

平成 10 年 度

(第 12 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研 究 論 文 集

平成 11 年 3 月 12 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、これで12回の発表会を持ったことになります。

富山に生まれたこのユニークな集まりは、年輩の人達が集まって口だけで前へ進まないような集まりとは異なり、若い人達が研究開発という具体的な行動目標をもって共に働き、1年に4回の発表会のために追いつめられながら成果を示さなければなら

いという、共に苦勞をする集まりであることが最もユニークであり、しかも実りあるものになっている理由ではないかと思えます。

谷野課長さんや機械電子研究所の皆さんには毎年右も左もわからないような者達を受け入れて1年で何とか格好をつけさせるまでに御指導をいただいていること、並大抵の苦勞ではないことは十分察せられるところであります。一般に研究機関はその道の専門家ばかりで、外部の人間にとってはとっつきにくい感じがどうしてもつきまとうものですが、こと機電研に関する限りは産業界にたくさんの若い友達をもっており、気軽に面倒を頼める感じになっているのは、この会の大きな副産物であろうと思っております。

この会を支えていただいております県当局や技術開発財団をはじめ、御多忙の中発表会に顔を見せていただいている諸先生方に心より感謝を申し上げます。若い者達にとって、石坂、南日の大先生や山本先生、龍山先生などそうそうたる人達の前で発表できるということが如何に大きな名誉でありますことでしょうか。

御理解をもって若い研究者を派遣していただいている産業界の皆様にも感謝申し上げますとともに、これからもこの会を存続し発表させるべく御尽力を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企画管理部 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19社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成10年5月から富山県工業技術センターにおいて、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なった。

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



①「コーティング工具の密着性向上に関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、コーティング工具の高速回転、高速送り切削の信頼性をさらに向上させる観点から、硬質皮膜の多層化、傾斜化が容易に行なえるスパッタリング法によってコーティング工具の密着性の向上を試みた。

この研究から、(1)TiN膜と超硬合金工具との密着性は、中間層としてTi膜を用いることによって向上する、(2)TiC膜とTiN膜との密着性は、TiCとTiNとの膜間で組成成分を傾斜化配分着膜させることによって向上する、などの成果を得た。

②「電磁シールド材の基礎研究」の研究グループ（参加企業2社）では、まず、電磁シールド効果の測定方法について検討し、次に、金属薄膜や金属箔、薄板、金属網、フェライト・樹脂複合材料などのシールド材のシールド効果について検討を加えた。

この研究から、(1)試作したトランスミッションライン法に準拠した測定器は、電磁シールド材の電磁波吸収量を求めることが可能であった、(2)金属膜のシールド効果は、膜厚が厚くなるに従って増加し、1 μ mのアルミ薄膜では約70dBであった（500MHz）、(3)フェライト・樹脂複合材においては、フェライト含有量が増えるに従って電磁波の吸収量が増加し、フェライトの配合量が80wt%では2dB/mmの吸収量を示した、などの成果を得た。

富山県工業技術センター機械電子研究所 工学博士 藤城 敏史

③「圧電素子を用いた制振機構の研究」の研究グループ（傘下企業2社）では、高精度化や高速度化・快適性などの要求に応えるため、受動型の圧電素子を用いた制振機構の解析と2次元的制振機構の開発を行なった。

この研究から、(1)構造物の振動エネルギーを圧電素子を用いて電気エネルギーに変換し、電氣的共振回路と組み合わせることによって制振効果が得られることが確認できた、(2)構造物の振動モードを解析することによって、効率的に圧電素子を配置することができ、より大きな効果が得られることが確認できた、(3)本制振方法をテニスラケットに応



用し、制振効果が得られる可能性を確認した、などの結果が得られた。

- ④「電気自動車の開発(2)」の研究グループ(参加企業1社)では、次世代の自動車と考えられているEV(電気自動車)を普及させることを目的とし、ガソリン車に劣らない、魅力のあるEVの開発を行なった。

この研究から、(1)試作EVはステアリング機構を持つことにより、平らな路面を低速走行する際には、直進性や安定性、舵の復元性の良い走行が可能となった、(2)ジョイスティックとマイクロコンピュータを用いた制御回路は、コンパクトでありながら高度な制御も行なえることが確認できた、(3)2つのインホイールモータを用いてトラクションコントロールを行うことにより、ジョイスティックの操作に多少の遅れはあるものの、旋回が容易となった、などの結果が得られた。

富山大学工学部 工学博士 龍山 智榮

- ⑤「生活環境用においセンサの開発(2)」の研究グループ(参加企業3社)では、昨年に引き続き、「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。本年度は、昨年有望なセンサ材料として選定した、6種類の酸化物に対して、さらに高感度化処理を施すことにより目標とする0.1ppm以下の低濃度ガスの検出を目指した。



この研究から、(1)6種類(ZnO 、 SnO_2 、 WO_3 、 In_2O_3 、 Co_3O_4 、 Cr_2O_3)の酸化物粉末を加水分解法等により自作し、そのセンサとしての性能を検討した結果、市販酸化物粉末によるセンサとほぼ同等の感度となった。(2)高感度化の手法である、貴金属の添加を行ったところ、 SnO_2 にAgを1~3%添加することにより対象ガスに対して大幅な感度向上が図れた。(3)同様に、酸化物の添加効果を検討したところ、 SnO_2 に MnO_2 を3~7%添加することにより大幅な感度向上が確認された。(4)上記(2)あるいは(3)においてセンサ温度を最適にすることにより、0.01ppmのホルムアルデヒドを検出できた。

富山県立大学工学部 工学博士 山本 倫久

- ⑥「微細放電加工の研究」の研究グループ(参加企業2社)では、近年の機械部品の微細加工への要求に応えるため、工具への反力が無視できる放電加工法によって、単純形状小径電極を用いた輪郭加工による微細深溝加工について検討した。



この研究から次の成果を得た。(1)加工条件として、主軸回転数と加工液噴出の影響を明らかにした、また、電気条件として、あら加工用および仕上げ加工用に適した電源回路の形成を明らかにした。(2)溝加工には、加工効率を重視したあら加工方法と、加工精度を重視した繰り返し加工による仕上げ加工方法を用いた。これにより、 $\phi 0.5\text{mm}$ のパイプ電極を用いて、深さ10.002

mm、巾0.578mmで底面真直度7 μ mの高精度な加工が可能であった。(3)小径電極を成形するために、回転円盤電極による成形装置を試作し、 ϕ 52 μ m、長さ2mmの電極が容易に成形できた。(4)成形した ϕ 50 μ mの電極を用いて、深さ1mm、巾80 μ mの微細深溝加工と刻印加工を行なった。

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12年間で実施した73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中の幾つかのものは、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11年3月

研究グループの構成

I. 圧電素子を用いた制振機構の研究グループ

研究担当者 渡辺 暁信 (田中精密工業㈱)
稲垣 聡 (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)
佐山 利彦 (")
杉森 博 (")
☆藤城 敏史 (")

II. コーティング工具の密着性向上に関する研究グループ

研究担当者 野上 拓也 (田中精密工業㈱)

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

III. 生活環境用においセンサの開発 (2) グループ

研究担当者 星野 昌則 (コーセル㈱)
山田 浩美 (東洋化工㈱)
南 政克 (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)
藤城 敏史 (")
山崎 茂一 (")
寺澤 孝志 (")
☆龍山 智榮 (富山大学工学部)

IV. 電気自動車の開発（2）グループ

研究担当者 坂本 雅美（㈱齊藤製作所）
研究指導者 ○太田 実（工業技術センター機械電子研）
寺澤 孝志（ ” ）
中川 章（ ” ）
谷野 克巳（工業技術センター企画管理部）
☆藤城 敏史（工業技術センター機械電子研）

V. 微細放電加工の研究グループ

研究担当者 太田 光則（㈱齊藤製作所）
橋本 明（田中精密工業㈱）
研究指導者 ○杉森 博（工業技術センター機械電子研）
太田 実（ ” ）
藤井 弘之（ ” ）
中川 章（ ” ）
二口 友昭（ ” ）
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）

VI. 電磁シールド材の基礎研究グループ

研究担当者 福田 隆之（コーセル㈱）
高橋 伸忠（㈱タカギセイコー）
研究指導者 ○浅田 峯夫（工業技術センター中央研究所）
塚本 吉俊（ ” ）
☆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

☆印は研究幹事

目 次

I. 圧電素子を用いた制振機構の研究	1
1. 緒 言	1
2. 圧電素子	1
3. 一次元構造物の制振	2
4. 二次元構造物の制振	5
5. テニスラケットへの応用例	7
5. 結 言	7
II. コーティング工具の密着性向上に関する研究	8
1. 緒 言	8
2. コーティング方法	8
3. 実験方法	9
4. 結果および考察	10
5. 結 言	13
III. 生活環境用においセンサの開発（2）	15
1. 緒 言	15
2. 実験方法	15
3. 実験結果および考察	16
4. 結 言	22
IV. 電気自動車の開発（2）	23
1. 緒 言	23
2. 前年度までの成果と問題点	23
3. 試作電気自動車の概要	24
4. ジョイスティックによる車両制御方法	27
5. 走行試験結果	29
6. 結 言	29

V. 微細放電加工の研究	3 0
1. 緒 言	3 0
2. 微細放電加工の概要	3 0
3. 加工条件の検討	3 1
4. 微細加工方法の検討	3 3
5. 小径電極による微細加工	3 5
6. 結 言	3 7
VI. 電磁シールド材の基礎研究	3 8
1. 緒 言	3 8
2. 電磁シールドの原理	3 8
3. 電磁シールド効果の測定方法	3 9
4. シールド効果の基礎実験	4 0
5. 電波吸収体の基礎実験	4 2
6. 結 言	4 3
○各研究グループの研究風景	付- 1
○「若い研究者を育てる会」12年間の研究活動の足跡	付- 7
○第5回『自作ミニチュアマシン・サカゲームコンテスト』の概要	付-15
○会員企業および研究幹事名簿	付-16
○入会申込書	付-17

I. 圧電素子を用いた制振機構の研究

A Vibration Damping System with Piezoelectric Devices

稲垣 聡

INAGAKI Satoshi

渡辺 暁信

WATANABE Akinobu

松田 敏弘

MATSUDA Toshihiro

佐山 利彦

SAYAMA Toshihiko

杉森 博

SUGIMORI Hiroshi

藤城 敏史

FUJIKI Satosh

谷野 克巳

TNINO Katsumi

Abstract

A number of vibration control systems have been developed and used in various application fields. Piezoelectric elements have been used as an active control system with embedded sensors and actuators. However, the piezoelectrics require external energy source and complex control systems. These can be eliminated in passive shunting systems where external element consists of a simple passive electric circuit only. Dynamic tests were carried out on a aluminum cantilever beam and plate with surface bonded piezoelectric devices shunted by passive electric components. Damping of a tennis racket was also performed as an example of applications.

The result is as follows;

- (1) Effective damping system can be achieved by the piezoelectric devices with only passive elements, which are selected to satisfy resonance condition.
- (2) Optimal arrangement of the piezoelectric devices can be derived from the vibration analysis. The damping system reduce the vibration by 88 % on cantilever beam structure and by 21 % on plate structure.
- (3) A possibility of the system is shown in the vibration damping of tennis racket.

1. 緒言

現在、あらゆる分野で振動が重要な問題となっている。産業分野ではシステムの高精度化、高速化にともない防振技術が課題となっている。建築分野では快適性や安全性が求められ、また、生活分野においても快適性が求められ振動対策の必要性が増している。そのため、制振機構の研究が盛んに行われている。

一般的に、制振方法は受動型、能動型、ハイブリッド型の3つに分けることができる。受動型の制振方法には剛性設計、ダンパの設置、動吸収器の設置等が挙げられる。剛性設計とは共振周波数を調整して、加振周波数での共振を避ける方法である。ダンパは振動エネルギーを熱エネルギーに変換するもので、粘性、摩擦、ヒステリシス等を利用して制振する。動吸収器の設置は構造物の振動の周波数帯で振動しやすい別の構造物を取り付ける方法で、ゴンドラ、高層ビル、タワー、吊り橋等に利用されている。ハイブリッド型は、能動型と受動型を組み合わせる方法である。能動型はセンサ、コントローラ、アクチュエータによる制振で、アクチュエータの制御方式が重要となる。アクチュエータには電磁型、圧電型、超磁歪型等がある。

なかでも圧電素子を用いた制振機構は、近年、注目され多くの研究が行われているが、ほとんどが能動型で、外部からのエネルギー供給と複雑な制振回路が必要とされる。これに対し、圧電素子を受動型として用いる場合、外部からのエネルギー供給や複雑な制御系が不要である。簡単な受動回路だけで構成できるため、小型、軽量、かつ低コストという特徴を持つ。本研究では、圧電素子を用いた受動型の制振機構の解析と二次元的制振機構の開発を目的とした。

2. 圧電素子

圧電素子に電界を加えるとひずみを生じ、これを電気ひずみ効果という。また、逆に外力を圧電素子に加えると起電力が発生し、これを圧電効果という。圧電素子をアクチュエータとして用いる場合は電気ひずみ効果を利用する。

圧電素子には、①電気機械エネルギー変換効率が大きい、②高速動作である、③発熱、電磁雑音が小さい、④小型、軽量である、⑤保守が簡単である、⑥ストロークが小さい、などの特徴がある。

圧電素子を用いたアクチュエータは、ひずみが横方向であるバイモルフ型、ひずみが縦方向であるスタック型の積層圧電アクチュエータ等に分類できる。今回の実験では、バイモルフ型の圧電素子を用いた。

3. 一次元構造物の制振

3.1 一次元構造物の概要と固有振動数の測定

図1は、本研究で一次元構造物として用いた片持ちばりの概要および固有振動数の測定方法を示す。330mm × 30mm × 3mm に加工したアルミ材をはりとして、端から長さ方向 30mm の部分を治具に固定した。圧電素子は ACX 社製 QP10N を用いた。外形は、50.8 mm × 25.4mm × 0.38mm で、その中に 46.0mm × 20.6mm × 0.25mm の圧電材料が入っている。素子のキャパシタンスは約 40nF、最大電圧は± 200V である。図1に示すようにはりのクランプ部付近と中央付近の2カ所に圧電素子をエポキシ系接着剤で貼り付けた。

片持ちばりの固有振動数は、はりに加速度ピックアップを取り付け、その出力をアナライジングレコーダで記録、フーリエ変換することにより測定した。はりの加振はハンマリングによって行った。また、実際の振動モードを確認するために、固有振動数付近ではりを振動させ、各位置の振動加速度をレーザドップラー振動計で読みとった。この場合、はりの加振はファンクションジェネレータの正弦波信号を高速アンプで増幅してクランプ側の圧電素子に印加して行った。

図2(a)は、ハンマリング後の経過時間変化に対する加速度の変化を示す。図2(b)は図2(a)をフーリエ変換したものである。30, 165, 450, 920Hz 付近に固有振動数のピークが見られた。これらは、圧電素子を貼り付ける前の固有振動数と一致しており、圧電素子の接着によるはりの振動モード等への影響はないものと考えられる。振動モードのシミュレーションを行ったところ、28Hz で一次のモード、167Hz で二次のモード、433Hz で三次のモードが確認できた。図3(a)にはりの加速度の分布を、図3(b)にシミュレーションの結果を示す。測定結果のグラフで太線になっているところが、素子が貼り付けてある個所に対応する。測定結果とシミュレーションは、ほぼ一致していることが確認できた。

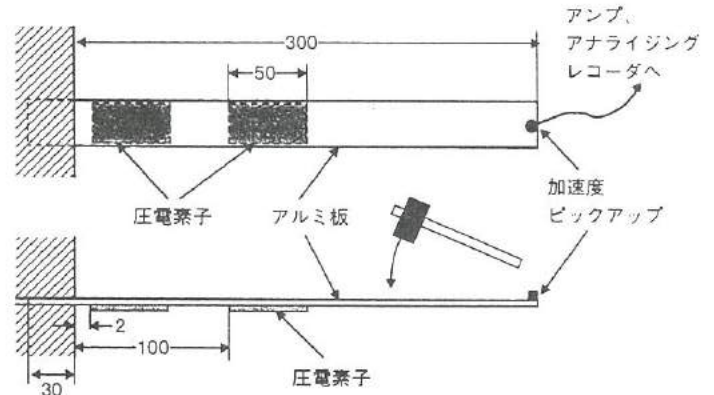


図1. 片持ちばりの概要と固有振動数の測定方法

Fig. 1. Cantilever beam and measurement method of natural frequency.

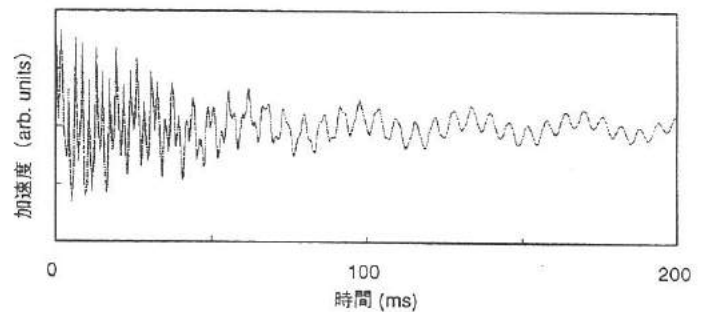


図2(a). ハンマリング後の振動加速度の変化

Fig. 2(a). Time dependence of acceleration after hammering.

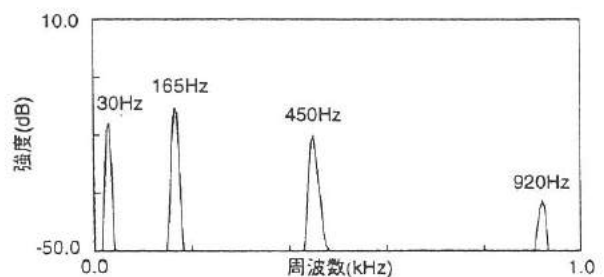


図2(b). フーリエ変換結果

Fig. 2(b). Fourier transformation result.

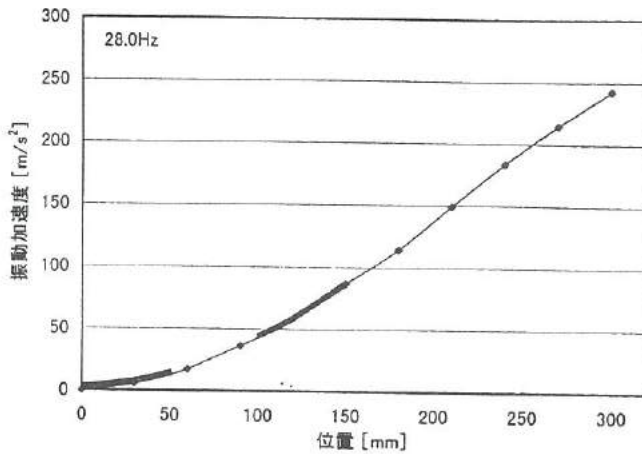


図 3 (a). 片持ちばりの加速度の分布

Fig. 3(a). Acceleration distribution in cantilever beam.

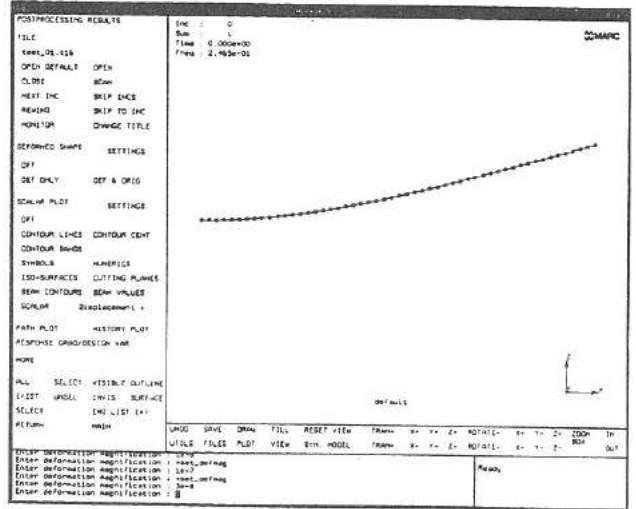


図 3 (b). シミュレーション結果

Fig. 3(b). Simulation result.

3. 2 一次元構造物の制振

3. 2. 1 実験方法

図 4 はアルミ片持ちばりの制振実験方法を示す。クランプ側の圧電素子を加振用、もう一方を制振用とした。加振方法は、固有振動数の測定の場合と同様とした。制振用圧電素子の端子間のインピーダンスを開放、短絡、インダクタンス (L)、インダクタンスおよび抵抗 (LR)、インダクタンスおよびキャパシタンス (LC) と変化させ、はりの振動加速度の変化を測定し、制振効果を検討した。

測定周波数は、一次モードに対応する 28Hz 付近とし、共振したはりの振動加速度が最も大きく現れる先端部分 (クランプ部から 300mm) を測定点とした。制振効果の比較のため、端子間を開放したときの最大加速度を 100%として、各インピーダンスを挿入したときの最大加速度を調べた。

また、制振位置と制振効果の関係を調べるため、加振用と制振用の圧電素子を入れ替え、クランプ側を制振用とした測定も行った。

インダクタンスは、φ 20mm のインダクタンス用芯材に φ 0.2mm のエナメル線を巻いて制作した。1000 ターンごとに端子を外に取り出し、4.9H ~ 540H の範囲でインダクタンス値を変えることができるようにした。

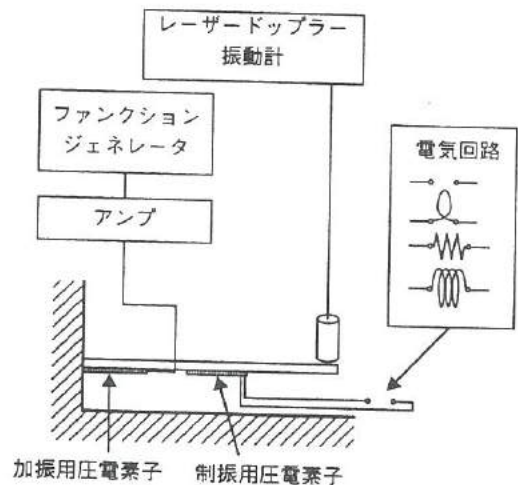


図 4. 片持ちばりの制振実験方法

Fig. 4. Method of vibration damping experiment of cantilever beam.

3. 2. 2 受動回路と制振効果

図 5 は、制振用圧電素子の端子間のインピーダンスを変化させたときの加速度の周波数特性を示したものである。540H のインダクタンスを挿入した場合の最大加速度は 52% 減少し、大きな制振効果が得られた。インダクタンスおよび抵抗を挿入した場合の最大加速度の減少は 5% で、ほとんど制振効果が得られなかった。また、短絡では制振効果は全く見られなかった。インダクタンスだけを挿入した場合は、インダクタンスの増加とともに制振効果も大きくなる傾向がある。

さらに、キャパシタンス (C) をインダクタンスと並列に挿入した場合の、制振効果について検討した。キャパシタンスの値は 62、82、100 nF の 3 種類とした。図 6 は、各キャパシタンスについて、インダクタンスに対する振動加速度の変化を示す。インダクタンスだけを挿入した場合と比較すると制振効果は半減するが、キャパシタンスを挿入することにより、インダクタンスの値を減少させることができる。

これらの結果を、図 7 に示す電気的等価回路を用いて考察する。図の左部が加振部分、中央がはり、右部が制振部分である。圧電素子は電気的振動と機械的振動の間でトランスの役割を果たすと考えられる。したがって、外部電源から加えた電気的振動は加振用圧電素子で機械的振動に変換され、はり材を伝わって、制振用圧電素子で再び電気的振動に変換される。ここで、制振用圧電素子自体が静電容量を持つため、圧電素子の端子間に適当なインダクタンスを挿入すること

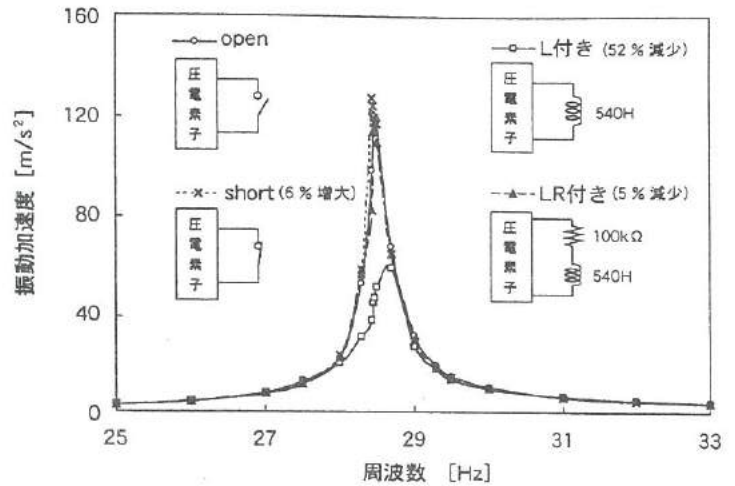


図 5. 端子間のインピーダンスと加速度の周波数特性

Fig. 5. Frequency dependence of acceleration with shunting impedance.

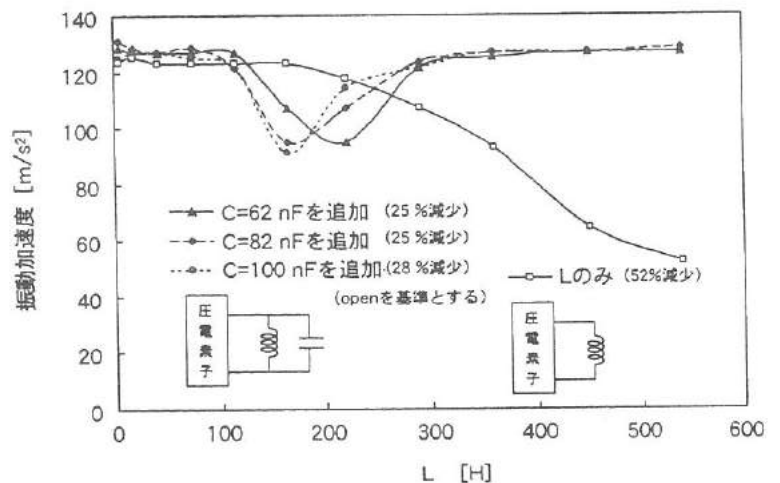


図 6. キャパシタンスを変えたときの加速度のインダクタンス依存性

Fig. 6. Inductance dependence of acceleration with different capacitance.

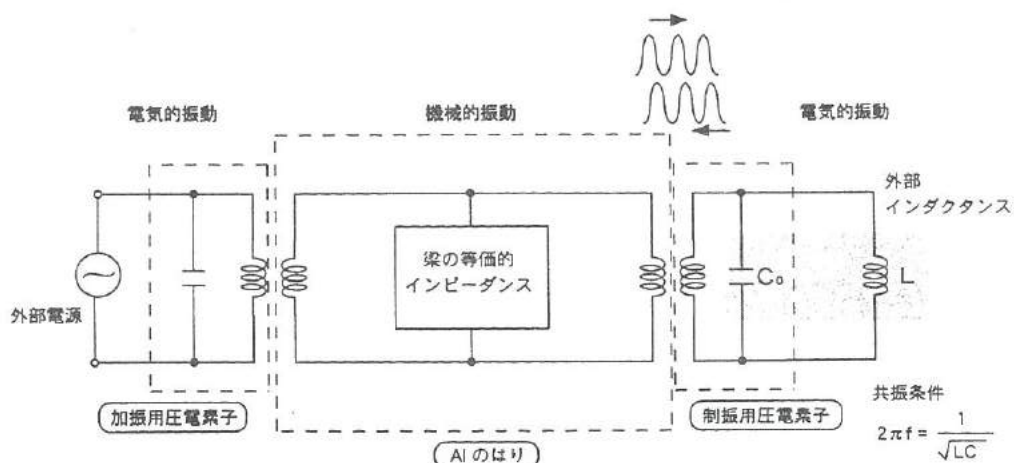


図 7. 制振システムの電気的等価回路

Fig. 7. Equivalent electric circuit of the vibration damping.

によって、制振部分の電気回路に共振条件を成立させることができる。この共振回路によって伝達されてきた振動エネルギーは電気エネルギーとして蓄えられ、位相変化した後、再び圧電素子を介して振動としてはりに伝達される。このときの位相変化が制振効果をもたらすのと考えられる。制振用圧電素子の端子が開放の場合は、回路上に電流が流れないため、はりの振動に変化はない。図7の制振用圧電素子のキャパシタンス C_0 とインダクタンス L で構成される回路の共振周波数 f は、

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \quad (1)$$

で表される。

制振用圧電素子のキャパシタンスは、約 40nF であり、28Hz の共振周波数に対応するインダクタンスの値は、式(1)より約 808H となり、実験結果の傾向とほぼ一致した。ただし、今回製作したインダクタンスは、芯材等の制約から 540H が最大であったので、今後、808H 付近での確認が必要である。

インダクタンスと並列に C_x を挿入した場合、全体のキャパシタンス C_{total} は

$$C_{total} = C_x + C_0 \quad (2)$$

となる。したがって、同一の共振周波数に対するインダクタンスの値を小さくすることができる。式(1)、(2)から計算した外部のキャパシタンス 62、82、100nF に対応する共振条件のインダクタンスは、それぞれ 316、265、230H で、実験結果とほぼ一致する。外部にキャパシタンスを入れた場合に制振効果が落ちるのは、制振用圧電素子に圧電効果で誘起された電荷が外部のキャパシタンスに分割されるため、圧電素子の起電力が低下するためと考えられる。

さらに詳細な解析には制振の電気的部分だけではなく、圧電素子の伝達関数も考慮する必要がある。しかし、実用的には、式(1)を満足するインダクタンスおよびキャパシタンスの値を中心に調整すれば、効果的な制振機構を設計することができる。

3. 2. 3 制振位置と制振効果

構造物の制振においては、制振用圧電素子の位置が制振効果に影響すると考えられる。これまでの実験とは逆に、クランプ側を制振用に、もう一方を加振用としたときの制振効果を測定した。図8は、はりの振動加速度の周波数特性を示す。インダクタンスが 540H の時の振動加速度は、端子間を開放したときの最大加速度に対して約 88%減少し、大きく改善されている。図3に示したように、一次のモードの振動では中央部付近よりもクランプ部に近いほうで、ひずみ量が增大する。制振用圧電素子の接着位置でのひずみ量が大きいほど、圧電効果によって高い電圧が発生し、より制振効果が得られると考えられる。したがって、事前に、振動モードの解析を行い、もっともひずみ量の大きい個所に圧電素子を取り付けることが重要である。

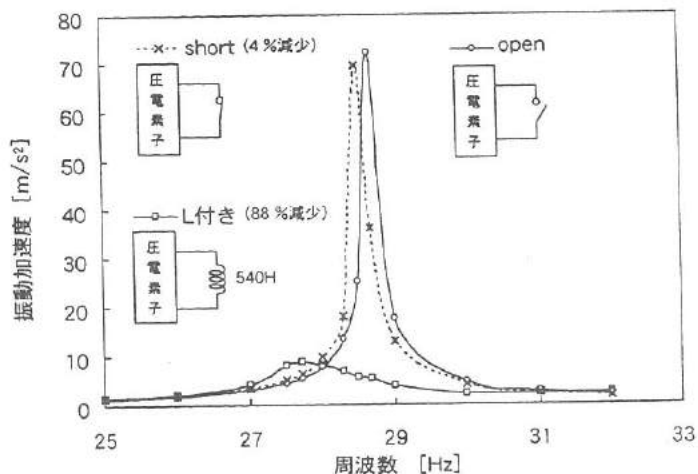


図8. 片持ちばりの加速度の周波数特性

Fig. 8. Frequency dependence of acceleration of cantilever beam.

4. 二次元構造物の制振

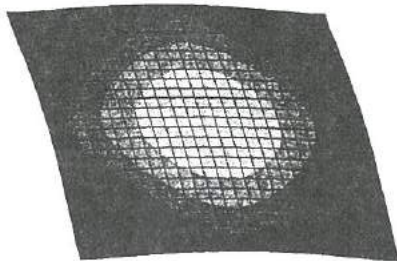
4. 1 実験方法

対象として用いる二次元構造物とその実験方法を図9に示す。二次元構造物は 320 mm×320 mm×3 mm のアルミ平板で、四隅を拘束するためにそれぞれの辺から 10 mm の位置にボルトで鉄製の足を取り付けて 4 点支持とし、加振する際に外部からの影響を受けにくい

構造とした。振動の測定には、はりの実験と同様にレーザードップラー振動計を用い、平板上に規定した縦・横 70 mm 間隔の格子点において振動加速度を測定した。また、圧電素子を効果的な位置に取り付けるために、シュミレーションおよび、モーダル解析を行い、平板の振動モードを検討した上で、制振実験を行った。

4. 2 シュミレーションおよびモーダル解析

平板の一次の振動モードについて、図 10(a)にシュミレーションの結果、図 10(b)にモーダル解析の結果を示す。いずれも、ほぼ同一の周波数で平板の中心部分の変位が最も大きくなる一次のモードで振動していることがわかる。同様に、5 次のモードまでは周波数に多少のズレはあるが、シュミレーションとモーダル解析の振動モードは、ほぼ一致している。本研究の制振実験は、最も単純な一次のモードで行うことにした。制振用圧電素子はひずみの最も大きい位置に張り付けることが効果的であるので、図 9 の A の位置に張り付けた。



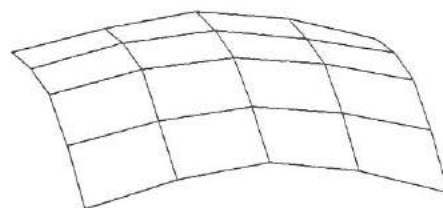
(mode.1 frq:78Hz)

図 10(a). シュミレーション結果

Fig. 10(a). Simulation result.

4. 3 制振実験

図 9 の平板の断面 B から B' の振動加速度の分布を図 11 に示す。制振用圧電素子の端子間を開放にして、98.7Hz で振動させた時、平板は一次のモードで共振する。制振用圧電素子の端子間に作製した 11 種類のインダクタンスを挿入し振動加速度の変化を調べた。最も制振効果が大きかったインダクタンスは 41.8H で平板の振動は約 21 % 減少している。C から C' の振動を測定しても同様の加速度分布であり、振動モードに変化はない。このインダクタンスの値は式(1)を用いて求めた 65H に近く、二次元構造物の場合でも式(1)が有効であると考えられる。したがって、制振する対象が変化してもその対象物の振動モードを解析し、制振用圧電素子をひずみの大きな位置に張り付け、電気回路を調整することで大きな制振効果が得られる。



(mode.1 frq:110Hz)

図 10(b). モーダル解析の結果

Fig. 10(b). Modal analysis result.

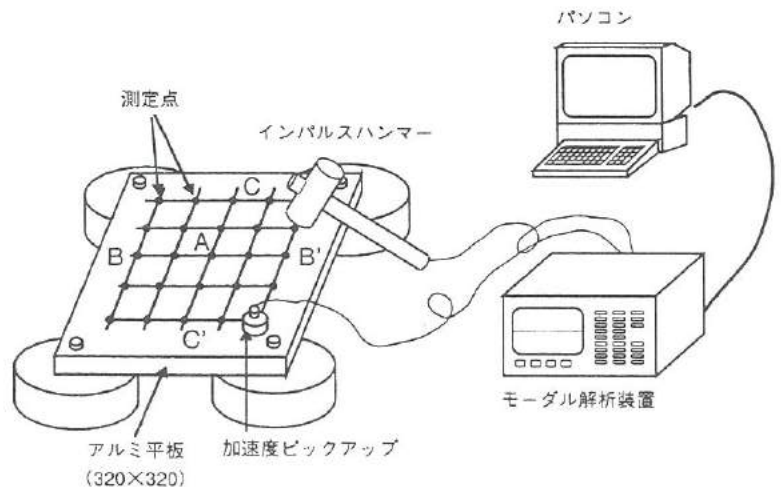


図 9. 二次元構造物および実験方法

Fig. 9. Two dimensional structure and experimental method.

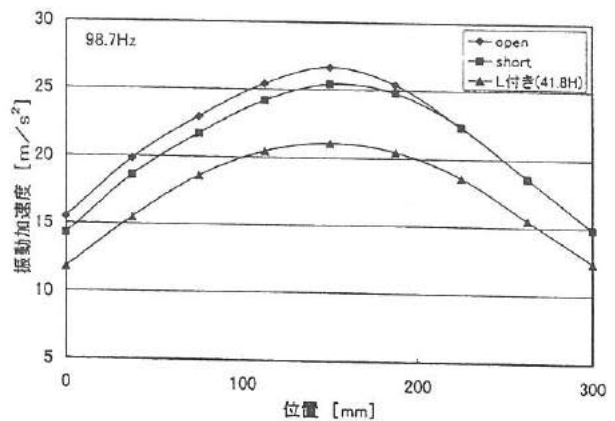


図 11. 平板での振動加速度の分布

Fig. 11. Distribution of acceleration in the plate.

5. テニスラケットへの応用例

5.1 実験方法

本制振機構は共振周波数での振動を抑えることに有効と考えられ、剛性設計だけでは共振対策が不十分な分野への応用が考えられる。テニスラケットにおいては、インパクトの瞬間に振動が手首にまで伝わり、不快感を与えることがある。固有振動数成分を抑えることができれば、新しい機能となると考えられる。そこで本研究では、テニスラケット（軟式用）の制振を行うこととし、図 12 にその概略を示す。グリップ付近の両面に圧電素子を張り付け、ラケットはバイスで固定した。はりを用いた実験同様、ガット部、フレーム部をそれぞれハンマリングし、ラケットの固有振動数を測定した。制振実験ではラケットに張り付けた圧電素子の一方を加振用、もう一方を制振用とした。加速度の測定点はラケットの先端（トップ）部分とし、これまでと同様にレーザードップラー振動計を用い測定を行った。

5.2 実験結果

その結果、33.2 Hz 付近に一次の振動モードがあることが判明した。図 13 にテニスラケットの振動加速度の周波数特性を示す。インダクタンス(L=450H)を挿入した圧電素子により 37%程度の制振効果が見られる。今後、制振効果を改善するためには、形状が複雑なラケットの振動モードを明確にし、制振用圧電素子を表面ではなく、直接芯材に張り付けることも考えられる。実際にボールを打った瞬間の効果については、更に検討が必要である。

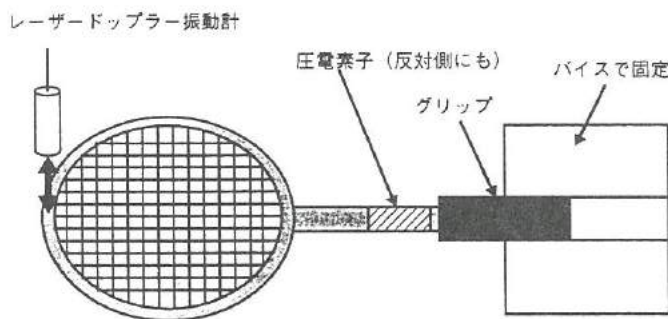


図 12. テニスラケットの制振実験方法

Fig. 12. Experimental method of vibration damping of tennis racket.

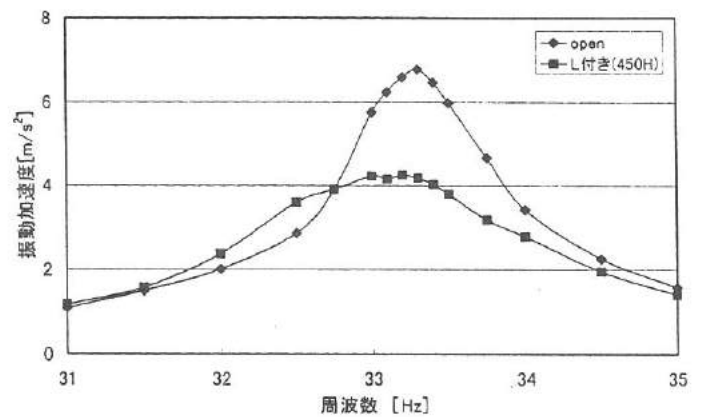


図 13. テニスラケットの振動加速度の周波数特性

Fig. 13. Frequency dependence of acceleration of the racket.

6. 結 言

本研究では、圧電素子を用いた制振機構の検討を行った結果、以下の成果が得られた。

- (1) 構造物の振動エネルギーを、圧電素子を用いて電気エネルギーに変換し、電氣的共振回路を組み合わせることによって、制振効果が得られることが確認できた。
- (2) 構造物の振動モードを解析することによって効率的に圧電素子を配置することができ、より大きな効果を得られることが確認できた。片持ちばりでは 88%、平板では 21%の制振効果があった。
- (3) 本制振方式をテニスラケットに応用し、制振効果が得られる可能性を確認した。

参考文献

N. W. Hagwood and A. von Flotow : J. Sound and Vibration, vol. 146, 243-268 (1991).

II. コーティング工具の密着性向上に関する研究

Improvement of adhesion between the coating layer and cemented carbide for tool

野上 拓也
Nogami Takuya

高林 外広
TAKABAYASHI Sotohiro

寺澤 孝志
TERASAWA Takashi

谷野 克己
TANINO Katumi

Abstract

With high efficiency of machining, it is necessary to cut at high speed and fast-forwarding. Formerly used cutting tools such as cemented carbide and cermet can't used to cut at these conditions because of reaction with machinable materials. TiN or TiC coating tools deposited by PVD have some advantages such as the resistance to peeling, high density and long life.

In this study, the adhesion between the coating layer deposited by sputtering method and cemented carbide for tool was discussed. The results were as follows;

- (1) The adhesion between the TiN layer and the cemented carbide tool was improved by using middle layer of titanium.
- (2) The adhesion between the TiC layer and the TiN layer was improved by making its composition to change gradually.

1. 緒言

切削加工の高効率化に伴い、高速回転、高速送り切削の必要性が求められている。その中で、ハイス、超硬合金、サーメットなど、従来の切削工具においては、バインダとしてFe、Ni、Coなどの金属を利用するため、高速回転、高速送り切削で熱が発生する条件では、被削材との反応による溶着や塑性変形などが生じ使用不可能となる。これを改善するために、その表面に耐磨耗性、耐熱性に優れたセラミックをコーティングし、切削時の熱の発生および母材内部への熱伝導を抑制することで、従来不可能だった高速回転、高速送りでの切削が可能となった。

本研究では、コーティング工具の高速回転、高速送り切削の信頼性をより以上に高める観点から、PVD法のうち、膜の多層化、傾斜化が容易に行えるスパッタリング法によってコーティング工具の密着性の向上を試みた。

2. コーティング方法

コーティング工具のコーティング方法には大きく分けて、高温下で水素還元または熱分解など化学反応を利用して生成・析出させるCVD法（化学吸着法）と、物理的に付着（堆積）させるPVD法（物理吸着法）とがある。表1はその特徴を示す。CVD法では、高温下で処理するため、膜に大きな引張応力が発生し欠損しやすいが、PVD法では、処理温度が低いため、圧縮応力となり耐欠損性に優れている。

表 1. コーティング超硬合金工具の特徴

Table 1. Characteristics of the coating layer and cemented carbide for

	PVD法	CVD法
処理温度	100~500°C	800~1100°C
変形、歪み	なし	発生
後処理	なし	必要
コーティング後の合金強度	◎	△
界面の相(脆化相)	生じない	生じやすい
密着性	○	◎
表面部の残留応力	圧縮	引張
耐欠損性	◎	△
耐磨耗性	○	◎

◎: 優れる
○: 普通
△: やや劣る

そこで、本研究では、PVD法のうち、膜の多層化、傾斜化が容易に行えるスパッタリング法によって、図1に示すように、硬さが硬く耐磨耗性に優れているTiCと、TiCに比べ靱性が高く超硬合金と密着性が優れているTiNをコーティングした。その検討項目を下記に示す。

2. 1. 超硬合金とTiN膜との密着性向上

ここでは、超硬合金とTiN膜間に、中間層として活性金属であるTiまたはCrをコーティングし、密着性の向上を試みた。

2. 2. TiN膜とTiC膜との密着性向上

TiN膜とTiC膜の積層化コーティングでは、それぞれの膜の熱膨張係数および靱性など機械的性質が異なるため、界面において、クラックの発生や層間の剥離が生じる可能性がある。

そこで、TiN膜コーティング後、TiNの割合を徐々に減らしTiCの割合を徐々に増やすことで組成の傾斜化を行い、その上にTiC膜をコーティングすることで、TiN膜とTiC膜間での機械的性質の差を減少させ、密着性の向上を試みた。

3. 実験方法

3. 1. 超硬合金とTiN膜との密着性向上

(1) 作製方法

超硬合金とTiN膜との密着性向上の一策として、超硬合金とTiN膜間で中間層のコーティングを試みた。図2はその作製工程を示す。まず、市販の超硬合金（WH10：日立ツール）をバフで研磨し、充分洗浄した後、中間層としてTiまたはCrをスパッタリング法によってコーティングした（各膜厚：0.1μm以下）。この後、TiN膜をスパッタリング法によってコーティングし（膜厚：1.7μm）、密着性の評価を行った。また、比較のため、中間層をコーティングしない試料を作製し、密着性の評価も実施した。

なお、使用したスパッタリング装置は、高周波ハイレートスパッタリング装置である。

(2) 密着性の評価

密着性の評価はスクラッチ試験（HEIDON-22型：新東化学製）によって行った。図3はその試験方法を示す。今回行ったスクラッチ試験は、コーティング膜表面に先端曲率半径25μmのダイヤモンド圧子を押付け、圧子に垂直な荷重を連続的に増加させ、操作速度を一定に保ちながら引っかき、その際に生じる破壊音をアコースティックエミッション（AE）で検出する方法である。

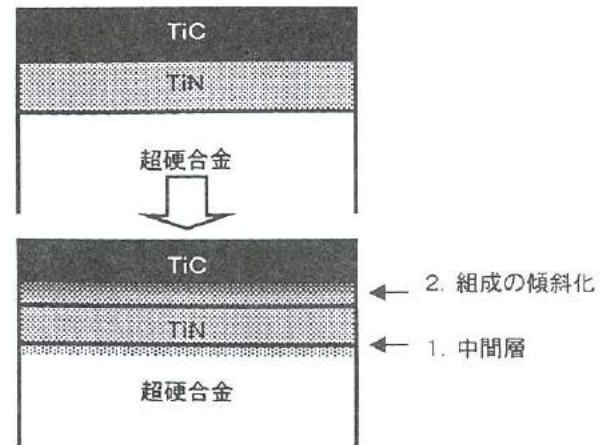


図1. コーティング方法

Fig.1. Coating method.

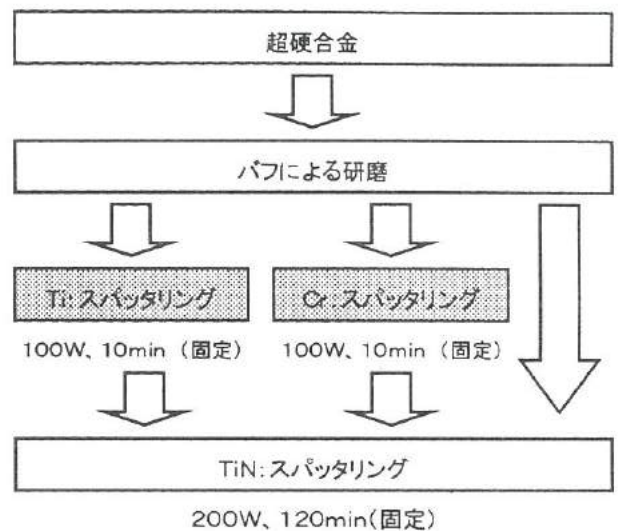


図2. 中間層コーティング作製工程

Fig.2. Fabrication process of TiN layer with reactive layer.

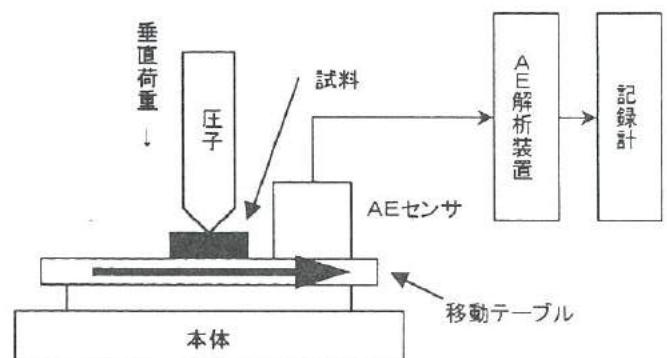


図3 スクラッチ試験方法

Fig.3. Method of scratch test.

3. 2. TiN膜とTiC膜との密着性向上

(1) 作製方法

TiN膜とTiC膜との密着性向上の一方策として、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を試みた。図4はその作製工程を示す。まず、市販の超硬合金を充分洗浄した後、TiN膜をスパッタリング法によってコーティングした(膜厚: 1.0 μm)。その後、2元同時スパッタリング法によって、TiNターゲットへの投入電力を徐々に減らし、TiCターゲットへの投入電力を徐々に増やすことで、組成の傾斜化を行った(膜厚: 約0.4 μm)。その時のスパッタリング条件を表2に示す。この後、TiC膜をスパッタリング法によってコーティングし(膜厚: 0.2 μm)、密着性の評価を行った。また、比較のため、組成の傾斜化を行わず、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料、TiC膜のみをコーティングした試料を作製し、密着性の評価も実施した。

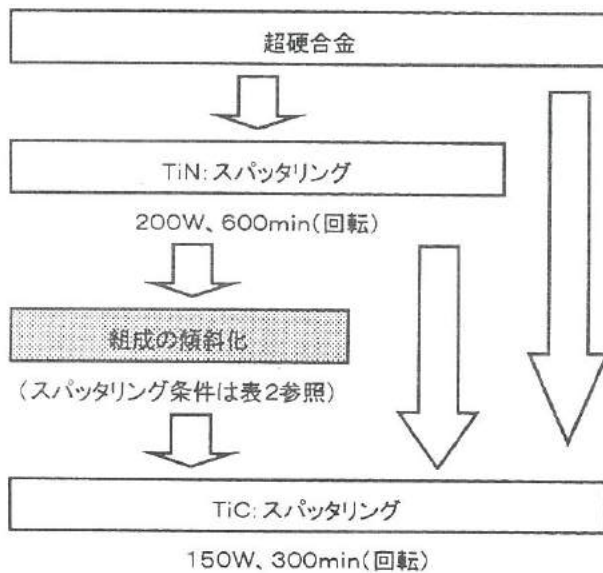


図4 組成の傾斜化作製工程

Fig.4. Fabrication process of TiN and TiC layer.

なお、使用したスパッタリング装置は、2元同時可能な高周波ハイレートスパッタリング装置である。

(2) 密着性の評価

密着性の評価はスクラッチ試験によって行った。その方法は

3. 1. (2) と同様である。

4. 結果および考察

4. 1. 超硬合金とTiN膜との密着性向上

まず、各試料について、目視および顕微鏡によって表面を観察した。その結果、超硬合金とTiN膜間に中間層をコーティングしていない試料および中間層としてTiをコーティングした試料では、クラックや剥離は観察されなかった。しかし、中間層としてCrをコーティングした試料では、TiN膜にクラックが発生しており、一部剥離している箇所も確認された。図5はその概要を示す。

表2 組成の傾斜化スパッタリング条件

Table 2. Sputtering condition of Gradient composition.

段階	投入電力(W)		時間(min)	スパッタ方法
	TiN	TiC		
1	200	0	15	回転
2	190	10	15	
3	180	20	15	
4	170	30	15	
5	160	40	15	
6	150	50	15	
7	140	60	15	
8	130	70	15	
9	120	80	15	
10	110	90	15	
11	100	100	15	
12	90	110	15	
13	80	120	15	
14	70	130	15	
15	60	140	15	
16	50	150	15	
17	40	150	15	
18	30	150	15	
19	20	150	15	
20	10	150	15	
21	0	150	15	

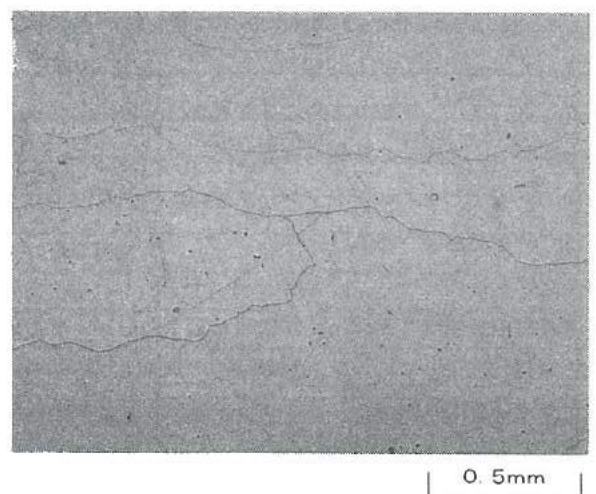


図5 TiN膜の表面写真(中間層: Cr)

Fig.5. Photograph of TiN coating layer. (middle layer: Cr)

次に、中間層をコーティングしていない試料および中間層としてTiをコーティングした試料でスクラッチ試験を行った。図6は各試料の荷重とAE強度との関係を示す。ここでAE強度の立ち上がりを臨界剥離荷重と定義した。図7は各試料の臨界剥離荷重を示す。図7より、中間層としてTiをコーティングした試料では、中間層をコーティングしていない試料に比べ、臨界剥離荷重は約1.3倍と大きくなった。

次に、スクラッチ試験で生じるひっかき痕を光学顕微鏡によって観察した。図8はその結果を示す。図8より、中間層をコーティングしていない試料ではひっかき痕周辺には大きな剥離が見られなかったのに対し、中間層としてTiをコーティングした試料ではひっかき痕周辺に最大0.1mm程度の剥離が見られた。

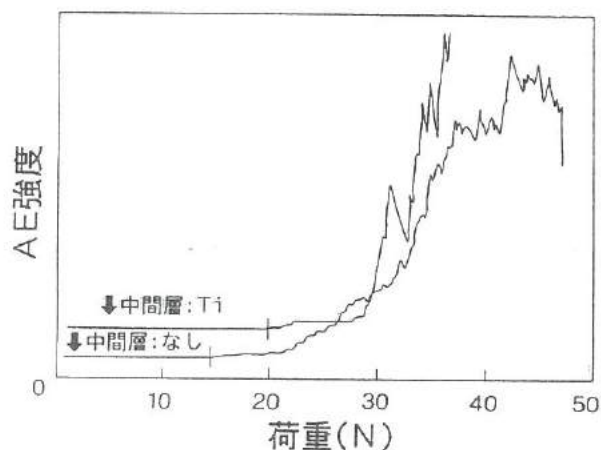


図6 荷重とAE強度との関係
(超硬合金/TiN)

Fig.6. Relationship between the load and AE signal of cemented carbide with TiN layer.

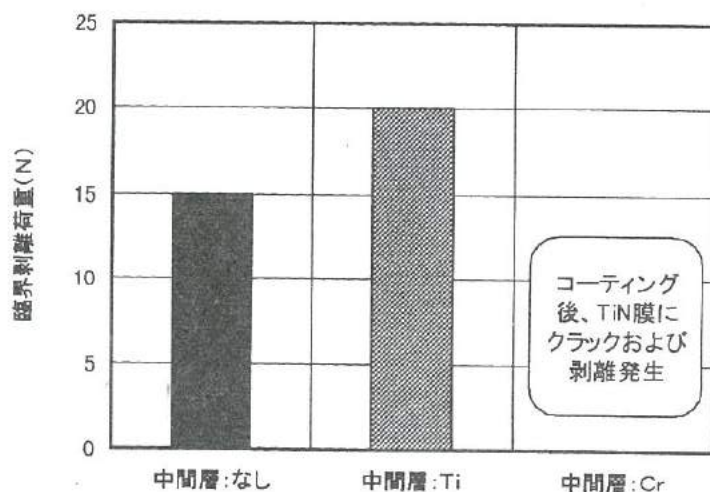
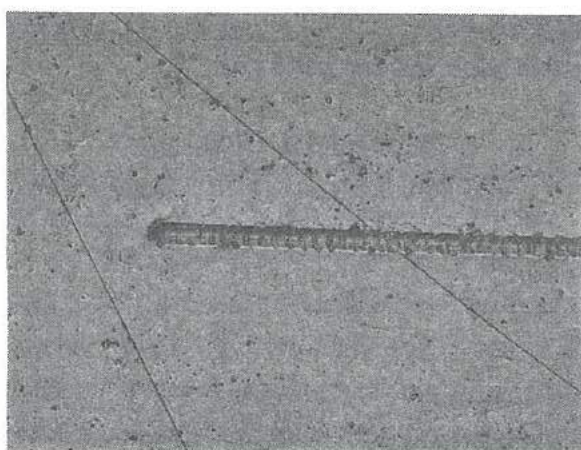
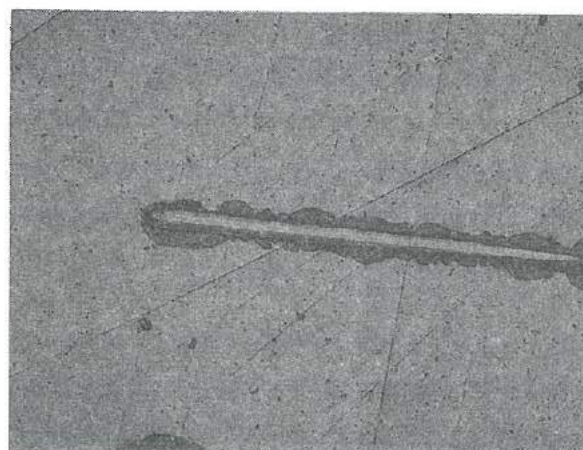


図7 臨界剥離荷重(超硬合金/TiN)

Fig.7. Critical peeling load of cemented carbide with TiN layer.



中間層:なし



中間層:Ti

図8 ひっかき痕観察(超硬合金/TiN)

Fig.8. Observation of scratches of cemented carbide with TiN layer.

以上の結果から、中間層としてTiをコーティングした試料では、中間層をコーティングしていない試料と比較して、スクラッチ試験による臨界剥離荷重は高くなった。また、ひっかき痕の観察結果から、中間層としてTiをコーティングした試料と中間層をコーティングしていない試料では、剥離の状態が異なることがわかった。

4. 2. TiN膜とTiC膜との密着性向上

まず、超硬合金上にTiC膜のみをコーティングした試料、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料およびTiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料について、目視および顕微鏡によって表面を観察した。その結果、いずれの試料においてもクラックおよび剥離は確認されなかった。

次に、各試料でスクラッチ試験を行った。図9は各試料のスクラッチ試験による荷重とAE強度との関係を示し、図10は臨界剥離荷重を示す。図10より、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料では、TiC膜のみをコーティングした試料に比べ、膜厚が厚いにもかかわらず、臨界剥離荷重は約2倍と大きくなった。さらに、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料では、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料に比べ、膜厚が厚いにもかかわらず、臨界剥離荷重は約1.3倍と大きくなった。

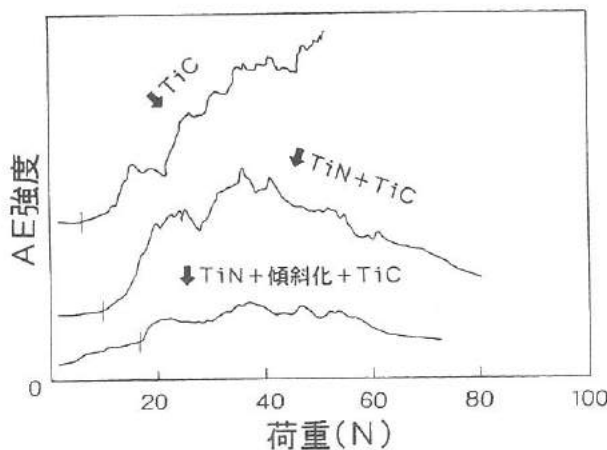


図9 荷重とAE強度との関係
(超硬合金/TiN/TiC)

Fig.9. Relationship between the load and AE signal of cemented carbide with TiN and TiC layer.

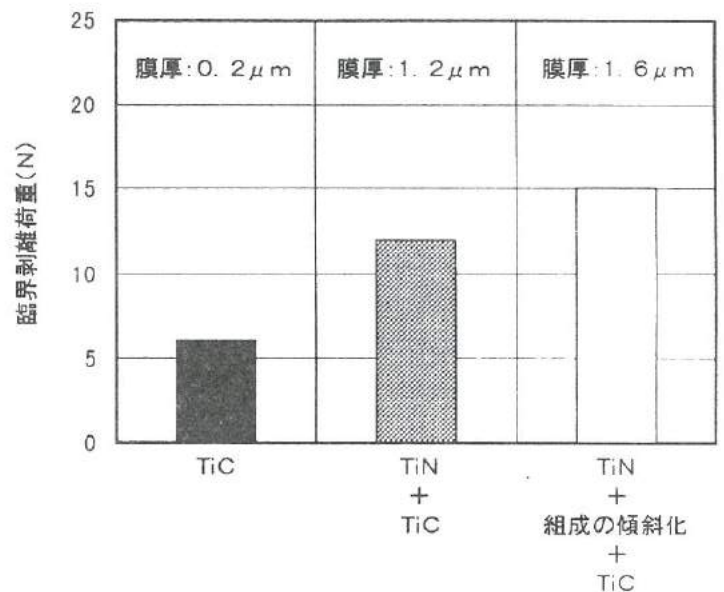
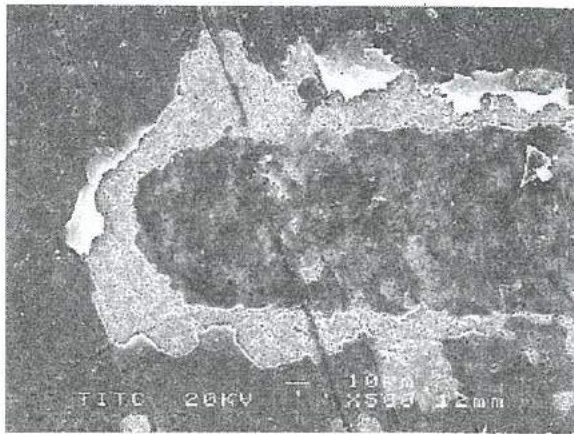


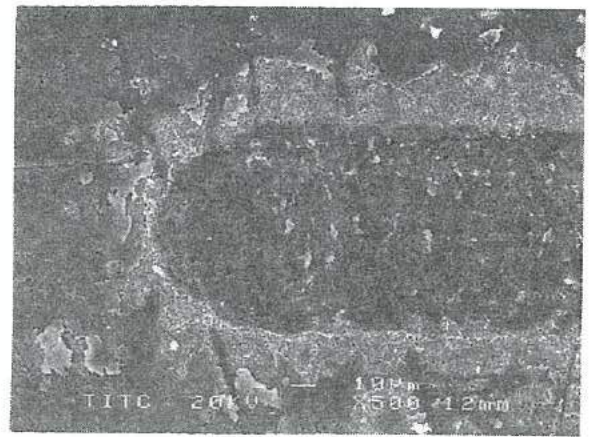
図10 臨界剥離荷重 (超硬合金/TiN/TiC)

Fig.10. Critical peeling load of cemented carbide with TiN and TiC layer.

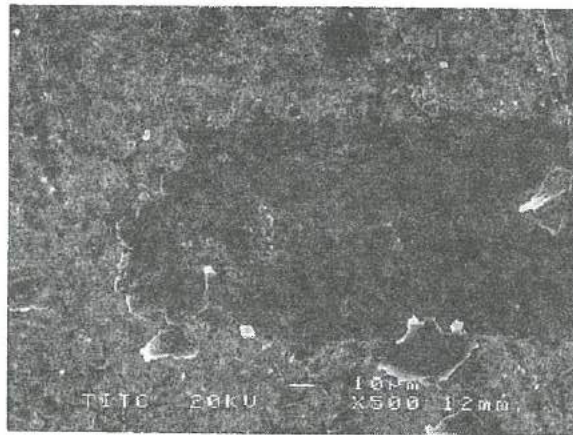
次に、スクラッチ試験で生じるひっかき痕をSEMによって観察した。図11はその結果を示す。図11より、TiC膜のみをコーティングした試料およびTiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料では、ひっかき痕周辺に同じような剥離が見られた。一方、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料では、ひっかき痕周辺に大きな剥離は見られなかった。これらの観察結果から、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料では、TiN膜とTiC膜間で剥離したと考えられる。一方、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料では、前項で述べた超硬合金上にTiN膜のみをコーティングした試料の剥離の状態と似ていることから、超硬合金とTiN膜間で剥離したものと考えられる。



TiC



TiN+TiC



TiN+組成の傾斜化+TiC

図11 ひっかき痕観察(超硬/TiN/TiC)

Fig.11. Observation of scratches of cemented carbide with TiN and TiC layer.

以上の結果から、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料では、スクラッチ試験による臨界剥離荷重は高くなることがわかった。また、ひっかき痕の観察結果から、TiN膜とTiC膜を積層化コーティングした試料ではTiN膜とTiC膜間で剥離したと考えられるのに対し、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行った試料ではTiN膜とTiC膜間で密着性が向上し、超硬合金とTiN膜間で剥離したものと考えられる。

4. 結言

本研究では、コーティング工具の基板とコーティング材との密着性向上を図るため、スパッタリング法によって、超硬合金上にTiN膜とTiC膜をコーティングしたところ、以下の成果が得られた。

- (1) 超硬合金とTiN膜との密着性を調べたところ、中間層としてTiをコーティングすることで、スクラッチ試験による臨界剥離荷重が高くなることがわかった。
- (2) TiN膜とTiC膜との密着性を調べたところ、TiN膜とTiC膜間で組成の傾斜化を行うことで、スクラッチ試験による臨界剥離荷重が高くなることがわかった。

参考文献

- (1) 佐々木 恒 トライボロジスト 第36巻 第12号 p 941~p 946 (1991)
- (2) 機械技術 第45巻 第11号 p 16~75 (1997)
- (3) 大石 政治 表面技術 第41巻 第11号 p 53~59 (1991)
- (4) M.Fukutomi et al., Thin Solid Films, 80 p271-277 (1981)
- (5) 精密工学学会誌 第61巻 第6号 p 751~787 (1995)
- (6) 武井 厚 表面技術 第47巻 第1号 p 12~17 (1996)
- (7) 沖 猛雄 表面技術 第41巻 第5号 p 2~10 (1990)

Ⅲ. 生活環境用においセンサの開発(2)

Development of Oxide Semiconductor Gas Sensors for Living Environment(2)

星野 昌則
HOSHINO Masanori

南 政克
MINAMI Masakatu

山田 浩美
YAMADA Hiromi

角崎 雅博
KADOSAKI Masahiro

藤城 敏史
FUJIKI Satosi

山崎 茂一
YAMAZAKI Shigekazu

寺澤 孝志
TERASAWA Takashi

龍山 智榮
TATSUYAMA Chiei

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 are as follows ;

- The high sensitivity to formaldehyde was achieved by Ag(1~3wt.%) -SnO_2 element.
- The sensing property of SnO_2 element to formaldehyde or xylene was largely improved by addition of MnO_2 (3~7wt.%)
- About 0.01ppm formaldehyde was detected by both MnO_2 (7wt.%) -SnO_2 element and Ag(1wt.%) -SnO_2 element.
- Addition of both Ag(1~3wt.%) and MnO_2 (3~7wt.%) to SnO_2 decreased sensitivity to VOC gases.

1. 緒言

近年、化学物質過敏症と呼ばれる健康障害が社会問題となっている。この化学物質過敏症の代表的なものに「シックハウス症候群」がある。この「シックハウス症候群」は新築住宅への入居者が建材などに含まれる化学物質の影響で目の痛みや身体の不調を訴えたり、皮膚炎を起こしたりするものである。このような健康に障害を与える化学物質としてホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、可塑剤、有機リン系物質などが挙げられる。この中でも一番問題となっているホルムアルデヒドは0.01ppm ~ 1.6ppmで眼の刺激が始まり、0.08ppm ~ 1.6ppmで眼と鼻に刺激を感じる。また2ppm ~ 3ppmで眼が指すように痛む。1990年頃WHOがホルムアルデヒドの基準値を0.08ppmと制定したが、日本でもようやく1997年厚生省が基準値を0.08ppmと制定した。しかし現状ではまだ新築住宅の平均室内濃度は0.2ppmという高い値となっている。

本研究では、このような「シックハウス症候群」⁽¹⁾の原因ガスであるホルムアルデヒド、トルエン、キシレンに有効な安価で簡便なおいセンサの開発を行った。

2. 実験方法

2.1 センサ作成及び、構造

センサの作成は、スクリーン印刷を用いた。厚さ0.5mmのアルミナ基板に0.5mmの平行Pt電極を、その裏面にはPt(田中貴金属工業(株)製)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、事前に酸化物半導体粉末((株)高純度化学研究所製)とバインダー(田中貴金属工業(株)製)を調合し、ペースト化したセンサ材料を印刷し、600℃で1時間焼結する。次に、Ptリード線(THE NILACO CORPORATION)をPt電極とPtヒータにAgペースト(田中貴金属工業(株)製)で取り付け、更に600℃で1時間焼結する。図1に試作したセンサの構造を示す。外形寸法はおよそ10mm角である。

2.2 ガス作成方法と実験装置

におい成分となるホルムアルデヒド、キシレン（和光純薬工業(株)製）の液体試薬を用い、気体の状態方程式より導出される試薬量を完全に気化させることにより所定濃度の気体（ガス）を作成した。液体の計量にはマイクロシリンジ、注射器を用いた。図2はガスセンサの実験装置模式図である。このチャンパーは、内側が一辺 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 12 個まで同時測定出来る。上面センサ設定位置の横に、試薬注入口がありその真下に試薬気化用ヒータが設置してある。試薬はこのヒータ上に所定量を徐々に垂らし、ガス化させる。次に発生させたガスをチャンパー内に均等に拡散させるために、内部に設置した攪拌用ファンを 15sec 程度動作させる。なお、このファンの回転方向は風向きを床方向にしてあり、これはファンの風によりセンサ自体の温度低下を極力抑えるためである。又容器側面には測定終了後にガスを排出する際の排気口を設けた。

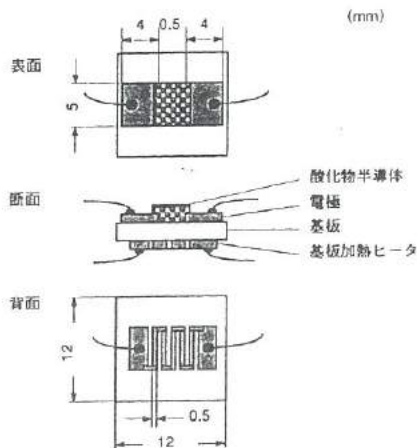


図1 センサ構造図

Fig1 Schematic view the structure of thick-film gas sensor

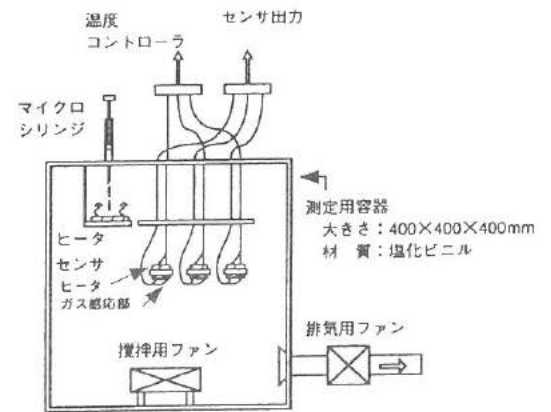


図2 実験装置模式図

Fig2 Experimental apparatus for measuring gas sensitivity

3. 実験結果及び考察

3.1.1 ガス濃度の校正

前項で述べた一連の手順により気体の状態方程式を用い、チャンパー内でガスを作成したが、実際に目的濃度ガスが正確に作成されているか否かを検証する必要がある。そこで、この検証においては検知管（ガステック社製）を用い、実測濃度値と計算値との比較をした。結果を図3に示す。図は計算値と測定値がほぼ等しいことを示していたが、誤差も多少含んでいることが判明した。これは検知管の指示精度が $\pm 15\%$ 以内（JIS K0804（検知管式ガス測定器）に記載）であること、検知管は指示薬を目視で判定する事により誤差が生じたことが考えられる。

3.1.2 ガス濃度の経時変化

3.1.1 項で述べたように、目的ガス濃度計算値と実測値の差は、小さいことが解った。次に実際のチャンパー内でのガス濃度の時間変化を調べたのが図4である。キシレン濃度 10ppm において、センサを設置した場合と設置しない場合において明らかな差が見られた。これは、センサによりガスが分解・消費されることを表しており、又チャンパー内壁にも時間と共に付着することを示していると考えられる。従って、実際にセンサ感度を評価する際には、ガス作成後遅くとも短時間（5min 以内）に行わなければならないといえる。

3.2 センサ抵抗の経時変化

実際にガスセンサとして安定に作動するためには、初期エージングの時間が必要となる。図5は湿潤空気中での時間とセンサ抵抗の時間変化を調査したグラフである。10 時間以上経過した時点で、大きな変化が見られたが、これは実験室内の空調の変化が原因であることが判った。また、この図よりエージングを 12 時間以上行う事により安定した測定値が得られることがわかる。長期間でのセンサ感度測定においては、室内温度を一定にし評価する必要がある。

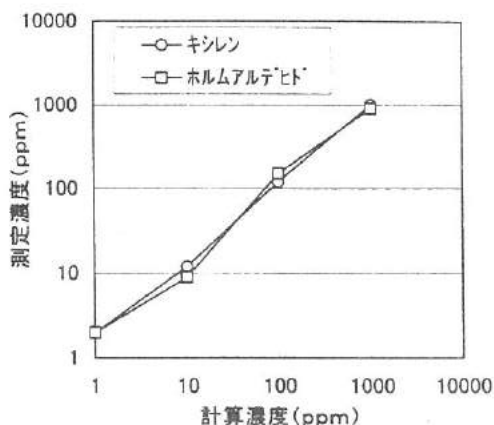


図3 ガス濃度校正

Fig3 Comparison between calculated and measured values of gas concentration

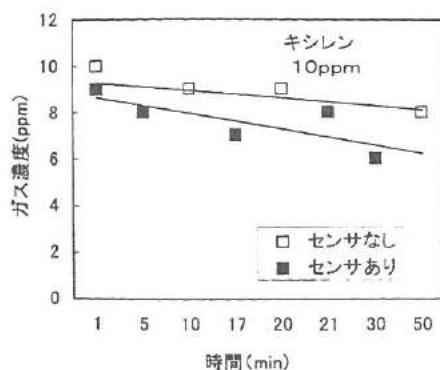


図4 チャンバー内ガス濃度経時変化

Fig4 Time dependence of gas concentration in the experimental chamber

3.3 自作酸化物

3.3.1 製作工程

自作酸化物の作製方法としては、酸化物材料に応じて加水分解法と熱分解法⁽²⁾⁽³⁾の2種類の方法にて行った。例えば、 SnCl_4 、 In_2Cl_3 、 ZnCl_2 は加水分解により、それぞれ SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO を、 $(\text{NH}_4)\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ は熱分解により、それぞれ WO_3 、 Cr_2O_3 、 Co_3O_4 を得る。ここで、自作酸化物は(株)高純度化学研究所製を出発原料とした。図6に加水分解と熱分解の作成フローを示す。

加水分解

熱分解

例 SnO_2

例 Cr_2O_3

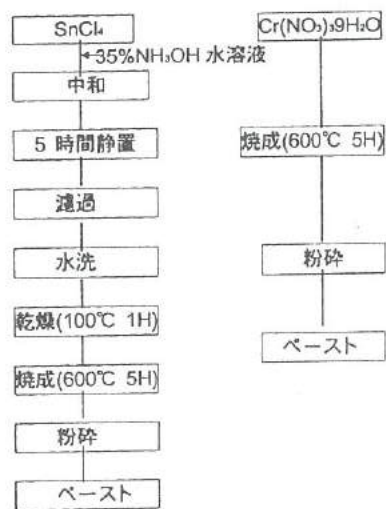


図6 加水分解、熱分解法の工程図

Fig6 Diagrams for the preparation of oxide pastes by hydrolysis and heat-resolution

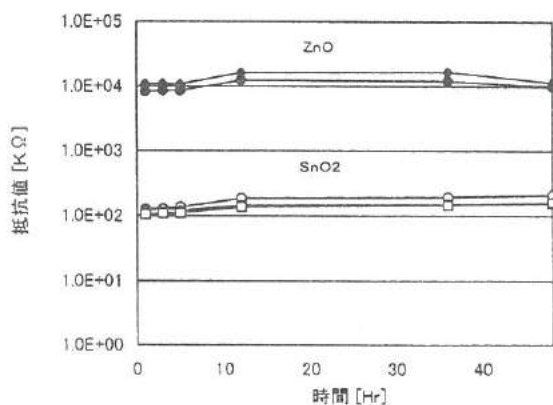


図5 センサ抵抗の経時特性

Fig5 Time dependence of sensor resistance

加水分解法の場合 SnO_2 を例に説明すると、まず SnO_4 に 35%に薄めた NH_4OH 水溶液を加え、中和させる。PH チェックし、完全に中和したことを確認する。その後 5 時間程度静置し、ある程度水と分離したことを確認し、濾過する。次に、100 °C で 1 時間程度乾燥させ 600 °C で 5 時間焼成させ、出来たものを粉砕しバインダー (田中貴金属工業(株)) を加え、ペースト化し印刷用材料を作成した。次に、熱分解法の場合 Cr_2O_3 を例に説明すると、まず $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ を 600 °C で 5 時間焼成させ、出来たものを粉砕しバインダーを加え、ペースト化し作成する。

3.3.2 自作、市販酸化物の比較

本項では SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO 、 WO_3 、 Cr_2O_3 、 Co_3O_4 の全6種類の酸化物材料を市販品と自作品において3種類の方法で比較評価した。図7は実際に使用した酸化物半導体(粉末状)で、自作と市販酸化物のSEM写真である。 SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO 、 WO_3 、 Cr_2O_3 は市販、自作共に形状に大きな差はなかったが、 Co_3O_4 だけは市販が角錐型、自作が球状型であった。いずれの材料も、粒子の大きさは $1 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 程度であり、又市販、自作共に細かな粒子が結合しており、ボールミル、自動乳鉢等により粉碎することが必要であると判断される。さらに、レーザ粒度分布解析装置(MICROTRAC HRA, VSR MODEL:9320-X100 Honey well 製)により、粉碎前の市販、自作材料を比較したところ、1次粒子に大差はなかったが、市販材料の分布が自作材料に比べ、範囲が広く現れた。これはSEM写真の低倍率($\times 1000$)で確認出来る程度の粒子の固まり(2次粒子)が、溶けることなく分布に現れたものと考えられる。次にX線回折による材料の解析を行った。6種類すべてにおいて相対強度、ピークの位置共に同等であった。次に市販、自作の材料によりセンサを作成し、ホルムアルデヒド、キシレンに対して感度を比較した。図8にその結果を示す。自作酸化物、市販酸化物でほぼ同様な感度を得た。これは前述の3つの比較から想定される結果である。なお、自作酸化物において粒子径を小さくするよう制御するには3.3.1項にて中和時の温度や中和条件から外れる事により、粒径が変わる。

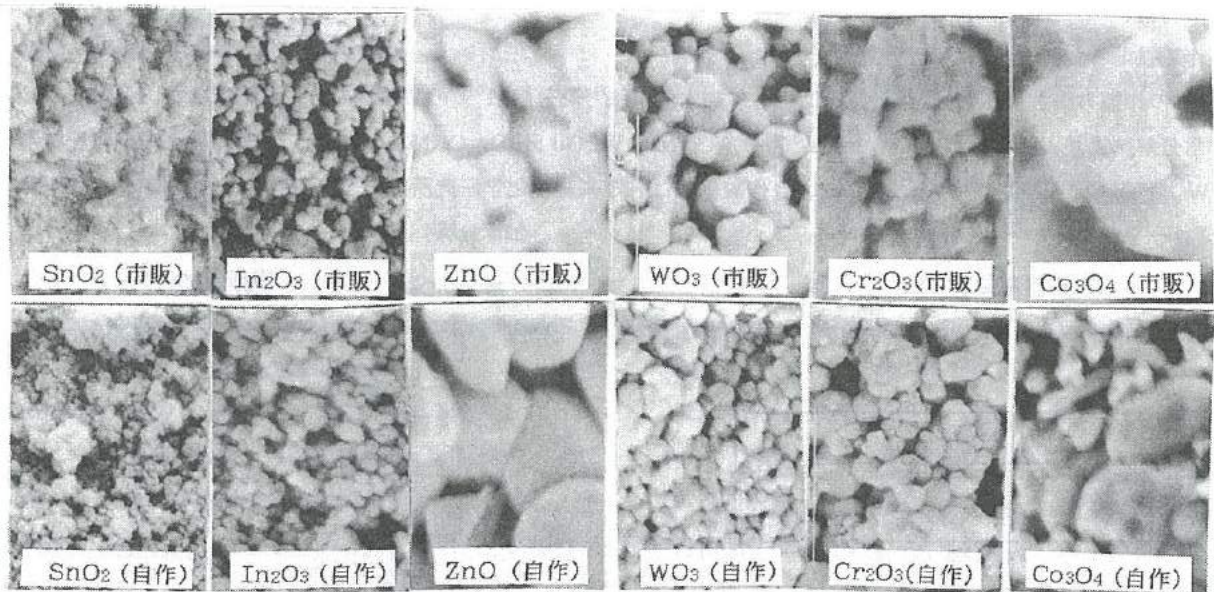


図7 酸化物材料のSEM写真比較(市販、自作)($\times 30,000$)

Fig7 Comparison of SEM images of commercial and own growing oxide semiconductor materials

3.4 粉碎による効果

図7に示した自作、及び市販酸化物材料は明らかに粒子の固まり(2次粒子)が見られ、これがセンサ感度に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。そこで2次粒子を粉碎し、その形状を調べた結果が図9である。図は SnO_2 の場合であるが粉碎時間に従い、粒子が粉碎され細かくなった様子が判る。図10に示す様に粉碎時間が0~5時間では、時間と共にセンサ抵抗は減少傾向にあることが判る。又粉碎時間が5時間以降では、抵抗値に大きな変化はなかった。又0~10時間、粉碎した材料によりセンサを作成し、感度を比較した。それを図11に示す。センサ感度にばらつきがあるものの大きな変化は見られなかった。

3.5 添加物による高感度化

3.5.1 高感度化の機構

添加物による高感度化の手法として、貴金属及び酸化物の添加⁽⁴⁾を行った。これは添加物と酸化物半導体間の化学的作用および電子的作用により説明されることが提案されており⁽⁴⁾⁽⁵⁾、図12にモデルを示す。化学的效果の場合は、検知ガス中での添加貴金

属による還元性ガスと酸化物半導体表面の酸素の反応性が感度に影響を与える。空気中では、酸化物半導体（ここではSnO₂）には酸素が吸着し、酸素とキャリア電子が結合した状態であるため高抵抗状態である。検知ガス中では、添加貴金属表面で活性化された還元性ガス（ここではH₂）が、酸化物半導体表面にスピルオーバーして吸着酸素を除去するため、酸素と結合していた電子が解放され、無添加に比べ非常に低抵抗状態となる。また、検知ガスは添加貴金属により、酸化物半導体の表面反応性を高めるため、

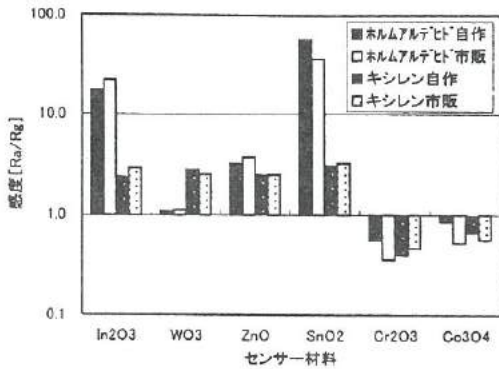


図8 センサ感度の比較（市販、自作）

Fig8 Comparison of sensitivities between commercial and own growing powers

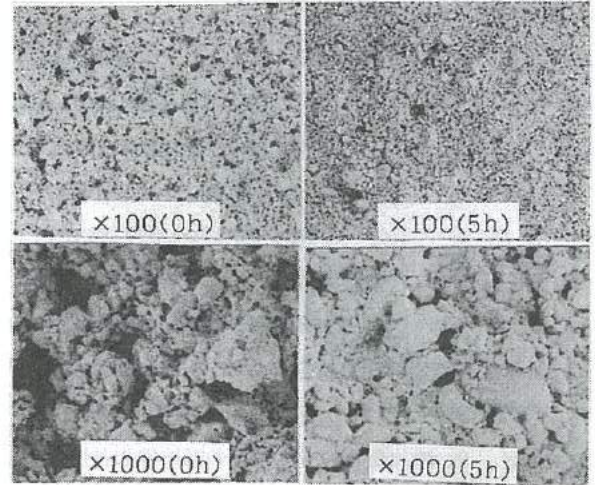


図9 粉碎時間による粒子変化 (SnO₂)

Fig9 Crush time dependence of the view of particle (SnO₂)

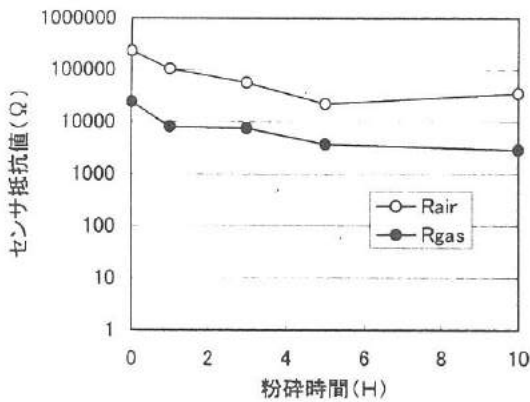


図10 粉碎時間による抵抗値の変化 (SnO₂)

Fig10 Crush time dependence of sensor resistance (SnO₂)

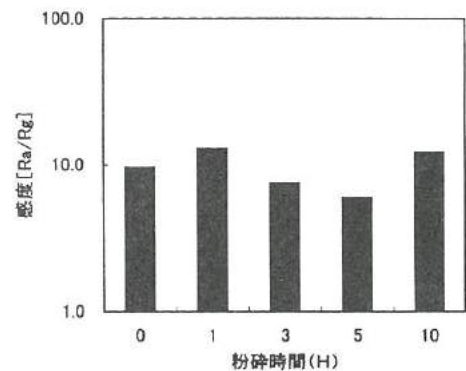


図11 粉碎時間による感度特性 (SnO₂)

Fig11 Crush time dependence of sensitivities (SnO₂)

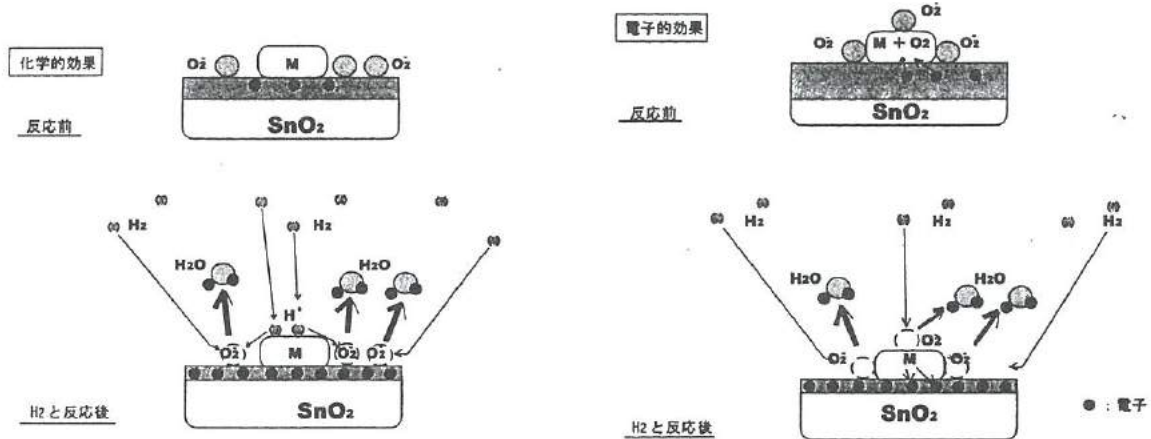


図12 金属添加物によるSnO₂センサの高感度化機構

Fig12 Sensitization mechanism of SnO₂ sensor by the addition of metals

ガス中の低抵抗状態に影響を与える。一方、電子的効果の場合は、空気中での添加貴金属と酸化半導体との電子のやりとりが感度に影響を与える。空気中では、酸化半導体から貴金属へ電子が移行し、さらに貴金属表面が一部酸化される場合もあり、酸化半導体は無添加に比べ非常に高抵抗状態となるが、検知ガス中では、酸化半導体表面の酸素が還元されて酸素が脱離するため、低抵抗状態となる。

3.5.2 貴金属の添加効果

貴金属添加による効果を調査するため、 SnO_2 に各種貴金属を添加したセンサを作製し、ホルムアルデヒド及びキシレンに対する感度を調べた。一般的に電子的効果を期待する場合には1～5%程度、化学的効果の場合には0.01～1%程度を添加するため、3.0wt.%及び0.1wt.%添加したものについて、センサの感度特性をそれぞれ調べたものが図13, 14である。ここで、3.0wt.%添加の場合は粒径1～2 μm の粉末を直接添加し、0.1wt.%添加の場合は分散性の良いコロイド液を用いた方法にて添加した。図13より、3.0%添加の場合は、ホルムアルデヒドに対してAgの添加、キシレンに対してAg, Pd, Ruの添加が感度向上に効果的であることがわかる。特に、Ag添加の場合には、ホルムアルデヒドに対して無添加の場合に比べて約50倍の感度が向上した。また図14からは、0.1%添加の場合は、キシレンに対してPd, Ruの添加が効果的であることがわかる。これらのことから、ホルムアルデヒドに対してAg添加の効果が最も大きく、キシレンに対してはPd, Ruについても効果的であることがわかった。一般的に半導体型のガスセンサの添加物として、Ag, Pdについては電子的効果があるといわれているが、我々の実験ではRuについても同様の結果が得られたため、Ru添加量との空気中での抵抗値依存性を調査した。電子的効果の場合には、添加量が増加すると抵抗値が大き

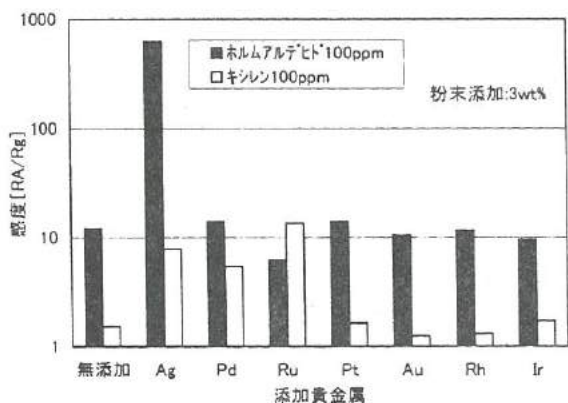


図13 各種貴金属添加物による感度比較

Fig13 Sensitivities to VOC gases of SnO_2 based sensors loaded with various noble metals (3wt%)

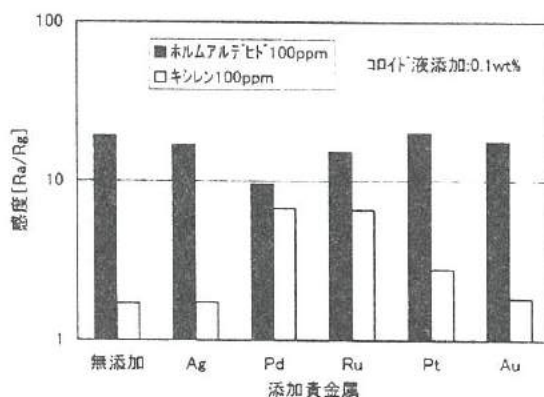


図14 各種貴金属添加物による感度比較

Fig14 Sensitivities to VOC gases of SnO_2 based sensors loaded with various noble metals (0.1wt%)

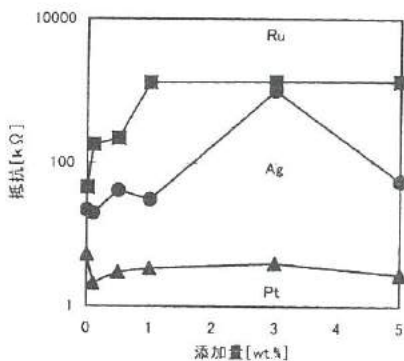


図15 空気中での SnO_2 センサ抵抗と貴金属添加量関係

Fig15 Effects of noble metal loading on the resistance of SnO_2 -based sensors in air

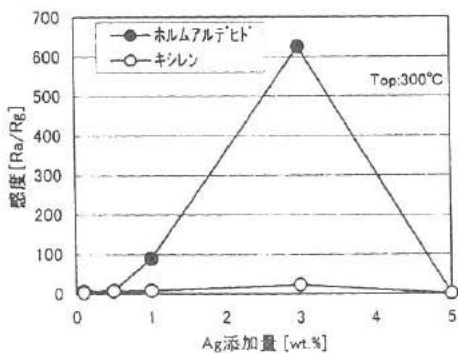


図16 SnO_2 センサ感度のAg添加量依存性

Fig16 Effects of Ag loading on the sensitivity of Ag- SnO_2 sensors to VOC gases in air at 300 °C

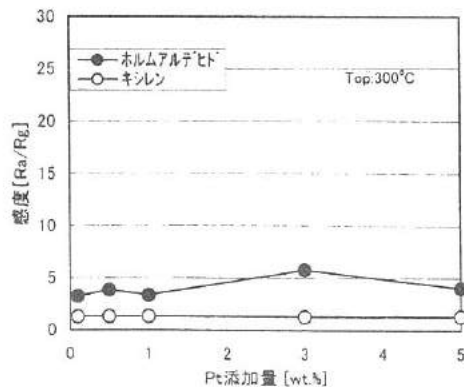


図17 SnO_2 センサ感度のPt添加量依存性

Fig17 Effects of Pt loading on VOC gases sensitivity of Pt- SnO_2 sensor in air at 300 °C

くなる特徴があるが、図15に示すように Ru 添加についても同様な傾向が見られたことから、Ru の添加は電子的効果であることが推測される。次に、添加量に対する感度の依存性を調査するために、電子的効果があるとされている Ag と化学的効果があるとされている Pt について調査した。図 16, 17 はそれぞれ Ag, Pt 添加の場合を示している。なお、添加は、粉末を直接添加する方法で行った。Ag は、3% 程度の添加が効果的であることが読みとれるが、この場合、センサの劣化が激しい事も実験を行っている段階でわかった。Pt の場合は大きな効果が見られないものの、3%程度の添加が良いことがわかった。

3.5.3 金属酸化物の添加効果

貴金属触媒の時と同様に、各種金属酸化物触媒の添加についても調査した。添加量は、半導体ガスセンサにおいて、一酸化物触媒添加量である 5wt.%であり、図 18 に感度比較を示す。これにより、MnO₂ を添加した場合に最も効果が見られ、無添加のものと比較してホルムアルデヒドに対しては約 10 倍、キシレンに対しては約 50 倍の感度向上が見られた。MnO₂ の最適添加量を調べるため、センサ温度 250 °C (通常実験時のセンサ温度) での添加量に対するホルムアルデヒドの感度の依存性を調査したものが図 19 である。これにより 3 ~ 5% で最大感度を示していることがわかる。次に、センサ温度とホルムアルデヒドの感度を調べてみたところ、MnO₂ 添加量の増大に伴い、最大感度を示すセンサ温度 (T_m) が低温側にシフトしていることがわかった (図 20)。化学的作用の場合には、センサ材料の可燃性ガス接触酸化触媒活性が高い (貴金属添加量が多い) ものほど T_m が小さくなる⁽⁵⁾⁽⁵⁾ ことから、MnO₂ 添加の場合も化学的作用であることが推測される。一方、電子的作用の特徴である添加量の増加に伴う空気中での抵抗値の増加も見られ、現在検討中である。

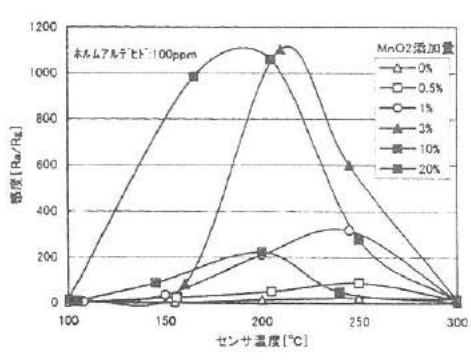
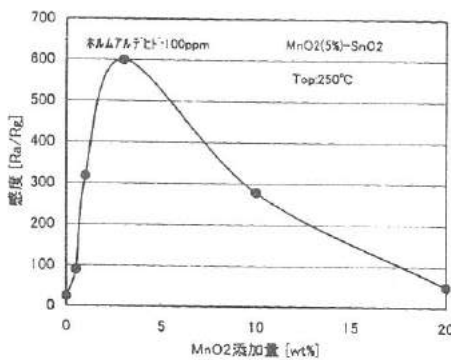
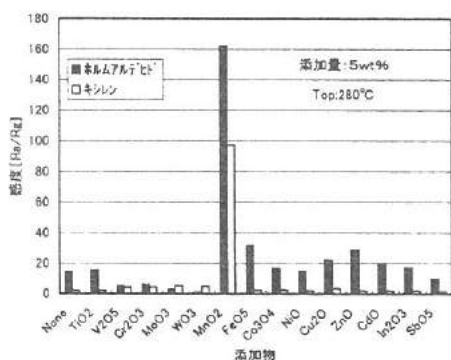


図18 各種貴金属酸化物添加 (5wt.%) による感度

図19 センサ感度のMnO₂添加量依存性

図20 各MnO₂添加量によるセンサ感度とセンサ温度の関係

Fig.18 Sensitivity of SnO₂-based sensors with various additives to VOC gases at 280 °C

Fig.19 Effect of MnO₂ loading on 100ppm formaldehyde of MnO₂-SnO₂ sensor in air at 250 °C

Fig.20 Operation temperature dependence of 100ppm formaldehyde sensitivities to MnO₂-SnO₂ sensor in air

3.5.4 添加物の混合効果

更に高感度化を図るため、前述にて効果のあった Ag と MnO₂ の両方の粉末を添加しその効果を調べた。異なる添加物を加えることによって、さらなる高感度化を期待したが、図 21 からわかるように、Ag や MnO₂ の両方を添加した場合には、どちらか一方を添加した場合よりも、感度は低下してしまうという結果であった。この原因については、添加量やセンサ温度などのパラメータを変化させた場合について調べておらず、また MnO₂ の添加効果のメカニズムについても分かっていないため、不明である。添加物の混合については、感度の電子的効果、化学的効果、長期安定性、検知ガス選択性などのそれぞれ違った効果のあるものを組み合わせることで、有効である可能性があると考えられる。

3.6.1 低濃度における応答性

0.1ppm のホルムアルデヒドに対するセンサ (母材 : SnO₂, 添加物 : MnO₂ (7 wt.)) の反応を表したものが図 22 である。これは、空気中とホルムアルデヒド (0.1ppm) 中での抵抗器にかかる電圧変化を記録したものである。図よりホルムアルデヒド (0.1ppm) に対するセンサ感度、応答速度とも充分であることが分かる。

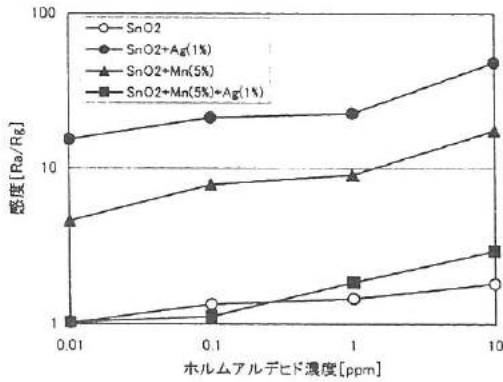


図21 各種添加によるセンサ感度
とホルムアルデヒドの濃度関係

Fig.21 Relationship between sensitivities
of various SnO₂-based sensors and
formaldehyde concentration

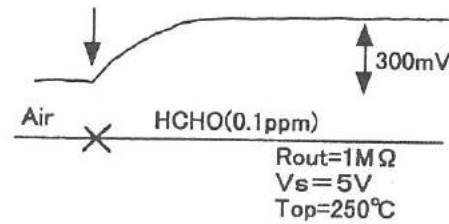


図22 MnO₂-SnO₂センサのホルムアルデヒド
に対する反応特性

Fig.22 Respose transient of MnO₂ (7wt%)
-SnO₂ element to 0.1ppm in air at 250 °C

4. 結 論

- (1) 検知管にて実験ガスの濃度を校正するとともに実験チャンバ内の経時変化を調べた。
- (2) 自作粉末と市販粉末を SEM 観察, 粒度分布, センサ感度により比較したが, 大きな違いは見られなかった。
- (3) 市販粉末を自動乳鉢にて粒子の粉碎を行った結果, 抵抗値の変化はあるものの感度に大きな違いは見られなかった。
- (4) Ru 添加による感度増幅の機構は電子的作用であると推測された。なお MnO₂ 添加による感度増幅の原因は検討中である。
- (5) Ag を 1 ~ 3wt.% 添加することにより大幅に感度が向上した。
- (6) MnO₂ を 3 ~ 10wt.% 添加して, センサ温度を最適 (150°C ~ 250°C) にし, 0.01ppm のホルムアルデヒドも検出できた。
- (7) Ag と MnO₂ の両方を添加した結果, 更なる感度増幅は見られなかった。

参考文献

- (1) 「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
- (2) 玉置: 「Co₃O₄-Fe₂O₃ 複合体を用いた酸化物半導体センサの No_x 検知特性」 T.IEE Japan, 125-129, Vol.118-E, No.2, 1998
- (3) 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
- (4) 「アドバンスト センサハンドブック」高橋清, 佐々木照夫共編, 培風館
- (5) 山添: 「半導体ガスセンサー」日本金属学会会報, 第 29 卷, 第 8 号, 1990
- (6) 江頭: 「化学センサと触媒化学」表面, Vol.26, No.8, 1998

IV. 電気自動車の開発 (2)

Development of Electric Vehicles (2)

坂本 雅美

SAKAMOTO Masami

藤城 敏史

FUJIKI Satoshi

太田 実

OTA Minoru

中川 章

NAKAGAWA Akira

寺澤 孝志

TERASAWA Takashi

谷野 克巳

TANINO Katsumi

Abstract

An Electric Vehicle (EV) is expected as new ecological vehicle by reason of exhausting no air contamination. Ground-up EV, which consist of compact two in-wheel-motors and one joy-stick instead of conventional steering wheel, was designed and fabricated. Moreover, traction-control by use of the electric motor and the micro computer was attempted to drive smoothly.

The results are as follows:

- (1) As the result of linking two front wheels by the steering-rod, the EV stably ran straight on the road.
- (2) Driving control unit, which was consisted a joy-stick and a micro computer, was compact and realized various cruising by joy-stick command.
- (3) Though the in-wheel-motor reacts after a little time lag from the operation of the joy-stick, traction-controlled EV was able to turn right and left easily.

1. 緒言

電気自動車（以下、EV と略記）は 19 世紀からすでに考案されていた。しかし、石油燃料が普及するにつれて自動車のすう勢は EV から離れていった。石油燃料は、電池に比べエネルギー密度が 2 桁以上も高いことから、当然のことと言える。ところが、1960 年頃から大気汚染などの環境問題により CO₂ や NO_x の排出量が少ない EV は再び注目されるようになった。1990 年秋に発表されたアメリカ、カリフォルニア州の対策 ZEV (Zero Emission Vehicle) は、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、大き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り、EV に対する技術的関心を大きくしたといえる。しかし、ガソリン車に比べると高価であることや一充電走行距離の短さなどが原因で特定の用途以外はあまり普及していないのが現状である。

そこで、21 世紀の主要な自動車になるであろう EV について、ガソリン車の単なる補完としてではなく、EV ならではの性能を持ち、ガソリン車からスムーズに移行できる車両の開発を目指し、グランドアップモデルの EV を製作して、その可能性について検討した。

2. 前年度までの成果と問題点

昨年度は、高いユーティリティスペースや、高齢者や障害者にも容易に操縦できることをコンセプトに、図 1 に示すような駆動源として 2 つのインホイールモータを用い、ハンドルではなくジョイスティック（以下、J.S. と略記）により操縦する構造の EV を試作した。これらの方式を採用した EV は、機械的な構造をあまり持たないため、コンパクトかつ容

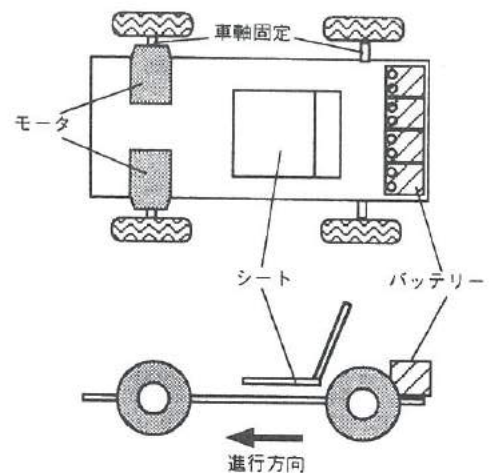


図 1 昨年度の試作 EV 概略図
Fig.1. Outline of last EV.

易に製作することができた。実際にこの車両構造で走行試験を行ったところ、直進安定性は良い結果が得られた。しかし、このEVは4輪の車軸すべてが車体に固定してあり、旋回方法を駆動輪である前輪の左右の駆動トルク差のみで行うこととしたため、この固定軸となっている後輪が抵抗となり旋回は非常に困難であった。

これらのことをふまえ本年度は、直進安定性を確保したまま、電気モータならではの性能を生かすことにより旋回が容易となるEVを試作し検討を行った。

2.1 トラクションコントロール

電気モータを使うEVならではの性能を生かすため、本研究ではトラクションコントロールによる操舵制御を行うこととした。一般的なトラクションコントロールとしては、ABSや圧雪路等におけるタイヤ空転防止等があげられるが、近年、急ハンドル時におけるスピン防止のために複雑な油圧制御やエンジンの出力制御を行い、車両姿勢を制御するものが実用化されてきている。EVでは、その駆動源である電気モータが、制御信号に対するトルク反応速度が速く（内燃機関は数100msecオーダであるのに対し、EVでは数msecオーダ）、駆動力・制動力をモータ単体で簡単に発生できることから、内燃機関では出来ないトラクションコントロールによる操舵制御が可能になると考えた。

3. 試作電気自動車の概要

3.1 電気自動車の仕様

表1は昨年度試作したEV、改良キャスト式EVおよび本年度試作したEVにおける主要諸元の比較を示す。昨年度試

表1 主要諸元の比較

Table 1. Comparison of performance between last, improved and new EVs.

項目	仕様		
	昨年度作成EV	改良キャスト式EV	今回作成EV
車体寸法	L1,750mm × W900mm × H700mm		
ホイールベース	1,250mm		1,220mm
前トレッド幅	770mm		695mm
後トレッド幅	765mm	665mm	795mm
フレーム構造	スチール角パイプ		
車軸構造	前後車軸固定	後輪キャスト方式	前輪ステアリング方式
タイヤ径	600mm(前後)	前600mm,後100mm	前380mm,後600mm
乗車定員	1名		
操作方法	ジョイスティック方式		
駆動方式	前輪駆動		後輪駆動
減速比	3		
車両重量	165kg	140kg	161kg

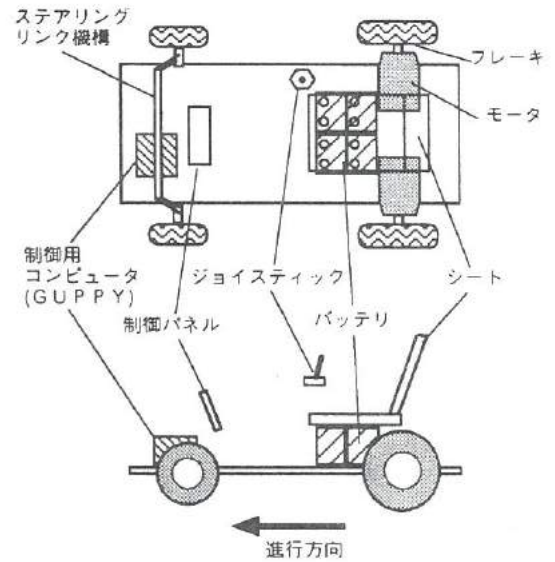


図2 今年度の試作EV概略図
Fig.2. Outline of new EV.

作したEVの旋回が困難という問題点を改善するために、後輪をフリーキャストに変えた改良キャスト式EVを作成した。

この車両で実際に走行試験を行った結果、旋回はある程度可能となったが、フリーキャストであるために直進安定性が著しく低下した。また、この車両は前後の重量配分がなるべく偏らないように、前輪部のモータに対し、後輪キャスト部付近に電池を搭載しているため、旋回時に大きな慣性力が働き、舵の復元性はほとんど得られなかった。これらのことを考慮し、最終的に図2に示すような直進安定性、旋回性を合わせ持つ新しい試作車の検討を行った。

3.2 モータ特性

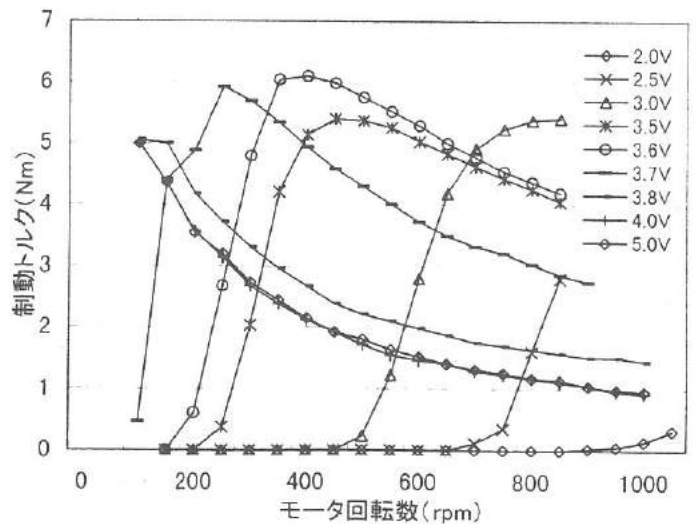


図3 モータの制動トルク特性
Fig.3. Braking torque of motor.

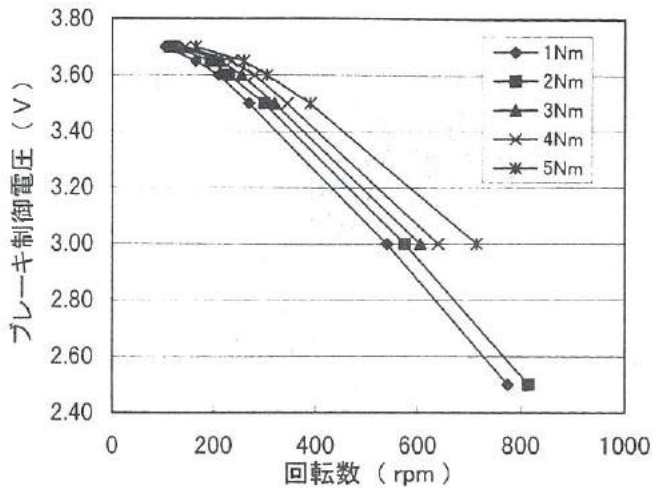


図4 モータのブレーキ制御電圧特性
Fig.4. Braking voltage motor speed.

モータは昨年度使用した制御回路内蔵型のインホイールモータ (HONDA DDW4060) をそのまま用いた。このモータの駆動特性は昨年度測定しており、制御電圧約 1.4V で回転し始め、その後制御電圧に応じて回転数およびトルクが上昇することが分かっている。

本年度は、モータの回生ブレーキも用いて EV を操縦することからモータの制動特性についても測定し、検討を行った。図 3 はブレーキ制御電圧を一定としたときの回転数に対する

表2 車両性能とステアリングユニット諸元の比較
Table 2. Relationship between performance of vehicles and steering units.

ユニット諸元		車両性能					
		直進性	安定性	舵の復元性	操舵応答性	US/OS 特性	旋回性
フロントサスペンション キングピン 関連諸元	キャスタトレール	◎	○		◎	○	○
	キャスタ角	◎	○	○	○	○	○
	接地点のキングピンオフセット	○					
アッカーマン特性				◎			○

US/OS : フォワードステアリング

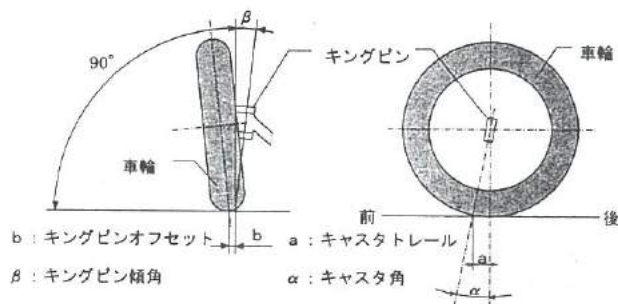


図5 キングピンのジオメトリ
Fig.5. Geometry of kingpin steering wheels have.

表3 ステアリングユニット寸法
Table 3. Size of steering units.

	キャスタトレール(mm)	キャスタ角(deg)	接地点のキングピンオフセット(mm)	キングピン傾角(deg)
一般乗用車	10~40	2~9	20 以下 (絶対値)	9~14
試作EV	28 (0~35)	10 (0~12)	10	12

()内は調整可能範囲

モータの制動トルク特性を示す。この結果、同じ制御電圧を入力してもモータ回転数が変化すると制動トルクは異なり、一定の制動トルクを得るにはモータの回転数に応じて制御電圧も制御する必要があることが分る。このため、図 3 のデータをトルクが一定であるときの回転数に対するブレーキ制御電圧の関係に変換し、それを図 4 に示す。このモータを用いた EV で制動トルクを操縦に用いる場合、モータ回転数を検出し、このグラフに対応したブレーキ制御電圧を出力する必要があることが分かった。

3.3 ステアリングユニットの基本設計

試作 EV においては、直進性や安定性、舵の復元性といった基本的な車両性能を持たせるために、ステアリングリンク機構の設計を行った。表 2 は車両性能とステアリングユニット諸元の関係を、図 5 はキングピンジオメトリを示す。また、

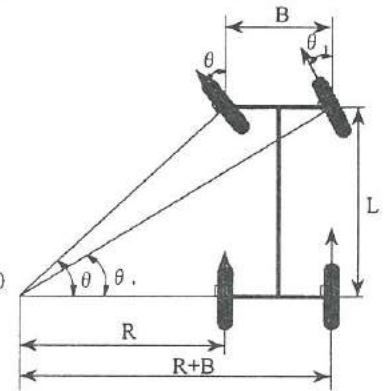
$$B = 686\text{mm}$$

$$L = 1220\text{mm}$$

$$R = (L / \tan \theta_1) - B$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(L / R)$$

$$= \tan^{-1}((L \tan \theta_1) / (L - B \tan \theta_1))$$



(a)アッカーマンステアリング

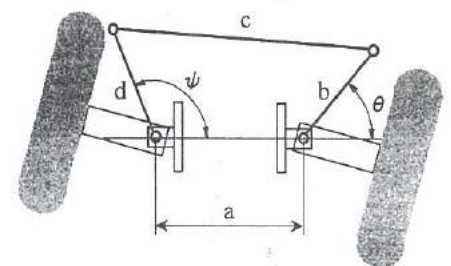
$$a = 552.6\text{mm}$$

$$b = d = 118\text{mm}$$

$$c = 650\text{mm}$$

$$\psi = \tan^{-1}((b \sin \theta) / (a + b \cos \theta))$$

$$+ \cos^{-1}((a^2 + b^2 - c^2 + 2abc \cos \theta) / 2d(a^2 + b^2 + 2abc \cos \theta)^{1/2})$$



(b)ステアリングリンク機構における内外輪舵角

$$\theta_a + \psi = 180 \text{ (直進時)}$$

図6 アッカーマンステアリング
Fig.6. Ackerman's steering.

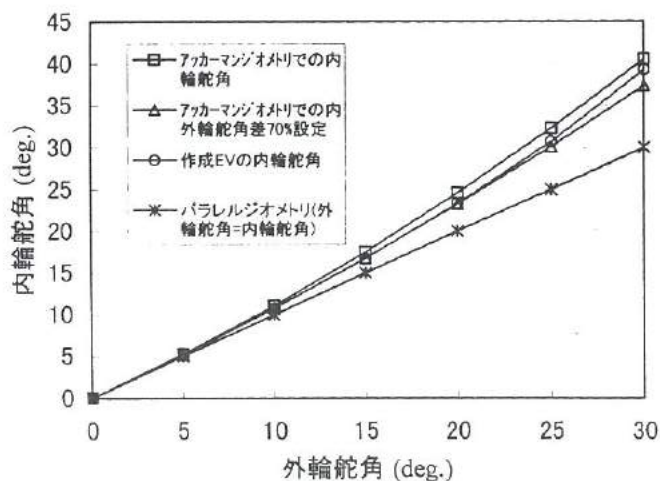


図7 外輪舵角と内輪舵角の関係

Fig.7. Relationship between angle outer and inner wheels.

表3は一般乗用車におけるステアリングユニットの各寸法と、試作EVにおいて採用した各寸法を示す。表にあるとおり試

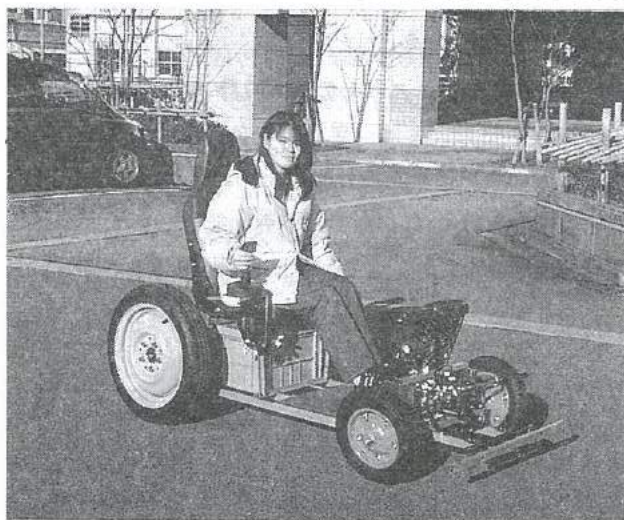


図8 試作EVの外観
Fig.8. Appearance of EV.

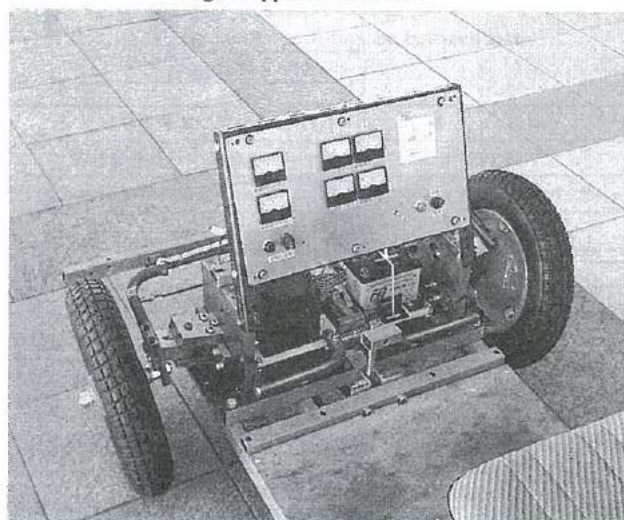


図9 試作EVの外観(制御パネル、GUPPY)
Fig.9. Appearance of EV.

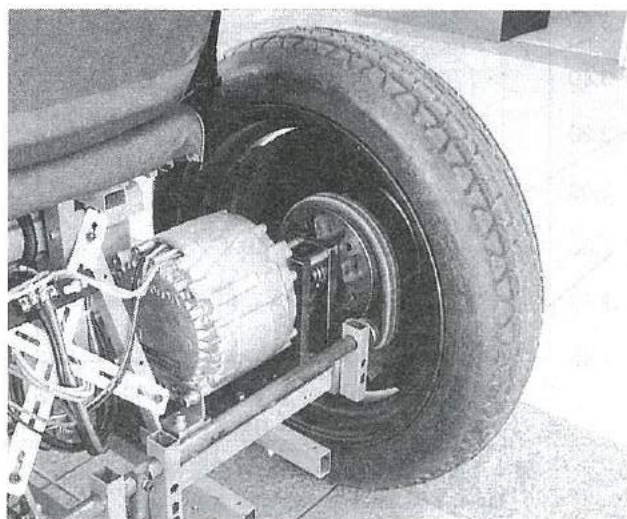


図10 試作EVの外観(駆動部、ブレーキ)
Fig.10. Appearance of EV.

作EVのステアリングユニットは一般乗用車とほぼ同じ値に設定した。但し、調整可能となっているキャスタ角、キャス

表4 試作EVの主要諸元
Table 4. Performance of EV.

		仕様
車 体 構 造 及 び 性 能	車体寸法	L1840mm×W930mm×H1220mm
	トレッド幅	前輪 695mm, 後輪 795mm
	ホイールベース	1220 mm
	車両重量	161 kg
	重量配分比	前軸 30.4% : 後軸 69.6% (空車時)
	乗車人員	1名
	駆動方式	後輪駆動(左右2モータ独立駆動)
	減速比	3.0
	最高速度	32.8km/h(制御電圧5.0V時)
	常用最高速度	9.8km/h(制御電圧2.5V時)
	制動機構	機械式 帯ブレーキ(後輪のみ) 電気式 モータ回生ブレーキ
	操舵方式	ジョイスティックコントロール方式
電 池	最大舵取り角	20°
	最小旋回半径	5m
	フレーム構成素材	スチール角パイプ
	タイヤ径×幅	前 φ 380 mm × 75 mm 後 φ 600 mm × 135 mm
モ ー タ	種類	鉛電池
	電圧	48V (12V × 4個)
	重量	28 kg (7 kg × 4個)
	種類	DCブラシレスモータ × 2個
	定格出力	600 W × 2個
	定格トルク	7.5 Nm × 2個
	最高回転数	1200 rpm
駆動用定格電圧	DC 48V	
制御用信号電圧	DC 0~5V(スピード・ブレーキ制御電圧)	
重量	12 kg × 2個	

タトレールについては、車両作成後に直進性や安定性、舵の復元性などにおいてこれらの値を変えて走行試験を行い、総合的に高い車両性能が得られたことから採用した値である。さらに、図6はアッカーマンステアリングを、図7は外輪舵角と内輪舵角の関係をアッカーマンステアジオメトリでの場合と試作EVのステアリングリンク機構での場合との比較を示す。一般乗用車はアッカーマンジオメトリでの内外輪舵角差のだいたい50~70%に設定されており、試作EVもそれらとほぼ同じ値に設定することができた。

3.4 試作電気自動車の製作

図8、9、10は試作EVの外観を、表4は試作EVの最終主要諸元を示す。試作EVは、後輪左右2モータ独立駆動方式で、前輪部はステアリングリンク機構となっており、J.S.を用いて操縦する。制動機構として、機械式は後輪帯ブレーキ、電気式はモータ回生ブレーキを用いた。また、操舵力の低減

を図るためバッテリーを後輪部前のシート下に搭載し、ステアリング部である前輪の重量配分を小さくした。

4. ジョイスティックによる車両制御方法

4.1 車両制御方法

昨年度試作したEVの制御方法は、J.S.による前後、左右の出力電圧をアナログの制御回路で加算して、左右それぞれのモータへ直接入力するものであった。しかし、この制御方法では自由に出力特性を変更することが困難であり、またJ.S.の出力特性のアンバランスの影響が直接出力されるなどの問題があった。そこで本年度は、J.S.からの出力電圧を制御用コンピュータに入力し、プログラムで自由にモータ制御電圧の出力特性を変更することにした。

4.2 制御用コンピュータ (GUPPY)

制御には、マイクロコンピュータカード (GPY-52) を用い、

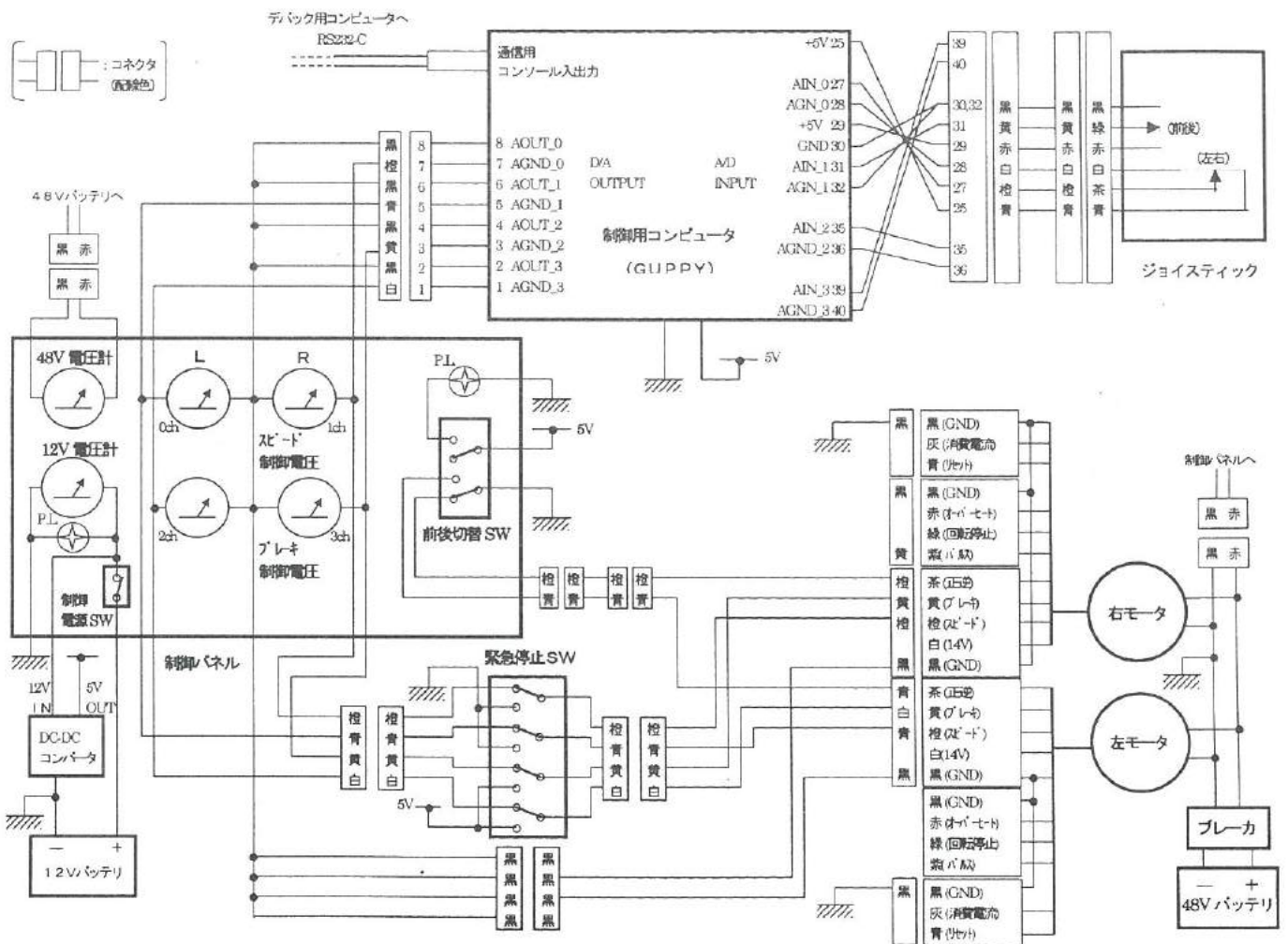


図11 試作EVの制御回路図
Fig.11. Circuit for control of EV.

J.S.からの出力電圧をアナログからデジタルに変換し、プログラムで制御を行い、D/A コンバータカード (GPY-45) で再びアナログに変換することとした。この制御用コンピュータ (GUPPY) の諸元を表 5 に示す。

4.3 制御回路図

図 11 は試作 EV の制御回路図を示す。J.S.から出力される前後、左右の舵角に応じた電圧はマイクロコンピュータカード (GPY-52) で演算を行った後、左右それぞれのモータにスピード、ブレーキ制御電圧が出力される。但し、制御電圧がモータに入力される前に、非常用として、スピード制御電圧 0V、ブレーキ制御電圧 5V を強制的に出力する緊急停止スイッチが設けられている。また、左右のモータに入力されるスピード、ブレーキそれぞれの制御電圧は制御パネル上で確認することができ、緊急停止スイッチを ON にすることによりモータを回転させずにプログラム動作チェックが行えるようになっている。

4.4 プログラム

J.S.による操縦方法については、制動時の安全性を考え、アクセルについては、J.S.をまっすぐ手前に倒すと角度に応じてスピード制御電圧を、またブレーキについては左右の傾きに

表 5 GUPPY の諸元
Table 5. Performance of GUPPY.

マイクロコンピュータカード (18052AH-BASIC CPU カード : GPY-52)

CPU	80C52-BASIC
クロック	11.0592MHz
メモリ	S-RAM 32k バイト搭載済み EEP-ROM 32k バイト搭載済み (書き込み回路内蔵) PROM ソケット 搭載済み
デジタル入出力機能	8 ビット×3 ポート (24 ビット)
アナログ入力機能	入力数 4 チャンネル 分解能 12 ビット 変換時間 10 μ s 標準 入力電圧範囲 0V~+5V
通信用コンソール機能	RS232C レベル 1 入出力
電源電圧	DC +5V \pm 10%
外形寸法 (P-ROM は除く)	100mm×70mm 高さ 19mm 重さ 約 83g

12bit 4ch D/A コンバータカード (GPY-45)

D/A コンバータ	AD75004KN (7+04 デバイス社製) 12 ビット 4ch D/A コンバータ
出力	電圧出力 \pm 5V
基板サイズ	100mm×70mm

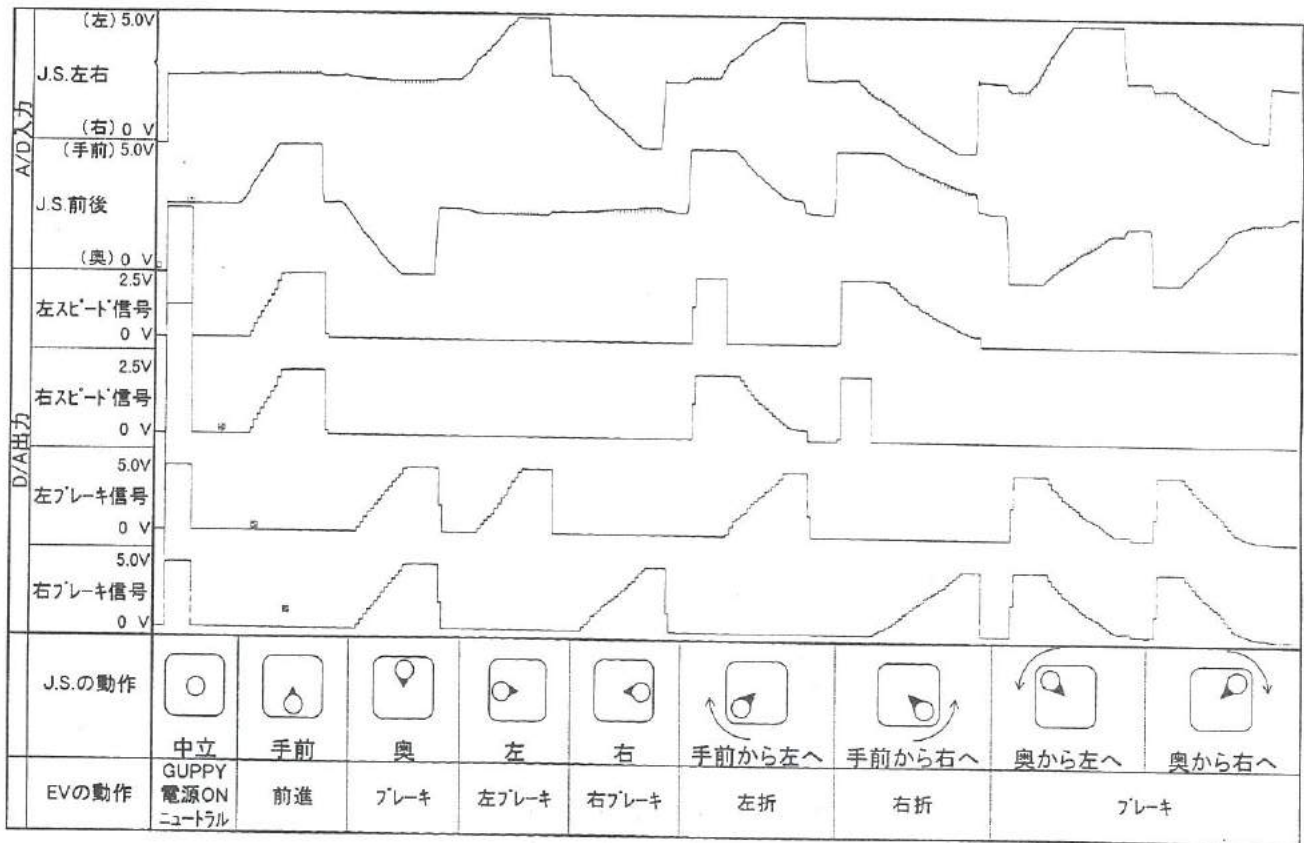


図 12 J.S.の動きに対する GUPPY 入出力電圧の変化
Fig. 12. Input and output voltage of GUPPY following joy-stick movement.

関係なく奥に倒した角度に応じてブレーキ制御電圧を左右のモータに等しく出力することとした。また、真横に倒すと倒した側のモータへブレーキ制御電圧を倒した角度に応じて出力することとした。旋回方法については、手前から左（右）に倒すと手前に倒した角度に応じて外側のモータへスピード制御電圧を、左（右）に倒した角度に応じて内側のモータへブレーキ制御電圧を出力する。但し、安全上、ブレーキ制御電圧は最大 5V 出力するのに対し、スピード制御電圧は最高速度を抑えるため最大 2.5V までとした。

5. 走行試験結果

試作 EV の走行試験を行う前に、緊急停止スイッチを ON にした状態で J.S. を動かし、制御パネルにより制御電圧の動きを確認した。図 12 はこのときの J.S. の動きに対する制御用コンピュータ (GUPPY) の A/D 入力、D/A 出力の変化を示す。図に示すようにプログラム通りの制御が行われていることを確認できた。しかし、J.S. の操作に対し、出力電圧は 0.2sec ほど遅れていた。この原因は、BASIC プログラムにより制御しているためと考えられる。したがって、制御信号に対するトルク反応速度が速いという EV の特徴を生かすことができていない。

そこで、実際に走行試験を行ったところ、以下のような結果が得られた。J.S. を徐々に手前へ倒していくと、試作 EV はゆっくりと動き始め、徐々に加速していった。このとき直進安定性は、路面の傾斜や凹凸にかなり影響されるが、平らな路面であれば良い結果が得られた。また、J.S. を奥に倒してブレーキをかけたところ、緩やかな速度であれば良く効いたが、モータの回転数に関係なく J.S. の傾き角度のみで制御電圧を出力していることから回転数に応じた最大制動トルクを発生させることができず、高速になると制動距離が長くなった。このため安全性に欠けることから、機械式ブレーキを併用する必要があった。旋回は J.S. の動きに多少遅れて、旋回半径もあまり小さくはないものの、ある程度可能となった。そして路面が平らであれば、緩やかな速度でのスラローム運転も可能であり、復元性も一般乗用車とまではいかなかったが、確認することができた。

試作 EV は操縦者の思い通りに近い走行が可能となった。しかし、一般乗用車が通常走行できる路面でも、試作 EV が走行不可能な場合は少なくない。したがって、ステアリングリンク機構のある前輪を駆動輪として操舵を行うなど、まだ改良の必要があると考える。

6. 結 言

本研究では、次世代の自動車と考えられている EV を普及させることを目的とし、ガソリン車に劣らない、魅力ある EV の開発を行った。試作 EV における成果を以下に示す。

- (1) 試作 EV はステアリングリンク機構を持つことにより、平らな路面を低速走行する際には、直進性や安定性、舵の復元性の良い走行が可能となった。
- (2) J.S. と制御用コンピュータを用いた制御方法は、コンパクトでありながら、高度な制御も行えることが確認できた。
- (3) 2 つのインホイールモータを用いてトラクションコントロールを行うことにより、J.S. の操作に多少遅れるものの、旋回が容易となった。

V. 微細放電加工の研究

Study of submilli electrical discharge machining

橋本 明 太田 光則 杉森 博 太田 実 藤井 弘之
HASIMOTO Akira OHTA Mitsunori SUGIMORI Hiroshi OOTA Minoru FUJII Hiroyuki

中川 章 二口 友昭 谷野 克巳 山本 倫久
NAKAGAWA Akira FUTAKUCHI Tomoaki TANINO Katsumi YAMAMOTO Tomohisa

Abstract

The electrical discharge machining (EDM) has been applied to hard or difficult-to-machine conductive material machining in many fields, mainly for various kinds of mold producing process. As EDM process does not cause any cutting forces in the workpiece, it is possible to produce very delicate and small work. The conventional die sinking machining uses shaped electrode as tools. In the case of contour EDM, the electrode is cylindrical and its path is automatically controlled by the numerical control to create the cavity. Due to length of the machining path, the wear of the electrode becomes important. For the mastering of the wear, the electrode wear compensation method was created. The main advantages of this process are a simplified manufacturing process of dies, a shorter production time of the tools and no necessity to machine mechanically shaped electrodes. In this study, this method was applied to submilli machining and some machining examples, such as high aspect ratio groove whose dimensions were 10mm×0.578mm×10mm, miniature gear cavity, marking.

1. 緒言

近年、携帯電話、ビデオカメラ、パソコンなど家電製品は小型化、軽量化の傾向にあり、これらの構成部品のダウンサイジング化がすすんでいる。これに伴い、プラスチックやプレスなどの各種金型や半導体、微小コネクタなども小型化、集積化がすすみ微細加工への要求が高まっている。また、繊維製品における紡糸ノズル、自動車のエンジン用燃料噴射ノズルのように製品の機能高度化のため、微細加工の要求がなされるものもある。これらの部品における微細加工は切削や研削などの機械加工では工具の剛性の問題から高硬度材料や高精度、高アスペクト比の加工への対応が困難である。

一方、高硬度材料の除去加工方法として従来から金型加工で多用されている放電加工は、難削材料の加工が容易であり、非接触加工であるため、工具電極のたわみの影響が無視でき、サブミリ以下の微細加工に適していると考えられる。現在、型彫り放電加工は機械加工等で製作した電極の形状を転写する総型放電加工法が広く一般に普及している。しかし、微細加工を従来の総型放電加工で行う場合、微細形状の電極製作がネックになるケースが多い。

そこで本研究では電極製作工程を省くため、単純形状電極を

用いたNC微細輪郭加工について検討した。この方法で高精度加工を行うには電極消耗が大きな影響を及ぼすため、これを補正する方法に加工効率を重視したあら加工方法と精度を重視した仕上げ加工を併せた検討した。

2. 微細放電加工の概要

油など絶縁体の加工液中で数十 μm の距離を挟んで工具電極と加工物に印加された電圧が毎秒数千回から数百万回放電する。放電加工は、この熱的作用により加工物を微小量ずつ溶融、蒸発することで加工を行う方法である。導電性のある材料であれば硬度によらず非常に複雑な形状でも高精度な加工が可能で、金型の精密加工に用いられている。放電加工は大きく分類すると電極形状を加工物に転写する型彫り放電加工と直径0.2mm程度のワイヤを巻き取りながら加工物をあらかじめプログラムした形状に駆動制御して加工を行うワイヤ放電加工に分類される。おもに前者は3次元形状を加工する方法で、後者は2次元形状を加工する方法である。本研究では、型彫り放電加工による微細加工方法について検討した。一般に型彫り放電加工は、電極を機械加工等で所望の形状に成形し、型等に転写する方法が用いられている。しかし、微細加工を行う場合、電極の設計

および成形が不可欠で、そのための時間を要する。また電極の成形自体も困難で、それに伴い成形コストも高くなることが問題点として挙げられる。そこで微細加工が可能な方法として最近、図1に示す単純形状電極を用いた NC 微細輪郭加工法が注目されている。

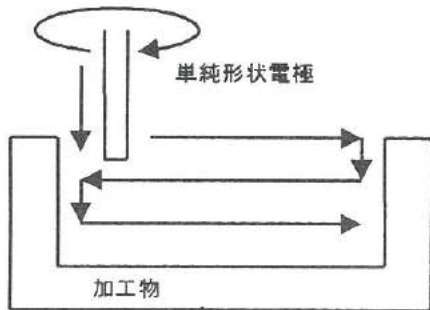


図1. 輪郭加工方法
Fig 1. Contour EDM method

すでに創成放電加工⁽¹⁾や UWM (Uniform Wear Method)⁽²⁾による微細輪郭加工について種々の検討がなされ、一部実用化に至っている。両者とも、輪郭加工で問題となる電極消耗量を補正しながら加工を行う方法を採用しているが、その方法は、少量の切り込みで電極の底面のみを用いて薄い層を徐々に除去するもので、電極成形工程は省略されるが加工時間に問題が残るものと考えられる。そこで本研究では、あらかじめ加工時は切り込み量を多くし電極の底面および側面を用いることで加工効率の向上を図り、仕上げ加工では電極の消耗によって形状を維持して高精度加工を実現する方法を考えた。実際には、あらかじめ加工時は電極径の約2倍程度の切り込み量を加わるように電極消耗量を補正しながら深さ方向へも送り、加工を行った。また、仕上げ加工では目標深さに電極を固定したうえで平面移動を行い、これを繰り返して所望の形状を成形することとした。

3. 加工条件の検討

実験に用いた加工機には、細穴加工用の電極ガイドやパイプ電極内部からの加工液噴出機能、最高 2,000rpm までの主軸回転機能が備えられている。これらの機能によって小径のパイプ電極が回転中に振れを極力抑えながら電極ガイドから送られ、放電位置に安定した加工液の供給が可能になる。

まず、この加工機を用いて電極を送り込みながら微細加工を行う際の各種加工条件について穴加工により検討した。図2は、主軸の回転とパイプ電極内部からの加工液噴出の有無が電極長

さ消耗率（電極消耗長さ／加工深さの百分率）と加工速度に及ぼす影響を示している。

電極には外径φ0.2mm（内径φ0.12mm）の銅のパイプ電極を用いた。表1に加工条件を示す。図2より、電極長さ消耗率は加工液の噴出によって影響を受け、加工速度は主軸の回転と加工液の噴出の両方によって影響を受けているのがわかった。

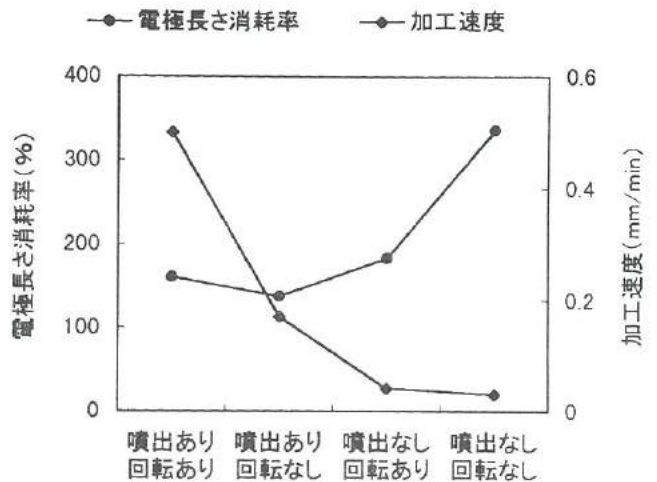


図2. 加工条件と電極消耗率および加工速度の関係
Fig 2. Electrode wear ratio and material removal rate vs. machining condition

表1. 加工条件

Table 1. Machining condition

試料材質	SKS93
電気条件	電源：コンデンサ放電回路 容量：1.4 nF
主軸回転数 (rpm)	400
加工液噴出圧 (kgf/cm ²)	2

また、放電ギャップと穴の真円度は図3に示すように加工液の噴出によって影響を受けることがわかる。

つぎに、同じ電極と試料を用いて主軸の回転数を変化させたときの電極長さ消耗率および加工速度について検討した。図4に示すように回転数の上昇とともに加工速度は速くなるが、電極長さ消耗率については影響が見られないことがわかる。

これより加工速度を速くするには、主軸回転数を上げて加工液を噴出する必要があり、電極の消耗を抑え、高精度な加工を行うには加工液の噴出が不可欠であることがわかる。

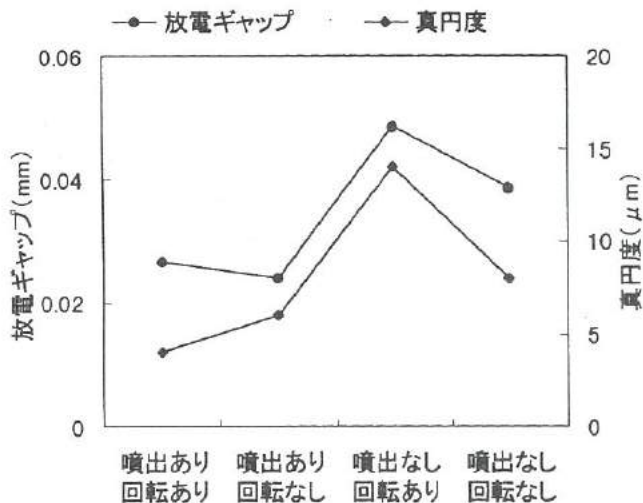


図3. 加工条件と放電ギャップおよび真円度の関係

Fig 3. Discharge gap and roundness vs. machining condition

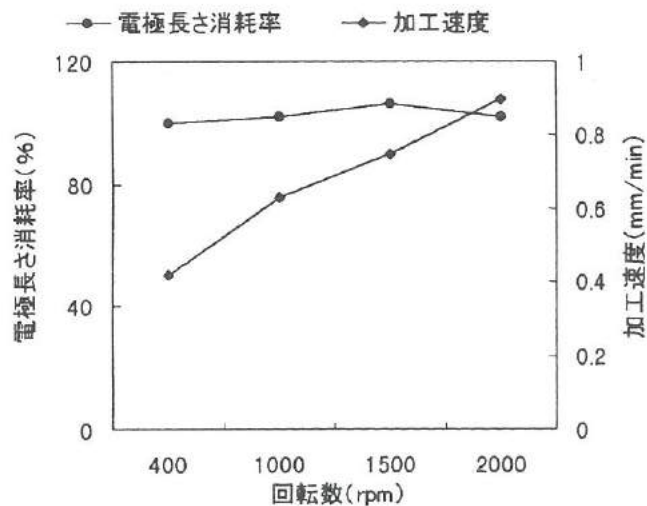


図4. 回転数による電極消耗率と加工速度の関係

Fig 4. Electrode wear ratio and machining rate vs. turning speed

の放電回路による電極長さ消耗率、加工速度、加工精度への影響について検討した。加工条件は前回と同様とし、検討した電気条件は表2のとおりとした。

表2. 加工条件

Table 2. EDM condition

電源 電極極性	ピーク電流 (A)	放電時間 (μs)	休止時間 (μs)
GM-	15	1.4	2
GM+			
SF-	16		コンデンサ容量: 20 nF
SF+			
TP-	16	2	2
TP+			

図5に各加工条件における電極長さ消耗率、加工速度を示す。加工速度は、TP+が最も速く、ついでGM、SFと続いた。電極長さ消耗率は、SF+が最も多く、ついでGM+と続きその他の電源回路はほぼ同程度であった。また加工後の穴の放電ギャップ、真円度はSFを用いたものが最も良好であった。

以上のことから、あら加工には加工速度を上げられるTP+を用い、仕上げには加工精度の良いSF+が適していると思われる。

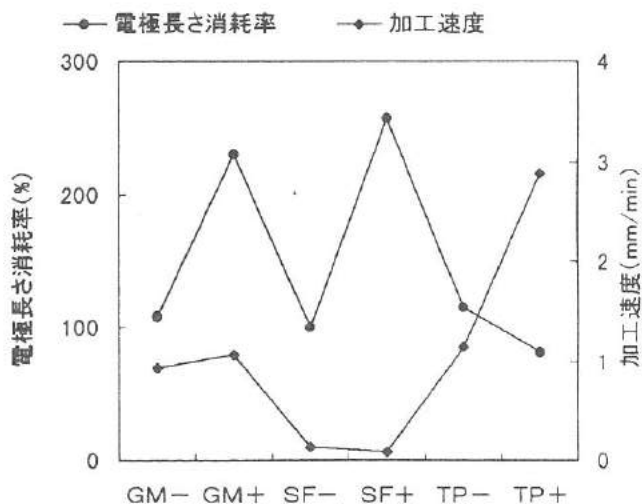


図5. 放電回路と電極消耗率および加工速度の関係

Fig 5. Electrode wear ratio and material removal rate vs. EDM circuit

最後に電気条件について検討した。使用している加工機には、トランジスタ放電回路 (TP)、コンデンサ放電回路 (SF)、トランジスタ制御付きコンデンサ放電回路 (GM) が提供されている。各々の回路による影響を検討するため、φ0.5mmの銅のパイプ電極 (内径φ0.2mm) によって穴加工を行った。各々

4. 微細加工方法の検討

4-1. あら加工方法について

NC微細輪郭加工方法について検討した。パイプ電極による1軸方向の溝加工を行うと、電極消耗が激しく、すぐに加工不能となる。そこで電極消耗分、深さ方向へも送り（電極消耗補正量）ながら加工した。表3に加工条件を示す。

表3. 加工条件

Table 3. Machining condition

主軸回転数 (rpm)	1500
加工液噴出圧 (kgf/cm ²)	3
電源 電極極性	TP+
ピーク電流 (A)	11.6
放電/休止時間 (μs)	2 / 2
加工距離 (mm)	10



図6. 電極消耗補正を加えた溝加工

Fig 6 Groove machining with electrode wear compensation method

電気条件には加工速度の速いTP回路を用いた。図6に電極消耗補正量を10mmとして溝加工をした際の溝断面形状を示す。加工された溝形状を観察すると、初期の穴加工からななめ下方へおくることによって、溝深さは定常状態となり一定の深さに落ち着くことがわかった。図7、8はそれぞれ電極消耗補正量に対する溝深さと溝底面の真直度の関係を示している。電極消耗補正量と溝深さはほぼリニアな関係が認められ、真直度は電極消耗量が大きくなるにつれ悪化しているのがわかる。

また、電極の消耗形態を観察すると電極消耗補正量が10mm程度まではテーパ形状になっているが、それ以上になると先端が異常放電によって丸くなっているのが観察された。溝底面の形状は、初期の穴加工から溝深さが定常状態に移移する際に、不均一な状態になっているのがわかる。

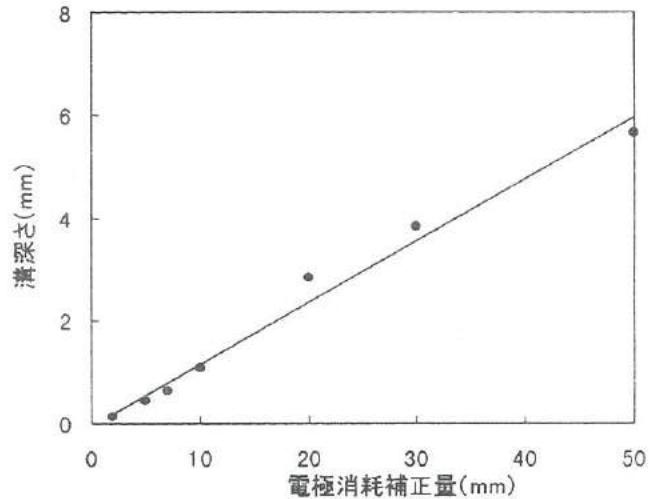


図7. 電極消耗補正量と溝深さの関係

Fig 7. Groove depth vs. wear compensation

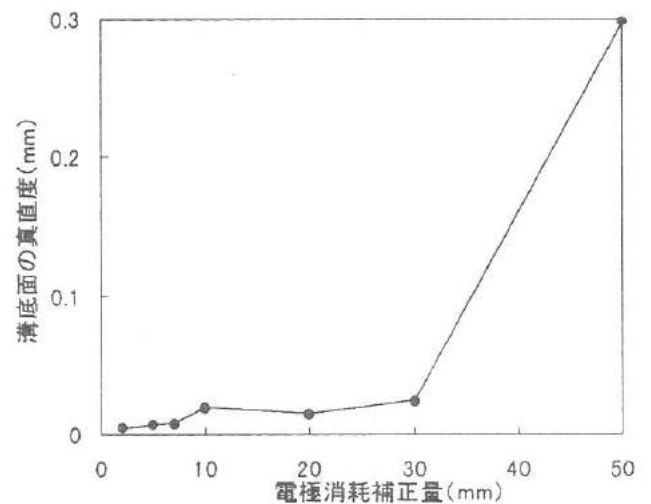


図8. 電極消耗補正量と溝底面の真直度の関係

Fig 8. Straightness of groove vs. electrode wear compensation

これは電極の消耗形態が穴加工の場合、おもに底面を中心に消耗するのに対し、溝加工では横方向への送りと深さ方向への送りによってテーパ形状になることに起因しているものと思われる。この現象は、穴加工用と溝加工用の電極をそれぞれ専用に使分けるとで解決できた。以上の結果をもとに深い溝加工を試みた。加工は表3に示す条件で電極消耗補正量を10mmとして10回繰り返して行った。両端の穴加工を先に行い、そ

の後溝加工を行うことで溝底面の形状の均一化をねらった。図9に加工後の溝断面の形状を示す。平均溝深さ 9.526mm、溝巾 0.575mm、溝底面の真直度 $131\mu\text{m}$ 、加工面粗さは $R_y 15\mu\text{m}$ で電極の送り方向からみると溝がテーパ状になっていることがわかる。なお、加工は 42 分の時間を要し、電極消耗長さは 116mm であった。

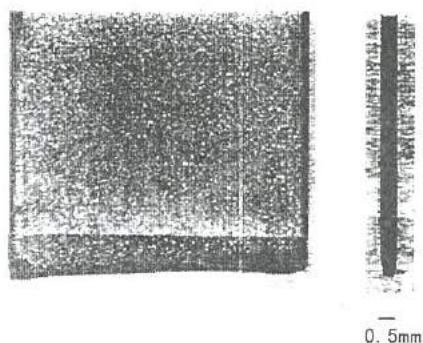


図9. 深溝加工後の溝

Fig 9. Deep groove machining

4-2. 仕上げ加工方法について

あら加工方法で生じた溝底面の真直度、テーパ形状などの問題を解決するため、新たに仕上げ加工方法を検討した。図10に仕上げ加工方法の概要を示す。

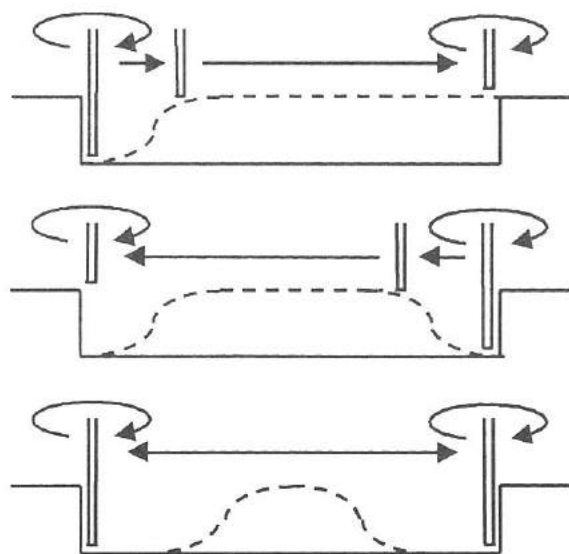


図10 仕上げ加工方法

Fig 10. Method of finished machining

仕上げは、電極を目標深さで固定して横方向の送りだけで加工することとし、溝底面の真直度が改善されテーパ形状がなくなるまで同じ経路を繰り返し加工することとした。これにより加工は徐々に水平方向にすすみ最後には真直度が良好になる。一連の繰り返し加工の終了条件は一回の輪郭加工が終了する毎に測定される電極消耗長さが所望の値を下回ったときとした。表4に溝長さ 10mm、深さ 1mm の溝を仕上げ加工方法によって繰り返し加工した際の溝底面の真直度と電極消耗長さの関係を示した。

表4 仕上げ加工結果

Table 4. Result of finished machining

加工回数 (回)	50	100
加工回数時の電極消耗量 (μm)	34	5
溝底面真直度 (μm)	35	3

電極消耗長さと溝底面の真直度は、ほぼ近い値を示しており、繰り返し加工の終了条件として適用可能であることが確認できた。図11に、各繰り返し回数終了時の電極の形状を示す。

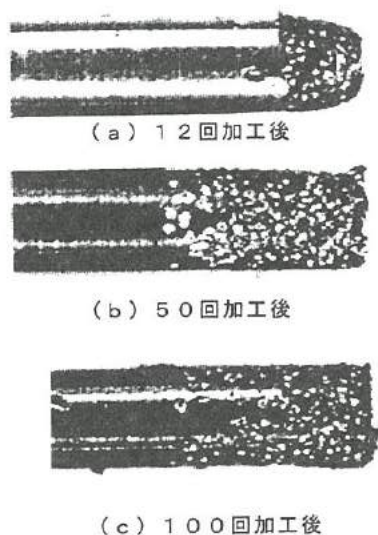


図11. 12、50、100回繰り返し加工後の電極

Fig 11. Electrode after machining

回数が増えるにつれ、電極底面の角が修正されていることが確認できる。これは仕上げ加工を繰り返すことで、溝底面の真直度が改善され、さらに溝底面を微量加工するため電極自身が自ら形状修正するものと考えられる。図12に、あら加工方法で加工された深溝をさらに仕上げ加工方法によって加工した溝

断面を示す。溝は平均深さ 10.002mm、巾 0.578mm、底面の真直度は $7\mu\text{m}$ と改善され、溝のテーパ形状も改善された。仕上げ加工は、74 分要し電極消耗長さは 26.56mm であった。

図 13 は加工例として、あら加工と仕上げ加工を用いて、小型ギヤ (M0.5) キャビティに適用した例である。表 5 に加工結果を示す。

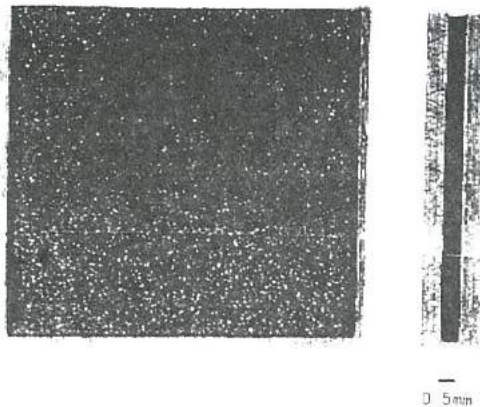


図 12. 仕上げ加工後の深溝

Fig 12. Deep groove after finished machining

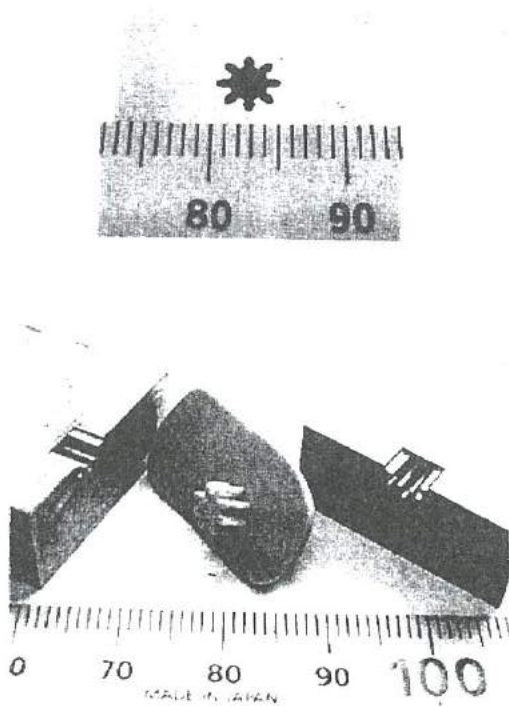


図 13 小型ギヤの加工

Fig 13. Miniature gear

表 5 加工結果

Table 5. Result of machining

総加工時間 (min)	287.67
総電極消耗長さ (mm)	116.27
溝平均深さ (mm)	3.513
溝底面真直度 (μm)	9
すみ部 R (mm)	0.068

5. 小径電極による微細加工

5-1. 電極成形

市販のパイプ電極 (最小 $\phi 0.1\text{mm}$) よりも、さらに微細加工を行う場合、電極を加工機に取り付ける際の垂直だし、芯だしが困難となり、加工精度、再現性、作業者の技能依存性などの問題がある。そのため所望の寸法より太い電極を加工機に取り付け、同一機上で成形し、そのまま電極として用いる逆放電法がある。これは極性を逆転させることで電極側が消耗し、電極素材を細くする方法で、一般にはブロック電極による成形法が多く用いられている。この方法は、加工する長さを一度に放電させることが可能なため加工効率が良いが、ブロック電極の消耗、取り付け時の姿勢の調整が必要である等の問題がある。そこで最近、これらの問題を解消した WEDG (Wire Electro-discharge Grinding) 法⁽³⁾が実用化されている。この方法は、ワイヤ側の消耗が無視でき、高精度かつ再現性の高い加工が可能である反面、点加工であるため加工効率が悪く一度の切り込み量を大きくすると素材の持つ内部ひずみによって曲がってしまうという問題点がある⁽⁴⁾。本研究では、特殊な装置が不要なブロック電極による電極成形を試みた。電極素材には銅より消耗が少なく剛性の高い、 $\phi 1\text{mm}$ の銅タングステンの電極を用い、ブロック電極にも同じ材質を用いた。成形する電極には成形長さ全体において電極の直径が均一で真円度が良好なことが望まれる。表 6 に電極成形の電気条件を示す。

表 6. 電極成形条件

Table 6. Electrode forming condition

加工段階	電源電極極性	ピーク電流 (A)	放電時間 (μs)	休止時間 (μs)	よせ量 (mm)
1	TP+	60.7	2	16	0.22
2		27.5			0.16
3		5.8			0.05
4	SF+	7.6	コンデンサ容量 : 5 nF		0.04
5		3.5	コンデンサ容量 : 1 nF		0.01

電極成形は、あら加工から仕上げ加工まで5段階に分けて成形を行った。第1から第3段階ではTP回路を用いて電極素材の除去量を多くし、加工速度を抑えて成形時間を長くした。また第4および第5段階ではSF回路を用いて除去量を少なくし、面粗さを向上させた。図14は加工速度を速くしたため真円度が悪化した電極成形例である。成形には67分22秒要した。このように、あら加工で加工速度を速くすると真円度や成形時間に影響を及ぼすことが明らかとなった。図15にブロック電極により成形した小径電極の外観を示す。14分27秒の所要時間で直径平均 $\phi 50\mu\text{m}$ 、長さ4mmのものが成形できた例である。成形に用いたブロック電極の表面粗さ、成形電極の位置決め誤差等の影響によって同一加工条件で11回成形したときの直径の寸法精度は $\pm 10\mu\text{m}$ 程度であった。

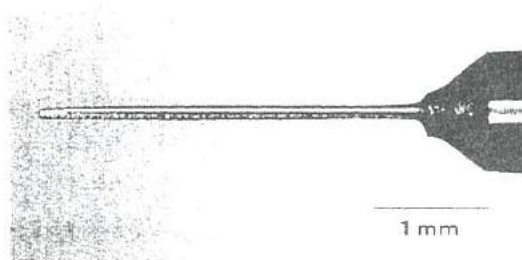


図 14. 電極成形失敗例

Fig 14. Failing example of forming electrode

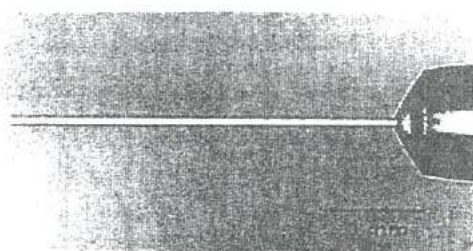


図 15. ブロック電極法による電極成形例

Fig 15. Electrode formed by block electrode method

つぎに、ブロック電極による成形法を基本とした新たな回転円盤電極による成形方法について検討した。この方法は、放電加工機上で円盤電極を切削により成形して、姿勢および前回成形時の消耗を矯正することが可能で、切削工具を加工機マガジンに収納することで自動化に対応可能である点が特徴として挙げられる。図16に試作した回転円盤電極装置の外観を示す。装置は高精度のスピンダルと駆動用モータを内蔵しており加工液中に浸漬するため、耐油性のあるコーキング材（日本シーカ製アイガス E-NS）でシールしている。

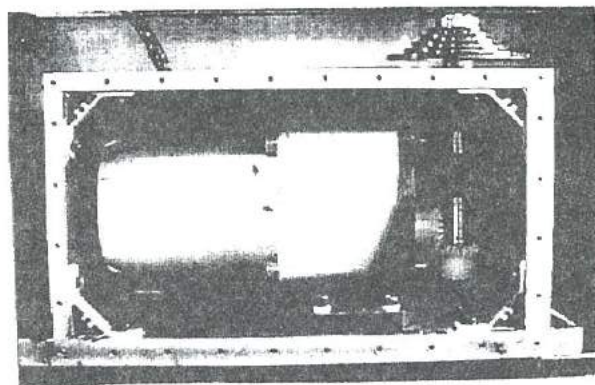


図 16. 新たな電極成形機

Fig 16. New type forming electrode machine

円盤電極を回転させること、電極を階段状にすることによって、成形中に問題となる電極消耗への対策とした。しかし、スピンドルの剛性が低いため円盤電極材にはグラファイトしか採用できず、回転電極の切削時に加工槽が汚れる点が問題として残った。電極成形には前回と同様の電気条件を用いた。図17に回転円盤電極により成形した小径電極の外観を示す。10分16秒の所要時間で直径平均 $\phi 52\mu\text{m}$ 、長さ2mmの電極が成形できた。

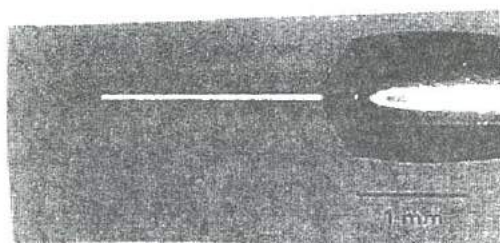


図 17. 回転円盤電極成形装置により成形した電極

Fig 17. Electrode formed by new type forming machine

5-2. 微細溝加工

ここでは、成形した $\phi 50\mu\text{m}$ の小径電極を用いて深溝加工を試みた。加工条件を表7に示す。

加工方法はパイプ電極による溝加工と同様の方法で、あら加工と仕上げ加工に分けて行った。溝長さは5mm、目標溝深さは1mmとした。図18に深溝加工の結果を示す。

図からもわかるように溝右下部分が深く、目標1mmに対して、実際の深さが1.065mmとなっていた。これは目標深さよりも深くあら加工を行ったためであり、仕上げ加工が行き届かなかったからである。この溝深さの読み誤りは今後のデータ収集によって解決できるものと思われる。その部分を除いた溝底

面の真直度は $9\mu\text{m}$ となっていた。

図 19 は、小径電極によるあら加工だけで刻印加工を行った例である。加工条件は深溝加工と同様とした。加工時間は39分41秒、電極消耗長さは4.572mmで、加工された溝巾は $80\mu\text{m}$ であった。

表7 小径電極による溝加工条件

Fig 7. Deep groove machining condition with small electrode

電気条件	電源 電極極性：SF- ピーク電流：3.78 A 容量：0.5 nF
主軸回転数 (rpm)	2000
加工速度 (mm/min)	2
加工液	少量

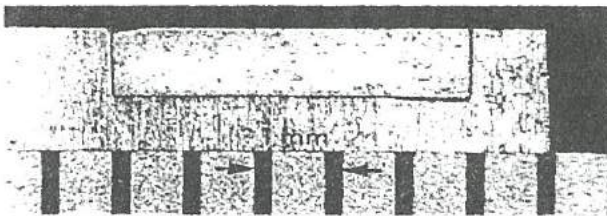


図 18. 深溝の加工例

Fig 18. Deep groove with small electrode

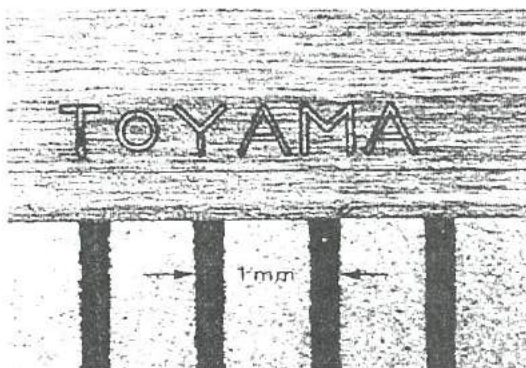


図 19. マーキング加工

Fig 19. Mark machined with small electrode

6. 結 言

本研究では、単純形状の小径電極を用いたNC微細輪郭放電加工方法の検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) 放電加工における各種加工条件を検討したところ、加工速度には主軸回転数と加工液の噴出が影響し、電極消耗や加工精度には加工液の噴出が影響することがわかった。また、電気条件として、あら加工には加工効率の良い電極極性+極のトランジスタ回路が、仕上げ加工には加工精度の良い-極のコンデンサ回路が適していることがわかった。
- (2) 溝加工方法には加工効率を重視したあら加工方法と、加工精度を重視した繰り返し加工による仕上げ加工方法を考えた。この加工方法を深溝加工に適用したところ直径 $\phi 0.5\text{mm}$ のパイプ電極で溝深さ 10.002mm 溝巾 0.578mm で底面真直度 $7\mu\text{m}$ の高精度な加工が可能であった。また、同じ方法により小型ギヤのキャピティの加工も可能であった。
- (3) 小径電極の成形条件について検討したところ、直径 $\phi 50\mu\text{m}$ 、長さ 4mm の電極成形が可能となった。また、新たに回転円盤電極による成形装置を試作したところ $\phi 52\mu\text{m}$ 、長さ 2mm の電極が容易に成形できた。
- (4) 成形した $\phi 50\mu\text{m}$ の電極を用いて、深さ 1mm 、巾 $80\mu\text{m}$ の微細深溝加工と刻印加工を行った。

最後に、東京大学生産技術研究所、増沢隆久教授には貴重なご助言を賜った。また日本シーカ(株)には電極成形装置の充填剤を提供していただいた。記して関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 富本・真柄・湯澤・渡辺、微細創成放電加工、精密工学会誌、64-12 (1998)
- (2) Z.Y.Yu, T.Masuzawa and M.Fujino, Micro-EDM for Three-Dimensional Cavities, Annals of CIRP, 47 (1998)
- (3) 増沢、微細放電加工、精密工学会誌、57-06 (1991)
- (4) 正木、微細放電加工技術、National Technical Report, 39-5 (1993)

VI. 電磁シールド材の基礎研究

Study of Electromagnetic Shielding

福田 隆之

FUKUDA Takayuki

浅田 峯夫

ASADA Mineo

高橋 伸忠

TAKAHASHI Nobutada

塚本 吉俊

TSUKAMOTO Yoshitoshi

谷野 克巳

TANINO Katsumi

Abstract

Recently, with the spread of the mobile phone and so on, the malfunction of other electronic equipments and the medical instruments caused by the electromagnetic wave interference becomes a problem. For the reduction of electromagnetic wave noise, the method of reflecting its obstacle with metal have been used in general. But, with speedup of miniaturization and handling of an instrument, there is fear that the wave reflected inside of instrument give secondary bad influence to instrument oneself. A purpose of this study is to develop the electromagnetic wave absorber having the high performance shielding effect in a broad band and that is light and thin.

The results of this study are as follows :

- (1) Shielding effectiveness of aluminum thin film on a glass by vapor deposition was approximately 70dB (at 500MHz) for the thickness of $1 \mu\text{m}$.
- (2) The difference of shielding effectiveness wasn't recognized about aluminum, copper, iron, permalloy by range of frequency from 1 to 1000MHz.
- (3) The absorption loss of the composite ferrite type absorber increased with increase of the concentration of the Mn-Zn ferrite.

1. 結言

最近の情報化社会、とりわけ移動体通信のめざましい発展により、われわれを取り巻く電磁環境は大きく変化し、電磁波による電子機器の誤動作や人体等への影響が懸念されている。通常、電磁ノイズによる障害を防ぐためには、電磁シールド材としてアルミ、銅、導電繊維などの導電材料が使用されてきた。しかし、近年の電子機器の小型化や情報処理の高速化により、回路近傍に設置した導電材料がアンテナの役目を果たし、より大きな誤動作の原因となることがしばしばある。この防止対策として、入射してきた電波エネルギーを内部で熱エネルギーに変換する、軽くて薄い広帯域型電波吸収体シートがノイズ対策部品として注目されている。

本研究では、まず、電磁シールド効果の原理やシールド効果の測定方法について検討し、シールド材として代表的なアルミニウムの薄膜や箔、薄板、さらに、有孔材料である金属網のシールド効果について基礎的な実験を行った。また、フェライト粉末と樹脂を混合した複合フェライト型電波吸収層についても検討を加えたので報告する。

2. 電磁シールドの原理

図1は電磁シールドの概要を示す。電磁シールドの原理は、

電磁波の入射によりシールド材に電流が流れ、これによって遮蔽効果が生まれることにある。図のようにシールド材に電磁波 E_i が入射すると、その表面 $a-a'$ で入射波は反射し、一部のみがシールド材内部に入る。シールド材内部では減衰しながら表面 $b-b'$ まで伝搬し、 E_i のみが透過しシールド材外部に出てくる。一方、表面 $b-b'$ で反射し内部に戻された電磁波は、シールド材内部を何回も往復・反射し減衰を受けるが、そのつど、一部は表面 $b-b'$ を透過し外部に出てくる。したがって、シールド材を透過する電磁波は最初の透過波 E_i と内部で多重反射波後に透過した電磁波 E_n の総和となる⁽²⁾。

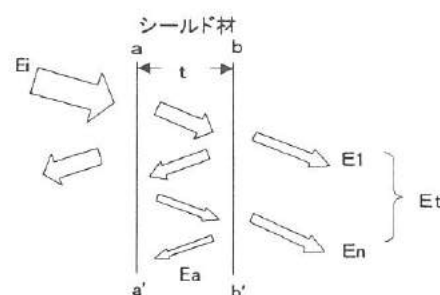


図1 電磁シールドの概要

Fig.1. Schematic figure of electromagnetic shielding.

電磁シールド材の遮蔽効果を、入射電界 E_i と透過電界 E_t の強度比で定義すると、シールド平板に平面波が入射した場合のシールド効果 SE は式(1)で表すことができる。

$$SE = 20 \log (E_i / E_t) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

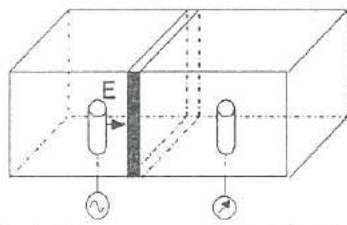
$$= A + R + B$$

ここで A は吸収損失、 R は反射損失、 B は多重反射損失による補正項である。ただし、金属のように内部での減衰が大きい場合には、一般にこの補正項 B は無視できる。

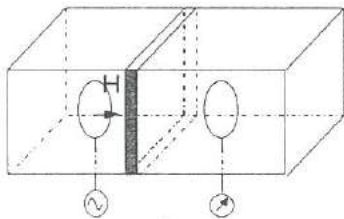
3. 電磁シールド効果の測定方法

3.1 透過減衰量の評価 (アドバンテスト法)

日本国内で広く使われているシールド効果測定法の一つにアドバンテスト法がある。この方法は、国内の電子計測器メーカーであるアドバンテスト社が開発した方式で、図2に示すように、送受信アンテナを設置した隣り合った2つの小型シールド室の間仕切り壁面中央に開口部を設け、そこに試料を挿入し、シールド材を透過した電磁界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定する。この時、スペクトラムアナライザ本体では電磁シールド材に印加する高周波信号を発生することができないため、トラッキングジェネレータと組み合わせて使用する。この方式の特長は、試料が板状で作製し易く、また、保持部と試料との接触も比較的良くデータの再現性が良い点である。しかし、透過減衰量しか測定できないため反射量や吸収量が解析できない点や、近傍電磁界における測定のため、測定値をそのまま一般的なシールド性能とみなすのは無理があるなどの欠点がある。図3は、測定に用いたシールド材評価器とスペクトラムアナライザの外観を示す。ここで用いた測定試料の大きさは $100 \times 100 \text{mm}$ である。



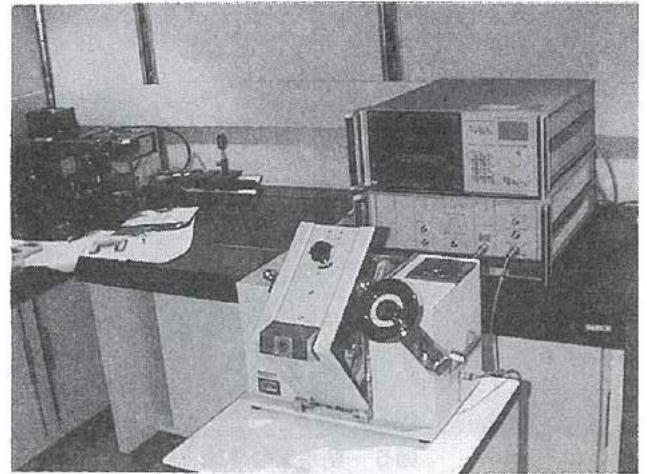
(a) 電界に対するシールド効果 (E 体-アンテナ)



(b) 磁界に対するシールド効果 (H -アンテナ)

図2 シールド効果の測定方法 (アドバンテスト法)

Fig.2. Measurement method of shielding effectiveness.



測定器の外観

Fig.3. Appearances of measurement instruments.

3.2 反射量の評価 (トランスミッションライン法)

反射量の評価法としてトランスミッションライン法がある。この方法は、図4に示すように、特性インピーダンスが 50Ω の同軸伝送線路の途中にドーナツ型試料を挿入し、ネットワークアナライザを使用して反射特性と透過特性を測定する方法である。これは、平面波におけるシールド効果を測定するために開発されたもので、透過量と反射量を分離して測定できるのが特長である。しかし、ドーナツ型に試料を切断するのは容易ではなく、作製に手間がかかるのと、試料を測定器具に装着する際に、完全な電気的接触が難しいなどの欠点がある。今回、市販の治具がなかったため、同軸テーパ管を使用したトランスミッションライン法評価器を特別に試作し、ネットワークアナライザの s_{11} パラメータと s_{21} パラメータ使って試料の反射特性と透過特性を同時に測定できるようにした。試料の大きさは外形が 45ϕ 、内径が 15ϕ である。図5は試作したシールド効果評価器の外観を示す。

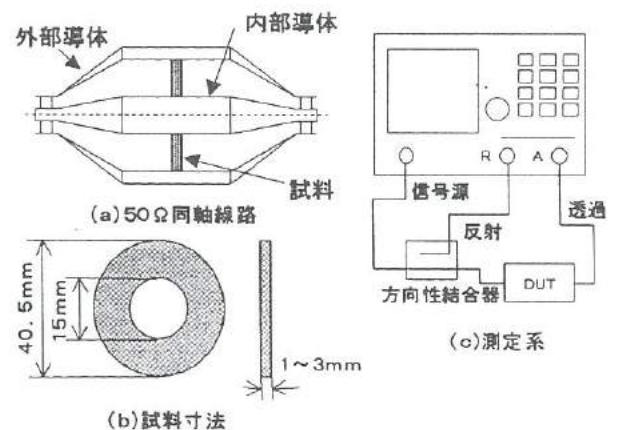


図4 反射量の測定方法(トランスミッションライン法)

Fig.4. Measurement method of reflection loss.

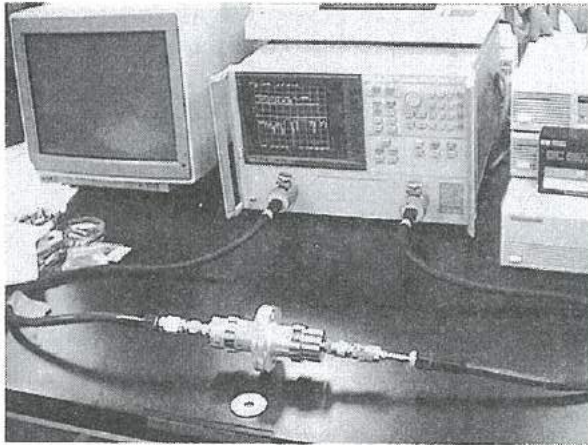


図5 測定器の外観

Fig.5. Apearances of measurement instruments.

3.3 吸収損失の算出法

一般に、シールド効果は反射損失 SE_r と吸収損失 SE_a の和で表されるので、次式が成り立つ。

$$SE = SE_r + SE_a \quad (2)$$

また、ネットワークアナライザーで測定できるパラメータは、次の2つのパラメータである。

$$s_{11} = 20 \log (R/E_1) \quad (3)$$

$$s_{21} = 20 \log (E_3/E_1) \quad (4)$$

これらのパラメータより、吸収損失、反射損失、総合損失を求めると、以下のとおりとなる。

①反射損失 (SE_r)

$$\begin{aligned} SE_r &= 20 \log (E_2/E_1) \\ &= 20 \log (1 - 10^{s_{11}/20}) \quad (\text{dB}) \end{aligned} \quad (5)$$

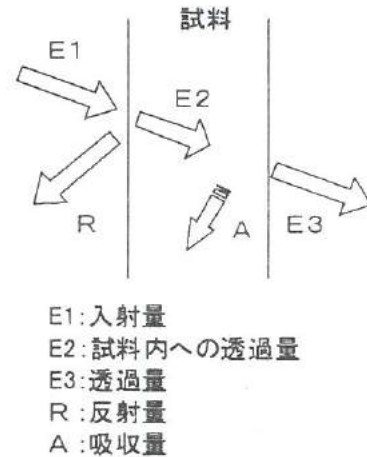
②吸収損失 (SE_a)

$$\begin{aligned} SE_a &= 20 \log (E_3/E_2) \quad (\text{dB}) \\ &= s_{21} - SE_r \end{aligned} \quad (6)$$

③総合損失 (SE)

$$\begin{aligned} SE &= 20 \log (E_3/E_1) \quad (\text{dB}) \\ &= s_{21} \end{aligned} \quad (7)$$

以上の式から吸収損失を求めることができるが、電波吸収体の性能を簡単に比較する場合には、同軸線路の片方を短絡終端することにより、試料を透過した電磁波をすべて反射させ、この時の反射減衰量を測定することで評価することもできる。



E1:入射量
E2:試料内への透過量
E3:透過量
R:反射量
A:吸収量

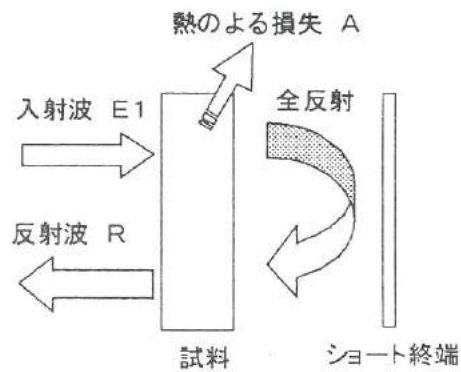


図6 吸収量の測定

Fig.6. Measurement of absorption loss.

4. シールド効果の基礎実験

4.1 金属薄膜のシールド効果

金属のシールド効果の基礎実験として、まず、アルミニウム材について厚さとシールド効果について調べた。薄膜試料は、 100mm^2 のガラス基板に厚さが $0.02 \sim 2 \mu\text{m}$ の範囲でアルミ蒸着をして得た。真空蒸着においては、BN ボート上にアルミ粉末をセットし、抵抗加熱法により作製した。また、参考試料として市販の厚さ $15 \mu\text{m}$ のアルミ箔と厚さ 1mm のアルミ板を準備した。図7は、アルミ膜の面抵抗値とシールド効果、図8は、アルミ膜の厚さとシールド効果を示す。この結果、面積比抵抗が $10\text{m}\Omega$ 以上ではシールド効果が減少した。また、アルミ膜が厚くなるとともにシールド効果は増加し、約 $1 \mu\text{m}$ 以上で 70dB と大きな減衰量が得られた。さらに厚さが 1mm のアルミ板においては 80dB 程度となったが、この減衰量付近は実験で使用したスペクトラムアナライザの測定感度が限界に近いこともあり、試料の正確な減衰量なのかど

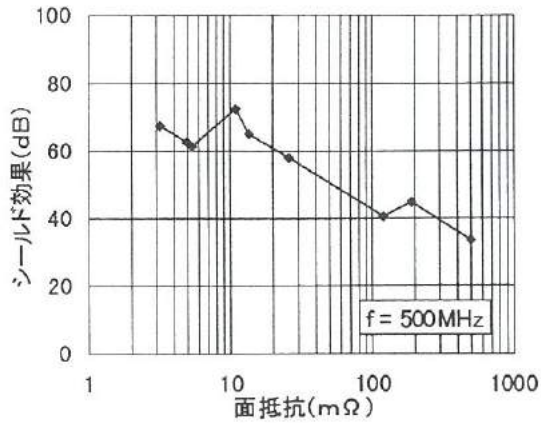


図7 面積比抵抗とシールド効果

Fig.7. Relationship between surface resistance and shielding effectiveness .

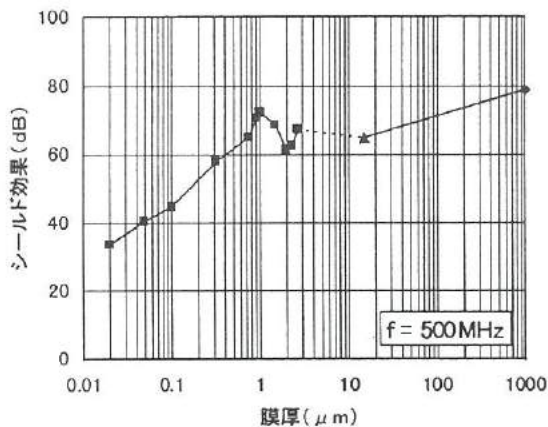


図8 Al 膜厚とシールド効果

Fig.8. Relationship between thickness of film and shielding effectiveness.

うかは判断できなかった。また、厚さ $1 \mu\text{m}$ を越えた付近で一旦シールド効果の減少が見られ、 $2 \mu\text{m}$ 付近で再び増加現象が見られた。これは、金属膜が十分厚い場合電波浸透深さによるシールド効果が主要因となるが、厚さが薄い場合は透過波に対する渦電流抵抗が支配的となるため、厚さ $1 \mu\text{m}$ 付近でこれらの要因の影響が入れ替ったことによるものと考えられる⁽⁴⁾。

4. 2 金属の種類とシールド効果

ここでは、厚さ約 0.5mm のアルミ、銅、鉄およびパーマロイの4種類の金属板について、シールド効果を測定した。これらの金属は、導電率や透磁率に明らかな違いがある。図9

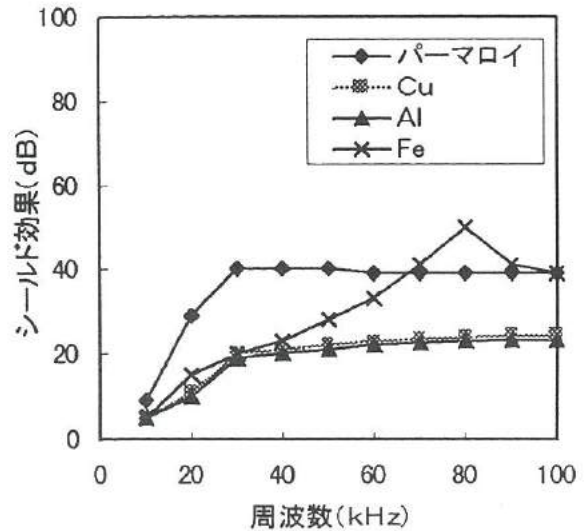


図9 金属の種類とシールド効果

Fig.9. Shielding effectiveness of various metals.

は $10 \sim 100\text{kHz}$ におけるのシールド効果の測定結果を示す。この周波数領域では、比透磁率が極端に大きいパーマロイや鉄がシールド効果は大きくなる。しかし、 $1 \sim 500\text{MHz}$ の周波数領域ではいずれの金属も $70 \sim 80\text{dB}$ の減衰量となり、予測していた金属の種類による違いはほとんど認められなかった。

4. 3 有孔材料のシールド効果

通常、シールド材に透光性を持たせたり、放熱対策や軽量化のために、スクリーン、金属網、パンチングメタル等の有孔材料が使用されるが、ここでは、穴径がシールド効果に及ぼす影響について検討した。実験に用いた試料は、ステンレス線を使用した #15 ($1.1 \times 1.1\text{mm}$)、#30 ($0.55 \times 0.55\text{mm}$) および #80 ($0.18 \times 0.18\text{mm}$) の金属網であり、図10はこれらのシールド特性を示す。この結果、試料の中で最も目の開きが大きい #15 の金属網においても 500MHz で 30dB 以上の減衰量が得られた。これは、金属網の孔径が電磁波の波長より十分に小さいため、入射した電界波によって金属網を構成する導体に高周波電流が流れ、電磁波が反射されるものと考えられる。このことから、必要とする減衰量の大きさによっては有孔材料もシールド材として効果的であることがわかった。

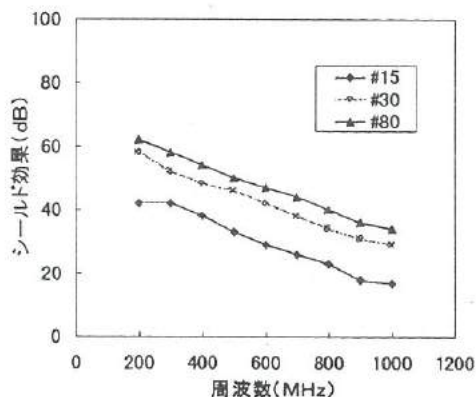


図 10 金属網のシールド効果

Fig.10. Shielding effectiveness of metallic net

5. 電波吸収体の基礎実験

これまで用いた金属膜、金属板あるいは金網は一般的に面積比抵抗が低く、遠方界における電磁波の波動インピーダンス $Z_0 = 377 \Omega$ に対して表面の特性インピーダンスが十分低い。このため、電磁波は金属面に入射する界面でインピーダンスの不整合を起こし、ほぼすべてが反射されることが予想できる。この現象は、アルミ薄板をトランスミッションライン法で測定すると、入射した電磁波がほとんど反射することから容易に確認することができた。そこで、表面で電波を反射せず内部で熱エネルギーとして吸収させる広帯域型電波吸収体について検討した。図 11 は、一般的な薄型電波吸収体の構造を示す。これは、表面での電磁波の反射を防ぐ整合層、電磁波を熱に変換する吸収層、さらに、電磁波を通り抜けないようするための反射層で構成されている。ここでは、電波吸収体の基礎実験として、特に電波吸収層について検討した。

まず、厚さ 0.4mm のカーボン紙（面積比抵抗 15Ω ）上にアルミ蒸着を施し、トランスミッションライン法により反射損失、吸収損失および総合損失を測定した。図 12 はアルミ蒸着膜カーボン紙のシールド特性を示す。この結果、アルミ膜厚を $2 \mu\text{m}$ まで増加させても、総合損失は増加するものの、吸収損失はほとんど認められなかった。これは、カーボン紙の厚みが 0.15mm、0.04mm の場合も同じ傾向を示した。図 13 はアルミ蒸着カーボン紙のシールド効果特性を示す。

次に、磁性吸収材料として磁気的な共鳴による損失が期待できるスピネル型 Mn-Zn フェライトとパーマロイをポリカーボネート樹脂で混合した複合フェライト型電波吸収層について検討した。実験方法は、あらかじめ Mn-Zn フェライト粉末（平均粒径 $10 \mu\text{m}$ ）とパーマロイ粉末（平均粒径 $10 \mu\text{m}$ ）

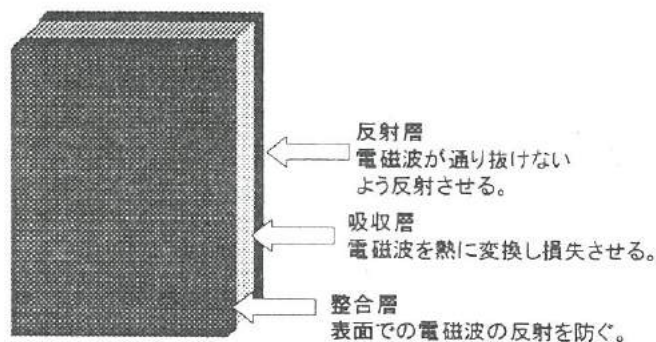


図 11 薄型電波吸収体の構造

Fig.11. Structure of electromagnetic wave absorber.

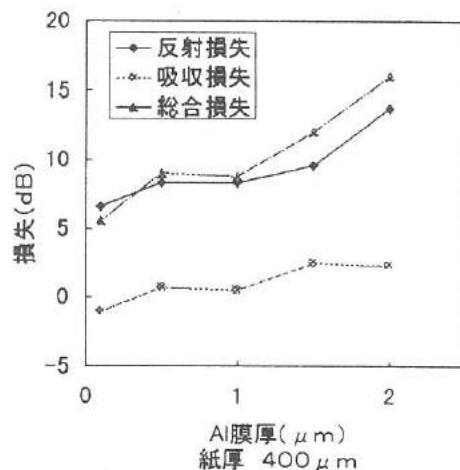


図 12 アルミ蒸着カーボン紙のシールド特性

Fig.12. Shielding effectiveness of carbon paper coated aluminum thin film.

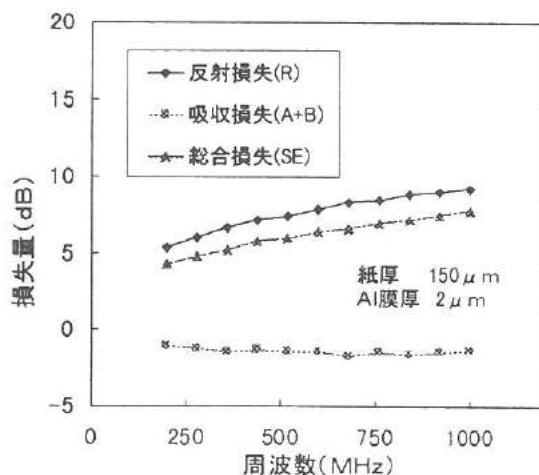


図 13 アルミ蒸着カーボン紙のシールド周波数特性

Fig.13. Frequency characteristic of shielding effectiveness of carbon paper coated aluminum thin film.

をポリカーボネート樹脂粉末に十分混合し、約 4.5MPa の圧力を加えながら 200 °C、5 分間のプレス成形を施し、ウォータージェット加工機を用いてドーナツ状の形状に加工したものを作製した。測定時には試料装着部との接触箇所には銀ペーストを塗布し、電気的接触の改善を図った。図 14 は試作した電波吸収体試料の概要を、表 1 に磁性材の混合比を示す。

図 15 は吸収層の厚さと吸収損失特性、図 16 は磁性材の混合比と吸収損失特性を示す。この結果、吸収量は吸収層の厚みとほぼ比例し、また、Mn - Zn フェライトの含有量が増えるに従い吸収損失が増え、混合比が 80wt % では 2dB / mm となった。一方、Ni - Fe パーマロイは 200MHz ~ 1.2GHz の範囲では吸収量にほとんど差がみられなかった。

表 1 磁性材の混合比

Table 1. Mixing ratio of magnetic material.

試料	磁性材 対 樹脂の割合(wt%)		密度 (g/cm ³)
	Mn-Zn フェライト	樹脂(ポリカーボネート)	
1	50	50	1.63
2	65	35	2.04
3	80	20	2.59

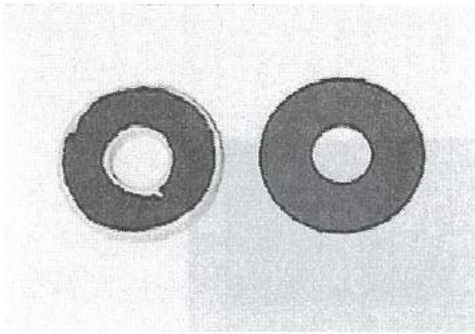


図 14 試作した電波吸収体試料

Fig.14. Sample of wave absorber .

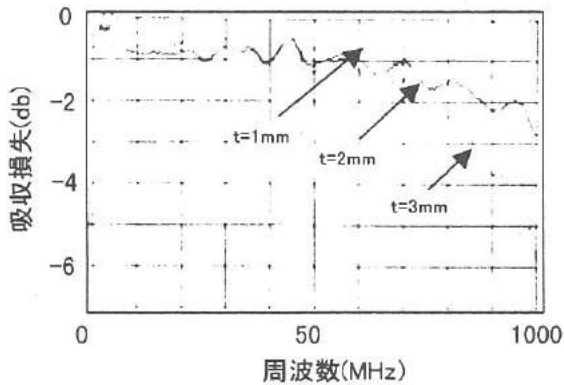


図 15 電波吸収体の厚さと吸収損失

Fig.15. Relationship between the thickness of absorber and absorption loss.

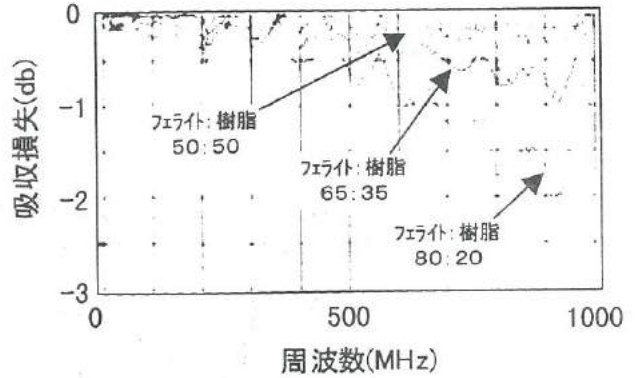


図 16 磁性材の混合比と吸収損失

Fig.16. Relationship between the composite ratio of absorber and absorption loss.

6. 結言

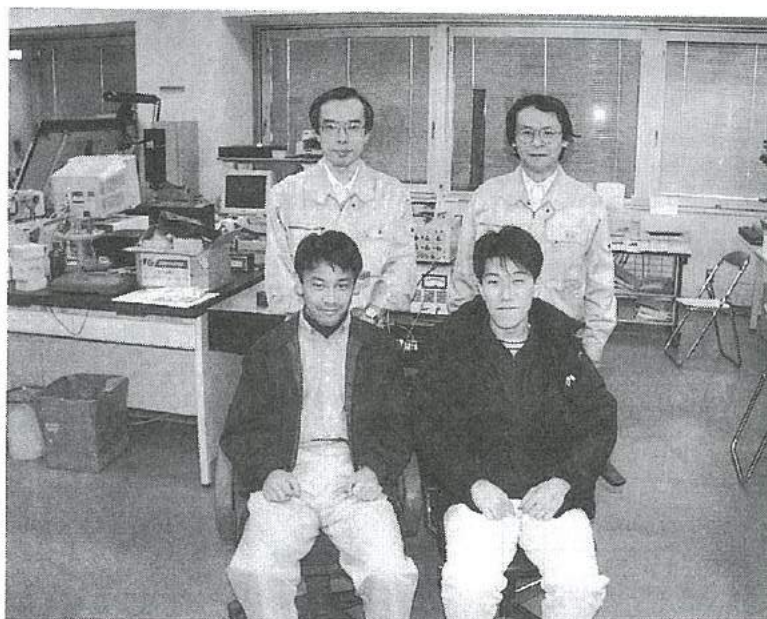
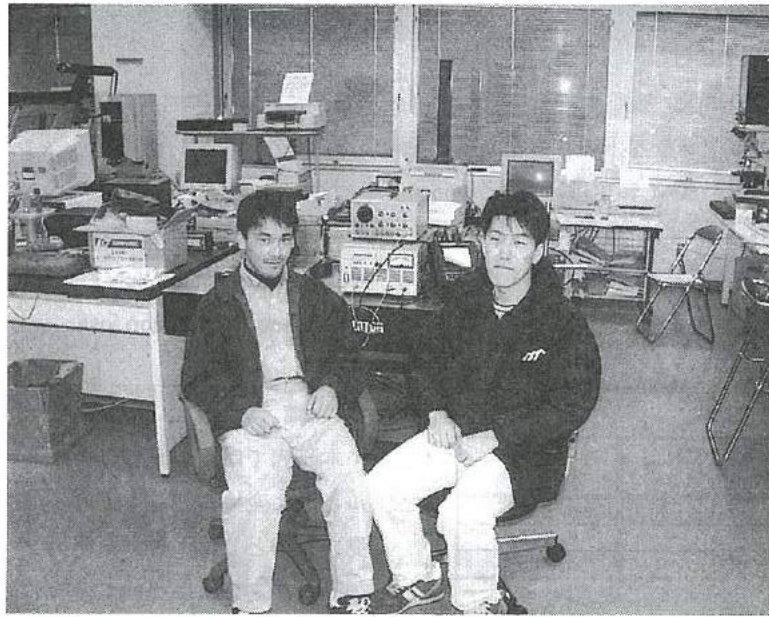
本研究では、入射してきた電波エネルギーを内部で熱エネルギーに変換する軽くて薄い広帯域型電波吸収体シートの開発を目的として、まず、電磁シールド効果の原理やシールド効果の測定方法について検討した。次に、金属膜や金属有孔材料のシールド効果について基礎的な実験を行い、フェライト粉末と樹脂を混合した複合フェライト型電波吸収層について検討した。これらの実験により得られた成果を次に示す。

- (1) トランスマッションライン法に準拠した測定評価器を試作し、電磁シールド材の吸収量を求めることができた。
- (2) 金属膜のシールド効果では、アルミ膜が厚くなるに従い効果は増加し、厚さ 1 μ m で約 70dB となった。
- (3) 周波数が 1 ~ 1000MHz においては、アルミ、銅、鉄およびパーマロイの間にシールド効果の違いはほとんど認められなかった。
- (4) フェライトと樹脂を混合した複合フェライト型電波吸収層においては、Mn - Zn フェライト含有量が増えるに従い吸収損失が増加し、混合比 80wt% では 2dB/mm の吸収量を示した。

参考文献

- (1) 清水 他；電磁波の吸収と遮蔽
- (2) 長谷川 他；電磁波障害 p85-95
- (3) 清水 他；電磁妨害波の基本対策
- (4) 荒木康夫；電磁妨害と防止対策

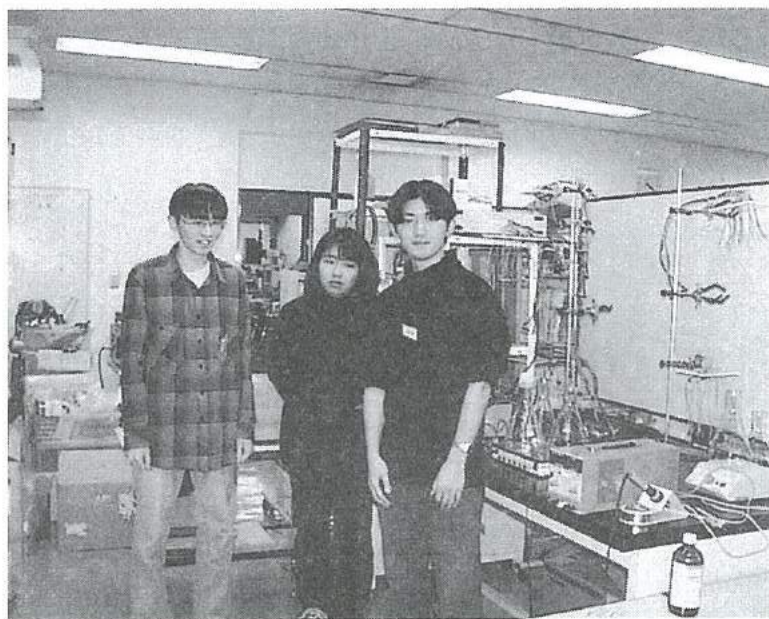
「制振機構の研究」グループの研究活動風景



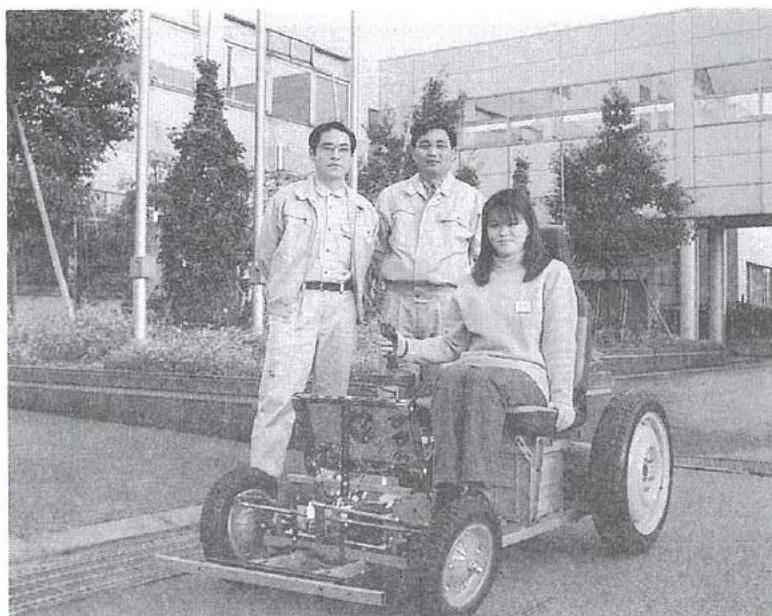
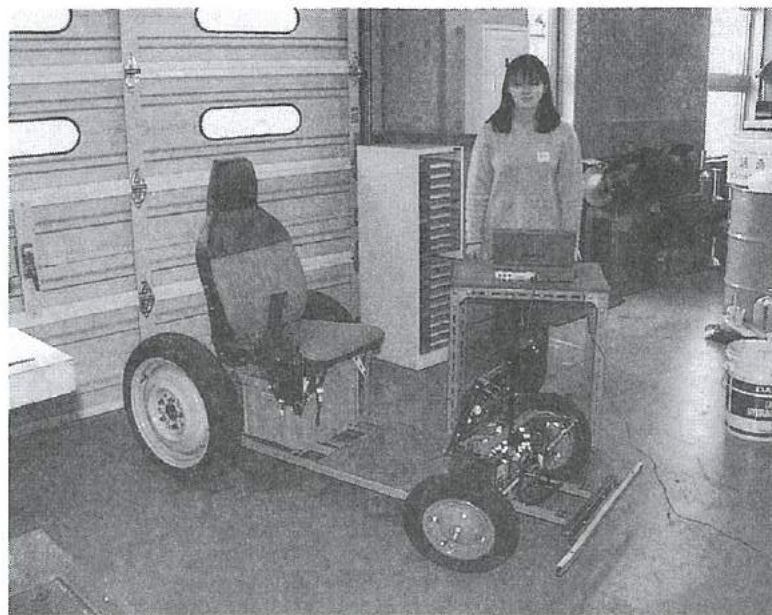
「コーティング工具の研究」グループの研究活動風景



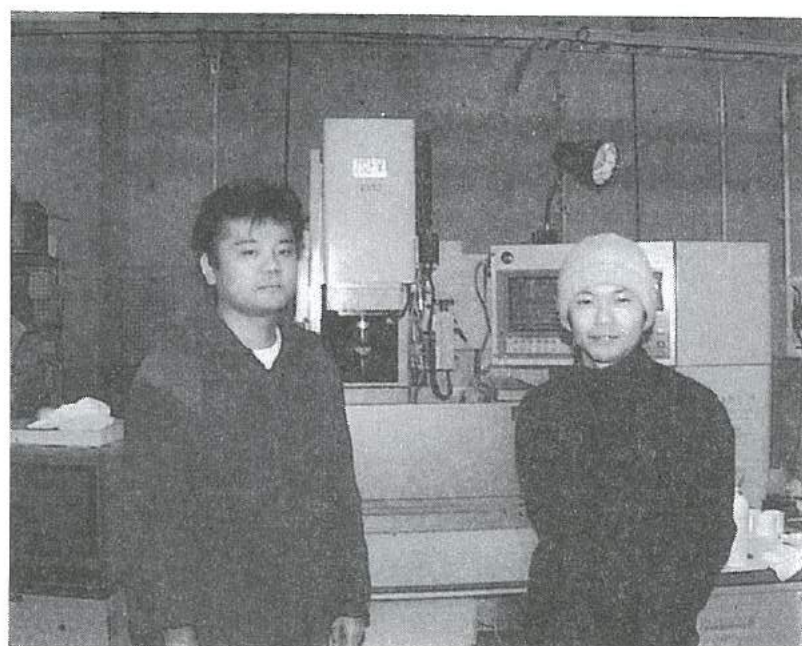
「生活環境用においセンサの開発」グループの研究活動風景



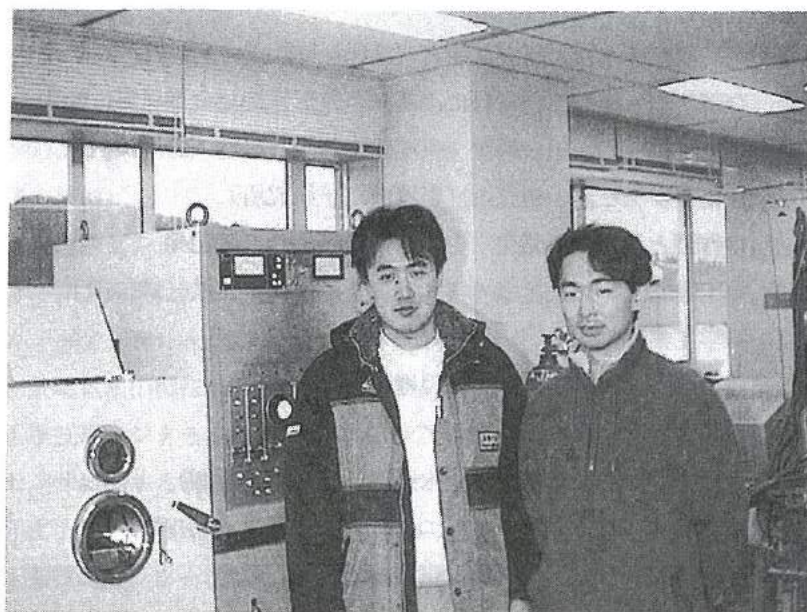
「電気自動車の開発」グループの研究活動風景



「微細放電加工の研究」グループの研究活動風景



「電磁シールド材の研究」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

○12年間の研究テーマ数：73テーマ（昭和62年度～平成10年度）

○参加研究員延べ人数：181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 (株)インテック)・堀井 孝 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株)タカギセイコー)・上段一徳 (東洋化工(株))・長柄 勝 (長柄鉄工(株))

柳原 潔 (株)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(株))・滝川義弘・煙田不二男 (燐化学工業(株))

平能 司 (株)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(株))・吉田孝一 (株)タカギセイコー)・吉野正浩 (吉田工業(株)、現YKK(株))

◎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 (株)不二越)・西田達也 (北陸電気工業(株))・前坂昌春 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株)インテック)・堀井 孝 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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(株))・中山正明 (株)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 (株)不二越)・高島 誠 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株)タカギセイコー)・田村正行 (吉田工業(株)、現YKK(株))・柳原 潔 (株)黒田精型)

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

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究－光書き込み型メモリの開発
 玉川 勤（北陸電気工業㈱）
 ◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究
 桜栄和則（㈱タカギセイコー）・田村正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）・柳原 潔（㈱黒田精型）
 ◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、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

川西和昭（三協アルミニウム工業㈱）・後藤 肇（コーセル㈱）

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. R I M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（1）

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. 電子回路用ウェットエッチング液の開発

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. 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. 機能性薄膜を用いたマイクロポンプの研究
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

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

☆平成10年度（第12回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、11名）

1. 圧電素子を用いた制振機構の研究

稲垣 聡（北陸電気工業㈱）・渡辺暁信（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究

野上拓也（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 生活環境用においセンサの開発（2）

星野昌則（コーセル㈱）・南 政克（北陸電気工業㈱）・山田浩美（東洋化工㈱）

◎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. 電気自動車の開発（2）

坂本雅美（㈱斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微細放電加工の研究

太田光則（㈱斉藤製作所）・橋本 明（田中精密工業㈱）

◎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

6. 電磁シールド材の基礎研究

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）・福田隆之（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

第5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10年10月4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：9チーム、18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）
 - テクノ大賞 片山 淳・西村隆之介：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：JK
 - 優勝 山内 誠・麦谷 康貴：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：バクダン君5号・6号
 - 次勝 清水 壘・吉井 隆幸：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：もうギリギリだよ7号・8号
 - 技術賞 山崎 辰也・中林 広樹：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：ラク・サブ
 - 技術賞 島崎 貴志・増田 信人：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：ダブルキャット・ブラックセレナMKⅡ
 - 努力賞 高木 直哉・久保 智生：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：V-MAX・さのびゃびゅち
 - 努力賞 武田 信彦・竹森 規友：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：アマテラス・GP-01
 - 努力賞 宮本 雅大・塚原 康之：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：カン電池じゃ足りないよ1号・2号
 - 努力賞 宮守 正明・町崎 彰紀：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：ボンバー君3号・4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：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11年3月12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)	橘田 栄耕	広野 照二	0764-51-2155
4	コーセル(株)	飴 久晴	織田 誠二	0764-32-8151
5	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	0764-68-2727
6	三協アルミニウム工業(株)	荒井 久夫	吉岡 茂喜	0766-20-2366
7	(株)タカギセイコー	高木 正明	柳本 暁雄	0766-84-9261
8	タカノギケン(株)	高野 啓良	滝森 幸浩	0764-55-2525
9	武内プレス工業(株)	武内 繁和	浅井 吉夫	0764-41-1856
10	立山アルミニウム工業(株)	竹平栄太郎	伊藤 房男	0766-20-3121
11	立山科学工業(株)	水口昭一郎	土井 喜一	0764-83-8250
12	田中精密工業(株)	田中 一郎	高木 善昭	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	富山軽金属工業(株)	荒井 久夫	政 誠一	0766-84-9082
16	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
17	北陸電気工業(株)	野村 正也	若林 守光	0764-67-1111
18	燐化学工業(株)	鶴田 幸晴	滝川 義弘	0766-86-2511
19	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
藤 城 敏 史	工業技術センター機械電子研究所・副主幹研究員 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

○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 飴 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 (富山技術開発財団常務理事)

南日 康夫 (工業技術センター所長・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11年3月12日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。