

平成 22 年 度

(第 24 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

# 研究論文集

平成 23 年 3 月 15 日 (火)

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  
富山大学芸術文化学部  
富山大学大学院理工学研究部  
富山県立大学工学部



## ごあいさつ

会長 笠井千秋

今回の研究論文集は24巻目となり、若い研究者を育てる会の活動を通じて一年間の成果を世の中に発信する機会を作る事が出来ました。この間研究に携わった研究者の皆さん、また研究者の成長を高い見地から支えて頂いた多くの関係者の皆様に心から敬意を表します。

企業は、生産・販売・サービス活動を通じて社会に新しい価値を提供する事で存在を保っており、消費者に求められる製品の開発が土台となっております。企業間競争は常に時代のニーズに合った製品開発力が要となり、



その開発力は過去の研究成果の集積の上に成り立っております。競争力のある企業は質・量共に充実した研究成果を保有しております。

昨年来、日本企業の競争力が衰え、近隣の韓国・中国などの伸張著しい新興国に凌駕されつつあるとの悲観論が蔓延しております。一方、日本の基盤技術はおいそれと真似が出来ないものばかりであり、貿易収支を見れば競争力は失われていないという分析もあります。研究成果は一人の天才の手によるものではなく、それまでの研究者による研究成果の蓄積があつてはじめて到達できる領域があります。基礎・応用を問わず研究者の成果による集積の差が簡単に逆転する事は無いのであります。過去には欧米の真似を指摘されましたが、いち早く自らの「手の内化技術」として上でそこに新しい価値を創造する日本の研究に対する姿勢は変わらず競争力を持っているはずであります。日本は、古代は周辺国から明治以降は西欧からの文明・文化を吸収し理想的な国を作ってきています。まずは新しいものを吸収し、咀嚼し、そこに独自の開発を加味して新しい価値を創造してきた歴史であり、いま研究者は誇りと自信を取り戻す必要があります。次代を担う若い研究者が、目先の成功や失敗にとらわれず、純粹に研究に取り組む情熱は新しい時代を切り拓く鍵であります。若い研究者の能力は無限であり、その成長の可能性も無限であります。

この富山県から始まった若い研究者を育てる会の活動が、全国に伝播し研究活動の集積が日本の産業競争力を支える事を期待しております。

最後に、この「若い研究者を育てる会」の活動を支えていただいている全ての関係者の皆さんに心より感謝申し上げますと共に、引き続きのご支援ご協力をお願い申し上げます。

## 研究の概要

本論文集は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数14社）と会員企業研究者が5つの研究テーマとグループを定め、平成22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、富山大学芸術文化学部が研究指導協力を行った。ここでは、今年度実施した5テーマの研究概要を研究発表順に述べる。

富山県工業技術センター 機械電子研究所 博士(工学) 角崎雅博

①「ミニロボット群による水田防除草システムの開発」の研究グループ（参加企業2社）では、水田の防除草を行うミニロボット群システムの開発を目的に、従来の遮光による雑草の成長阻害法とアイガモ農法による防除草の両者の利点を組み入れた機械的防除草方法について検討するとともに、太陽電池とリチウムポリマー電池を用いたミニロボットを試作し評価した。その結果、(1)濁水化及び移動機構として、魚のヒレに倣った弾性振動翼が有効であること、(2)磁気カップリングを用いることにより弾性翼駆動ユニットに防水機能を持たせることが可能なこと、(3)太陽電池から二次電池に充電するための制御回路として充電制御ICを用いるより、昇圧チョッパ回路で制御する方がより効率的であること、などの知見が得られた。以上より、1台のミニロボットにおいて濁水化および移動が可能であることが示され、今後、ミニロボット群による防除草システムへの展開が期待される。



富山大学芸術文化学部 博士(工学) 長柄 毅一

②「CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発」の研究グループ（参加企業1社）では、JIS規格付属書Aで推奨する、ブロックゲージやステップゲージ以外の日常点検用検査器の開発を目的として開発を行った。可搬性の良い、8個の鋼球を配置した検査器を考案した。試作した検査器について、指示精度の高い三次元測定機を用いてブロックゲージとの比較測定による校正を行った。経年変化を除く、校正の不確かさについて検討したところ、包括係数 $k=2$ の場合、拡張不確かさは $1\mu\text{m}$ 以下の良好な値となった。また、CMM上で3回繰り返し測定を行ったところ、30分程度で行え、日常点検で十分活用できることが確認された。経年変化について追跡調査を行うなど、さらなる信頼性向上を図ることが今後の課題として残った。





富山県工業技術センター中央研究所 博士(工学) 土肥 義治

③「高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発」の研究グループ(参加企業1社)では、近年、自動車業界において、環境対応のため要求が高まっているススオイル環境下のエンジン内部品の摩耗対策を目的に、耐摩耗性に優れる熱可塑性樹脂をベースとした複合材料を作製し、その摩耗特性の評価を行った。まず、耐摩耗性材料のベースとなる熱可塑性樹脂について検討し、融点の高いPEEK、PPS、PAIなどが有効であることを見いだした。試験時間の影響や添加量の最適化など、さらなる課題はあるもののPAIをベース樹脂とすることで、多くの種類の添加剤で摩擦係数及び比磨耗量の低減効果が認められた。特に、粒径 $10\mu\text{m}$  シリカを5wt%添加した場合、比磨耗量が $0.14 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ と市販摺動材と同等以上の性能が得られるなどの成果を得た。



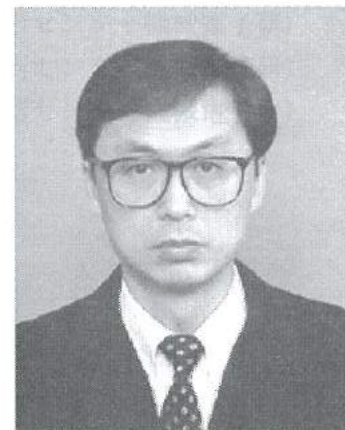
富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 佐山 利彦

④「CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用」の研究グループ(参加企業2社)では、自動車用部品あるいは電子機器などを対象として、CAE技術を用いて仮想的な振動試験を実施し、接合部などの強度信頼性評価へ適用するために、実際の製品を対象とした有限要素モデルの作成について研究を行った。まず、電源基板のモデル化においては、複雑な構造体であるが、必要な部材のみを簡単な形状でモデル化すれば、高次の振動モードまでよい一致を見ることができた。また、はんだ接合部の疲労破壊に対しては、評価すべき箇所のみを詳細に形状表現したモデルにより寿命評価が可能であった。次に、自動二輪車用の樹脂成型品のモデル化においては、CAD形状データに基づいたモデルを用いて、固有値解析により2次共振点まで振動試験と非常によく一致する結果が得られた。また、周波数応答解析によって得られた応力評価値は、実際に行った耐久振動試験の結果を十分に予測し得るものであった。



富山県工業技術センター 機械電子研究所 博士(工学) 杉森 博

⑤「光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発」の研究グループ(参加企業2社)では、小規模水域の水質浄化を目的に、光触媒反応を利用した自立型浮遊装置を開発した。太陽光は、本装置の駆動に必要なエネルギー源であると同時に、水質浄化のための光触媒反応にも必要であるため、装置の構造は水上での安定性はもとより、太陽光の効率的受光が可能なものとした。装置の素材であるアクリル樹脂の板に $\text{TiO}_2$ 光触媒膜を成膜し、この樹脂板によって農薬の分解実験を行ったところ、農薬の成分である100ppm濃度のフェニトロチオンが1週間で0.04ppm以下まで分解された。この光触媒膜つき樹脂板を花形に配し、



気泡の浮力を利用した推進機構によって、水面で回転しながら水質浄化を行うプロトタイプを試作した。

以上、本論文集は5つの独立した研究テーマと成果から構成されているが、今年度も景気の回復が鈍いということも影響して例年に比べて少ない研究テーマの実施となり、また、今年度当初は6テーマでスタートしたものの、企業研究者の都合などで途中から5テーマの実施となった。

一方、今年度は「ロボットの開発」という特定テーマを設定して研究テーマを募集し、要素技術や開発手法が異なる2つの研究テーマと研究グループを形成して研究を実施した。

過去24年間で155テーマの研究を実施したが、これらの研究成果は関連学会ですでに発表、もしくは今年中に開催される関係学会で研究発表を予定している。

また、過去24年間の研究で得られた成果を発展させた幾つかの自動化技術や材料技術は企業化されており、例えば、自律型ロボット技術などは生産ラインの自動化などに応用され、材料技術などは自動車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っているものと確信している。

なお、本会の目的は学術的な研究をすることではなく、企業現場で戦力となる**企業技術者・研究者の育成**と**リカレント教育**、そして、企業の枠を越えた若手技術者・研究者同士の**連携の「輪」**を広げることであり、本会はこのような活動の実践によって富山県産業全体の発展を願う県内企業オーナー有志によって設立された会である。異業種が交流して共同研究を実施することには、座学では得られない貴重なものがあると思っている。

最後に、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、ご助言を賜ったことに対しまして、深く感謝の意を表します。



平成23年3月（顧問・運営アドバイザー 工学博士 谷野克巳）



## 研究グループの構成

### I. ミニロボット群による水田防除草システムの開発の研究グループ

研究担当者 **上田 将志 (コーセル㈱)**  
**古川 和明 (立山科学工業㈱)**  
○金森 直希 (工業技術センター機械電子研)  
上野 実 (工業技術センター機械電子研)  
浅田 峯夫 (工業技術センター機械電子研)  
☆角崎 雅博 (工業技術センター機械電子研)

### II. CMM (三次元測定機) 用簡易検査器の開発の研究グループ

研究担当者 **広地 信一 (立山マシン㈱)**  
○吉田 勉 (工業技術センター中央研究所)  
鍋澤 浩文 (工業技術センター中央研究所)  
☆長柄 毅一 (富山大学芸術文化学部)

### III. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発の研究グループ

研究担当者 **須田 誠 (田中精密工業㈱)**  
○早苗 徳光 (工業技術センター中央研究所)  
関口 徳朗 (工業技術センター中央研究所)  
山岸 英樹 (工業技術センター企画管理部)  
住岡 淳司 (工業技術センター企画管理部)  
☆土肥 義治 (工業技術センター中央研究所)

### IV. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用の研究グループ

研究担当者 **澤田 修平 (コーセル㈱)**  
**細川 修宏 (㈱タカギセイコー)**  
○釣谷 浩之 (工業技術センター機械電子研)  
金森 直希 (工業技術センター機械電子研)  
杉森 博 (工業技術センター機械電子研)  
☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

V. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発の研究グループ

研究担当者 **高見 和志 (コーセル㈱)**

**新川 翔平 (北陸電気工業㈱)**

○上野 実 (工業技術センター機械電子研)

寺澤 孝志 (工業技術センター機械電子研)

本保 栄治 (工業技術センター企画管理部)

奈須野雅明 (工業技術センター中央研究所)

金森 直希 (工業技術センター機械電子研)

☆杉森 博 (工業技術センター機械電子研)

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

<b>I. ミニロボット群による水田防除草システムの開発</b> .....	1
1. 緒 言 .....	1
2. 防除草システムのコンセプトと検討事項 .....	1
3. 濁水化および移動のための駆動機構 .....	2
4. 充電制御回路 .....	3
5. 濁水化ユニットの試作および動作試験 .....	5
6. 結 言 .....	6
<b>II. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発</b> .....	7
1. 緒 言 .....	7
2. CMMの規格調査 .....	7
3. CMM検査器の試作設計 .....	8
4. 検査器の校正の不確かさの算出 .....	10
5. 結 言 .....	12
<b>III. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発</b> .....	13
1. 緒 言 .....	13
2. 実験方法 .....	13
3. 実験結果 .....	15
4. 結 言 .....	18
<b>IV. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用</b> .....	19
1. 緒 言 .....	19
2. 振動試験による信頼性評価 .....	19
3. CAEによる振動解析の適用 .....	20
4. 電源基板への適用 .....	20
5. 樹脂成型品への適用 .....	22
6. ま と め .....	24
<b>V. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発</b> .....	25
1. 緒 言 .....	25
2. 機体構造の検討 .....	25
3. 光触媒膜の形成 .....	26
4. 光触媒膜による分解実験及び結果 .....	28
5. 自立型水質浄化物の設計・試作 .....	29
6. 結 言 .....	30

○各研究グループの研究風景	.....	付- 1
○「若い研究者を育てる会」24年間の研究活動の足跡	.....	付- 6
○会員企業および研究幹事名簿	.....	付-19
○入会申込書	.....	付-20



# I. ミニロボット群による水田防除草システムの開発

## Development of group mini-robots for rice field weeding

上田 将志                      古川 和明                      金森 直希  
*UEDA Masashi                  FURUKAWA Kazuaki          KANAMORI Naoki*  
上野 実                        浅田 峯夫                      角崎 雅博  
*UENO Minoru                   ASADA Mineo                   KADOSAKI Masahiro*

### Abstract

In the rice farming, the effective weeding method of not using agricultural chemicals is requested. We proposed a new weeding system by mini-robots. Because each mini robot makes water become impure, the entire rice field can be covered.

We examined the mechanism with which water was made to become impure with the elastic wing, and the charge control circuit by using the solar battery. And, a mini-robot that built in those functions was made for trial purposes, and the performance was confirmed.

### 1. 緒言

近年、国内の米作りにおいて、減農薬化による米の高付加価値化や農薬不使用の自家栽培の取り組みが増加している。現在の一般的な水稲耕作における防除草方法は、農薬を用いるものであり、農薬は、適量を適切な時期に適切な回数を使用することで高い防除草効果を発揮する。そのため、減農薬化のために単に農薬の使用量を減らすと当然雑草が生えやすくなるため他の何等かの対策が必要となる。

従来から種々の防除草方法が検討され実施されているが、それぞれ一長一短があり減農薬化を普及させる程の決定的な手法がないのが現状である。これを解決するひとつの手段とすべく、本研究では、複数のミニロボットを水田に浮かべておくだけで防除草効果を得ることができる防除草システムを目指して、水を張った水田の水面に浮かんで水田内を移動できる機能および田面水を濁らせる機能を有するミニロボット(濁水化ユニット)を試作し、これらの基本機能を水槽実験によって確認する。

### 2. 防除草システムのコンセプトと検討事項

#### < 2. 1 > 減農薬水稲栽培における従来の防除草方法の問題点

減農薬水稲栽培における一般的な防除草方法を次に示す。

- (1) 稲がある程度育成した段階で行う中耕除草機による除草
- (2) 鎌などの簡易な道具を手にした作業員による刈り取り除草
- (3) 主として遮光による生長阻害を狙った紙マルチまたはポリマルチの敷設
- (4) アイガモ農法など生物を利用した除草法の適用

(1)および(2)は身体的負担が大きく作業時間がかかり、(1)、(3)お

よび(4)については導入コストが高く、(4)については利用する生物の維持・管理のコストがかかるだけでなく生物が病気にかかったり捕食されたりといったリスクも大きい。どの対策法も一長一短があり農薬の防除草効果、簡便さ、コストを凌駕する程ではないため、普及が限定的となっていると考えられる。

一方、国内の水田とその営農の特徴として下記のことが挙げられる。

- (1) 水田の約半数が中山間地域に存在している
- (2) 小規模な圃場が点在している場合が多い
- (3) 営農者の大多数が高齢者である

日常的な水田の維持管理ができず耕作放棄地となる圃場が激増している昨今、労働力も経済力もそれほど必要とせず小回りの利く防除草方法が求められていると考えられる。

本研究では、これらの課題に対応可能と考えられる機械的防除草方法を検討した。

#### < 2. 2 > 採用する防除草メカニズム

田面水(水田に張った水)を定時的・間欠的にかき混ぜて濁らせておくと、雑草の出芽と成長を阻害できるという研究報告<sup>1)</sup>がある。田面水を深水湛水状態(水を張り深めの水深に保った状態)に保持し、水中照度を低下させ、表層土の粒子の移動と堆積をある程度活発にさせることが雑草の出芽・成長の阻害に寄与すると述べられている。本研究では、この防除草メカニズムの機械化を試みる。なお、中耕除草機による除草やアイガモロボット<sup>2)</sup>による防除草の主なメカニズムは、雑草やその種を土の中に埋没させることによるものであり、本研究で着目している田面水の

定時的・間欠的な濁水化による手法とは本質的に異なる。

### ＜2. 3＞ 圃場全体を防除草するための分散型システム

1つの圃場全体および複数の圃場に対して営農者が手間暇かけず定時的・間欠的に濁水化することが必要である。そこで、図1に示すように、濁水化機能を備えた小型の移動ユニットを圃場に複数稼働させ、それぞれの濁水化ユニットが自律的に太陽光からエネルギーを取得し自身近傍の田面水を濁水化することで圃場全体の濁水化を図る。個々のユニットは単機能でよく、低コストで作製することができると思われる。

濁水化ユニットに組み込む主要な機能として下記3点を採り上げ、次章以降でそれぞれ検討する。

- (1) 田面水の濁水化機能
- (2) 田水面内における移動機能
- (3) 太陽光からのエネルギー取得機能

そして、これらの機能を組み込んだ濁水化ユニット1体を試作し、水槽実験を通して、本除草システムの可能性を調べる。

## 3. 濁水化および移動のための駆動機構

### ＜3. 1＞ 弾性振動翼による水流発生機構

田面水には、ワラ、草、根など切れ端、虫の死骸、ゴミなどの異物が数多く混じっている。予備的にスクレュープロペラを用いた水流発生実験を行ったところ、それらの異物がすぐにプロペラやシャフトに絡まる結果となった。異物に対してロバストな水流発生機構とする必要がある。清水とは言えない河川や湖沼には魚が泳いでいる。異物が絡まるのが原因で魚が動けなくなることは少ないと考えられる。そこで、魚のヒレに倣って、薄い弾性平板を振動翼として用いて田面水の濁水化と田水面内における移動に必要な水流を発生させる機構を検討した。弾性翼は剛体翼と比べて推力および効率が向上することが知られている(たとえば文献(3))。

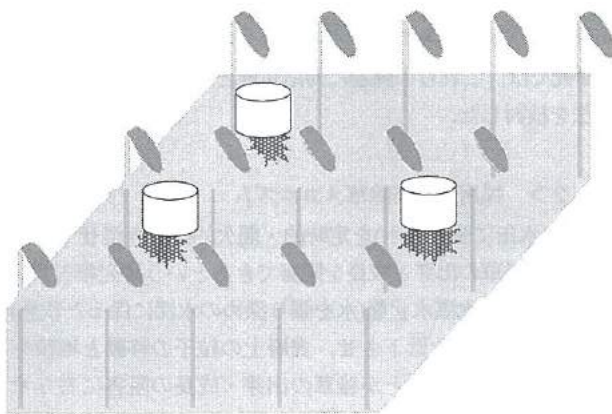


図1 分散型水田防除草システムの概念図  
Fig.1 Distributed rice field weeding system

### ＜3. 2＞ 弾性振動翼の形状・動作パラメータの検討

濁水化のための強い水流を発生させることが可能な弾性振動翼の形状パラメータと振動させる際の動作パラメータの組み合わせはどのようなものが適切なかを調べた。問題を簡単にするために、弾性翼の形状は長方形の薄板とした(図2)。翼長  $L$  については、試作する濁水化ユニットの大きさを考慮して  $70\text{ mm}$  に固定した。材質として耐候性のあるポリカーボネートを選択した。

図3に示すように、土に見立てたガラスビーズを底に敷き詰めて水を張った水槽に弾性翼を設置した。弾性翼は下部プーリーの軸に取り付けられている。下部プーリーは、ベルトを介してステッピングモーターで駆動される。弾性翼が取り付けられた回

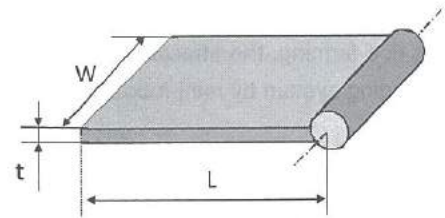


図2 弾性振動翼の形状  
Fig.2 Geometry of elastic fin

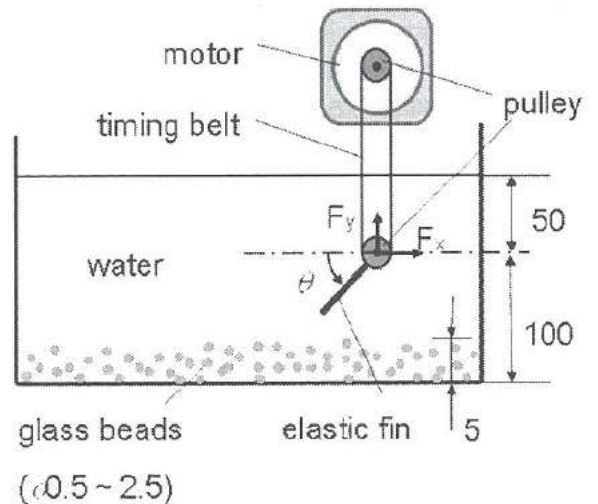


図3 弾性翼の実験装置  
Fig.3 Experimental setup for elastic fin

表1 形状と動作のパラメータ  
Table 1 Parameters of geometry and actuation

形状	幅 $W$ [mm]	40, 60 80
	厚さ $t$ [mm]	0.5, 1
動作	振動数 $f_n$ [Hz]	0.5, 1, 2
	振幅 $\theta$ [deg]	30, 60, 90



回転軸にはひずみゲージを貼付しており、並進力  $F_x$ ,  $F_y$  および軸に加わるトルクを測定できるようにしてある。

水流発生実験に使用した形状と動作のパラメータを表1に示す。すべてのパラメータ組み合わせで水流発生実験を行った。弾性翼を振動させると、図4に示すように弾性翼が起こした水流によってガラスビーズが移動し水槽底部が楕円状に露出する。この露出部の大きさが変化しなくなるまで弾性翼を動作させた後、露出部の長径を測定した。図4は最も長径が大きくなった実験ケース( $W=40$ ,  $t=1$ ,  $f_0=2$ ,  $\theta=90$ )の写真である。図より、大きな水流が発生したことがわかる。

この実験ケースにおいて、弾性翼の回転軸に加わる並進力および軸トルクを測定した。 $F_x$  と  $F_y$  の合力が最大となる角度は、振り上げ時および降り下げ時ともに $\theta=90$  deg 付近であった。このときのそれぞれの分力の値を表2に示す。 $F_{x1}+F_{y2}=0.96$  N  $\gg 0$  より濁水化ユニットの推進力として弾性翼を使うことができると考えられる。また、軸トルクの最大値は約1 kgf·cmであった。90 degの角度を2Hzで往復運動するときの最大角速度は約10 rad/sとなる。したがって、弾性翼の駆動のためには1 kgf·cm $\times$ 10 rad/s $\approx$ 1 Wの能力を有するアクチュエータを用いればよい。

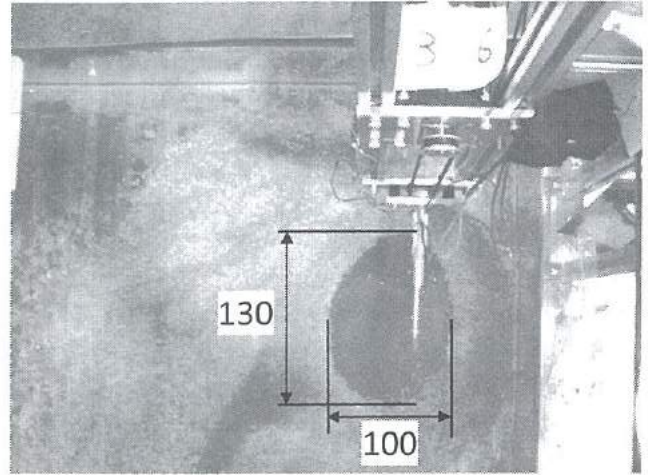


図4 水流により発生した露出部  
Fig.4 Outcrop generated by water flow

表2 回転軸に加わった並進力  
Table 2. Translational force

	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	合力 F  [N]
振り上げ時	1.82	-0.97	2.1
振り下げ時	-0.86	2.24	2.4

#### 4. 充電制御回路

##### < 4. 1 > 充電制御回路の概要

文献(1)によれば、雑草の出芽・成長の阻害のためには、休みなく濁水化し続ける必要はなく定時的・間欠的に濁水化すればよい。そこで、濁水化および移動に必要なすべてのエネルギーを太陽から得て効率よく二次電池に蓄えた上、必要に応じて効率よく使用することとした。

太陽電池の発電電力を二次電池へ充電する充電制御回路として、後述の充電制御 IC 使用タイプおよび昇圧チョップ直接制御タイプの2案を検討した。なお、回路検討時に使用した部品および条件は次の通りである。太陽電池モジュールには、ミニロボットが稲間を通過することを想定して、大きさ100mm $\times$ 100mm程度(最大出力1W程度)のものを用いた。二次電池には1セルのリチウムポリマー電池(PRT-08483; 2000mAh)を用いた。制御用マイコンとしてPIC18F14K50を用いた。

##### < 4. 2 > 充電制御 IC 使用タイプ

リチウムポリマー電池専用の充電制御 IC を使用した充電制御回路のブロック図を図5に示す。充電制御 IC にはリチウムポリマー1セル専用のもの(LTC4054-4.2)を用いた。この充電制御 IC は、外付け抵抗器の抵抗値によって充電電流の最大値を制御することができる。ここでは、外付け抵抗器としてデジタルポテンシオメータを使用した。マイコンは、太陽電池の出力電圧  $V_s$  を検知して、このデジタルポテンシオメータを操作する。すなわち、充電電流の最大値を制御することができる。

太陽電池には定格5V, 200mAのものを用いた。この太陽電池

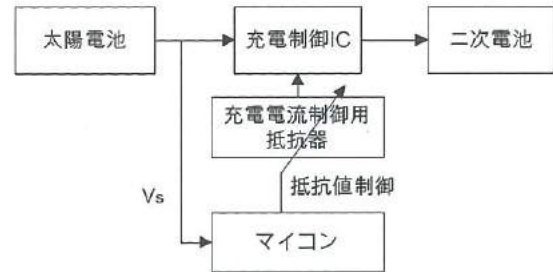


図5 充電制御回路ブロック図(充電制御 IC 使用)  
Fig.5 Block diagram of charge control circuit (charge control IC use)

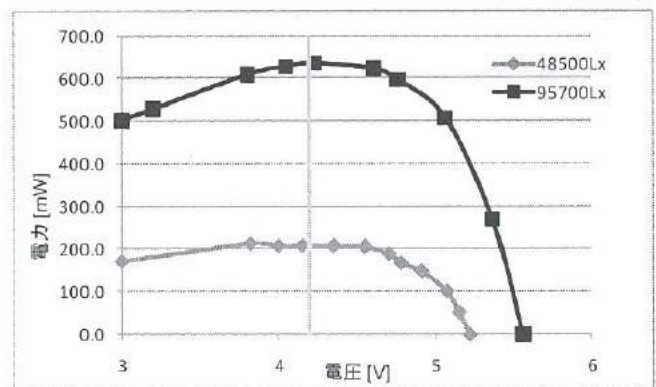


図6 太陽電池のI-V特性(充電制御 IC 使用タイプ)  
Fig.6 I-V characteristic of solar battery (charge control IC use)



の電圧-出力電力特性(測定値)を図 6 に示す。図より、出力電力が最大になる電圧は約 4.2 V であることがわかる。太陽電池に照射される光の量が変わった場合でも約 4.2 V のときに出力電力が最大となることが確認できる。この電圧は充電制御 IC の最低起動電圧である 4.5 V に近い。そこで、本制御回路では 4.5 V を最大電力点とみなし、太陽電池の出力電圧  $V_s$  が常に 4.5 V となるように、マイコンに充電電流を操作させた。

#### < 4. 3 > 昇圧チョップ制御タイプ

昇圧チョップ(ブーストコンバータ)回路をマイコンでスイッチングするタイプの充電制御回路のブロック図を図 7 に示す。昇圧チョップ部の主要な回路は図 8 のようになっている。FET がオン状態のときコイルにエネルギーが蓄積され、オフ状態になるとコイルのエネルギーが入力電圧に加算されて力されるため出力電圧を入力電圧よりも高くすることができる。マイコンは太陽電池の電圧  $V_s$  を検知して、この FET のスイッチング・デューティ比を調整する。

太陽電池には定格 2V, 550mA のものを用いた。この太陽電池の電圧-出力電力特性(測定値)を図 9 に示す。図より、出力電力が最大になる電圧は約 1.7 V であることがわかる。そこで、本制御回路では、1.7 V を最大電力点とみなし、太陽電池の出力電圧  $V_s$  が常に 1.7 V となるように、マイコンにスイッチング・デューティ比を操作させた。充電の開始と終了は、マイコンが二次電池の電圧  $V_b$  を検知して行う。

#### < 4. 4 > 充電制御回路の比較

動作試験の結果、充電制御 IC 使用タイプ、昇圧チョップ制御タイプともに、太陽電池の出力電力が最大となる付近の電圧に太陽電池の出力電圧を制御することができた。電圧追従型であるため疑似的ではあるが太陽電池の最大電力点制御が実現できたといえる。

充電制御 IC 使用タイプでは、充電制御 IC の動作可能電圧が高いため、受光量が減少して太陽電池の発電電力が小さくなると、この電圧を保つことができなくなり充電動作は完全に停止する。これに対して、昇圧チョップ制御タイプでは、太陽電池の出力電圧を必ず昇圧するため、発電電力が小さくても充電に必要な電圧を確保することができる。暗い曇天のもとでは積算発電量に大きな差が生ずると考えられる。

充電制御 IC による充電制御は FET を介して行われるためドレイン損失  $(V_s - V_b) \times I$  が発生する。二次電池の電圧  $V_b$  が低い場合に損失が大きくなることがわかる。一方、昇圧チョップによる充電制御では、主な損失はスイッチング損失と考えられ、その実測値は 20~30 mW であった。

これらの損失を比較すると、図 10 のようになり、昇圧チョップ直接制御タイプの方が効率が良いことがわかる。なお、計算を簡単にするため、太陽電池の出力電力を 500 mW, 昇圧チョップ

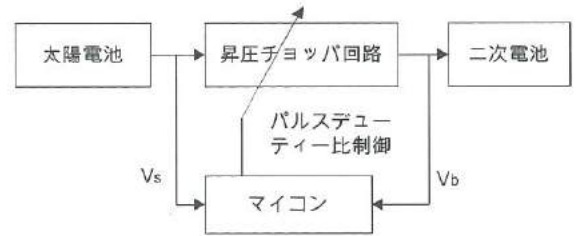


図 7 充電制御回路ブロック図(昇圧チョップ制御タイプ)

Fig.7 Block diagram of charge control circuit (boost converter use)

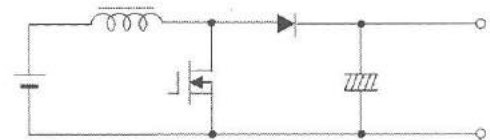


図 8 昇圧チョップ回路

Fig.8 boost converter circuit

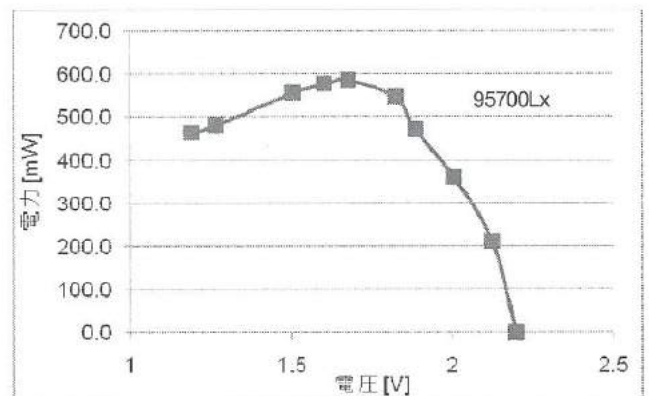


図 9 太陽電池の I-V 特性(昇圧チョップ制御タイプ)

Fig.9 I-V characteristic of solar battery (boost converter use)

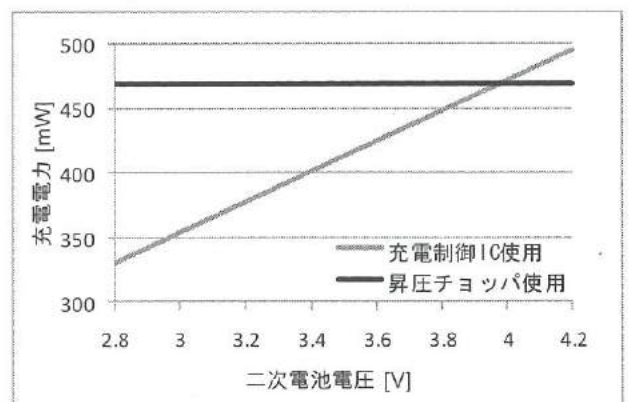


図 10 二次電池電圧と充電電力の関係

Fig.10 Relation between voltage of rechargeable battery and charge electric power

のスイッチング損失を二次電池の電圧に寄らず 30 mW とし、充電制御 IC のドレイン損失の算出に使用する電流値として、充電制御 IC の最大充電電流の実測値 118 mA を用いた。

濁水化ユニットに組み込むことを考えると、太陽電池の面積が制限されるとともに、アクチュエータの駆動は定時的・間欠的に継続して行われることが予想される。したがって、実使用においては満充電付近の電圧で主に使用されるとは考えにくく、2.9～3.8V の電圧で主に使用されるものと考えられる。二次電池の電圧が低い場合にとくに昇圧チョップ制御タイプが有利であることがわかる。

充電制御 IC 使用タイプでは、非常に少ない部品点数で回路が実現できるとともに充電制御 IC が内蔵する高性能な二次電池保護回路が活用できる。一方、昇圧チョップ制御タイプでは、部品点数が多くなるため回路の面積も大きくなる。とくに、図 8 のコイルは小さくすることが困難であると考えられるが、次章で試作するユニットでは、充電効率を考慮して昇圧チョップ制御タイプを用いることとした。

## 5. 濁水化ユニットの試作および動作試験

### < 5. 1 > 概要

濁水化および移動機構の検討結果および充電制御回路の検討結果を踏まえ、濁水化ユニット 1 体の試作および動作試験を行った。試作した濁水化ユニットを図 11 に示す。電子回路とリチウムポリマー電池(3.7V, 2Ah)を収めた水密構造の円筒部の頂部に太陽電池を設置した。円筒部の底面には 3 つの弾性翼駆動ユニットを 120 deg 等配分で取り付けられた。また、浮力調整と、弾性翼の振動動作中の機体の安定を保つために、弾性翼駆動ユニット上部三カ所に浮きを設置した。

弾性翼駆動ユニットの構造を図 12 に示す。出力軸の軸端にネオジム磁石が取り付けられたラジラジコンサーボモータ(GWS PICO BB(0.16sec / 60deg, 1.05 kgf·cm)が樹脂ケースで覆われ密封されている。一方、弾性翼が取り付けられた回転軸の軸端にもネオジム磁石が取り付けられている。水密側のラジコンサーボモータの回転動力が磁気カップリングによって水没側の回転軸に伝達されることにより駆動系の防水が実現されている。

### < 5. 2 > 濁水化実験

ガラスビーズを取り除き、実際の水田の土を敷き、水位を約 150mm にした試験水槽の中で濁水化ユニットを動作させたところ、図 13 のように大きな水流を発生させ、図 14 のように周辺一帯を濁水化することが確認できた。また、水槽内をゆっくりと移動することも確認できた。

太陽電池を回路から切り離れた上で、満充電の状態から濁水化ユニットを動作させ続けたところ、約 1.5 時間の動作が可能であった。したがって、消費電力は  $2000\text{mAh} \times 3.7\text{V} / 1.5\text{h} \approx 4.9\text{W}$  となる。仮に 1 日のうち昼間 15 時間だけ濁水化ユニットを稼働さ

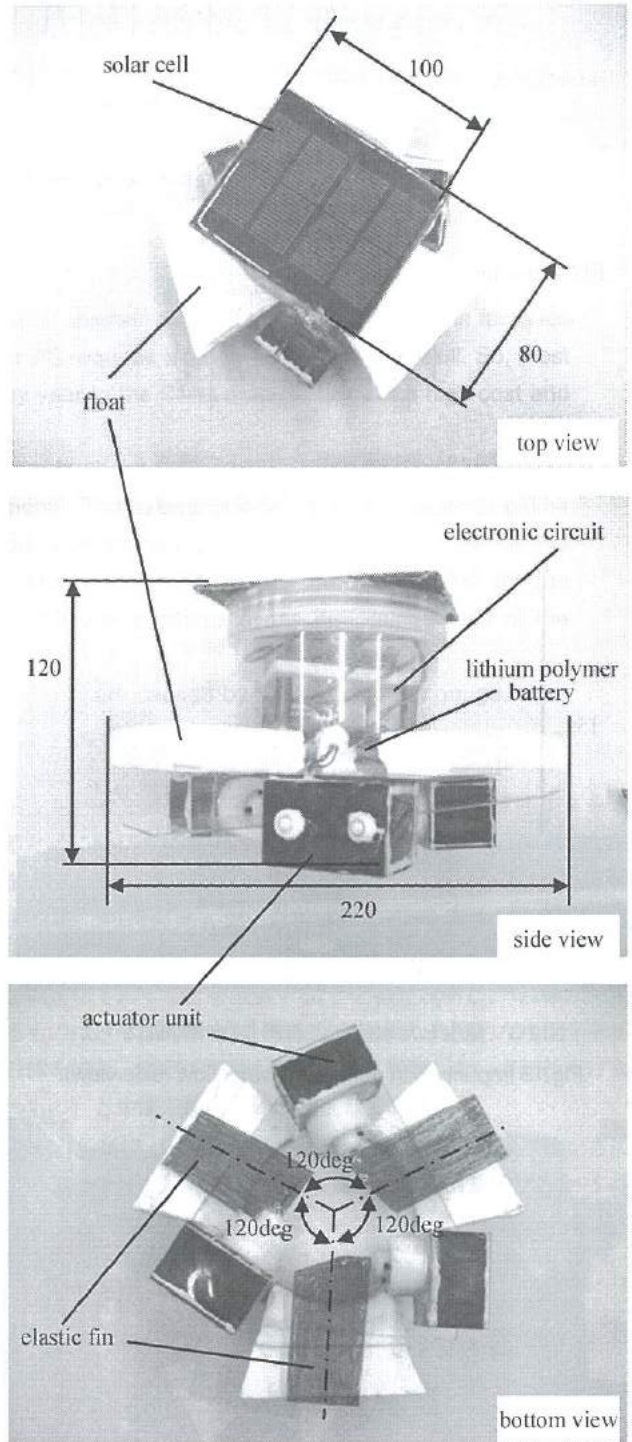


図 11 試作した濁水化ユニット

Fig.11 Experimental unit with which water can be made to become impure

せる場合、1 分間動作させた後に 9 分間停止させることを繰り返すことができる。



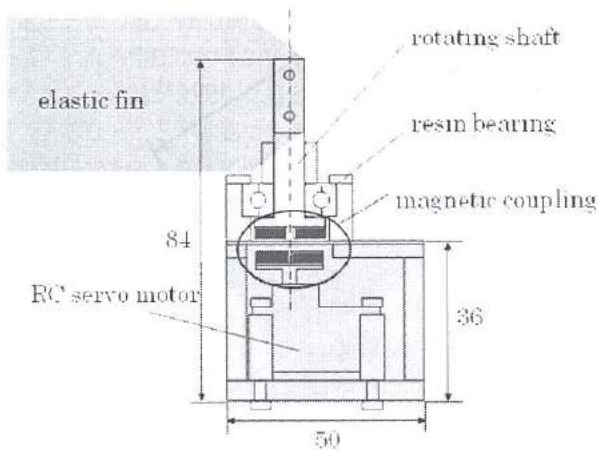


図12 弾性翼駆動ユニットの構造  
Fig.12 Structure of elasticity wing drive unit

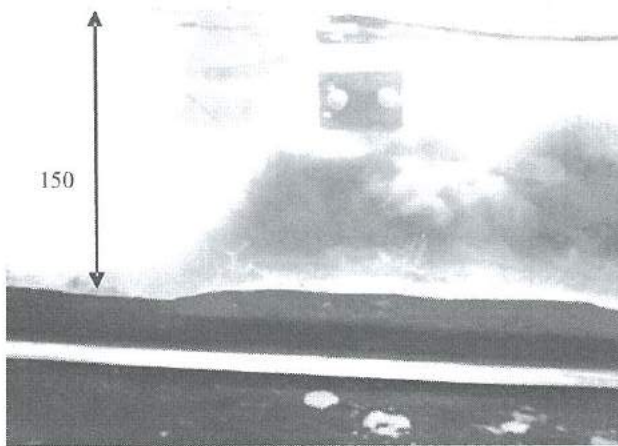


図13 発生した水流による濁り(水槽側面から)  
Fig.13 Impurity with generated water flow (side view)

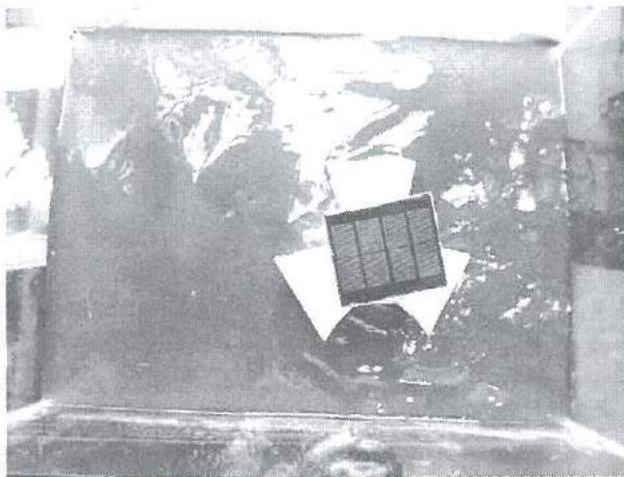


図14 発生した水流による濁り(水槽上部から)  
Fig.14 Impurity with generated water flow (top view)

## 6. 結言

本研究では水田の防除草を行うミニロボット群システムの開発を目的として、田面水の濁水化による機械的防除草方法について検討するとともに、太陽電池とリチウムポリマー電池を用いたミニロボットを試作し評価した。その結果、下記の知見を得た。

- (1) 濁水化および移動機構として、魚のヒレに倣った弾性振動翼が有効であり、その駆動動力は平均 4.9W 程度であった。
- (2) 磁気カップリングを用いることにより、既存の駆動システムに防水機能を容易に持たせることができる。
- (3) 太陽電池から二次電池に充電するための制御回路として、充電制御 IC を用いるよりも昇圧チョッパ回路で制御する方がより効率的である。
- (4) 1 台のミニロボットで濁水化および移動が可能であった。

残された課題は次のとおりである。

- (1) 稲列の株間を移動できるようにミニロボットの外形寸法を小さくすること。
- (2) ゴミや草の切れ端などの異物がより絡まないようにするために、ミニロボット外形の凹部をなくし、できるだけ滑らかな形状とすること。
- (3) 実際の水田における防除草効果の評価。
- (4) 防除草に最低限必要な照度の維持と日射量を考慮した充放電システムの最適化。
- (5) 複数台のミニロボットを使った防除草システムへの展開。

## 文献

- (1) 福島ほか、田面水の攪拌が雑草の発生に及ぼす影響、雑草研究、Vol.48(別冊), (2003)
- (2) 光井ほか、水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発—自律走行ロボットの開発—、岐阜県情報技術研究所研究報告, Vol.11, (2009), pp.45-48.
- (3) 田中ほか、弾性ピッチング翼の解析、ながれ, Vol.20, (2001), pp.231-242.



# Ⅱ. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発

## A Development of Simple Testing Gauge for CMM (Coordinate Measuring Machine)

広地 信一、吉田 勉、鍋澤 浩文、長柄 毅一

HIROCHI Shinichi, YOSHIDA Tsutomu, NABESAWA Hirofumi, NAGAE Takekazu

### Abstract

CMM is such an efficient tool to measure the length of products(3D shapes) that it is generally used in the factories of the manufactures. But the precision check of CMM provided in JIS requires a technical complicated skill. So, most of the users of CMM commission the CMM precision check every year to the CMM manufactures in a high cost and the precision check takes 2 days.

We developed the simple testing gauge that enables CMM users to check the precision of CMM easily in a short time. We make a study of the reliability of the developed equipments. The calibrations of the distances between the center positions of the origin gauge ball and those of the others were carried out using the block gauges by the comparison measurements with the ultra precision CMM. The repeatability errors were estimated by the measurements using the developed gauge that was set to the different positions of the determined area of the CMM.

The other uncertainties in calibrating measurements, except of those are caused by the aging of the gauge, were estimated.

### 1. 緒言

機械を構成する部品には、用途に応じて寸法公差が設定されている。精密な機械部品には高い寸法精度が要求されるため、その精度を保証する測定機の存在は不可欠である。製品の品質を維持しつつ製造の効率化を実現するためには、寸法測定においても高い精度とスピードが必要である。三次元測定機（以下CMM）は効率的に立体形状のワークの寸法測定が行えるため、製造業の現場で広く使われている。しかし、どんな機械にも経年変化が起こるように、CMMも機械であるため、使用状況や時間の経過などによって精度誤差が発生する。そのため定期的にCMMの測定精度を校正する必要があるが、JISで定められたCMMの精度検査を行うには高い技能を必要とするため、社内で校正を行っているケースは少なく、精度検査を測定機メーカーなどの外部機関へ依頼するのが一般的となっている。その方法では時間や費用がかかるため、測定機精度を日常点検できない。CMMの測定エラーは欠陥製品を大量に生産することにつながるものが危惧される。

本研究では、ユーザー自身が高い技能を持たなくてもCMMの精度を日常的に短時間で検査するためのCMM検査器を開発し、その校正不確かさについて検討した。

### 2. CMMの規格調査

JISで定められたCMMの精度検査<sup>1)</sup>について調査した。JIS B 7440-2の寸法測定では、検査項目として指示誤差の測定とプロービング誤差の測定があり、指示誤差を求めるとステップゲー

ジ又はブロックゲージの使用を推奨し、プロービング誤差Rを求めめるために呼び直径10mm以上で50mm以下の検査用標準球の使用を指定している。

JIS規格では付属書Aで「定期検査の間にも座標測定機を日常的に検査することが望ましく、その場合、寸法標準器以外の標準器を測定しておくことを推奨する。」と補足説明し、「点検に使用するものは、寸法的に安定、機械的に強靱な典型的な幾何学形状の形体を持ち、測定の不確かさに大きく影響しない表面仕上げを持つもの」と中間点検について規定している。

VDI/VDE2617パート1～5で明示する供試体の計測不確かさに関する主な影響要因を表1に示す。VDI/VDE2617パート1～5はドイツ技術協会、ドイツ電気技術協会による規格で、CMMの精度検査について細かく規定されている。

表1 供試体の計測不確かさに関する主な影響要因<sup>2)</sup>

Table.1 Main factors of uncertainties in measurements

1.	温度
2.	プローブ形状エレメントの形状偏差
3.	配置に依存する供試体のたわみ(特にたわみ中性でない構造の場合)
4.	供試体締付け部の安定性
5.	長期間安定性
6.	測定戦略に依存する誤差増殖
7.	供試体の校正不確かさ

### 3. CMM 検査器の試作設計

#### < 3. 1 > 構想

CMMはXYZ軸方向のスケールガイドが直交しており、直角度誤差が生じやすい。校正を行う業者ではJISの検査項目を実施する前に直角スコヤによる直角度の検査を行っている。

本研究では空間上に配置した基準球の中心位置を測定し、予め校正した値と比較することでCMMの精度検査ができるCMM検査器（以下検査器）を開発した。

#### < 3. 2 > CMM 検査器の概略

開発した検査器を図1、図2に示す。本体は板材を貼り合わせた構造物で、上段と下段に各4個、計8個の球を配置している。球はシャフトにて保持・固定した。底部には3本の脚と位置決めブッシュを設置し、検査器をCMMに容易に定置できるようにした。また、側面に窓が開いており、可搬用持ち手となる。

検査器の落下衝撃による損傷を避けるため、軽量な材質を用い、形状としては台形を採用した。

CMMの精度測定では検査器の下段の基準球の中心位置により測定基準面を設定することとし、下段球の中心高さには $\pm 0.15\text{mm}$ の公差を設定した。また位置決めブッシュ穴の中心を通る直線は、下段の球の中心を通る直線と平行度 $\pm 0.2\text{mm}$ の公差を設定した。

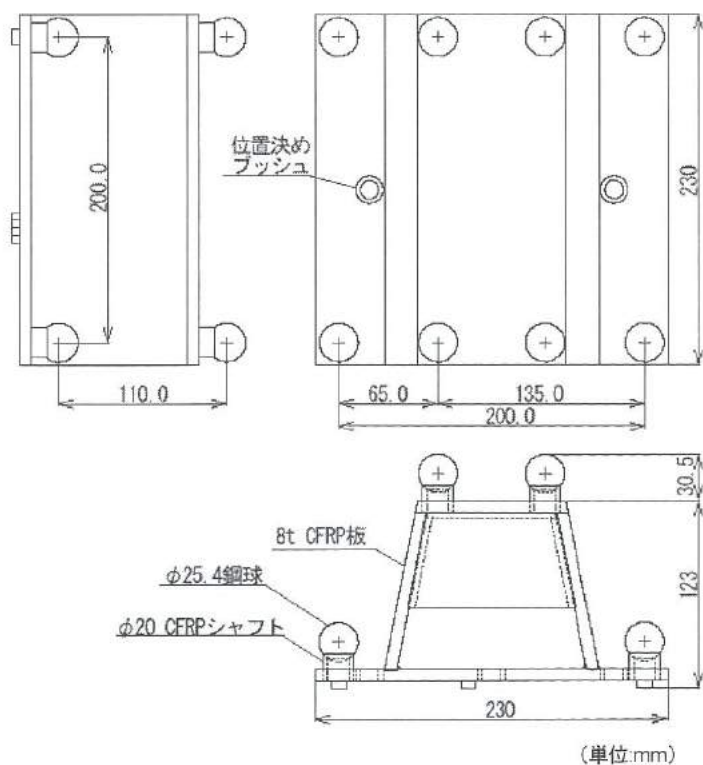


図1 検査器の概略図

Fig.1 Schematic illustration of the developed gauge

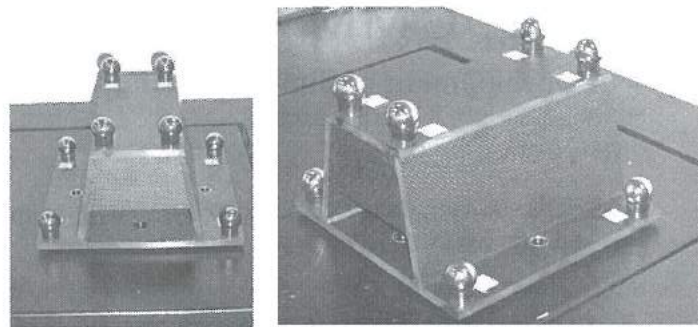


図2 検査器の外観

Fig.2 Overview of the developed gauge

#### < 3. 3 > 検査器を使用したCMMの測定方法

CMMはワークの座標系によって寸法測定を行うことができる。ワーク上にて原点、基準面、基準軸を設定することでXYZ軸方向が決まる。

実際に検査器を使用してCMMの測定精度を検査する際の手順について、図3、図4をもとに以下に記す。

- 1 ゼロ点球の中心を原点とする。
- 2 ゼロ点球、球③、球⑦の中心を通る平面を基準面とする。
- 3 ゼロ点球、球③の中心を通る直線を基準軸（X軸）とし、Y軸、Z軸の方向を決める。
- 4 各球の中心位置を測定し、予め校正した各球の中心位置と比較することにより、CMMの精度誤差を検査する。

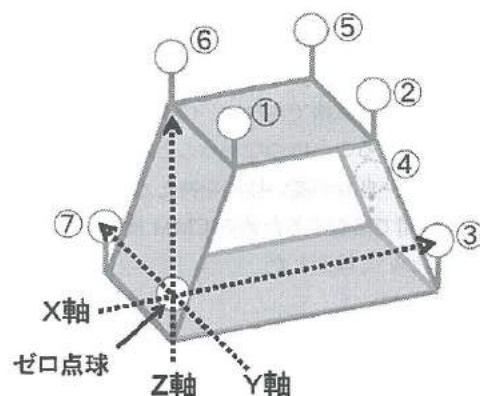


図3 ワーク座標系の設定

Fig.3 Setup of the object coordinate system of the gauge



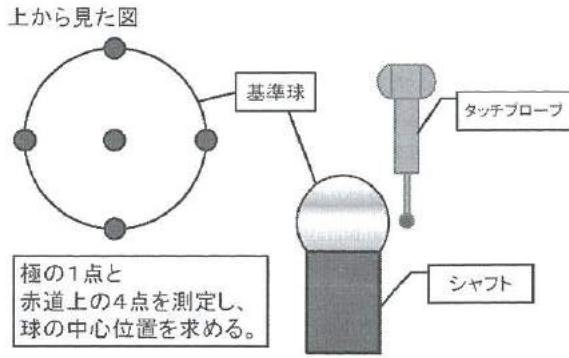


図4 基準球の測定点

Fig.4 Measuring points of the gauge balls

この検査によって、例えば、球③の中心X座標の校正値と測定値の差にはX軸方向の指示誤差が顕れ、球④～球⑦のY座標の校正値と測定値の差にはXY面の直角度誤差が顕れることになる。

### <3. 4>球の選定

球の形状偏差は、測定結果に影響を与えるので、真球度が高く、変形しにくいものが望ましい。またCMM検査用標準球は呼び直径1インチ(25.4mm)のものがよく使用されている。これらの点で、ベアリング鋼球が使用に適していると考え調査を行った。

鋼球は表2に示すように、JIS規格により等級が定められており、最上級の等級3では真球度が0.08μmである。しかし直径1インチで等級3クラスの真球度を持つ鋼球は市場には出回ってなく入手が困難であった。そこで等級5クラスで1インチの鋼球を使用することとした。球の材質は高炭素クロム軸受鋼材(SUJ2)で、大きさは直径1インチ、真球度0.13μm(等級G5)、硬度750HV、ヤング率208GPa、熱膨張係数 $12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。

表2 鋼球のJIS規格<sup>3)</sup>

Table.2 JIS standards of bearing balls

等級 (G)	呼び適用範囲 (mm)	真球度 (μm)
3	0.3~12	0.08
5	0.3~12	0.13
10	0.3~25	0.25

呼び径	硬さ	
	HV	HRC
0.3~3mm	772~900	(63~67)
3.5~30mm	—	62~67
32~65mm	—	61~67

### <3. 5>本体の材種選定

表3にブロックゲージのJIS規格を示す。

検査器を試作するうえで材種の選定を行った。CMMの精度点

検という使用目的上、検査器には寸法安定性が必要である。具体的には、時間の経過や温度の変化による影響を受けにくいことが要求される。

表3 ブロックゲージのJIS規格<sup>4)</sup>

Table.3 JIS standards of block gauges

硬さ	HV800 以上
熱膨張係数	$(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
材料	高炭素鋼クロム鋼 クロムカーバイド タングステンカーバイド

等級	年当たりの許容寸法変化量 (μm/年)
K, 0	$\pm(0.02 + 0.25 \times 10^{-3} \times 1n)$
1, 2	$\pm(0.05 + 0.5 \times 10^{-3} \times 1n)$

備考 1n: mm で表した呼び寸法

また日常点検で使用するためには、軽量でハンドリングが容易であることが望ましい。そこで検査器本体の板材には炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を採用することとした。板の厚みは8mm、ヤング率65GPa、熱膨張係数は面に平行な方向において $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と鉄(熱膨張係数 $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )と比較して低く、熱に対する寸法安定性に優れる。比重は1.55で鉄の1/4であり、軽量化を実現することができた。板同士の接合には2液混合常温硬化タイプのエポキシ接着剤を使用し、接合部内面はすべてフィレット処理を施すことにより接合強度向上を図った。

### <3. 6>シャフトの設計

球を保持するシャフトの材質にも炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を使用した。球の測定では、極1点と赤道をプロービングするので、シャフトが干渉しないよう、外径は20mmとした。シャフトの温度変化による寸法変化の影響を少なくするためパイプ状とし内径は14mmとした。接着強度向上を図るため、接合部を球状に加工した。長さは18mmで、ヤング率は100GPa(軸方向)、熱膨張係数は、軸方向にて $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と鉄と比較して低く、寸法安定性に優れている。

### <3. 7>球とシャフトの固定

球とシャフトの固定には、板材の接合に使用した2液混合エポキシ接着剤を使用した。接着面(鋼球及びシャフト)にサンディングを施し接着力強化を図った。接着強度は引張試験機にて試験した結果、2,055Nであり十分大きいことがわかった。

### <3. 8>シャフトと板材の固定

CFRPの板材は、面に平行な方向においては熱膨張率が2ppmであるが、板厚方向においては約40ppmとなるため、8mmの板では板厚方向に $0.32 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ の寸法変化が起こりうる。板材の上にシャフトを載せた場合、温度による板厚方向の寸法変化が、球の高さに影響を与えると考えられるので、シャフトの外径に合わせて



板材に穴を繰り抜き、シャフトを埋設してエポキシ接着剤により固定した。

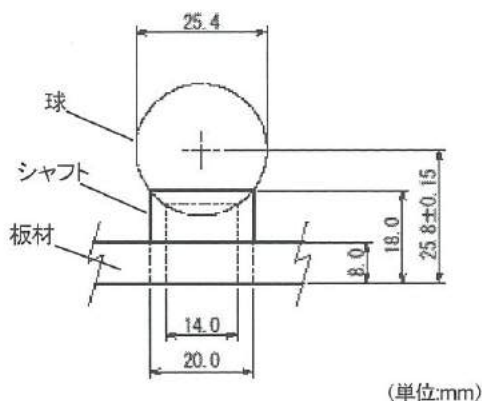


図5 シャフトと板材の固定

Fig.5 Fixture of the shafts to the boards

表4 接着剤の物性値

Table.4 Physical properties of the adhesion bond

	AV138 (エポキシ)	HV998 (硬化剤)
比重 (25°C)	1.70	1.65
粘度 (25°C)	355,000mPa・s	26,000mPa・s
混合物粘度 (25°C)	80,000mPa・s	
弾性率	4GPa	
線膨張係数	$67.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	

#### 4. 検査器の校正の不確かさの算出

##### < 4. 1 > 検査器の校正

開発した検査器を指示精度の高いCMMにて校正した。使用したCMMはZeiss製UPMC850CARATで、空間測定精度は $0.8+L/600$  ( $\mu\text{m}$ ) 20°C [L=任意測定長mm]であり、標準スタイラス ( $\Phi 8\text{mm} \times L115\text{mm}$ ) を用いた。検査器と校正されたブロックゲージとを比較測定し、基準球の中心位置座標の校正を行った。

測定室の温度環境は実験中の温度の平均値から  $20.28^\circ\text{C} \pm 0.28^\circ\text{C}$  であった。

まず、検査器をCMM測定エリアの中心に定置し、CMM本体のX軸(機械座標系)に対して検査器のゼロ点球と球③の中心を通る直線が $\pm 0.1\text{mm}$ 以内になるようアライメントを行った後、図3及び図4に示す方法で、8個の球の中心を8回繰り返し測定した。

次にブロックゲージをCMM本体のXYZ軸(機械座標系)に対し、 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内にライメントし各5回測定した。ブロックゲージの長さは、球の中心間の呼び寸法座標値をもとに、X軸方向は65mm、135mm、200mm、Y軸方向は200mmと80mm、Z軸方向は110mmと50mmのものを使用した。

このようにして求めた8個の球の中心測定座標値の平均と、ブロックゲージ測定値の平均および校正値とを比較し、球の中心の

座標値を式(1)により求めた。 $L_G$ は校正座標値、 $M_G$ は検査器の測定値の平均、 $M_{BG}$ はブロックゲージ測定値の平均、 $L_{BG}$ はブロックゲージの校正値である。

$$L_G = (M_G - M_{BG}) + L_{BG} \quad (1)$$

表5 各球の校正座標値 (mm)

Table.5 Results of the calibration center positions of the gauge balls

球	呼び座標値 (X, Y, Z)	X座標	Y座標	Z座標	球0との中心間距離
0	(0, 0, 0)	—	—	—	—
1	(65, 0, 100)	65.32699	-0.05209	110.45258	128.32500
2	(135, 0, 110)	135.24344	0.02853	110.27644	174.50373
3	(200, 0, 0)	200.04043	-0.00010	0.00016	200.04009
4	(200, 200, 0)	200.06968	200.02816	-0.04928	282.91177
5	(135, 200, 110)	135.04688	199.89432	110.40650	265.30159
6	(65, 200, 110)	65.09470	199.87147	110.33139	237.40035
7	(0, 200, 0)	0.06161	199.98155	0.00025	199.98172

##### < 4. 2 > 関数モデル

検査器の校正における不確かさをまとめたものを表6に示す。

表6 バジエット表<sup>5)</sup>

Table.6 Budget table of the uncertainties in calibration of the gauge

構成要素	不確かさの要因	要素記号	評価タイプ
ブロックゲージ	比較校正	$\sigma(G)$	B
CMMスケール	熱膨張係数	$\sigma(C\alpha)$	B
球	真球度	$\sigma(Sp)$	A
	ブロックゲージと構成要素の熱膨張係数の差	$\sigma(P\alpha)$	B
球とシャフトの接合	ブロックゲージと構成要素の熱膨張係数の差	$\sigma(A1\alpha)$	B
シャフト	ブロックゲージと構成要素の熱膨張係数の差	$\sigma(S\alpha)$	B
シャフトと板材の接合	ブロックゲージと構成要素の熱膨張係数の差	$\sigma(A2\alpha)$	B
板材	ブロックゲージと構成要素の熱膨張係数の差	$\sigma(B\alpha)$	B
CMM	CMMの測定誤差	$\sigma(ECMM)$	A
全構成要素	経年変化量	$\sigma(Y)$	A

これらの不確かさの要因から、検査器の校正の不確かさに関するモデル式を式(2)で示した。Lは検査器の値、MはCMMの測定値、 $\sigma_c(E)$ は合成標準不確かさである。

$$L = M \pm \sigma_c(E) \quad (2)$$

また、合成標準不確かさを式(3)に示す。

$$\sigma_c(E)=[\sigma^2(G)+\sigma^2(C_\alpha)+\sigma^2(Sp)+\sigma^2(P_\alpha)+\sigma^2(A1_\alpha)+\sigma^2(S_\alpha)+\sigma^2(A2_\alpha)+\sigma^2(B_\alpha)+\sigma^2(ECMM)+\sigma^2(Y)]^{1/2} \quad (3)$$

ここで、Gはブロックゲージの校正による誤差、C<sub>α</sub>はCMMスケールの線膨張係数による誤差、Spは球の真球度の誤差、P<sub>α</sub>は球の線膨張係数による誤差、A1<sub>α</sub>は球とシャフトを固定する接着剤の線膨張係数による誤差、S<sub>α</sub>はシャフトの線膨張係数による誤差、A2<sub>α</sub>はシャフトと板材を固定する接着剤の線膨張係数による誤差、B<sub>α</sub>は板材の線膨張係数による誤差、ECMMはCMMの測定誤差、Yは経年変化による誤差である。

#### < 4. 3 > 各要因の標準不確かさの評価

##### < 4. 3. 1 > ブロックゲージの標準不確かさ

検査器の比較測定に使用したブロックゲージの標準不確かさを求める。ブロックゲージは標準器と比較校正されており、校正の不確かさの要因は、標準器の校正值の不確かさσ(LsGB)、寸法差測定での不確かさσ(dGB)、標準器とブロックゲージの熱膨張係数の差による不確かさσ(dαGB)、標準器とブロックゲージの温度差による不確かさσ(dΔtGB)、標準器の経年変化による不確かさσ(YGB)であり<sup>6)</sup>、これらの合成標準不確かさを式(4)にて求める。校正室の温度条件は20°C±0.3°C、ブロックゲージの長さ最大長さ200mmとした。

$$\begin{aligned} \sigma^2(G) &= \sigma^2(LsGB) + \sigma^2(dGB) + \sigma^2(d\alpha GB) + \sigma^2(d\Delta tGB) + \sigma^2(YGB) \\ &= (0.03 \times 10^{-6})^2 + (0.0584 \times 10^{-6})^2 + (0.0136 \times 10^{-6})^2 \\ &\quad + (0.033 \times 10^{-6})^2 + (0.01 \times 10^{-6})^2 \\ &= 0.00568 \mu m^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sigma(G) = 0.076 \mu m$$

##### < 4. 3. 2 > CMMスケールの線膨張係数の標準不確かさ

測定室の温度環境は20.28°C±0.28°Cであった。すなわち20°Cからの偏差が0.28°C、分布幅が±0.28°Cであり、中心値0.28°C±0.28°Cを限界とする矩形分布とし、式(5)により標準不確かさσ(Δt)を求める。ここで、Δtは20°Cからの温度差、dΔtは温度変動幅とする。

$$\sigma(\Delta t) = [\Delta t^2 + (d\Delta t/\sqrt{3})^2]^{1/2} = [0.28^2 + (0.28/\sqrt{3})^2]^{1/2} = 0.33^\circ C \quad (5)$$

CMMスケールの材質はガラスセラミックで、線膨張係数による標準不確かさは、±0.05×10<sup>-6</sup>/°Cを分布幅とする矩形分布として式(6)、式(7)により求める。ここでα<sub>c</sub>はCMMスケールの線膨張係数の分布幅、Dは検査器の最大測定長さとする。

$$\sigma(\alpha_c) = 0.05 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = 2.886 \times 10^{-8} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sigma(C_\alpha) &= D \times \sigma(\Delta t) \times \sigma(\alpha_c) = 0.283 \times 0.33 \times 2.886 \times 10^{-8} \\ &= 0.003 \mu m \end{aligned} \quad (7)$$

##### < 4. 3. 3 > 球とブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさ

球とブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさを求めた。CMMスケールの線膨張係数は0に等しいとみなせるこ

とから影響しないと推測した。Pは球径、d<sub>αp</sub>は球とブロックゲージの線膨張係数の差として、双方の熱膨張係数の差を2で除算した値にブロックゲージの線膨張係数の不確かさ1×10<sup>-6</sup>/°Cを加えた値を最大幅とする矩形分布とし式(8)、式(9)より求める。

$$\begin{aligned} \sigma(d\alpha p) &= [(12.5 \times 10^{-6} - 10.8 \times 10^{-6}) / 2 + 1 \times 10^{-6}] / \sqrt{3} \\ &= 1.068 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sigma(P_\alpha) &= P \times \sigma(\Delta t) \times \sigma(d\alpha p) \\ &= 0.0254 \times 0.33 \times 1.068 \times 10^{-6} = 0.009 \mu m \end{aligned} \quad (9)$$

##### < 4. 3. 4 > シャフトとブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさ

シャフトとブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさを式(10)、式(11)より求める。ここでTはシャフトの厚みを2倍したものであり、d<sub>αs</sub>はシャフトとブロックゲージの線膨張係数の差とし矩形分布とする。

$$\begin{aligned} \sigma(d\alpha s) &= [(40 \times 10^{-6} - 10.8 \times 10^{-6}) / 2 + 1 \times 10^{-6}] / \sqrt{3} \\ &= 9.006 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sigma(S_\alpha) &= T \times \sigma(\Delta t) \times \sigma(d\alpha s) \\ &= 0.006 \times 0.33 \times 9.006 \times 10^{-6} = 0.018 \mu m \end{aligned} \quad (11)$$

##### < 4. 3. 5 > 板材とブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさ

板材とブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさを式(12)、式(13)より求める。ここでDは検査器の最大測定長さ、d<sub>αB</sub>は板材とブロックゲージの線膨張係数の差とし矩形分布とする。

$$\begin{aligned} \sigma(d\alpha B) &= [(10.8 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6}) / 2 + 1 \times 10^{-6}] / \sqrt{3} \\ &= 3.117 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma(B_\alpha) &= D \times \sigma(\Delta t) \times \sigma(d\alpha B) \\ &= 0.283 \times 0.33 \times 3.117 \times 10^{-6} = 0.29 \mu m \end{aligned} \quad (13)$$

##### < 4. 3. 6 > 接着剤とブロックゲージの線膨張係数の差による標準不確かさ

球とシャフトの接着剤の厚みA1、シャフトと板材の接着剤の厚みA2はすべて0.1mmとして、< 4. 3. 5 >と同様に標準不確かさσ(A1<sub>α</sub>)、σ(A2<sub>α</sub>)を計算した。

##### < 4. 3. 7 > CMMの測定による標準不確かさ

CMMの測定による標準不確かさを求めた。CMM本体のX軸(機械座標系)に対し、検査器のゼロ点球と球③の中心を通る直線が±0.1mm以内になるようアライメントし、8個の球の中心を繰り返し3回、場所もしくは時間を変えて5回測定を行った結果を図6に示す。

図中の点は球の校正座標値からの偏差の平均値であり、エラーバーはゼロ点球と各球の中心間距離の標準偏差に包括係数(k=2)を乗じたものである。CMMの測定による標準不確かさは、ゼロ点球から各球までの中心間距離の標準偏差の平均値とし、式(14)に示した。平均値は各球の標準偏差の2乗和を球の個数で除算した値の平方根とした。



$$\sigma(\text{ECMM}) = (\text{球①の標準偏差} + \text{球②の標準偏差} + \dots + \text{球⑦の標準偏差}) \text{の平均値}$$

$$= [(0.21^2 + 0.16^2 + 0.10^2 + 0.33^2 + 0.50^2 + 0.48^2 + 0.40^2) / 7]^{1/2}$$

$$= 0.35 \mu\text{m} \quad (14)$$

表7 ゼロ点球と各球との中心間距離

Table.7 Distances between the center of No.0 ball and those of the other balls

球	平均値	最大値	最小値	範囲 ( $\mu\text{m}$ )	校正値との 偏差( $\mu\text{m}$ )
1	128.32558	128.32601	128.32523	0.77	-0.58
2	174.50403	174.50432	174.50368	0.64	-0.30
3	200.03994	200.04010	200.03974	0.36	0.16
4	282.91119	282.91164	282.91063	1.00	0.58
5	265.30058	265.30110	265.30026	1.60	0.49
6	237.40009	237.40072	237.39907	1.66	0.26
7	199.98119	199.98172	199.98024	1.49	0.53

表8 校正不確かさ評価結果

Table.8 Estimations of the uncertainties in calibration of the gauge

要素記号	標準不確かさ	感度係数	長さへの変換( $\mu\text{m}$ )	二乗項
$\sigma(G)$	0.076 $\mu\text{m}$	1	0.076	0.005776
$\sigma(C\alpha)$	$2.886 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$D \cdot \sigma(\Delta t)$	0.003	0.000009
$\sigma(Sp)$	0.13 $\mu\text{m}$	0.5	0.065	0.004225
$\sigma(P\alpha)$	$1.068 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$P \cdot \sigma(\Delta t)$	0.009	0.000081
$\sigma(A1\alpha)$	$16.801 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$A1 \cdot \sigma(\Delta t)$	0.0006	0.00000036
$\sigma(S\alpha)$	$9.006 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$T \cdot \sigma(\Delta t)$	0.018	0.000324
$\sigma(A2\alpha)$	$16.801 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$A2 \cdot \sigma(\Delta t)$	0.0006	0.00000036
$\sigma(B\alpha)$	$3.117 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$D \cdot \sigma(\Delta t)$	0.29	0.0841
$\sigma(\text{ECMM})$	0.35 $\mu\text{m}$	1	0.35	0.1225
$\sigma(Y)$	—	—	—	—

二乗和  $\sigma_c^2(E) = 0.217 \mu\text{m}^2$   
 合成標準不確かさ  $\sigma_c(E) = 0.466 \mu\text{m}$   
 拡張不確かさ  $u(k=2) = 0.93 \mu\text{m}$

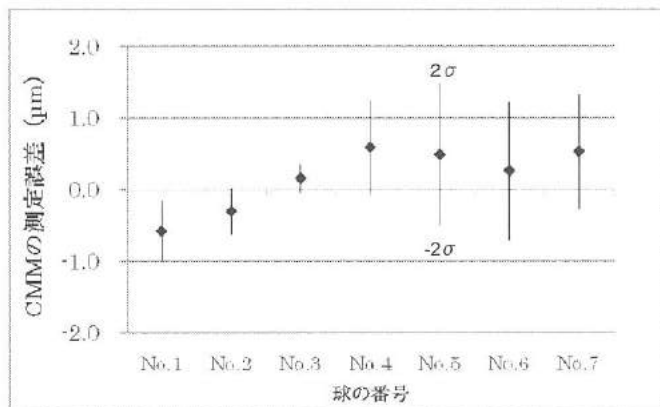


図6 検査器測定によるCMMの測定誤差

Fig.6 Repeatability errors of the measurements with the CMM

#### < 4. 3. 8 > 経年変化による標準不確かさ

検査器の経年変化による標準不確かさは、一定期間経過後に再度測定を実施し、ゼロ点球から各球までの中心間距離の標準偏差の2乗から、< 4. 3. 5 >によるCMMの測定による標準不確かさの2乗を減算し、球の個数で除算した平方根によって経年変化を求めることができる。

$$\sigma(Y) = (\text{球①の経年変化} + \text{球②の経年変化} + \dots + \text{球⑦の経年変化}) \text{の平均値} \quad (15)$$

#### < 4. 3. 9 > 合成標準不確かさ

表6に示す各要因別に標準不確かさを算出し、まとめたものを表8に示す。表から、式(3)を用いて算出された合成標準不確かさ $\sigma_c(E)$ に、包括係数(k=2)を乗じて得られた拡張不確かさは、0.93 $\mu\text{m}$ であった。

## 5. 結言

日常点検用CMM測定精度検査器を開発し、開発した検査器を指示精度の高いCMMを用いて校正を行い、校正の不確かさについて検討した結果、包含係数k=2とした場合、拡張不確かさは0.93 $\mu\text{m}$ となり、1 $\mu\text{m}$ 以下の良好な値となった。

検査器を3回繰り返し測定した場合の所要時間は30分程度で、日常点検に十分活用できることが確認された。

基準球の接着硬化反応に伴う熱もしくは機械的な応力による歪からの形状精度低下が懸念されたが、接着後、指示精度の高いCMMによる測定結果が全て真球度0.2 $\mu\text{m}$ 以下であり、また、真円度測定機(TARYROND 290RSU テーラーホブソン社)による測定結果が真円度0.13 $\mu\text{m}$ 未満であったことから、問題とならなかった。

開発した検査器について、経年変化の調査を行うなど、さらなる信頼性の向上を図ることが、今後の課題である。

## 文 献

- (1) JIB B 7440 座標測定機(CMM)の受入検査及び定期検査、日本規格協会
- (2) VDI/VDE2617 パート1~5、ドイツ技術協会、ドイツ電気技術協会
- (3) JIS G 4805 ベアリング鋼球、日本規格協会
- (4) JIS B 7506 ブロックゲージ、日本規格協会
- (5) JIS Z 9090 測定—校正方式通則、日本規格協会
- (6) JCG201S31 不確かさ見積りに関するガイド 長さ(ブロックゲージ)、製品評価技術基盤機構認定センター



# Ⅲ. 高耐磨耗性を有する熱可塑性樹脂 複合材料の開発

## Development of the thermoplastic composites with high wear resistance

須田 誠            早苗 徳光            関口 徳朗  
*SUDA Makoto    SANAE Norimitsu    SEKIGUCHI Noriaki*  
山岸 英樹            住岡 淳司            土肥 義治  
*YAMAGISHI Hideki    SUMIOKA Jyunji    DOI Yoshiharu*

### Abstract

Recently, the automobile which adopts the direct injection gasoline engines increases in order to suit exhaust gas regulation and fuel consumption standard. The direct injection gasoline engines are advantageous in that the output and efficiency improve. However, they are disadvantageous in that the generation of the soot is abounding. This soot abrades the metal parts in the engines. Recently, it is confirmed to decrease wear in the oil mixed with hard particles by using composite materials based on the resin.

In this study, we develop thermoplastic resin composite materials with the high wear resistance in the oil contaminated with soot and sliding area of the metal parts.

Abrasion resistance of PAI on the sliding area of the metal materials was found to be improved by adding various materials.

Especially, the value of the abrasion rate in adding silica of diameter of 10  $\mu\text{m}$  to 5wt% was  $0.14 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ .

This value is almost better than the marketing high-performance antifriction resin.

### 1. 緒言

近年、自動車業界においては年々厳しくなる排ガス規制や燃費基準に対応するため、燃料の噴射方式が従来の方式と異なる直噴エンジンを採用する自動車が増えてきている。この直噴エンジンは出力向上と効率向上(=燃費低減=CO<sub>2</sub>排出量低減)が両立できるというメリットがある反面、燃焼室内においてガソリンの燃えカス(スス)の発生量が従来のエンジンに比べて多いというデメリットがある。このように発生したススは硬度HV1500~1700という非常に硬質な粒子であり、さらにこのススは燃焼室内からエンジン内へのエンジンオイルに侵入する為、エンジン内の部品に対して過剰な磨耗が発生することが確認されている。

最近、この問題に対して、樹脂をベースとした複合材料を用いることにより硬質粒子を複合材料に埋込させ、相手材の表面に溝や疵を作らなくする技術が検討され始めてきた。

そこで本研究では、ススオイル環境下の金属部品の摺動部においても耐磨耗性を有する材料を開発することを目的として、熱可塑性樹脂をベースに各種添加剤を配合した複合材料の磨耗特性評価を行い、どのような組成が効果的であるのか検討を行ったので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試料

耐磨耗性材料のベース樹脂を選定するための素材として、超高分子量ポリエチレン(UHMwPE)、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、ポリアセタール(POM)、ナイロン66(PA66)、ポリフェニレンサルファイド(PPS)、ポリアイミド(PAI)、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)の市販板材を使用した。また、耐磨耗性材料として実績のあるポリアイミド(PI、デュボン社 ベスペル SP-21)の板材、及びアルミ合金(ADC12)板材を性能比較用として使用した。

ベース樹脂としては、PPS(DIC(株) FZ-2100 ペレット)、及びPAI(東洋紡績(株) パイロマックス HR-11NN 15wt%ワニス)を使用した。

添加剤としては、グラファイト(伊藤黒鉛工業(株) AGB-20 平均粒径 20 $\mu\text{m}$ )、テフロン(ファインテック(株) PTFE パウダー 平均粒径 5 $\mu\text{m}$ )、二硫化モリブデン(三津和化学薬品(株))、アラミド(サンプル品)、シリカ(AGC エスアイテック(株) NP-100 平均粒径 10 $\mu\text{m}$  球状、日本触媒(株) KE-P150 平均粒径 1.5 $\mu\text{m}$  球状 及び KE-P10 平均粒径 0.1 $\mu\text{m}$  球状、TECNAN 社 平均粒径 10-15nm、EVONIC 社

AEROSIL R9200 平均粒径 12nm 疎水性表面処理品)を使用した。

## 〈2.2〉 試験片作製方法

### 〈2.2.1〉 市販熱可塑性樹脂板材

市販の熱可塑性樹脂板材は、30mm×30mm×3mm の寸法に加工・切り出して試験に供した。

### 〈2.2.2〉 PPS ベース複合材

まず、熔融混練押出装置(株式会社 樹東洋精機製作所 LABO PLASTOMILL 4 C150、図 1)を用いて PPS ペレットと添加剤を所定の割合で混練し、次いで圧縮成形装置(株式会社 樹東洋精機製作所 MINI TEST PRESS-10)により、30mm×30mm×3mm の試験片を成形・作成した。熔融混練は、温度 300~340°C、ミキサ回転数 3~15rpm、混練時間 10min で行い、圧縮成形は、温度 300~340°C、加圧力 200kgf/cm<sup>2</sup>、加圧時間 10min の条件下で行った。

### 〈2.2.3〉 PAI ベース複合材

PAI としてワニスを使用することから、試験片はワニスをアルミ板上にコーティングして作成することとした。また、アルミ板と複合材間での層間剥離を防ぐために、添加剤無配合の PAI 下地層を設け、その上に PAI ベース複合材を積層させる構成とした。

作成手順は、まず市販の厚さ 1mm のアルミ板上に添加剤を配合しない PAI ワニスを塗布し、ホットプレート上で室温から 300°C まで昇温した後、300°C で 10 分間保持して下地層を形成した。

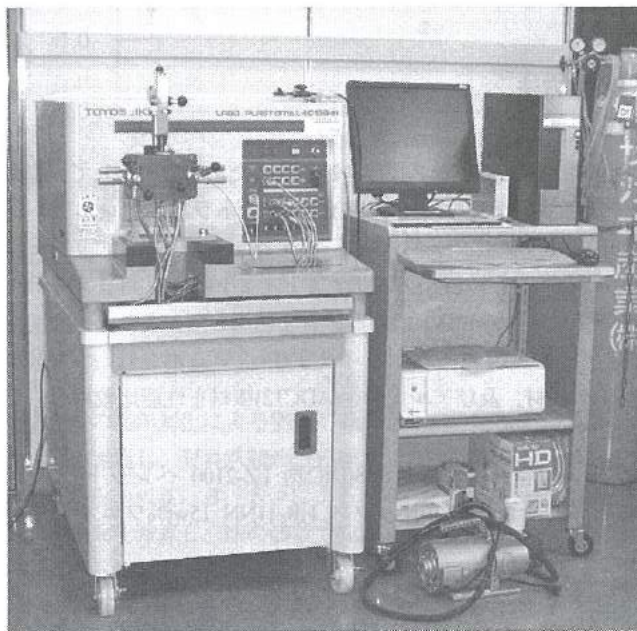


図 1 熔融混練押出装置  
Fig.1 Melt compounding extruder.

次に下地層の上に所定の割合で添加剤を配合した PAI ワニスを塗布し、上記と同様の熱処理を行うことで複合材層を形成した。(ワニスの塗布量は下地層及び複合材層の厚さが各々約 100μm となるよう調整した。また添加剤の PAI ワニスへの配合には遊星式攪拌装置(株式会社 エンス HM-500)を用い 10 分間攪拌混合した。) 熱処理終了後、30mm×30mm に切り出し、試験に供した。

## 〈2.3〉 耐摩耗性評価方法

耐摩耗性試験は、先端が角形状の圧子を一定荷重の下で垂直に接触させ、試験片を中心軸に対して回転させるチップオンディスク方式とした。試験方式の模式図を図 2 に、圧子の形状を図 3 に示す。試験機はオリエンテック社製摩擦磨耗試験機 (FEM-III-EN、図 4) を使用し、試験条件はエンジン内カムフォロワー環境を想定し、加圧力 250kgf (試験片との接触面における面圧は約 1.8kgf/mm<sup>2</sup>)、滑り速度 1.0m/sec、試験時間 17 分、80°C エンジンオイル浸漬下で行った。圧子材質は軸受鋼 (SUJ2、硬さ HRC58~62・焼入れ焼き戻し) とした。

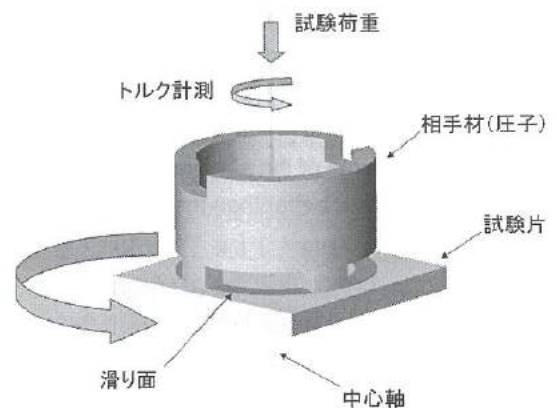


図 2 チップオンディスク磨耗方式  
Fig.2 The chip-on-disk abrasion system.

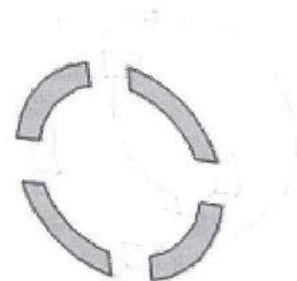


図 3 圧子形状  
Fig.3 Shape of indenter.



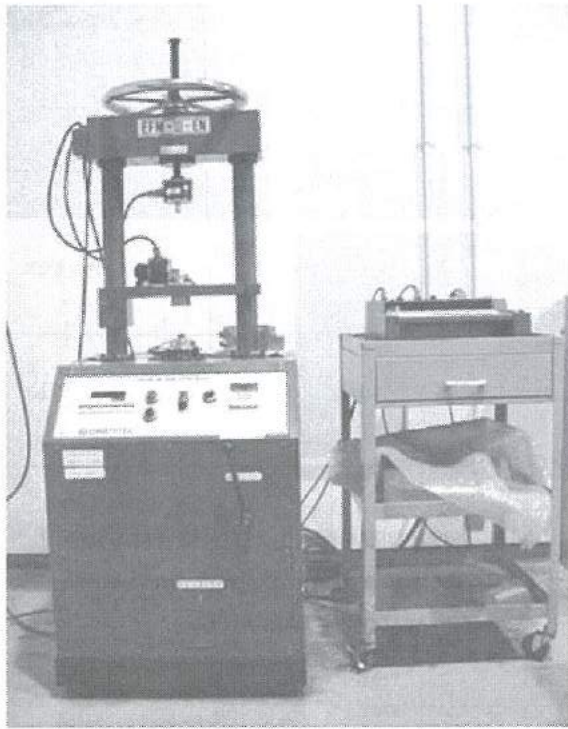


図4 摩擦磨耗試験装置

Fig.4 Friction and wear testing machine.

摩擦磨耗性能の評価指標としては、摩擦係数 $\mu$ 及び比磨耗量 $V_s$ によった。これら指標の算出に用いた計算式を以下に示す。なお、摩擦係数 $\mu$ は試験中変動するため、試験開始後3分以降の平均値(平均摩擦係数とする)により評価した。

平均回転半径  $r$  ;

$$r = \frac{\text{外径} + \text{内径}}{4} = \frac{25.6\text{mm} + 20.0\text{mm}}{4} = 11.4\text{mm}$$

摩擦係数  $\mu$  ;

$$\mu = \frac{\text{トルク (F)} \times \frac{\text{トルクアーム長さ}}{\text{平均回転半径}}}{\text{平均荷重 (P)}} = \frac{F \times \frac{150\text{mm}}{11.4\text{mm}}}{P} = 13.2F/P$$

滑り速度  $v$  ;

$$v = 2\pi r \times \text{回転数(rpm)} / 60(\text{m/s})$$

比磨耗量  $V_s$

$$V_s = \frac{\text{磨耗量 (g)}}{\text{試験片の密度 (g/mm}^3) \times \text{試験荷重 (N)} \times v (\text{m/s}) \times \text{磨耗時間 (s)}} \quad (\text{mm}^3/\text{Nm})$$

### 3. 実験結果

#### 〈3.1〉 ベース熱可塑性樹脂の選定

図5に各種市販板材、及び比較材料の試験中の摩擦係数 $\mu$ の推移を、表1に各種市販熱可塑性樹脂板材と比較用材料の平均摩擦係数及び比磨耗量 $V_s$ を示す。

摩擦係数 $\mu$ はPOMが終始低い値で推移し、他の樹脂は材質に依らず同程度の値を示した。一方、比磨耗量 $V_s$ はPEEKが最も小さく、次いでPPS、PAI、PA66、POMの順となり、平均摩擦係数と比磨耗量 $V_s$ との間に相関は見られなかった。これは、特にPOMの場合に顕著であるが、摩擦係数が低くても樹脂の融点が高い( $T_m=170\sim 180^\circ\text{C}$ 程度<sup>1)</sup>)のために、摩擦熱による溶融磨耗の状態が生じているためと考えられる。従って、融点が高い材質が有利であるといえる。なお、UHMwPE及びPTFEについては試験開始直後から過剰な磨耗や変形が発生したため、データを得ることができなかった。

比較用材料(PI、ADC12)の値が示すように、耐磨耗性材料には低摩擦係数かつ低比磨耗量であることが求められるが、今回使用した材料においては、両方ともに優れる材質は見いだせなかった。

そのため、摩擦係数については添加剤の配合により低下を図ることとし、比磨耗量 $V_s$ の結果と溶融混練が可能かどうかという点からベース樹脂としてPPSを選択した。(比磨耗量 $V_s$ の結果はPEEKが最も優れていたが、融点が $334^\circ\text{C}$ と極めて高いため、所有する溶融混練装置では加工が不可能であった。)

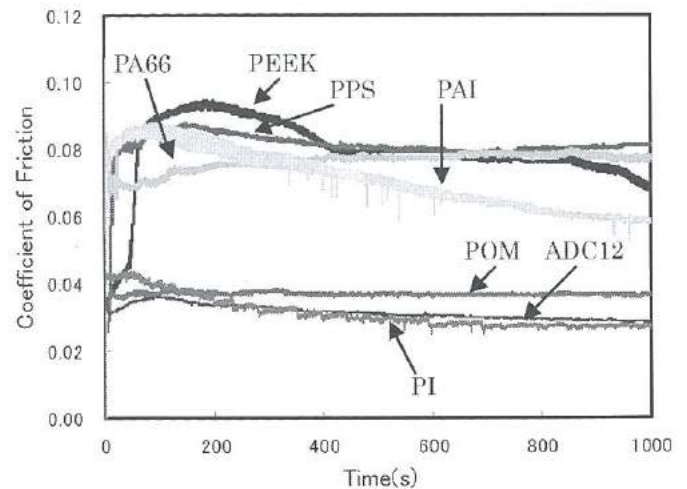


図5 各種熱可塑性樹脂の摩擦係数推移

Fig.5 Change in the coefficient of friction of various thermoplastic resins.

表1 各種熱可塑性樹脂の平均摩擦係数及び比磨耗量

Table1 Coefficient of average friction and abrasion rate of various thermoplastic resins.

材質	平均摩擦係数	比磨耗量 Vs ( $\times 10^{-6}$ mm <sup>3</sup> /Nm)	備考
UHMwPE	—	—	過剰に摩耗
PIFE	—	—	過剰に変形
POM	0.037	20.15	
PA66	0.077	19.30	
PPS	0.081	4.35	
PAI	0.060	4.93	TiO <sub>2</sub> 配合
PEEK	0.080	1.39	
PI	0.029	0.94	ベスベル SP-21
ADC12	0.031	0.03	

<3.2> PPS ベース複合材における添加剤の影響

まず添加剤が均一に分散しているかを確認した。図6に各種添加剤を 20wt%添加した複合材の断面(光学顕微鏡写真)を示す。図より、添加剤の偏析等はないことが確認できる。

表2に添加剤の添加量と平均摩擦係数及び比磨耗量 Vs を示す。グラファイト及び二硫化モリブデンを配合することにより平均摩擦係数及び比磨耗量 Vs とともに大幅に低下するが、テフロンを添加した場合には添加効果がみられない結果となった。しかしながら、添加剤なしの場合(即ち PPS のみの場合)に過剰な磨耗が発生していることから、根本的にベース樹脂自身の性能が全く評価できておらず、添加剤を加えた効果も正しく評価できていない。

PPS のみでも過剰な磨耗が生じた原因としては、熔融混練時・圧縮成形時の熱劣化やマイクロボイドの存在、結晶化状態などの影響が考えられるが、加工・成形条件を変更してもこの問題を解決することはできなかった。そのため、ベース樹脂を他の材質に変更することとした。

<3.3> PAI ベース複合材における添加剤の影響

表1の市販板材の試験結果より、PPS に次いで比磨耗量 Vs の小さかった PAI をベース樹脂に用いることとした。ただし、PAI は成形温度が非常に高く(330~370℃程度)、加熱溶融中に硬化する性質を持つ<sup>3)</sup> など極めて取り扱いにくいことから、PAI が有機溶媒中に溶解されたワニスを使用した。

図7に、各種添加剤を配合した複合材の断面(光学顕微鏡写真)を示す。図より、添加剤の偏析等ないことが確認できる。

表3に添加剤の添加量と平均摩擦係数及び比磨耗量 Vs を示す。表より、いずれの添加剤についても今回実施した配合割合の範囲では、添加剤なし(PAI のみ)の場合に比較し、平均摩擦係数は同等

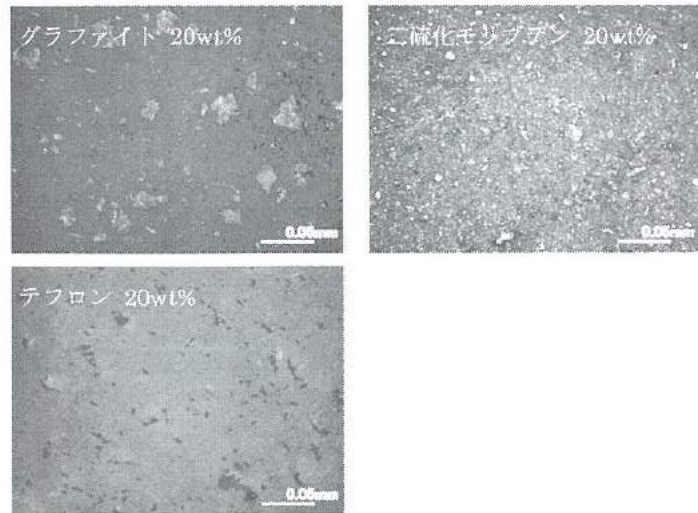


図6 各種添加剤を配合した PPS 複合材の断面  
Fig.6 The cross section of composite materials with various materials added to PPS.

表2 添加剤の添加量における平均摩擦係数及び比磨耗量

Table2 Coefficient of average friction and abrasion rate in the additive quantity of various materials.

添加剤	添加量 (wt%)	平均摩擦係数	比磨耗量 Vs ( $\times 10^{-6}$ mm <sup>3</sup> /Nm)	備考
なし	-	—	—	過剰に摩耗
グラファイト	20%	0.080	24.88	
	40%	0.047	2.54	
	60%	0.047	0.80	
二硫化モリブデン	20%	—	—	過剰に摩耗
	40%	0.070	7.48	
	60%	0.020	0.72	
テフロン	2%	—	—	過剰に摩耗
	5%	—	—	〃
	10%	—	—	〃
	20%	—	—	〃
	40%	—	—	〃
	60%	—	—	〃

もしくはやや小さく、比磨耗量 Vs はおよそ 1/2 以下に低下するという結果になった。また、磨耗量 Vs については多くの添加剤で効果的な添加割合が存在しているが、平均摩擦係数と必ずしも関係があるわけではない。複合材の摩擦係数を低下させるには、低摩擦係数の添加剤をできるだけ多く配合する必要がある。しかし、特にテフロン添加の場合に顕著であると思われるが、配合割合を大きくすると添加剤-PAI 間でのマイクロな剥離や欠陥が発生しやすく、材料全体としては脆くなってしまいうため、比磨耗量 Vs が



表3 添加剤の添加量における平均摩擦係数及び比磨耗量

Table3 Coefficient of average friction and abrasion rate in the additive quantity of various materials.

添加剤	添加量 (wt%)	平均摩擦係数	比磨耗量 Vs ( $\times 10^{-6}$ mm <sup>3</sup> /Nm)
なし	-	0.068	5.34
グラファイト	5%	0.061	1.94
	10%	0.069	1.75
	20%	0.062	1.38
	40%	0.067	2.23
テフロン	5%	0.054	0.91
	10%	0.069	2.62
	20%	0.063	4.30
	40%	0.056	4.73
二硫化モリブデン	5%	0.063	1.80
	10%	0.057	0.73
	20%	0.050	1.55
アラミド	40%	0.049	2.06
	5%	0.068	2.97
	10%	0.068	1.78
シリカ (平均粒径1.5 $\mu$ m)	20%	0.057	1.84
	40%	0.058	1.63
	5%	0.055	1.06
シリカ (平均粒径1.5 $\mu$ m)	10%	0.062	1.07
	20%	0.070	1.26
	40%	0.067	1.72

大きくなると推測される。このことが摩擦係数と比磨耗量を同時に効果的に低下させられない理由ではないかと考える。

表3において、シリカ(平均粒径 1.5 $\mu$ m)を配合した場合を見ると、平均摩擦係数、比磨耗量 Vs とともに少ない添加割合で小さな値を示し、しかも添加割合にあまり敏感でないことから、良好な性能を安定的に発現できる可能性が示唆された。

そこで、更なる性能向上の可能性を探るため、シリカの粒径による影響について検討した。表4に、その結果を示す。平均粒径がナノオーダーと小さい場合はかなり磨耗が激しくなり、試験を途中で中止するケースが多くなった。逆に平均粒径が 10 $\mu$ m と大きい場合、比磨耗量 Vs についてはより小さな値を示し、特に添加量 5%の場合には、比較用材料の PI を上回る性能が得られた(表1参照)。

これらの結果については、シリカのメーカーや粒子形状が一定でないことを考慮する必要はあるが、粒径が小さくなると粒子の凝集や分散不良が起こりやすいことに加え、表面積が増大するために PAI-シリカ界面における接着性の影響が大きくなり、複合材が脆くなるためと推察される。

そこで更に、PAI ワニスへの分散性、界面での濡れ性に優れると考えられる疎水性表面処理シリカ(平均粒径 12nm)を用い、表面性状が及ぼす影響について検討を行った。その結果を表5に示す。

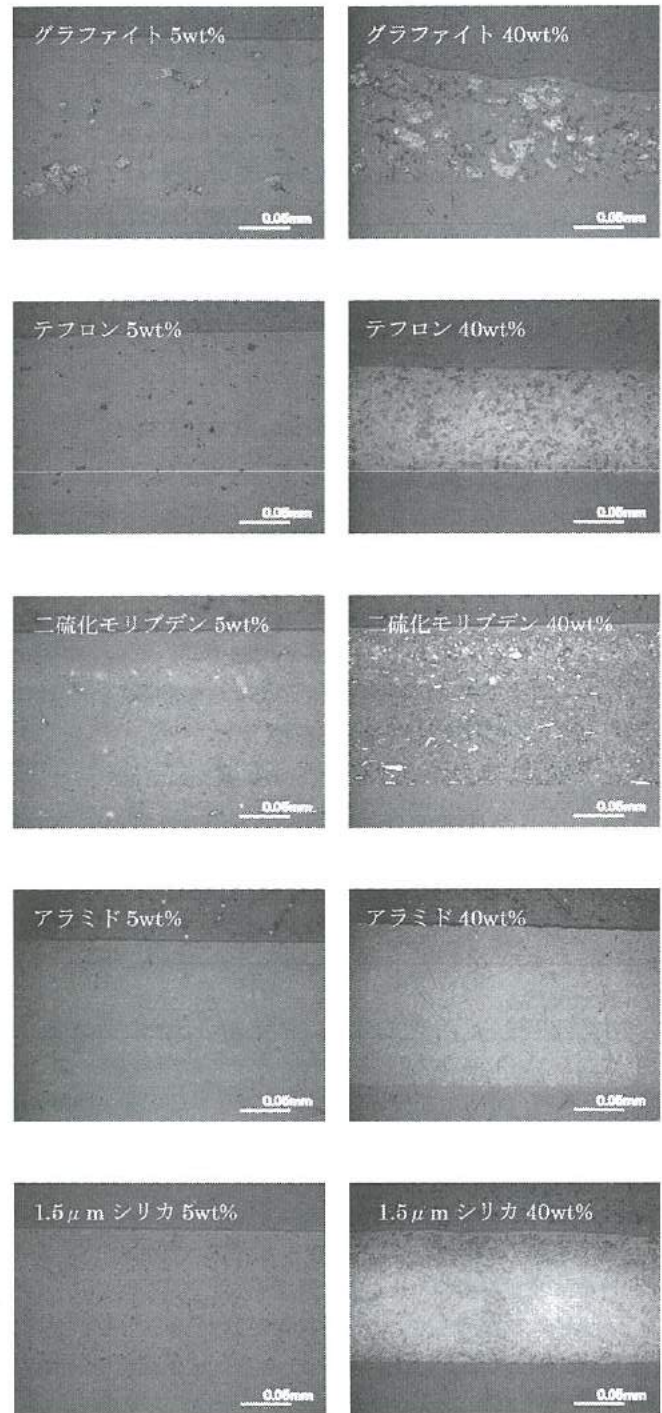


図7 各種添加剤を配合した PAI 複合材の断面  
Fig.7 The cross section of composite materials with various materials added to PAI.

粒径がほぼ同じであるにもかかわらず、表面処理のないシリカを配合した場合(表4、平均粒径 10-15nm のシリカの場合)のような過剰な磨耗は起こらず、粒径 1.5 $\mu$ m のシリカと同程度の平均摩擦

表4 シリカの粒径による平均摩擦係数  
及び比磨耗量への影響

Table4 Effect of coefficient of average friction and  
abrasion rate by particle size of silica.

添加剤	添加量 (wt%)	平均摩擦係数	比磨耗量 Vs ( $\times 10^{-6}$ mm <sup>3</sup> /Nm)	備考
シリカ (平均粒径10 $\mu$ m)	5%	0.048	0.14	
	10%	0.057	0.56	
シリカ (平均粒径0.1 $\mu$ m)	5%	0.068	10.09	
	10%	0.073	—	過剰に磨耗
	20%	0.085	—	過剰に磨耗
	40%	—	—	過剰に磨耗
シリカ (平均粒径10-15nm)	5%	0.082	8.91	
	10%	0.078	—	過剰に磨耗
	20%	0.083	—	過剰に磨耗
	40%	0.079	—	過剰に磨耗

表5 シリカの表面性状による平均摩擦係数  
及び比磨耗量への影響

Table5 Effect of coefficient of average friction and  
abrasion rate by surface properties of silica.

添加剤	添加量 (wt%)	平均摩擦係数	比磨耗量 Vs ( $\times 10^{-6}$ mm <sup>3</sup> /Nm)
シリカ (平均粒径12nm)	5%	0.054	1.26
疎水性表面処理品	10%	0.060	1.01

係数、比磨耗量 Vs を示した(表3 参照)。このことから、配合剤の分散性や樹脂との接着性が磨耗性能に大きく影響を与えることが明らかとなった。

#### 4. 結言

ススオイル環境下の金属部品の摺動部においても耐磨耗性に優れる材料の開発を目的に、熱可塑性樹脂ベースの複合材料について検討を行い、以下の知見が得られた。

- ① 耐磨耗性材料のベースとなる熱可塑性樹脂としては、融点の高い PEEK、PPS、PAI などが有効であることがわかった。
- ② PAI をベース樹脂に使用した場合、多くの種類の添加剤で摩擦係数及び比磨耗量の低減効果が認められた。
- ③ PAI にシリカを添加したものに関しては、平均摩擦係数、比磨耗量ともに安定的に低減できることがわかった。特に比磨耗量については市販摺動材と同等以上の性能が得られた。
- ④ 添加剤粒子の分散性や樹脂-添加剤界面での接着性が摩擦磨耗性能に大きく影響を与えることがわかった。
- ⑤ 今後は長期間の使用を想定した試験条件での評価が必要である。

#### 文 献

- (1) 伊保内賢編; プラスチック活用ノート三訂版, (工業調査会) p.126 (1998)
- (2) 木村好次, 野呂瀬進監修; 普及版トライボロジーの解決と対策, (テクノシステム), p.110 (2003).
- (3) ソルベアドバンストポリマー社 トーロン成形ガイド



# IV. CAE による仮想振動試験の 信頼性評価への適用

## Application of Virtual Vibration Testing Based on CAE Technology for Reliability Evaluation

細川 修宏      澤田 修平      釣谷 浩之  
*HOSOKAWA Nobuhiro    SAWADA Shuhei    TSURITANI Hiroyuki*  
金森 直希      杉森 博      佐山 利彦  
*KANAMORI Naoki    SUGIMORI Hiroshi    SAYAMA Toshihiko*

### Abstract

Reliability for vibration loading is one of the most important problems for industrial products such as automotive parts. Many manufactures such as automotive parts suppliers have been carried out many vibration tests for the evaluation of the reliability. However, it takes a lot of time and cost to make prototype models of the products via many cycles of vibration tests. In this work, virtual vibration tests based on CAE technology is applied to minimize the cycles of vibration tests. Appropriate simulation models were developed by comparing simulation results to the data of vibration tests, and applied to two kinds of products. In the first object of a power supply, a detailed FEM model, which contains some components such as PCB, Al cooling plate, screws, and leads, well agreed with the actual vibration response to the higher frequencies. In addition, further detailed FEM model enabled us to evaluate the fatigue lifetime of solder joints by frequency response analysis. In the second object of plastic grip for motorcycles, the analysis model demonstrated first and second vibration mode precisely, and the results of both frequency response analysis and endurance vibration tests showed that the grip has enough fatigue strength under the region of the resonance frequency.

### 1. 緒言

現在、自動車用部品などを中心として、振動負荷に対する厳しい信頼性が求められている。製品開発過程においては、信頼性を保証するために、実製品や構造モデルの振動試験による信頼性評価が広く行われている。しかし、製品に問題が発見された場合には、問題が解決するまで設計や試作、振動試験を繰り返す必要があり、大きな時間とコストが費やされる。そこで、本研究では、CAE 技術を用いて仮想的な振動試験を実施し、信頼性評価への適用を試みる。すなわち、設計の段階で CAE 技術を用いた仮想的な振動試験を実施し、製品の試作と実際の振動試験の回数を最小限度とする信頼性向上技術の開発を行う。具体的には、CAE 技術を用いて、固有値解析や周波数応答解析などの振動解析を行うことで、試作前の段階で製品の振動特性の予測を試みる。今回は、研究対象として 2 種類の異なる製品を選択した。一つは、電子基板上に多数の電子部品が実装された電源、もう一つは、樹脂で一体成型された自動二輪車用のグリップである。

### 2. 振動試験による信頼性評価

製品の振動負荷に対する信頼性を保証するために、振動試験が

広く行われている。振動試験は、大きく次の 2 つに分けられる。一つは、製品の共振状態を確認するための試験、もう一つは、製品の振動負荷に対する耐久性を確認するための耐久試験である。製品には、その形状や物性によって決まる固有の共振周波数が存在する。共振点付近の周波数で製品を加振した場合、共振により製品は加振加速度より大きな加速度で振動する。このため、製品の共振点が、実際の使用環境で想定される振動の周波数範囲内に存在しないように、製品を設計することが必要である。実際に共振点を確認する際には、振動周波数を一定の範囲で、時間とともに連続的に変化させるスイープ試験を行うことが一般的である。

耐久試験では、製品に長時間の振動を加え、製品の破損の有無によって製品の振動負荷に対する強度を評価する。耐久試験では、一定の周波数で製品を振動させる試験に加え、広い周波数範囲での強度を確認するために、長時間のスイープ試験やランダム波試験も行われる。製品開発では、このように長時間の耐久試験により製品の強度を確認する必要があるため、耐久試験において問題が発見された場合には、設計、試作、振動試験を繰り返すことになるため、製品の開発には、非常に大きな時間とコストが費やされている。

### 3. CAEによる振動解析の適用

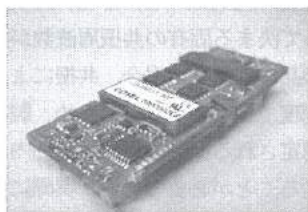
CAEによる振動解析では、固有値解析によって製品の共振点を求めることができる。また、周波数応答解析によって、各周波数での製品各部に発生する応力を求めることが可能であることから、製品の振動負荷に対する強度を推定することができる。このように、実際の振動試験における、共振点の確認を固有値解析に、耐久試験を周波数応答解析に置き換えることで、製品の試作と振動試験を行う前に、設計段階における問題点のいくつかを修正することが可能となる。ある程度まで、振動試験をCAEによる振動解析で置き換えることが可能になれば、実際の振動試験は、最終的な確認のごく少ない回数に減らすことが期待できる。

しかし、現実的な計算量で、実際の振動試験の状態を再現するためには、実際の製品を良く近似した解析モデルが必要である。形状や材質の近い類似の製品の解析モデルが無い場合や、全く新しい設計の製品にCAEによる解析を適用する際には、まず、実際の振動試験をよく再現する解析モデルを開発する必要がある。

### 4. 電源基板への適用

#### <4.1> 振動解析モデル

一つ目の対象である電源に対する適用例について述べる。対象となる電源本体は、図1に示すオンボードタイプのDCDCコンバータである。基板には、層状に絶縁体とパターンを積み重ねた多層基板を使用している。また、この電源には放熱性を高めるためにアルミプレートが取り付けられている。基板の外形寸法は約20mm×約60mm×約2mmであり、アルミプレートの外形寸法は約35mm×約60mm×約1.5mmである。加えて、この電源はさらに大きな取付基板に実装した状態で使用する。試験および解析を行う上では、使用環境を想定した振動特性の確認を行うため、電源取付基板に電源本体を実装した状態で試験および解析を



(a) DCDCコンバータ  
(a) DC-DC Converter



(b) アルミプレート取り付け  
(b) Aluminum cooling plate

図1 試験対象の電源

Fig.1 A power supply for vibration analysis

表1 ランダム振動試験の試験条件

Table.1 Testing conditions of random wave vibration test

項目	値
パワースペクトラム密度	0.001G <sup>2</sup> /Hz
周波数範囲 上限	1000Hz
周波数範囲 下限	100Hz

行った。

対象物は、次の5つの部材で構成されている。

- (a) 電源本体
- (b) アルミプレート
- (c) 電源取付基板
- (d) (a)と(b)を接続するネジ部
- (e) (b)と(c)を接続するリード

図2は、解析モデルを示す。振動解析モデルは、簡易で、しかも実態を正確に表すことができるものが望ましいが、本章の対象物は、このように多種多様な部材で構成される複合体であるので、次の2種類のモデルを作成した。

#### (1) 簡易モデル

図2(a)に示すように、アルミプレートを省略し、電源基板、電源取付基板、およびリードのみで構成されるFEMモデルである。アルミプレートおよびネジ部の質量および剛性は、電源基板に付加することで調整した。

#### (2) 詳細モデル

図2(b)に示すように、電源基板、電源取付基板、リード、アルミプレート、およびネジ部の全てをFEMモデル化したものである。

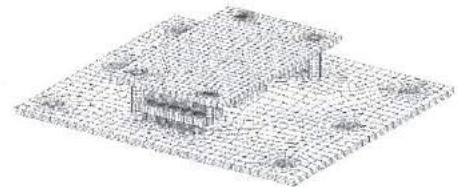
また、解析には、MSC社の非線形構造解析ソフト Marc およびプリポスト処理ソフト Patran を使用した。

#### <4.2> 共振周波数によるモデルの評価

まず、これらのモデルを用いて得られる共振周波数を評価するために、実際に振動試験を行って共振周波数の計測を行った。振動試験ではランダム振動試験を実施した。表1は、その試験条件



(a) 簡易モデル  
(a) Simple model



(b) 詳細モデル  
(b) Detailed model

図2 電源のFEMモデル

Fig.2 FEM models for the power supply



を示す。試験体の振動特性に影響を与えないように振動状態の測定には非接触での測定が可能なレーザドップラ振動計を用いて物体の速度を計測した。なお、振動試験機は、EMIC 社製 F-16000BDH/SLS16、またレーザドップラ振動計は、GRAPHTEC 社製 AT3400 を使用した。本試験では、試験より得られた応答特性の結果から FFT 解析(高速フーリエ変換)を実施し、伝達関数を算出することで共振周波数を求めた。図3は、得られた伝達関数の一例を示す。

最初に、簡易モデルを用いた固有値解析の結果について述べる。表2は、解析結果と振動試験結果から得られた共振周波数を示す。1次モードおよび2次モードの共振周波数は、近い値は得られたが正確には一致しなかった。また、解析では3次モードの共振を表現できなかった。これらの差が生じた原因は、省略したアルミプレートの剛性や、ネジ部の構造が直接には考慮されておらず、特に高次の振動モードに影響を与えているためであると考えられる。共振周波数をより実験結果と近い値にするためには、より詳細なモデル化が必要である。

次に、詳細モデルを用いた固有値解析の結果について述べる。まず、1次から3次モードに至るまで、解析と実験の共振周波数は、比較的近い値となった。さらに、この詳細モデルを用いて周波数応答解析を行い100Hz から1000Hz の範囲での速度の周波数特性を求めた。この結果と試験結果との比較により次の結果が得られた。第1に、1次および3次モードについては、共振周波数および速度値は、実験をよく再現している。しかし、2次モードにおいては、の共振周波数付近では速度値の差が大きく、2次モードに関するモデル化が、まだ不十分である。

#### < 4. 3 > 応力評価のためのモデル化

10Hz から150Hz の周波数範囲でのスイープ耐久試験による強度評価を行うためのモデル作成を行った。この周波数範囲においては、簡易モデルを用いた周波数応答解析においても、速度値と振動試験結果との差異が小さかったことから、応力評価のモデルには簡易モデルを用いた。

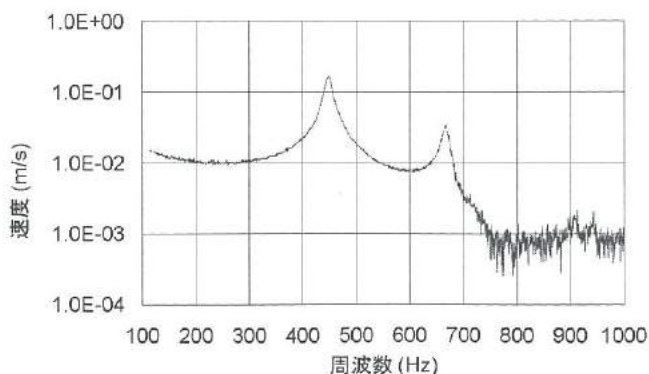


図3 電源の伝達関数の一例

Fig.3 A transfer function of the power supply

周波数応答解析から応力分布を求め、振動時に応力が大きい箇所を特定した。図4は、周波数応答解析によって得られた相当応力の分布を示す。応力が大きい箇所は電源基板と電源取付基板とを接続するリードの端部である。この箇所は、はんだ接合部が形成されている部分であるが、簡易モデルでは、はんだ接合部まではモデル化していない。そこで、最も応力値が高くなると推定されるはんだ接合部のみを、簡易モデルにおいて詳細にモデル化し、応力評価に用いた。

#### < 4. 4 > スイープ耐久試験を想定した寿命評価

スイープ耐久試験を想定したはんだ接合部の寿命評価を行った。寿命評価には解析から得られる相当応力値が必要となるため、新たに作成したはんだ接合部モデルを用いて周波数応答解析を実施した。スイープ耐久試験の条件は、周波数範囲：10Hz から150Hz、およびスイープ速度：片道90秒(往復180秒)とした。解析の結果、はんだ接合部とリードとの境界部に応力が集中しており、この箇所の相当応力は、150Hz のときに最大値0.697MPaであった。

解析で得られた相当応力を用いて以下の方法で寿命評価を試みた。Coffin-Manson 則によって応力 $\Delta\sigma$ と疲労寿命 $N_f$ の間には以下の関係式が成り立つ。

$$N_f (\Delta\sigma)^\alpha = C \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma$ は1サイクル当たりの応力振幅、 $\alpha$ および $C$ は定数

表2 振動試験と固有値解析の比較

Table.2 Comparison between vibration test and eigenvalue analysis

振動モード	共振周波数(Hz)		
	振動試験	固有値解析	
		詳細モデル	簡易モデル
1次モード	446	437	405
2次モード	668	679	658
3次モード	908	916	

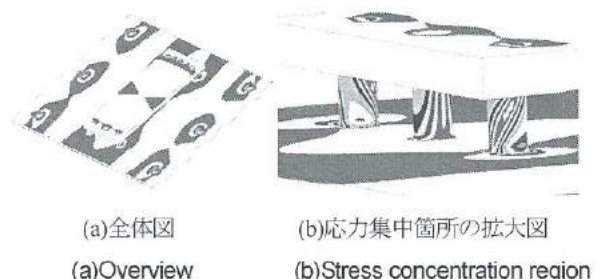


図4 周波数応答解析による相当応力の分布

Fig.4 Equivalent stress distribution of the PCBs by frequency response analysis

表3 破壊までのスイープ時間の推定値

Table.3 Estimation of sweep time to failure

加振加速度(m/s <sup>2</sup> )	スイープ回数	スイープ時間(hr)
9.8	1.1×10 <sup>12</sup>	2.9×10 <sup>10</sup>
49	2.6×10 <sup>7</sup>	6.63×10 <sup>5</sup>

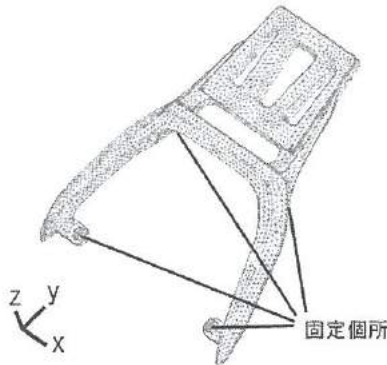


図5 解析モデル

Fig.5 The analysis model of the plastic grip

である。ここで、1サイクルあたりの損傷量 $D$ を次式で定義すると、

$$D = 1/N_f \quad (2)$$

式(1)は、次の様になる。

$$D = C(\Delta\sigma(f))^n \quad (3)$$

ここに、 $n$ および $C$ は定数である。また、線形スイープを想定すると、1スイープあたりの損傷量 $D_{total}$ は次式で表わされる。

$$D_{total} = \frac{1}{A} \int_{f_s}^{f_e} D \cdot f df \quad (4)$$

ここに、 $A$ はスイープ速度、 $f_s$ および $f_e$ は、各々最小、最大の周波数を表す。さらに、線形累積損傷則を適用し、 $D_{total}$ の総和が1以上になるスイープ回数を算出した。表3は、破壊に至るまでのスイープ時間の推定値を示す。加速度49m/s<sup>2</sup>でスイープ耐久試験を実施した時のはんだ接合部の寿命は6.63x10<sup>5</sup> hrと評価され、現実的には疲労破壊の可能性はないことがわかった。

## 5. 樹脂成型品への適用

### <5.1> 振動解析モデル

次に、CAEを用いた仮想振動試験の樹脂成型品への適用を試みる。本章で用いる樹脂成型品は、自動二輪車の後部座席付近に取り付けられる樹脂製のグリップである。まず、この製品に対して仮想振動試験を実施するための解析モデルを作成した。図5は解析モデルを示す。サーフェイスで構成されるCADデータを基に、解析モデルを作成した。製品の材質はガラス繊維33%含有のポリアミド樹脂(PA)であり、弾性材と仮定し、材料物性値は、

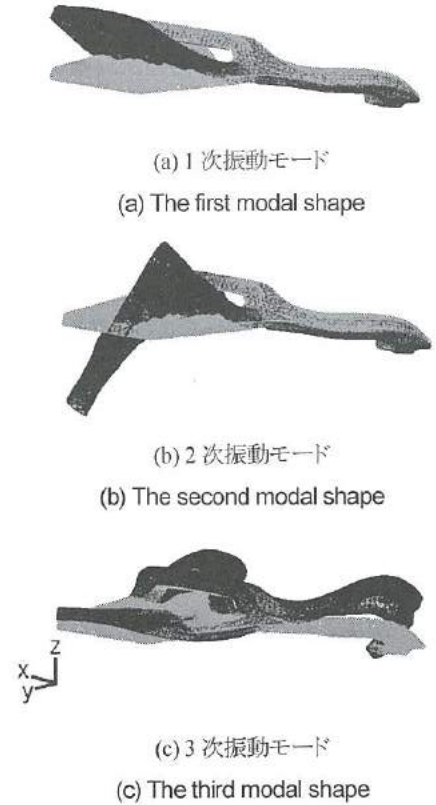


図6 固有値解析による振動形状

Fig.6 Modal shapes by eigenvalue analysis

縦弾性係数 5335MPa、ポアソン比 0.41、密度 1.39g/cm<sup>3</sup>とした。実際の固定状態に合わせて、ボルト止めされる4ヶ所に拘束条件を設定した。

### <5.2> 共振周波数によるモデルの評価

図5に示す解析モデルを用いて固有値解析を行い共振周波数をスイープ振動試験の結果と比較した。図6は、固有値解析によって求められた1次~3次の振動モードにおける振動形状を示す。静止状態での形状をグレーで、振動時の特徴的な形状を黒で示す。(a)の1次モードはZ方向の片持ちばり的な振動、(b)の2次モードはY軸まわりのねじれ振動、(c)の3次モードはZ方向の高次の振動である。各振動モードでの共振周波数は、1次=111.9Hz、2次=201.7Hz、および3次=268.0Hzであった。

次に、実際のグリップを用いてスイープ試験を行い共振周波数を計測した。スイープ試験の周波数範囲は、10~300Hzとし9.8m/s<sup>2</sup>の加速度で、片道20秒のスイープを行った。図7は、グリップの振動試験状況を示す。グリップは固定治具を介して、振動試験機に固定されている。グリップの先端に近い個所に加速度センサーをネジ止めし、加速度の応答を測定した。図8は、スイープ試験によって得られた、グリップの周波数応答を示す。図より1次から3次までの共振点を確認できる。





図7 樹脂製グリップの振動試験

Fig.7 Plastic grip loaded by vibration tests

表4 解析と振動試験の共振周波数比較

Table.4 Compare of resonance frequencies between eigenvalue analysis and vibration test

	振動試験	振動解析
1次モード	111.8	111.9
2次モード	199.6	201.7
3次モード	252.0	268.0

そこで、固有値解析およびスイープ試験で得られた共振周波数を比較した。表4は、1次から3次までの共振周波数を比較したものである。1次および2次の共振周波数は振動試験と解析結果がほぼ一致しており、今回作成した解析モデルが、2次の共振点付近までは、実際の製品を良く近似していることがわかる。

<5. 3>スイープ耐久試験を想定した疲労強度評価

<5. 3. 1>PA材の疲労強度データの取得

周波数応答解析の結果から、耐久試験の結果を予測するためにグリップの材質と同じPAの疲労強度データを取得し、S-N曲線を作成した。疲労試験は、鷲宮製作所製油圧サーボ疲労試験機 Model2420(FT-5)を使用し、周波数20Hzで実施した。

その結果、図9に示すS-Nカーブが得られた。図から応力振幅が65.7MPa以上の場合は、20600サイクル以下の短い疲労寿命で破断しているのに対して、63.4MPa以下では、 $4.4 \times 10^6$ サイクル以上の疲労寿命があり、63.4MPa~65.7MPaの間で疲労強度が極端に変化する材料であることがわかる。すなわち、63MPaあたりに実質的な疲労限が存在する材料であることが分かった。

<5. 3. 2>周波数応答解析による応力および疲労強度評価

次に、製品に発生する応力を周波数応答解析によって求め疲労強度評価を行った。解析は、 $29.4\text{m/s}^2$ の加速度が製品の上下方向に加わったものとして計算を行った。図10は、周波数応答解析による1次の共振周波数に近い110Hzにおける相当応力の分布の

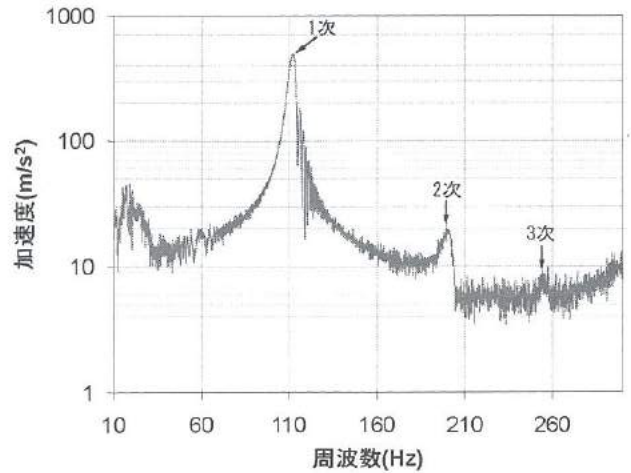


図8 スイープ試験による周波数応答

Fig.8 Frequency response by sweep vibration test

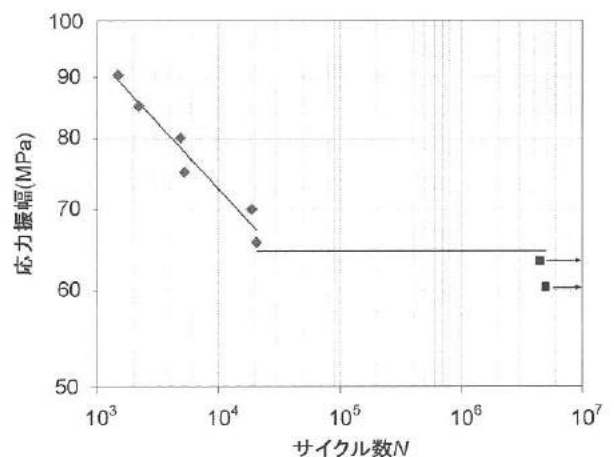


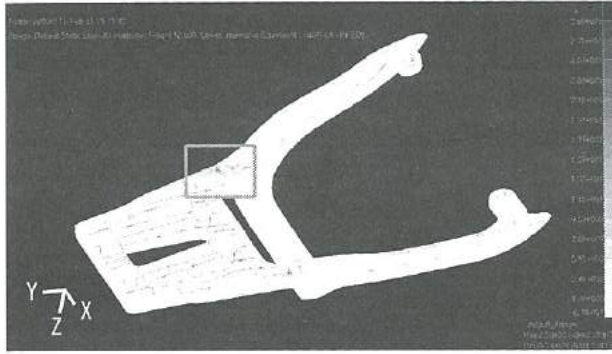
図9 使用したPA材のS-N曲線

Fig.9 S-N Curve of the present PA material

例を示す。(a)は製品の全体を表示したもの、(b)はボルト固定部分を拡大したものである。これより、ボルト固定部付近が最も高い応力レベルにあることが分かる。また、図11は、ボルト固定部付近での各周波数における相当応力値の変化を示す。1次共振点付近では、最大で、27MPaの相当応力が発生するが、共振点以外の領域では、相当応力は2MPa以下である。図9に示すS-Nカーブと比較すると、共振点付近で使用しない限りは、十分な疲労強度を有する製品であると推測できる。

<5. 3. 3>耐久振動試験との比較

共振点以外では、十分な疲労強度を有することを確認するために、実際の製品に対して、一定周波数での耐久振動試験を実施した。試験は、JIS D 1601 自動車部品振動試験方法に準じて実施した。試験条件は、振動周波数が33Hz、振動加速度が $30\text{m/s}^2$ 、 $70\text{m/s}^2$ 、



(a) 全体  
(a) over view.



(b) ボルト固定点拡大  
(b) Close up of fixed region

図 10 製品の相当応力の分布

Fig.10 Equivalent stress distribution in plastic grip by frequency response analysis

および  $110\text{m/s}^2$  の 3 種類の条件で、各 4 時間の耐久試験を行った。この耐久試験の結果、いずれの加速度においても製品の破損は見られず、実際の製品においても、この条件においては十分な疲労強度を有することが確認できた。

最後に、振動による破壊箇所を確認するために、製品の破壊試験をスイープ試験により行った。スイープ試験の周波数は、1 次の共振点をまわぐ  $10\text{Hz}\sim 150\text{Hz}$  とし、共振点付近では、 $65.7\text{MPa}$  を超える十分な応力が発生するように、加速度を  $98\text{m/s}^2$  と設定した。ただし、 $10\text{Hz}\sim 20\text{Hz}$  の周波数範囲では、全振幅が装置の限界近くまで大きくなるため、全振幅を  $12\text{mm}$  に制限して試験を行った。その結果、3 時間の振動試験を実施したところで、図 12 に示すように製品に埋め込まれている、ボルト固定用の金具が樹脂成型部分から抜け始めていることが確認された。樹脂部分が破損する前にインサート金具が樹脂成型部から抜けてしまう結果となったが、この部分は、周波数応答解析によって最も応力レベルが高い領域であるので、十分想定しうる現象であるといえる。

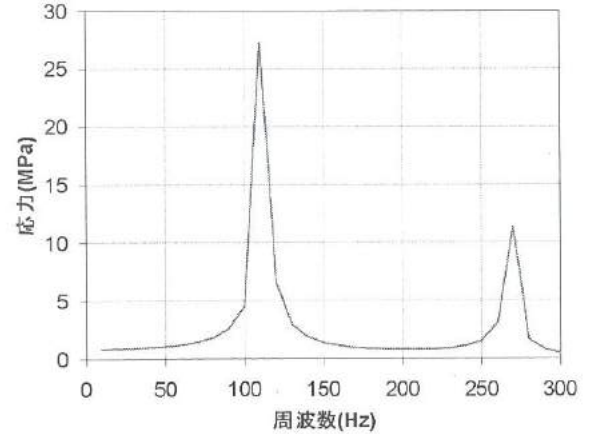
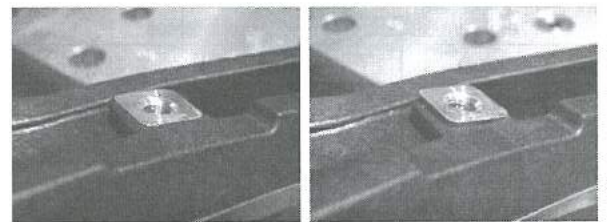


図 11 ボルト固定点付近の相当応力

Fig.11 Frequency response of equivalent stress at the fixed point



(a) 試験前  
(a) Initial state  
(b) 試験後  
(b) After endurance sweep test

図 12 スイープ試験による固定金具部付近の確認状況

Fig.12 Failure of fixing bracket region by endurance sweep test

## 6. まとめ

本研究では、CAE を用いた仮想振動試験による信頼性評価における解析モデルの開発を、2 つの具体的な製品を例にとり行った。まず、電源を用いた例では、形状を単純化したモデルでは、固有値解析において、現実と良い一致は見られなかったが、電源基板、電源取付基板、リード、アルミプレート、ネジなどの重要な部材を詳細にモデル化することで、基板上の電子部品までモデル化することなく、現実と良く一致する結果が得られた。また、最も応力が大きくなるはんだ接合部を詳細にモデル化することで、振動による疲労寿命予測が可能な解析モデルを作成することができた。自動二輪車用のグリップを用いた例では、固有値解析において 2 次の共振点まで現実と良く一致するモデルを作成することができた。また、周波数応答解析によって求めた応力値を基に、耐久振動試験を行い、応力が十分に小さいと予想される 1 次共振点より低い周波数領域では、現実の耐久試験においても十分な疲労強度を有することが確認できた。



# V. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発

## Development of Autonomous Device for Water Purification by Photocatalyst

新川 翔平 高見 和志 上野 実 寺澤 孝志

NIKAWA Syohei TAKAMI Kazushi UENO Minoru TERASAWA Takashi

本保 栄治 奈須野 雅明 金森 直希 杉森 博

HONBO Eiji NASUNO Masaaki KANAMORI Naoki SUGIMORI Hiroshi

### Abstract

Water pollution has been caused by industrial wastewater, household wastewater and agricultural drainage. In the conventional water purification technology, the pollutant is physically collected, concentrated, and incinerated. However, its method needs large energy and time, so more economical and efficient method is required. Photocatalysis satisfies this demand. However, photocatalytic water purification technology is not so efficient, because material diffusion and convection in the underwater are slower than that in the air, and the pollutant is not able to be efficiently brought to the photocatalyst surface.

In this study, the method for efficient water purification using the photocatalysis was considered and water purification device based on the idea was developed.

First, to improve the efficiency of the water purification, the structure of the device that the solar energy was efficiently obtained was designed. Then,  $\text{TiO}_2$  photocatalytic film was deposited to an acrylic board by sputtering method. The purifying ability of pesticide and methylene blue by  $\text{TiO}_2$  photocatalytic film was confirmed. Last, the small prototype equipped with the photocatalyst film, which autonomously worked by the solar energy, was made.

### 1. 緒言

高度経済成長期、工業の発達によって、生活排水、産業排水が水質を汚染し、また、農薬等の様々な化学物質によって水質汚染が進行した<sup>(1)</sup>。このため、国では環境基準を定め、環境改善に取り組んできた。例えば、農作物用殺虫剤として使用される有機リン系の農薬は、人に対する神経毒性が高い化合物が多く、食品においては ppm オーダの基準値が設定されている<sup>(2)</sup>。従来の水質浄化技術に、これらの農薬を物理的に吸着、濃縮して、焼却する方法がある<sup>(3)</sup>。しかし、こうした方法では汚染された大量の水を処理するために、大量のエネルギーを必要とし、焼却による窒素酸化物、リン酸化合物、硫酸酸化物を含む有毒ガス発生の危険性がある。このため、こうした処理方法に替わる経済的、効率的、かつ安全な水質浄化技術が必要とされている。

この条件を満たす技術として光触媒技術が挙げられる。酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) 光触媒は、水と酸素の存在下で、紫外光 (UV) を受けると強い酸化還元能を示す。これにより分解された物質は、水と二酸化炭素に分解され、前述の有毒な物質を生成せず、安全な技術といえる。また、太陽光の UV を利用出来るため、クリーンなエネルギーで分解することが可能である。

しかし、既存の光触媒による水質浄化方法では、水中での物質拡散が遅く、分解効率が悪いことや、表面積を高める為に粉末状にすると、光触媒の回収、分離が困難となること、また大量の水を浄化する為には、大型の分解施設が必要となり、小規模な池や

沼用には適していないこと等が問題としてあった。本研究では、前述の問題を解決するために、小型で太陽電池により自立稼働する水質浄化浮遊物を開発することとした。

まず、汚水の分解効率を向上させるために、太陽光を最大限に利用出来るよう装置の構造を決定した。次に、アクリル樹脂基板にスパッタリング法を用いて  $\text{TiO}_2$  光触媒膜の成膜を行い、成膜条件の最適化を行った。さらに作成した  $\text{TiO}_2$  光触媒膜に対し、メチレンブルーと農薬による分解実験を行い、その分解効率を確認した。最後に装置を試作し、その動作を確認した。

### 2. 機体構造の検討

光触媒反応による効率的な水質浄化を行うには、浸水した光触媒膜への UV の導光はもとより、酸素の供給が必要である。そのため、ここでは水中の光触媒膜に効率的に UV を導入し、酸素供給可能なモデルを 5 種類検討した。表 1 に各モデルの特徴を示す。

表 1 機体構造モデル案及びその特徴

Table.1 Proposed model and its features

名称	特徴
① クラゲ型	光ファイバで水中に太陽光を導入し表面で分解
② ボート型	船体を透過した太陽光により船底で分解
③ ライト型	水中で UV ランプを照射し分解
④ イカダ型	水没させた反応面で太陽光を受け分解
⑤ 花型	放射状に配置した反応面で太陽光を受け分解

機体構造は、汚水の分解効率の高さ、浮遊物としての安定性などを重視して検討した。①のクラゲ型は、UV を光ファイバにより水中に導入し、光ファイバの側面から UV を漏洩させ、光触媒反応を起こす構造である。これは汚水の分解性には優れるものの、通常の樹脂製光ファイバでは UV は透過しない。また、石英コアの光ファイバでは、破損の際、ガラスが飛散する可能性があり、安全性に欠ける。②のボート型は、シースルーの船体の底部で分解を行う構造である。この場合、構造上 UV は甲板部と船底部の 2 層を透過することとなり、UV を透過する材料を用いても UV の減衰が課題として残る。また、光触媒反応面を大きくするには、船体を大きくする必要があり、転覆の危険性があり安定しない。③のライト型は、水中に UV ライトと光触媒を配置し、太陽光により発電したエネルギーで UV を供給する構造である。これは、いったん太陽光発電でエネルギーを得て、これによって UV を発生させるため、エネルギー効率が悪い。④のイカダ型は、光触媒反応面を水面に対し水平に水没させ、イカダ型の機体で保持するものである。この構造では水中の藻や水草に引っかかり、安定しない懸念がある。⑤の花型は、機体の中心から光触媒反応面を放射状に複数配置し、太陽光の UV を効率的に受光する。ボート型やイカダ型と比較して構造的に安定で、光触媒反応面の拡張、交換が容易に行える構造である。さらに、光触媒反応面の基板に UV 透過型材料を使用することにより、反応面の上面及び下面の両面での分解が可能で、反応効率の向上が期待される。図 1、図 2 に花型モデルの構造を示す。

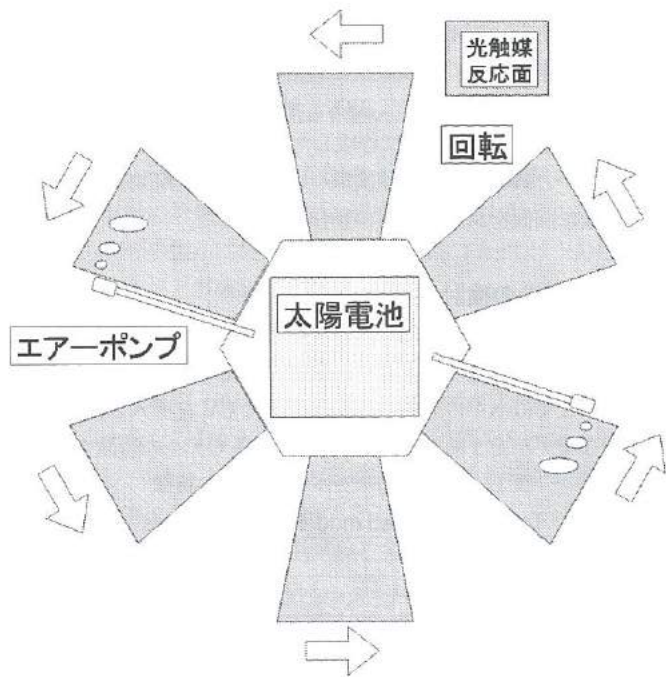


図 1. 花型モデル上面図  
Fig.1. Top view of flower model

以上、5つの案を比較、検討した結果、⑤の花型に装置の構造を決定した。

本構造では、光触媒反応面にエアープンプで気泡を導入し、反応面へ酸素供給を行っている。また、光触媒反応面に傾斜を設け、この下面に沿って気泡が動くとき、気泡の浮力で推進力が発生し、これで機体が回転する。

光触媒反応面には、使用時の環境への配慮から、ガラスは使用せず、加工性と強度を考慮して、アクリル樹脂を使用することとした。また、光触媒反応面には、上面と下面の両方で光触媒反応が起きるよう UV を透過する UV 透過型アクリル樹脂を使用した。

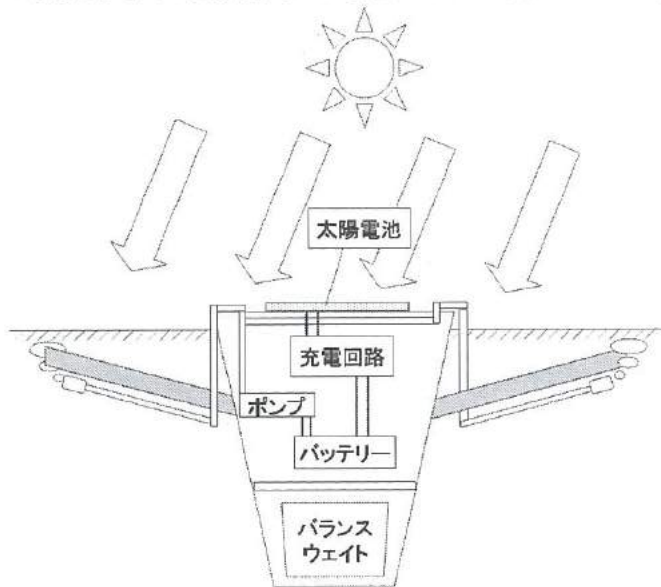


図 2. 花型モデル側面図

Fig.2. Side view of flower model

### 3. 光触媒膜の形成

UV 透過型アクリル樹脂に光触媒膜を形成するため、まず樹脂の特性評価を行った。次に光触媒膜の成膜条件を検討し、最後に樹脂基板上に成膜された  $\text{TiO}_2$  膜の光触媒特性を確認した。以下に各項目について記述する。

#### < 3. 1 > UV 透過型アクリル樹脂の特性確認

実際に樹脂基板への成膜を行う前に UV 透過型アクリル樹脂 (住友化学(株)製 スミペックス 010) の光透過特性を確認した。確認した項目については以下の通りである。

##### (1) UV 透過特性について

$\text{TiO}_2$  の光触媒反応には、波長 360nm の光を必要とする。このため、まず使用する樹脂基板の各波長に対する光透過特性を調べた。光透過特性の確認には、紫外可視分光光度計を用いて透過率の測定を行った。図 3 に一般のアクリル樹脂と UV 透過型アクリル樹脂の各波長に対する光透過率を示す。波長 360nm の光では UV 透過型アクリル樹脂の光透過率は 90% となり、一般のアクリル樹脂の透過率 4% と比較して十分 UV を透過している。



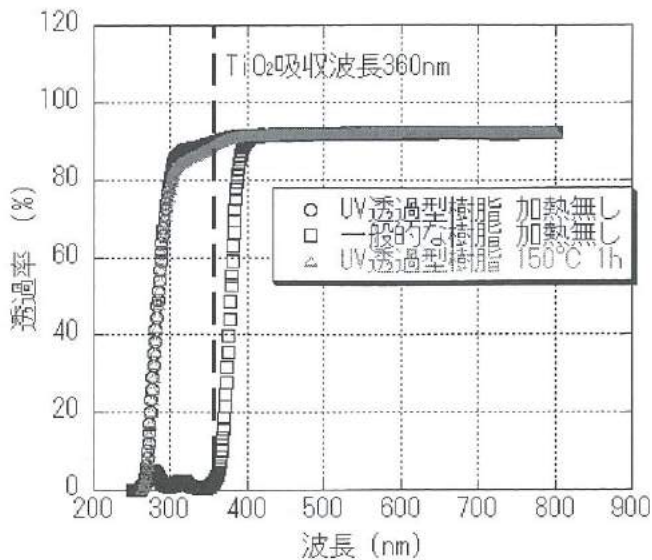


図3. 透過率の比較

Fig.3. Comparisons of transmissivity

(2) 樹脂基板の厚さとUV透過特性について

水質浄化浮遊物の機械的強度には樹脂基板の厚さが影響する。このため樹脂基板の厚さによるUV透過特性の変化を測定した。表2に樹脂基板の厚さ3、6、9mmに対する光透過率の測定結果を示す。表より3mmごとに透過率が8%ずつ減少しているのが分かる。

表2 UV透過型アクリル樹脂の透過率

Table.2 Transmissivity of UV-transparent acryl resin

樹脂の厚さ	3mm	6mm	9mm
光透過率(波長 360nm)	90%	82%	74%

(3) 耐熱性について

成膜を行う際に用いるスパッタリング法の成膜条件では、基板に熱をかけないが、プラズマの熱により基板は100°C程度まで上昇する。そこでUV透過型アクリル樹脂に150°Cの熱を1hかけた後の透過率を測定した。図3に結果を示す。加熱後も波長360nmの透過率が89%と加熱前の透過率とほぼ変わらない結果となった。

これらの結果からUV透過型アクリル樹脂の光透過特性は水質浄化浮遊物に用いる分には十分であると判断し、以後の実験を進めた。

< 3. 2 > UV透過型アクリル樹脂へのTiO<sub>2</sub>成膜

TiO<sub>2</sub>の結晶構造はルチル型、アナターゼ型、ブルッカイト型の3種類に分類される。このうちルチル型とアナターゼ型の結晶構造の模式図を図4に示す。これらの結晶構造の中で最も光触媒活性の高い構造はアナターゼ型である。そのため本研究では樹脂基板上にこのアナターゼ型のTiO<sub>2</sub>膜を成膜することとした。

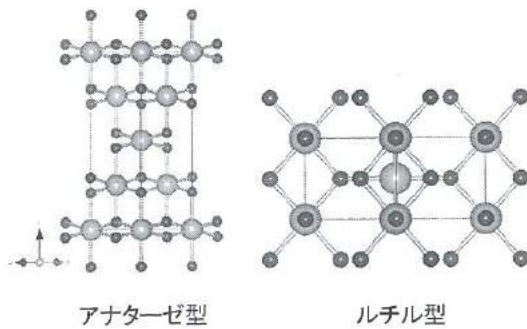


図4. TiO<sub>2</sub>の結晶構造

Fig.4. Crystal structures of TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>膜の成膜には、一般のアクリル樹脂やポリカーボネート樹脂への成膜方法<sup>(4)</sup>を用いた。成膜条件は、ターゲットに金属チタン(Ti)を用い、導入ガスの分圧比Ar:O<sub>2</sub>=2:3、スパッタリング時の全圧8.2mTorr、電力密度4.5W/cm<sup>2</sup>、スパッタリング時間を3時間とした。このときのTiO<sub>2</sub>膜の膜厚は100nmであった。基板の処理として、スパッタリング前に酸素プラズマによる樹脂基板表面の親水処理を行った。これは、基板への密着性の向上を意図したものである。成膜後の徐冷なしの膜の状態を図5(a)に示す。スパッタリング直後は、基板表面が100°C程度となっており、急冷すると樹脂基板と膜の熱膨張率の違いからTiO<sub>2</sub>膜にひび割れが発生した。このため、スパッタリング後、徐冷を行うこととした。スパッタリング後、徐冷を行ったものは、図5(b)に示すように割れが認められず、均質な膜が得られた。

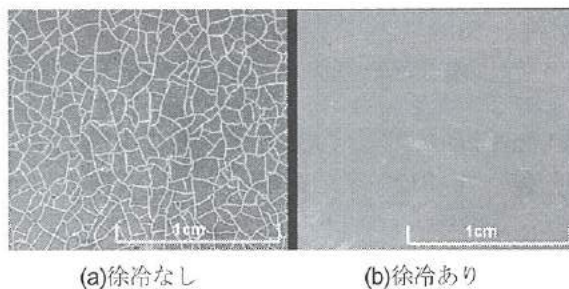


図5. 成膜後の膜の状態  
Fig.5. Condition of TiO<sub>2</sub> films

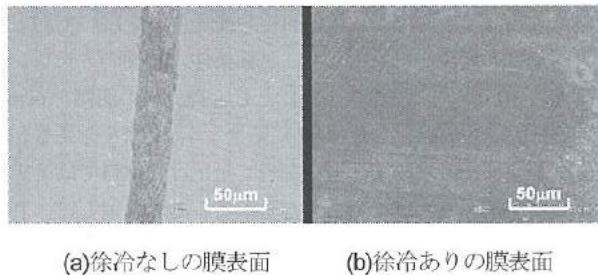


図6. 徐冷による膜表面の違い

Fig.6. Difference between cooled film and film without the slow cooling

### < 3. 3 > 成膜された TiO<sub>2</sub> の特性

成膜後の TiO<sub>2</sub> の各特性を以下のとおり確認した。

#### (1) 膜質の確認

TiO<sub>2</sub> 膜表面の SEM 観察写真を図 6 に示す。図 5(a) で示した徐冷なしの場合の亀裂幅は数十 μm であり、徐冷を行った場合にはこのような亀裂は全く見られなかった。この結果から徐冷の効果が確認できた。

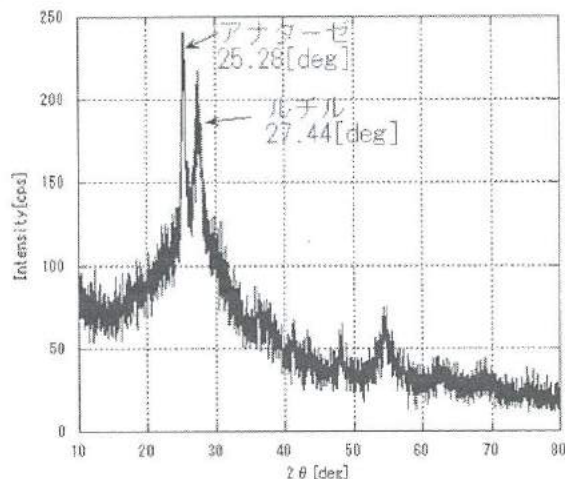


図 7. XRD による TiO<sub>2</sub> 膜の構造解析  
Fig.7. Structural analysis of TiO<sub>2</sub> film

次に X 線回折 (XRD) による結晶構造の確認を行った。図 7 にその結果を示す。光触媒反応を起こすアナターゼ型の結晶構造はできているものの、同時にルチル型の結晶構造も含まれていることが分かる。これは成膜中に基板温度が上がり、表面が軟化するため、ルチル構造の結晶も成長したものと推察される。

#### (2) 光触媒反応の確認

成膜した各 TiO<sub>2</sub> 膜において光触媒作用の評価を行った。ここでは、JIS 規格 (JIS R1703-2) で規定されているメチレンブルーの分解によって評価した。以下に、試験方法を述べる。メチレンブルー水溶液中に TiO<sub>2</sub> 膜を付けた基板を投入し、UV を照射すると、TiO<sub>2</sub> の光触媒反応によりメチレンブルーが分解される<sup>(5)</sup>。その後、随時メチレンブルーの濃度を測定することで分解量を見積もることとした。なお濃度測定の方法については、メチレンブルーの吸収波長 655nm の透過率を、紫外可視分光光度計を用いて測定し、濃度と透過率の関係から算出した。試験条件は初期のメチレンブルー濃度を 10 mg/L、液量を 10mL とし、TiO<sub>2</sub> 膜の面積を 6cm<sup>2</sup>、UV 強度を 0.3mW/cm<sup>2</sup> とした。図 8 に結果を示す。図 8 を見ると、まずメチレンブルー水溶液に UV を当てただけの試料ではメチレンブルーが分解されていないことが分かる。これに対して、TiO<sub>2</sub> 膜の付いたガラス基板及び樹脂基板を投入したものはメチレンブルーの濃度が下がり、分解されていることが分かる。これらから TiO<sub>2</sub> が光触媒反応を起こしていることを確認できた。またガラス基板と樹脂基板を比較すると、樹脂基板上に成膜した TiO<sub>2</sub> の方

が高い分解効率を示した。

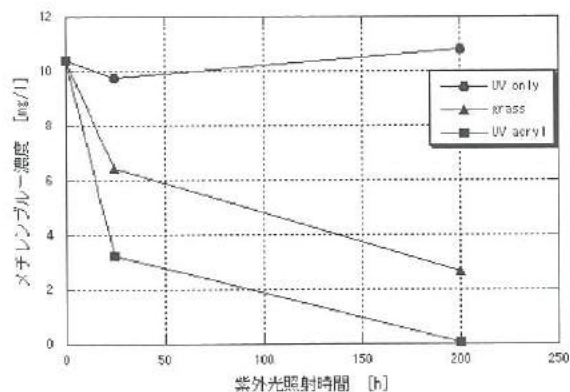
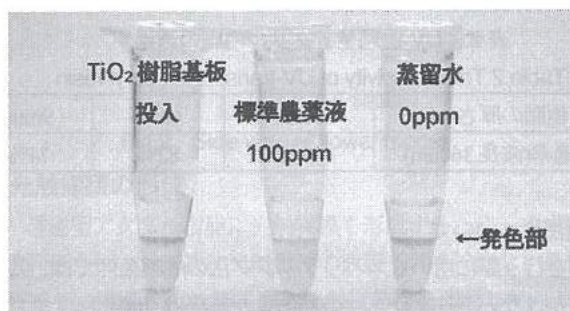


図 8. TiO<sub>2</sub> によるメチレンブルーの分解  
Fig.8. Decomposition of methylene blue

### 4. 光触媒による分解実験及び結果

成膜した TiO<sub>2</sub> 膜を用いて実際のターゲットである農薬の分解を行った。この試験には、一般的でかつ広く普及している殺虫剤 (住友化学(株)製スミチオン) を用いることとした。ここでは光触媒反応によるスミチオンの主成分、フェニトロチオンの分解状況を調べた。フェニトロチオンは環境省の定めるゴルフ場暫定環境指針において濃度 30ppm 以下と定められているため、その濃度を参考にフェニトロチオン 100ppm を標準農薬液と定めた。分解条件は、液量を 30mL、TiO<sub>2</sub> 膜の面積を 6cm<sup>2</sup>、UV の強度を



(a)



(b)

図 9. TiO<sub>2</sub> による農薬の分解  
Fig.9. Decomposition of pesticide



0.3mW/cm<sup>2</sup>として一週間放置し、分解試験を行った。分解の判定には残留農薬検査キット（マイクロ化学技研(株)製アグリケム）を用いた。アグリケムのフェニトロチオンに対する検出限界は0.04ppmであり、それ以下の濃度であれば青く発色する特性がある。ここではこの特性によって農薬の分解を確認した。図9に、分解試験後、溶液を残留農薬検査キットに採取した結果を示す。図9(a)は、左が標準農薬液（100ppm）にTiO<sub>2</sub>膜付UV透過型アクリル樹脂基板を投入したもの、中央が標準農薬液（100ppm）のみのもの、右が農薬の入っていない蒸留水(0ppm)である。図9(b)の左は、農薬の入っていない蒸留水(0ppm)、右が標準農薬液（100ppm）にTiO<sub>2</sub>膜付ガラス基板を投入したものである。図9より、TiO<sub>2</sub>膜付UV透過型アクリル樹脂基板及びTiO<sub>2</sub>膜付ガラス基板を投入した溶液は、蒸留水(0ppm)と同じ程濃く発色し、標準農薬液のみは発色しないことが判った。これより、標準農薬液（フェニトロチオン濃度 100ppm）が光触媒反応により、一週間で0.04ppm以下まで分解されたことが確認できた。またTiO<sub>2</sub>膜付UV透過型アクリル樹脂基板とTiO<sub>2</sub>膜付ガラス基板の差異は見られず、双方とも良好な光触媒反応を示した。

## 5. 自立型水質浄化浮遊物の設計・試作

### < 5. 1 > 推進部傾き最適条件

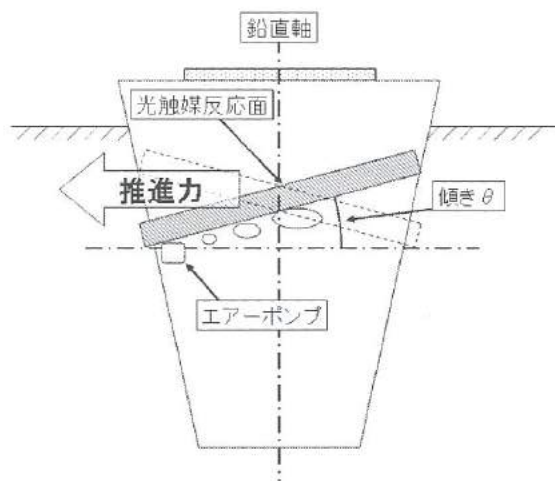


図10. 空気排出による推進機構概要  
Fig.10. Driving mechanism by air exhaustion

光触媒の分解効率を上げるためには、光触媒反応面に接触する水量を多くする必要がある。光触媒反応面の面積を広くすれば可能であるが、成膜装置の大きさやコストの制約があるため限界がある。このため、反応面に水の流れをつくり、単位時間当たりの接触水量の増加をねらった。即ち、装置に回転運動を与え、絶えず新しい水と接触させることとした。本装置では、鉛直軸に対して対称に配した一対の光触媒反応面に傾きをもたせ、この面に沿って、気泡が動くことで、回転運動が発生している。光触媒反応

面の傾きが装置の回転速度に影響し、これが、光触媒反応の効率にも影響するものとする。このため、装置の回転速度が最も大きくなる条件を求めることとした。

推進部を簡略化すると、図10に示すように装置の推進力は光触媒反応面の傾きと、エアープンプの排気量、光触媒反応面の長さで決定される。光触媒反応面の長さは装置のサイズにより制約があるため、この長さを使用するエアープンプの排気量を一定としたとき、最も推進力を得られる光触媒反応面の角度を簡易モデルによる実験で決定した。

図11に簡易モデルの側面概略図を示す。この装置を用い、気泡の排気量 800cc/min、羽の長さ 200mm を一定として、羽の傾き  $\theta$  を 3~14.5 度として推進速度を測定した。この装置を用いて以下の手順に従って羽の角度を決定した。

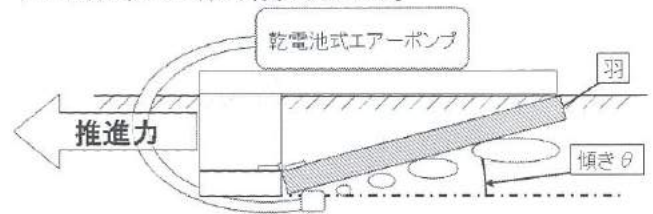


図11. 推進装置の簡易モデル

Fig.11. Simple model of driving mechanism

羽の傾き  $\theta$  を 1 条件として測定は 3 回ずつ行った。測定は、装置が 10cm 進む際の所要時間を計測し、3 回の平均値で速度を算出した。羽の傾き  $\theta$  は、3、6、9、12、14.5 度の 6 条件とした。図12に羽の傾き  $\theta$  と平均速度の関係を示す。図より羽の傾き 14.5 度が最速であった。これより、光触媒反応面の傾きを 14.5 度とした。

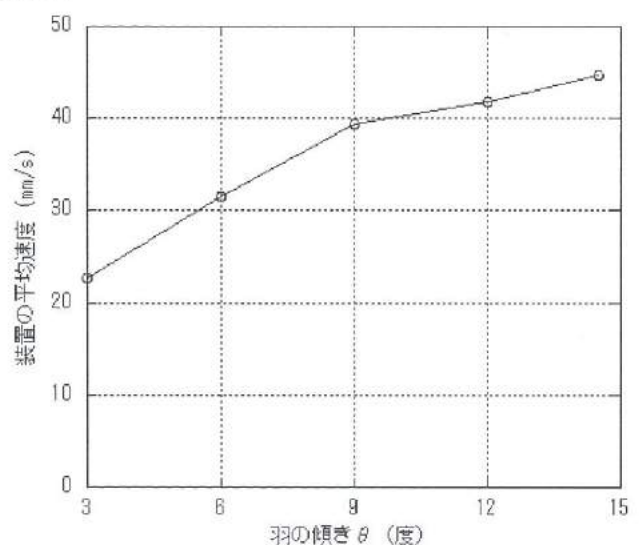


図12. 装置の角度に対する平均速度

Fig.12. Average speed vs. angle of wing

## ＜5. 2＞浮遊物の試作

図13に試作した装置の図面を示し、図14に外観を示す。装置はアクリル板を使用し、使用するスパッタリング装置で成膜可能な光触媒反応面のサイズから、外径は約φ530mm、高さ232mmとした。光触媒反応面の面積は、6枚の表面裏面を合わせて $168 \times 10^3 \text{mm}^2$ となった。重量は4.28kg(本体:1.22kg、内部機器:0.43kg、バランスウェイト:2.63kg)であり、持ち運び可能な重量とした。内部機器調整用にふたを設け、シリコンシールとゴムパッキンで密閉度を高めた。

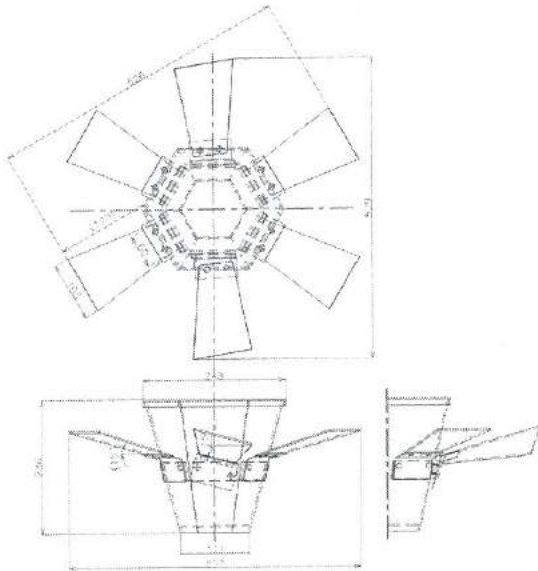


図13. 試作装置の図面

Fig.13. Drawing of prototype

試作した装置を水槽内で浮遊させ、エアーポンプにより駆動させたところ、設計どおり回転駆動し、光触媒反応面へ水と酸素の供給が可能であることが確認できた。

この装置の性能は、光触媒反応面の面積から計算すると、19Lの標準農薬液(100ppm)を、1週間で0.04ppm以下に分解・浄化可能であると思われる。

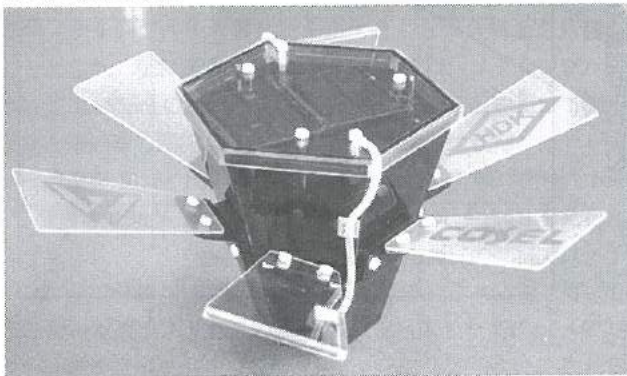


図14. 試作装置

Fig.14. Prototype

## 6. 結言

小規模水域の水質浄化を目的に、光触媒作用を用いた自立型水質浄化浮遊物を試作した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1)自立型水質浄化浮遊物の機体構造を検討した結果、太陽光の効率的な受光、構造安定性、光触媒反応面の拡張性を考慮して花形モデルを選定した。
- (2) UV透過型アクリル樹脂基板へのTiO<sub>2</sub>膜の成膜条件を検討し、水中で良好な光触媒能を示すTiO<sub>2</sub>膜を形成した。
- (3)光触媒反応をメチレンブルーの分解により評価した。さらに、現実的な汚染物質である農薬において分解試験を行ったところ、水質浄化(100ppm→0.04ppm)を確認した。
- (4)自立型水質浄化浮遊物として、気泡の浮力を利用した推進機構を検討し、水面での回転機能を持った花形プロトタイプを試作した。

今後の実用化に向けての課題は、TiO<sub>2</sub>膜の密着性の向上、藻や水草の存在する水中での安定動作などである。

## 謝辞

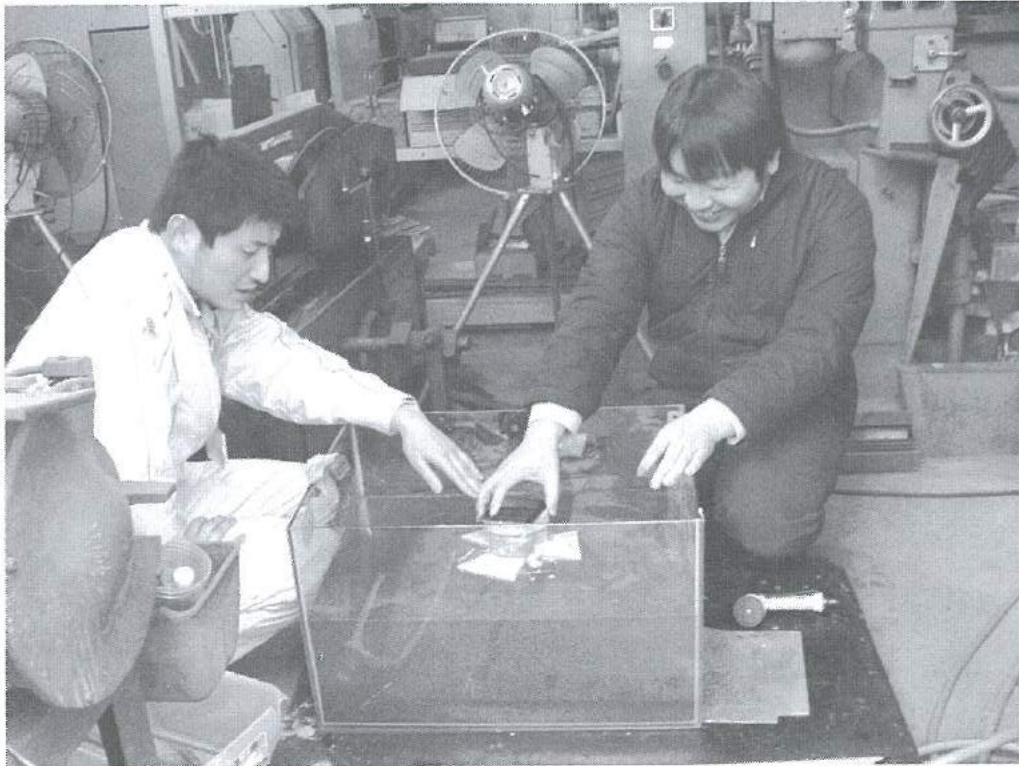
本研究の遂行にあたり住化アクリル販売株式会社にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

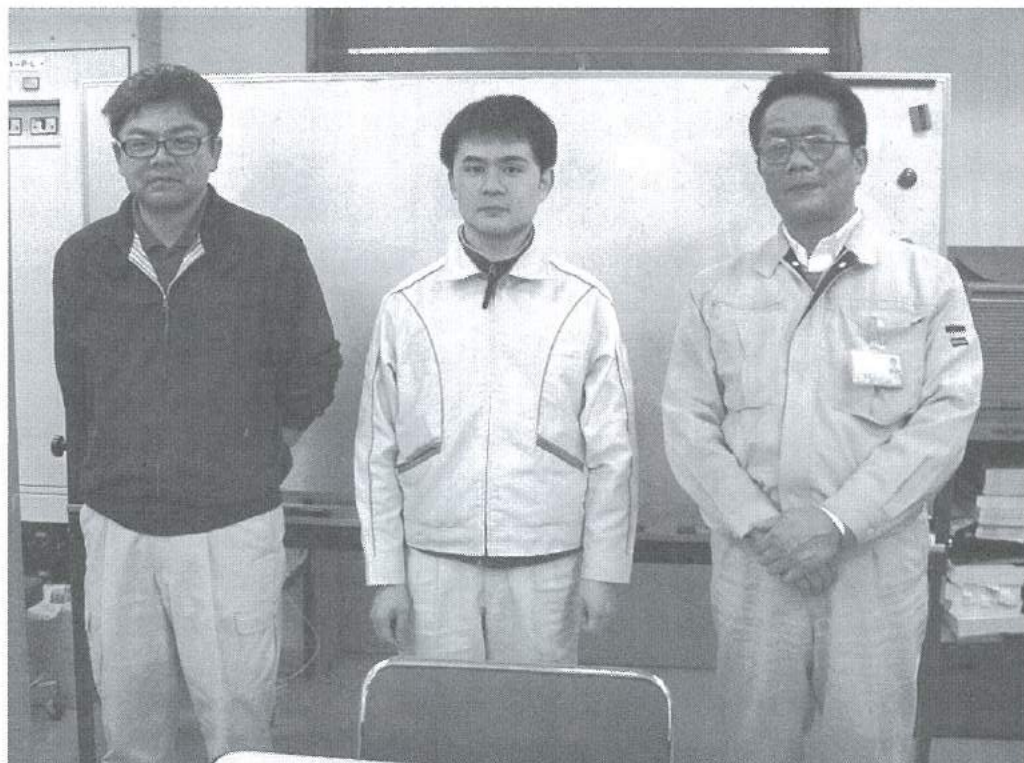
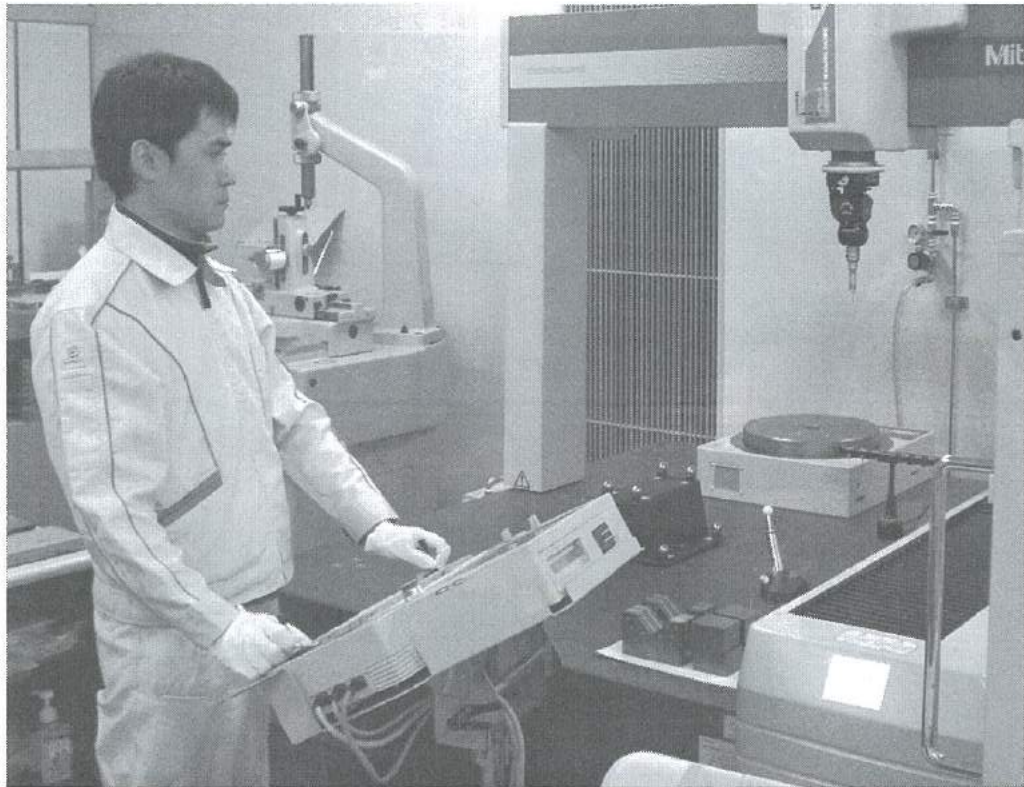
- (1) 環境省 水・大気環境局, “公共用水域の水質測定結果”, <http://www.env.go.jp/water/suiiki/index.html> (参照日 2011年02月15日)。
- (2) 厚生労働省 医薬食品局, “食品、添加物等の規格基準”, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/zanryu2/5912-28-1.html> (参照日 2011年02月15日)。
- (3) 三好康彦, 小型焼却炉一選定と維持管理, (1992), p13-14, 公害対策技術同友会。
- (4) 高林外広 他, 光触媒層の成膜方法, 日本国特許第3809347号(2006)。
- (5) 中村正俊, “プラズマ励起化学気相堆積法によるTiO<sub>x</sub>膜の堆積過程および薄膜評価に関する研究”, 静岡大学博士論文, 甲第278号(2001), pp.9-15。



「ミニロボット群による水田防除草システムの開発」グループの研究活動風景

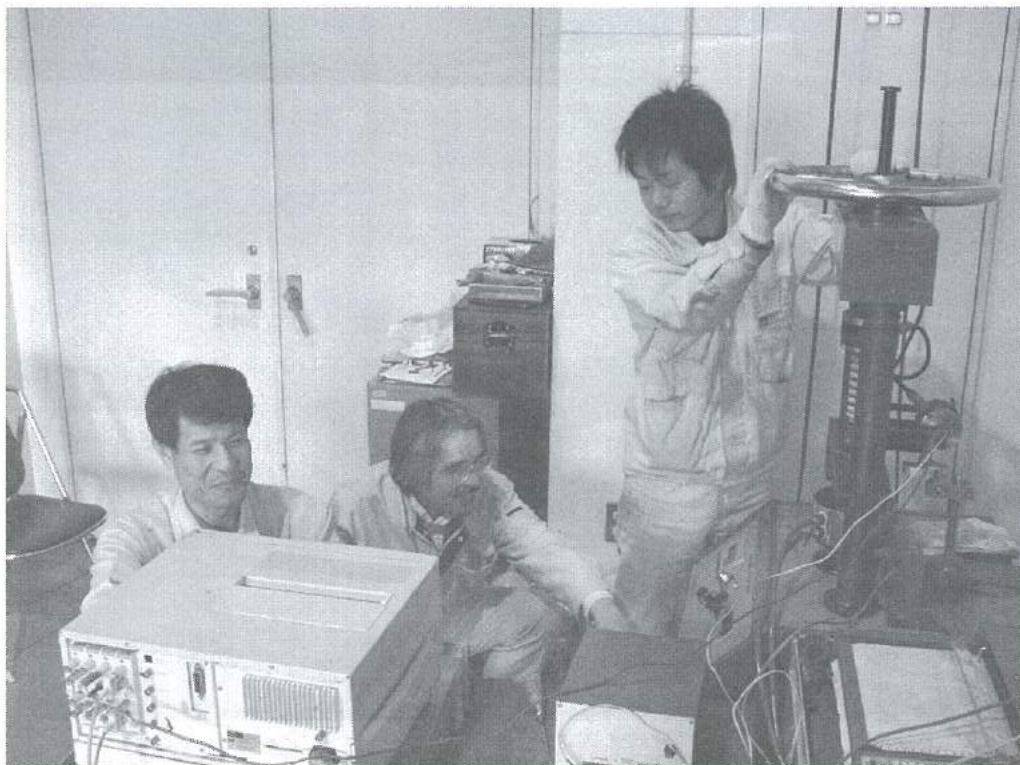


「CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発」グループの研究活動風景

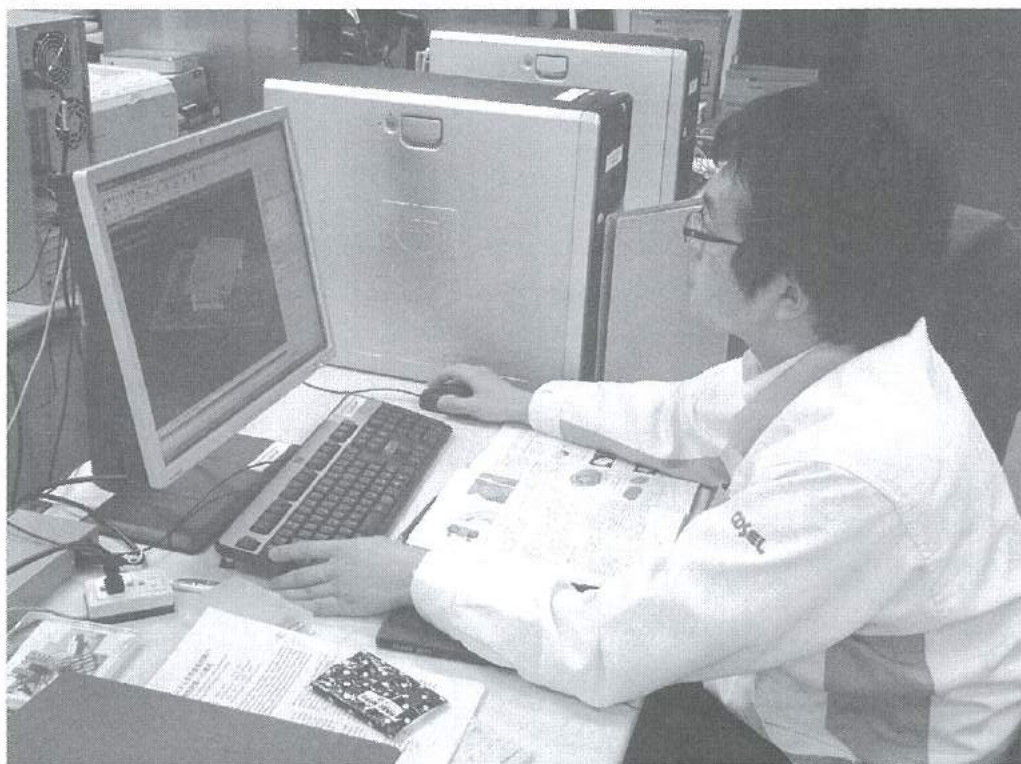




「高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発」グループの研究活動風景



「CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用」グループの研究活動風景





「光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発」グループの研究活動風景



## 「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

- 24年間の研究テーマ数：154テーマ（昭和62年度～平成22年度）
- 参加研究員延べ人数：307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㈱）、山田義昭（東洋化工㈱）  
宮沢進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）、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(株)タカギセイコー、上段一徳(東洋化工(株))、長柄 勝(長柄鉄工(株))  
柳原 潔(株)黒田精型

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電薄膜音響光学素子の開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

古瀬正浩(株)インテック、堀井 孝(エルコー(株)、現コーセル(株))

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮(北日本電子(株))、中山正明(株)和泉電気富山製作所

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度(第4回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、16名)

1. 磁性薄膜の応用に関する研究—倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫(株)不二越、高島 誠(エルコー(株)、現コーセル(株))

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畑哲史(株)和泉電気富山製作所、山田義昭(東洋化工(株))

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

煙田不二男(燐化学工業(株))、若林成喜(北陸電気工業(株))

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

石黒哲也(株)タナカエンジニアリング、窪池義文(エルコー(株)、現コーセル(株))

・西浦慎一・村井哲雄(株)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(株))、堀登紀男(株)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（立山科学工業株）

◎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（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

桜榮和則（株タカギセイコー）、田村正行（吉田工業株、現YKK株）、柳原 潔（株黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 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（株タナカエンジニアリング）、西浦慎一（株タカノギケン）、

山本達生（エルコー株、現コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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（株和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 薄膜微細加工技術の研究

飴井俊裕（エルコー株、現コーセル株）、竹端精己（株不二越）

◎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（北日本電子株）、島野英明（株インテック）

◎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（立山科学工業株）

◎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

白石信行（コーセル株）、新谷哲也（北陸電気工業株）、吉井靖岳（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 薄膜微細加工技術の研究—トランスの試作

伊勢寿夫（コーセル株）、戸田雅規（株不二越）

◎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株）

◎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株）、長峰浩幸（株タカギセイコー）、本堂 裕（株斎藤製作所）

◎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（北日本電子株）、島野英明（株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（立山科学工業株）

◎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（コーセル株）、森田智之（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 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株）、後藤 肇（コーセル株）、佐々木啓充（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. 有機電子材料に関する研究

雨野孝信（株タカギセイコー）、堀田正人（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究

黒川寛幸（北陸電気工業株）、山口 睦（磷化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 5. RIMのCAEに関する研究

杉田孝嗣（三協アルミニウム工業株）、中村和禎（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（I）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

## ☆平成6年度（第8回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、16名）

### 1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（株タカギセイコー）、寺本正夫・杉谷 健（コーセル株）

中村厚平（エヌアイシ・オートテック株）、松田英雄（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅（コーセル株）、田村雅英（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. リン酸エッチング液の基礎研究

山口 睦（磷化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. 傾斜機能膜素子の開発

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

山下慎也（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 5. 3次元入力デバイスの開発—（バーチャルリアリティ用）

細木文夫（三協アルミニウム工業株）、横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

## 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (2)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業株)、米谷庄一 (三協アルミニウム工業株)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

## ☆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株)、高田謙一 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 2. 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 (燐化学工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. 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 (北陸電気工業株)、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 (東洋化工株)

◎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 (コーセル株)、谷上英樹 (北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 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 (富山軽金属工業株)、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株)

◎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 (北陸電気工業株)

◎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 (富山軽金属工業株)、田畑裕信 (中越合金鋳工株)、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スの開発

堀井一宏（コーセル㈱）、柳川 新（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

#### 5. 局所的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

丹保哲也（北陸電気工業㈱）、野上拓也（㈱タナカエンジニアリング）、山田浩美（東洋化工㈱）

滝川健太郎（金沢大学工学部）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

#### 6. 電気自動車の開発

坂本雅美（㈱斎藤製作所）、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 (田中精密工業株)

◎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 (コーセル株)

◎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 (田中精密工業株)

◎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 (田中精密工業株)

◎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 (コーセル株)、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 (立山科学工業株)、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 (北陸電気工業株)、石川勝巳 (コーセル株)

◎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株)、山田浩美 (東洋化工株)

◎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. 「ANSYS」を使用した動的機構解析の応用

島村和孝 (田中精密工業株)

◎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ーの開発 (2)

小森一哉 (北陸電気工業株)、谷口真也 (コーセル株)

◎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. 高摩擦係数材料の開発

高田智哉 (田中精密工業株)

◎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スリサイクル材の研究

酒井康弘 (株タカギセイコー)、前田健二 (立山アルミニウム工業株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

### 5. 低温駆動型小型燃料電池の開発に関する基礎研究

高橋雄一 (コーセル株)、山田浩美 (東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

## ☆平成13年度(第15回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

### 1. 滑雪板(着雪防止版)の開発

河井牧夫(田中精密工業株)、高橋伸忠(株タカギセイコー)、野田耕司(三協アルミニウム工業株)

石井 雅(富山県土木部)

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

### 2. 分子機能材料を用いた光電池の研究開発

濱口 誠(コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. 高摩擦係数材料の研究(2)

高田智哉(田中精密工業株)

◎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料の研究

酒井康弘(株タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

### 5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発

小出哲雄(コーセル株)、坂本雅美(株斉藤製作所)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

### 6. 体質診断用DNAチップと測定装置の開発

水島昌徳(立山科学工業株)、川上浩美(東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所

### 7. マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発

桑原大輔(北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所、富山大学工学部、J S T

### 8. アルミ表面解析技術の高度化に関する研究

澤井 崇(武内プレス工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

## ☆平成14年度(第16回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、13名)

### 1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)

石見雅美(株斉藤製作所)、稲澤直子(コーセル株)

◎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

### 2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップと評価機器の開発(2)

碓井洋平(立山科学工業株)、水原 崇(コーセル株)、米嶋勝宏(東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J・中央研究所

3. MEMSを応用した高精度温度センサの開発  
今村徹治（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・P J、富山大学工学部
4. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発  
清水 歩（武内プレス工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センター中央研究所・P J
5. 超小型(20cc 前後)4サイクルエンジンの開発  
杉森雅一（エヌアイシ・オートテック㈱）、中西智英（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
6. 滑雪機構の改善に関する研究  
河井牧夫（田中精密工業㈱）、野田耕司（三協アルミニウム工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所
7. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発  
山田英子（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
8. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討  
酒井康弘（㈱タカギセイコー）  
◎指導機関：工業技術センター生活工学研究所、機械電子研究所

☆平成15年度（第17回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（3）  
石見雅美（㈱斎藤製作所）、魚谷一成（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
2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究（3）  
碓井洋平（立山科学工業㈱）、中山 均（コーセル㈱）、中林俊幸（東洋化工㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発  
桑原大輔（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、富山大学工学部
4. 小型穴加工システムの開発  
手嶋成市（㈱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・中央研究所
5. 超小型4サイクルエンジンの開発（2）  
花崎 大（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・中央研究所
6. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究  
増山智英（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

☆平成16年度（第18回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、12名）

1. 大型色素増感太陽電池の開発  
廣田和也（㈱タカギセイコー）  
◎指導機関：工業技術センター中央研究所



**2. 交流法を用いたバイオセンサの開発**

米澤久恵（コーセル㈱）、碓井洋平（立山科学工業㈱）、深沢正樹（立山マシン㈱）  
宝泉重徳（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

**3. インクジェット用機能性インクの開発**

松田杏子（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

**4. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発**

澤田篤宏（コーセル㈱）、石見雅美（㈱斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

**5. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発（2）**

桑原大輔（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

**6. 環境適応型インテリジェント窓の開発**

堀 剛文・松田 力（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

**7. 高摩擦係数材料の研究（3）**

上田修一（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・生活工学研究所・機械電子研究所

**☆平成17年度（第19回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、10名）**

**1. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発（2）**

小杉京平（コーセル㈱）、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・中央研究所

**2. 交流法を用いたバイオセンサの開発（2）**

上谷聡史（コーセル㈱）、深沢正樹（立山マシン㈱）、中田守人（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

**3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発（Ⅲ）**

津幡 健（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

**4. 圧電材料による起電力素子の研究**

猪田明宏（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

**5. 高摩擦係数材料の研究（Ⅳ）**

山下剛史（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・生活工学研究所・中央研究所

**6. インクジェット技術の応用研究**

田中裕美（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

**7. 大型色素増感太陽電池の開発（2）**

廣田和也（㈱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18年度(第20回)研究テーマと研究参加者(9テーマ、11名)

1. **メタボリック症候群検出装置の開発**  
三宅正浩(コーセル株)、深沢正樹(立山マシン株)  
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県新世紀産業機構
2. **マイクロTASチップの開発**  
嶋 将伸(コーセル株)  
◎指導機関:工業技術センター中央研究所・P J推進担当・機械電子研究所
3. **陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の開発**  
清水裕也(株タカギセイコー)  
◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・P J推進担当
4. **インクジェット法による電子回路パターン作製の研究**  
篠原おりえ、田中裕美(立山科学工業株)  
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
5. **小径穴の仕上げ加工**  
高岡利尚(田中精密工業株)  
◎指導機関:工業技術センターP J推進担当・中央研究所・機械電子研究所
6. **ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究**  
中野貴之(北陸電気工業株)  
◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
7. **高温耐熱型サーミスタの開発**  
山野 博(立山科学工業株)  
◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
8. **超小型指向性アンテナの開発**  
徳島達也(立山科学工業株)  
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
9. **機械部品の洗浄に関する研究**  
杉森雅一(エヌアイシ・オートテック株)  
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・P J推進担当

☆平成19年度(第21回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、10名)

1. **電子回路用ウェットエッチング液の研究**  
曾根宏信(燐化学工業株)  
◎指導機関:富山県立大学工学部、工業技術センター中央研究所
2. **肉盛りステライトの硬さに影響を与える溶接条件の研究**  
田中隆尚(田中精密工業株)、長柄大介(長柄鉄工株)  
◎国立大学法人富山大学芸術文化学部、富山県工業技術センター中央研究所・P J推進担当
3. **インクジェット法を用いたアンテナの作製**  
廣島大三(立山科学工業株)  
◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
4. **燃料電池用超小型水素発生器の開発**  
川端基裕(コーセル株)、遠藤 亮(三協立山アルミ株)  
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
5. **三次元座標測定機における測定信頼性向上に関する研究**  
中橋秀記(立山マシン株)



◎富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部

6. ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究(2)

石橋孝裕(北陸電気工業株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

7. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の応用研究

清水裕也(㈱タカギセイコー)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・P J推進担当

8. マイクロTASチップの開発(2)

石村和雄(コーセル株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

☆平成20年度(第22回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

1. マイクロリアクタによる反応制御方法に関する研究

大橋裕之(燐化学工業株)、梅原洋平(コーセル株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

2. 空中超音波を用いた空間温度計測システムの研究

正源浩之(コーセル株)、木下正之(立山科学工業株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

3. ダイカスト金型材料の接合技術の開発

花崎裕美(田中精密工業株)、古川万晃(㈱タカギセイコー)

◎国立大学法人富山大学芸術文化学部、富山県工業技術センター中央研究所・P J推進担当

4. 局部加熱によるプラスチック表面の高機能化

吉田康子(㈱タカギセイコー)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 酵母を利用した和漢薬の薬理作用の解析および測定デバイスの開発

日出嶋宗一(立山マシン株)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

☆平成21年度(第23回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、9名)

1. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発

吉田康子(㈱タカギセイコー)、中田裕一(北陸電気工業株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

2. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発

熊田泉実(コーセル株)、日出嶋宗一(立山マシン株)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

3. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術

山根幸治(コーセル株)、細川修宏(㈱タカギセイコー)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2)

中田雄三(田中精密工業株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部

5. スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発

斉藤洋輔(コーセル株)、若林 傑(立山科学工業株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成22年度(第24回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

1. ミニロボット群による水田防除草システムの開発  
上田将志(コーセル株)、古川和明(立山科学工業株)  
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
2. CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発  
広地信一(立山マシン株)  
◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部
3. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発  
須田誠(田中精密工業株)  
◎富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部
4. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用  
澤田修平(コーセル株)、細川修宏(株タカギセイコー)  
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発  
高見和志(コーセル株)、新川翔平(北陸電気工業株)  
◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部・中央研究所



## ○ 会 員 企 業

平成23年3月15日現在（50音順）

	企 業 名	代表者名	運営委員	電話番号
1	エヌアイシ・オートテック㈱	西川 浩司	大茂 達朗	076-462-0578
2	コーセル㈱	町野 利道	福村 恵一	076-432-8151
3	㈱斉藤製作所	斉藤 恵三	齊藤 行男	076-468-2727
4	三協立山アルミ㈱	藤木 正和	宇野 清文	0766-20-2366
5	㈱タカギセイコー	笠井 千秋	高橋 伸忠	0766-84-2318
6	タカノギケン㈱	高野 啓良	瀧森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業㈱	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山科学工業㈱	水口昭一郎	森 喜代志	076-483-3088
9	立山マシン㈱	宮野 兼美	齋 日登志	076-483-4123
11	田中精密工業㈱	田中 一郎	河本 通郎	076-451-5600
12	東洋化工㈱	中田 守人	村井 文雄	076-475-2125
13	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 大介	0766-22-3170
14	北陸電気工業㈱	津田 信治	山本 肇	076-467-1111
15	燐化学工業㈱	安田 陽一	大深 哲也	0766-86-2511

事務局：(財) 富山県新世紀産業機構内 〒930-0866 富山市高田 529 TEL:076-444-5607(宮本)

## ○ 研 究 会 員

氏 名	所 属	役 職	学 位	電話番号
<b>研究幹事</b>				
岩 坪 聡	工業技術センター中央研究所	副主幹研究員	博士(工学)	0766-21-2121
角 崎 雅 博	工業技術センター機械電子研究所	機械電子研究所長	博士(工学)	076-433-5466
佐 山 利 彦	工業技術センター機械電子研究所	副主幹研究員	博士(工学)	076-433-5466
杉 森 博	工業技術センター機械電子研究所	機械システム課長	博士(工学)	076-433-5466
高 林 外 広	県商工労働部商工企画課	主幹	博士(工学)	076-444-9606
丹 保 豊 和	富山大学大学院理工学研究部	准教授	工学博士	076-445-6727
土 肥 義 治	工業技術センター中央研究所	材料技術課長	博士(工学)	0766-21-2121
長 柄 毅 一	富山大学芸術文化学部	准教授	博士(工学)	0766-25-9111
二 口 友 昭	工業技術センター企画管理部	部 長	博士(工学)	0766-21-2121
升 方 勝 己	富山大学大学院理工学研究部	教 授	工学博士	076-445-6714
松 田 敏 弘	富山県立大学工学部	教 授	博士(工学)	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～平成12年度)	6代会長 武内 繁和 (平成13年度～平成14年度)
7代会長 斉藤 恵三 (平成15年度～平成16年度)	8代会長 水口昭一郎 (平成17年度～平成18年度)
9代会長 町野 利道 (平成19年度～平成20年度)	10代会長 笠井 千秋 (平成21年度～)

## ○ 顧 問 ・ 運 営 ア ド バ イ ザ ー

谷野 克巳 (谷野技術士事務所)

## ○ 顧 問 (50音順)

池田 進 (財) 富山県新世紀産業機構専務理事)  
 石坂 誠一 (富山国際大学・名誉学長)  
 榎本 祐嗣 (工業技術センター所長・中央研究所長)  
 龍山 智榮 (財) 富山県新世紀産業機構中小企業支援センター長)  
 東保喜八郎 (財) 富山県新世紀産業機構参与)  
 南日 康夫 (財) 富山県新世紀産業機構科学技術コーディネータ)  
 藤城 敏史 (財) 富山県新世紀産業機構産学官連携推進センター部長)  
 米田 政明 (富山高等専門学校校長)

(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・ファクシミリ番号 〒	TEL : FAX :
連絡担当者所属・役職・氏名・E-mail address	
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 (事業所名)	印
「若い研究者を育てる会」殿	

◎「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

- ・申し込みは郵送またはファクシミリにてお願いします。
- ・申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。
- ・その他不明な点は事務局へお問合わせください。

☆申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

(財)富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

TEL 076-444-5607

FAX 076-444-5630



発 行 者	若い研究者を育てる会
	〒930-0866 富山市高田529 (財)富山県新世紀産業機構 プロジェクト推進課内
発行責任者	富山県工業技術センター 角崎 雅博 杉森 博 (財)富山県新世紀産業機構 宮本 和浩
発行年月日	平成23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。