

昭和62年度

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

昭和63年3月24日(木)

於：富山第一ホテル

若い研究者を育てる会

ごあいさつ

会長 飴 久晴

本会が十三社の県内企業と、富山県工業技術センター並びに富山大学、富山技術短大の御支援を頂き発足致しましたのが、昨年一月でございます。

企業の規模や経営理念、又は業際の垣根を超え、企業の第一線研究者がそれぞれの研究テーマに取組み、学会発表や特許出願に漕ぎ着けた事は素晴らしい成果でございます。

特にご尽力賜りました、富山県工業技術センターの皆様方には厚く御礼申しあげます。

又本会の事業活動を耳にされた日本I・B・M富山営業所長様から富山進出二十五周年記念事業の一つとして、本会発展のために二百万円のご寄付を賜りましたことも、発足して間もない私共にとりましては、大きな喜びでございます。

これからは、より多くの企業にご参加頂けるよう努力致し、会の主旨であります、「若い研究者」が大きく羽翼いて、産業発展の中核を担う人々が輩出するであろうことを念じております。



研究の概要

研究幹事 工学博士 谷野克巳

本書は、「若い研究者を育てる会」に参加する企業の研究者が3つの研究課題とグループを定め、昭和62年4月から富山県工業技術センター富山研究所を研究場所として実施してきた研究の内容をまとめたものであり、それぞれの研究の概要は次のようなものである。

第一グループの研究報告においては、「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ー」として、樹脂と金属の複合材を取上げ、高耐熱性のエンジニアリングプラスチックであるポリイミド系樹脂にアルミや銅粉末などを配合してホットプレス成形した材料の機械的、熱的性質に検討を加えた結果、ならびにこれらの材料を用いて金型を試作し、実際にプラスチックを射出成形した結果などについて述べている。

第2グループの研究報告においては、「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ーの開発ー」として、金属酸化物材料の電子デバイスへの適用を取上げ、種々の金属酸化物（セラミックス）の単結晶および薄膜を作製し、これらデバイスの電気、磁気、光学的な性質に検討を加えた結果、ならびにこれらを中高温用サーミスターとして用いる場合の温度計回路に検討を加えた結果などについて述べている。

第3グループの研究報告においては、「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ー」として、看護ロボット知能化を取上げ、DCサーボモータ、超音波モーターおよび形状記憶合金などをアクチュエータとした自由度7のロボット用アームに試作検討を加えた結果、ならびに試作したアームをフレキシブルにドライブさせるためのコンピュータ制御システムに検討を加えた結果などについて述べている。

以上、本書は3つの独立した研究課題と結果から構成されており、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会の参加企業ならびに本県産業の化学技術向上と発展のために十分に役立つものであることを確信すると共に、本会が更に発展、飛躍することを期待する。

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

昭和63年3月

研究グループの構成

1. 「複合材料の開発」グループ

竹本 要一 (株タカギセイコー)
田上 輝次 (東洋化工株)
長柄 勝 (長柄鉄工株)
中川 章 (工業技術センター)
松本 岩男 (")
土肥 義治 (")

2. 「酸化物単結晶の作製とその応用開発」グループ

加藤 昌憲 (日本鋼管株)
滝川 義弘 (燐化学工業株)
岡崎 誠一 (北陸電気工業株)
堀田 孝章 (立山科学工業株)
二口 友昭 (工業技術センター)
高林 外広 (")

3. 「フレキシブルハンドの開発」

山田 俊一 (エルコー株)
滝森 幸浩 (タカノギケン株)
石崎 浩 (")
茨木 正則 (北日本電子株)
西田 信孝 (株タカギセイコー)
藤城 敏史 (工業技術センター)
角崎 雅博 (")
中川 章 (")
吉田 勉 (")

研究統括

谷野 克巳 (工業技術センター)

目 次

I. 複合材料の開発	1
－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－	
1. 緒　　言	2
2. アルミ、銅、ポリイミド樹脂複合材料	2
3. アルミ合金、ポリイミド樹脂複合材料の機械的特性	8
4. 各種材料のフィールドテスト	15
5. 結　　言	19
II. 金属酸化物単結晶の作成とその応用開発	21
－中高温用サーミスターの開発－	
1. 緒　　言	22
2. パルク型（焼結体、単結晶）サーミスターの検討	23
3. 薄膜サーミスターの検討	29
4. 素子の実装及び測定装置	35
5. 結　　言	37
III. フレキシブルハンドの開発	38
－介護ロボット用アームの試作－	
1. 緒　　言	39
2. ロボットハンドの構造	39
3. ロボットハンドの制御	50
4. 結　　言	56

正誤表

I. 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—

Development of Composite Materials

— Application of metal powder-resin composites for mold of simple injection forming —

Abstract

An investigation was carried out to develop the metallic powder and resin composites which have excellent stabilities against high temperature and mechanical stress when they are applied as molds for injection forming.

Recently, the resin composites have been developed to substitute conventional metallic molds for molds of injection forming. The resin composites currently available are practically used even though there remains several defects in its heat resistance or operating characteristics.

Generally, epoxy resin and metallic powder are used as conventional resin composites. But the mechanical strength of epoxy resin tends to drop remarkably at the temperature above 120°C. It is difficult to prepare practical resin composite of high heat endurance and high mechanical strength. So the authors carried out several investigation in order to develop the resin composite as substitute for conventional molds. The characteristic of many kinds of mold materials, polyimide resin modified epoxy resin - the former show shigh heat resistance - when they are baked at the temperature above 200°C are declared.

The methods of analysis adopped in this study are thermal analysis, mechanical analysis and SEM analysis. The authors also examined the relations between combination of several kinds of materials and their thermal abilities, mechanical abilities. As the result, the developed resin composites have the excellent charateristics for molds of injection forming. In this paper the study is described as follows;

Chapter 2,3: the characteristics of the resin composites are shown,

Chapter 4: the applications of the developed resin composites are described.

1. 緒 言

最近の金型は、製作技術の進歩や材料、部品などの標準化により、かなり合理化されてきた。しかし、ニーズの多用化を受けて、多品種少量生産に対応できる金型の低価格化、製品開発の短期化、試作段階での機密保持などの要望が増大しており、プラスチックス射出成形用簡易金型の需要は拡大している。

このような背景から各種の簡易金型が開発されており、その中でも、金属粉末と樹脂を混合して作る方法は、試作成形品を作る場合にモデルから直接型取りできるため、納期的、経済的にも有利で、各方面で多用されている。しかし、これら金型に使用されている樹脂がエポキシ系であるため、プラスチックスの成形時に高熱、高圧を受ける射出成形用としては寿命が短く、使用するためには高度の技術を必要としている。

本研究ではこれらの問題点を改善するため、高耐熱性および高強度などを兼備したエンジニアリングプラスチックスとして注目されているポリイミド樹脂を母材として、工業的に大量かつ低価格供給可能なアルミニウムアトマイズ粉末と電解銅粉末とを複合させた材料について、成形条件および機械的性質などについて検討した。つぎに、アルミニウム合金アトマイズ粉末を用いて高強度材料を得るための諸条件について検討した。また、本研究で開発した材料を使用した射出成形用金型によるフィールドテストを実施し、寿命特性及び本材料を使用する場合の金型設計方法について検討を加えた。その結果、射出成形用簡易金型材料として有用な成果が得られたので、その概要について述べる。

2. アルミ、銅、ポリイミド樹脂複合材料

一般的な樹脂複合金型製作法は、液状の樹脂と金属粉末を混合した材料を、枠組みされたモデル型に流し込む注型法である。この方法では、材料の粘度を下げるためには、金属粉末の配合量には制限があり、さらに、転写精度、強度向上を目的にした脱泡作業が必要であるため、取扱が不便である。そこで、本研究では、材料を加熱圧縮するホットプレス法を採用した。

ここでは、ホットプレス法の成形条件を求めるために、アルミニウムアトマイズ粉末と電解銅粉による成形条件と機械的特性値などの関係について検討した。

2. 1 試料の製作および実験方法

本研究に用いたアルミニウム粉末は、平均粒径が $80\sim150\mu\text{m}$ 前後のアトマイズ粉末である。また、銅粉には平均粒径が $12\mu\text{m}$ 前後の電解銅粉を用いた。ポリイミド系樹脂には、付加重合型ポリイミド樹脂($n=2\sim3$ のプレポリマー)とビスフェノールA型エポキシ樹脂とを反応させたプレポリマー粉末を用い、プレポリマー粉末の3次元網目構造重合硬化触媒などにはアルミキレー

トを用いた。このプレポリマーは70～110°Cで軟化し、140～250°Cで完全硬化する性質を持っている。

つぎに、成形条件を求める試料粉末として、アルミニウム粉末と樹脂粉末を用い、その混合比は離型性、成形性の観点からアルミニウム粉末=70 vol%、樹脂粉末=30 vol%とした。また、機械的特性値向上を求めるための試料粉末として、アルミニウム粉末および銅粉末の金属粉末と樹脂粉末を用い、その混合比は樹脂粉末=40 vol%、金属粉末=60 vol%とし、金属粉末における銅粉末の割合を0、25、50、75、100 vol%に変化させた。

試料粉末は、これらの混合比のものにアルミキレートを0.1 wt%程度添加し、ボールミルを用いて均一に混合した。

このようにして得られた試料粉末は、ホットプレスを用いて加熱成形し、特性評価用試料とした。ホットプレスはプレス用金型にバンドヒータを巻き、温度コントローラで金型温度を制御しながら圧縮成形する構造とした。図1は成形方法の一例を示す。

ホットプレスによる試料の成形条件は、金型温度：230～250°C、保持時間：15分である（実際には、加圧状態のまま常温から所定温度まで約1時間の昇温操作を行なっている）。また、成形圧は特性値向上用試料粉末の場合には2 Kgf/mm²とした。なお、このようにして得られた試料の寸法は、Φ70 mm×10～20 mmである。

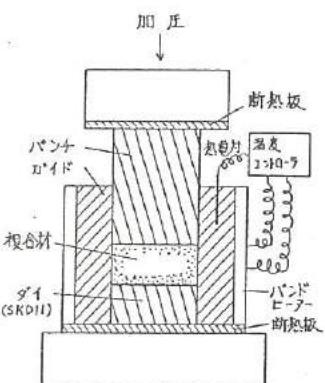


図1 ホットプレスによる成形方法

試料の特性評価は、成形収縮率、比重、ロックウェル硬さ、引張りおよび曲げ強さ、圧縮耐力、熱膨張率などから行い、試料はそれぞれの評価に応じて所定の寸法に機械加工するものとした。また、試料数nはそれぞれの評価に対して5とし、特性値は測定値の平均値とした。なお、圧縮耐力は0.2%永久変形歪み発生における強度とした。

2. 2 実験結果および考察

(1) 成形圧と各特性値の関係

図2は、成形圧1および6 Kgf/mm²でのアルミ・ポリイミド樹脂複合材の断面の一例を示す。白い部分がアルミ、黒い部分が気泡で残部が樹脂である。図より、いずれもアルミ材は均一に分散している。また、これらの断面図を画像処理してアルミ、樹脂の面積率を求めた結果、混合比に近い値を示し、均一に成形されていることを示す。

Fig. 1 Molding method by hot press.

図3は成形圧と各強さの関係を示す。いずれの強さも成形圧が高くなるにつれて増加しており、増加率は成形圧 $1 \sim 2 \text{Kgf/mm}^2$ の間で高い。これは、加圧時にアルミニウム粉末の粒界に樹脂が十分に充填されることによるもので、後述する成形圧と充填率の関係とよく一致している。

図4は成形圧と充填率（粉末の混合比から計算により求めた比重に対する成形品比重の割合）および表面あらさの関係を示す。充填率は成形圧の増加に従って高くなり、成形圧 4Kgf/mm^2 以上では95%と一定になる。また、表面あらさは成形圧 2Kgf/mm^2 で急激に向上し、その後成形圧を高くしても変化は少ない。このことから、成形圧が 2Kgf/mm^2 では、成形品表面の脱泡が進み、粒界表面の気泡がほとんど抜け切るものと思われる。

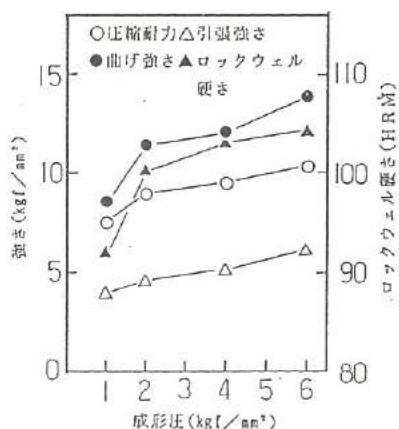


図3 成形圧と各強さの関係
(Al 70 vol%, 樹脂 30 vol%)
Fig. 3 Relation between molding pressure and various strength.
(Al 70 vol.%, resin 30 vol.%)

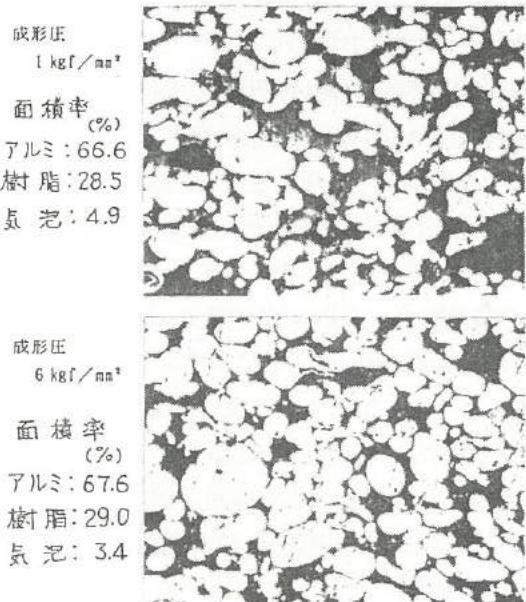


図2 アルミ・ポリイミド樹脂複合材断面
Fig. 2 Photographs of al powder-poryimde sesin com

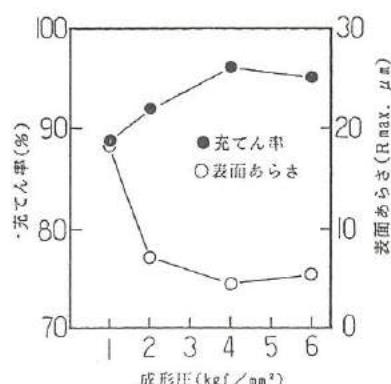


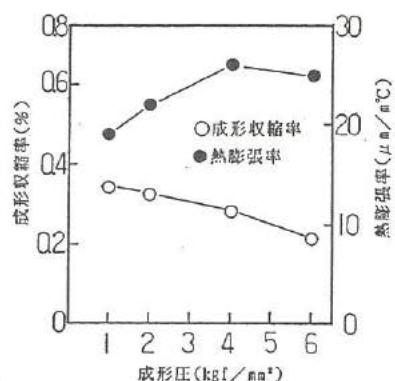
図4 成形圧と充填率および表面あらさの関係
(Al 70 vol%, 樹脂 30 vol%)
Fig. 4 Relation between molding pressure and packing rate or surface roughness.
(Al 70 vol.%, resin 30 vol.%)

図5は成形圧と成形収縮率及び熱膨張率の関係を示す。いずれも成形圧の増加に対して変化は見られず、成形収縮率は約0.4%、熱膨張率は約 $25\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ である。

以上の結果より、成形圧はモデルから型取りする場合、できるだけ抑えるという観点から $2\text{Kgf}/\text{mm}^2$ が最適であると考えられる。

図5 成形圧と成形収縮率および熱膨張の関係
(Al 70 vol%, 樹脂 30 vol%)

Fig. 5 Relation between molding pressure and mold shrinkage factor or rate or thermal expansion.
(Al 70 vol. %, resin 30 vol. %)



(2) 金属粉末の混合比と各特性値の関係

図6は金属粉末の銅含有率50 vol%複合材断面の顕微鏡写真の一例を示す。図より、それぞれの粉末はほぼ均一に分散し、結合していることがわかる。

図7は金属粉末の銅含有率と各強さの関係を示す。図より各強さは、銅含有率が高くなるにつれて向上する傾向にあるが、銅単体では、急激に低下している。この原因としては、銅粉末の粒径がアルミニウム粉末に比べてかなり小さいため、銅含有率が低い場合は、成形による軟化時に銅粉末が樹脂と共に流動し、粒径の大きいアルミニウム粒界へ均一に充填強化される。

しかし、銅単体では粉末の流動が少なくなり、分散が悪くなることと、電解銅粉特有の深い溝に樹脂が進入できず、接着を悪くしていることが考えられる。

図8は金属粉末の銅含有率と充填率および表面あらさの関係を示す。図より、充填率は銅の含有率が高くなるにつれて低くなっている。これは、さきに述べた銅粉末の表面性状により十分脱泡できなかったためと思われる。一方、表面あらさは、銅の含有率が50 vol%以上で $R_{\max} 5\mu\text{m}$ と一定であり、アルミニウム単体より向上している。

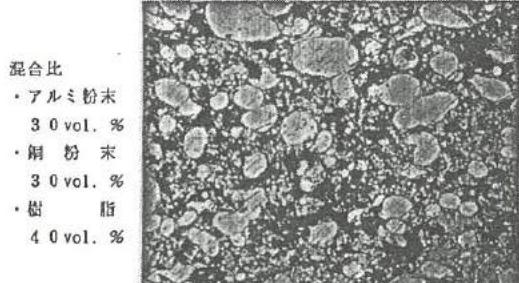


図6 アルミ・銅・ポリイミド樹脂複合材断面
Fig. 6 Photograph of aliminum and copper powder-poryimde resin composites.

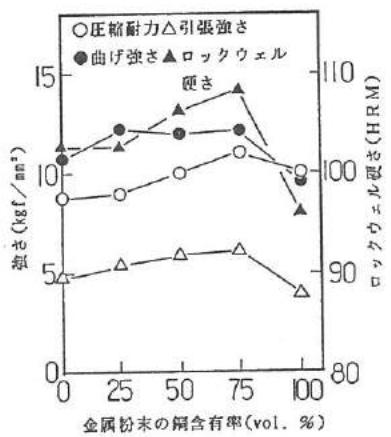


図7 金属粉末の銅含有率と各強さの関係
(金属粉末60 vol%, 樹脂40 vol%)

Fig. 7 Relation between copperpowder powder content in metal powder and various strength.
(metal powder 60 vol.%, resin 40 vol.%)

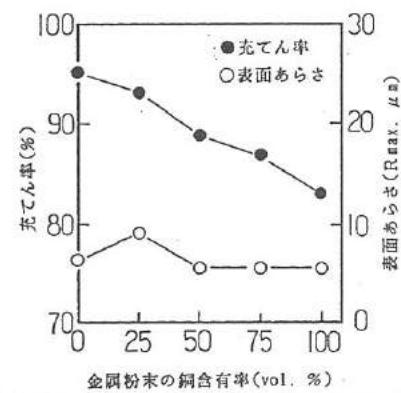


図8 金属粉末の銅含有率と充填率および表面あらさの関係 (金属粉末60 vol%, 樹脂40 vol%)

Fig. 8 Relation between copperpowder content in metal powder and charging rate or surface roughness.
(metal powder 60 vol.%, resin 40 vol.%)

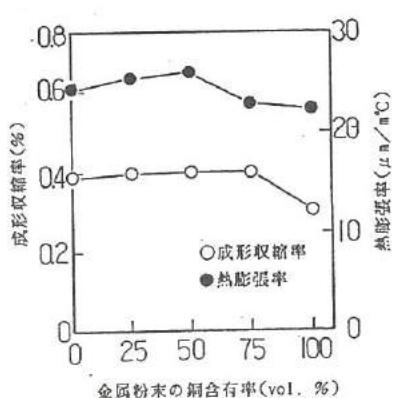


図9 金属粉末の銅含有率と成形収縮率及び熱膨張率の関係 (金属粉末60 vol%, 樹脂40 vol%)

Fig. 9 Relation between copper powder content in metal powder and mold shrinkage factor or rate of thermal expansion.
(metal powder 60 vol.%, resin 40 vol.%)

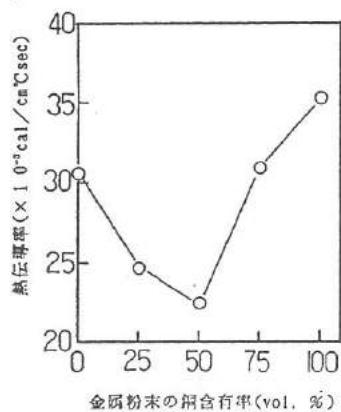


図10 金属粉末の銅含有率と熱伝導率の関係 (金属粉末60 vol%, 樹脂40 vol%)

Fig. 10 Relation between copper powder content in metal powder and thermal conductivity.
(metal powder 60 vol.%, resin 40 vol.%)

図9は金属粉末の銅含有率と成形収縮率および熱膨張率の関係を示す。図より、いずれも銅の含有率に関係なくほぼ一定の値を示した。これは熱膨張率が金属に比べ樹脂の方が大きく、樹脂の比率が一定であったことによるものと思われる。

図10は金属粉末の銅含有率と熱伝導率の関係を示す。図より、熱伝導率は、銅含有率の増加に従って、50 vol%まで低下しているが、その後急激に向かっている。この原因として、銅の熱伝導率はアルミニウムの約2倍であり、銅含有率が高くなれば複合材の熱伝導率は向上し、気泡が多くなれば複合材の熱伝導率は低下すると考えられる。これらのことより、熱伝導率の変化を推察すると、銅含有率が50 vol%までは気泡の影響を強く受けるが、それ以上になると銅の熱伝導率の影響を強く受けることが考えられる。

以上の結果から、混合比がアルミニウム粉末=15 vol%、銅粉末=45 vol%、樹脂粉末=40 vol%の複合材料は、機械的強度および熱伝導度が高く、射出成形用簡易金型材料として最適であると思われる。表1は本研究で開発した材料と、市販のエポキシ樹脂を母材にした材料の特性値比較の一例を示す。表より、本材料を使用することにより、モデル材に強度の制限はあるが、複合材の成形時間が短いため、納期の短縮が図れる。また、熱膨張率、熱変形温度ならびに熱伝導率が大幅に改善されているので、射出成形のショット間隔が短縮できる。

表1 ポリイミド樹脂複合材とエポキシ樹脂複合材の特性値比較

Table 1 Characteristic date of polyimide resin based composite
and epoxy based composite.

材料	変性ポリイミド 40 vol% アルミ粉末 15 vol% 銅 粉 末 45 vol%	エポキシ (市販品) アルミ粉末
成形方法	ホットプレス法	注型法
成形時間	1~3 時間	約14時間
モデル材条件	耐圧2kgf/mm ² 以上 耐熱250°C以上	耐圧 木型 可 耐熱 室温
引張強さ (kgf/mm ²)	6	6
曲げ強さ (kgf/mm ²)	12	10
圧縮耐力 (kgf/mm ²)	11	10
硬さ (HRM)	108	105
熱膨張率 (μm/m°C)	23	40
熱変形温度・DMA (°C)	170	100
成形収縮率 (%)	0.4	0.4
熱伝導率 (Cal/cm·°C·sec)	31.8 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³

しかし、機械的強度は樹脂強度（引張強さ：6～7Kgf/mm²）に比べあまり向上していない。そこで、つぎに強度を向上させる要因について実験を進めた。

3. アルミ合金・ポリイミド樹脂複合材料の機械的特性

最近、各分野において樹脂複合材料、ハイブリッド材料がにわかに注目されている。これは、機器の小型化、軽量化や高性能化への取り組みにともなって、金属代替材料として採用されたエンジニアリングプラスチックに機械強度、耐熱性、ならびに摺動特性等の特性強化と改良がより一層強く求められてきていることによる。これには、樹脂ブレンドなど各種基材にフィラーなどを配合した高性能複合材料の開発によるアプローチが効果的なものとされている。

ここでは、さきに述べた複合材料の機械的強度を支配すると考えられる金属粉末の特性を粒径（粒度分布）、粒体強度（金属粉種類）ならびに界面結合（表面処理）の観点から、各種アルミニウム合金アトマイズ粉末を用いて複合材の特性値に及ぼす影響について検討した。

その結果、金属粉末と樹脂との圧縮成形体である複合材料を開発する過程において金属粉末特性の効果を明らかにするとともに、複合材料としての機械的強度等の特性値も向上したので、その内容を報告する。

3. 1 試料の製作および実験方法

複合材の主成分である金属粉末としては、工業用純アルミニウムA1050、Al-Si系アルミニウム合金A4043、およびAl-Zn系アルミニウム合金A7075の3種の粉末を、それぞれ0～32、32～62、62～124μmの粒径に分級調整して用いた。A1050は、光の反射性、電気や熱の伝導性が高く、加工性に優れているが、機械的強さが低いとされており、粉末硬さはHMV44であった。A4043は、鋳造性、溶接性がよく、鋳物用合金や溶接棒、電極ワイヤとして使用されることが多く、色調が灰黒色を呈しており、その粉体硬さはHMV103であった。また、A7075はアルミニウム合金中もっとも強度が高く、その硬さはHMV110であった。一方、樹脂は前章のポリイミド系プレポリマー粉末を用い、金属粉末の表面処理法としては、界面結合、改質の促進助剤であるアミノシラン系カップリング剤を用いた。

表2はカップリング剤の特性を示す。この種のカップリング剤は分子中に有機材料と親和性のある有機官能基(NH₂-)と無機材料と親和性のある加水分解基(-OC₂H₅)をもつ有機ケイ素化合物である。

表2 カップリング剤の特性

Table 2 Characteristic of coupling agent.

適用樹脂	名称及び構造	性状	比重
ポリイミド樹脂 エポキシ樹脂	アーミノプロピルトリエトキシシラン H ₂ N(CH ₂) ₃ Si—(OCH ₂ CH ₃) ₃	液体	0.94

試料粉末の作製方法は、金属粉末に対して 1.2 wt% のカップリング剤を 10 倍の酢酸エチルで希釈調整し、この溶液を金属粉末に適下混合した後、80～100°C の温度で乾燥することで表面処理とした。このようにして得られた金属粉末に樹脂粉末を混合比で 40 vol% 加えて前章と同様にボールミルを用いてさらに混合した。この試料粉末を前章の図 1 の方法で加熱圧縮成形し、複合材の特性値評価用の試料とした。表 3 は成形条件を示す。

成形実験は、三元配置法の実験計画により、表 4 に示す各因子の組み合わせごとに 2 回ずつ繰り返す方法を採用した。複合材の特性評価は、充填率、硬さ、圧縮耐力、引張り強さ、曲げ強さ、ならびに熱伝導率の各特性値などから行い、試験用試料は、それぞれの評価に応じて所定の寸法に機械加工した。また、金属粉末の充填、結合状態、分級粒径の一次粒子およびそれに付着した凝聚粒子の状態、粉末形状などを SEM で観察した。

表 3 成形条件

Table 3 Molding condition by hotpress.

試料寸法	$\phi 70 \times 10 \sim 12 \text{ mm}$
成形圧力	4 kgf/mm ²
金型温度 及び 保持時間	$250 \pm 5^\circ\text{C}$ 、 15 min (加圧状態で常温から 250°C まで約 1 時間の昇温操作)

表 4 要因及び水準

Table 4 Factor and levels.

要因	水準		
	1	2	3
粒体強度 (金属粉種類)	HMV 44 (A1050)	HMV 103 (A4043)	HMV 110 (A7075)
粒径(μm)	~ +32	-32 ~ +62	-62 ~ +124
表面処理	未処理(0%)	処理(1.2%)	—

3. 2 実験結果および考察

(1) 金属粉末の要因と充填率の関係

表 5 は成形品の充填率を特性値とした分散分析結果を示す。表より、充填率に対する主効果としては、金属粉末の種類（粒体強度）と粒径とが大きな影響を持つとともに、金属粉末の種類と粒径の交互作用にも影響されることが明らかである。図 11 はこの 2 因子の組み合わせ条件における平均値を示す。図より、充填率は粒径が大きくなるにつれて高くなる傾向にあるが、

表 5 充填率を特性値とした分散分析結果

Table 5 Result of analysis of variance
packing rate.

要因	変動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F _s
A ; 金属粉種類	78.66	2	39.33	819.4 **
B ; 表面処理	0.13	1	0.13	2.71
C ; 粒径	3.78	2	1.89	39.4 **
A X B	0.43	2	0.22	4.58*
A X C	4.70	4	1.18	24.6 **
B X C	0.21	2	0.11	2.29
A X B X C	0.97	4	0.24	5.0 **
E	0.87	18	0.048	
計	89.75	35		

A4043合金粉末の場合は他の金属粉末に比べてあまり変化は見られない。また、表面処理の効果については、特に有意差は認められなかった。

図12は62~124μmに分級した金属粉末のSEM観察写真を示す。図より、いずれも中心粒径は均一であると思われる。しかし、A4043合金粉末については、分級粒径の一次粒子に凝集粒子が数多く介在している。このため、試料の加熱圧縮成形時に、樹脂分の細部への流動と薄膜状の伸展が凝集粒子により阻害され、充填率が向上しなかったものと考えられる。

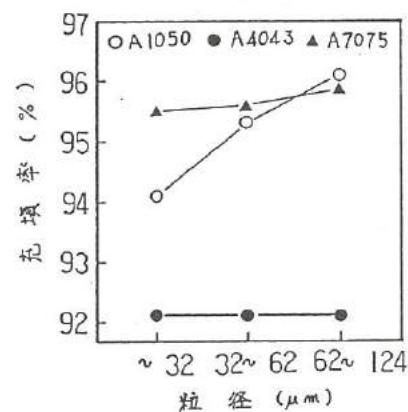


図11 粒径と充填率の関係

Fig. 11 Relation between particle size and packing rate.

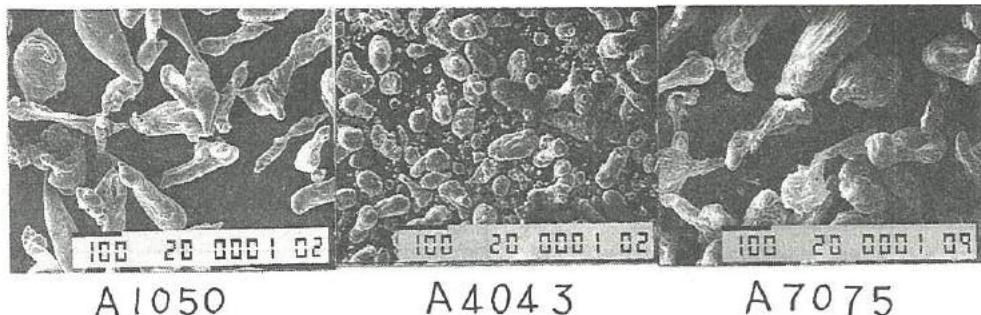


図12 アルミ合金粉末のSEM観察

Fig. 12 Scanning electron micrographs of aluminum alloy powders.

(2) 金属粉末の要因と硬さおよび圧縮耐力の関係

表6および表7は、試料の硬さと圧縮耐力を特性値とした分散分析結果を示す。両表より、硬さと圧縮耐力の特性値に対する主効果としては、いずれも金属粉末の粒体強度に大きな影響を受け、粒径も有意と判定できる。

表6 硬さを特性値とした分散分析結果

Table 6 Result of analysis of variance on hardness.

要因	変動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F ₀
A: 金属粉種類	1850.90	2	925.45	6706.2*
B: 表面処理	0.07	1	0.07	0.51
C: 粒径	21.78	2	10.89	78.91*
A X B	0.54	2	0.27	1.96
A X C	6.12	4	1.54	11.16*
B X C	0.43	2	0.22	1.59
A X B X C	1.99	4	0.50	3.62*
E	2.48	18	0.138	
計	1884.31	35		

図13および図14は、この2因子の組み合わせ条件と特性値(平均値)の関係を示す。図より、A4043・樹脂複合材の硬さはHRM121と一番高い値を示し、次いでA7075・樹脂複合材料がHRM118、A1050・樹脂複合材料がHRM105であり、成形前の粉末硬さの順位と変動している。

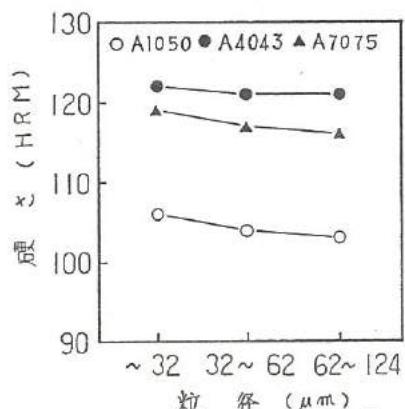


図13 粒径と硬さの関係

Fig. 13 Relation between particle size and hardness.

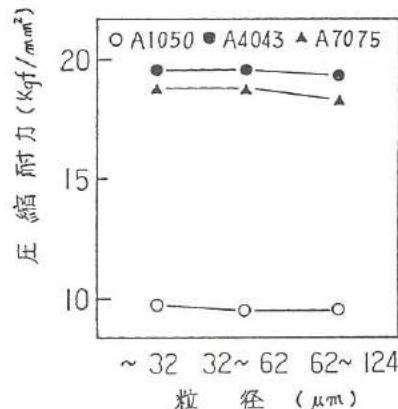


図14 粒径と圧縮耐力の関係

Fig. 14 Relation between particle size and compressive proof strength.

表8は成形前後での粉末の硬さを示す。表より、A4043合金粉末の硬さはHMV121と向上しており、加熱圧縮成形により時効硬化したと考えられる。このことから、複合材の硬さと圧縮耐力は金属粉末の強さに大きく依存し、強度の向上を図ることが可能である。

粒径による効果としては、各強度は粒径が小さくなるにつれて向上している。これは、金属組織の微細化にともなう強度向上と同様の現象と思われる。また、表面処理による効果は認められない。

表7 圧縮耐力を特性値とした分散分析結果

Table 7 Result of analysis of variance on compressive proof strength.

要因	変動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F _e
A; 金属粉種類	633.19	2	316.60	3332.6 **
B; 表面処理	0.14	1	0.14	1.47
C; 粒径	2.60	2	1.30	13.7 **
A X B	0.43	2	0.22	2.32
A X C	2.14	4	0.54	5.68 **
B X C	1.92	2	0.96	10.1 **
A X B X C	4.37	4	1.09	11.5 **
E	1.71	18	0.095	
計	646.50	35		

表8 金属分体の硬さ

Table 8 Hardness of metal powders.

金属粉種類	加熱圧縮成形前	加熱圧縮成形後
A1050	HMV 44	HMV 44
A4032	HMV 103	HMV 121
A7075	HMV 110	HMV 191

(3) 金属粉末の要因と引張りおよび曲げ強さの関係

表9および表10は試料の引張り強さと曲げ強さを議性値とした分散分析結果を示す。表より、引張り強さに対する主効果としては、表面処理の有無と粒径が有意と判定できる。また、曲げ強さに対する主効果も同様であると同時にそれぞれ

の交互作用も影響があるものと判断できる。なお、粉体強度変化による各強さの影響は認められなかった。

図15および図16はこの2因子の組み合わせ条件と特性値(平均値)の関係を示す。図より、引張り強さ、曲げ強さのいずれも粒

表9 引っ張り強さを特性値とした分散分析結果

Table 9 Result of analysis of variance on tensile strength.

要 因	変 動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F _e
A ; 金属粉種類	0.46	2	0.23	0.64
B ; 表面処理	2.83	1	2.83	7.88 *
C ; 粒 径	3.29	2	1.65	4.60 *
A X B	1.00	2	0.50	1.39
A X C	1.79	4	0.45	1.25
B X C	2.24	2	1.12	3.12
A X B X C	0.21	4	0.05	0.14
E	6.47	18	0.359	
計	18.29	35		

表10 引っ張り強さを特性値とした分散分析結果

Table 10 Result of analysis of variance on bending strength.

要 因	変 動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F _e
A ; 金属粉種類	0.90	2	0.45	1.62
B ; 表面処理	4.91	1	4.91	17.7 **
C ; 粒 径	9.91	2	4.96	17.9 **
A X B	1.71	2	0.86	3.10
A X C	4.35	4	1.09	3.91*
B X C	8.60	2	4.30	15.5 **
A X B X C	3.30	4	0.83	3.00*
E	4.99	18	0.277	
計	38.67	35		

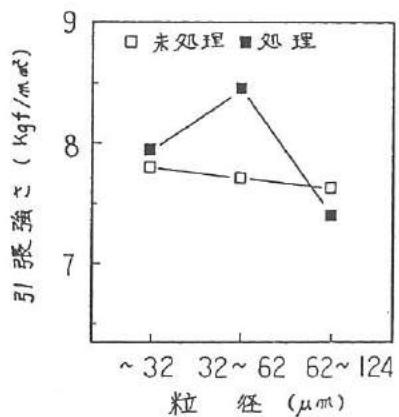


図15 粒径と引っ張り強さの関係

Fig. 15 Relation between particle size and tensile strength.

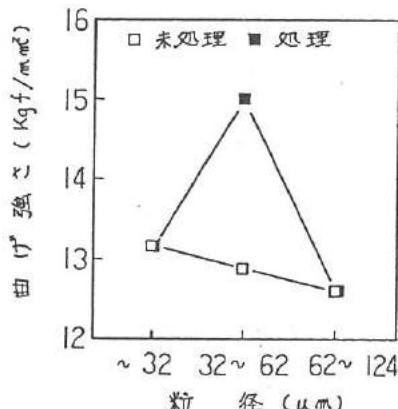


図16 粒径と曲げ強さの関係

Fig. 16 Relation between particle size and bending strength.

径が大きくなるにつれて低下する傾向にあるが、粒径が $3.2 \sim 6.2 \mu\text{m}$ のものではカップリング剤による表面処理の効果が著しく現れ、非常に高い値を示している。図17はこの粒径におけるA7075・樹脂複合材破断面のSEM観察写真を示す。図より、未処理金属粉末を用いた破断面には、樹脂と金属粉末間に剥離による空隙が存在し、金属粉末の表面が多く見られる。一方、表面処理粉末を用いた場合は、破断面には金属粉末表面が認められず、樹脂と金属粉末との界面結合が促進し、密着性が向上しているものと推察され、この界面結合の向上が、機械的強度を高めたものと考えられる。

図18は各種金属粉末の表面処理の有無と引張り強さの関係を示す。図より、表面処理効果については金属粉末の種類によって差がみられ、工業用純アルミニウムA1050においては、その効果が著しい。

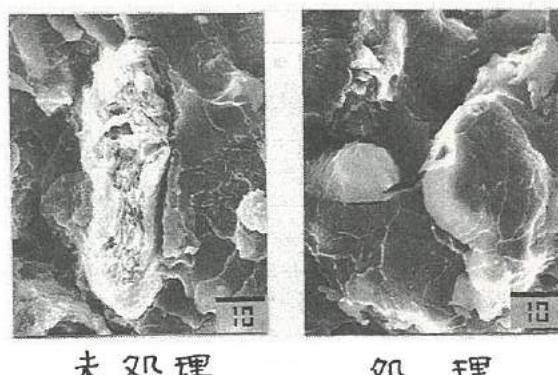


図17 複合材引張破断面のSEM観察

(A7075アルミ合金60VOL%、樹脂40VOL%)

Fig. 17 Scanning electron micrograph of rapture cross-section of composites after tensile test.
(A7075 Al-alloy 60 vol%, resin 40 vol%)

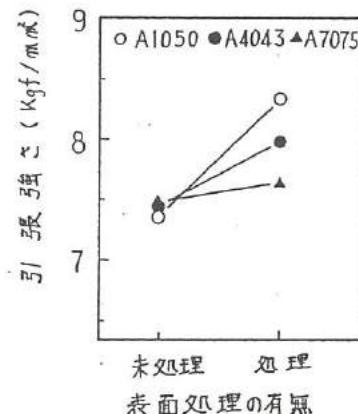


図18 表面処理の効果

Fig. 18 Effect of surface treatment.

(4) 金属粉末の要因と熱伝導率の関係

表11は試料の熱伝導率を特性値とした分散分析結果を示す。表より、熱伝導率の主効果としては、金属粉末の種類、粒径、表面処理の何れもが大きな影響を持ち、それぞれの交互作用も影響があるものと認められる。

図19および図20は金属粉末の種類と粒径、表面処理の有無と粒径の2因子を組み合わせた条件と熱伝導率（平均値）の関係を示す。図19より、熱伝導率は粒径が大きくなるに従って高くなる傾向にあるが、A4043においては変化はあまり見られない。これは、充填率の場合の結果に

近い傾向を示している。また、図20より、表面処理による熱伝導率の影響は、粒径が大きくなるにつれて大きくなるが、表面処理は熱伝導率を低下させている。これは、未処理金属粉末を用いた場合、樹脂は成形時に金属粉末間で遮断され、金属粉末相互の直接接觸面が多くなるが、処理粉末を用いた場合は、図17の破断面SEM観察で認められたとおり、樹脂は金属粉末間を薄膜状に伸展し、金属粉末の直接接觸を抑制するためと考えられる。

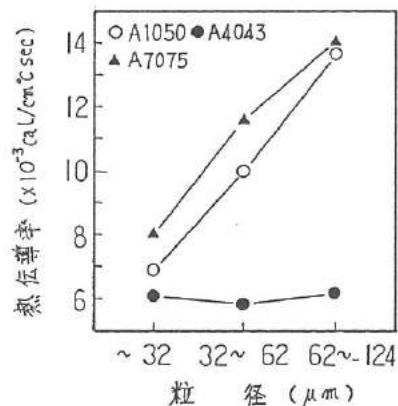


図19 各種金属における粒径と熱伝導率の関係

Fig. 19 Relation between particle size and thermal conductivity of several metal powders.

表11 熱伝導率を特性値とした分散分析結果

Fig. 11 Result of analysis of variance on thermal conductivity.

要因	変動 (s.s.)	自由度 (d.f.)	不偏分散 (m.s.)	F _s
A ; 金属粉種類	402.07	2	201.04	80.9 **
B ; 表面処理	54.51	1	54.51	21.9 **
C ; 粒径	251.63	2	125.82	50.6 **
A X B	28.37	2	14.19	5.71*
A X C	122.46	4	30.62	12.3 **
B X C	37.06	2	18.53	7.45**
A X B X C	57.26	4	14.32	5.76**
E	44.75	18	2.486	
計	998.11	35		

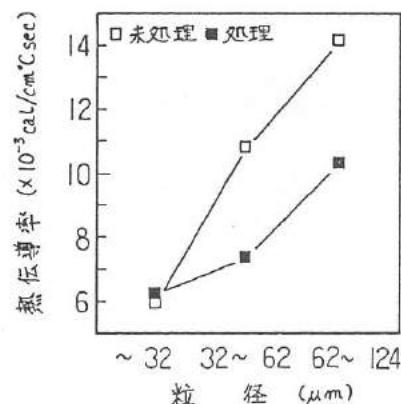


図20 表面処理の有無による粒径と熱伝導率の関係

Fig. 20 Relation between particle size and thermal conductivity of surface treatment sample and untreatment sample.

(5) 確認実験

前述の実験結果より、各機械的特性が向上する条件として、粒径32~60 μmのA7075アルミニウム合金粉末を選定し、表面処理をした後、プラスチック射出成形用簡易金型を試作した。表12はこの複合材の特性値を示す。表より、いずれの特性値も前章で述べたアルミ・銅・ポリイミド樹脂複合材に比べ大幅に向上了している。

次に、A7075アルミニウム合金粉末の粉体強度と類似した銅合金粉を用いて、金属粉末特性効果の確認実験を実施した。表13はその特性値を示す。表より、機械的特性値はA7075アルミニウム合金複合材に近い値を示している。しかし、充填率および熱伝導率は低い。また、図21は銅合金粉末のSEM写真を示す。図より、この粉末はアルミニウム系粉末と異なり、微細な枝状の形状をしており、圧縮成形した場合、空隙が多くなり充填率を低下させたものと考えられる。

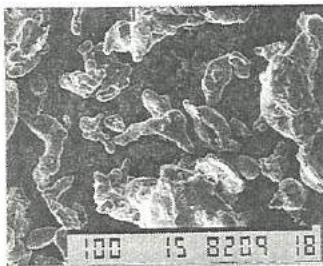


図21 銅粉末のSEM観察

Fig. 21 Scannig electron micrograph of copper alloy powder.

表12 A7075アルミニウム合金・ポリイミド樹脂

複合材の特性値

Table 12 The several value of A7075 Aluminum alloy-polyimide resin composite.

複合材料	充填率 (%)	硬さ (HRM)	曲げ強さ (kgf/mm ²)	引張り強さ (kgf/mm ²)
A7075 (-32 ~ +62 μm)	79	118	16	9.5
	比重	圧縮強さ (kgf/mm ²)	曲げ弾性率 (kgf/mm ²)	熱伝導率 (Cal/cm·°C·sec)
	3.35	19	700	0.0061

表13 銅合金・ポリイミド樹脂複合材の特性値

Table 13 The several values of copper alloy-polyimide resin composite.

複合材料	表面処理	充填率 (%)	硬さ (HRM)	曲げ強さ (kgf/mm ²)	引張り強さ (kgf/mm ²)
銅合金	未処理	78	116	11	6.5
	処理	79	118	16	9.5
Cu 86 Fe 3 Al 8.5 Mn 1.25 Ni 1.25 %	表面処理	比重	圧縮強さ (kgf/mm ²)	曲げ弾性率 (kgf/mm ²)	熱伝導率 (Cal/cm·°C·sec)
	未処理	3.31	18	750	0.0069
	処理	3.35	19	700	0.0061

4. 各種材料のフィールドテスト

簡易金型材料の評価には、寿命特性も大きな要因である。このため、ここでは材料開発の途中で各種材料による複合材金型をプラスチック射出成形用金型に組み込み、成形による寿命特性、ならびに、複合材金型を有効に利用するための金型設計方法について検討した。

4. 1 アルミニウムおよび銅・ポリイミド樹脂複合材金型

(1) 金型の製作および実験方法

金属粉末には、第2章で使用したアルミニウムアトマイズ粉末と電解銅粉を使用し、それぞれ単独で樹脂と混合した。これらの樹脂比率はアルミニウムの場合には30 vol%とし、銅の場合には40 vol%とした。

図22はモデルの形状を示し、それぞれの寸法は射出成形用材料の収縮率およびホットプレス時の複合材の収縮率などから求めた。ホットプレスによる成形方法は図1と同様とし、モデルはダイに2本のネジで取り付けた。また、ホットプレス用金型材料には、S55Cの未熱処理材を使用した。図23は成形手順を示す。成形した複合材料の寸法は $\phi 140 \times 20\text{ mm}$ であり、成形条件は、成形圧=2Kgf/mm²、成形温度=230~250°C、保持時間=30分および成形時間=約2時間である。

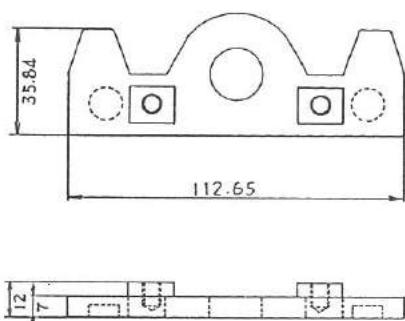


図22 モデルの形状

Fig. 22 Shape of model.

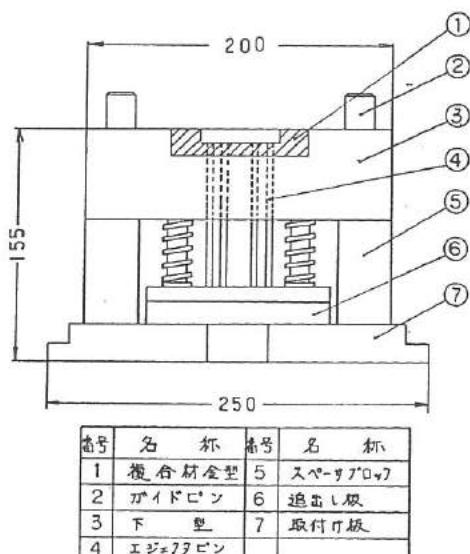


図24 射出成形用金型の構造

Fig. 24 Structure of injection mold.



図23 複合材金型の成形手順

Fig. 23 Modeling flow chart of mold by composite material.

表14 射出成形条件 (ポリアセタール)

Table 14 Condition of injection molding. (polyacetal, POM)

成形機	M40
型締力 (ton)	100
成形温度 (°C)	180~190
射出1次圧 (kgf/cm ²)	700
射出2次圧 (kgf/cm ²)	300
サイクルタイム (sec)	58
金型温度 (°C)	80

図24は射出成形用金型の構造を示す。複合材金型は機械加工した後、ネジにより図24に示す鋼材製の金型に組み込んだ。また、射出成形品はバリをきらうため、複合材金型の厚さは、パーティングラインよりも0.02mm高くし、キャビティからの樹脂もれを少なくした。また、射出成形材料にはポリアセタールを使用した。表14は射出成形条件を示す。

(2) 実験結果および考察

複合材金型の寿命試験を実施した結果、アルミ・樹脂複合材金型の場合は100ショットで、銅・樹脂複合材金型の場合は50ショットでいずれもクラックが発生し、成形品にバリが発生したため試験を中止した。

図25はアルミ・樹脂複合材金型断面のクラックをスーパー・チェックによりスケッチしたものと図より、いずれのクラックもシャープなコーナーから発生している。ここで、複合材金型部分に働く圧縮力を型締圧力および射出圧から求めると、約7～10Kgf/mm²もあり、各複合材の圧縮耐力の限界に近い値を示している。このことから、複合材料金型は座屈したものと考えられる。

以上の結果から、複合材金型を設計する場合は安全率を考慮して圧縮耐力が15Kgf/mm²の材料が必要である。また、複合材の熱膨張率は鋼材の約2.5倍であるため、型温度が上昇するにつれて複合材金型が伸び、型締め部分の当りが強くなることから、複合材金型はパーティングラインで金型と同一面に仕上げて組み込む必要がある。

4.2 アルミニウム合金・ポリイミド樹脂複合材金型

(1) 金型の製作および実験方法

金属粉末には、粒径が32～62μmのAl-Zn系アルミニウム合金A7075アトマイズ粉末を用い、材料粉末の混合比はアルミニウム合金粉末=60vol%、樹脂粉末=40vol%とした。

図26はモデルの形状を示す。モデルは外径80mm、厚さ3mm、文字深さ0.3mmのコースターとした。材料にはS55Cの未熱処理材を使用した。複合材金型の成形方法、成形条件は4.1で示した条件と同様とした。図27は本実験に使用した射出成形用金型の構造を示す。図28は複合材金型を組み込んだ部分の写真である。また、射出成形用材料にはポリプロピレンを用いた。表15は射出成形条件の一例を示す。

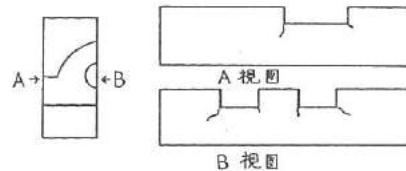


図25 アルミ・ポリイミド樹脂複合材金型のクラック状態

Fig. 25 Sketch the cracked mold of aluminum powder-polyimide resin composite.

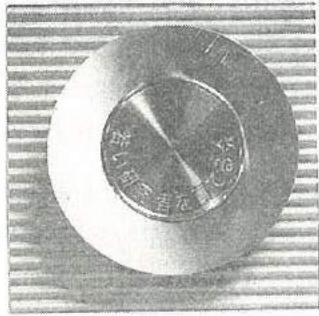
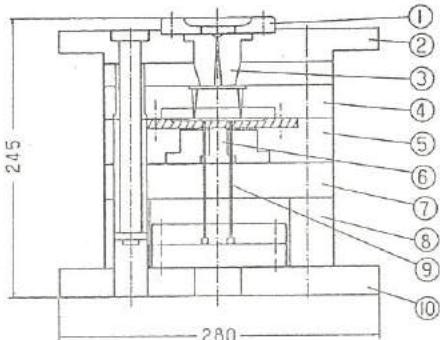


図26 モデルの形状（コースター）

Fig. 26 Photograph of model.
(coaster)



號	名 称	號	名 称
1	ロケートリング	6	コア
2	固定側取付板	7	發口板
3	スパールアッシュ	8	スペーサーブロック
4	固定側型板	9	エゼクタビン
5	可動側型板	10	可動側取付板

図27 射出成形用金型の構造

Fig. 27 Structure of injection mold.

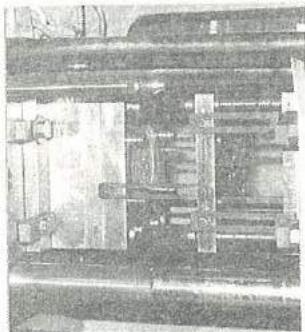


図28 組み込んだ複合材金型

Fig. 28 Setted injection mold of
composite material.

表15 射出成形条件（ポリプロピレン）

Table 15 Condition of injection
molding. (polypropylene, PP)

成形機	DM-30
型錠力 (ton)	50
成形温度 (°C)	190~200
射出1次圧 (kgf/cm²)	500
射出2次圧 (kgf/cm²)	400
サイクルタイム (sec)	3.5
金型温度 (°C)	70

(2) 実験結果および考察

複合材金型の寿命試験を実施した結果、250ショットでクラックが発生した。図29はその型の写真を示す。クラックは、応力集中を受けやすいコーナーR 1.5 mmの部分から発生し、複合材金型の取り付け穴に至っている。

クラック発生の原因として、バックアップする鋼材金型の平面度が悪くショット毎に複合材金型に曲げ荷重が働いたこと、ならびに応力集中を受ける部分と取り付け穴が近く、金型の強度が弱く

なったことによるものと考えられる。従って、金型寿命を延ばす対策としては、複合材金型とバクアップ面の当り面を確保することと、金型取り付け部分に鋼材を使用し、インサート法によって複合材金型を成形する方法などが最適であると考える。

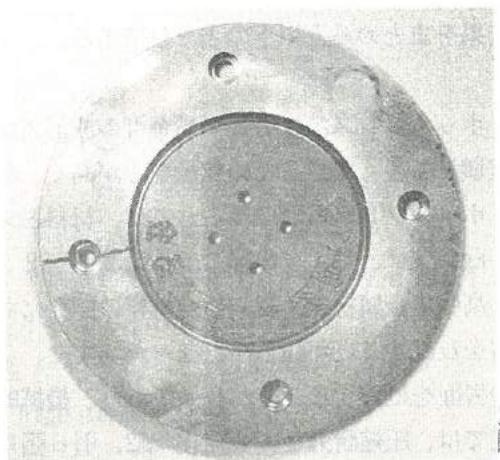


図 29 破損した複合材金型

Fig. 29 Cracked mold of copper alloy-polyimide resin composite.

4. 3 銅合金・ポリイミド樹脂複合材金型

(1) 金型の製作および実験方法

金属粉末には、粒径 $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$ の銅合金アトマイズ粉末を使用し、材料粉末の混合比は、銅合金粉末 = 50 vol%、ポリイミド樹脂粉末 = 50 vol%とした。成形条件は、成形圧を 4 Kgf/mm^2 とし、その他の条件はすべて 4. 1 で示した条件と同様とした。図 30 は成形した複合材金型を示す。

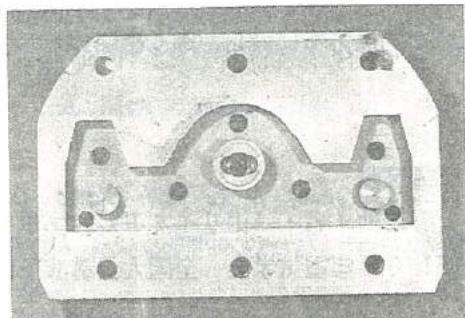


図 30 銅合金・ポリイミド樹脂複合材金型

Fig. 30 Mold of copper alloy-polyimide resin composite.

(2) 実験結果および考察

現在、複合材金型の寿命試験は、製品の需要関係から 250 ショットで中止しているが、まだクラックは発生していない。これは、この種の複合材の強度が高いことと、金型設計の面で改善策を採用したことによるものと考える。

5. 結 言

本研究では、簡易金型の長寿命化を目的として、ポリイミド系樹脂と金属粉末を複合させた材料について、ホットプレス法による成形条件、高強度材料を得るための条件および複合材金型を有効

に利用するための金型設計方法などについて検討を加えた。

その結果をまとめると以下のとおりである。

- ① ホットプレス法による簡易金型の成形方法は注型法に比べ気泡の発生が少なく、金属粉末の充填量も多くできるため熱伝導率が高く、射出成形用金型の製作には有効な方法である。
- ② ホットプレス成形条件としては、材料粉末の樹脂混合率は 30～40 vol%、成形圧は 2～4 Kgf/mm²、および成形温度は 230～250°C 程度が最適である。
- ③ 高強度金属粉末・樹脂複合材料の開発においては、粒径、粒体強度等の粉体特性が材料に影響を及ぼすことが明らかとなった。また、この複合化にはシランカップリング剤を用いて金属の表面を処理することが有効であり、機械的強さなどを大幅に向上させることができる。本研究では、圧縮耐力 = 1.8 Kgf/mm²、引っ張り強さ = 8.5 Kgf/mm² のアルミニウム合金・樹脂複合材料を開発した。
- ④ 複合材金型を有効に利用するためには、複合材金型を射出成形用金型にはめ込む中子式とし、バックアップを確実にする。また、パーティングラインは金型表面と同一にする必要がある。

最後に、本研究を進める過程で、金属粉末の提供にご協力いただいた東洋アルミ（株）の川井正彦氏ほか関係方々に対し、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 谷野他 4 名；「ポリイミド変性エポキシ樹脂の耐熱性（II）」、昭和 60 年電気学会 全国大会講演予稿集、昭和 60 年 4 月、305、PP. 357～358
- 2) 谷野、東保；「アルミ・樹脂複合材による試作用プラ型」、型技術第 2 卷第 4 号、日刊工業新聞社、昭和 62 年 4 月号
- 3) 落合；「金属-有機複合体へのカップリング剤の適用」、材料技術 vol. 5、No. 12、1987
- 4) 青木；「ポリアミノビスマレイミド『キネル・ケルイミド』」、工業材料第 31 卷、第 6 号、日刊工業新聞社、昭和 58 年 6 月号
- 5) 第 13 回射出成形試作型・中少量生産型と成形技術講習会テキスト；プラスチク工業技術研究会、昭和 62 年 1 月

II. 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ーの開発—

Preparation of Metal Oxide Single Crystals and their Applications

— Developement of thermistor for high temperature use —

Abstract

There is an increasing number of applications in which it is necessary or desirable to have single crystals because of special optical, electrical, magnetic or strength requirements. The single crystals of $ZrO_2-Y_2O_3$, $Al_2O_3-Cr_2O_3$, $MgAl_2O_4(Co)$ were grown by arc-image floating zone method. The electrical resistivities of their single crystals were measured to get the relation with the composition compared with those for sintered samples. These single crystals are particularly useful in very high temperature application with special fabrications (i.e. high melting point electrode materials and lead wires).

The thin films of $ZrO_2-Y_2O_3$, $Al_2O_3-Cr_2O_3$ and $Mg(Al_{0.4}Cr_{0.4}Fe_{0.2})_2O_4$ were prepared on Al_2O_3 substrates with Au interdigital electrode by r.f. magnetron sputtering method, using their sintered targets.

The structures of films were analyzed by X-ray diffraction and scanning electron micrography. The electrical resistivities of films were measured by D.C. method. The thin films of $ZrO_2-Y_2O_3$ and $Mg(Al_{0.4}Cr_{0.4}Fe_{0.2})_2O_4$ exhibited similar electric properties to their sintered sample.

The electrical resistivity of $ZrO_2-Y_2O_3$ thin film was stable in air at 800°C. The thermistor, consisted $ZrO_2-Y_2O_3$ thin film as the sensor element, Pt wires as the leads, Al_2O_3 pipe as the insulating material and stainless tube was designed, fabricated and tested. Still more, for the wide range measurement, high quality D.C. log-amplifier and stable D.C. voltage power supply were used.

1. 緒 言

単結晶は、焼結体等の多結晶体と比較すると、空孔や粒界がないため、材料が本来持つ物性がそのまま反映され、これを用いたデバイス等は、より優れた性質を示すことが期待される。また、熱的、化学的安定性に優れているため、高信頼性のものが得られることも期待される。このため、より高性能な特性が必要とされる先端的な技術開発の分野では単結晶ではなく用途も拡大している。我々は、優れた特性を持つ各種金属酸化物の単結晶を育成し、電気、磁気、光学的な性質を測定し、電子デバイスに応用することを検討しているが、本年度は特に電気的性質（電気抵抗の温度変化）を応用した中高温用サーミスターを検討した。

現在、中高温用サーミスターとしては、表1に示すような焼結体が用いられ、自動車や家電製品の温度検出素子として広く利用されている。¹⁾しかし、これらサーミスター素子は焼結体であることから、高温における経時変化等により、精度、寿命等に問題がある。ここでは、高温においてより安定と考えられる単結晶を用いた中高温用サーミスターの検討を行った。

また、一部の用途においては小型化による熱応答性等の改善が要望されており薄膜技術の応用が検討され、表2に示すような材料について商品化が進められている。^{1), 2)}しかし、これらの使用温度は450°C程度までであり、より高温まで使用可能なものは、まだ開発されていない。このため、ここでは高周波スパッタ法による中高温用サーミスター材料の薄膜化を検討した。

なお、これまでのところ、サーミスターの使用温度は比較的狭い範囲に限られている場合が多い。これは、広い範囲をカバーするサーミスター素子があまりみられないことにも原因はあるが、ワイヤドレンジに対応できる測定回路がないためでもある。そこで、ここでは高性能の対数アンプを使用することにより、測定電圧を一定のまま、広

表1 中高温用サーミスター材料（焼結体）

Table 1 Properties of various sintered thermistors for high temperature use.

主成分	構造	B定数(°K)	特徴
ZrO ₂ 系	ホタル石型	5,000~18,000	イオン伝導性
CoO-Al ₂ O ₃	スピネル型	16,500	電子伝導性
Mg-Al-Cr-Fe系 -O	"	6,600~15,100	"
Al ₂ O ₃ -Cr ₂ O ₃	コランダム型	6,000~18,000	"

$$R = R_0 \exp B (1/T - 1/T_0)$$

表2 薄膜サーミスター材料

Table 2 Properties of various thin film thermistors.

主成分	結晶構造	使用温度(°C)	B定数(°K)	特徴
SiC	ダイヤモンド	-100~450	1600~3400	薄膜 スパッタ
In-Ni系酸化物	スピネル	<200	4000~7000	厚膜スクリーン印刷
Mn-Co-Ni酸化物	スピネル	<200	2000~7000	厚膜スクリーン印刷

範囲な電気抵抗を測定する方法を検討した。

2. バルク型（焼結体、単結晶）サーミスターの検討

2. 1 実験方法

(1) 試料作製工程及び装置

試料作製の手順を図1

に示す。すなわち、原料粉末を所定の割合にエタノール中で混合し、乾燥・仮焼・粉碎後、ラバープレスにて棒状試料に成形した。この成形体を本焼成し、必要に応じてダイヤモンド砥石で研削した。単結晶の場合は、単結晶製造装置を用いて焼結体から単結晶への育成を試みた。

本実験に使用した単結晶製造装置を図2に示す。

この装置は、赤外線集中加熱方式であり、加熱により生じた溶融帯を試料棒と種結晶で逆回転させながら、徐々に下げて単結晶を育成するものである。本研究では、主軸引き下げ速度（単結晶育成速度）、回転数、石英管内に送風するガスの種類・風量・向き、及び温度コントロールに留意して単結晶の育成を試みた。^{3), 4)}

図2 赤外線加熱型単結晶製造装置

Fig. 2 Single crystal growing apparatus using infrared heating.

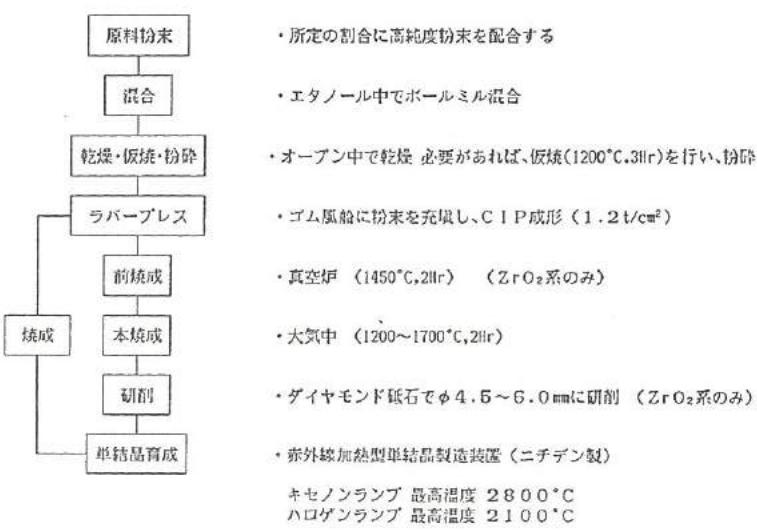
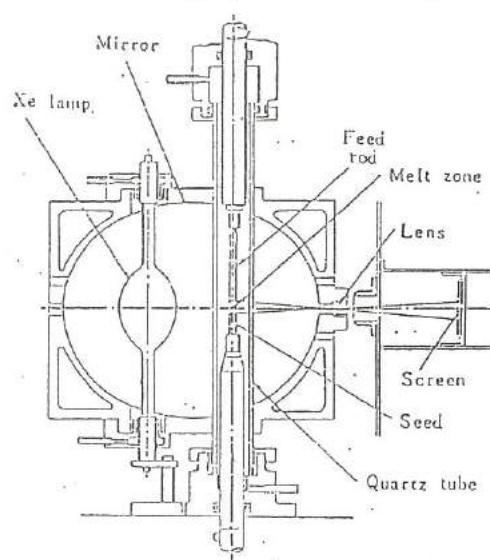


図1 試料作製工程

Fig. 1 Flow sheet for the preparation of samples.



(2) 素子作製及び測定方法
各試料の特性を測定する手順を図3に示す。前述の方法で得られた焼結体及び単結晶を約1.5mmの厚さにスライスし、電極としてPtリード線をPtペーストで焼成固定して、これの抵抗温度特性及び抵抗周波数特性を2端子法で測定した。ZrO₂-Y₂O₃系のものは1KHzの交流で、他は直流で抵抗温度特性を測定した。

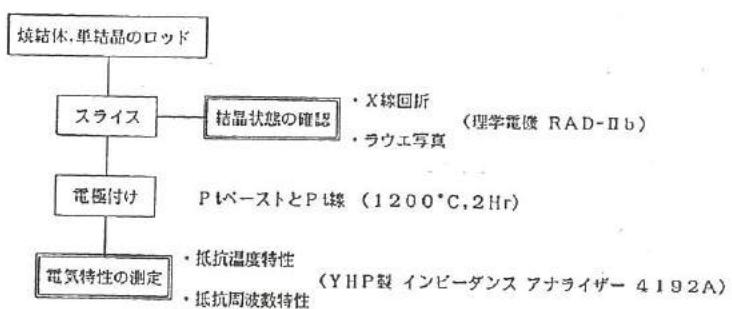


図3 素子作製方法および測定方法
Fig. 3 Flow sheet for the fabrication and measurement of element.

2. 2 実験結果及び考察

(2) 試料作製結果

作製した試料の概要を表3に示す。これらの材料の配合割合は、状態図を参考にして、室温から融点まで相変態を起こさないものを選んだ。表中のZrO₂-TiO₂-Y₂O₃のものは、ZrO₂-Y₂O₃(Y₂O₃ 8mol%)に対して、TiO₂を10mol%配合した。Mg-Al-Fe-Cr-O(9, 0.5, 0.5)は、MgAl₂O₄にMgCr₂O₄、MgFe₂O₄をそれぞれ5mol%混合した。同様に(4, 4, 2)のものは、MgAl₂O₄ 40mol%、MgCr₂O₄ 40mol%、及びMgFe₂O₄ 20mol%を混合したものである。⁵⁾ 他は、表3に示した組成で、焼結体、単結晶の作製を試みた。

表3 試料作製結果

Table 3 Sample preparation.

	組成	ランプ	焼結体	単結晶	備考
ジルコニア系	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ (Y ₂ O ₃ 8mol%)	キセノン	○	○	4mm/hr, 4mm×50mm成長
	ZrO ₂ -Ce ₂ O ₃ (Ce ₂ O ₃ 15mol%)	〃	○	-	Ce ₂ O ₃ の蒸発激しい
	ZrO ₂ -La ₂ O ₃ (La ₂ O ₃ 35mol%)	〃	×	-	焼結体にクラック発生
	ZrO ₂ -TiO ₂ -Y ₂ O ₃	〃	○	-	ヒートショックにより崩壊
スピネル系	MgO-Al ₂ O ₃ (CoO 0.2wt%)	〃	○	○	20mm/hr, 6mm×40mm
	Mg-Al-Fe-Cr-O (9, 0.5, 0.5)	ハロゲン	○	×	Cr ₂ O ₃ の蒸発激しい
	Mg-Al-Fe-Cr-O (4, 4, 2)	〃	○	×	Cr ₂ O ₃ の蒸発激しい
コダラム系	Al ₂ O ₃ (Cr ₂ O ₃ 0.2wt%)	〃	○	○	10mm/hr, 6mm×50mm
	Al ₂ O ₃ -Cr ₂ O ₃ (Cr ₂ O ₃ 10wt%)	〃	○	○	10mm/hr, 3mm×10mm

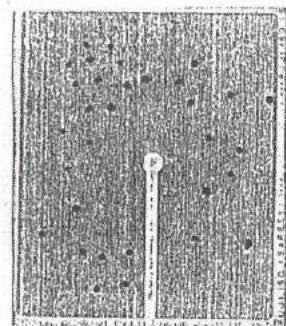


図4 ZrO₂-Y₂O₃ 単結晶のラウエ写真

Fig. 4 Rauwe photograph of ZrO₂-Y₂O₃ single crystal.

つぎに、 $ZrO_2-Y_2O_3$ 系の単結晶育成試料のラウエ写真を図4に示す。図よりX線の回折斑点がはっきり現れていることから、単結晶であることを確認した。

表3に示したように $ZrO_2-Y_2O_3$ 系、 $MgO-Al_2O_3(Co)$ 、 $Al_2O_3(Cr)$ 系、 $Al_2O_3-Cr_2O_3$ 系のものは、単結晶の育成に成功した。しかし、他の系については溶融時に配合成分の蒸発が激しかったため単結晶の育成までには至らなかった。

(2) 電気特性の測定結果

a. 抵抗温度特性

図5は $ZrO_2-Y_2O_3$ 系、図6は $MgO-Al_2O_3(Co)$ 系、 $Mg-Al-Fe-Cr-O(9,0.5,0.5)$ 、 $Mg-Al-Fe-Cr-O(4,4,2)$ 系の抵抗温度特性を示す。

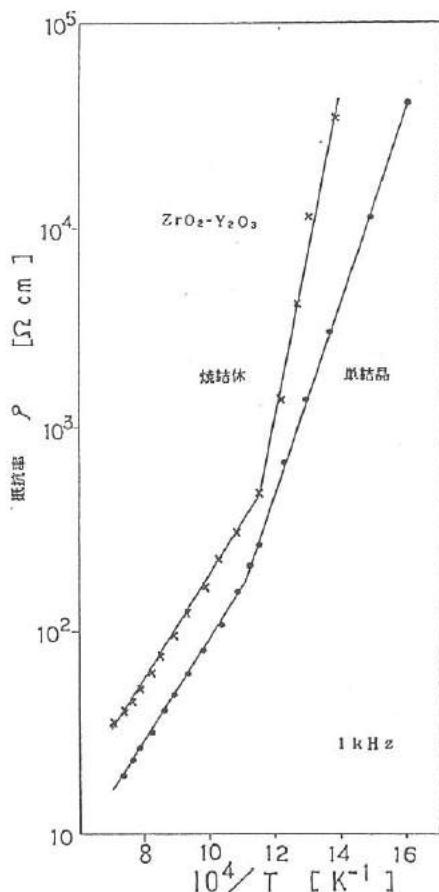


図5 ジルコニア系サーミスタの抵抗温度特性

Fig. 5 Temperature characteristics of resistivities for $ZrO_2-Y_2O_3$ thermistors.

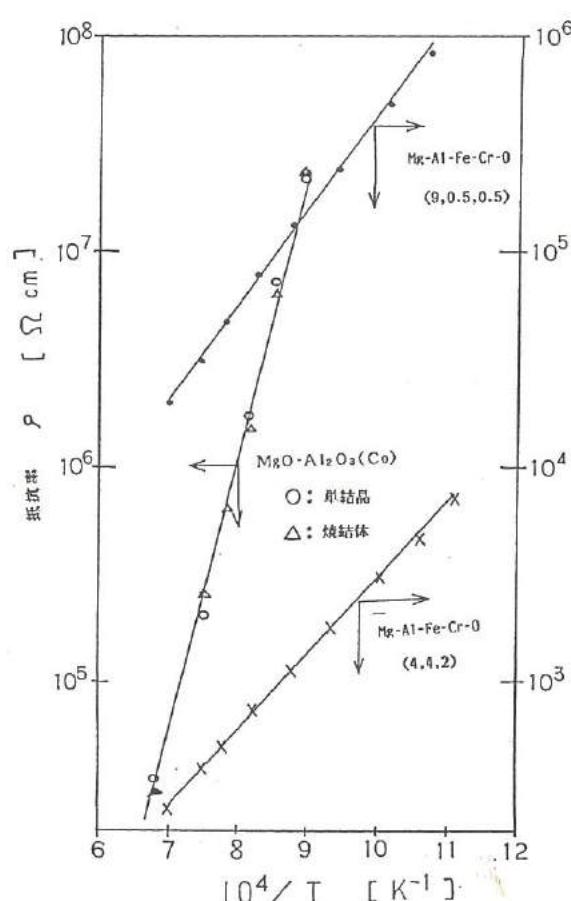


図6 スピネル系サーミスタの抵抗温度特性

Fig. 6 Temperature characteristics of resistivities for $Mg-Al-Fe-Cr-O$ thermistors.

0.5, 0.5) 系、及び (4, 4, 2) 系、並びに図 7 は $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr})$ 系及び、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ 系の抵抗温度特性を示す。なお、この結果を表 4 にまとめた。

表 4 において B 定数は抵抗値の温度依存性を示す定数であり、

$$R = R_0 \exp B (1/T - 1/T_0)$$

で表され、この値が大きいほど温度計測の精度が上がるため望ましいことではあるが、あまり大きくなると抵抗の温度変化が著しく大きくなり、測定が難しくなるため、一般的用途には 6000 ~ 18000 のものが良いとされている。

ジルコニア系の場合、単結晶は焼結体の約 1/2 の体積抵抗率を示した。しかし、B 定数は同じであり、両者共に 600 °C 付近に屈曲点があった。

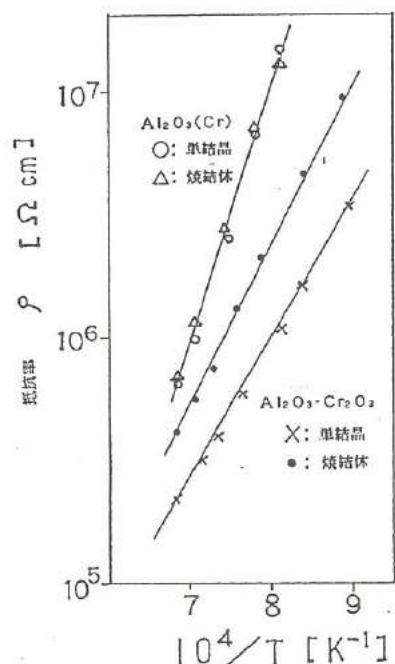


図 7 コランダム系サーミスターの温度特性

Fig. 7 Resistivity vs. temperature curves for $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ thermistors.

表 4 バルク型サーミスターの電気的特性

Table 4 Electrical properties of bulk thermistors.

組成	形態	抵抗率 $\rho (\Omega \cdot \text{cm})$ (1000°C)	B 定数 ($^\circ\text{K}$)
$\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$	焼結体	5.4	1800($400\sim600^\circ\text{C}$), 5600($600^\circ\text{C}\sim$)
	単結晶	2.6	11000($400\sim600^\circ\text{C}$), 5900($600^\circ\text{C}\sim$)
$\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Co})$	焼結体	7.2×10^5	29900
	単結晶	7.1×10^5	29900
$\text{Mg}-\text{Al}-\text{Fe}-\text{Cr}-\text{O}(9,0.5,0.5)$	焼結体	4.8×10^4	12200($870\sim1160^\circ\text{C}$)
$\text{Mg}-\text{Al}-\text{Fe}-\text{Cr}-\text{O} (4,4,2)$	焼結体	5.0×10^4	8900($870\sim1160^\circ\text{C}$)
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr})$	焼結体	7.0×10^5	23900
	単結晶	7.0×10^5	23900
$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$	焼結体	2.0×10^5	14000
	単結晶	8.2×10^5	13100

スピネル系の場合、 $MgO-Al_2O_3$ (Co)系のものは、焼結体と単結晶では有為差が認められなかった。一方、 $Mg-Al-Fe-Cr-O$ (9, 0.5, 0.5)系、(4, 4, 2)系のものは、 Cr_2O_3 や Fe_2O_3 の配合量が多くなると体積抵抗率が小さくなつてB定数も小さくなつた。

コランダム系の場合、 Al_2O_3 (Cr)系のものは、焼結体と単結晶とでは有為差が認められなかつた。また、コランダム系も Cr_2O_3 の配合量が多くなると抵抗率が下がりB定数も小さくなつた。一方、 $Al_2O_3-Cr_2O_3$ (Cr_2O_3 1.0 wt%)系の単結晶は、焼結体の約1/2の抵抗率を示し、B定数はほぼ同じとなつた。この要因としては単結晶化することにより、粒界の影響が無くなつたため抵抗率が低下したものと考えられる。ただし、 $MgO-Al_2O_3$ (Co)系や Al_2O_3 (Cr)系では、粒内抵抗が大きいため、単結晶化しても粒界がなくなつた効果が現れてこないものと考えられる。

b. 抵抗周波数特性

図8は800°Cにおける $ZrO_2-Y_2O_3$ 系単結晶の抵抗周波数特性を示す。図より、1KHz程度までは抵抗の周波数依存性の高いことが判つた。図9に800°Cにおける複素インピーダンスと、これより推定した等価回路を示すが、この要因として、電極と試料との界面における電気二重層容量と電荷移動抵抗が、この種の単結晶では抵抗の周波数依存性に関与しているものと考えられる。^{6), 7)}

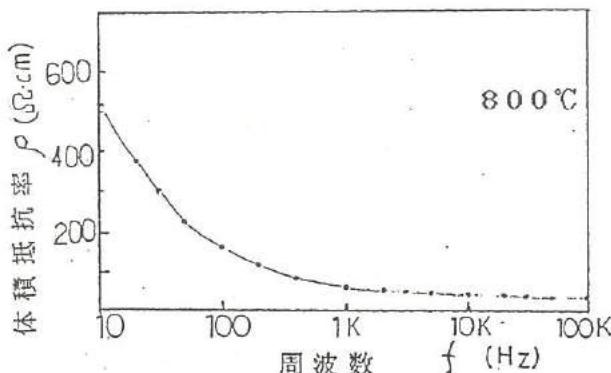


図8 $ZrO_2-Y_2O_3$ 単結晶サーミスタの抵抗周波数特性

Fig. 8 Frequency characteristic of resistivity for $ZrO_2-Y_2O_3$ single crystal thermistor.

図10は1200°Cにおける $MgO-Al_2O_3$ (Co)系単結晶の抵抗周波数特性を示す。スピネル系の場合は周波数の影響をあまり受けないが、これは、この種の単結晶が電子伝導体であるためと考えられる。

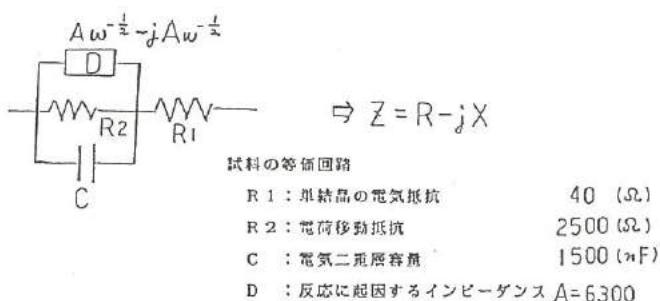
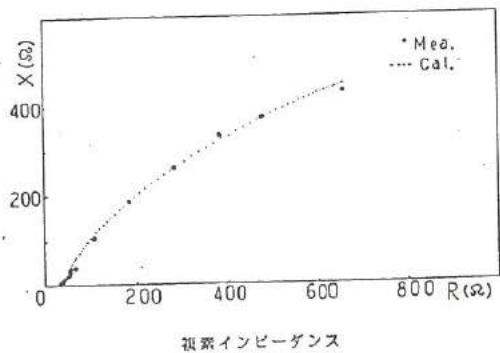


図9 $\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$ 単結晶サーミスタの等価回路

Fig. 9 Equivalent circuit for $\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$ single crystal thermistor.

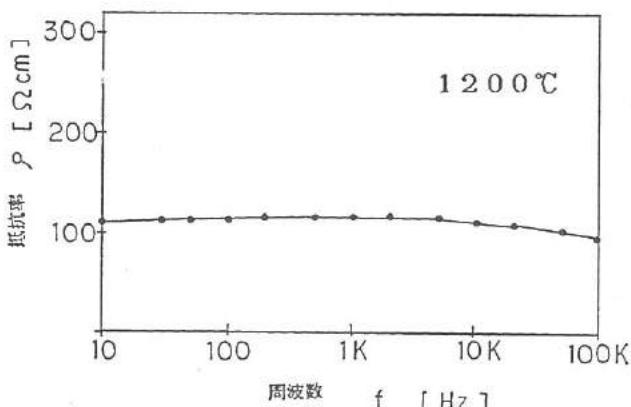


図10 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Co})$ 単結晶サーミスタの抵抗周波数特性

Fig. 10 Frequency characteristics of resistivity for $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Co})$ single crystal thermistor.

2. 3 まとめ

以上の結果をまとめると、ジルコニア系単結晶はイオン伝導体であるため、交流測定が必要である。しかし、超高温（2500K）での温度測定にジルコニア系焼結体が用いられた例もあり⁸⁾この用途には単結晶がより有効であるものと考えられる。

また、スピネル系及びコランダム系では、低抵抗化のために配合したCr₂O₃やFe₂O₃の蒸発が激しく単結晶化は難しい。しかし、小量添加で単結晶化したものは直流での測定も可能であり高温用途に対しては有効と判断される。

3. 薄膜型サーミスターの検討

3. 1 実験方法

2章に示した仮焼・混合材料を用い、高周波スパッタリング用のターゲット（φ90 X 6mm）を試作した。この試作工程を図11に示す。すなわち、セラミックス原料粉末にポリビニールアルコール（PVA）やステアリン酸などを添加し、400 Kgf/cm²の圧力でプレス成形を行った。

このようにして得られたターゲットを用いて高周波スパッタ装置（日電アネルバFP-46）で、くし形電極基板にセラミックス薄膜を着膜した。使用したくし形電極の仕様を表5に示す。このくし形電極はアルミナ基板にAu厚膜をスクリーン印刷で形成したものである。また、本実験に用いたRFスパッタ装置の概要を図12に示す。

得られたスパッタ膜の膜厚については、同時に着膜したガラス板上の薄膜を、電子顕微鏡（明石α-30 AW）

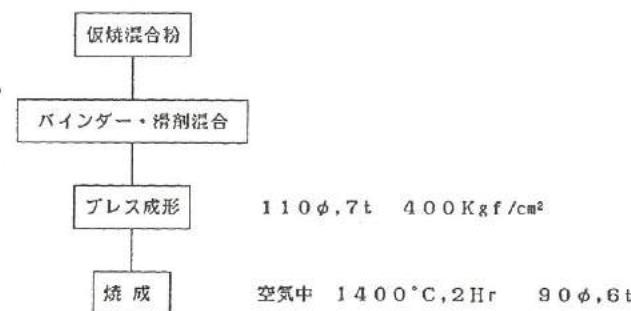


図11 スパッタターゲットの作成工程

Fig. 11 Flow sheet for preparation of targets.

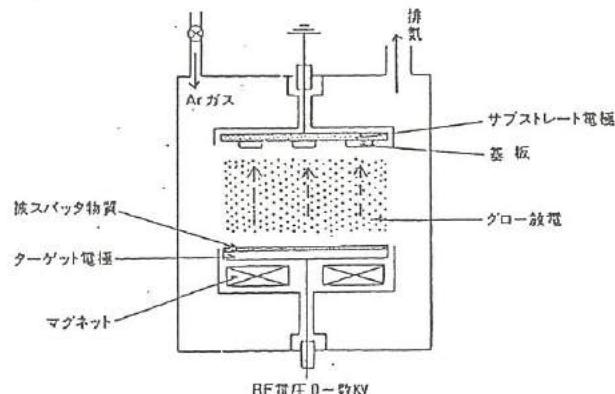


図12 高周波スパッタ装置

Fig. 12 Apparatus for the r.f.
magnetron sputtering.

を用いて測定した。測定断面の一例を図13に示す。また、X線回折装置（理学電機製 RAD-II b）によって膜の結晶構造を同定した。この一例を図14に示す。

表5 くし型電極基板

Table 5 Substrate with interdigital electrode.

基板材料	$\Delta\text{Al}_2\text{O}_3$ 9.6% 研磨なし $R_a \leq 1 \mu\text{m}$, $t = 0.6\text{mm}$
くし型電極材質	Au
導入部電極材質	Ag-Pd
電極間隔	140 μm
電極長さ	7000 μm
電極対数	29
電極厚み	約 10 μm
全寸法	15 mm × 10 mm

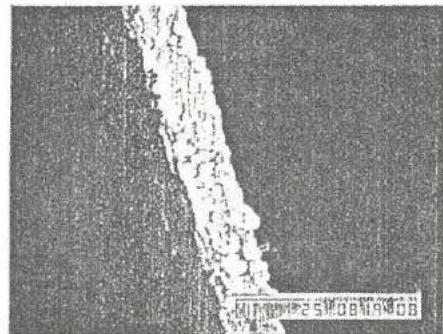


図13 $\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$ 薄膜のSEM像

Fig. 13 Scanning electron micrograph of $\text{Zr}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ thin film.

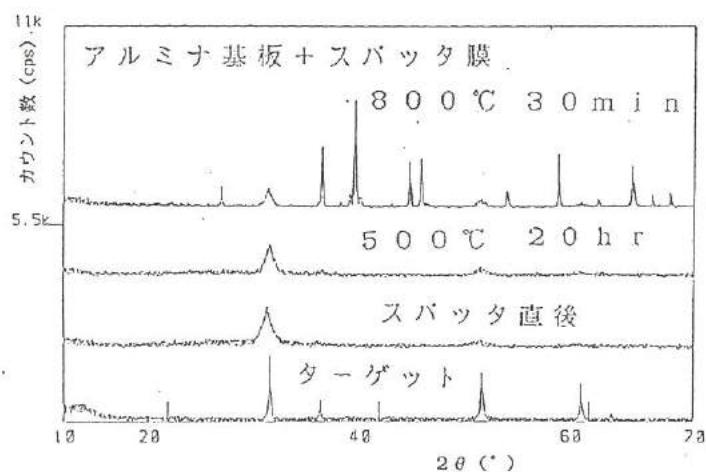


図14 薄膜のX線回折図 ($\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$)

Fig. 14 X-ray diffraction patterns of $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ tin film.

さらに、このようにして試作したくし形薄膜サーミスターに、Agペーストを用いてPtリード線を大気中800°Cで焼成、固定した後、電気炉に設置してサーミスター特性（抵抗温度特性、抵抗周波数特性、B定数、抵抗の安定性）を評価した。これら一連の実験プロセスを図15にまとめて示した。なお、抵抗温度特性の測定は全て直流で行った。



図15 薄膜素子製造工程と測定

Fig. 15 Flow sheet for the fabrication and measurement of thin film element.

3. 2 実験結果及び考察

(1) 試料作製結果

表6にスパッタリングにおける着膜条件と着膜速度及びスパッタ膜組織の関係を示す。一般に着膜速度は進行波電力と比例関係にあり、得られる膜の組織や形状は真空雰囲気、基板加熱条件、着膜速度、並びにターゲットの組成系と関連が深いと考えられている。実験を行った4種の酸化物では、スピネル系が最も速い着膜速度を示している。この原因としては、ターゲットを構成する各分子のスパッタリングイールド等が影響しているものと考えられる。また、膜組織はZrO₂-Y₂O₃系が多結晶（立方晶）であるのに対して、これ以外は全て着膜後及び800°C、2時間加熱後においてもアモルファス相であった。

表6 スパッタ条件と膜の構造

Table 6 Sputtering conditions and film structures.

サーミスター材質	進行波電力 [W]	反射波電力 [W]	雰囲気 [Torr]	蒸着時間 [Hr]	測定膜厚 [μm]	着膜速度 [μm/Hr]	膜組織
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃	80	30	Ar 3×10 ⁻² O ₂ 1×10 ⁻²	3.0	0.80	0.027	C-ZrO ₂
スピネル (4.4.2)	150	30	Ar 1.6×10 ⁻²	2.2	0.79	0.036	アモルファス
スピネル (9.0.5.0.5)	150	20	Ar 1.6×10 ⁻²	3.6	1.79	0.050	アモルファス
コランダム Cr ₂ O ₃ 10wt%	150	10	Ar 1.6×10 ⁻²	2.4	0.52	0.022	アモルファス

(3) 電気特性の測定結果

a. 抵抗温度特性

図16は試作したくし形薄膜サーミスターの抵抗温度特性を示す。また、実験結果をまとめて表7に示す。図および表より $ZrO_2-Y_2O_3$ 系とスピネル(4, 4, 2)系がほぼ同一の体積抵抗率とB定数を示し、またスピネル(9, 0.5, 0.5)系と $Al_2O_3-10\%Cr_2O_3$ 系がほぼ同一の特性値であった。

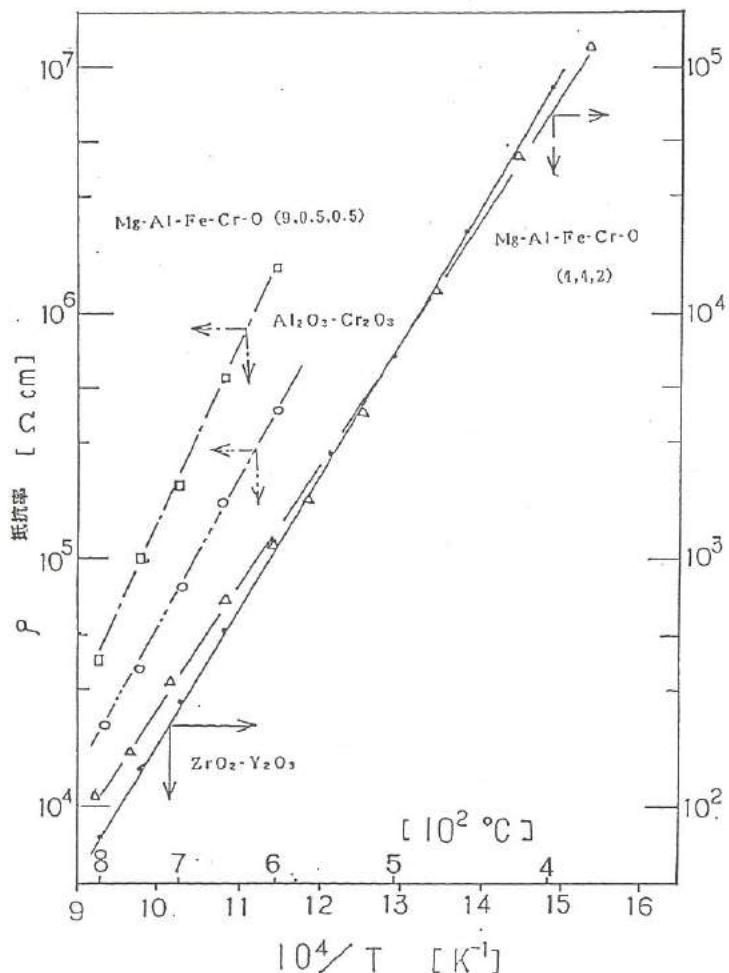


図16 薄膜サーミスターの抵抗温度特性
Fig. 16 Temperature characteristics of resistivities
for thin film thermistor.

なお、表7に示した犠牲値と表4の結果を比較すると、 $ZrO_2-Y_2O_3$ 系とコランダム系は、単結晶・焼結体・薄膜ともB定数には有為差は見られない。一方、スピネル系では、焼結体と薄膜においてはB定数に多少の変化が見られる。また、体積抵抗率の大きさは $Al_2O_3-10\%Cr_2O_3$ 系において焼結体と薄膜とでは違いが大きい。これらの原因として、焼結体と薄膜とでは結晶構造が違うことやCr、Fe等の蒸発しやすい成分の影響等が考えられる。

表7 薄膜サーミスターの電気的特性

Table 7 Electrical properties of thin film thermistors.

サーミスター材質	電気伝導度 [$\Omega \cdot cm$]			B定数 [$^{\circ}K$]	周波数依存性
	400°C	600°C	800°C		
$ZrO_2-Y_2O_3$	82400	1190	76	12600	有り
スピネル (4,4,2)	64000	1250	110	11500	なし
スピネル (9,0,5,0,5)	-	1.5×10^6	3.9×10^4	17100	なし
コランダム Cr_2O_3 10wt%	-	4.0×10^5	2.0×10^4	14100	なし

b. 抵抗周波数特性

図17は $ZrO_2-Y_2O_3$ 系及びスピネル(4,4,2)系の抵抗周波数特性を示す。図よりイオン伝導体である ZrO_2 系では、抵抗の周波数依存性を示し、電子導伝体であるスピネル及びコランダム系では、この依存性がほとんど認められないことがわかる。また ZrO_2 系でも、薄膜は焼結体に比べて周波数による抵抗変化が小さかった。これは、薄膜の場合では、電極界面における電気二重層容量の影響が少なく、酸素イオンの反応に起因するファラデーインピーダンスの影響が支配的に現れているものと考えられる。図18は $ZrO_2-Y_2O_3$ 系薄膜における試料の等価回路の検討結果を示す。このように、イオン伝導体をサーミスターとして応用する場合には、測定周波数に注意する必要があることがわかった。

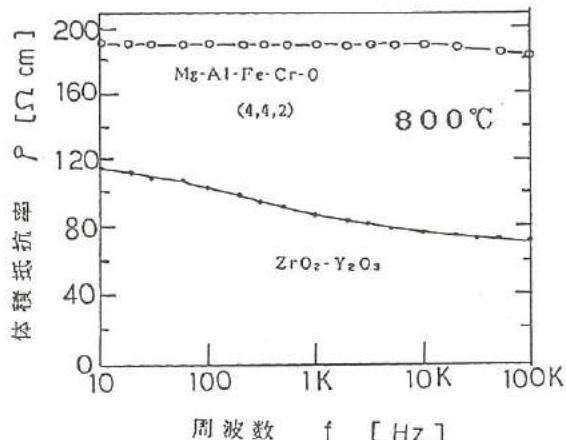


図17 薄膜サーミスターの抵抗周波数特性

Fig. 17 Frequency characteristics of resistivities for thin film thermistors.

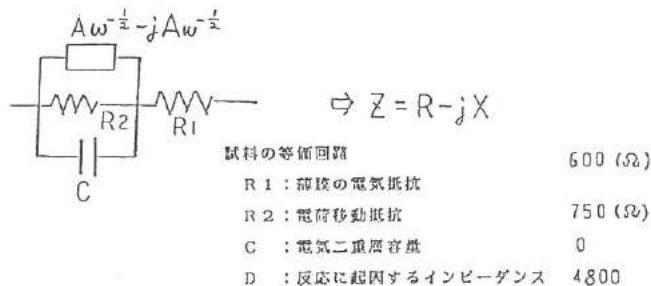
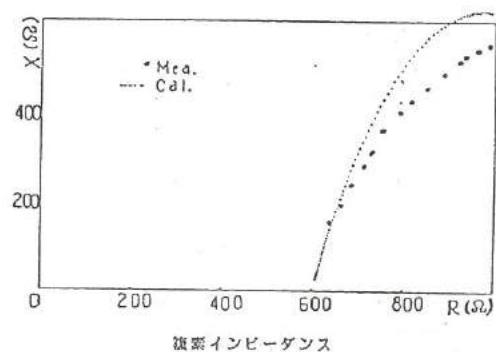


図 1.8 薄膜サーミスターの等価回路

Fig. 1.8 Equivalent circuit for thin film thermistor.

c. 寿命特性

図1.9は $ZrO_2-Y_2O_3$ 系とスピネル(4, 4, 2)系の800°Cにおける抵抗の経時変化特性を示す。図より、 ZrO_2 系が20~30時間で安定するのに対し、スピネル(4, 4, 2)系では、時間の経過とともに抵抗が増加した。この原因として、スピネル系薄膜では、800°C中でアモルファス相から結晶化への構造変化や、電極との反応が徐々に起こっていることがあげられる。

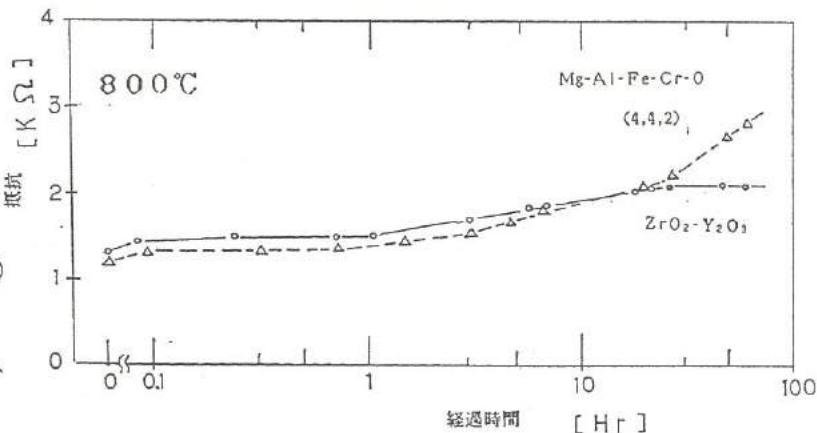


図 1.9 薄膜サーミスターの抵抗経時変化

Fig. 1.9 Change of electrical resistance of samples with time due to 800°C.

3. 3 まとめ

以上の結果から総合的に判断すると、 ZrO_2 系薄膜が400～800°Cの中高温用サーミスターとして最も優れていることがわかった。このため、 ZrO_2 系薄膜サーミスターを用いて、中高温用温度測定装置の試作を行った。これらの概要を次章に示す。

4. 素子の実装及び測定装置

4. 1 素子の実装

図20は ZrO_2 系薄膜サーミスターの実装の一例を示す。すなわち、3章の実験に使ったものより、さらに小型のA字くし形電極付アルミナ基板（3.5×10mm）を使用し、これに電極としてAgペーストで固定したPtリード線をアルミナ製碍子管に通した。さらに、これをステンレスチューブ（外径6mm、内径4mm）に入れ、リード線の出口を樹脂で固定した。試作したものの電気抵抗は400～800°Cではほぼ $1M\Omega$ ～ 100Ω であった。これらの範囲を測定表示する装置が必要であり、測定装置の概要を次に示す。

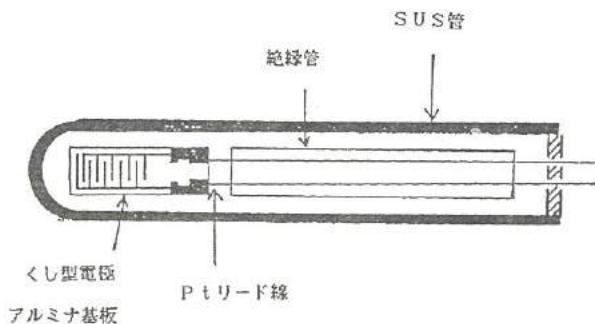


図20 実装形状

Fig. 20 Schematic view of thermistor loaded in the stainless tube.

4-2 測定装置

図21は検出回路ブロック図を示すが、電源としては交流100Vを直流5Vへ落として使用した。これには、トランジスタ、3端子レギュレータ等を用いたドロッパー方式を採用した。当初、電源として乾電池を考えていたが、測定回路±15VをつくるためのDC-DCコンバータへの入力電流が150mAであることが判り、乾電池では消費電力が大きいためこれを断念した。また、交流100Vから直流5Vへの変換として、他にスイッチング方式があり、このユニット（スイッチングレギュレータ）入手し実験したが、ログアンプからの出力が少し不安定となつたため、ドロッパー方式を採用した。しかし、この方式においても、トランジスタからのコンセントプラグの差込みを

逆（グランドとAC 100Vライン）にした場合には、ノイズがログアンプ出力に発生することが判明した。

次に、この直流5Vから試作サーミスタへ印加する基準電圧0.01Vは、ツェナーダイオード、オペアンプ等によりつくりだした。この0.01Vの値は、ログアンプの入力電流範囲（10nA～1mA）と、試作サーミスタの抵抗値範囲（1MΩ～10Ω）より決定した。本装置では試作サーミスタからの出力電流をログアンプへ入力し、ここでの対数変換後、直線化された電圧信号（但し、3～-2V範囲で傾き-1の直線）として出力される。

さらに、上記電圧信号を、0Vを基準点とした傾き+1の直線へ変換するため、超ローオフセット用のオペアンプ、可変抵抗等を使用したゼロ、ゲイン調整部を設けた。ここでは同時に、液晶デジタルパネルメータの入力電圧範囲（0～2V）に適合するように、ゲイン調整もおこなった。

上記のように調整された電圧信号を、ハイブリッドデジタルパネルメータへ入力し、サーミスタの各抵抗値に対応する温度を表示させた。

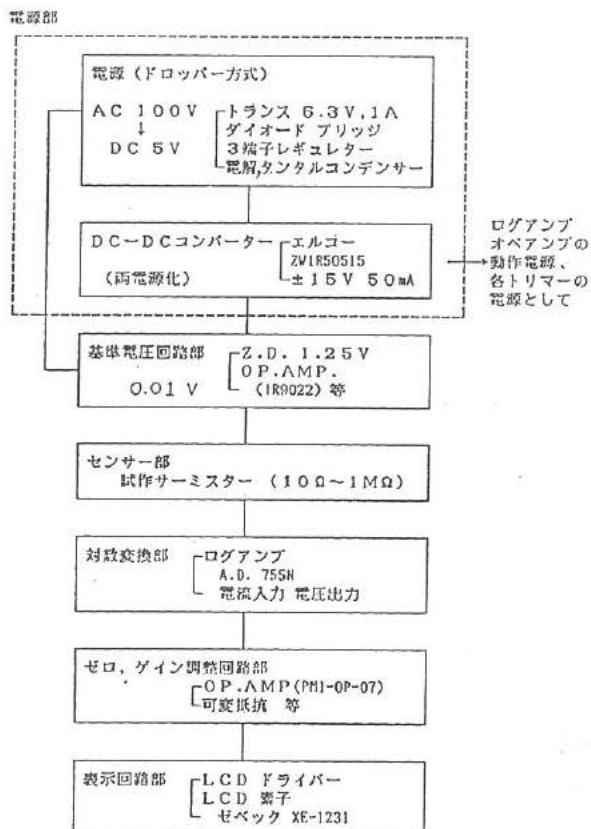


図21 測定回路ブロック図

Fig. 2-1 Block diagram of circuit for measurement.

5. 結 言

本研究の結果をまとめると次のようになる。

- ① 金属酸化物単結晶を中高温用サーミスターに応用するために、 ZrO_2 系、スピネル系、コランダム系を検討した結果、単結晶化が可能な系については、電気特性、安定性の面で単結晶化が有効であることがわかった。しかし、素子形成のための電極構成が難しく、イオン伝導体の場合には測定回路等に問題があった。
- ② 薄膜化したサーミスターでは、 ZrO_2 系及びスピネル系で、抵抗値が焼結体のものとほぼ同程度のものが得られた。また、素子形成及び実装化も比較的簡単であり、実使用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 「熱的機能性セラミックス」土井晴夫
セラミックス 18(1983) No. 4 p301~306
- 2) 「SiC薄膜高温サーミスター」和佐清孝
National Technical report vol. 24 No. 3 June 1978 p444~452
- 3) 「赤外線集中加熱単結晶育成装置」
日本電気技報 No. 112(1974) p13~18
- 4) 「キセノンアークイメージ炉による高融点物質の単結晶製造」北澤宏一、立木秀康
固体物理 Vol. 14 No. 10 p633~640 1979
- 5) 「高温度用サーミスタ磁器材料」
松下電器産業(株)特公昭53-14317
- 6) 「イットリア安定化ジルコニア単結晶のイオン伝導」小林俊介
Yogyo-Kyokai-Shi 89 [1] 1981 p16~22
- 7) 「Y₂O₃安定化ジルコニアにおける導電率の経時変化」鈴木豊、高橋武彦
日本化学会誌 1975 p260~265
- 8) 「Oxide Thermistor for Use to 2500K」 Erreet G. Wolff
The review of scientific instruments Vol. 40 No. 4 April 1969

III . 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—

The Development Of Flexible Hand

— The production on trial of the articulated manipulator of the nursing robot —

Abstract

Recently, many robot's manipulators have been applied really for various purposes. For a year, the structure and the motion of human beings have been investigated and the manipulator of the robot has been produced on trial.

It is the hand which resembles that of human beings ; the hand consists of the arm, which has 7 degree of freedom, and the palm.

As the actuator of the arm, 6 DC motors and an ultra sonic motor were applied for.

As their transfer instruments, various gears were applied for in order to reduce the

torque that loaded the motors.

As the actuator of the palm, NiTi alloy which is a kind of shape memory alloy.

NiTi alloy, which was used for the purpose of the realization of the flexible motion, was made in a loop or in a coil. Shape memory effect which was realized by the method that NiTi alloy was electrified and heated was applied for the actuator of the palm.

All the actuators that were applied for the arm part or for the palm part were controlled with the electronic circuit's boards that were for exclusive use. And personnel computer made in NEC supervised the work of them.

Software which was printed in ROM on the boards was produced in Z80 assembly language and supervizing software which was running on personnel computer was produced in C language.

This paper shows the details of the articulated manipulator of the nursing robot which was produced on trial and relates some discussions about it.

1. 緒 言

機械的な単純労働だけをして、人間味がない人を「ロボットのような人」ということがある。そもそも、ロボットが世の中に登場した背景は、創造性のない単純労働から人を解放するためであり、人間の耐えられない悪環境下で能力を発揮することであった。そして、今日、産業用ロボットとして世に多くでているロボットは、この本来の目的を急速に実現化しつつある。

ところが、ロボットの能力が増加するにつれて、ますます、人間の能力の代替えを求めるようになってきたが⁽¹⁾。今日あるロボットは、特定の目的に合った、特定の作業にしか対応できない、まさに「ロボットの様な人」が姿を変えて存在するにすぎない。そこで、我々は、そのような「ロボット」ではなく、人間の中に自然に溶け込み、より人間らしいロボットを製作することを最終目的として、まずロボットの手について試作実験を行った。

手の試作にあたり、その動作の自由度は7自由度とし人間の手の機構を取り入れた。また動作の動力源としては、負荷の大きなところはモータを用いたが、手先の部分では、軽量化、小型化が図れ、またある程度の弾力性のある機構をもたせることができ可能な形状記憶合金をアクチュエータとして用いた。

2. ロボットハンドの構造

2. 1 アーム部分の構造

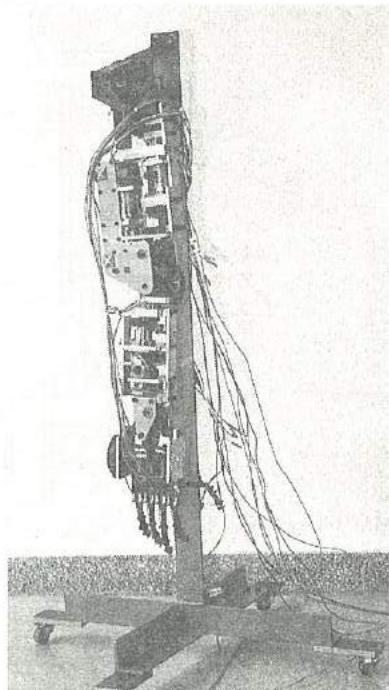
(1) 機 構 部

図1はロボットアーム全体の写真であり、図2はアーム全体の概要図である。また、アーム部の機構は、図3のようにした。介護ロボットのアームということで、なるべく人間に近い構造にするため肩前後、肩左右、上腕回転、ヒジ屈伸、下腕回転、手首上下及び手首左右の7自由度とした。

肩及び手首には図4に示す⁽²⁾ようなユニバーサルジョイント型関節機構⁽²⁾を用いた。上腕、下腕の回転には図5に示すように固定歯車の軸を中心に回る遊星歯車を変形させた方式を採用した。各関節の回転角度は、図6に示す角度で設計を行った。

図1 ロボットアーム部

Fig. 1 Arm of the robot.



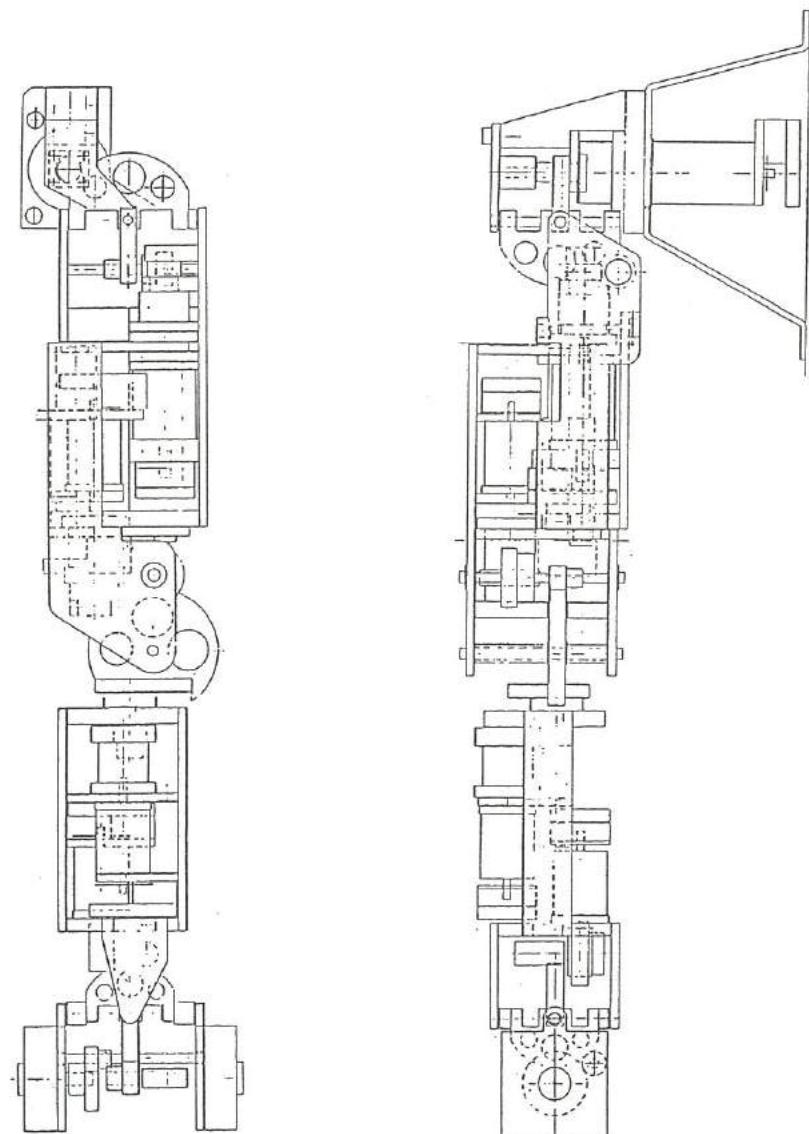


図2 アーム部概略図

Fig. 2 Mechanism of the arm.

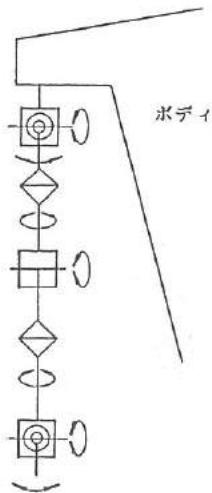


図3 アーム各部の自由度

Fig. 3 Degree of freedom about every part of the arm.

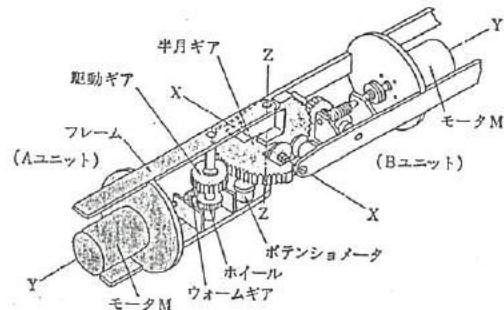


図4 ユニバーサルジョイント型関節機構

Fig. 4 Articulated mechanism of the universal.

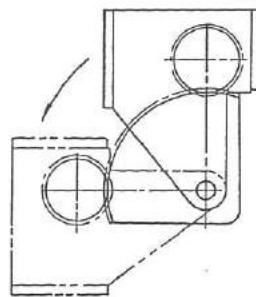


図5 遊星歯車型回転機構

Fig. 5 Rotation mechanism of the planet gear.

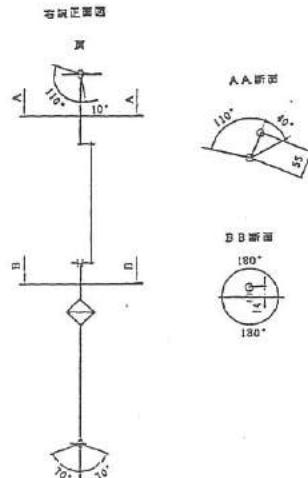
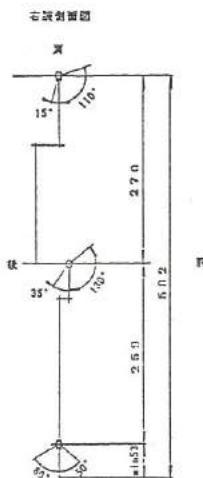


図6 各部の可動角度

Fig. 6 Movable angle of every parts

(2) ギヤ部

減速は、当初は静止保持力を考慮して、図7に示すようにウォームと平歯車列で設計した。しかし、設計を進めるうちに以下のことが分かった。

- ① ウォームは効率が50%と悪く、大トルクのモータが必要となる。
- ② 機構が複雑となり重量がかさむ。
- ③ 歯車のバックラッシュが大きく、減速するとかなりのガタができる。

また、減速比を1/500 になると静止保持力をあまり考慮する必要がないので、以下のような特徴を持つハーモニックギヤを用いることとした。

- ① 効率が70~80%である。
- ② 軽量コンパクトである。
- ③ 1/100 の減速が一台で可能であり、ガタも少ない。

ハーモニックギヤは図8に示す構造になっており、図9に示すように梢円の内歯と円形の外歯が噛み合っており、内歯が一回転すると外歯が一歯分だけ回転する。このハーモニックギヤは、肩前後、肩左右、ヒジ屈伸及び下腕回転の部分に用いた（図2参照）。ハーモニックギヤの減速比は1/100 とし、これに一組の平歯車を組み合わせて所要の減速比にした。

アームの寸法の都合により、上腕の回転の減速は遊星歯車のギヤヘッドで行い、手首左右はウォームギヤを用いた。また、手首上下は低速高トルクの超音波モータを使用するため、平歯車一組とした。

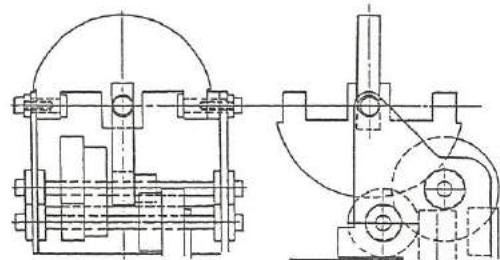


図7 ウォームと平歯車による減速機構

Fig. 7 Reduction mechanism with the worm wheel and series of plate gears.

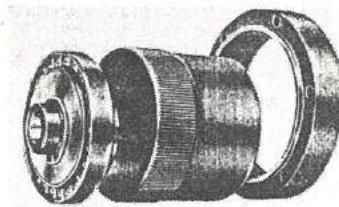


図8 ハーモニックギヤ概略図

Fig. 8 Mechanism of harmonic gears.

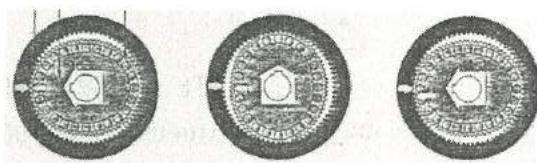


図9 ハーモニックギヤの動作原理

Fig. 9 Principle work of harmonic gears.

各部の減速ギヤの一方にはナイロン製のギヤを用い、過負荷時にはここで破損する構造とした。また、ナイロン製のギヤはボス部が弱く軸とスリップしやすいので図10に示すようにボスの上に鉄のリングを圧入し、その上から止めネジで固定した。

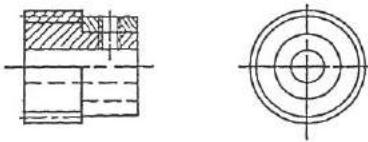


図10 ナイロンギヤのボス部補強

Fig. 10 Strengthening bosses of nylon gears.

(3) 構成部品

アーム構成部品はアーム自体の軽量化および加工性を考慮して、快削アルミを多用した。部品の精度・工賃を考慮して、曲げ加工を行わず、全て板状の部品で構成した。また、形状が複雑なギヤについては、鉄製の市販のギヤを加工し、肉抜きをするなどの軽量化を図った。

軸は鉄製とし、軸受けにはボールベアリングとドライベアリングを使用した。モータとギヤ軸の軸芯合わせは、図11に示すのように基準の板を決め、その板と定盤によるインローカー合わせで実施した。

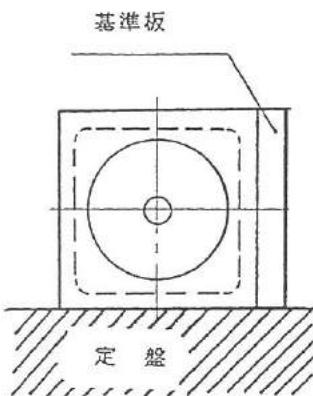


図11 軸芯合わせ方法

Fig. 11 The axial matching method, with fundamental plate.

(4) モータ部

モータには、小型化と軽量化を図るためDCサーボモータを採用し、その選定には以下の条件を満たすものとした。

- ① 軸方向寸法ができるだけ小さいこと。
- ② エンコーダを取り付けるため、両軸であること。
- ③ モータの自重当たりの出力が大きいこと。

表1は、現在市販されている小型DCサーボモータの一覧を示す。表から山洋のモータが最も条件に適しているので、このモータを使用すると仮定し、アームの必要トルクの計算を行った。

図12は本研究で採用したトルクの計算法および計算結果の一例を示す。最初は、アームの構成部品の重量が不明であるので、各モータの重量がそれぞれの自由端(W1・W2)にかかるものと仮定して計算した。計算の結果、肩部の駆動には67.6Kgfcm、ヒジ部には33Kgfcmのトルクが必要

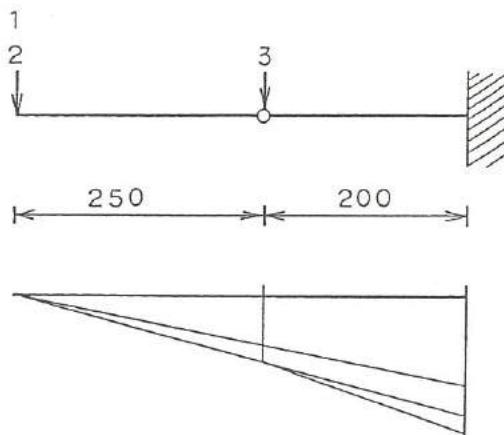
表1 各社のモータの性能比較表

Table 1 The comparative performance about DC motors of some corporation.

モーター (メーカー)	トルク	回転数	回転数30rpm時 のトルク換算	モーター重量	重量当りの トルク(30rpm)	軸を除く 全長	軸形式
R404 (山洋)	1.35kgcm	3000rpm	135kgcm	0.36kg	385.7kgcm	61.5mm	両軸
R402 (山洋)	0.75	3000	75	0.25	300.0	49	両軸
R301 (山洋)	0.36	3000	36	0.16	225.0	45	両軸
RH-14 (ハーモニカ)	54	30	54	1.52	35.5	122	片軸
RH-11 (ハーモニカ)	36	30	36	0.98	56.7	100	片軸
RH-8 (ハーモニカ)	20	30	20	0.58	34.5	86.7	片軸
RH-5 (ハーモニカ)	3	55	55	0.16	34.4	55	片軸
C-3267 (千葉)	0.3	5600	56	0.26	215.4	67	片軸
C-2344 (千葉)	0.08	7400	19.7	0.105	187.6	44	片軸
C-2144 (千葉)	0.05	6500	10.8	0.09	120.0	44	片軸

あった。このため、モータの定格回転数3000rpm、アームの必要最低回転数を6rpmとすると、1/500の減速となり、肩部では375Kgfcm (R402)、ヒジ部では180Kgfcm (R301) のトルクを出すことができ、それぞれ約 5.5倍の安全率が見込めた。

そこで、これらのモータを使用することに決め、部品図を設計した。今度は、部品重量を考慮し、より正確なトルク計算を行った。モータ及びギヤ等の重い部品を、それぞれの重心点に集中加重としてかかるとし、その他の部品はそれぞれ上腕および下腕に等分布加重としてかけ、さらに可搬重量である 1 Kgを加算した。図 1-3 は再計算の方法と計算結果を示す。この結果、トルクはヒジ部で48.95Kgfcm、肩部で158.51



荷重No	荷重 W (kgf)	スパンし (cm)	A点にかかるトルク (kgf・cm)	B点にかかるトルク (kgf・cm)
1	可搬重量 1	45.0	25.0	45.0
2	0.32	45.0	8.0	14.4
3	0.41	20.0	—	8.2
合計			33.0	67.6

図 1-2 簡易トルク計算法

Fig. 1-2 Easy calculating method of the required torque.

Kgfcm となった。この値は前回の値と異なるが、ヒジ部で 3.7倍、肩部で 2.3倍の安全率である。表 2 は以上のようなトルク計算法で、各部のモータと減速比を決定した結果を示す。

また、アームの先端をなるべく軽くするため、手首の駆動には超音波モータを用いた。超音波モータを採用することによって、次に示すメリットが得られた。

- ① 薄型である。
- ② 低速高トルクなので減速の必要がない。
- ③ 保持力が強い。

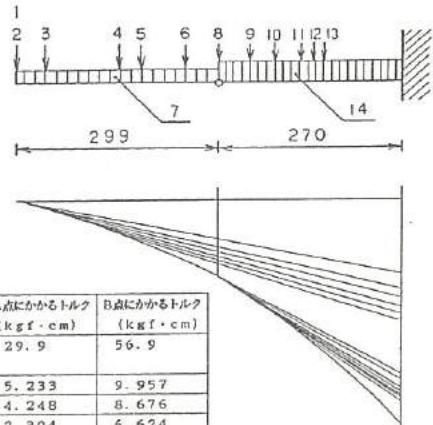


表 2 各部の使用モータとそのトルク

Table 2 The motors of every parts
and their torque.

	モーター	減速比	トルク (kgcm)
肩前後	R404	1/533	719.6
肩左右	R402	1/533	399.8
上腕回転	C2344	1/940	75.2
ヒジ	R301	1/533	191.9
下腕回転	R301	1/50	18.0
手首上下	R301	1/160	57.6
手首左右	超音波モータ	1/4	15.2

荷重No	荷重 W (kgf)	スパンし (cm)	A点にかかるトルク (kgf・cm)	B点にかかるトルク (kgf・cm)
1 可変負担 1	56.9	29.9	56.9	56.9
2 0.175	56.9	5.233	9.957	
3 0.164	52.9	4.248	8.676	
4 0.16	41.4	2.304	6.624	
5 0.16	38.6	1.856	6.176	
6 0.132	32.0	0.660	4.224	
7 等分布荷重 27~ 0.989	56.9	14.786	41.653	
8 0.193	27	—	5.211	
9 0.26	22.4	—	5.824	
10 0.119	16.8	—	2.237	
11 0.16	15.0	—	2.400	
12 0.155	13.0	—	2.015	
13 0.25	11.6	—	2.900	
14 等分布荷重 0~27 1.418	0~27	—	19.143	
合計		58.987	173.94	

図 1-3 トルク計算法

Fig. 1-3 Calculating method of the required torque.

(5) アーム部の問題点

アームを実際に動かしてみると個々の動作はほぼ設計通りの結果が得られたが、動作を詳細に検討すると以下のような改良点及び問題点が出てきた。

- ① 全ての構成部品の強度計算を詳細に行っていなかったので、必要以上に剛性がある所や強度的に弱いところが見受けられる。
- ② アームに過負荷がかかった時、ナイロン製のギヤが破損するようにしたが、すぐに復起できるようクラッチを挿入しなければならない。
- ③ 各ギヤのガタが意外と大きく、手首部分で 5 mm程度となる。
- ④ 全体的にゴツゴツした感じで丸みがなく機械的である。
- ⑤ 部品どうしが干渉して、各部の回転角度が計画よりも小さくなつた。

2. 2 ハンド部の構造

(1) 機構部

本研究で使用した形状記憶合金は、50% Ni-Ti系合金で、直径が 0.6、0.8、1.0mmの線材

(古河電工製)である。この形状記憶合金のマルテンサイト変態点は約50°C(3)である。形状記憶合金の熱処理条件は、真空度 10^{-3} torr以上、処理温度450°C、および処理時間は30分である。

形状記憶合金の形状特性を調べるために、合金をループ状およびコイル状(4)に加工し、図14に示すハンド試作モデルに取り付け、荷重などについて測定した。図15はループ径8mm一定で線径0.6、0.8および1.0mmの場合の加熱および常温時の引っ張り荷重特性、図16はコイル径3、6および8mmで線径0.8mmの場合の加熱および常温時の引っ張り荷重特性を示す。ハンドに形状記憶合金を取り付ける際に、形状記憶合金の加熱時と常温時の引っ張り荷重の差が大きいほどハンドの応答時間は短縮できるが、ここではハンドの大きさを人間の手と同程度とするため、線径が0.8mmでループ径が8mmのループ形状のものおよびコイル径が6mmのコイル形状の形状記憶合金を用いることにした。

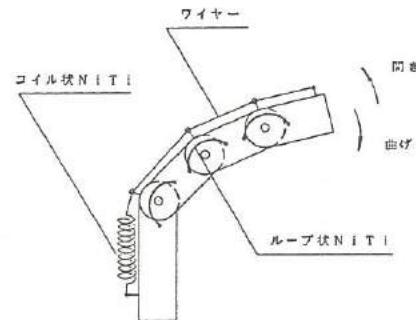


図14 試作した指の構造

Fig. 14 Structure of produced finger

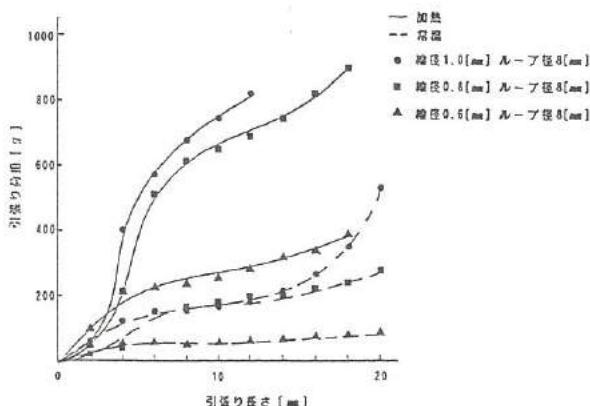


図15 ループ状NiTiの加熱および常温時の引っ張り荷重特性

Fig. 15 Relation between load and elongation of loop shaped NiTi alloy in heating or R. T.

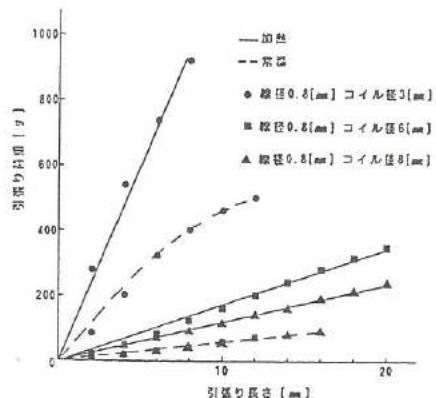


図16 コイル状NiTiの加熱および常温時の引っ張り荷重特性

Fig. 16 Relation between load and elongation of coil shaped NiTi alloy in heating or R. T.

図17は試作したハンドの構造図である。ハンドは15個の関節から構成されており、親指だけは2方向に動くように設計した。ハンドの材質には、形状記憶合金を通電加熱するため、電気絶縁材料で、高耐熱、高強度のエポキシ樹脂を使用した。

指	長さ (mm)
親指	7.4
人差し指	8.1
中指	8.9
薬指	8.1
小指	6.4

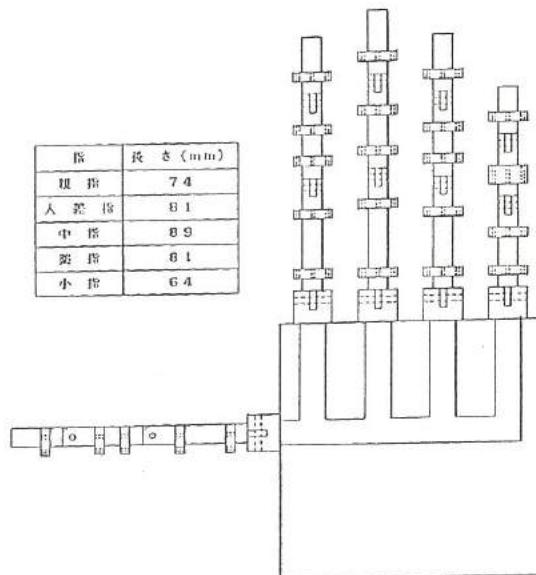


図17 ハンド部の構造

Fig. 17 Structure of palm.

(2) 形状記憶合金の制御方法

形状記憶合金を用いて、アクチュエータとしての動作をさせるには、加熱方法と温度測定法について検討する必要がある。ここでは、加熱方法として最も一般的な通電加熱法を採用した。温度の測定法としては、従来の温度センサーを用いる方法は、取り付け方法に問題があるため、形状記憶合金との熱起電力を利用する方法を考案し、次の基礎実験を行った。

実験に用いた形状記憶合金は線径 0.2mmの線材で、形状記憶処理したものと処理前の形状記憶合金線と熱電対としてよく用いられているクロメル、アルメル、コンスタンタン、銅およびステンレスを接合して実験を行った。実験は、形状記憶合金の先端に他の金属線を巻き付け接合したものを恒温槽の中に固定し、もう一方の先端を 0°C のコールドジャンクションに接続、経由した後、微少電圧計に接続した。熱起電力の測定温度範囲は、人の生活環境等も想定して、-50~75°Cとした。接合部の温度の測定は、接合部から 1 mm 以内のところに T型熱電対をセットして測定した。熱起電力測定のプロック図を図18に示す。

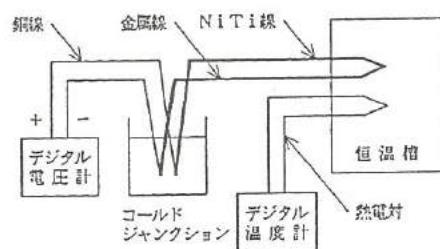


図18 热起電力の測定法

Fig. 18 Temperature characteristics of thermoelectromotive forces.

図19は測定した熱起電力と温度の関係を示す。図より、熱起電力と温度の関係は、測定した温度範囲ではほぼ直線的であり、ヒステリシスは 0.5°C 以内である。なおクロメルと接合したものは逆特性となるが比較のため同一極性で記載した。熱起電力はコンスタンタンと接合した場合 50 μV

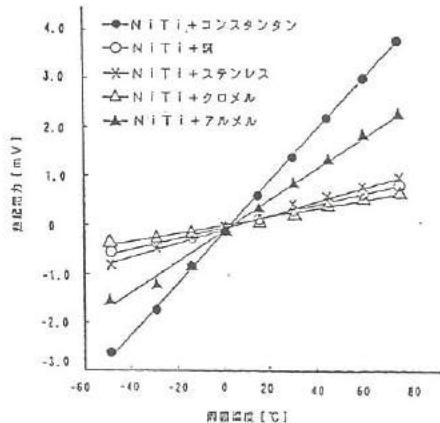


図19 热起電力の温度特性

Fig. 19 Temperature characteristics of thermoelectromotive force.

$/\text{deg}$ と最も大きく、これはK型熱電対の $40 \mu\text{V}/\text{deg}$ よりも大きい。図20に熱処理の有無による熱起電力の比較を示すが、ほとんど差異は見られない。また図21から分かるようにマルテンサイト変態点における起電力の特異点も観察されなかった。以上のようにNiTi合金自身を熱電対の一方として温度測定可能であることが分かった。このためNiTiのマルテンサイト変態点近傍でアクチュエータとして効率的にコントロール出来る見通しがついた。

また最初のハンドは、そのフレキシビリティを大きくとるため、各指に対して線径 0.8mm 、ループ径 8 mm の形状記憶合金を3本づつ使用する予定であったが、制御が複雑であり、取り付け方法にも問題があったので、形状記憶合金のループ径が 25mm のものに変更し、指一本に対して2本の合金を取り付けることとした。但し、親指については構造上1本とした。図22はハンド部の改造点の一例を示す。また、図24はハンド部の写真である。

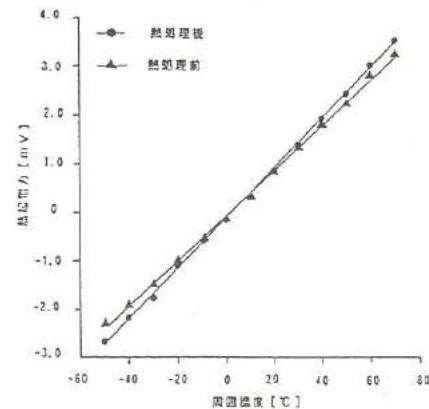


図20 热處理前と熱處理後の熱起電力特性

Fig. 20 Temperature characteristics of thermoelectromotive forces, heat treatment and untreatment samples.

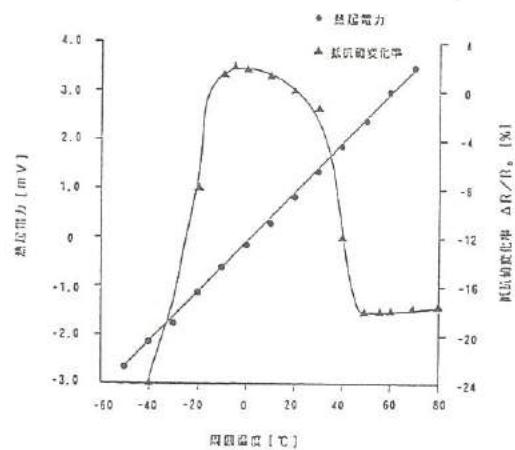


図21 抵抗率変化率と熱起電力比較

Fig. 21 Temperature characteristics of the thermoelectromotive forces vs. T. C. R. of NiTi alloy.

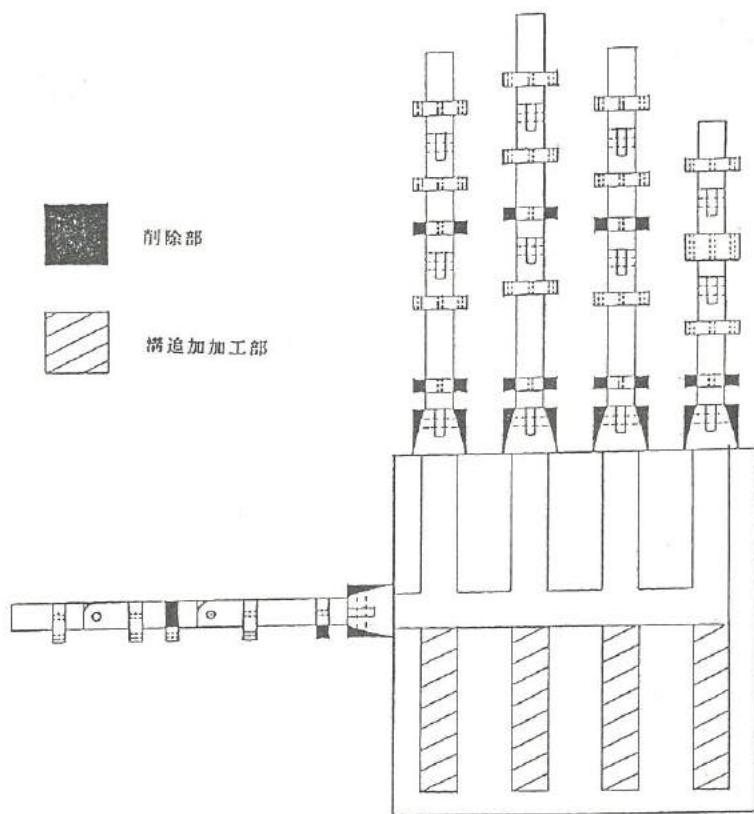


図22 ハンド部の改造図

Fig. 22 Structure of modified palm.

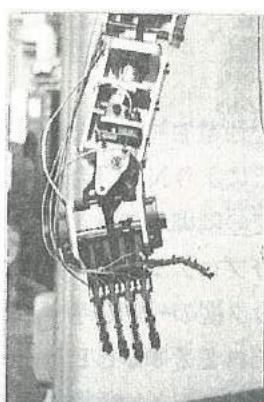


図23 ハンド部の写真

Fig. 23 Photograph of modified palm.

3. ロボットハンドの制御

3. 1 ハードウエア

(1) システム概要

図24は本制御システム全体のブロックを示す。図のようにメインコントローラとしてはNEC製パーソナルコンピュータPC-9801を使用し、外部制御部へのインターフェイスとしては汎用PIOボードを用いている。また外部制御部としてはDCサーボモータ、超音波モータ等のモータ類およびNiTi合金等の制御対象物に合わせて、次に示す2つのブロックで構成されている。

- ① ロボットアーム部用DCサーボモータ及び超音波モータ制御ブロック
- ② 指部NiTi合金制御ブロック

また、DC電源部の構成としては各種制御基板用および形状記憶合金駆動用5V(6.0A)、DCサーボモータ駆動用24V(6.5A)、ならびにエンコーダ用±12V(1.2A)の4種類の出力端子を有している。

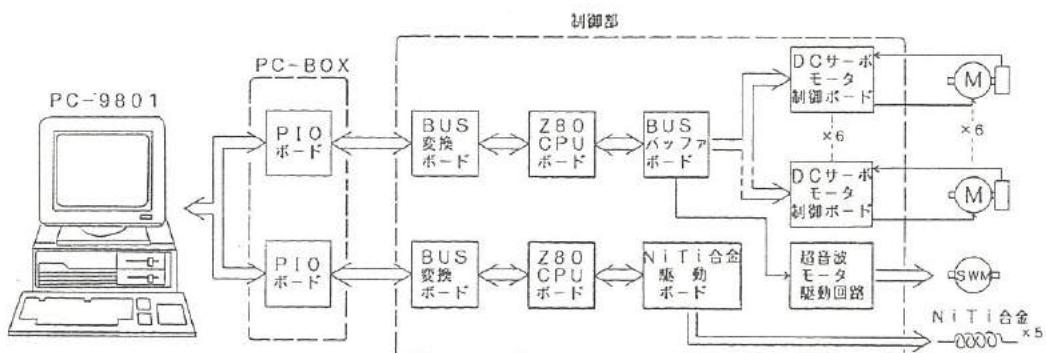


図24 フレキシブルハンド制御システム図

Fig. 24 Control system block diagram of the flexible hand.

(2) NiTi合金制御部

NiTi合金の制御はPWM方式の通電加熱制御であるが、前述のようにNiTi合金とコンスタンタン線とで熱電対を形成させることによりNiTi合金線の温度を直接測定することが可能となった。このため、合金の相転移温度近傍での制御ができ、応答速度・電源速度を向上させることは可能であるが、現在、最適制御回路およびプログラムを開発中であり、温度のフィードバック制御はまだ行っていない。図27は制御ブロック図の一例を示す。図のように、制御法としては各指の駆動用にNiTi合金が使用されており、それをZ80CPUボードから指令を受けたドライバ一部が通電加熱を行っている。また、NiTi合金の以上加熱検出回路も装備している。

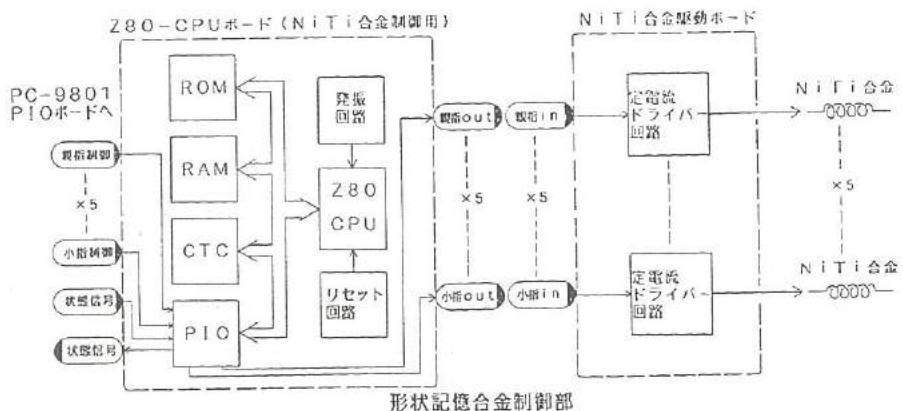


図25 形状記憶合金制御部

Fig. 25 Control block diagram of shape memory alloy.

(3) DCサーボモータ制御部

図26はDCサーボモータ制御システム部のブロック図である。図のようにメインコントローラであるPC9801の負荷軽減とシステムの応答速度を上げるために各DCサーボモータ駆動ボードにはZ80CPUが載っており、モータへの速度設定等の制御のほかにメインコントロールボードであるZ80CPUボードとの通信等の処理を行っている。このDCサーボモータ駆動部分は、アナログDCサーボ制御方式であり専用制御IC3個と駆動出力部で構成されていてPWM方式による電流制御を行っている。超音波モータは新生工業製のものであり、制御等には駆動ボードと共に購入したものを使用している。

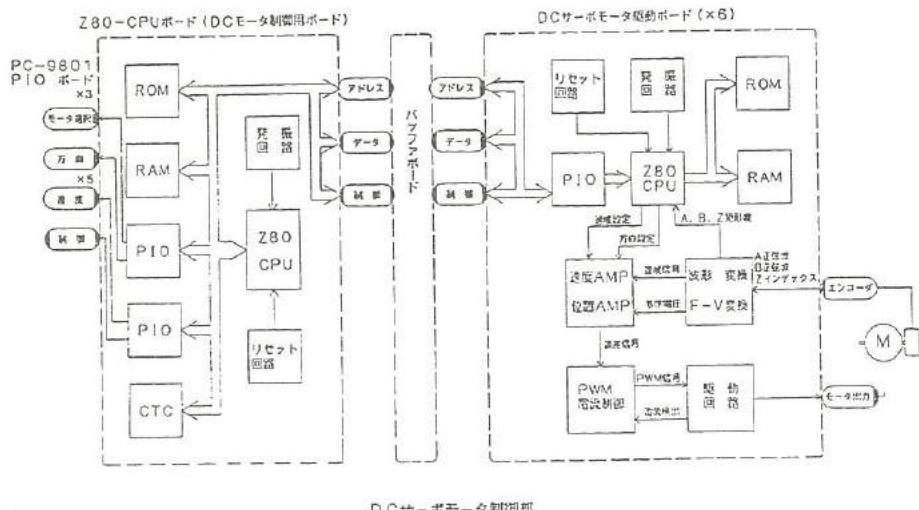


図26 DCサーボモータ制御ブロック図

Fig. 26 Control block diagram of DC servo motor.

3. 2 制御部のソフトウェア

本システムはハード部で述べたようにパーソナルコンピュータをメインCPUとし各サブCPUにパラレルのI/Oを通して指令を与え、各サブCPUがその指令を実行するマルチCPUシステムとなっている。以下に各プログラムモジュールごとの概要について説明する。

(1) メインプログラムモジュール（ホストCPU用）

図27はメインプログラムのフローチャートを示す。初期設定では、各周辺ICの初期化及び各軸の原点決めを行う。次に、キーボードから指令が入力されると、それにしたがって各軸のモータ及び指の行動計画をたて、各サブCPUに指令を与えている。

プログラミングには、保守性や開発効率を考えC言語を用い、モジュール別に開発を行った。図28は主なサブルーチンのフローチャートを示す。joint()では、与えられた角度をパルス数に変換し、速度パルス数のデータをロボットアーム制御用ボードに渡す。wrist()は、回転方向と角度及び速度を超音波モータ制御ルーチンに引き渡す。finger()は、曲げる指のビットを立て、ハンド部制御用ボードにデータを渡す。

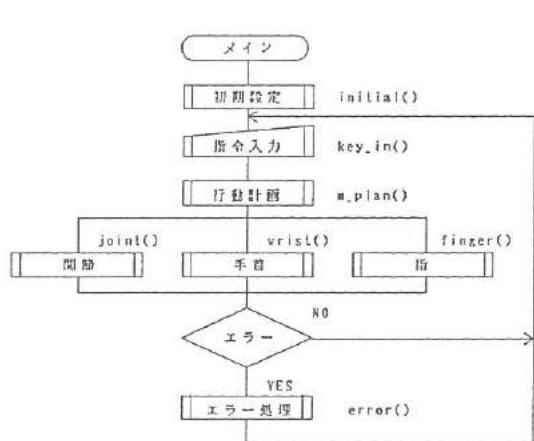


図27 メインプログラムモジュールの
フローチャート

Fig. 27 Flow chart of main program module.

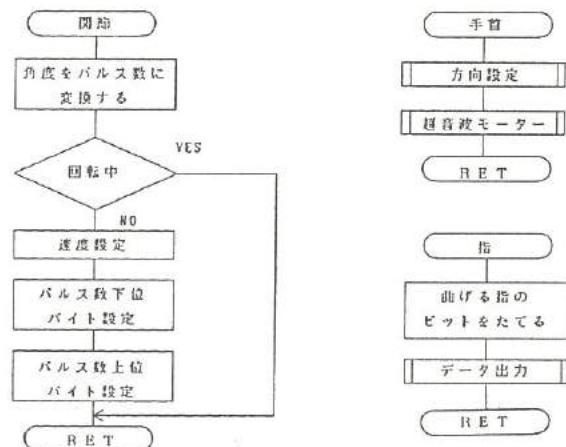


図28 メインプログラムモジュールの
主なサブルーチン

Fig. 28 Principle subroutines of main program module.

(2) ロボットアーム制御モジュール

このプログラムモジュールは、DCモータ駆動用ボード6枚を管理するための専用Z80CPUボード上有る。図29はこのプログラムのフローチャートを、図30はメインCPUとやりとりするパラメータを示す。このプログラムでは初期設定を行った後、メインCPUからのデータを

ポーリングし、受け取ったデータをDCサーボモータ制御用ボード用のパラメータに変換して出力している。

プログラミングにはZ80マクロアセンブリを用い、モジュール別に開発を行った。また、各モジュールはサブルーチン形式とし、パラメータはレジスタ渡しで行い、モジュールの独立性がとれるよう考慮した。

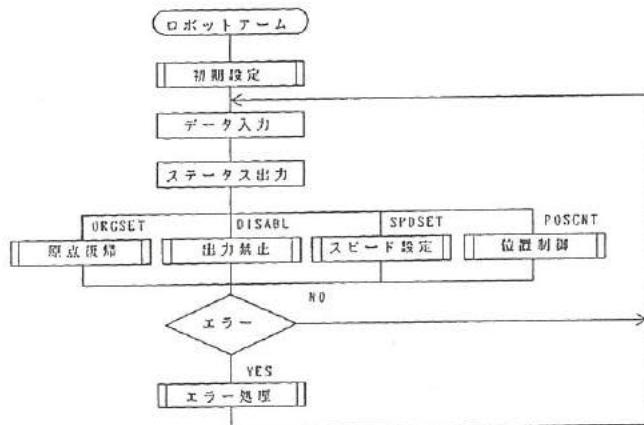


図29 ロボットアーム制御モジュールのフローチャート

Fig. 29 Flow chart of the robot arm program.

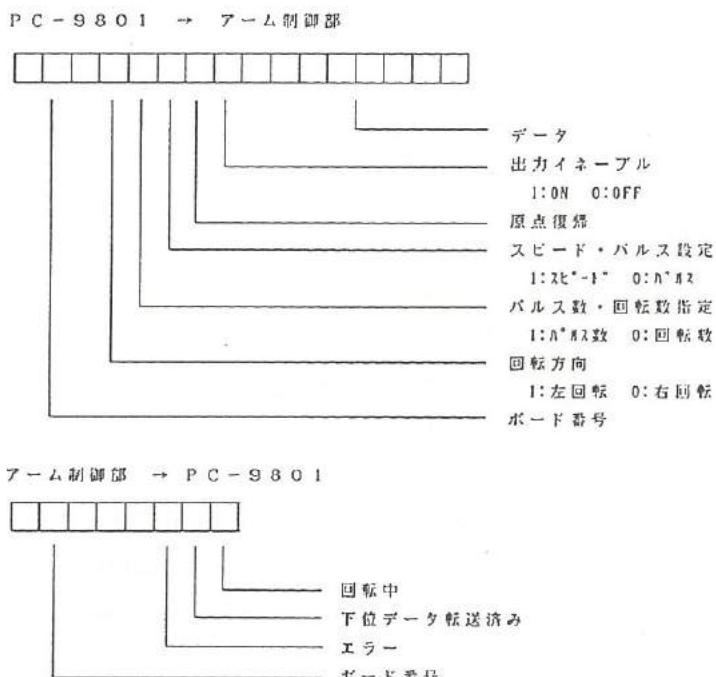


図30 パソコンとロボットアーム制御ボードとのI/O信号

Fig. 30 Input and output signals between personal computer and robot arm control board.

図31はモータを制御する4つのモジュールのフローチャートを示す。orgsetでは、まず右回転で速度制御運転を行い、原点スイッチが入ったところで一旦止め、次に左回転でインデックス運動を行い、エンコーダのZ相が入ってから一回転し、再びZ相が入ったところを原点とする。disablでは、制御コードの出力禁止ビットをたて、モータを停止させる。spdsetは、与えられたスピードから起動・制動特性を設定し、サーボモータ制御用ボードに制御コードを送る。



図31 ロボットアーム制御モジュールの主なサブルーチン

Fig. 3 1 Flow chart of principle subroutines of robot arm control module.

起動・制動特性の設定方法を図32に示す。速度を5段階ずつ上げていき、パルス数を一定としスローアップスローダウンすることにより図のような起動・制動特性を得ている。poscntでは、サーボモータ制御用ボードに位置制御命令を送りspdsetで設定された起動・制動特性でモータを指定パルス数（もしくは回転数）だけ回転させて止まる。

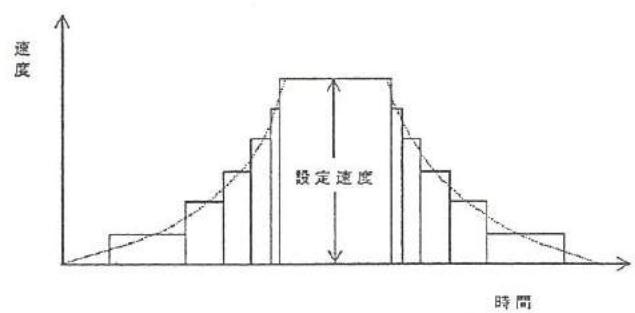


図32 DCサーボモータの起動・制動時の速度計算方法

Fig. 3 2 Calculating method of velocity of DC servo motor, start-up and braking.

(3) DCサーボモータ制御モジュール

このプログラムは6枚のDCモータ駆動用ボード上にあり、上記のC P Uボードと組合せてDCサーボモータを制御している。プログラム概要としては、C P Uボードからの制御命令により、サ

一ボモータの高速位置決め制御を可能とするプログラムである。図3-3はこのプログラムのフローチャートを示す。

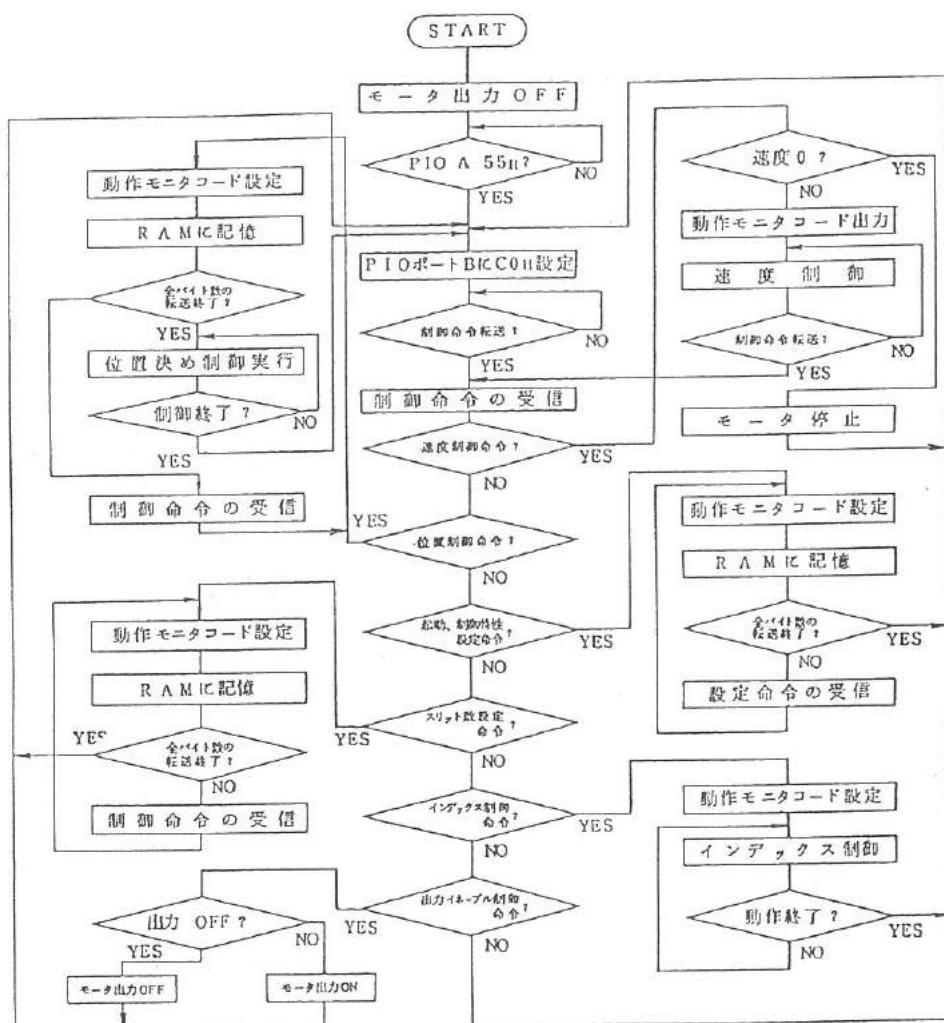


図3.3 DCサーボモータの制御モジュールのフローチャート

Fig. 3.3 Flow chart of DC servomotor control module.

(4) ハンド部制御モジュール

図34はハンド部の制御プログラムのフローチャートを示す。メインルーチンでは、まず CTC の初期化および割り込みの初期化を行い、1 ms 毎に割り込みをかけるようとする。次にホストコンピュータからデータを受け取り、曲げたい指のデータエリアにデューティ比をロードする。もし、曲げる指がない場合、モータでワイヤーを引っ張って指をのばし、次のデータを受け取る準備をする。割り込みルーチンではカウントをデクリメントし、各指のデューティ比と比較して、カウントより小さい場合には出力をONし、大きい場合には出力をOFFする。

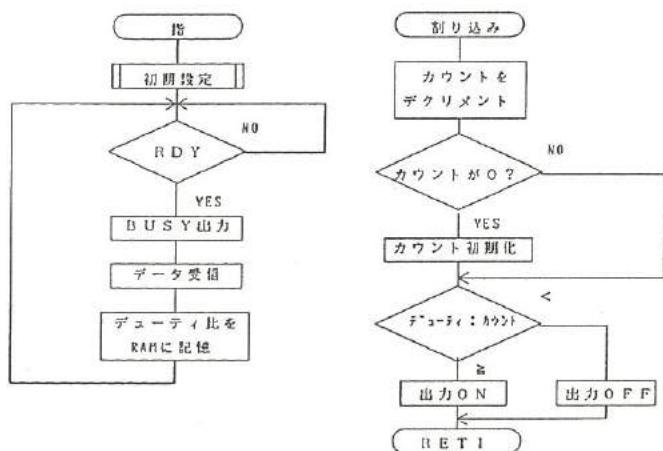


図34 ハンドモジュールのフローチャート

Fig. 34 Flow chart of the palm control module.

4. 結 言

現在世の中に出ているロボットハンドは、ある特定の目的に対して、それに応じた特定の機能しか果たさないものが一般的である。これからロボットは人と同程度、あるいはそれ以上の機能を有し、さらには人が耐えられない悪環境下でもその機能を発揮し、人の代わりに高等作業等を実行するロボットに発展していくものと考えられる。

ここでは、人の手の機構、メカニズムをインプリメントしたロボットハンドの開発を目的として、以下に述べるようなロボットハンドを試作した。

- ① 人の腕の機構は、肩、肘、手首の3関節からなり、各々の関節を支点として骨が3次元の次元を有する回転を柔軟に行う。この機構をインプリメントするため、アーム部を7軸、3関節とした。

各軸の制御は、設計上まだ問題点が残っていたのでシーケンスで行ったが、これで7軸同時制御に見通しがたった。

また、手先の位置、腕の姿勢をリアルタイムに制御するためには、膨大なステップの不動小数点演算が必要であり⁵⁾、パソコンの処理能力上実現しなかった。しかし、ホストCPUを代えればそれも可能である。

- ② 指の部分のアクチュエータには、形状記憶合金をコイル状またはループ状に加工したものを通電加熱することによる形状記憶効果を有効に利用する方法を採用した。

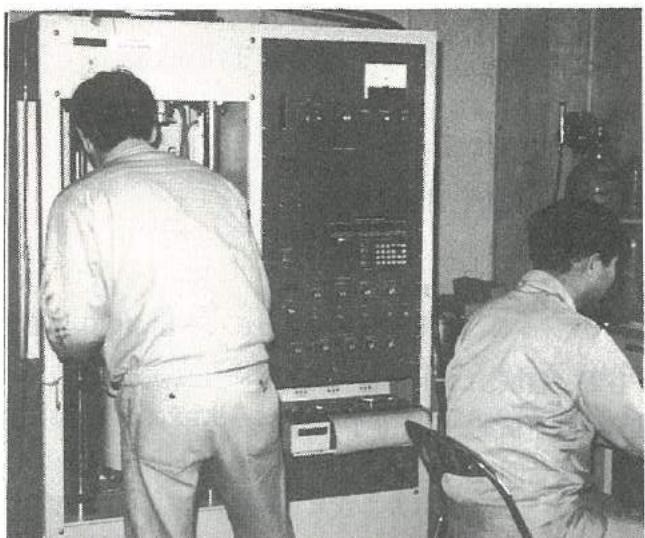
今回使用したNiTi合金のマルテンサイト変態点は約50°Cであるが、形状記憶効果をアクチュエータとして効率的に使うためには、NiTi合金線自身の温度を計測してフィードバックすることが必要であり、そのためNiTi合金線とコンスタンタン線を接続させ、ゼーベック効果による熱起電力の測定を温度計測方法として考案した。この方法を取り入れた最適制御方法等の検討と掌部分の機構設計の改良を行えば、掌の動き、つまり握る、つまむ等の動作をより機敏にコントロールすることが可能である。

最後に、本研究を進めるに当たり、「理想的な看護ロボット像」に対して多大な御提案を賜った富山医科大学の関係看護婦長の皆さんに対し深く感謝致します。

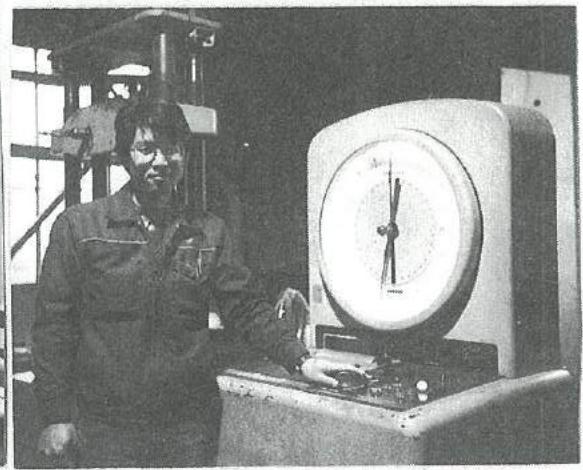
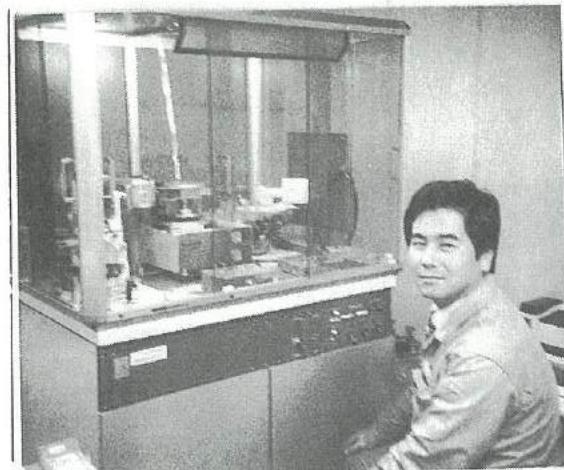
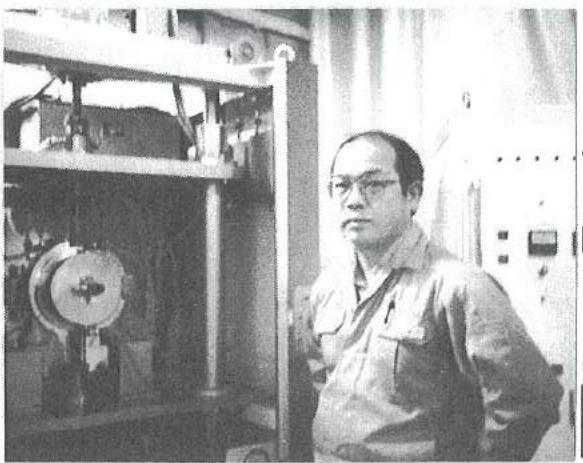
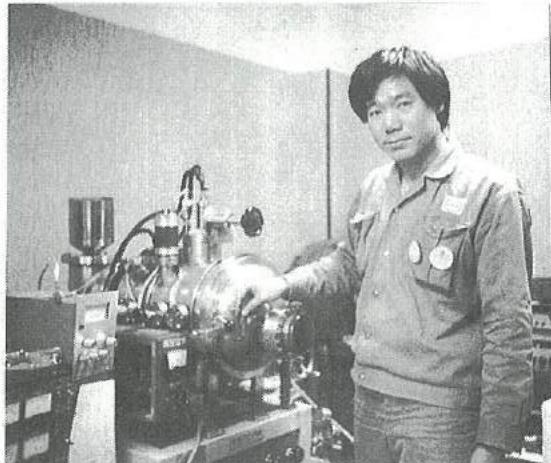
参考文献

- 1) 「ロボットアームの制御の展望」、長谷川 健介、計測と制御、
vol. 25、No. 1、p 3～p 6
- 2) 「ロボト工学入門」、(1984) オーム社、中野 栄二
- 3) 「形状記憶合金の抵抗温度特性」、谷野、藤城、二口、
昭和61年度電気学会北陸支部連合大会予稿集、P 261～262
- 4) 「形状記憶合金とその使い方」、日刊工業新聞社
- 5) 「ロボットアームの動力学計算法」、川崎 晴久、計測と制御
vol. 25、No. 1、p 23～p 29

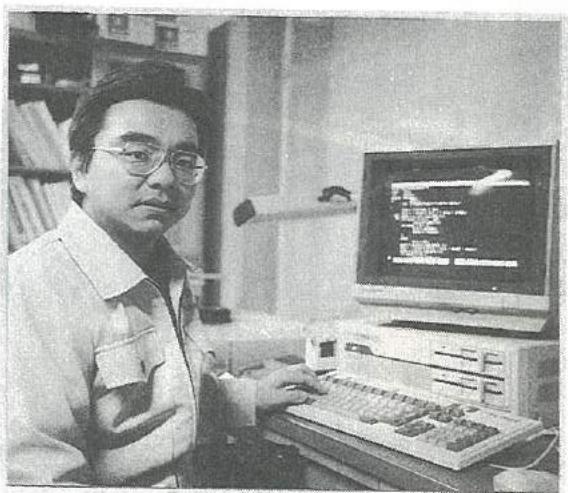
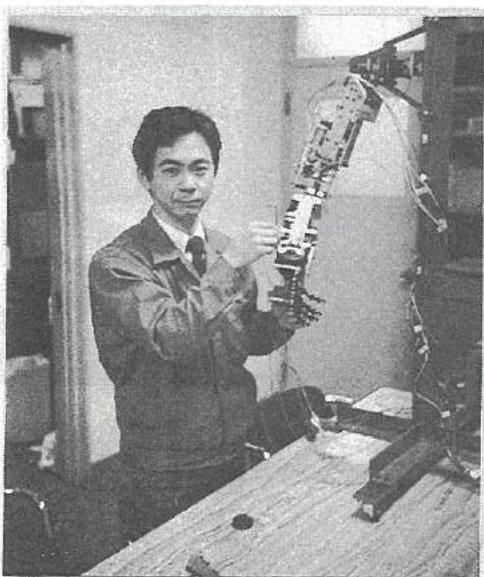
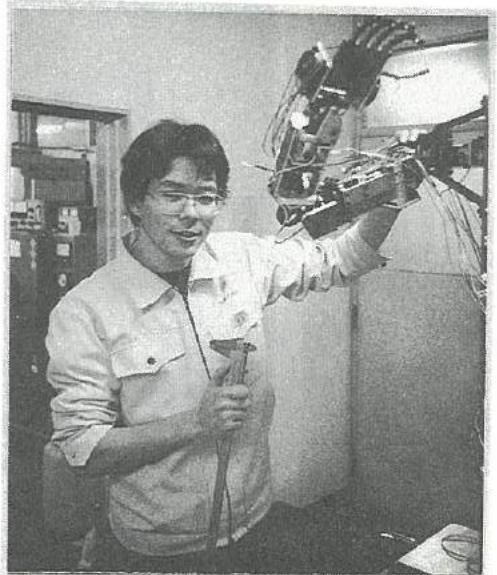
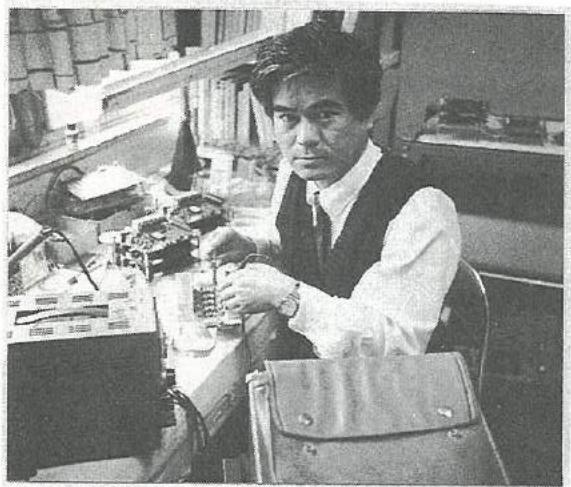
「複合材料の開発」グループの研究活動風景



「単結晶センサー開発」グループの研究活動風景



「看護ロボットの開発」グループの研究活動風景



発行者	若い研究者を育てる会
発行者住所	〒930 富山市高田529 (富山技術交流センター内)
発行年月日	昭和63年3月24日発行
印刷所	(有)栄和印刷

※ 無断転載を禁ずる。