

平成 12 年 度

(第 14 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成13年 3 月15日(木)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター

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 田 中 一 郎

本年も各企業から派遣されました若い技術者の皆様、工業技術センターを核とした関係各位の皆様の絶大なる協力のもとで、この一年間の成果の発表が開催されることに大いなる意義を感じております。

本研究会発足以来、歴代の会長様、また関係各位の皆様の本会継続への情熱に深く敬意を表する一人であります。

企業内においては、夫々に与えられた日常業務があり、なかなか研究という地味で根気のいる活動は残念ながら困難なものがあります。

『若い研究者を育てる会』の継続と地道な活動が、各分野での人材の育成と基礎技術力の向上に繋がり、結果、日本の富山県の製造業が、今後共逞しく世界のリーダー足り得る基盤になってくれることと大いに期待しております。

そして、機械電子研究所、各大学の諸先生方、県当局、技術開発財団、研究者派遣企業の各皆様には、今後共宜しくご指導の程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PJ推進担当 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5つの研究課題とグループを定め、平成12年5月から富山県工業技術センターにおいて、5グループ（5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、5テーマの内1テーマについては、富山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5テーマの研究の内の4テーマの研究概要について述べ、次に富山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。

なお、下記の研究テーマの順番は本書の目次の順番とは異なる。

- ①「高摩擦係数材料の研究」の研究グループ（参加企業1社）では、自動車の歯車減速機に使用されているシンクロナイザーリングの同期特性向上を主な目的として、表面放電処理（EDC）及びプラズマ溶射などの手法を用いて摩擦面に各種高摩擦係数材料を形成させ、高負荷条件下でも実使用に耐え得る材料の検討を行なった。

この研究から、（1）使用負荷に耐える被膜の硬さと硬質材の添加により、高摩擦係数化は可能であるが、相手材への攻撃性を考慮して、これらの組成比の最適化を行なう必要がある。（2）焼付性、摩耗性、剥離性及び油切れ性を向上させることによって、安定した摩擦特性が得られる、などの成果を得た。

- ②「低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究」の研究グループ（参加企業2社）では、高性能のダイレクトメタノール小型燃料電池の開発を最終目的として、最近、電気自動車用電源として注目を集めている固体高分子型燃料電池の構造と性能などを知るための基礎的研究を実施した。

この研究から、（1）触媒の種類、粒径、担持方法などは電池の性能に大きな影響を及ぼす。（2）固体高分子膜の膜厚と出力の間には相関性があり、薄いほど良いが、膜強度と出力とのバランスを取る必要がある。（3）電池を構成する部品間の接触抵抗は、電池の出力特性に大きな影響を及ぼすため、接触抵抗は極力小さくする必要がある、などの成果を得た。

富山県工業技術センターPJ推進担当 工学博士 藤城 敏史

- ③「エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価（2）」の研究グループ（参加企業1社）では、自動車エンジンの動弁機構を対象として、その挙動を推定し、動弁機構の最適設計までを考慮したCAE関連技術の開発を目的として、前年度に開発したバネー質点モデルに改良を加え、エンジン的高速回転域での動弁機構の状態（VTECモード）をモデル化し、動弁機構の挙動解析と最適設計への適用を行なった。

この研究から、（1）バネー質点モデルをシングルモードからVTECモードに拡張し、実機に近い状態での動弁機構のシミュレーションが可能になった。（2）バルブとロッカーアームの挙動がカムシャフトの形状に追従しなくなる限界の回転



数は、実機の回転数は9,000r.p.mであるのに対し、解析値では約8,600r.p.mであった。(3)非線形性が強い挙動を示すエンジンの動弁機構において、応答曲面法に基づく最適設計を試み、バネ-質点モデルを用いて、少ない計算回数による振動特性の設計が可能になった。

④「木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究」の研究グループ(参加企業2社)では、企業現有の一般的な成形機を応用してリサイクル材を作製する技術の開発を目的として、製材時に発生する北洋材木粉、建材製造時に発生する中質繊維板(MDF)粉とプラスチックを押し出し機により熔融混練し、プラスチックと廃棄木材粉とを複合化したりサイクル材の開発を行なった。

この研究から、(1)MDF粉配合樹脂は、押し出し機での混練時にMDFがほぐれ繊維状になって分散し、この効果により複合材料の機械的物性を向上させる可能性が示唆された。(2)成形時の押し出し回数を増やすことにより、MDFの分散状態を変化させることができた。(3)MDF粉配合樹脂において、ABSにはエポキシ変性アクリル/PMMAグラフトポリマー、PEには変性オレフィン系の相溶化剤が機械的物性の向上に効果があった。

富山大学大学院理工学研究科 工学博士 龍山 智榮

⑤「インテリジェントにおいセンサの研究(II)」の研究グループ(参加企業2社)では、新築住宅内に飛散するVOCの種類を推定するための「集積化VOCセンサ」に対して、ベンゼン系に感度の高い WO_3 、及びエステル系に感度の高い In_2O_3 素子について更に感度の向上を図った。



この研究から、(1) WO_3 に Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 (3wt%)、Rb、Cs(0.5wt%)などの添加により、ベンゼン系に対する感度が向上した。また、これらの WO_3 系センサでキシレンを検出する場合、検出限界はおよそ0.1ppm程度だと推測された。(2) In_2O_3 に MnO_2 (3wt%)、Pt(0.5wt%)などの添加により、エステル系に対する感度が向上した。また、これらの In_2O_3 系センサで酢酸ブチルを検出する場合、検出限界は0.01ppm程度だと推測され、良好な結果を得た。(3)インテリジェント化手法として、相関関数やニューラルネットをガスの識別に用い良好な結果を得た、などの成果が得られた。

以上、本書は5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14年間で実施した86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、過去に共同で10件程度出願している。

また、本研究で得られた成果の内の幾つかのものは、企業化や生産ラインの自動化などに応用されている。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立つものであることを確信している。

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

平成13年3月(谷野記)

研究グループの構成

I. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価（2）グループ

研究担当者 島村 和孝（田中精密工業㈱）
研究指導者 ○佐山 利彦（工業技術センター機械電子研）
森本 英樹（ ” ” ）
鍋澤 浩文（ ” ” ）
☆藤城 敏史（工業技術センターPJ推進担当）

II. インテリジェントにおいセンサの研究（II）グループ

研究担当者 谷口 真也（コーセル㈱）
小森 一哉（北陸電気工業㈱）
研究指導者 ○角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）
二口 友昭（ ” ” ）
牧村めぐみ（ ” 中央研究所）
藤城 敏史（ ” PJ推進担当）
谷野 克巳（ ” ” ）
☆龍山 智榮（富山大学大学院理工学研究科）

III. 高摩擦係数材料の研究グループ

研究担当者 高田 智哉（田中精密工業㈱）
研究指導者 ○森本 英樹（工業技術センター機械電子研）
杉森 博（ ” ” ）
上野 実（ ” ” ）
岩坪 聡（ ” ” ）
藤井 弘之（ ” ” ）
中川 章（ ” ” ）
☆谷野 克巳（ ” ” ）

IV. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究グループ

研究担当者 酒井 康弘 (㈱タカギセイコー)
前田 健二 (立山アルミニウム工業㈱)
研究指導者 ○水野 渡 (工業技術センター中央研究所)
佐伯 和光 (" ")
☆藤城 敏史 (" PJ推進担当)

V. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究グループ

研究担当者 高橋 雄一 (コーセル㈱)
山田 浩美 (東洋化工㈱)
研究指導者 ○関口 徳朗 (工業技術センター中央研究所)
大永 崇 (" 生活工学研)
寺澤 孝志 (" 機械電子研)
高林 外広 (" PJ推進担当)
☆谷野 克巳 (" ")

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. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価 (2)	1
1. 緒 言	1
2. エンジンの動弁機構	1
3. 前年度の研究概要	2
4. VTECモードでのバネ-質点モデル化	3
5. VTECモードの応答解析	5
6. 最適設計への適用	6
7. 結 言	8
II. インテリジェントにおいセンサの研究 (II)	9
1. 緒 言	9
2. 実 験 方 法	10
3. 実験結果と考察	11
4. 結 言	16
III. 高摩擦係数材料の研究	17
1. 緒 言	17
2. 高摩擦係数係数材料の要求特性と研究の方法	17
3. 摩擦・摩耗試験	19
4. 試 験 結 果	20
5. 結 言	24

IV. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究	-----	2 5
1. 緒 言	-----	2 5
2. 実験方法	-----	2 5
3. 実験結果	-----	2 7
4. 結 言	-----	3 2
V. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究	-----	3 3
1. 緒 言	-----	3 3
2. 燃料電池の動作原理	-----	3 3
3. 電池の材料、部品及び実験方法	-----	3 5
4. 結果及び考察	-----	3 8
5. 結 言	-----	4 0
○各研究グループの研究風景	-----	付- 1
○「若い研究者を育てる会」14年間の研究活動の足跡	-----	付- 6
○第7回『自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』の概要	-----	付-15
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-16
○入会申込書	-----	付-17

1. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価(2)

Dynamic Structural Analysis and Strength Evaluation for Valve Train System in Automobile Engine (2)

島村 和孝

佐山 利彦

森本 英樹

鍋澤浩文

藤城 敏史

SHIMAMURA Kazutaka

SAYAMA Toshihiko

MORIMOTO Hideki

NABESAWA Hirofumi

FUJIKI Satoshi

Abstract

Valve train system is one of the most influential factors for output power of automobile engine. However, development of high power engine is accompanied by unstable phenomena such as bounce of valve or surging of valve spring. These increases trial fabrication process in number and period. In order to reduce the process, a simple mass-spring model, which was constructed by mass, spring, damper, gap and beam elements, was developed in the last study. In this study, the model will be modified to carry out more accurate simulation of VTEC mode valve train system. Consequently, simulated result shows good agreements with the experimental result in the point of the bounce level and the rotation speed which sharp increase appears in bounce. Furthermore, the model will be applied to the optimization of the system on the basis of response surface methodology and design of experiments. The optimizing procedure shows us the possibility to develop superior engine with higher rotation speed and the minimum bounce level.

1. 緒言

近年、自動車エンジンには高出力、低燃費、長寿命などの高性能化が強く求められているが、これらの性能はエンジン内への吸気、排気を行う動弁機構によって大きく左右される。特に、高出力化は動弁機構の構成に影響され、エンジンが高速で回転すると、構成部品の破損や機構自体の異常な挙動など、低速時にはなかった問題⁽¹⁾が発生する。このため、試作、テスト回数が増加し、開発コスト、開発期間が増加するという問題を抱えている。そこで、開発コスト、開発期間を短縮する一つの手段として CAE (Computer Aided Engineering) が機器の設計に広く用いられている。CAE とは、部品、機構などをコンピュータ上で数値モデル化し、その挙動を解析、評価する技術である。問題箇所の発見と解決をすべてコンピュータ上のシミュレーションで行うために、余分な試作やテスト回数を削減することができる。最終的には、CAE による設計案に対して実機での確認を行う必要があるが、試作、テストを何度も繰返す従来の手法よりはるかに効率的である。

そこで本研究では、自動車エンジンの動弁機構を対象として、その挙動を推定し、動弁機構の最適設計までを考慮した CAE 関連技術の開発を目的としている。今年度は、前年度に開発したエンジンの動弁機構を最小限の有限要素でモデル化したバネ-質点モデルに対して、解析精度向上を目的とした改良を加える。次に、エンジンの高速回転域での動弁機構の状態 (VTEC モード) をモデル化し、動弁機構の挙動解析を行う。最後に、VTEC モードでのエンジンの性能向上を目的とし、バネ-質点モデルの動弁機構の最適設計への適用を行う。

2. エンジンの動弁機構

2.1 動弁機構とバウンス現象

エンジンの吸気、排気バルブを開閉させる機構を総称して動弁機構と呼ぶ。図 1 は、エンジンの動弁機構を模式的に示す。カムシャフトの回転によって、カムシャフト突起部の形状がロッカーアーム、バルブへと伝わり、燃焼室のバルブが開く。しかし、バルブにはバルブスプリングから上向きの荷重が常に作用しているため、カムシャフトの突起部の形状に追従してバルブと共にロッカーアームが初期位置へ戻り、燃焼室のバルブが閉じる。

動弁機構はこのような挙動を繰返し、吸気、排気を周期的に行う。エンジンの回転数が低速であれば、バルブの動きはカムシャフトの形状に追従するので問題は生じない。しかし、回転数が高速になるにつれて、動弁系の慣性力がバルブスプリングのバネ力を上回るようになるため、バルブやロッカーアーム等がカムシャフトから浮き上がる。設計値より大きくリフトしたバルブは、初期位置へ戻るまでに余分に加速されるため、ロッカーアームやシリンダヘッドと互いに激しく衝突し跳ね返るようになる。これがバウンス現象である。図2は、バウンス現象を模式的に示す。バウンスが発生することにより、閉弁時期が大幅に狂ってエンジンの出力低下と騒音増加を招く。また、構成部品間に発生する応力が許容応力を超え、部品の破損に至ることもある。したがって、動弁機構の挙動を解析する際には、カムシャフトの高速回転時でのバウンス現象を適切に再現しなければならない。

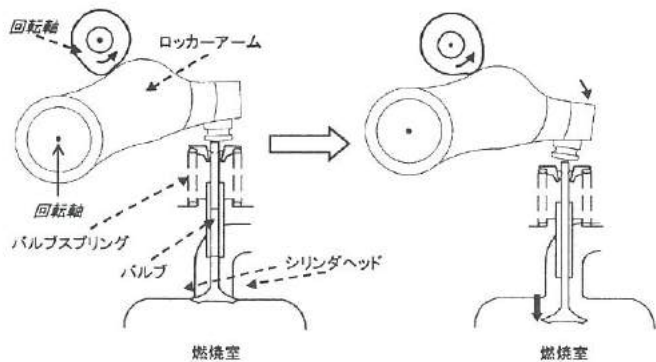


図1 エンジンの動弁機構の模式図
Fig. 1 Configuration of valve train system

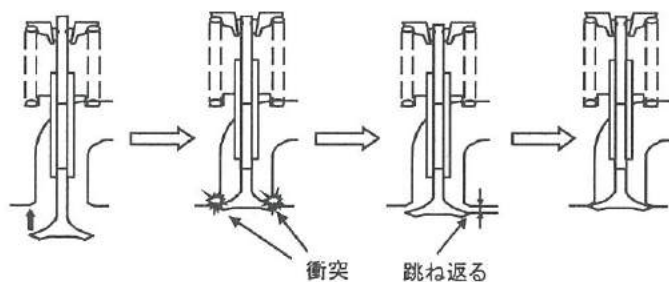


図2 バウンス現象
Fig. 2 Bounce phenomenon in valve motion

2. 2 VTECモード

本研究の対象である動弁機構は、燃焼室への混合気の吸気、排気のタイミングを低速回転域と高速回転域で変化させることにより出力特性を調整するVTEC (Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System)を採用している。図3は、VTECの模式図を示す。エンジンの回転数が比較的低速の状態では、低速用カムにより一次側と二次側のロッカーアームを直接リフトさせ吸排気が制御される。一方、高速回転時には十分な吸排気を得るために、高速用カムに制御を切り替える。すなわち、シャフト内から油圧を負荷し油圧ピストンA,Bを動かして、3つのロッカーアームを連結する。連結されたロッカーアームは、高速用カムにより連結用ロッカーアーム部分が負荷され、一体となってリフトされる。先に示したバルブのバウンス現象が問題となるのはエンジンの高速回転時であるため、VTECモードの状態をモデル化して挙動解析を行い、バウンス量を評価しなければならない。

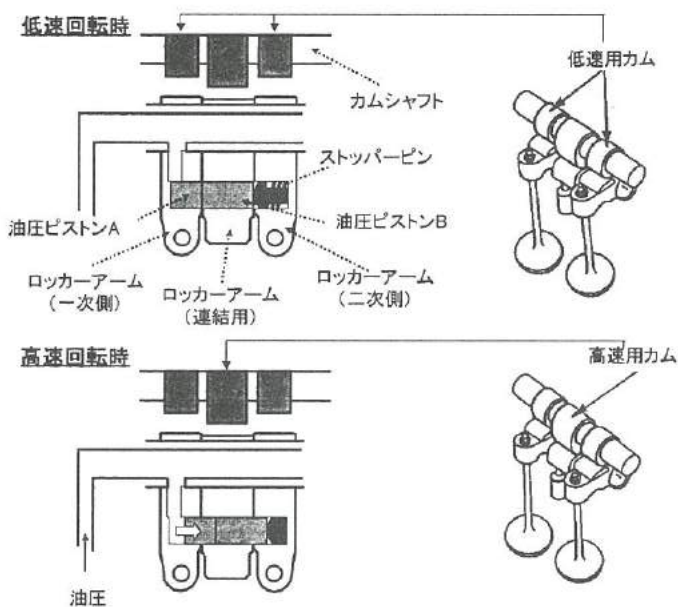


図3 VTECモードの模式図
Fig. 3 Configuration of VTEC mode

3. 前年度の研究の概要

3. 1 バネ質点モデル

前年度はエンジンの動弁機構の挙動をシミュレーションするために、構成部品を簡略に表現したバネ質点モデルを開発した。図4は、このバネ質点モデルを示す。構成部品の質量は、図4の●の節点へ適用する。カムシャフト、バルブおよびシリンダヘッドは、1次元コンビネーション要素を用い剛性、減衰をそれぞれの箇所へ適用する。ロッカーアームの部分は、1次元の弾性体はり要素で近似した。ロッカーアームは複雑な形状をしているため、複数個の要素を一行に並べ、要素

ごとに断面積、断面2次モーメントを定めた。構成部品の接触部分へは、接触剛性とギャップの機能を有する1次元コンビネーション要素を用いた。なお、1次元要素で置き換えた構成部品は実際の構成部品と同じ挙動を示すよう各要素の質量、剛性及び減衰を決定した。また、バルブスプリングは巻数に粗密があるため、全体を複数個のバネ要素によってモデル化した。

動弁系の挙動解析で、バネ-質点モデルを使用する際には、実際の構成部品と力学的に等価なモデルとする必要がある。そのため、各部の固有振動モードを再現できるバネ-質点モデルとなるように振動特性を実験モード解析によって定めた。

3. 2 シングルモードでの応答解析

バネ質点モデルを用いて、低速回転用の動弁機構（シングルモード）の応答を解析した。図5は、バウンス量の解析値と実測値の比較を示す。横軸はエンジンの回転数、縦軸はバルブの設計における最大リフト量に対するバウンス量の比率を表す。エンジンの回転数が7000rpm以下の範囲においては、解析値と実測値はよい一致を見た。しかし、バウンス量がある回転数以上で急増する限界の回転数には違いが見られた。解析では約7000rpmであるのに対し、実測では9000rpmであった。検討課題として、以下の項目が挙げられる。

① 振動特性の測定方法の再検討

振動特性は各部に加速度ピックアップを取り付けて測定したが、非接触による正確な測定を行う必要がある。

② ロッカーアームのソリッド化

ロッカーアームのような複雑な形状はソリッドでモデル化する必要がある。

③ バブスプリングの剛性の非線形化

巻数が密の部分において、バルブスプリングが縮むときに起こる自己接触による剛性の増加を考慮する必要がある。

4. VTEC モードでのバネ-質点モデル化

4. 1 バネ-質点モデルの改良

前年度作成したバネ質点モデルによる応答解析では、バウンス量が急増する限界の回転数に違いが見られた。そこで今年度は、VTEC モードのバネ-質点モデルを作成する前に、解析精度の向上を目的とし、バネ-質点モデルに改良を加えた。まず前年度作成したバネ-質点モデルにおいて、要素の形状を実機のロッカーアームやバルブ、バルブスプリング等の主要構成部品と座標を合わせて作成し、カムシャフトからのリフト量も実機の動弁機構の座標に合わせた。また、バルブスプリングの剛性の非線形化においては、有限要素法による構造解析により非線形剛性を求めた。図6は、バルブスプリングの両端付近の部分的な荷重と変位の関係を表す。これは、図4におけるSpring1とSpring5の部分に対応している。図6に基づいて、バネ-質点モデルに非線形特性を表現する非線形バネ要素を新たに追加した。

なお、前年度の考察から、振動特性の測定において、レーザードップラー振動計を用いて測定を試みたが、ノイズ等が多く固有振動モードを特定できなかった。また、ロッカーアームのソリッド化は、解析時間が膨大なものとなるため、今回は実施

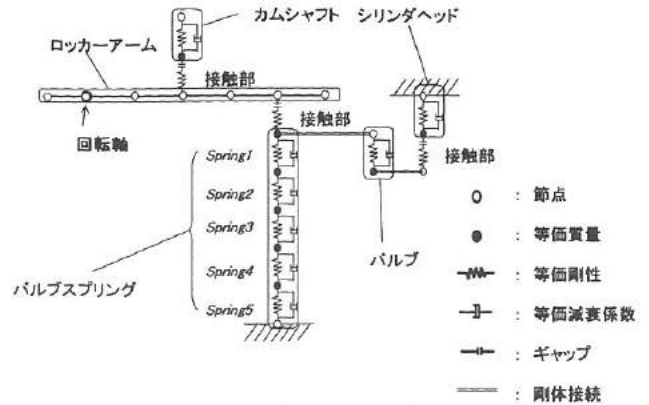


図4 バネ-質点モデル
Fig. 4 Mass-spring model of valve train system

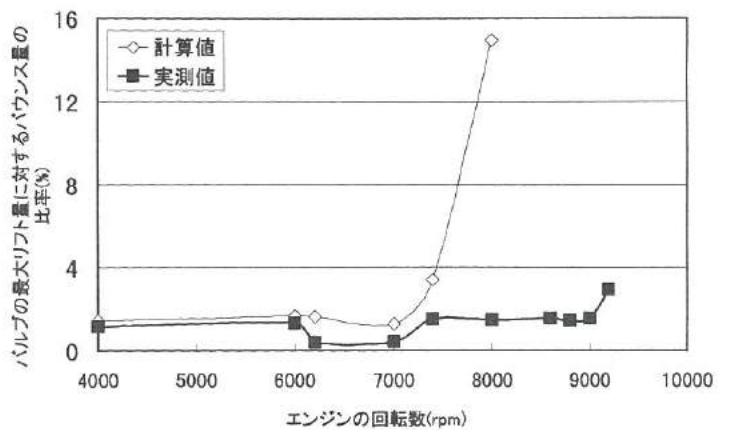


図5 エンジンの回転数に対するバウンス量の変化
(解析と実機の比較)

Fig. 5 Change of bounce height in different rotation speed of Engine

しなかった。

4. 2 VTECモードのばね-質点モデル

シングルモードにおけるばね-質点モデルを連結して、VTECモードにおけるばね-質点モデルを作成する。図7はVTECモードのばね-質点モデルを示す。一次側、二次側、連結用のロッカーアームは油圧ピストン A、B により連結されている。一次側、二次側の両ロッカーアームの下部にあるバルブスプリングには、非線形ばね要素(Spring6 と Spring7)を追加した。剛性の非線形性が見られる部分の要素に並列に接続している。表1は、VTECモードにおける各要素の振動特性である。非線形ばね要素は、ある一定量縮むまでは剛性がほぼ零となるよう設定値を調整している。

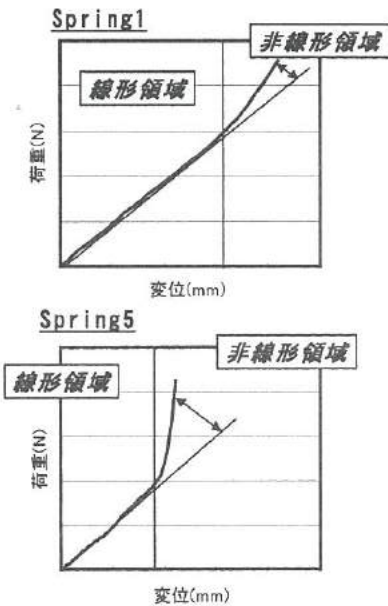


図6 バルブスプリングの剛性
Fig. 6 Stiffness of valve spring

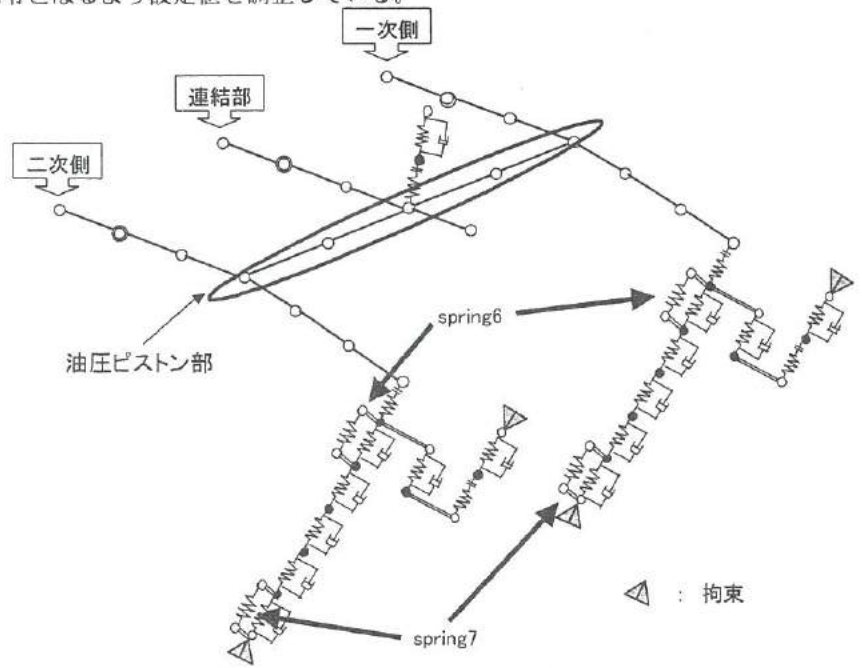


図7 VTECモードのばね-質点モデル
Fig. 7 mass-spring model of valve train system (VTEC mode)

表1 ばね-質点モデルの振動特性

Table 1 Measured vibration properties in mass-spring model of the valve train system

箇所	要素タイプ 要素名	要素 No.	リアルコンスタント								
			断面積(mm ²) AREA	断面2次モーメント(mm ⁴) IZZ IYY	高さ(mm) TKZ TKY	剛性(N/m) K1	減衰係数(Ns/m) C	質量(kg) M	ギャップ(mm) GAP		
一次側 ロッカーアーム	弾性ビーム E4	1	132.3	8872	3563	19.5					
		2	118.2	9987	3182						
		3	211.7	6869	7493						
		4	108.9	6709	4171						
		5	114.9	5547	4458						
		6	160.1	1626	2784						
		7	40.69	201.2	104.1						
バルブ	コンビ ネーション E40	8					5.56E+07	37.675	4.20E-02		
シリンダヘッド		9					9.63E+07	891.191	4.26		
バルブスプリング (線形部)		10						186141	11.601	1.06E-02	
		11						185279	11.548	6.91E-03	
		12						177547	11.066	6.85E-03	
		13						185279	11.548	7.33E-03	
中心軸		14						204056	12.718	1.02E-02	
接触部 (ロッカーアーム バルブ)		15						9.63E+07	891.191		
接触部 (シリンダヘッド バルブ)		16						5.56E+09			0.115
		17						9.63E+09			0.01
バルブスプリング (非線形部)	E39	47	下表参照								
		49	下表参照								

※ 非線形ばね要素 E39 の設定値

要素No.47, 49	変位(mm)	荷重(mN)	要素No.48, 50	変位(mm)	荷重(mN)
	-4.7	0.0		-2.30	0.0
	0.0	588.0		0.0	27252.2
	3.2	7936.0		1.80	39266.1
	3.3	48055.3		1.85	58027.9
	3.6	88174.5		1.90	79210.0
	3.9	101547.6		2.00	111006.5
	4.0	114920.7		2.15	154275.8
	4.1	155039.9		2.20	212718.9
	4.4	195159.2		2.25	291087.4
	4.7			2.30	395469.6
					533595.0
					715238.4

箇所	要素タイプ 要素名	要素 No.	リアルコンスタント									
			断面積(mm ²)		断面2次モーメント(mm ⁴)		高さ(mm)		剛性(N/m)	減衰係数(Ns/m)	質量(kg)	ギャップ(mm)
			AREA	IZZ	IYY	TKZ	TKY	K1	C	M	GAP	
ロッカーアーム	弾性ビーム E4	35	180.5	11610	7958	一次側の 弾性ビームE4 と同様						
		36	156.7	13260	6789							
		37	220.9	7298	17560							
		38	96.58	7979	8455							
		39	80.26	3818	7677							
中心軸	コンビ	40							9.63E+07	891.191		
カムシャフト	ネーションE40	41							1.06E+08	1104.61	1.36	
油圧ピストンAB	弾性ビーム E4	42	63.61		322.1		9.0					
		43										
		44										
		45										
接触部 (ロッカーアーム カムシャフト)	コンビ ネーションE40	46							1.06E+10			0.115

箇所	要素タイプ 要素名	要素 No.	リアルコンスタント									
			断面積(mm ²)		断面2次モーメント(mm ⁴)		高さ(mm)		剛性(N/m)	減衰係数(Ns/m)	質量(kg)	ギャップ(mm)
			AREA	IZZ	IYY	TKZ	TKY	K1	C	M	GAP	
ロッカーアーム	弾性ビーム E4	18	132.3	8872	3563	一次側の 弾性ビームE4 と同様						
		19	118.3	9990	3184							
		20	218.4	6983	7986							
		21	117	6281	4517							
		22	125.4	5769	4928							
		23	160.1	1626	2784							
		24	47.2	201.2	104.1							
		バルブ	コンビ ネーション E40	25								一次側部のコンビネーションE40と同様
シリンダヘッド	26											
バルブスプリング (線形部)	27											
	28											
中心軸	29											
	30											
接触部 (ロッカーアーム バルブ)	31											
接触部 (シリンダヘッド バルブ)	32											
33												
34												
バルブスプリング (非線形部)	非線形バネ E39	48							前ページの非線形バネ要素E39の設定値 参照			
		50										

5. VTEC モードの応答解析

5. 1 エンジンの回転数によるバウンス量の変化

VTEC モードにおけるバネ質点モデルを用いて、バウンス現象が発生するバルブの挙動について解析を行った。

図8は、バウンス量の定義方法を示す。なお、バルブのバウンスはエンジンの回転数により①、②に示される2つの形態があるため、バウンス量は以下の方法で求めた。

① バルブリフト量が零となる前にバウンスが発生するリフト波形となる場合は、次式によりバウンス量 u_b を求めた。

$$u_b = y - \frac{y_0}{2} \quad (1)$$

y_0 はバルブのリフト終了時においてリフト方向が反転した時のリフト量、 y はリフト方向が変化した時の極大値を示す。

② バルブリフト量が零になった後にバウンスが発生するリフト波形となる場合は、バウンス量 u_b は y とする。

$$u_b = y \quad (2)$$

図9はエンジンの回転数 4000rpm~9000rpm におけるバルブリフト曲線を示す。横軸は時間、縦軸はバルブ設計における最大リフト量に対する比率を表す。エンジンの回転数が 4000rpm~8000rpm の範囲では、バウンス量は2%以内に抑えられてい

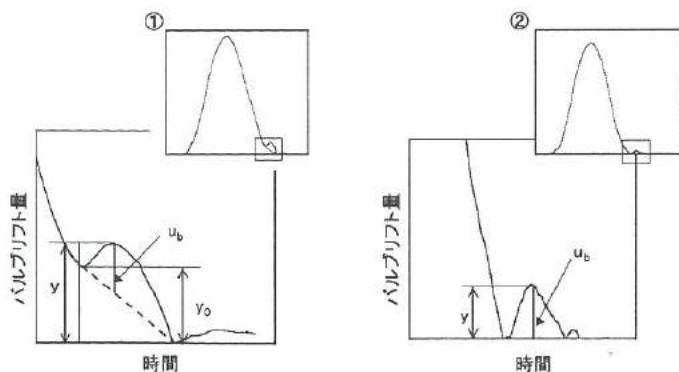


図8 バウンス量の定義
Fig. 8 Definition of bounce height

るが、9000rpmでは、バウンス量が4%前後まで増加する。

5.2 バウンス量の実機との比較

解析で得られたエンジンの回転数ごとのバウンス量を実機を用いた計測値と比較した。図10は、バウンス量の解析値と実測値の比較を示す。横軸はエンジンの回転数、縦軸はバルブの最大リフト量（設計値）に対するバウンス量の割合を示す。解析結果と実測値はよく似た傾向を示した。エンジンの低回転域において、実測のバウンス量が減少していないが、これは実測値にエンジン全体の振動も含まれていることが原因と思われる。また、バウンス量が急激に増加する限界の実測回転数は、約9000rpmであり、解析値は実測値に対して8600rpmと約400rpm低速域に現れた。このことより、解析値のバウンス特性は、実測値と比較して、低速域側にずれていると考

えられる。この原因として、実験モード解析で得られた振動特性の誤差や、複雑な形状であるロッカーアームをばり要素で近似していること等が考えられるが、実測値と解析値の誤差が400rpm程度であり、バルブのバウンス特性を評価するためには実用的なモデルであると考えられる。

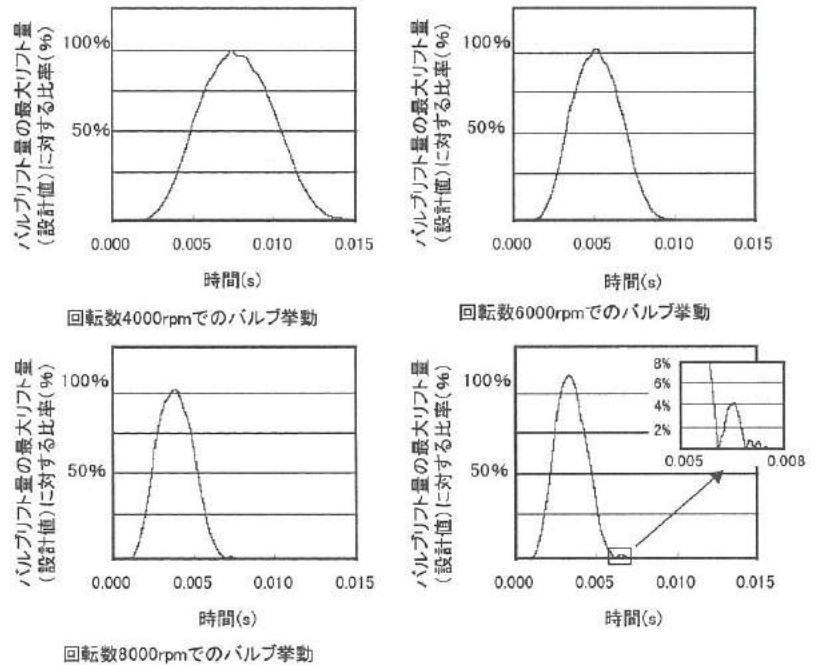


図9 回転数によるバルブ挙動の違い
Fig. 9 Valve lift diagrams in different rotation speed of engine

6. 最適設計への適用

6.1 応答曲面法の非線形問題への適用

エンジンの動弁機構は、構成部品相互の頻繁な衝突・分離およびエネルギー散逸などのために、非常に非線形性が強い挙動を示す。近年、このような非線形性が強い現象に対して機器の最適設計を行うために、応答曲面法⁽²⁾と呼ばれる手法が着目されている。これは、従来用いられていたモンテカルロ法や確率有限要素法と異なり、計算回数が少ないことや汎用構造解析ソフトと組み合わせることで容易に利用できるなどの特徴を有している。ここでは、動弁機構モデルによる機構解析と応答曲面法を組み合わせ、バウンス量やバウンスが急激に増加するエンジンの回転数に対して、動弁機構の部分的な最適設計を試みる。具体的には、動弁機構モデルにおける要素の剛性や質量などの設計因子をパラメトリックに変えて機構解析を行い、その結果に基づいて設計因子を変数としたバウンス量などの近似推定式を作成し、これを用いて最適設計を行う。また、動弁機構モデルによる機構解析の数を最低限度に押さえるために、実験計画法を用いた。図11は、最適設計のフローチャートであり、手順の概略を以下に述べる。

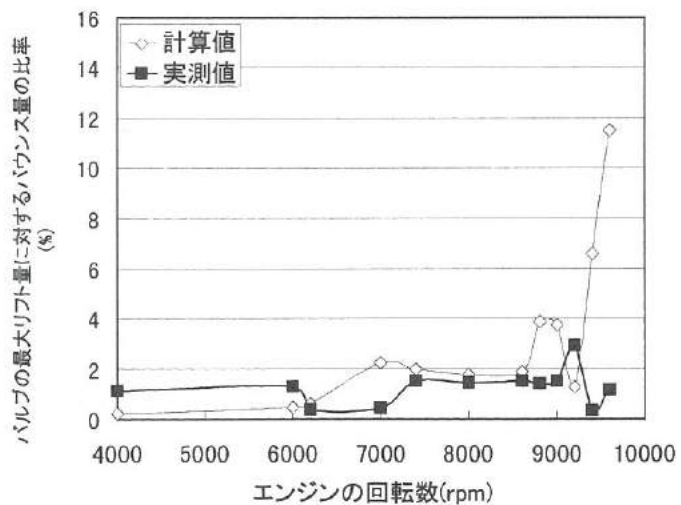


図10 エンジンの回転数に対するバウンス量の変化 VTECモード
(解析と実機の比較)
Fig. 10 Change of bounce height in different rotation speed of Engine (VTEC mode)

- (1) 特性値（バウンス量など）に対して、大きな影響を与えると思われる設計因子を選択する。
- (2) 設計因子を変化させる水準数を決め、直交表に割り付ける。
- (3) 直交表に従って、動弁機構モデルによる機構解析を実施する。
- (4) Chebyshev の直交多項式を用いて、設計因子を変数とした特性値の近似推定式を作成する。
- (5) 近似推定式を用いて再解析して得られた特性値と機構解析の結果とを比較し、近似推定式の精度を評価する。

- (6) 近似推定式を各設計因子で偏微分し、特性値に対する設計因子の定量的な影響度（感度）を求める。近似推定式を用いて、設計因子の最適設計を行う。例えば、ある特性値の近似推定式を目的関数とし、設計因子の変更可能な範囲内で、目的関数を最大（最小）にする、などの処理を行う。

6. 2 バウンスに関する推定式および再解析

バウンス量およびバウンスが急激に増加するエンジンの回転数を特性値として、近似推定式を作成する。まず、設計因子として、バルブの質量 m_v (kg)、バルブスプリング上部の剛性 k_1 および k_2 (N/m)、ロッカーアームの断面 2 次モーメント I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、 I_5 (mm⁴) の 8 つの設計因子を選択した。これらは、バルブとロッカーアームとが接触する部分の変形や伝達される運動エネルギーに直接関係すると思われる因子である。ただし、バルブスプリングのバネ剛性については巻線ピッチの違いのみを考慮し、非線形剛性 k_6 は、 k_1 に対応して変化するものと仮定した。また、ロッカーアームの形状変化は、断面が相似形を保って変化する場合のみを想定し、断面 2 次モーメントと関連して断面積も変化するものと仮定した。

次にこれらの設計因子を 3 水準 L27 の直交表に割り付けて、一つのエンジン回転数に対して 27 通りの機構解析を行った。8 つの設計因子の影響を総当りの解析によって調べる場合は、3⁸=6561 通りの解析を行う必要があることと比較して、直交表を用いることによって非常に効率的な設計因子の影響評価ができることがわかる。解析結果に基づいて、バウンス量が限界値をこえるエンジン回転数 f_c (rpm) の近似推定式が次のように得られた。

$$\begin{aligned}
 f_c/2 = & 1.577e4 + 2.651e5 * m_v - 7.049e6 * m_v^2 + 5.860e2 * k_1 - 1.359 * k_1^2 - 7.841e1 * I_5 + 2.016e-2 * I_5^2 + 1.809e1 * k_2 \\
 & - 4.572e-2 * k_2^2 + 9.918e-1 * I_1 - 4.845e-5 * I_1^2 - 2.993 * I_2 + 2.136e-4 * I_2^2 + 6.462e-1 * I_3 - 4.866e-5 * I_3^2 \\
 & - 3.564e-1 * I_4 + 3.187e-5 * I_4^2 - 2.558e4 * m_v * k_1 + 5.769e1 * m_v * k_1^2 + 2.426e5 * m_v^2 * k_1 - 5.156e2 * m_v^2 * k_1^2 \\
 & + 2.638e3 * m_v * I_5 - 6.249e-1 * m_v * I_5^2 - 1.983e4 * m_v^2 * I_5 + 3.931 * m_v^2 * I_5^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

機構解析を行った 27 通りの設計因子の組み合わせに対して、この近似推定式を用いて再解析を行い、 f_c を推定した。図 12 は、機構解析の結果と近似推定式による再解析の結果を比較したものである。両者は比較的良好に一致しており、非線形性が強い問題であるにもかかわらず最大誤差は 6.8% であった。また、エンジンの回転数 f が、8400rpm から 9200rpm の範囲において、設計最大リフト量に対するバウンス量の比 u_R の近似推定式が次のように得られた。

$$\begin{aligned}
 u_R = & 3.099e0 - 1.412e2 * m_v + 1.870e3 * m_v^2 + 6.089e-4 * k_1 - 1.108e-5 * k_1^2 - 2.826e-3 * I_5 + 9.823e-7 * I_5^2 - 1.179e-3 * k_2 \\
 & + 3.107e-6 * k_2^2 - 2.785e-5 * I_1 + 1.381e-9 * I_1^2 + 6.641e-5 * I_2 - 4.841e-9 * I_2^2 - 1.315e-5 * I_3 + 8.769e-10 * I_3^2 \\
 & - 1.747e-4 * f + 2.077e-8 * f^2 - 1.843 * m_v * k_1 + 8.999e-4 * m_v * k_1^2 + 5.122e0 * m_v^2 * k_1 - 1.829e-2 * m_v^2 * k_1^2 \\
 & + 1.958 * m_v * I_5 - 6.594e-5 * m_v * I_5^2 - 2.924e0 * m_v^2 * I_5 + 9.743e-4 * m_v^2 * I_5^2
 \end{aligned} \tag{4}$$

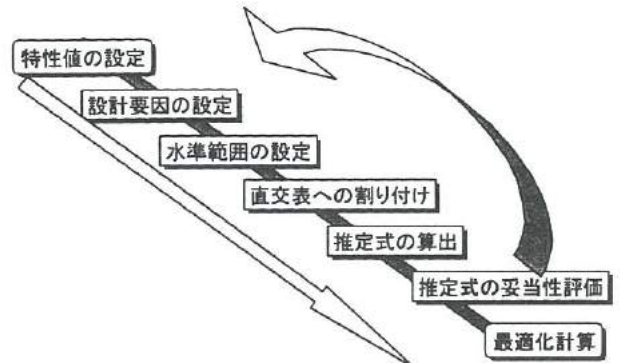


図11 最適設計へのフローチャート
Fig. 11 Flow chart of the design optimization

6. 3 部分的最適設計の例

ここでは、 f_c の近似推定式(3)を目的関数として、 f_c を最大にする設計因子を求める最適化設計を行う。ただし、設計因子は、近似推定式(3)を作成するために変化させた範囲以内の値をとるものという制限を設けた。これは、標準的なエンジンの動弁機構において、その振動特性値が±20%の範囲内で可変であると仮定したものである。すなわち、

$$1.49e5N/m < k_1 < 2.23e5N/m, \quad 1.48e5N/m < k_2 < 2.22e5N/m,$$

$$3.36e-2kg < m_v < 5.04e-2kg, \quad 7.99e3mm^4 < I_1 < 1.20e4mm^4,$$

$$5.50e3mm^4 < I_2 < 8.24e3mm^4, \quad 5.37e3mm^4 < I_3 < 8.05e3mm^4,$$

$$4.44e3mm^4 < I_4 < 6.66e3mm^4, \quad 1.30e3mm^4 < I_5 < 1.95e3mm^4,$$

の範囲内で最適値を探索した。その結果、

$$k_1=1.49e5N/m, \quad k_2=2.00e5N/m, \quad m_v=4.14e-2kg, \quad I_1=1.02e4mm^4, \quad I_2=5.50e3mm^4, \quad I_3=6.64e3mm^4, \quad I_4=4.44e3mm^4, \quad I_5=1.95e3mm^4,$$

のときに、 $f_c=10210rpm$ までエンジンの回転数を上げることができるという結論が得られた。

7. 結 言

本研究では、エンジンの動弁機構の挙動を再現するため、前年度に作成したバネ-質点系の有限要素モデルをより実機に近い形に拡張し動弁機構の応答解析を行った。また、動弁機構の最適設計へ適用を試みた。以下に示す成果が得られた。

- (1) バネ-質点モデルをシングルモードから VTEC モードに拡張し、実機に近い状態での動弁機構のシミュレーションが可能になった。
- (2) バルブとロッカーアームの挙動がカムシャフトの形状に追従しなくなる限界の回転数は、実機の計測値は 9000rpm であるのに対し、解析値では約 8600rpm であった。バルブのバウンス特性を評価するための実用的なモデルを開発できたといえる。
- (3) 非線形性が強い挙動を示すエンジンの動弁機構において、応答曲面法に基づく最適設計を試み、バネ-質点モデルを用いて少ない計算回数による振動特性の設計が可能になった。

参考文献

- (1) 渡辺：“機械工学系の実用シミュレーション入門,” 1987, 山海堂。
- (2) 柏村、白鳥、于：“実験計画法による非線形問題の最適化,” 1998, 朝倉書店。



図12 近似推定式による再解析の結果
Fig. 12 Result of reanalysis by approximate estimation expression

II. インテリジェントにおいセンサの研究 (2)

Development of Intelligent Oxide Semiconductor Gas Sensor

小森 一哉

KOMORI Kazuya

牧村 めぐみ

MAKIMURA Megumi

谷野 克巳

TANINO Katsumi

谷口 真也

TANIGUCHI Shinya

二口 友昭

FUTAKUCHI Tomoaki

龍山 智榮

TATSUYAMA Chie

角崎 雅博

KADOSAKI Masahiro

藤城 敏史

FUJIKI Satoshi

Abstract

Sick-house syndrome receives much public attention as a problem of indoor environment at present. Volatile organic compounds (VOC) such as formaldehyde (HCHO) and xylene ($C_6H_4(CH_3)_2$) generated from building materials are pointed out as one of origins of the sick-house syndrome. Therefore, the development of a sensor system available to measure the indoor-air pollution level in new house at high sensitivity, easily and with low cost is highly desired. In our previous studies, we found that the polar plots of sensitivity obtained by an integrated gas sensor, which were composed of SnO_2 , WO_3 , In_2O_3 , ZnO , Co_3O_4 , and Cr_2O_3 , are useful to discriminate chemical species in VOC. In order to detect ppb-level VOC gases, using the polar plots of the integrated sensor, the present study was carried out for the improvement of the sensitivities of WO_3 and In_2O_3 sensors which were high sensitive materials to xylene and butyl acetate ($CH_3COO(CH_2)_3CH_3$), respectively. Among the 32 additives, the effective materials for WO_3 sensors were Cs, Rb, Ta_2O_5 and Nb_2O_5 , also, those for In_2O_3 sensors were MnO_2 and Pt. Also, we examined VOC identifying using the neural network and the correlation function.

1. 緒言

現在、大きな社会問題のひとつに「シックハウス症候群」あるいは「新築病」があげられる。新築した家やマンションにおいて体調不良になってしまうことであり、地域に関係なく全国各地で発生している。これは、住宅の内装材や建材から出る異様な臭気に含まれる空気汚染物質が原因であり、1997年に厚生省より基準値が出されているホルムアルデヒドや、VOCと呼ばれる揮発性有機化合物が主たる原因であることが多い。そのため、住宅室内の空気汚染状況の調査として(1)基準値が設定されているホルムアルデヒド濃度の測定、(2)VOCの特定とその濃度測定、(3)TVOC(総VOC濃度)の測定などが実施される。しかし、いずれの測定もそのときの条件によりデータの再現性が乏しく時間もかかる。また、非常に高価な分析器を用いるため、1回の測定に100万円以上の費用がかかる場合もあり、より安価で有効な計測器の開発が望まれている。

我々は、これまで酸化物半導体を用いたガスセンサで、室内の空気汚染度を簡易に評価する測定法について検討してきた。酸化物半導体をセンサとする場合、選択性に乏しいなど幾つかの問題が考えられる。反面、ガスセンサとしての実績や多くの研究もあり、また安価で応答が速く、そして集積化が容易という大きな利点もある。これまで我々は、ホルムアルデヒド、キシレン、トルエンなどの有害ガスにたして、 SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO 、 WO_3 の4種類のn型酸化物半導体と Cr_2O_3 、 Co_3O_4 の2種類のp型酸化物半導体が特に高感度であり、ホルムアルデヒドには、Ag等の貴金属の添加や MnO_2 等の酸化物の添加により大幅に感度の向上が図れることを報告してきた⁽¹⁾。また、6種類の酸化物半導体を集積化したセンサの感度をレーダーチャート化することで、100ppm濃度においてレーダーチャートの形状はガスの官能基に依存することを示し、ガス種判別の1手段として有効であると提案した⁽²⁾。

しかし、実際に室内に飛散するVOCは、0.01~1ppm程

度と非常に低濃度であるため高感度なガスセンサが要求される。ガスセンサを高感度化する場合、母材となる酸化物半導体に微量の貴金属や酸化物等を添加するのが一般的である。本研究では、 WO_3 、 In_2O_3 を母材としたセンサに貴金属及び酸化物を添加することでそれぞれキシレン等のベンゼン系、酢酸ブチル等のエステル系に対する高感度化を試みた。また、インテリジェント化の手法として相関関数やニューラルネットワークを適用することでガス識別を試みた。

2. 実験方法

2. 1 ガスセンサの高感度化

2. 1. 1 高感度ガスセンサ材料の作成方法

高感度ガスセンサ材料の作成法は、混合する材料によって図1に示す3通りが考えられた。貴金属の添加には、貴金属コロイド溶液 (TODA COGYO CORP 製) に母材となる酸化物半導体粉末 ((株) 高純度化学研究所製) を加え、沈殿物が生成されるまで攪拌し、上澄み液を除去後乾燥し粉末を得た。また、アルカリ系酸化物の添加は、母材に酢酸塩、蒸留水を加え加熱攪拌し粉末を得た。その他の酸化物は、母材に酸化物を混合した。



図1 高感度ガスセンサ材料の作成方法

Fig.1 Diagram for three kinds of preparations of oxide semiconductor powders loaded with various materials

2. 1. 2 ガスセンサの作成法及び構造

センサは、厚さ 0.6mm のアルミナ基板上に、スクリーン印刷法により作成した。まず、一方の面に 0.5mm の間隔で Pt 電極を印刷し 100°C で 15 分乾燥後、その裏面に Pt のヒータを印刷して 100°C で 15 分乾燥し 900°C で 1 時間焼結する。その後 Pt 電極の上に、上記の方法で作成した酸化物半導体粉末とバインダー (田中貴金属工業 (株) 製) を、約 3:1

で調合しペースト化した感ガス材料を電極上に印刷して、100°C で 20 分乾燥させた後、600°C (SnO_2 , In_2O_3 の場合) 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 1 対づつ取り付け、100°C で 30 分乾燥後、600°C で 1 時間焼結する。尚、作成したセンサの外形は $10 \times 12 \text{mm}^2$ である。

2. 1. 3 実験装置の概要

図2は、本研究で用いた実験装置の写真である。チャンバーは、内側が一片 400mm、内容積 64L の塩化ビニル製立方体でありガスセンサは上面中央口から取り付ける。また中央口の横に、ガス用試薬を注入する口があり、その真下に試薬を気化するヒータが設置してある。例えば、液体試薬を、マイクロシリンジで必要量採取し、ヒータ上に滴下して気化させ、チャンバー内が所定の均一なガス雰囲気中になるよう、内部のファンで攪拌させる。尚、攪拌用のファンは常時低速回転した状態で実験を行っている。また、チャンバー側面には、排気口を設け、測定終了後にガスを排出できるようになっている。

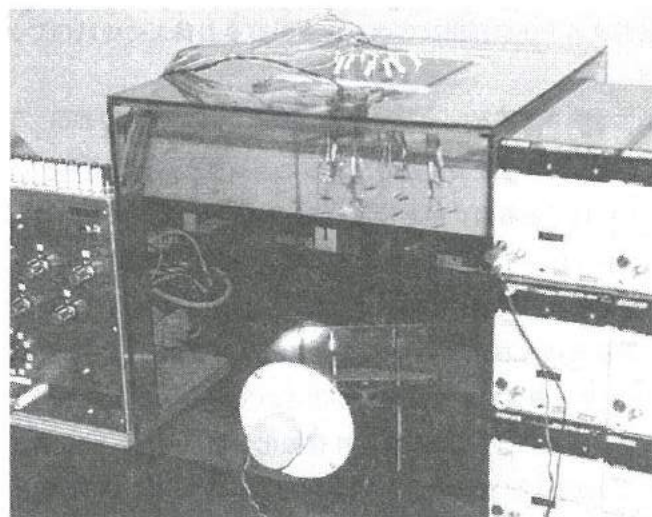


図2 ガス感度測定用実験装置

Fig.2 Experimental apparatus for measuring gas sensitivity

2. 2 インテリジェント化手法

室内汚染の原因は、化学物質 (VOC) であることが多い

ものの、その原因となる化学物質を特定することは非常に難しい。そこで、室内汚染に関係する代表的な VOC を選び、それらが官能基ごとに分類できないかを 2 通りの手法で調べた。

2. 2. 1 相関関数の適用

ここで、相関関数及び相関係数について簡単に説明する。2 種類の値を X 座標、Y 座標にとり、このデータを X-Y 平面の点で表した図を相関図あるいは散布図という。この 2 種類のデータ間に見られる関係を相関関係と呼び、相関図において両者の間に直線的傾向が見られるとき相関関係があるという。また、2 つのデータのうち一方が増加するにつれて他方も増加する傾向があるときは正の相関があるといい、逆に他方が減少する場合、負の相関があるという。直線的な傾向の度合いは「強い」、「弱い」を用いる。値が-1 のときは負の完全相関、0 は相関がない、+1 は正の完全相関といい、-1~1 間には

$0.0 \leq r \leq 0.2$	ほとんど関係がない
$0.2 < r \leq 0.4$	弱い関係
$0.4 < r \leq 0.7$	中程度の関係
$0.7 < r \leq 1$	強い相関がある

の一般的な目安がある。

2. 2. 2 ニューラルネットワークの適用

ここでは、ガス識別の手法としてバックプロパゲーション法によるニチメンデータシステム(株)製のニューラルネットワーク[®]を導入した。図 3 にニューラルネットワークを用いたガス識別のイメージを示す。

ニューラルネットワークは生体の神経系を模倣して考案された人工的なネットワークであり、バックプロパゲーション法はネットワークを入力層、中間層および出力層に階層化し、入力層から出力層に向けて接続されており、入力層に信号パターンを入力すると、出力層に出力が得られる。このネットワークに望ましいパターン(教師信号という)を提示すると、そのパターンが得られるように重み係数が修正(この過程を学習という)され、この過程を繰り返すことにより出力パターンが望ましいパターンに収束する。入力信号パターンが入力層から出力層に向かって伝播するのに対して、学習は出力層と中間層の間の重み係数を修正してから、入力層と中間層の間の重みを修正するという逆の手順をとるので、この方法

を逆伝播法(バックプロパゲーション法)という。

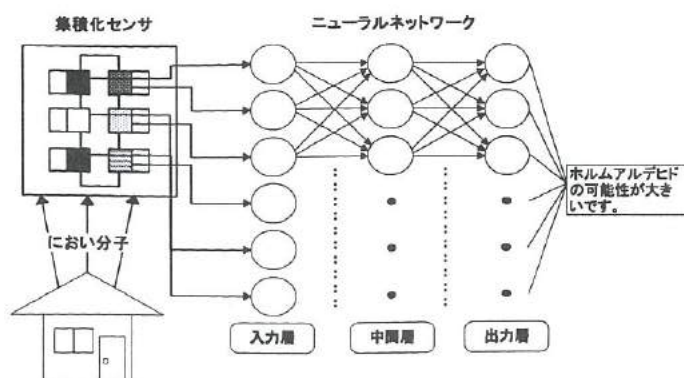


図 3 ニューラルネットワークによるガス識別
Fig.3 Sensing system using neural network

3. 実験結果と考察

3. 1 高感度化材料の探索

3. 1. 1 WO₃ センサの高感度化

昨年度までに、WO₃ センサはトルエンやキシレン等のベンゼン系に対して感度が良いことがわかった。しかし、まだ実使用上、感度不足のため更に、感度の向上を図った。最初に、WO₃ 粉末の粉碎時間、焼結温度がセンサの抵抗値及び感度にどのように影響を及ぼすかを調べた。粉碎時間を変えたときの結果を図 4 に示す。また、このときのセンサ表面の SEM 写真を図 5 に示す。図 4 より粉碎時間を長くしていくと空气中、ガス中の抵抗値は徐々に小さくなっていくが、感度はわずかに向上して行くことがわかる。これは、図 5 からわかるように粉碎時間を長くすることで二次粒子が小さくなり表面積が増したためだと考えられる。しかしながら 10 時間以降は

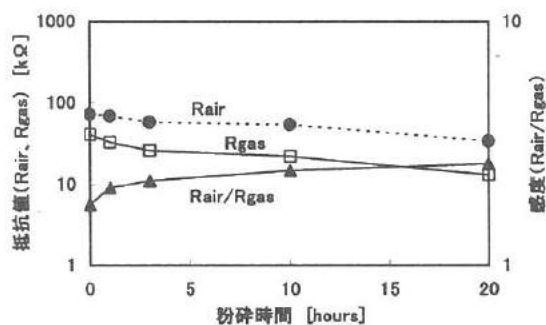


図 4 抵抗値、感度の粉碎時間依存性
Fig.4 Resistance and sensitivity of WO₃ sensors as a function of grinding time with planetary ball-milling

感度の向上がやや鈍化する傾向になった。また、図 6 より焼結温度は 800℃ が最適であろうと考えられた。

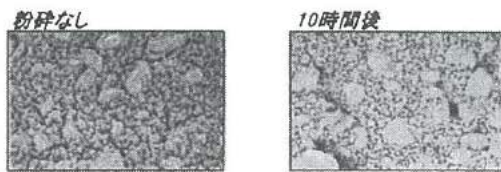


図 5 粉碎時間を変えたときのセンサ粒子の SEM 像

Fig.5 SEM micrographs of WO_3 as a function of grinding time (after firing)

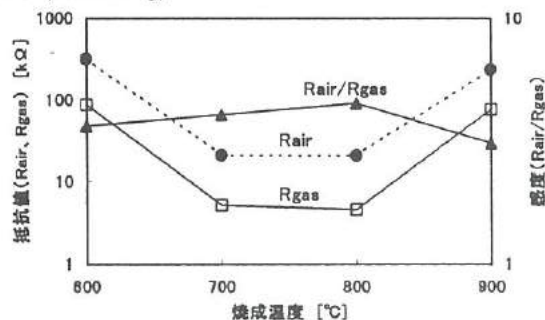


図 6 抵抗値、感度の焼結温度依存性

Fig.6 Resistance and sensitivity of WO_3 sensors as a function of firing temperature

更に、感度の向上のために、計 32 種類の酸化物 (3wt%) 及び貴金属 (0.5wt%) を添加したセンサを作成し、どの材料が高感度化に寄与するかを探索した。基板温度を 200℃、300℃、400℃ とし 100ppm の濃度のキシレンに対する感度を調べた。図 7 より、基板温度が 400℃ のとき Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 、Rb、Cs 等を添加することで感度が大きく向上することがわかった。 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 を添加した場合、無添加に比べ約 10 倍、Rb、Cs を添加した場合で、20 倍以上の感度が得られた。

高感度化した 4 種類のセンサを用い、キシレン濃度 1~1000ppm までの感度特性を調べた。図 8 に結果を示す。尚、ガス投入から 4 分後に測定を行い、濃度は積算することで連続して抵抗値変化を読み取った。このとき、低濃度域での感度の落ち込みが見られた。一般に感度と濃度の関係は指数関数で表され両対数グラフでは直線的になる。低濃度域の落ち込みは測定誤差も考えられたが、センサ応答速度の違いも考える必要があったのではないかと考えられた。そこで、センサに直列に接続した出力抵抗の抵抗値変化をレコーダーに書かせ、ガス導入時から飽和領域までの 90% になるまでを応答時間と定義し比較検討を行った。キシレン濃度を 1、10、

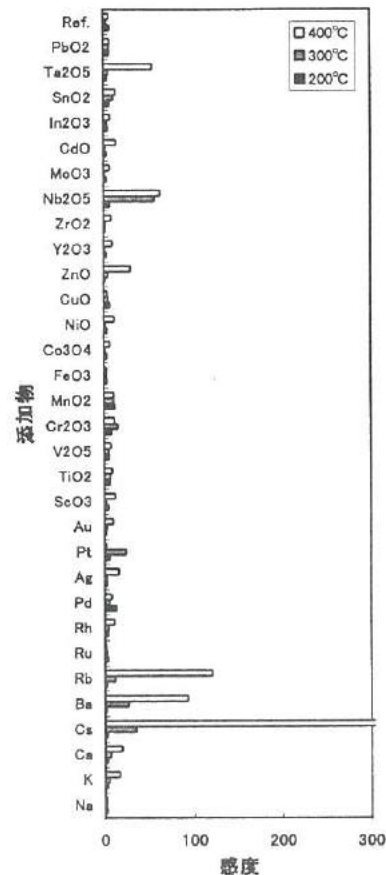


図 7 WO_3 センサ高感度化材料の探索

Fig.7 Sensitivity of WO_3 -based sensors loaded with various additives to 100ppm xylene

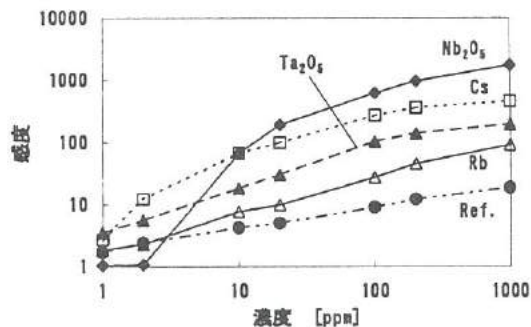


図 8 高感度化 WO_3 センサのキシレンに対する感度特性
Fig.8 Sensitivity of WO_3 -based sensors loaded with four kinds of additives on concentration of xylene operated at 400℃ (after 4 minutes)

100、1000ppm とし応答時間を調べた。図 9 は、濃度が 1ppm 及び 100ppm の時の応答波形を示す。また、図 10 は、応答時間と濃度の関係を示したものである。これより、濃度が低くなると応答時間が長くなる傾向があることがわかった。

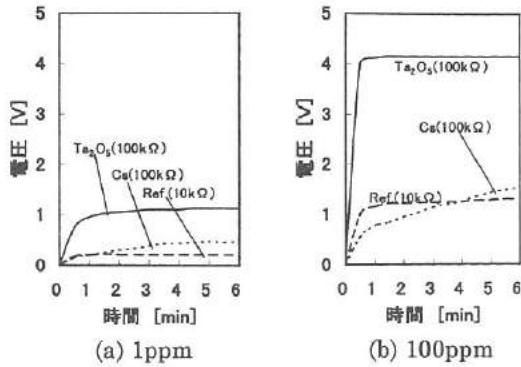


図9 センサの応答波形

Fig.9 Response transients of WO_3 -based sensors to (a)1ppm and (b)100ppm xylene

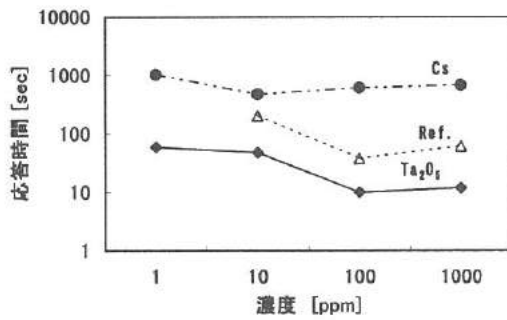


図10 応答時間と濃度の関係

Fig.10 Relationship between response time and xylene concentration

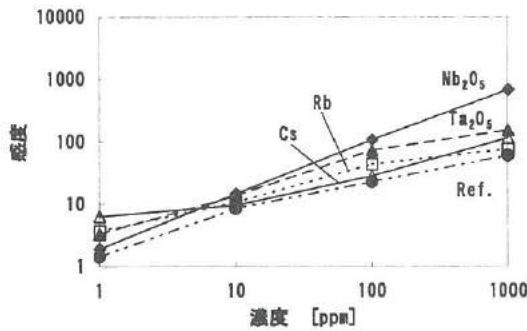


図11 高感度化 WO_3 センサのキシレンに対する感度特性

Fig.11 Dependence of sensitivities of WO_3 -based sensors loaded with Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , Rb, Cs on concentration of xylene operated at $400^\circ C$ (after saturation)

そのため、それぞれの濃度で応答波形が飽和するまで待つてからセンサの抵抗値を測定することにした。このときの結果を図11に示す。これより感度と濃度が直線的に変化していることがわかる。図11より、作成した WO_3 ベースのセンサでキシレンを検出しようとする場合、0.1ppm程度が限界であろうと推測された。

3. 1. 2 In_2O_3 センサの高感度化

In_2O_3 センサは酢酸ブチルや酢酸エチルなどのエステル系に対して感度が良好であった。 WO_3 センサ同様に計32種類の酸化物(3wt%)及び貴金属(0.5wt%)を添加し高感度化を試みた。検出ガスを100ppmの酢酸ブチル、基板温度を $200^\circ C$ 、 $300^\circ C$ 、 $400^\circ C$ としたときの添加物による感度の変化を図12に示す。これより、基板温度を $200^\circ C$ にしたとき MnO_2 、Pt等を添加することで感度が向上していることがわかる。このときの感度は無添加と比較して5~6倍程度であった。

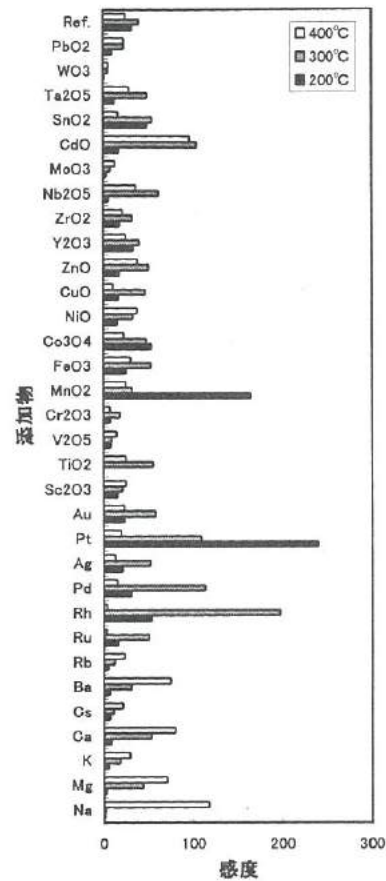


図12 In_2O_3 センサの高感度化材料の探索

Fig.12 Sensitivity of In_2O_3 -based sensors loaded with various additives to 100ppm butyl acetate

感度の向上した2種類のセンサを用い、酢酸ブチル濃度1~1000ppmまでの感度特性を調べた。図13に結果を示す。尚、ガス投入から2分後に測定を行い、濃度は積算することで連続して抵抗値変化を読み取った。このときも WO_3 センサの時と同様に低感度領域での感度の落ち込みが見られたため、応答時間を調べた。図14は酢酸ブチル濃度1ppm、

100ppm のときの応答波形である。図 15 は、応答時間の濃度依存性である。図 16 に、各々の濃度で完全に飽和するまで待ったときの感度の濃度依存性を示す。これより、1ppm 程度でも高い感度を示していることがわかる。図 16 から、 In_2O_3 ベースセンサの酢酸ブチルに対する感度限界は 0.01ppm 程度は期待できると考えられ良好な結果を得た。

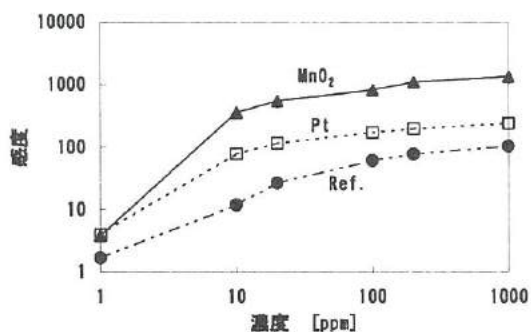


図 13 高感度化 In_2O_3 センサの酢酸ブチルに対する感度特性

Fig.13 Sensitivity of In_2O_3 -based sensors loaded with two kinds of additives on concentration of butyle acstate operated at 200°C (after 2 minutes)

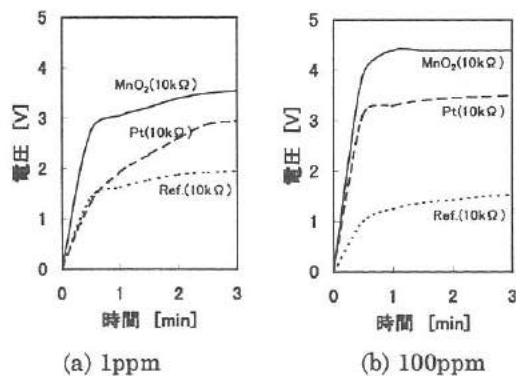


図 14 センサの応答波形

Fig.14 Response transients of In_2O_3 -based sensors to (a) 1ppm and (b) 100ppm butyle acstate

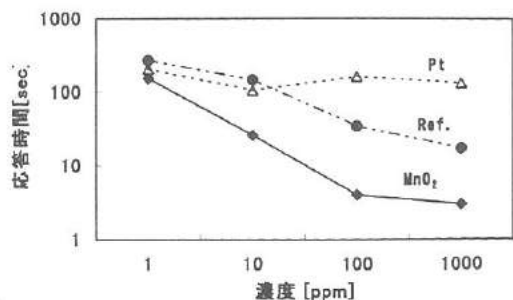


図 15 応答時間と濃度の関係

Fig.15 Relationship between response time and butyle acstate concentration

次に、実験チャンバーで作成した 100ppm の濃度のガスを注射器で抜き取り、1L の三角フラスコに移すことでガス濃度 0.01、0.1、1ppm の雰囲気を作り測定を行った。この結果を図 17 に示す。これより 0.01ppm ではほとんど感度がないという結果になってしまった。これは、0.01ppm という非常に低濃度なガス雰囲気を作ることに大きな問題があると考えられた。今後、実験手法を検討する必要がある。

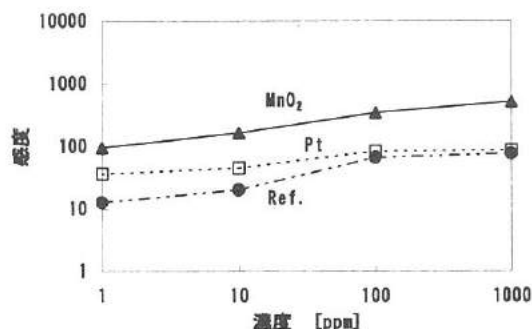


図 16 高感度化 In_2O_3 センサの酢酸ブチルに対する感度特性

Fig.16 Dependence of sensitivities of In_2O_3 -based sensors loaded with MnO_2 and Pt in the concentration of butyl acetate operated at 200°C (after saturation)

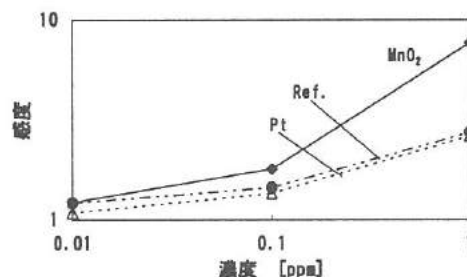


図 17 低濃度での高感度化 In_2O_3 センサの感度特性

Fig.17 Sensitivity of In_2O_3 -based sensors loaded with MnO_2 and Pt in the concentration range 0.01 to 1ppm of butyle acstate operated at 200°C (after saturation)

3. 1. 3 高感度化機構の検討

貴金属や酸化物の添加によるセンサの高感度化の要因には、化学的効果と電子的効果が考えられる。化学的効果は 2 通り考えられる。図 18(a)に示すように酸化物半導体に添加された貴金属が還元性ガスと表面吸着酸素の反応性に影響を与える。空気中では、酸素が酸化物表面から電子を奪い、 O^{2-} のような吸着酸素となるためセンサ（酸化物）は高抵抗状態になっている。検出ガス中では、添加した貴金属が還元性ガスを分解・活性化し、酸化物半導体にスパルオーバーしてより

多くの吸着酸素を除去するため、結合していた電子が無添加に比べてより多く解放されるため、無添加より低抵抗となることで感度が向上すると考えられる。また、図 18(b)の場合、添加した酸化物が、酸素を吸着・活性化・そして酸化物表面に酸素をスピルオーバーする。その結果、その活性酸素が酸化物表面から酸素を奪い、空気中で非常に高抵抗となるため感度が向上すると考えられる。

また、電子的效果にも 2 通りあると考えられ、図 19(a)に示すような貴金属が酸化する電子的效果では、添加した貴金属と酸化物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、添加した貴金属が酸化物半導体から電子を奪って貴金属表面が酸化され、逆に電子を奪われた酸化物は無添加に比べ高抵抗状態となり、ガス中では還元作用により貴金

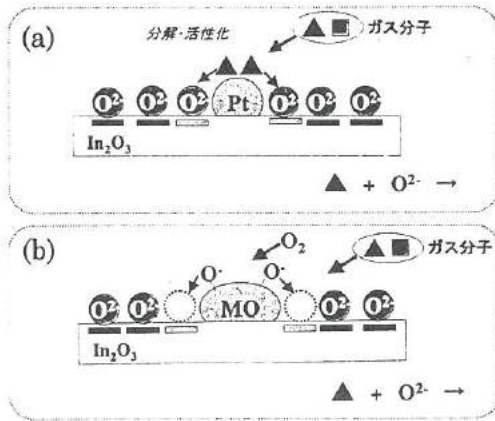


図 18 高感度化機構(化学的效果)

Fig.18 Sensitization mechanism of gas sensor (chemical effect)

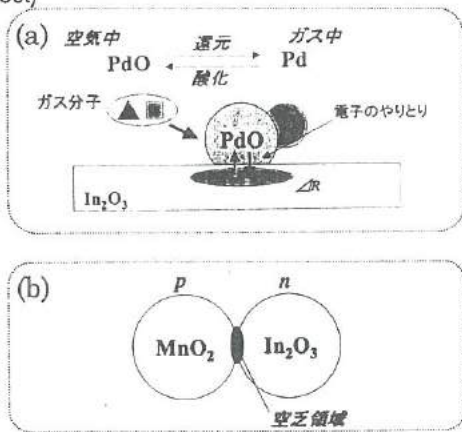


図 19 高感度化機構(電子的效果)

Fig.19 Sensitization mechanism of gas sensor (electronic effect)

属に戻り、電子を戻すため無添加よりも低抵抗状態となることで感度が向上する。また、図 19(b)のように n 型酸化物半導体に p 型酸化物半導体を添加した場合、PN 接合により空乏領域ができるため空気中での抵抗値が大きく増加し、また、還元ガス中では PN 接合が壊れて戻ると考えられる。

3. 2 インテリジェント化

3. 2. 1 相関関数

集積化センサを用い、種々の VOC が官能基別に分類されるかどうかを調べた。なお、本実験では試験ガス濃度を現実的濃度ではないものの、安定な形状が得られやすい一律 100ppm とした。得られたレーダーチャートの代表例を図 20 に示す。

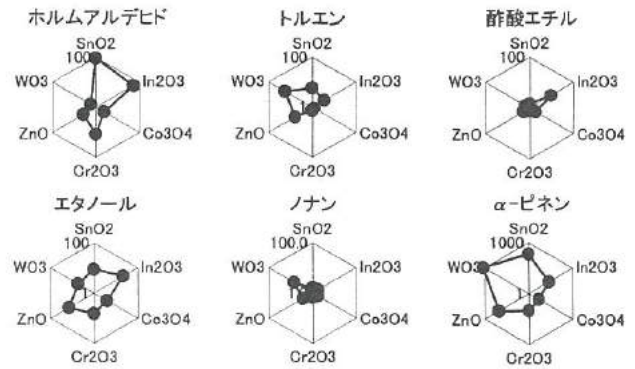


図 20 VOC に対するガス感度のレーダーチャート

Fig.20 Polar plots of sensitivity of an integrated sensor to various 100ppm VOC

ここでは、相関関数を用いて汚染室内に存在するガス種の類推が可能かどうかを検討した。表 1 は、同族体として分類した化学物質間、すなわち各行間の相関関係を調べた表である。一般に $0.7 < |r| \leq 1$ では強い相関関係があると評価されることから、同族体間ではどの系統も強い相関関係を示し、類似度が高いことがわかる。

表 2 は、異なる分類に属する化学物質間、すなわち表 1 の左列間の相関関係を調べた結果である。表 2 より、ベンゼン系、アルカン系及びテルペン系の各相互間では相関係数が高く、相互の識別が難しいことを示しているが、図 20 よりこれらの VOC は共通して WO_3 に高感度であることわかる。その他の異なる系間では、相関係数が低いことから系間の識別は十分可能であろうと考えられる。なお、実際の濃度に近

い 1ppm 以下の低ガス濃度では少し形状が変わることが予想される。

表 1 同族体に分類した VOC に対するセンサ構成要素と感度の相関関係

Table 1. Correlation between sensitivity of each element of an integrated sensor to VOC A and VOC B belonging to the same classification

	化学物質A	化学物質B	相関係数
アルデヒド系	ホルムアルデヒド	アセトアルデヒド	0.89
ベンゼン系	トルエン	キシレン	0.90
アルコール系	エタノール	イソプロピルアルコール	0.93
エステル系	酢酸エチル	酢酸ブチル	0.91
アルカン系	ノナン	デカン	0.97
テルペン系	α -ピネン	リモネン	0.99

表 2 分類の異なる VOC に対するセンサ構成要素と感度の相関関係

Table 2. Correlation of sensitivity of each element of an integrated sensor to VOC belonging to different classification

	ホルムアルデヒド	トルエン	エタノール	酢酸エチル	ノナン	α -ピネン	アセトン
ホルムアルデヒド	1	-	-	-	-	-	-
トルエン	-0.15	1	-	-	-	-	-
エタノール	0.85	-0.15	1	-	-	-	-
酢酸エチル	0.34	-0.4	0.69	1	-	-	-
ノナン	-0.41	0.88	-0.31	-0.23	1	-	-
α -ピネン	-0.22	0.91	-0.29	-0.27	0.97	1	-
アセトン	0.14	0.27	0.4	0.69	0.49	0.48	1

3. 2. 1 ニューラルネットワーク

表 3 には入力層 4 ユニット、中間層 5 ユニット、出力層 4 ユニット、学習回数 50000 回のバックプロパゲーション法によるニューラルネットワーク解析を用いて行った識別結果を示す。官能基による同族体の識別に対して各 2 回づつ合計 20 回正誤判定した結果、すべて正解を得ることができた。

表 3 ニューラルネットワークによる VOC の識別結果

Table 3. Identification results for four kinds of VOC with neural network

		アルデヒド系	ベンゼン系	アルコール系	エステル系
アルデヒド系	ホルムアルデヒド	2	0	0	0
ベンゼン系	トルエン				
	ベンゼン	0	2	0	0
アルコール系	エタノール				
	イソプロピルアルコール	0	0	2	0
エステル系	酢酸エチル				
	酢酸ブチル	0	0	0	2

4. 結言

本研究では、 WO_3 、 In_2O_3 を母材としたセンサに貴金属や酸化物を添加することで、それぞれキシレン等のベンゼン系のガス及び酢酸ブチルなどのエステル系のガスに対する高感度化を試みた。以下に主な結果をまとめる。

- 1) WO_3 に Ta_2O_5 (3wt%)、 Nb_2O_5 (3wt%)、Rb (0.5wt%)、Cs (0.5wt%) 等を添加することでベンゼン系に対する感度が向上した (基板温度は 400°C)。
- 2) 高感度化した WO_3 センサでキシレンを検出する場合の検出限界は、0.1ppm 程度と推測された。
- 3) In_2O_3 に MnO_2 (3wt%)、Pt (0.5wt%) 等を添加することでエステル系に対する感度が向上した (基板温度は 200°C)。
- 4) 高感度化した In_2O_3 センサで酢酸ブチルを検出する場合の検出限界は、0.01ppm 程度と推測された。

また、インテリジェント化の手法として相関関数とニューラルネットワークの適用を試みた。

- 1) 相関関数を用いることにより、ガス識別は可能であると考えられた。
- 2) ニューラルネットワークを用いることで官能基ごとの識別はある程度可能であると考えられた。しかしながら、まだ正解率が低い部分もあり、学習の最適化をする必要もあると考えられる。

参考文献

- (1) 角崎雅博、山崎茂一、藤城敏史、寺澤孝志、星野昌則、南政克、山田浩美、龍山智榮：「酸化物半導体を用いた VOC 測定センサの開発」、Proceedings of the 29th Chemical Sensor Symposium, 15, Supplement B, 103-105 (1999)
- (2) 角崎雅博、藤城敏史、谷野克己、石川勝己、小森一哉、龍山智榮：「厚膜集積化ガスセンサによる室内 VOC の識別」、Trans. IEE of Japan, Vol.120-E, No.10, 438-445 (2000)
- (3) 近藤浩一、山本創、森田崇、堂上長則、南戸秀仁、筒口善央：「合成樹脂膜を塗布した水晶振動子式ニオイセンサによる酒の種類判別」、Trans. IEE of Japan, Vol.117-E, No.9, 423-447 (1997)

Ⅲ. 高摩擦係数材料の研究

Study of high-frictional materials

高田 智哉 <i>TAKATA Tomoya</i>	森本 英樹 <i>MORIMOTO Hideki</i>	上野 実 <i>UENO Minoru</i>	岩坪 聡 <i>IWATSUBO Satoshi</i>
杉森 博 <i>SUGIMORI Hiroshi</i>	藤井 弘之 <i>FUJII Hiroyuki</i>	中川 章 <i>NAKAGAWA Akira</i>	谷野 克巳 <i>TANINO Katsumi</i>

Abstract

Recently, comfortable driving, driving stability, high power, and high mileage are required for automobile. In order to satisfy these requests, each part of the automobile must be improved. It is necessary for powertrain to be stable and durable under high speed and heavy load conditions. Especially for manual transmissions, smooth shift is required. The synchronization of shifting gears requires the friction in synchronizer engagement.

The purpose of this study is to develop the high-friction coefficient and long life material. Therefore, we researched for the high-friction coefficient material. Then we enforced the friction test of several materials by ring-on-disk type tester. We coated that material on parts by Electrical-Discharge-Coated(EDC), Plasma-Thermal-Spraying and so on.

As a result of this study, we could discover the important factor to develop the high friction coefficient and long life material.

1. 緒言

近年、自動車の快適性、走行安定性、高出力化、および低燃費化への社会的ニーズに対応して、駆動系部品等の耐久性確保と小型化・軽量化、ならびにフィーリング（感性）の向上が望まれており、この課題を解決する一方策としてトライボロジー技術が重要視されている。

本研究ではこの駆動系部品のうち、現在マニュアルトランスミッションの歯車減速機に使用されている同期装置の構成部品の一つであるシンクロナイザーリングに着目し、同部品のシンクロ（同期）特性向上を主な目的として、この摩擦面に高摩擦係数材料を形成させることを検討した。なお、シンクロナイザーリングの高摩擦係数化は、摩擦面の耐久性とフィーリング向上の両立が難しいと予想されることから、自らの摩耗および相手攻撃性を抑えながらシンクロ特性向上を図る必要があると考え、実機の高負荷条件下でも有効な高摩擦係数材料に検討を加えた。

2. 高摩擦係数材料の要求特性と研究の方法

2. 1 シンクロナイザーリングの概要

シンクロナイザーリングは、マニュアルトランスミッション（以後M/Tと称す）において、エンジン側の動力をアウトプット（車輪）側へ伝達する際、シャフトの回転とギヤの回転を同期（シンクロナイズ）させるための部品である。一般に、特殊黄銅合金製のシンクロナイザーリングは、図1に示すように内面に円錐摩擦面をもち、ここに発生する摩擦力により同期が行われる。本研究では、この摩擦面へ適用する有効な高摩擦係数材料の検討を行った。

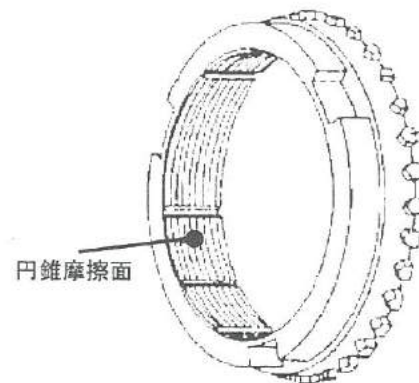


図1 シンクロナイザーリング

Fig.1. Synchronizer ring

2. 2 高摩擦係数材料の要求特性

シンクロナイザーリングを高性能化する場合、シンクロナイザーリングの摩擦面に形成される高摩擦係数材料には次のような特性が要求される。

【耐久性】

- (1) 耐焼付性：各種使用条件下（温度、オイルの種類等）で焼き付かないこと。
- (2) 耐摩耗性：相手材（ギャコン；S C r 鋼鋼材、浸炭焼入れ、研削加工）に対して攻撃性が小さく、自らの摩耗も少ないこと。
- (3) 耐剥離性：各種使用条件下（温度、オイルの種類等）で亀裂、剥離が発生しないこと。

【摩擦特性】

- (4) 同期特性：初期から安定した摩擦係数が得られること。
- (5) フィーリング：シフトし易い適度な摩擦係数であること（目標要件：0.13~0.15）。

2. 3 研究の方法

上記要求特性を満足する高摩擦係数材料を模索するため、次に示すステップで研究を進めた。

- (1) テストピースによる材料の選定、最適化
- (2) 摩擦・摩耗試験による摩擦特性の確認

なお、高摩擦係数材料を形成する方法として、ワーク表面に高い密着力で硬質被膜を形成できる放電表面処理（以後EDCと略記）と、材料の自由度が高く、良質な被膜特性が期待できるプラズマ溶射法を採用した。以下にEDCとプラズマ溶射の概要を示す。

2. 3. 1 EDC

図2に示すように、EDCとは加工液（油）中で放電現象を利用し、ワーク表面に硬質被膜を形成する方法であり、放電のエネルギーで電極を熔融爆発させると同時に化学反応を起こさせることで強い密着力を有する被膜が得られる。なお、本研究では放電回路にトランジスタ回路を利用している。

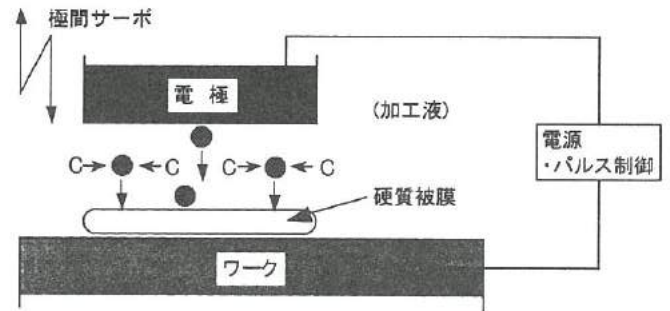


図2 EDC

Fig.2. Electrical discharge coated (EDC)

2. 3. 2 プラズマ溶射

プラズマ溶射装置は、図3に示すような溶射ガン、コントローラ（溶射条件設定等）、粉末供給装置、電源、冷却水用ポンプ（溶射ガン等の冷却）、ガス圧力調整器および各種ホース・ケーブルで構成されており、電気容量は一般に40kW~100kWで、高出力・高効率のものが使用されている。

プラズマ溶射ガンで生じるプラズマジェットを用いて溶射材料を加熱・加速し、熔融またはそれに近い状態にして素地に吹き付けて被膜を形成させる溶射方法であり、溶射材料は主として粉末状である。なお、本研究では作動ガスとしてアルゴンとヘリウムの不活性ガスを使用しているが、

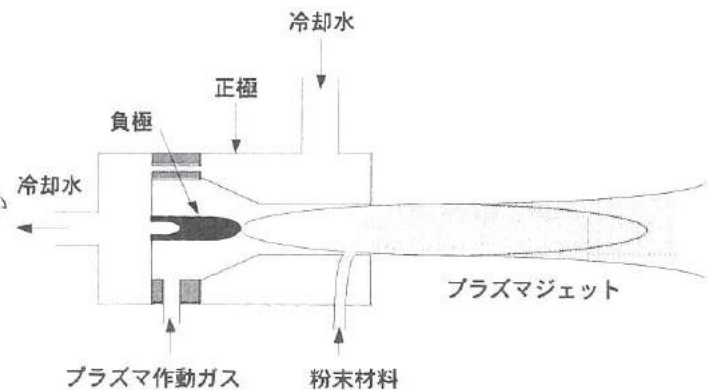


図3 プラズマ溶射ガン

Fig.3. A gun of plasma thermal spraying

この他に窒素や水素などを用いるものや、水の分解によって生じる酸素と水素を用いる水プラズマ溶射がある。

3. 摩擦・摩耗試験

3.1 試験方法

本研究では被膜の摩擦特性を評価するに当たり、多くの因子によって摩耗現象が現れると推定されたので、できる限り普遍的な特性を知るために、正確、容易、かつシンプルな試験方法を採用することが望ましいと判断した。従って、図4に示すような摩擦・摩耗試験機を使用し、図5に示すようなリング オン ディスク方式で被膜の摩擦特性を評価することにした。

リング オン ディスク方式とは、基材となるリング状筒形試料の中心軸に直角面となる端面を摩擦面とし、この摩擦面を研削仕上げ加工した板状試料のディスク平面部に押し付け、摺動させる試験方法である。したがって、選定した摩擦材料はこの摩擦面部に形成した。なお、本研究ではリング試験片の材質に特殊黄銅合金材と鉄鋼材（SCM430；浸炭焼入れ）、ディスク試験片に鉄鋼材（SCr430；浸炭焼入れ；平面研削仕上げ）を使用した。

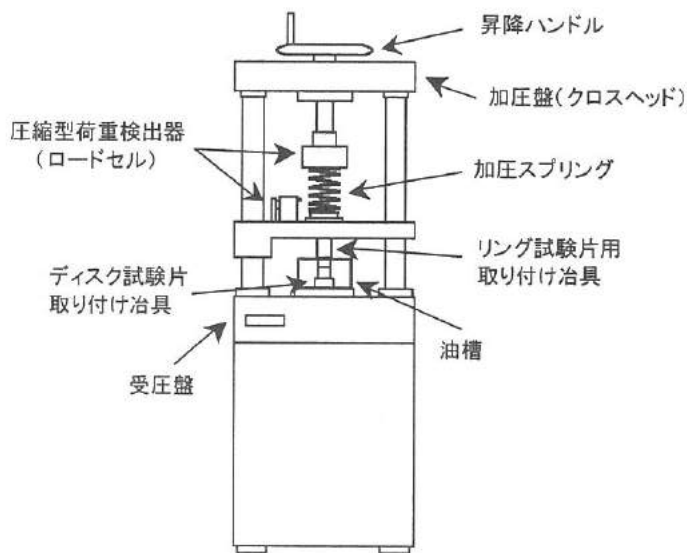


図4 摩擦・摩耗試験機

Fig.4. A machine of friction-wear test

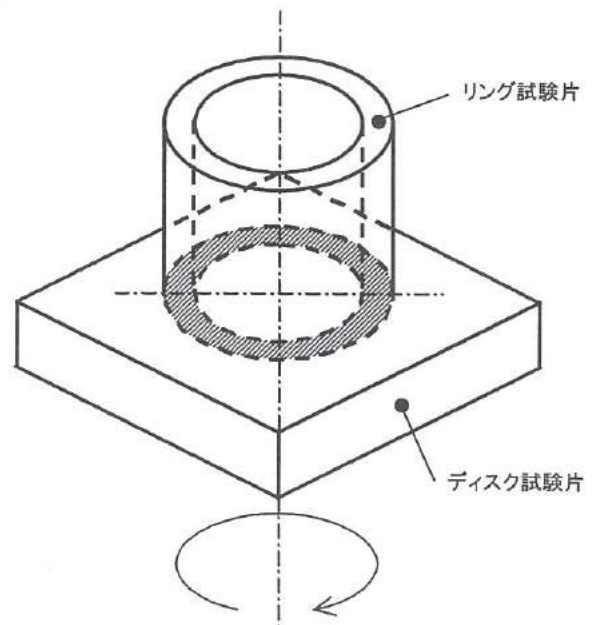


図5 リング オン ディスク

Fig.5. Ring-on-disk type tester

3.2 試験条件

加圧力はM/T内のシンクロナイザーリングに生じる実機負荷相当を設定し、周速は可能なかぎり高いPV値で行えるよう試験機の許容範囲も考慮して設定することにした。また、試験時間は被膜のなじみによる摩擦力のバラツキを考慮して任意に設定した。表1は試験条件の一例を示す。

なお、試験に使用した油はM/Tに使用されているミッションオイル（ホンダMTF-II）である。

表1 摩擦・摩耗試験の試験条件

Table1. Examination conditions on friction-wear test

	初期摩擦特性の確認	耐摩耗性(耐久性)の確認
加圧力 (kgf)	250(2.45kN)	250(2.45kN)
周速 (mm/sec)	100(83.8rpm)	100(83.8rpm)
試験時間 (sec)	15	150
試験環境	油中(常温)	油中(常温)

3. 3 評価方法

摩擦特性に優れる高摩擦係数材料は、2. 2で述べたような要求特性を満足する必要がある。従って、被膜形成後は次のような手段で摩擦・摩耗性を評価した。

- (1) 焼付性：試験前後の摩擦面（被膜）かた目視およびSEM画像で評価。
- (2) 摩耗性：試験前後の摩擦面から目視および粗さ（形状）で評価。
- (3) 剥離性：試験後の摩擦面から目視で評価。
- (4) 攻撃性：試験後のディスク試験片の摺動面から目視および粗さ（形状）で評価。
- (5) 摩擦係数：試験終了後の動摩擦係数（以後動 μ と称す）から評価。

4. 試験結果

4. 1 各種基礎材料の摩擦特性

4. 1. 1 基礎材料の概要

まず最初に、以下に示す材料の摩擦特性を評価した。

①特殊黄銅合金材 ②鉄鋼材(SCM430) ③純Al材 ④Al-Si合金材(AC9A) ⑤ナイロン系樹脂材 ⑥FRP材
上記材料（丸棒材）でリング試験片（図5参照）を製作し、これらを用いて摩擦・摩耗試験を実施した。また、ナイロン系樹脂材などが含まれていることや素材のもつ本来の摩擦特性を確認したいという目的があったため、この試験は油中ではなく乾式で実施した。なお、これら摩擦面はすべてフラット形状である。

4. 1. 2 試験結果および考察

図6は①～⑥のリング試験片を用いた摩擦・摩耗試験（乾式）結果を示す。この試験で動摩擦係数が比較的高かったものは特殊黄銅合金材、Al-Si合金材、およびFRP材であった。これらの材料の動摩擦係数が高くなった要因として以下のことが推察される。

まず、特殊黄銅合金材は試験中に他材にはなかった摩擦による破砕音が発生しており、試験後の摩擦面は目視でも初期表面形態を維持していないことが分かった。また、ディスク試験片の摩擦摺動面上に特殊黄銅合金材の一部が付着しており、このことから試験負荷で表面の一部が破断し、その後激しい凝着作用による焼付きが発生したため、動摩擦係数が高くなったものと考えられる。さらに、鉄鋼材や純Al材においても摩擦による破砕音は発生しなかったものの、特殊黄銅合金材と同様に初期表面形態が維持されておらず、特に鉄鋼材においては試験前に見られなかった焼付きの形跡が確認された。このような摩擦特性は、材料特性が類似する金属同士の凝着作用を示唆するものと推定され、加圧力等を高負荷にして摩擦させることでさらに摩擦係数が高くなるものと思われる。

一方、Al-Si合金材、ナイロン系樹脂材、およびFRP材においては、同試験の中で上記のような摩擦特性は確認されなかった。しかし、Al-Si合金材とFRP材において動摩擦係数が高かったのは、他材にはない（あるいは少ない）、相手材を引掻く性質、つまり摺動を止めようとする因子が働いたためと推定される。その因子として、Al-Si合金材ではSiの析出物、FRP材ではガラス繊維がその役割を果たしていると推測され、このことより高摩擦係数材料には、相手材を引掻く因子の含有が有効ではないかと考えられたため、今後油中におけるアプレシブ作用による摩擦特性の効果を確かめる必要

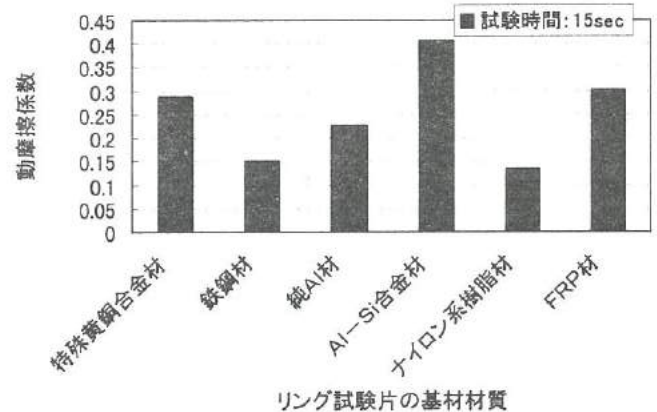


図6 摩擦・摩耗試験結果 I (乾式)

Fig.6. A result on friction-wear test I (dry-type)

があると分かった。

4. 2 EDC処理による摩擦特性

4. 2. 1 検討内容

上記の結果を踏まえ、次にEDCを用いて面粗度の違いによる摩擦特性への影響を検討した。この検討対象となるリング試験片の材質は、4.1 で使用した特殊黄銅合金材と鉄鋼材(SCM430)とし、特に、鉄鋼材の方は浸炭焼入れのような改質層が期待されるため、表面上に硬質被膜を形成させることによる摩擦特性の向上についても検討した。

前記したように、EDCは放電現象を利用した方法であるため、放電エネルギーの調整によって摩擦面の面粗度を変化させている。また、4.1.2 で述べたように特殊黄銅合金材と鉄鋼材による摩擦・摩耗試験は、共に凝着を伴う焼付きの発生が懸念されたため、これを軽減させる目的で油中内(湿式)で実施することにした。なお、事前にこれら基材(生材、摩擦面;フラット形状)を用いて、油中内で摩擦・摩耗試験を実施してみたが、乾式時に見られた焼付きは共に確認されなかった。

4. 2. 2 試験結果および考察

図7はEDC後の各基材の表面からの硬さ、図8はEDC後の鉄鋼材の断面組織を示す。硬さの測定にはピッカース硬さ試験機、表面形態の観察には金属顕微鏡を使用した。

まず図7に見られるように、鉄鋼材の基材のほうは表面部に硬化層が発生しており、生材時とは明らかに材料特性が異なっている。このような硬さ特性は浸炭焼入れ時の状態に類似しており、図8に見られるように表面上に改質層が形成されている。一方、特殊黄銅合金材の方は硬さに変化が見られず、改質層の形成は確認されなかった。

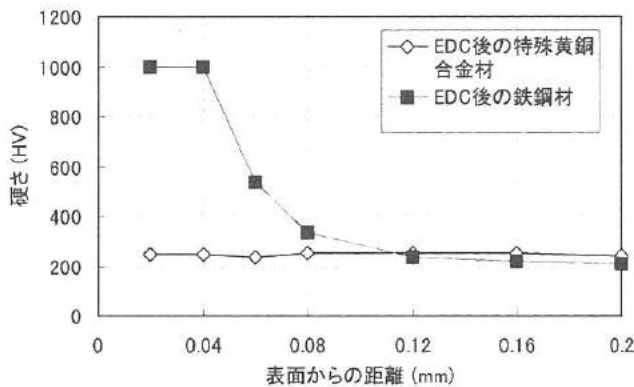


図7 EDC後の各基材の表面からの硬さ

Fig.7. Hardness from surface of each the bases after EDC

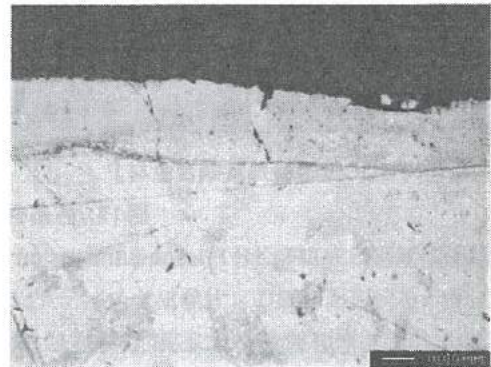


図8 EDC後の鉄鋼材の断面組織

Fig.8. A construction of section on iron steel after EDC

図9および図10は各基材の面粗度と摩擦・摩耗試験による動摩擦係数の推移を示す。また、図11は図9で示した摩擦・摩耗試験における試験前/後の摩擦面のSEM画像を示す。図9は表1に示した加圧力:250kgf(2.45Kn), 周速:100mm/sec(83.8rpm)の条件による摩擦・摩耗試験の結果であり、図10は加圧力:220kgf(2.16kN), 周速:2625mm/sec(2200rpm)の高負荷条件による摩擦・摩耗試験の結果である。

まず、図9より、上記した条件下では特殊黄銅合金、鉄鋼材共に面粗度と動摩擦係数との間には相関性は確認されなかった。しかし、図10より、高負荷条件下ではEDC後の鉄鋼材には面粗度と動摩擦係数の間に相関性が見られる。これは周速が速くなるほど油切れ性が悪化し、また、面粗度が比較的粗いものほど油切れ性が向上することを意味する。

一方、図11に見られるように、特に特殊黄銅合金においては、摩擦面がフラット形状時には軽減されていた凝着作用がEDC後は再び発生し、摩擦面上に形成されていた放電痕が消滅していた。このことより高摩擦係数材料の作製には、適当な面粗度と摩擦部の硬さが必要であるものと推定された。

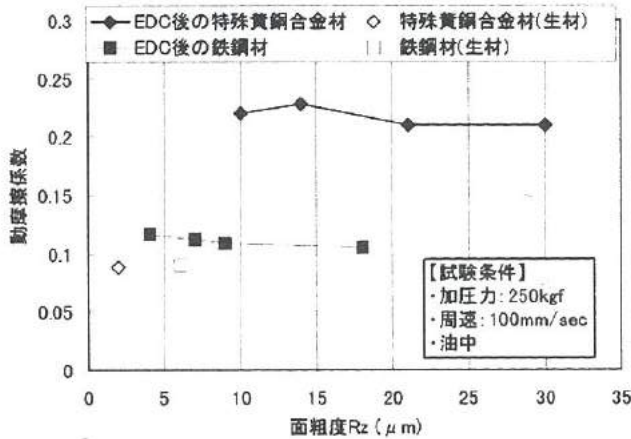


図9 面粗度と動摩擦係数の推移 I

Fig.9. Relationship between Surface-roughness and Friction-coefficient I

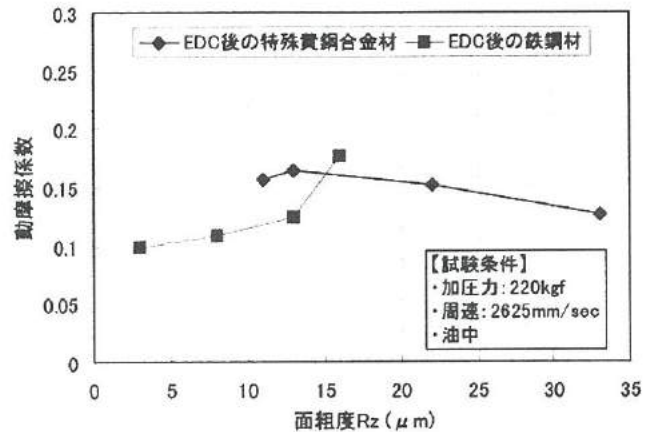
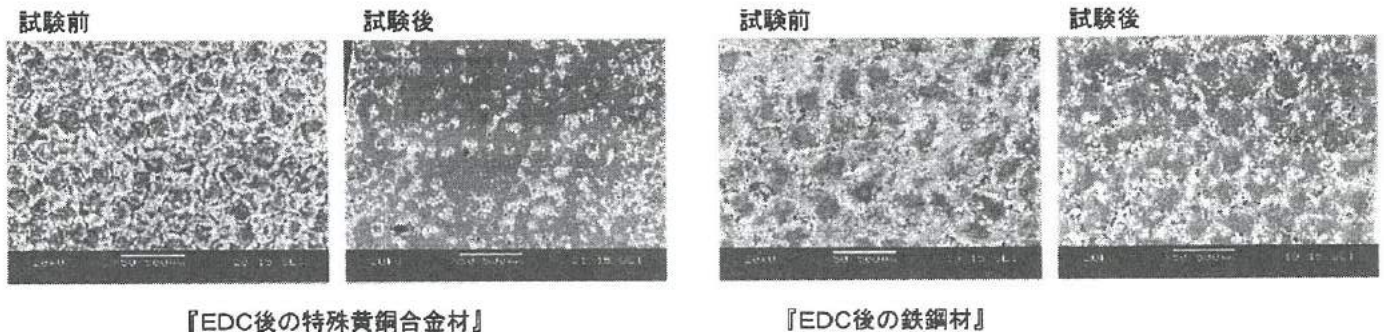


図10 面粗度と動摩擦係数の推移 II

Fig.9. Relationship between Surface-roughness and Friction-coefficient II



『EDC後の特殊黄銅合金材』

『EDC後の鉄鋼材』

図11 各基材の摩擦・摩耗試験前/後の摩擦面

Fig.11. Friction-surfaces on before and after friction-wear test of each bases

4. 3 プラズマ溶射材による摩擦特性の評価

4. 3. 1 検討内容

4.1 および 4.2 の結果を踏まえ、プラズマ溶射による高摩擦係数材料の作製を検討した。検討対象となるリング試験片の材質はシンクロナイザーリングへの適用を考慮し、特殊黄銅合金材のみで行うことにした。

事前調査の結果、相手材との焼付性の面からMo、Si、Cu合金等を選定し、これらを溶射してみたところ、焼付きの発生は確認されず、特に、Moは摩耗性や剥離性の面でも特性が良好であることが分かった。また、溶射膜中に引掻き要素を付与するため、硬質な材料としてWC/12Co（以後WCと称す）、Al₂O₃の無機材を選定し溶射してみたところ、WC材において高い摩擦係数の発生が確認された。しかし、試験途中で被膜の一部が脱落したり、相手材への攻撃性が目視で判断できるほど高いという問題があることも分かった。さらにSiやAl₂O₃等の比重の軽い材料、ならびにCuやAl系の熱伝導性の良い材料は、溶射において基材との密着性に優れないことが分かった。

なお、密着性に優れたMoを使用し、プラズマ発生電流を変えて被膜の面粗度のコントロールを行ってみたところ、電流と面粗度に相関性は確認されたが、摩擦特性向上との相関性は得られなかった。これは面粗度のコントロールを溶射条件だけでなく、粉末材の粒径や基材の摩擦面形状等にも留意して、実際に接触する面積の適正化を図らなければならないことを示唆するものと思われる。

さらに種々の検討を重ねてみた結果、以下の混合溶射膜について検証してみることにした。

【混合溶射膜の組成 (wt%)】

⑦Mo:WC=5:5 ⑧Mo:WC=7:3 ⑨Mo:WC=8:2 ⑩Mo:WC=9:1 ⑪Mo:WC=9.5:0.5
⑫Mo:Al₂O₃=9:1 ※溶射膜形成後の表面粗さ Rz; すべて約 30 μm

【溶射条件】

・基材;特殊黄銅合金材 ・作動ガス;Ar,He ・プラズマ発生電流;700A ・溶射条件;200mm ・膜厚;100 μm 前後

これら混合溶射膜の選定理由は、耐焼付性、耐摩耗性および耐剥離性に優れると判断されたMoを膜基材とし、これに硬質材を添加することで有効な高摩擦係数化を図れないかと推定したためである。このため、⑦～⑪の混合溶射膜については、相手材への攻撃性を加味して、その組成量の適正化を模索することとした。また、⑫の混合溶射膜では比較的高価なWCの代換材として、安価なAl₂O₃についても再度検討することとした。

図12は⑧、⑩、⑪、⑫の混合溶射膜の表面状態の一例を示す。これらのSEM画像は反射電子像であり、すべてのものにMoと各々硬質材が混在していることが確認された。

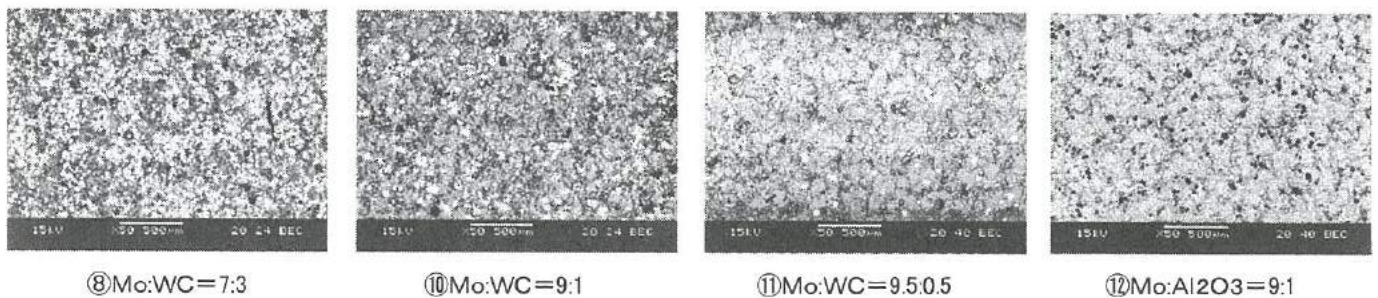


図12 混合溶射膜の表面状態

Fig.12. Condition of surfaces on the mixed Thermal-Spraying-films

4. 3. 2 試験結果および考察

図13は⑦～⑫の混合溶射膜の摩擦・摩耗試験の試験結果、図14は⑦～⑫におけるMo-WCの組成と動摩擦係数との関係、および図15は⑧と⑩の混合溶射膜の試験時間:150sec終了後の相手材(ディスク試験片)の摺動面形状を示す。なお、図13、14は表1に示した加圧力:250kgf(2.45Kn)、周速:100mm/sec(83.8rpm)の条件による摩擦・摩耗試験結果である。

まず図13、14において、溶射膜中の硬質材の組成量が動摩擦係数に及ぼす影響は小さいことが分かる。このことから、硬質材の添加量をある程度少なくしても高摩擦係数化を十分に図れると推定できる。また、Moの組成量が多いほど動摩擦係数が安定することも確認される。これは自己潤滑を有し、耐摩耗性、耐焼付性に優れるMoの組成量が多いほど、摩擦特性の向上が図れることを示唆するものである。しかも、図15から明らかであるように、硬質材の組成量が少ないほど相手材への攻撃性も軽減されることが分かる。なお、WCおよびAl₂O₃だけの溶射膜に見られた剥離は今回確認されず、Al₂O₃がWCの代換材として使用できる可能性を確認した。

ここまでの溶射における摩擦特性の改善実験を検証した結果、高摩擦係数材料の作製には下記要件を満足する必要があるものと考えられる。

- (1) 基材との密着性に優れ、摩擦発生時の使用負荷に耐える硬さを有し、潤滑効果のあるMo等の材料を膜基材とする。
- (2) 硬質材の添加量が多いほど相手材への攻撃性が増すのに対し、動摩擦係数の向上や安定化が得られないため、硬質材の添加量は全体の10%(wt%)以下にする。
- (3) 面粗度は油切れに影響するため、被溶射面の形状や溶射粉末材の粒径等で適正化を図る。
- (4) 凝着による摩擦作用をより軽減させるため、Si等の耐焼付性に優れる材料を添加する。

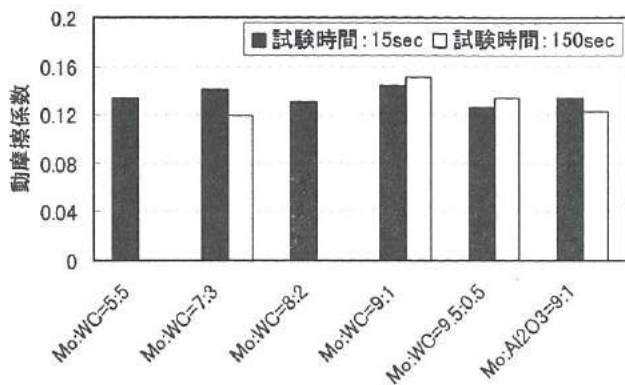


図13 摩擦・摩耗試験結果Ⅱ(湿式)

Fig.13. A result on friction-wear test Ⅱ (wet-type)

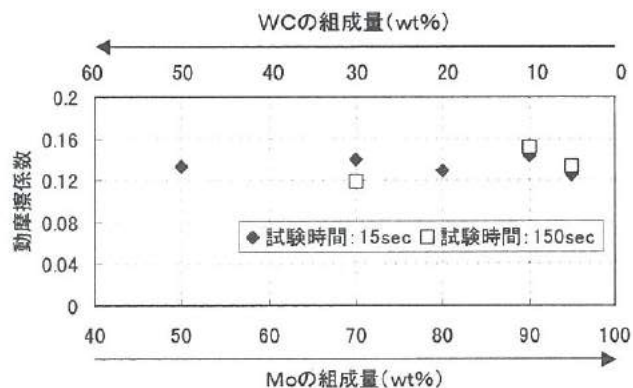
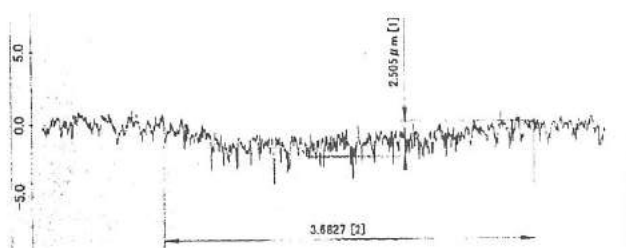
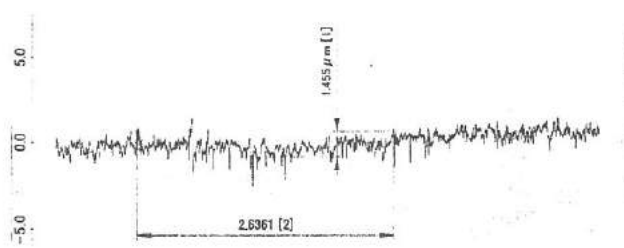


図14 Mo-WCの組成比と動摩擦係数の推移

Fig.14. Relationship between a component of Mo-WC and Friction-coefficient



『⑧混合溶射膜による試験後の相手材摺動面』



『⑩混合溶射膜による試験後の相手材摺動面』

図15 摩擦・摩耗試験終了後の相手材の摺動面形状

Fig.15. The profile of surface in the other materials after friction-wear test

5. 結言

本研究では、シンクロナイザーリングへの高摩擦係数材料の応用を目的として、EDCやプラズマ溶射等の手法を用いて高摩擦係数材料の検討を行った。その結果、次のような成果が得られた。

- 1) 使用負荷に耐える被膜の硬さと硬質材の添加により高摩擦係数化は可能であるが、相手材への攻撃性を考慮して、その組成比の適正化を行う必要である。
- 2) 焼付性、摩耗性、剥離性および油切れ性を向上させることによって、安定した摩擦特性が得られる。

参考文献

- 1) 理工学社 (1998.2.28) P6-112, P187-212 山本 雄二ほか: トライボロジー
- 2) 日本規格協会 (1998.10.30) P18-53 馬込 正勝: J I S 使い方シリーズ 溶射技術マニュアル

IV. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究

Study on plastic recycling material combined wood powder

酒井 康弘 前田 健二

SAKAI Yasuhiro MAEDA Kenji

水野 渡 佐伯 和光 藤城 敏史

MIZUNO Wataru SAEKI Kazumitsu FUJIKI Satoshi

Abstract

Now, at the turn of the 21 century, global warming countermeasures, utilization of a waste and effective practical use of resources and energy are required. Corporation management that ignores these social responsibilities should not be allowed to continue. In this study, we investigate technical subject in plastic recycling. We develop recycling plastic composite materials use plastic waste and the wood waste (MDF) that occurs by manufacturing process.

The results are follows

- (1) The MDF is dispersed fibrous in extrusion processes. Since MDF becomes reinforced filler, the physical property of the MDF mixture resin is improved.
- (2) Compatibilizer of modified olefin polymer was effective for physical properties of PE/MDF blends. On the other hand, acrylic/PMMA graft polymer compatibilizer was effective for physical properties of ABS/MDF blends.

1. 緒言

地球環境保全の要請からくる森林資源の保護及び木材コストの高騰、そして木材製品に対する感覚的な根強い潜在需要から、熱可塑性樹脂に木粉を混合して木質感のある樹脂成形材料を得る試がこれまで数多く行われている。また近年の環境 ISO やリサイクル法に見られるように、使用済みプラスチックのリサイクルは社会的に強く望まれているため、プラスチックと木粉を複合化する手法は簡便にリサイクル材を得る方法として数多く検討されている^{(1)・(4)}。しかし、木粉配合樹脂に使用される木粉は、微粉碎しなければ、木粉と樹脂の混練が均一になりにくく、機械的強度や耐水性が低いという問題があり、また、木粉の前処理や乾燥工程が必要な場合が多くコスト高となり広く普及しているわけではない。この中で、アイン・エンジニアリング(株)では、回転衝撃による木材の粉碎乾燥技術や木粉とプラスチックの混合熔融技術、中空押出技術を開発し特許を出願し、企業化が進んでいる⁽¹⁾。しかし、この技術では装置・設備が大掛かりになるなど、中小企業や、生産現場におけるリサイクル手法として問題がある。このため、県内企業では、既存の設備を応用しリサイクル製品を開発する手法が求められている。

本研究では、企業現有の一般的な成形機を応用しリサイクル材を作製する技術を開発することを目的とした。実験では、富山新港で製材時に発生する北洋材木粉と建材製造時に発生する中質繊維板(MDF)粉を押出機により熔融混練してプラスチックと廃棄木材粉の複合化によるリサイクル材の開発を行った。特に、北洋材木粉とMDF粉を使用した複合材の物性の違い、MDF複合材料に関する相溶剤の効果と押出回数によるMDFの分散と物性変化について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の物性の評価

樹脂材料は、市販ABS(宇部サイコンサイクラックT相当)、PE(出光石油モアテック0368RP)とともにパウダー状のバージン材である。木粉は、富山新港で発生するメッシュ粗さの異なるカラマツを用いた。MDF粉は立山アルミニウム工業の建材切断工程で発生する端材を粉碎したものをを用いた。MDFは図1の製造方法に示すように、木材繊維をユリア、メラミンなどの熱硬化性樹脂を接着剤として熱圧成形した中質繊維板で、一般的には、窓枠、窓台、クローゼット、ドア、床材などに使用されている。

MDF の粉砕にはメッシュ径 5mm のプレーンカッタ型粉砕機(株ホーライ U-280)を用いた。MDF 粉は、80℃で2時間以上乾燥した。ABS、PE と木粉、MDF 粉を重量混合比 1:1 (リサイクル法より木材が 50%以上含まれるとその材料は木材と認識される)で混合したものを試験用二軸押出機(株東洋精機製作所 ラボプラスミトル、20mm、L/D=25、80rpm)で混練し、プレス機によって厚さ 3mm の平板試験片を成形した。そのときの成形条件を表 1 に示す。

試験片の評価方法として強度試験(JIS K 7203 による曲げ、JIS K 7113 による引張)、電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った。

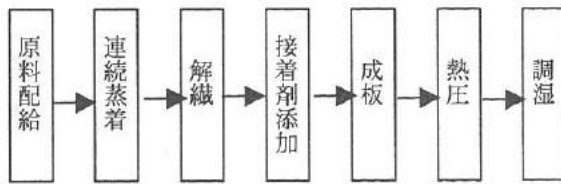


図1 MDF製造方法

Fig.1 Production technique of MDF.

2. 2 相溶化剤の効果の評価

相溶化剤とは、樹脂とフィラーとの界面密着性を向上させる添加剤のことである。図 2 は、相溶化剤の作用の一例を示したものである。PE などのオレフィン系樹脂は、無極性ポリマーの為、フィラーや木粉などとは基本的に親和性が悪いが、PE と木粉の両方に結合する極性基をもつオレフィン系相溶化剤を混入すれば界面密着性が良くなることが期待できる。

実験では、MDF 粉配合樹脂に相溶化剤を混入した時の物性の評価を目的とし、相溶化剤には、表 2 に示すものを使用した。ABS と MDF 粉配合物については、エポキシ基を有する GMA とのエチレンコポリマー 3 種類、エポキシ変性アクリル/PMMA グラフトポリマー 2 種類を用いた。PE と MDF 粉配合物においては、変性オレフィン系樹脂と酸変性低分子量ポリプロピレン系分散剤と酸変性低分子量ポリエチレンを用いた。

試験片の作製方法は、MDF 粉と ABS、PE と相溶化剤を重量混合比 50:45:5 で混合したものをペント付一軸押出機(径 40mm、L/D=25、80rpm)で混練してプレス機によって厚さ 3mm の平板を成形した。成形条件は、2. 1 と同様である。

試験片の評価方法として強度試験 (2. 1 と同様)、シャルピー衝撃試験 (JIS K 7111)、SEM 観察を行った。

表1 成形条件

Table 1 Molding condition.

使用材料	混練・押出温度	プレス温度
ABS	200℃	200℃(3min、20MPa)
PE	170℃	170℃(1sec、20MPa)

表2 相溶化剤

Table 2 Compatibilizer.

会社名	商品名	試料記号	備考
ビニフレイム工業(株) (提供)	変性オレフィン系樹脂	MOP	
三洋化成工業(株)	ユーメックス	CA60	酸変性低分子量ポリプロピレン系分散剤
		2000	酸変性低分子量ポリエチレン
住友化学工業(株)	ボンドファースト	E	E-GMA
		7B	E-GMA-VA
		7L	E-GMA-MA
東亜合成(株)	レゼダ	GP-301	エポキシ変性アクリル/PMMA グラフトポリマー
		GP-305	

E: エチレン GMA: グリシジルメタクリレート

VA: 酢酸ビニル MA: アクリル酸メチル

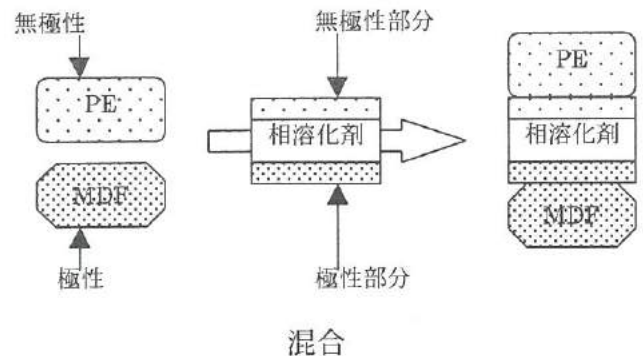


図2 相溶化剤の作用

Fig. 2 Effect of compatibilizer.

3. 2 押出機通過回数の効果の評価

材料、試験片の作製方法は2. 2と同様で、押出機通過回数は、2. 2で作成した試料を粉碎機により粉碎してまた混練を行い、その度毎に平板を成形して回数を重ねていった。試験片の評価方法として強度試験(2. 1と同様)、シャルピー衝撃試験、SEM観察を行った。

3. 実験結果

3. 1 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の物性の評価

まずABSとPEの樹脂にそれぞれメッシュ粗さの異なる木粉、MDF粉を混合した樹脂の強度試験を行った。

ABSの曲げ強度を図3、引張強度を図4に示す。ABSで

は、木粉配合では曲げ、引張強度ともに木粉のメッシュ粗さが細くなるほど強度が向上する傾向のあることがわかった。メッシュ120以上の木粉では、ABSのバージン材と同等の強度が見られた。これは、木粉が強化材の役割を果たしているためと考えられる。一方MDF粉配合では、メッシュ粗さ30~60において曲げ、引張強度ともにバージン材を超える強度が得られた。この時のMDF粉は長い繊維状で毛羽立った状態のものであった。MDF配合の場合はメッシュを細かくしても強度の向上の傾向は見られなかったが木粉配合と比較するとメッシュの比較的大きいものでも強度があった。

次にPEの曲げ強度を図5、引張強度を図6に示す。

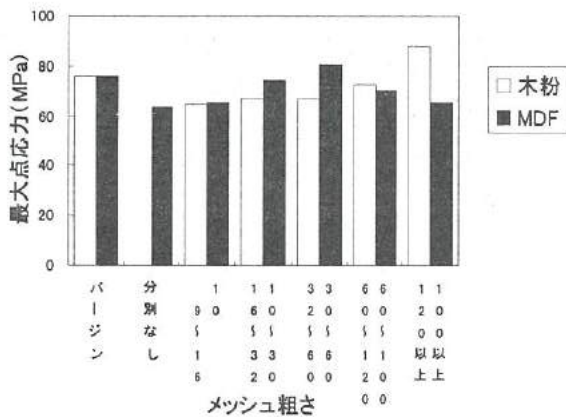


図3 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の曲げ強度(ABS)

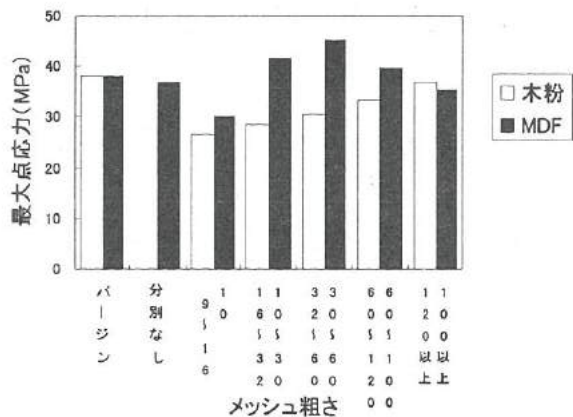


図4 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の引張強度(ABS)

Fig. 3 Bending strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

Fig. 4 Tensile strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

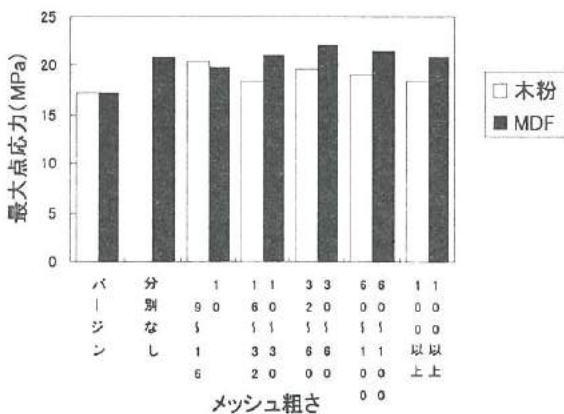


図5 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の曲げ強度(PE)

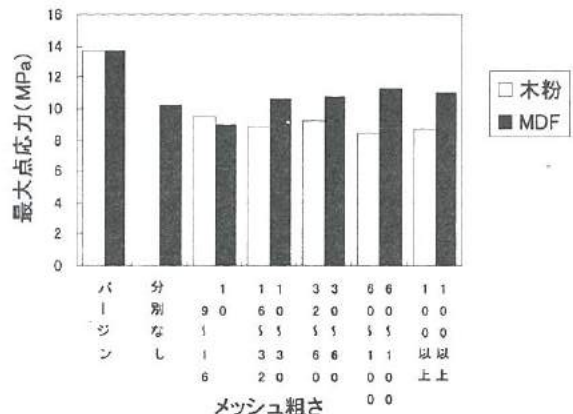


図6 木粉配合樹脂とMDF粉配合樹脂の引張強度(PE)

Fig. 5 Bending strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

Fig. 6 Tensile strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

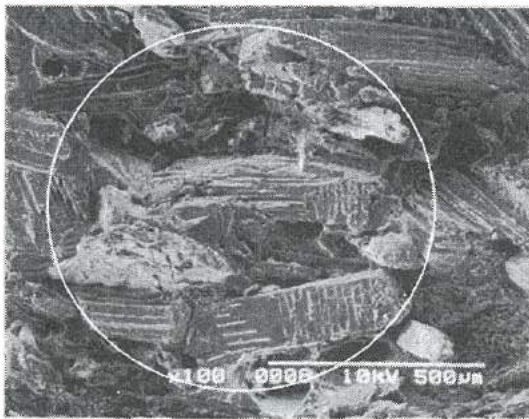


図7 木粉配合樹脂(PE. 50%木粉×100)

Fig. 7 Wood flour mixture resin.

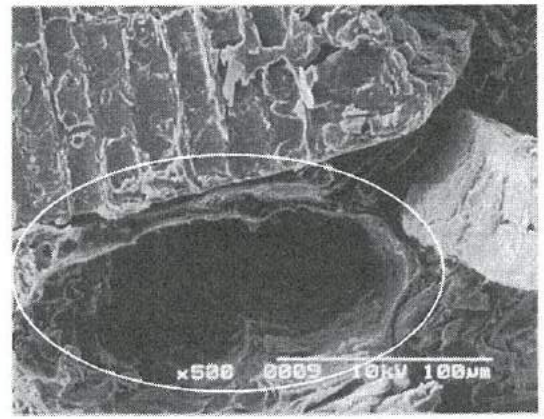


図8 木粉配合樹脂(PE. 50%木粉×500)

Fig. 8 Wood flour mixture resin.



図9 MDF粉配合樹脂(PE. 50%MDF粉×100)

Fig. 9 MDF powder mixture resin.

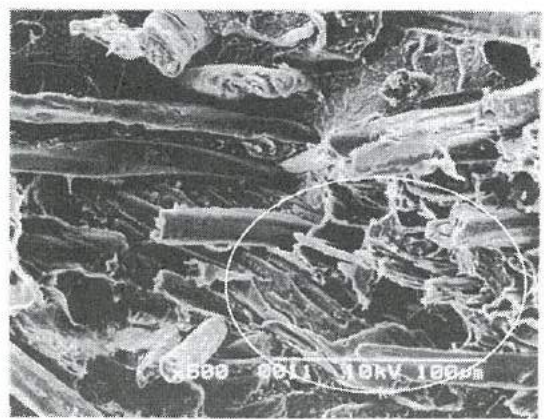


図10 MDF粉配合樹脂(PE. 50%MDF粉×500)

Fig. 10 MDF powder mixture resin.

PE の木粉配合樹脂では、いずれのメッシュ粗さにおいても曲げ強度は、バージン材より高い強度であるが、引張強度においては低い強度となっている。曲げ強度の向上は、バージン PE の強度が比較的低いことから木粉の補強の影響が大きいものと考えられる。引張強度の低下は樹脂と木粉との界面密着性が良くないため、引張変形時に樹脂と木粉間で界面の剥離が生じていると考えられる。MDF 粉配合樹脂においては、木粉配合樹脂と比べると曲げ、引張強度ともに高い傾向にあるがバージン材と比べると引張強度は低下した。この場合も樹脂と MDF 粉の界面接着性が良くないためと考えられる。PE は、木粉配合と MDF 粉配合ともにメッシュ粗さによる曲げ、引張強度に明確な差異はみられなかった。ABS と PE の曲げ強度、引張強度から MDF 配合樹脂は木粉配合樹脂に比べて機械的性質が良い傾向があると考えられる。

作製した木粉配合樹脂と MDF 粉配合樹脂の混練・分散の状態を SEM によって観察した結果を図 7~10 に示す。観察面は、試料を液体窒素に入れて破断した破断面である。図 7,8 は、PE とメッシュ粗さ 32~60 の木粉配合で倍率 100 倍、500 倍のもので、図 9, 10 は、PE とメッシュ粗さ 30~60 の MDF 粉配合で倍率 100 倍、500 倍の結果である。図 7 では、木粉が未分散で存在しているところが見られ、また、図 8 では、破断時に木粉の抜けた穴が見られた。このことより PE と木粉の界面密着性が良くないことがわかった。図 9 では、MDF 粉は、ほぐれて繊維状に分散していることがわかる。図 10 では、PE と MDF 粉の界面密着性は良くなくところどころに MDF 粉の繊維が抜けた穴が見られた。このような観察結果は ABS においても同様に見られた。強度、SEM 観察の結果より木粉、MDF 粉を複合化時に樹脂と木粉、MSF 粉との界面密着性を改善できれば機

械的性質を向上させることができると期待できる。

3. 2 相溶化剤の効果の評価

まず、相溶化剤として変性オレフィン系樹脂 (MOP) を用い効果を確認した。相溶化剤を用いたときの ABS の曲げ強度を図 11、引張強度を図 12 に示す。ABS は、曲げ、引張強度ともにいずれの MDF 粉のメッシュ粗さにおいても相溶化剤無しに比べて強度が著しく低下した。このことより、用いた相溶化剤が ABS には適さないことがわかった。次に PE において同様の相溶化剤を用いたときの PE の曲げ強度を図 13、引張強度を図 14 に示す。PE は、曲げ、引張強度ともにいずれの MDF 粉のメッシュ粗さにおいても著しく強度が向上し、パーজন材の強度を超えるものとなった。引張強度の向上から相溶化剤の効果で PE と MDF 粉との界面密着性が改善されたと考えられる。MDF 粉のメッ

メッシュ粗さでは、細かいものがいくらか強度は高い傾向があるが、MDF 粉の分別なしにおいてもメッシュ 32~60 のみと同等の強度があり、用いた相溶化剤がメッシュ粗さに関係なく PE に効果的であることがわかった。

相溶化剤を混合したときの MDF 配合樹脂の断面を SEM によって観察した。図 15 に ABS の相溶化剤添加前、図 16 に相溶化剤添加後の結果を示す。相溶化剤添加前は ABS と MDF 粉の界面密着性が良くない。相溶化剤添加後は、MDF には相溶化剤が MDF 表面を覆っているが、ABS とは密着していない状態が見られる。これからも、この相溶化剤が ABS には適さないことがわかる。図 17 に PE の相溶化剤添加前、図 18 に相溶化剤添加後の結果を示す。図 18 では、相溶化剤が PE と MDF 粉に密着している状態が見られ、相溶化剤による界面密着密着性の改善が曲げ、引張強度の向上に効果があったと考えられる。

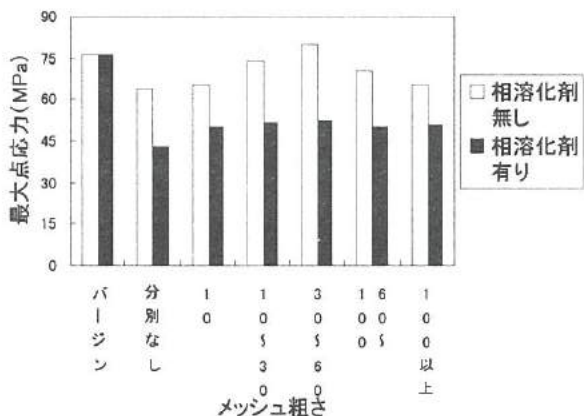


図 11 MDF粉配合樹脂の曲げ強度(ABS)

Fig. 11 Bending strength of the MDF powder mixture resin.

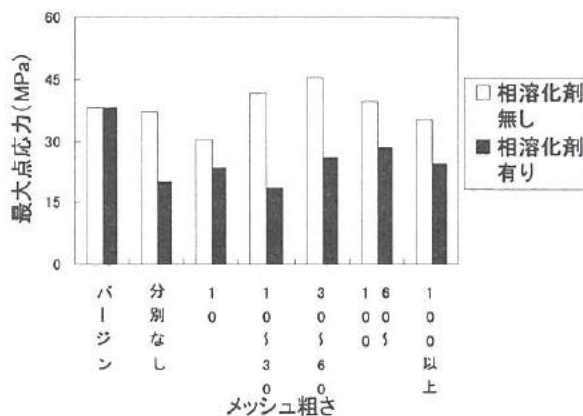


図 12 MDF粉配合樹脂の引張強度(ABS)

Fig. 12 Tensile strength of the MDF powder mixture resin.

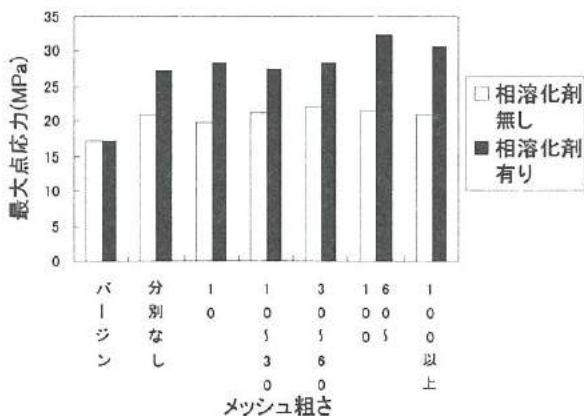


図 13 MDF粉配合樹脂の曲げ強度(PE)

Fig. 13 Bending strength of the MDF powder mixture resin.

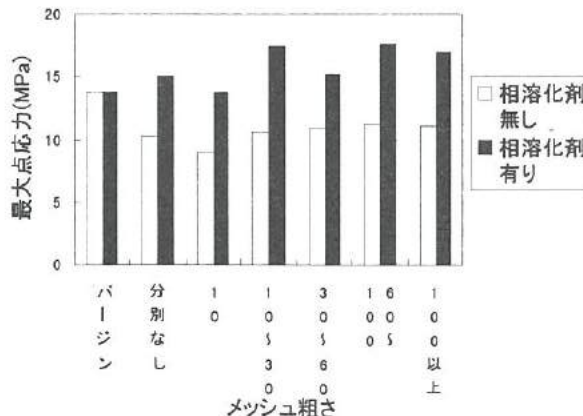


図 14 MDF粉配合樹脂の引張強度(PE)

Fig. 14 Tensile strength of the MDF powder mixture resin.

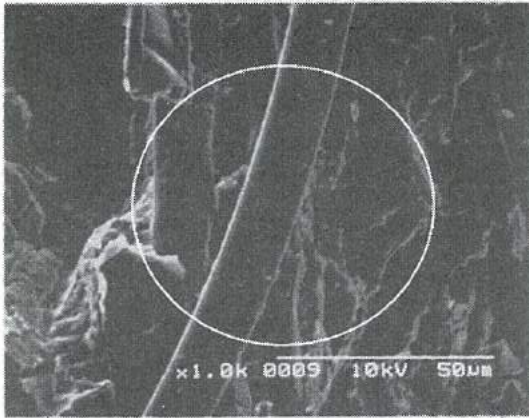


図15 MDF粉配合樹脂(ABS. ×1000)

Fig. 15 MDF powder mixture resin.

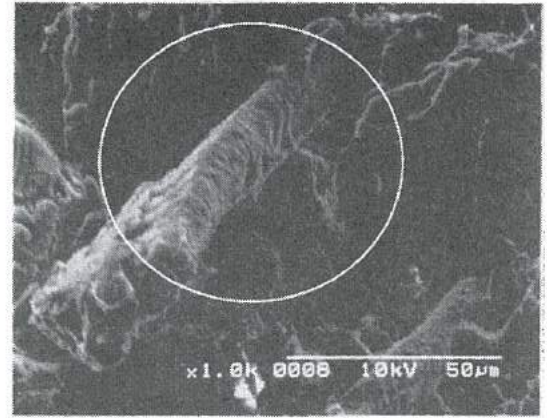


図16 MDF粉配合樹脂(ABS、+相溶化剤. ×1000)

Fig. 16 MDF powder mixture resin.

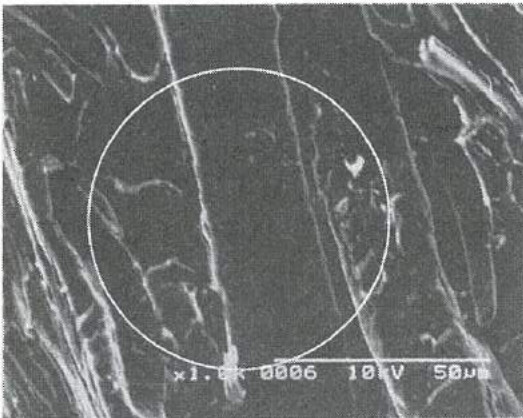


図17 MDF粉配合樹脂(PE. ×1000)

Fig. 17 MDF powder mixture resin.

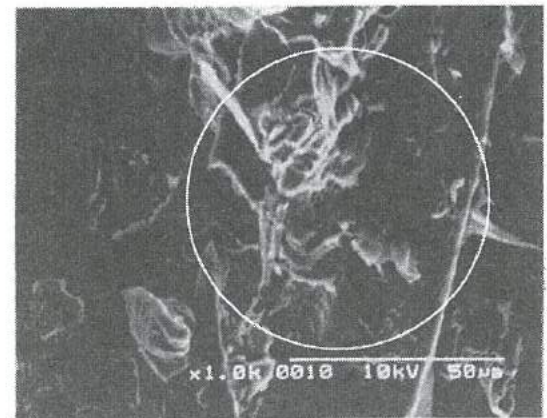


図18 MDF粉配合樹脂(PE、+相溶化剤. ×1000)

Fig. 18 MDF powder mixture resin.

SEM 観察結果から、この相溶化剤の変性部分は MDF 粉との接着性が高いが、相溶化剤のベースであるオレフィンと ABS は接着性が低く、PE は接着性が高いと考えられる。このことから、相溶化剤のベース材料と樹脂の相溶性が重要であることがわかる。

上記の結果をもとに ABS、PE の相溶化剤の選定をするためにそれぞれ表 2 に示す相溶化剤を用いて評価をした。ABS については、ABS との相溶性が高いと考えられる相溶化剤で検討した。PE は、変性オレフィン系樹脂の効果があったので酸変性低分子量ポリプロピレン系と酸変性低分子量ポリエチレンで検討した。

各相溶化剤を用いた ABS の MDF 粉配合樹脂の曲げ強度を図 19、引張強度を図 21、シャルピー衝撃値を図 23 の押出回数 1 回に示す。押出し回数 1 回のもので ABS の曲げ強度では、GP301、305 を用いたものが相溶化剤無しのもの

ものと同等の強度があることがわかった。E、7B、7L を用いたものは、強度が低下した。引張強度では、GP301 の強度が大きく向上し、E、7B、7L を用いたものは、強度が低下した。これは、E、7B、7L はエチレン系材料がベースなので強度が弱くなったと考えられる。また、シャルピー衝撃値では、押出し回数 1 回のもので E、7B、7L、GP301 を用いたものの衝撃値が向上した。これも、相溶化剤のベース材料の衝撃強度が高いので衝撃値が向上したと考えられる。これらの結果より、GP301 を用いることにより相溶化剤無しのものより機械的性質を向上させることができる。

PE の MDF 粉配合樹脂の曲げ強度を図 20、引張強度を図 22、シャルピー衝撃値を図 24 に示す。PE の曲げ強度、引張強度よりいずれの相溶化剤においても相溶化剤無しと比べて強度が大きく向上していることがわかった。シャルピー衝撃値では、MOP を用いたものが大きく向上した。PE

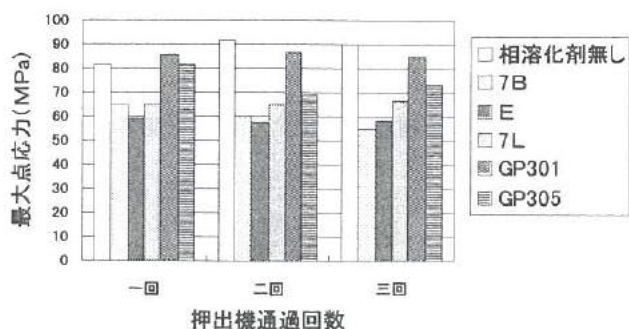


図19 MDF粉配合樹脂の曲げ強度(ABS)

Fig. 19 Bending strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

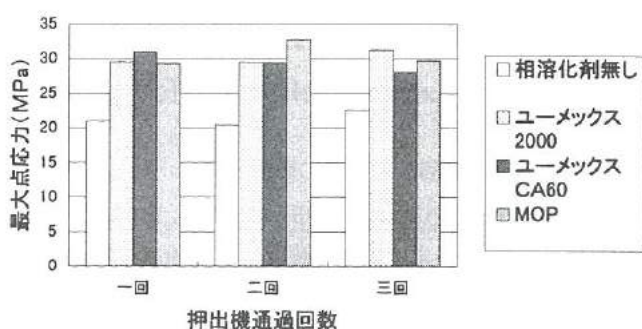


図20 MDF粉配合樹脂の曲げ強度(PE)

Fig. 20 Bending strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

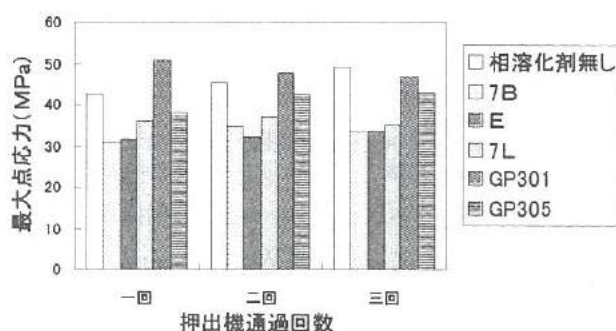


図21 MDF粉配合樹脂の引張強度(ABS)

Fig. 21 Tensile strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

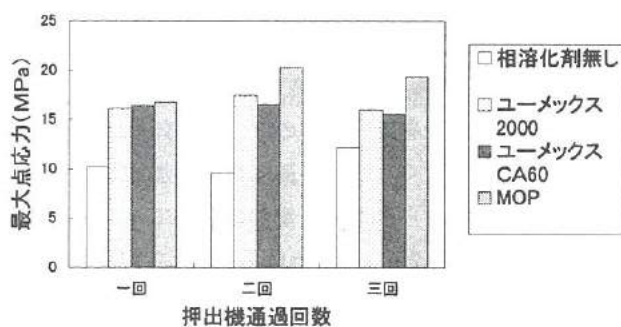


図22 MDF粉配合樹脂の引張強度(PE)

Fig. 22 Tensile strength of wood flour mixture resin and MDF powder mixture resin.

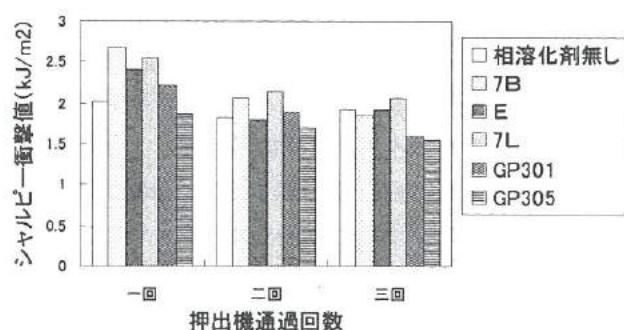


図23 MDF粉配合樹脂のシャルピー衝撃値(ABS)

Fig. 23 Charpy impact value of the MDF powder mixture resin.

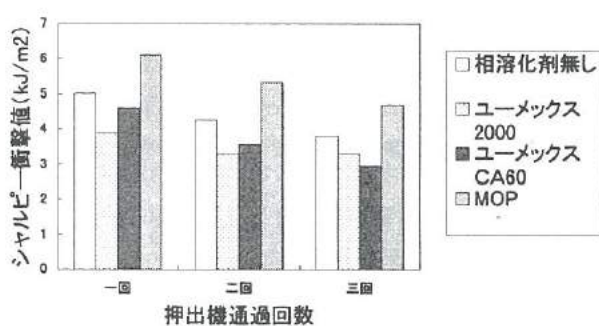


図24 MDF粉配合樹脂のシャルピー衝撃値(PE)

Fig. 24 Charpy impact value of the MDF powder mixture resin.

に用いた相溶化剤は、いずれも強度向上の効果があり、その中でも MOP を用いたものは衝撃においても効果があった。

3.3 押出機通過回数の効果の評価

各相溶化剤を用いた ABS、PE の MDF 粉配合樹脂の押出機通過回数 3 回までの曲げ強度、引張強度、シャルピー衝撃値の評価を行った。押出機通過回数を重ねることによる分散・混練の効果を検討した。その評価結果を ABS は、図 19、21、23、PE は図 20、22、24 に示す。ABS の MDF 粉配合樹脂では、相溶化剤無しのものにおいては、曲げ、引張強度ともに通過 1 回に比べ通過 2、3 回で強度が向上した。相溶化剤を用いたものでは、曲げ、引張強度ともに明確な強度の向上が見られなかった。相溶化剤無しでは、3.1 で見たように、混練時に分散した MDF が、通過回数の増加によって、さらに分散が良くなったものと考えられる。しかし、相溶化剤を用いたものは、その効果により通過 1 回目から分散が良くなり、通過回数の増加効果が見られなかったものと考えられる。衝撃値においては、相溶化剤を用いたもので通過 2 回、3 回と低下した。この衝撃値の低下は、多数回の成形における樹脂の熱劣化や分散した繊維の切断のためと考えられる。PE の MDF 粉配合樹脂では、相溶化剤無しのものにおいて曲げ、引張強度ともに通過 3 回目において強度の向上が見られたが、衝撃値において低下が見られた。相溶化剤を用いたものは、明確な強度の向上は見られなかったが衝撃値において通過 2 回、3 回と低下した。ABS の場合と同様に相溶化剤の効果のため通過 1 回目から分散が向上したのものと考えられる。

4. 結 言

本研究では、リサイクルにおける技術的な課題と、プラスチックと木材廃棄物を複合した再資源複合化材料の開発に努め、以下の成果が得られた。

- (1) MDF 粉配合樹脂は、押出機での混練時に MDF がほぐれ繊維状になって分散していることがわかった。さらに、この効果により複合材料の機械的物性を向上させる可能性が示唆された。
- (2) 成形時の押し出し回数を増やす事により、MDF の分散状態を変化させることができた。
- (3) MDF 粉配合樹脂において、ABS はエポキシ変

性アクリル/PMMA グラフトポリマー、PE には、変性オレフィン系の相溶化剤が機械的物性の向上に効果があった。

- (4) 木粉配合樹脂と MDF 粉配合樹脂の見本を製作した。

謝 辞

この研究について、相溶化剤の提供を頂いたピニフレイム工業に感謝します。また、非常に有益な助言をいただいた同社 稲谷 文祐氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 木紛系合成木材、エンブラ系内装住宅建材にみる最近の技術開発と市場展開一応用事例、プラスチック工業会。
- (2) 微細木粉充填プラスチックの研究—参考文献特許集 (3)、日本プラスチック加工技術協会。
- (3) Recycling of Plastics Wastes Using Solid State Shear Extrusion, RIAHI A, ARASTOOPOUR J L H, IVANOV G, SHUTOV F, Soc. Plast. Eng. Annu. Tech. Conf, VOL. 51, NO. Vol 1 PAGE.891-892(1993).
- (4) Injection molding and extrusion of composites of low density polyethylene (LDPE) and plywood grindings, TOERMAELAE P, PAEAEKKONEN E, LUOTO K, J. Appl. Polym. Sci, VOL.30, NO.1 PAGE. 423-427 (1985).

V. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究

Study of Direct Methanol Fuel Cells Using Polymer Electrolyte.

高橋 雄一 山田 浩美 関口 徳朗 高林 外広
TAKAHASHI Yuuichi YAMADA Hiromi SEKIGUCHI Noriaki TAKABAYASHI Sotohiro
大永 崇 寺澤 孝志 谷野 克己
OONAGA Takashi TERASAWA Takashi TANINO Katsumi

Abstract

Fuel cells can utilize fuel containing hydrogen, including methanol, ethanol, natural gas, and even gasoline or diesel fuel. Fuels containing hydrogen generally require a "fuel reformer" that extracts the hydrogen. Direct methanol fuel cells (DMFC) are relatively a new member of the fuel cell family. The anode catalyst itself draws the hydrogen from the liquid methanol, eliminating the need for a "fuel reformer". The DMFC offers promising technology for the application in portable systems as well as in vehicles and for the energy supply at home.

In this study, our purpose is to assemble the fuel cell system using proton exchange membrane (PEM) and to clarify the characteristic of the fuel cell using hydrogen and methanol.

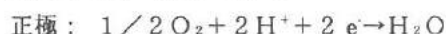
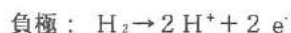
1. 緒言

エネルギー及び資源の大量消費により、酸性雨や地球温暖化など地球規模での環境問題が近年深刻化しており、環境保全と省資源の立場から、いかにクリーンで低コストのエネルギーを安定的に確保するかが世界共通の課題となっている。燃料電池は高効率、クリーンな発電手段であるため、ポスト火力発電、ポスト原子力発電として、また電気自動車用駆動動力源として 21 世紀初頭の実用化へ大きな期待を集めている。本研究では、固体高分子型燃料電池を試作し、その構造、触媒、運転条件等について水素やメタノールを燃料に用いて検討した。

2. 燃料電池の動作原理

表 1 に示すとおり燃料電池にはいくつかの種類がある。これらの中で、固体高分子型燃料電池は電池作動温度が 80 °C 以下であるため起動時間が短く、排熱温度も低く、エネルギー出力密度を高く取ることができる。排熱回収温度が低いことから、数十 kW のオンサイト型から 500W 級の家庭/携帯用までの市場には発電と暖房/給湯を併せ持った熱電併給装置として期待されている。また、電解質が固体であるという特徴から、車載用としての要求仕様（軽量、コンパクト、耐震、量産効果）に対しては各種燃料電池の中で最も近い位置にある。

燃料電池とは、燃料と酸化剤から電気化学反応を用いて、電気及び熱エネルギーを取り出すシステムである。図 1 は酸素・水素燃料電池の模式図を示す。電池本体は、電子伝導体である 2 つの電極と、イオン伝導体である電解質から構成される。負極には水素、正極には酸化剤である酸素が供給される。



各極では上記の様に、負極では水素原子から電子が解放され、正の電荷を持つイオンが残される。電子は外部回路を通り、イオンは電解質中を移動する。正極では水素イオンと酸素が結合し水をつくる。この様な反応が起こり電気エネルギーが外部に取り出される。化学物質の持つ熱力学関数の中にエンタルピー H (enthalpy) とギブス自由エネルギー G (Gibbs free energy) がある。ギブス自由エネルギーは化学物質が持っているポテンシャルと考えることができ、ポテンシャルの高いところから低

表1 燃料電池の種類

Table.1. Types of fuel cells

	アルカリ型	リン酸型	熔融炭酸塩型	固体電解質型	固体高分子型
主たる電解質	水酸化カリウム水溶液	リン酸	炭酸リチウム、炭酸カリウムの混合物	ジルコニアと酸化イットリウムの混合物	陽イオン交換膜
作動温度	~120° C	~200° C	500° C~700° C	800° C~1,000° C	60° C~100° C
燃料	水素	水素 (天然ガス メタノール)	水素 (石炭ガス化ガス 天然ガス メタノール)	水素 (石炭ガス化ガス 天然ガス メタノール)	水素 (石炭ガス化ガス 天然ガス LPG)
電極材料	R-Ni/Ni	Pt/C	Ni NiO	Ni LaNiO _x	Pt/C
特徴	電解質による腐食性が比較的小さい 宇宙開発等特殊用途	実用化の段階的	高発電効率 広範な燃料利用可能	高発電効率 広範な燃料利用可能	小型軽量化 起動時間が短い
発電効率	40%	40~45%	45~60%	50~65%	35~40%

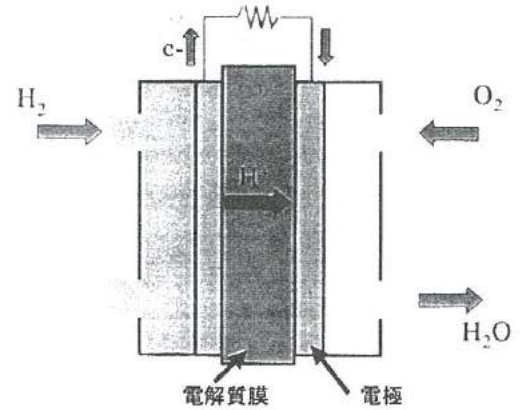


図1 燃料電池模式図

Fig.1. Outline figure of proton

exchange membrane fuel cells

いところへと反応が進む。これらの間には次の関係式が成り立つ。

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T \Delta S^{\circ}$$

[ΔH° : エンタルピー, ΔG° : ギブス自由エネルギー, ΔS° : エンタルピー変化]

水素、酸素を用いた燃料電池では、 $H_2 + 1/2 O_2 = H_2O$ の反応に対して、 $\Delta H^{\circ} = -285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta G^{\circ} = -237.13 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ である (at298K)。

これは、水素 1 mol に対して、273.13kJ の電気エネルギーが取り出され、48.70kJ の熱が放出されることを示す。

また、電気エネルギーと起電力の間には次の関係式が成り立つ。

$$U^{\circ} = \Delta G^{\circ} \cdot (-n \cdot F)^{-1}$$

[U° : 理論起電力, n : 電子交換数 (この場合 $n=2$), F : ファラデー定数 ($F=96,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$)]

この関係より、水素、酸素を用いた燃料電池の理論起電圧は $U^{\circ} = 1.23\text{V}$ となる。

(単位換算 $1 \text{ J} = 1 \text{ C} \cdot \text{V} = 1 \text{ W} \cdot \text{S} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 2.777 \times 10^{-7} \text{ kW} \cdot \text{h} = 2.388 \times 10^{-3} \text{ kcal}$)

また、水素、酸素の持つ化学エネルギーは ΔH° で考えることができるので、燃料電池によるエネルギー変換効率 η は

$$\eta = \Delta G^{\circ} / \Delta H^{\circ}$$

となり、25℃では83%となる。 ΔG° は温度とともに変わるので効率も変化する。

同様に、メタノールを用いた燃料電池には、 $CH_3OH + 3/2 O_2 = CO_2 + 2 H_2O$ の反応に対して $\Delta H^{\circ} = -727 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta G^{\circ} = -703 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ であり、理論起電圧は 1.21 V、エネルギー変換効率は 97% となる。

しかし、実際の燃料電池発電システムではさまざまな損失が発生し、熱エネルギーとして放出される。

燃料電池内部で発生する損失としては抵抗分極、活性化分極、拡散分極が挙げられる。また、燃料極で反応しなかった燃料も損失となる。

(1) 抵抗分極

電極とイオン交換膜との間の接触抵抗及び電極に挟まれた電解質であるイオン交換膜、電極やセパレーターなどには電気抵抗があり、電池の起電力の一部が電流に比例した IR 損して消費され、熱として放出される。

(2) 活性化分極

燃料極では水素の酸化が進み、空気極では酸素の還元が進む。これらの反応がある速度で進行するためには、燃料極では電位を正方向に、空気極では負方向にシフトしなければならない。これは、水素や酸素が基底状態から一度高活性に励起した状

態を経由して進む必要があり、この励起のための活性化エネルギーが電位のシフト（過電圧という）により低くなり、反応が起りやすくなる。この時、電池の起電力の一部が活性化過電圧として消費される。消費された起電力の一部は熱として放出され、その分だけ効率は下がることになる。適切な触媒と温度を選択することによって、この活性化エネルギーを小さくすることができる。

(3) 拡散分極

電極上での反応によって平衡がずれ、反応系、生成系が共に濃度差を生じ、拡散移動を起こす。拡散のためのエネルギーは電池の起電力の一部が濃度過電圧（又は、濃度分極ともいう）

として消費され、熱として放出される。この関係を図2で示す。大きな電流を取れば電圧が低下することがわかる。

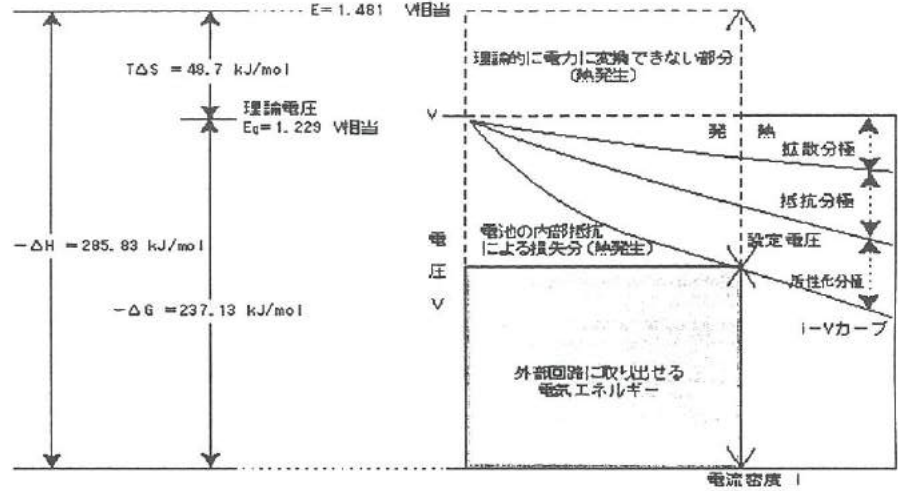


図2 燃料電池の特性とエネルギーの関係

Fig.2. The characteristic of a fuel cell

3. 電池の材料、部品及び実験方法

(1) 電解膜

本実験では電解膜としてパーフルオロスルホン酸系のイオン交換膜である、デュボン社製の Nafion を用いた。図3は分子構造を示す。本実験では、膜厚が183 μmと89 μmの2種類のものを用いた。

電解膜には、電極を接合する前の清浄化処理として、以下の処理を80℃の雰囲気の中で、1時間実施した。

- ①蒸留水による洗浄（膜の湿潤と膜表面の汚染物の除去）
- ②3%過酸化水素水による洗浄（膜表面の有機汚染物の除去）
- ③35%硫酸による洗浄（膜中の金属イオンの除去）
- ④蒸留水による洗浄（硫酸の除去）

ここで、④の工程は蒸留水を3回交換して実施した。

当初、膜は淡い茶色を呈しているが、本処理をおこなった後の膜は無色透明となる。

(2) 担持触媒

担持触媒には Pt 微粒子を用い、電子伝導性を持たせるためのアセチレンブラックに担持させた。本実験では Pt 微粒子を Pt コロイド溶液（戸田工業社製）から得ている。

担持方法は、アセチレンブラックをイソプロパノール中に超音波分散させた後、所定量の Pt コロイド溶液と混合・攪拌し、その混合液を遠心分離により担持触媒を得た。また、コロイド中に含まれる Na、Cl 等のイオン分を除去するため、得られた担持触媒を蒸留水中で再分散し、遠心分離させる処

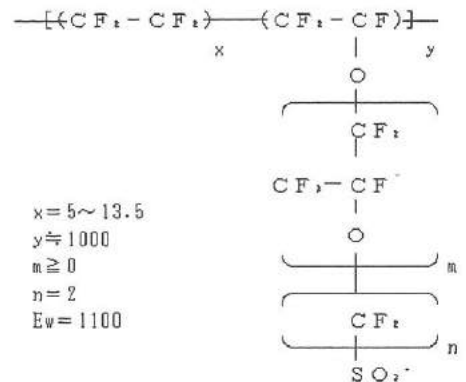


図3 分子構造図

Fig.3. Molecule structure of nafion

理を3回実施した。

今回はPt担持量が、アセチレンブラックに対して20wt%と50wt%の2種類を作製した。

図4は50wt%担持触媒の電子顕微鏡写真を示す。写真中、黒丸に写っているのがPt粒子である。粒子径は2~3nm程度でアセチレンブラック表面に良好な状態で分散・担持されているのがわかる。

(3) 膜-電極接合体 MEA (Membrane Electrode Assembly)

(2) で得られたPt担持触媒と5wt%Nafion溶液を混合し、図5のようにスプレーブラシを用いてイオン伝導膜に吹き付け電極層を付着させた。この際、吹き付けがスムーズにいくようにイソプロパノールで混合液を適宜希釈した。吹き付けは、φ60mmの穴をあけたアルミニウム板に電解膜を挟んで行い、電極面が一定となるようにした。電極層を付着させた膜は、乾燥機中90℃で1時間乾燥させた後、テフロンフィルターとステンレス板で挟み、ホットプレス機により、135℃、20MPaで30分間プレスし、電解膜と電極を接合した。

この工程中、膜を直接手で触ったり、埃等の汚れの付着や、プレス中膜が直接ステンレス板に接触していた場合は、その部分が褐変し再度洗浄してもとれにくく、膜の劣化が予想されるため十分注意する必要がある。

(4) 実験装置

①セル

セルには、MEAの保持、反応ガスの供給・排出、気密の確保、発生電力の集電、MEAの温度維持などの機能が求められる。さらには、イオン交換膜が強酸性であること、金属イオンが膜のイオン伝導性を劣化させることから、耐酸性、耐腐食性も求められる。

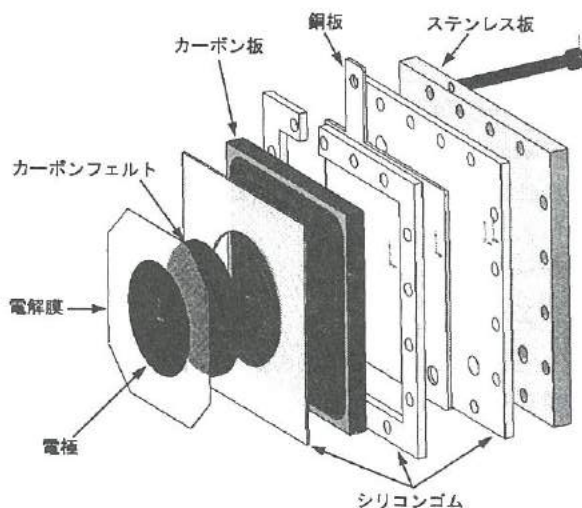


図6 燃料電池構成図

Fig.6. The composition of fuel cell

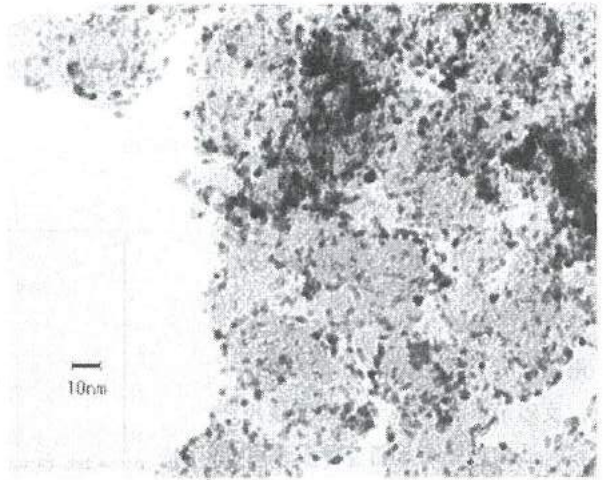


図4. 担持触媒の電子顕微鏡写真

Fig.4. TEM photograph of Pt-C catalyst

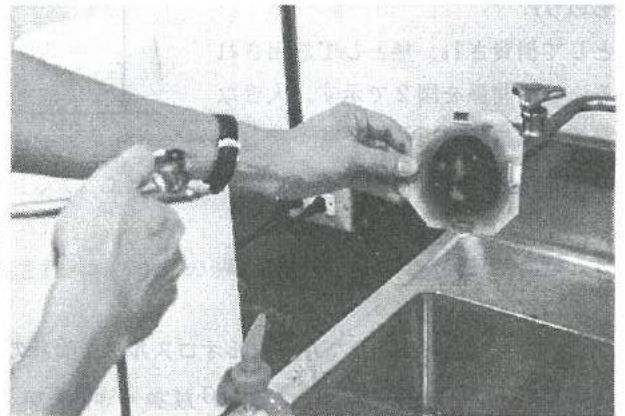


図5 電極層の形成

Fig.5. Formation method of an electrode

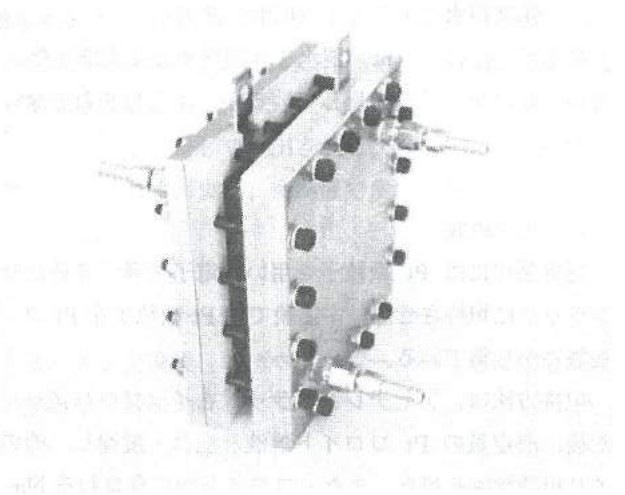


図7 試作したセル

Fig.7. An experimented fuel cell

本研究では、これらを考慮して、図 6、図 7 に示すようなセルを試作した。本セルはセパレータに等方黒鉛を用い、MEA と直接接する部分は、集電体としてカーボンフェルト、保持と気密のためにシリコンゴムシートを用いた。反応ガスはセパレータに形成された流路から、カーボンフェルトを通り電極に供給される。

また、締め付け力の不均一による、MEA - 集電体、セパレータ-電極間の各接触抵抗変化が最小限となるよう、各ボルトにバネを取り付け、均一に圧力がかかるようにした。このときのセル全体の締め付け力は約 12kN となり、MEA には平均して約 0.8MPa の圧力が加わることになる。

②ガス供給

図 8 はガス供給の概念図を示す。アノード側には水素と窒素、カソード側には空気と酸素を供給するようにした。供給ガスはいずれも蒸留水のバブラーを通し加湿している。図 9 に示すように、セルとバブラーは同一の恒温機中に設置され、いずれの温度も同じになるようにした。

③計測装置

図 10 は計測方法を示す。本研究では MEA の両電極面、集電体両端、セル端子両端及び負荷器両端の電圧と回路に流れる電流を計測した。電圧はデジタルメータ、電流はクランプ式の電流計を用いて計測した。

MEA の両電極面、集電体両端の電圧測定には引き出し線にφ 0.3mm の Pt ワイヤを用い、セル電極端子から負荷器までの導線は公称断面積 2.0mm² の銅線を 4 本束ねたものを用いた。負荷器には 1K Ω ~ 0.02 Ω の巻線抵抗器を用いた。また、温度はバブラーと MEA の電極近傍を熱電対をで計測した。

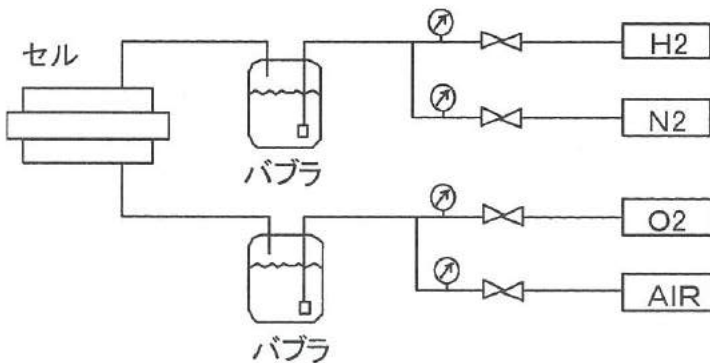


図8 ガス供給図

Fig.8. Gas supplied system

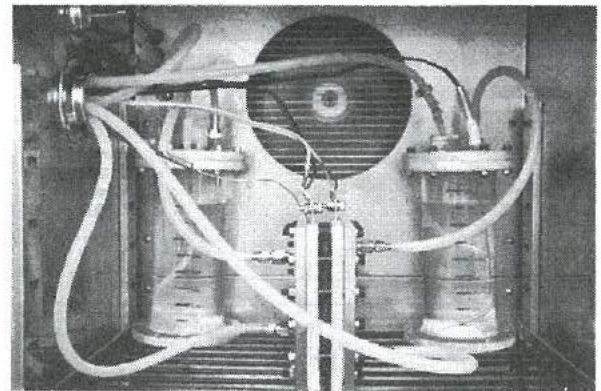


図9 実験装置

Fig.9. Experimental equipment

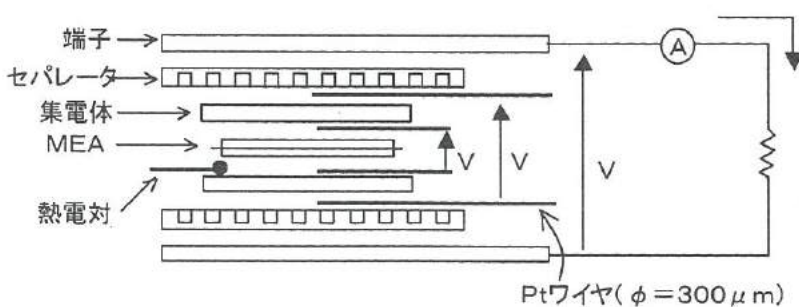


図10 計測方法

Fig.10. Measurement method

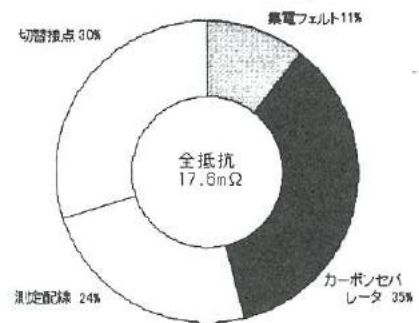


図11 実験装置の抵抗比率

Fig.11. Resistance ratio of fuel cell

④セルの電気抵抗

セルの有する電気抵抗は MEA の特性を評価をする際に、IR 損として消費される分だけ出力が得られないため、特性は悪くなる。本研究では、試作した実験装置（セル及び測定回路）の短絡時の電気抵抗を電圧降下から算出した。図 11 は実験装置の抵抗分の比率の一例を示す。ただし、この抵抗値は締付け力の変化や通電による測定回路の発熱により変化する。

4. 結果及び考察

(1) 触媒製法による特性変化

3. (2) で作製した担持触媒のほかに、白金黒を用いたもの、スパッタにより Pt を直接電解膜につけたものでそれぞれ MEA を作製し、各々の特性を評価した。図 12、図 13 は I - V 特性、I - W 特性を示す。

図より、Pt コロイド溶液を用いた MEA は、他の 2 つと比べて良い性能を示した。電力密度では、スパッタで作製した MEA の 10 倍の出力が得られている。これは Pt 粒径が影響しているものと考えられる。

(2) 膜洗浄による特性変化

膜の清浄化による特性の変化を調べるため、3. (1) の処理を行ったものと処理を行わないもので比較した。図 14、図 15 はそれぞれの特性を示す。図より膜を洗浄することで電力密度には 3 倍近い出力の向上がみられ、電流密度も 500mA/cm² 以上が得られていることがわかる。

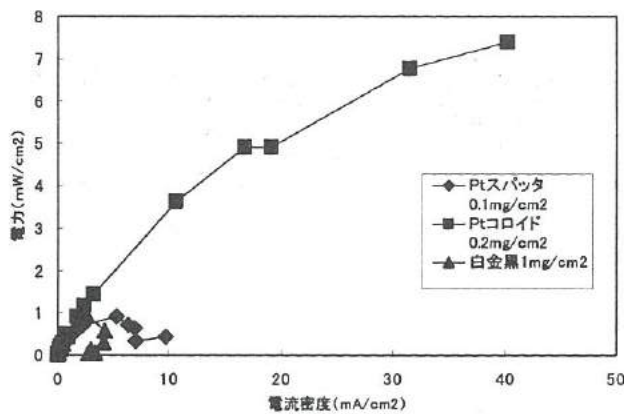


図12 触媒製法の違いによるI-W特性

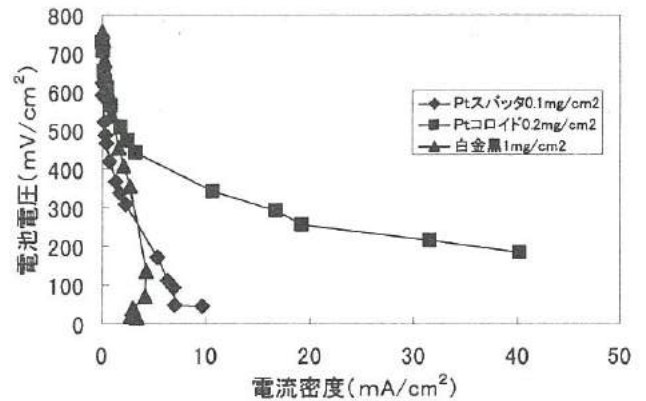


図13 触媒製法の違いによるI-V特性

Fig.12. The I-W characteristic by the process of a catalyst

Fig13 The I-V characteristic by the process of a catalyst

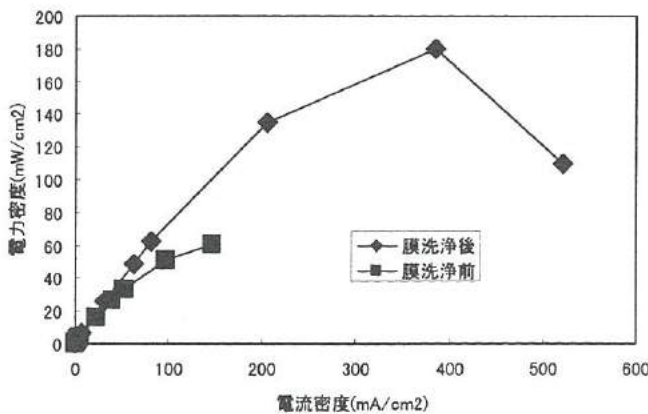


図14 電解膜洗浄によるI-W特性変化

Fig.14. The I-W characteristic by membrane treatment

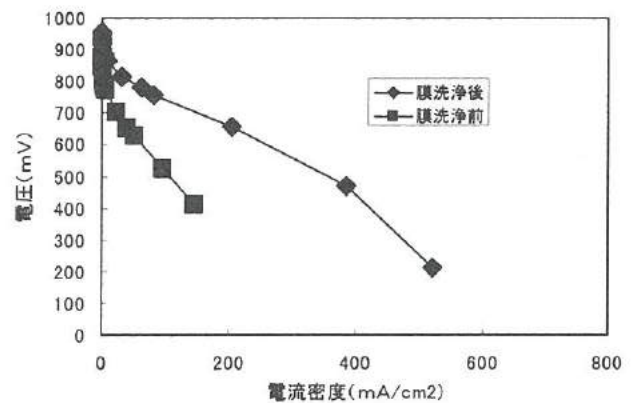


図15 電解膜洗浄によるI-V特性変化

Fig.15. The I-V characteristic by membrane treatment

(3) 膜厚

電解膜の膜厚による特性の違いを調べるため、膜厚 183 μm 、89 μm の 2 種類のもので特性を比較した。図 16、図 17 は膜厚の違いによる特性の違いの一例を示す。膜厚の薄い膜を使用することで、電力密度には約 1.3 倍の出力の向上がみられた。また、膜厚 183 μm のものは 400 mA/cm^2 付近から急激な電圧降下がみられた。膜厚 89 μm も 450 mA/cm^2 付近より電圧降下するが、その割合は少ない。

(4) 温度

温度の違いによる特性を調べるため、実験装置の温度を 40 $^{\circ}\text{C}$ 、60 $^{\circ}\text{C}$ 、80 $^{\circ}\text{C}$ に変化させた。図 18 は実験装置の温度を変化させた時の I - W 特性を示す。図より、80 $^{\circ}\text{C}$ のときは 40 $^{\circ}\text{C}$ のときに比べて電力密度で約 1.3 倍の出力が得られている。

また、図 19 は装置の温度調整をせずに 150 分間出力させた時の、電極近傍の温度変化と電流、電圧の変化を示す。図より膜の自己発熱により膜温度は 55 $^{\circ}\text{C}$ まで上昇し、それとともに電流・電圧も上昇していることがわかる。

(5) メタノールによる特性

図 20、図 21 はメタノール中にキャリアガスとして 60 $^{\circ}\text{C}$ で水蒸気飽和させた N_2 を用い、アノード側に供給したときの I-V 特性を示す。図より、水素を供給したときに比べ非常に小さな出力しか得られないことがわかる。ただし、本研究では供給ガス中の水分がメタノール中で吸収され不足していたことが考えられるため、メタノールと水の供給経路を分ける必要がある。

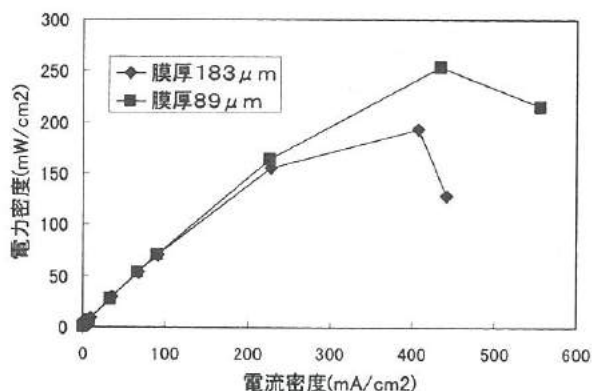


図 16 膜厚とI-W特性の関係

Fig.16. The I-W characteristics dependence of thickness

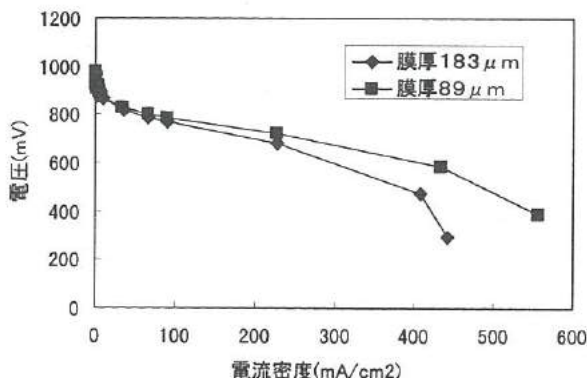


図 17 膜厚とI-V特性の関係

Fig.17. The I-V characteristics dependence of thickness

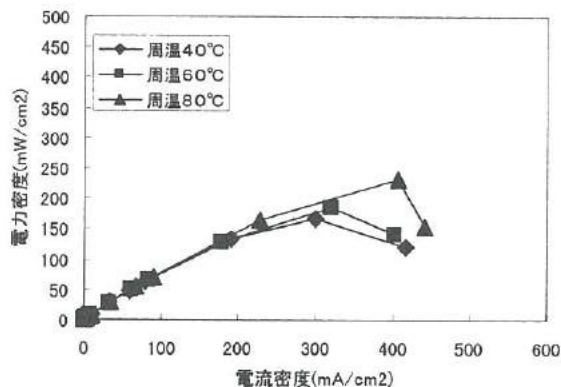


図 18 I-W特性の温度依存性

Fig.18. The I-W characteristics dependence of temperature

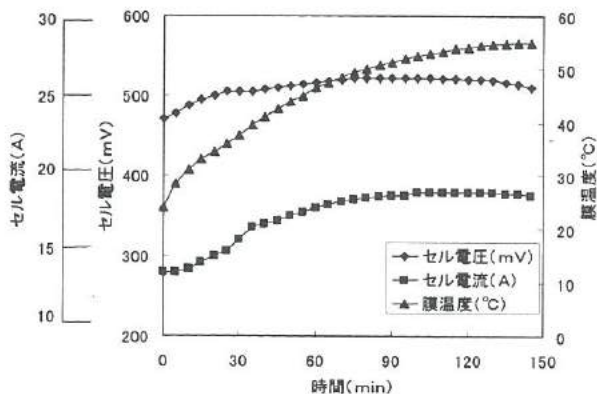


図 19 電圧、電流及びセル温度の経時変化

Fig.19. Change of electrical characteristics cell temperature with time

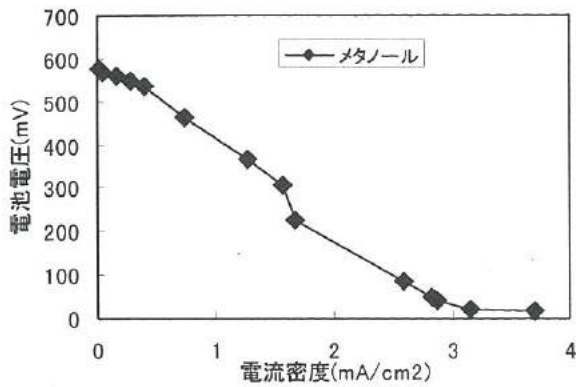


図20 メタノールによるI-V特性

Fig.20. The I-V characteristic used methanol

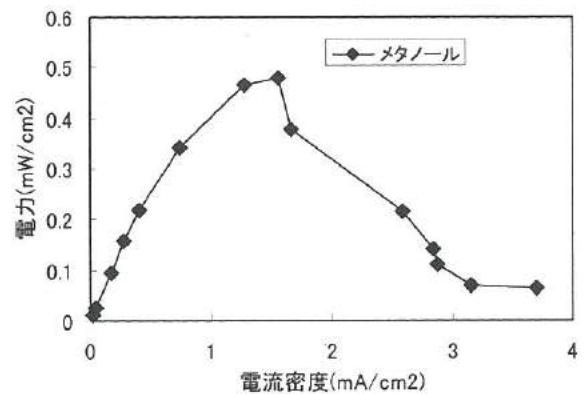


図21 メタノールによるI-W特性

Fig.21. The I-W characteristic used methanol

5. 結 言

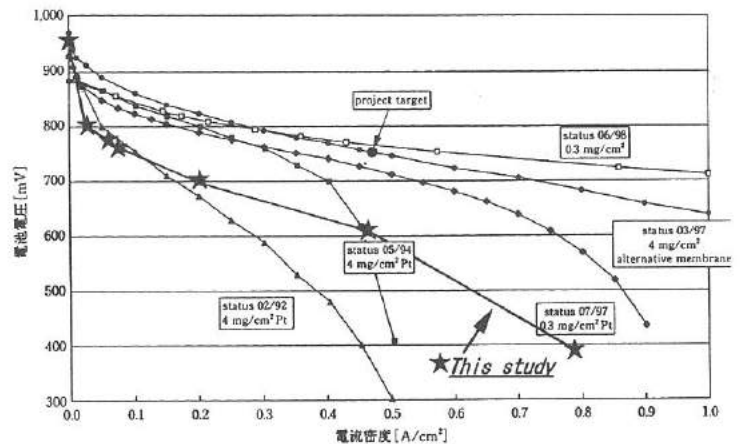
図 22 は本研究で作製した固体高分子型燃料電池の特性 (膜厚 $89 \mu\text{m}$, $1.0\text{mg}/\text{cm}^2\text{Pt}$, $\text{H}_2/\text{O}_2, 80^\circ\text{C}$) とシーメンス社が公表している特性を比較したものを示す。

図より、本研究で作製した電池では遜色のない特性が得られている。今後、ダイレクトメタノール燃料電池を試作・評価するにあたっては、性能の良い MEA の作製技術や十分制御された実験装置は不可欠である。

今後、改善・検討していかなければならない点として、

- ① 電解膜温度の直接制御
- ② 接触抵抗などセルの内部抵抗や計測回路の電気抵抗の低減
- ③ 薄い電解膜 ($50 \mu\text{m}$ 以下) の保持機構
- ④ 燃料 (水素、メタノール)、酸素 (空気)、水の独立した供給制御
- ⑤ Pt 以外の触媒の検討
- ⑥ 小面積の MEA での性能評価

などが挙げられる。これらを改善・検討していくことで、今後さらに性能の向上と正確な評価ができるものと考えている。



(出典: The Second International Fuel Cell Workshop, September, p106 (1998).)

図22 シーメンス社と本研究との特性比較

Fig.22. Characteristic comparison of Siemens and this study

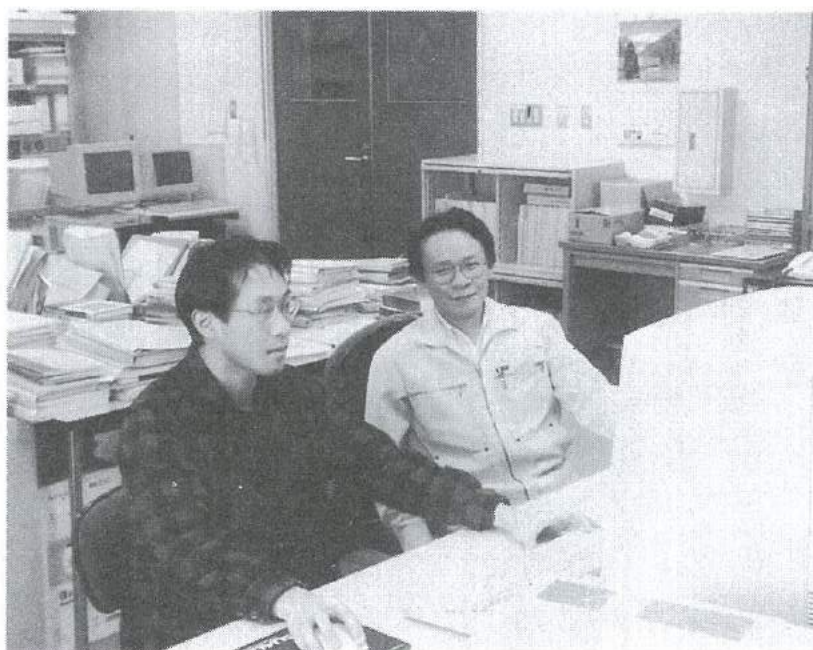
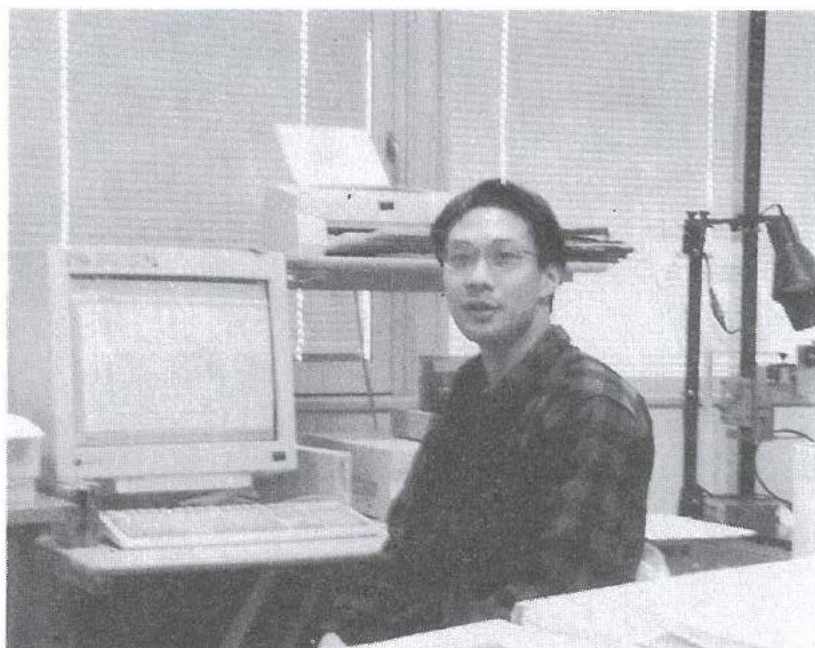
<参考文献>

神谷伸行等 : 「固体高分子型燃料電池の開発と応用」、(2000)

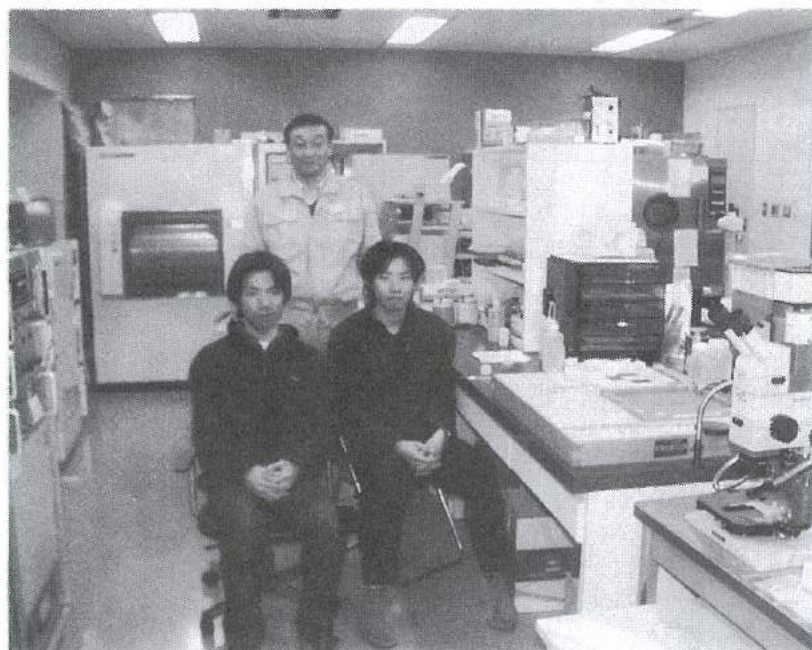
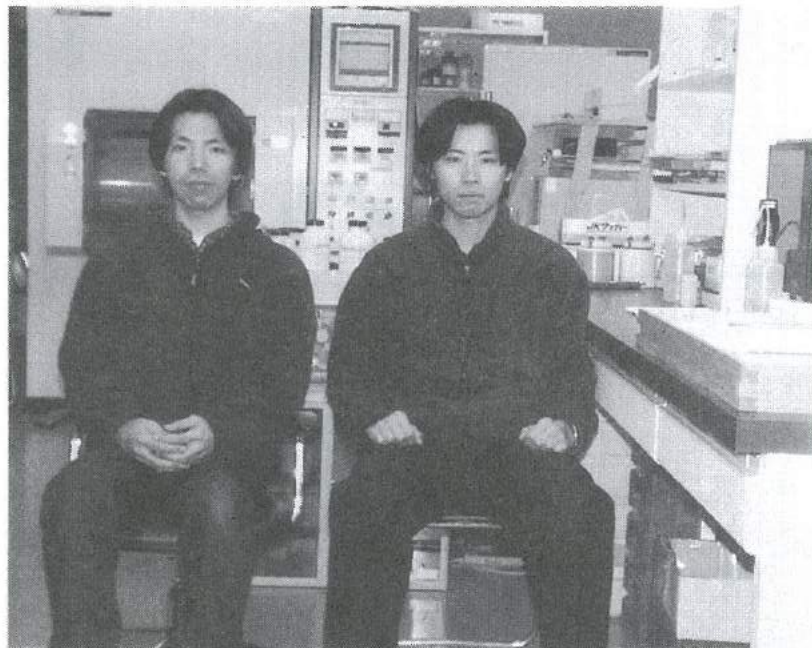
通商産業省工業技術院、新エネルギー・産業技術総合開発機構 : 「固体高分子型燃料電池」、(2000)

Walt Pyle, Alan Spivak, Reynaldo Cortez, Jim Healy : 「Making Electricity with Hydrogen」、(1993)

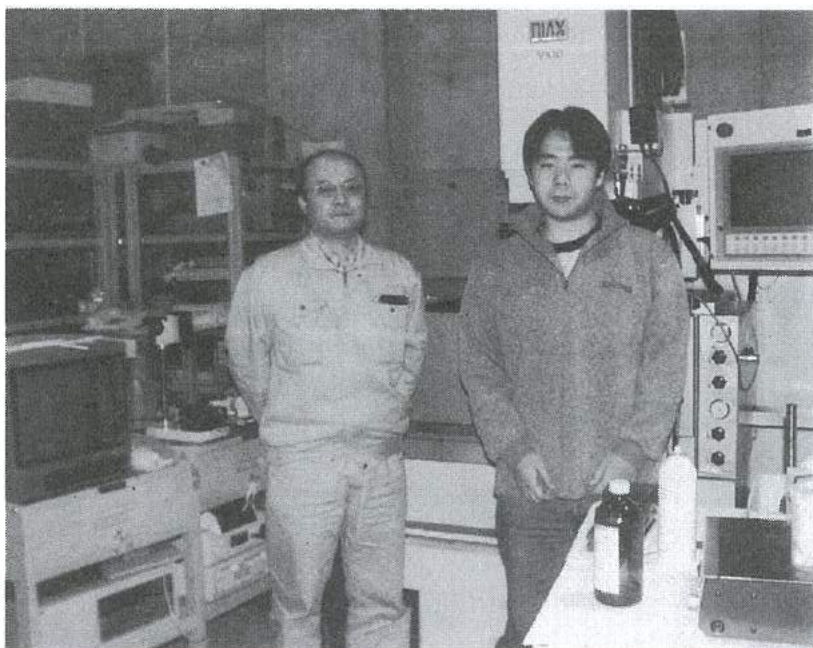
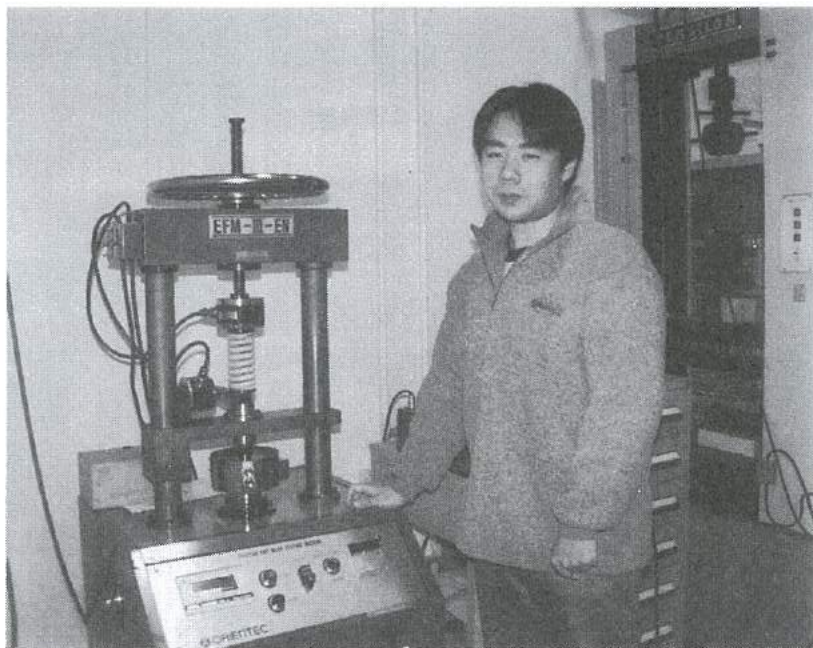
「エンジンの動弁機構解析」グループの研究活動風景



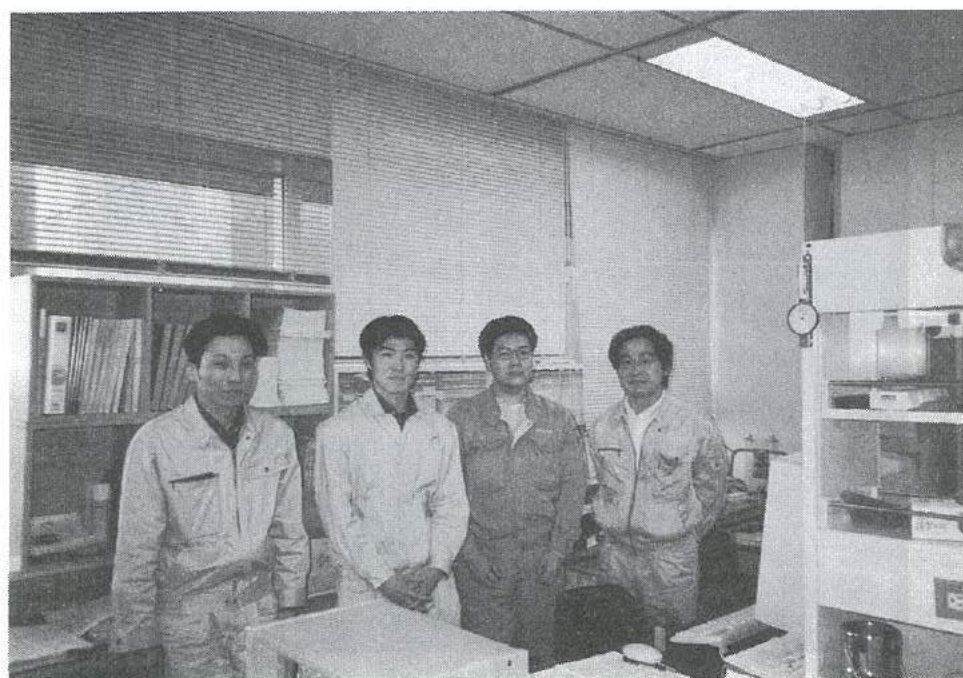
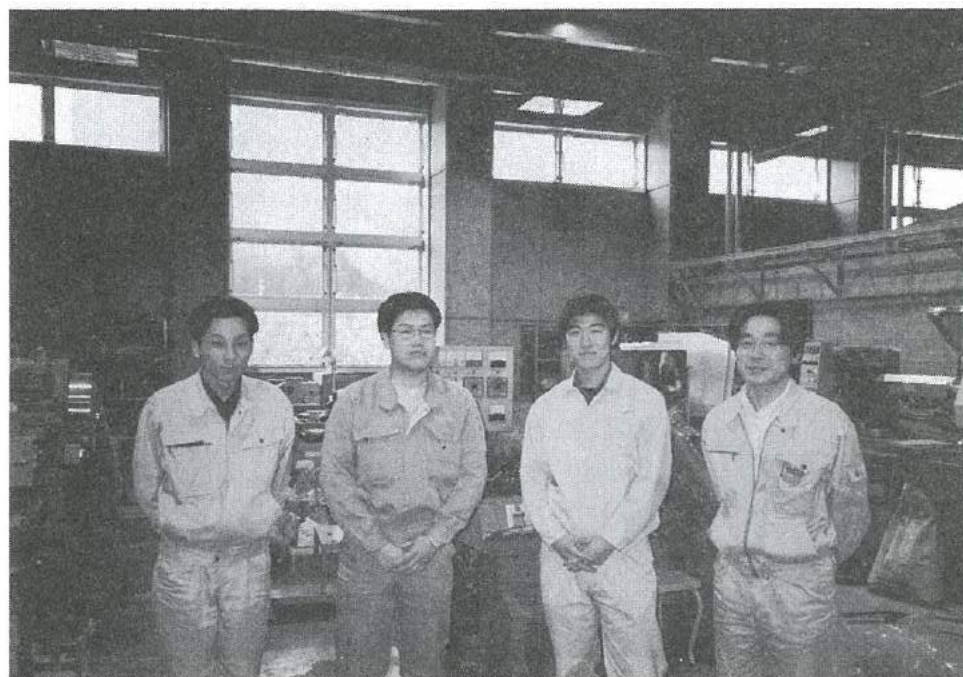
「インテリジェントにおいセンサ」グループの研究活動風景



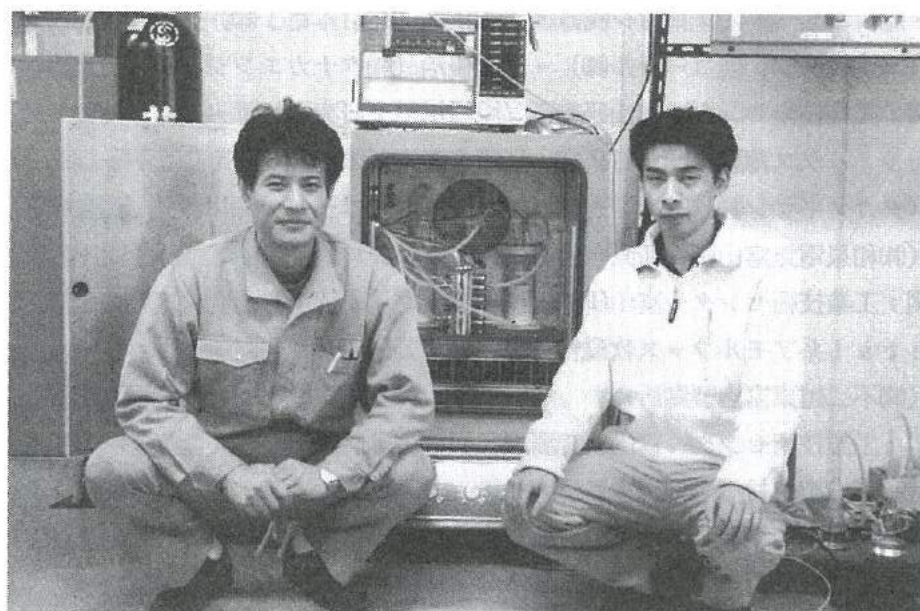
「高摩擦係数材料の研究」グループの研究活動風景



「プラスチックリサイクル材」グループの研究活動風景



「低温駆動小型燃料電池」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

○14年間の研究テーマ数：86テーマ（昭和62年度～平成12年度）

○参加研究員延べ人数：203名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発
竹本要一（㈱タカギセイコー）・田上輝次（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発—中高温用サーミスタの開発
岡崎誠一（北陸電気工業㈱）・加藤昌憲（日本鋼管㈱）・滝川義弘（磷化学工業㈱）
堀田 孝章（立山科学工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. フレキシブルハンドの開発—介護ロボット用アームの試作
石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン㈱）・茨木正則（北日本電子㈱）
・西田信孝（㈱タカギセイコー）・山田俊一（エルコー㈱、現コーセル㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

1. フレキシブルハンドに関する研究—ロボット用アームの試作（Ⅱ）
石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン㈱）・茨木正則（北日本電子㈱）
窪池義文（エルコー㈱、現コーセル㈱）・滝脇優治（㈱タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電音響素子の開発
小西孝浩（タカノギケン㈱）・小町秀彦（㈱タカギセイコー）・滝川義弘（磷化学工業㈱）
平能 司（㈱和泉電気富山製作所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. Co-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究
越浜哲夫（㈱不二越東富山製鋼所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
4. 樹脂・ファイバー複合材バネに関する研究
池田秀男（㈱タカギセイコー）・上段一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）
柳原 潔（㈱黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究—光シャッター及び赤外線センサの開発
中溝佳幸（北陸電気工業㈱）・水谷里志（立山電化工業㈱）
宮沢進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）
山田義昭（東洋化工㈱）・山本直樹（NKK（日本鋼管㈱）富山製造所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

6. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬正浩（㈱インテック）・堀井 孝（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度（第3回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、19名）

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田秀男・高柳敏信（㈱タカギセイコー）・上段一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）
柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究－圧電薄膜音響光学素子の開発

小西孝浩（タカノギケン㈱）・滝川義弘・煙田不二男（燐化学工業㈱）
平能 司（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

山田義昭（東洋化工㈱）・吉田孝一（㈱タカギセイコー）・吉野正浩（吉田工業㈱、現YKK㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜哲夫（㈱不二越）・西田達也（北陸電気工業㈱）・前坂昌春（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬正浩（㈱インテック）・堀井 孝（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮（北日本電子㈱）・中山正明（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度（第4回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、16名）

1. 磁性薄膜の応用に関する研究－倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫（㈱不二越）・高島 誠（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳敏信（㈱タカギセイコー）・田村正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）・柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畑哲史（㈱和泉電気富山製作所）・山田義昭（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

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

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成6年度（第8回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、16名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（㈱タカギセイコー）・寺本正夫・杉谷 健（コーセル㈱）

中村厚平（エヌアイシ・オートテック㈱）

松田英雄（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅（コーセル㈱）・田村雅英（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸エッチング液の基礎研究

山口 睦（磷化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川良雄（富山軽金属工業㈱）・福本 滋（北陸電気工業㈱）・三松克次（㈱タカギセイコー）

山下慎也（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 3次元入力デバイスの開発－（バーチャルリアリティ用）

細木文夫（三協アルミニウム工業㈱）・横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（2）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）・米谷庄一（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成7年度（第9回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、15名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発（2）

大浦真司（三協アルミニウム工業㈱）・高田謙一（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

永森和久（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 電子回路用ウエットエッチング液の開発

山口 睦（磷化学工業㈱）

◎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ソンの開発

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

☆平成11年度（第13回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価
島村和彦（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（2）
高田智哉（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. 深層水及び藻類を利用した太陽光発電の基礎研究
東堂浩次（コーセル㈱）・坂本雅美（㈱斉藤製作所）・長谷川益夫（木材試験場）
小善圭一（水産試験場）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所
4. 山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究
前田智博（立山科学工業㈱）・高瀬 洋（県警察本部）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所
5. インテリジェントにおいセンサの開発
小森一哉（北陸電気工業㈱）・石川勝巳（コーセル㈱）
◎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
6. 微細放電加工の研究（2）
太田光則（㈱斉藤製作所）
◎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
7. 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発研究
小中稔正（YKK㈱）・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
8. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究
高橋伸忠（㈱タカギセイコー）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成12年度（第14回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価（2）
島村和孝（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. インテリジェントにおいセンサの研究（Ⅱ）
小森一哉（北陸電気工業㈱）・谷口真也（コーセル㈱）
◎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
3. 高摩擦係数材料の研究
高田智哉（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
4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究
酒井康弘（㈱タカギセイコー）・前田健二（立山アルミニウム工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究

高橋雄一（コーセル㈱）・山田浩美（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

第7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12年9月24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：4チーム、8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 荒瀬 康彦・西川 達郎：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：Nick Jaguar
 - 優勝 川上 淳平・黒田 健司：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：ママトト
 - 次勝 出江 啓祐・板谷一太郎：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：二上1号
 - 努力賞 川上 聡・中井 吟：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：ツイン鉄板ストライカーズ
 - 努力賞 荒瀬 康彦・西川 達郎：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：Nick Jaguar
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
8. その他

今年度は他のコンテスト日と重なったため、参加高校、参加チームともに少なかったが、このコンテストは、子供達に自らの試作機によるゲームを通じて「ものづくり」の楽しさと大切さを知ってもらい、将来、子供達がものづくり現場で創造的能力を発揮できるための基礎を養ってもらうために実施している。従って、県内高等学校の理科関係クラブなどでは、この大会を一・二年生の技術的トレーニングの一環として利用し、参加しているようである。

会 員 企 業

平成13年3月15日現在(50音順)

	企 業 名	代表者名	運 営 委 員	電 話
1	インテック・ウェブ・アンド・ゲノム・インフォマティクス(株)	末岡 宗広	河崎 哲男	076-444-8088
2	エヌアイシ・オートテック(株)	西川 浩司	西尾 謙夫	076-422-2578
3	北日本電子(株)	橋田 栄耕	広野 照二	076-451-2155
4	コーセル(株)	飴 久晴	織田 誠二	076-432-8151
5	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	076-468-2727
6	三協アルミニウム工業(株)	竹平 和男	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	076-455-2525
9	武内プレス工業(株)	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
10	立山アルミニウム工業(株)	竹平栄太郎	伊藤 房男	0766-64-4419
11	立山科学工業(株)	水口昭一郎	諸橋 康平	076-429-6024
12	田中精密工業(株)	田中 一郎	高木 善昭	076-451-5600
13	中越合金鋳工(株)	本多 秀治	石金 良一	076-463-1211
14	東洋化工(株)	中田 守人	村井 文雄	076-475-2125
15	富山軽金属工業(株)	寺山 敏夫	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	山本 肇	076-467-3768
18	磷化学工業(株)	中嶋 武俊	滝川 義弘	0766-86-2511
19	YKK(株)黒部事業所	森野 泰夫	川上 紘一	0765-54-8030
事務局 (財)富山技術開発財団内 〒930-0866富山市高田529 TEL:076-433-6402				
運営アドバイザー 東保喜八郎 工業技術センター次長(兼機械電子研究所長) TEL:076-433-5466				

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	富山大学大学院理工学研究科・教授・工学博士 076-445-6725
谷 野 克 巳	工業技術センターPJ推進担当・参事 工学博士 0766-21-2121
藤 城 敏 史	工業技術センターPJ推進担当・副主幹研究員 工学博士 0766-21-2121
古 田 勲	富山医科薬科大学医学部・教授 歯学博士 076-434-2281
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 076-438-2233
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~平成10年度)
- 5代会長 田中 一郎(平成11年度~)

○顧問(50音順)

- 石坂 誠一(富山国際大学学長)
- 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)
- 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い合わせください。

☆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 076-433-6402

FAX 076-433-6170

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 プロジェクト推進担当 谷野克巳・藤城敏史
発行年月日	平成13年3月15日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。