

平成 21 年度

(第 23 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 22 年 3 月 17 日 (水)

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

この若い研究者を育てる会の活動も23年を経て、その存在は広く世の中に発信されてきております。今回の研究論文集は第23巻目となり、研究者の成果の結集となるものであり、限られた制約の中での関係者のご努力に心から敬意を表明いたします。県内企業から選抜された研究者達が特定の研究テーマに真剣に取り組むことによる成果は単に研究に必要な知識向上だけではない、協働能力や折衝能力の向上にも大いに資するものと思います。その際に、工業技術センターの研究員の皆さんおよび大学の先生によるマンツーマンの指導が加わることが重要であり、若い研究者が企業内では経験できない成長を遂げることができる理由がここにあると思います。



一昨年の米国金融危機を引き金とした世界同時不況は主要国の大規模な経済政策により最悪期は脱して緩やかに回復に向かって来ているものの、我が国は成長の道筋を見出せないままに政治も経済も閉塞状態にあります。我が国が、新成長戦略に基づき、国際競争力を更に高め、経済をダイナミックに拡大させ続けるためには、かつて高度成長を成し遂げたころの生き生きとした、常にイノベーションを起こす研究開発が土台を支えなければなりません。従って、十分確保された研究開発投資とともに、中長期の視点から新技術の開発、新製品の開発を通じて未来を開拓することの出来る研究者が、今、求められております。若い研究者の能力は無限であり、その成長もまた無限の可能性を秘めております。

この富山県発のユニークな取り組みである、「若い研究者を育てる会」を通じて、これからも、多くの優れた研究者が育ち、県内ののみならず全国レベルあるいは世界レベルで活躍する研究者が誕生することを期待します。

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すべての皆さんに心より感謝申し上げると共に、今後とも引き続きご支援ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

研究の概要

本書は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数14社）の研究者が5つの研究課題とグループを定め、平成21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論文集掲載順に述べる。

富山県工業技術センター 機械電子研究所 博士(工学) 高林外広

①「軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発」の研究
グループ（参加企業2社）では、軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発を目的に、プラスチック基板にできるだけ熱ダメージを与えることなく、かつ TiO_2 のみを焼成する方法としてマイクロ波加熱及び赤外線ランプ加熱を試みた。その結果、マイクロ波加熱では、アノードの ITO 膜が薄ければ TiO_2 膜を 160°C 以上に加熱可能ではあるものの、電気抵抗が高いため発電効率が上がらなかった。また ITO 膜が厚ければ電気抵抗は低いが、マイクロ波加熱中に放電が起こるため十分な加熱ができなかった。赤外線ランプで加熱では、選択的に加熱することで TiO_2 膜を樹脂基板の耐熱温度（155°C）以上に加熱できることが分かった。また、このとき低抵抗 ITO 基板を使用することで、発電効率 1.1% が得られた。



富山県工業技術センター機械電子研究所 工学博士 藤城 敏史

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」の研究グループ（参加企業2社）では、ハンダ付着性導電塗料とディスペンサ工法を組み合わせて、非接触 IC カード等に利用可能なアンテナパターンを試作し、最適条件や課題を調査し、試作を通して得られた諸条件が大量生産向きのスクリーン印刷法に展開できるか検討した。その結果、アンテナパターンにキャパシタンスを直接ハンダ付けが可能で、23.56MHz～13.56MHz の周波数範囲で通信距離が最大 5cm の RFID アンテナを作製し、動作を確認した。さらに、得られた試作条件からスクリーン印刷用にも容易に適応できる、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 工学博士 佐山 俊彦

③「X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術の研究」の研究グループ（参加企業2社）では、製造工程において欠陥が発生する製品、製造後に一部の形状が決まる製品等を対象とし、実際に製造した製品の形状をX線CTにより計測して、3次元デジタルモデルの構築を行い、コンピュータ支援による解析と組合せて、現物の構造信頼性を評価する新たなCAE技術の開発を行った。その結果、(1) X線CT装置を3次元形状測定デバイスとして用い、1ピクセル以下の高い精度での形状・寸法測定が可能となった。また、(2) 物体表面の抽出などのCTデータからFEM解析用データへの変換技術を開発し、その課題を明確にした。さらに、(3) 実寸計測に基づくCAE技術を、樹脂成形品および電子基板のはんだ接合部に適用し、その信頼性評価における有効性を示した。今後、実寸計測に基づくデジタルエンジニアリングによる新しい「ものづくり」の展開が期待される。



富山大学芸術文化学部 工学博士 長柄 豪一

④「ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2)」の研究グループ

(参加企業1社)では、成形品の形状に合わせて金型温度を制御することを可能にするため、固相接合により自由形状の冷却水流路を有したアルミニウムダイカスト用金型を製作することを目的に、SKD61相当材を用いてPCPS法における接合の基礎実験を行い、以下の成果を得た。(1) 母材と同等の引張強度を示す接合条件を見出した。(2) 接合界面には少量のSiO₂およびSiCが形成していることを確認した。(3) 熱応力解析により、金型の形状を変更することで、熱応力を軽減する見込みを得た。(4) 热応力解析結果をもとに試作した金型で、PCPS法による熱サイクル試験を行い、昨年度試作した金型の耐久性を大きく上回る結果が得られた。



富山県工業技術センター中央研究所

⑤「スクリーン印刷法による低成本色素増感太陽電池の開発」の研究グループ（参加企業2社）では、低成本の膜形成法として広く用いられているスクリーン印刷法を積極的に利用し、色素増感型太陽電池を低成本で作製することを目的として、従来、対向電極に用いている白金の代替としてカーボンペーストによる対向電極の試作検討を行った。活性炭素を主たる材料とし、抵抗率の低下を図るために、カーボンブラックと導電性ポリマーを添加し、その重量比率の最適化を行った。重量比率が活性炭素：カーボンブラック=11:1で、導電性ポリマーの添加が、0.5%のもので、抵抗率が0.07Ω·m

工学博士 二口 友昭



となった。これを用いた 5mm 角の小型セルでは、高温焼成酸化チタンを光電極に用いた場合、光電変換効率が、2.0%（白金対向電極比約 50%）のものが得られた。さらに、4 インチ角の基板に 4 つのセルが並列に形成された色素増感太陽電池を、酸化チタン、カーボン電極、Ag 集電電極、およびスペーサの全てをスクリーン印刷機で作製し、太陽光下において太陽電池としての動作を確認した。

以上、本書は 5 つの独立した研究テーマと結果から構成されているが、今年度は景気の後退が影響して例年に比べて少ない研究テーマの実施となった。一方で、今年度は環境問題に対する意識も反映して、安価な色素増感型太陽電池の開発研究を、開発手法などを変えて 2 テーマ実施した。今後は、例えば富山湾海洋環境観測自律型ロボットの開発というテーマに対して、要素技術開発や開発手法が異なる複数の研究テーマとグループで研究していくことも考えていきたい。なお、過去 23 年間で実施した 149 テーマ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の研究発表を予定している。

また、本研究で得られた成果の内、自動車のシンクロナイザーリングに用いる高摩擦係数材料など幾つかのものは企業化されており、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、本会の研究内容の学術的レベルについて批判的な人達もいるが、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。従って、批判の内容については真摯に受け止めるとともに、有益な批判は今後の研究活動に役立てていきたいと考えている。

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対しまして、深く感謝の意を表します。

平成 22 年 3 月（顧問・運営アドバイザー 谷野克巳）



研究グループの構成

I. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発の研究グループ

研究担当者 **吉田 康子 (㈱タカギセイコー)**

中田 裕一 (北陸電気工業㈱)

○本保 栄治 (工業技術センター中央研究研)

寺澤 孝志 (工業技術センター機械電子研)

山崎 茂一 (工業技術センター中央研究研)

☆高林 外広 (工業技術センター機械電子研)

II. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発の研究グループ

研究担当者 **熊田 泉実 (コーチル㈱)**

日出嶋宗一 (立山マシン㈱)

○坂井 雄一 (工業技術センター機械電子研)

高田 耕児 (工業技術センター機械電子研)

浅田 峰夫 (工業技術センター機械電子研)

☆藤城 敏史 (工業技術センター機械電子研)

III. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術の研究グループ

研究担当者 **山根 幸治 (コーチル㈱)**

細川 修宏 (㈱タカギセイコー)

○浦上 晃 (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)

釣谷 浩之 (工業技術センター中央研究所)

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)

IV. ダイカスト金型材料の接合技術の開発（2）の研究グループ

研究担当者 **中田 雄三 (田中精密工業㈱)**

○林 千歳 (工業技術センター中央研究所)

土肥 義治 (工業技術センター中央研究所)

森本 英樹 (工業技術センター中央研究所)

佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

☆長柄 豊一 (富山大学芸術文化学部)

V. 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の研究グループ

研究担当者 齋藤 洋輔（コーチル株）

若林 傑（立山科学工業株）

○角田 龍則（工業技術センター中央研究所）

奈須野雅明（工業技術センター中央研究所）

坂井 雄一（工業技術センター機械電子研）

☆二口 友昭（工業技術センター中央研究所）

註：各グループ中、企業名は50音順

○印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

目 次

I. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発	1
1. 緒　　言	1
2. 色素増感太陽電池の原理	1
3. 実験方法	2
4. 結果及び考察	3
5. 結　　言	6
II. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発	7
1. 緒　　言	7
2. 実験内容	7
3. 実験結果	10
4. 結　　言	14
III. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術	15
1. 緒　　言	15
2. X線CT装置を用いた断層画像の生成	15
3. CT画像の3次元化と物体表面データの抽出	17
4. CAE解析用FEMモデルの作成	18
5. X線CTベースFEMモデルの妥当性確認	19
6. 樹脂成型品のCAE解析	20
7. はんだ接合部のCAE解析	21
8. 結　　言	22
IV. ダイカスト金型材料の接合技術の開発（2）	23
1. 緒　　言	23
2. 実験方法	24
3. 実験結果と考察	25
4. 結　　言	30
V. スクリーン印刷法による低成本色素増感太陽電池の開発	31
1. 緒　　言	31
2. 構造検討	31
3. 対向電極の検討	33
4. 4インチ DSSC の作製	35
5. 結　　言	36

○各研究グループの研究風景	付-1
○「若い研究者を育てる会」23年間の研究活動の足跡	付-6
○産学官連携による人材育成の取り組みの事例紹介	付-18
○会員企業および研究幹事名簿	付-21
○入会申込書	付-22

I. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発

Development of lightweight and flexible Dye Sensitized Solar Cell

吉田 康子

YOSHIDA Yasuko

山崎 茂一

YAMAZAKI Sigekazu

中田 裕一

NAKADA Yuichi

寺澤 孝志

TERASAWA Takashi

本保 栄治

HONBO Eiji

高林 外広

TAKABAYASHI Sotohiro

Abstract

The lightweight flexible dye-sensitized solar cell (DSSC) using plastic conductive electrode enable drastic of solar cell application. The conventional electrode manufacturing method is not suited for plastic substrates because of the requirement of high TiO_2 sintering temperature over 500°C.

In this study, we investigated the heating methods using microwave or infrared ray to produce effective TiO_2 film on plastic conductive electrodes for DSSC. As the result, we could not make electrodes that indicate good performances as DSSC by microwave irradiation. In the case of the plastic substrates of high sheet resistance, good light to energy conversion efficiencies were not obtained, and in the case of the plastic substrates of low sheet resistance, microwave heating was interrupted by electric discharge because of the thick ITO conducting layer. On the other hand, we could heat TiO_2 film on plastic substrates efficiently using infrared ray lamp without softening the plastic substrate within short heating times.

1. 緒言

現在、人類の持続可能な発展のために、地球環境に負荷を与えることなく経済的で高性能なクリーンエネルギーの生産技術の開発が求められており、太陽電池はその代表である。しかし現行のシリコン系太陽電池は、製造コストが依然として割高であり、より安価で高性能な次世代型の太陽電池の開発が期待されている。近年、この期待に応えられる可能性があるとして注目されているのが色素増感太陽電池である⁽¹⁾。

色素増感太陽電池は、1991年にスイスのローザンヌ工科大学の Graetzel 教授が発表して以来、グレッソルセルとも呼ばれ、その基本的な構造は、 TiO_2 と Ru 錫体を組み合わせたものである。

現在、色素増感太陽電池の実用化を目指して様々な研究が展開されているが、中でも本電池のフィルム化・プラスチック化は最も期待されている研究の一つである。透明電極にガラスではなく PET 樹脂等を使用することができれば、更なるコスト低減が図れるだけでなく、大面積化や曲面へ対応が可能となり、太陽電池そのものの大幅な用途拡大が見込めるからである⁽²⁾。

しかしながらこれを実現するには、耐熱性の低い樹脂基板上に電気的接触をもった TiO_2 粒子膜を焼きつけなければならないという難しさがある。通常のガラスセル作製では TiO_2 膜を電気炉で 500°C、1hr 程度焼成しているが、樹脂基板はこのような温度には耐えられない。

そこで樹脂基板を維持しながら、 TiO_2 を低温で焼成するための加熱方法がいくつか報告されている。機械的プレス法や電気泳動法、オートクレーブ法などが検討されているが、発電効率は 2~5%程度で止まっている。ガラス基板においては、2005 年に

Graetzel 教授らが報告した N719 色素で 11.2%という報告⁽³⁾があり、加熱の重要性が窺える。

本研究ではプラスチック基板上に形成した TiO_2 膜をより高温で焼成するため、基板に出来るだけ熱ダメージを与えず、且つ、 TiO_2 のみを焼成することを目的にマイクロ波加熱及び、赤外線ランプ加熱を試みた。

マイクロ波加熱は、金属導電膜のみを選択的に加熱することができる点で、低温焼成において有力な加熱方法であると考えられる⁽⁴⁾。また、赤外線ランプ加熱は、赤外領域の波長の光を吸収する物質を、加熱できる方法である。しかし、これらの選択的な加熱は、対象のみを短時間で温度上昇、下降させることができる特性を利用するものであり、適切な条件（電力、時間等）を見極めなければ、隣接する基板や膜にも影響を与えることになる。

本実験では、マイクロ波加熱、赤外線ランプ加熱の適切な条件を調査した。また、従来のオーブン加熱方法も加えた 3 つの加熱方法を用いて、フレキシブルかつ高性能な電極を作製することを目標とし、実験を進めた。

2. 色素増感太陽電池の原理

図 1 に色素増感太陽電池の略図を示す。

色素増感太陽電池は、一般に透明導電膜の付いたガラス基板上に TiO_2 膜を焼成させ、色素を吸着させた電極と、対極には白金電極、電解液にヨウ素溶液を用いた構造をしている。

透明電極側から太陽光が照射すると、 TiO_2 に吸着している色素のエネルギーが励起され、 TiO_2 の伝導帯に電子が移動する。この時、同時にヨウ素電解液中の I^- により、色素は還元される。外部

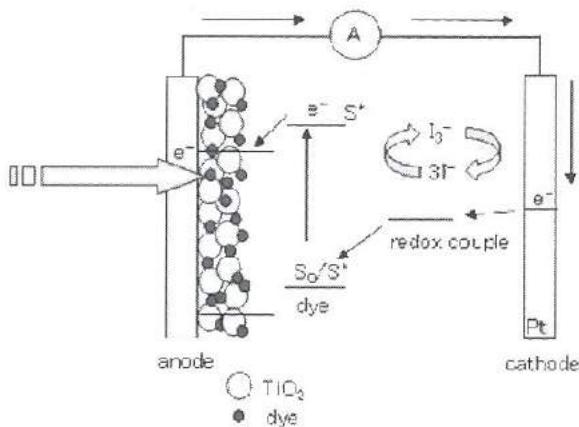


図1 色素増感太陽電池の原理

Fig.1 The principle of dye-sensitized solar cell

回路を通り対極へ回った電子により I_3^- が還元され、電子が循環する仕組みである。

3. 実験方法

<3. 1> 色素増感太陽電池の構成

<3. 1. 1> 基板電極

本実験では、PEN フィルム（ティジン製、テオネックス、 $200\mu\text{m}$ 厚、耐熱温度 155°C ）にスパッタリング法により ITO(Indium Tin Oxide) を成膜した電極基板と、市販の PEN/ITO フィルム（ペクセルテクノロジーズ製、 $13\Omega/\square$ ）、及び PEN フィルム上に Ag/ITO をスパッタリングした電極基板の 3 種類を基板に用いた。

<3. 1. 2> TiO_2 薄膜の作製

図2に TiO_2 ゾルーゲル複合ペーストの作製手順を示す。

前駆体ゾル液は、チタン酸テトライソプロポキシドを氷冷浴中で攪拌しながら、エタノール、アセチルアセトンを加え、さらにエタノールと水を滴下し作製した。 TiO_2 ペーストは TiO_2 粉末（日本アエロジル製、P25、粒径 21nm ）、アセチルアセトン、エタノールを混合し、これを 15 分間遊星ボールミルにかけて作製した。その後、前駆体ゾル液と TiO_2 ペーストを 1 対 10 で混合し、15 分間遊星ボールミルにかけてゾルーゲル複合ペーストを作製した。

作製した TiO_2 ゾルーゲル複合ペーストは、各電極基板（ $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ ）にスキージ法により成膜し、所定の加熱方法で焼成させた。

<3. 1. 3> 色素の吸着

色素にはルテニウム(Ru)錯体である N3 (*cis*-diisothiocyanato-bis (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid) ruthenium (II)) を用い、これをエタノールに溶かし $3 \times 10^{-6}\text{M}$ に調整し、Ru 色素溶液とした。基板の浸漬は 12hr 行った。

<3. 1. 4> 電解液

電解液には、0.5M テトラプロピルアンモニウムヨード(TPAI) と 0.04M ヨウ素 (I_2) をアセトニトリルとエチレンカーボネー

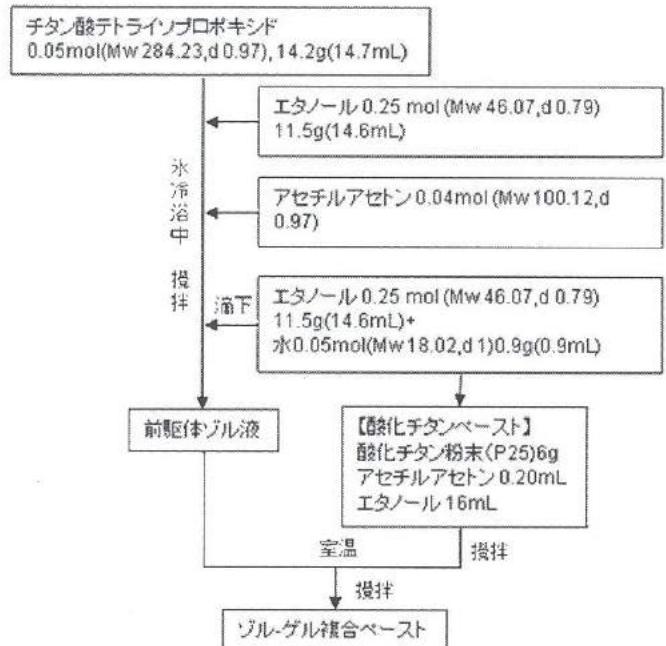


図2 TiO_2 ゾルーゲルペースト作製方法

Fig.2 The preparation flow of TiO_2 sol-gel paste.

トを 9 対 1 で混合した溶媒に溶かしたヨウ素溶液を用いた。

<3. 2> 加熱方法

図3に粒子間のネッキング現象のイメージ図を示す。

通常、酸化物粒子の焼結は温度の上昇とともに粒子表面から拡散が起こり粒子同士の結合が始まる。さらに高温にすることで粒子内部の原子が拡散し、粒成長が起こる。しかし、焼結の為には数 100°C から 1000°C 以上の加熱が必要となるため、プラスチック基板には適応できない。そこで今回粒子間をつなぐための役割として、前駆体ゾル液を TiO_2 粒子表面に均一に分散し、より低温加熱においても TiO_2 粒子を結合させることを図った。

TiO_2 粒子間では、高温加熱することでネッキングが十分生じ、粒子間で電子が移動しやすくなる。しかし、加熱が不十分の場合では、ネッキングが不十分なため粒子間の電子が移動しにくく、光変換効率が低下する原因になると考えられる。



図3 ネッキング構造のイメージ

Fig.3 The image of necking by sintering.

そこで本実験では、以下の3方法で加熱の検討を行った。

- ① オーブン加熱
- ② マイクロ波加熱
- ③ 赤外線ランプ加熱

また目標とする温度は、PENフィルムの耐熱温度よりも若干高い160°Cとし、基板表面の温度を確認する手段として、サーモペインツ（日油技研工業製、No.16（指示温度160°C））を使用した。

<3. 2. 1> オーブン加熱

プラスチック基板の熱による反りを防ぐためにカブトンテープで角を固定し、電気炉（SANYO製）で、150°C×1hrの加熱を行った。

<3. 2. 2> マイクロ波加熱

図4にマイクロ波加熱のイメージ図を示す。マイクロ波の照射により、導電性のあるITO膜が誘電加熱により高温に昇温し、熱伝導によってITO膜に接するTiO₂ブルーゲル複合ペーストが加熱される。

マイクロ波加熱は、家庭用電子レンジ（Panasonic製、NE-T151）を用いて行った。電力は可変であり、500W、300W、200W、100Wの選択が可能である。100W以下にする場合は、加熱時に水と一緒に入れることにより電力を低減した。また、水の量を変えることにより、電力を調節した。

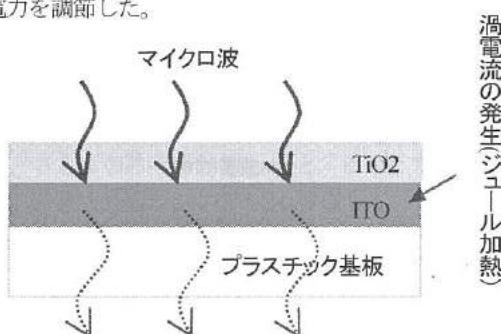


図4 マイクロ波によるプラスチック上の金属薄膜の加熱のイメージ
Fig.4 Schematic heating image of conductive film on plastic substrate by microwave heating.

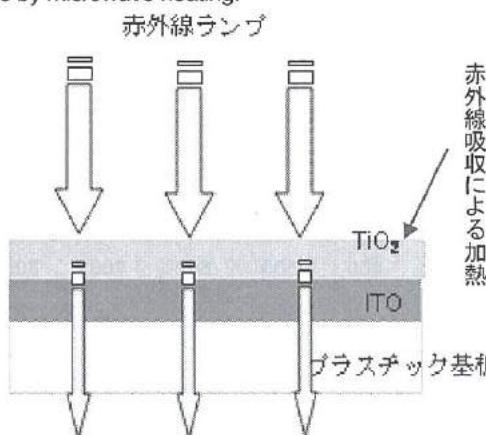


図5 赤外線加熱によるTiO₂電極のイメージ

Fig.5 Schematic heating image of TiO₂ electrode on plastic substrate by infrared ray.

<3. 2. 3> 赤外線ランプ加熱

図5に赤外線ランプ加熱のイメージ図を示す。これは表面のTiO₂ブルーゲル複合ペースト側から赤外線を照射し、各材料の赤外線吸収率の差、及び、温度勾配を利用し、プラスチック基板が変形しない範囲でTiO₂ブルーゲルペーストを加熱するものである。

加熱は蒸着装置（ULVAC製、EX400）の赤外線ランプを用いて行った。ランプの波長は1μmの近赤外領域を中心とした3μmまでを有している。また、今回用いたランプは電力が最大1.5kWまで可変であるが、電力を一定にし、照射時間を調節して加熱を行った。

<3. 3> 評価方法

<3. 3. 1> 光学特性

紫外可視分光光度計（島津製作所製、UV-3100）を用いて、電極基板等の透過率、及び吸光度の測定を行った。

<3. 3. 2> 電池特性測定

電池特性を表す評価項目を以下に示す。

- ・ I_{sc} : 短絡電流
- ・ V_{oc} : 開放電圧
- ・ $Fill Factor(FF) = V_{max} \times I_{max} / (V_{oc} \times I_{sc})$
 $= P_{max} / (V_{oc} \times I_{sc})$
- ・ 光電変換効率 $\eta = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$

これらの評価項目の値は、太陽光シミュレータ（分光計器製、CEP-25）を用いることで得た。光源はキセノンランプを用い、エアマスフィルターで照射強度100mW/cm²(AM1.5)に調整して使用した。エアマスとは、太陽光の大気圏通過空気量（air mass : AM）のことである。

4. 結果及び考察

<4. 1> 電極の光学特性と電気的特性

高効率の色素増感太陽電池を作製するには、透明電極として、透過率が高く、抵抗の低いものが必要である。また吉田らの結果から⁽⁴⁾、導電膜の膜厚が厚いとマイクロ波加熱により、放電が生じやすいことが分かっており、それを防ぐためには膜厚を薄くしなければならない。

表1に今回使用した電極の膜構成と表面抵抗をまとめたものを示す。①はITO導電膜の膜厚の厚い低抵抗ITO基板である。図6に低抵抗ITO電極基板と色素N3の光学特性を示す。今回使用する色素N3は380nm付近と520nm付近の波長の光を吸収し、520nm付近の透過率は80%を超えおり、色素N3が吸収する波長の光を透過する。②はITO導電膜の膜厚を薄くした高抵抗ITO基板である。さらに、色素増感太陽電池の基板に使用するためにはより低抵抗にすることが求められており、低抵抗、且つ薄膜の基板が必要で

表1 電極基板の構成
Table1 Condition of the electrode substrate.

	基板	膜構成	成膜条件	表面抵抗
①	PEN	ITO	市販品	13Ω/□ (推定 200nm 程度)
②	PEN	ITO	スパッタリング	298.1Ω/□ (31.7nm)
③	PEN	Ag/ITO	スパッタリング	10.9Ω/□ (10nm/10nm)

表2 Ag/ITO 基板の構成
Table2 Condition of the Ag/ITO substrate.

	Ag(nm)	ITO(nm)	表面抵抗(Ω/□)
①	10	10	10.85
②	15	10	4.23
③	20	10	2.84
④	10	20	10.68
⑤	10	30	12.47
⑥	0	30	232.22

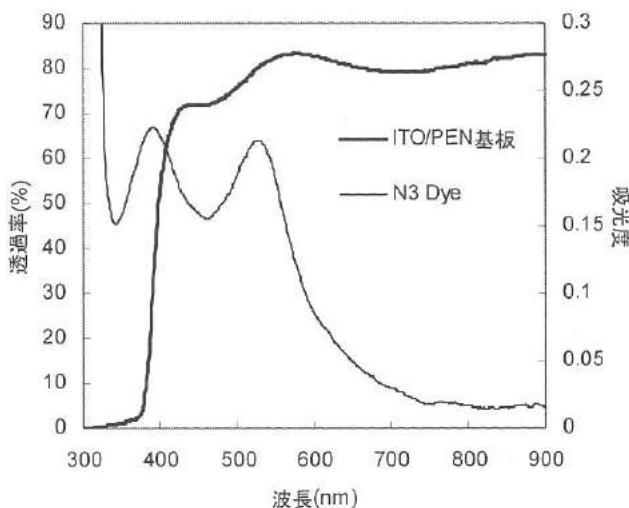


図6 PEN/ITO 基板電極と色素 N3 の光学特性
Fig.6 Light transmittance spectrum of the PEN/ITO and N3 dye.

ある。そこで、より低抵抗で、薄膜にすることで可視光を透過する Ag を使用した、③Ag/ITO 多層膜を作製した。Ag、ITO の膜厚は表2 に示した 6 条件である。

図7(A)に、ITO 膜厚一定のもと、Ag の膜厚 3 条件で作製した基板の光透過率を示す。この結果から、Ag10nm、ITO10nm の条件で作製した基板が最も光透過率が高いことが分かる。また、図7 (B) に Ag の膜厚一定のもと、ITO の膜厚を 3 条件で作製した基板の光透過率を示す。この結果から ITO 膜厚が厚い程、波長のピークがわずかではあるが、色素 N3 をより効果的に利用できる高波長側へ推移していることが分かった。

しかし今回はマイクロ波加熱に有利な、膜厚が薄いことに重点を置き、Ag10nm、ITO10nm の多層膜を実験に用いた。

<4. 2>表面加熱

表3 に基板の種類とマイクロ波加熱条件を示す。低抵抗 ITO 基板を用いた場合では、電力 100W、水の量 600cc、加熱時間 60sec の加熱条件ではサーモペイントの変色が見られず、加熱が不十分であることが分かった。その後、加熱時間を 80sec に延ばして加熱を行ったが、放電が生じ加熱することが出来なかった。さらに、

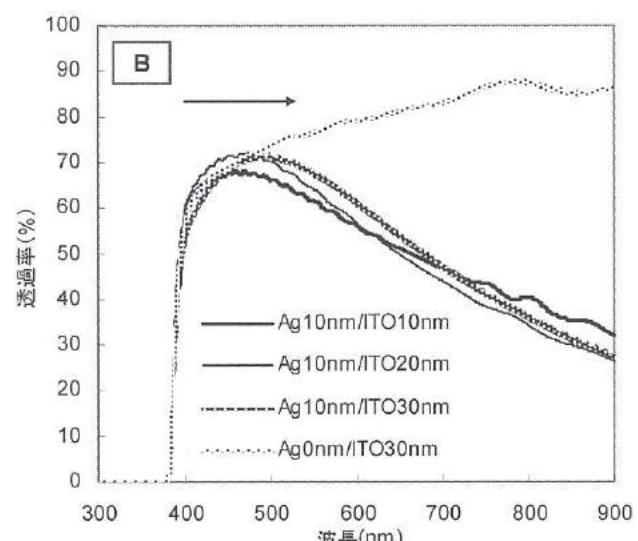
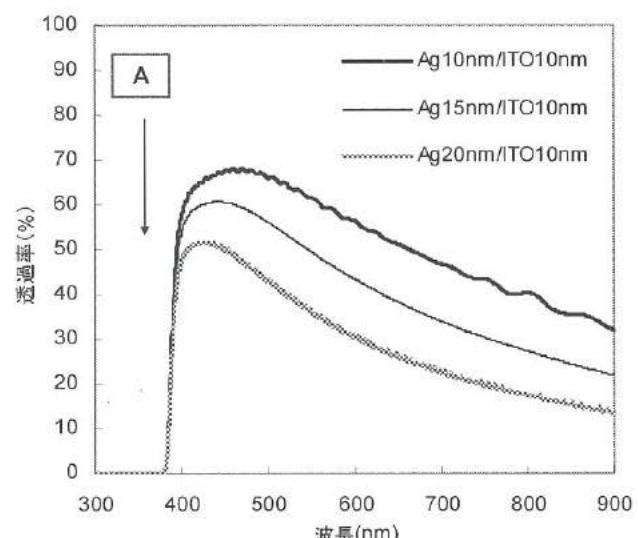


図7 Ag/ITO 基板の光学特性
Fig.7 Transmission spectrum of the Ag/ITO substrates.

表3 マイクロ波加熱条件

Table3 Heating condition using microwave heating.

成膜条件	出力	加熱時間(s)	水の量(cc)	結果
低抵抗 ITO 基板 (13Ω/□)	100W	~60	600	△
		~80		×
高抵抗 ITO 基板 (298.1Ω/□ (31.7nm))		~180	600	△
		240		○
Ag/ITO (10.9Ω/□ (10nm/10nm))	150	30	1200	△
	500	10		×

△:放電なし(加熱不十分)、×:放電あり(加熱不可)、○変色あり(加熱可)

加熱時間、水の量の変化によって電力の制御の検討を行ったが、最適な条件を見出しが出来なかった。以上より、低抵抗 ITO 基板では、電力が低いと基板表面を充分昇温させることが出来ず、一方、電力を上げると放電が生じてしまうため十分に加熱することができないことが分かった。吉田らの結果から⁽⁴⁾、低抵抗 ITO 基板のように膜厚の薄い導電膜を成膜したプラスチック基板では、導電膜材料とプラスチックとの熱膨張係数の差が大きいため、加熱により各々の界面に応力が生じ、導電膜が割れて、そこから放電してしまうために加熱が出来ないと考えられる。

一方、高抵抗 ITO 基板を用いた場合には、出力 100W、水の量 600cc、加熱時間 180sec までは、サーモペイントの変色が見られなかつた。さらに加熱時間を 240sec とすることでサーモペイントは変色し、基板表面が 160°C 以上に昇温していることが確認された。またこの際、基板の変形や表面からの放電現象も起らなかつた。

Ag/ITO 基板では、電力が低いとサーモペイントの変色を確認できなかつた。その後、出力を上げ加熱を行つたが、放電が生じ加熱できないことが分かった。Ag/ITO 基板の放電現象については、プラスチック基板と金属薄膜との密着性が原因の一つと考えられる。Ag/ITO 基板では初期密着性が悪く、簡単に剥がれてしまう。このため、放電しやすいと考える。図 8A は放電したサンプル、図 8B は加熱によりサーモペイントが変色したサンプルの写真である。赤外線ランプ加熱は、電力 900W、照射時間が 15sec で、PEN 基板の変形の兆しが見てとれたため、最大照射時間を 15sec とした。表 4 に検討した加熱条件を示す。975W 以上の電力を使用した場合には、10sec 以内で PEN 基板が溶融し、変形した。このため溶融、変形までに 30sec を要する 900W を適当な電力とし、15sec、12sec、10sec、8sec の加熱時間で電極基板の作製を行つた。

<4. 3> 電池特性

図 9 に、各電極を用いた電池の I-V 特性の結果を示す。図 9 (A) はマイクロ波加熱で作製した低抵抗 ITO 基板電極、図 9 (B) はマイクロ波加熱で作製した高抵抗 ITO 基板電極、図 9 (C) は赤外線ランプ加熱で作製した電極の結果を示す。また、表 5 に変換

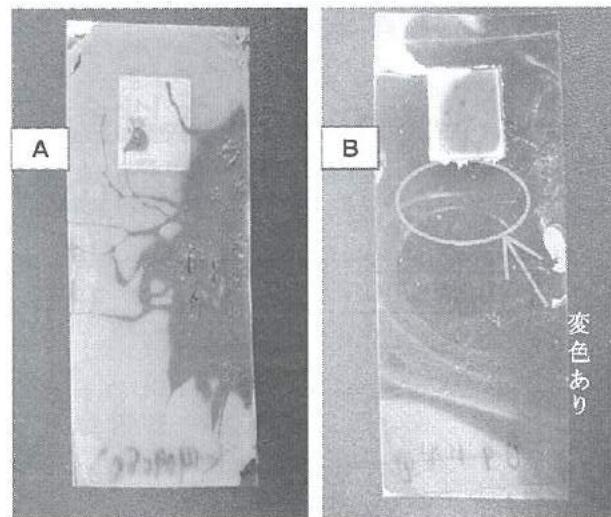


図 8 マイクロ波加熱後のサンプル

Fig.8 Specimen after microwave heating.

表4 赤外線加熱条件
Table4 Heating condition using infrared ray.

加熱出力(W)	加熱時間(s)	結果
900	~15	○(変形はないが昇温されている)
	30~	×(大きく変形、溶融)
975	10	×(溶融)

効率とフィルファクターの結果を示す。なお、電極面積はいずれも 1.0 cm² である

低抵抗 ITO 電極では、オープン加熱に比べ、マイクロ波加熱した試料の方が発電効率は低くなつた。これは、高出力のマイクロ波を照射すると電極膜表面で放電が起こるため、それを考慮し、十分な加熱ができなかつた。

一方、高抵抗 ITO 電極では、オープン加熱に比べて、マイクロ波加熱した試料の方が発電効率が高くなつた。これはマイクロ波加熱によって TiO₂ を充分加熱できたためと考えられる。しかし、低抵抗 ITO に比べるとまだ低い結果である。これは ITO 膜の抵抗が大きくなると電池全体の内部抵抗が上昇し、結果として変換効率の低下につながると考えられる。

Ag/ITO 電極では、いずれの膜厚条件でもマイクロ波を照射すると、膜の剥離が起り、そこから放電が発生するため加熱できなかつた。これは、Ag 膜と ITO 膜との密着性が悪いためと考えられる。

次に赤外線ランプ加熱の結果について述べる。

電力 900W で加熱した場合では、バラツキはあるものの照射時間が長いほど、発電効率が高いという結果になつた。特に 900W で 15 秒の赤外線照射を行つた試料では、発電効率 1.1% と、最も高い値が得られた。図 10 は赤外線ランプ加熱後の、PEN/ITO 基板の写真である。この写真から、TiO₂ 膜の周りが溶融して変形していることが見てとれる。これは、赤外線が TiO₂ を選択的に加熱し、

PENの耐熱温度155°C以上に昇温して、 TiO_2 が発熱源となって起こっていると考えられる。また、基板および TiO_2 膜について、近赤外線の吸収特性を調べた結果、PEN/ITO基板では近赤外領域付近

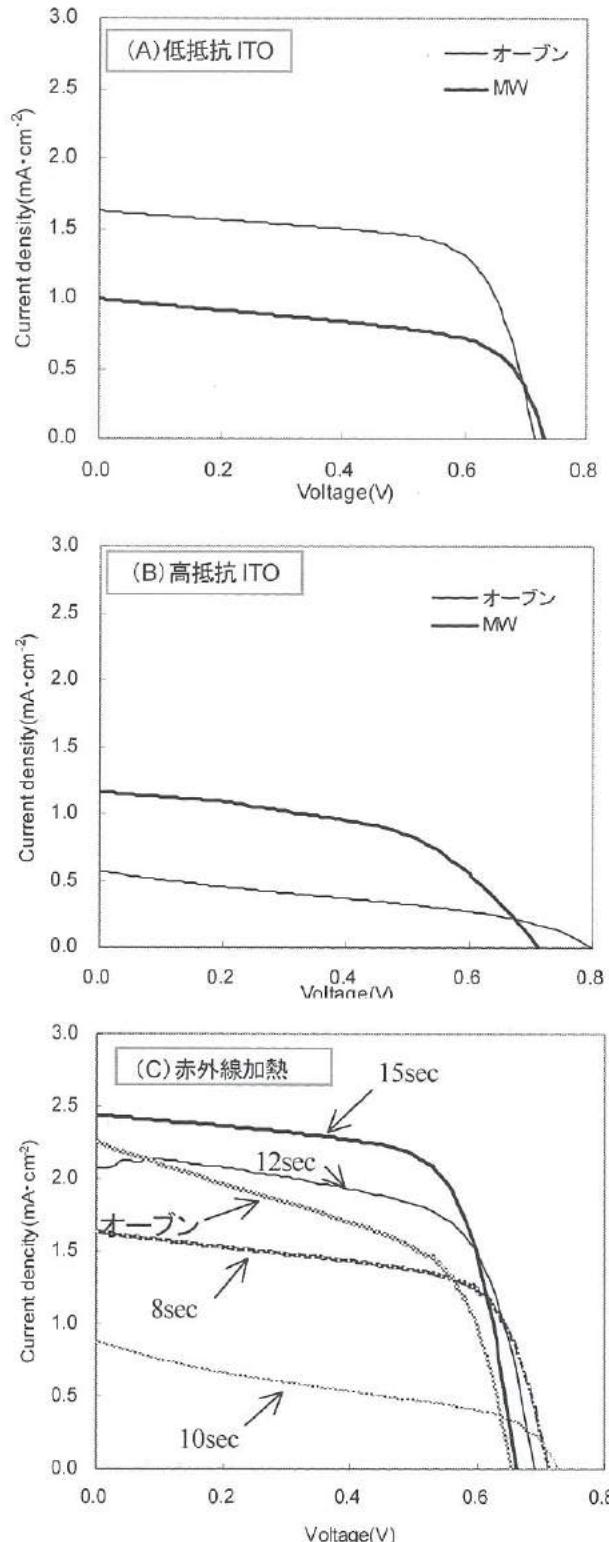


図9 各電極のI-V特性
Fig.9 I-V characteristic using various electrodes.

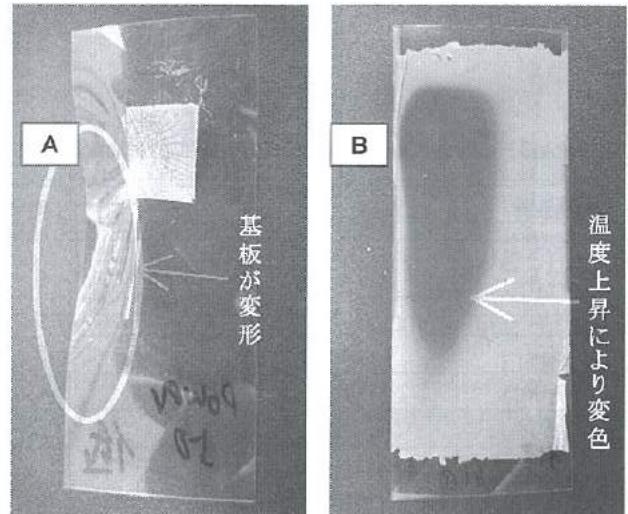


図10 赤外線で加熱したサンプル
Fig.10 Specimen after infrared ray.

表5 各種電極基板毎の電池性能
Table5 Solar cell characteristic using various electrodes.

電極構成	加熱条件					
	MW 加熱		赤外線加熱		オープン加熱	
	FF	変換効率	FF	変換効率	FF	変換効率
低抵抗 ITO	0.59	0.43	0.68	1.10	0.68	0.79
高抵抗 ITO	0.51	0.42			0.36	0.16

に全く吸収は見られないが、 TiO_2 膜では多少の吸収が見られることが確認されている。以上のことから、今回赤外線ランプ加熱が高い発電効率を示したのは、①低抵抗基板が使用できたこと、② TiO_2 及びPEN基板の赤外線吸収率の差により選択的加熱が可能であったことが挙げられる。

5. 結言

本研究ではプラスチック基板上に形成した TiO_2 膜をより高温で焼成するため、基板に出来るだけ熱ダメージを与せず、且つ、 TiO_2 のみを焼成することを目的にマイクロ波加熱、及び赤外線加熱を試みた。その結果得られた知見を以下に示す。

- (1)マイクロ波加熱は、高抵抗 ITO 基板は加熱可能であるが、色素増感太陽電池として使用すると、抵抗が高く発電効率が上がらない。低抵抗 ITO 基板では、膜表面から放電が起こりやすいことから、十分な加熱が出来ない。
- (2)赤外線ランプで加熱した TiO_2 電極では、発電効率1.1%と、最も高い値が得られた。これは、低抵抗 ITO 基板を使用できるとともに、 TiO_2 膜のみを、基板の耐熱温度(155°C)以上に加熱できるためと考えられる。

文献

- (1) 濱川圭弘：太陽電池，(2004)，177-197。
- (2) 荒川裕則：色素増感太陽電池の最新技術II，(2007)，。
- (3) 富羽美帆他：セラミックス，39(2004)，435-438。
- (4) 吉田康子他：平成20年度若い研究者を育てる会論文研究集，25-30。

II. ハンダ付着性導電塗料を用いた 試作基板作製法の開発

Preparation of Test Circuit Patterns by Using Solderable Conductive Adhesive

熊田 泉実 日出嶋 宗一 坂井 雄一
KUMADA Izumi HIDESIMA Soichi SAKAI Yuichi
高田 耕児 浅田 峰夫 藤城 敏史
TAKADA Koji ASADA Mineo FUJIKI Satoshi

Abstract

Preparation of RFID antenna patterns by using electrical conductive adhesive (ECA) was investigated. While it was necessary to use solderable ECA for soldering IC chip to the antenna, the resistivity of solderable ECA was relatively high. Therefore, ECA with low resistivity was used for antenna pattern, and solderable ECA was used for mounting part. Resistivities and affinity to solderable ECA were evaluated for 4 kinds of ECA, and ECA containing phenol resin was selected. Various kinds of loop antenna patterns were prepared by dispense method. Experimental values of inductance of the antenna patterns were agree with the theoretical results. IC chip was mounted to prepared antenna, and it was confirmed that the antenna act as RFID antenna. Corresponding distance was approximately 3 cm. Resonant frequency of the prepared RFID antenna measured by a network analyzer was 23.56 MHz. The frequency was shifted from usage frequency (13.56 MHz) of RFID. As a result of investigation of equivalent circuit of RFID antenna, capacitor was added to RFID antenna in order to adjust resonant frequency. Resonant frequency of the RFID antenna added chip capacitor was 12.6 MHz, and corresponding distance was extended to approximately 5 cm. The same result was obtained from RFID antenna prepared by screen printing.

1. 緒言

導電塗料とは、熱硬化させることで内部のフィラーが結合し、電気的導通を得ることができる塗料のことである。これは鉛フリー、ブラックレスでかつ低温実装が可能なため、ICチップのダイボンディングや、チップ部品の基板実装等に用いられている¹⁾。この導電塗料の構成成分としては、樹脂などのバインダー、金属やカーボンといった導電性フィラーであり、従来の導電塗料ではハンダ付着性はなかった。本研究ではハンダ付着性を持つ特殊な導電塗料を用いて、ディスペンサ工法でRFID(Radio Frequency Identification)用アンテナパターンの形成を試みた。ディスペンサ工法は、パターンの変更がPC上で容易にでき、各パラメータを調節することで様々なパターンを描くことができる試作向きの工法である。RFIDはバーコードと比較して、汚れや障害物がある場合や、複数のタグ・カードでも読み取可能で、多量の情報蓄積が可能といった特徴があり、近年では非接触ICカードや、無線ICタグといった非接触認証技術が目覚しい発展をとげている分野である²⁾。本研究ではハンダ付着性導電塗料とディスペンサ工法を組み合わせて、非接触ICカード等に利用可能なアンテナパターンを試作し、最適条件や課題を調査し、試作を通して得られた諸条件が大量生産向きのスクリーン印刷法に展開できるか検討した。表1にスクリーン印刷とディスペンサの特徴を示す。

表1 スクリーン印刷とディスペンサの特徴

Table 1 Characteristics of screen printing and dispense method

工法	メリット	デメリット
スクリーン印刷	<ul style="list-style-type: none">大量生産向き安価印刷速度が速い	<ul style="list-style-type: none">パターンの変更が困難繰り返しによりスクリーンが劣化し、再現性が落ちやすい外気に触れた状態で使用するため、粘度が変化しやすい
ディスペンサ	<ul style="list-style-type: none">パターンの変更が容易自動ラインに組み込み可能塗料をシリンジ内に密封するため、粘度変化しにくい	<ul style="list-style-type: none">シリンジ内のポイドが塗布不良につながる描画速度が遅い

2. 実験内容

<2. 1> 導電塗料及びディスペンス条件の検討

本研究で用いたハンダ付着性を持つ特殊な導電塗料(MTN-A、アイクリエイト製)の特性評価及び濃度調整と、ディスペンス条件の検討を行った。

<2. 1. 1> 導電塗料の調整

導電塗料は図1に示すように、硬化前はペースト状であるが、熱硬化させることでフィラー同士が接合し、電気的導通を得る。粘度の高いペーストをそのままディスペンスに用いると、糸引きなどが起きてしまい、狙い通りにパターンを描けないという問題があるため、ハンダ付着性導電塗料のペースト特性を調整する必要がある。そこで、溶剤添加量を変化させ、それぞれの粘度を評価し、ディスペンスに適した濃度に調整した。ハンダ付着性導電塗料に混合する溶剤にはジェチレングリコールモノ-n-ブチルエーテルを用いた。

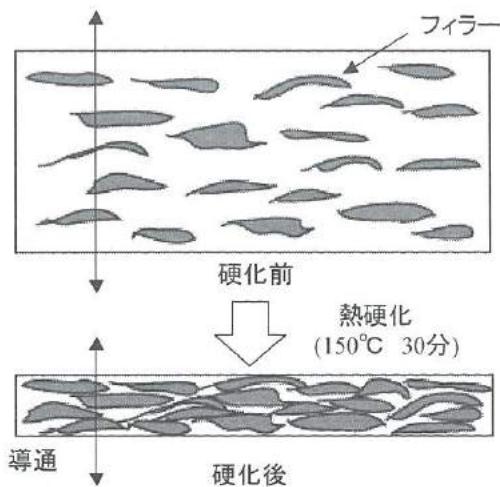


図1 導電塗料の模式図
Fig. 1 Schematic images of ECA

<2. 1. 2> ディスペンス条件の検討

図2にディスペンサの概観を示す。濃度調整を行った導電塗料を用いて、試料温度、吐出圧力、移動速度、ギャップについて検討を行った。

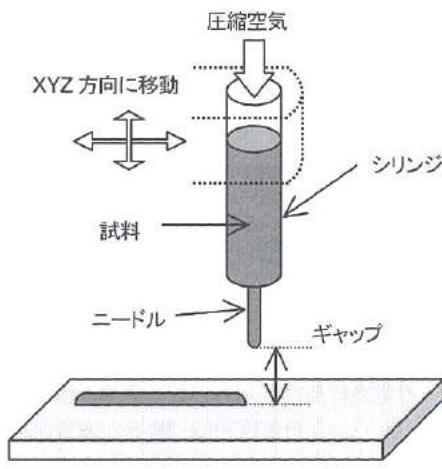


図2 ディスペンサ概観
Fig. 2 Schematic image of dispense method

<2. 2> 導電塗料の選定

ハンダ付着性導電塗料を用いてアンテナパターンを形成するにあたって問題となるのは、ハンダ付着性導電塗料の抵抗率の高さである。ハンダ付着性導電塗料は、バルクの銅の100倍近い抵抗率を持つため、通常、低抵抗のペーストを用いるアンテナパターンの形成には向きである。そこで、図3のようにハンダ付着性導電塗料はIC実装部のみに使用し、アンテナパターンの大部分は低抵抗率の導電塗料を用いて形成し、IC実装部にのみハンダ付着性導電塗料を使用することとした。そのため、ハンダ付着性導電塗料と併用可能かつ低抵抗な導電塗料の選定を行った。

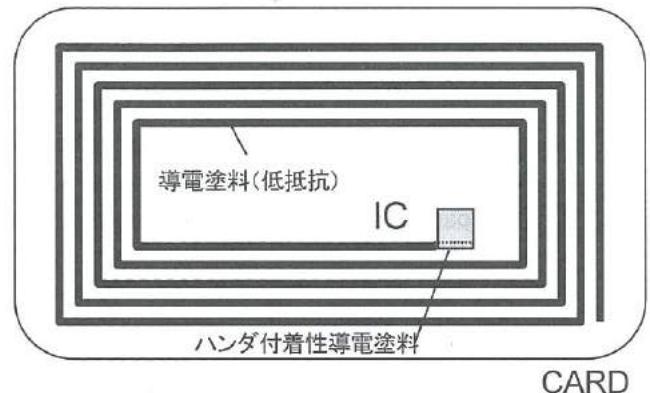


図3 アンテナパターン模式図
Fig. 3 Schematic image of antenna pattern

<2. 2. 1> 抵抗率測定及び断面SEM観察

導電塗料の選定は、4種類の中から行った。その4種類の導電塗料の抵抗率を測定し、断面をSEMで観察した。

<2. 2. 2> 各種導電塗料とハンダ付着性導電塗料との併用による影響評価

次に各種導電塗料とハンダ付着性導電塗料との併用による影響評価を行った。実験は図4に示すように、AA'に各種導電塗料をディスペンスし、その上からBB'にハンダ付着性導電塗料をディスペンスして、PP'間、QQ'間、P'Q'間の抵抗値を測定し、それぞれで異常がないかを調べた。また、SEMによる断面観察も行った。

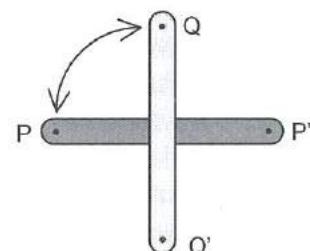


図4 導電塗料併用時の影響評価方法模式図
Fig. 4 Schematic image of evaluation of ECA

<2. 3> ディスペンサ法によるRFIDアンテナの試作

本研究では、ディスペンス法を用いて、RFIDのアンテナを作製した。RFIDの特徴とアンテナパターン評価について下記に記す。

<2. 3. 1> RFIDの概要と利用周波数の選択

RFIDとはRadio Frequency Identificationの略称であり、「無線認証」とも呼ばれている。現在では、電車やバスの改札口での自動通過・清算、コンビニでの自動清算が可能なバスモ・スイカ、煙草用自動販売機の自動清算が可能なタスボなどに導入されており、非接触認証技術の代表的なものに挙げられる。また従来の無線認証技術であるバーコードと比較して、汚れや障害物があつても、また複数のタグでも同時に読み取りが可能である³⁻⁴⁾。

RFIDの種類および特性は表2に示す。RFIDは、パッシブタイプとアクティブタイプに分けられる。パッシブタイプはリーダライタなどの外部からエネルギーを供給して信号を送受信させる。特徴は制御部がない分、小型化ができ、低価格化が可能である。アクティブタイプは、タグ自体にバッテリおよび制御部を内蔵している。特徴は通信距離が長い、バッテリ搭載などにより高価格になることである。周波数帯域は135kHz帯、13.56MHz帯、UHF波帯(860~960MHz)、2.45GHz帯に大別しており、その中でも13.56MHz帯は非接触ICカードと同様の利用周波数であり、ほとんどの国で使用可能である。また135kHz以下ほどではないが、比較的周辺の金属や、水、人体の影響を受けにくい⁵⁾。下記の特性も考慮し、本研究では13.56MHz帯のパッシブタイプのアンテナを作製することとした。なお、RFIDアンテナに使用するICは、ISO14443-2のTypeAの非接触型カード用で、搬送波に13.56MHz、副搬送波に847.5kHzを持つ負荷変調方式のものを使用した。

表2 RFIDの種類および特徴

Table 2 Characteristics of RFID

種類	構成	特徴
パッシブタイプ	外部からエネルギーを供給	小型化、低価格が可能
アクティブタイプ	タグにバッテリ内蔵	通信距離が長い、高価格

	~135kHz	13.56MHz	UHF波帯	2.45GHz
通信距離	数10cm	60cm前後	5m前後	1.5m前後
指向性	広い	中	中	狭い
水や人体からの影響	○	○	○	×

<2. 3. 2> パターン検討

本研究では、ディスペンサ法と、ハンダ付着性導電塗料を用いてアンテナを作製した。アンテナの感度向上にはパターンの低抵抗化が重要であるが、ハンダ付着性導電塗料は抵抗率が高いため、

アンテナ感度が悪くなることが予想された。そのため、ハンダ付着性導電塗料はIC接続用のパッド形成に使用し、パターン部分には、ハンダ付着性導電塗料と併用可能な低抵抗率の導電塗料を用いた。

<2. 3. 3> 共振周波数の調整

インピーダンスアナライザ(4294A、Agilent製)を用いて13.56MHzのインダクタンス(以下Lc)を測定し、理論値と実測値の比較を行った。さらに、ICを実装した状態で共振周波数の測定を行った。図5に、ICを実装した状態のアンテナの等価回路を示す。この状態でのパターンのLcと、パターンの寄生容量(以下Cc)とICの入力容量(以下Cic)の並列容量とのLC直列共振を確認した。また、図6のようにネットワークアナライザ(8571A、Hewlett-Packard製)を用い、アンテナパターン共振周波数を測定した。実際の測定ではICを実装した状態の共振周波数が13.56MHzに対して大きく異なっていたため、ICと並列にセラミックコンデンサを使用した共振周波数の調整についても検討した。

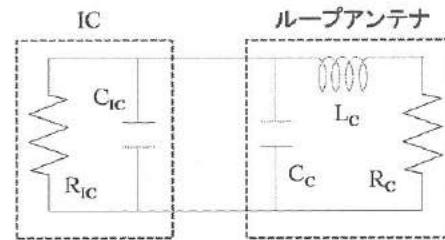


図5 等価回路

Fig. 5 Equivalent circuit of RFID antenna

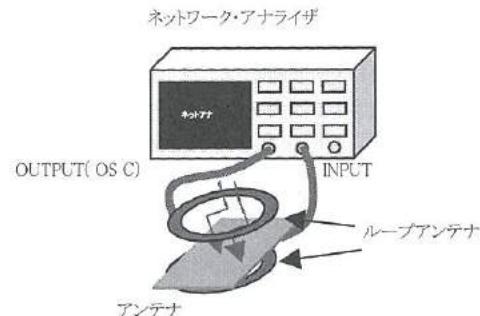


図6 ネットワークアナライザによる

周波数特性測定方法の模式図

Fig. 6 Schematic image of measurement of frequency characteristics of prepared antenna

<2. 3. 4> 試作アンテナの動作確認

アンテナパターンの信号送受信動作確認のための評価方法を図7に示す。送信部のリーダライタと受信部のアンテナの応答信号測定を行った。応答信号はループアンテナを介してリアルタイ

ムスペクトラムアナライザ(RSA3308A、日本テクトロニクス製)で送受信信号波形の確認を行った。さらにリーダライタの高さを調整することで通信が可能な距離の測定も行った。

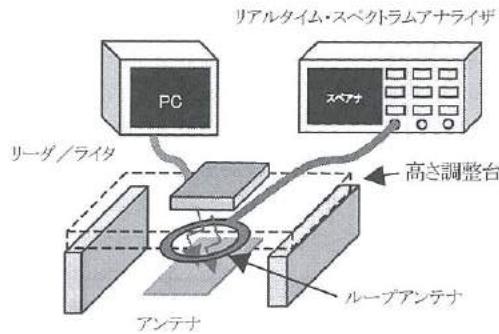


図7 スペクトラムアナライザによる応答信号測定の模式図
Fig. 7 Schematic image of measurement of response signal

<2. 4> スクリーン印刷法によるRFIDアンテナの作製

本研究ではディスペンサ法を用いた試作基板作製法の開発を行ってきたが、ディスペンサ法は試作時間短縮のために採用した工法であり、量産には適していない。そのため、ディスペンサ法で決定したパラメータを、量産向けのスクリーン印刷法へ展開できるか確認を行うため、ディスペンサによる試作で得られた条件を元にスクリーン版を作製し、スクリーン印刷法で作製したアンテナを用いて共振周波数の測定と送受信信号の確認を行った。

3. 実験結果

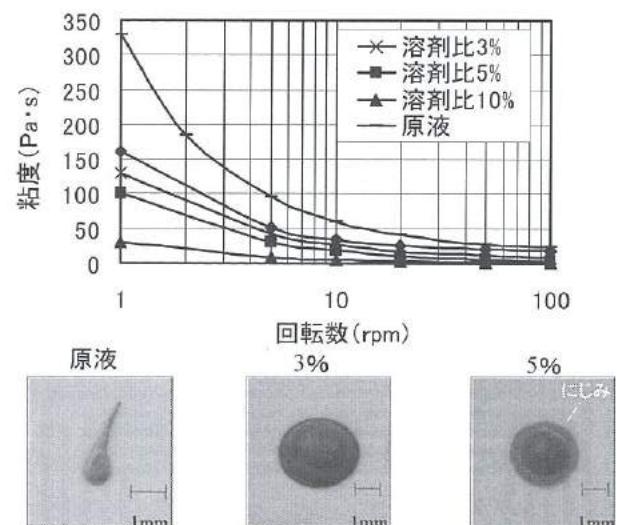
<3. 1> 電塗料及びディスペンス条件の検討

<3. 1. 1> 導電塗料の調整

図8に粘度測定の結果とディスペンス後の形状を示す。導電塗料に対して、ジェチレングリコールモノ-n-ブチルエーテルをそれぞれ3%、5%、10%加えた結果、溶剤の比率が高いほど粘度は低くなかった。ディスペンス後の形状に関しては、原液のままでは糸引きが起ってしまい、きれいにディスペンスできないが、溶剤を3%以上加えたものでは糸引きが起らず、きれいにディスペンスできた。しかし5%以上加えると、熱硬化後にじみが発生してしまったため、溶剤混合比は3%が適していると考えられた。また、図9に示すように、このハンダ付着性導電塗料はペーストの温度と粘性の関係式であるアンドレードの式に乗ることがわかった。このことから、今回測定した温度範囲では導電塗料の硬化が始まってないことがわかった。

<3. 1. 2> ディスペンス条件の検討

試料温度、吐出圧力、移動速度、ギャップについて検討を行った。試料温度については、夏場でも制御しやすいように35°Cに設



定した。吐出圧力が上がるにつれ、吐出量・線幅ともに増大し、

図8 粘度カーブとディスペンス後形状

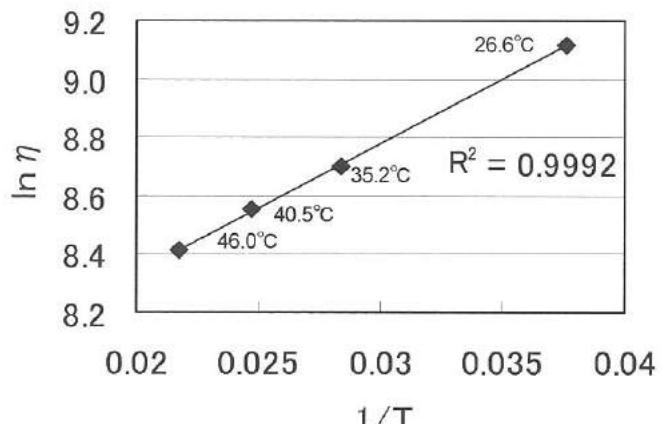
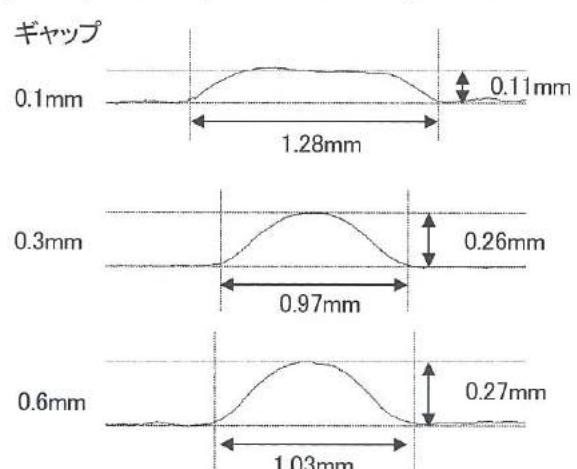


Fig. 8 Viscosity curves and OM image of dispensed ECA

図9 はんだ付け可能な導電塗料の温度粘度特性
Fig. 9 Temperature dependence of viscosity of solderable ECA



移動速度が上がるにつれ、吐出量・線幅ともに減少した。ニードルと基板間のギャップを、0.1mm、0.3mm、0.6mm と変化させ、ライン描画を行った際の断面形状を図 10 に示す。0.1mm の場合、上部が平らになっており、ニードルの先端が基板に近すぎ、ペースと上部を押さえるため、このような台形状になったと考えられる。0.3mm、0.6mm の場合は山なりの形状になったが、0.6mm の場合は図 11 に示すように、直線を描こうとしてもラインが波打つような形になってしまった。これはニードルの先端が基板から離れすぎており、吐出ムラができてしまうためと考えられる。

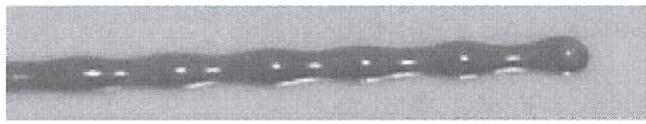


図 11 ギャップ 0.6mm でディスペンスした際の写真

Fig. 11 OM image of dispensed ECA

<3. 2> 導電塗料の選定

<3. 2. 1> 抵抗率測定及び断面 SEM 観察

ハンダ付着性導電塗料および4種類の導電塗料の抵抗率の測定結果を表 3 に示す。以下、ハンダ付け可能な導電塗料を塗料 H、ナノ粒子入りのものを塗料 A、シリコーン系のものを塗料 B、フェノール系のものを塗料 C、ポリエステル系のものを塗料 D と記す。A が最も低抵抗率で、次に C、D が低かった。B はハンダ付着性導電塗料 H と同程度の値を示し、他の 3 種類のものと比べ、高抵抗率だった。

表 3 体積抵抗率測定結果

Table 3 Volume resistivity of ECA

試料番号	特徴	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
A	ナノ粒子フィラー	6.3×10^{-6}
B	シリコーン樹脂系バインダー	2.1×10^{-5}
C	フェノール樹脂系バインダー	4.5×10^{-5}
D	ポリエステル系バインダー	4.7×10^{-5}
H	ハンダ付着性 フェノール樹脂系バインダー	1.4×10^{-4}

図 12 に各種導電塗料の SEM 断面画像を示す。最も抵抗率の低かった A の導電塗料では中心に大きな空洞があるものの、それ以外の場所では、フィラー同士が密に接合しているのがわかる。A では、フィラーとしてナノ粒子が用いられており、200°C に満たない温度でもフィラーの焼結が進んでいるものと考えられる。抵抗率の高かったハンダ付着性導電塗料 H と B の導電塗料では、フィラーの数も多くないことがわかる。このため B はパターン形成には不向きであると判断した。

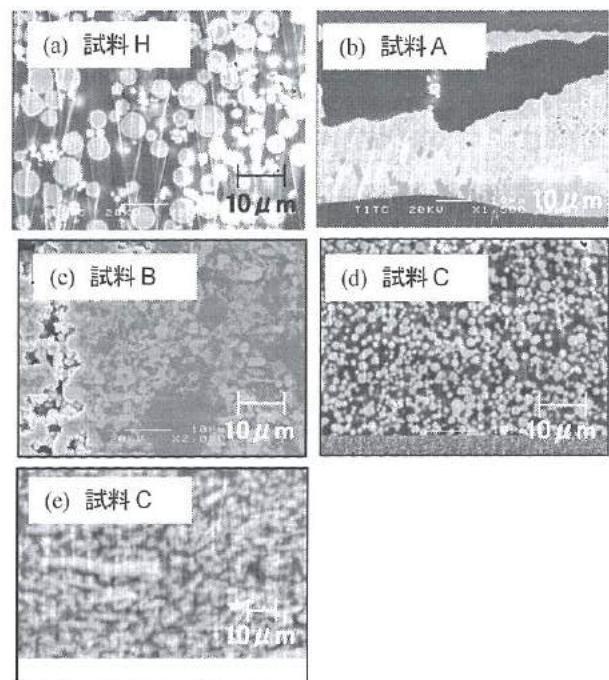


図 12 硬化後の導電塗料の断面 SEM 画像

Fig. 12 Cross sectional SEM images of ECA after cure

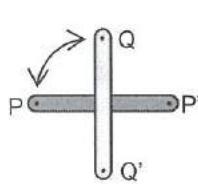
<3. 2. 2> 各種導電塗料とハンダ付着性導電塗料との併用による影響評価

表 4 に導電塗料を併用した際の影響評価の結果を示す。単体では低抵抗率だった導電塗料 A の抵抗値が、ハンダ付着性導電塗料 H と併用した場合に著しく上昇しているのがわかる。それに対して C、D ではハンダ付着性導電塗料と併用した場合においても特に変化が見られなかった。図 13 に接合面の SEM 画像と混合した導電塗料を熱分析した結果を示す。接合面の SEM 画像を見ると、A とハンダ付着性導電塗料の接合面に大きな空洞があるのがわかる。また、熱分析の結果から急激な発熱反応が見られる。このことから、急激な発熱反応により接合面に気泡が形成されてしまったためだと考えられる。それに対して、C もしくは D とハンダ付着性導電塗料を併用した場合は接合面が密に接しており、熱分析の結果も緩やかな吸熱反応が見られるだけであった。以上より、A ではハンダ付着性導電塗料との併用が難しいと判断した。C と D を比較すると D はバインダーにポリエステルを使用しているため C と比較して耐熱性が低い。そのため、はんだごてが D の導電塗料に触ると塗料が溶けてしまった。よって、D の導電塗料でパターンを描いた場合、ハンダ付着性導電塗料にハンダを付着させる際にパターンが断線してしまう恐れがある。以上より、今回のアンテナパターン作製には導電塗料 C を用いる事とした。この

導電性塗料については、速度 10mm/s、圧力 80kPa、ギャップ 0.3mm で良好なディスペンスを行うことが可能であった。

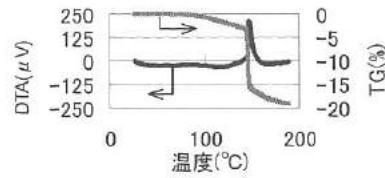
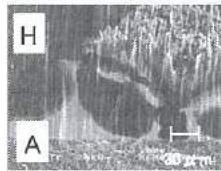
表4 異種の導電塗料を併用した際の抵抗値

Table 4 Resistance of ECA

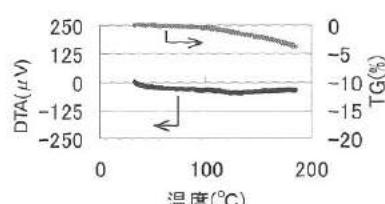
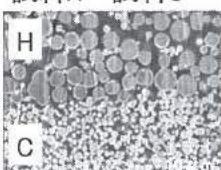


塗料の組み合せ		測定点	抵抗値 (Ω)
PP'	QQ'		
A	H	P-P'	1.5×10^4
		Q-Q'	1.6×10^{-1}
		P'-Q'	3.0×10^4
C	H	P-P'	3.4×10^{-2}
		Q-Q'	5.8×10^{-2}
		P'-Q'	5.0×10^{-2}
D	H	P-P'	5.3×10^{-2}
		Q-Q'	8.3×10^{-2}
		P'-Q'	7.7×10^{-2}

試料H—試料A



試料H—試料C



試料H—試料D

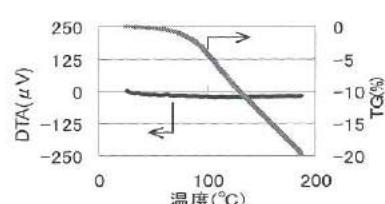
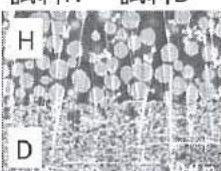


図13 異種導電塗料接合部の断面 SEM と熱分析結果

Fig. 13 Crossectional SEM images and TG-DTA curve of ECA

<3. 3> ディスペンサ法による RFID アンテナの試作

アルミニナ基板上に形成した RFID 用アンテナパターンを図 14 に示す。

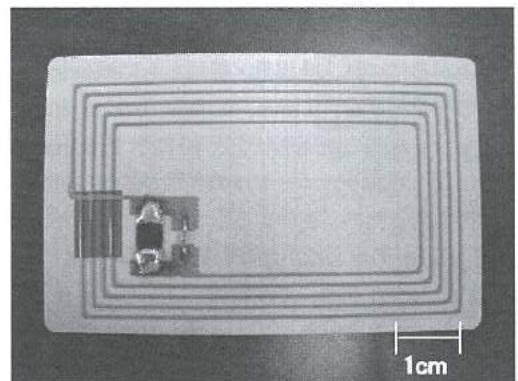


図14 RFID パターン外観

Fig. 14 OM image of prepared RFID

<3. 3. 1> パターン検討

パターンのインダクタンスは、使用する IC の入力容量の値を使用し、以下の式にて算出した。

$$L_C = \frac{1}{\{2\pi f \times (C_C + C_{IC})\}} \quad L_C : \text{パターンインダクタンス} \\ C_C : \text{パターン寄生容量} \\ C_{IC} : \text{IC 入力容量 (50pF)}$$

$$= 2.76(\mu H)$$

$$f : 13.56MHz$$

寄生容量 C_C は IC の入力容量に対してきわめて小さいと考えられるため、考慮しないこととした。その結果、必要なインダクタンスは $2.76\mu H$ であることがわかった。この値を参考に必要なアンテナパターンの巻数を算出した。長方形型ループアンテナのインダクタンスは次式で表わされることが知られている⁶⁻⁷⁾。図 15 はループアンテナの模式図を示す。

$$L = 0.241 \cdot a \cdot N^{5/3} \cdot \ln \frac{8a}{c} \quad , a = \frac{L_x + L_y - \{(N-1)(\omega + g) + \omega\}}{0.4} \\ c = 5 \times \{(N-1)(\omega + g) + \omega\}$$

L : インダクタンス (H)

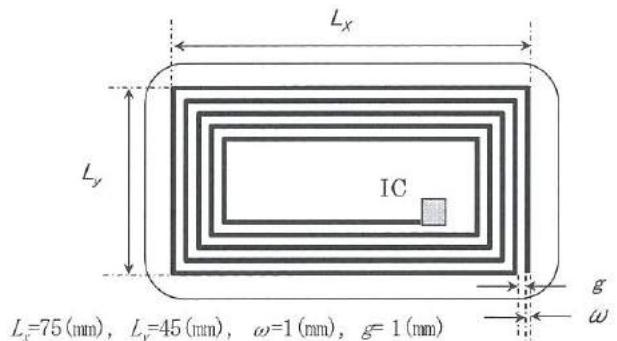
N : ループアンテナの巻数 (T)

L_x : 長手方向外寸 (m)

L_y : 短手方向外寸 (m)

ω : 卷線幅 (m)

g : 卷線間の幅 (m)



$$L_x = 75(\text{mm}), L_y = 45(\text{mm}), \omega = 1(\text{mm}), g = 1(\text{mm})$$

図15 ループアンテナ模式図

Fig. 15 Schematic image of loop antenna

表5 インダクタンス理論値

Table 5 Theoretical values of inductance

巻数	理論値(μH)
4	1.707
5	2.628
6	3.533

今回作製するアンテナはパスカやスイカなどのカード型のRFIDを想定し、パターンの外形はカードの外形を考慮して $L_x=75\text{mm}$, $L_y=45\text{mm}$ とした。上記の式を元に巻数が4, 5, 6のときのインダクタンスをそれぞれ計算した。その結果を表5に示す。これにより、アンテナの巻き数は必要なインダクタンス $2.76\mu\text{H}$ に近い5巻きとした。実際に5巻きで作製したパターンのインダクタンスは、 $2.72\mu\text{H}$ であり、計算値との誤差は1.5%であった。

<3. 3. 2> 共振周波数の調整

試作したRFIDアンテナの共振周波数の測定を行った。結果は、ICのみを実装した状態では、 23.56MHz となっていた。これは実装したICの入力容量がカタログ値 50pF に対して 16.5pF とされていたことが原因であった。そのため、図16に示すように、ICと並列にコンデンサ C_o を追加して共振周波数の調整を行った。

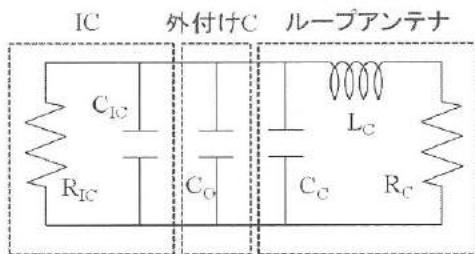


図16 外付けコンデンサ追加時等価回路

Fig. 16 Equivalent circuit of RFID antenna

調整前後での共振周波数の変化をネットワークアナライザで測定したものを図17に示す。コンデンサには 33pF のチップセラミックコンデンサを使用した。これにより共振周波数を 23.56MHz から 12.6MHz へと調整することができた。

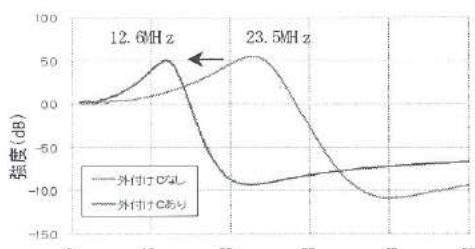


図17 共振周波数調整前後の周波数特性

Fig. 17 Frequency characteristics of prepared antenna before and after adjustment of resonant frequency

<3. 3. 3> 試作アンテナの動作確認

リーダライタ装置と試作したアンテナの応答信号の測定波形を図18に示す。(a)は問い合わせ信号、(b)は応答信号に相当する。また、図19の(a)にリーダライタからの問い合わせ(ポーリング)信号の周波数スペクトル、(b)にアンテナからの応答信号の周波数スペクトルを示す。

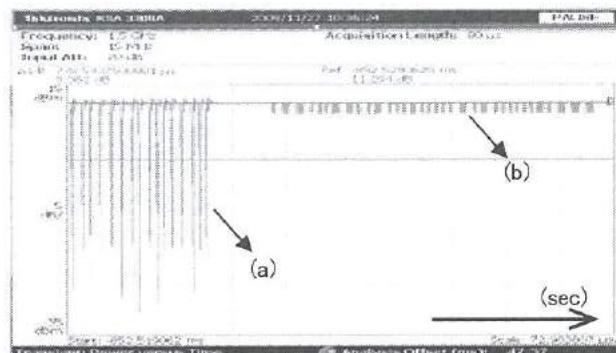


図18 送受信信号波形

Fig. 18 Response signal from prepared antenna to reader/writer

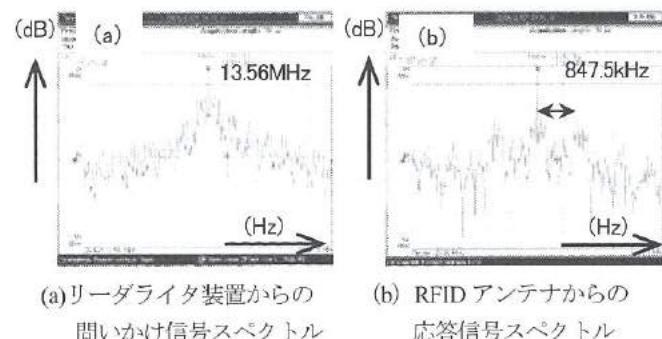


図19 送受信信号の周波数スペクトル

Fig. 19 Frequency spectra from (a) reader/writer and (b) prepared RFID antenna

(a)において、スペクトルのピーク値が 13.56MHz にありリーダライタの搬送波であることが確認できる。(b)では 13.56MHz のピークに対して 850kHz 程度ずれたピークが見られた。これは負荷変調した副搬送波の周波数であり、通信がスムーズに行われていることを確認することができた。さらに、共振周波数調整前後でリーダライタとアンテナの通信距離を測定したところ、調整前が 3cm であったのに対し、調整後は 5cm へ通信距離を伸ばすことができた。

<3. 4> スクリーン印刷法によるRFIDアンテナの作製

ディスペンス法により最適化した条件を用いてスクリーン印刷法でアンテナパターンを作製した。はんだ付着性導電塗料を使用するICパッド用と低抵抗塗料用を使用するアンテナパターンの二つのスクリーンを作製し、アンテナパターンを形成した。図

20 にスクリーン印刷法で作製したアンテナパターンの構成を示す。このパターンを使用してアンテナ動作させたところ、リーダライタとアンテナの通信距離は 5cm であり、ディスペンサ法で作製したアンテナでの共振周波数調整後の動作を再現することができた。

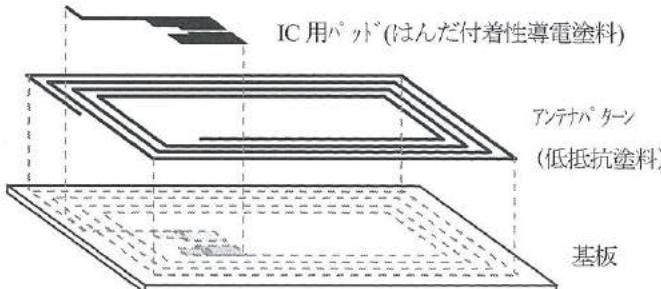


図 20 スクリーン印刷で作製したアンテナの模式図
Fig. 20 Schematic image of printed pattern of screen printing

4. 結言

- ① 導電性塗料のディスペンス条件について検討したところ以下の知見が得られた。
 - 移動速度が上がるにつれ、吐出量・線幅ともに減少する。
 - 吐出圧力が上がるにつれ、吐出量・線幅ともに増大する。
 - ディスペンスの開始と終わりの部分に空走りを入れることで、塗料の溜まりやダレを防ぐことができる。
- ② 今回用いた導電性塗料については以下の条件が適している。
速度 10mm/s、圧力 80kPa、ギャップ 0.3mm、温度 35°C、溶剤比 3%
溶剤：ジエチレングリコールモノ-n-ブチルエーテル
また、溶剤比を上げると粘度が下がり、ディスペンスしやすくなるが、硬化後にパターン周辺に滲みが発生する。
- ③ 使用するペーストはアンドレードの式に従った。これにより、測定していない温度範囲で推測することができるようになった。
また、測定した 27~46°C の温度範囲では硬化が始まっていない。

- ④ はんだ付け可能な導電性塗料と併用可能かつ低抵抗な導電塗料について検討したところ、フェノール系の導電性塗料が良好であった。
- ⑤ 最適化したディスペンス条件で、RFID アンテナパターンを作製し、インダクタンスを評価したところ実測値は理論値と、ほぼ一致した。
- ⑥ アンテナパターン上に、はんだ付着性導電塗料を使用したパッドを形成し、IC をはんだ実装することができた。
- ⑦ 試作したアンテナの共振周波数を、キャパシタンスの追加により 23.56MHz から 13.56MHz 付近に調整可能であり、共振周波数の最適化後は、通信距離が 3cm から 5cm に伸びた。
- ⑧ ディスペンス工法による結果を元に、スクリーン印刷用のパターンを作製、RFID アンテナを作製し動作を確認した。

以上より、導電塗料を用いたディスペンサ工法での導電パターンの試作と、より量産に適したスクリーン印刷工法への展開が可能であることが示された。

文 献

- (1) 菅沼克昭：ここまで来た導電性接着剤技術 工業調査会
- (2) 廣島大三 他：インクジェット法を用いたアンテナの作製
若い研究者を育てる会研究論文 Vol.121 (2008) pp. 13-18
- (3) 三次仁：電気学会誌 2006. Vol. 126, P. 521
- (4) 宇佐美光雄 他：ニピキタス技術 IC タグ オーム社
- (5) CQ 出版社 Design wave Magazine 2005. 7 月号
- (6) 上坂晃一 他：無線 IC タグにおけるアンテナ技術 電子情報通信学会論文誌 B Vol. J89-B No. 9 pp. 1548-1557
- (7) H. M. GREENHOUSE : Design of Planer Rectangular Micro electronic Inductors. IEEE Transactions on Parts, Hybrids, and Packaging, Vol. PHP-10, No. 2, JUNE 1974

III. X 線 CT を用いた実寸計測に基づく CAE 技術の研究

Development of CAE technology based on actual size measurement
by X-ray CT system

細川 修宏

HOSOKAWA Nobuhiro

釣谷 浩之

TSURITANI Hiroyuki

山根 幸治

YAMANE Kouji

杉森 博

SUGIMORI Hiroshi

浦上 晃

URAKAMI Akira

佐山 利彦

Toshihiko Sayama

金森 直希

KANAMORI Naoki

CAE technology is usually computer-aided methodology for structural evaluation of products based on CAD data. However, if the products have different dimensions from the design drawing, such as moldings or weldments, the 3D digital model for CAE have to be based on actual measurements. In this study, we developed a new CAE technology based on actual size measurement by X-ray CT system as 3D measurement device. These technologies were applied to two actual products, and then yielded some effective results for quality evaluation of those products. One is a structural analysis for the resin molding product including voids. Another is a fatigue life estimation for the solder joint part including joint geometry on the print-circuit board.

1. 緒言

製造業において、製品の形状設計から製造工程を経て評価に至るまでの典型的な流れは次のようなものである。まず、仕様に基づいて形状設計を行い、作成された3次元CADデータをもとにCAE解析を行って、解析結果が仕様を満たしていることを確認する。次に、CADデータをもとに材料加工や組み立て等の製造工程を経てひとつの製品を作り上げる。最後に、でき上がった製品の性能を各種試験によって確認する。

しかし、実際の製品には、製造工程において欠陥が発生する場合や、作ってみて初めて形状が決まる場合も少なくない。これらの欠陥等は、設計時のCADデータには存在しないため、CADデータに基づくCAE解析が製品を反映していない場合がある。例えば、樹脂成型品内部に存在するボイドや電子基板のはんだ接合部などがこれに該当する。このような例では、設計仕様が満たされているかどうかを検証するために、実測データに基づいてCAE解析を行うことが有効であると考えられる。解析結果が設計仕様を満たしていない場合は、製造工程の見直しや形状の再設計に戻り、製品を修正することが可能となる(図1)。このような実測ベースCAE解析を設計・製造へフィードバックする手法は、特に樹脂成型品や電子基板等の信頼性向上には非常に有効であると考えられる。

そこで、本研究では3つの事例を通じて実測ベースCAE解析技術の有効性を検証する。具体的には、対象物の外観形状と内部形状の両方を測定することが可能なマイクロフォーカスX線CT装置を用いた対象物の形状・寸法実測、およびこの測定データを

用いたCAE解析による対象物の評価を通じて、下記3技術の達成具合の確認と問題点の抽出を行う。

- (1) X線CT装置による形状・寸法の測定技術
- (2) 実測データのCAE解析用データへの変換技術
- (3) 実測データに基づくCAE解析技術

2. X線CT装置を用いた断層画像の生成

<2. 1> マイクロフォーカスX線CT装置の特徴

マイクロフォーカスX線CT装置は、非接触・非破壊で物体の表面形状と内部構造をマイクロメートルオーダーの空間分解能で測定することができるという特徴を有する。複雑な自由曲面を

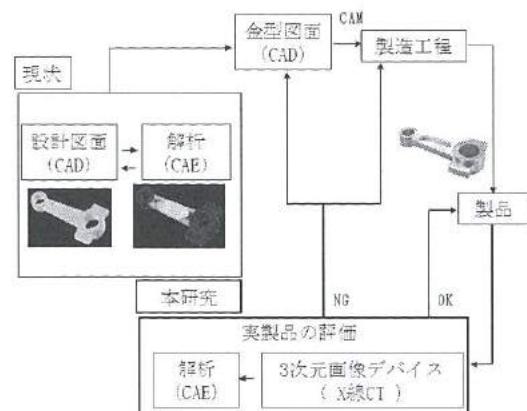


図1. 実測データに基づくCAE解析の概念
Fig.1. Concept of CAE analysis based on measured data

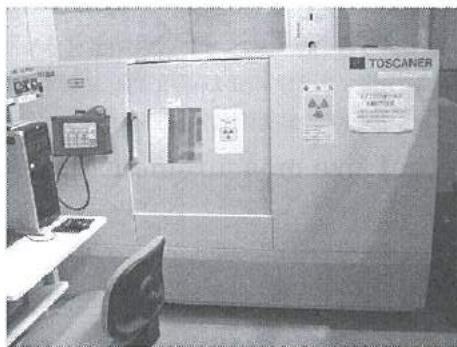


図2. マイクロフォーカスX線CT装置

Fig.2. Micro-focus X-ray CT system

有する物体の表面形状はもとより、物体内部の欠陥・き裂状態を反映した詳細な3次元データを得ることができるため、CAE解析時に利用する形状データを作成するのに適している。

本研究では、図2に示す東芝ITコントロールシステム社製のマイクロフォーカスX線CT装置TOSCANER32250 μ hdを使用した。この装置は、最高空間分解能が5 μ m、X線管の電圧範囲が30～225kVであり、コーンビームスキャン方式を採用している。撮像可能な試料の最大サイズは、直径200mm×高さ300mmである。

<2. 2> X線CT画像(断層画像)の取得

本装置を用いてCT画像(断層画像)を得るまでの流れは次のようなものである。図3に示すように、回転ステージに置かれた試料に対してX線管から円錐型に広がるX線を照射する。X線は試料内部を透過して減衰した後、検出器に至る。検出器はマトリックス状に配置されたX線受光素子からなっており、各受光素子が受けたX線の強度をそれぞれ12ビットの輝度情報に変換する。こうしてX線を試料に照射した際の透過画像を得ることができる。受光素子に入射するX線の強度は、試料の材質や厚みにより異なるため透過画像には濃淡が現れる(図4)。濃い部分ほどX線がより吸収されていることを示している。試料を搭載したステージを僅かな角度だけ回転させた後、同様にX線透過画像を撮影

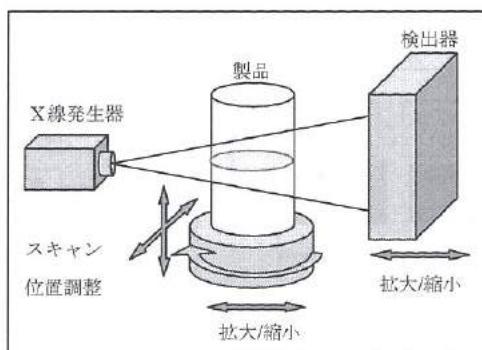


図3. マイクロフォーカスX線CT装置による撮像原理

Fig.3. Imaging principle of X-ray CT system

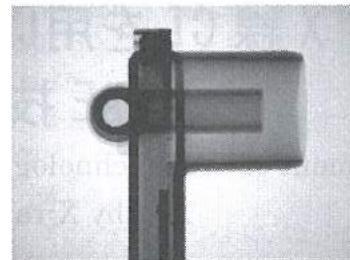


図4. X線透過画像の例

Fig.4. X-ray projection image

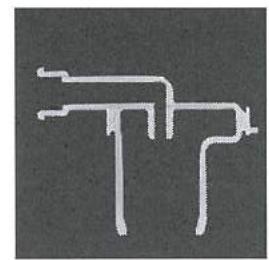


図5. X線CT画像の例

Fig.5. X-ray CT image

する。以上の操作をステージが360度回転するまで繰り返し、数百枚の透過画像を得る。

こうして得られた回転角度ごとの透過画像は、コンピュータによって再構成され、高さ方向に一定の間隔(スライス厚)で輪切りにしたCT画像(断層画像)(図5)となる。なお、このCT画像はX線の透過量の2次元分布を表しているに過ぎず、物体の2次元形状を表しているものではない。

<2. 3> X線CT画像により取得した形状の寸法精度

入力する形状データの精度はCAE解析の精度に影響を与える因子の一つである。そこで、X線CT画像による寸法測定の精度を実験により求めた。実験手順は次の通りである。

- (1) 試料の断面寸法をマイクロメータにより測定する
- (2) X線CT装置により試料のCT画像を取得する
- (3) 画像処理ソフトウェアの寸法測定機能によりCT画像の寸法を測定する

表1に測定結果を示す。撮影画像はいずれも512×512ピクセルである。樹脂材料は金属材料と比較してX線をあまり吸収しないため、X線CT画像の濃淡が付きにくいが、X線管の管電圧、管電流、およびフィルタを適切に選択することにより、測定誤差を±1ピクセル以内に抑制することができる。また、CT画像におけるピクセル寸法がPMMA(アクリル)円柱とPP/PE(ポリプロピレン/ポリエチレン)角材で大きく異なるのは、X線発生装置

表1. 寸法測定精度

Table 1. Measurement accuracy

材料	PMMA円柱	PP/PE角材	PS角材
マイクロメータによる測定値 (mm)	φ 50.32	5.42×11.82	5.06×11.65
CT画像による 測定値 (mm)	φ 50.32	5.43×11.84	5.05×11.62
差異 (mm)	0.00	0.01×0.02	0.01×0.03
ピクセル寸法 (mm/ピクセル)	0.12	0.03	0.03

—回転ステージ間の距離および回転ステージ—検出間の距離を試料の大きさに応じて調節しているためである。

3. CT 画像の 3 次元化と物体表面データの抽出

<3. 1> CT 画像の 3 次元化

前章で得られた多数の CT 画像を積層して図 6 のようにボクセル化（3 次元化）する。ボクセル（voxel）とは 3 次元画像における直方体単位のことであり、2 次元画像におけるピクセル（pixel）と同様の意味合いを持つ。

CT 画像のボクセル化を行うソフトとして日本ビジュアルサイエンス社の VG Studio MAX を用いた。このソフトは医療用の CT 画像処理ソフトとしても使われている多機能のものである。さらに本ソフトを用いて CAE 解析のための物体表面データを作成する。なお、ここで言う表面データとは、外観上の「表面」だけではなく、物体内部に存在する空洞（ボイド）やき裂の「表面」も含まれる。

2 章で得られた CT 画像に対して VG Studio MAX を用いてボクセル化した例を図 7 に示す。この画像の輝度は、そのボクセルにおける X 線透過量を表している。この輝度情報をもとに次節以降で物体表面と空気の界面を決定していく。

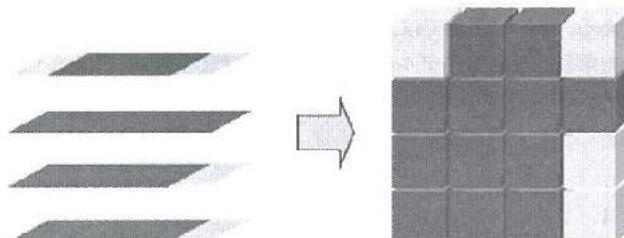


図 6. CT 画像の積み重ねによるボクセル化

Fig.6. Voxelizing by means of CT images

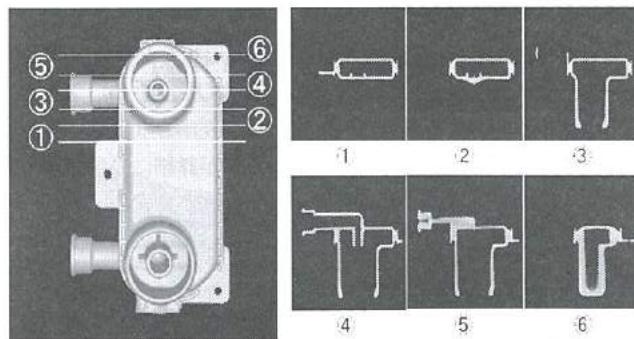


図 7. ボクセル画像（左）と各断面の CT 画像（右）

Fig.7. Voxel image(left) and CT images in the corresponding cross sections (right)

<3. 2> 物体表面—空気間の界面決定のための輝度値の明確化

前節で得られたボクセル画像において、物体と空気との界面となる輝度値を明確化する。適切な変換関数によってボクセルの輝度値を新しい輝度値へ変換すると界面の決定が容易になる。ここでは、この変換関数を決定する作業を行う。具体的にはボクセルデータの輝度分布図（図 8）を変換する線（図 8 中の実線）を手動で描くことでこれを実現する。この線はその輝度値に割り当てる不透明度を表している。すなわち、線を描く操作は、輝度値を新しい輝度値へ変換するルックアップテーブルを作成することになる。ルックアップテーブルの極端な例は、図 8 中の点線のように矩形的な関数で領域分割することであり、この場合は単に輝度値を二値化することになる。しかし、単なる二値化だけではノイズが非常に多くなるため空気と物体を分けることは事实上困難である。

本研究では、輝度分布図と、ルックアップテーブルによって自動的に抽出される物体のボクセル画像の両方を目視しながら、物体部分のみができるだけ過不足なく抽出できるようにルックアップテーブルの作成を試行錯誤的に行つた。この作業は作業者の経験と技量に大きく依存するため、今後、界面の有効な自動抽出方法を検討する必要がある。

<3. 3> ノイズ除去のためのフィルタ処理

界面をより明確化させるために、ノイズ除去のためのフィルタ処理を施す。X 線 CT 装置による実測データから作成したボクセル画像には、とくに下記のノイズが多く見られる。

- (1) 本来は空気が存在する空間であるのに、あたかも微細な物体が浮遊しているかのようなノイズ
- (2) 空気と物体の境界線の延長線上に発生する直線状のアーティファクト
- (3) ステージの回転中心を中心とする同心円上に発生する輪状または円弧状のアーティファクト

物体と空気の界面の鈍化具合とノイズ除去具合のトレードオフに注意しながら、平滑化や鋭敏化等のフィルタ処理を試行錯誤

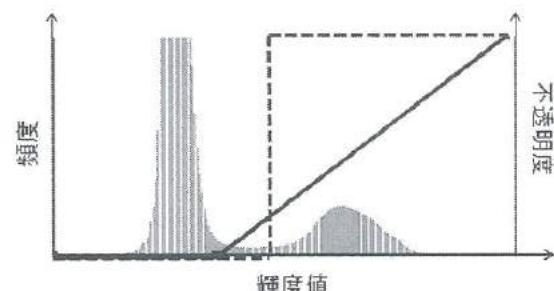
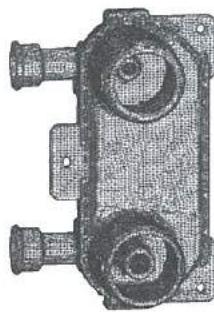
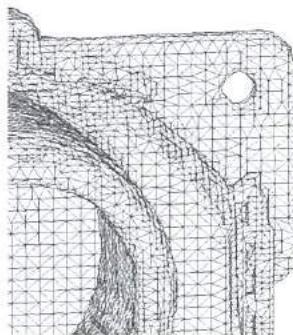


図 8. 輝度分布図と輝度値変換用ルックアップテーブル

Fig.8. Brightness-frequency chart and look-up table for brightness conversion



(a) 全体図
(a) Overview



(b) 拡大図（全体図右上部）
(b) Closeup of upper right part

図9. ポリゴンモデル
Fig.9. Polygon model

的に適切な回数施す。フィルタ処理後も明らかにノイズと考えられる部分については、手動でノイズ除去を行う。本作業においても、作業者の技量と経験が必要であるため、今後、自動化の手法を検討する必要がある。

<3. 4> 物体表面の抽出

前述の領域分割とフィルタ処理によって物体と空気の界面となる輝度閾値を明確化することができた。ここでは、その輝度閾値を等価面とする界面を生成することで、物体のポリゴンモデル（物体の表面形状モデル）を作成する。

この界面は図9に示すように3角形要素のメッシュで表されるポリゴンモデルであり閉じた面を形成している。この閉じた面で囲まれた内部（外部）の空間が物体の内部（外部）を表している。生成したポリゴンモデルをSTL（STereo Lithography）形式の3次元形状データとして保存し、CAE解析に利用する。

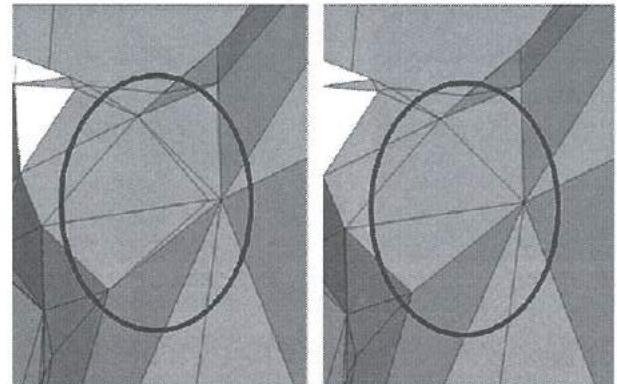
4. CAE解析用FEMモデルの作成

<4. 1> 手順の概要

CAE解析には、MSC社の汎用の非線形3次元FEM構造解析ソルバーのMarcおよびプリポスト処理ソフトのPatranを用いた。これらのソフトにより、物体の応力解析、変形量の算出、温度サイクルによるひずみ解析等を行うことができる。一般的な解析手順は次の通りである。

(1) 解析用FEMモデルの作成

- (a) 形状データの読み込み
 - (b) 形状データの整合性チェック
 - (c) ソリッド要素の作成・調整
- (2) 解析条件の設定
- (3) 解析の実行
- (4) 解析結果の出力・可視化



(a) 修正前
(a) inappropriate mesh
(b) 修正後
(b) modified mesh

図10. 高アスペクト比要素の排除
Fig.10. Exclusion of higher aspect ratio element

上記(3)のみがソルバーのMarcが担当する作業であり、他の手順はすべてプリポスト処理ソフトのPatranを使用する。

X線CT画像から生成したSTL表面形状データに基づく解析と、3次元CADデータに基づく解析では、上記手順(1)の解析用FEMモデルの作成に関する手順のみが異なり、それ以降の手順は同じである。4.2、4.3節では、X線CT、CADそれぞれのデータを用いた解析用FEMモデルの作成手順（とその問題点）について述べる。解析条件の設定、解析の実行と結果の可視化については、解析の実例とともに5章で述べる。

<4. 2> X線CTベースFEMモデルの作成

X線CT画像から生成した形状データは、前述の通り、物体表面に張られた3角形要素からなるポリゴンデータであり、STL形式で保存されている。解析用FEMモデルを作成する手順は、STLデータをプリポスト処理ソフトで読み込んだ後、解析対象としたい物体内部に四面体要素からなる3次元メッシュを生成することでソリッド要素に変換する。

STL表面形状データに基づいて物体の形状をソリッド化してFEMモデルを作成した例を図12(a)および図17(a)である。応力集中が予測される部分については、より小さな要素に分割する。こうすることで、クリティカルな部分が詳細に表現でき、実際の応力集中状態に近い計算結果を得ることができる。また、図10(a)のように3角形要素のアスペクト比が極端に大きくなっているものがあると解析精度が低下するため、そのような極端な要素については手動で図10(b)のように要素修正して高アスペクト比要素を排除する。なお、3角形のアスペクト比とは、外接円の半径を内接円の半径で除した値であり、正3角形の場合に最小値をとる。この作業は、条件の悪い三角形要素をしらみつぶしに修正するため時間のかかる過酷な作業であるため、修正の自動化等による作業の迅速化が必要である。

<4. 3> CADベースFEMモデル作成

3次元CADデータの作成には、SIEMENS社のSolid Edgeを用いた。作成したCADモデルは、既にソリッドデータであるが、物体内部には解析用の四面体要素が配置されていない。また、曲面形状はそのままでは解析不能なため、平面近似する必要がある。

Solid Edgeを用いて作成したCADモデルをPatranで読み込み、物体内部に四面体要素のメッシュを生成し、FEMモデルを作成する。X線CT画像に基づくFEMモデル作成の場合と同様に、応力集中部の要素の微小化とアスペクト比の調整を行う。

5. X線CTベースFEMモデルの妥当性確認

X線CTベースFEMモデルによるCAE解析結果をCADベースFEMモデルによるCAE解析結果と比較することで、X線CTベースFEMモデルの妥当性を確認する。題材として、自動2輪車用チェーンカバーの強度解析を探り上げた。

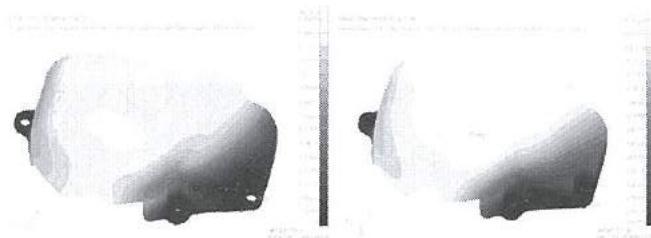
対象試料は図11に示す自動2輪車のチェーンカバー（試作品）とした。このチェーンカバーは、原動機の動力を後輪へ伝えるための金属チェーンを保護するための部品であり、カバー外側に加

わる外力による変形に耐えることが必要である。そこで、このカバーがボルト締めされる箇所（図11中のA,B,C点）を変位拘束

表2. チェーンカバーのFEMモデルの諸元

Table 2. FEM model specification of the chain cover

	CTベース	CADベース
FEM接点数	167,089	27,276
FEM要素数	837,744	118,984
ボクセル寸法 (mm)	0.38×0.38×0.30	
CT画像ピクセル数	512×512	
CT画像枚数	693	



(a) CTベースモデル
(a) CT base model
(b) CADベースモデル
(b) CAD base model

図13. チェーンカバーの変位分布

Fig.13. Displacement distribution of the chain cover

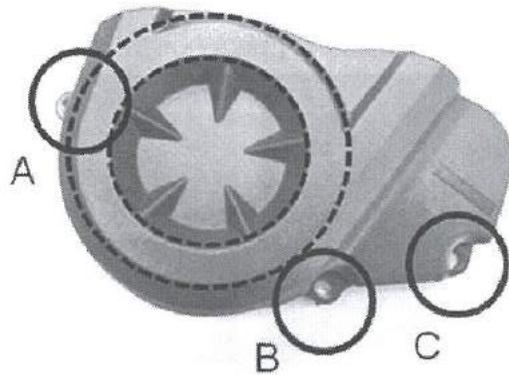
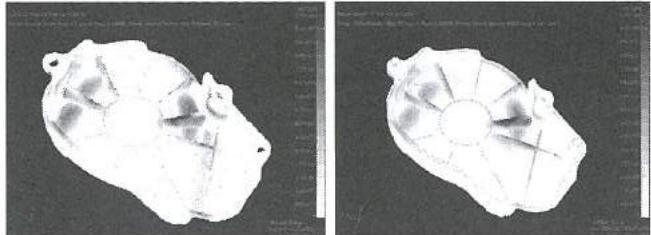


図11. 自動2輪車用チェーンカバー

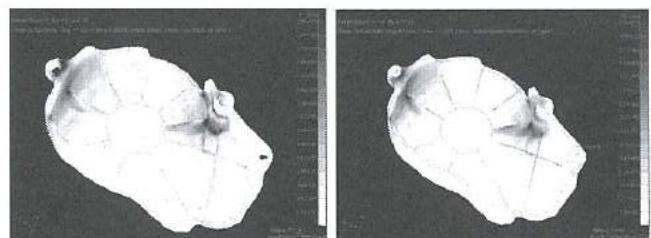
Fig.11. Chain cover for motorcycle



(a) CTベースモデル
(a) CT base model
(b) CADベースモデル
(b) CAD base model

図14. チェーンカバーの最大主応力分布

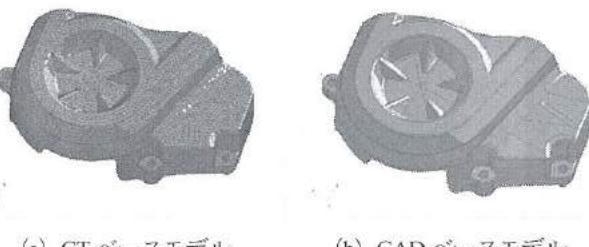
Fig.14. Major principal stress distribution of the chain cover



(a) CTベースモデル
(a) CT base model
(b) CADベースモデル
(b) CAD base model

図15. チェーンカバーの相当応力分布

Fig.15. Equivalent stress distribution of the chain cover



(a) CTベースモデル
(a) CT base model

(b) CADベースモデル
(b) CAD base model

図12. チェーンカバーのFEMモデル

Fig.12. FEM model of the chain cover

して、カバー上面（図 11 中の点線で囲まれた領域）に垂直な方向に強制変位 1mm を与えた場合の各部の応力と変位の状態を CAE 解析を行って確認する。

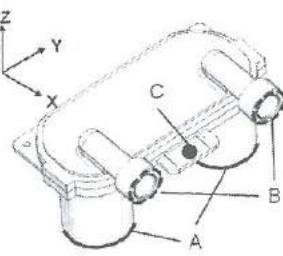
このチェーンカバーの材質はガラス繊維 30% 含有の PA6（ポリアミド 6）であり、おおよその外形寸法は約 125mm × 約 65mm × 約 250mm である。材料物性として、縦弾性係数 9120MPa、ボアン比 0.3 を用いた。作成した FEM モデルの外観と諸元をそれぞれ図 12 および表 2 に示す。

CT ベースモデル、CAD ベースモデルそれぞれについて、CAE 解析を行い、変形量分布（図 13）、最大主応力分布（図 14）および相当応力分布（図 15）を求めた。変形量については、両モデルで分布の様子は似通っているが、最大 0.3mm 程度の差がみられた。チェーンカバーリブ部の厚みが薄いため、1 ボクセル程度の寸法誤差が解析結果に多少影響したものと考えられる。最大主応力は、破壊の目安となりうる値であり、濃い色の部分から破壊が始まると予想され、両モデルとも裏面リブ部に集中している。延性材料における塑性変形の目安である相当応力は、両モデルとも拘束点 A、B、C 付近に集中している。

以上より、CAE 解析を行って確認したい事柄に対して、両モデルによる解析結果がほぼ一致していることから、X 線 CT ベース FEM モデルの妥当性が確認できたと考えられる。次章以降では、



(a) 現物
(a) Actual object



(b) 拘束箇所
(b) Constrained position

図 16. 循環パイプアダプタ

Fig.16. Circulation pipe adaptor



(a) CT ベースモデル
(a) CT base model



(b) CAD ベースモデル
(b) CAD base model

図 17. 循環パイプアダプタの FEM モデル

Fig.17. FEM mode of the circulation pipe adaptor

X 線 CT ベース FEM モデルを用いた CAE 解析事例を通して本手法の有効性を確認していく。

6. 樹脂成型品の CAE 解析

対象試料は、図 16 (a) に示す循環パイプアダプタの試作品である。材質はガラス繊維 30% 含有の PPS（ポリフェニレンサルファイト）であり、おおよその外形寸法は約 150mm × 約 100mm ×

表 3. 循環パイプアダプタの FEM モデルの諸元

Table 3. FEM model specification of the circulation pipe adaptor

	CT 画像	CAD
FEM 接点数	319,574	286,106
FEM 要素数	1,160,231	1,221,247
ボクセル寸法 (mm)	0.238 × 0.238 × 0.2	
CT 画像ピクセル数	512 × 512	
CT 画像枚数	821	

表 4. 循環パイプアダプタの CAE 解析条件

Table 4. CAE analysis condition for circulation pipe adaptor

拘束条件	変位拘束（図 16 (b) 中の A, B, C 点）
負荷条件	内部表面の静水圧 0.196MPa (2kgf/cm ²)
縦弾性係数	9300 MPa
ボアン比	0.36

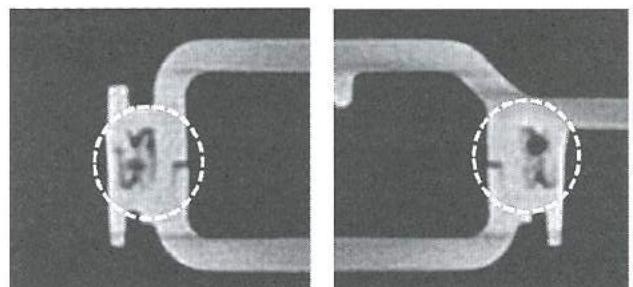


図 18. X 線 CT 画像に現れたボイド

Fig.18. Voids appeared in X rays CT image

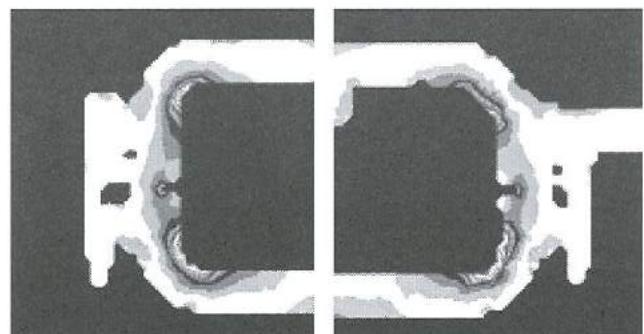
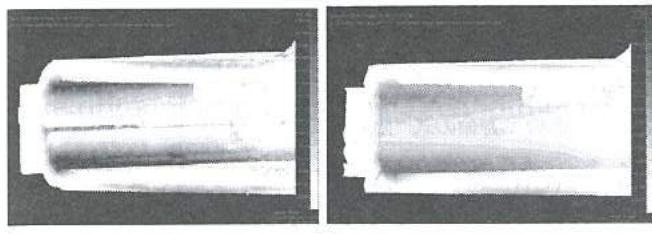


図 19. ボイドが存在する場合の最大主応力分布

Fig.19. Major principal stress distribution in void region



(a) CT ベースモデル (b) CAD ベースモデル

(a) CT base model (b) CAD base model

図 20. 接合部付近の最大主応力分布

Fig.20. Major principal stress distribution around the joints

約 80mm である。このアダプタは、浴槽の湯を循環させるためのパイプを接続して使用する部品であり、内部を流れる水圧に耐える強度を有することが重要である。また、このアダプタは 2 つの樹脂成型品を接合した部品であるため、成型部品内部のボイドが強度に与える影響および接合界面の強度を確認しておくことが重要である。そこで、このアダプタが固定される箇所を変位拘束して、アダプタ内面に静圧を加えた場合の接合界面や各部の応力と変位の状態を CAE 解析によって確認した。FEM モデルの外観と諸元をそれぞれ図 17 および表 3 に示し、CAE 解析条件を表 4 に示す。

この成型品には、図 18 の X 線 CT 画像に示されるように、接合部付近にボイドや未接合部が存在する（図中の丸囲み内）。これらのボイドや未接合部は設計時には存在しないものである。この隙間の影響を調べる CAE 解析を行った結果を図 19 に示す。大きな応力集中はボイドの周囲には存在せず、角部と未接合部に存在することがわかる。この応力集中状態は、PPS の引張り強さ 155MPa に対して 0.5MPa と非常に小さく、部品の強度にはほとんど影響しない値であると考えられる。また、図 20 は図 19 の解析結果を奥行き方向に沿って見たものを CT ベースモデルと CAD ベースモデルで比較したものである。CT ベースモデルの接合部付近に少々の応力集中がみられる（図中の中心部付近を水平に走る線）が、これは CAD ベースモデルには現れなかつた結果である。しかし、最大で約 0.3MPa のごく小さな値であるため、やはり部品の強度にはほとんど影響ないと考えられる。

7. はんだ接合部の CAE 解析

対象試料は樹脂モールドされた角型コンデンサがフローはんだ付けされたスルーホールを有する電子基板である（図 21）。この基板は作動時と停止時で部品の温度差が大きいため、動作と停止が数多く繰り返された後も破壊やき裂を生じないことが重要である。また、部品の基板へのフローはんだ付け時に、はんだがスルーホールにうまく上ってフィレットができる場合（図 22 (a)）と、うまく上らずフィレットができない場合（図 22 (b)）がある。フィレットの有無が寿命に与える影響を調べることは重要である。

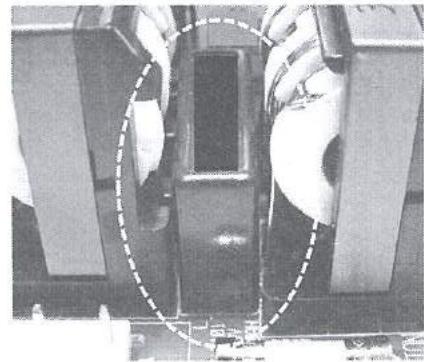
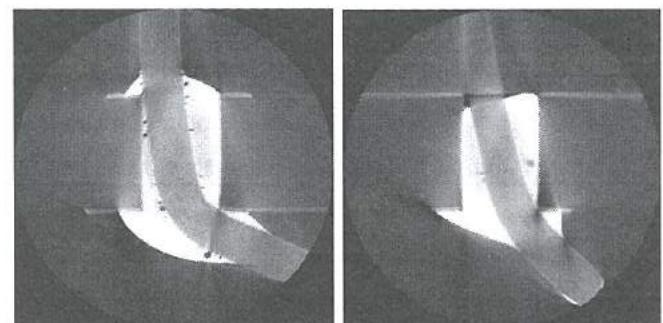


図 21. 角型コンデンサがはんだ付けされた基板

Fig.21. Substrate soldered with rectangular capacitor



(a) フィレットあり (b) フィレットなし

(a) Joint with fillet (b) Joint without fillet

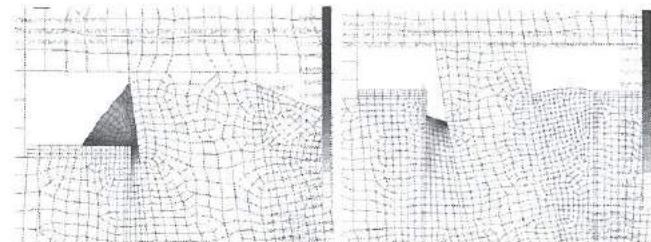
図 22. 半田接合部の X 線 CT 画像

Fig.22. X-ray CT images of through-hole solder joints

表 5. はんだ接合部の FEM モデルの諸元

Table 5. FEM model specification of through-hole solder joints

	フィレットあり	フィレットなし
FEM 接点数	5,005	4,425
FEM 要素数	4,785	4,226



(a) フィレットあり (b) フィレットなし

図 23. はんだ接合部の非弾性ひずみ

Fig.23. Inelastic strain of through-hole solder joints

る。

そこで、この基板に温度サイクルを負荷した際の、とくに線膨張係数の異なる部材同士が接合するはんだ接合部付近の非弾性

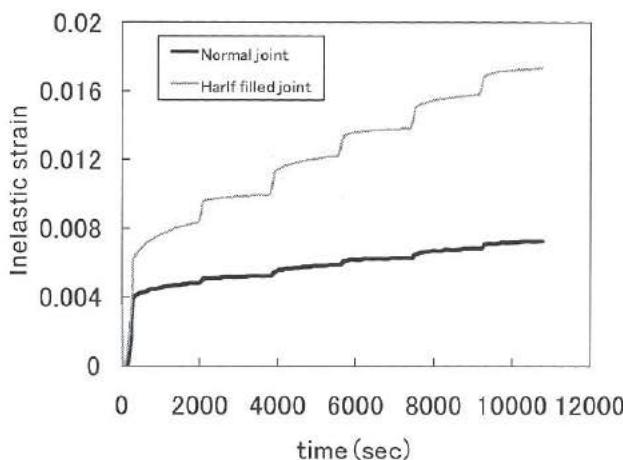


図 24. 非弾性ひずみの時間変化

Fig.24. Time history of inelastic strain

表 6. 疲労寿命の推定値

Table 6. Estimation of fatigue life

	非弾性ひずみ振幅 $\Delta \epsilon_{in}$	疲労寿命サイクル数 N_i
フィレット有り	4.85×10^{-4}	2.32×10^5
フィレット無し	1.76×10^{-3}	2.32×10^4

ひずみの蓄積を解析し、疲労寿命を推定する。非弾性ひずみとは、全ひずみ量のうち弾性ひずみを除いたすべてのひずみであり、はんだの場合は、塑性ひずみとクリープひずみとからなる。

解析時間短縮のため解析対象は、ひずみ集中が予想されるはんだ接合部付近のみとし、はんだ接合部を含む 2 次元断面の FEM モデルを用いて解析した。FEM モデルの作成方法は、X 線 CT 装置により取得した多数の CT 画像 (512×512 ピクセル) のうちの典型的な 1 枚の CT 画像をもとに Patran を用いて手動で形状を作成した後、四角形要素を生成するというものである。図 22 は 2 次元 FEM モデルの作成に使用した CT 画像である。CT 画像の分解能は 0.0085mm/pixel であり、スルーホールの寸法は内径 $1.0\text{mm} \times$ 高さ 1.6mm である。作成した FEM モデルの諸元を表 5 に示す。CAE 解析に用いる各部の材質として、基板は FR-4、樹脂モールドコンデンサは簡単のため一様にエポキシ、はんだは Sn-3.0Ag-0.5Cu の鉛フリーはんだとした。温度サイクルは、 0°C と 50°C を 30 分ごとに繰り返すものとした。温度の立ち上がりと立ち下りの割合は 10°C/min とし、これら要する時間は前述の 30 分ごとのサイクルに含めるものとした。

解析結果の非弾性ひずみの分布の例を図 23 に示す。図中の色の濃い部分ほど非弾性ひずみが大きいことを表している。フィレットなしの場合はリードとはんだの接合界面にひずみが集中しているが、フィレットありの場合はフィレット全体にひずみが分散している。非弾性ひずみの時間変化を図 24 に示す。フィレットなしの場合は、フィレットありの場合と比べて非弾性ひずみの変化量が大きい。

トなしの場合は、フィレットありの場合と比べて非弾性ひずみの変化量が大きい。

次に、疲労寿命の推定を式 (1) で表される低サイクルひずみ応力による疲労寿命の式⁽²⁾を用いて行った。

$$\Delta \epsilon_{in} N_i^{0.56} = 0.47 \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \epsilon_{in}$ は、図 29 から読み取ることができる 1 サイクル部の非弾性ひずみ振幅であり、 N_i はき裂が発生し始めるサイクル数（疲労き裂発生寿命）である。推定した疲労寿命を表 6 に示す。フィレットなしのはんだ付け基板に比べ、フィレットありの基板の方が 1 オーダー程度長寿命であることがわかる。しかし、1 回 1 回のスイッチの入り切りを 10 年間行うことを想定すると、繰り返し数は 3.65×10^3 回であり、このはんだ接合部に関しては、フィレットが上面に形成されなくとも、十分な疲労強度を有していることがわかる。

8. 結言

本研究では 3 つの事例を通して実測ベース CAE 解析の有効性を検証した。下記の成果を得た。

- (1) 比較的大きな樹脂成型品や比較的小さな電子基板の形状測定を X 線 CT 装置によって行うことが可能であり、寸法の計測精度を最大で ± 1 ピクセル程度に抑えることができた。
- (2) CAE 解析に使用できる 3 次元 FEM モデルを X 線 CT 画像から作成することができた。
- (3) CT ベース FEM モデルを使って、ボイドや自由形状を含む実製品の応力解析や寿命推定を行うことができた。
- (4) X 線 CT 装置による実測に基づいた CAE 解析技術を樹脂成型品と電子基板のはんだ接合品に適用し、物体の強度や構造的な信頼性に関する有効な結果を得ることができた。また、残された課題は次のとおりである。
 - (1) 今回行った 3 つの事例にすべてにおいて、断層画像の取得、ソリッド要素の生成、および解析といったコンピュータによる自動処理に多大な時間を要した。作業の迅速化のためには、これらの作業の並列化やコンピュータの高速化が必要である。
 - (2) 物体表面-空気間の界面決定のための、輝度値変換用ルックアップテーブルの作成、フィルタ処理は、手作業であるため、作業者の技量に依存した。形状寸法の精度保持と作業の迅速化のためには、これらの作業の自動化を進めることが必要である。

文 献

- (1) 鈴木宏正, 3 次元計測とデジタルエンジニアリングの融合, 精密工学会誌, Vol.71, No.10, (2005), pp.1205-1208.
- (2) Kariya, K., et. al, "Isothermal shear fatigue life of Sn-xAg-0.5Cu flip chip interconnects", Proceedings of IPACK03, (2003), IPACK2003-35165.

IV ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2)

Development of the Joining Technology of the Mold Material for High Pressure Die-casting(2)

中田 雄三, 林 千歳, 土肥 義治
NAKADA Yuzo, HAYASHI Chitoshi, DOI Yoshiharu
森本 英樹, 佐山 利彦, 長柄 育一
MORIMOTO Hideki, SAYAMA Toshihiko, NAGAE Takekazu

Abstract

In Aluminum alloy high pressure die-casting, controlling the mold temperature is critical to achieving high quality products, high productivity, and long operating life of molds. The mold temperature is determined depending on the composition of the aluminum alloy and the shape of the product. The temperature is controlled by the circulation of a fluid through flow channels made in the mold by drilling cylindrical holes and sealing excess parts. These straight flow channels do not function enough to cool the mold and they shorten the mold life, and on top of it, drill processing costs high and takes time.

Our goal is to create free-formed flow channels which can efficiently cool the mold. We plan to make multiple parts of a mold to which we create flow channels freely by machining, and join the parts by solid-state joining. In this study, SKD61 steel plates were joined by PCPS (Pulse Current Pressure Sintering) method, and the mechanical properties of the joints were examined.

Furthermore, the cross-sectional shape of the channels of a mold was designed based on the result of heat transfer analysis and stress analysis. By the thermal cycle test using the mold, the possibility of the application to a die-casting mold was also investigated.

1. 緒言

アルミニウム合金のダイカストにおいて、アルミニウム合金の材料特性や成形品の形状に合わせて金型温度を制御することは、成形品の品質制御、サイクルタイムの短縮による生産性向上、および金型の長寿命化の点からきわめて重要である^{(1),(2)}。このため、金型内部には金型温度を制御するための冷却水流路が必要である。

現在、ダイカストの生産現場で使用されている金型の冷却水流路は、一般的に、ドリル加工等で直線的な穴を開けた後、不必要な部分を封止することによって製作されたものである^{(1),(3)}。このような直線的な穴の組み合わせでは、製作できる箇所や形状の自由度に制限があり、サイクルタイムの短縮につながるような効果的な冷却水流

路の製作は困難である。更に、冷却を必要とする箇所、特にキャビティ付近から冷却水流路が離れてしまうという問題もあり、効率良く成形品を冷却できないことが多い。

そこで本研究では、前述の問題を改善するため、金型を分割した状態で機械加工等によって自由に冷却水流路を形成し、その後分割した金型を接合することで金型内部に冷却水流路を製作する^{(3),(4)}ことを目的として実験を進めた。

この方法により、任意の箇所に冷却水流路を形成することが可能となり、効率的に金型や成形品を冷却できると考えられる。また、金型内の局所的な高温部分の発生を防ぎ、金型寿命を延ばすことにもつながることも期待で

きる。

一方、ダイカストにおいて冷却水と高温の溶湯が直接接触することは大変危険であるため⁽²⁾、金型の接合部には、ダイカスト操業時の高い応力と熱サイクルに耐えることができる十分な接合強度と耐久性が求められる。

本研究では代表的なダイカスト金型材料である SKD61 材を用い、パルス通電加圧焼結法(Pulse Current Pressure Sintering; 以下 PCPS 法と略記)で SKD61 相当材を接合し、各種接合条件、および拡散処理条件における接合部の機械的性質等について検討した。さらに、熱伝導解析や応力解析の結果を基に流路形状を設計し、試作した金型を用いて熱サイクル試験を行うことで、ダイカスト金型への応用の可能性についても調査した。

2. 実験方法

<2-1 供試材>

供試材として、熱間金型用工具鋼である SKD61 相当材(日立金属 DAC)を用いた。その化学組成を Table 1 に示す。接合試験片の形状は $\phi 36 \times 13\text{mm}$ -17mm、接合面の粗さは耐水ペーパーで研磨することにより、 $\text{Ra}=0.03\mu\text{m}$ 程度に調整した。

Table 1 Chemical composition of the specimens

	(mass %)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
DAC	0.39	1.0	0.40	<0.03	<0.01	-	5.15	1.40	0.80	-
SKD	0.32~0.80~	<0.50	<0.03	<0.03	<0.25	4.50~	1.00~	0.80~	<0.25	
61	0.42	1.20					5.50	1.50	1.20	

<2-2 PCPS 法を用いた接合>

PCPS 法は、約 10Pa の真空中にて接合材料を積み重ね、カーボンパンチで加圧しながらパルス電流を流すことにより、接合材料自体にジュール熱を発生させ、急速加熱するもので、その装置の概略図は Fig. 1 に示すとおりである。本実験では、接合界面の側面に切り込みを入れて、熱電対を挟み込んで取り付けた熱電対の温度をモニタリングしながら、温度を制御した。

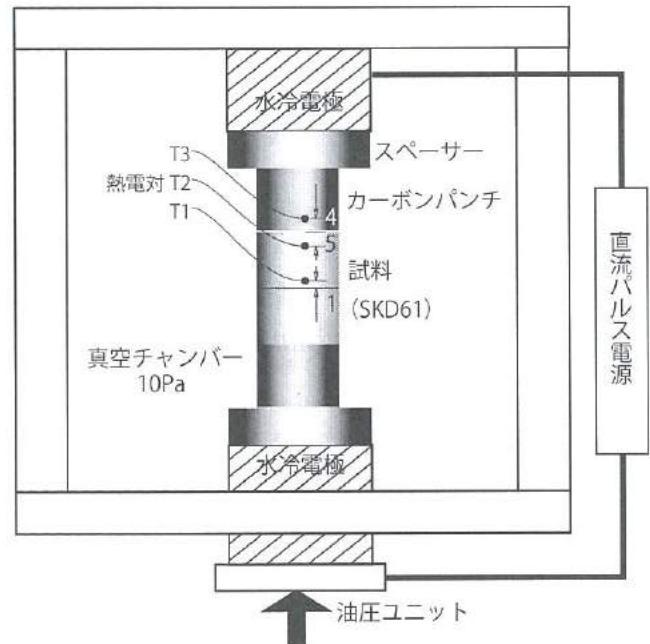


Fig. 1 Schematic diagram of the pulse current pressure sintering apparatus.

<2-3 接合体の作製条件と評価方法>

本研究での接合条件、熱処理条件、評価方法を Table 2 に示す。なお、評価に用いた試験片は Fig. 2 に示す形状に切り出した。

また、一部の試験片については、接合後、高温における長時間保持により、接合界面の拡散を促進させる熱処理を行った。

Table 2 Conditions of experimentation

接合条件	接合面粗さ	$\text{Ra}=0.03\mu\text{m}$
	温度	700-1050°C
	保持圧力	7.5-30MPa
	保持時間	20min.
熱処理条件	真空度	10Pa
	焼入	1025°C(塩浴)
	焼戻し	580-600°C(塩浴)
評価方法	硬さ	51.5HRC
	非破壊検査	超音波弾性率測定装置
	組織観察	金属顕微鏡
	強度試験	インストロン型材料試験機
	破面観察	走査型電子顕微鏡
	元素分析	ESCA

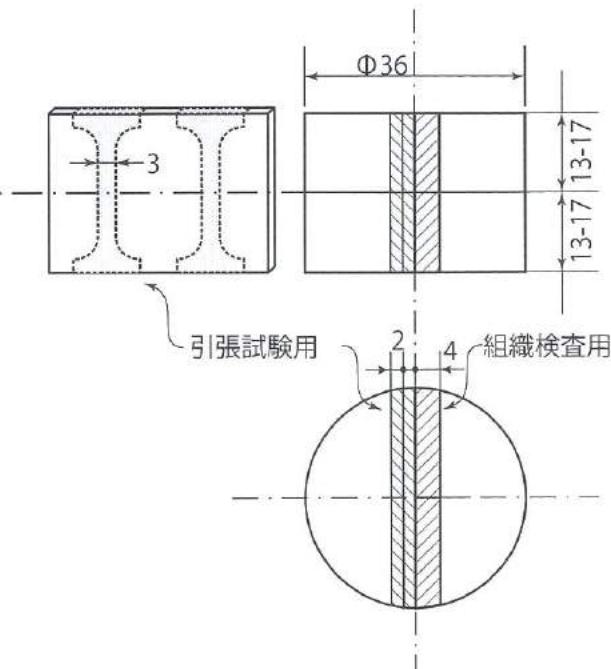


Fig. 2 Schematic diagram of specimen configuration

<2-4 金型の試作と熱サイクル試験>

冷却水流路を有する $\phi 50\text{mm} \times h55\text{mm}$ の金型の接合部に生じる熱応力等を把握するため CAE ソフト (解析ソフト : MSC/MARC 2007 r2、モデル作成表示ソフト : MSC/Patran 2008 r2) を用いて、熱応力の計算を行った。シミュレーション結果を接合部形状、接合位置など金型設計に反映するとともに、本研究で検討した最高の強度、最大の伸びが得られる最適条件で、PCPS 装置により冷却水流路を有する金型を試作した。

熱サイクル試験は、試作した金型を PCPS 装置を用い、金型上下で温度分布が生じるようパンチ等を配置して、冷却水を流しながら熱サイクル試験を行った。また、超音波探傷により接合部の評価を行った。

3. 実験結果と考察

<3-1 接合界面の組織および分析結果>

PCPS 法で接合した試料の接合界面付近の顕微鏡組織を Fig. 3 に示す。PCPS 法では回収時の冷却速度が大きく、組織は熱処理前では不完全なマルテンサイト組織となり、接合温度に対応した高硬度な試料となっていた。また、

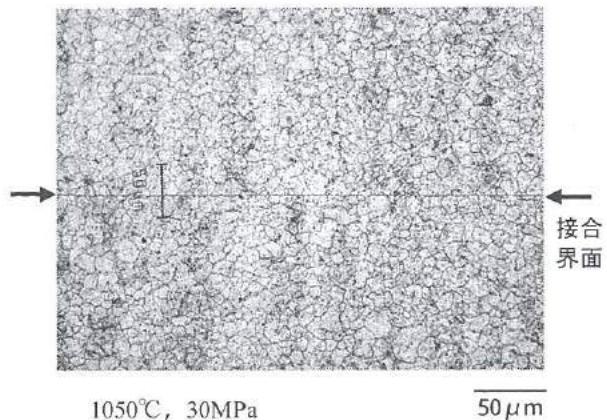


Fig. 3 Microstructure of joining interface

光学顕微鏡では、接合後の焼入・焼戻し熱処理の有無にかかわらず、ほとんどの試料で接合界面が観察された。

接合界面の ESCA による分析結果を Fig. 4 に示す。950°C, 30MPa で接合し、熱処理なしの試料を、分析直前に曲げ破断させた破面を ESCA 分析したものである。本試料は、界面で平坦に破断するため、ESCA による接合界面の分析に適すると考え選定した。

その結果、エッティング初期段階(エッティング時間 10min は約 30nm に相当)で、O および Si と微量の C の濃化が確認された。このことから、 SiO_2 もしくは微量の SiC が、数十 nm オーダーで形成されるため、拡散の阻害や界面破断の要因となる可能性が示唆される。

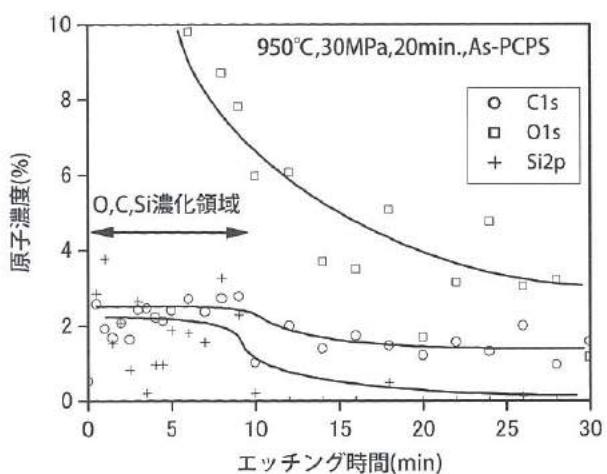


Fig. 4 ESCA analysis of the fractured surface

<3-2 接合温度、保持圧力と寸法変化率の関係>

PCPS 法により製作した試料の保持圧力ごとの接合温度と寸法変化率の関係を Fig. 5 に示す。保持圧力が一定の場合は、接合温度が高いほど寸法変化が大きく、保持圧力が高いほど寸法変化率が増大する傾向が確認された。接合後の仕上げ工数の低減を図るために、金型製作の際には接合による変形は極力抑えることが望ましい。

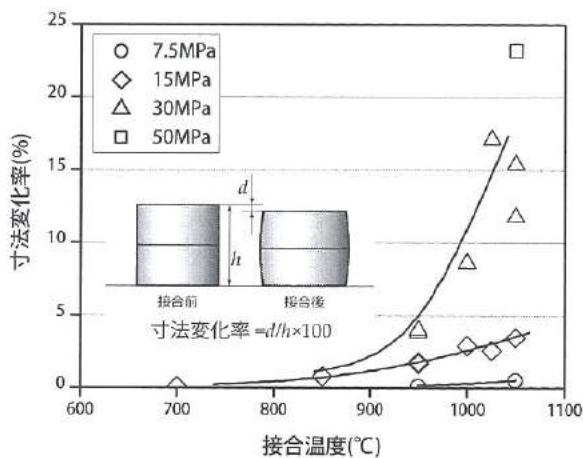


Fig. 5 Relationship between deformation of the specimens and joining temperature, pressure

<3-3 接合温度、保持圧力と引張強度、伸びの関係>

PCPS 法による接合後、熱処理により 51.5HRC 程度に硬さの調整をした種々な条件の試料の接合温度と引張強度、および伸びの関係を Fig. 6 に示す。引張試験片は、接合界面が平行部中央になるように加工した。また、比較のために、同一硬さの母材の試験も行った。

引張強度は、850°C ではわずかに低いものの、接合温度 950°C 以上において、いずれも母材と同等レベルの約 1800MPa 程度となっている。一方、伸びは、保持圧力 7.5-30MPa に着目すると、接合温度が高くなるにつれ増える傾向にあり、母材レベルのものも確認された。50MPa については、伸びが低いものであった。

これは、接合初期から加圧しているため、高温になってから解離し始める接合面に吸着しているガスの放出が妨げられたため、接合が一部不完全な箇所があつたためと考えられる。

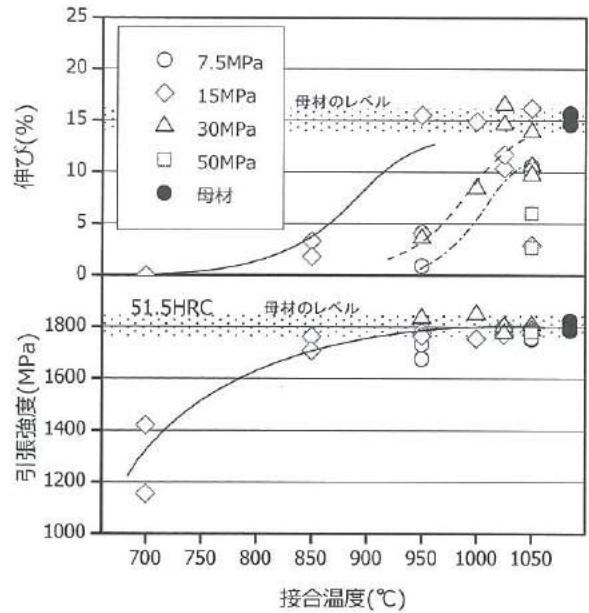


Fig. 6 Relationship between joining temperature and tensile strength, elongation

Fig. 7 に、引張試験後の試験片の外観を示す。また、Fig. 8 に、引張試験片の破面の SEM 観察結果を示す。母材(a)は、伸びが大きく中央部が絞られており、その破面は凹凸が激しく、延性破壊であることを示すディンプルが多数観察される。

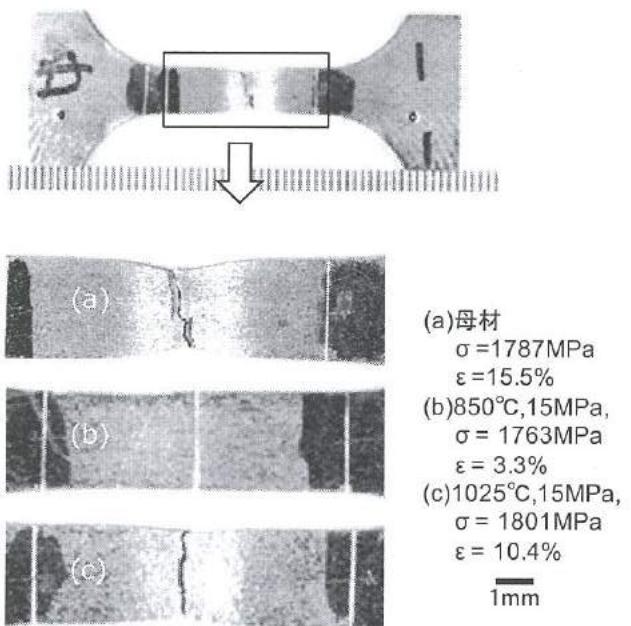


Fig. 7 Appearances of fractured specimens

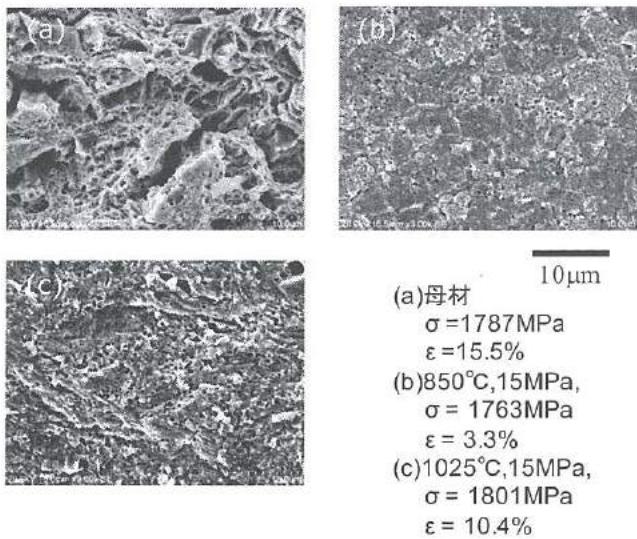


Fig. 8 SEM images of fractured surface of specimen after tensile test.

一方、(b)に示す試料は、伸びが3.3%と母材に対し少ないため、絞りがほとんどなく、接合面で破断していることがわかる。破面は平坦なものであり、結晶粒界も観察された。また、(c)に示す試料は、接合界面もしくはその近傍で破断している。破面はディンプルが確認され、接合面の延性の向上が確認できた。

<3-4 寸法変化率と伸びの関係>

Fig. 9に、寸法変化率と伸びの関係を、保持圧力ごとに整理して示す。いずれの保持圧力においても、寸法変化率の増加に伴い伸びも増加する傾向が認められ、母材レベルまで達していた。

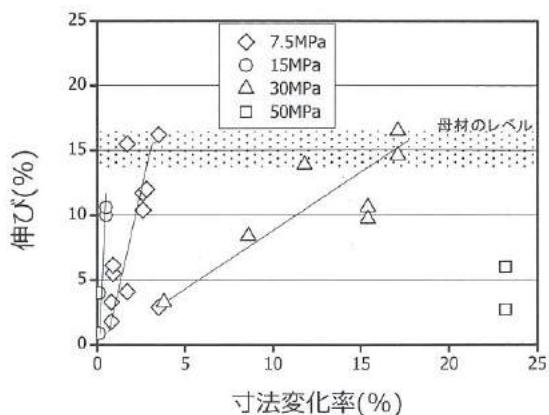


Fig. 9 Relationship between deformation of the specimens and elongation

保持圧力7.5MPaでは、寸法変化率が0.5%であるにも関わらず10%の伸びが出るなど、接合時の寸法変化を極力抑えつつ、伸びを得ることができた。

<3-5 拡散処理の効果>

保持圧力が7.5MPaのときにおいて、寸法変化率が0.5%であるにも関わらず、引張強度は母材と同等レベル、伸びは10%の伸びが出ることがわかったが、伸びについても母材レベルを得ることのできる接合条件について、さらに検討を進めるにした。母材レベルの引張強度および伸びを得るためにには、接合界面の拡散を促進させる必要があると考えられる。そこで、接合後に再度圧力をかけずに温度を1050°Cで保持し、時間ごとの拡散処理の効果について確認する。Table 3にその拡散処理条件を示す。

Table 3 The conditions of the diffusion heat treatment

拡散条件	温度	1050 °C
	保持時間	60min,180min
	炉内雰囲気	Ar (1L/min)

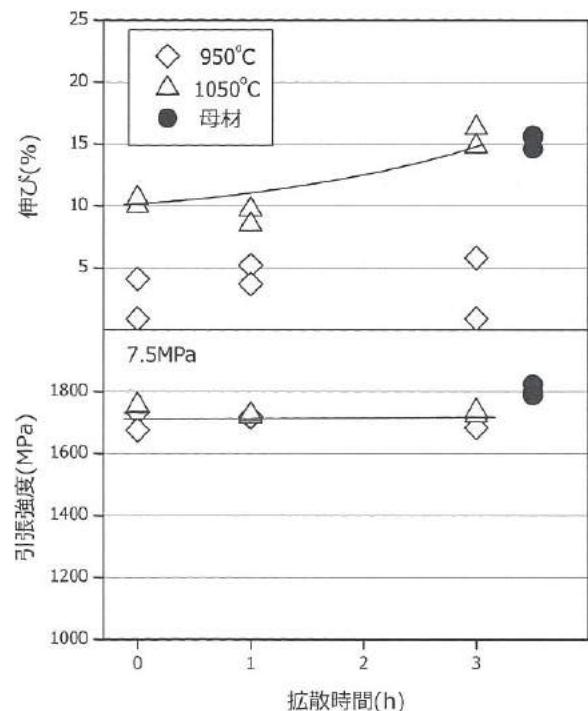


Fig. 10 Relationship between the diffusion heat treatment time and strength, elongation

Fig. 10 に接合時の保持圧力 7.5MPa における、拡散時間と引張強度、および伸びの関係を示す。引張強度は、拡散処理にかかわらず変化は認められなかった。一方、伸びについては、接合時の保持温度が 1050°C の場合、拡散時間 3 時間で母材レベルに達している。

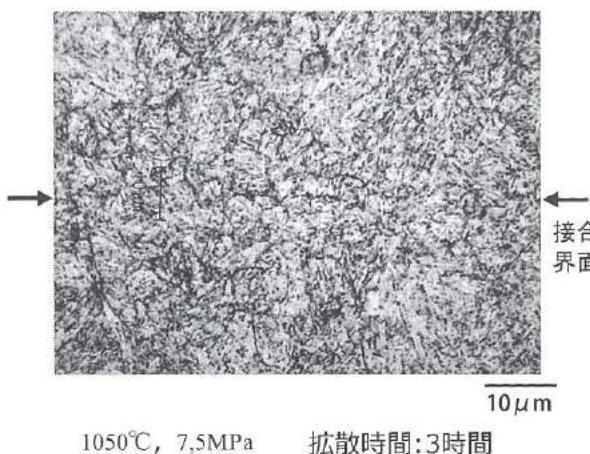


Fig. 11 Joining interface after the conditions of the diffusion heat treatment

この試料の接合界面の顕微鏡組織を確認したところ、Fig. 11 に示すとおりであり、接合面の識別ができるほど十分拡散処理の効果を示していた。一方、接合時の保持温度が 950°C では、拡散処理を施してもほとんど効果が無く、拡散処理により一層の信頼性を得るには、十分高い保持温度で接合する必要がある。

<3-6 シミュレーションによる熱応力の把握>

昨年度製作した試作金型では早期に接合面の割れが発生し、熱応力によるものと考えられるため、今年度は CAE ソフトを用いて、予め試作金型の接合部に生じる熱応力を把握することとした。

まず密度、熱伝導率、比熱により温度分布の時間変化を求め、その結果にヤング率、ポアソン比、線膨張係数を与え計算することにより、ひずみ、応力を求めた。

Fig. 12 に昨年度と今年度の試作金型のシミュレーションによる熱応力分布を示す。昨年度の試作金型では、

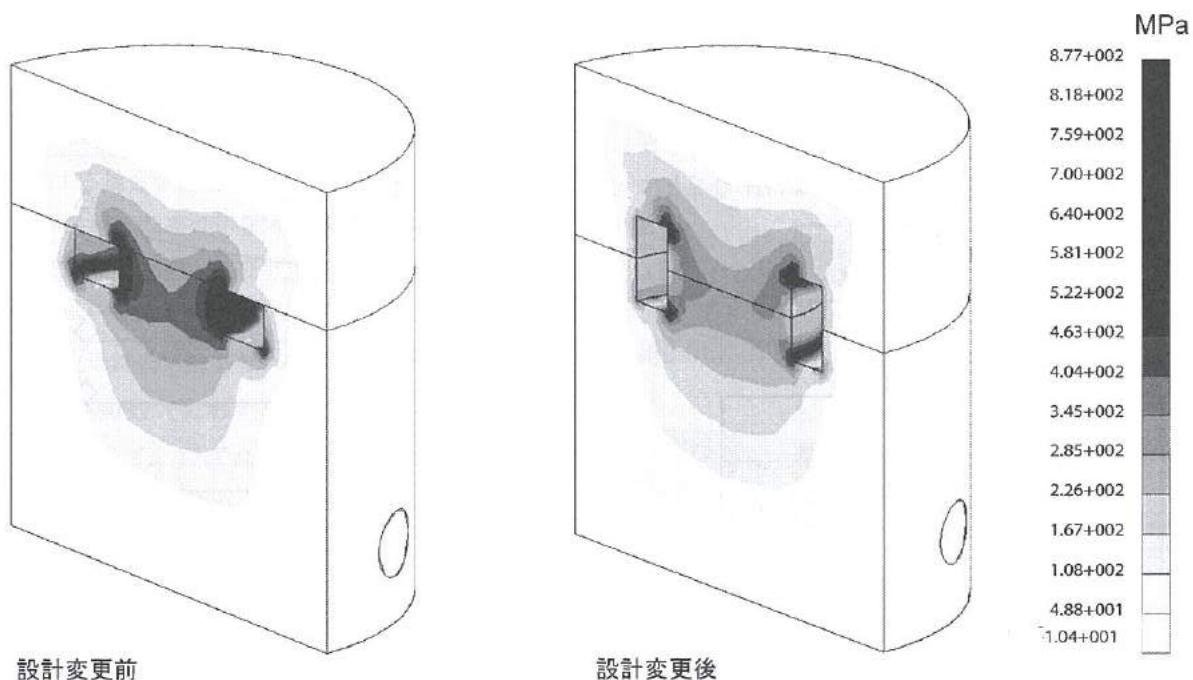


Fig. 12 The result of the heat transfer analysis and stress analysis

接合面近傍の内側コーナー部で、およそ 800MPa の応力が集中していた。内側円柱部にも 460MPa 以上であり、全体でも接合面や、内側円柱部の応力が高くなっていた。そこで、以下の(1)-(3)の設計変更を行った。

(1)接合位置の変更による接合面の応力緩和

昨年度は応力の集中する流路のコーナー部に接合面があったので、接合部に高い応力が作用したと考えられるため、今年度は、流路の中心部に接合面がくるように変更した。

(2)流路の断面形状の変更による流路内側部分の応力緩和

昨年度は内側の円柱部の応力が高かったため、円柱部の応力を緩和するために流路を縦長として、流量がかわらないように、流路の幅を 7mm→5mm に変更した。その結果、流路内側部分の面積を拡大することができ、より接合面を増やすことができた。流路から金型先端の距離は従来と同じ 15mm と変更がないので、想定される冷却能力については昨年度と同様である。

(3)コーナー部の R 加工による応力緩和

シミュレーションではコーナー部に応力が集中することがわかったので、試作にあたっては R=1 の加工をすることによりコーナー部の応力集中の緩和を図った。

このような設計変更を反映したものについて再度シミュレーションを行ったところ、流路内側の接合面に発生する熱応力が約 800MPa から約 400MPa と半分程度まで軽減された。全体でも流路の内側コーナー部を除き、内側の円柱部の熱応力が軽減される計算結果となった。

<3-7 試作金型の熱サイクル試験>

本実験における接合試料のうち最も良好な接合保持圧力 7.5MPa、接合温度 1050°C および拡散時間 3 時間と所定の焼入焼戻しを行い、シミュレーションにより最適化された冷却水流路を有する金型を製作した。この場合の圧縮による寸法変化率は、わずか 0.64% であった。その外観を Fig. 13 に示す。

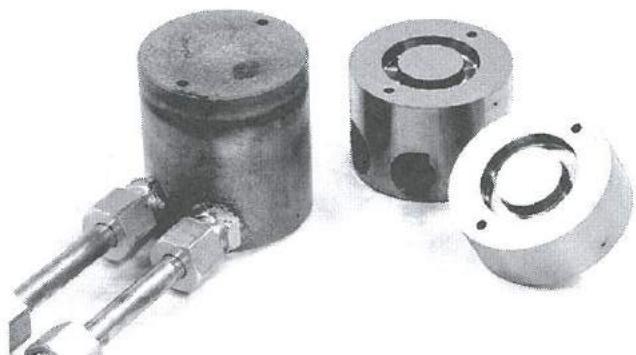


Fig. 13 Appearance of the mold used for the heat cycle test and configuration of the interface

熱サイクル試験は、PCPS 装置を用いて行った。熱サイクル試験時の金型、パンチ、スペーサ等の配置を Fig. 14 に示す。熱サイクル試験の条件は、実際のダイカストの操業を想定し、溶湯が接触する箇所は高温に、溶湯から最も離れた箇所では低温となるよう、PCPS 装置内のパンチおよびスペーサの材質や直径を上下で異なるよう配置した。

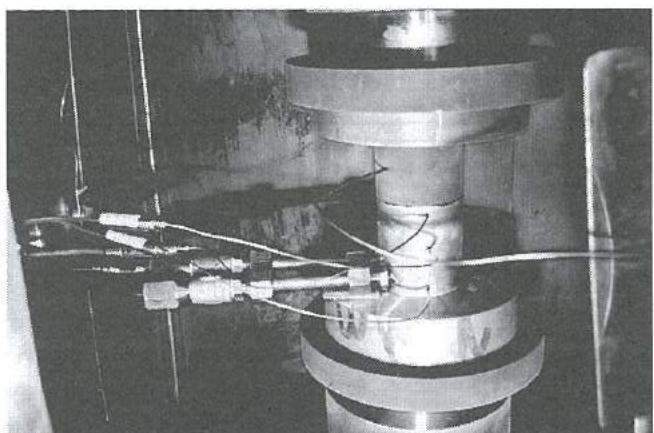


Fig. 14 configuration of the punches ,and the mold in the PCPS apparatus

試作した金型の熱サイクル試験時の温度変化を Fig. 15 に示す。溶湯に相当するカーボンパンチが 1 分間で約 625°C となるよう PCPS 装置の電流を調整し、昇温したのち、1 分間電流を止めるサイクルを繰り返した。

このような熱サイクル試験を 30 回繰り返した後、超音波探傷測定装置にて接合面中央部の状態を確認した結果

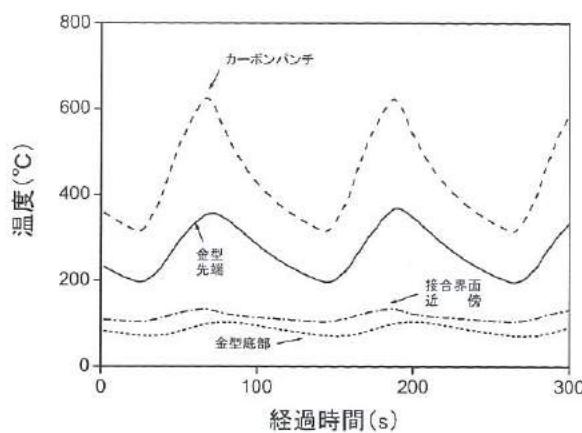


Fig. 15 Temperature changes of the mold during the heat cycle testing

を Fig. 16 に示す。接合前では、接合面からの超音波の反射が確認されたが、接合後には底面からの反射だけであり、接合界面に隙間がないことを示している。熱サイクル試験前後の反射の波形に変化はなく、熱応力による接合部の割れは発生していないと考えられる。このように、シミュレーションによる熱応力解析の結果を金型設計に活かすことにより、金型先端近傍と接合界面の温度差が 230°C となるような過激な熱サイクル試験によっても割れの発生を防止することができた。

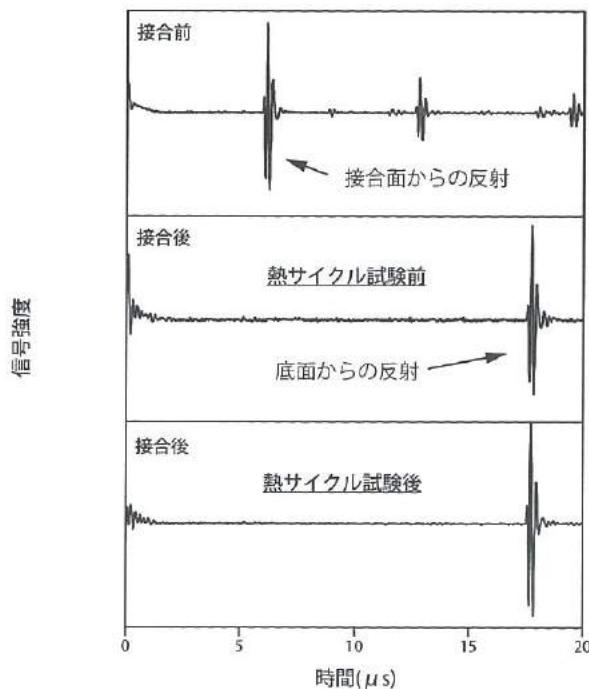


Fig. 16 Result of ultrasonic flaw inspection

4. 結言

自由形状の冷却水流路を有する金型の製作を目的に、SKD61 相当材を用いて PCPS 法による接合の基礎実験を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 引張強度は、接合温度 950°C 以上で母材と同等であった。伸びは、接合温度の上昇に伴い増加した。また、寸法変化率の増大とともに増加する傾向もあるが、保持圧力は低い方がわずかな変化率であっても伸びが増加する傾向にあった。
- (2) ESCA による元素分析により接合界面近傍で O, C, Si の濃化領域が確認でき、接合界面には、少量の SiO_2 および極微量の SiC が形成されていると考えられる。
- (3) 昨年度試作した金型構成で、シミュレーションによる熱応力解析を行ったところ、接合面内側コーナー部でおよそ 800 MPa の応力集中があることが分かった。このため、接合部の位置・形状を変更することで、熱応力の軽減の見込みを得た。
- (4) 最も良好な接合が可能であった 7.5 MPa , 1050°C および拡散時間 3 時間の条件にて、冷却水流路を有した金型を試作した。さらに、PCPS 装置を用いて冷却水を流しながら熱サイクル試験を行い、その耐久性を評価した結果、熱応力による接合部の割れの発生は認められなかった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、工業技術センター坂井主任研究員には、ESCA による界面分析に多大な協力を頂いた。ここに、記して謝意を表します。

文献

- (1) 日経ものづくり, 渡辺鋳造所掲載記事, March(2008), 56-58.
- (2) 大中逸雄, 三田村良典, 森勝, 杉山明: 新冷却方式金型の開発, 日本ダイカスト会議論文集, (2008), 49-52.
- (3) 宮坂好人, 唐沢均: パルス通電接合体による応用事例・その 2, 第 7 回 SPS 研究会講演要旨集, (2002), 36-37.
- (4) 宮坂好人: SPS パルス通電固体接合法とその応用事例, 第 5 回 SPS 研究会講演要旨集, (2000), A7-9.

V. スクリーン印刷法による低成本 色素増感太陽電池の開発

Development of the low cost dye-sensitized solar cell by screen-printing

斎藤 洋輔

SAITOU Yosuke

奈須野 雅明

NASUNO Masaaki

若林 傑

WAKABAYASHI Suguru

坂井 雄一

SAKAI Yuichi

角田 龍則

KAKUDA Tatsunori

二口 友昭

FUTAKUCHI Tomoaki

Abstract

Now, the solar cell is spread gradually as the representative clean energies in the market. However, the production cost is still expensive. Therefore research and development is continued for cost reduction. The dye-sensitized solar cell (DSSC) is expected with the solar cell of the next generation, because used materials are cheap in comparison with the silicon solar cell. However, actually, the cost of DSSC is higher than the amorphous silicon solar cell because of the film formation processing in vacuum and the use of the noble metals. Therefore, in this study, we try to develop the low cost DSSC by using carbon in substitution for platinum, and by screen-printing method in air.

At first, the paste by mixing active carbon, carbon black and resin was made, and the counter electrodes on metal board were formed by screen-printing. The conversion efficiency and the resistivity were measured, and the carbon electrode was optimized. Furthermore, the counter electrode was formed with the conductive polymer to lower the resistivity of carbon electrode, and the conversion efficiency was measured. The carbon electrode conversion efficiency was a half as compared with the platinum electrode. Finally the 4 inches solar cell connecting with small cells was made by the screen-printing.

1. 緒言

今日、太陽電池はクリーンエネルギーの代表として徐々に市場に受け入れられてきている。中でも色素増感太陽電池(DSSC)は、シリコン太陽電池と比べ使用材料が安価であることから次世代の太陽電池として期待されている。

DSSC 関連の技術的分野を大まかに分類すると、以下のようになる。

- ・ 白金などの対向電極
- ・ 酸化チタンなどの多孔質電極
- ・ ガラスやフィルム上に形成されるFTOなどの透明電極
- ・ ヨウ素系酸化還元対を含む電解液
- ・ ルテニウム錯体などの色素

また、DSSC の構造は、透明電極を成膜した基板上に多孔質酸化物半導体である酸化チタン膜を形成し、その半導体粒子に色素を吸着させ、電解液を塗布し対向電極を貼り合わせ封止したものである。このように DSSC は多くの技術的要素と部材を使用して複雑な構造をもつ太陽電池であり、実験室レベルにおける製造コストや材料コストは依然高価で、コスト低減に向けての研究開発が進

められている。本研究では特に対向電極に着目し、その電極を白金電極からカーボン電極に、成膜方法をスパッタ法などからスクリーン印刷法に変更して、低成本な色素増感太陽電池を開発することを目的とした。

まずカーボンと樹脂を混合してペーストを作製し、スクリーン印刷により金属板上に対向電極を形成した。それぞれの電気的特性や発電特性を評価しカーボン電極の最適化をおこなった。最後に、最適化されたカーボンペーストを使用して、小型セルをつなげた4インチ角の色素増感太陽電池をスクリーン印刷により試作した。

2. 構造検討

<材料の選定>

図1に色素増感型太陽電池の現行品と試作品の構造比較を示す。対向電極に使用されている白金をカーボン電極と銀ペーストに変更して試作を進める。また、表1に現行品と試作品のコスト比較を示す。対向電極と集電電極の材料を変更することで大幅なコスト削減が狙えることがわかる。また今回は対向電極側の基板をガ

ラスからステンレス (SUS304) に変えて試作することで更にコストダウンすることができた。

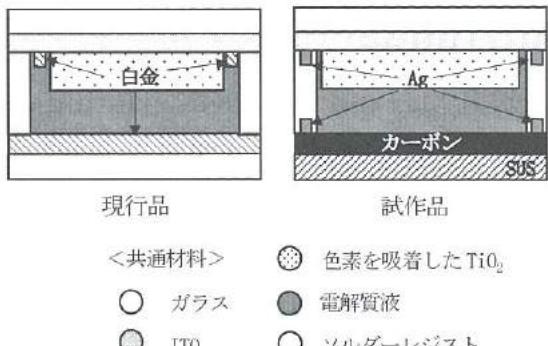


図 1. 色素増感型太陽電池(DSSC)の構造

Fig.1. The structure of dye-sensitized solar cell

表 1. 現行品と試作品のコスト比較 (単位 円)

Table 1. The cost comparison of normal sample and trial sample

(unit yen)

項目	現行品		試作品	
	材料	コスト	材料	コスト
対向電極	白金	602	カーボン	28
基板	ガラス	500	ガラス+ SUS	350
集電電極	白金	439	銀ペースト	8
光電極	酸化チタン	264	酸化チタン	264
色素	N719	146	N719	146
封止剤	エボキシ樹脂	2	エボキシ樹脂	2
電解液	ヨウ素	2	ヨウ素	2
スペーサ	ポリエチレン	1	エボキシ樹脂	2
合計		1,955		801

表 2 は対向電極と集電電極の主要課題について比較をおこなったものである。

表 2. 対向電極と集電電極の主要課題

Table 2. The main problem of counter electrode and collecting electric electrode

対向電極	還元反応速度 ($3 I^- \rightarrow I_3^-$)	耐食性	コスト
白金	OK	OK	高
カーボン	要検討	OK	低

集電電極	耐食性	抵抗率	コスト	成膜方法
白金	OK	OK	高	1000°C以上での 焼成かスパッタ
銀ペースト	ペーストで保護	OK	低	150°C程度

対向電極は現状白金を用いており、その代替新規材料としてカーボンを検討した。ヨウ化物イオン (I^-) がイオン (I_3^-) へ還元

反応する速度、電解液に対する耐食性、コストの3点で比較をおこなった。対向電極上での還元反応速度については、カーボンは白金にくらべると低いことが予想されるため、なんらかの工夫が必要である。耐食性についてはどちらも良好であり、コスト面については白金が高価なのに対して、カーボンは安価である。

集電電極は、白金から銀ペーストへの変更を検討した。電解液に対する耐食性、抵抗率、コストについて比較をおこなった。耐食性については、白金は良好であるが銀ペーストは腐食されやすい。そこで今回は銀ペースト上にレジストを塗布し電解液から保護することで対応することとした。抵抗率に関してはどちらも充分低く良好である。コスト面は白金が高価なのに対して、銀ペーストは安価である。成膜方法を比較すると白金の硬化温度は1000°C以上であり、焼成炉や真空成膜装置が必要である。それに対して銀ペーストの硬化温度は100°C程度であり、オーブンなどで容易に成膜できる。

<加工方法>

図 2 に色素増感型太陽電池の加工プロセスを示す。プロセスは光電極と対向電極に分けることができ、各工程のパターン形成にはスクリーン印刷を使用した。

光電極側は母材のITO付ポリエチレンナフタレート上に銀ペーストを印刷し集電電極を形成した。次に銀ペーストの保護とスペーサを兼ねたソルダーレジストを印刷した。最後に光電極である低温焼成用酸化チタン^[1] (120°C焼成) を印刷し、硬化後ルテニウム色素N719を吸着した。

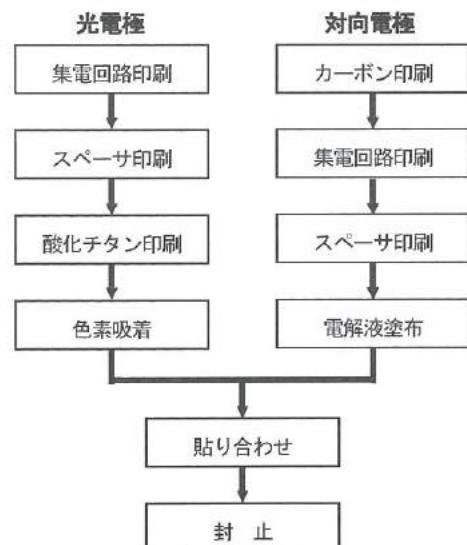


図 2. 色素増感型太陽電池の加工プロセス

Fig.2. Preparation of DSSC

対向電極はステンレス基板にカーボンペーストをスクリーン印刷するか、ガラス基板に白金をスパッタすることにより作製した。

その後、光電極のプロセスと同様、集電電極及びスペーサを形成した。最後に対向電極上にヨウ素系電解液を塗布し、光電極と対向電極を重ね合わせスペーサ周囲をエポキシ接着剤により貼り合わせた。

3. 対向電極の検討

<3-1>活性炭と樹脂の最適化

<材料の選定>

図3にカーボン対向電極の概念図を示す。カーボンペーストには活性炭、キシレン樹脂を選定した。活性炭は比表面積が $2000\text{m}^2/\text{g}$ と大きく、酸化還元反応の促進を狙った。キシレン樹脂は活性炭間の接着や透明導電膜との接着に使用した。

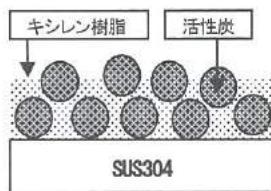


図3. カーボン対向電極の概念図

Fig.3. The conception diagram of carbon counter electrode

<実験方法及び評価結果>

活性炭と樹脂の重量比を変更し表面状態を評価した。図4はそれぞれのSEM写真を示す。

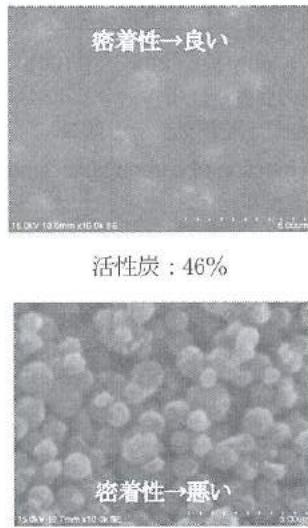


図4. 活性炭と樹脂の重量比を変化させた対向電極表面のSEM写真

Fig.4. SEM image of the counter electrode surface that changing weight ratio of active carbon and resin

SEM写真から活性炭を67%以上添加した場合に樹脂表面に活性炭が露出していることを確認した。また、活性炭を82%以上添加し

たものからは活性炭の剥離が見られた。表面状態と密着性の評価から活性炭比率を全体の67%にしたペーストが最適であることと判断した。しかし、このサンプルの抵抗率を測定したところ、数 $\Omega \cdot \text{m}$ とかなり高いことがわかった。

<3-2>カーボンブラックの最適化

<材料の選定>

活性炭と樹脂の最適化をおこなったが、抵抗率は高く、変換効率に影響を与えると考えられた。そこで抵抗率を下げるために、カーボンブラックの添加を検討した。

<実験方法及び評価結果>

図5にカーボンブラックを添加したカーボン対向電極の概念図を示す。活性炭の表面にカーボンブラックが付着してその間に樹脂がうめているイメージである。

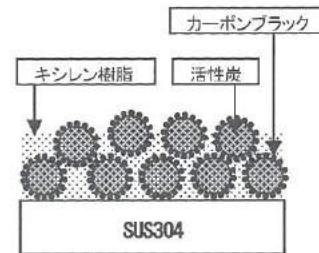


図5. カーボン対向電極の概念図 カーボンブラック添加

Fig.5. The conception diagram of carbon counter electrode with the carbon black small powder

キシレン樹脂量を一定にして、活性炭とカーボンブラックの重量比率を変更しサンプルを作製した。表3に作製したサンプルの活性炭とカーボンブラックの重量比率を示す。

表3. カーボンブラックの重量比率

Table 3. Weight ratio of active carbon and carbon black

材 料	重 量 比 率									
	活 性 炭	12	11	10	8	6	4	2	1	0
カーボンブラック	0	1	2	4	6	8	10	11	12	

図6は活性炭とカーボンブラックの重量比率を変化させた時のSEM写真を示す。

SEM写真の①12:0、②11:1は活性炭が多く観察でき、その比率が高いことがわかる。またSEM写真の③6:6はカーボンブラックが全面を覆っており一部のみ活性炭の表面が観察できる。④はカーボンブラックのみの場合で電極がポーラス状になっていることがわかる。

次に、それぞれの抵抗率 ρ および変換効率 η を評価した。図7はカーボンブラックの比率を増加させたときの抵抗率の変化を示す。抵抗率はカーボンブラックの添加によって約1/20から1/50程度に低減することができた。しかし、数%の添加によって抵抗

率が低減した後は、その後添加量を増やしてもあまり低くならないことがわかった。

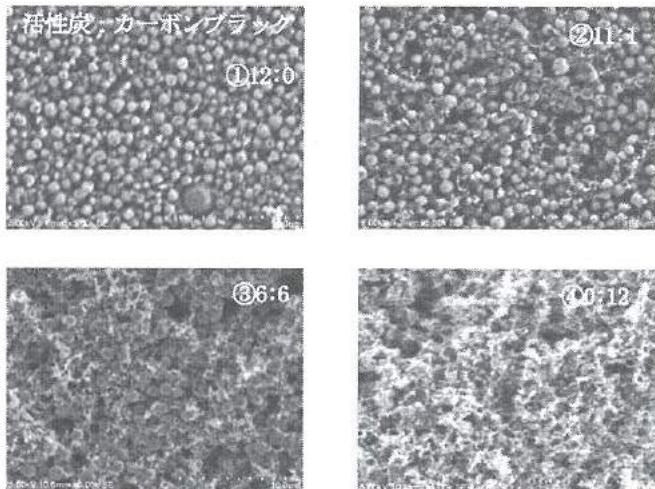


図 6. 活性炭とカーボンブラックの重量比を変化させた対向電極表面の SEM 写真

Fig.6. SEM image of the counter electrode surface that changing weight ratio of active carbon and carbon black

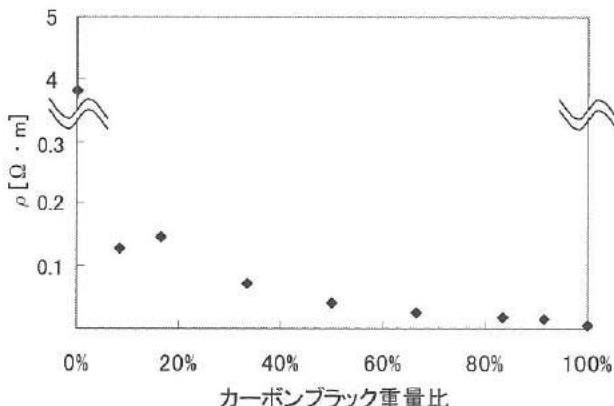


図 7. カーボンブラック添加量と抵抗率 ρ の関係

Fig.7. Resistivity as a function of carbon black small powder

図 8 は白金対向電極とカーボン対向電極を酸化チタンエリア 5mm 角のセルに貼り合わせ、定エネルギー一分光感度特性測定装置にて測定した電圧-電流特性である。光源には AM1.5 の模擬太陽光（キセノンランプ）を用いた。入射光の強度は試料面位置で電力密度 100mW/cm^2 に相当する。

白金対向電極の電圧-電流曲線にくらべるとカーボンの場合は短絡電流、開放電圧ともに小さく、曲線が直線に近いためフィルファクタ (FF) も小さい。これはデバイスの直列抵抗が大きいことを示している。変換効率はそれぞれ 1.2% と 0.18% であった。

図 9 はカーボンブラックの添加量を増加させた時の変換効率の変化を示す。変換効率はカーボンブラックを約 8% 添加した場合に、もっとも高い値を示した。予想と異なり抵抗率の減少に伴い

変換効率が上昇することはなかった。

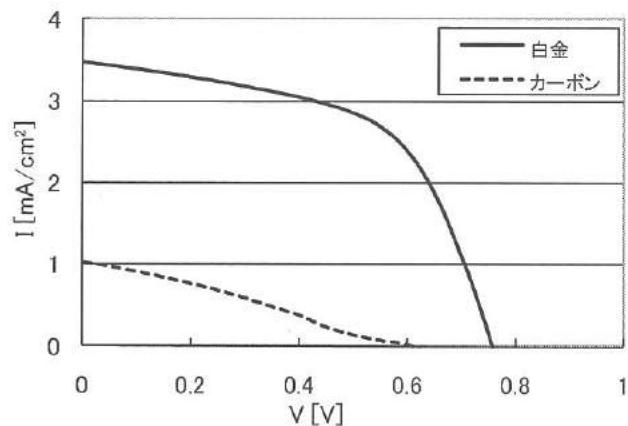


図 8. 電圧-電流特性 (低温焼成酸化チタン)

Fig.8. I-V curves (titanium oxide at low temperature firing)

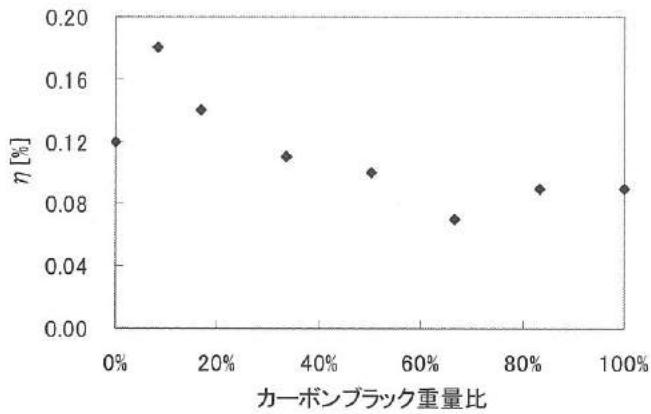


図 9. カーボンブラック添加量と変換効率 η の関係

Fig.9. Conversion efficiency as a function of carbon black small powder

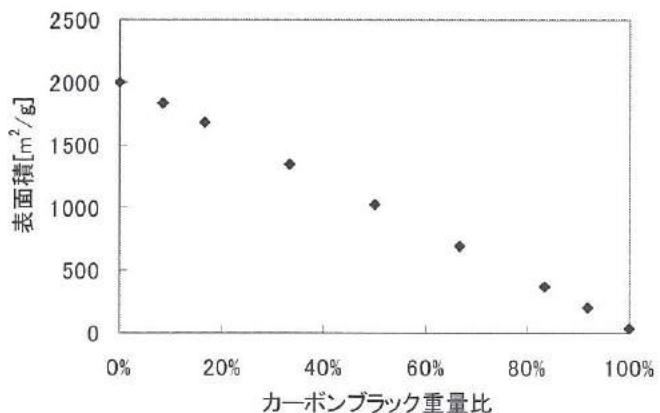


図 10. カーボンブラック添加量と表面積の関係

Fig.10. Specific surface area as a function of carbon black small powder

<考察>

変換効率が改善されない原因としては電解質液中の酸化還元反応に対する触媒作用が影響していると仮定し、カーボンペーストの単位重量あたりの表面積を算出した。図 10 にカーボンブラック重量比率と表面積の関係を示す。この図からカーボンブラックの増加に伴い表面積が減少していることがわかる。抵抗率と表面積のトレードオフの関係から、カーボンブラックを 8% 添加した場合に一番高い変換効率を示したと考えている。

<3-3>導電性ポリマーの添加

<材料の選定>

対向電極の抵抗率を更に低減させ、変換効率を改善するためにカーボンペーストへ導電性ポリマーを添加することを検討した。

導電性ポリマーには PE-DOT (poly(3,4-ethylene dioxythiophene)-polystyrenesulfonate) を選定した⁽²⁾。またカーボンペーストに導電性ポリマーを添加したところ、ペーストの分散性が悪かったため、バインダーのキシレン樹脂を CMC 樹脂に変更した。尚、導電性ポリマーは 1% 水溶液として添加した。また、これ以降の実験には光電極として高温焼成酸化チタン (450°C 焼成) を用いることにした。

<実験方法及び評価結果>

カーボンペーストに導電性ポリマーを添加し、それぞれ抵抗率、光電変換効率を測定した。図 11 は導電性ポリマーの添加量と抵抗率の関係を示す。図 12 はカーボン対向電極と高温焼成酸化チタンセル (セルサイズ 5mm 角) の電圧-電流特性である。図 13 は導電性ポリマーの添加量と変換効率の関係を示す。

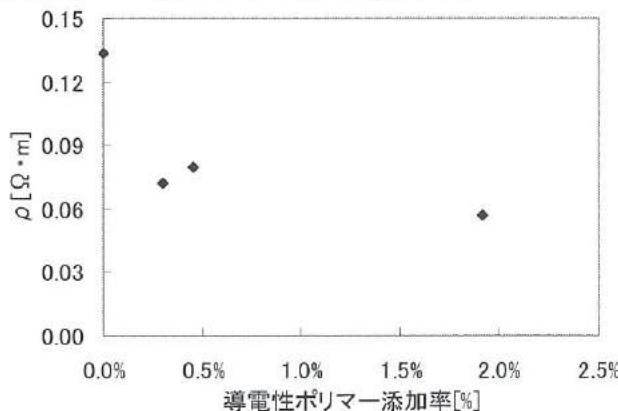


図 11. 導電性ポリマー添加量と抵抗率 ρ の関係

Fig.11. Resistivity, as a function of conductive polymer

<考察>

導電性ポリマーを添加することにより電極の抵抗率が低減している。しかし、導電性ポリマーの添加量に比例して低下するのではなく、0.5%程度で飽和している。電圧-電流曲線は、白金の対向電極と同様に外に膨らんだ曲線となり FF が改善された。また、

変換効率については、白金 4.0% に対して導電性ポリマーを添加することで 2.0% に改善され白金対向電極の約半分の値を得ることができた。しかし、こちらも導電性ポリマーの添加量が一定量を超えると変換効率の向上が見られなくなる。

以上の結果より、導電性ポリマーの添加によってカーボンペーストの抵抗率が低減され、変換効率を高くすることができた。しかし、ポリマーの添加率を増加させればさせるほど抵抗率、変換効率が改善するのではなく、少量添加する程度でよいことがわかった。

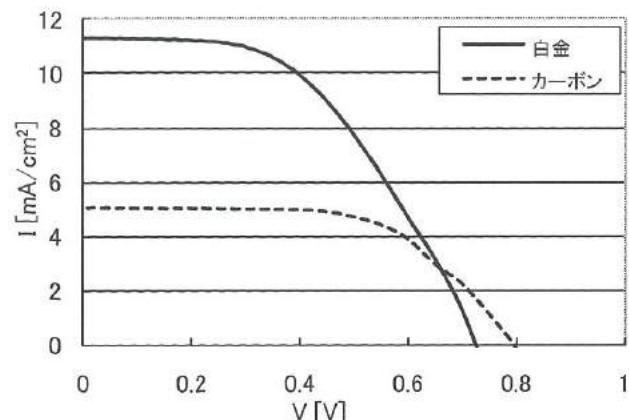


図 12. 電圧-電流特性 (高温焼成酸化チタン)

Fig.12. I-V curves (titanium oxide firing at high temperature)

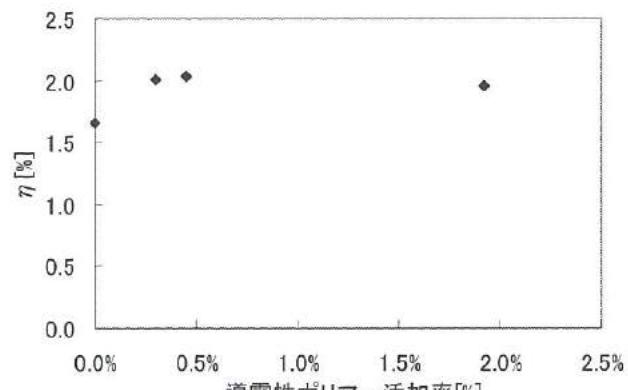


図 13. 導電性ポリマー添加量と変換効率 η の関係

Fig.13. Conversion efficiency, as a function of conductive polymer

4. 4インチ DSSC の作製

<材料の選定>

それぞれの材料の重量比を最適化したカーボンペーストを用いて 4 インチ DSSC を試作した。カーボンペースト以外の材料を表 5 に示す。

<設計・製作>

酸化チタン・カーボン用、集電電極用、スペーサ用のスクリー

ンマスクを設計し印刷をおこなった。印刷にはスクリーン印刷機（ニューロング精密工業社製、LS-150TVA）を用いた。

まず光電極を作製した。透明電極FTO付ガラスに酸化チタンペーストを印刷し150°Cで10分間乾燥した。その後450°Cにて30分焼成をおこなった。次に集電電極に用いる銀ペーストを酸化チタンの周りを囲むように印刷し、150°Cで30分間焼成した。最後に電解液によって集電電極配線の銀ペーストが腐食することを防ぐため、集電電極を覆うようにソルダーレジストを印刷し、150°Cで20分間硬化した。印刷・焼成工程の後、ステンレスのバットにルテニウム色素溶液をはり、その中に120分程度浸して色素を吸着させた。対向電極については、酸化チタンと同じスクリーンマスクを用いて、ステンレスの板に印刷をおこなった後、150°Cで30分焼成した。完成した対向電極の上に電解液を垂らし、その上に色素を吸着した光電極を重ね合わせた。最後にエポキシ系の接着剤を用いて、電極同士の外周を接着させ封止をおこなった。

図12は作製した4インチDSSCとその電圧測定の様子である。

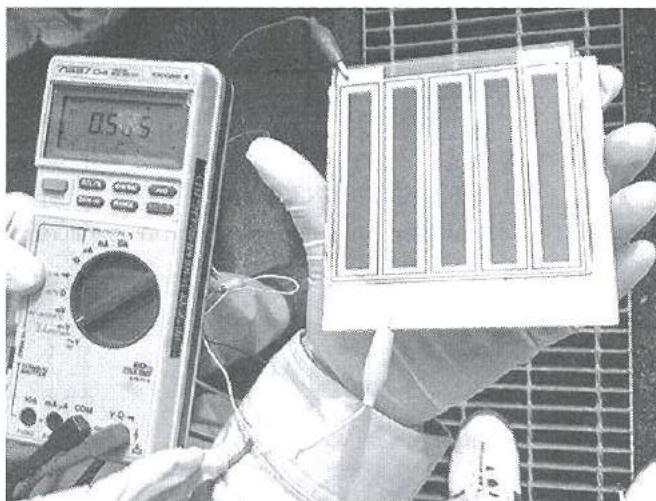


図12. 作製したDSSCと測定風景
Fig.12. 4inchs DSSC and the measurement scenery

＜実験方法および評価結果＞

作製した4インチDSSCに屋外で太陽光をあて、その出力電圧と電流を測定した。それぞれ0.565V、22mAであった。

＜考察＞

5mm角のセルから4インチ角へサイズアップをおこない、太陽電池として動作することを確認できた。しかしサイズを大きくする過程でいくつかの課題がみつかった。その中でも大きな問題と

して、レジストが電解液によって腐食剥離していることがわかつた。今回は信頼性の評価はまったくおこなっておらず、商品化の際には信頼性を高めるためにヨウ素系電解液に対する耐性の高い樹脂材料設計が必要である。

しかし初期特性として、1枚のセルで0.565Vの出力を得ることができ、同様のセルをいくつか直列接続することにより、電気オルゴールを鳴らすことができた。白金に代わる安価な材料として、カーボン電極が使用できることを確認できた。

5. 結言

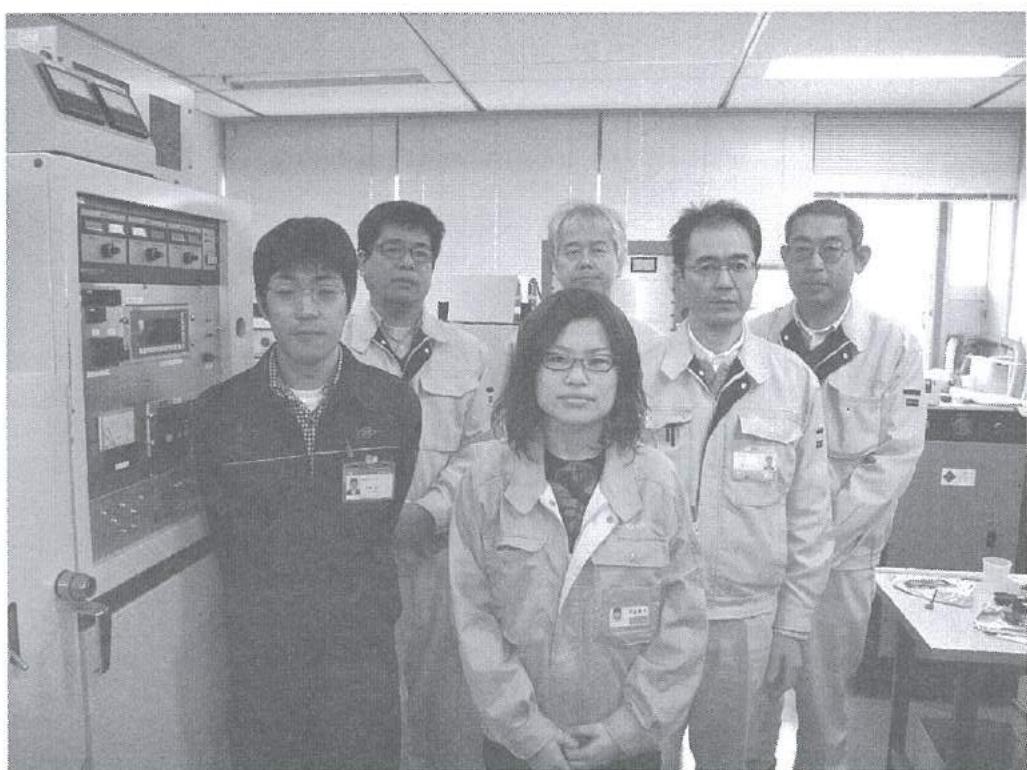
本研究では、スクリーン印刷法による低コスト色素増感型太陽電池の研究をおこなった。従来、対向電極に用いる白金の代替としてカーボンペーストによる対向電極の試作検討をおこなったところ、以下の知見が得られた。

- ① 対向電極用のカーボンペースト作製のため、活性炭および樹脂の比率の最適化を検討した。これにより必要な密着性が得られた。
- ② 抵抗率の低下を図るために、カーボンブラックを加え、重量比率の最適化を検討した。重量比率が活性炭：カーボンブラック=11:1のとき抵抗率は $0.13\Omega \cdot m$ であった。低温焼成酸化チタンを用いた場合の光電変換効率は、電極面積5mm角、照射電力密度 $100mW/cm^2$ 条件下において、約0.2%（白金対向電極比約15%）であった。
- ③ 導電性ポリマーを添加し、抵抗率のさらなる低下と光電変換効率の向上を図った。0.5%添加時に、抵抗率は $0.07\Omega \cdot m$ であった。高温焼成酸化チタンを用いた場合、光電変換効率は、2.0%（白金対向電極比約50%）であった。
- ④ スクリーン印刷機を用いて4インチ角のDSSCを試作し、太陽光下において太陽電池としての動作を確認した。

文 献

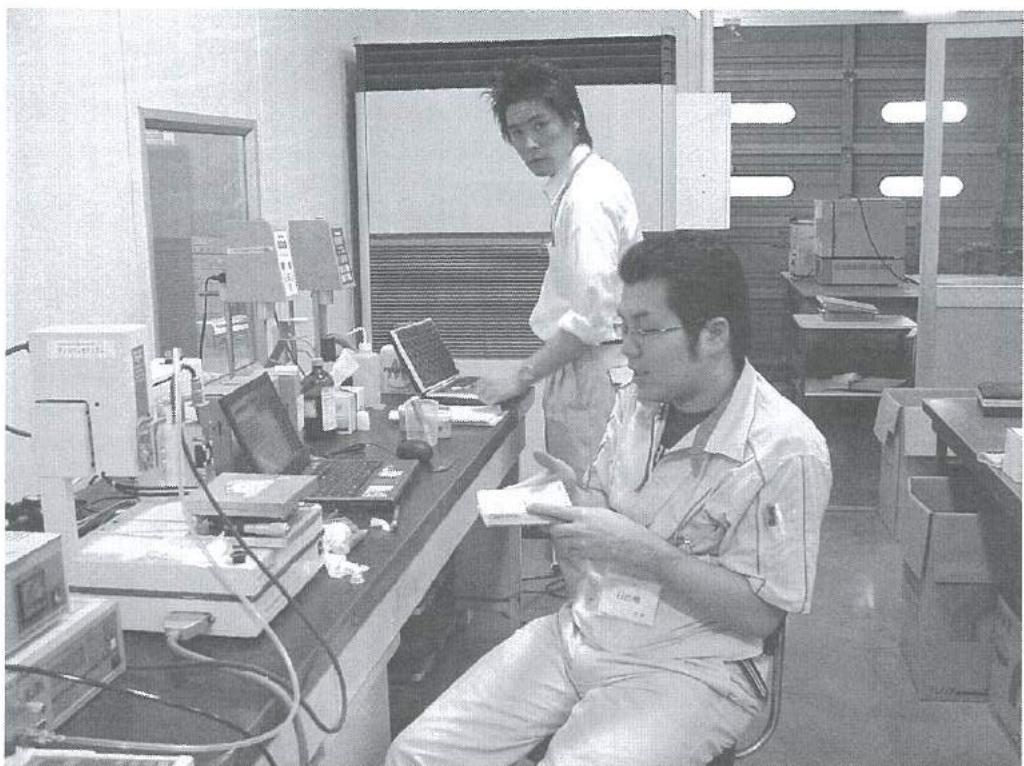
- (1)Tsutomu MIYASAKA, Yujiro KIJITORI, and Masashi IKEGAMI: 「Plastic Dye-sensitized Photovoltaic Cells and Modules Based on Low-temperature Preparation of Mesoscopic Titania Electrodes」 *Electrochemistry*
- (2)Kyoaki IMOTO, Masatoshi SUZUKI, Kohshin TKAHASHI, Takahiro YAMAGUCHI, Teruhisa KOMURA, Jun-ichi NAKAMURA, and KAZUHIKO MURATA: 「Activated Carbon Counter Electrode for Dye-sensitized Solar Cell」 *Electrochemistry*

「軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発」グループの研究活動風景

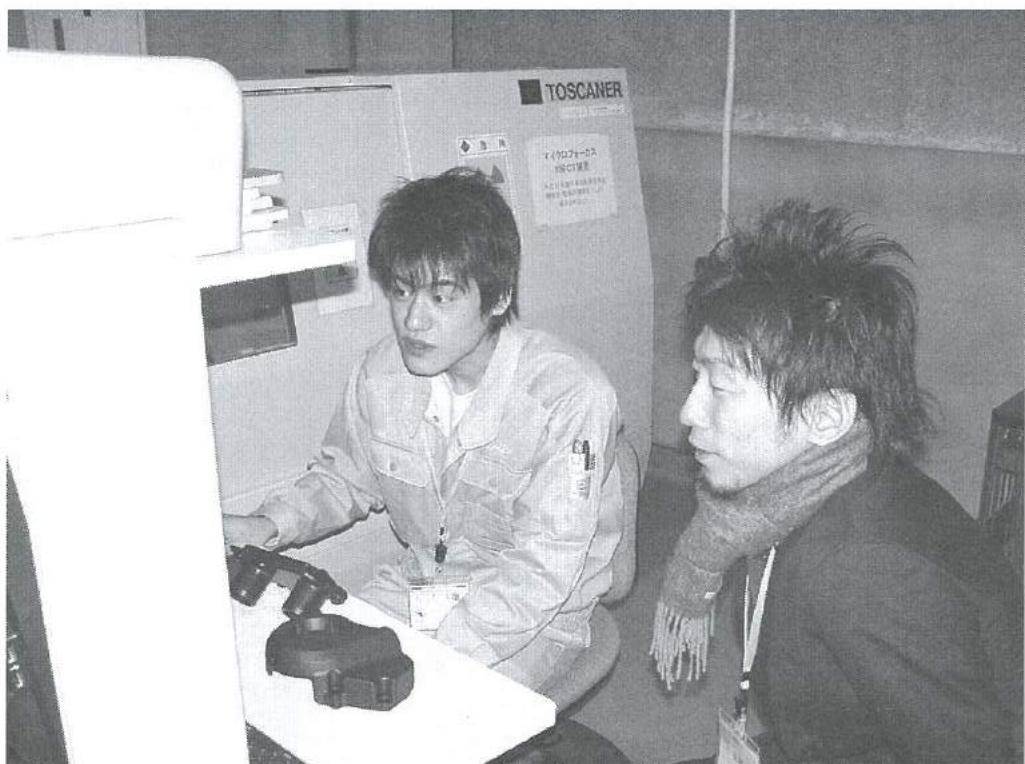


(付-1)

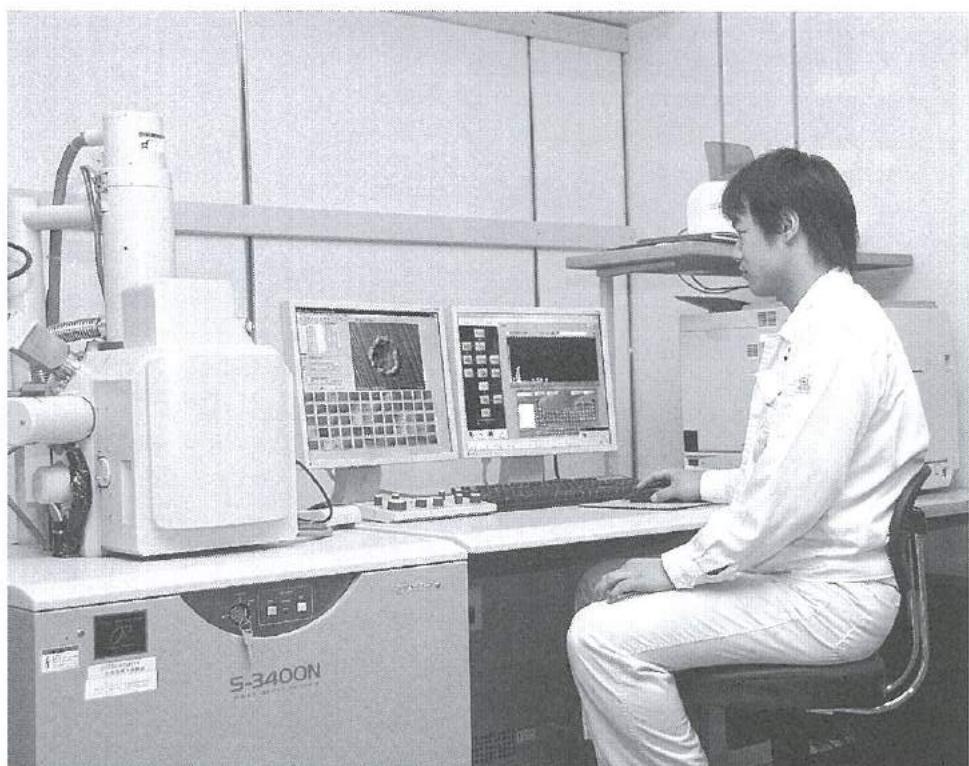
「ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発」グループの研究活動風景



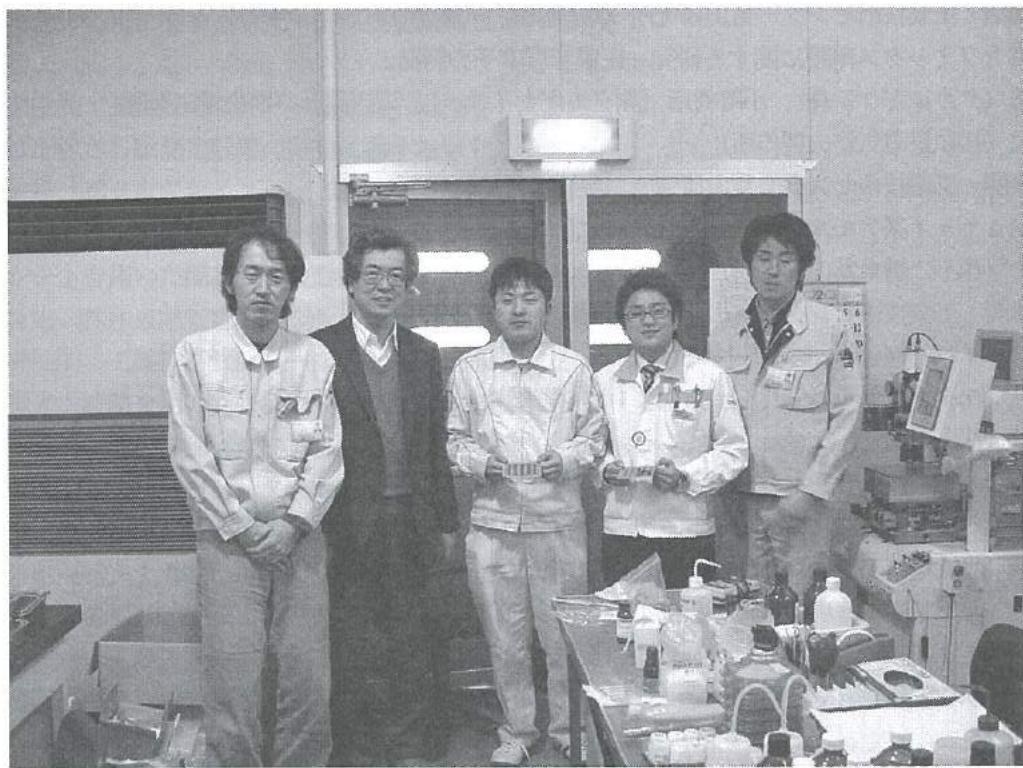
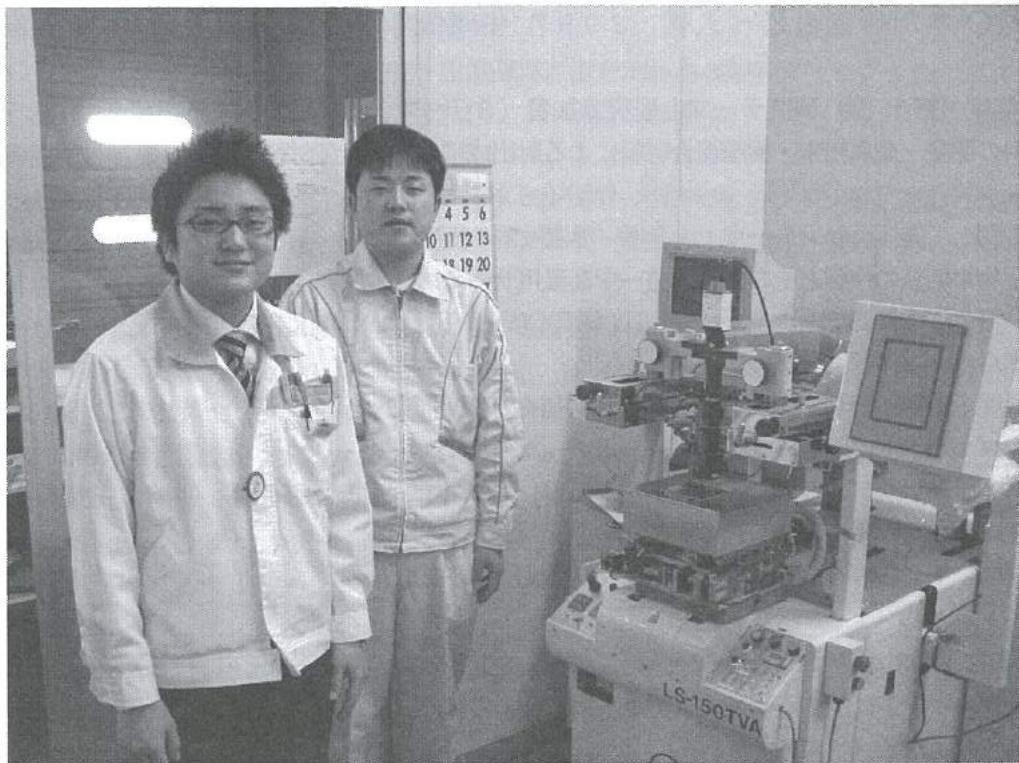
「X線 CT を用いた実寸計測に基づく CAE 技術」グループの研究活動風景



「ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2)」グループの研究活動風景



「スクリーン印刷法による低成本色素増感太陽電池の開発」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

- 23年間の研究テーマ数：149テーマ（昭和62年度～平成21年度）
- 参加研究員延べ人数：299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（株タカギセイコー）、田上輝次（東洋化工株）、長柄 勝（長柄鉄工株）
◎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（北陸電気工業株）、加藤昌憲（日本鋼管株）、滝川義弘（鱗化学工業株）
堀田 孝章（立山科学工業株）
◎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、現ユーセル株）
◎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（タカノギケン株）、茨木正則（北日本電子株）
窪池義文（エルコー株、現ユーセル株）、滝脇優治（株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（タカノギケン株）、小町秀彦（株タカギセイコー）、滝川義弘（鱗化学工業株）
平能 司（株和泉電気富山製作所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

3. Co-Met系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（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（北陸電気工業株）、水谷里志（立山電化工業株）、山田義昭（東洋化工株）
宮沢進一（吉田工業株、現YKK株黒部工場）、山本直樹（NKK（日本钢管株）富山製造所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

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

古瀬正浩（株インテック）、堀井 孝（エルコー株、現ユーセル株）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度(第3回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、19名)

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田秀男・高柳敏信(株タカギセイコー)、上段一徳(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)

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㈱)、滝川義弘・煙田不二男(鱗化学工業㈱)、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マグネットロンスペ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(株タカギセイコー)、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(株不二越)、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(株インテック)、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(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㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳敏信(株タカギセイコー)、田村正行(吉田工業㈱、現YKK㈱)、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

尾畠哲史(株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. 扇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(鱗化学工業㈱)、若林成喜(北陸電気工業㈱)

◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

石黒哲也(株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(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㈱)、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㈱）
◎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（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（㈱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㈱、現ヨーセル㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究
尾畠哲史（㈱和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 薄膜微細加工技術の研究
飴井俊裕（エルコー㈱、現ヨーセル㈱）、竹端精己（㈱不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究
岩田雅明（北日本電子㈱）、島野英明（㈱インテック）
◎指導機関：富山大学工学部
7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究—完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
土田隆一（立山科学工業㈱）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

★平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンに関する研究
白石信行（ヨーセル㈱）、新谷哲也（北陸電気工業㈱）、吉井靖岳（㈱タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 薄膜微細加工技術の研究トランスの試作
伊勢寿夫（ヨーセル㈱）、戸田雅規（㈱不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 形状測定装置の開発に関する研究
野末昌朗（立山アルミニウム工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 透明プラスチック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. 短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究
北喜靖規（北日本電子㈱）、島野英明（㈱インテックシステム研究所）
◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業株）

◎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（ヨーセル株）、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（ヨーセル株）、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 瞳（鱗化学工業株）

◎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）、中村和楨（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（ヨーセル株）

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 裕（ヨーセル株）、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. リン酸エッチャング液の基礎研究

山口 瞳（鱗化学工業株）

◎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（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. 電子回路用ウエットエッチング液の開発

山口 瞳（㈱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（株タカギセイコー）、能村輝一（北陸電気工業株）、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. 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（株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・笛島和明（株タカギセイコー）、田島正康（株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（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. 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）、田畠裕信（中越合金鋳工株）、三井清隆（株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（ヨーセル株）、森田裕之（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、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（北陸電気工業株）、安田純子（ヨーセル株）

◎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（東洋化工株）、二見泰雄（三協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、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（富山軽金属工業株）、田畠裕信（中越合金鑄工株）、野中義夫（有）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株）、渡辺暁信（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、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（ヨーセル株）、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）

◎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スの開発

堀井一宏（ヨーセル株）、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（北陸電気工業株）、野上拓也（株）タナカエンジニアリング、山田浩美（東洋化工株）

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（株）齊藤製作所、高橋 聰（株）タナカエンジニアリング、藤木和幸（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

☆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

稻垣 聰（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

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（田中精密工業株）

◎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（ヨーセル株）、南 政克（北陸電気工業株）、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、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発（2）

坂本雅美（株齊藤製作所）

◎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（株齊藤製作所）、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（株タカギセイヨー）、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（株齊藤製作所）、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てセンサの開発

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（株齊藤製作所）

◎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. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究

高橋伸忠（株タカギセイヨー）

◎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てセンサーの開発（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（コーチセル株）、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（コーチセル株）

◎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（コーチセル株）、坂本雅美（株齊藤製作所）

◎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（株齊藤製作所）、稻澤直子（コーチセル株）

◎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（コーチセル株）、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（北陸電気工業株）
◎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（武内プレス工業株）
◎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（田中精密工業株）、野田耕司（三協アルミニウム工業株）
◎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（立山科学工業株）
◎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（㈱齊藤製作所）、魚谷一成（ヨーセル株）
◎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チップの検出精度向上に関する研究（3）**
碓井洋平（立山科学工業株）、中山 均（ヨーセル株）、中林俊幸（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
- 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
- 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（立山科学工業株）
◎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（ヨーセル株）、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

3. インクジェット用機能性インクの開発

松田杏子（立山科学工業株）

◎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（ヨーセル株）、石見雅美（株齊藤製作所）

◎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

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株）

◎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（田中精密工業株）

◎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（ヨーセル株）、太田光則（株齊藤製作所）

◎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）

上谷聰史（ヨーセル株）、深沢正樹（立山マシン株）、中田守人（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・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

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）

◎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（田中精密工業株）

◎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

7. 大型色素増感太陽電池の開発（2）

廣田和也（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

★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（ヨーセル株）、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（ヨーセル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・PJ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・PJ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・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・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）

1. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

曾根宏信（㈱化学工業）

◎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）、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・PJ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（ヨーセル株）、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・PJ推進担当
8. マイクロTASチップの開発（2）
石村和雄（ヨーセル株）
◎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（㈱化学工業株）、梅原洋平（ヨーセル株）
◎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（ヨーセル株）、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・PJ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

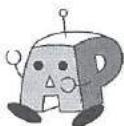
★平成21年度（第23回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、9名）

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（ヨーセル株）、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
細川修宏（㈱タカギセイコー）、山根幸治（ヨーセル株）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
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
斎藤洋輔（ヨーセル株）、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

産学官連携による人材育成の取り組みの事例紹介

2009年第70回秋季応用物理学会学術講演会：特別シンポジウム企画「産学官連携と応用物理学」（平成21年9月8日：富山大学黒田講堂ホール）において、谷野克己 顧問・運営アドバイザーより、設立以来20年以上にも至る、若い研究者を育てる会の活動についての事例紹介がありました。

<開催案内ポスター>



JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS

2009年第70回秋季応用物理学会学術講演会 特別シンポジウム企画

「産学官連携と応用物理学」

昭和62年に富山大学、神戸大学、熊本大学に始めて地域共同研究センターが設置されて以来、国内各地域において産学共同研究は急速に進展してきた。その中で、材料、ナノテクノロジー、計測など応用物理学の諸分野も大きな役割を担ってきた。当初、大学と企業等による個別の共同研究が主な事業であったが、近年産学官の連携による、ものづくり技術者育成支援、知的クラスター形成など教育、研究両面における各種施策の推進が図られている。さらに、平成21年度から、「地域の競争力強化や新産業創出を目指し、産学官連携による持続的、発展的イノベーションを創出する仕組みの構築を図る取組を支援するため」、文部科学省と経済産業省の共同による「産学官連携拠点」の形成事業がスタートするなど、「科学技術による地域活性化戦略」の担い手として産学官連携の一層の機能強化が求められている。

このような状況を踏まえ、本シンポジウムでは先ず、特別講演として、文部科学省に「産学官連携拠点」形成事業の概要についてご説明いただく。また、富山県の立地条件を背景とした特徴ある研究の例として、「世界環境縮図モデルとしての高差4000m水の循環」と題して、富山大学張勁教授に講演いただく。その後、富山地域を中心とした産学官連携による人材育成事業例、「ほぐりく健康創造クラスター（平成20年度富山・石川地域知的クラスター事業）におけるバイオセンサ開発の研究・開発事例を紹介していただく。合わせて、今後の「産学官連携」の方向性を探って行きたい。

日 時

2009年9月8日(火) 13:30~16:30

会 場

富山大学 黒田講堂ホール(×会場)

参 加 費

無料

一般公開(無料)

1.はじめに	応用物理学会 会長 石原 宏	13:30-13:35
2.特別講演	・「産学官連携拠点」形成事業について 文部科学省研究振興局研究環境・産業振興課 ○○○○	13:35-14:00
	・世界環境縮図モデルとしての高差4000m水の循環 富山大学大学院理工学研究部環境・エネルギー学類 教授 張 劲	14:00-14:25
3.産学官連携による人材育成	・とやま技術者育成協議会 富山大学大学院理工学研究部環境・エネルギー学類 教授 升方勝己	14:25-14:45
	・若い研究者を育てる会 富山県工業技術センター 前所長 谷野克己	14:45-15:05
休憩		15:05-15:10
4.	「ほぐりく健康創造クラスター」に見るセンサ開発 ・高速バイオAFM(原子間力顕微鏡)の開発 金沢大学理工研究試験機器科単系 教授 安藤敏夫	15:10-15:35
	・SQUIDを用いた磁気イメージング装置の開発 金沢工業大学先端電子技術応用研究所 教授 上原 弘	15:35-16:00
	・疾患や健康維持に関与するアミノ酸計測用酵素センサの開発 富山大学大学院理工学研究部生命・情報・システム学派 教授 陳原亮明 富山県立大学工学部生産工学科 教授 谷野克久	16:00-16:25
5.おわりに	現地実行委員会委員長(富山大学) 龍山啓榮	16:25-16:30

<配布資料>

若い研究者を育てる会

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

谷野技術士事務所* ○谷野克巳*（前富山県工業技術センター所長）

TANINO Professional Engineer Office* ○TANINO Katsumi, Dr. Eng.* (Pre-director of Toyama Industrial Technology Center)

e-mail:t-syachi@p1.tenet.ne.jp

若い研究者を育てる会（略称「若研」）は、私が昭和50年代に北陸電気工業株式会社（本社：富山市）と実施した銅導電塗料の共同研究と世界で初めて実用化した実績（ナショナル（現、Panasonic）やシャープなどのオーディオ製品用電子回路の印刷基板として使用された）を国内外の学会の研究論文などとしてまとめ、それを主要論文として、富山県職員として初めて工学博士の学位を授与されたのがきっかけとなって（昭和60年11月・東京都立大学：学位論文『電子回路用導電塗料および金属薄膜の電気的特性に関する研究』）、田中精密工業株式会社の田中儀一郎社長（故人）やエルコー株式会社の鈴久晴社長（現コーチ株式会社会長）など県内中堅企業のオーナーの方々が中心となって「うちの若い社員を工業試験場（現、工業技術センター）や大学に派遣して研究者に育てよう」という趣旨で設立された会である。当時、公設試験研究機関の職員が企業との共同研究の成果などで工学博士の学位を授与されることは全国的に珍しいことであった。従って、設立当初から研究幹事をしていたのは私だけであり（平成21年3月に工業技術センター所長を退任と同時に研究幹事も退任）、「若研」の歴史は私の人材育成の歴史でもあった（現在は「若研」の顧問兼運営アドバイザー）。

最近、「人材育成」が声高に言われ、何かをすればすぐに効果が上がるかのように思われがちだが、国にとっても企業にとっても人材育成は最も重要な課題であり、失敗例は成功例の数十倍、数百倍にも及ぶ難しい課題である。また、企業は社内人材育成のために多大な労力と費用を費やしている現実がある。このため、今日に至るまで私の肩には重い責任が常にのしかかっていた。

従って、これまでの22年間、特に初期の頃に私達が取った方法は、「直接企業の利益に結びつかないようなテーマの研究を複数の企業で実施し、研究成果の学会発表の義務化を通じて企業研究者と工業技術センター職員の同時育成を試みる」ということであった。また、「業種の違う会員企業運営委員や研究者達との人の輪を広げていくために、宿泊を伴う研究経過報告会と研修会と称する飲み会を毎年開催し、飲み会の席順は全てくじ引きとして、袜を脱いで酒を飲み交わす」ということも重要であると考えていたので、このような宿泊研修会は今日まで続いている。

「若研」は平成21年度で23年目を迎えたが、この23年間で149テーマの研究を実施し（平成21年度を含む）、目的が人材育成であるにもかかわらず、この間に提出した特許は15件、参加した企業の研究者も延べ299名となった。そして、初期に参加された企業の方々はそれぞれの企業内で重要な地位に就いておられ、また、「若研」や企業との共同研究を通じて工業技術センターの職員も10数名が博士（工学）の学位を授与されるなど、この22年間余りの「若研」の活動には大きな意義があったと思っている。そして、「若研」の活動が長続きしてきたのは、何よりも会員企業経営者の方々のご理解と大きな支援があったからこそである。

なお、これから10年間は「少しアレンジすることによって、2～3年で企業の利益に直接つながる開発研究テーマも加えながら」今まで以上に「若研」の人材育成活動を積極的に展開し、会員企業も増やして行きたいと考えている。会員企業が減少した主たる原因是バブル経済が弾けて不況になったことや会社の統廃合があったことなどによるが、会員企業の運営委員の方が転勤などで運営委員を続けられなくなった時や経営者の方が交代された時などにおいて、「若研」の趣旨や活動が十分に伝達されなかつたために、結果として理解いただけずに退会された企業もあるので、「若研」の活動趣旨を効果的にPRして行きたいと考えている。

1. これまでに実施した研究テーマ

- 「若研」は、昭和62年4月から実際の共同研究活動を始めて現在に至っているが、平成21年度までの23年間の研究テーマ及び参加者は次の通りである。
○23年間の研究テーマ数：149テーマ（昭和62年度～平成21年度）
○参加研究員延べ人数：299名（指導機関の研究員を除く）
○特許出願：15件
○149テーマ中（技術分野の分類は富山県科学技術プランの技術分類に準拠）、
 - ・ものづくり技術関係：58テーマ（38.9%）
 - ・IT、電子デバイス、情報通信関係：35テーマ（23.5%）
 - ・環境・エネルギー関係：30テーマ（20.1%）
 - ・福祉機器関係：14テーマ（9.4%）
 - ・バイオテクノロジー関係：12テーマ（8.1%）
 - ・海洋深層水関係：0テーマ（但し、エネルギー関係で1テーマ重複）

2. 会員企業推移の概略

昭和62年度	13社
平成1年度	24社
平成4年度	26社
平成7年度	21社（バブル経済崩壊によって会員企業が減少し始める）
平成12年度	19社
平成15年度	15社
平成18年度～	14社

3. その他の実施事業

子供達に物づくりの楽しさを学んでもらうため、工業技術センター機械電子研究所及び（財）富山技術開発財団（現、（財）富山県新世紀産業機構）や（社）富山県機械工業会（現、（社）富山県機電工業会）などとの共催で、平成6年度から平成16年度までの11年に亘って「高校生の自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト」を実施。

○会員企業

平成22年3月17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(株)	西川 浩司	西川 武	076-422-2578
2	コーセル(株)	町野 利道	福村 恵一	076-432-8151
3	㈱齊藤製作所	齊藤 恵三	岡島恵美子	076-468-2727
4	三協立山アルミ(株)	藤木 正和	宇野 清文	0766-20-2366
5	㈱タカギセイコー	笠井 千秋	柳本 曜雄	0766-24-5621
6	タカノギケン(株)	高野 啓良	瀧森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業(株)	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山科学工業(株)	水口昭一郎	森 喜代志	076-483-3088
9	立山マシン(株)	宮野 兼美	能島 信行	076-483-4123
10	田中精密工業(株)	田中 一郎	河本 通郎	076-451-5600
11	東洋化工(株)	中田 守人	村井 文雄	076-475-2125
12	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 大介	0766-22-3170
13	北陸電気工業(株)	津田 信治	山本 肇	076-467-1111
14	燐化学工業(株)	皆川 淳	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
研究幹事				
岩坪 聰	工業技術センター中央研究所	副主幹研究員	工学博士	0766-21-2121
角崎 雅博	工業技術センター企画管理部	部長	工学博士	0766-21-2121
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	工学博士	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	工学博士	076-433-5466
高林外広	工業技術センター機械電子研究所	副主幹研究員	工学博士	076-433-5466
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	評議技術課長	工学博士	0766-21-2121
長柄毅一	富山大学芸術文化学部	准教授	工学博士	0766-25-9111
藤城敏史	工業技術センター	次長・機械電子研究所長	工学博士	076-433-5466
二口友昭	工業技術センター中央研究所	加工技術課長	工学博士	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	工学博士	0766-56-7500

○歴代会長 (会長人事は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年)

初代会長 鮎 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 齊藤 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)
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 藤城 敏史 高林 外広
発行年月日	平成22年3月17日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。