平成 25 年度

(第 27 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成26年3月13日(木) 於:ホテルグランテラス富山

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター 富山大学大学院理工学研究部 富山大学芸術文化学部 富山県立大学工学部

ごあいさつ

「若い研究者を育てる会」の第27回研究論文集発行を 迎えるにあたり、一言ごあいさつを申し上げます。

「若い研究者を育てる会」(以下「若研」)は、昭和 62年1月に発足し現在に至っております。発足以来27 年余り、私は良く継続できたものだと常々感心いたして おります。今回の寄稿にあたり、おぼろげながら知って いる「若研発足のいきさつ」を発足の起因となった谷野 克巳さんにお願いし、詳細な資料をいただきました。

会長田中一郎

谷野さんが昭和60年11月に工学博士の学位を取得さ れた時に、当時のエルコー株式会社(現、コーセル株式会社) 飴久晴社長、北陸電気工業株式 会社 故 野村精二会長、武内プレス工業株式会社 故 武内宗八社長、田中精密工業株式会社 故 田中儀一郎社長が中心となり「これからの中小企業の研究開発、特に若い技術者を育ててもらお う」という主旨で会の設立が提案され、会の名称を「若い研究者を育てる会」と東保喜八郎さん から命名いただいたそうです。発足当時は、この会がどのように発展していくのか予測できず、 当事者の方々は大変な苦労をされたようです。富山大学や県立大学、高志リハビリ病院のご協力 もあって、やっと初期の活動の目途が立ったそうです。工業技術センターとの共同研究で企業の 技術者育成の方針もあり、企業の全面的な協力は、会の運営には重要な役割だったそうです。初 代の飴会長は6年間、その後は幹事会社が2年交代で会長を引き受けることになり、当社も会長 会社となり私も発表会に参加することとなりました。当時の発表内容は私なりに今思うと「改 善・創意工夫・発明」の領域だったと思います。当時の企業体質または解析設備などの状況から しますと、今思いましてもスタートとはそういうものだと理解しています。「継続は力なり」と 言われますが最近の発表を聞き、まさにその通りだと実感しております。成果発表の内容は格段 レベルに成長し、今後が大いに楽しみです。

「若研」設立20周年記念パーティーだったかと思いますが、石井知事を訪ね「このような会が20年も継続しています。ぜひ激励の挨拶を...」とお願いいたしましたところ、石井知事より 発足からの経緯を聞かれ「えっ!こんなことを20年も前からやっているの?」と即、快諾をい ただきました。今後の県政の大綱にも必ず「若研」の項目があり、石井知事の熱意により実現し た「富山県ものづくり開発センター」は共同研究方式による若手研究者の育成として紹介されて おります。その成果が近年の「若研」の発表内容の急速な成果にあらわれております。

終わりになりますが、工業技術センター職員の皆様の絶大なるご支援と各参加企業の皆様に感 謝を申し上げます。10年20年後にも「若い研究者を育てる会」の皆さんが各々の分野で貢献さ れんことを祈念申し上げます。

研究の概要

本論文集は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業(現在の会員企業数14社)と会 員企業の研究者が6つの研究テーマとグループを定め、平成25年5月から富山県工業技術 センターにおいて、6グループ(6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、6テーマの内2テーマについては、富山大学大学院理工学研究部の研究協力と指 導のもとで実施した。ここでは、今年度実施した6テーマの研究概要を研究発表順に述べる。

富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 石黒 智明

「接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究」 の研究グループ(参加企業1社)。

コストの低減や軽量化の観点から、異種材料の接合に関 する技術開発のニーズが高まっている。本研究では、融点 の大きく異なる材料の接合が可能で、低環境負荷・低コス ト・短時間接合が可能な超音波接合に着目し、加振材を SUS304、固定材をADC12として接合を試みた。その結果、 接合強さがSUSの板厚の影響を受け0.5mm程度の板厚の 接合性が最も良いこと、加圧力が高いほど・加振時間が長 いほど接合強さが大きくなることをつかんだ。そして、通 常の超音波接合では、加振材を柔らかいAl、固定材を硬い



Fe とするが、本研究のような配置でも、ADC12 のせん断強さに匹敵する接合材が得られ ることを示した。このことは、例えば、大きい Al 部材に小さい鉄部品を接合する場合に超 音波接合が利用可能であることを示したもので、実用上の意義は大きい。

富山県工業技術センター中央研究所 博士(工学) 岩坪 聡

「スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーショ ン実用化の研究」の研究グループ(参加企業1社)では、電 磁界解析のシミュレーション技術を用いたスイッチング電源 の迅速な電磁ノイズ対策ができるかを検討した。SW 電源の 主要ノイズ源である大電流を扱う FET の簡易モデルを設定 し、回路と電磁界解析を組み合わせた遠方界のシミュレーシ ョンを検討した。30MHz 以上高周波特性を考慮した等価回路 モデルを作成することで、ノイズ放射源と考えられる電流値 が計算でき、そのピーク周波数が実測と一致することと、そ の遠方電界を求めた結果、電波暗室で実測した同様のスペク トルと±4dB 以内の信号強度でシミュレーションが可能にな



ったなど、FET とループ状線路により発生するノイズの概略計算が可能になった。

富山大学大学院理工学研究部 工学博士 丹保 豊和

「単層カーボンナノチューブに関する研究」の研究グルー プ(参加企業1社)では、単層カーボンナノチューブ(SWCNT) の透明導電薄膜の開発を目的として研究を進めている。最初 にTEMやXRDでその基礎物性を確認し、バインダーを添加 し、プラズマ処理を施したPETフィルム上にスピンコート法 で透明導電薄膜を作成した。評価はSEM、AFM、透過率、 シート抵抗で行った。CNT 膜は重ね塗りをすることによりシ ート抵抗を下げることができ、数k/sqの膜を作成すること ができた。透過度と導電率は用いたCMCとPEDOTのバイ ンダーの特性に影響された。比較のために多層カーボンナノ



チューブでも透明導電膜の作成を試みた。単層カーボンナノチューブより低いシート抵抗 が確認されたが、透明度は悪かった。本研究によって、高品質な単層カーボンナノチュー ブ透明導電膜作成の基礎データを得ることができた。

富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 佐山 利彦

「極低容量水力発電システムの研究」の研究グループ(参加企業1社)では、用水路、側溝、排水管、沢などの極低容量の水エネルギを活用する水力発電システムを対象とし、発電装置の試作を通して、その実用化の可能性や将来の発電装置開発に向けた問題点の検討を行った。具体的には、キャンプ場や避難所付近の小川において、携帯電話の充電や最低限の照明用電源として使用することを想定した極小出力システム(出力約2W)で、かつ小型軽量な携帯型水車「モバイル水車」の試作、検討を行った。その結果、(1)8枚羽根の水車ホイールに市販のハブダイナモを接続した「モバイル水車」



を完成させた。(2)「モバイル水車」の可搬、収納、設置を容易とするために水車ホイール を折畳み式とし、3次元 CAD を用いた折畳み機構の検討を経て、A4 版以下の収納サイズ とすることが可能となった。(3)しかし、さらに携帯、可搬性に優れた発電システムとする ためには、小型軽量の発電機の開発に取組むことが必要であるという課題も明らかとなっ た。今後は、生活に身近な極低容量の水力発電システムの開発へと展開していきたい。

富山大学大学院理工学研究部工学博士高计、则夫

「マグネシウム燃料電池の開発」の研究グループ(参加企業2社)では、イオン化傾向が大きい汎用のマグネシウム合金を負極材に利用して、電解液を検討することによって不動態の形成を抑えて持続的に発電するマグネシウム燃料電池の開発を目的に研究を行った。さらには、電池の反応を制限している正極材料や触媒を検討することによって、高性能なマグネシウム燃料電池の開発も視野に入れ研究を推進した。その結果、以下の知見が得られた。マグネシウム空気電池で一般に用いられる電解液である塩化ナトリウムの性能をベー



スに電解液の検討を行ったが、初期電圧、電圧の安定性ともに、塩化ナトリウムを超える 性能は得られなかった。 今回検討した正極材、負極材、電解液の組み合わせからマグネ シウム空気電池の理論電圧 2.79V に対して最大 2.0V の開放電圧が得られた。 正極材に ついて検討した結果、ペースト化したカーボンを塗布すること、添加剤として二酸化マン ガンおよびアセチレンブラックを添加することで性能が向上することが明らかとなった。

負極の放電容量を測定した結果、理論容量 2200mAh/g に対して最大 1400mAh/g が得られた。負極に AZ31 を用いたとき、純マグネシウムを用いたときに比べ高い容量が得られること、正極に二酸化マンガンを添加することで高い電圧が保持でき、高い質量エネルギー密度が得られた。

富山県工業技術センター 博士(工学) 二口 友昭

「ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形 成に関する研究」の研究グループ(参加企業1社)では、Ag ナノ粒子インクを用いた直接ナノインプリント法により、直 径 500nm、150nmのAgナノドットパターンを作製した。ナ ノインプリント用モールドには、石英モールドからレプリカ 法を用いて複製したシリコーン樹脂モールドが有効であった。 また、直径 150nm 程度の微細なドットパターンの場合、焼 結後にも形状を維持させるためには、ナノインプリント中に、 モールドを押し付けながら焼結を行い、モールドからの圧力 で粒成長を抑え込むプロセスが必要であることが分かった。 焼結後のAgナノドットパターンの吸収スペクトルを測定す



る事により、表面プラズモン共鳴による吸収ピークを観測した。さらに、パターン周囲の 屈折率の変化に伴う共鳴波長のシフトを確認し、この共鳴波長の屈折率応答を利用して、 Agナノドットパターン表面へのタンパク質の吸着を検出した。

以上、本論文集は6つの独立した研究テーマと成果から構成されていが、今年度は昨年度 と比較して1テーマ減の6テーマの研究を実施した。

平成23年(2011年)3月の東日本大震災で引き起こされた原発事故によって再び日本のエネルギー危機がクローズアップされ、各方面では再生可能エネルギーを含めてさまざまなエネルギーの開発が活発に検討されているが、今年度は本会でもエネルギー関連技術の研究を2テーマ実施した。

今年度を含めた27年間で172テーマの研究を実施したが、これらの研究成果は関連学 会ですでに発表、もしくは今年中に開催される関係学会で研究発表を予定している。

また、27年間の研究で得られた成果を発展させた幾つかの自動化技術や材料技術、例え ば、自律型ロボット技術などは生産ラインの自動化や検査技術などに応用され、材料技術な どはセンサー技術や建材関連製品、自動車部品などに応用され企業化している。従って、こ れらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学 技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立っているものと確信している。

なお、本会の目的は学術的な研究をすることではなく、企業現場で戦力となる**企業技術** 者・研究者の育成とリカレント教育の実施、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、本会はこのような研究活動を通じて富山県産業全

体の発展を願う**県内企業オーナー有志によって設立された会**である。 異業種が交流して共同研究を実施することは、座学では得られない貴 重かつ重要な**実学**であると考えている。

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



平成26年3月(名誉研究幹事 工学博士 谷野克巳)

研究グループの構成

. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究の研究グループ

研究担当者 **猪原悠 (田中精密工業株)**

- 羽柴利直(工業技術センター機械電子研)
- 上野 実 (工業技術センター機械電子研)
- 谷野 克巳(元工業技術センター)
- 石黒 智明(工業技術センター機械電子研)

.スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究 の研究グループ

研究担当者 野口 拡 (コーセル株))

- 佐々木克浩(工業技術センター中央研究所)
- 塚本 吉俊(工業技術センター中央研究所)
- 宮田 直幸(工業技術センター中央研究所)
- 釣谷 浩之(工業技術センター機械電子研)
- 岩坪 聡 (工業技術センター中央研究所)

. 単層カーボンナノチューブに関する研究の研究グループ

- 研究担当者 大門 貴史(北陸電気工業株))
 - 角田 龍則(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)
 - 丹保 豊和(富山大学大学院理工学研究部)

. 極低容量水力発電システムの研究の研究グループ

- 研究担当者 住和 大輔 (コーセル株)
 - 金森 直希(工業技術センター機械電子研)
 - 上野実(工業技術センター機械電子研)
 - 羽柴 利直(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)

.マグネシウム燃料電池の開発の研究グループ

- 研究担当者 安田 剛 (三協立山(株))
 - 山崎 鉄平(㈱タカギセイコー)
 - 本保 栄治(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)
 - 石黒 智明(工業技術センター機械電子研)
 - 高辻 則夫(富山大学大学院理工学研究部)

.ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究 の研究グループ

研究担当者 升方 康智 (立山科学工業株)

- 横山 義之(工業技術センター機械電子研)
- 坂井 雄一(工業技術センター企画管理部)
- 丹保 浩行(商工労働部商工企画課)
- 二口 友昭(工業技術センター)
- 註: 印は各研究グループのチーフ印は名誉研究幹事印は研究幹事

.接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究	 1
1.緒言	 1
2.超音波接合について	 1
3 .実験方法・結果および考察	 2
4.結 言	 6

次

14

.スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究	7
1.緒 言	7
2.本論文の検討内容とモデル	7
3.解析方法および実験方法	8
4.結果および考察	10
5.結 言	13

.単層カーボンナノチューブに関する研究 ------

目

1	. 緒 言	14
2	. C N T の物性	15
3	. 透明導電膜の作製	15
4	. バインダーの選定	16
5	. 単層CNT膜の焼成	19
6	. 結 言	19

. 極低容量水力発電システムの研究	20
1.緒 言	20
2 . 極低容量水力発電の使用場所および用途	20
3.試作モバイル水車の目標設定および事前検討	21
4.水車ホイールの折り畳み機構の検討	21
5.ハブダイナモ出力推定および取り付け部の設計	23
6.発電機取り付け部の検討	24
7.折り畳み水車の試作	24
8.結 言	25

.マグネシウム燃料電池の開発	26
1.緒 言	26
2.マグネシウム燃料電池	26
3.実験方法	27
4.結果および考察	29
5.結 言	33

. ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究 -- 34

1.絲	首 言	 34
2.実	験方法	 35
3.実	験結果	 36
4.絲	: 言	 39

各研究グループの研究風景	付	1
「若い研究者を育てる会」27年間の研究活動の足跡	付	7
会員企業および研究幹事名簿	付	21
入会申込書	付	22

. 接着剤を用いない異種材料の 超音波接合に関する研究

Ultrasonic Welding of Sheet Metals

猪原悠羽柴利直上野実谷野克巳石黒智明INOHARA YuHASHIBA ToshinaoUENO MinoruTANINO KatsumiISHIKURO Tomoaki

Abstract

The joining technique of metal can be carried out in many different ways, such as welding. There are ultrasonic junctions, diffused junction and so on in solid state bonding. Ultrasonic junction has an advantage which can carry out junction directly without using adhesives, binder, and so on. In recent years, the needs of the technical development about junction of different materials are growing for the purpose of reducing cost and weight of products. In this research we use ultrasonic welding which is joinable with a short time and low cost, and the junction characteristics and mechanisms of ultrasonic welding between aluminum and stainless steel with few present reports are investigated.

In ultrasonic welding, profile irregularity of material and the fixed method of a junction material is important, because junction strength varies greatly. As a result of research, junction strength increase with the increase in vibration time and welding pressure. The maximum junction tensile share load become near share load of ADC12.

1 . 緒言

近年、コストの低減や軽量化の観点から、異種材料の接合に関 する技術開発のニーズが高まっている。材料を接合する方法には、 溶接や溶着剤による接合など様々な種類があり、製品・部品に要 求される機能・性能を考慮して選定されなければならない。そし て、固体同士を接合する場合には固相接合が用いられ、超音波接 合、拡散接合などがある。

本研究では、低コスト・短時間接合が可能で、自動生産ライン への組み込みが容易といったメリットのある超音波接合に注目し、 例えば自動車部品製造に広く用いられる材料である Fe と Al の接 合について検討した。

Fe と AI の接合においては、加振材を AI、固定材を Fe とした 接合技術は確立されている⁽¹⁾(以下、加振材/固定材の様に示す。 すなわち、加振材が AI、固定材が Fe の場合は、AI / Fe と表され る。)。逆に、Fe / AI の接合は、Fe の硬さが高いため、ホーンチ ップ部のローレットが食い込みにくく振動が伝わりにくいという 事から、報告は見受けられない。このような系は、例えば、大き い AI 部材への小さい Fe 部材を接合する場合が該当する。

2. 超音波接合について

< 2.1> 超音波接合とは

超音波接合の概要を図1に示す。超音波発振器からの電気エネ ルギーを超音波振動子で振動エネルギーに変換し、ホーンによっ て所定の振幅に拡大される。この振動が、一定圧力で固定材に押 し付けた加振材にホーンチップ部で印加され、金属間に摩擦熱が 発生する。ホーンチップ部は、加振材に食込み滑らないようにロ ーレット形状になっている。この時、材料表面の酸化物及び有機 被膜などは、振動エネルギーによって破壊・飛散し、清浄な金属 面になる。この状態が継続されることで、加振材と固定材の間に 接合が生じる。



図 1. 超音波接合の概要 Fig.1 Overview of Ultrasonic Welding.

< 2.2 > 超音波接合の特徴

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

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

3.実験方法・結果および考察

実験では、Fe 素材には SUS304 を、AI 素材には ADC12 を用いた(SUS304 / ADC12), SUS304 には、40mm×15mm で板厚 0.1mm、0.3mm、0.5mm、0.8mm、1mm を用い、板厚の影響も検討した。 ADC12 には、50mm×25mm×3mm の板材を用いた。接合試験機は、 超音波工業(株)製 1200W の USW1200Z15S を使用した。

良好な超音波接合材を得るため、以下の条件について検討した。 各材料の固定方法

固定が強過ぎると振動が伝搬しにくく、逆に弱すぎると各材料 が超音波振動で大きく動き、接合が生じにくいことが予想される。

接合材の表面粗さ、および、平面度

表面粗さや平面度(SUS材の4か所のうねりを表面粗さ計により測定し、平均した値)が異なると、加振材と固定材間の接触状態が変わるために、接合強さが影響を受けることが予想される。

板厚の影響

板厚が厚いと加圧力が分散される、振動が減衰するなどにより、 接合が生じ難いといった問題が懸念される。

加圧力・加振時間の影響

加圧力、加振時間が接合状態に影響することが考えられる。

<3.1> 各材料の固定方法

各材料の固定方法には、図2の2種類を検討した。a)は、凡て 磁力の強い磁石により固定する方法で、b)は、加振材をクランプ で、固定材を磁石により固定する方法である。双方の固定法で、 加圧力400N、加振時間2sで接合材を作製し、引張りせん断試験 を行った(試験速度:0.5mm/s、使用設備:インストロンジャパン 製INSTRON5567)。引張りせん断試験では、図3に示すように、

ダミー材を挟み込むことで試験時に接合部へモーメント力が働か ないよう工夫した。

それぞれの固定法で試験した接合材の引張りせん断試験結果を 図4に示す。







その結果、図4より、a) 法に比べて b) 法の方が、最大引張り せん断荷重のばらつきが少なく安定することがわかった。このこ とより、以下、b) 法により接合材を作製した。

<3.2> 接合材の表面粗さ、および、平面度

加振材、固定材ともに、面を粗さないもの、#500、或いは、#80 のサンドペーパーで粗したものの3パターンを作製し最大引張せ ん断荷重を比較した。接合条件は、加圧力400N、加振時間2sで 行った。その結果を図5に示す。

図5より、最大引張せん断荷重およびそのバラツキは、加振材、 固定材ともに、その表面粗さによりあまり変化せず、接合への表 面粗さの影響は小さいと考えられた。

次に、平面度の影響を調べた結果を図6に示す。実験では、加振材の平面度を約5~45µmまで変化させ、接合を試みた(加圧力: 400N、加振時間:2s)。

平面度が悪くなると、せん断荷重が大きく低下することがわか る。これは、平面度が悪くなると、接合面積が減少するためであ ると予想される。また、板厚が薄いほど変形しやすいことから、 薄板の接合に際しては注意が必要であると考えられる。

<3.3> 板厚の影響

SUS 板厚と接合材の最大引張りせん断荷重の関係を図7に示す。 接合条件は、加圧力:200N、400N、600N、800N、加振時間:2s である。また、400N での接合材の剥離面の写真を図8に示す。



図7より、最大引張りせん断荷重は、板厚0.5mmまでは増加するが、0.5mm以降は減少することがわかる。

板厚 0.5mm 以下の領域で、板厚が薄いほど最大引張りせん断荷 重が低くなる要因としては、平面度や加振材と固定材の振動の同 期などの影響が考えられる。すなわち、前述のとおり、薄い板厚 のものほど平面度が悪くなり易いため、最大引張りせん断荷重が 低くなったと考えられる。また、図 8 の剥離面の写真からわかる ように、板厚 0.1mm、0.3mm では明確なローレットの跡が見られ るが、0.5mm 以上では見受けられない。このことは、SUS 材が薄 いほど、ADC 材にもローレットが食い込んでおり固定材が加振材



図 7. 板厚の影響 Fig.7 Influence of the SUS sheet thickness to strength.



図 8. 引張り試験後の剥離面 Fig.8 Surface of the SUS sheet after joining.

と同期して振動している可能性が高いことを示唆している。これ らのため、薄い SUS 材の最大引張りせん断荷重が小さくなったも のと考えられる。

板厚 0.5mm 以上の領域で、板厚が厚いほど最大引張りせん断荷 重が低くなる要因としては、加圧力の分散や超音波振動の減衰の 影響が考えられる。すなわち、厚いほどローレットに対応した変 形は小さく、加圧力が広範に働くため、界面での圧力が小さくな ったものと考えられる。また、金属の内部摩擦により、超音波振 動が吸収され減衰したことが考えられる。すなわち、ローレット と接触している加振材部は、ローレットの振幅と同じ 30µm で振 動しているが、SUS 材が厚いほど減衰し、界面での振幅が小さく なったと推測される。

< 接合部剥離面の面積測定 >

界面の圧力・振幅が大きいほど、SUS と ADC 材の界面の摩擦 力と摺動面積が大きいものと予想される。

そこで、引張り試験後の剥離面の面積測定を行った。面積は、 剥離面の SEM 写真(図9:反射電子像)より求めた。すなわち、 SUS 上に移着した ADC は、反射電子像では黒色として観察され る。黒色部の面積は摺動面積に対応しているものと考えられるの で、画像処理ソフトを用いて、2値化して面積を算出し、図10に 板厚との関係として示す。



図 9. 接合面の SEM 写真 Fig.9 SEM photographs of a welding surface.



図 10. 板厚と接合面積の関係(: 平均値) Fig.10 Relation between the SUS thickness and welding area. (•: average)

面積のバラツキは大きいが、厚い SUS 材ほど移着 AI の面積は 小さくなる傾向が見られた。

< 接合界面の硬さ分布測定 >

界面振動に伴う摩擦により、界面ではひずみが蓄積し、硬さの 増加が考えられる。すなわち、硬さは界面の摺動の程度を反映し ているものと考えられる。そこで、接合界面のビッカース硬さの 分布を測定した。

硬さ分布の測定には、加圧力 400N、加振時間 2s での接合材を 接合面に垂直に切断・研磨し、図 11a)に示すように圧痕を打ち、 界面からの距離とビッカース硬さの関係を調べた(試験荷重 25g)。 結果を図 11 c)に示す。なお、縦軸は、比較し易いように、測定値 を図 11b)にまとめた各母材の硬さで割った値とした。

図 11c)から、接合界面に近づくにつれて、加振材・固定材共に 硬さが増加していることがわかる。また、加振材の板厚が増すほ ど界面近くの硬度増加範囲が狭くなる傾向が見られる。この結果 から板厚が増すと界面での摩擦力が小さくなることが推定される。

また加振材が 0.1mm のとき、界面近傍の硬度が低下している。 この原因として、Al 側では界面の摩擦熱によって再結晶化し硬さ が低下したことが考えられる。

Al の再結晶化の可能性を調査するため、接合時の界面の温度測 定を行った。測定では、熱電対をローレット部直下の SUS と ADC 間に設置し、加振時の温度変化を測定した。接合条件は、加圧力



material interface.

400N、加振時間 2s、加振材の板厚は 0.1mm、0.5mm、1mm であ る。加振材の板厚 0.1mm の温度測定結果を、図 12 に示す。なお、 同図には、変位計で測定したローレット部の加振材への食い込み 量の変化も併記した。





図 12 より、界面温度は加振開始から加振終了までほぼ単調に 増加し、最高で 400 近くまで上昇することがわかった。一般的 に AI の再結晶化温度は 200 と言われており、温度が高いほど速 やかに進行する。図より、AI は約 1.5 秒間程度 200 以上にさら されていることから、AI の再結晶化が硬さ低下の原因であること は十分考えうる。ホーンの食い込み量は、加振開始直後には 0.04mm であったが、加振が進むにつれて浅くなり、加振終了時に は 0.03mm になる。接合時には、加圧しながらの振動でホーンの 食い込み量が増加していくものと考えられるが、摩擦熱による熱 膨張の影響が大きく現れたために、時間とともに食い込み量が減 少したものと推測される。

また、図13に、ピーク温度への板厚の影響を示した。

図より、ピーク温度は、板厚が厚いほど低下することがわかる。

この原因として、板厚が 0.5mm 以上の領域で引張りせん断荷重 低下の原因として挙げた、加振材の板厚の増加に伴う加圧力の分 散や超音波振動の減衰の影響が考えられる。すなわち、これらに 伴い、界面での発熱も小さくなることが予想され、ピーク温度が 低くなったものと思われる。

厚さ 0.1mm の SUS304 においても、界面近傍で硬さの低下が見 られたが、鉄材では再結晶化温度が 600 程度と高いために、観 察された温度で再結晶化が起きたとは考えにくい。この界面での 低下は、圧痕に測定位置に近接する柔らかい AI 材の影響が現れた ものと考えている。

< 3.4 > 加圧力・加振時間の影響

加圧力、加振時間が接合状態に影響することが考えられること から、それぞれの影響の確認を行った。

<3.4.1> 加圧力の影響

加振時の加圧力を 200N、400N、600N、800N の 4 水準で、加振 材の板厚を 0.1mm、0.5mm、1.0mm の 3 水準で変更し、接合材を 作製した。なお、加振時間は 2s と固定とした。結果を図 14 に示 す。

図 14より、加圧力を大きくすることで最大引張りせん断荷重が



図 14. 加圧力と最大引張りせん断荷重の関係 Fig.14 Relation between welding force and a maximum tensile shear load.



b)接合界面(断面) 図 15. 接合界面と断面の SEM 写真 Fig.15 The SEM photographs of surface and section of joint.

増加することが分かった。加圧力 200N では、どの板厚において も、接合材を引張りせん断試験のためにつかんだ時点で剥離した ことから、非常に弱い接合状態であるものと考えられる。加振材 板厚 0.5mm では、加圧力 800N の時に、最大引張りせん断荷重が 2200N を超える接合材も得られた。また、板厚 0.1mm では、600N 程度で飽和する傾向がみられた。

引張り試験後の剥離面および断面の SEM 写真を図 15 に示す。

図 15 a)の剥離面の写真より、加圧力 400N に比べ、800N の時の SUS 側への ADC12 の移着面積が非常に大きいことがわかる。ま た、ADC12 の表面は SUS 側への移着により深くえぐり取られて いる。図 15 b)の断面写真で比較すると、加圧力 400N 時の移着 AI の高さは 0.003mm に対し、加圧力 800N 時には移着 AI の高さは 0.7mm と大幅に高くなっていることがわかる。

最大引張りせん断荷重が 1627N の接合材の、SUS 側へ移着した Al の面積が約 9mm²であるので、せん断強さは 180MPa と求めら れる。この値は、ADC12 のせん断強さ(200MPa) に近い値とな っていることから、ほぼ、理想的な接合状態になっているものと 考えられる。

<3.4.2> 加振時間の影響

加振時間を変えて、最大引張りせん断荷重への影響を調査した。 加振時間は、0.5s、1.0s、2.0sの3水準、加振材の板厚は、0.1mm、 0.5mm、1.0mmの3水準とした。なお、加圧力は600Nに固定し た。結果を図16に示す。



図 16. 加振時間と最大引張りせん断荷重の関係 Fig.16 Relation between welding time and a maximum tensile shear load.

図16より、加振時間の増加に伴い最大引張りせん断荷重が増加 することがわかる。また、板厚によらず加振時間の増加に伴う荷 重増加の傾向はよく似ている。最大引張りせん断荷重をより増加 させるためには、加振時間を増やす必要があることが明らかにな った。

4.結言

低コスト・短時間接合が可能という利点がある超音波接合を用 いて、現在量産されていない Al に Fe を接合するという手法の技 術構築を行った。得られた主な知見を以下に示す。

接合時に使用する固定治具において、接合時の超音波振動に より、加振材と固定材が大きく動くと、接合材の引張りせん断強 さにばらつきが発生した。固定方法にはクランプなどの固定治具 を設計する必要がある。

加振材、固定材の面粗さの引張りせん断強さへの影響は認め られなかった。しかし、加振材の平面度(面のうねり)の影響は大 きく、平面度が悪いと、接合強さもそれに伴い小さくなる。薄板 など変形しやすい加振材を用いる場合には注意が必要である。

加振材の板厚については、今回の素材である SUS に関しては 0.5mm まで接合強さが大きくなり、0.5mm 以上では接合強さが小 さくなる傾向があった。0.5mm までの増加に関しては、板厚によ る平面度の違いや、ADC 材へのローレットの食い込みによる固定 材と加振材の振動の同期が原因として考えられる。0.5mm 以上で の減少については、板厚が増えることによる、加圧力の分散や超 音波振動の減衰が原因として考えられる。

加圧力、加振時間を増やすことで接合強さが大きくなり、 ADC12のせん断強さに近い接合材が得られた。

∇	岢
×	FIΛ

(1) HONDA	R&D	Technical	Review	w Vol.25	5 No,1		
~ サブフレ-	-ムへ適	師可能な	FSW	を用い	たスチー	・ルとア	ルミニ

ウムの連続接合技術の開発~

(2) 社団法人日本塑性加工学会 超音波応用加工(2004)

. スイッチング電源における電磁界ノイズ シミュレーション実用化の研究

Electromagnetic field simulation for switching power supply

野口 拡	佐々木 克浩	塚本 吉俊
NOGUCHI Hiromu	SASAKI Katsuhiro	TSUKAMOTO Yoshitoshi
宮田 直幸	釣谷 浩之	岩坪 聡
MIYATA Naoyuki	TSURITANI Hiroyuki	IWATSUBO Satoshi

Abstract

If a prediction of radiated noise from a switching (SW) power supply in the design phase could be realized, then the efficiency for the product development and the noise reduction would be improved. One of the strategies for such a realization is the use of electromagnetic field simulators. However, it has problems that an overall modeling for products requires many calculations.

Our aim is to realize electromagnetic field simulations in the design phase by accumulating knowledge about the modeling and mechanism for the noise generation. For that aim, we investigate electromagnetic field simulations for some models consisting of main parts of the SW power supply. In this paper, we adopted the model consisting of switching devices and rectangle loop antennas, and the electromagnetic field simulation combining an electric circuit analysis with an electromagnetic field analysis was examined. As a result, we predicted electric far field with the amplitude error of 9dB in the frequency range from 30MHz to 100MHz.

1.緒言

スイッチング電源 (Switching power supply、以下 SW 電源と呼ぶ)は、産業機器や家庭用電気機器をはじめとして、近年広く用いられている。この電源は、小型で電力変換効率が高い特徴を有するが、その一方で電磁ノイズを発生^{(1),(2)}する欠点がある。そのノイズは大きく分けて、ケーブルなどを伝導する雑音端子電圧と空中に放射する雑音電界強度の2種類がある。周囲の電子機器に電磁妨害を与えて誤動作を起こさせないように、これらのノイズレベルの許容値が規格で規定されている。

SW 電源のノイズレベルは、試作後に電波暗室などで測定する ことではじめて知ることができ、そこから経験や勘に基づいた 試行錯誤によりノイズ対策を行っているのが現状である。さら に、電源の小型化や高効率化が市場で求められており、小型化 ではノイズ対策部品のサイズが制限され、高効率化によりノイ ズ増大を招く場合があり、このためノイズ対策の難易度は高く なっている。

このような状況の一対策として、シミュレーションの活用に よりノイズ対策の効率を向上させることが試みられつつある。 さらに設計段階でノイズの予測が可能となれば、開発工数が低 減され開発効率の向上が期待できる。雑音端子電圧については シミュレーションの有効性が示されつつある⁽³⁾⁻⁽⁵⁾が、より周波数 が高い雑音電界強度については研究報告⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾がほとんどなく、シ ミュレーション技術が確立されていないのが現状である。この 要因として、製品全体をモデル化すると複雑で解析規模が大き くなること、また高周波ほどノイズの発生メカニズムが複雑に なることがあげられる。

そこで本研究では、SW 電源におけるノイズの要因を考慮した モデルを検討することで、モデリングやノイズ発生メカニズム に関する知見を蓄積し、これにより設計段階での雑音電界強度 の予測を目指す。

2.本論文の検討内容とモデル

<2.1> 放射の考察と本論文の検討内容

電磁ノイズの発生メカニズムは、 発生源、 伝達経路と ア ンテナの3要因で表される⁽⁸⁾。SW 電源の場合の各要因を考察す るため、一般的な昇圧チョッパの回路を例として、ノイズの放 射を説明する模式図を図1に示す。 発生源は、電界効果トラン ジスタ(以下 FET: Field Effect Transistor)とダイオードなどである。 FET は、同図(b)に示すようにオンとオフを繰り返す(スイッチン グ)。ターンオフ時に回路の寄生インダクタンスに起因したサー ジが発生し、寄生容量と相まって共振することで、同図(b)右に 示すようにスイッチングよりも高い周波数の電流が流れる (線間 に流れる電流はディファレンシャルモード電流、線路と筐体間 などに流れる電流はコモンモード電流と呼ばれる)。この共振の 経路が 伝達経路のひとつと考えられ、他に結合などによる経路 がある。入出力ケーブル、配線パターンや筐体などが アンテナ





Fig.1 Schematic diagram for SW power supply and radiated noise sources. Examples of (a) radiated nose sources and (b) its waveform.

要因となり、高周波の電流によるノイズが放射されると考えられる。

我々は、上記要因ごとの簡易モデルを検討した後、それらの 複合モデルを検討していくことにより、遠方電界のシミュレー ション(実測との差±6dB 程度)を実現しようと考えた。なお、 検討過程で得られるノイズに関する知見により、現行のノイズ対 策方法の検証や改善につなげたいねらいも含んでいる。本論文で は、その第一歩として、FET(発生源)と方形ループ状線路(伝達経路、アンテナ要因:ディファレンシャルモード放射⁽⁸⁾) から成る最も基礎的なモデルを設定した。この解析を行うにあ たり、一般的な電磁界シミュレータはFET などの非線形素子を 直接考慮^{(6), (9)}できない場合が多いことから、回路シミュレータと の組み合わせが必要となる。そこで本論文では、回路解析と電 磁界解析を組み合わせた遠方電界のシミュレーションについて 検討した。

<2.2> 簡易モデル

<2.1>のモデルに基づいて製作した簡易モデル⁽¹⁰⁾を図2に示す。簡易モデルは、基板上のループ状線路と回路図に示される発振回路から構成した。ベークライト基板上に、長さ200mm、





幅 150mm、線路幅 3mm の方形ループ状線路を製作した。発振回路は、電池で駆動し、タイマーIC で矩形波を出力して FET のゲートに印加した。この時、ループ状線路とインダクタンス L の合成インダクタンスと FET の寄生容量により共振が起こる。ループ状線路に流れる電流が数十 MHz で共振するように、インダクタンス値と FET を選定した。また、FET の定格電流を越えないようにするため電流制限抵抗 R3 と R_Lを挿入した。

3.解析方法および実験方法

<3.1> 解析方法

解析のフローチャートとモデルをそれぞれ図 3,4 に示す。電磁界シミュレータはムラタソフトウェア社製 FEMTET(周波数領域解析:有限要素法)、回路シミュレータはリニアテクノロジー 社製 LTspice(時間領域解析)を使用した。図2の基板を図4のようにモデル化し、電磁界解析モデルの単純化のため原点から 1800 mmの球状の面に電磁波が無反射となる条件(開放境界)を 設定した。はじめに、ループ状線路のインピーダンスを計算した。次に、図2の発振回路においてノイズに関する主要部品と考えられる抵抗 R3、RL、インダクタンス L、FET とループ状線路



図 3. 解析のフローチャート Fig.3 Flowchart of analysis.



図 4. 解析モデル Fig.4 Analytical model.

を等価回路化した。等価回路を用いてループ状線路に流れる電流 I の時間波形を計算した。線形補間を用いて電流波形のサンプリング時間を等間隔にした後、離散フーリエ変換により周波数領域に変換した。その変換では、後述の実験で用いるスペクトラムアナライザの信号処理を模擬して、窓関数にガウス関数(時間幅 18.56µs)を用い、さらに周波数ごとの最大値を算出した。以上の計算で求めたインピーダンス値と電流値から電力を算出し

給電部に設定した。近傍界を計算後、距離 r、角度 θ, φ の位置の遠方電界を計算した。

<3.2> 実験方法

解析結果の検証のために行った実験の方法を以下に示す。

(1) 電流

回路解析結果の検証を行うために、発振回路とループ状線路 の境界で電流波形を測定した。測定にはオシロスコープ (アジ レント・テクノロジー社製 DSOX3034A)と電流プローブ (アジ レント・テクノロジー社製 N2783A)を使用した。 (2)近傍界

遠方界に変換する前過程での結果検証のため、近傍界の測定 を行った。測定器は近傍界測定システム(ノイズ研究所製 ESV-3000)とプローブ(L型)を使用した。測定システムを図5(a) に示す。この装置は x-z 面の磁界分布の相対値を測定することが できる。

(3) 遠方電界

電波暗室 (富山県工業技術センター「ものづくり研究開発セ ンター 小型電波暗室」)において測定を行った。測定システム を図 5(b)に示す。簡易モデルから 3m離れた位置で受信アンテナ (バイコニカルアンテナ、SCHWARZBECK 社製 VHBB9124/ BBA9106)で電磁波を受信し、スペクトラムアナライザ (ロー デ・シュワルツ社製 ESPI7)を使用してピーク値を測定した



(a) 近傍界



(b) 遠方界

図 5. 測定システム

Fig. 5 Measurement systems for (a) near field and (b) far field.

(RBW: 100kHz)。電磁界解析モデルにおいて設定した球面状の 無反射条件を模擬するため、床面に電波吸収体を敷設し、基板 の原点と受信アンテナの高さを床と天井間の中心付近である 1500mmに設定した。

4.結果および考察

< 4.1> 部品の等価回路化

抵抗、インダクタンス、ループ状線路、FET に関する等価回路 を図6に示す。以下に詳細を述べる。

(1)抵抗 (釜屋電機製 RMC1)

図7 にインピーダンスの周波数特性測定結果を示す。測定器は、 周波数 40Hz ~ 1MHz において自動平衡ブリッジ法のインピーダ ンスアナライザ(アジレント・テクノロジー社製 4910A)と治具 (アジレント・テクノロジー社製 16034G)を、1MHz ~ 100MHz



(a) 抵抗

(b) インダクタンス



図 6. 各部品の等価回路

Fig. 6 Equivalent circuits of (a) resistance, (b) inductance, (c) loop antenna and (d) FET.



図7.抵抗の周波数特性測定結果

Fig. 7 Frequency characteristics (a) Impedance and (b) phase of resistance.

において RF-IV 法のインピーダンスアナライザ(アジレント・テ クノロジー社製 4291B)と治具(アジレント・テクノロジー社製 16194A)を使用した。100 MHz までの領域において、インピーダ ンスは51 、位相は0°で一定のため、寄生容量や寄生インダク タンスはないとした(図6(a))。

(2) インダクタンス (太陽誘電製 BRL2012_1R0)

(1)と同様の装置を用いてインピーダンスの周波数特性を測定 した結果を図8に示す。インピーダンスは10kHzのポール周波数 を境に100MHzまでの領域において増加するが、位相は高域で下 がり始めている。測定結果に合うように、メーカ提供の等価回 路(図6(b))における各素子の定数を調整した。調整後の等価回 路の計算結果を図8の破線で示している。

(3) ループ状線路

ループ状線路の構造からインダクタンスに近いと考えて図 6(c) の等価回路を作成した。配線パターンの周波数特性は、実測が 容易ではなく、さらに基板の試作前に把握できることが望ましい ため、解析的に求めることが有効と考えられる。そこで、電磁 界シミュレータを用いて求めたインピーダンスに合うように等 価回路における各素子の定数を調整した。またその結果の妥当





図 8. インダクタンスの周波数特性 Fig. 8 Frequency characteristics of (a) Impedance and (b) phase of inductance.

性を検討するため実測も行った。周波数 40Hz~1MHz ではイン ピーダンスアナライザ((1)と同様でプローブ はアジレント・テ クノロジー社製 42941A)を用いた。2MHz~100MHz では、ルー プ状線路と周辺機器の結合などの影響を低減させるため電波暗 室内において、ネットワークアナライザ (アジレント・テクノ ロジー社製E5071C)により測定した。図9に以上の結果を示す。 なお、100kHz 以下の低域では電磁界解析が困難であったため、 図 6(c)の抵抗値の決定には実測値を用いた。実測値と電磁界解析 値は、位相の高周波領域を除いてほぼ一致しており、電磁界解 析結果は概ね妥当と考えられる。また調整後の等価回路の計算 値と各結果も概ね一致していることがわかる。

(4)FET (東芝製シリコンNチャネルMOS型 SSM3K7002FU)

寄生容量(入力容量:Ciss = Cgs+Cgd、出力容量:Coss = Cds+Cgd、帰還容量: Crss = Cgd)を考慮するため、図 6(d)の等価 回路を作成した。寄生容量と各容量間の電圧特性を図 10 に示す。 寄生容量を調整した結果、カタログ値と一致していることがわ かる。また、FETの特性であるVgs-Id特性やオン抵抗などの諸特 性もカタログ値に合うように spice パラメータを調整した。



図 9. ループ状線路の周波数特性

Fig. 9 Frequency characteristics of (a) Impedance and (b) phase of loop antenna.



図 10. FET の各容量と電圧の関係 Fig.10 Characteristic of FET's capacitance.

< 4 . 2 > 回路解析

図 4 下に示す回路解析モデルの解析結果と<3.2>(1)の方法によ り実測した結果をそれぞれ図 11(a)と(b)に示す。解析において、 FET のゲートに印加する矩形波の立ち上がり/立ち下り時間およ



図 11. 線路を流れる電流 I の解析および実測結果 Fig. 11 Calculated and measured results of current I in Fig. 4. (a)Calculated waveform, (b) measured waveform, (c) Initial part of (a), (c) initial part of (b) and (d) frequency characteristics.

び周期は実測値により決定し、それぞれ 64.5ns/37.3ns および 10.3µs とした。図 11 の(a)と(b)では、電流値のオフセットをゼロ とした。立ち上がり部分を拡大した図 11 の(c)と(d)より、<2.1>で 発生メカニズムを説明した高周波の電流について計算および実 測できていることがわかる。図 11(e)に<3.1>の方法で周波数領域 に変換した結果を示す。同図では最大電流値で正規化した対数 値を示している。実測値に比べて計算値のレベルの方が大きい が、レベルが低下し始めるピーク周波数は計算と実測ともに 50MHz 付近で一致し概略は同様であることがわかる。

< 4 . 3 > 電磁界解析

はじめに、近傍界の計算結果例を図 12(a)に示す。図 12 (a)に示 す x 方向の磁界(y=6mm における y 成分の絶対値)分布の計算 と実測の結果(周波数 50MHz)を同図(b)に示す。この結果から、 同様な結果を示すことがわかり、近傍界算出までの計算過程に 大きな問題がないことが確認できた。

次に、距離 r=3m として、垂直偏波の電界強度が最大となるθ = φ = 90 ° (図4参照)の位置において、<3.1>の方法で解析を行 った結果を図13 に示す。同図では、比較のため、<3.2>(3)による



(a) 2 次元分布の解析結果



(b) (a)のラインにおける解析と実測結果

図 12. 近傍磁界の検討結果例

Fig. 12 Magnetic near field from the simple model.(a) Tow-dimensional distribution and (b) relative magnetic field profile against *x* indicated in (a).



図 13. 遠方電界の計算および実測結果 Fig. 13 Calculated and measured results of electric far field.

実測結果と給電電流を実測値として解析した結果も示している。 実測値と計算値の比較から、スペクトルの概略は同様な傾向を 示していることがわかる。実測とのレベル差は、給電電流が実 測値では±4dB以内、計算値では9dB以内であった。

<4.4>考察

図 12(b)において計算値と実測値の相対変化量に差があった。 これは、実測はプローブの特性から x, z 方向の成分も多少含むこ ととプローブの寸法に依存して空間的な平均値となることが影 響していると考えられる。なお、図 12 の計算結果より、ノイズ の強弱の分布を可視化できているため、ノイズ発生位置の推定 などによるノイズ対策への応用可能性があると考える。

図 13 の遠方電界において、給電電流を実測値とした計算は 80MHz 以上の周波数で実測よりレベルが低下している。これは、 電流プローブの周波数特性により 100MHz で 3dB 減衰(カタログ 値)することが影響していると考えられる。この影響は、図11(e) に示す電流の周波数特性において、計算と実測のレベル差が 70MHz 以上で周波数とともに大きくなっている一要因でもある と考えられる。また図 13 において、給電電流を実測値とした計 算値(白丸)と実測値が概ね一致していることから、遠方電界に おける計算値(黒丸)と実測値との差9dB以内は、回路解析によ る誤差が主要因と考えられる。その誤差は、図 11(e)における計 算と実測のレベル差であり、70MHz まででは最大で 6dB 程度で ある。この差を低減させるためには、図2の回路図に示されるシ ャント IC やタイマーIC を含め今回は等価回路化していない部品 などをモデル化することが考えられる。また、今回は FET のパ ラメータをカタログ値に合わせたが、実測した特性を用いるこ とも対策の一つと考えられる。

5. 結言

SW 電源の主要ノイズ源である FET(非線形素子)を搭載した 簡易モデルを設定し、回路解析と電磁界解析を組み合わせた遠方 電界のシミュレーションを検討した。その結果、以下の知見が得 られた。

- (1) SW 電源において、これまであまり考慮されていない部 品の高周波特性(特に 30MHz 以上)について解析およ び実測することで、100MHz までを考慮した等価回路モ デルを作成することができた。
- (2) 等価回路モデルを解析した結果、ノイズ放射源と考えられる電流を計算でき、そのピーク周波数が実測と一致するとともにレベル差はピーク周波数付近で 6dB 程度であった。
- (3) 遠方電界を解析した結果、電波暗室で実測したスペクト ルと同様の傾向を示すことができ、それらのレベル差に ついて給電電流が計算値のとき 9dB 以内、実測値のと き±4dB 以内でシミュレーション可能であった。

以上の結果から、FET とループ状線路により基礎的なメカニズ ムで発生するディファレンシャルモードノイズの概略計算が可 能になるとともに、モデリングの基礎を構築できた。今後の課題 として、発生メカニズムがより複雑であるコモンモードノイズの 検討を行い、ケーブルや筐体を対象としたモデルの検討につなげ ることを考えている。

文 献

(1)	平田	他,半	- 成 23 年度	若研論又	、栗, 25 (2	011)8		
(2)	佐々オ	、 他,	電気関係	学会北陸	支部連合	计会議	橫演論文集,	C-9
	(2012)							
(3)	宮下	他,電	子情報通信	言学会論文	文誌 B, J8	84-B (3)	(2001) 643	

- (4) 嶺岸 他, 信学技法, EMCJ2012-23 (2012) 13
- (5) 玉手 他, 富士技法, 84, (2) (2011) 147
- (6) 春日 他, 信学技法, EMCJ2003-91 (2003) 79
- (7) 五十嵐 他, 電学論, 118 (1998) 757
- (8) 萱野 他, 信学技法, EMCJ2005-98 (2005) 31
- (9) 並木 他, FUJITSU, 59 (5) (2008) 576
- (10) 野口 他, 平成 24 年度若研論文集, 26 (2012) 41

. 単層カーボンナノチューブに関する研究

The development of the single wall carbon nanotube

DAIMON Takashi

角田 KAKUDA Tatsunori

龍則 丹保 豊和

FUTAKUCHI Tomoaki

友昭

TANBO Toyokazu

Abstract

The carbon nanotube is the shape that connected the flat graphene into cylindrical. One layer cylinder is called single walled carbon nanotube (SWCNT), multi layers cylinder is called multi walled carbon nanotube (MWCNT). The mass supply of SWCNT is gradually enabled. Now, the main problem is the search of the SWCNT applications.

In this study, at first, we evaluated the properties of SWCNT and MWCNT, by comparing them. We confirmed each shape and properties difference. Next, we evaluated the seat resistance and the visible light transmittance of the PET films with coating SWCNT. The visible light transmittance of the PET film was more than 85%, and the seat resistance was 5.5 k Ω /square. Last, we evaluated the seat resistance of the PET films with coating the dispersion liquid mixed SWCNT and conductive macromolecule (PEDOT). As a result, the seat resistance was 3.6 kΩ/square.

1. 緒言

カーボンナノチューブ(以下 CNT)は炭素原子のみからなる円 筒状の構造体で、様々な優れた特性を備えた材料である。CNT はその構造から単層と多層に分類される。単層 CNT (Single Walled Carbon Nano Tube)は1層のグラファイトであるグラフェ ンを円筒に丸めた形状であり、この円筒が多層になったものを 多層 CNT (Multi Walled Carbon Nano Tube)と呼んでいる。具体的 には炭素原子が網目状に結合して筒状になり、その直径は数~ 150nm、長さは数~10µm である。また、単層 CNT はカイラリテ ィによって金属型と半導体型に分けられ⁽¹⁾、通常およそ1:2の 割合で混在している。

CNTの代表的な合成方法として以下の4種類があげられる。

・アーク放電法

ヘリウム、アルゴンなどの希ガス雰囲気中で、黒鉛棒の電極 間にアーク放電を起こすと陰極側の堆積物として CNT が合成 される。

・レーザーアブレーション法

金属触媒を含む黒鉛棒および雰囲気ガスを電気炉で1000 以 上に加熱し、YAG レーザーパルスを黒鉛棒に照射して蒸発さ せ、CNT を合成させる。

・化学気相合成法(CVD法)

ナノサイズの遷移金属触媒が存在する状態で、メタンやア セチレンなどのガスを800 程度の比較的低温で反応させて CNT を合成させる。アルコールを炭素源とした場合アルコー ル CVD 法、高圧条件下で炭素源に一酸化炭素を用いる HiPCO 法、気相流動法などがある。

・スーパーグロース法

2004 年産総研で開発⁽²⁾。高純度、高効率で数 mmの CNT を成 長させることができる方法。

以上のようにして作製される様々な CNT の物性は、導電性が 高く⁽³⁾(金属型は銅と同等)、熱伝導性が高く(銅の10倍)、強 度が高く⁽⁴⁾(鋼鉄の300倍)、無酸素状態では融点が高く(3000K)、 薬品や温度変化にも安定という、多くの利点を持つ材料であ る。

主に電子デバイスや電極材料、エネルギー貯蔵などの分野で 利用が進んでおり、その発見⁽⁵⁾当初から製造方法、特性評価およ び応用開発に多くの研究者が取り組んできた。

多層 CNT には導電性、機械的強度、熱伝導性を上げるための 添加材などの利用が見込まれており、半導体トレイには帯電防 止材として、導電ペーストなどにはフィラーとしてすでに使用 実績がある。一方、単層 CNT でも同様の用途が検討され、さら に高い比表面積や触媒能などを利用するエネルギーおよび電池 デバイス関連の応用が検討されている。

このように多くの長所をもつ材料であるが、純度、金属型半 導体型の選択性および溶媒への分散性などの技術的課題の解決 が難しく、量産化は進まなかった。しかし、近年、前述した合 成方法の量産技術開発が進み、高純度の CNT が比較的、安価に 供給されるようになった。

そこで本研究では、単層 CNT を利用するデバイスとしてもっ とも汎用性が高く、大量に使用される可能性がある透明導電膜 の開発を目的とし、研究開発をすすめることとした。使用する 基材は、PET フィルム、ガラス基板とした。

2.CNTの物性

CNT は網目状に結合した炭素原子を筒状にした構造をしている(図1参照)。直径は数~150 nm、長さは数~10 µm 程度である。また CNT は「単層 CNT」と「多層 CNT」に分類される。単層 CNT は単層の円筒型、多層 CNT は単層 CNT が入れ子のように何層も重なった構造をしている。単層 CNT、多層 CNT の構造 図をそれぞれ図2、図3 に示す。単層 CNTを1種類、多層 CNT を2種類(MDCNF、VGCF)の物性調査を行った。



図 1. CNT の構造 Fig.1 Structure of CNT.





図 2. 単層 CNT Fig.2 Single Walled CNT.

図 3. 多層 CNT Fig.3 Multi Walled CNT.

< 2 . 1 > TEM 像

単層 CNT、多層 CNT (MDCNF)、多層 CNT (VGCF)の TEM 像をそれぞれ図4、図6、図8に示す(図4は企業の製品 資料より引用)。単層 CNT は直径が約2 nm,長さが1~5 μm、 MDCNF は直径が10~20 nm,長さが数μm、VGCF は直径が100 nm,長さが約10 μm であった。また MDCNF は中空構造が確認 できた。

< 2 . 2 > 細孔分布

単層 CNT は MP 法、MDCNF 及び VGCF は BJH (Barrett-Joyner-Hallender)法でそれぞれの細孔分布を調べた。単 層 CNT の細孔分布を図 5 に示す。ピークは $1 \sim 2$ nm 付近に現れ た。また、比表面積は 1000 m²/g であった。MDCNF 及び VGCF の細孔分布をそれぞれ図 7、図 9 に示す。ピークはいずれも 20 nm 付近に現れた。また比表面積はそれぞれ $14 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $18 \text{ m}^2/\text{g}$ であ った。

< 2 . 3 > XRD 解析

XRDの測定結果を図10に示す。単層CNTは積層部分がないた めグラファイト層の層間距離に由来するピークは現れなかった。 一方、MDCNF 及び VGCF ではグラファイト(002)のピークが 現れた。また、VGCF は MDCNF より CNT のサイズが大きく層 数も多いので、ピークが鋭くなった。



図 10. X 線回折パターン

Fig.10 X-ray diffraction patterns of the CNT.

3.透明導電膜の作製

< 3 . 1 > 膜形成について 膜の形成は、CNT 分散液へのバインダー添加、混合分散、基 板への塗布、乾燥の工程から成る。CNT 分散液にバインダーを 添加することで、粘度が高まり膜を形成しやすくした。また基 板への塗布はスピンコータ で行った。

本研究では、膜のシート抵抗が数百 Ω/sq.の透明導電膜の形成 を目指した。

<3.2> 基板の酸素プラズマ処理

当初、基材に膜を形成した際、乾燥工程で凝集が起こり、均 ーな膜ができなかった(図 11 参照)。そこで均一な膜を形成す るために、基材に酸素プラズマ処理を行った(図 12 参照)。条 件は出力 100 W、酸素流入量 30 mL/min、時間 10 min で行った。 処理前後の基材 PET フィルム)の SEM 像を図 13、図 14 に示す。 プラズマ処理を行うことで、PET フィルムの表面に 100 nm 程度 の凹凸が形成され表面状態が変化した。処理した PET フィルム 上に単層 CNT 膜を塗布形成し、走査型プローブ顕微鏡(AFM) で観察した。AFM 像を図 15 に示す。PET フィルムの凹凸上に、 単層 CNT の付着が確認できた。



図 11. 塗布状態(処理なし) Fig.11 Surface condition (not treated).

図 12. 塗布状態(プラズマ処理) Fig.12 Surface condition (plasma-treated).



図 13. PET フィルムの SEM 像(プラズマ未処理) Fig.13 SEM micrograph of PET film (not treated).



図 14. PET フィルムの SEM 像(プラズマ処理済) Fig.14 SEM micrograph of PET film (plasma-treated).



図 15. 走査型ブローブ顕微鏡による画像

Fig. 15 Scanning probe microscope image of PET surface with CNT.

4. バインダーの選定

< 4 . 1 > CMC を用いた膜形成

今回使用した単層 CNT 分散液は水を媒質としている。よって 水に分解するCMCをバインダーとして使用した。ここではCMC の添加割合と膜のシート抵抗の関係を単層 CNT、多層 CNT それ ぞれで調べた。なお、シート抵抗は銀ペーストを電極として直 流2端子法で測定した。

< 4 . 1 . 1 > 単層 CNT

単層 CNT の分散液として、濃度 0.01 wt% (H₂O)のものを使用 した。この分散液を 2.5 g (単層 CNT 0.25 mg)用いて、CMC を 以下の 3 つの条件で添加した。条件 では CMC を添加せずに膜 を形成した。その膜のシート抵抗は 3100 kΩ/sq.であった。条件

では CMC を 0.25 mg 添加した (単層 CNT : CMC = 1 : 1)。そ の膜のシート抵抗は 530 k Ω /sq.であった。条件 では CMC を 2.5 mg 添加した (単層 CNT : CMC = 1 : 10)。その膜のシート抵抗 は 720 k Ω /sq.であった。CMC 添加量と膜のシート抵抗の関係を図 16 に示す。膜のシート抵抗が最も小さくなったのは、条件 の CMC 添加量を単層 CNT と同じ量にしたときであった。



図 16. CMC 添加率とシート抵抗 Fig.16 Sheet resistance of films as a function of CMC additive rate.



図 17. SEM 像(条件) Fig.17 SEM micrograph of PET film (1).

図 18. SEM 像(条件) Fig.18 SEM micrograph of PET film (3).

条件 、条件 で形成した膜を SEM で観察した。SEM 像をそれぞれ図 17、18 に示す。 は単層 CNT のみがフィルム上に付着しており、 では単層 CNT が CMC のなかに埋没して、バインダー過剰な様子が確認できた。

このように単層 CNT 分散液を用いて透明な膜を形成すること ができた。しかし、膜のシート抵抗は、目標である数百 Q/sq.よ り 1000 倍も大きい。そこで膜のシート抵抗を下げるために、重 ね塗り(1~5回)によって抵抗の改善を試みた。条件 において 膜を1回塗布したときの膜のシート抵抗は530 kQ/sq.であった。2 回重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は530 kQ/sq.であった。3回 重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は23 kQ/sq.であった。3回 な塗りしたときの膜のシート抵抗は7.1 kQ/sq.であった。5回重ね 塗りしたときの膜のシート抵抗は5.5 kQ/sq.であった。5回重ね 塗りしたときの膜のシート抵抗は5.5 kQ/sq.であった。重ね塗り 回数を増やすとともに、膜のシート抵抗は減少した(図19参照)。 図 20 は5 回重ね塗りした膜の表面を SEM 観察した画像を示す。 PET フィルム表面の凹凸が導電膜によって完全に覆われていた。 塗布回数をふやすことで単層 CNT および CMC が堆積し、密度の 大きい膜を形成することができた。

次に、重ね塗り回数と膜の透過率の関係を調べた。結果を図 21 に示す。重ね塗りを 5 回行っても、可視光の波長域で透過率 80~90 %の透明な単層 CNT 膜を形成できた。







図 20. SEM 像(5 回塗布) Fig.20 SEM micrograph of PET film coated five times.



as a function of the number of coating.

< 4 . 1 . 2 > 多層 CNT

多層 CNT (VGCF) でも同様の実験を行った。

多層 CNT を 0.25 g において、以下の 3 つの条件で CMC を添加 した。条件 では CMC を 0.1 g 添加した(多層 CNT : CMC = 1 : 0.4)。その膜のシート抵抗は 10.2 kΩ/sq.であった。条件 では CMC を 0.25 g 添加した (多層 CNT : CMC = 1 : 1)。その膜のシ ート抵抗は 4.8 kΩ/sq.であった。条件 では CMC を 0.5 g 添加し た (多層 CNT : CMC = 1 : 2)。その膜のシート抵抗は 4.5 kΩ/sq. であった。CMC 添加率と膜のシート抵抗の関係を図 22 に示す。 膜のシート抵抗が最も小さくなったのは、条件 の CMC 添加量 を多層 CNT の 2 倍の量にしたときであった。



図 22. CMC 添加率とシート抵抗 Fig.22 Sheet resistance of films as a function of CMC additive rate.

さらに膜のシート抵抗を下げるために、条件 において重ね 塗り (1、3、5回)を行った。膜を1回塗布したときのシート抵抗 は4.5 k Ω /sq.であった。3回重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は 0.8 k Ω /sq.であった。5回重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は 0.7 k Ω /sq.であった。重ね塗り回数を増やすとともに、膜のシー ト抵抗は減少した(図 23 参照)。しかし、膜は黒色で、透明な 導電膜は作製できなかった。



図 23. 重ね塗り回数とシート抵抗

Fig.23 Sheet resistance of films as a function of the number of coating.

< 4 . 2 > PEDOT を用いた膜形成

多層 CNT を用いることで、膜のシート抵抗を数百 Ω/sq.まで下 げることができた。しかしながら膜は透明ではなく、黒ずんで いた。一方、単層 CNT 分散液を用いれば、透明な膜を形成する ことができたが、膜の抵抗は高かった。そこで膜のシート抵抗 をさらに下げるために、バインダーを CMC から導電性樹脂 (PEDOT)に変更して、試作評価をおこなった。

単層 CNT 分散液を 2.5 g(単層 CNT0.25 mg)使用して、以下の 5 つの条件で PEDOT を添加した。条件 では PEDOT を 0.5 mg 添加した(単層 CNT: PEDOT = 1:2)。その膜のシート抵抗は 5200 kΩ/sq.であった。条件 では PEDOT を 1 mg 添加した(単層 CNT: PEDOT = 1:4)。その膜のシート抵抗は 474 kΩ/sq.であっ た。条件 では PEDOT を 2 mg 添加した(単層 CNT: PEDOT = 1:8)。その膜のシート抵抗は 384 kΩ/sq.であった。条件 では PEDOT を 2.5 mg 添加した(単層 CNT: PEDOT = 1:0)。その 膜のシート抵抗は 531 kΩ/sq.であった。条件 では PEDOT を 10 mg 添加した(単層 CNT: PEDOT = 1:40)。その膜のシート抵抗の関係 を図 24 に示す。膜のシート抵抗が最も小さくなったのは、条件 の PEDOT 添加量を単層 CNT 単体の 40 倍の量にしたときであ

った。 導電性樹脂のみで膜を形成した場合、シート抵抗は 20 kΩ/sq.

であり、CNT を加えたことにより抵抗が増加した。しかし導電 性樹脂のみの場合、膜に色がつき透過率が低下した。



図 24. PEDOT 添加率とシート抵抗

Fig.24 Sheet resistance of films as a function of PEDOT additive rate.

さらに膜のシート抵抗を下げるために、条件 において重ね 塗り(1、3、5回)を行った。膜を1回形成したときのシート抵 抗は41 kΩ/sq.、3回重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は8.3 kΩ/sq、5回重ね塗りしたときの膜のシート抵抗は3.6 kΩ/sq.とな り、重ね塗り回数を増やすとともに、膜のシート抵抗は減少し た(図25参照)。透過率は重ね塗りを5回行った場合、透過率 60~85%であり。半透明な単層 CNT 膜を形成できた(図26参 照)。





Fig.25 Sheet resistance of films as a function of the number of coating.



as a function of the number of coating.

5. 単層CNT膜の焼成

バインダーとして使用した CMC は非導電性で高い電気抵抗を しめすため、CNT 本来の導電性を得られない。そこで膜形成後 に窒素雰囲気中で焼成処理を行い、CMC の分解除去を試みた(図 27 参照)。

分散液を 2.5 g (単層 CNT 0.25 mg)、CMC を 0.025 g 添加して (単層 CNT : CMC = 1 : 100) ガラス基板上に塗布し膜を形成し た。さらに窒素雰囲気中 450℃ 30 min で焼成した。図 28 は焼成 後の膜の SEM 画像を示す。CNT は積層していたが CMC の分解 があまりすすまず、CMC と単層 CNT が混在した状態のままであ った。また、抵抗も高く、焼成によるバインダーの除去でシー ト抵抗を低下させることはできなかった。



図 27. CMC と単層 CNT 混合膜の焼成 Fig.27 Firing the films with coating CMC and SWCNT.



図 28. 焼成後の膜の SEM 像(450 ° C 窒素雰囲気) Fig.28 SEM micrograph of the film fired in nitrogen atmosphere at 450°C.

6. 結言

本研究では単層 CNT を利用するデバイスとして透明導電膜付きフィルムおよびガラス基板の開発を目標とし、研究開発をおこなった。その結果、以下の知見が得られた。

単層 CNT 分散液を用いて PET フィルム上に透明な膜を形 成することができた。膜のシート抵抗は 5.5 kΩ/sq.であっ た。また可視光透過率は 80~90%であった。 多層 CNT 分散液を用いて PET フィルム上に膜を形成する ことができた。膜のシート抵抗は 700 Ω/sq.であった。 単層 CNT 分散液および PEDOT を用いて PET フィルム上 に透明な膜を形成することができた。膜のシート抵抗は 3.6 kΩ/sq.であった。また可視光透過率は 60~85%であっ た。

単層 CNT 分散液を用いて、窒素雰囲気中で焼成すること でガラス基板上に単層 CNT 積層体を形成することができ た。しかし透明な導電膜を形成することはできなかっ た。

文 献

- (1) Miyata, Y., J. Phys. Chem. C, 2008, 112, 15997.
- (2) Hata, K., Science, 306, 1362
- (3) Tans, S.J., Nature, 1997, 386, 474
- (4) Meo, M., Composite Science and Technology, 2006, 66, 1597,
- (5) Iijima, S., Nature, 1991, 354, 56.

. 極低容量水力発電システムの研究

Development of hydropower system with a small amount of electric-generating capacity

住和 大輔 金森 直希 SUMIWA Daisuke KANAMORI Naoki

羽柴 利百

佐山 利彦

上野

UENO Minoru

実

HASHIBA Toshinao SAYAMA Toshihiko

Abstract

A small amount of water energy source of roughly 50 watts capacity, such as brooks, farm ditches, gullies, drainpipes and waterfalls, has not been utilized almost ever. We investigated a new useful application of the water energy by developing a mobile water wheel which can be carried by folding. Through the study of the folding method using construction paper, a detailed mechanism has been studied using a three-dimensional CAD. A prototype hydropower system was fabricated with water wheel mechanism of 2 watts output has realized the size of A4 or less in folding state.

1.緒言

近年、国内の電力事情への対応や二酸化炭素排出量削減への 貢献などの観点から水力発電の利点が再認識されており、農業 用水や水道設備などを利用したミニ水力発電システムあるいは マイクロ水力発電システムの研究開発が盛んに行われている。 しかし、表1に示すピコ水力区分の中でもより発電出力の小さ い小水路や排水管といったより身近でかつ未利用の水力エネル ギ源が様々な形態で存在するにもかかわらず、発電コストが高 いことや水量が不安定であることが主な原因でそれらの水エネ ルギはほとんど利用されていない。しかし、使用場所や用途を 限定すれば、これら未利用の水エネルギ源の活用法を見出すこ とができると考えられる。

そこで、本研究では、50W 程度の極低容量水エネルギ源を活 かすことができる用途・状況を検討し、具体的な発電装置の試 作を通して、極低容量水エネルギの活用可能性や将来の発電装 置の改良に向けた問題点を抽出する。

	रर।.	小刀光章	直の区方、	,
Table1.	Classific	ation of h	nydropow	er system

区分	発電出力
大水力	100,000kW以上
中水力	10,000kW ~ 100,000kW
小水力	1,000kW ~ 10,000kW
ミニ水力	100kW ~ 1,000kW
マイクロ水力	10kW ~ 100kW
ピコ水力	10kW以下

2. 極低容量水力発電の使用場所および用途

— 4

極低容量水エネルギの使用場所、用途、発電機へ接続する負 荷について検討した。 50W という仕事率は、毎秒 2.6ℓ の水が 1m の落差を流れ落ち る際の仕事率に相当する。水量が比較的安定しているならば、 水力発電の出力は太陽光発電や風力発電と比べ天候に左右され にくいと考えられる。そのような水エネルギ源が存在する場所 として、用水路、側溝、排水管、下水管、沢、滝、などが挙げ られる。

用途については、照明、携帯機器の充電、災害時の非常用電 源があげられる。特に近年は震災や風水害時の避難用道具につ いて需要が高まっている。携帯電話の充電には 1~1.5W、小型 の LED ランタンでは 1.5~2W 程度、大型の LED 式懐中電灯で は 10~20W、充電式発熱・蓄熱装置では 5~20W、電気毛布で は 40~80W の電力を要する。

以上に挙げられた使用場所と用途から、常設ではなく一時的 に使用する状況に活路があるように見受けられる。そこで、沢 のあるキャンプ場や避難所付近の小川において、携帯電話の充 電や最低限の照明に使う必要最小限の電源として使用すること を想定して、目標出力は2Wとした。

さらに、一時的に水力発電を使用するということは、持ち運びと設置撤去が容易な水車であることが求められる。従来の携帯型・可搬型水車には、本格的登山用の携帯型水車として、出力40Wで重量6.8kgのもの⁽²⁾、あるいは出力500Wで重量13kgのもの⁽³⁾が実用化されている。また、教育用途や農業用途を狙った小型らせん水車(出力10Wで重量18.5kg)⁽⁴⁾が実用化されている。しかし、より小さな出力でより軽量・小型の携帯型水車は見当たらない。そこで、我々は収納・展開が可能な極小出力の「モバイル水車」を提案し試作を行うこととした。小型・軽量かつ収納・展開が容易な携帯型水車を実現することができれば、極低容量水力の活用機会が大きく増加すると考えられる。

3. 試作モバイル水車の目標設定および事前検討

<3.1> 収納時の大きさおよび重量

搬送・移動時および収納・展開時の利便性を考え、ランドセルに収まる程度の大きさを想定した。すなわち、水車の収納時の大きさが A4 サイズ以下かつ重量が 1kg 以下を目標として設定した。なお、水車の軸を受け地面に設置するためのフレームや発電機部分の大きさおよび重量は本年度の研究においては考慮しない。

<3.2> 水車構造の選定

超低落差かつ超低流量に適した水車構造として、らせん型水 車および開放ホイール型水車がある。しかし、らせん型水車は 連続した長い曲面を有する羽根板から構成されているため、収 納・展開する機構が検討しづらく構造が複雑になることが予想 される。一方、開放ホイール型水車は、複数枚の単純形状の羽 根板から成り立っているため、収納・展開の機構が検討しやす く単純な構造にしやすいと考えられる。また、解放ホイール型 は、水を水車の上方から羽根板上へ落下させて使用する「上掛 け方式」と、流路に羽根板を浸して使用する「下掛け方式」の 両方の使い方ができる利点がある。以上より、試作する水車構 造として開放ホイール型を選択した。

<3.3> 発電機の検討

発電機として自転車用ハブダイナモの使用を検討した。定格 出力は速度が約4m/sのときに出力電力が約2.4Wとなるもので ある。このハブダイナモを搭載した自転車ホイールに塩化ビニ ル管を切断して作成した羽根板を取り付けた簡易水車(図1)を 作り、図2に示す実際の沢(富山県富山市猪谷付近)にて発電 試験を行った。当初流速の早いB点付近に簡易水車を設置しよ うとしたが、水車の軸を支持して地面に接地しているアルミフ レームに加わる水の力が強すぎて下流に押し流されてしまうた め、流れの緩いA点付近で試験を実施した。図3に発電実験の 様子を示す。



図 1. ハブダイナモを備えた試験水車 Fig.1 Test water wheel using a hub dynamo.



図 2. 発電実験の場所 Fig.2 Power generation test site.



図 3. 発電実験 Fig.3 Power generation experiment.

水車周囲の平均流速約 1m/s に対し、水車は約 0.85m/s の周速 度で動作した。ハブダイナモを使用して実際の水路で発電が可 能であることを確認できた。しかし、沢の A 点付近の平均流速 はハブダイナモの定格速度約 4m/s に比べて非常に遅いため、発 電効率があまりよくない条件であったと考えられる。

4.水車ホイールの折り畳み機構の検討

< 4 . 1 > 工作用紙による事前検討

立体物である水車を折りたたむことが求められる。そこで、 図 4 に示すように1次元ずつ折りたたむ方法を考えた。すなわ ち、はじめに水車の軸方向に畳み、その後、扇子のように軸周 りに畳む方法である。この折り畳み方法が成立するのかをまず 工作用紙により検討した。機構の簡単化のため、羽根板 4 枚の 場合について検討した。



図 5 に、工作用紙折り畳み機構の検討を示す。図 5 (a) は、 水車を完全に展開した状態である。まず、軸方向へ折り畳んで 厚みを平たくし(図 5 (b))、軸周りに扇子のように折り畳んで さらに小さくする(図 5 (c))、しかし、図 5 (c) から明らかな ように、扇子を畳んだ際のように細くすることは実現できてい ない。より小さく畳むには骨材同士の干渉をできるだけ排除す ることが重要であることが明らかとなった。

< 4 . 2 > 三次元 CAD による折り畳み機構の検討

前節で簡易的に検討した折り畳み方式について、三次元 CAD (SolidWorks)を用いてより詳細に機構検討を行った。前章の工 作用紙で作成した羽板4枚の機構モデルを作成(図6)し、問題 点の抽出を行った。



(a) 完全に展開した状態(a) Fully unfolded state.



(b) 軸方向へ折り畳んだ状態(b) Folding in the axial direction.



(c) 軸周りに折り畳んだ状態(c) Folding to about the axis.

図 5. 工作用紙による折り畳み機構の検討 Fig.5 Study of folding mechanism by construction paper. 軸方向に折りたたむ際は骨材の厚みが軸方向に積み重なるた め、それほど平たくはならない(図7(a))。軸周りに折り畳む 際は隣接部材同士が干渉するため扇子のように細く折り畳むこ とができない(図7(b))。干渉をできるだけ排除する工夫が必 要である。また、図8に示すように、(1)展開後のヒンジ部の 固定方法、および(2)軸周りに展開した後の骨材端部同士の接 続および固定方法が課題として浮き彫りになった。



図 6. 三次元 CAD により作成した折り畳み機構 Fig.6 Folding mechanism model by 3D-CAD.



(a) 軸方向へ折り畳んだ状態(a) Folding in the axial direction.



(b) 軸周りに折り畳んだ状態(b) Folding to about the axis.

図 7. 折り畳み時の問題点 Fig.7 Problems in folding.



<4.3> 羽根板8枚のモデルによる折り畳み機構の検討 前節までに明らかとなった折り畳み機構の問題点を解決する ことに重点を置いて、羽根板8枚の水車の骨材モデルを作成し た。骨材の重なり方と各部材の長さを調整することで骨材同士 の干渉を大幅に抑制することができ、図9(b)に示すように細 く折り畳むことが可能となった。

また、展開後のヒンジ部の固定方法については、図 10 に示す ように、骨材にストッパー部と突起部を設けることにより固定 することとした。以上の改良を施した羽根板 8 枚の骨材モデル を図 11 に示す。軸方向および軸周りに折り畳むと図 12 のよう に軸方向、周方向ともより小さく折り畳むことができるように なった。しかし、骨材点数が多くヒンジ部も多いため、重量の 増加が懸念された。



図 9. 骨材間の干渉の抑制 Fig.9 Suppression of interference between the links.



Fig.10 Method of fixing the hinge.

5. ハブダイナモ出力推定および取り付け部の設計

前章で作成した 8 枚羽根の骨材モデルにハブダイナモを接続 して折り畳み水車モデルを完成させるために、まず、各部の寸 法について詳細に検討した。

ハブダイナモの出力電力 P は次のように表すことができる。

$$P = T\omega\eta_e \tag{1}$$



図 11. 羽根板 8 枚の骨材モデル Fig.11 8 blade model.



図 12. 折り畳んだ状態(8 枚羽根モデル) Fig.12 Folded (8 blade model).

ここで、Tは軸トルク、 ω は角速度、 η_e はハブダイナモの発電効率である。水車の基準半径(水車の中心から羽根板の中心までの距離)をrとすると、角速度 ω と水車の周速度 ν の間には $\omega = \nu/r$ の関係がある。3.3節で述べた発電試験では、ハブダイナモは定格の 20~25%の角速度(回転速度)で回転している。増速機を接続して、できるだけハブダイナモの定格に近い角速度で回転させることができれば発電効率 η_e が大きくなり出力向上に繋がる。しかし、増速機を接続すると、(1)機構が複雑になる、(2)重量が増加する、(3)増速機内の摩擦による動力損失が大きくなる、ことが懸念されたため、増速機の接続はしないこととした。代案として、水車の基準半径をできるだけ小さくすることで角速度の増加を図ることとした。また、羽根板を水没させる深さとハブダイナモの太さ(直径)を考慮して、水車の基準半径はr=0.2mとした。

次に、水が羽根板に加える力 F と軸トルクの間には下記の関 係がある。

$$T = rF \tag{2}$$

水が羽根板に加える力 Fを次のようにモデル化する。

$$F = \rho Q v \eta_w \tag{3}$$

ここで、 ρ は水の密度、Q は体積流量、v は流速、 η_w は下掛け水 車の効率である。体積流量 Q は羽板の高さ H、幅 W、および流 速 v を使って次のように表すことができる。

$$Q = HWv \tag{4}$$

以上より、ハブダイナモの出力電力 *P* は、次のように表すことができる。

$$P = \rho H W v^3 \eta_w \eta_e \tag{5}$$

下掛け水車の効率 η_w 、ハブダイナモの効率 η_e は、文献⁵など を参考にそれぞれ 0.3 および 0.6 とし、流速 v は、3.3節の沢 での実測結果 1 を参考に 0.8m/s とした。水の密度 ρ を 1000kg/m³とすると、出力電力 P は次のように表すことができる。

$$P = 92HW \tag{6}$$

水車の基準半径 r はできるだけ小さくすることとしたため、 水車の半径方向と同じ方向である羽根板の高さ H はできるだけ 小さくすることが望ましい。そこで、羽板の高さ H、羽板の幅 W をそれぞれ 0.1m、0.3m とすると、出力電力は P = 2.76W と なり、目標とする 2W 以上の出力電力を見込むことができる。 なお、水車外周の半径 R はR = r + (H/2) = 0.25m となり折り畳 んだ際に A4 サイズの長辺の長さ以下にすることが可能である。

6.発電機取り付け部の検討

前章での検討により、羽根板形状は水車の軸方向に長くする こととなったため、おのずと軸長も長くなることとなった。そ こで、ハブダイナモを水車の内部へ設置することを試みた。こ れまでに抽出された課題の解決も含めて折り畳み機構を再検討 したところ、図 13 に示す機構に至った。ハブダイナモの固定と 水車骨材の固定を兼ねた固定部材を採用することにより、水車 骨材間の接続に係る補助材およびヒンジが不要になり、部品点 数を大幅に削減することができた。すなわち、図 13 (b)に示す ように、発電機の両端に複数の凹部を有するハブダイナモアダ プタを設置し、外側から複数の凸部を有する固定部材で水車の 各骨材の角度を保ったまま固定できるようにした。また、羽根 板は耐久性のある柔軟膜材を図 14 のように骨材に巻きつけるこ ととして軽量化と折り畳みを実現することとした。

7.折り畳み水車の試作

前章までの検討をもとに、折り畳み水車を試作した。試作し た水車を図 15 に示す。水車骨材はアルミニウム合金を放電加工 により作成し、固定部材およびハブダイナモアダプタは ABS 樹 脂製で、それぞれ 3D プリンタにて作成した。羽根膜はポリエチ レンシート材(厚さ 2mm)であり、シート内部には強度を高め るためのポリプロピレン糸が格子状に配置されている。本研究 では、水車の軸を地面に固定する部分の検討は行っていないた め、図15では仮の固定具としてアルミフレーム材を用いた。

折り畳み水車の収納は次のように行う。まず、図 16(a)に示 すように、両端の固定部材を外し、水車骨材を軸周りに回転さ せて重ねる。次に、図 16(b)に示すように水車骨材を外して折 り畳む。折り畳み水車を構成する主要部品は、羽根膜付きの水 車骨材部(図 16(b))、発電機部(図 16(c))、保持用延長軸 (図 16(c))、および固定部材(図 16(d))であり、すべて A4 サイズ以下に収めることができた。



(a) 折り畳み水車の全体像(a) Overview of the unfolded water wheel.



(b) ハブダイナモおよび固定部材(b) Hub dynamo and fixed parts.

図 13. ハブダイナモを組み込んだ折り畳み機構 Fig.13 Folding mechanism with a built-in hub dynamo.



図 14. 柔軟膜材による羽根板 Fig.14 Blades using the flexible membrane material.



図 15. 試作水車 Fig.15 Prototype water wheel.

羽根膜付き水車骨材の重量は 0.89kg となり目標の 1kg 以下と なった。しかし、発電機部および固定部材は図 16 (a) に示すよ うに大きく、重量は 2.3kg (うちハブダイナモ重量 0.8kg) であ ったため、小型化および軽量化が必要である。今後、沢の雪解 けを待って試作水車の動作試験を行う予定である。

8. 結言

本研究では、50W 程度の極低容量水エネルギ源を活かすこと ができる用途・状況を検討し、具体的な発電装置の検討・試作 を通して極低容量水エネルギの活用可能性と試作発電装置の問 題点抽出を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- (1)極低容量水エネルギ源の用途・使用場所として、キャンプ場や避難所における携帯電話の充電や照明に使う最低限の電源の一時的な利用を想定し、「モバイル水車」を提案し、これを検討・試作した。
- (2) モバイル水車の持ち運び、収納・展開を容易にするために水 車ホイールを折り畳み式とすることを提案し、実際に試作す ることができた。折り畳み後の水車骨材の収納サイズは A4 サイズ以下かつ重量 1kg 以下とすることができ、その他の主 要部品もすべて A4 サイズ以下に収めることができた。

今後の検討課題を以下に示す。

- (1) 既存のハブダイナモの活用を優先したため、発電機部分が相対的に大きくなった。携帯・可搬のためには大幅な小型化・ 軽量化が必要である。
- (2) 流速 1m/s 程度の超低速域で高効率・高出力を得られるモバ イル水車用の小型・軽量の発電機の開発が必要である。
- (3) 水車を地面などへ設置するための小型・軽量の固定用フレー ムの検討が必要である。



(a) 両端の固定部材を外した状態(a) Disconnected the fixed parts of both ends.



(b) 折り畳んだ状態の水車骨材(b) Folded state of the wheel parts.



(c) 発電機部および保持用延長軸 (d) 固定部材

(c) A Power generator and extension shafts. (d) Fixed parts.

図 16. 折り畳み水車の収納・展開 Fig.16 Procedure to remove the water wheel.

文 献

- 環境省地球環境局地球温暖化対策課 小水力発電情報 http://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page01.html
- (2) Bourne Energy 社 BPP-1 www.bourneenergy.com/
- (3) ニューパワー有限会社 HP-50 http://www.ex.biwa.ne.jp/~newpower/hp50.htm
- (4) 螺旋式ピコ水力発電ピコピカ http://fearth.org/pikoweb/
- (5) 砂防渓流三野畑川における水車製作と機能維持に関する工学的検討 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol.46, pp.56-61, 2006
.マグネシウム燃料電池の開発

Development of Magnesium Fuel Cell

		安田	岡	Ц	崎 鉄	平	
		YASUDA	Tsuyoshi	i YAM.	AZAKI T	Teppei	
本保	栄治	高田	耕児	石黒	智明	高辻	則夫
HONI	30 Eiji	TAKATA	A Koji	ISHIKURO) Tomoal	ki TAKAT	SUJI Norio

Abstract

Recently, demand for batteries, such as the spread of portable devices and development of an eco-friendly car, increases increasingly, and development of a rechargeable battery or a fuel cell is performed actively.

Magnesium is large ionization tendency and the resources exist abundantly. By using this material as cathode material, a highly efficient battery with high energy density may be made. Moreover, by using air for anode, energy density per weight can also be enlarged and can always be supplied to anode material. However, the problem of magnesium cathode is that the passive state such as of an oxide etc. is formed in the surface and a reaction does not maintain.

In this study, it is aims that the battery which suppresses formation of a passive state and generates continuously is developed by examining an electrolysis solution using the wide using Magnesium alloy used on cathode material. Furthermore, a highly efficient magnesium fuel battery is developed by examining materials and catalysts of the anode which has restricted the reaction of battery.

1. 緒言

現在、携帯機器の普及や環境対応型自動車の開発など電池の要求はますます高まり、二次電池や燃料電池の開発が活発に行われている。

マグネシウムはイオン化傾向が大きく、資源量が豊富に存在す る。これを負極材として用いる事で高いエネルギー密度の高性能 な電池ができる可能性がある。また、正極材に空気を用いること で重量あたりのエネルギー密度も大きくでき、また常に供給する ことができる。しかし、マグネシウムの表面に酸化物などの不動 態が形成され、反応が持続しないことが課題である。

本研究では、現在広く使われている汎用のマグネシウム合金を 負極材に利用して、電解液を検討することにより、不動態の形成 を抑えて持続的に発電する電池の開発を目的とする。さらに電池 の反応を制限している正極材料や触媒を検討することにより、高 性能なマグネシウム燃料電池の開発を試みた。

- 2.マグネシウム燃料電池
- < 2 . 1 > 電池性能

マグネシウム燃料電池は、正極に空気中の酸素、負極にマグネ シウムを用いる。放電後の負極を新たな負極に交換(メカニカル チャージ)することが可能であるといった特徴から燃料電池と呼 ばれる。また、正極に空気中の酸素を用いることから空気マグネ シウム電池とも呼ばれている。主な電池の電圧および重量当たり の理論容量を図1に示す。空気マグネシウム電池の理論容量はリ チウムイオン電池など、一般に使用されている電池に比べ高く、 高性能な電池になる可能性がある。





<2.2>マグネシウム空気電池の仕組み・構造

マグネシウム空気電池の構造を図2に示す。負極ではマグネシ ウムが電子を放出してマグネシウムイオンとなり電解液中に溶 け出す(反応式)。正極では空気中の酸素が電子を受け取って還 元される(反応式)。同時に電解液を含んだセパレータ中をイオ ンが移動して電気が取り出せる。全体の反応では、マグネシウム、 酸素、水から水酸化マグネシウムが生成する(反応式)。

. . .

- 負極 : 2Mg→2Mg²⁺+4e⁻
- 正極 : $O_2+2H_2O+4e^- \rightarrow 4OH^-$ ・・
- 全体 : $2Mg+O_2+2H_2O\rightarrow 2Mg(OH)_2$ ・・・

電池を構成する一般的な素材を以下に記す。

- ・正極 カーボン繊維などポーラス構造で空気を通し、
 かつ導電性を有す素材
- ・負極 マグネシウム、マグネシウム合金
- ・セパレータ 不織布、ガラス繊維など吸水性を有す素材





図 2. マグネシウム空気電池の構造 Fig.2 Magnesium-air fuel cell

また、マグネシウム空気電池の酸化還元電位を図3に示す。これより理論上は2.79Vの電圧が得られる。



図 3. 酸化還元電位 Fig.3 Oxidation-reduction potential. <2.3> マグネシウム空気電池における課題

電解液の課題として、酸性の場合、負極が溶解して放出した電 子が負極上で反応して、水素が発生する、いわゆる自己放電が起 こる。このため、回路を接続しなくても負極が消費されてしまう。 また、アルカリ性ではマグネシウム表面に電気もイオンも通さな い不動態膜が生成し、電流が流れなくなる。

正極材においては、反応(放電)速度を制限しているのはマグ ネシウムのイオン化速度ではなく酸素の吸収速度であると考え られ、これを向上させることで、反応速度を上げ、性能を向上さ せることができる。

よって本研究では、反応を持続させることができる電解液の検 討、および反応速度を向上させ、高電流を得ることができる正極 材について検討した。

- 3. 実験方法
- <3.1> 電解液の検討
- (1)実験セルの作製
 - 銅 マグネシウム電池

電解液による電池性能の差を簡易的に評価するため、以下に記す構成で電池セルを作製した。セルの外観写真を図 4(a)に示す。

正極:銅(C1100) 負極:マグネシウム合金(AZ31) 極間距離:10mm

空気マグネシウム電池(電池型セル)

正極:市販のカーボン電極(図 5)、負極:マグネシウムで セパレータを挟み込む構造。正極、負極でセパレータを挟 み、これらを樹脂パネルで固定した。電解液と接触する正 極・負極の面積は 15×15mm とした。セルの写真を図 4(b) に示す。





(a) 銅-マグネシウム型
 (b) 空気-マグネシウム型
 図 4. 実験セル
 Fig.4 Experimental cell.

(2)電解液

以下に記す電解液を用いて、電解液による電池性能を評価した。

銅 マグネシウム電池

・有機酸

1%シュウ酸、1%クエン酸

- ・無機酸 1%ホウ酸ナトリウム、1%ホウ酸アンモニウム、
- 1%グルコン酸ナトリウム
- ・低分子結晶
- 1%ブドウ糖、1%ショ糖
- ・アルカリ
 1%リン酸ナトリウム、1%水酸化ナトリウム
 ・中性塩
 1%塩化ナトリウム、20%塩化ナトリウム

空気マグネシウム電池(電池型セル)

電解液として多価カルボン酸(クエン酸)について検討を行った。多価カルボン酸を電解液に用いることで COO⁻と Mg⁺が錯体化し、Mg⁺の溶解度が増大し、負極の MgO の析出を抑制、マグネシウムの持続的電解可能と言われている(参考文献(2))。

実験に用いた電解液を以下に記す。

・中性塩

10%塩化ナトリウム、20%塩化ナトリウム

- ・有機酸
- 10%クエン酸
- (水酸化ナトリウムによって pH を 4、7、11 に調整)
- ・有機酸、中性塩混合液 10%クエン酸+20%塩化ナトリウム

(3)負極材

負極のマグネシウム材として、AZ31合金とその比較として 純 Mg を用いた。AZ31の化学成分組成を表1に示す。

表 1. AZ31 化学成分

Table.1 AZ31 Chemical components.

	化学成分%(m/m)								
	Mg	AI	Zn	Mn	その他元素				
AZ31	残	2.4 ~ 3.6	0.5 ~ 1.5	0.15 ~ 1.0	微量				

(4)評価方法

電解液を変化させ、以下に記す項目について評価した。測定し た電圧はデータロガーに収録した。

・開放電圧

・10 の負荷を接続したときの負荷両端の電圧

<3.2> 正極材の検討

(1)市販電極の評価

市販のカーボン電極とカーボンペーパーそれぞれを正極とし て用いたときの性能を比較した。市販のカーボン電極の外観を 図 5、カーボンペーパーの外観を図 6 に示す。





図 5. カーボン電極 Fig.5 Carbon electrode.

図 6. カーボンペーパー Fig.6 Carbon paper.

(2)作製方法

正極材は図 5 に示す市販のカーボンペーパー (Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-090)を用い、これに表 2 に示す素材を混合したペーストを塗布し作製した。

表2. カーボンペースト構成材料

Table.2 Composition of carbon paste.

構成	名称
主材	グラファイト(C)
副材	アセチレンブラック(AB)
バインダー	ポリフッ化ビニリデン
	(PVDF)
溶媒	1-メチル-2-ピロリドン
	(NMP)
触媒	二酸化マンガン
	(MnO ₂)

作製フローを以下に示す。

材料を混合・攪拌し、ペースト化する カーボンペーパーにペーストを厚さ 0.4mm で塗布する。 90 × 1hr 乾燥させる 荷重 50kg/cm² でプレス成型する(120 × 30min)

(3)評価方法

図 3(b)に示す電池型セルを用いて正極材の評価を行った。このときに使用した電解液は 20%塩化ナトリウム、負極は AZ31を用いた。

実験セル : 電池型セル(図 4(b)) 電解液 : 20%塩化ナトリウム

- 正極 : 主剤グラファイト (SEC カーボン SGP-10)
 触媒添加有無(二酸化マンガン)
 触媒添加量の影響
 アセチレンプラック添加量の影響
- 負極 : マグネシウム合金 AZ31(以下 AZ31 と記す) 評価方法 :開放電圧

10Ωの負荷を接続したときの負荷両端の電圧

<3.3> 定電流放電による容量測定

負極マグネシウムの放電容量測定のため、図7に示す実験セル を作製した。

図4 で示したセル構造(電池型)では、セパレータ中に生成物が 析出するために電圧の低下が早く、マグネシウムを使い切るまで の所要時間が長い、または途中で反応が止まるという問題点があ った。これを解決するために、負極を直接電解液に浸漬させ反応 時の負極に生成する析出物を液中に溶解、拡散または沈殿させる 構造とした。構造を図7に示す。この方法によりマグネシウム電 池の容量測定を行った。正極は電解液の入った容器側面に 14mmの孔を空けた部分に設置した。

測定は以下に記す条件で実施し、負極が完全に溶解した時点で 測定終了とした。

[測定条件]

設定電流 : 10mA/cm² 定電流 反応面積 : 正極 14、負極 15 × 15mm



図7. マグネシウム空気電池の構造(容量測定)

Fig.7 Magnesium-air fuel cell (measurement of the capacity).

4.結果および考察

< 4.1> 電解液の検討

(1)銅 マグネシウム電池

電解液を変化させたときの開放電圧および 10Ω 両端電圧を表 3 に示す。正極には銅板(C1100) 負極には AZ31 を用いた。

電解液として、有機酸、無機酸、低分子結晶、アルカリ、水性

塩を評価したところ、有機酸、中性塩を使用したとき比較的高い 電圧が得られた。また塩化ナトリウムを用いたとき、負極が完全 に溶解するまでに約7日を要した。よって電解液による出力の差 は評価できるが、この実験セルでは出力が小さいため、評価に時 間を要することがわかった。

表 3. 電池性能評価結果

	電解液	開放電圧	10 両端電圧
右幽歌	1% シュウ酸	1.47V	0.35V
19 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1% ウエン酸	1.32V	0.05V
	1% 赤ウ酸ナトリウム	1.56V	0.05V
無機酸	1% 赤ウ酸アンモニウム	1.37V	0.05V
	1%グルコン酸ナトリウム	1.32V	0.03V
低分子	1%ブドウ糖	1.29V	0V
結晶	1%ショ糖	1.25V	0V
71.51	1% リン酸ナトリウム	1.39V	٥V
5 10 13 9	1%水酸化ナトリウム	1.16V	0V
中性塩	1%塩化ナトリウム	1 32V	0 13V

Table.3 Evaluation result of the battery performance.

(2) 空気マグネシウム電池(電池型セル)

表4に負極のマグネシウムをAZ31、純マグネシウムとし たときの開放電圧を比較した結果を示す。また、10 両端の 電圧を3時間測定したときの変化を図8に示す。初期電圧は純 マグネシウムの方が高いが、時間が経過すると純マグネシウム の方が早く低下し、AZ31の方が電圧の低下が緩やかであった。

表 4. 開放電圧の比較(AZ31-純 Mg)

Table.4 Comparison of the open circuit voltage(AZ31-Mg).

水準	電解液	正極	負極	開放電圧
	20%	カーボン電極	AZ31	1.6V
	塩化ナトリウム	(市販品)	純Mg	1.5V



図 8. 10 両端電圧の経時変化 (AZ31-純 Mg) Fig.8 Change over time of voltage both ends 10Ω.

表5に1N 水酸化ナトリウム水溶液でpH 調整したクエン酸溶 液を電解液として用いたときのそれぞれの開放電圧を示す。また、 10 両端電圧の経時変化を図9に示す。pH による開放電圧、お よび10 両端電圧とその変化傾向に差は見られなかった。一般に 酸性領域では自己放電により得られる電流が損失するが、今回行 った条件ではその影響は見られなかった。

表 5. クエン酸溶液の評価 (pH による影響)

Table.5 Result of the evaluation result of citric acid solution (Influence of pH).

水準	電解	電解液		負極	開放電圧
		pH4	ナー ギン 司 広		1.7V
	10%クエン酸	pH7	カーホノ電極 (市販品)	AZ31	1.8V
		pH11			1.7V



図 9. 10 両端電圧の経時変化(クエン酸) Fig.9 Change over time of voltage both ends 10Ω.

クエン酸単体の溶液では、塩化ナトリウムを超える性能が得られなかったことから、クエン酸に塩化ナトリウムを加えた混合液について評価を行った。表6にクエン酸に塩化ナトリウムを加えた混合液と比較としてクエン酸単体、塩化ナトリウム単体の評価結果を示す。また、10 両端電圧の経時変化を図10に示す。

塩化ナトリウムを混合することで性能は向上したが、塩化ナト リウム単体に比べ電圧が低く、反応が安定する傾向も見られなか った。今回の実験条件ではクエン酸の効果で持続的な電解を可能 にすることはできなかった。要因としては、電解液と負極マグネ シウムの接触面が反応の進行とともに減少することが考えられ る。評価に用いたセルには厚み 2mm 程度のセパレータ(不織布) を用いており、ここにマグネシウムからの析出物が堆積するため、 マグネシウム表面への電解液の接触状態が、マグネシウムイオン を溶解させるのに十分ではなくなり、クエン酸の効果が得られな かったと推察する。

表 6. クエン酸、塩化ナトリウム混合液の評価

Table.6 Result of the evaluation result of citric acid solution

水準	電解液	正極	負極	開放電圧
	10%クェン酸,20%塩化ナトリウム	上 长く卸む		1.9V
	10%クエン酸	カーホン電極 (市販品)	AZ31	1.9V
	20%塩化ナトリウム			2.0V



図 10. クエン酸+塩化ナトリウム 10 両端電圧の経時変化 Fig.10 Chronological change both ends of 10Ω.

< 4 . 2 > 正極材の検討

表7 に正極を市販のカーボン電極、カーボンペーパーそれぞれ を用いた場合の性能を比較した結果を示す。カーボンペーパーを 用いた場合には、ほとんど電流が流れなかった。図11 に示す SEM 画像から、カーボンペーパーは網目状の構造であるのに対し市販 電極は緻密な構造であることが確認できる。両者の電気抵抗に差 がないことから、市販の電極のように緻密で、電解液との接触面 積を大きくすることで正極での反応効率が向上し、高い電圧が得 られたものと推察する。

表7.電	即他能評価結果	(市販電極、	カーボンペーパー)
Table.7	Evaluation result	of the batte	ery performance.	

ーレン油	雪椒冻	正極		各场	開放	10 両端
小牛	电肝水	素材	EDS検出元素	贝包	電圧	電圧(V)
	20%塩化	市販電極	C,F,Mn,K,S	Δ731	1.50V	1.16V
	ナトリウム	カーボンペーパー	C,F		1.30V	0.02V



(a) 市販電極 図 11. SEM 画像 Fig.11 SEM-image.

表 8 に酸素還元活性の高い触媒として二酸化マンガン MnO₂の 添加効果を確認した結果を示す。また、10 両端電圧の経時変化 を図 12 に示す。

触媒の添加により、開放電圧が1.8Vから2.0Vに上昇した。負荷をつないだ場合についても初期電圧1.6Vが得られ、添加なしの場合の0.9Vに対し高い電圧が得られた。しかし、電解開始から約2時間で両者はほぼ同等となった。セパレータにマグネシウムからの析出物が堆積したことで正極の性能によらず、負極での反応速度が低下してしまうために電圧低下したものと推察する。

表 8. 二酸化マンガン MnO₂添加の影響 Table.8 Influence of the addition of the Manganese dioxide.

水準 雪銀海				正極		4 43	眼步争正
小牛	电解放	C MnO ₂ AB(g) PVDF10%		貝悭	用瓜电庄		
	20%塩化ナトリウム 0.8g 0% 0.1g	0.8a	Δ731	1.8V			
		0.0y	50%	0. IY	0.8y	AZST	2.0V



国 12. 10 回動電圧の経時受行(MIO₂)初時再無の影響 Fig.12 Chronological change both ends of 10Ω .

表 9 に二酸化マンガンの添加量の影響を確認した結果を示す。 また、10 両端電圧の経時変化を図 13 に示す。

触媒量を3水準で変えたが開放電圧に差は見られなかった。負荷を接続した場合、初期電圧が50%では1.3V、30%および100%では1.1Vであった。50%が良好であるが大差はなく、触媒量を増加させても電池の性能に影響がないことが推察される。

表 9. 二酸化マンガン MnO_2 添加量の影響

-1-38				正極		4 12	
水华	電解波	С	MnO ₂	AB(g)	PVDF10%	貝悭	開放電圧
	20%塩化ナトリウム		30%	Og	0.8g	AZ31	2.0V
		Ь 0.8g	50%				2.0V
			100%				2.0V



図 13. 10 両端電圧の経時変化(MnO₂)添加量の影響) Fig.13 Chronological change both ends of 10Ω.

表 10 にアセチレンブラック(AB)の添加量を 0g, 0.1g, 0.2g とし た時の開放電圧を示す。また、10 両端電圧の経時変化を図 14 に示す。

開放電圧は 3 水準ともに 2.0V で差は見られなかった。負荷を 接続したとき、AB 添加によって高い電圧が得られた(添加なし +0.1V 程度)。また、初期電圧は AB0.1g を添加したとき、1.6V と 高い電圧が得られたが、2 時間後の電圧を計測した結果は添加量 0.2g と同等であった。

表 10. アセチレンブラック添加の影響

Table.10 Influence of the addition of the Acetylene black.

-1-34				4 12			
小华	電解波	С	MnO ₂	AB(g)	PVDF10%	貝悭	開放電圧
	20%塩化ナトリウム			0g			2.0V
		0.8g	50%	0.1g	0.8g	AZ31	2.0V
				0.2g			2.0V





【表面構造の観察】

最も高い初期電圧が得られた、表9水準 (MnO₂,AB 添加)の 正極について表面構造を観察した。SEM 画像を図 15、オージ ェ電子分光分析により測定した元素分布を図 16 に示す。SEM 画像から図 4(a)に示す市販電極と近似した外観であることが確 認できる。また、C および Mn が均一に分布していることが分 かった。



図 15. 正極表面 SEM 画像 Fig.15 SEM-images of carbon electrode



(a) 炭素(C)の分布
 (b) マンガン(Mn)の分布
 図 16. 検出元素の分布
 Fig.16 Distribution of the detection elements.

< 4 . 3 > 定電流放電による容量測定

充放電装置(北斗電工製 HJ-201B)を使用して、定電流での放 電試験により容量測定を行った。設定電流値は、10mA/cm²とし た。その測定結果を表 11、および図 17 に示す。

触媒有無の実験 と の比較から、正極のグラファイトに触媒 として二酸化マンガンを添加することにより高い電圧が保持さ れ、高い質量エネルギー密度が得られることがわかった。二酸化 マンガンの添加により酸素還元が活性化され、正極での反応が促 進されたためと考えられる。また、負極材の異なる実験 と の 比較から、負極として純マグネシウムよりも AZ31 を用いたとき に高い容量を得られることがわかった。純マグネシウムを負極に 用いたとき、AZ31 に比べてガスの発生量が多いことから、自己 放電による影響と推察される。

実用性の点から自然界に存在する溶液である海洋深層水(高濃 縮水 塩濃度13~15%)を電解液として用いた。その結果、10% の塩化ナトリウムと同様な放電曲線が得られた。

また、クエン酸による効果を確認した結果、塩化ナトリウムに クエン酸を加えた電解液では負極が全て溶解する前に電圧が 0.1V以下となったことから容量の測定はできなかった。また10% クエン酸を pH10 に調整した電解液では、電流が流れなかった。 今回の実験条件では、クエン酸添加による効果を確認することは できなかった。

表 11. 容量測定結果

Table.11 The measurement result of capacity.

-12-348		容量		
小午	電解液	正極	負極	(mAh/g)
	10%NaCl		AZ31	1391.1
	10%NaCl +1%クエン酸	カーボンペーパー ³	AZ31	測定不能
	10%クエン酸 ¹	$+MnO_{2}$	AZ31	測定不能
	深層水 2	2	AZ31	1382.7
	10%NaCl		純Mg	591.3
	10%NaCI	MnO。なし ⁴	AZ31	1421.3

1 水酸化ナトリウムで pH10 に調整した

 2 水深 200m 以上の海底で採取したミネラル豊富な海水 全塩濃度は 13~15% (滑川海洋深層水分水施設)

- 3 正極には表10の水準 を用いた
- 4 表 9 ~ で MnO₂の添加なしの正極材を用いた



5 . 結言

本研究では、マグネシウムの理論エネルギーに近い出力のマ グネシウム空気電池を得るため、電解液および正極材について検 討を行った。本研究で得られた知見は以下の通りである。

> マグネシウム空気電池で一般に用いられる電解液である塩 化ナトリウムの性能をベースに電解液の検討を行ったが、 初期電圧、電圧の安定性ともに、塩化ナトリウムを超える 性能は得られなかった。

> 今回検討した正極材、負極材、電解液の組み合わせからマ グネシウム空気電池の理論電圧 2.79V に対して最大 2.0V の開放電圧が得られた。

> 正極材について検討した結果、ペースト化したカーボンを 塗布すること、添加剤として二酸化マンガンおよびアセチ レンブラックを添加することで性能が向上することがわ かった。

> 負極の放電容量を測定した結果、理論容量 2200mAh/g に 対して最大 1400mAh/g が得られた。負極に AZ31 を用いた とき、純マグネシウムを用いたときに比べ高い容量が得ら れること、正極に二酸化マンガンを添加することで高い電 圧が保持でき、高い質量エネルギー密度が得られた。

文 献

(1)	特開 2012-234799	·	マグネシウム燃料雷池
(+ /		•	

(2) 特開 2010-182435:マグネシウム電池

(3) Electrochemistry, No.6(2010)) p529~539: 革新型蓄電池の実現に
 向けて:金属-空気二次電池

(4) リチウム電池の最前線、シーエムシー出版(2013) p123~132:

アルミニウム空気電池

(5)高温学会誌,第 35 巻,第 5 号(2009)p224 ~ 230:燃料電池の原理と 特徴

(6)電池ハンドブック,電気化学会 電池技術委員会編,オーム社 (2010)

(7)電池ハンドブック,David Linden 編,朝倉書店(1996)

.ナノインプリント技術による 金属ナノドットパターン形成に関する研究

Study on formation of the metal nano dot pattern by nanoimprint lithography

升方 康智 MASUGATA Yasutomo 横山 義之 YOKOYAMA Yoshiyuki 坂井 雄一 SAKAI Yuichi

丹保 浩行 TAMBO Hiroyuki 二口 友昭 FUTAKUCHI Tomoaki

Abstract

In recent years, nanoimprint lithography has attracted attention as a next generation micro-fabrication technology. In this method, a mold on which fine nano pattern carved is pressed onto to the object to be processed so that those fine contours are directly transferred to the object. Meanwhile, research on "Plasmonics" aimed to create a new device that utilizes interactions between photon and plasmon, has also extensively advanced.

In this study, we`re aiming at the development of "Plasmonics" device using the nanoimprint lithography. To begin with, Ag nano dot pattern (500 - 150nm in diameter) was fabricatied by nanoimprint method using Ag nano particles. When the absorption spectra of the obtained Ag nano dot pattern was measured, a clear absorption peak attributable to surface plasmon resonance (SPR) was observed. Furthermore, we have successfully confirmed the changes in surface plasmon resonant wavelength that were dependent on refractive index around the Ag nano dot pattern.

1.緒言

<1.1>研究背景

従来、半導体産業における微細加工プロセスには、露光により レジストにマスクパターンを転写した後、エッチングにより素子 を加工するフォトリソグラフィー法が用いられてきた。しかし、 この方法で微細加工を行うには、高額な露光装置を導入する必要 がある。また、光の回折現象により、さらなる微細化に対しては、 物理的な限界も近づいてきている。それに対して、近年、微細な 凹凸の付いたモールド(金型)を押し付けることで、微細加工を 施すナノインプリント法が注目を集めている。この手法を用いれ ば、比較的安価な装置で数十 nm 程度の微細構造の形成が可能で あるため、次世代の微細加工法として盛んに研究が行われている。

一方、微細な金属周期構造における金属内の自由電子と光の相 互作用による表面プラズモン共鳴を制御し、エレクトロニクスへ の応用を目指すプラズモニクスと呼ばれる分野の研究が展開さ れている。媒質中の微小金属球を考えた場合、表面プラズモンの 共鳴波長は、

$$\lambda = \frac{2\pi\nu\sqrt{1+2n^2\varepsilon_0}}{\omega_p} \qquad (1)$$

となる⁽¹⁾。ここで、vは金属中の光速、nは周辺媒質の屈折率、 ε_0

は真空中の誘電率、ω_pは金属のプラズマ振動数である。式(1) は、表面プラズモンの共鳴波長は周辺の媒質の屈折率により変化 することを示しており、タンパク質分子の吸着や溶液濃度の違い に起因する僅かな屈折率の変化を検出できる高感度なバイオセ ンサーの開発が期待されている。

そこで、本研究では、ナノインプリント法を用いて、微細な金 属周期構造(Ag ナノドットパターン)の作製を試みた。また、 得られたパターンを利用して、表面プラズモン共鳴現象の観測を 試みた。さらに、Ag ナノドットパターン周囲に空気とは屈折率 の異なる物質を吸着させた際の共鳴波長の変化を観測し、バイオ センサーへの応用を検討した。

<1.2> 直接ナノインプリント法

ー般的なナノインプリント法では、加工対象物の上に形成した レジスト膜にモールドを押し当て、微細なパターンを一旦レジス ト膜へと転写する。次に、このレジスト膜をマスクとしてエッチ ング処理を行い、加工対象物の加工を行う。これに対し、加工対 象物に直接モールドを押し当てパターンを転写する方法が、直接 ナノインプリント法である。この手法を用いれば、より少ないプ ロセスで微細加工を施すことが可能になる。

<1.3> 金属ナノ粒子インク

直接ナノインプリント法により微細加工を施す場合、加工対象 物が金属のような硬い場合、直接モールドを押し込むには、数 GPa 以上の高圧でプレスする必要がある。これには、大型の装置 を必要とする。そこで、我々は、金属ナノ粒子インクを加工対象 の材料として用いて、小型で安価なナノインプリント装置での転 写を試みた。金属ナノ粒子インクは、直径数 nm の金属ナノ粒子 が溶剤中に均一に分散しているものである。個々の金属ナノ粒子 は、凝集を防ぐための分散剤で取り囲まれているので、溶剤を蒸 発させて得られる塗膜は、そのままでは導電性を持たない。加熱 によって分散剤を燃焼・脱離させ、さらに、金属ナノ粒子同士を 融着させる焼結プロセスを行うことによって、導電性が発現し、 デバイスとして使用できるようになる。この時、ナノサイズ化さ れた金属粒子は比表面積が大きく、高い表面エネルギーを有して いるため、バルクの融点よりもはるかに低い温度で粒子同士の融 着が生じる。そのため、分散剤の燃焼・脱離に必要な比較的低温 の加熱の際に、ナノ粒子同士の融着も同時に進行する。

2.実験方法

< 2 . 1 > 金属ナノ粒子インク

金属ナノ粒子インクとして、平均粒径 10nm の Ag ナノ粒子を 溶剤中(テトラデカン)に分散させた Ag ナノメタルインク(ア ルバック製)を用いた。溶剤を揮発させて得られる塗膜、および、 焼結プロセスを行った後の塗膜の観察には、電界放出型走査型電 子顕微鏡(FE-SEM、JSM-6301F、日本電子製),走査型プローブ 顕微鏡(SPM、Dimension Icon、ブルカーAXS 製)を用いた。ま た、塗膜の導電率の評価は、4 探針法で行った。

<2.2> ナノインプリント用モールド

ナノインプリント用モールドには、石英モールド(協同インタ ーナショナル製)と、レプリカ法を用いて複製したシリコーン樹 脂モールド(素材;ポリジメチルシロキサン(PDMS)、 SYLGARD184、ダウコーニング製)を用いた。レプリカ法では、 マスターとなるモールド(石英やニッケルモールド)に、液状の PDMS を滴下した後、加熱硬化(150、30min)させることで、 マスターモールドの反転パターンを有する PDMS モールドを作 製することができる。PDMS モールドは、柔軟性・ガス透過性が あるだけでなく、安価に多数個複製できるため、モールドに汚れ や破損があった場合に、すぐに新品に交換できるメリットがある。 図1に、レプリカ法により作製した直径 500mm、深さ 500nmのホ ールパターンを有する PDMS モールドの写真と SPM 像を示す。



図1. レプリカ法により作製した PDMS モールド (a)外観写真、(b) SPM 像 Fig.1 PDMS mold prepared by replica method.

また、通常の PDMS (SYLGARD184)よりも硬い PDMS (Hard-PDMS)を用いたモールドの作製も行った。Hard-PDMS モールドは、VDT-731 (Gelest 製) 3.4g、 SIP6831.2LC (Gelest 製) 18µl、2,4,6,8-tetramethyltetravinylcyclotetrasiloxane (Sigma-Aldrich 製) 50µl、HMS-301 (Gelest 製) 1gを混合して マスターモールド上に滴下し、予備硬化 (60、30min)させた 後、通常の PDMS (SYLGARD184)を更にその上に滴下して加熱 硬化 (150、30min)させたものである⁽²⁾。このような2 層構造 にするのは、Hard-PDMS のみでモールドを作製した場合、非常に 脆く取扱いが難しくなるためである。通常の PDMS (SYLGARD184)の Type A ゴム硬度が A 50 であるのに対して、 Hard-PDMS は、より硬い A 76 であった。

<2.3> ナノインプリントプロセス

はじめに、固形分濃度 30wt%に調整した Ag ナノ粒子インクを、 酸素プラズマ装置 (PR301、ヤマト科学製)で洗浄したガラス基 板上にスピン塗布した。次に、ナノインプリント装置 (ナノイン プロ Type 105、アイトリックス製)で、微細な凹凸を有するモー ルドを押し当て、所定の圧力で1分間保持し、パターンを転写し た。その後、導電性を確保するための焼結を、モールド離型後、 もしくは、プレス状態を維持したまま行った。用いたナノインプ リントプロセスを図 2 に示す。得られた Ag ナノパターンの形状 は、FE-SEM、SPM により測定した。



```
図2. 金属ナノ粒子インクを用いた直接ナノインプリント
(プレス状態を維持したまま焼結の場合)
```

Fig.2 Direct nanoimprint process using Ag nano metal ink.

< 2 . 4 > 表面プラズモン共鳴の観測

紫外・可視・近赤外分光光度計(Cary 500 scan、Varian 製)を 用い、透過法により、作製した Ag ナノパターンの吸収スペクト ルを測定した。表面プラズモン共鳴現象が発現すれば、入射光の 中の表面プラズモン共鳴に対応した特定の波長の光だけが強く 吸収され、吸収ピークが観測される⁽³⁾。

さらに、異なる屈折率を持つ種々の溶媒に、Ag ナノパターン を浸漬し、パターン周囲の屈折率を変化させて吸収スペクトルを 測定した。屈折率変化に対する吸収ピーク位置のシフト量から、 表面プラズモン共鳴の屈折率応答性を求めた。

<2.5> タンパク質分子の検出

蛍光物質 FITC で標識された Avidin タンパク質のリン酸緩衝液 (Avidin 濃度 0.5mg/ml、pH7.4)を作製した。これを Ag ナノパタ ーン上に滴下し、15 分間静置させて、Ag 表面に Avidin タンパク 質を吸着させた。その後、洗浄によって未吸着の余分なタンパク 質を除去した。Ag ナノパターンへの Avidin タンパク質の吸着は、 蛍光顕微鏡(IX 71、オリンパス製)で FITC からの蛍光シグナル を観察することで確認した。紫外・可視・近赤外分光光度計で、 タンパク質吸着前後の吸収スペクトルを測定し、表面プラズモン 共鳴に起因する吸収ピーク位置の変化を測定した。

3.実験結果

<3.1> Ag ナノ粒子インクの焼結温度

はじめに、Ag ナノ粒子インクをスピンコートして得られた平 坦な塗膜に対して、種々の温度で1時間焼結を行った。焼結によ る膜厚および膜構造の変化を、断面 SEM 観察によって調査した。 また、焼結温度と表面抵抗率の関係を、4 探針法を用いて計測し た。その結果を、図3および図4に示す。

120 での焼結では、溶剤は蒸発し乾燥した塗膜状態ではある ものの、膜厚は厚いままでナノ粒子を取り囲んでいる分散剤の脱 離・燃焼は始まっていなかった。そのため、導電性も発現してい なかった。200 以上の焼結では、分散剤の脱離・燃焼が始まり 膜厚の大きな減少が見られた。それに伴い、Ag ナノ粒子同士の 融着が進行したと思われ、塗膜に導電性が発現するようになった。 しかし、より高温の 280 以上での焼結を行うと、大きなボイド が著しく発生し、塗膜の凹凸が激しくなってしまった。以上より、 比較的平坦な膜を維持しながら、なるべく高い導電性が得られる 230 付近での焼結が、最も適していることが分かった。



図 3. 種々の温度で 1 時間焼結後の Ag ナノ粒子塗膜の断面 SEM 像 (a) 120 、(b) 200 、(c) 230 、(d) 280

Fig.3 Cross-section SEM images of Ag nano particles film after

sintering process at various temperature.



<3.2> ナノインプリントによる微細パターン転写

Ag ナノ粒子インクを用いて、直接ナノインプリント法により、 比較的大きなドットパターン(直径 500nm、高さ 500nm)の形成 を試みた。その結果を図 5 に示す。はじめに、Ag ナノ粒子イン クを基板にスピンコート後、溶剤を揮発させ乾燥した状態の塗膜 に対して、石英モールドでナノインプリントを行った。転写時の 圧力は 12.5MPa とした。部分的に良好なパターンが形成されてい るものの、パターンは全面に形成されておらず、転写できていな い領域が多数存在した(図 5a)。これは、乾燥状態の塗膜には充 分な流動性がないため、モールドを完全に押し込むことが出来な かったためと思われる。

そこで、塗膜を乾燥させずに、流動性のある液状のままでモー ルドを押し当てて、ナノインプリントを行った。石英モールドを 用いた場合には、モールド押し当て中に溶剤を揮発させるための 加熱を行っても、溶剤を吸収・透過することができず、離型後も 塗膜は液状のままでパターンを転写することは出来なかった。そ れに対して、PDMS モールドを用いた場合は、僅か0.13MPaの低い転写圧力で、広い面積で均一なナノパターンを得ることができた(図 5b)。これは、流動性の高い液状の塗膜にモールドを押し込めたこと、PDMS モールドを用いることで押し当て中に溶剤を吸収・透過させることができ塗膜を乾燥できたこと、さらには、PDMS モールドが柔軟性を有していることにより基板や塗膜に多少のうねりが存在していても、しっかりとモールドが追従できたためと考えられる。



図 5. 直径 500nm の Ag ナノドットパターンの SEM 像 (a) 乾燥状態の塗膜に対して、石英モールドで転写した場合 (b) 液状の塗膜に対して、PDMS モールドで転写した場合 Fig.5 SEM images of Ag nano dot pattern (ca. 500 nm in diameter).

PDMS モールドにより作製した Ag ナノドットパターンを、 FE-SEM と SPM を用いて、さらに詳細に観察した(図6)。均一 なドットアレイパターンが得られていること、また、ドットパタ ーンの直径は約400nm、高さは約450nm であり、モールド側の寸 法(直径500nm、高さ500nm)に対して若干収縮しているものの 比較的良好な転写ができていることが確認できた。



図 6. PDMS モールドで転写した Ag ナノドットパターンの高倍率像 (a) SEM 像(b) SPM 像

Fig.6 SEM and SPM images of Ag nano dot pattern using PDMS mold.

次に、PDMS モールドを用いた直径 500nm の Ag ナノパターン の作製と同様の手順で、より微細な Ag ドットパターン(直径 150nm、高さ 150nm)の作製を試みた。得られた微細パターンを SPMで観察した結果を図7に示す。多少の粗さは見られるものの、 直径約 150nm、高さ約 120nm の Ag ナノドットパターンが形成さ れていることが分かった。プラズモニクスをセンサーや光通信デ バイスへと応用する場合、検出感度や通信速度の面から、振動数 の高い短波長の光で表面プラズモン共鳴を励起できた方が有利 である。表面プラズモン共鳴を励起する波長は、金属パターンの サイズに依存し、パターンサイズが小さくなるほど短い波長の光 で表面プラズモン共鳴を励起することが可能になる。



図 7. 直径 150nm の Ag ナノドットパターンの SPM 像 Fig.7 SPM images of Ag nano dot pattern (ca. 150nnm in diameter).

<3.3> Agナノドットパターンの焼結

Ag ナノ粒子同士を融着させて、表面プラズモン共鳴の発現に 必要な導電性をナノドット毎に確保するための焼結プロセスに ついて検討した。はじめに、モールドを離型し Ag ナノパターン を得た後に、焼結(230、30min)を行った結果を図 8 に示す。 直径 500nmの Ag ナノドットパターンでは、焼結を行うことによ り分散剤が脱離・燃焼したことによってパターン全体が収縮して いるものの、ドットパターンは維持されていることが分かった (図 8a)。それに対して、より微細な 150nm パターンでは、ドッ トパターンが大きく崩れてしまうことが確認された。



図 8. 沖船後の Ag リアドッドバターンの SPM 像 (a) 500nm パターン、(b) 150nm パターン

Fig.8 SPM images of Ag nano dot pattern after sintering process.

焼結による Ag ナノ粒子の変化をより詳細に調べるため、ドットパターンのない平坦膜を用いて、焼結(230、1h)する前後の膜表面を SPM により観察した。その結果を図9に示す。焼結前には、直径10nmの Ag ナノ粒子自体による凹凸が存在するが、 ほぼ平坦であることが確認できた(図9a)。これに対し、焼結後には、粒成長の結果と思われる約250nm 程度の粒が形成され、膜面に大きな凹凸が発生していることが分かった(図9b)。この結 果から、直径150nm 程度の微細なドットパターンの場合、焼結後 にも形状を維持させるためには、焼結時の粒成長を大幅に抑える プロセスが必要であることが分かった。



Fig.9 SPM images of Ag nano particles film before and after sintering.

そこで、ナノインプリント中に、モールドを押し付けながら焼 結を行い、モールドからの圧力で粒成長を抑え込むプロセスを検 討した。なお、焼結後にモールドの離型を行うこのプロセスでは、 離型の際に、Ag パターンがガラス基板表面から剥離しモールド 側に持っていかれてしまう現象が多発するようになった。そのた め、ガラス基板上に、密着改良剤として、Ag と強く結合できる チオール基を末端に有するシランカップリング剤 (3-Mercaptopropyltrimethoxysilane)の塗布をあらかじめ行った。 モールドを押し付けながら焼結を行うプロセスにより作製した 直径150nmのAgナノドットパターンのSPM 像を図10に示す。 モールドからの圧力により焼結時の粒成長が抑えられ、焼結後も ナノドットパターンが維持されていることが分かった。



直径 150nm の Ag ナノドットパターンの SPM 像 Fig.10 SPM images of Ag nano dot pattern (ca. 150nm in diameter) after sintering process while pressing by mold.

<3.4> パターン残膜の低減

表面プラズモン共鳴を観測するために、透過法を用いて吸収ス ペクトルを測定するには、Ag ナノドットパターンとガラス基板 の間に存在する残膜を極力薄くし、入射光がある程度透過できる ようにする必要がある。また、Ag ナノパターンを電子デバイス の微細な配線として利用することを考えても、残膜が薄い方がパ ターン分離のためのエッチングが容易になる。これらのことから、 残膜厚を低減するための検討を行った。

図11に、これまでのPDMS(SYLGARD184)モールドで作製 した直径150nmのAgナノドットパターンと、より硬いPDMS (Hard-PDMS)モールドで作製したパターンのSPM像を示す。 どちらも、モールドを押し付けながら焼結を行ったものである。 意図的にパターンの一部に傷をつけ、ガラス基板の表面を露出さ せてできた段差部分を観察した。これまでのPDMSモールドで作 製した場合は、残膜が150~170nmと厚く、光を十分に透過するこ とが出来ないと考えられる(図11a)。これに対し、Hard-PDMS モールドを用いて作製した場合は、残膜が全体的に大きく減少し、 残膜が0nm近くになっている部分も存在することが分かった。硬 いHard-PDMSを用いることで、加圧時のモールドの変形を防ぎ、 加圧力がより正確にAgナノ粒子の塗膜に伝わってモールドが深 く食い込むことで、残膜厚を低減することが出来たと考えられる。



図 11. 異なる硬さのモールを用いた Ag ナノドットパターンの SPM 像 (a) これまでの PDMS (SYLGARD184) モールド (b) Hard-PDMS モールド Fig.11 SPM images of Ag nano dot pattern using the mold of two different hardness.

<3.5> 表面プラズモン共鳴の観測

Hard-PDMS モールドを用いて残膜を低減し、モールドを押し付けながらの焼結によってナノドット毎の導電性を確保した直径150nmのAgナノドットパターン、および、比較のために同様のプロセスで作製したドットパターンの無いAg平坦膜に対して、吸収スペクトルを測定した。その結果を図12に示す。平坦膜では、この波長領域に吸収ピークは観測されなかったのに対し、Agナノドットパターンでは、波長370nm付近に大きな吸収ピークが観測された。これは、Agナノドットパターンで表面プラズモン共鳴が励起されたことによる吸収ピークであると考えられる。なお、320nm以下に見られる吸収は、ガラス基板によるものである。



図 12. 直径 150nm の Ag ナノドットパターンと平坦膜の吸収スペクトル Fig.12 Absorption spectrum of Ag nano dot pattern and Ag flat film.

次に、Ag ナノドットパターン周囲の屈折率 n の変化に対する共 鳴波長の変化を観測するため、屈折率の異なる種々の溶媒中で、 吸収スペクトルの測定を行った。その結果を図 13 に示す。周囲 の溶媒の屈折率が大きくなるにつれて、吸収ピークの位置は長波 長側へとシフトすることがわかった。周囲が空気 (n=1.00)の場 合と比べた共鳴波長のシフト量は、水 (n=1.33)では 47nm、エ タノール (n=1.36)では 55nm、テトラヒドロフラン (n=1.41) では 59nm、トルエン (n=1.50)では 74nm であった。屈折率に 対する吸収ピークのシフト量をプロットすると、屈折率の変化に 対して共鳴波長が一次関数的に変化していた (図 14)。直線の傾 きから求めた共鳴波長の屈折率応答値は、約 150 であった。





Fig.13 Absorption spectrum measured in various solvent.





<3.6> 屈折率応答を利用したタンパク質の検出

表面プラズモン共鳴を利用したバイオセンサーへの応用に向けて、Agナノドットパターン表面へのタンパク質吸着による吸収スペクトルの変化を観測した。直径150nmのAgナノドットパターン表面に対して、Avidin タンパク質を吸着させ、その前後の吸収スペクトルを比較した(図15)。測定は空気中で行い、パターン表面へのタンパク質の吸着反応は、蛍光顕微鏡による蛍光観察であらかじめ確認した。Agナノドットパターン表面に Avidin タンパク質が吸着することにより、吸収ピークの位置が約5nm 長波長側へとシフトした。これは、有機物である Avidin タンパク質がパターン表面に付着したことにより、Agナノドットパターン表面近傍の屈折率が僅かに変化し、表面プラズモンの共鳴波長がシフトしたためであると考えられる。



図 15. Avidin タンパク質の吸着による吸収スペクトルの変化 Fig.15 Absorption spectrum before and after adsorption of avidin protein.

4. 結言

本研究では、Ag ナノ粒子インクを用いた直接ナノインプリン ト法により、直径 500nm、150nm の Ag ナノドットパターンを作 製した。焼結後の Ag ナノドットパターンの吸収スペクトルを測 定する事により、表面プラズモン共鳴による吸収ピークを観測し た。さらに、パターン周囲の屈折率の変化に伴う共鳴波長のシフ トを確認し、この共鳴波長の屈折率応答を利用して、Ag ナノド ットパターン表面へのタンパク質の吸着を検出した。

文 献

- 加沢エリト、他:金属ナノドットアレイのLSPR 特性 東京都立産 業技術研究センター研究報告 (2011)
- (2) Teri W. Odom et al. : Improved Pattern Transfer in Soft Lithography Using Composite Stamps, Langmuir, 18, 5314-5320 (2002),
- (3) 山田淳、他: プラズモンナノ材料開発の最前線と応用 シーエムシ 一出版 (2013)

「 接 着 剤 を 用 い な い 異 種 材 料 の 超 音 波 接 合 に 関 す る 研 究 」 グ ル ー プ の 研 究 活 動 風 景





「スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究」グループの研究活動風景





「 単 層 カ ー ボ ン ナ ノ チ ュ ー ブ に 関 す る 研 究 」 グ ル ー プ の 研 究 活 動 風 景





(付 - 3)

「極低容量水力発電システムの研究」グループの研究活動風景





「 マ グ ネ シ ウ ム 燃 料 電 池 の 開 発 」 グ ル ー プ の 研 究 活 動 風 景





「ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究」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

27年間の研究テーマ数:172テーマ(昭和62年度~平成25年度) 参加研究員延べ人数:331名(指導機関の研究員を除く)

昭和62年度(第1回)研究テーマと研究参加者(3テーマ、12名)

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

昭和63年度(第2回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、21名)

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

古瀬正浩(㈱インテック) 堀井 孝(エルコー㈱、現コーセル㈱) 指導機関:高志リハビリテーション病院 平成1年度(第3回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、19名)

- 樹脂・ファイバー複合材に関する研究
 池田秀男・高柳敏信(㈱タカギセイコー)上段一徳(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)
 柳原 潔(㈱黒田精型)
 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究 圧電薄膜音響光学素子の開発
 - 小西孝浩(タカノギケン㈱) 滝川義弘・煙田不二男(燐化学工業㈱) 平能 司(㈱和泉電気富山製作所) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. **焦電型赤外線センサに関する研究 RFマグネトロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製** 山田義昭(東洋化工株)、吉田孝一(株タカギセイコー)、吉野正浩(吉田工業株)現YKK株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究 越浜哲夫(㈱不二越)、西田達也(北陸電気工業㈱)、前坂昌春(エルコー㈱、現コーセル㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5.障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究 機能的電気刺激のための上肢機能シミュレー タの研究開発
 - 古瀬正浩(㈱インテック) 堀井 孝(エルコー㈱、現コーセル㈱) 指導機関:高志リハビリテーション病院
- 6.超音波メガネの研究
 中村 亮(北日本電子株)、中山正明(株和泉電気富山製作所)
 指導機関:富山大学工学部

平成2年度(第4回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、16名)

- 1.磁性薄膜の応用に関する研究-倍周波型磁気センサの開発 越浜哲夫(㈱不二越)、高島、誠(エルコー㈱、現コーセル㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究 高柳敏信(㈱タカギセイコー)田村正行(吉田工業株)現YKK株) 柳原 潔(株黒田精型) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究 尾畑哲史(株和泉電気富山製作所)山田義昭(東洋化工株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究 煙田不二男 (燐化学工業株)) 若林成喜 (北陸電気工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 画像による寸法計測に関する研究 石黒哲也(㈱タナカエンジニアリング) 窪池義文(エルコー㈱、現コーセル㈱) ・西浦慎一・村井哲雄(㈱タカノギケン) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6.超音波杖の開発
 - 中村 亮(北日本電子㈱) 堀登紀男(㈱和泉電気富山製作所) 指導機関:富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究 - 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究 土田隆一(立山科学工業株) 指導機関:高志リハビリテーション病院

平成3年度(第5回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、14名)

- 1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究 光書き込み型メモリの開発
 - 玉川 勤(北陸電気工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究 桜栄和則(㈱タカギセイコー)田村正行(吉田工業株)現YKK株)柳原 潔(株黒田精型) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 3. 画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究 荒木満男(㈱タナカエンジニアリング) 西浦慎一(㈱タカノギケン) 山本達生(エルコー㈱、現コーセル㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究 尾畑哲史(株和泉電気富山製作所)山田義昭(東洋化工株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究 岩田雅明(北日本電子株)、島野英明(株インテック) 指導機関:富山大学工学部
- 7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究 土田隆一(立山科学工業株)) 指導機関:高志リハビリテーション病院

平成4年度(第6回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

- 1.マイクロマシンに関する研究 白石信行(コーセル株)、新谷哲也(北陸電気工業株)、吉井靖岳(株タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.薄膜微細加工技術の研究 トランスの試作 伊勢寿夫(コーセル株)、戸田雅規(株不二越) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3.形状測定装置の開発に関する研究 野末昌朗(立山アルミニウム工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4.透明プラスチック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株) 長峰浩幸(株タカギセイコー) 本堂 裕(株斎藤製作所) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 短音節認識による音声-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

(付-9)

- 6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
 - 土田隆一(立山科学工業株) 指導機関:高志リハビリテーション病院

平成5年度(第7回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

- 1.機能性膜の微細加工に関する研究 磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作 伊東 守(コーセル株) 森田智之(北陸電気工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.マイクロマシンに関する研究 川西和昭(三協アルミニウム工業株)後藤 肇(コーセル株) 佐々木啓充(株タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 有機電子材料に関する研究 雨野孝信(㈱タカギセイコー) 堀田正人(東洋化工株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4.リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究 黒川寛幸(北陸電気工業株)山口 睦(燐化学工業株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. RIMのCAEに関する研究 杉田孝嗣(三協アルミニウム工業株)) 中村和禎(株タカギセイコー) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6.障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究()

五十嵐隆治(立山アルミニウム工業㈱) 指導機関:高志リハビリテーション病院

平成6年度(第8回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、16名)

- 1.視覚システムを持つ移動ロボットの開発
 - 小山直人(㈱タカギセイコー)、寺本正夫・杉谷健(コーセル㈱) 中村厚平(エヌアイシ・オートテック㈱)、松田英雄(㈱タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.機能性薄膜と半導体の複合素子の開発 高柳 殻(コーセル株)、田村雅英(北陸電気工業株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3.リン酸エッチング液の基礎研究
 - 山口 睦 (燐化学工業株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4.傾斜機能膜素子の開発
 - 市川良雄(富山軽金属工業㈱) 福本 滋(北陸電気工業㈱) 三松克次(㈱タカギセイコー) 山下慎也(㈱タナカエンジニアリング)
 - 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5.3次元入力デバイスの開発-(バーチャルリアリティ用)
 - 細木文夫(三協アルミニウム工業株)横山 大(長岡技術科学大学) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所

6.障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(2) 五十嵐隆治(立山アルミニウム工業株)米谷庄一(三協アルミニウム工業株)

指導機関:高志リハビリテーション病院

平成7年度(第9回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、15名)

- 1.視覚システムを持つ移動ロボットの開発(2) 大浦真司(三協アルミニウム工業株))高田謙一(コーセル株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究 永森和久(㈱タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3.電子回路用ウエットエッチング液の開発 山口 睦(燐化学工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発 高橋伸忠(㈱タカギセイコー)能村輝一(北陸電気工業㈱)山下慎也(㈱タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 微動機構による機械の高度化の研究 佐野仁一(東洋化工株)
 - 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6.薄膜超磁歪素子の研究 酒井隆正(コーセル株))谷上英樹(北陸電気工業株))
 - 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 7.レドックス型太陽発電システムの開発

市川良雄・大橋伸一(富山軽金属工業㈱) 三井清隆(㈱タナカエンジニアリング) 長谷川益夫(富山県林業技術センター木材試験場) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 8.障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(3)
- 五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業株) 指導機関 : 高志リハビリテーション病院

平成8年度(第10回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、15名)

1.機能性薄膜を用いたマイクロポンプの研究

三松克次・笹島和明(㈱タカギセイコー)田島正康(㈱タナカエンジニアリング) 田中 篤(北陸電気工業㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究
- 松井裕昭 (㈱タナカエンジニアリング) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. レドックス型太陽発電システムの開発(2) 市川良雄(富山軽金属工業㈱)田畑裕信(中越合金鋳工㈱) 三井清隆(㈱タナカエンジニアリング) 長谷川益夫(富山県林業技術センター木材試験場) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 4. 複数のロボットによる協調制御の研究
 - 金田淳也(コーセル株)、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(コーセル株)

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)

- レドックス型太陽発電システムの開発(3)
 市川良雄(富山軽金属工業㈱)田畑裕信(中越合金鋳工㈱)野中義夫((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(コーセル株))角谷哲哉(北陸電気工業株))小島理敬(三協アルミニウム工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 4.電力変換用圧電セラミックストランスの開発

堀井一宏(コーセル株) 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(株斉藤製作所)高橋 聡(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 稲垣 聡(北陸電気工業株))渡辺暁信(田中精密工業株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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(コーセル株)、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(㈱斉藤製作所)

指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 5.微細放電加工の研究 太田光則(㈱斉藤製作所)橋本明(田中精密工業㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 6.電磁シールド材の基礎研究 高橋伸忠(㈱タカギセイコー)福田隆之(コーセル㈱) 指導機関:工業技術センター中央研究所

平成11年度(第13回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

- 1.エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価 島村和彦(田中精密工業㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.コーティング工具の密着性向上に関する研究(2) 高田智哉(田中精密工業株)) 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㈱)、坂本雅美(㈱斉藤製作所)、長谷川益夫(木材試験場)、小善圭一(水産試験場) 指導機関:工業技術センター中央研究所
- 4.山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究 前田智博(立山科学工業株))高瀬 洋(県警察本部) 指導機関:工業技術センター中央研究所
- 5.インテリジェントにおいセンサの開発 小森一哉(北陸電気工業株)、石川勝巳(コーセル株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 6.微細放電加工の研究(2)
 太田光則(㈱斉藤製作所)
 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 7.機能性高分子を用いたアクチュエータの開発研究 小中稔正(YKK㈱)山田浩美(東洋化工㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 8. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究 高橋伸忠 (㈱タカギセイコー) 指導機関:工業技術センター中央研究所

平成12年度(第14回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

1.「ANSYS」を使用した動的機構解析の応用 島村和孝(田中精密工業株))

指導機関:工業技術センター機械電子研究所

2.インテリジェントにおいセンサーの開発(2) 小森一哉(北陸電気工業株)、谷口真也(コーセル株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部 3. 高摩擦係数材料の開発

高田智哉(田中精密工業株))

指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 4.木粉末を配合したプラスチックスリサイクル材の研究
 酒井康弘(㈱タカギセイコー)前田健二(立山アルミニウム工業株)
 指導機関:工業技術センター中央研究所
- 5.低温駆動型小型燃料電池の開発に関する基礎研究 高橋雄一(コーセル株)、山田浩美(東洋化工株) 指導機関:工業技術センター中央研究所

平成13年度(第15回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

- 1. 滑雪板(着雪防止版)の開発 河井牧夫(田中精密工業㈱) 高橋伸忠(㈱タカギセイコー) 野田耕司(三協アルミニウム工業㈱) 石井 雅(富山県土木部) 指導機関:工業技術センターPJ・中央研究所
- 2.分子機能材料を用いた光電池の研究開発 濱口 誠(コーセル株))

指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 3.高摩擦係数材料の研究(2) 高田智哉(田中精密工業株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4.木粉末を配合したプラスチックリサイクル材料の研究 酒井康弘(㈱タカギセイコー)前田健二(立山アルミニウム工業株) 指導機関:工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部
- 5.ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発 小出哲雄(コーセル株)、坂本雅美(株斉藤製作所) 指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
- 6.体質診断用DNAチップと測定装置の開発 水島昌徳(立山科学工業株))川上浩美(東洋化工株) 指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所
- 7.マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発 桑原大輔(北陸電気工業株)) 指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所、富山大学工学部、JST
- 8.アルミ表面解析技術の高度化に関する研究
 - 澤井 崇(武内プレス工業株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所

平成14年度(第16回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、13名)

- 1.ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2) 石見雅美(株斉藤製作所) 稲澤直子(コーセル株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 2.生活習慣病等体質診断用DNAチップと評価機器の開発(2) 碓井洋平(立山科学工業株)、水原 崇(コーセル株)、米嶋勝宏(東洋化工株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ・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・PJ、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・PJ
- 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PJ・中央研究所
- 7. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発 山田英子(立山科学工業株)) 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(株斉藤製作所)魚谷一成(コーセル株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 2.生活習慣病等体質診断用DNAチップ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(コーセル株)、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(コーセル株)、碓井洋平(立山科学工業株)、深沢正樹(立山マシン株) 宝泉重徳(東洋化工株)) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構 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(コーセル株)、石見雅美(株斉藤製作所) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 5.薄膜超低温度特性抵抗器の開発(2) 桑原大輔(北陸電気工業㈱) 指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
- 6.環境適応型インテリジェント窓の開発 堀 剛文・松田 力(立山アルミニウム工業株)) 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㈱) 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.小型燃料没質器を用いた燃料電池の開発(2)

小杉京平(コーセル株)、太田光則(株斉藤製作所) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発(2)

- 上谷聡史(コーセル㈱) 深沢正樹(立山マシン㈱) 中田守人(東洋化工㈱) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構
- 3.薄膜超低温度特性抵抗器の開発()
 - 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()
 - 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(コーセル株)、深沢正樹(立山マシン株) 指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県新世紀産業機構
- 2.マイクロTASチップの開発
 - 嶋将伸(コーセル株))

指導機関:工業技術センター中央研究所・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 (㈱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㈱) 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 曽根宏信 (燐化学工業株)) 指導機関:富山県立大学工学部、工業技術センター中央研究所
- 2. **肉盛リ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㈱) 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(コーセル株)、遠藤 亮(三協立山アルミ株) 富山県工業技術センター機械電子研究所
- 5. 三次元座標測定機における測定信頼性向上に関する研究 中橋秀記(立山マシン(株))

(付-17)

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(コーセル株)) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

平成20年度(第22回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

- 1.マイクロリアクタによる反応制御方法に関する研究 大橋裕之(燐化学工業株)、梅原洋平(コーセル株)) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
- 2. 空中超音波を用いた空間温度計測システムの研究 正源浩之(コーセル株)、木下正之(立山科学工業株) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
- 3.ダイカスト金型材料の接合技術の開発 花崎裕美(田中精密工業㈱)、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(コーセル(株))日出嶋宗一(立山マシン(株)) 富山県工業技術センター機械電子研究所
- 3. 線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術 山根幸治(コーセル株)、細川修宏(株タカギセイコー) 富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 4.ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2) 中田雄三(田中精密工業株) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部
- 5.スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発 斉藤洋輔(コーセル株)、若林 傑(立山科学工業株) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

(付-18)

平成22年度(第24回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

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

平成23年度(第25回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、7名)

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

平成24年度(第26回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、10名)

- 1. MDF木屑からのバイオエタノール抽出技術の開発 羽根新太郎(三協立山㈱) 富山県工業技術センター機械電子研究所
- 2.マグネシウムイオン2次電池に関する研究 作道千枝(燐化学工業株)) 富山県工業技術センター機械電子研究所
- 3. ナノインプリントを応用した微細電極パターンの形成に関する研究 大門貴史(北陸電気工業株)) 富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

(付-19)

4.小水力発電システムの研究

```
中瀬典章(コーセル株)、荒井勇人(立山科学工業株)、熊澤周士(株タカギセイコー)
富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部
```

- 5.受動的歩行ロボットの開発 水上慎太郎(コーセル株)、若崎祥人(立山マシン株)) 富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 6.積層鋼板の磁気特性に関する研究(2)

藤岡英示(田中精密工業株)

富山県工業技術センター機械電子研究所、谷野技術士事務所、富山大学大学院理工学研究部

7.5W電源の電磁ノイズのシミュレーション

野口拡 (コーセル株) 富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

平成25年度(第27回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、7名)

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

会員企業

平成26年3月13日現在(50音順)

	企業	名	代表	者名	運営	委員	電話番号
1	エヌアイシ・オート	テック(株)	西川	浩司	大茂	達朗	076-462-0578
2	コーセル株		谷川	正人	安田	勲	076-432-8151
3	㈱斉藤製作所		齊藤	行男	齊藤	行男	076-468-2727
4	三協立山(株)		山下	清胤	宇野	清文	0766-20-2366
5	(株)タカギセイコー		笠井	千秋	中村	清澄	0766-24-5522
6	タカノギケン(株)		高野	惠子	瀧森	幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業㈱		武内	繁和	駒井	義時	076-441-1856
8	立山科学工業株		水口町	9—郎	森喜	喜代志	076-483-3088
9	立山マシン(株)		宮野	兼美	市川	吉晴	076-483-4123
10	田中精密工業㈱		田中	一郎	櫛田	孝隆	076-451-7651
11	東洋化工㈱		中田	守人	中田	守人	076-475-2125
12	長柄鉄工㈱		長柄	勝	長柄	大介	0766-22-3170
13	北陸電気工業㈱		津田	信治	上野	之久	076-467-1111
14	燐化学工業株		安田	陽一	稲生	吉一	0766-86-2511
事務局	品:(公財)富山県新世紀	己産業機構内	529 TEL	:076-444-56	607 (角崎雅博、加茂真理子)		

研究会員

氏		名	5	所属		役 職		学 位		電話番号			
研究律	簙												
石	黒	智	明	工業技術センター構	機械電子研究所	機械シス	テム課長	博士(工学)	076-433-5466			
岩	坪		聡	工業技術センターロ	中央研究所	主幹征	研究員	博士(工学)	0766-21-2121			
佐	山	利	彦	工業技術センター構	機械電子研究所	主幹研	研究員	博士(工学)	076-433-5466			
杉	森		博	工業技術センターロ	術課長	博士(工学)	0766-21-2121					
高	辻	則	夫	富山大学大学院理工	富山大学大学院理工学研究部					076-445-6011			
高	林	外	広	県商工労働部商工企	と画課	新産業科学	学技術班長	博士(工学)	076-444-4562			
丹	保	豊	和	富山大学大学院理工	[学研究部	准教	 授	工学	博士	076-445-6011			
±	肥	義	治	工業技術センター企	运管理部	部	長	博士(工学)	0766-21-2121			
冨	田	ΤĒ	吾	工業技術センターロ	中央研究所	加工技	術課長	工学	博士	0766-21-2121			
長	柄	毅	—	富山大学芸術文化学	許	教	授	博士(工学)	0766-25-9111			
_		友	昭	工業技術センター		次	長	博士(工学)	076-433-5466			
松	田	敏	弘	富山県立大学工学部	ß	教	授	博士(工学)	0766-56-7500			

歴代会長(会長人事は会員企業内持ち回り.2代目からは任期2年)

初代会長	飴	久晴(昭和62年度~平成4年度)	2 代会長	高木	正明(平成5年度~平成6年度)
3代会長	中田	守人(平成7年度~平成8年度)	4代会長	野村	正也 (平成 9 年度 ~ 平成 10 年度)
5代会長	田中	一郎 (平成 11 年度 ~ 平成 12 年度)	6 代会長	武内	繁和(平成13年度~平成14年度)
7代会長	斉藤	恵三 (平成 15 年度 ~ 平成 16 年度)	8代会長	水口間	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~平成 22 年度)
11 代会長	津田	信治 (平成 23 年度 ~ 平成 24 年度)	12 代会長	田中	一郎 (平成 25 年度~)

名誉研究幹事

谷野 克巳(元工業技術センター所長)

顧	問(50音順)
海野	進 ((公財) 富山県新世紀産業機構・専務理事)
榎本	祐嗣(工業技術センター所長・中央研究所長)
龍山	智榮 ((国)富山大学・名誉教授)
東保喜	[八郎 ((公財) 富山県新世紀産業機構・参与)
藤城	敏史((公財)富山県新世紀産業機構・産学官連携推進センター長)
堀田	裕弘 ((国)富山大学・工学部長)
町野	利通(コーセル(株)・取締役会長)
松本三	〒千人(富山県立大学・工学部長)
米田	政明 ((国)富山大学・名誉教授)

(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:	2																						
住	所	•	電	話	番	号	•	フ	ア	ク	シ	Ξ	IJ	番	号										
₹																									
																			1	TE	L :				
																				FA	X :				
連	絡	担	当	者	所	属	•	役	職	•	氏	名	•	E	- m	ail	l a	d d	rε	ess					
上	記	Ø	と	お	IJ	貴	会	^	λ	会	を	申	U	込	み	ま	す	0							
	_ <u>+</u> `			Æ			_			_															
Ψ	ᇇ			牛			月			Н															
企	퐢	夕	(車	蒹	ᄠ	夕)																FП	
112	未	Π	C	Ŧ	未	<i>Г</i> /1	П)																	
г	若	L١	研	究	者	を	育	τ	る	会	Г	殿													

「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

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

〒930-0866 富山市高田529

(公財)富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

- TEL 076-444-5607
 - 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
(公財)富山県新世紀産業機構
プロジェクト推進課内 |
| 発 行 | 亍 責 任 | 者 | 富山県工業技術センター
二口 友昭
石黒 智明
杉森 博
(公財)富山県新世紀産業機構
加茂 真理子 |
| 発行 | 亍 年 月 | 日 | 平成26年3月13日 |
| ED | 刷 | 所 | 富山スガキ株式会社 |

*無断転載を禁ずる.非売品.