平成 30 年度 (第 32 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成31年3月13日(水)

於:ホテルグランテラス富山

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

富山県産業技術研究開発センター 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 齊藤行男

1987年(昭和62年)1月に「県内企業の若手技術者を、創造的な 研究者として育成していこう」との趣旨により企業、大学、富山県 工業技術センターの枠を超えた技術者同士の「輪」を広げることを 目的とした「若い研究者を育てる会」が発足しました。今年で32 年目の研究活動の成果発表会の日を向かえました。本年度も各企業 から選抜され今後が期待される若い研究者達が4つのテーマで1年 間研究をしてきました。研究というのはすぐに答えが出るものでは ありませんが、今年はどの様な成果を得ることが出来たでしょうか。 何度も trial and error を繰り返すことで、研究者の熱意、夢、そして 研究者同士の絆が強くなり、難しい局面でも楽みながら乗り越えら れる「あくなき探求心」が湧きあがったとすれば、それが成果では



ないでしょうか。また本年度は「若研」の活動が「ふるさと教育の振興に関する取り組みと、県民がふる さとへの誇りと愛着を育むことの取り組み」であると認められ「平成 30 年度 県民ふるさと大賞」を受賞 致しました。これは「若研」を 30 年以上に渡り今まで育てて来られた方々の熱意と、延べ 375 名に上る参 加された研究者達の情熱の賜物だと思います。そして「若研」の取り組みを広め、次代の研究者の育成に 繋がっていくようにと、第一回目の研究会と、今日の研究成果発表会をより多くの方々に聴講して頂く取 り組みに挑戦した年でもありました。今年は平成最後の年度でいろいろな変化の起きる年です。今まで 32 年間 201 の研究課題への取り組みの歴史を継承しながら新しい「若研」の活動に変化して行くのも挑戦だ と思います。

モノづくりから生み出される製品の変化のスピードはとても速くなっています。大切なのはその製品に 応用される基礎的な研究なのです。「若研」は今後も重要で必要な研究会であると確信しております。 これから始まる新しい年に、これからの未来に皆さんの研究が花開くことを祈念しております。

結びに本年も技術者を出向させてくださいました企業様、熱心にご指導くださいました大学の諸先生方 や産業技術研究開発センターの方々、富山県新世紀産業機構、他会員企業の関係各位のご支援に深く感謝 申し上げます。「若研」のこれからのますますの発展を祈念するとともに、今後も関係各位の変わらぬご 指導とご支援をお願いして、ごあいさつとさせていただきます。

研究の概要

「若い研究者を育てる会」(以下、「若研」)の研究発表会は**今年度で32回目**を迎えた。 本論文集は「若研」に参加する企業(現在の会員企業数13社)と会員企業の若手技術者が 4つの研究テーマについて、平成30年5月から富山県産業技術研究開発センターにおいて、 4グループ(4企業参加)が実施してきた研究成果をまとめたものである。4テーマの内1 テーマについては、富山大学大学院理工学研究部の研究協力と指導のもとで実施した。ここ では、今年度実施した4テーマの研究概要を研究発表順に述べる。

富山県産業技術研究開発センター機械電子研究所 博士(工学) 佐山利彦

①「CAE を用いた振動解析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、振動負荷に対する信頼性 を仮想的に評価する CAE を広く活用するために、FEM モ デルおよび振動試験における種々の問題点を明らかにし、 その問題を解決する過程を通して、振動試験に適した2種 類の治具の開発を行った。低周波用の加振治具においては、 ボルトによる締結条件を適切に表現することによって、イ ンパルス応答の実験結果を反映した正確な FEM モデルを 作成することができた。一方、高周波用の加振治具におい ては、要素寸法や物性値を正確に設定すること、およびレー ザードップラー振動計を用いた振動特性の計測を行うこと

によって、治具の振動特性を正確に表現することが可能となった。結果として、適切な加振用治具を用いた振動試験、および適切な FEM モデルに基づく振動解析を実施することにより、CAE 本来の目的である、開発段階での振動特性の実用的な評価に近づいた。

富山県産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター 博士(工学) 石黒智明

②「超音波接合における接合材の振動特性に関する研究-Ⅱ」の研究グループ(参加企業1社)では、アルミリベットのアルミ板上への超音波接合について検討した。その結果、円環状にローレットを配した中空ホーンを用いることで、短時間に接合できることを把握した。そして、その接合強度は、母材強度に匹敵する値を示すものもあった。剥離部の観察から接合がリベット材頭部の周囲でのみ生じていることがわかった。頭部全面での接合が可能になれば、 十分な強度と接合安定性が期待できる。また、ローレットの摩耗等による接合条件の低下を避けるため、ローレットの無いホーンについても検討したが、接合できなかった。



ローレットのある前者では、加振材の大きな振動が確認できたが、ローレットの無い後者 では、振動が小さく、振動伝搬に工夫が必要であることがわかった。



富山県産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター 博士(工学) 溝口正人

③「曲面用外観検査手法の研究」の研究グループ(参加企業 1社)では、これまで熟練者による目視検査に依存してきた 金属加工部品表面の微細なキズを自動検出する技術開発に取 り組んだ。本研究では光沢曲面を有するピストンピンを測定 対象として、研削仕上げ加工の不具合となる3種類の微小キ ズ(らせんキズ、研削ムラ、打痕)を、有機溶剤による洗浄 処理を行うことなく鮮明にカメラ画像に捉えることができる 撮像方法を考案した。複数の LED 照明を様々な角度から照射 しながらピンを回転させて全周の反射光を産業用カメラで取 り込むことができる専用装置を試作し、得られた合成画像か



らノイズを処理した後に、輝度分布や差分値を画像演算することで表面性状を判定するア ルゴリズムを構築した。その結果、目的とする全ての微小キズを自動識別する手法を確立 し、実用化に向けた展開が期待できる。

富山大学大学院理工学研究部 理学博士 西村克彦

④「感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導 **電パターンの作製」**の研究グループ(参加企業1社)。

Internet of Things (IoT)技術は急速に発展し、多種多様な 場面においてネットワークへのアクセスを可能にしている。 現在、IoT 端末には導電性と透明性を兼ね備えた酸化イン ジウムスズ(ITO)膜が主に用いられている。しかし、ITO 膜には原料のインジウムの高コストや低い曲げ耐性の難点 がある。本研究では、エレクトロスピニング法により感光 性を付与したナノファイバーをエッチングマスクとして利 用し、PET フィルム上に Al ナノネットワークを形成し、曲 げ耐性に優れた透明導電パターンの作製を試みた。各プロ



セス(溶液濃度、溶解阻害剤割合、熱ダレ条件等)で条件の最適化を行い、更にエレクト ロスピニング時間を調整することでシート抵抗と透過率を制御し、目標とする ITO 膜とほ ぼ同等の特性を有するフレキシブルな透明導電パターンを作製できた。本成果は、ウェア ラブルなセンサやディスプレイの開発に大きく寄与する。

今年度は、4つの研究テーマに5人の企業内若手技術者が参加した。これまでこの会で は32年間に201テーマの研究を実施しており、卒業生は375名となった。ここに参 加した企業にとっては、取り組んだテーマが必ずしも企業ですぐに役立つものではないか もしれないが、研究を遂行する過程で参加者が得たもの(開発の進め方、研究内容の表現 の仕方等)によって、本会会員企業の今後の技術開発力向上や発展に資するものと期待し 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、企業・業種の枠を越えた若手技術者同士の**連携の「輪」**を広げるこ とであり、本会はこのような研究活動を通じ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は、座 学では得られない貴重かつ重要な実学であると考えている。

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、ご助言を賜わっ たことに深く感謝の意を表します。

研究グループの構成

I. CAE を用いた振動解析の信頼性評価への応用の研究グループ

研究担当者 稲垣 友大 (㈱タカギセイコー)

村井 慎介(北陸電気工業㈱)

- ○釣谷 浩之 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 羽柴 利直 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 金森 直希 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 中村 陽文 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 清水 孝晃 (産業技術研究開発センターものづくり)
- ☆佐山 利彦(産業技術研究開発センター機械電子研)
- Ⅱ. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究-Ⅱの研究グループ

研究担当者 藤田 直希(コーセル㈱)	
--------------------	--

- ○羽柴 利直 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 吉田 勉 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 中村 陽文(産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆石黒 智明(産業技術研究開発センターものづくり)
- Ⅲ. 曲面用外観検査手法の研究の研究グループ

研究担当者	石澤	剛士	(田中精密工業㈱)
	○金森	直希	(産業技術研究開発センター機械電子研)
	中村	陽文	(産業技術研究開発センター機械電子研)
	☆溝口	正人	(産業技術研究開発センターものづくり)

IV. 感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製の 研究グループ

研究担当者 槇 正史 (コーセル㈱)

- ○横山 義之(産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 本保 栄治 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 角田 龍則 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆西村 克彦(富山大学大学院理工学研究部)
- 註:○印は各研究グループのチーフ ☆印は研究幹事

I. CAE を用いた振動解析の信頼性評価への応用	1
1. 緒 言	1
2. CAE と実験の乖離に関して	1
3. 振動試験用治具に求められる要件	2
4. 実験方法	2
5. CAE の概要	2
6. 低周波用加振治具の設計・開発	2
7. 高周波用加振治具の設計・開発	4
8. 結 言	7

次

目

Π.	超音波接合における接合材の振動特性に関する研究-Ⅱ	8
	1. 緒 言	8
	2. 超音波接合について	8
	3. リベットの接合試験	9
	4. ホーンの長寿命化に関する検討	13
	5. 結 言	14

Ш.	曲面用外観検査手法の研究		15
	1. 緒 言		15
	2. 検知対象		15
	3. 撮影実験装置		16
	4. 撮像実験		18
	5. 画像処理によるキズ部の検	出	20
	6. 結 言		22

IV.	感光性ナノファ	ァイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製	23
	1.緒 言		23
	2. 感光性ナノ	ノファイバーによる透明導電パターンの形成	23
	3. 実験方法		24
	4. 実験結果		2 5
	5.結 言		28

○各研究グループの研究活動風景	付— 1
○「若い研究者を育てる会」研究活動の足跡	付— 5
○平成30年度 県民ふるさと大賞受賞について	付—22
○会員企業および研究幹事名簿	付—23
〇入会申込書	付—24

I.CAE を用いた振動解析の信頼性評価への応用

Application of CAE to Reliability Evaluation on Mechanical Vibration

稻垣 友大	村井 慎介	釣谷 浩之	羽柴 利直
INAGAKI Tomohiro	MURAI Shinsuke	TSURITANI Hiroyuki	HASHIBA Toshinao
金森 直希	中村 陽文	清水 孝晃	佐山 利彦
KANAMORI Naoki	NAKAMURA Takafumi	SHIMIZU Takaaki	SAYAMA Toshihiko

Abstract

In the product development stage, attempts have been made to utilize CAE (Computer Aided Engineering) that analyzes vibration characteristics on a computer in order to evaluate reliability against vibration loadings. However, there are many cases where the analysis result and the vibration test result do not agree, and as a result, CAE has not been widely spread in the vibration field. In this research, we clarified various problems in the FEM(Finite Element Method) model and vibration test, and developed two kinds of fixing jigs suitable for the vibration test through the process of solving the problems. In the fixing jig for low frequency vibration, by properly expressing the bolt fastening conditions, it was possible to create an accurate FEM model reflecting the experimental results of the impulse response. On the other hand, in the fixing jig for high frequency vibration, it become possible to accurately express the vibration characteristics of the jig by precisely setting element dimensions and deformation properties, and by measuring vibration characteristics in the development stage, which is the original purpose of CAE, by performing the vibration tests using appropriate fixing jigs and the vibration analyses based on an appropriate FEM models.

1. 緒言

機器・構造物の開発時には、振動負荷に対する信頼性を評価す るために、振動試験が広く行われている。この時の手順は、製品 の試作品を製作し、振動試験を行うことで問題点を抽出し、設計 にフィードバックするというものである。しかし、この方法では 設計の見直しと試作を繰返し行う必要があり、多大な時間とコス トがかかる。この問題を解決するために、製品の開発段階からそ の性能および機能をコンピュータ上でシミュレーションする CAE (Computer Aided Engineering)の活用が試みられている(1)。し かし、CAE に用いる FEM モデル、およびその検証を行う振動試 験の双方に問題があり、解析結果と試験結果とが、必ずしも一致 しない場合が多く、CAE による振動解析が、広く普及していると はいえない状況である。これらの問題の原因を可能な限り排除し て、正確な振動試験の結果に裏付けられた FEM モデルを作り上 げることが、CAEの普及のために必要である。また、振動試験に 用いる製品固定用の治具に問題があることが多い。これらの治具 には正しく製品に振動を伝達し、治具自体が製品の試験に影響を 与えないことが求められる。本研究は、振動試験に適した治具を 設計することを通して、CAE と振動試験等の実験それぞれの問題 点を明らかにし、それらの問題を解決し、実用的な試験治具の開 発に至るまでのプロセスを示したものである。個々の製品の振動 特性は、その形状、寸法、材料等によって大きく変化するため、

一つのモデルで一般化することは困難である。そこで、低周波領域(5~200Hz)と高周波領域(200~2000Hz)の2つに分けて加振用治具の設計検討を行った。その際、低周波領域用治具の共振周波数は200Hz以上、また高周波領域用治具の共振周波数は2000Hz以上になることを設計目標とした。

2. CAE と実験の乖離に関して

CAE と実験の双方の結果を比較した際、振動モードや共振周波 数等の振動特性が、一致しない場合が多い。これは次に示すよう に、CAE に用いる FEM モデル、検証をするための振動試験の双 方に原因が考えられる。例えば、CAE 側に原因がある場合、以下 のような問題があげられる。

- (1) FEM モデルの境界条件が実体を適切に表現していない。特 に、ボルト締結部の扱いは難しい。
- (2) 解析モデルと試験体の物性値が相違している。

振動試験側の原因としては、以下のような問題があげられる。

- (3) 試験体を試験機や治具へ固定する方法(ボルト、接着等)が あいまいである。
- (4) 計測方法(計測機器、測定箇所等)によって、振動試験が影響を受けている。
- (5) 治具の振動等、試験体以外の原因によって、適切な振動試験 が行われていない。

3. 振動試験用治具に求められる要件

振動試験を実施する際には、ほとんどの場合、治具を介して試 験体が固定される。2章の(5)に示したように、振動試験用の治具 に求められる重要な点は、試験を妨害しないことである。試験体 の振動試験を行う周波数範囲内に、治具自体の共振周波数が存在 すると、試験体の共振と治具の共振とが混在してしまい、振動試 験を適正に行うことができなくなる。そのため、治具の共振周波 数が試験体の試験周波数の範囲外となるように、治具を設計する 必要がある。

4. 実験方法

<4. 1> 振動試験

一般的に行われている振動試験は、大きく 2 つに分けられる。 一つは試験体の共振周波数などの振動特性を明らかにするため の試験、もう一つは振動負荷に対する耐久性を確認する試験であ る。本研究では、適切な振動特性を持った治具を開発することを 目標としているので、治具の共振を確認するための振動試験を実 施した。物体には、その物体が最も振動しやすい固有の周波数(共 振周波数)があり、物体の形状、物性、固定方法等によってその 数値が決まる。共振周波数に近い周波数で振動を加えることで、 試験体は加振加速度以上の非常に大きな加速度で振動する。この ため、製品の共振周波数が、実使用環境で想定される周波数範囲 内に存在しないように設計することが、通常行われている。また 共振周波数の測定方法として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方法や、目的の 周波数でパワースペクトル密度が一定となるようにランダム振 動を加え、その応答を計測する方法などがある。図1は、使用し た振動試験装置(EMIC 製 F-16000BDH/SLS16)を示す。

<4. 2> インパルス応答による周波数特性の計測

振動特性を計測する試験体が、ハンマリング可能な形状と大き さを持つ場合、対象をインパルスハンマで打撃し、各部のインパ ルス応答を計測・解析することで、共振周波数やその振動モード



図1振動試験機 Fig.1 Vibration testing machine.

形状を求めることが可能である。振動試験機による加振ではなく、 インパルスハンマで評価対象を打撃することで、広帯域に生じる 振動を利用する。試験体の複数個所に加速度センサを取り付け、 生じる振動を計測し、ハンマに生じる振動波形と計測した振動波 形をFFT (Fast Fourier Transform)解析することで、試験体の共振 周波数や振動モード形状などの振動特性を計測する手法である。 図2は、使用した計測システム(小野測器製計測:DS0320、分 析:MESCOPE、加速度計:NP-3211)を示す。



図2計測システム Fig.2 Vibration measurement system.

5. CAE の概要

CAE (Computer Aided Engineering) は、試作品を用いた試験に 対して、コンピュータ上で FEM などのデジタルモデルによる仮 想試験を実施して、問題点を明確にし、可能な限り少ない試作回 数で製品開発を行う技術である。しかし、CAE と実際の試験では、 結果が異なることが多々あるので、CAE を有効に活用するために は、実際の振動試験の状態を再現できる FEM モデルを作成する ことが必要となる。例えば、FEM モデルでは、部品の材料特性、 接合条件、あるいは境界条件などを正確に設定する必要がある。 新規製品を開発する際には、類似の解析モデルがないことが多く、 実際の振動試験を再現す FEM モデルを作成することから CAE が 始まることになる。振動解析は、機械や構造物の固有振動数・モ ード形状・周波数応答など求める解析の総称であり、本研究では モード解析により、共振周波数およびそれに対応するモード形状 を求めた。CAE による振動解析には、MSC Software 製 Marc お よび Patran を使用した。

6. 低周波用治具の設計・開発

<6. 1> 試験体

試験体は、実際に樹脂製の容器の振動試験に用いられる治具を 想定したものであり、アルミニウム合金製の部材を組み合わせた ものである。図3は、試験体の構造を示す。縦440 mm×横440 mm ×厚さ15 mmのアルミニウム合金(A5052)製のベース板に、幅 300 mm×高さ330 mm×厚さ30 mmのアルミニウム合金(A5052) 製の垂直板が、M6のボルトによって3か所で固定される。この



Fig3 Fixing jig for low frequency vibration.

垂直板に、幅200 mm、屈曲点から縁までの長さがそれぞれ150 mm、 厚さ15 mmの製品固定用のアルミニウム合金 (A6063) 製Lアン グルをM6のボルト4個所で固定する。さらに、この試験体を、 縦500 mm×横500 mmの垂直補助テーブルを介して加振器に固 定した。試験体は、ベース板の周囲16個所において、100 mm 間 隔でM10のボルトにより固定した。

<6. 2> インパルス応答解析

試験体の実際の共振周波数およびモード形状を確認するため に、ハンマリングによるインパルス応答解析を行った。図4は、 試験体上の加振点、およびインパルス応答の計測点の位置を示す。 測定点はベース板9点、垂直板9点、製品固定用Lアングル9点 の計27点で行った。加振点は、垂直板の角に近く、かつ測定点 と重ならない個所を選んだ。測定1点について3回ハンマで打撃 し、取得したデータの平均値を用いて解析を行った。

インパルス応答解析の結果、試験体の1次共振周波数は、122 Hz であった。図5は、解析の結果得られた1次共振点におけるモー ド形状を示す。1次モード形状は、ベース板の固定部を支点とし て、垂直板が前後に倒れる動きをしていることが分る。試験体の 1次共振周波数122 Hz は、目標とする使用周波数である 200 Hz



図4 インパルス応答測定箇所

Fig4 Measurement points of impulse response analysis.



図5 インパルス応答解析結果

Fig5 A result of impulse response analysis.

の範囲内であるため、1次共振周波数を200Hzより大きくするために対策を行う必要があることが判明した。そこで、実際の実験結果を正しく反映するFEMモデルを作成し、振動モード解析を実施して、最低限の試作回数で対策を行う。

<6. 3> FEM 振動モード解析

図6は、FEM 振動モード解析に用いた初期のFEM モデルの形 状および要素分割を示す。モデルの形状は、図3の実際の試験体 の形状を反映したものである。解析に用いた要素は、平均要素寸 法が2mmの4面体1次要素で、モデルの全節点数:69053、全要 素数:315518 であった。材料は垂直板およびベース板をA5052、

L アングルを A6063 とし、各々の物性値は A5052 が縦弾性係数: 70.6 GPa、ポアソン比: 0.33、密度: 2.68 g/cm³、また A6063 が縦 弾性係数: 68.6 GPa、ポアソン比: 0.33、密度: 2.69 g/cm³と設定 した。境界条件は、ボルト穴下部エッジにおいて xyz の 3 自由度 を完全拘束し、ボルト穴上部エッジおよびベース板底面において z 方向の自由度を拘束した。

FEM 振動モード解析の結果、1 次共振周波数は 203 Hz と得ら れた。また、1 次共振点におけるモード形状は、ベース板の固定 部を支点として垂直板が y 方向に倒れるような動きとなり、イン パルス応答解析による結果と一致した。しかし、1 次共振周波数 については、実験結果の 122 Hz と大きな乖離があり、この初期の FEM モデルが現実を正確に反映していない、あるいは実験方法に 問題があると考えられた。

<6. 4> FEM モデルの修正および評価

実験の面で考慮すべき点は、試験体の固定方法のあいまいさや、 加速度センサによる質量の増加などであるが、試験体はボルトに よりしっかりと固定されており、使用した加速度センサの質量も 試験体の質量と比較して十分小さいものであった。そこで、まず FEM モデルの見直しを行った。第一にベース板底面のz方向の自 由度の拘束を、ボルト締結位置以外の部分でz方向への変位が可 能な条件に変更した。また、ベース板と垂直板を一体の部材とし



図6 低周波用加振治具の有限要素モデル

Fig.6 FEM model of the fixing jig for low frequency vibration.

ていたものを、実際のボルト締結位置付近でのみ固定する条件に 変更した。加えて、実際にはボルト締結位置以外でもベース板と 接触する部分では、垂直板の動きが制限されるため、垂直板の厚 みに対して 2/5 の領域のみをベース板と一体化する条件とした。

この結果、1次共振周波数のCAE解析結果は、127 Hz と得られ、 インパル応答解析結果の1次共振周波数122 Hz と良く一致した。 改良後の FEM モデルは、よく現実の振動特性を反映していると 言える。

<6.5> 治具の改良

次に、修正した FEM モデルを用いて、固定点を増やす、剛性 を上げるなど、1 次共振周波数を 200 Hz 以上に上げるための治具 の改良対策について検討を行った。現状の試験体に対して、以下 の3 つの改良を順に加えて、FEM 振動モード解析を行い、1 次共 振周波数の変化を評価した。

(1) ベース板と垂直補助テーブルの固定点を増やす

(16 点→20 点)。

(2) ベース板を厚くして剛性を増す(15mm→30mm)。

(3) ベース板と垂直板にリブを設置して補強する。

表1は、振動モード解析の結果得られた1次共振周波数の変化 を示す。3点の改良を順に加えることで、1次共振周波数が徐々 に高くなってることが分かる。表から、1次共振周波数増加の効 果が高いと考えられる「固定点を増やす改良」と「リブを設置す る改良」を行い、治具を試作することとした。

図 7 は、振動モード解析結果を基に改良を加えた治具を示す。 この治具について<6.2>に示したものと同様の方法で、1 次 共振周波数の計測とモード形状の解析を行った。実験の結果、改 良を加えた治具の1次共振周波数は、317 Hz となった。この結果 は、FEM 振動モード解析の結果とほぼ一致している。また、目標 としていた、200 Hz を上回っており、CAE を用いた解析によって 改良結果を予測し、最低限の試作回数で目標を達成することがで きた。

表 1 FEM 振動モード解析による 1 次共振周波数の比較 Table.1 Comparison of primary resonance frequencies by FEM vibration mode analysis.

変更点	1次共振周波数[Hz]
変更前の状態	127.0
ベース板の固定点を 20 点に	193.9
ベース板の厚みを 30mm に	206.0
リブを追加	302.4



図7 改良した低周波用加振治具 Fig.7 Improved fixing jig for low frequency vibration.



Fig.8 Analysis model of high frequency vibration.

7. 高周波用加振治具の設計・開発

<7. 1> 試験体

図8は、試験体の模式図を示す。試験体は、電子基板の振動試 験を行うことを想定したもので、市販のプラスチック製の筺体を 利用した。この試験体は、縦90.3 mm×横50 mm×高さ22.2 mm のABS 樹脂製であり、内部に縦60 mm×横43 mm×厚さ1.6 mm のFR-4 基板を4 隅でねじ固定する構造となっている。

<7. 2> 振動試験による周波数応答の測定

高周波用加振治具の試験体は、小型で軽量であるためハンマリ ングによるインパルス応答解析が困難である。そこで、振動試験 機による周波数スイープ試験を行い、試験体各部の応答を加速度



図9 高周波用加振治具のスイープ試験

Fig.9 Sweep vibration test of fixing jig for high frequency vibration.





high frequency vibration.

センサにより計測した。図9は、スイープ試験時の試験体を示す。 試験体は、振動試験機の台座に両面テープで固定した。加速度セ ンサを基板中央および試験体の側面2個所の合計3か所に取付け て周波数応答の計測を行った。スイープ周波数範囲は、100 Hzから2000 Hz、振動加速度は0.5G、およびスイープ速度は1 oct/min と設定した。

図 10 は、試験体の周波数応答特性の加速度センサによる計測 結果を示す。横軸は周波数を、縦軸は各周波数で計測された最大 加速度を示す。その結果、試験体側面(短辺)においては、1050 Hz 付近で共振点が確認できた。また、基板の中央部においては、 1174 Hzで1次共振点が確認できた。

<7. 3> FEM 振動モード解析

図11は、FEM 振動モード解析に用いた初期のFEM モデルの形 状および有限要素分割を示す。モデルの形状は、図8の実際の試 験体の形状を反映したものである。解析に用いた要素は、平均要 素寸法が2mmの4面体1次要素で、モデルの全節点数:22344、 全要素数:84109であった。材料は、筐体をABS、基板をFR-4 とし、各々の物性値はカタログ値より得た。筐体が縦弾性係数: 2.65 GPa、ポアソン比:0.35、密度:1.02 g/cm³、また基板が縦弾



図 11 高周波用加振治具の有限要素モデル

Fig.11 FEM model of fixing jig for high frequency vibration.

性係数:24.3 GPa、ポアソン比:0.17、密度:1.8 g/cm³と設定した。 境界条件は、筐体底面全体の自由度を完全拘束した。

FEM 振動モード解析の結果、1 次共振周波数は 2865 Hz と得られ、この時の振動モードは基板中央部が腹となって z 方向に変位するものであった。共振周波数、振動モードともに試験の結果とは大きく異なっており、FEM モデル、振動試験や計測、あるいはその両方の再検討が必要となった。

振動試験の側面からは、試験体が軽量なため加速度センサの質 量が振動特性に影響を与えている可能性、両面テープによる固定 によって高周波領域での振動が試験体に正確に伝わっていない 可能性が考えられた。一方、FEM モデルの側面からは、以下のよ うな可能性が考えられた。

- (1) 有限要素の寸法が粗く、変位を正確に表現していない。
- (2) 実際の物性値がカタログ値と異なる。
- (3) 境界条件が振動試験の状態を正確に表現していない。
- (4) 基板厚みなどの実際の寸法が図面データとは異なっている。

<7. 4> 試験および計測方法の改善

試験および計測方法を改善するにあたり、まず、センサの質量 の影響を受けないように、レーザードップラー振動計を用いた振 動計測への変更を行った。レーザードップラー振動計は、小野測 器製 LASER VIBLOMETER/LV-1610 を使用した。図 12 は、レー ザードップラー振動計による計測の状況を示す。測定器は、セン サヘッドおよび変換機により構成される。センサヘッドからレー ザーを照射し、試験体表面で反射したレーザーを読み取ることで、 試験体の速度を計測する。振動波形の記録および解析には、小野 測器製の計測システム(計測:DS0320、分析:MESCOPE)を用 いた。また、レーザードップラー振動計を使用することで、各周 波数における加速度の最大値だけでなく振動波形そのものを計 測できるので、ランダム振動試験を実施して周波数特性を直接計 測した。ランダム振動の周波数範囲は 100 Hz から 2000 Hz とし、 全周波数領域が一定のパワースペクトル密度となるように加振 した。また、加速度実効値が約 0.5 G となるように設定した。 図 13 は、基板の中央部および試験体側面の 2 か所の周波数応 答特性の計測結果を示す。横軸は周波数、縦軸は各周波数におけ る加速度を示す。図から、基板の中央部において 1610 Hz で、1 次共振点が存在していることが確認できる。本研究では、治具の 特性改善を目標としているため、基板をはずした治具単体の計測 も行った。図 14 は、基板を取り外した状態の試験体において、 その側面の振動特性を計測した結果を示す。明確な共振点のピー クは確認できないが、1900 Hz 付近から加速度が増加に転じてお り、2000 Hz を少し超えた周波数領域において、1 次共振点が存在 するものと推測される。



図 12 ランダム振動試験におけるレーザードップラー振動計の設置状況 Fig.12 Setup of laser Doppler vibrometer in random vibration test.

<7.5> FEM モデルの修正および評価

FEM モデルについても修正を行った。まず、要素寸法が基板の 厚みに対して大きすぎて、変位を正確に表現していないと考えら れたので、平均要素寸法を1辺2 mmから1辺0.5 mmに変更した。 これにより、基板の厚み方向に対して3個以上の要素が存在する ことになるので、板厚方向の変位は、2次関数で補間することが できる。この修正により、全節点数は、215785、全要素数は989660 へ増加した。その結果、1次共振周波数が1993 Hz となり、実測 値へ大きく近づいた。

次に、FEM モデルに用いる材料物性の見直しを行った。樹脂材 料においては、実際の物性値がカタログ値と異なっている可能性 が大きいので、材料試験機を用いて曲げ試験を実施し、縦弾性係 数を計測した。また、試験体の質量を測定し密度を計算した。実 測した縦弾性係数は、基板が 17.37 GPa、ABS 製治具が 2.19 GPa、 また密度は、基板が 1.8 g/cm³、ABS 製治具が 1.02 g/cm³、であっ た。この物性値を用いた解析により、1 次共振周波数が 1261 Hz となり、実測値より低い結果が得られた。

さらに、固定条件を実際のボルト固定の状態に近付けるために、 2 つの境界条件を見直した。まず、ABS 樹脂製治具を加振器の台 座へ固定する穴においては、取付け穴下部のみを xyz の自由度を 完全に拘束し、ボルト取り付け穴上面においては z 方向の自由度 のみを拘束した。次に、筐体の下には剛な台座が存在するため、





Fig.13 Measurement result of frequency response of the fixing jig by laser Doppler vibrometer.



Fig.14 Frequency response of the main body of the fixing jig for high

frequency vibration.

ABS 樹脂製治具は下方には変位しない。そのため、治具の底面については、z 方向の自由度を拘束した。この修正を加え解析を行った結果、1 次共振周波数は 1813 Hz となった。

加えて、基板厚みについても、設計値の 1.6 mm から実測に基 づく 1.57 mm へ修正して解析を行った。この結果、1 次共振周波 数は 1795 Hz となり、実測値に一層近づいた。

ここまでの FEM モデルの修正により、実用上差支えない程度 まで、振動特性を再現できるようになったが、さらに解析精度の 向上が見込める 2 次要素を用いて解析を行った。その結果、1 次 共振周波数は 1632 Hz となり、実験結果と非常によく一致する結 果が得られた。

図15は、FEM モデルの修正の過程における1次共振周波数の 変化を示す。左端が変更前の初期 FEM モデルによる周波数であ り、右端がレーザードップラー振動計による計測結果である。 FEM モデルを修正するたびに周波数が変化し、最終的に実際の計 測結果に近づいている過程が分かる。

また、本研究では、治具の特性改善が目標であることから、基 板を取り付けない治具単体についても振動モード解析を行った。 1 次要素を用いて計算を行った結果、1 次共振周波数は 2203 Hz と得られた。この値は 1900 Hz 付近から加速度が増加するという 実験結果を基にした推測と整合性がとれており、FEM モデルが実 際の振動現象を正しく反映したものであることが裏付けられる 結果となった。



図 15 FEM モデルの修正過程における 1 次共振周波数の変化 Fig.15 Change of primary resonance frequency in the process of FEM model modification.

<7. 6> 治具の改良

治具本体の1次共振周波数は、2000 Hz を超えた領域にあるが、 実験結果では、1900 Hz 以上で応答が上昇し始めているので、治 具設計の目標を十分に達成するために、治具の1次共振周波数を さらに高めることとした。そこで、治具を ABS 樹脂からより剛 性が高いアルミニウム合金(A6063)製に変更し、その場合の1次共 振周波数を修正した FEM モデルを用いて評価した。図16 は、新 たな治具の形状および有限要素分割を示す。治具の寸法は、縦 100 mm×横 65 mm×高さ 28 mm であり、縦弾性係数を 70.5 GPa、 密度を 2.69 g/cm³ と設定して 1 次要素を用いて解析した結果、1 次共振周波数は 5879.8 Hz と得られ、十分に高い周波数領域にあ ることが示された。

実際にアルミニウム合金製の治具に変更し、基板を実装しない 状態で、レーザードップラー振動計を用いて<7.4>に示した ものと同様の方法で周波数特性を計測した。図17は、治具側面 における周波数応答特性を示す。2000 Hz までほぼフラットな周 波数特性であり、図14に示された1900 Hz 以上での加速度の増加 が観察されないことから、この治具で2000 Hz までの振動試験が 十分な余裕を持って実施可能であると結論づけることができる。

8. 結言

本研究では、CAE を用いた振動解析および振動試験における試 験や計測方法の問題点を明らかにし、その問題を解決する過程を 通して、振動試験に適した試験治具の開発を行った。低周波領域 および高周波領域に分けて、加振用治具の検討を行った。いずれ の治具においても、初期段階のFEMモデルを用いた解析結果は、 振動試験における振動計測結果とは大きく乖離したものであった。



図 16 アルミニウム合金製の高周波用加振治具

Fig. 16 An Aluminum alloy fixing jig for high frequency vibration.



図 17 アルミニウム合金製高周波用加振治具の周波数応答

Fig.17 Frequency response of the main body of the Aluminum alloy fixing jig for high frequency vibration.

低周波用加振治具においては、ボルト締結条件を適切に表現す るなどにより、インパルス応答の実験結果を反映した FEM モデ ルを作成することができた。また、治具の固定方法の改善やリブ の設置などを行って、1 次共振周波数を 200 Hz 以上とする目標を 達成できた。

一方、高周波用加振治具においては、要素寸法や物性値を適切 に設定した FEM モデルに修正すること、および振動試験に影響 を及ぼさないレーザードップラー振動計を用いた振動特性の計 測を行うことによって、治具の振動特性を正確に表現することが 可能となった。また、治具の1次共振周波数を2000 Hz 以上にす る目標も達成できた。

以上により、適切な加振治具を用いた振動試験、および適切な FEM モデルに基づく振動解析を併せて実施することで、CAE 本 来の目的である製品の開発段階からの振動特性の実用的な評価 に近づくことができた。

文 献

細川修宏ほか、平成 22 年度若い研究者を育てる会研究論文集、 pp. 19-24.

Ⅱ. 超音波接合における接合材の 振動特性に関する研究-Ⅱ

Study on Vibration Characteristics of Ultrasonic Welding - II

藤田 直希 羽柴 利直 FUJITA Naoki HASHIBA Toshinao 吉田 勉 中村 陽文 石黒 智明 YOSHIDA Tsutomu NAKAMURA Takafumi ISHIKURO Tomoaki

Abstract

The joining technique of metal can be carried out in many different ways, such as welding. When joining especially solids, solid state bonding is used. There are ultrasonic welding, diffused junction, etc. in solid state bonding. Ultrasonic welding is joinable in a short time, and the technique has an advantage which can carry out junction directly, without using adhesives, a binder, and so on. Ultrasonic welding is mainly used for joining soft metal sheets each other. We investigate practical techniques of ultrasonic welding for thick materials and hard materials in order to expand the application range of it. In this report, we examined shape of welding horn for vibrating thick materials. In addition, basic joining techniques to join aluminum rivet to aluminum alloy plate for housing material were investigated. We also analyzed the vibration characteristics of joining materials while welding. As a result of research, it became possible to join aluminum rivet in a short time, and the change in the magnitude of vibration of these materials, which is presumed to be related to the bonding process, became clear.

1. 緒言

材料を接合する方法には、機械的接合や接着など様々な手法が あり、対象物に要求される性能や設計によって、いずれの方法を 採用するかを検討する必要がある。特に、金属固体同士を直接接 合する手法には、超音波接合や拡散接合などの固相接合がある。 中でも超音波接合は低コスト、短時間接合、自動ラインに組み込 み可能などの利点がある。

現状として、超音波接合の実用例のほとんどが薄物形状(金属 箔や板、細線)、軟質金属同士の接合という比較的限定された範 囲での利用に留まっている。これは、超音波接合では、ホーンに より加振材を固定材に押し当てて超音波加振することで接合が 行われるため、素材同士の接合性に加えて、以下の形状の要因と 材質の要因による制約を受けるためである。

- (1) 接合時には、加振材はホーンの加振により、固定材に対して水平に摺動する。このため、材料同士が平滑に面接触していることが理想的であること。
- (2) ホーンと加振材の間に滑りを生じさせないため、少なくと も加振材はホーンチップ部のローレットに食い込み易い硬 さであることが望ましいこと。

超音波接合の更なる用途拡大のためには、多様な形状、材質に 対応できる必要がある。本研究では、加振材を厚物部品形状や硬 質材料とした場合のホーン形状を含む接合方法を検討し、接合の 可能性について調査した。前報では、アルミニウム押出し材をベースに様々な部品が複合化し、多様な性能を要求される建材に注目し、建材分野において表面処理アルミニウムとして多用されている Al-Mg-Si 系合金 A6063S-T5 を固定材とした以下の同種材料接合および異種材料接合を検討し(以下、加振材/固定材のように示す。)、いずれの接合においても実用的な接合強度が得られる可能性を見出した⁽¹⁾。

アルミニウム(厚物部品)/アルミニウム(A6063S)
 セラミックス/アルミニウム(A6063S)

本報では、①に関して、加振材、固定材等の振動の計測および 解析や接合強度の評価等を行い、接合可否の調査および接合条件 の最適化の検討を行った。

2. 超音波接合について

<2.1> 超音波接合とは

超音波接合の概要を図1に示す。超音波発振器から出力された 電気エネルギーが超音波振動子で振動エネルギーに変換され、ホ ーンによって所定の振幅まで拡大される。この振動を、ホーン先 端のホーンチップ部で加振材を固定材に押し付けた状態で印加 することにより、加振材固定材界面間に摩擦を生じさせる。この 摩擦により材料表面の酸化皮膜や有機皮膜等の介在物を破壊、排 斥し、清浄な金属表面(新生面)が露出する。同時に発生する摩 擦熱によって、加振材と固定材の間に接合が生じる。ホーンチッ プ部は加振材への振動の伝達をより確実にするため、一般的にロ ーレット形状になっている。



図1 超音波接合の概要 Fig.1 Over view of ultrasonic welding

<2. 2> 超音波接合の特長

超音波接合は、特殊な環境でなくても容易に接合でき、かつ、 大量生産への適用が可能であることから、様々な分野で用いられ ている。超音波接合の特長は、次のとおりである⁽²⁾。

- (1) ほとんどの同種金属材料の接合が可能である。
- (2) 溶融温度の異なる異種金属間の接合が可能である。
- (3) 融点よりかなり低温での固相接合なので、熱の発生による組 織変化が生じにくい。
- (4) ハンダやフラックス、樹脂などの消耗品がない為、環境に優しく、コストダウンに対応できる。
- (5) 自動生産ラインなどへの組み込みが容易である。
- (6) 短時間接合が可能である。
- (7) 接合の電気消費量が少なく、ランニングコストが下げられる。

3. リベットの接合試験

スタッド溶接は、鉄、ステンレス、アルミニウムなど数種のス タッド(リベット類似形状部品)を同種または異種材質の部材に 瞬時に溶接する手法である。しかしながら、溶接である以上、熱 による金属組織変質やひずみ、焼け等の品質上、意匠上の問題を 伴う場合がある。これらの点において、<2.2>(2)(3)に示したよ うに超音波接合に優位性があり、改善の可能性がある。

ー方で、リベットの場合、通常使用されるホーン形状では、加 振材の厚さに相当する軸長さが非常に大きいことから、接合面に ホーンの振動が伝わらず、接合が困難になると考えられる。

このような接合上の問題点に対して、リベットがホーンと一体 となり振動するようなホーンを考案することで、接合できるので はないかと考えた。

<3. 1>接合方法

リベット接合用に図 2 に示す形状のホーン (振幅設計値 30 µmp-p)を試作した。すなわち、ホーンの中心にはリベットの軸 部が挿入できるよう φ3.5 mm の穴があり、ホーンチップ部にはロ ーレット加工が施されている。

接合試験機は、超音波工業(株)製のUSW0620G3X(出力600 W、周波数19kHz)を用いた。ホーン直下部にマグネットを用い て固定した治具上に固定材平板を水平に静置し、クランプゴムに よって片端を固定した。接合材として、加振材にはアルミリベッ トを、固定材にはA6063S板を用いた。材料等の詳細は表1に示 す。





Fig.2 Shape of welding horn for rivet joining

表1 リベット接合用材料

Table 1 Materials for rivet joining

接合材	形状	材質	寸法(mm)
加振材	リベット	A1070W (JIS H 4040 引抜線 普通級)	頭部:径6 × 高さ 1 軸部:径3 × 長さ30
固定材	平板	A6063S-T5 生地材	2.0t × 25W × 70L

<3.2>固定材上の接合位置と振動エネルギーの変化

超音波接合に用いるホーンは、ホーンチップ部が所定の振幅に なるように振動設計がなされている。この振動が加振材に伝達さ れるが、固定材の振動の大きさが接合位置により異なると考えら れることから、接合場所によって加振材・固定材間の相対運動が 変化し、摩擦状態が変わる可能性がある。そこで、振動エネルギ ーへの接合位置の影響を調査した。振動エネルギーは、ホーンを 所定の振幅で振動させるために要したエネルギーのことで、接合 界面の摩擦状態が反映される値である。尚、接合位置はクランプ が無い端部からの距離で表すものとし、リベット頭部面が板上に 全面接触し、かつ、クランプとホーンが干渉しない 5~35 mm の 位置で接合試験を行った。

図3に、加圧力400N、加振時間2sにおけるA6063S平板上の リベット接合位置と振動エネルギーの関係を示した。振動エネル ギーは、平板端部から15mmの位置において最大値を示し、それ 以降は、固定材中央部にかけて低下傾向を示した。

前報⁰⁰においても平板端部から 10 mm の位置で最大値を示し、 以降同様な傾向を示していることから、固定材上には加振時に図 4 に示す振動モードが存在すると推測される。固定材上の「節」 の位置では固定材がほとんど振動しないため接合材間に摩擦が 生じ易く、振動エネルギーが大きくなる。「腹」の位置では加振 材の振動に同期して固定材が振動するため摩擦が生じ難く、振動 エネルギーが小さくなると考えられる。少なくとも、端部から 10 mm~20 mm の位置は節に相当すると推測される。

これらのことから、固定材の節の位置が接合条件として最適で あると判断し、本研究においては端部から10mmの位置にリベッ トを接合することとした。



図3 リベット接合位置と振動エネルギーの関係 Fig.3 Influence of junction position to junction energy



<3.3>接合可否と振動エネルギーの評価

接合試験は、加圧力100N、200N、400N、800N(4水準)、加振時間0.01s、0.05s、0.1s、0.5s、1s、2s、4s、8s(8水準)を 組み合わせた条件で実施した。

表2に各条件での接合可否の結果を示す。ここでの接合可とは、 A6063S 平板面よりリベットが接合試験後に分離していないこと を基準に判断した。表2から、全ての加圧力の条件で加振時間0.05 s以上で接合可になることが明らかになった。

表2 リベット接合試験の結果

Table 2 Result of rivet joining test

		加振時間(s)							
		0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	4	8
加圧力	100	×	0	0	0	0	0	0	0
	200	×	0	0	0	0	0	0	0
(N)	400	×	0	0	0	0	0	0	0
	800	×	0	0	0	0	0	0	0

O: 接合可 ×: 接合不可

図5に、このときの加振時間と平均出力の関係を示す。ここで、 平均出力(W)は、振動エネルギー(J)を加振時間(s)で割っ て求めた。平均出力は、加振時間が0.05sまで急増した後、ほぼ 一定となった。また、加圧力が高いほど大きくなる傾向が見られ た。

これは、表2より加振時間0.05 s以降では加振材と固定材が接合した状態となり、ホーンを一定の振幅で振動させるための抵抗が大きい状態で安定することとなり、平均出力が大きい状態で一定になったものと考えられる。

また、高加圧になるほど加振材と固定材の接触界面における摩 擦力が大きくなるため、ホーンを一定の振幅で振動させるための 出力が増大したものと考えられる。





<3. 4>振動特性の評価

加振中のホーン先端、加振材、固定材の振動測定を行った。測 定にはレーザドップラ振動計(㈱小野測器製 LV-1610)を使用し、 レーザ光を効率よく反射するように測定物表面に反射テープを 貼り付け、非接触での測定を試みた。それぞれの加振中の振動速 度を測定し、加振周波数が高いことから、FFT 分析ソフトウェア (㈱小野測器製 Oscope2)により加速度データに変換し評価した。

図6に、ホーン、加振材、固定材の加速度のa)加振時間全体と b)加振初期0.1s間の時間変化を示す。なお、接合条件は、加圧力 100~800N、加振時間3sとした。

図から、ホーンおよび加振材の加速度の振幅は、加圧力によら

ず加振開始直後に急激に上昇し、約0.03 s で最大となることがわかった。一方、固定材の加速度の振幅は、約0.03 s までゆるやかに大きくなった。そして、ホーン、加振材、固定材はいずれも0.05 s 以降、ほぼ一定の加速度の振幅で振動している。

以上のことから、加振開始から0.05 sまでは加振材と固定材が 接合しておらず接合界面が摺動しているが、それぞれの加速度が 安定した0.05 s付近で接合が生じたものと考えられる。このこと は、前節の平均出力の結果とも一致している。



次に、加速度の振幅がほぼ一定になった値として、0.07 s 時点 の値を代表値として読み取った。この値と加圧力との関係を図 7 に示す。この図から、ホーンでは、加圧力の増加に伴い加速度の 振幅は減少する傾向を示したが、加振材と固定材は逆に増加する ことがわかった。

加圧力の増加に伴い加振材と固定材の間に生じる摩擦力が大 きくなるため、ホーンにかかる負荷が増加し、結果として、ホー ンの加速度の振幅が減少したものと考えられる。加振材は、加圧 力が大きくなるほど、ローレット部がリベット頭部により食い込 むようになるため、ホーンの振動の伝達効率がよくなり、加速度 の振幅が増加したと考えられる。また、固定材においては、加振 材と接合が生じることで加振材の振動が伝達され、加速度の振幅 が増加したと推測される。



Fig.7 Relationship between welding force and acceleration

<3. 5>接合強度の評価

接合した試料の接合力を平面引張試験により測定し、引張試験 後の剥離面の光学顕微鏡写真から接合面積を求めた。そして、単 位面積あたりの接合力(接合強度)を算出した。

<3.5.1>接合力と接合面積

接合力は精密万能試験機(インストロンジャパン製5567)によって、図8に示す方法でリベット接合力(平面引張最大荷重)を 測定した。引張速度は1mm/minとした。



Fig.8 Measuring method of rivet joining force

図9に、各加圧力における加振時間と接合力の関係を示す。いずれの加圧力においても、加振時間の増加に伴い接合力は増加し、加振時間が0.1 sから0.5 sまでの時間範囲において接合力が大きく上昇する傾向が見られた。



次に、試験剥離後の A6063S 平板を、光学顕微鏡(OLYMPUS 社製 DSX500)を用いて静止画像撮影し、画像編集アプリケーシ ョンソフトウェア(Adobe 製 Photoshop CS2)によって図 10 に示 すように画像を 2 階調化し、接合面積を求めた。

撮影画像全体は8.114 mm×8.114 mm(面積約 65.8 mm²)であり、 ここでは A6063S 平板表面に存在する押出し材特有のダイスマー クが摩擦によって消失した部分(図 10 黒色部)を接合に寄与し た面積と推定し、画像全体に対する黒色画素比率を撮影画像面積 に掛け、接合面積を求めた。

図11に、各加圧力における加振時間と接合面積の関係を示す。 図10より、ダイスマークの消失部分は、ホーンのローレットが 食い込むリベット頭部の外縁部に集中しており、リベット面全面 の接合は確認されなかった。図11の接合面積は、いずれの加圧 力においても約0.1sまでは急激に、それ以降はゆっくりと増加し ている。



図 10 A6063S 側破断面 Fig.10 Surface of the A6063S plate after joining



図 11 リベット接合面積の測定結果 Fig.11 Measurement result of rivet joining area

<3.5.2>接合強度

図12に、各加圧力における加振時間と接合強度の関係を示す。 いずれの加圧力においても、接合強度は、加振時間が0.5sまでに 急激に上昇し、それ以降ではゆるやかに増加した。そして、接合 強度の最大値は、A1070引抜線の引張強さ規格値(55 MPa以上 95 MPa以下⁽³⁾)に匹敵する 50 MPa~60 MPa の値を示した。

加振時間が 0.5s までは、接合面積の増加に対して、接合力が短時間に大きく増加しており、この時間領域においては、ホーンの ローレット面直下において加振材と固定材の界面に存在する酸 化皮膜や汚れの層が部分的に破壊されて接合起点が生じ、両者の 新生面が露出して接合力が時間とともに急激に増大していると 考えられる。

一方、加振時間が 0.5 s 以降の領域では、接合界面の酸化皮膜や 汚れの層の破壊が進み、主に新生面の露出部が拡大することによ り接合力が増大しているため、接合強度の増加が緩やかになった と考えられる。

これらの結果から、0.5 s という短時間でも十分接合が生じる可 能性が示唆された。しかし、リベット面全面での接合が確認され なかったことから、より強固な接合にするためには、全面で接合 されるようにするための加振方法やリベット頭部の形状の検討 が必要と考えられる。





<3. 6>接合メカニズムの調査

超音波接合は振動によって加振材と固定材の表面の酸化皮膜 等の不純物を排斥し、清浄な金属表面を露出させることで接合を 生じさせると報告されているが、実際にどのようなメカニズムで 接合が生じているか明確ではない。そこで、剥離面の SEM によ る観察および元素分析を行い、接合のメカニズムの調査を試みた。 加圧力 200 N、加振時間 2s で接合した試験片の、引張試験後の加 振材、固定材それぞれの剥離面について観察および分析を行った。

図 13 に固定材および加振材の剥離面の SEM 写真及び Al と O のマッピング結果を示す。固定材の SEM 写真において、中央部 の円弧の帯状となっている部分(以下、「帯状部」とする。) はダ イスマークが消失した部分で、写真の下側はリベット頭部の中心 側である。加振材の SEM 写真は、固定材で撮影、分析を行った 部分に対応する部分のものとなっている。

SEM 写真および O のマッピング結果から、固定材上の帯状部 のリベット頭部外縁側で O 濃度が高くなっており、この帯状部の リベット頭部の中心側でもわずかに O 濃度が上昇していること が確認された。加振材にも同様の結果が見られた。また、これら の O 濃度が高くなっている部分では Al 濃度が低くなっているこ とが分かった。一方、O 濃度が高くなっている部分に挟まれた帯 状部の内側では、O 濃度の上昇が見られず、Al が高い濃度を維持 している。

これらのことから、O 濃度が高い部分は、AI 表面に形成されて いた酸化皮膜が、接合時の界面の摩擦によって周囲に排斥され、 その内側では加振材と固定材の新生面が露出し、接合に至ったと 考えられる。

したがって、接合強度の改善には、接合時に加振材と固定材の 摩擦面を増やすことにより新生面の露出面積を増加させること が必要であると考えられる。



4. ホーンの長寿命化に関する検討

図2で示したホーンでは、安定な接合は可能だが、長期間の使 用を考えた際、ローレット部分の損耗や加振材のホーンへの固着 が考えられ、このためのホーン交換によるコストの増大や生産ラ インの停止が問題となる。そこで、ローレット構造が無く、加え て、ホーンと加振材の直接接触を防ぐため、ホーンと加振材の間 にロッド材を入れる構造のホーンを試作し、接合可否と振動特性 の調査を行った。

試作したホーンの構造を図 14 に示す。ホーンチップ部に該当 する部分として、内側に穴径 φ6 mm×高さ 8 mm の円柱空間を設 け、アルミリベットと鉄製ホーンの直接接合を抑えるため鉄に固 溶し難い黄銅 (C3604) 製の中空ロッド (外形 φ6 mm、内径 φ3 mm× 長さ 10 mm)をリベット軸部に挿入したうえで、リベットをロッ ドとともにこの円柱空間に入れ、加振した。このホーンにおいて は、ロッド材上面とホーンの摩擦、ロッド材下面とリベットの摩 擦により、ホーン振動のリベットへの伝達を期待した。用いた接 合材には表 1 の材料を使用した。





<4.1>接合可否と振動エネルギーの評価

接合試験は、加圧力 100 N、200 N、400 N、800 N (4 水準)、加振時間 1 s、2 s、4 s、8 s (4 水準) を組み合わせた条件で実施した。

表3に接合可否の調査結果を示す。表3から、上記条件の組み 合わせでは接合可になるものはなかった。図15に、加圧力200N における加振時間と平均出力の関係を示す。図15には、図2の ローレットのあるホーンの結果も併記した。以下、図14のホー ンをロッドホーン、図2のホーンをローレットホーンと示す。

表 3. リベット接合試験の結果

Table 3 Result of rivet joining test

		加振時間(s)					
		1	2	4	8		
加圧力(N)	100	×	×	×	×		
	200	×	×	×	×		
	400	_	×	×	×		
	800	_	×	×			
○·接合可 ×:接合不可 -:未試驗							





Fig.15 Relationship between weld time and average output

ローレットホーンの平均出力は 220W 程度であるが、ロッドホ ーンでは 70 W 程度しかなかった。この傾向は、200 N 以外の加圧 力においても同様であった。

これらのことから、ホーンとロッド材、ロッド材と加振材の間 で滑りが生じていることが考えられる。このことを確認するため に、振動特性の評価を行った。

<4. 2>振動特性の評価

<3.4>で示した方法にて、それぞれのホーンを使用した時のホーン、ロッド材、加振材、固定材の振動の大きさを測定した。そして、ローレットホーンを用いた時に接合していると考えられる加振時間が0.2sから0.4sの間の振動の加速度データをFFT分析し、加振周波数である19kHzにおける加速度の振幅を算出した。

図16に2種類のホーン形の各測定箇所の加速度の振幅を示す。 ローレットホーンでは、加振材の振幅がホーンの振幅に近い値と なっている。一方、ロッドホーンでは、ロッド材の振動はホーン の振動と比較して大幅に減衰している。また、加振材の振動は殆 ど認められず、ホーンの振動が加振材にほとんど伝わっていない ことが明らかである。すなわち、ホーンとロッド材、そして、ロ ッド材と加振材の間で滑りが発生している可能性が高いことが 分かった。

これらのことから、接合改善のためには、ホーンとロッド材、 ロッド材と加振材の間の摩擦力を高め、滑りを抑制する必要があ り、それぞれの接触面の形状の検討が必要と考えられる。



5. 結言

超音波接合で実績のないリベット形状の部品を加振材とし、建 材分野で多用される Al-Mg-Si 系合金 A6063S-T5 を固定材とし、 振動の計測および解析、接合強度評価等からアルミリベットでの 接合可否の調査および接合条件の最適化の検討を行った。以下に 得られた主な知見を示す。

①アルミリベットの接合可否の調査

ホーンチップ面にローレット加工を施し、アルミリベットの頭 部を直接加振するホーンを作製し、接合を試みた結果、0.05 s 以 上の加振で安定して接合可能となることが分かった。 ②振動エネルギーの評価

振動エネルギーの時間平均である平均出力は、加振時間が 0.05 s まで急増した後、ほぼ一定となった。このことより、加振時間 0.05 s 以降では加振材と固定材が接合した状態となり、平均出力 が一定になったものと考えられる。

③振動特性の評価

レーザドップラ振動計による非接触測定を試みた結果、加振開 始から 0.05 s までは、ホーンおよび加振材は加速度の振幅が急激 に増加し、固定材はそれと比べて緩やかに増加することが明らか になった。また、それ以降は、いずれもほぼ一定の加速度振幅で 振動していることが明らかになった。

④接合強度の評価

加振開始から0.5 s までの領域では、接合強度が急激に増加し、 その後は緩やかに増加することが分かった。これは、加振開始か ら0.5s までは固定材、加振材の酸化皮膜や汚れの層が破壊されて 露出した新生面において接合が生じることにより接合力が短時 間で急激に増大し、それ以降は主に新生面の露出面積の拡大によ り接合力が増加しているためと考えられる。

⑤ 接合メカニズムの調査

SEM による観察および元素分析の結果から、接合界面の帯状部 の縁に沿って、Al 濃度と O 濃度の違いが確認された。このこと から、接合前に表面に形成された酸化皮膜が接合時の界面の摩擦 によって周囲に排斥され、その内側では加振材と固定材の新生面 が露出し、接合に至ったと考えられる。

⑥ホーンの長寿命化に関する検討

ホーンの長寿命化のため、ローレット構造の無いホーンによる 接合の可能性を調査した結果、接合可となる条件は見いだせなか った。加振時のホーン、ロッド材、加振材の振動の測定結果から、 ホーンとロッド材、ロッド材と加振材の間に滑りが生じており、 ホーンの振動が加振材にほとんど伝わっていないことが確認さ れた。

文 献

(1)盤若秀明他:平成29年度若い研究者を育てる会研究論文集、
 pp.28-35

(2)社団法人日本塑性加工学会 超音波応用加工(2004).

(3)JISH 4040:2006アルミニウム及びアルミニウム合金の棒及び 線

Ⅲ 曲面用外観検査手法の研究

Study on Visual Inspection Method for Curved Surface

石澤 剛士	金森 直希	中村 陽文	溝口 正人
ISHIZAWA Tsuyoshi	KANAMORI Naoki	NAKAMURA Takafumi	MIZOGUCHI Masato

Abstract

In the manufacturing industry, automation of visual inspection has been achieved with many objects, but there are objects that are difficult to inspect at real cost. For example, in metal precision machined parts, coolant is used during machining, so the target surface is covered with liquid film. Therefore, two extra steps are required. That is, removing the liquid film immediately before the test and covering again with the liquid film immediately after the inspection. Moreover, it is difficult to conduct a uniform automatic inspection for minute scratches on a curved surface. In this research, we examined image inspection methods for precisely detecting minute defects on the glossy surface without completely removing the liquid film by cleaning, for piston pins which are precision metal processed parts. First, we developed an effective equipment configuration to capture representative three kinds of microscopic appearance defects (spiral scratches, grinding unevenness and dent marks) as sharp images, and clear camera captured images could be obtained. Next, we have created image processing programs to detect all of these microscopic defects. As the results of image processing experiments, all defective parts were detected.

1. 緒言

製造業において、外観検査の自動化は多くの対象物で達成され るようになったが、現実的なコストで検査することが困難な対象 物も存在する。例えば、光沢を有する曲面上の様々な種類の微小 なキズを高い精度で安定的に検査するためには、対象物の曲面形 状やキズの種類に合わせて検査手法やシステム構成を検討する 必要がある。また、冷却液をかけながら加工される金属製の精密 加工部品を外観検査する際には、通常、液膜を除去して撮影や測 定を容易にするための洗浄工程を追加することが求められる。

そこで、本研究では、金属製部品の光沢曲面における複数種類 の微小なキズの検知を、機械加工時に付着した液膜を有機溶剤で 洗浄することによって完全除去することなく、高い精度で安定的 に実施することを目指し、精密金属加工部品であるピストンピン の3種類の微小キズをカメラ画像により検出する手法を検討した。

2. 検知対象

<2. 1> 対象物

キズ検知の対象物は、エンジンの主要な金属部品であるピスト ンピンである(図1、図2)。ピストンピンは、ピストンとコンロッ ドの小端部を、力のモーメントを発生させることなく連結するた めの中空円筒形の部品である⁽¹⁾。その外周円筒面は、要求される 表面粗さが非常に小さい⁽¹⁾ため、光沢を有する曲面となっている。 加工直後の状態を模擬するために、ピストンピンを水溶性研削液 に浸した後、ウェスで研削液を軽く拭き取った状態のものを試料 とした。



<2.2> 検知対象とするキズの概要

検知対象は、ピストンピンの外周円筒面に発生することがある 3 種類の微小なキズであり、ここではそれぞれ、らせんキズ、研 削ムラ、ダコンと呼ぶことにする。以下に各キズの外観上の特徴 および断面形状を述べる。断面形状は、非接触式の表面形状測定 機(Zygo 製 New View 7300)による測定値を、各キズの外観写真 に示された断面線に沿ってプロットしたものである。

<2.2.1> らせんキズ

らせんキズの外観例およびそれらの断面形状例を図 3 に示す。 薄い細線状の外観不具合が全周に渡ってらせん状に存在してい る。らせんの方向は、図 3(a)において、右斜め方向のものおよび 左斜め方向のものの2種類が存在する。らせんキズの断面形状は、 深さ 0.7~1.5 μm 程度、幅 50 μm にも満たない針形状であった。 非常に微細なキズであるため、目視によるキズの確認は容易では ない。このキズの発生原因は、研削工程での研削砥石による擦り 傷であると考えられる。





(a) Appearance of spiral scratch (b) Cross-sectional shape of spiral

scratch 図3 らせんキズの外観および断面形状の例 Fig.3 Example of appearance and cross-sectional shape of spiral scratch

<2. 2. 2> 研削ムラ

(a) らせんキズの外観

研削ムラの外観例およびそれらの断面形状例を図4に示す。光 沢のある周辺とは異なり曇ったような外観印象を有する。この曇 った領域は、円筒の軸方向に伸びており、軸方向に数ミリメート ル程度、円周方向に0.4~1.5 mm 程度の大きさであった。研削ム ラの深さは、深いところで1µm であり、幅は0.5 mm 以上であっ た。このキズは、深さはらせんキズと同等の大きさであるが、幅 が広く、光沢がないため、目視で比較的容易に確認できる。この キズの発生原因は、外周表面の心無し研削中に、砥石による切込 みがわずかに大きくなることによるものと考えられる。



Fig.4 Example of appearance and cross-sectional shape of grinding unevenness

<2. 2. 3> ダコン

ダコンの外観例およびそれらの断面形状例を図5に示す。この キズは、製造工程や検査工程で主にピストンピン同士がぶつかり 合うことで発生すると考えられ、まさに何かをぶつけた痕跡のよ うな外観印象を有する。キズの深さは6~12 μm であり、らせん キズおよび研削ムラの約 10 倍であった。キズの幅は、V 字状の 谷部の外側に広がる盛り上がり部を含めると1 mm 程度であった。 このキズは、らせんキズおよび研削ムラと比較して、最も目視確 認しやすい。



(a) Appearance of dent marks

(b) Cross-sectional shape of dent marks

図 5 ダコンの外観および断面形状の例 Fig.5 Example of appearance and cross-sectional shape of dent

rig.5 Example of appearance and cross-sectional shape of denic marks

3. 撮影実験装置

<3.1> 概要

前章で述べた検知対象となる3種類のキズは、概して微小であ る。これら3種類の微小なキズを、画像処理によって高い精度で 検知するためには、それらのキズの外観を鮮明な画像として捉え ることが不可欠である。そこで、それぞれのキズの特徴に合った 適切な照明角度を、次節で述べる全周撮影装置を用いて検討する とともに、液膜がピストンピンの表面に存在することによる結像 不具合への対策を行った。

<3. 2> 全自動全周撮影装置

ピストンピンの外周面を効率よく撮影するために、全自動でピ ストンピンの外周面を撮影する全周撮影装置を製作した。被写体 となるピストンピンは、図 6(a)に示すように、ステッピングモー タ(MERCURY MOTOR 製 SM-42BYG011)の軸に磁石で固定され、 鉛直上方に設置された産業用カメラ(SONY 製 XCG-510)によっ て外周表面が撮影される。カメラレンズには偏光フィルタが取り 付けられている。ステッピングモータは、ワンボードマイコン (Arduino LEONARDO)と SPI インターフェイスで接続されたステ ッピングモータドライバ(秋月電子製 AE-L6470DRV)に位置制御 される。ワンボードマイコンは USB インタフェイスを介して PC と接続されている。この PC には、GigE インタフェイスを介して カメラも接続されている。この PC に搭載されたプログラミング 環境(Mathworks 製 MATLAB)上で一連のプログラムを作成・実行 することによって、ステッピングモータを制御しながらカメラ撮 影することができる。カメラの位置(レンズ先端)は、ピストンピ ンの中心から鉛直上方に約 83 mm の地点である。



(a) 断面図





(b) 俯瞰図

(b) Overhead view

図6 撮影装置・照明装置の概略図

Fig.6 Schematic view of photographing device and lighting device

<3. 3> 軸方向からの照明

キズのない光沢面からの正反射光をできるだけ抑制しつつ、微 小なキズの存在する箇所を散乱光としてカメラへ入射させるこ とを狙って、ピストンピンの軸方向のできるだけ下方から光を照 射することができる照明装置を製作した。図 6(a)に示すように、 鉛直上方からピストンピンの軸方向へ角度0だけ低い位置を中心 として照明装置が設置できるようになっている。照明装置からピ ストンピン中心までの距離rは約 190 mm とした。照明装置は、 小型の長方形型 LED 照明(千石電商 3528 6LED パネルライト 白 (横45 mm×縦16 mm))7 個を、図 6(b)に示すように、距離 r を保 つように並べたものとした。長方形型 LED 照明は、設置・移動 を容易にするために、直径約 390 mm のボウルの内面に貼り付け られており、照明の表面には偏光フィルタが貼付されている。な お、ボウル内面は、光の反射を抑制するために、光沢のない黒色 塗料をスプレー塗布されている。照明パネルをピストンピンの軸 方向すなわちα=0°に1 個のみ設置するのではなく、周辺に7 個並 べたのは、軸方向から少し外れた角度からも光を照射することに よって、キズ部からの散乱光をできるだけカメラに集めようとし たものである。

<3. 4> 液膜による結像不具合およびその対策

ピストンピンの表面は研削液の厚い膜に覆われており、この液 膜の厚さムラによって、撮像時に結像不具合が発生する。一般的 な画像検査では、有機溶剤を使って液膜を完全に除去することが 行われているが、ここでは、低コスト化を重要視しているため、 それに替わる方法を検討した。その結果、図7に示すように、ピ ストンピンの側面にゴム板(厚さ 5 mm)の角を押し当てたままス テッピングモータを駆動させることにより、液膜を擦り落とすこ ととした。図8に水切りゴムの設置効果の例を示す。ピストンピ ン中央部に発生していた液だれによる結像不具合が、水切りゴム を設置したことによって解消されていることがわかる。



図 7 液膜による結像不具合を抑制するために取り付けられた水切りゴム Fig.7 Draining rubber attached to suppress image defect caused by liquid film



(a) 水切りゴムなし (a) Without draining rubber



(b) 水切りゴムあり (b) With draining rubber

図 8 水切りゴムによる結像不具合抑制効果 Fig.8 Suppression effect of imaging failure by using draining rubber

4. 撮像実験

<4.1> らせんキズの撮像

前章の撮影実験装置を用いて、らせんキズの撮像を行った。照 明角度0を30°、45°、および62°とした場合の撮影画像および稜線 付近の輝度値をそれぞれ図9に示す。図中の点線は、プロットす るために輝度値を取り出した1ラインの位置である。白色の実線 は輝度値(12bit)をプロットしたものであり、灰色の実線は、その 差分値プロットである。いずれの照明角度においても、らせんキ ズ部が高輝度の鋭いピークとして表れている。しかし、照射角度 が小さくなるほど、照明に近い側(左側)が全体的に明るくなって いる。とくに、照明角度が 30°の場合においては、左側へ行くほ ど、らせんキズ部の輝度値が周囲の輝度値と同レベルになってお り、らせんキズ部が埋没してしまっている。

<4. 2> 研削ムラの撮像

前章の撮影実験装置を用いて、研削ムラの撮像を行った。照明 角度0を30°、45°、および62°とした場合の撮影画像および稜線付 近の輝度値をそれぞれ図10に示す。いずれの照射角度において も、研削ムラ部が周辺部よりも高輝度となっている領域(塊)とし て表れている。しかし、照明角度が小さくなるほど、らせんキズ の場合と同様に、照明に近い側(左側)が全体的に明るくなってい る。

<4. 3> ダコンの撮像

前章の撮影実験装置を用いて、ダコンの撮像を行った。照明角 度0を30°、45°、および62°とした場合の撮影画像および稜線付近 の輝度値をそれぞれ図 11 に示す。この試料は極端な例ではある が、いずれの照射角度においても、ダコン部が明確に輝度値プロ ット上に明確には表れなかった。ダコン部は周辺部よりも低い輝 度値として表れるが、その差が小さいため、プロット上に明確に は表れなかったものと考えられる。なお、他のダコン部や他の試 料では、ダコン部が輝度値プロット上に明確に表れるものもあっ た。



(a) 照明角度がθ=30°の場合(輝度値プロットなし)

(a) In the case of the illumination angle of θ =30° (No brightness plot)



(b) 照明角度が0=30°の場合

(b) In the case of the illumination angle of θ =30°



(c) In the case of the illumination angle of θ =45°



(d) 照明角度が0=62°の場合

(d) In the case of the illumination angle of θ =62° 図 9 らせんキズの撮像結果

Fig.9 Imaging results of spiral scratch



(a) 照明角度が0=30°の場合(輝度値プロットなし)

(a) In the case of the illumination angle of θ =30° (No brightness plot)



(b) 照明角度が0=30°の場合

(b) In the case of the illumination angle of $\theta\text{=}30^\circ$



(c) 照明角度が0=45°の場合

(c) In the case of the illumination angle of θ =45°



(d) 照明角度が0=62°の場合

(d) In the case of the illumination angle of θ=62° 図 11 ダコンの撮像結果 Fig.11 Imaging results of dent marks



(a) 照明角度が0=30°の場合(輝度値プロットなし)

(a) In the case of the illumination angle of $\theta\text{=}30^\circ$ (No brightness plot)



(b) 照明角度が0=30°の場合

(b) In the case of the illumination angle of $\theta\text{=}30^\circ$



(c) 照明角度が0=45°の場合

(c) In the case of the illumination angle of θ =45°





5. 画像処理によるキズ部の検出

<5.1> 画像処理の概要

まず、前章の撮像実験で得られた画像に見られる背景輝度の不 均一さを解消することとした。すなわち、撮像時に照明側(左側) がより明るくなってしまったものを、左側も右側も遠目で見た際 に同じような明るさにするということである。具体的には、画像 の局所的な平均を各々算出し、元の画像から差し引くことで背景 の均一化を実現した。次に、それぞれのキズの特徴を考慮して、 キズ部の強調、ノイズ除去、および2値化処理を適宜実施した後、 キズの判定を実施した。これらの画像処理は、すべて MATLAB 上で実施した。

<5. 2> らせんキズの検出実験

らせんキズを有する異なる3つのピストンピンそれぞれについ て、外周全体を撮像・検出させた結果を図12に示す。それぞれ の検出例について、左側の図はピストンピンを1周分撮像して展 開した画像であり、右側の図はその画像における検出結果を表す。 すべての試料において、らせんキズを正しく検出することができ た。キズ深さ0.7 μmの試料(図12(b))は、らせんキズのなかでもか なり微小なものであったが、正しく検出することができた。

<5.3> 研削ムラの検出実験

研削ムラを有する異なる3つのピストンピンそれぞれについて、 外周全体を撮像・検出させた結果を図13に示す。すべての試料 において、研削ムラを正しく検出することができた。キズ深さ0.8 µmの試料(図13(c))は、背景全体が明るい部分の中にキズ部が埋 もれた事例であったが、正しく検出することができた。

<5. 4> ダコンの検出実験

ダコンを有する異なる 3 つのピストンピンそれぞれについて、 検出させたが、ほとんど検出できなかった。ダコンは、太くかつ 短い線状のキズであるが、キズ線の方向などによってはカメラに 届くキズ部の散乱光がかなり弱い場合もあり、とくにカメラ側か ら見て稜線から遠い位置に存在するダコンでそのことが顕著で あることがわかった。

そこで、図 14 に示すように、ピストンピンの円周方向から光 を照射することによって、カメラ側から見た際のピストンピンの 稜線から遠い領域(図 9~11 でほぼ真っ暗になっている領域)で ダコン部の鮮鋭化を試みた。図 14(a)に示すように、ピストンピン の円周方向側の低い位置に照明装置を設置した。照明装置からピ ストンピンの中心軸までの距離は約 130 mm とした。照明装置に は、テープ型 LED 照明(ライコウ製 TFW050W(幅 10.7 mm))を用 い、図 14(b)に示すように、長さ 110 mm のものを上下 2 段に並べ て設置した。



(a) 代表的なキズ深さ 1.4 µm の試料 (a) A sample with typical scratch depth 1.4 µm



(b) 代表的なキズ深さ 0.7 μm の試料 (b) A sample with typical scratch depth 0.7 μm



(c) 代表的なキズ深さ 1.1 μm の試料
 (c) A sample with typical scratch depth 1.1 μm
 図 12 らせんキズの撮像・検出例
 Fig.12 Examples of imaging and detection of spiral scratches



(a) 代表的なキズ深さ 1.3 µm の試料 (a) A sample with typical scratch depth 1.3 µm



(b) 代表的なキズ深さ 0.9 µm の試料 (b) A sample with typical scratch depth 0.9 µm



(c) 代表的なキズ深さ 0.8 µm の試料 (c) A sample with typical scratch depth 0.8 µm





(a) Sectional view



図 14 ダコン用照明装置の概略図 Fig.14 Schematic view of lighting device for dent marks

デジタルマイクロスコープ(キーエンス製 VHX-6000)で撮影し たダコンの画像を図 15 の各試料の上段部に示す。これらの画像 は、図6の照明装置で撮像した際に、ダコン部がまったく目視確 認できずほぼ真っ暗になった部分をできるだけ可視化するため に取得したものである。画像処理によるダコン部の検出方法は次 のとおりである。まず、図 14 の照明装置を用いて画像を比較的 大きな領域に分割し、それぞれの領域ごとにダコンの有無を判定 する。判定方法は、ダコンが存在する場合と存在しない場合の、 (1)その領域の平均輝度の差、および(2)その領域の輝度のバラツキ 具合の差、を算出し、そのどちらか片方でも値が大きくなった場 合にダコンが存在するとの判定を下すこととした。図 15 の各試 料の下段部に、ダコンの検出結果を示す。いずれの試料において も、正しくダコン部を検出することができた。



(a) 試料 1 (a) Sample 1



(b)試料 2

(b) Sample 2



(c) 試料 3 (c) Sample 3

図 15 ダコンの写真(上段)および検出結果(下段)

Fig.15 Microphotograph (upper row) and detection result (lower row) of dent marks

6. 結言

本研究では、光沢曲面を有する精密金属部品であるピストンピンに発生する3種類の微小キズ(らせんキズ、研削ムラ、ダコン)を、有機溶剤による完全洗浄を実施することなく鮮明にカメラ画像として捉えることができる撮像方法を考案・試作し、この撮像装置により得られた画像を処理することによっていずれのキズも検出することができた。

文 献

(1) 三栄書房: 大車林-自動車情報事典 (2004).

Ⅳ. 感光性ナノファイバーを用いた フレキシブルな透明導電パターンの作製

Preparation of a Transparent Conductive Pattern Using the Photosensitive Nanofiber

槇 正史 MAKI Masashi 横山 義之 YOKOYAMA Yoshiyuki

本保 栄治 HONBO Eiji 角田 龍則 KAKUDA Tatsunori 西村 克彦 NISHIMURA Katsuhiko

Abstract

In recent years, the tablet PC, smartphone and solar cell market has been expanding. In these devices, transparent conductive sheets and patterns containing Indium Tin Oxide (ITO) film function as important electrical components. There are, however, disadvantages of ITO due to a high cost of the rare metal indium used in the films and little flexibility of inorganic materials. ITO cannot be used in flexible products which are currently in high demand in Internet of Things (IoT) society. There is a new method that has been proposed for the construction of transparent conductive sheets via a metal nano network structure by using the thin mesh of nanofibers as an etching mask to create a thin metal film. In this study, taking up this method, a new process utilizing a unique nanofiber bestowed with photosensitive properties is developed to create a transparent conductive pattern as an ITO film substitute that is both cheap and flexible.

1. 緒言

近年、タブレット PC やスマートフォン、太陽電池の市場が拡 大している。これらの製品には、透明導電シートや透明導電パタ ーンが重要な電子素材として使われており、現在は、導電性と透 明性を兼ね備えた無機薄膜である酸化インジウムスズ(ITO) 膜 が主に用いられている。しかし、ITO 膜の課題として、レアメタ ルである原料のインジウムのコストが高く供給が不安定である こと、無機材料であるため曲げ耐性が低くフレキシブルな電子機 器への取り付けが制限されること等がある。特に、フレキシブル 性については、今後、身の周りのあらゆるモノがインターネット につながる IoT (Internet of Things) 社会で求められるフレキシブ ル・ウェアラブルなセンサ、IC タグ、ディスプレイなどの実現の ために必須であるため、ITO 膜に替わる代替材料の開発が強く求 められている。

その中で、エレクトロスピニング法によって得られる高分子ナ ノファイバーが持つ細い網目構造をエッチングマスクとして利 用し、金属薄膜をエッチングすることで、細い網目状の金属ナノ ネットワーク構造からなるフレキシブルな透明導電シートを形 成する手法が新たに提案されている⁽¹²⁾。本研究では、この手法に、 感光性を付与した独自の高分子ナノファイバー(感光性ナノファ イバー)を用いることで、電子デバイスに必要な回路パターンの 形成を容易にし、ITO 膜に代わるフレキシブルで安価な透明導電 パターンの開発に取り組む。

2. 感光性ナノファイバーによる透明導電パターンの形成

本研究で取り組むフレキシブルな透明導電パターンの形成プロセスを図1に示す⁽³⁾。



- 図 1. 感光性ナノファイバーによる透明導電パターンの形成プロセス
- Fig. 1 Formation process of a transparent conductive pattern using the photosensitive nanofiber.

はじめに、アルミニウム (Al) を蒸着した PET フィルム上に、 感光性ポリマー溶液をエレクトロスピニング法でスプレーし、感 光性ナノファイバーを均一に堆積させる。次に、回路パターンが 描かれたフォトマスクを介して光を照射し、任意の配線状にナノ ファイバーを光パターニングする。続いて、パターニングしたナ ノファイバーをエッチングマスクとして Al 薄膜をエッチングし、 Al ナノネットワークを形成する。最後に、ナノファイバーを除去 し、形成した Al ナノネットワークを露出させる。この Al ナノネ ットワークを伝わって電気が流れるため導電性を持たせること ができ、同時に、Al ナノネットワークの隙間を光が通過すること で、透明性を持たせることができる。

3. 実験方法

<3. 1>ベースポリマーの合成

感光性ナノファイバーに用いるベースポリマーの合成スキー ムを図2に示す。はじめに、4-ヒドロキシフェニルメタクリレー ト (POMA、昭和電工(株))、ベンジルアクリレート (BA、和光 純薬(株))、および、ベンジルメタクリレート(BMA、和光純薬 (株))を、ラジカル重合開始剤である 2.2-アゾビス(イソ酪酸)ジ メチル (V-601、和光純薬(株)) と共に、テトラヒドロフラン (安 定剤不含、和光純薬(株))に溶解した。それぞれの仕込み比(モ ル比)は、PQMA: BA: BMA: V-601 = 0.25: 0.55: 0.2: 0.005 とし た。ここで、PQMAは、ベースポリマーにアルカリ現像液に対す る溶解性を持たせるために用いている。また、BA と BMA は、 アルカリ現像液に対する溶解性の微調整、および、ガラス転移温 度の微調整のために用いている。次に、反応系の酸素を除去する ために窒素ガスパージを行いながら、70℃で6時間、還流条件下 で重合を行った。反応終了後、貧溶媒である n-ヘキサン(和光純 薬(株))に反応溶液を注ぎ、ポリマーを析出させ、濾別、乾燥 して、白色のポリマーを得た。



図 2. ベースポリマーの合成スキーム

Fig. 2 Polymer synthesis reaction scheme.

<3.2>エレクトロスピニング溶液の調整

合成したベースポリマーに、感光性を付与するための光反応性 を有する溶解阻害剤(ナフトキノンジアゾスルホン酸エステル化 合物)を、ポリマーに対して30wt%の割合で加え、揮発性の高い 溶媒1,1,1,3,3,3-ヘキサフルオロ-2-プロパノール(和光純薬(株)) に溶解した。さらに、溶液の電気伝導度を上げるための電解質(テ トラブチルアンモニウムクロリド、東京化成工業(株))と表面 張力を調整するための界面活性剤(Novec FC-4430、住友スリーエ ム(株))を、ポリマーに対して0.5wt%の割合で添加し、エレク トロスピニング溶液を調整した。

<3. 3>ナノファイバーの形成

感光性ナノファイバーの形成に用いたエレクトロスピニング 装置(高圧電源部に(株)グリーンテクノ製GT80Pを用いた自作 装置)を図3に示す。エレクトロスピニング法は、ノズルに高電 圧を印加することで、高分子溶液をスパークさせながらスプレー し、対向する電極(コレクタ)上に直径数百 nm のナノファイバ ーを堆積する手法である。調整したエレクトロスピニング溶液を 本装置でスプレーし、Alを蒸着したPETフィルム(Al蒸着膜の 厚み45 nm、PETフィルムの厚み12 µm、ケニス(株))上にナノ ファイバーの堆積を行った。印加電圧は5 kV、ノズル先端と電極 間の距離は10 cm とした。形成したナノファイバーは、走査型電 子顕微鏡(JSM-6610、日本電子(株))、光学顕微鏡(IV71、オリ ンパス(株))、および、走査型プローブ顕微鏡(Dimension Icon、 ブルカー・エイエックスエス(株))を用いて観察を行った。



図 3. エレクトロスピニング装置 Fig. 3 Electrospinning device.

<3. 4>ナノファイバーの光パターニング

はじめに、ナノファイバーを堆積した AI 蒸着 PET フィルムを オーブンに入れて加熱し、ナノファイバーを熱ダレさせ、AI 表面 にナノファイバーを密着させた。次に、超高圧水銀ランプを光源 に用いたマスクアライナー(PEM-800、ユニオン光学(株))を用 いて、フォトマスクを介したブロードバンド光による露光を行っ た。現像には、現像中の AI 薄膜の溶解を抑えるため、金属腐食 防止剤入りのアルカリ性水溶液(3.3%テトラメチルアンモニウム ハイドロオキサイド水溶液、PK-DEX4000T、(株)パーカーコー ポレーション)を用い、露光部のナノファイバーのみを選択的に 溶解させることで、光パターニングを行った。

<3. 5>Alナノネットワークの形成

光パターニングを行ったナノファイバーをエッチングマスク として、AI 薄膜のウェットエッチングを行った。エッチング液に は、Pure Etch AS1(リン酸・硝酸・酢酸混合水溶液、林純薬工業 (株))を用い、エッチング時間 2 分(23℃)で行った。エッチ ング後、アセトン(和光純薬(株))を用いてナノファイバーの 除去を行い、形成した AI ナノネットワークを露出させた。

<3. 6>透明導電パターンの性能評価

透明導電パターンの光透過率は、紫外可視分光光度計(Gene Quant Pro、アマシャムバイオサイエンス(株))を用いて可視光 領域の波長 600 nm にて測定した。シート抵抗は、4 探針測定装置 (K89PS 150µR、共和理研(株))を用いて測定した。さらに、透 明導電パターンを形成した PET フィルムを直径 3 nm の円柱に 1 回巻き付けた後に、再度シート抵抗を測定し、曲げ耐性(フレキ シブル性)を確認した。また、比較試料として、ITO コーティン グ PET フィルム(ITO 膜厚 100 nm、Sigma Aldrich)を用いた。

4. 実験結果

<4. 1>ベースポリマーの感光特性

本研究では、溶解阻害型のポジ型(光が当たった部分が消失し、 当たらなかった部分がパターンとして残る)感光機構を組み込ん だ感光性ナノファイバーを作製し実験に用いた。図4に、溶解阻 害型のポジ型感光機構を示す。感光性ナノファイバーは、ベース ポリマーと光反応性の溶解阻害剤から構成されている。ベースポ リマーは、アルカリ性の現像液に対してある程度の溶解性を示す が、溶解阻害剤を一定量以上加えることで、現像液に対して不溶 となる。しかし、溶解阻害剤は光が当たると、化学反応により溶 解促進剤へと大きく特性が変化することから、露光部では、現像 液に対して再び溶解性を示すようになる。このように、露光部と 未露光部で現像液に対する溶解性にコントラストをつけること で、光パターニングを行う。

露光部では、溶解阻害剤が



Fig. 4 Positive type photosensitive mechanism using the dissolution inhibitor.

そこで、合成したベースポリマーに溶解阻害剤を添加し(ポリ マーに対して 30wt%)、光照射の有無で現像液に対する溶解性が 変化するか調査することで、感光性の有無を確認した。はじめに、 ベースポリマーと溶解阻害剤をテトラヒドロフランに溶解し、シ リコン基板上にスピンコートして薄膜(膜厚1µm)を形成した。 次に、フォトマスクを介して光照射(露光量:570 mJ/cm²(i線波 長で計測)を行い、露光部と未露光部を作り出した。最後に、現 像液に5分間浸漬し、残膜の有無で溶解性を判断した。未露光部 は、現像液に対して不溶であったのに対し、露光部は、完全に現 像液に溶解し、感光性を有していることがわかった。

<4. 2>ベースポリマーの熱特性

本研究で用いる透明導電パターンの形成プロセスでは、ナノフ ァイバーを AI 蒸着 PET フィルム上に堆積後、ナノファイバーが 柔らかくなる温度(ガラス転移温度)以上に加熱して、熱ダレを 起こす必要がある。これは、熱ダレさせることにより、AI 表面に ナノファイバーを密着させ、AI 薄膜のウェットエッチング工程で AI のアンダーカットが多少発生しても AI がパターンとして残る ようにするためである(図 5)。



図 5. ナノファイバーをエッチングマスクとして用いる AI 薄膜のエッチング工程

Fig. 5 Wet etching process of aluminum using nanofibers as an etching mask.

熱ダレ工程では、PET フィルムが熱で歪まないように PET フィ ルムの耐熱温度よりも低い温度で、ナノファイバーを熱ダレさせ る必要がある。そこで、ベースポリマーに溶解阻害剤を添加した 後(ポリマーに対して 30wt%)、熱分析(示差走査熱量計:DSC) を行い、ガラス転移温度を求めた(図6)。ガラス転移開始温度は 57.9℃、ガラス転移終了温度は 85.6℃であり、今回用いた PET フ ィルムの耐熱温度(90℃)よりも低いことが確認できた。



図 6. 溶解阻害剤を添加したベースポリマーの熱分析の結果

Fig. 6 DSC measurement of the base-polymer with the dissolution inhibitor.

<4. 3>ナノファイバーの形成

溶解阻害剤を加えずに調整したエレクトロスピニング溶液を 用いて、ベースポリマーの溶液濃度(20wt%~5wt%)とエレクト ロスピニング法によって得られるファイバー径の関係を検討し た(図7)。溶液濃度が20wt%~7.5wt%の範囲では、均一なファイ バーが得られることがわかった。それに対して、5wt%の低濃度で は、ビーズが多数発生し、均一なファイバーを得ることができな かった。また、溶液濃度によってファイバー径を制御することが でき、特に、溶液濃度 10wt%~7.5wt%では、可視光の波長よりも 細いファイバーを含む直径1 µm 以下のナノファイバーの堆積が 可能であった。

本研究では、堆積したナノファイバーをエッチングマスクとし て AI 薄膜をエッチングし、AI ナノネットワークを形成する。そ のため、なるべく細い(特に、可視光波長以下の)ナノファイバ ーを用いれば、AIナノネットワーク1本1本も細くなるため、目 視では一層捉えにくくなり、透明導電パターンとしての不可視性 の向上が期待できる。そこで、これ以降の実験は、溶液濃度10wt% 以下で得られる細いナノファイバーを用いて行うこととした。



¢ 0.29∼0.66 [µm]

図 7. ベースポリマーの溶液濃度と得られるファイバー径の関係

溶液濃度:(a) 20wt%、(b) 15wt%、(c) 10wt%、(d) 7.5wt%、(e) 5wt%

Fig. 7 Relationship between solution concentration of base-polymer and obtained fiber diameter. (a) 20wt%, (b) 15wt%, (c) 10wt%, (d) 7.5wt%, (e) 5wt%

次に、上記のエレクトロスピニング溶液に、感光性の付与のた めに必要な溶解阻害剤を加えた際に、細いナノファイバーの形成 が同様に行えるか検討した。ベースポリマーの溶液濃度10wt%の エレクトロスピニング溶液に、溶解阻害剤をベースポリマーに対 して、10wt%、30wt%、50wt%の各割合で加え、エレクトロスピ ニングを行った。その結果を図8に示す。溶解阻害剤を10wt%~ 30wt%まで加えても、直径1 µm 以下の細いナノファイバーの形 成が維持されることがわかった。しかし、溶解阻害剤を50wt%以 上加えると、細いナノファイバーを得ることはできなくなった。

なるべく多くの溶解阻害剤をベースポリマーに加えるほど、光 パターニングの際に、露光部と未露光部での現像液に対する高い 溶解コントラストが得られ、より鮮明な光パターニングが可能に

なる。本研究で合成したベースポリマーは、良好な光パターニン グ特性を得るために、溶解阻害剤を 30wt%加える必要があるが、 その場合でも、細いナノファイバーを得られることが確認できた。



図8. ベースポリマーに加える溶解阻害剤の割合と得られるファイバー 形状の関係

溶解阻害剤の割合:(a) 10 wt%、(b) 30 wt%、(c) 50 wt%

Fig. 8 Relationship between the raito of dissolution inhibitor added to the base polymer and the obtained fiber shape. (a) 10wt%, (b) 30wt%, (c) 50wt%

<4. 4>ナノファイバーの熱ダレ

Al 蒸着 PET フィルム上に堆積したナノファイバーの熱ダレに ついて検討した。ベースポリマーの溶液濃度を10wt%とし、溶解 阻害剤をベースポリマーに対して 30wt%加えたエレクトロスピ ニング溶液を用いてナノファイバーを形成し、熱分析で計測した ガラス転移温度付近の50℃~90℃に設定したオーブンに5分間入 れ、熱ダレの発生を観察した(図9)。50℃、70℃では、熱ダレは 見られなかったが、ガラス転移終了温度(85.6℃)を少し超えた 90℃では、ナノファイバーが熱ダレによって若干潰れ、交差して いるファイバー同士も融着して一体化している様子が観察され た。以上の結果から、熱ダレは90℃で実施することとした。



図 9. 加熱温度とナノファイバー形状の変化の関係 加熱温度:(a) 50°C、(b) 70°C、(c) 90°C

Fig. 9 Relationship between heat treatment temperature and nanofiber shape change. (a) 50°C, (b) 70°C, (c) 90°C

<4.5>ナノファイバーの光パターニング

熱ダレを実施したナノファイバーに対して、微細なテストパタ ーンが描かれたフォトマスクを介して露光し、光パターニングを 行った。露光量は 190 mJ/cm² (i 線波長で計測))、現像時間は室 温で5分間とした。その結果を図10に示す。フォトマスクに描 かれたテストパターン通りにナノファイバーを光パターニング することができ、線幅 100 µm 以下の微細パターンも十分転写可 能であった。また、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) で、ナノファ イバーパターンが残っている領域を拡大観察すると、高さが約 250 nm、幅が約 970 nm の熱ダレした状態のナノファイバーが網 目状につながった構造を確認することができた。



Fig. 10 Photo-patterned photosensitive nanofiber.

<4. 6>Alナノネットワークの形成

光パターニングしたナノファイバーをエッチングマスクとし て用い、PET フィルム上の AI 薄膜をエッチングすることで、ナ ノファイバーの形状を AI 薄膜に転写し、AI ナノネットワークを 形成した。エッチング時間は室温で2分とした。続いて、ナノフ ァイバーをアセトンで溶解し完全に除去して、AI ナノネットワー クを表面に露出させた。その結果を図 11 に示す。AI 薄膜をエッ チングし、かつ、ナノファイバーも除去することで、パターンが 無い領域、パターンが有る領域ともに透明になった。AI ナノネッ トワークが形成された領域を SPM で拡大観察すると、高さが約 40 nm、幅が約720 nm の AI ナノワイヤーが網目状につながって おり、AI 薄膜のエッチングマスクとして、光パターニングしたナ ノファイバーを利用できることを確認した。



図 11. 光パターニングしたナノファイバーをエッチングマスクに用いて 形成した AI ナノネットワーク

Fig. 11 Al nano-network formed using photo-patterned nanofibers as an etching mask.

<4.7>透明導電パターンの性能評価

ベースポリマーの溶液濃度 10wt%のエレクトロスピニング溶 液を用い、エレクトロスピニングを 100 秒間実施して堆積した感 光性ナノファイバーを用いて作製した Al ナノネットワークから なる透明導電パターンについて、光透過率、シート抵抗、および、 曲げ耐性(フレキシブル性)の評価を行った。比較対象として、 Al 蒸着 PET フィルム(Al ベタ膜)と、パターニングを行ってい ない ITO コーティング PET フィルム(ITO 膜)を用いた。その結 果を表1に示す。

表 1. AI ナノネットワークからなる透明導電パターンの性能評価結果

Table 1 Performance evaluation results of transparent conductive patterns composed of Al nano-network.

#\	** '四 - [1/]	シート抵抗 [Ω/sq.]		
リンフル	迈迥华[%]	曲げ試験前	曲げ試験後	
AIナノネットワーク	65	51	55	
AIベタ膜	_	7	10	
ΙΤΟ	78	108	21300	
		(測定結	i果は3点の平均)	

(1) 光透過率

可視光領域の波長である 600 nm で測定を行った。Al ベタ膜は 全く光を通さないのに対し、Al ナノネットワーク化することで、 光透過率が 65%となり、光を通すようになった。また、比較対象 の ITO 膜の光透過率 78%よりは、若干低いことがわかった。

(2) シート抵抗

4 端針法でシート抵抗を測定した。Al ナノネットワークのシート抵抗は 51 Ω/sq.であり、導電性を示した。Al ベタ膜のシート抵抗 7 Ω/sq.よりも、ナノネットワーク化することで抵抗値は上昇したが、ITO 膜のシート抵抗 108 Ω/sq.よりも低い値を示し、高い導 電性を有していることがわかった。

(3) 曲げ耐性

直径3 mmの円柱に1回巻き付けた後、シート抵抗を再測定し、 曲げ耐性を確認した。ITO 膜は、曲げ試験によってシート抵抗値 が約200倍に大きく増加した。これは、曲げによって無機物であ るITO 膜に微小な割れが多く発生したことが原因と思われる。そ れに対して、AI ベタ膜や、それを細くネットワーク化した AI ナ ノネットワークでは、抵抗値がほとんど変化せず、優れた曲げ耐 性を有していることがわかった。

<4.8>透明導電パターンの光透過率とシート抵抗の関係

フィルム上に形成した透明導電パターンは、AIナノネットワー クを伝わって電気が流れると同時に、AIナノネットワークの隙間 を光が通過することで、透明性を持たせている。そのため、AI ナノネットワークの密度(AIナノネットワークが PET フィルム を覆う被覆率)によって、透明導電パターンの光透過率とシート 抵抗が変化すると考えられる。そこで、被覆率の異なる Al ナノ ネットワークを作製し、光透過率とシート抵抗の関係を調査した。 ベースポリマーの溶液濃度 9wt%のエレクトロスピニング溶液 を用い、エレクトロスピニングを実施する時間を 70 秒~270 秒の 間で変化させてナノファイバーの堆積密度を調整し、PET フィル ム上に異なる被覆率の Al ナノネットワークを形成した。次に、 光学顕微鏡で Al ナノネットワークを拡大観察し、得られた画像 を 2 値化処理して Al の被覆率を求めた (図 12)。さらに、光透過 率とシート抵抗をそれぞれ計測した。その結果を表 2 に示す。ま た、得られた値を用いて光透過率とシート抵抗の関係を図 13 に プロットした。

ナノファイバーの堆積時間を長くすると、Alの被覆率は増加し、 それに伴って、光透過率とシート抵抗が減少した。光透過率とシ ート抵抗は相関関係にあり、堆積時間 70 秒 (Al 被覆率 22.2%) の時、光透過率 76.2%とシート抵抗 72.6 Ω/sq.の透明導電パターン が得られ、ITO 膜(光透過率 78%、シート抵抗 108 Ω/sq.) に近い 特性が得られることがわかった。



- 図 12. エレクトロスピニング時のナノファイバー堆積時間と PET フィルム 上に形成される AI ナノネットワークの被覆率の関係 堆積時間:(a) 70 秒、(b) 90 秒、(c) 270 秒
- Fig. 12 Relationship between nanofiber deposition time during electrospinning and coverage of Al nano-network on PET film. (a) 70s, (b) 90s, (c) 270s
 - 表 2. ナノファイバーの堆積時間が異なる各サンプルにおける AI ナノネットワーク被覆率、光透過率、シート抵抗の測定結果
- Table 2
 Measurement results of AI nano-network coverage, transmittance and sheet resistance of various samples with different deposition times of nanofibers.

堆積時間 [s]	被覆率 [%]	透過率 [%]	シー ト抵抗 [Ω/sq.]
70	22.2	76.2	72.6
90	32.1	64.9	45.4
270	43.7	41.6	8.4

(測定結果は3点の平均)



図 13. Al ナノネットワークからなる透明導電パターンの 光透過率とシート抵抗の関係

Fig. 13 Relationship between light transmittance and sheet resistance of transparent conductive pattern consisting of AI nano-network.

5. 結言

本研究では、感光性を付与したナノファイバーを用いて、PET フィルム上に Al ナノネットワークを形成し、曲げ耐性に優れた 透明導電パターンの作製を試みた。その中で、各プロセス(溶液 濃度、熱ダレ条件等)の条件検討を行い、得られた透明導電パタ ーンの性能評価を行った。エレクトロスピニング時間を調整する ことで、シート抵抗と透過率をコントロールすることができ、目 標とするITO膜とほぼ同等の特性を有する透明導電パターンを得 ることができた。

文献

(1) Keisuke Azuma, Koichi Sakajiri, Hidetoshi Matsumoto, Sungmin Kang, Junji Watanabe and Masatoshi Tokita, *Mat. Lett.*, 115, 187 (2014).

(2) Tianda He, Aozhen Xie, Darrell H. Reneker and Yu Zhu, ACS Nano, 8(5), 4782(2014).

(3) 横山義之, 坂井雄一, 岸岡高広, 富山県産業技術研究開発センター研究 報告, 32, 80(2018). 「CAE を用いた振動解析の信頼性評価への応用」グループの研究活動風景





「超音波接合における接合材の振動特性に関する研究−Ⅱ」グループの研究活動風景





「曲面用外観検査手法の研究」グループの研究活動風景





「感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製」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

○ 32年間の研究テーマ数:201テーマ(昭和62年度~平成30年度)
 ○ 参加研究員延べ人数:375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)

- 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)
- 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(北陸電気工業株)、加藤昌憲(日本鋼管株)、滝川義弘(燐化学工業株)、
 堀田孝章(立山科学工業株)
 ⑥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(株)、茨木正則(北日本電子(株)、西田信孝(株タカギセイコー)、
 山田俊一(エルコー(株)、現コーセル(株)
 ⑥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)

- 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(2)
 石崎浩・滝森幸浩(タカノギケン(株)、茨木正則(北日本電子(株)、 窪池義文(エルコー(株)、現コーセル(株)、滝脇優治((株)タナカエンジニアリング)
 ⑥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~圧電薄膜音響素子の開発 小西孝浩(タカノギケン(株)、小町秀彦(株タカギセイコー)、滝川義弘(燐化学工業(株)、 平能 司(株和泉電気富山製作所)
 ⑥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)
- 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)
 ②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
 池田秀雄(㈱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)
 ②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をめざして 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

☆平成元年度(第3回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、19名)

- 樹脂・ファイバー複合材に関する研究
 池田秀雄・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) ⑥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)

- 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(㈱))
 ⑥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) ①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(燐化学工業㈱)、若林成喜(北陸電気工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- **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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 超音波杖の研究
 中村 亮(北日本電子(株))、堀登紀男((株和泉電気富山製作所)
 ⑥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
- 画像による円筒内面検査装置の開発
 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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- **1. 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㈱) ⑥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 能井俊裕(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(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㈱)
 ②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)

- マイクロマシンの研究 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
- 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(㈱不二越)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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.透明プラスチックス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. 単音節認識による音声~点字変換 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㈱) ◎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)

- 機能性膜の微細加工に関する研究へ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))
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- マイクロマシンの研究 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. 有機電子材料の研究
 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
- リン酸塩系セラミックス固体電解質の開発~Agイオン固体2次電池の試作
 黒川寛幸(北陸電気工業㈱)、山口 睦(燐化学工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. RIMのCAEに関する研究 杉田孝嗣(三協アルミニウム工業㈱)、中村和禎(㈱タカギセイコー) ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(1)
 五十嵐隆治(立山アルミニウム工業株)
 ⑥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)

- 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)
 ⑥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 殻(コーセル(株))、田村雅英(北陸電気工業(株)) ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3.リン酸系エッチング液の基礎研究
 山口 睦(燐化学工業㈱)
 ③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)
 ⑥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 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) ②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)
 ⑥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)

- 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))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 電子回路用ウェットエッチング液の研究
 山口 睦(燐化学工業㈱)
 ⑥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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 微動機構による機械の高度化の研究
 佐野仁一(東洋化工㈱)
 ②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))
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- ア・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)
 ⑥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㈱)
 ⑥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)

- 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発
 三松克次・笹島和明(㈱タカギセイコー)、田島正康(㈱タナカエンジニアリング)
 田中 篤(北陸電気工業㈱)
 ⑥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)
 ⑥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㈱) 〇指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 高輝度蓄光性蛍光板の開発
 佐野仁一(東洋化工㈱)、二見泰雄(三協アルミニウム工業㈱)
 ②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)

- 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(街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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ⑥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
- 生活環境用臭センサの開発
 垣内由美子(コーセル(株))、角谷哲哉(北陸電気工業(株))、小島理敬(三協アルミニウム工業(株))
 ⑥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
- 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(株)、柳川 新(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
- 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)
 ②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)

- **正電素子を用いた制振機構の研究** 稲垣 聡(北陸電気工業(株))、渡辺暁信(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
- コーティング工具の密着性向上に関する研究
 野上拓也(田中精密工業株)
 ③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(株))、南 政克(北陸電気工業(株))、山田浩美(東洋化工(株)) ⑥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㈱)
 ③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㈱)
 ⑥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)

- エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価 島村和孝(田中精密工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所
- 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)
 ②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研究 小森一哉(北陸電気工業㈱)、石川勝巳(コーセル㈱) ③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)
 ②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
- 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発
 小中稔正(YKK㈱)、山田浩美(東洋化工㈱)
 ⑥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)
 ⑥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)

- 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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- インテリジェントにおいセンサの研究(2)
 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㈱)
 ②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(株)、山田浩美(東洋化工(株)) ②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)

- 滑雪板(着雪防止板)の開発 河井牧夫(田中精密工業㈱)、高橋伸忠(㈱タカギセイコー)、野田耕司(三協アルミニウム工業㈱)、 石井 雅(富山県土木部)
 ◎指導機関:工業技術センターPJ・中央研究所
- 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))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 高摩擦係数材料の研究(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
- 本粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究(2)
 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㈱)
 ③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(㈱)、坂本雅美(㈱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
- 体質診断等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)
 ⑥指導機関:工業技術センターPJ・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㈱) ◎指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所、富山大学工学部、JST
- 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㈱)
 ②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)
- ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)
 石見雅美(㈱斉藤製作所)、稲澤直子(コーセル㈱)
 ③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. 体質診断等DNAチップの開発(2)

 確井洋平(立山科学工業㈱)、水原 崇(コーセル㈱)、米嶋勝宏(東洋化工㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ・中央研究所

- MEMSを応用した高精度温度センサの開発 今村徹治(北陸電気工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ、富山大学工学部
 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・PJ
- 5. 超小型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(株)、中西智英(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
- 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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センターPJ・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㈱)
 ⑥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)

- ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(3)
 石見雅美(㈱斉藤製作所)、魚谷一成(コーセル㈱)
 ③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
- 薄膜超低温度特性抵抗器の開発
 桑原大輔(北陸電気工業株)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 4. 小径穴加エシステムの開発
 手嶋成市(㈱タカギセイコー)
 ⑥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㈱)
 ②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)
- 大型色素増感太陽電池の開発 廣田和也(㈱タカギセイコー)
 ①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(株))、碓井洋平(立山科学工業(株))、深沢正樹(立山マシン(株))、
 宝泉重徳(東洋化工株))
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構
- インクジェット用機能性インクの開発
 松田杏子(立山科学工業株)
 ②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(株)、石見雅美(株) 斉藤製作所)
 ⑥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㈱)
 ②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)

- 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(株)、太田光則(株) (株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 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(株)、深沢正樹(立山マシン(株)、中田守人(東洋化工(株))
 ⑥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
- 薄膜低温度特性抵抗器の開発(3)
 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(立山科学工業株)
 ⑥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(4)
 山下剛史(田中精密工業㈱)
 ②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㈱)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 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)
 ⑥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関連遺伝子検出装置の開発 三宅正浩(コーセル㈱)、深沢正樹(立山マシン㈱) ◎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」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(㈱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・PⅠ推進担当 4. インクジェット法による電子回路パターンの作製 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. 小径穴仕上げ加工 高岡利尚(田中精密工業㈱) ◎指導機関:工業技術センターPJ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 8. 低域 UHF 帯用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・PJ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)

- 電子回路用ウエットエッチング液の研究 曽根宏信(燐化学工業㈱)
 ◎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
- 肉盛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㈱)、長柄大介(長柄鉄工㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部
- 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)
 ③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))
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所

- 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))
 ③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㈱)
 ③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・PJ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))
 ③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)

- 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㈱)、梅原洋平(コーセル㈱)
 ③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))
 ③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
- 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㈱)、古川万晃(㈱タカギセイコー)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部
- 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)
 ⑥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)) 〇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)

- 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㈱)
 ③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(㈱)、日出嶋宗一(立山マシン(㈱) ◎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技術の研究 山根幸治(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・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㈱)
 ②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)) 〇富山県工業技術センター機械電子研究所
- 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))
 ③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
- 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㈱)
 ③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) ②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(㈱)、新川翔平(北陸電気工業㈱) ③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

☆平成23年度(第25回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、7名)

- CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発(2)
 広地信一(立山マシン㈱)
 ③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
- LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究
 平田哲郎(コーセル(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 積層鋼板の磁気特性に関する研究
 堀田哲朗(田中精密工業株)、杉本考行(コーセル株)
 ⑥富山県工業技術センター機械電子研究所、谷野技術士事務所、富山大学大学院理工学研究部
- 4.シリコンアーマチュアデバイスの研究開発
 木澤裕志(立山科学工業㈱)、岩滝幸司(北陸電気工業㈱)
 ◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 5. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究 藤井美里(㈱タカギセイコー) ②富山県工業技術センター中央研究所

☆平成24年度(第26回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、10名)

 MDF木屑からのバイオエタノール抽出技術の開発 羽根新太郎(三協立山㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所

- マグネシウムイオン2次電池に関する研究 作道千枝(燐化学工業㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所
- ナノインプリントを応用した微細電極パターンの形成に関する研究 大門貴史(北陸電気工業株)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部
- 4.小水力発電システムの研究
 中瀬典章(コーセル(株)、荒井勇人(立山科学工業(株)、熊澤周士(株)タカギセイコー)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部
- 5. 受動的歩行ロボットの開発 水上慎太郎(コーセル(株)、若崎祥人(立山マシン(株)) ③富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 6.積層鋼板の磁気特性に関する研究(2)
 藤岡英示(田中精密工業㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所、谷野技術士事務所、富山大学大学院理工学研究部
- 7. SW電源の電磁ノイズのシミュレーション
 野口拡(コーセル(株))
 ③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25年度(第27回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、7名)

- 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究
 猪原 悠(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、元工業技術センター
- スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究
 野口 拡(コーセル(株)
 ②指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 3. 単層カーボンナノチューブに関する研究
 大門貴史(北陸電気工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 4. 極低容量水力発電システムの研究
 住和大輔(コーセル㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5.マグネシウム燃料電池の開発
 安田 剛(三協立山㈱)、山崎鉄平(㈱タカギセイコー)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 6.ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究
 升方康智(立山科学工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所・企画管理部、県商工労働部

☆平成26年度(第28回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

トイレからの漏えい音低減に関する研究
 中村将士(コーセル(株)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 切削加工シミュレーションに関する研究 水野輝章(田中精密工業㈱)、若林武司(立山マシン㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、元工業技術センター
- 3.3Dプリンタを利用した簡易的なブロー成形樹脂型の製作に関する研究 黒田大輔(武内プレス工業㈱)、相馬 優(㈱斉藤製作所)、桑原浩一(コーセル㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・ものづくり研究開発センター
- 4. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究
 浦山陽平(コーセル(株)、中田智康(北陸電気工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所・機械電子研究所
- 5.量子ドット増感太陽電池の研究
 山本尚人(北陸電気工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 6. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究(2)
 大浦秀剛(三協立山㈱)、山崎鉄平(㈱タカギセイコー)、林 達規(田中精密工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所、元工業技術センター

☆平成27年度(第29回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

- トイレからの漏えい音低減に関する研究(2)
 杉森雄平(コーセル(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
- 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用 山﨑諭史(コーセル(㈱)、内山 肇(三協立山(㈱)、金山侑司(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.厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究
 山本貴之(コーセル㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・富山大学大学院理工学研究部
- 4. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善 熊澤周士(㈱タカギセイコー)、黒河歩美(立山マシン(㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所
- 5.ドリル切削加工における精度向上に関する研究
 石澤剛士(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.アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化
 筒井英明(武内プレス工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成28年度(第30回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

- 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究(2)
 今井航平(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、富山大学大学院理工学研究部
- 振動の簡便な測定法・低減法の開発
 林 大清(コーセル(株))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

- 金属積層造形の基礎と造形物の評価に関する研究
 永田直也(三協立山㈱)、滝沢将史(コーセル㈱)
 ◎指導機関:工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所
- 4. 容器用実用アルミ材の耐食性および腐食反応の解析に関する研究 深川裕之(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・中央研究所
- 5. エンドミル加工での工具寿命向上に関する研究
 中嶋 謙(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. ウェアラブル電源の開発 関ロ貴彬(コーセル(株))、天野久美子(北陸電気工業(株))、坂井友樹(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

☆平成29年度(第31回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、9名)

1. 有機無機ペロブスカイト太陽電池の開発 宮崎幸輝(コーセル㈱)

◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

- 複合化樹脂粉を用いたレーザ塗装
 島林孝吉(㈱斉藤製作所)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所・ものづくり研究開発センター
- 3. X線 CT の形状計測および変形評価への応用 朝野剣太 (コーセル(株)、瀧田 諭 (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・中央研究所
- 工具寿命の機上検出手法に関する研究
 石澤剛士(田中精密工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究 盤若秀明(三協立山㈱) ②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. ウェアラブル電源の開発(2)
 林 大志(コーセル(株))、渡辺涼太(立山マシン(株))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 7.厚膜型圧電振動発電素子の開発に関する研究(3)
 櫻井雅崇(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、富山大学大学院理工学研究部

☆平成30年度(第32回)研究テーマと研究参加者(4テーマ、5名)

- 1. CAE を用いた振動解析の信頼性評価への応用 稲垣友大(㈱タカギセイコー)、村井慎介(北陸電気工業㈱) ⑥指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター
- 2. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究(2) 藤田直希(コーセル(株))
 ③指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

3. 曲面用外観検査手法の研究

石澤剛士(田中精密工業㈱) ◎指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

4. 感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製
 槇 正史(コーセル㈱)
 ◎指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

平成30年度 県民ふるさと大賞受賞について

この度「若い研究者を育てる会」が、富山県および富山県教育委員会主催「平成30年度 県民ふるさと大賞」 を受賞し、平成30年5月6日 富山県教育文化会館にて開催された「平成30年度 県民ふるさとの日 記念式 典」において、富山県知事より表彰を受けました。本賞は平成26年度から設けられたもので、ふるさと教育の振 興に関する取り組みはもとより、県民がふるさとへの誇りと愛着を育むことのできる取り組みを幅広く顕彰して いるものです。

本会は、「昭和62年の設立以来、業種の壁を超えた共同研究を通じ企業の若手研究者の育成を行うユニークな 活動を行っている。複数の企業が連携して産学官共同研究を実施し、県内企業技術者の人材育成のモデルケース として県の産業振興に多大な貢献をしている。」などが受賞理由となっています。

皆様の「若い研究者を育てる会」へのご支援、ご協力に改めて厚く御礼申し上げます。



表彰式の様子



賞状および副賞

〇会員企業

平成31年3月13日現在(50音順)

	企業名	代表者名	運営委員	電話番号
1	コーセル株	谷川 正人	万尾 達也	076-432-8151
2	(株斉藤製作所	齊藤 行男	相馬 優	076-468-2727
3	三協立山(株)	山下 清胤	宇野 清文	0766-20-2322
4	(㈱タカギセイコー	八十島清吉	髙橋 伸忠	0766-24-5522
5	タカノギケン(株)	高野 惠子	瀧森 幸浩	076 - 455 - 2525
6	武内プレス工業㈱	武内 繁和	澤井 崇	076-441-1856
7	立山科学工業(株)	水口 勝史	森 喜代志	076-483-3088
8	立山マシン(株)	宮野 兼美	市川 吉晴	076-483-4123
9	田中精密工業㈱	金森 俊幸	福島 良浩	076-451-7651
10	東洋化工㈱	中田 守人	中田 守人	076 - 475 - 2125
11	長柄鉄工㈱	長柄 大介	長柄 大介	0766-22-3170
12	北陸電気工業㈱	多田 守男	小川明夫	076-467-1125
13	燐化学工業(株)	大塚 肇	稲生 吉一	0766 - 86 - 2511
事務局	局:(公財) 富山県新世紀産業機構内	〒930-0866 富山市高田	3529 TEL:076-444-5	5607(杉森博、片桐寛之)

O研究会員

氏	. 1 7	彳	Z_	所 属	役	職	学	位	電話番号
研究幹	事								
石	黒	智	明	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	デジタルもの	のづくり課長	博士(工学)	0766-21-2121
岩	坪		聡	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	製品・機能	能評価課長	博士(工学)	0766-21-2121
佐	Щ	利	彦	産業技術研究開発センター機械電子研究所	所	長	博士(工学)	076-433-5466
高	辻	則	夫	富山大学大学院理工学研究部	教	授	工学	博士	076-445-6011
高	林	外	広	産業技術研究開発センター企画管理部	部	長	博士(工学)	0766-21-2121
富	田	Æ	吾	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	センク	ター長	工学	博士	0766-21-2121
西	村	克	彦	富山大学大学院理工学研究部	教	授	理学	博士	076-445-6011
林		千	歳	産業技術研究開発センター企画管理部	企画調	整課長	博士(工学)	0766-21-2121
松	田	敏	弘	富山県立大学工学部	教	授	博士(工学)	0766-56-7500
溝	\square	Æ	人	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	機能素材	加工課長	博士(工学)	0766-21-2121

○歴代会長(会長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	E) 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	速) 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	渡) 10代会長	笠井 千秋	(平成21年度~平成22年度)
11 代会長	津田	信治(平成23年度~平成24年	渡) 12代会長	田中 一郎	(平成 25 年度~平成 26 年度)
13 代会長	武内	繁和(平成27年度~平成28年	渡) 14代会長	齊藤 行男	(平成 29 年度~)

O顧 問(50音順)

會澤 宣一((大) 富山大学・工学部長)
島崎 慎一((公財) 富山県新世紀産業機構・専務理事)
龍山 智榮((大) 富山大学・名誉教授)
谷野 克巳(元工業技術センター所長)
東保喜八郎(元(公財) 富山県新世紀産業機構・参与)
鳥山 素弘(産業技術研究開発センター所長)
二口 友昭((公財) 富山県新世紀産業機構・イノベーション推進センター長)
町野 利道(CSポート(株)・代表取締役社長)
森 孝男((大) 富山県立大学・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・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。	
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

(公財) 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
 - $F \ A \ X \quad 0 \ 7 \ 6 \ \ 4 \ 4 \ 4 \ \ 5 \ 6 \ 3 \ 0$

発 行 者	若い研究者を育てる会
	〒930-0866 富山市高田529 (公財)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	富山県産業技術研究開発センター 佐山 利彦 (公財)富山県新世紀産業機構 片桐 寛之
発行年月日	平成31年3月13日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる.非売品.