座標から相手ロボットまでの距離 L および視線中心からのずれ X 、回転角 θ を計算で求めた。LED は3点あれば X 、 L 、 θ の計算は可能であるが、LED2、LED3 はロボットの回転により、ロボット自身の影になって視認できないことがある。このため、4つの LED を用いて常に3点を視認できるようにした。

<< L 、 X 、 θ 計算手順 >>

図4に示すように、CCD カメラのレンズの中心を X - Y 座標系の原点に取り、各パラメータを以下のように設定する。

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| X_i : 各 LED の X 座標 | d : LED の間隔 |
| L_i : 各 LED の Y 座標 | a : 画素ピッチ |
| X : 対象ロボットの中心の X 座標 | b : 焦点距離 |
| L : 対象ロボットの中心の Y 座標 | x_i : 画素数 |
| θ : 対象ロボットの回転角 | k : const ($k=a/b$) |

ここで、 $A = \sin \theta + \cos \theta$ 、 $S = \sin \theta - \cos \theta$ とすると各 LED の座標 (X_i, L_i) は

$$\begin{cases} X_1 = X + \frac{1}{2}d \cdot S \\ L_1 = L - \frac{1}{2}d \cdot A \end{cases} \quad \begin{cases} X_3 = X - \frac{1}{2}d \cdot A \\ L_3 = L - \frac{1}{2}d \cdot S \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_2 = X - \frac{1}{2}d \cdot S \\ L_2 = L + \frac{1}{2}d \cdot A \end{cases} \quad \begin{cases} X_4 = X + \frac{1}{2}d \cdot A \\ L_4 = L + \frac{1}{2}d \cdot S \end{cases}$$

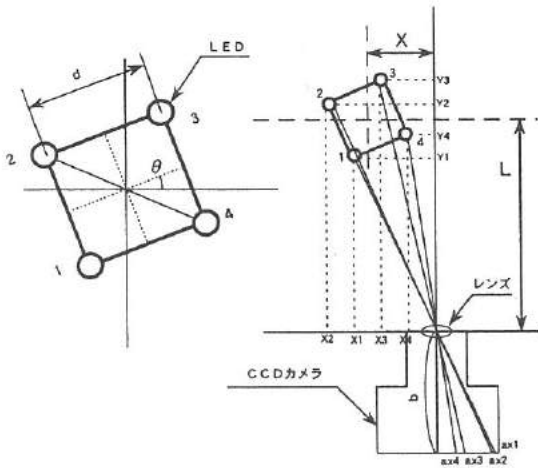


図4. 搬送ロボットの位置及び姿勢の推定方法

Fig.4. Location and position inference method.

図4の相似形から $\frac{X i}{L i} = k x i$ として X, L, θ を求めると、

LED1,3,4を用いた場合、

$$X = \frac{d(Sx1 + Sx3 + 2Akx1x3)}{2(x1 - x3)}$$

$$L = \frac{d(2S + Akx1 + Akx3)}{2k(x1 - x3)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-x3 + kx1x3 + x4 - kx3x4}{-x1 - kx1x3 + x4 + kx1x4}$$

LED1,2,4を用いた場合、

$$X = \frac{d(-Ax1 - Sx2 - kAx1x2 + kSx1x2)}{2(-x1 + x2)}$$

$$L = \frac{d(-A - S - kAx1 + Sx2)}{2k(-x1 + x2)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-x1 + x2 - kx1x2 + kx2x4}{x1 - x4 - kx1x4 + kx2x4}$$

3. 本年度の課題と目標

3.1 走行性能向上のための対策内容

(1) パルスモータ、タイヤの変更

昨年度は、タイヤのスリップを防ぐために全ゴム製のタイヤを使用したが、床との摩擦が大きく、またロボット本体の自重のために変形が起り、走行負荷が大きくなった。このため、モータのトルクが不足し、特に旋回時には一方のモータに大きな負荷が加わるため、ロボットがスムーズに走行で

きなくなる場面も見られた。そこで、トルクが昨年の約3倍(9 kg·cm)あるモータに変更した。さらに、タイヤも昨年より大きい外径約85mm(昨年は外径65mm)の中空のゴム製のものにし、タイヤ内部に硬質のスポンジの詰め物を入れ、変形を防ぐことにした。これらの改善によって、駆動力の強化とスリップの減少が期待できる構造となった。

(2) モータドライバICの変更

モータの変更によって、モータ駆動電流が増加したため、図5に示すようなトランジスタとワンチップマイコンを用いたモータドライバを製作した。昨年度はモータコントロール用にZ80ワンボードパソコンを用いていたが、プログラムの再書込が容易な18ピンのPIC16F84(EEPROM)を採用した。プログラムの開発およびデバッグには専用のインサーキットエミュレータ(ICE)を利用し、開発時間の短縮を図った。

ボードパソコンで走行および制御データを得るため、外部記憶装置としてFDが使用できるよう、ラックを3スロットから4スロットに変更した。これらの変更による電流の増加に対応するため、7.2VのNi-Cd電池2個を直列に接続し、DC-DCコンバータの入力を14.4Vに対応できるものにした。

さらに、マスターロボットには超音波センサーを取り付け、協制御ロボットの走行性能の向上を図った。

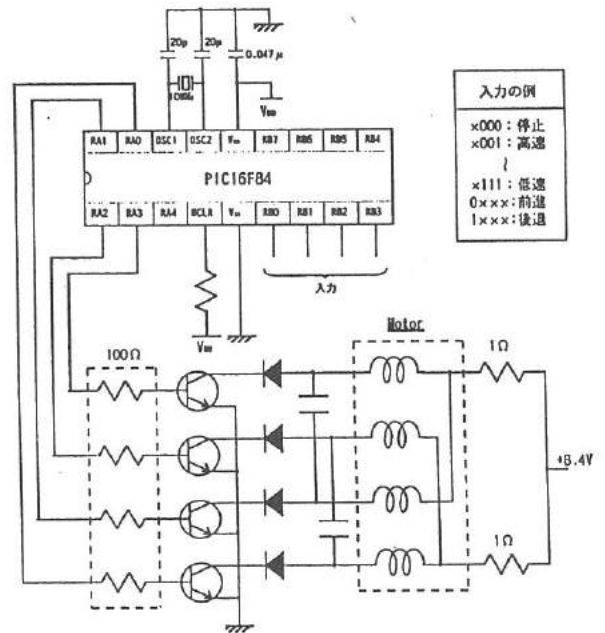


図5. モータドライバ回路図

Fig.5. Circuit of motor driver.

3.2 搬送ロボットの制御プログラム

昨年はマスターロボットを直進専用とし、スレーブロボットがマスターロボットに追従するようにスレーブロボットの速度と進行方向のみの制御を行った。そこで、本年は図 6 に示すようにマスターロボットの速度・進行方向の制御も行い、より高度な協調制御を行うこととした。

3.3 搬送ロボットの制御フロー

(1) スレーブロボットの制御

図 7 はスレーブロボットの制御プログラムの制御フローを示す。最初に画像ボードの初期化処理を行い、CCD カメラから画像データを得る。画像上の LED の位置からマスターロボットまでの距離 L 、ずれ X 、傾き θ を計算する。次に、マスターロボットのずれ X 、角度 θ から、スレーブロボットの次の行動パターンを決定する。

次の行動パターンの決定は、図 8 に示す入力層 2 (ずれ X 、角度 θ)、中間層 4、出力層 3 (進行方向 右・直・左) のバックプロパゲーションニューラルネットを用いた。表 1 はランニング時に用いたニューラルネットの教師データを示す。自機の速度は距離 L から決定し、4 段階 (5.2、3.9、2.2m/min および停止) の速度で制御する。表 2 はモータードライバの出力とその条件を示す。ニューラルネットの結果と測定した距離 L の関係から、表 2 を用いてワンチップマイコンへの出力を決定し、左右のパルスモーターをそれぞれ駆動した。

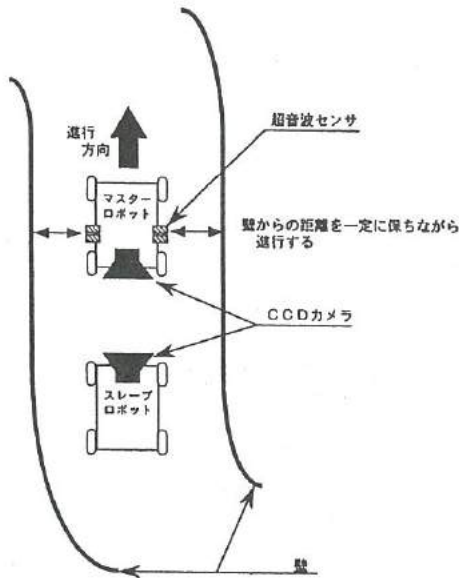


図 6. 搬送ロボットの協調制御の模式図

Fig.6. Schematic of cooperative control.

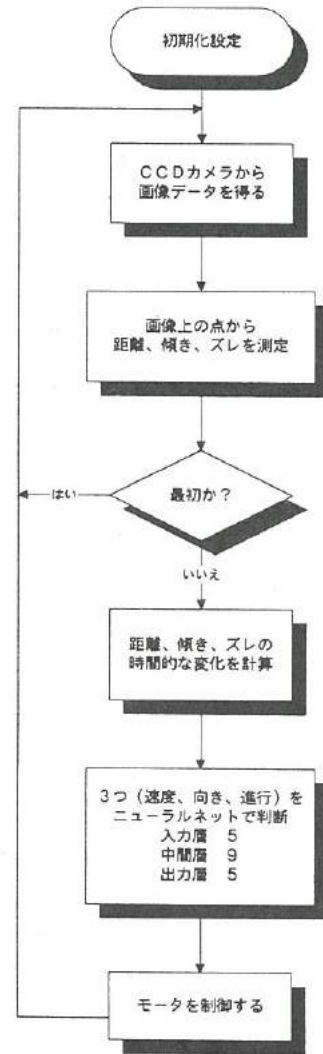


図 7. スレーブロボットの制御フロー

Fig.7. Flow chart of slave robot.

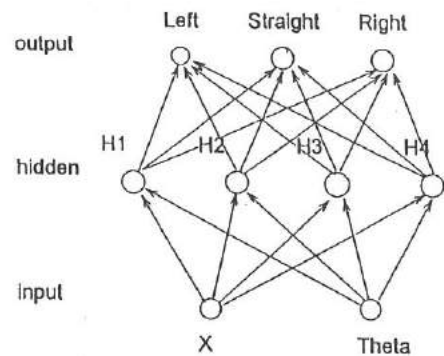


図 8. バックプロパゲーションニューラルネット

Fig.8. Back propagation neural network for deciding action of robot.

表 1. ロボットの行動を決定するための教師データ

Table 1. Learning data for neural net.

行動	左旋回	直進	右旋回
X、 θ	-50mm、 0°	0mm、 0°	50mm、 0°
X、 θ	0mm、 10°	25mm、 10°	0mm、 -10°
X、 θ	-25mm、 10°	25mm、 -10°	-25mm、 -10°

(相手ロボットのずれX・角度 θ)

表 2. モータドライバへの出力条件

Table 2. Output data to the motor and condition.

マスターロボット (右モータ・左モータ速度)

進行方向	$L \leq 300$	$300 < L < 380$	$380 \leq L < 420$	$L \geq 420$
右	高速・ 中速	中速・ 低速	中速・ 低速	停止・ 停止
直	高速・ 高速	中速・ 中速	低速・ 低速	停止・ 停止
左	中速・ 高速	低速・ 中速	低速・ 中速	停止・ 停止

スレーブロボット (右モータ・左モータ速度)

進行方向	$L \leq 300$	$300 < L < 380$	$380 \leq L < 420$	$L \geq 420$
右	停止・ 停止	中速・ 低速	中速・ 低速	高速・ 中速
直	停止・ 停止	低速・ 低速	中速・ 中速	高速・ 高速
左	停止・ 停止	低速・ 中速	低速・ 中速	中速・ 高速

L: ロボット間距離 (mm)、

但し、高速(5.2m/min)、中速(3.9m/min)、低速(2.2m/min)

(2) マスターロボットの制御

マスターロボットの制御フローは、マスターロボットの側面に超音波センサをセットして、側壁までの距離を計測し、ある一定の距離を保つように進行方向を決定する。

速度は、スレーブロボットと同様に、相手ロボットまでの距離Lを測定し、4段階で制御する。表2を用いてワンチップマイコンへの出力を決定し、左右のパルスモーターをそれぞれ駆動した。

4. 搬送ロボットの性能

図9は製作した搬送ロボットの外観写真を示す。2台のロボットの制御性能を評価するため、3つの段階に分けて実走行試験を行った。

最初に図10に示すように、マスターロボットの速度(高速・中速・低速・停止)・方向(直進・右回り・左回り)をキーボードを用いて外部より入力し、その動きをスレーブロボットが認識して、追従できるか実験を行った。その結果、スレーブロボットはマスターロボットの動きを認識し、追従していることが確認できた。

次に図11に示すように、マスターロボットを直進専用とし、スレーブロボットとの距離を認識して、速度のみ高速・中速・低速・停止の4段階に変速することでスレーブロボットとの協調制御を試みた。スレーブロボットの動きは前段階同様マスターロボットに合わせて追従するようにした。その試験結果を図12に示す。図12は2台のロボットが550mm離れて停止している状態から、5秒後にスレーブロボットがスタートとしたときの、ロボット間距離Lの時間的変化を表している。スタート後、距離Lが350mm以上の範囲では、マスターロボットは行動せず、スレーブロボットのみ走行し、

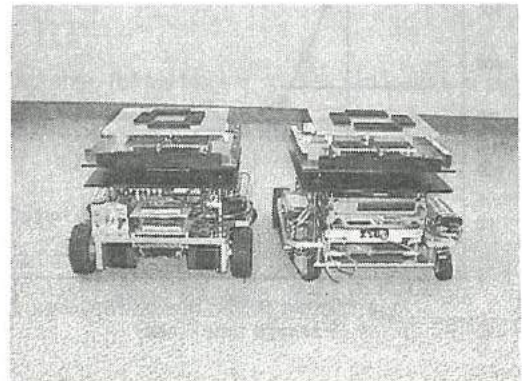


図 9. 搬送ロボットの外観

Fig.9. Appearance of transfer robots.

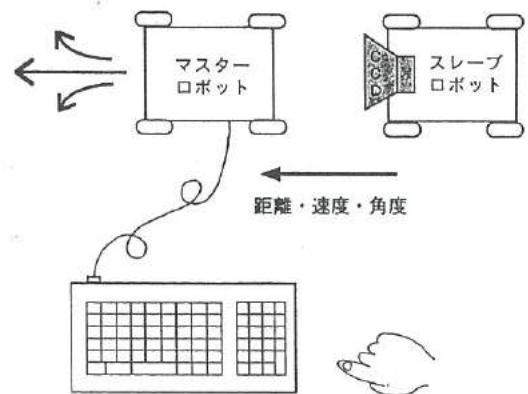


図10. 実走行試験 1

Fig.10. First test of cooperative control

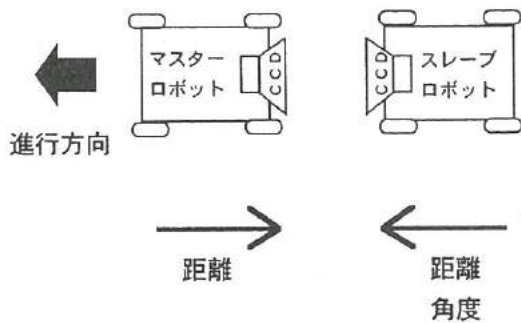


図11. 実走行試験2

Fig.11. Second test of cooperative control

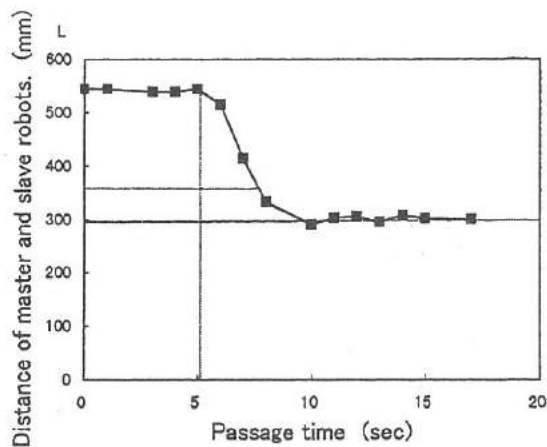


図12. ロボット間距離の時間的变化

Fig.12. Relation between the time and distance from another robot

距離Lは急激に減少していく。Lが、350mm付近でマスターロボットも行動を開始し、Lの変化は小さくなる。そしてロボット間距離Lが $300 \pm 10\text{mm}$ の範囲で、距離を保つように走行した。なお、この時の平均速度は 5.0 m/min で、画像データを取り込んでからモータに駆動パルスを出力するまでの1サイクルに要する時間は約1秒である（この間に約86mm進む）。スレーブロボットがマスターロボットに高速で近づくためマスターロボットは高速でスレーブロボットから離れようとする。従って2台のロボットは高速に近い状態で走行を続けたものと考えられる。

最終段階として、マスターロボットの進行方向は超音波センサーを用いて決定し、スレーブロボットと協調しながら目

的地を目指して走行できることを確認する。現在、この試験は超音波センサーの感度が安定しないため、なるべく早く調整を行い、実走行試験を行う予定である。

5. 結 言

本研究では、4つのLEDとCCDカメラを持つ2台の搬送ロボットを試作したところ、以下の成果が得られた。

- (1) 相手ロボットの距離、傾き、ずれを求めることによって、相手ロボットの動きを認識することができた。
- (2) 認識した結果から自機の方向をニューラルネットを用いて決定し、自機の進行速度を相手ロボットまでの距離から決定して、行動することが可能であった。
- (3) お互いのロボットは協調しながら共同で荷物を搬送することができた。

参考文献

- (1) 浅間：「複数の移動ロボットによる協調行動と群機能」、計測と制御、vol.31、No.11、p155-1161、(1992)
- (2) 中原他：「インピーダンスモデルに基づく群搬送ロボットの協調制御」、日本機械学会第69期全国大会講演論文集(VOL.C)、2204、(1991)
- (3) 橋本他：「複数の移動ロボットによる動的搬送制御方法」、日本ロボット学会誌、vol.13、No.6、p886-893、(1995)
- (4) 「複数のロボットによる協調制御の研究」、平成8年度若い研究者を育てる会、研究論文集、vol.10、No.4、p23-29、(1998)

Ⅲ. 生活環境用臭センサの開発

Development of Oxide Semiconductor Gas Sensors for Living Environment

角谷 哲哉
KAKUTANI Tetsuya

小島 理敬
KOJIMA Rikei

垣内 由美子
KAKIUCHI Yumiko

角崎 雅博
KADOSAKI Masahiro

寺澤 孝志
TERASAWA Takashi

二口 友昭
FUTAKUCHI Tomoaki

谷野 克巳
TANINO Katsumi

龍山 智榮
TATSUYAMA Chie

Abstract

Semiconductor gas sensor are now widely used for detecting low concentration of combustible or toxic gases in air. Recently the detection of smelling components has become increasingly important for food industries, living environments, and medical treatment. Now the number of persons which are taken ill by room air pollution is steadily increasing and its phenomenon is what is called "sick house syndrome". They are caused by HCHO and VOC (Volatile Organic Compound) included in adhesive or interior. Therefore the oxide material sensors which detect the smell of these pollution gases was investigated.

The results of above-mentioned were as follows ;

- As the representative pollution gases which had caused sick house syndrome, formaldehyde, toluen and xylene is picked out.
- Among the various oxide semiconductors, ZnO, SnO₂, WO₃, In₂O₃, Co₃O₄ and Cr₂O₃ showed the excellent sensitivities for the pollution gases respectively.
- The temperature which sensors exhibit maximum sensitivity for the pollution gases are as follows :
ZnO, WO₃ (450 °C) > In₂O₃ (350 °C) > SnO₂ (300 °C) > Co₃O₄, Cr₂O₃ (200 °C)
- By the addition of rare metals as a catalyst to the oxide semiconductor, sensors showed higher sensitivities.

1. 緒 言

人間は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の五つの感覚器官を持っている。これらの器官で外界からの種々の情報を得て、脳で情報処理することで行動を決定している。この感覚器官を模倣し、外界からの情報を信号に変換して検知するデバイスがセンサである。センサには、視覚に対する光センサ、聴覚に対する音響センサ、触覚に対する圧力センサ・温度センサなどがあり、物理量を測定するこれらのセンサは、開発が進んでいる分野である。しかし、嗅覚、味覚などに対するセンサは、化学変化を測定するいわゆる化学センサのために、学問的に難しく、基礎研究にも時間がかかる。嗅覚センサに関していえば、人の嗅覚の仕組みが解明されていない、においそのものが化学的、物理的に的確に測定できないなどの問題もあって、多くの研究者特に物理センサを汎山手がけてきた電気・電子系技術者はこれらの研究をさけてきたといわれている。しかし最近の社会ニーズとして、我々の身近な生活環境や産業公害方面からの要請や、近年の電子工業月報のアンケート調査結果の、「将来最も望まれる技術項目は (におい) (雰囲気) (味) の測定に関するもの」が示すように、嗅覚、味覚に関する、化学センサの開発が強く望まれている。

そこで、我々は近年社会問題となっている、におい (ガス) に起因した室内環境汚染⁽¹⁾に着目した。すなわち生活環境の変化から住宅の機密性が向上して、室内において少量しか発生しない物質でも人体に影響を及ぼす問題で、これは化学物質過敏症と呼ばれる健康障害である。物質により異なるが 1ppm ~ 1ppb 単位で発症し、日本では、ほぼ 10 人に 1 人が化学物質過敏症を発症しているといわれる。

この化学物質過敏症の典型的な例として、シックハウス症候群⁽²⁾がある。シックハウス症候群とは、一戸建てやマンションの新築、リフォーム後に起こる神経刺激症状で、内装に用いられる建材、塗料、接着剤、スプレーなどに含まれる化学物質が室内で気

化し、住人に健康障害を与えるものである。居住しながらの内装工事は危険で、マンションの高気密化や換気の少なさも問題となる。この原因化学物質として、ホルムアルデヒドや VOC（揮発性有機化合物）が挙げられている。

本研究では、このような「シックハウス症候群」の主な原因ガスであるホルムアルデヒド、VOC を測定し室内環境汚染度が評価できるにおいセンサの開発を行った。このセンサが開発できれば、新築、リフォーム後の部屋への入居時期を知ることができ、化学物質過敏症の予防に大きく役立つことが予想される。

2. ガスセンサ

2.1 概要

ガスセンサの種類^{(3),(4)}としては、半導体ガスセンサ、定電位電解式センサ、接触燃焼式センサ、湿度センサ、熱伝導式ガスセンサ、ピエゾ式ガスセンサなどがある。なかでも半導体ガスセンサは、感度が良い、情報を的確に電気信号に変換する、応答が早い、耐久性が良い、製作が容易、安価であるという条件を満たし複合化センサの作製が容易である。

半導体ガスセンサは焼結型と薄膜型に分けることができ、焼結型には円筒型と厚膜型がある。円筒型は酸化物半導体を米粒大の大きさに焼結したものである。厚膜型は酸化物半導体をセラミック基板に印刷したものである。薄膜型は構造は厚膜型と同じ形状だが、酸化物半導体を真空中で成膜する。酸化物半導体の厚さは、一般に厚膜型が 20～数百 μm 、薄膜型は 1 μm 以下である。

本研究では、厚膜型の半導体ガスセンサを用いて研究を行った。図 1 に最終目標である複合センサを用いたにおいセンシング概要を示す。複数のセンサ素子を 1 枚の基板上に印刷することにより作製した複合センサ⁽⁶⁾に、においを嗅がせ、各素子の反応をインターフェースを介してパソコンに取り込み、パターン認識等のコンピュータ処理を行うことで、においの分類・強弱等を評価することを目指したものである。

2.2 動作原理

図 2 は半導体表面に気体が化学吸着したときに起こる抵抗値の変化を n 型酸化物半導体と還元性ガス (CO) を用いて説明するための模式図⁽⁶⁾である。以下概要を順に説明する。

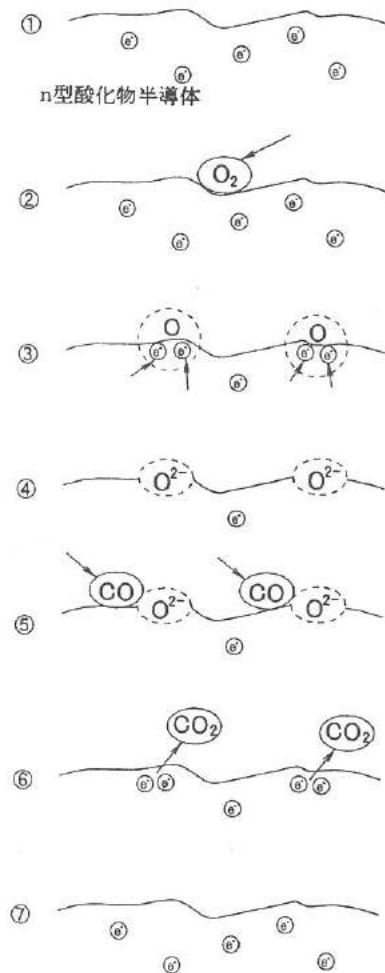


図 2. ガスセンサの原理

Fig.2 Principle of gas sensor.

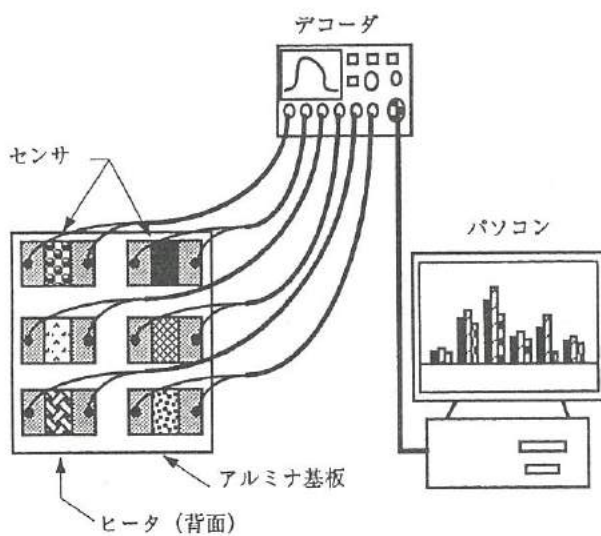


図 1. 複合化ガスセンサを用いたにおいセンシングシステム

Fig.1 Sensing system for smell using combined gas sensor.

n型酸化半導体は真空中では①のように余剰電子 e^- を持っていて低抵抗である。n型酸化半導体を空気中に置くと②のように酸素が吸着する。酸素は③のように O_2^- 状態で吸着されている。この電子は酸化半導体内部から補給される。この結果、酸化半導体内の電子が減少し、④のように高抵抗になる。この状態がガス検知前の初期状態である。ここに一酸化炭素などの還元性ガスが⑤のように接触すると吸着酸素と反応して燃焼する。こうして、⑥のように二酸化炭素を発生するが、このとき電子が余り、酸化半導体に戻される。こうして酸化半導体は、⑦のように酸素ガス吸着前の低抵抗状態に戻る。このような、酸化半導体の抵抗変化を検出することによって、ガス（におい）を検知する。

2.3 ガスセンサの用途

現在のガスセンサの大きな用途は防災関係であり、可燃性ガス検知の技術はかなり成熟し、ガス漏れ警報器として全国の家庭に普及している。

最近では、より快適な生活環境や労働環境の追求という観点から、大気あるいは屋内における各種ガス、においの環境モニターなど悪臭を検知するセンサや食品の工程管理用センサなどが研究されている。

3. 実験方法

3.1 センサの作製方法及び構造

センサ作製方法は基板として厚さ 0.5mm のアルミナ基板を用い、スクリーン印刷法により一方の面に Pt 電極を、その裏面には Pt ヒータを印刷し、100℃ 15 分乾燥後、900℃ で 1 時間焼結する。その後 Pt 電極の上に、事前に酸化半導体粉末とバインダーを調合しペースト化したものを印刷し、600℃ で 1 時間焼結する。最後に Pt リード線を Pt 電極と Pt ヒータに Ag ペーストで取り付けし 600℃、1 時間焼結してセンサを作製する。

図 3 に試作したセンサの構造を示す。外形寸法は約 12mm 角である。また、本研究でセンサ材料として用いた酸化半導体材料の概要を表 1 に、焼結後の各材料の SEM 写真を図 4 に示す。焼結前後の粒子の形状や粒径に変化はなかった。

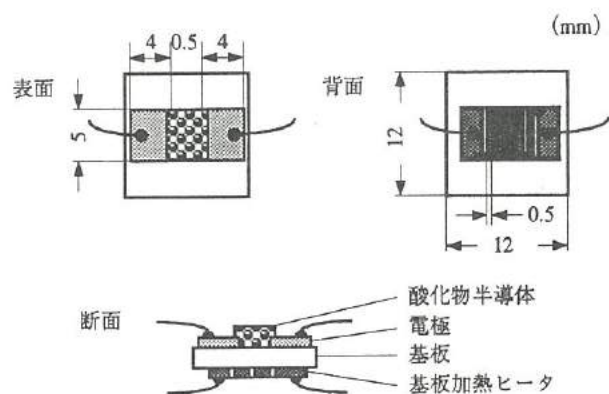


図3. 試作した厚膜ガスセンサの構造

Fig.3 Schematic diagram of the structure of thick type gas sensor.

表1. 酸化半導体材料の物性

Table.1 Properties of oxide semiconductor materials.

族	周期	価数	酸化物	型	結晶構造	粒径(μm)	粒子の形状
4	3	IV	TiO ₂	N	正方		
	4		ZrO ₂	N	単斜、正方、立方	0.1	球状
5	3	V	V ₂ O ₅	N	斜方	2~4	板状
	4		Nb ₂ O ₅	N	三方、立方	0.2	円柱
	5		Ta ₂ O ₅	N	斜方		
6	3	VI	Cr ₂ O ₃	P	三方		円柱
	4		MoO ₃	N	斜方	10~15	板状
	5		WO ₃	N	斜方	0.1~0.2	多面体
7	3	VII	MnO ₂	P	正方	0.5~5	角錐
8	3		Fe ₂ O ₃	N	三方	0.2~0.5	球状
9	3	VIII	CoO	P	立方	1	マリモ状
	3		Co ₃ O ₄	P	立方	1~3	角錐
10	3		NiO		立方		マリモ状
11	3	I	Cu ₂ O	P	立方	1~3	マリモ状
	3		CuO	P	単斜		
	4		Ag ₂ O	N	立方		
12	3	II	ZnO	N	六方		直方体
	4		CdO	N	立方	0.1~1	立方体
13	4		In ₂ O ₃	N	立方	0.1	球状
14	4	IV	SnO ₂	N	正方	0.1	球状
	5		PbO ₂		斜方、正方	1~10	球状
15	4	V	Sb ₂ O ₅			0.3	球状
	5		Bi ₂ O ₃	P	正方、立方、単斜	1×4	板状

3.2 センサの評価

(1) センサ感度の定義

図5にセンサ感度の測定回路を示す。ヒータ R_H に一定電圧を印加してセンサを数百℃に加熱し、ガスによる酸化物半導体の抵抗値変化 R_s を検出抵抗 R_L の変化として測定する。そのときのセンサ感度 α を空気中の抵抗値 R_{air} とガス中の抵抗値 R_{gas} を用いて、 $\alpha = R_{air}/R_{gas}$ と定義する。

(2) ヒータ電圧とセンサ温度

印刷したセンサ加熱用ヒータの抵抗値は $3.0 \pm 0.5 \Omega$ の範囲でばらつくため、ヒータ電圧を同電圧にしても、センサ温度に大きな差が出るのが予想される。そのため、ヒータ電圧とセンサ温度の関係を検討した。その結果を図6に示す。ヒータ電圧 6V では 50℃ ぐらいの差があることがわかる。そのため、センサ感度の測定時等必要に応じてヒータ抵抗が揃ったものを使用した。また、赤外線熱画像装置によりセンサ基板内の温度分布は $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内であることが確認された。

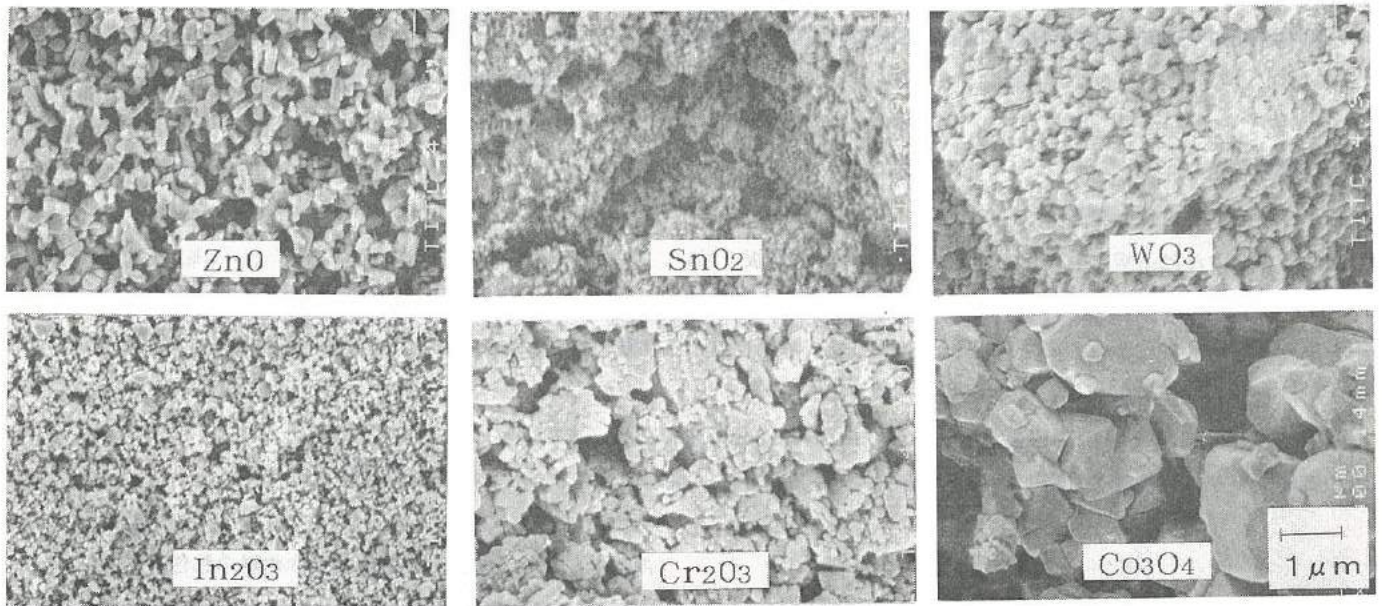


図4. 焼結後の酸化物半導体表面

Fig.4 SEM images of oxide semiconductor surface after sintered.

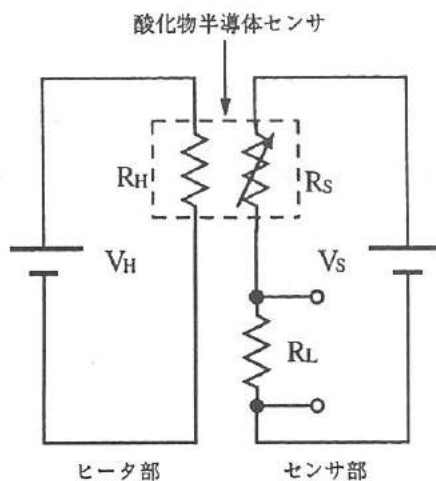


図5. センサ感度測定回路

Fig.5 Test circuit for measurement of sensitivities.

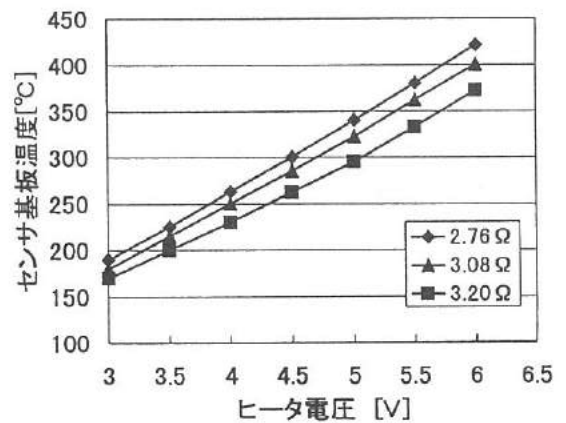


図6. ヒータ電圧とセンサ温度の関係

Fig.6 Relationship between heater voltage and sensor temperature.

(3)標準ガス（におい）の作成

におい成分（ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン）の液体試薬から、気体の状態方程式より導き出される量を、完全気化させ目的濃度の気体を作成した。液体の定量にはマイクロシリンジ及びマイクロピペットを用いた。

標準ガス作成のための換算式を示す。

$$C = \frac{X}{M} \times \frac{22.4}{V} \times \frac{273+t}{273} \times \frac{760}{p} \times 100$$

C : ガス濃度 (%) X : 試料量 (g)
 M : 試料の分子量 V : 容器の体積 (L)
 p : 気圧 (mmHg) t : 温度 (°C)

分子量 M の物質 M(g) 1mol が完全に気化すれば、0 °C 1 気圧で 22.4L の容積をしめる。したがって一定容器に液体試料の標準ガスを作成するときガス濃度は上式で求められる。

また、目的濃度のガスが正しく作成されているかを検知管（ガステック社製）と比較したところ、誤差は約 5%であった。

(4)実験装置

図 7 はガスセンサの実験装置概要である。チャンバーは、内側が一片 400mm、内容積 64L の立方体であり、センサは上面中央に円形状に取り付け、最大 11 個まで同時に測定できる。上面のセンサ配列の横に、測定ガスの液体試料注入口、その直下に気化させるためのヒータを設置した。容器内に攪拌用ファンを設け、種類や濃度の違うガスを連続して測定することを可能にするために、容器横に付けた排気口よりガスを強制的に排出できるようにした。

4. 実験結果および考察

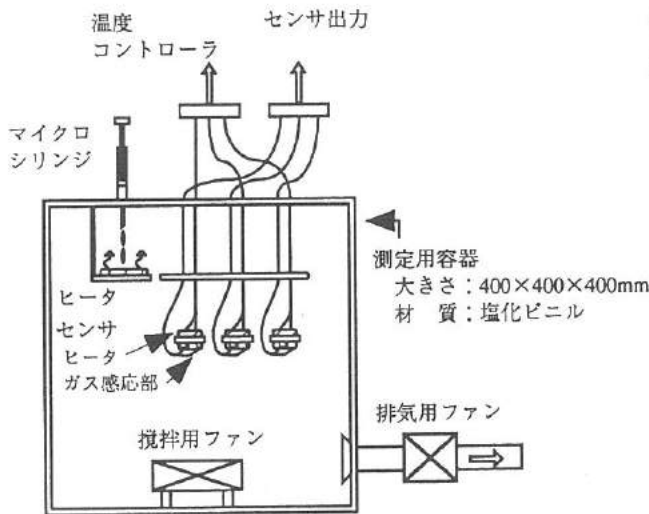
4.1 センサの基本特性

(1)センサ出力例

図 8 は n 型酸化物のセンサ出力の一般例である。センサ部の抵抗変化を検出用抵抗を用い、電圧変化としてチャートであらわしたものである。センサがにおいガスに触れると電圧が上昇し、ガスを取り除くと電圧は低下する（p 型は逆の反応）。

(2)センサ感度と膜厚

図 9 に酸化物半導体に ZnO を、検出ガスとしてホルムアルデヒドを用いたときのセンサ感度と膜厚の関係を示す。膜厚が厚くなるほど感度は低下し、40 ~ 50 μm で感度は落ち着く。膜厚が厚ければセンサの安定度が増し、薄ければ薄いほど感度が良い結果となった。これは、膜厚が増えてもガスと反応する領域が表面のみで変わらないため、膜厚が薄く初期抵抗の高いものほど感度が高くなったと考えられる。



※ 濃度は ppb ~ ppm まで可変。

図 7. 試作した実験装置

Fig.7 Schematic diagram of the sensing chamber.

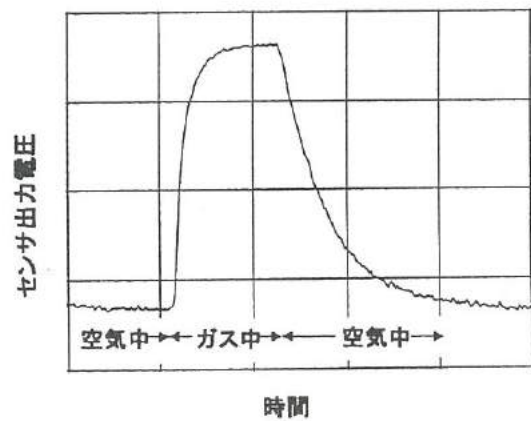


図 8. センサ出力例

Fig.8 Typical response curve of gas sensor.

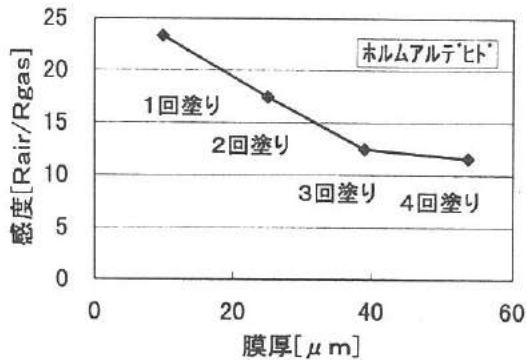


図9. 膜厚と感度の関係

Fig.9 Relationship between film thickness and sensitivity.

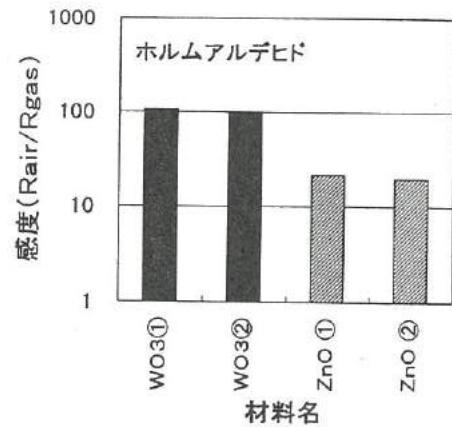


図10. センサ感度のばらつき

Fig.10 Unevenness of sensitivity.

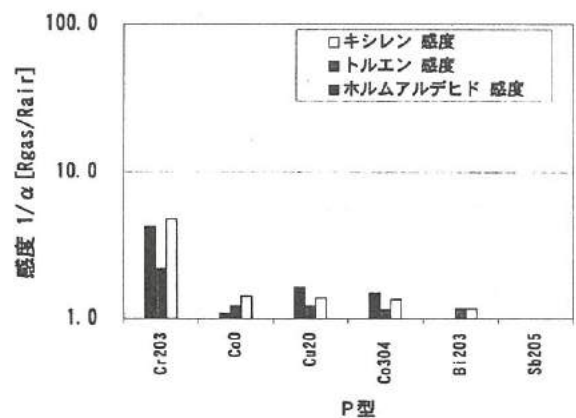
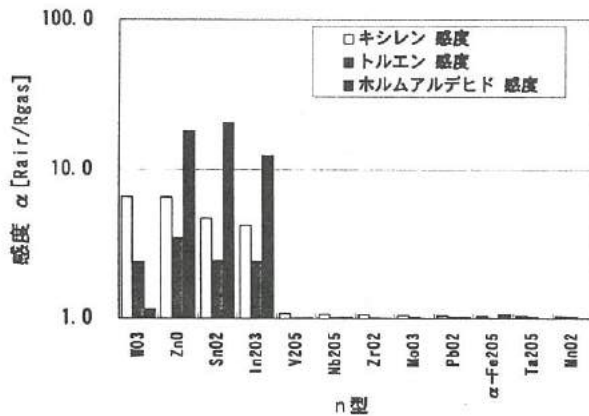


図11. 各酸化物半導体材料のVOCガス感度特性

Fig.11 Sensitive patterns of oxide semiconductor materials for VOC gases.

(3) センサ感度のばらつき

同一作製ロット内でのセンサ感度のばらつきを WO_3, ZnO を用いて調査した。結果を図 10 に示す。図より同一作製ロット内でのばらつきはほとんどない。

4.2 住宅汚染ガス検知用センサ材料の探索

(1) 各種酸化物とセンサ感度

23 元素の酸化物について、原因ガスに対する感度測定を行いセンサとして有効な酸化物を調べた。作成した酸化物 (表 1 参照) の感度測定結果を p 型と n 型に分類し図 11 に示す。この結果より、感度の高い酸化物として n 型 (ZnO , SnO_2 , WO_3 , In_2O_3)、p 型 (Co_3O_4 , Cr_2O_3) の 6 種類を選定した。

(2) センサ感度と周期律表

電子配置とセンサ感度の関係を調べるため、周期律表とホルムアルデヒドに対するセンサ感度を図 12 に示す。トルエン、キシレンに対しても同様の結果で、特に相関関係は見られなかった。

4.3 住宅汚染ガス検知用センサの評価

(1) センサ感度の温度依存性

4-2(1)の結果より住宅汚染ガスに対して感度の高い6種の酸化物について、センサ感度が最大となるセンサ温度を調べるため、約120～470℃の範囲におけるエタノール1000ppmに対するセンサ感度の測定を行った結果を図13に示す。この結果、ZnO:約450℃、SnO₂:約300℃、WO₃:約450℃、In₂O₃:約350℃、Co₃O₄:約200℃、Cr₂O₃:約200℃であった。

(2) 汚染ガスに対するセンサ感度

汚染ガスである3種のガス(ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン)に対するガス濃度とセンサ感度の関係を図14に示す。図より3種の汚染ガスを数ppmの濃度まで検出できることがわかる。またガス濃度に対しセンサ感度は「スティーブンスのべき法則」にしたがって指数的に向上している。

(3) センサの高感度化(触媒の添加効果)

センサ感度を上げるため、貴金属を添加^{(7),(8)}することによる影響を調べた。濃度ははいずれも500ppmである。結果を図15,16に示す。図より最高感度を示す添加貴金属は各酸化物と汚染ガスとの組み合わせでそれぞれ異なっていることがわかる。また、ガス感度はかなり大きく向上しており、添加貴金属が触媒としてガスの補足・分解などの化学反応に寄与していることを示している。

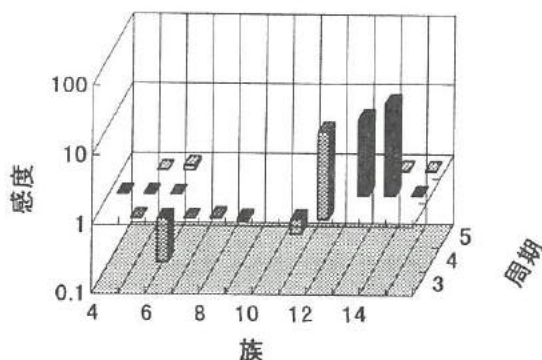


図12. 周期律表と感度の関係(ホルムアルデヒド)

Fig.12 Relationship between the periodic table and sensitivities.

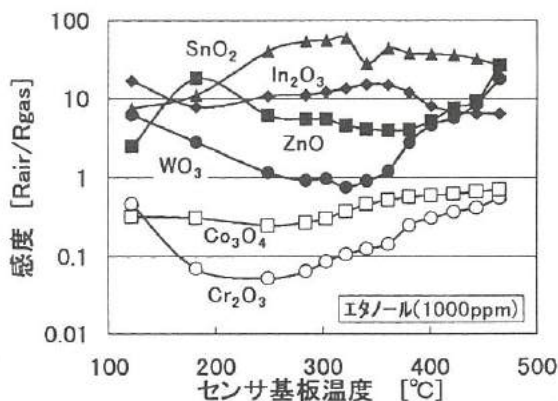


図13. センサ感度の温度依存性

Fig.13 Temperature dependence of sensitivities of several sensors.

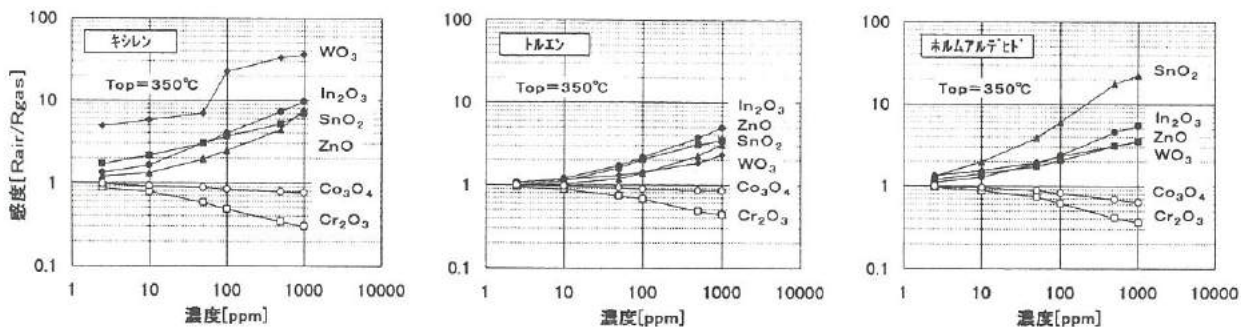


図14. ガス濃度とセンサ感度の関係

Fig.14 Relationship between gas concentration and sensitivities.

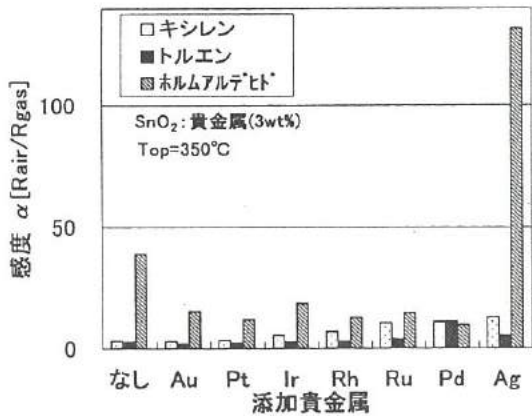


図15. 貴金属を添加したSnO₂センサの感度

Fig.15 Sensitivities of the SnO₂ doped noble metals.

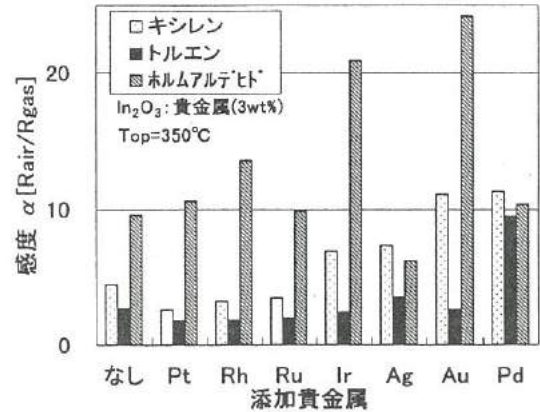


図16. 貴金属を添加したIn₂O₃センサの感度

Fig.16 Sensitivities of the In₂O₃ doped precious metals.

5. 結 言

(1) スクリーン印刷法にて厚膜ガスセンサを試作し、その基礎的性能を調べた。

・同一材料の同一印刷ロットでのばらつきはほとんどなく数%程度であった。

・センサの膜厚とともにセンサ感度は下がり、3回塗り(約40 μm)で感度はほぼ一定となる。また1回塗り(約10 μm)では感度は高いものの不安定であった。

・アルミナ基板上的のセンサ部における温度分布を熱画像装置にて調べたところ、ばらつきは±2℃であった。

・計算により目標濃度の測定用ガスを作製し、市販の検知管と比較したところ、誤差は約5%であった。

(2) 「シックハウス症候群」の原因となる代表的な室内空気汚染物質をホルムアルデヒド、トルエン、キシレンとし、それらを検知するため23種類の酸化物半導体のガス感度を調べたところ、特にn型4種(ZnO, SnO₂, WO₃, In₂O₃)、p型2種(Co₃O₄, Cr₂O₃)が感度が高いことがわかった。

(3) 3種の汚染ガスに対して、感度の高い酸化物半導体は以下のとおりだった。

ホルムアルデヒド (SnO₂, In₂O₃)、トルエン (In₂O₃, ZnO)、キシレン (WO₃, In₂O₃)

(4) 6種類のセンサに対して最大感度を示す温度は以下のとおりだった。

ZnO, WO₃(450℃) > In₂O₃(350℃) > SnO₂(300℃) > Co₃O₄, Cr₂O₃(200℃)

(5) センサの高感度化を図るため触媒として貴金属を添加したところ、大幅に感度が向上した。

参考文献

- (1) 大藪：「複数の酸化スズ系ガスセンサによる独居老人世帯モニタリング」、T.IEE Japan,314-319,Vol.117-E, No.6,1997
- (2) 小峰：「住宅における室内空気質に起因する健康影響」、住宅総合研究財団研究年報、No.23、1996
- (3) 「ガスセンサとその応用」、新田正義他著、パワー社
- (4) 「化学センサ、その基礎と応用」、清山哲朗他編、講談社サイエンティフィック、東京(1982)
- (5) 南戸：「インテリジェントにおいセンサ」、蛋白質核酸酵素 40,1149,1995
- (6) 「セラミックスセンサー」、柳田博明、講談社ブルーバックス
- (7) 南戸：「酸化物半導体薄膜ガスセンサを用いた魚の鮮度判定」、信学技報、96-106、1997
- (8) 三浦：「牛肉の鮮度評価を目指した酸化物半導体ガスセンサの開発」 T.IEE Japan,306-313,Vol.117-E, No.6,1997

IV. 電力変換用圧電セラミックストランスの開発

Development of High Power Transformer Using Piezoelectric Ceramics

堀井 一宏	柳川 新	二口 友昭
HORII Kazuhiro	YANAGAWA Arata	FUTAKUCHI Tomoaki
杉森 博	角崎 雅博	谷野 克巳
SUGIMORI Hiroshi	KADOSAKI Masahiro	TANINO Katsumi

Abstract

Piezoelectric devices have the advantages of low loss, large electro-mechanical coupling factor and ease of miniaturization. A piezoelectric transformer is one such device. Since the piezoelectric transformer was proposed by Rosen, many studies on it have been made. Recently, the piezoelectric transformer have developed and commercially produced for use in the inverters that help activate the back lights of color liquid crystal displays. We attempted to study the piezoelectric ceramics suitable for high power and high voltage use more widely and examine the new designs of electrodes and ceramic body different from Rosen's design for high frequency and high efficiency.

The newly developed piezoelectric ceramics with the composition of $0.48\text{PbZrO}_3-0.42\text{PbTiO}_3-0.1\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ showed electro-mechanical coupling factor $k_p=0.48$ and mechanical quality factor $Q_m=2060$. The new type piezoelectric transformers using thickness shear vibration were prepared with these materials. They performed at the frequency as high as about 530 kHz and the high power density of $3.8\text{W}/\text{cm}^3$ was realized.

1. 緒言

圧電セラミックストランスは、電気振動を機械振動に変換し、この機械振動を電気振動に変換することで電力電送を行う素子である。圧電トランスは原理的には数十年前に水晶振動子を用いて検討されていたが、高電圧発生装置として注目されるようになったのは、1956年にアメリカの C. A. Rosen らの研究⁽¹⁾が発表されてからのことである。テレビ用高圧電源等への応用が試みられたが、当時の技術では、セラミックの応力による破損の問題等から信頼性に耐え得るトランスを製造することができなかった。

近年になって、圧電トランスが電子機器のトランスとして再び注目されるようになった。これは、マルチメディア機器、携帯端末等が普及し、機器が構成素子の小型化・薄型化を要求していることによる。圧電トランスは、「巻線がないため小型化・薄型化が容易であること」、「セラミックであるため不燃化が図れること」、「巻線が存在せず、また、共振状態で使用されるため、電磁誘導によるノイズが少ないこと」、「高電圧を発生させるトランスとしては変換効率が高いこと」等の数々の特長を持つ。なかでも、電磁トランスでは損失が増大して実用に適さない高周波領域でトランスの駆動を行った場合でも、損失の増加が生じず、また、駆動周波数に比例して、体積当たりの電送可能な電力密度が増加するといった長所を持つ。

本研究では、圧電トランスに適した圧電セラミック材料の開発を行い、さらに、高周波駆動に適した新型構造の圧電トランスの考案と試作を行った。

2. ローゼン型圧電トランス

ここでは、ローゼン型圧電トランスの動作について述べる。1958年に Rosen が発表した圧電トランスの特許⁽²⁾では、円筒型、円盤型、長方板型などの数々のトランスが提案されているが、現在実用化されているものは長方板型で、ローゼン型圧電トランスとして知られている。図1はローゼン型圧電トランスの外観図を示す。ローゼン型圧電トランスは、図示したように中心から左半分につけられた電極

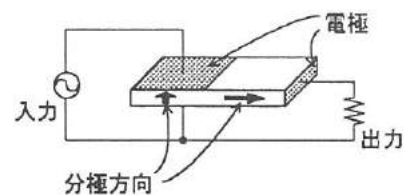


図1 ローゼン型圧電トランス
Fig.1. Schematic view of Rosen's design piezoelectric transformer.

を入力部とし、反対側に付けられた電極を出力部としている。ローゼン型トランスでは、入力部は厚み方向に、出力部は長手方向に分極処理されている。本トランスでは、圧電セラミックスの横効果(31)振動と縦効果(33)振動を利用して電力伝送を行っている。圧電セラミックス板の分極方向と平行な外部電界を与えたときに分極方向と垂直な方向に伸縮の振動を起こす効果が横効果(31)振動、分極方向と平行に生じる振動が縦効果(33)振動である。図 2 に横効果(31)振動および縦効果(33)振動の詳細を示した。ローゼン型圧電トランスの入力部では圧電逆効果の横効果(31)振動によって電気振動が機械振動に変換される。出力部では縦効果(33)振動の圧電正効果によって機械振動が電気振動に変換される。

圧電トランスが動作する場合に大変重要な動作として、振動の機械的共振が挙げられる。ローゼン型トランスの場合、入力部では横効果振動を発生させる。振動はトランスの長手方向に伝達される。この振動がトランスの長手方向と共振を引き起こした場合に電力伝送の効率が上がる。ローゼン型トランスの場合には 2 次モード共振が使用される。図 3 は 2 次モード共振時の応力分布を示す。ローゼン型トランスが 2 次モード共振を起こしている時は入力部と出力部の境目に振動の節が固定される。このため、入力部全体が同じ極性を持ち、また、出力部も同様に全体が同じ極性を持つことになり電力伝送効率が上がる。ローゼン型トランスで大きな電力伝送を行うためにトランスの外形を大きくすると、共振周波数が低下してしまうという現象が生じ、高周波駆動と大電力伝送を両立させることが難しいという性格を持っている。

3. 圧電トランス材料に関する検討

圧電トランス材料としての圧電セラミックスは、電気エネルギーと機械エネルギーの変換効率を示す電気機械結合係数 k と、圧電セラミックスの機械的な硬さを示す機械品質係数 Q_m が共に大きいことが求められる⁽³⁾。ここでは、これらの定数が大きい材料を開発するため、セラミックスの成分組成に検討を加えた。

3.1 圧電セラミックスの試作と電気機械結合係数および機械品質係数の測定

圧電トランスの材料としては、一般的にチタン酸ジルコン酸鉛(以下、PZT と略記)系の材料が用いられる。本研究でも PZT を圧電トランス材料として用いる。PZT は、材料を構成するジルコン酸鉛(以下、PZ と略記)とチタン酸鉛(以下、PT と略記)の比率によって電気機械結合係数が変化する事がすでに報告されている⁽⁴⁾。図 4 は PZ と PT の成分比率と電気機械結合係数 k の関係を示す。本研究では $0.53\text{PbZrO}_3\text{-}0.47\text{PbTiO}_3$ の PZT を試作した。図 5 は PZT セラミックスの試作工程を示す。焼結温度は 1100、1150 及び 1200℃の 3 点とした。試験片は図に示したように円板状とし、上下面に電極を形成してある。試作した円板の径方向広がり振動モードの電気機械結合係数 k_p と機械品質係数 Q_m の測定を行った。測定は、「圧電セラミックス振動子の電気的試験方法: EMAS-6100」⁽⁵⁾に従った。表 1 は測定結果を

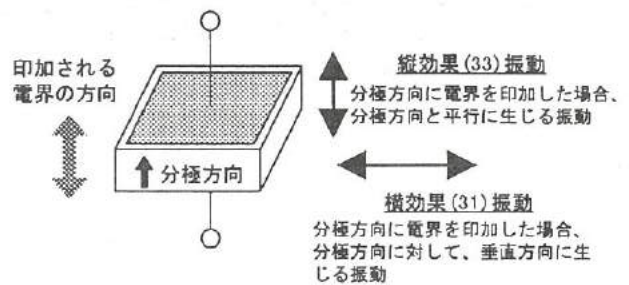


図 2 圧電セラミックスの横効果(31)および縦効果(33)振動
Fig.2. 31 vibration and 33 vibration of piezoelectric ceramics.

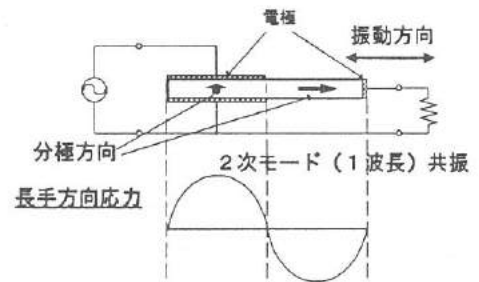


図 3 ローゼン型圧電トランスの機械共振
Fig.3. Mechanical vibration resonance of Rosen's design piezoelectric ceramics transformer.

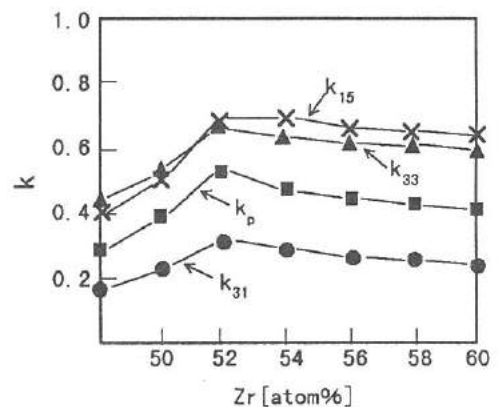


図 4 PZT の成分比率と電気機械結合係数
Fig.4. Relationship between Zr content and electro-mechanical coupling coefficient for PZT ceramics.

表1 PZTの焼結温度と密度、 k_p および Q_m
Table 1. Relationship between Annealing temperature and density, k_p , Q_m for PZT ceramics.

焼結温度 [°C]	密度 [g/cm ³]	理論密度比 [(d) / (t.d.)]	k_p	Q_m
1100	6.67	0.828	—	—
1150	7.60	0.944	0.228	159
1200	7.78	0.960	0.458	181

表2 PZTの特性に及ぼす添加物の影響
Table 2. Effect of doping metals for characteristics of PZT.

元素	効果
Mn	焼結体密度の向上、 Q_m の向上
Fe	焼結温度の引き上げ、 Q_m の向上
Sb	焼結温度の引き下げ
Nb	焼結温度の引き下げ、 Q_m の減少

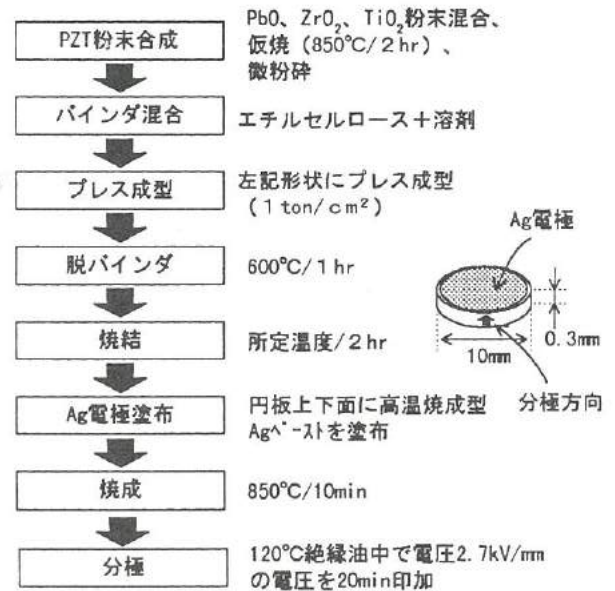


図5 PZTセラミックス板試作工程

Fig.5. Fabrication process of PZT ceramics.

示す。焼結温度が高くなるに従って密度、電気機械結合係数 k_p 、機械品質係数 Q_m が向上する傾向が見られる。1200°Cで焼結を行ったPZTは、 $k_p=0.458$ 、 $Q_m=181$ の値を示した。この値は文献値⁽⁴⁾とほぼ一致しており、今回のPZTセラミックス試作工程が正しく行われていることを示している。

3.2 PZTの他元素添加効果

圧電トランス材料としての圧電セラミックスの Q_m は高いほうが良く、一般的には1000以上が望ましいとされている。上記の実験結果や過去の報告例からも明らかであるように、PZTは圧電トランス用材料としては Q_m が小さい。しかし、PZTの Q_m を向上させる手段として他元素を添加する方法がある⁽⁶⁾。表2は添加元素とPZTの特性に与える影響の関係を示す。図5に示した工程でPZTに元素を添加した試験片を試作し、 k_p および Q_m の測定を行った。表3は測定結果を示す。PZT-Mn04系では焼結温度を1200°Cと高くしても理論密度比は0.92程度の低い値を示した。従って、Mn添加系では高密度のものを得るためには焼結温度を高くする必要があるものと考えられる。PZT-Fe05系の場合、1150°C焼結では理論密度比が0.898であったが、1200°Cでは0.983へと向上した。このときの $k_p=0.518$ 、 $Q_m=385$ であり、添加物がない場合と比較すると k_p 、 Q_m がともに高くなっている。PZT-MnSb、PZT-MnNbの2成分元素添加系の場合は、密度、 k_p 、 Q_m がともに向上する結果となった。特に、PZT-MnNb系では $Q_m=1940$ と今回の試験の中で最も高い値を示した。これは、Mnによる Q_m 向上効果とNbによる焼結温度引き下げ効果が相乗した結果と考えられる。以上の結果より、本研究ではPZT-MnNb系のものを圧電トランス材料として用いることとした。

表3 他元素添加PZTの密度、 k_p および Q_m
Table 3. Density, k_p and Q_m for PZT ceramics modified by the other element.

材料組成 (略記号)	焼結温度 [°C]	密度 [g/cm ³]	理論密度比 [(d) / (t.d.)]	k_p	Q_m
PZT+Mn0.4wt% (PZT-Mn04)	1150	6.65	0.827	-	-
PZT+Mn0.4wt% (PZT-Mn04)	1200	7.40	0.920	-	-
PZT+ Fe0.5wt% (PZT-Fe05)	1150	7.23	0.898	-	-
PZT+ Fe0.5wt% (PZT-Fe05)	1200	7.91	0.983	0.518	385
PZT+PbMn _{1/3} Sb _{2/3} O ₃ 10mol% (PZT-MnSb)	1100	7.78	0.961	0.388	1210
PZT+ PbMn _{1/3} Nb _{2/3} O ₃ 10mol% (PZT-MnNb)	1100	7.65	0.951	0.457	1940

3.3 PZT-MnNb の焼結温度と k_p および Q_m の関係

Q_m は焼結温度によって値が大きく変化する。そこで、PZT-MnNb の諸特性と焼結温度との関係に検討を加えた。図6は焼結温度と密度の関係を示す。図より、1250℃までは密度は向上するが、それ以上の温度では急激に低下する傾向が見られる。この原因として、材料中からの鉛の蒸発と、焼結が過度に進行したために粒子間に空隙が発生したものと推察する。図7は焼結温度と k_p および Q_m の関係を示す。図より、 Q_m は1200℃までは上昇する傾向を示すが、1150～1250℃の範囲では大きな変化が見られない。 k_p も同様の傾向を示した。図8はPZT-MnNbのSEM写真である。図より、1250℃から粒成長が観察され、1300℃付近では著しい粒成長が見られる。以上のことから、PZT-MnNbの最適な焼結温度は1150～1250℃であり、この温度範囲で焼結を行った場合に圧電セラミックスとしての特性を最も発揮し、また、粒子の形成状態も安定している。

4. 新型圧電トランスの検討

PZT系の圧電セラミックスの振動モードは、「横効果(31)振動」、「縦効果(33)振動」に加えて、「厚みすべり(15)振動」を持つ⁽⁷⁾。これらの振動モードにおける電気機械結合係数 k は、 $k_{15} > k_{33} > k_{31}$ の関係を持つ。これまでに考案されている圧電トランスは、各振動モードの電気機械結合係数中で最小の電気機械結合係数 k_{31} を持つ横効果(31)振動を用いたものであった。また、より大きな電力電送を行うために圧電トランスを大型化しようとした場合にはトランスの共振周波数が低くなり、電力電送効率が悪くなってしまふ欠点を持っていた。このため、ここでは圧電セラミックス最大の電気機械結合係数を持つ厚みすべり(15)振動を入力部とし、縦効果(33)振動を出力部に使い、さらに、トランスを大型化しても共振周波数が変化しない構造を持った新型圧電トランスを考案した。

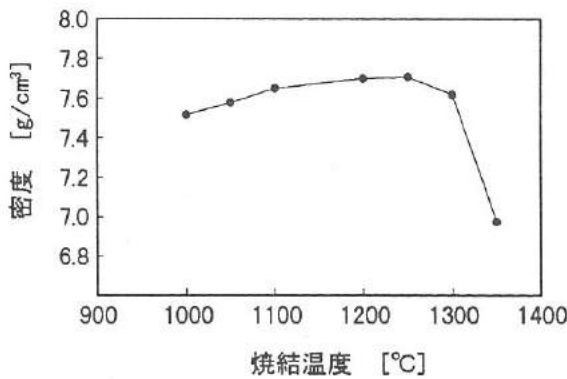


図6 PZT-MnNbにおける焼結温度と密度の関係
Fig.6. Density of PZT-MnNb ceramics vs. firing temperature.

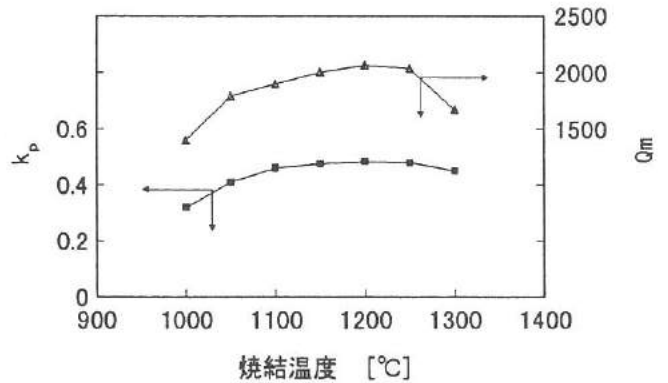


図7 PZT-MnNbにおける焼結温度と k_p 及び Q_m の関係
Fig.7. k_p and Q_m of PZT-MnNb ceramics vs. firing temperature.

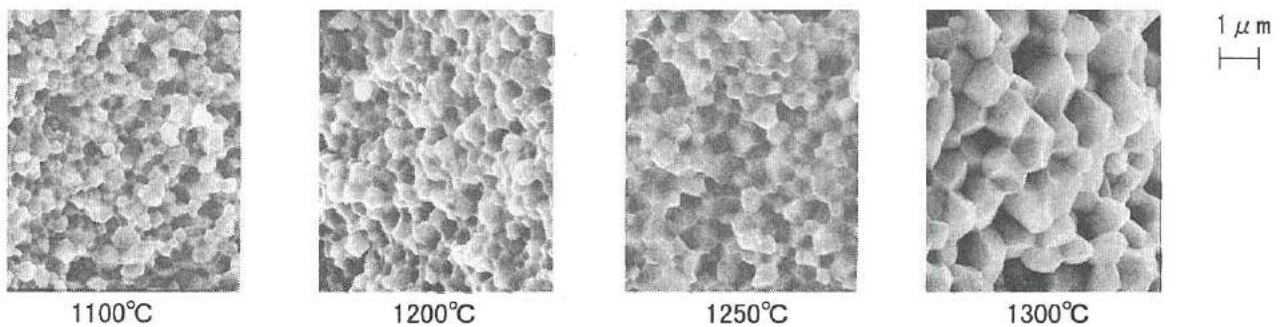


図8 PZT-MnNb 焼結体のSEM写真
Fig.8. SEM photographs of PZT-MnNb ceramics.

4.1 動作原理

ここでは、新型圧電トランスの動作について述べる。図9は新型圧電トランスの外観図を示す。図に示したように、本圧電トランスでは板の厚み方向と垂直な方向に分極された圧電セラミックス板を用いた。圧電セラミックス板上には、右端および左端に入力電極を設置し、入力電極の内側に出力電極を設置している。また、下面にも上面と対称となる位置に電極を設置している。図10は圧電トランスの入力-出力結線方法の一例を示す。入力には右端電極の上下面に印加する。この時、左端電極には、右端と逆の極性となるような入力電圧が印加される。出力は上面の電極および下面の電極からそれぞれ独立して取り出すことができる。即ち、

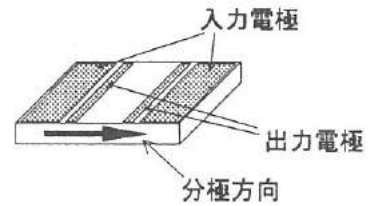


図9 新型圧電トランス
Fig.9. Schematic view of new design piezoelectric ceramics transformer

入力および出力が完全に独立かつ2出力型の圧電トランスとなる。図11は、本圧電トランスに交流電圧を印加した場合の動作を示す。(a)の場合では、トランスの入力電極に電圧が印加されると、厚みすべり(15)振動モードによって、トランス上面が内側に縮むように歪が生じる。同時に、トランス下面が外側に広がるように歪が生じる。つまり、板の上面は圧縮され、下面は伸長されることになる。この時、板の上面に取り付けられた出力電極では圧縮の縦効果(33)振動モードにより電圧が発生し、また、板の下面に取り付けられた出力電極では伸長の縦効果(33)振動モードにより電圧が発生する。分極方向が同じであるため、上面および下面の出力電極では、それぞれ逆の極性を持った電圧が発生することになる。本トランスでは出力電圧は出力電極の間隔で決まり、間隔が広いほど昇圧比が大きくなる。(b)の場合では(a)と逆の極性の入力電圧が印加されるため、逆の動作を示すことになる。この動作が繰り返されることで電力電送が行われる。

また、厚みすべり振動の共振周波数 $f_{p(15)}$ は、式(1)で表される。

$$f_{p(15)} = \frac{1}{2t} \sqrt{\frac{C_{44}^D}{\rho}} \quad (1)$$

$f_{p(15)}$: 厚みすべり振動の共振周波数
 ρ : 圧電磁器板の密度
 C_{44}^D : 弾性定数
 t : 圧電磁器板厚さ

式(1)より、板の形状が厚みすべり振動の共振周波数に及ぼす因子は板厚のみということが分かる。従って、厚みすべり振動を用いた圧電トランスでは、トランスの厚みが同じであれば、トランスを大型化した場合でもトランスの共振周波数が低くなってしまいう現象は発生しない。

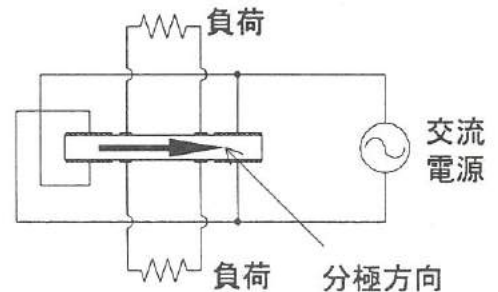


図10 新型圧電トランスの入出力結線
Fig.10. Input and output circuit of new design piezoelectric ceramics transformer

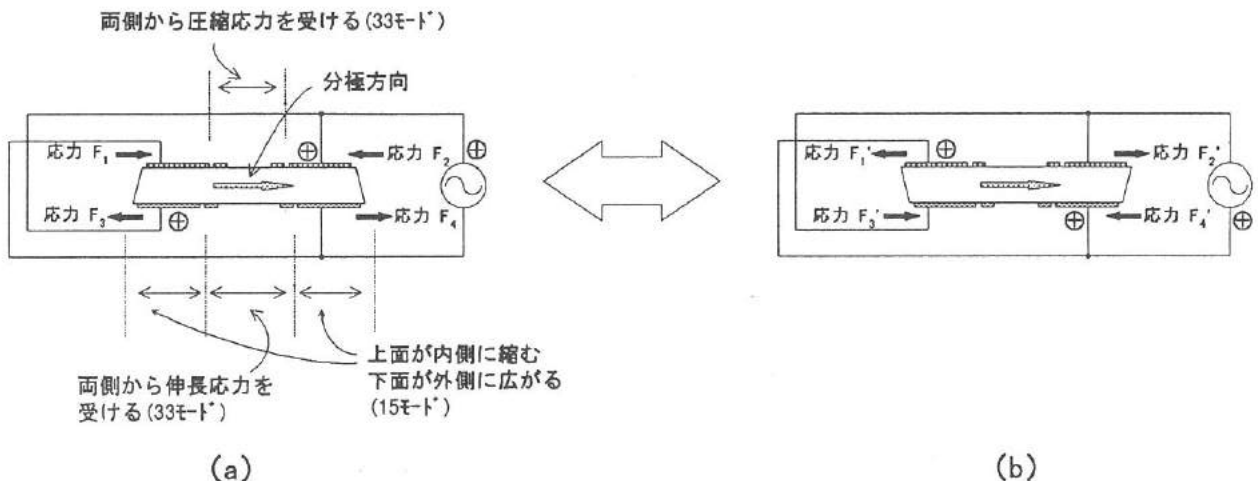


図11 新型圧電トランスの動作

Fig.11. Operation of action on new design piezoelectric ceramics transformer.

4.2 新型圧電トランスの試作

図 12 は圧電トランスの試作工程の一例を示す。トランス材料には 3 章で検討を行った PZT-MnNb を用いた。本圧電トランスでは、トランスに形成される電極と分極方向が異なるために、まず分極用の電極を高温焼成型 Ag ペーストで形成して分極した。この後、PZT 系セラミックスのキュア温度が 300℃程度であるため、入出力用電極として、スパッタリングによって Au/Cr を形成した。また、電極からの引出線は、樹脂バインダー型 Ag ペーストを用いて接着した。図 13 は試作した新型圧電トランスの外観写真を示す。

今回、圧電トランスとしての特性を比較するために、同一の円板からローゼン型圧電トランスも試作した。ローゼン型圧電トランスの寸法は 22.0×6.0×2.0mm とした。

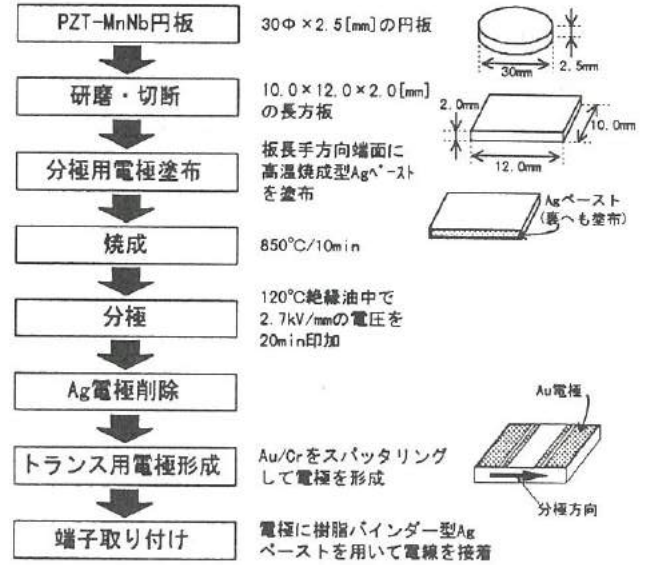


図 12 新型圧電トランス試作工程

Fig.12. Fabrication process of new design piezoelectric ceramics transformer.

4.3 新型圧電トランスの動作確認

まず、トランスが上記の動作原理で動いていることを確認するために、図 14 に示した回路を用いて実験を行った。回路では、トランス上面の出力電極には負荷抵抗 R1 を、下面の出力電極には負荷抵抗 R2 を接続した。また、入力電極には 5Vp-p の正弦波を印加した。約 530kHz で厚みすべり振動の共振が発生した。図 15 は負荷抵抗両端の出力電圧をオシロスコープで測定した結果を示す。図より、各出力力はほぼ同じ値の電圧を出力し、また、180° の位相差を持つことが分かる。このことより、上面の出力電極では縮みの縦効果(33)振動モードによって電圧が発生しているときに、下面の出力電極では伸びの縦効果(33)振動モードによって電圧が発生しており、上記した原理に基づく圧電トランスの動作が行われていることが確認できた。

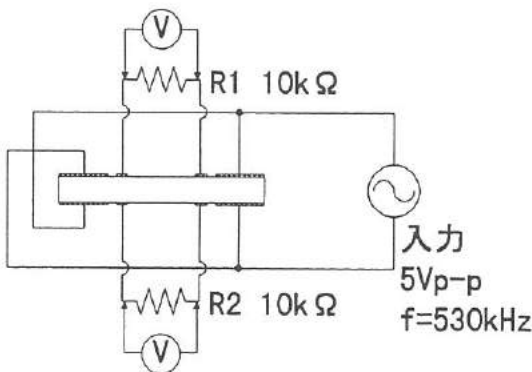


図 14 新型圧電トランス動作確認用結線図
Fig.14. Circuit for confirmation with operation of new design piezoelectric ceramics transformer

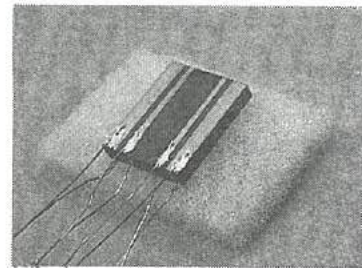


図 13 新型圧電トランスの外観写真

Fig.13. Appearance of new design piezoelectric ceramics transformer

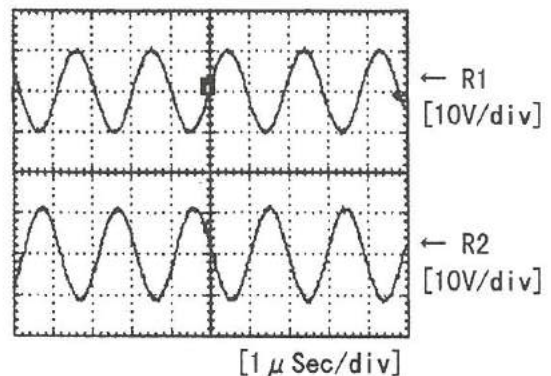


図 15 新型圧電トランスの出力波形
Fig.15. Output waveforms of upper and bottom side electrode for new design piezoelectric ceramics transformer.

4.4 新型圧電トランスとローゼン型圧電トランスの特性比較

試作した新型圧電トランスの入力および出力電極容量をインピーダンスアナライザを用いて測定した。表 4 はその結果を示す。圧電トランスは、共振周波数 f_p と出力電極の容量 C_{out} から出力インピーダンス Z_{out} を推測することができる。式(2)はその計算式を示す。

$$Z_{out} = \frac{1}{2\pi \cdot f_p \cdot C_{out}} \quad (2)$$

Z_{out} : 圧電トランスの出力インピーダンス
 f_p : 圧電トランスの共振周波数
 C_{out} : 圧電トランスの出力電極容量

試作した新型圧電トランスは、530kHz 付近に共振周波数を持つことから、約 11k Ω の出力インピーダンスを持つものと推測できる。出力インピーダンスを検証するために、「負荷抵抗-出力電圧・出力電力特性」および「負荷抵抗-入出力効率」の測定を行った。測定は、上側の出力電極に負荷抵抗を接続し、入力に 4.5V_{p-p}/530kHz の正弦波を印加して行った。下側の出力電極は開放とした。図 16 および図 17 は測定結果を示す。図より、抵抗値が減少するに従って昇圧比が減少することが分かる。効率は最大で 90%程度が得られる。また、出力電力は負荷抵抗が 15k Ω 付近で最大となっている。この結果は、圧電トランスの出力電極の容量から計算される出力インピーダンスとほぼ一致する。

表 4 新型圧電トランスの入力および出力容量

Table 4. Input and output capacitance of new design piezoelectric ceramics transformer.

電極		容量 [pF]
入力	右	144
	左	141
出力	上	27.4
	下	27.6

表 5 ローゼン型圧電トランスの入力および出力容量

Table 5. Input and output capacitance for Rosen's design piezoelectric ceramics transformer.

電極	容量 [pF]
入力	119
出力	5.2

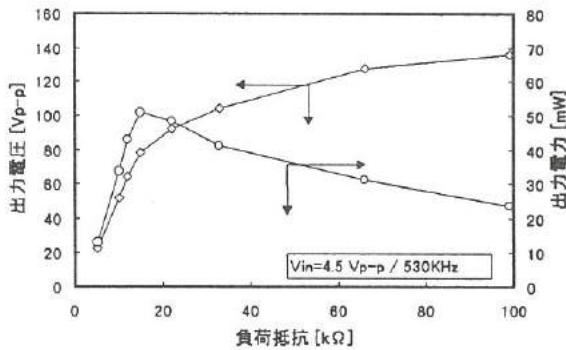


図 16 新型圧電トランスの出力電圧および出力電力特性
 Fig.16. Output voltage and power vs. load resistor of new design piezoelectric ceramics transformer.

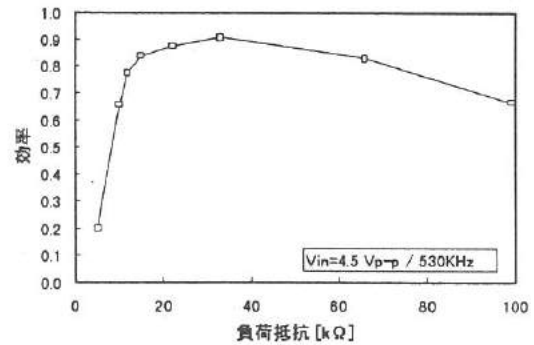


図 17 新型圧電トランスの効率特性
 Fig.17. Input and output efficiency vs. load resistor of new design piezoelectric ceramics transformer.

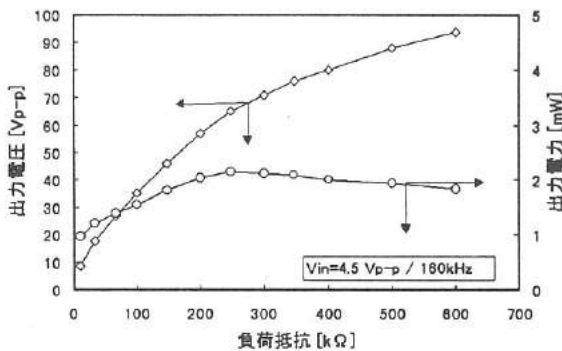


図 18 ローゼン型圧電トランスの出力電圧および出力電力特性
 Fig.18. Output voltage and power vs. load resistor of Rosen's design piezoelectric ceramics transformer.

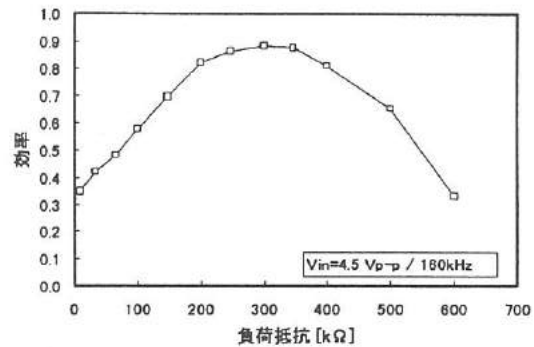


図 19 ローゼン型圧電トランスの効率特性
 Fig.19. Input and output efficiency vs. load resistor of Rosen's design piezoelectric ceramics transformer.

次に、試作したローゼン型圧電トランスの入力および出力電極容量の測定を行った。表 5 はその結果を示す。試作したローゼン型圧電トランスの共振周波数を測定したところ、約 160kHz であったことから 191kΩ の出力インピーダンスを持つものと推測できる。ローゼン型トランスの場合でも同様に、「負荷抵抗-出力電圧・出力電力特性」および「負荷抵抗-入出力効率」の測定を行った。測定は、4.5Vp-p/160kHz の正弦波を印加して行った。

図 18 および図 19 は測定結果を示す。図より、抵抗値が減少するに従って昇圧比の減少が見られ、また、最大で 90% 程度の効率が得られる。出力電力は負荷抵抗が 250kΩ 付近で最大となっており、出力電極の容量から計算される出力インピーダンスとほぼ一致する。2つのトランスを比較すると、新型トランスはローゼン型トランスに比べて出力インピーダンスが著しく小さい。これは、新型トランスの共振周波数がトランスの厚みだけで決定されるためであり、容易に共振周波数を高くすることが可能だからである。

最後に、新型トランスおよびローゼン型トランスの最大電力密度を求めた。測定は、各トランスが最大電力を示す抵抗負荷を接続し、入力電圧を増加させた。トランスの温度が 20℃ 上昇した点を最大電力とした。表 6 はその測定結果を示す。我々が試作した新型のものはローゼン型より大きな出力電力密度を持っていることが分かる。

表 6 圧電トランスの電力密度

Table 6. Measurement of power density on Rosen's design and new design piezoelectric ceramics transformer.

	ローゼン型	新型
共振周波数 [kHz]	160	530
入力電圧 [Vp-p]	102	37.6
出力電圧 [Vp-p]	1200	328
負荷抵抗 [kΩ]	250	15
出力電力 [W]	0.72	0.90
体積 [cm ³]	0.264	0.240
電力密度 [W/cm ³]	2.7	3.8

トランスの温度上昇: 20℃

5. 結 言

本研究では、圧電トランスに適した圧電セラミックス材料の開発を行い、さらに、高周波駆動に適した新型構造の圧電トランスを考案、試作して、その物理的性質に検討を加えた。その結果を次に示す。

- (1) チタン酸ジルコン酸鉛(PZT) の電気機械結合係数および機械品質係数の向上目的として、PZT に Mn、Fe、Mn-Sb、Mn-Nb を添加したところ、Mn-Nb を添加した材料 (0.48PbZrO₃-0.42PbTiO₃-0.1PbMn_{1/3}Nb_{2/3}O₃) は電気機械結合係数および機械品質係数がともに大きな値を示した。また、本材料に焼結温度と諸特性との関係の検討を加えたところ、1150℃~1250℃が圧電セラミックスとして最も良い特性を($k_p=0.48$ 、 $Q_m=2060$)示す焼結温度であることが分かった。
- (2) 入力に厚みすべり(15)振動、出力に縦効果(33)振動を用いた新型圧電トランスを考案して試作した結果、共振周波数 530KHz において 3.8W/cm³ の電力密度を持つ圧電トランスが得られた。

参考文献

- (1) C. A. Rosen, "Ceramic Transformer and Filters.", Proc. 1956 Electronic Comp. Symp., p 205(1956)
- (2) C. A. Rosen, US Patent 2,830,247 Apr. 8, 1958 Electromechanical Transducer
- (3) 河合 英正他、「ハイパワー圧電セラミックス」、NEC 技報,49,p135,1996
- (4) D.A. Berlincourt et al, Proc. IRE, p220,(1960-Feb)
- (5) 圧電セラミックス技術委員会、電子材料工業会監修、「圧電セラミックス振動子の電気的試験方法: EMAS-6100」
- (6) 田中哲郎他、電子材料工業会監修、電波新聞社、「圧電セラミックスとその応用」、p93
- (7) 岡崎 清、学献社、「セラミックス誘電体工学」、p319

V. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜 アクチュエータの開発

Development of SMA film actuator by the laser annealing treatment
in the micro area

丹保哲也
TANBO Tetsuya

野上拓也
NOGAMI Takuya

山田浩美
YAMADA Hiromi

滝川健太郎
TAKIKAWA Kentaroh

高林外広
TAKABAHASHI Sotohiro

佐山利彦
SAYAMA Toshihiko

清水考晃
SHIMIZU Taka-aki

谷野克巳
TANINO Katsumi

ABSTRACT

Micro actuator that has the two dimensional movement has been already made, using SMA film. However, it was very difficult to produce an actuator that show the twisting movement, as remarkable defect of SMA film, because NiTi SMA change the shape only one way.

The purpose in this study is to change the transformation characteristics of SMA film by laser annealing in the small area and to design and fabricate the micro actuator that shows the twisting movement.

The results are as follows.

- (1) The reversible shape change actuator was fabricated by using the difference of thermal expansion ratio between NiTi and Cu without any jig.
- (2) The twisting movement of the actuator was obtained by using the laser annealing in the small area. The relationship between the motion of actuator and the annealing conditions by the laser, the annealing angle θ and the annealing width was especially determined.
- (3) It was certified that the TiOx layer was formed at the surface of laser annealed area. This layer caused to twist the actuator by heating.
- (4) The improvement of the adherence between NiTi and Si substrate and the modification of actuator shape (aspect ratio) would be necessary in the lithography fabrication.

1. 緒言

NiTi形状記憶合金は、所定の温度に達すると記憶させた形状に戻るため通電加熱等によって動作が可能、合金組成物があるまゝ力を発生するので構造を単純化できる、単位体積当たりおよび単位質量当たりの発生力が大きい等の特徴がある。さらに、薄膜化によって、従来の線材や板材に比べ加熱および冷却速度を格段に速くすることが可能であり、高い応答性が得られ、フォトリソグラフィ技術等を利用して集積化できることから、関係方面ではマイクロアクチュエータ等として期待されている。

しかし、NiTi形状記憶合金膜を使用したマイクロアクチュエータに関するこれまでの報告は、上下運動や開閉運動等の一次的、二次元的動作を示すものでしかなかったため、その用途は限られていた。反面、ねじれ等の三次元的動作を持たせることが可能な場合、様々な用途展開が期待できる。

そこで、本研究では形状記憶合金膜に局部的レーザー加熱処理を施すことによって、平面的な動作しか示さなかったNiTi形状記憶合金膜アクチュエータにねじれ等の三次元的動作を与えることを試みた。また、リソグラフィ技術を利用してこれらの合金膜によるマイクロキャッチャーの作製を試みた。

2. 動作原理

図1はねじれ型アクチュエータの動作原理を示す。これは、高温下で平板状に形状記憶されているNiTi形状記憶合金膜に局所的なレーザー加熱処理を行い、バイアス膜としてCu膜を形成して、配線を行ったものである。

このアクチュエータを通電加熱すると、試料温度が上昇して、NiTi形状記憶合金膜は母相であるオーステナイト相に変態し、その際の形状回復力は

Cuの弾性力よりもはるかに大きいため、記憶させた形状（すなわち平板状）になる。その後、通電を止めると試料温度が下がるため、NiTi形状記憶合金膜よりも熱膨張係数の大きいCuバイアス膜がより縮むため、Cuバイアス膜の方へ反り返る（熱膨張係数 NiTi: 1.00×10^{-5} (1/K) Cu: 1.62×10^{-5} (1/K)）。その際、局所的にレーザー加熱処理を行い、NiTi形状記憶膜に剛性の高い部分を残した場合、冷却時に一部曲がらない部分に残り、ねじれ動作を示す。

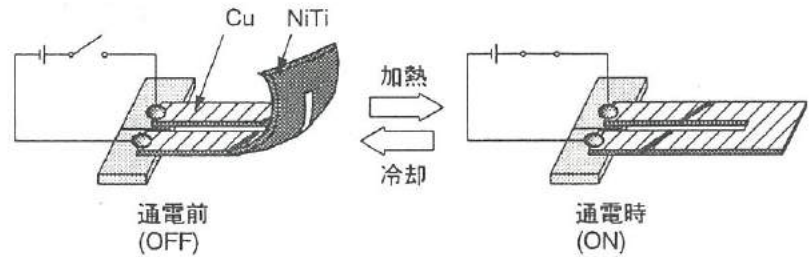


図1 動作原理

Fig.1. Principle of 3 dimensional movement.

3. 実験方法

3.1 ねじれ型アクチュエータ

図2はねじれ型アクチュエータの作製工程を示す。まず、Cu箔の上にNiTiをスパッタリングによって成膜した ($t=10 \mu\text{m}$)。その後、HNO₃水溶液 (10wt%)に1時間浸漬しCuを溶解した。NiTi膜を平板状に形状記憶させるためおよび、周囲の雰囲気ガスとの反応を防ぐために高純度のアルミナ板で挟み、真空炉中でまず結晶化のための溶体化処理を800℃、1時間施し、次に、形状記憶のための時効処理を400℃、6時間施した。つぎに、NiTi膜を所定の形状に切断し、所定の場所にレーザー加熱処理を行った。レーザー加熱の条件を表1に示す。レーザー加熱の後、バイアス膜としてCuをスパッタリングによって成膜した ($t=1 \mu\text{m}$)。そして、図3に示すように"コ"の字型に切断し、電極部分をAgペーストによって固定した。Agペーストが十分に乾燥したことを確認した後、通電加熱を行い変位特性を測定した。

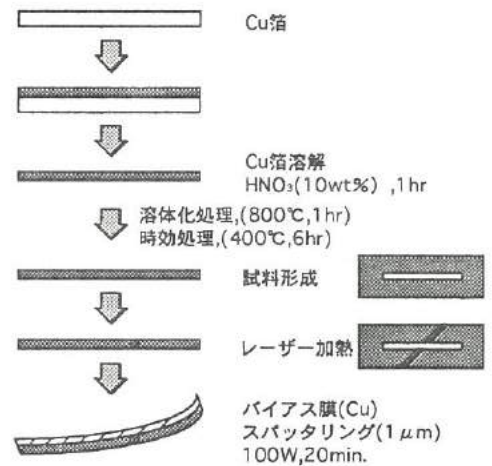


図2 ねじれ型アクチュエータの作製工程

Fig.2. Fabrication process of the actuator.

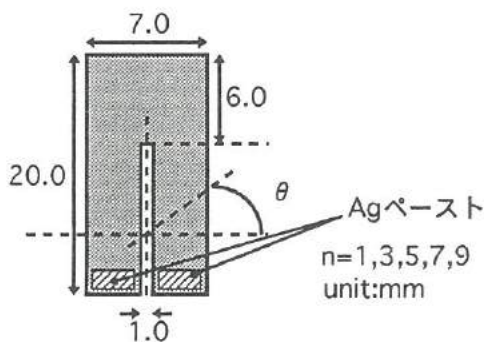


図3 ねじれ型アクチュエータの形状

Fig.3. Shape of an acuator.

表1 レーザー加熱の条件

Table1. Laser annealing conditions.

レーザー種類	Arレーザー
レーザー出力 (W)	1.0
ビーム径 (mm)	1.5
加熱角度 (°)	15,45,60
加熱回数	1,3,5,7,9
ピッチ (mm)	0.1

3.2 マイクロキャッチャー

前記のねじれ型アクチュエータの作製技術を応用し、さらに小型化にすることによって様々な用途が期待されることから、今回フォトリソグラフィ法を用いた小型のアクチュエータ（以下、マイクロキャッチャー）の作製を試みた。図4に作製工程を示す。

十分に洗浄した Si 基板上にレジスト ($t=1 \mu\text{m}$) を塗布し、 100°C 、15 分のプリベークを行った。そして、マイクロキャッチャーの電極部分をパターンニングされたフォトマスクを介して露光した後現像した。その後、 200°C 、1 時間のポストベークを施し、NiTi をスパッタリングによって成膜した ($t=10 \mu\text{m}$)。NiTi 膜上に再びレジストを塗布し、プリベークした後、図 5 に示した 4 種類のマイクロキャッチャーのパターンが形成されているフォトマスクを電極部分で位置合わせをし、露光、現像後ポストベーク (120°C 、1 時間) を施した。その後、NaOH 水溶液 (4wt%) に 30 時間浸漬し、レジスト剥離を行い、エッチング液 (HF:HNO₃:H₂O=1:5:10) に 10 分間浸漬して NiTi 膜のエッチングを行った後、高純度のアルミナ板に試料を挟み、真空炉中で 700°C 、2 時間の溶体化処理および 400°C 、6 時間の時効処理を施した。最後に、レーザ加熱処理を施し、バイアス膜 (Cu) を成膜した。

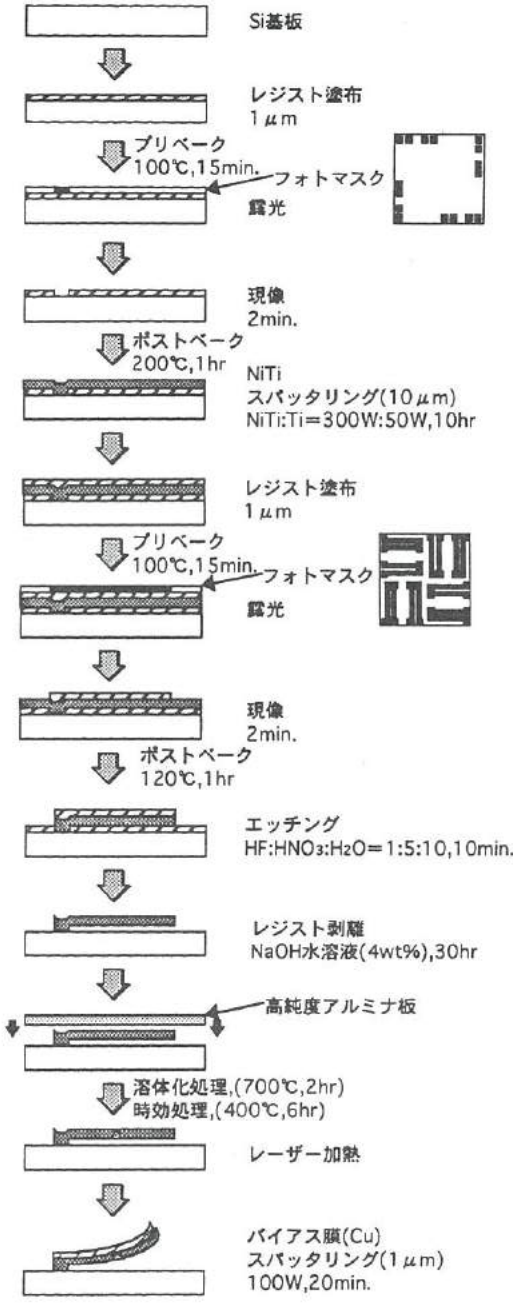


図4 マイクロキャッチャーの作製工程

Fig.4. Fabrication process steps of the microcatcher.

4. 実験結果および考察

4.1 ねじれ型アクチュエータの変位特性

通電前 (室温) および通電時 (加熱) のアクチュエータの変位特性を測定した。変位軸は図 6 のように定義した (通電時の形状回復したアクチュエータの先端を原点とすると、X,Y 方向は曲がりの変位、Z 方向はねじれの変位となる)。測定回数 $n=5$ で、X,Y 方向の変位量はマイクロSCOPE から、また Z 方向の変位量はデジタルカメラの画像から測定した。図 7、図 8 は通電加熱時の Z 方向の変位量とレーザ加熱回数のおよび、X,Y 方向の変位量 ($\sqrt{X^2+Y^2}$) とレーザ加熱回数のおよびの関係を示す。

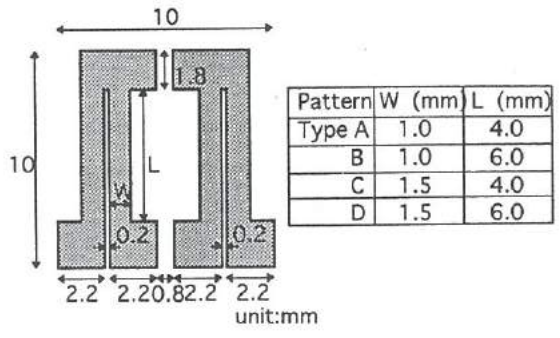


図5 マイクロキャッチャーの形状

Fig.5. Shape of microcatcher.

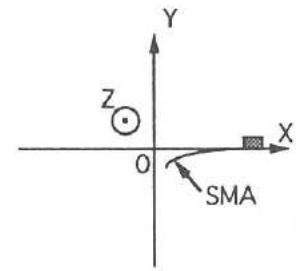


図6 変位軸

Fig.6. Displacement axes.

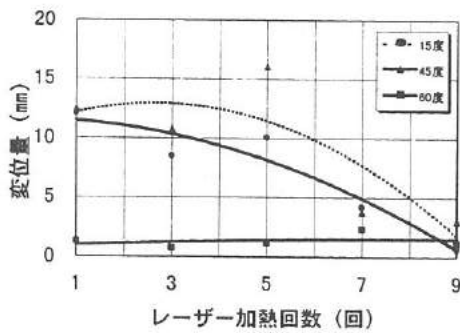


図7 Z方向の変位量とレーザー加熱回数

Fig.7. Relationship between laser annealing times and displacement quantity of Z direction.

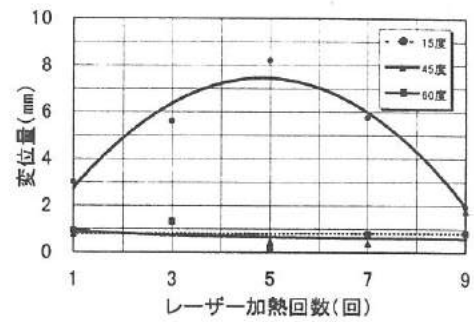
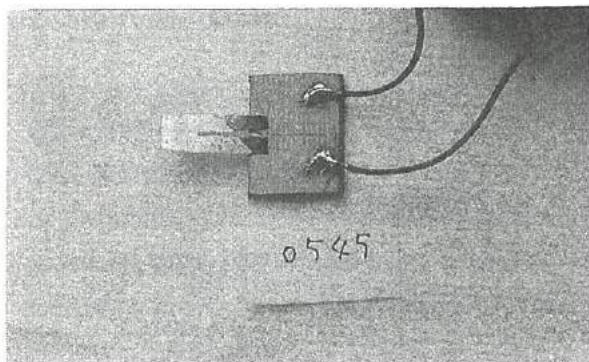


図8 X、Y方向の変位量 ($\sqrt{x^2+y^2}$) とレーザー加熱回数

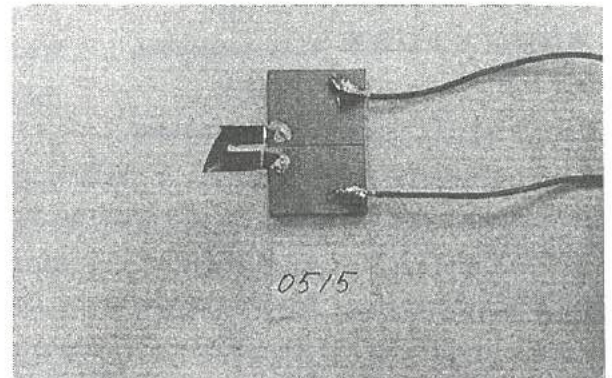
Fig.8. Relationship between laser annealing times and displacement quantity of X and Y direction.

図7および図8より、レーザー加熱角度が 15° の場合は、Z方向の変位は加熱回数を増加させてもほとんどみられないが、X,Y方向の変位は5回までは徐々に大きくなり7回以降は減少した。レーザー加熱角度が 45° の場合は、X,Y,Z方向ともに変位していることが分かった。X,Y方向の変位はレーザー加熱回数の増加とともに減少し、Z方向の変位はレーザー加熱回数を増加させるほど大きくなり、5回加熱の時に極大値を示した。即ち、この時にねじれが最も大きくなった。そして、レーザー加熱角度が 60° の場合は、X,Y,Z方向の変位はほとんどみられず、レーザー加熱がわずか1回でも全く動作しないことが分かった。

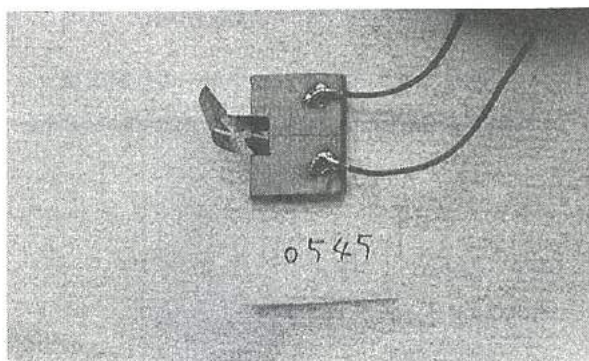
以上の変位の様子を表した写真を図9の(a)から(d)に示す。通電時の形状はどのアクチュエータも同じ形状のため、代表的なもの以外は割愛した。



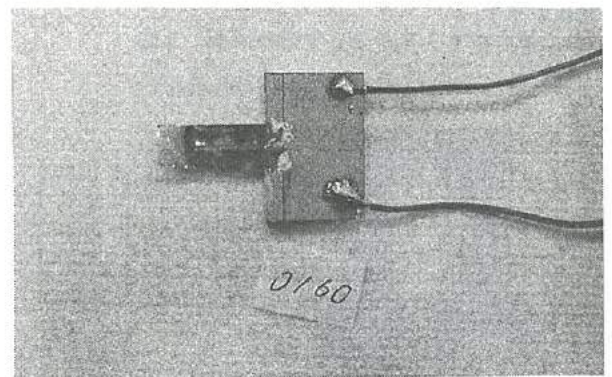
(a) $\theta = 45^\circ$ n = 5 通電時



(b) $\theta = 15^\circ$ n = 5 通電前



(c) $\theta = 45^\circ$ n = 5 通電前



(d) $\theta = 60^\circ$ n = 1 通電前

θ = レーザー加熱角度、n = レーザー加熱回数

図9 アクチュエーターの動作例

Fig.9. The movements of actuators.

これらの結果より、形状記憶合金膜で作製したアクチュエータに局所的なレーザー加熱処理を施すことによって、ねじれ動作が可能となり、ねじれ量はレーザー加熱の回数（すなわち幅）と角度によって調整できることが分かった。また、レーザー加熱部には肉眼で分かるほどの変色が見られ、加熱角度や幅によってアクチュエータの変位量が変化することから、レーザー加熱部では何らかの変質を起こしているものと考えられる。

4.2 レーザー加熱部の表面観察及び表面分析

レーザー加熱によるアクチュエータの変質部分を調べるために表面観察及び表面分析を行った。分析用サンプルとして、NiTi膜に10mm四方のレーザー加熱を行ったものを使用した。そのサンプルを走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。図10は表面のSEM写真を示す。

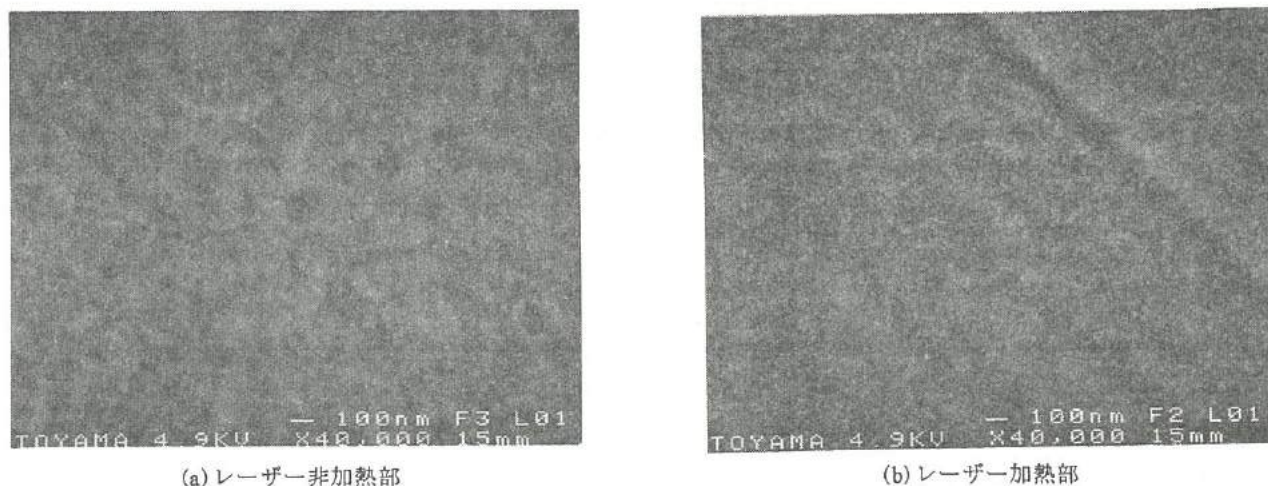


図10 表面のSEM写真
Fig.10. SEM photographs of surface

図10(a),(b)より、レーザー非加熱部の表面の結晶粒径（約140nm）と比較して、レーザー加熱を行った表面の粒径は約40nmであり、小さくなっていることが分かった。また、断面を観察したところレーザー加熱、非加熱ともに変化は見られなかった。そこで、この変質部分をX線電子分光法(ESCA)を用いて表面の元素分析を実施した。その結果を図11の(a)から(c)に示す。

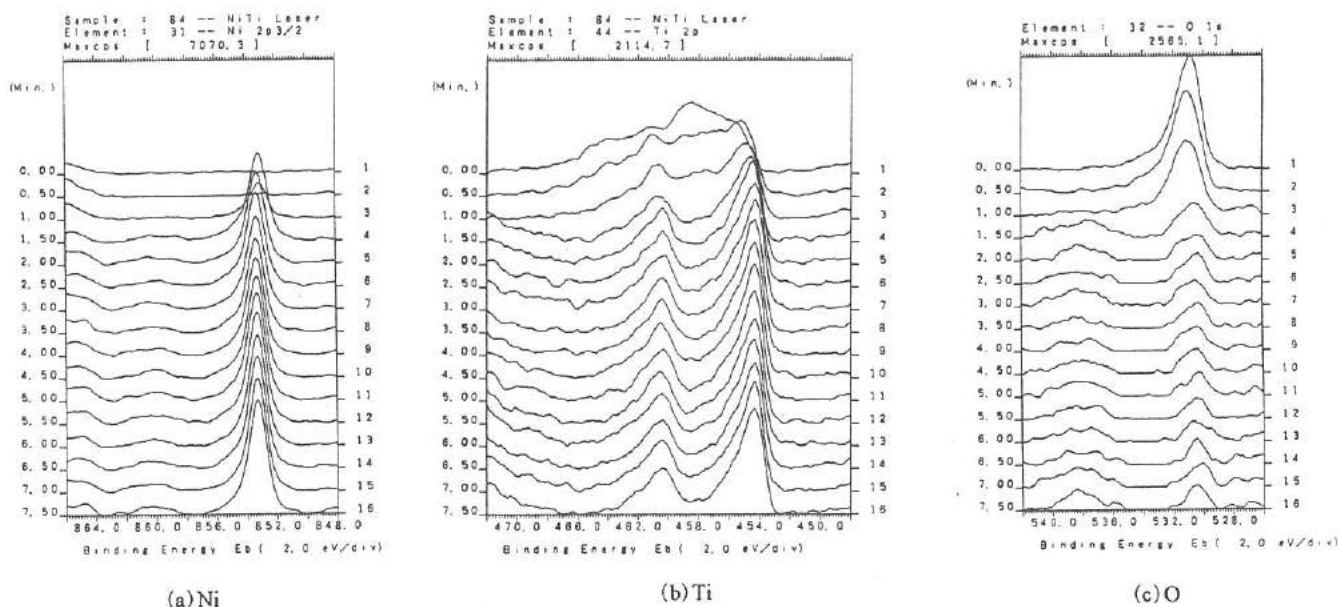


図11 レーザー加熱部のESCA分析
Fig.11. The ESCA results of laser annealed surface.

図 11 の(a)および(b)から明らかであるように、アクチュエータの構成元素である Ni は膜の表面部分では全く検出されなかったが、内部では検出された。同様に Ti についても、表面のスペクトルのピーク形状と内部のピーク形状が異なっていることが分かった。表面部分の Ti のピークは内部のピークに比べ、高エネルギー側へシフトしていることから、Ti は他の元素との結合状態にあるものと推測される。図 11 の(c)より、O は表面層までは大きなピークが検出されたが、内部ではほとんど検出されなかった。

以上の結果より、レーザ加熱部における変質は、表面部分 (SiO₂換算で約 100Å) において Ti が酸化しており、TiO_x が形成されているものと考えられる。これは、アクチュエータのレーザ加熱を大気中で行っているため、膜が大気中で高温にさらされたことによって、膜の表面が酸化したものと説明できる。SEM 写真での約 40nm という小さな粒子は TiO_x であり、その部分が硬化しているために一種の ”ピン止め効果” が生じ、これによってアクチュエータがねじれ動作を示すものと考えられる。

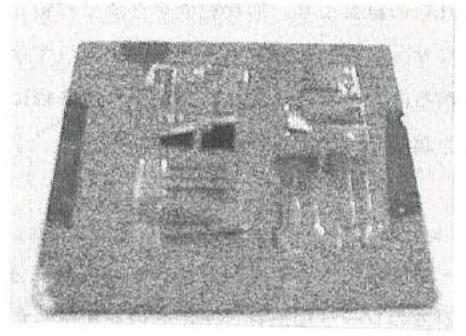


図12 マイクロキャッチャー
Fig.12. Photograph of microcatchers.

4.3 マイクロキャッチャーの変位特性

リソグラフィ技術により作製したマイクロキャッチャーの写真を図 12 に示す。このマイクロキャッチャーを通電加熱したところ、変位は示さなかった。しかし、バイアス膜を成膜する前に通電加熱したところ NiTi 膜は形状回復動作を示すことが確認された。これらのことから、原因として、

- ・バイアス膜 (Cu) と NiTi との密着性の不良。
- ・作製途中のコンタミネーション。
- ・NiTi の電極部分と Si との密着性の不良。
- ・設計不良 (アスペクト比)

等が挙げられる。今後の課題として、より良いマイクロアクチュエータを開発するためには、これらの問題を解決して行く必要がある。

5. 結 言

本研究では、局部的レーザー加熱処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発に検討を加えた。その結果を以下に示す。

- (1) バイアス膜と形状記憶合金膜の熱膨張係数の差を利用し、可逆的形狀変化を示すアクチュエータを作製した。
- (2) NiTi 形状記憶合金膜で作製したアクチュエータに局部的なレーザー加熱処理を施すことにより、ねじれ動作が可能となった。
また、ねじれ量は、レーザーの加熱角度、加熱幅によって調整できることが分かった。
- (3) レーザ加熱部を調べたところ、表面に TiO_x が形成されていることが分かった。
- (4) リソグラフィ技術によるマイクロキャッチャーの作製に関しては、NiTi 膜の電極部分と Si との密着性向上、アクチュエータ形状 (動作部分のアスペクト比など) の最適化について検討を加える必要がある。

参考文献

- (1) S.Takabayashi et al., Journal of the Society of Materials Science, Vol.44, No.506, p1355 (1995)
- (2) S.Takabayashi, K.Tanino, S.Fukumoto, K.Mimatsu, S.Yamashita and Y.Ichikawa, Jpn.J.Appl.Phys. Vol.35, p200 (1996)
- (3) S.Takabayashi et al., Materials Science Research International, Vol.2, No.3, p148 (1996)
- (4) 中村 他: 「TiNi 形状記憶合金薄膜の加工法」、T.IEE Japan, Vol.117-E, No.1, p27, (1997)
- (5) 栗林 他: 「TiNi 薄膜マイクロアクチュエータの電流加熱結晶化熱処理法」、精密工学会誌, Vol.63, No.6, p844, (1997)

VI. 電気自動車の開発

Development of Electric Vehicles

坂本 雅美
SAKAMOTO Masami

藤木 和幸
FUJIKI Kazuyuki

高橋 聡
TAKAHASHI Satoshi

清水 孝晃
SHIMIZU Takaaki

寺澤 孝志
TERASAWA Takashi

藤城 敏史
FUJIKI Satoshi

中川 章
NAKAGAWA Akira

谷野 克巳
TANINO Katsumi

Abstract

An Electric Vehicle (EV), which is expected as a new ecological vehicle, has been designed and fabricated to evaluate its capability. The fabricated EV has compact in-wheel-motors and a joy-stick for a steering instead of a conventional wheel handled. The experimental results are as follows:

- (1) The EV with the in-wheel-motor driving system simplified a structure and an assembly process. Although it could run back and forth, the EV had a difficulty to turn right or left due to the small torque of the two wheel drive.
- (2) The steering system with the joy-stick had an advantage of the simpler electric circuits for the control against the wheel handle.
- (3) Though an attached gear unit improved the torque, the resistance associated with the rear wheels prevented the EV from turning around.

Although it is not able to run a road now, the EV makes it clear the possibilities and the points to be improved, such as a four wheel driving system with in-wheel-motors and a control system of the individual wheel swivel.

1. 緒言

電気自動車（以下、EV と略記）は 19 世紀から考案されていたが、高価で重い電池が足かせとなり、ガソリン車に比べて特定の用途以外はあまり普及しなかった。しかし、1960 年ごろから EV は違った観点で注目されるようになった。いうまでもなく環境へのインパクトであり、1990 年秋に発表されたアメリカ・カリフォルニア州の対策は、ZEV (Zero Emission Vehicle) の名で実質上 EV を今世紀末から強制的に導入しようというもので、大変な反響を巻き起こした。さらに、エレクトロニクスや材料の発展は、電池性能の向上、効率の高い駆動系の実現につながって、EV に対する技術的関心を大きくしたといえる。

そこで、21 世紀の主要な自動車になると思われる EV について、従来のガソリン車とは異なる用途やガソリン車からスムーズに移行するための魅力ある EV の実現を目指して、グランドアップ方式で EV を製作しその可能性について検討を行った。

2. 電気自動車の概要

2.1 電気自動車の現状

電気自動車の開発処方としては、既存のガソリン車のエンジン部分を電気モータに置き換える方法（コンバート方式）、電気自

動車として新たに設計する方法（グランドアップ方式）、および電気モータとガソリンエンジンの双方を兼ね備える方法（ハイブリッド方式）の 3 種類がある。コンバート方式では、シャーシや走行に必要なところは殆ど変更しないので安価な制作費で実現できライセンスの取得も容易である。しかし、ガソリン車と比較すると重量が増加し一般的には性能が劣る。後者の 2 つは基本的には電気モータの特性や EV の特徴を活かせるものとなるが、開発には時間がかかりコストも多く必要となる。そしてライセンスの取得はかなり困難である。表 1 はガソリン自動車との比較を示す。

表 1. ガソリン車とEVの比較

Table 1. Comparison of performance between Ev and gasolin vehicle.

	ガソリン車	電気自動車
大きさ(mm)	3295x1396x1610	3295x1396x1810
車両重量(kg)	690	1,240
重量配分(前:後)	60:40	46:54
最大出力(ps/rpm)	43 / 5,500	25.3 / 3,300
最大トルク(kgm/rpm)	5.5 / 4,800	5.5 / 3,300
一充電走行距離(km)	780	130

2.2 電気自動車の主要パーツ

(1) 電池

現在、EV の実現を阻んでいるものは電池であり、EV の要求する電池の仕様を以下に示す。

- ①高エネルギー密度化（1 充電距離で 200km 以上）。
- ②高出力密度で放電末期までに安定した出力が得られること（加速・登坂性能）。
- ③メンテナンスフリーでサイクル寿命に優れること（200km × 1000 サイクル = 20 万 km）。
- ④単電池および組電池で安全性が高いこと。
- ⑤仕様材料は安価かつ豊富で環境的にも受け入れやすくリサイクル可能であること。

最近 EV 用の電池としてニッケル水素 2 次電池やリチウム 2 次電池が開発され、市販車にも搭載されつつあるが、高コストであるなどまだまだ解決しなければならない問題を抱えている。表 2 は最近の EV 用電池を示す。

(2) モーター

表 3 は代表的な EV 用のモータを示す。現在市販の EV の多くは PM 型が多く用いられているが、これは都市内交通を重視しているからであり、今後高速走行が要求されれば IM 型のモータが増えそうである。EV 用モータに要求される特性としては、

- ①高速回転化による小型・軽量化。
- ②一充電走行距離延長のための高効率化。
- ③広範囲な安定出力特性。
- ④速度・位置センサレスによる信頼性向上。

モータの使用上から、モータ軸を直接駆動輪に直結するインホイールモータと呼ばれるものがある。このモータは小型化できる

表 2. 主なEV用電池

Table 1. Storage batteries for EV.

電池の種類	鉛	Ni-Cd	NiH	Li イオン
重力エネルギー密度 (Wh/kg)	35	50	65 ~ 80	100
体積エネルギー密度 (Wh/l)	95	~ 110	115 ~ 109	160
出力密度 (W/kg)	~ 200	150 ~ 180	150 ~ 220	~ 300
一充電走行距離 (km)	~ 100	~ 150	> 200	> 200
充電時	発熱	吸熱	発熱	吸熱
放電時	吸熱	発熱	吸熱	発熱

表 3. 主なEV用モータ

Table 3. Motors for Ev.

モータの種類	構造上堅牢性	制御の容易さ	価格	備考
誘導電動機 (IM)	◎	○	◎	高速回転が容易
電子極切替 IM (EPC)	◎	△	○	大容量機でメリット
表面巻付永久磁石式 (SPM)	△	◎	○	高速回転は不可
埋込永久磁石式 (IPM)	○	○	○	高速回転化が可能
ハイブリッド励磁同期式 (HSY)	○	○	○	高効率発電機に最適
スリットリラクサンスモータ (SRM)	◎	◎	△	少容量でメリット

ので車輪の中に入るような構造で使用でき、ガソリンエンジンと置き換えるモータと異なり、減速機などの駆動機構が不要となる。

2.3 電気自動車の可能性

EV の実現にはまだ多くの課題を残しているが、ガソリン車にはない以下のような可能性を持っている。

① 高いスペースユーティリティ

駆動系の小型化、補機類の減少により、小型車の機械部がしめる割合を少なくすることができ、室内が広くなり、操作性も向上する。バッテリーを床下に平らに敷き詰めることで平らで低い床を実現でき、ミニバンなどへ応用が期待できる。スポーツカーではバッテリーを分割して配置できること、すなわち、配線によって部品配置が自由にできるので、重量配分の最適化が図れる。

② 自由度の高い形的设计

車体の一部分に駆動系、バッテリーを集中できるため、他の部分は今まで全く考えられなかった形にすることが可能となる。例えば、人数に合わせて車体をカセット式に組み合わせたり、ガソリン車と合体できる車などが考えられる。さらに、音が静か、排気ガスがでないことにより、救急車から切り離して病院内を自走できるベッド、住居と自動車の床面の高さを同じにした場合、住居と一体となることで、車椅子が容易に出入りできる車なども考えられる。

③ 高いコントロール性

インホイールモータを使用した場合、4 輪それぞれにモータを配置することによって 4 輪独立制御を行うことができ、小回り性能の向上など、新たな車体の制御が可能となる。

3. 電気自動車の基本設計

EV の開発のコンセプトとして、高いスペースユーティリティを作ることでできるインホイールモータと高齢者や障害者などにも容易に操縦が行えるようジョイスティックを用いることとした。

3.1 インホイールモータ

インホイールモータは左右一対の車輪または 4 輪に取付けることで、前後左右の駆動力を独立して制御することができる。この方式により走行コントロールを行えば、ステアリングによる操舵機構がなくても旋回することが可能である。また、ホイールの中にモータが組み込まれることにより、ホイールの取り付け位置が自由になるほか、駆動系の大きな部品が他に必要なく、広いスペースユーティリティが確保できる。

3.2 ジョイスティックコントローラ

ジョイスティックを使用することによって、ステアリング、ペダルをすべてなくし、これらが持っていた役割をジョイスティック 1 本に集約させることができる。表 4 はステアリングとペダルの役割を示す。ジョイスティックは速度のコントロールや向きを変えることはできる。しかし、体を支えることと、路面の感覚を操縦者に伝えることはできない。体の支えは、別に体を支える物を用意すればよいが、感覚の伝達に関してはその解決策は今のところ見いだせない。反面、操作機能を集約し単純化したことで、運転者の思い通りに操作できることが期待できる。

3.3 電池

電源には、入手しやすい鉛蓄電池を使用した。なお、このバッテリーは EV のように多量の電力を取り出すことによって電圧が大きく変動するような使い方には向かないが、実験用であるため、充放電耐久性は考慮せずに採用した。

表 4. ステアリングとペダルの役割

Table 4. Function of steering wheel and pedals.

	機能	ジョイスティック で代用
ステアリングの 役割	<ul style="list-style-type: none"> ・車体の向きを変える ・体を支える ・路面の感覚を伝える 	可能 不可 不可
ペダルの役割	<ul style="list-style-type: none"> ・加速する ・減速する ・(クラッチ操作) ・体を支える 	可能 可能 不可

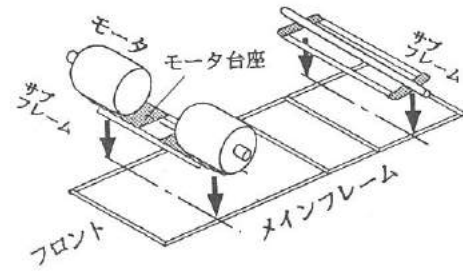


図 1. フレームの概略図

Fig.1. Outline of frame.

3.4 タイヤ

モータの出力や車体の重さから、走行抵抗を低く抑えるため、タイヤには自動車の応急措置用タイヤを採用した。このタイヤは幅が細く、空気圧も高いため走行抵抗が小さい。なお、2 輪車用のタイヤは横方向の力に耐えられない構造となっているため今回は採用しなかった。

3.5 フレーム

図 1 はフレームの概略を示す。駆動部分の変更が容易にできるように、基礎となる梯子型のフレームを溶接で製作し、その上に駆動部分や車輪を搭載した別のフレームをボルトで止める構造とした。懸吊機構は軽量化を図るため用いないこととした。モータ主軸に直接車輪を取り付ける構造としたため、モータ主軸にはかなりの力が加わることが予想されたが、軸径(20mm)から判断して強度的に問題はないとした。

なお、シートは中央部、バッテリーは後部におき、後で変更可能なように、それぞれボルトでメインフレームに固定することにした。

4. 電気自動車の試作

4.1 試作車の概要

表 5 は試作した EV の主要諸元を示す。車体寸法はホイールベースが 1250mm、トレッドは 800mm とし、ホイールベースとトレッドの比は、スポーツカーの一般的な値を参考にした。車輪の駆動には、主力が 600W のインホイールタイプのモータを前輪に 2 個使用し、左右輪独立の駆動方式とした。独立制御機構にしたためステアリングによる操舵機構は持たない構造である。電源は市販の鉛電池を後部に 4 つ搭載し、総重量は 1 名の乗車時で約 128kg である。

表5 試作EVの主要諸元

Fig.5. Performance of EV.

		仕 様
車 体 構 造	車体寸法	全長 1760 × 全幅 900 × 全高 700mm
	トレッド幅	前後 765 mm
	ホイールベース	1280 mm
	車両重量	約 128 kg
	乗車人員	1 名
	駆動方式	前輪駆動 (左右 2 モータ独立駆動)
	操舵方式	ジョイスティックコントローラ
	フレーム構成素材	スチール角パイプ
	地上最低高	200 mm
	タイヤ径×幅	φ 600 × 135mm
電 池	種 類	鉛 電 池
	電 圧	48 V (12v × 4 個)
	電池重量	28 kg (7kg × 4 個)
モ ー タ	種 類	DC ブラシレスモータ
	定格出力	600 W
	定格トルク	7.5 Nm
	最高回転数	1200 rpm
	重 量	12 kg

操舵はジョイスティックを用いることにより 2 個のモータを同時に制御する方式で、ジョイスティックを前方に倒せば前進、右に倒せば右折、左なら左折とした。車体の動きによって発生する慣性力と反対の方向にジョイスティックを動かすことにした。

4.2 モータ特性

図 2 はモータの制御電圧とトルクの関係を示す。図より、モータは約 1.4V の制御電圧で回転し始め、モータの回転数は制御電圧にほぼ比例して上昇する。図 3 はモータの制御電圧とトルクの関係を示す。図より、モータのトルクは制御電圧が約 1.5 付近から急激に増加する。これ以上の電圧では約 17N m である。つまり、実際に使用する領域では均一なトルクを得ることができる。また、このモータでは 30A を越えるとリミッタが働き入力が遮断される構造となっている。

4.3 運転制御回路

図 4 は運転制御回路を示す。ジョイスティックを前後方向に倒すことにより、左右のモータへ同じ出力を命令し、左右に倒す

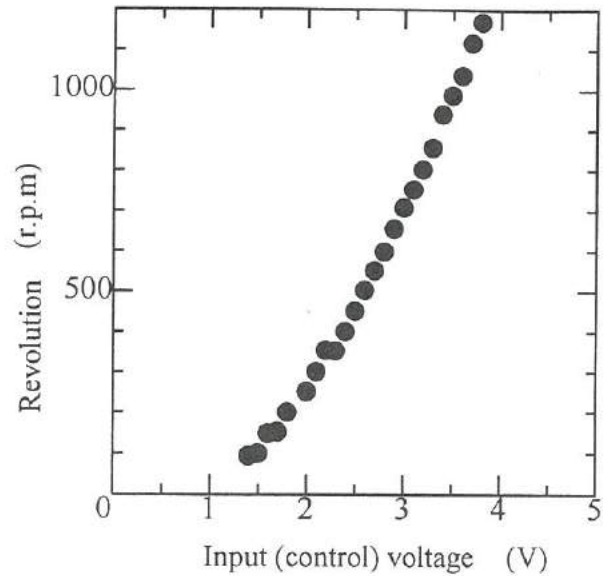


図2 入力電圧と回転数の関係

Fig.2. Relationship between input voltage and revolution.

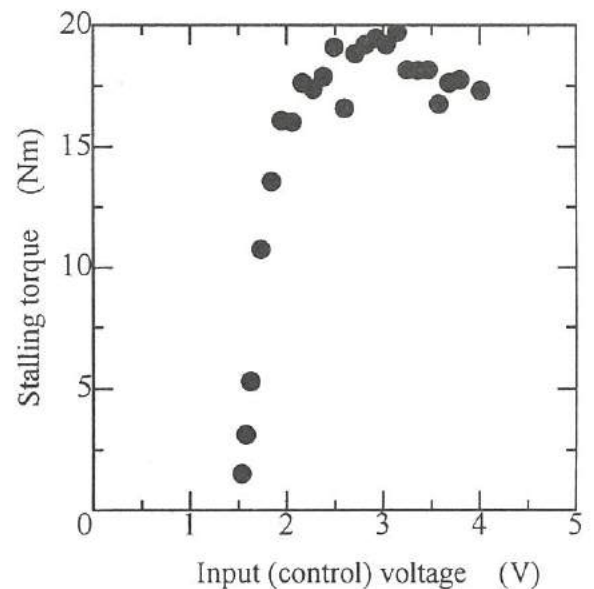


図3 入力電圧とトルクの関係

Fig.3. Relationship between input voltage and stalling torque.

ことにより旋回に必要な出力を左右どちらかのモータへ加算するものである。これは、ステアリングによる操舵機構を持たないため、旋回時にはより大きな力が必要であると考えたためである。ジョイスティックには、前後方向と左右方向にそれぞれ可変抵抗

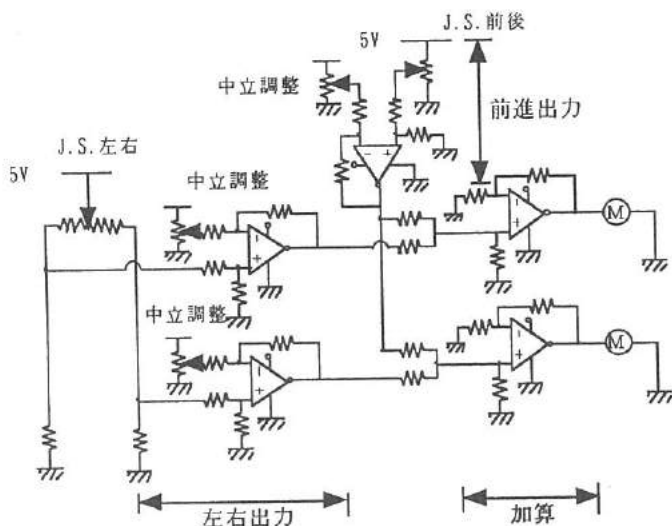


図4 運転制御用回路図

Fig.4. Control circuit for EV.

器が内蔵されており、ジョイスティックを動かすことによって、それぞれの変抵抗器が動かされ、速度制御用の電圧値と、旋回制御用、すなわち、左右のモータの電圧値が決められる。この時、速度制御用の入力電圧と旋回用の入力電圧が加算され、左右それぞれのモータに制御電圧として出力されるようにした。また、中立を調整するためのオフセット電圧を入力できるようにした。表4はその出力結果である。中立時は1.2V程度でモータは回転しない。ジョイスティックの操作に対する反応は、加速方向で3V、左右方向で3.4V程度、合計して6.6V程度でモータの性能を引き出した。また、左右のバラツキも抑えられた。

5. 走行実験結果

図5は試作したEVの概要を示す。走行試験に先立ち、駆動輪をジャッキアップして空走行を実施した。表6はこの時ジョイスティックをいっぱい動作させたときのモータの回転数を示す。表より、車輪はそれぞれ回路の設計どおりに回転することがわかった。ただし、回転系にはバランスが取られていなかったため、振動が生じた。懸吊機構を省略したため、振動の減衰がフレームのみで行われることも振動を大きくしていることの一因と考えられる。つぎに、実際に床面上を走行させてみた。回転系の振動は車体の重さに吸収された形となり、問題とはならない程度であった。

ジョイスティックを手前に倒すと、非常に穏やかに加速した。

また、ジョイスティックを倒す量に応じて反応した。ただし、路面の状況によっては電流値が増えすぎ、モータの保護回路が働いてしまい、モータの出力がカットオフされることがあった。従って、モータのトルクには余裕が欲しいと感じられた。なお、旋回は困難であった。ジョイスティックを横に倒す、すなわち、片輪だけが有効なトルクを発生している状態では全体的なトルクが不足し、過電流のためモータが動かなくなってしまった。また、ジョイスティックを手前に倒し、さらに左右どちらか一方に倒している状態、すなわち、両モータが前進するために十分なトルクを発生し、さらに片輪がより高い回転を発生しようとしている状態では、左右輪の出力の差は反映されず、直進を続けた。これは、ステアリングによる操舵機構を持たないため旋回をするきっかけがないことと、後輪の抵抗が大きいことが原因であると考えられる。

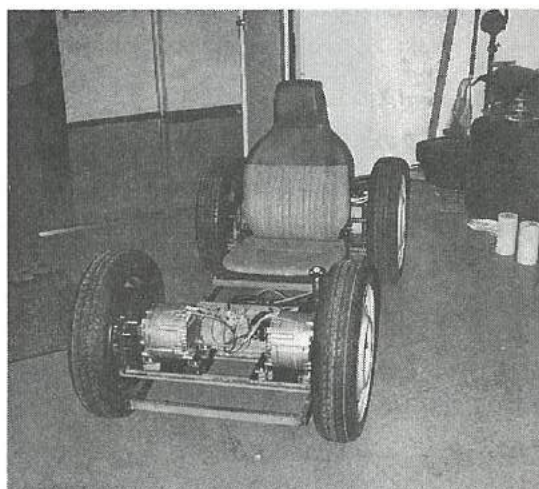


図5 試作したEVの概要

Fig.5. Appearance of trial EV.

表6 空走行時のモータの回転数

Table 6. Motor revolution at dry run. (rpm)

ジョイスティック位置	左モータ回転数	右モータ回転数
中立	0	0
前進	887	884
右旋回	908	0
左旋回	0	880
前進右旋回	1085	990
前進左旋回	1022	1106

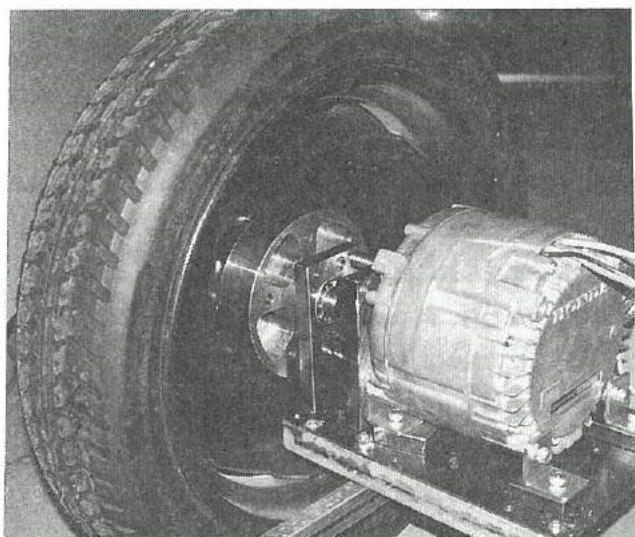


図6 駆動部と減速機構

Fig.6. Driving unit and gear unit of EV.

走行実験からモータのトルクが不足していると判断したため、減速して駆動トルクの増強を試みた。減速機はなるべくコンパクトになるよう2段階で減速を行うように設計し、トルクを3倍にした。モータと減速機をサブフレームに取り付け、これをもともと取り付けてあった駆動系と交換する形でメインフレームに取り付けた。図6は減速機の概要を示す。この結果、トルク不足は感じられなくなり、リアオーバーハングにバッテリーを積むため駆動輪の荷重が小さくなるこの車体では、ホイールスピンをおこすほどであった。

しかし、ジョイスティックを左右に動かしても、旋回はしなかった。この原因としては、依然として後輪の摩擦が大きいためと思われ、後輪も駆動する方式に変更するか、車体後部が左右に自由に運動できる構造にする必要があるものと考えられる。

6. 結 言

次世代の自動車と考えられているEVの実現と、その新しい可能性を探ることを目的に、EVの計画、設計、試作を行った。試作したEVは動力源にコンパクトなインホイールモータを用い、操縦用にはハンドルを使わずジョイスティックを持つ構造とした。その過程で得られた成果を以下に示す。

(1)インホイールモータによる駆動方式は、EVをコンパクトかつ容易に作成することができ、走行も可能であった。しかし、ト

ルクが小さいため2輪駆動では旋回が容易ではなかった。

(2)ジョイスティックを用いた操縦方式は、インホイール方式にはコンパクトな回路で実現できるためハンドル方式に比較して有利である。

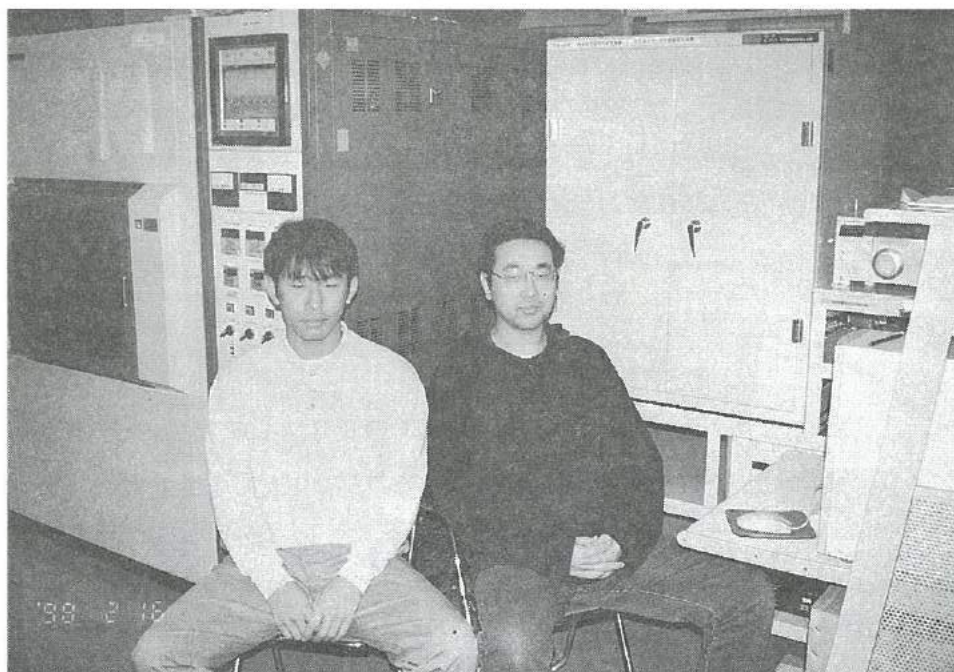
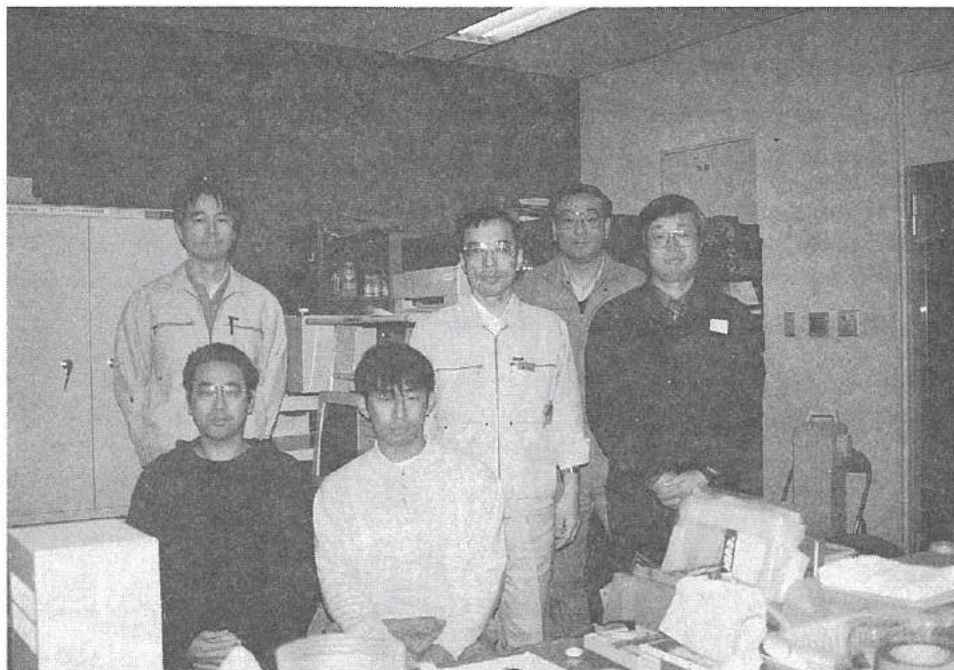
(3)モータに減速機構を取り付けトルクの向上を図ったが、後輪の抵抗により旋回が困難であった。

本研究では、完全に路上を走行できるEVを得られなかったが、EV実現への手がかりを得ることができた。さらに、インホイールモータによる4輪駆動方式や個々のホイールの旋回制御機構などを付加することより、より完成度を高めることができるものと確信している。

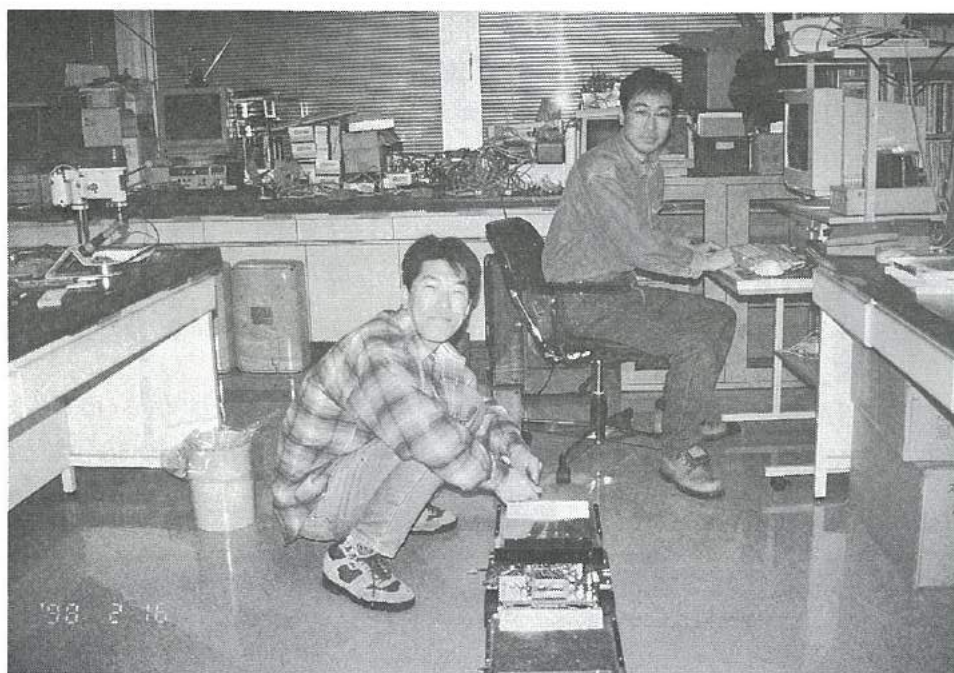
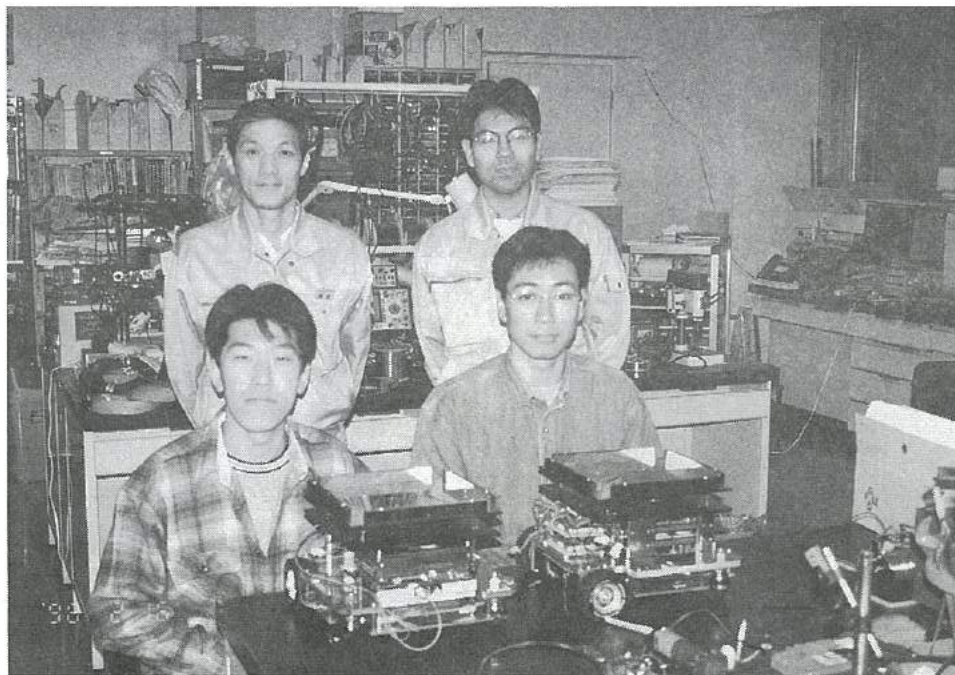
謝 辞

この研究を行うにあたり、有効な情報の提供をいただいた(財)日本電動車両協会の小倉芳夫氏、日本EVクラブの館内端氏、適切な技術的助言をいただいた共和産業(株)の齋藤三男氏(現、齋藤技研サービス)にお礼を申し上げます。

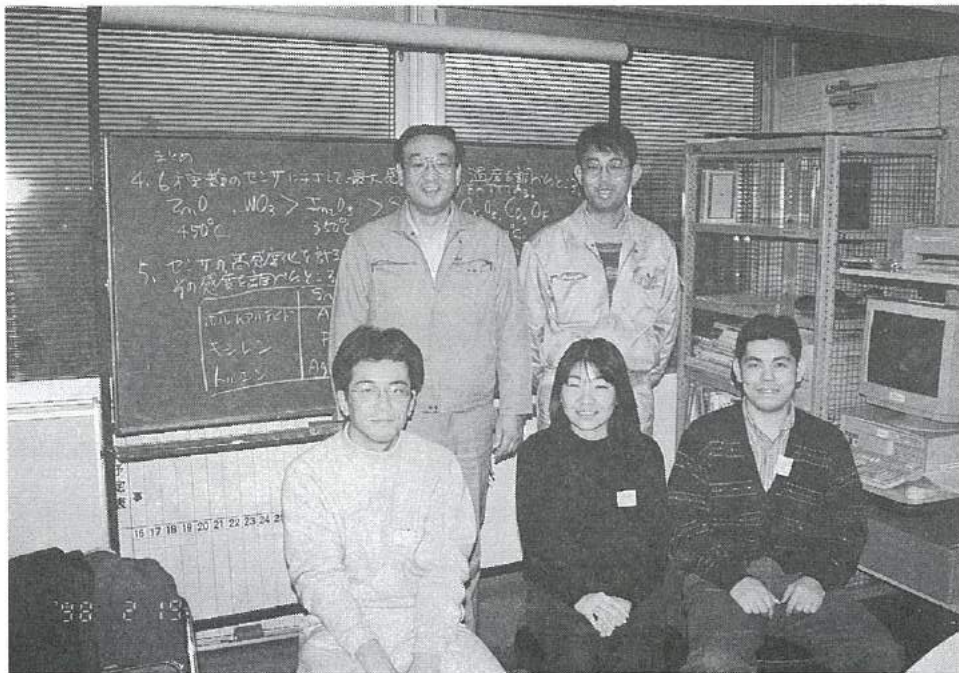
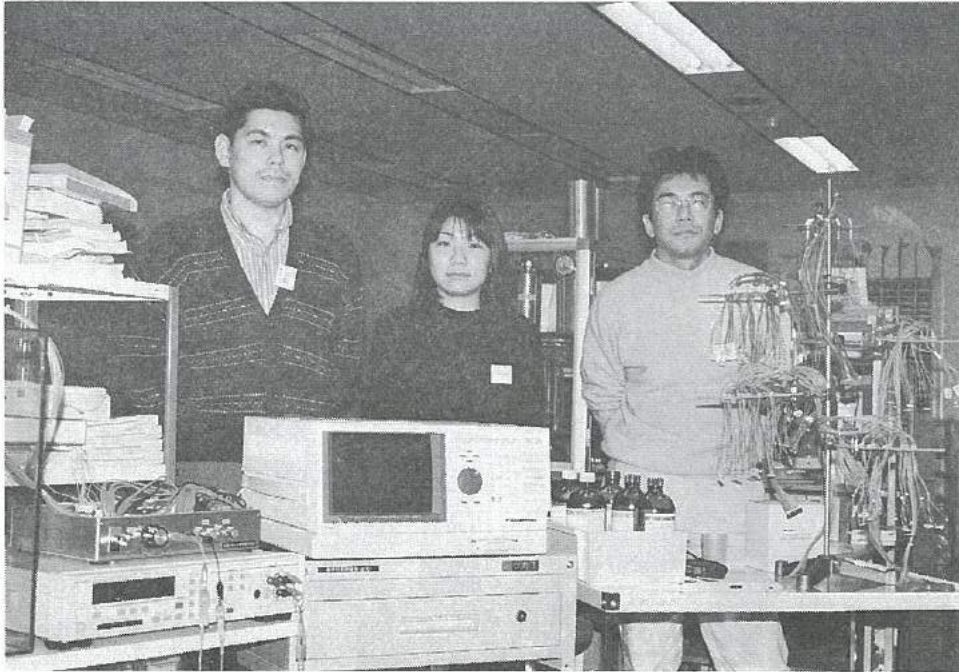
「レドックス型太陽電池の開発」グループの研究活動風景



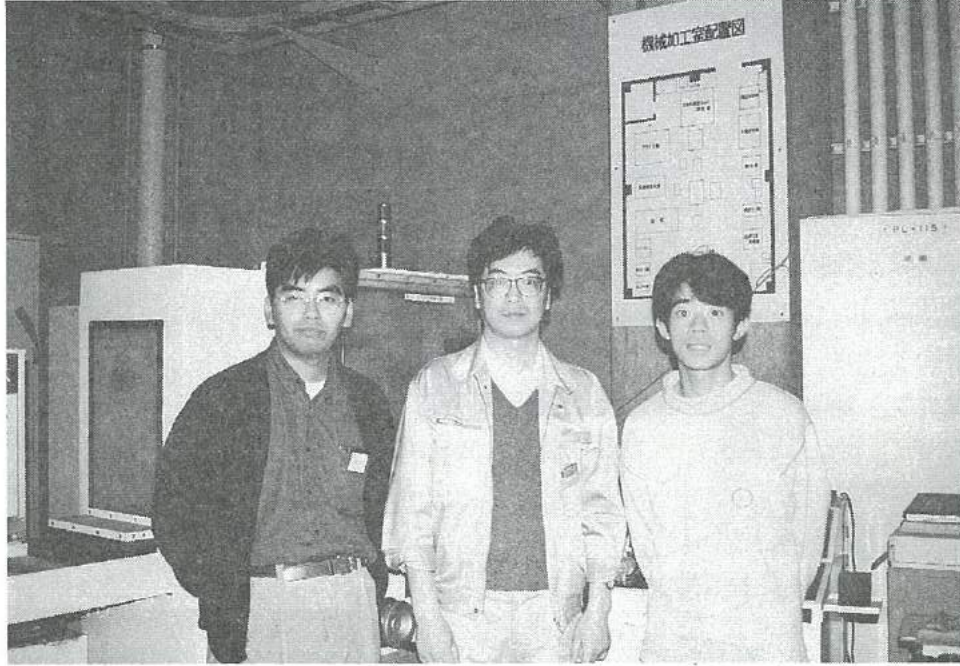
「協調制御ロボットの研究」グループの研究活動風景



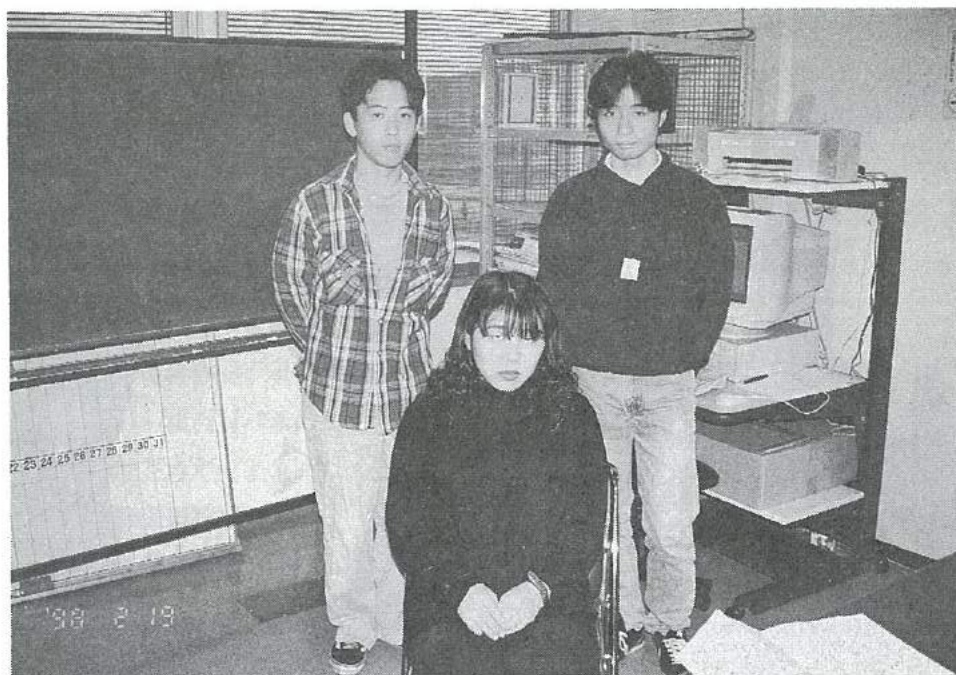
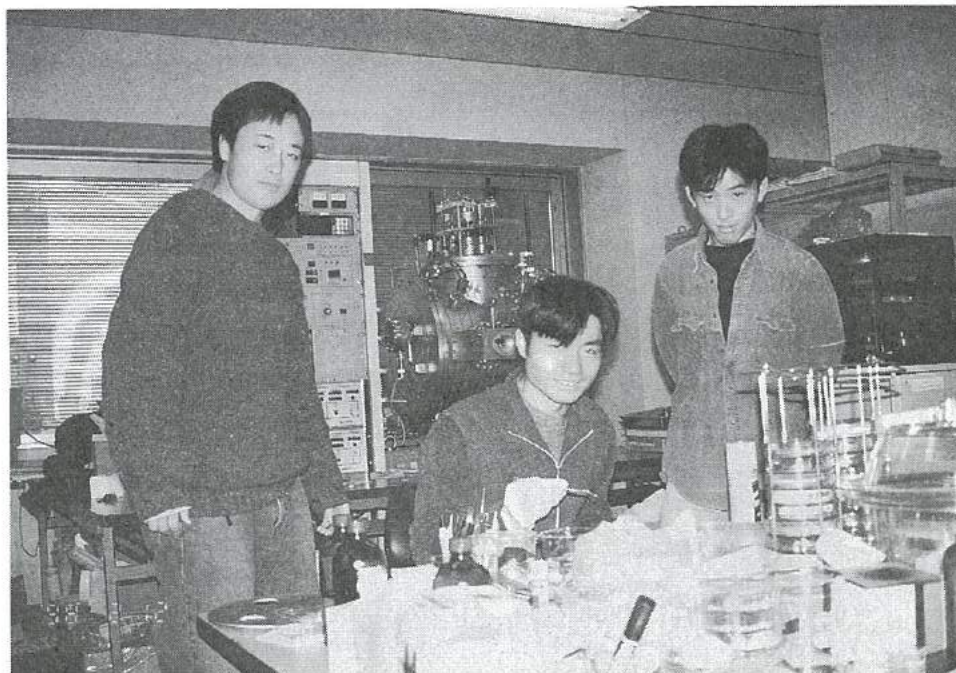
「生活環境用臭センサの開発」グループの研究活動風景



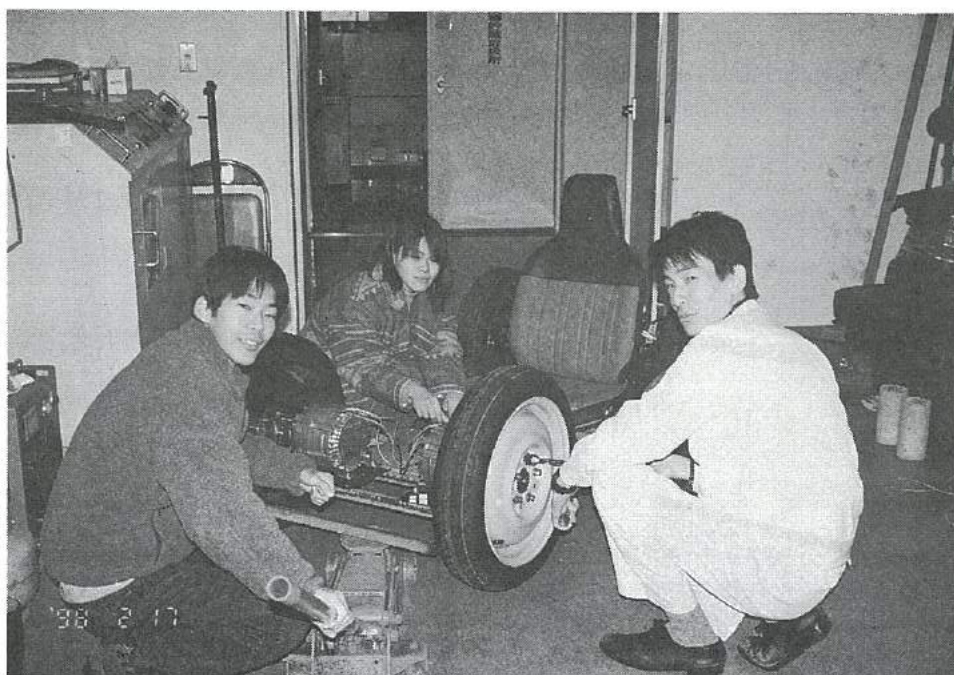
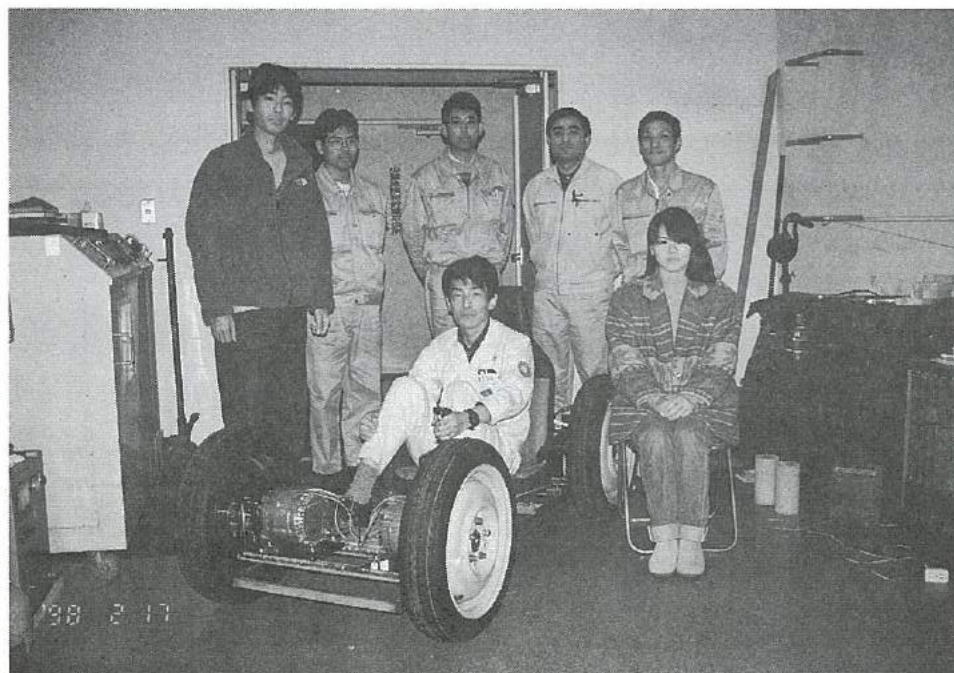
「圧電セラミックストランスの開発」グループの研究活動風景



「形状記憶合金膜アクチュエータ開発」グループの研究活動風景



「電気自動車の開発」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

○11年間の研究テーマ数：67テーマ（昭和62年度～平成9年度）

○参加研究員延べ人数：170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・ファイバー複合材パネに関する研究
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
桜榮 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
鈴井 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 (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. 電子回路用ウエ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

☆平成8年度 (第10回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、15名)

1. 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発

三松 克次・笹島 和明 (㈱タカギセイコー)・田島 正康 (㈱タナカエンジニアリング)

田中 篤 (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. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

松井 裕昭 (㈱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. レドックス型太陽発電システムの開発 (2)

市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)・田畑 裕信 (中越合金鋳工㈱)

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

4. 複数のロボットによる協調制御の研究

金田 淳也 (コーセル㈱)・森田 裕之 (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、富山県立大学工学部

5. 多孔質シリコンの形成に関する研究

石川 秀人（北陸電気工業㈱）・安田 純子（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 蓄光性蛍光膜の開発

佐野 仁一（東洋化工㈱）・二見 泰雄（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度（第11回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、18名）

1. レドックス型太陽発電システムの開発（3）

市川 良雄（富山軽金属工業㈱）・田畑 裕信（中越合金鋳工㈱）

野中 義夫（㈱トヤマ技術開発研究所）・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

2. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）

森田 裕之（立山アルミニウム工業㈱）・渡辺 暁信（㈱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、富山県立大学工学部

3. 生活環境用臭センサの開発

垣内由美子（コーセル㈱）・角谷 哲哉（北陸電気工業㈱）

小島 理敬（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックストランズの開発

堀井 一宏（コーセル㈱）・柳川 新（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 局所的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

丹保 哲也（北陸電気工業㈱）・野上 拓也（㈱タナカエンジニアリング）

山田 浩美（東洋化工㈱）・滝川健太郎（金沢大学工学部）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 電気自動車の開発

坂本 雅美（㈱斉藤製作所）・高橋 聡（㈱タナカエンジニアリング）

藤木 和幸（㈱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

第4回『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9年10月5日（日）午前10時～午後4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：10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	牧野 喜友・藤森 豪	富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：マッキー' S
次勝	吉田 祐介・渡辺 潤	富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：パパラッチ
7位7賞	大山 洋右・本郷 大輔	富山県立大沢野工業高等学校 自作マシンの愛称：スクリュール・エレファント
7位7賞	小沢 征秀・大野 裕辰	富山県立富山工業高等学校 自作マシンの愛称：New type
7位7賞	西村隆之介・高場 俊政	富山県立富山工業高等学校 自作マシンの愛称：ネルガル
努力賞	喜多 雅彦・尾谷 晴彦	富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：まちゃ彦
努力賞	高田 憲作・田町 應行	富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：T & T
努力賞	橘 晃太郎・海津 慎吾	富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：二上
努力賞	磯野 聡史・金井 信善	富山県立大沢野工業高等学校 自作マシンの愛称：Green・Rat
努力賞	森脇 貴紀・片山 淳	富山県立富山工業高等学校 自作マシンの愛称：特殊車両二課
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：10×10×10cm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

会 員 企 業

平成10年3月13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	河崎 哲男	0764-44-8088
2	エヌアイシ・オートテック(株)	西川 健二	西尾 謙夫	0764-22-2578
3	北日本電子(株)	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
4	コーセル(株)	館 久晴	織田 誠二	0764-32-8151
5	(株)斉藤製作所	斉藤 惠三	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	土井 喜一	0764-33-5849
12	(株)タナカエンジニアリング	田中 一郎	杉木 康之	0764-51-5600
13	中越合金鑄工(株)	本多 秀治	石金 良一	0764-63-1211
14	東洋化工(株)	中田 守人	村井 文雄	0764-75-2125
15	(株)トヤマ技術開発研究所	野中 義夫	野中 義夫	0764-23-8051
16	富山軽金属工業(株)	荒井 久夫	政 誠一	0766-84-9082
17	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
18	北陸電気工業(株)	野村 正也	若林 守光	0764-67-1111
19	燐化学工業(株)	鶴田 幸靖	滝川 義弘	0766-86-2511
20	YKK(株)黒部事業所	吉田 隆久	大宮 一男	0765-54-8000

事務局：（財）富山技術開発財団内 〒930-0866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	工業技術センター企画管理部・企画情報課長 工学博士 0766-21-2121
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

○歴代会長（会長人事は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年）

- 初代会長 館 久晴（昭和62年度～平成4年度）
- 2代会長 高木 正明（平成5年度～平成6年度）
- 3代会長 中田 守人（平成7年度～平成8年度）
- 4代会長 野村 正也（平成9年度～ ）

○顧問（50音順）

- 石坂 誠一（富山国際大学学長）
- 佐藤 泰一（富山県工業技術センター所長）
- 南日 康夫（RSP研究会会長・新技術コーディネーター）
- 野村 精二（北陸電気工業(株)相談役）
- 本郷 茂（富山技術開発財団常務理事）
- 宮下 尚（富山大学工学部長）

(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

◎「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

- ・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

〒930-0866 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	〒930-0866 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 企画管理部 & 機械電子研究所 谷野克巳・藤城敏史
発行年月日	平成10年3月13日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。