

令和 6 年 度

(第 37 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

令和 7 年 3 月 1 2 日 (水)

於：ホテルグランテラス富山

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県産業技術研究開発センター
富山大学学術研究部工学系
富山大学先進アルミニウム国際研究センター
富山県立大学工学部
富山県立大学情報工学部

ご あ い さ つ

会 長 高 木 章 裕

「若い研究者を育てる会」第37回研究論文集の発刊にあたり、一言ごあいさつを申し上げます。

当会は、1987年（昭和62年）の発足以来、時代の変化に対応しながら、研究者同士の交流を通じて新たな知見を生み出し、地域産業の発展に寄与する研究活動を続けてまいりました。今年度も、各企業から選抜された研究者の皆さんが、チャレンジングなテーマに取り組まれ、その成果を論文集としてまとめることができましたことを大変嬉しく思います。これもひとえに、富山県産業技術研究開発センターをはじめとする各研究機関、並びに日頃より当会の運営にご尽力いただいている会員企業および研究者各位の多大なご支援の賜物であると、心より感謝申し上げます。



さて、近年におけるAI技術やデジタル化の進展は、私たちの生活や産業構造に大きな変化をもたらしており、その可能性は計り知れません。同時に、これらの技術革新には、単なる利便性の向上にとどまらず、ウェルビーイングやQOL（生活の質）の向上といった物心両面での豊かさに寄与することが期待されています。研究の世界においてもAIの存在は不可欠となりつつあり、2024年のノーベル物理学賞および化学賞がいずれもAI分野やその活用に関する成果に授与されたことは象徴的な出来事といえます。

このような技術革新により、研究活動はこれまで以上に多様なアプローチや手法が可能となり、その発展には無限の可能性が秘められています。よって、研究者には、技術の深化にとどまらず、常に広い視野と、社会課題を解決するための創造的な発想を持つことが必要となります。当会の活動は、まさにそのような研究者を育成する場として、重要な役割を果たしています。

研究者の皆さんが活動を進める中で直面した課題や試行錯誤は、探求心をさらに深めるとともに、次なる挑戦への糧となったことでしょう。そして、そこから得られた知識や経験は、皆さんの今後のキャリアにおける大きな財産になるものと確信しています。皆さんが自社のみならず地域の発展にも貢献できる人財へと成長されることを、心より期待しております。

次年度も、若い研究者たちが時代のニーズに応じたテーマに挑戦し、独創的な研究を進めてくれることを楽しみにしております。当会は、これからも産学官の連携を強化し、研究者の育成とイノベーションの創出に貢献してまいります。関係各位におかれましては、今後とも当会の活動にご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。発刊のごあいさつといたします。

研 究 の 概 要

「若い研究者を育てる会」(以下、「若研」)の研究発表会は今年度で37回目を迎えた。本論文集は「若研」に参加する企業(現在の会員企業数12社)と会員企業の若手技術者が4つの研究テーマについて、令和6年5月から富山県産業技術研究開発センターおよび富山大学において、4グループ(4企業参加)が実施してきた研究成果をまとめたものである。ここでは、今年度実施した4テーマの研究概要を述べる。

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター 寺澤 孝志

①「マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究」の研究グループ(参加企業2社)では、これからの現実社会とデジタルの一体化した世界におけるものづくりを念頭に、2.45GHz(波長122mm)帯マイクロ波無線電力伝送(MWPT)技術のIoTデバイスへの普及を目的に、要素デバイスである受電アンテナと整流回路の高機能化に取り組んだ。

受電アンテナでは、マイクロストリップアンテナを基に、2素子と4素子のアレイアンテナの放射特性と利得をシミュレーションして、設計/試作/測定/評価した結果、4素子アレイアンテナでは、得11.4 dBiを達成した。

整流回路では、シングルシャント型整流回路を基に、マッチング回路やフィルタ回路の組込みをシミュレーションして、設計/試作し、直流出力電圧と変換効率を測定/評価した結果、1k Ω 接続で入力電力10dBm時、それぞれ1.8Vと40%を得た。

受電アレイアンテナと整流回路(マッチング回路、フィルタ回路を内臓)を機能接続することにより高性能レクテナデバイスが実現でき、2.45GHz帯MWPT技術によるIoTデバイスへの直流供給に目途が立ったと共に実用化にまた一步近づいた。



国立大学法人富山大学 学術研究部工学系 博士(工学) 中 茂樹

②「半透明有機薄膜太陽電池の開発」の研究グループ(参加企業1社)では、地球温暖化や化石燃料の枯渇が深刻化する中、再生可能エネルギー源として期待され、低コスト化、軽量化、フレキシブル化の特徴を持つ有機薄膜太陽電池について、農業分野への応用を目的に、半透明化有機薄膜太陽電池のラミネート法による簡易作製方法について検討を行った。本研究では、植物成長に必要な赤色光を透過しつつ発電する半透明有機薄膜太陽電池の設計と特性評価を行い、透明性とエネルギー変換を両立させるための条件を明確にした。特に、ドナー性ポリマー材料と低分子アクセプタ材料を混合したバルクヘテロ構造を活性層とし、活性層の成膜条件、ラミネート圧力が特性向上に重要であることが明らかになった。結晶化と



密着性の最適化が効率向上に寄与し、赤色光透過率 80%以上の透明性を持つ有機薄膜太陽電池の作製が可能であることが示された。

富山県産業技術研究開発センター 生活工学研究所 上野 実

③「フレキシブル導体の開発」の研究グループ(参加企業 2 社)では、身体に負荷の少ない生体信号の計測に必要な衣服等に張り付けて使用可能な配線素材の開発を目的として、導電層に電気伝導性や展延性に優れた液体金属を、封止材に柔軟性及び伸縮性、通気性に優れたナノファイバー不織布を組み合わせ、導電性と伸縮性を兼ね備えたフレキシブル導体の開発を目指した。ナノファイバー不織布上に配線として液体金属(Ga-In 合金)をコーティングする方法を検討し Au のスパッタリングが有効であることが明らかとなった。液体金属の封止にエレクトロスピンニング法を用い、6 mm×40 mm の導電層を持つフレキシブル導体の作製に成功した。このフレキシブル導体に対して、曲げや 30%伸長、使用時に想定される温度変化などにおける機械特性や電気特性を評価したところ、液体金属の漏れは生じず、抵抗値も実使用可能な範囲であった。試作したフレキシブル導体を測定ケーブルの一部として利用し、生体信号(心拍)の取得に成功した。



富山県産業技術研究開発センター 機械電子研究所 博士(工学) 坂井 雄一

④「振動発電デバイスのための自動共振機構に関する研究」の研究グループ(参加企業 1 社)では、振動発電における共振周波数の広帯域化に挑戦した。一般的な振動発電デバイスでは、ある特定の共振周波数のみで出力が大きくなり、それ以外の周波数では出力が小さくなるという課題があった。本研究では、モデルの構築、検証ということで一般的なデバイスよりも大きなスケールで試作、検討を行った。おもりを有する片持ち梁 2 つを対向させて設置、それぞれのおもりをひもで連結することでおもりの位置、すなわち共振周波数を振動に応じて変化させる機構について検討した。その結果、振動の周波数が高周波数から低周波数へと変化する場合において、共振周波数の帯域を従来よりも広げることになった。低周波数から高周波数へと変化する場合は、十分な広帯域化に至らず、今後の課題として残ったが、全体としては、振動発電機構の広帯域化に対する新たなアプローチとその可能性を示すことができた。



今年度は、4つの研究テーマに7人の企業内若手技術者が参加した。これまでこの会では**実施した37年間に225テーマ**の研究を実施しており、修了生は**412名**となった。ここに参加した企業にとっては、取り組んだテーマが必ずしも企業ですぐに役立つものではないかもしれないが、研究を遂行する過程で参加者が得たもの(開発の進め方、研究内容の表現の仕方等)によって、本会会員企業の今後の技術開発力向上や発展に資するものと期待している。

なお、本会の目的は学術的な研究をすることではなく、企業現場で戦力となる**企業技術者・研究者の育成**と、企業・業種の枠を越えた若手技術者同士の**連携の「輪」**を広げることであり、本会はこのような研究活動を通じて富山県産業全体の発展を願う**県内企業オーナー有志によって設立された会**である。異業種が交流して共同研究を実施することは、座学では得られない貴重かつ重要な**実学**であると考えている。

最後に、本会の研究を推進するにあたり、内外の方々より多大なご助力、ご助言を賜わったことに深く感謝の意を表する。

研究グループの構成

I. マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究の研究グループ

研究担当者 **水島 颯汰 (コーセル㈱)**

種岡 涼音 (㈱タカギセイコー)

○奈須野雅明 (産業技術研究開発センターものづくり)

塚本 吉俊 (産業技術研究開発センターものづくり)

宮田 直幸 (産業技術研究開発センターものづくり)

升方 康智 (産業技術研究開発センターものづくり)

☆寺澤 孝志 (産業技術研究開発センターものづくり)

II. 半透明有機薄膜太陽電池の開発の研究グループ

研究担当者 **田中 溪太 (コーセル㈱)**

○柳原 康平 (産業技術研究開発センター機械電子研)

角田 龍則 (産業技術研究開発センター機械電子研)

佐々木克浩 (産業技術研究開発センター機械電子研)

☆中 茂樹 (富山大学学術研究部工学系)

III. フレキシブル導体の開発の研究グループ

研究担当者 **岡田 達也 (㈱タカギセイコー)**

水戸 俊宏 (北陸電気工業㈱)

○吉田 巧 (産業技術研究開発センター生活工学研)

早苗 徳光 (産業技術研究開発センター生活工学研)

横山 義之 (産業技術研究開発センター生活工学研)

丹保 浩行 (産業技術研究開発センター生活工学研)

☆上野 実 (産業技術研究開発センター生活工学研)

IV. 振動発電デバイスのための自動共振機構に関する研究の研究グループ

研究担当者 **東 光一郎 (㈱立山科学ハイテクノロジーズ)**

織田 航輝 (㈱立山科学ハイテクノロジーズ)

○吉江真太郎 (産業技術研究開発センター機械電子研)

釣谷 浩之 (産業技術研究開発センター機械電子研)

羽柴 利直 (産業技術研究開発センター機械電子研)

中村 陽文 (産業技術研究開発センター機械電子研)

☆坂井 雄一 (産業技術研究開発センター機械電子研)

註：○印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

目 次

I. マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究	1
1. 緒言	1
2. 実験方法	1
3. 実験結果・考察	5
4. 結言	8
II. 半透明有機薄膜太陽電池の開発	9
1. 緒言	9
2. 実験方法と結果	9
3. 作製条件変更	1 1
4. 実験結果のまとめ	1 3
5. 赤色光透過率の測定	1 3
6. 結言	1 4
III. フレキシブル導体の開発	1 5
1. 緒言	1 5
2. 研究対象	1 5
3. フレキシブル導体の作製	1 6
4. 電気特性の評価	1 9
5. 機械特性の評価	2 0
6. 生体信号の測定	2 2
7. 結言	2 2
IV. 振動発電デバイスのための自動共振機構に関する研究	2 3
1. 緒言	2 3
2. 研究対象	2 4
3. 機構の設計	2 4
4. 実験①	2 6
5. 実験モデルの改良	2 7
6. 実験②	2 7
7. 実験③（試作モデル③）	2 9
8. 結言	3 0

○各研究グループの研究活動風景	-----	付－1
○「若い研究者を育てる会」研究活動の足跡	-----	付－5
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付－2 3
○入会申込書	-----	付－2 5

I. マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究

Research on improving the efficiency of microwave wireless power transmission

水島 颯汰 種岡 涼音 奈須野 雅明

MIZUSHIMA Sota TANEOKA Minto MASAAKI Nasuno

塚本 吉俊 宮田 直幸 升方 康智 寺澤 孝志

TSUKAMOTO Yoshitoshi MIYATA Naoyuki MASUGATA Yasutomo TERASAWA Takashi

Abstract

The introduction of IoT technology is progressing toward the realization of Society 5.0. However, supplying power to numerous IoT devices via wires is cumbersome. As a solution to this problem, microwave wireless power transmission (MWPT) technology, which supplies power wirelessly, is expected to become a solution. By applying MWPT technology to IoT devices, battery-less IoT systems can be realized, eliminating cumbersome and reducing installation costs. This technology also makes it possible to supply power to many devices simultaneously and to devices in remote locations. In this research, we examined receiving antennas and rectifier circuits with the aim of supplying power to IoT devices using radio waves in the 2.45 GHz band. In particular, we aimed to improve their characteristics by arraying the receiving antennas and applying a notch filter to remove harmonics in the rectifier circuit. As a result, the gain of the four-element array antenna was 11.4 dBi, and the rectifier circuit achieved a conversion efficiency of 40% with a 1 kΩ load.

1. 緒言

Society 5.0 の実現に向け、IoT 技術の導入が進んでいる⁽¹⁾。しかしながら、多数の IoT デバイスに対して有線による電力供給を行うことは煩雑さを伴う。これに対して、無線で電力供給するマイクロ波無線電力伝送 (MWPT : microwave wireless power transmission) 技術^(2,3) が期待されている。

MWPT 技術を IoT デバイスに適用することにより、バッテリーレスかつワイヤレスの IoT システムが実現され、煩雑さの解消および設置コストの低減が見込める。また、この技術により、多数のデバイスへの一斉給電や遠隔地にあるデバイスへの電力供給および制御が可能となる。

MWPT 技術は、直流 (DC) を高周波 (RF) に変換し、送電アンテナでマイクロ波として空間に放射する。放射されたマイクロ波は受電アンテナで受信し、整流回路を介して RF を DC に変換し、最終的に負荷にエネルギーを供給する。

この技術は、伝送距離が長くとれるという利点があるが、伝送効率が低いという課題がある。そのため、送電および受電の効率向上、ならびに整流回路の高効率化が、MWPT 技術の実用化に向けて重要な課題となる。

本研究は、2.45 GHz (波長 $\lambda = 122\text{mm}$) の電波を用いて IoT デバイスに給電することを目的とし、前年度から受電アンテナおよび整流回路の特性について検討を行ってきた⁽⁴⁾。

今年度はその成果をもとに、更なる性能向上を目指し、受電アンテナおよび整流回路を試作し、特性を評価した。

2. 実験方法

< 2. 1 > 受電アンテナ

本研究では、受電アンテナとしてマイクロストリップアンテナ (MS アンテナ) を採用した。MS アンテナは平面構造を持ち、誘電体基板の両面に金属薄膜で素子面とグラウンド面が形成されたアンテナである。MS アンテナの概要と外観を図 1 に示す。

周波数特性は狭帯域で急峻なため、特定の周波数帯域に限定した利用が可能である。また、放射特性として、素子面側で強く電波を放射し、グラウンド面側での放射は弱いという特徴がある。

なお、アンテナの放射特性は可逆的であり、受電時のパターンとしてもそのまま適用できる。

MS アンテナの素子面の形状は四角形であり、その一辺の長さ l は、式 (1) によって決定される。

$$l = \frac{c_0}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

c_0 は光速、 f は受電する電波の周波数、 ϵ_r は誘電体層の比誘電率である。この式から、比誘電率が異なる基板を用いることにより、一辺の長さを調節することができる。

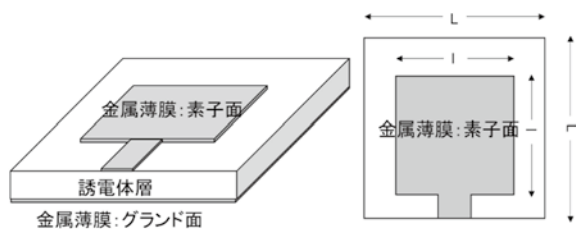


図1 MS アンテナの概要

Fig.1 Overview of MS antenna.

今年度は、前年度作製した MS アンテナの素子形状をもとに、アレイアンテナの作製を行い、さらなるアンテナ利得の向上を目指す。アレイアンテナは、複数のアンテナ素子を規則的に配置した構造を持ち、これにより放射パターンの指向性が単体の MS アンテナに比べ向上することで、受電電力の向上が期待される。

アレイアンテナの試作には、低誘電率プリント基板（日本ピラー社製 NPC-H220）を使用した。基板の仕様を表1に示す。

表1 プリント基板の仕様

Table 1 Specifications of PCB.

	NPC-H220
比誘電率 ϵ_r	2.17
誘電正接 $\tan\delta$	0.0005
銅箔厚み t [mm]	0.035
基板厚み T [mm]	3.15

アレイアンテナの作製にあたり、MS アンテナ素子間の距離は、利得向上の重要な要素である。ダイポールアンテナの場合、アンテナ利得 D はアンテナ素子間の距離 d と波長 λ に依存し、素子間の距離が狭くなると、アンテナ素子同士の相互結合が強くなり、その結果、利得の低下につながる。位相差のみを考慮したときの半波長ダイポールアンテナの2素子同相合成アレイの利得を図2に示す。

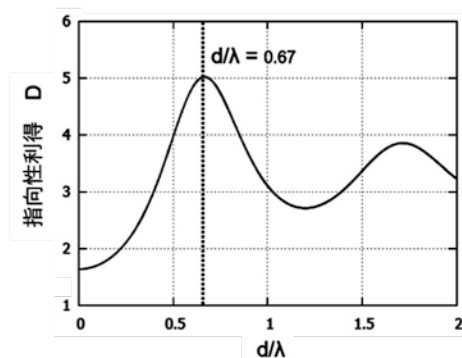


図2 半波長ダイポールアンテナの2素子同相合成アレイの利得

Fig.2 Gain of a two-element in-phase synthesized array of half-wave dipole antennas.

図2より、ダイポールアンテナの場合、 $d/\lambda = 0.67$ 付近で最もアンテナ利得の向上が見込める。

半波長ダイポールアンテナの2素子同相合成アレイの利得と同様の考えのもと、アレイアンテナの素子間の距離を検討した。

アンテナ素子間の距離の検討にあたり、Femtet（ムラタソフトウェア株式会社のCAEソフト）を用いて、放射パターンのシミュレーションを行った。図3にFemtetで作成した2素子アレイアンテナの3Dモデルを示す。また、図4にアンテナ素子間の距離変更したときのアンテナ利得のシミュレーション結果を示す。なお、シミュレーション結果は、反射電力も含まれた結果となっている。

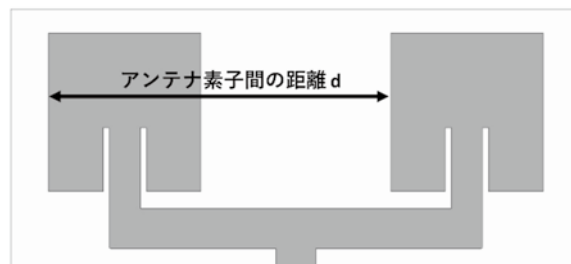


図3 2素子アレイアンテナの3Dモデル

Fig.3 3D model of the 2-element array antenna.

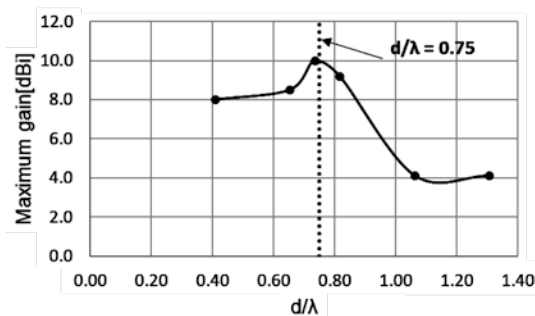


図4 2素子アレイアンテナ利得のシミュレーション結果

Fig.4 Simulation results of the 2-element array antenna gain.

シミュレーション結果から、アレイ化した MS アンテナにおいても、 $d/\lambda = 0.75$ 付近で最大利得を示すことが確認できる。これは、ダイポールアンテナの利得に関する考え方と一致しており、同様の原理を適用できることがわかった。

これらの結果をもとに、 $d/\lambda = 0.75$ に近づけるためにアンテナ素子の距離 $d = 90 \text{ mm}$ とし、2素子および4素子のアレイアンテナの設計を行い、プリント基板をCNCルータで切削加工して受電アンテナを試作した。図5に4素子アレイアンテナの寸法を示す。また、図6に試作したアレイアンテナの外観を示す。

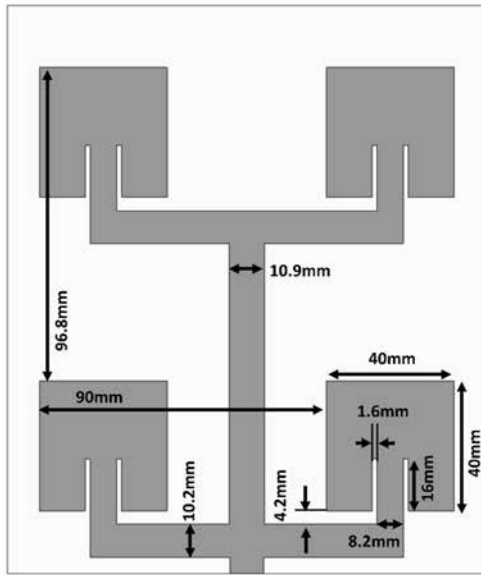


図 5 4 素子アレイアンテナの寸法

Fig.5 Dimensions of the 4-element array antenna.

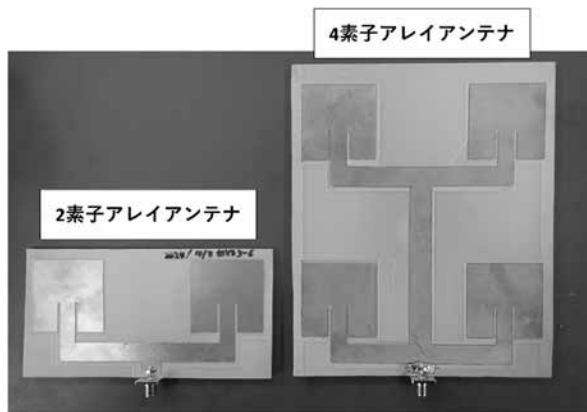


図 6 試作したアレイアンテナ外観

Fig.6 Appearance of the prototype array antenna.

試作した受電アンテナに関して、 S_{11} 特性と放射特性の評価を行った。 S_{11} の定義式を式 (2) に示す。 a_1 は入射波、 b_1 は反射波である。

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2)$$

次に放射特性を測定する。放射特性は電波暗室 (TDK 製 床面フェライトの 6 面電波暗室) 内にて行う。電波暗室の概要を図 7 に示す。放射特性測定機器と測定諸元を表 2 に示す。

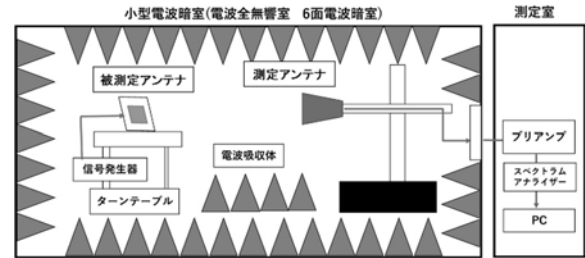


図 7 電波暗室の概要

Fig.7 Overview of electromagnetic anechoic chamber.

表 2 放射特性測定機器と測定諸元

Table 2 Radiation measurement equipment and specifications.

種類	メーカー	型名
信号発生器	KEYSIGHT	N5171B
ホーンアンテナ	Schwarzebeck	BBHA9120B
スペクトラムアナライザ	ROHDE&SCHWARZ	FPL1007
標準ダイポール	Anritsu	MA5612B4
設置高 [m]	1.0	
アンテナ間の距離 [m]	3.0	

放射特性測定においては、同時にアンテナ利得を算出するため標準ダイポールアンテナの放射特性が必要である。式 (3) から試作した MS アンテナの利得値を算出する。なお、式 (3) 中 V_m [dBμV] は MS アンテナの測定値、 V_d [dBμV] は標準ダイポールの測定値、 G_d は標準ダイポールの公称利得値であり、今回使用したダイポールアンテナにおいては 2.0 dBi である。

$$G = (V_m - V_d + G_d) \quad [\text{dBi}] \quad (3)$$

< 2. 2 > 整流回路

交流から直流に変換する整流回路には様々な方式があるが、本研究では、シングルシャント型の整流回路を用いた。回路の伝送線路は、マイクロストリップライン型とした。この線路型はマッチング回路やフィルタ回路を組み込みやすいこと、また、MS アンテナと同構造であることから受電アンテナと同一基板上で作製することもできる。

シングルシャント整流回路の回路図を図 8 に示す。受電アンテナからマイクロ波が入力され、DC カットのためのコンデンサ C_0 を介し、1 つのダイオードをグランドにシャント接続する。ダイオードと並列に $\lambda/4$ 線路、出力平滑コンデンサ C_L が設けられ、 C_L に並列に接続された負荷抵抗 R_L によって構成する。

整流回路の試作には、低誘電率基板 (利昌工業社製 CS-3376C) を用いた。比誘電率は 3.3、基板厚みは 0.8 mm、銅箔厚みは 0.035 mm である。図 9 に試作した前年度作製した整流回路の外観を示す。なお、図中の Sample 1 は、図 8 の回路構成通りに試作したも

のであり、Sample 2 は、インピーダンスマッチングするために、先端を開放した線路（オープンスタブ）を追加したものである。

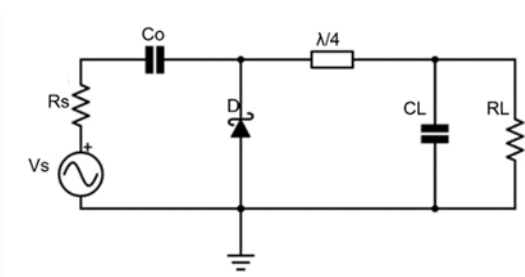


図 8 シングルシャント整流回路の回路図

Fig.8 Schematic diagram of single shunt rectifier circuit.

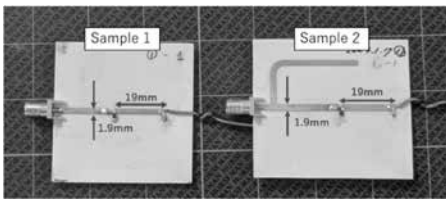


図 9 整流回路の外観(左:Sample 1、右:Sample 2)

Fig.9 Appearance of single shunt rectifier circuit.

線路幅 1.9 mm と $\lambda/4$ 線路の長さ 19 mm については、高周波回路シミュレータ（QUCS : QucsStudio Transmission Line Calculator 4.3.1）を用いて決定した。整流回路は、MS アンテナと同様に CNC ルータで切削加工し、ショットキーバリアダイオード（SBD：東芝製 1SS315）、コンデンサ、SMA コネクタ及びリード線を実装して作製した。DC カットコンデンサ、出力平滑コンデンサは、1608 サイズの積層セラミックコンデンサで、容量はそれぞれ 10 μ F、1 pF のものを用いた。

＜ 2. 3 ＞整流回路の出力高調波およびフィルタの設計

ダイオード等の能動素子に交流信号をかけると高調波が発生する。この高調波の影響で基本波が歪み、出力電力の低下の可能性が考えられる。そこで、前年度試作した図 9 の Sample 1 の整流回路をもとに、高調波を測定できるように出力側にコンデンサと SMA コネクタを追加した整流回路を作製し、基本波入力時の出力高調波測定を行った。作製した整流回路の外観を図 10 に示す。

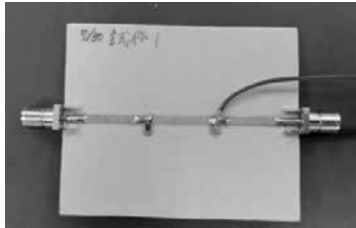


図 10 高調波測定用の整流回路外観

Fig.10 Appearance of a rectifier circuit for harmonic measurement.

次にフィルタを設計し、特定の高調波を選択的に取り除くことを検討し、整流回路の中にノッチフィルタ（NF:Notch Filter）を加えることとした。NF とは、バンドストップフィルタの一種であり、特定の範囲の周波数の信号のみを減衰させ、範囲外の周波数の信号は通すフィルタ回路のことである。基本波の歪みの影響が大きいと考えられる 2 次と 3 次の高調波を減衰させる NF の設計および試作を行うこととした。2 次の高調波を減衰させる NF を追加したものを NF①、3 次の高調波を減衰させる NF を追加したものを NF②とする。

設計には QUCS にて線路長を算出し、回路シミュレーションを行った。シミュレーション結果をもとにフィルタの試作し、 S_{21} 特性の比較をした。 S_{21} の定義式を式 (4) に示す。 a_1 は入射波、 c_1 は伝送波である。図 11 に試作した NF を示す。

$$S_{21} = \frac{c_1}{a_1} \quad (4)$$

次に、NF を組み込んだ整流回路を作製し、高調波を減衰させる効果の確認を行った。図 12 に NF を組み込んだ整流回路を示す。

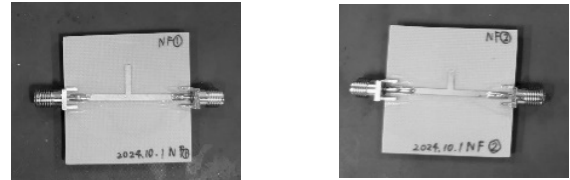


図 11 NF の試作品(左:NF①、右:NF②)

Fig.11 Prototype of NF.

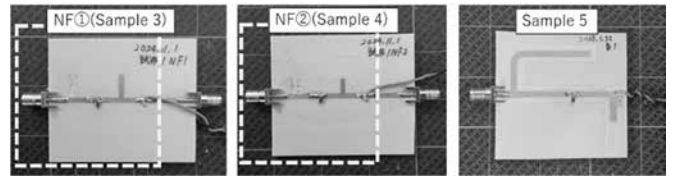


図 12 NF を組み込んだ整流回路

(左:NF①(Sample 3)、中:NF②(Sample 4)、右:Sample 5)

Fig.12 Rectifier circuit incorporating NF.

＜ 2. 4 ＞測定系

出力高調波特性をスペクトラムアナライザ（スペアナ）で測定した。測定系ブロック図を図 13 に示す。

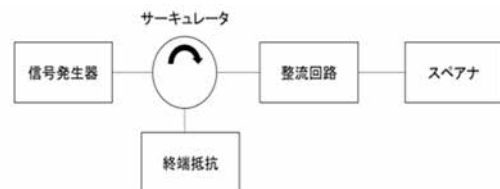


図 13 出力高調波特性の測定系ブロック図

Fig.13 Block diagram of the output harmonic measurement system.

出力電圧特性の測定系の概要を図 14 に、使用した測定器は表 4 に示す。矢印で示した測定器を PC で制御し、入力電力、進行波電力、反射波電力、直流出力電圧を測定する。実際には受電 MS アンテナから入力されるが、整流回路単体の特性を測定するため信号発生器から電力を入力する。方向性結合器を入れることで進行波電力の測定をする。また、サーキュレータを挿入し、整流回路からの反射波電力を測定する。

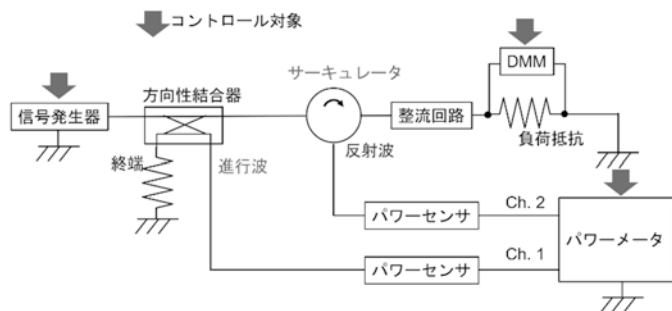


図 14 出力電圧特性の測定系の概要

Fig.14 Overview of the measurement system for output voltage characteristics.

表 4 使用した測定器一覧

Table 4 List of measuring instruments used

種類	メーカー	型名
信号発生器	KEYSIGHT	N5171B
方向性結合器	MCLI	CB2-20
パワーメータ	Agilent	N1914A
パワーセンサ	KEYSIGHT	E9304A
DMM	ADVANTEST	R6581
サーキュレータ	TELEDYNE MICROWAVE	C-2563T-6

< 2. 5 > 整流回路の変換効率の定義

整流回路は、受電 MS アンテナから得られた高周波電力を直流電力に変換し、IoT デバイスを想定した負荷に供給するため、RF-DC 変換効率は重要な指標である。RF-DC 変換効率は以下の式で定義し算出する。

変換効率 η [%] を求めるために、直流の出力電力 P_{out} [mW] は式 (5) とする。

$$P_{out}[\text{mW}] = \frac{V_{out}[\text{V}]^2}{R_L[\Omega]} \times 10^3 \quad (5)$$

ここで、 V_{out} [V] は整流回路の出力電圧で R_L [Ω] は負荷抵抗である。信号発生器の出力電力は、整流回路に入力する電力 P_m [dBm] となる。整流回路に入力する電力 P_m の単位を [dBm] から [mW] に換算し、式 (5) の電力 P_{out} [mW] を用いて変換効率 η [%] を式 (6) とする。

$$\eta[\%] = \frac{P_{out}[\text{mW}]}{P_{in}[\text{mW}]} \times 100 \quad (6)$$

3. 実験結果・考察

< 3. 1 > 受電 MS アンテナの測定結果

試作した 2 素子アレイアンテナの $|S_{11}|$ シミュレーション結果とベクトルネットワークアナライザ (VNA) による測定結果を図 15 に、4 素子アレイアンテナの測定結果を図 16 に示す。

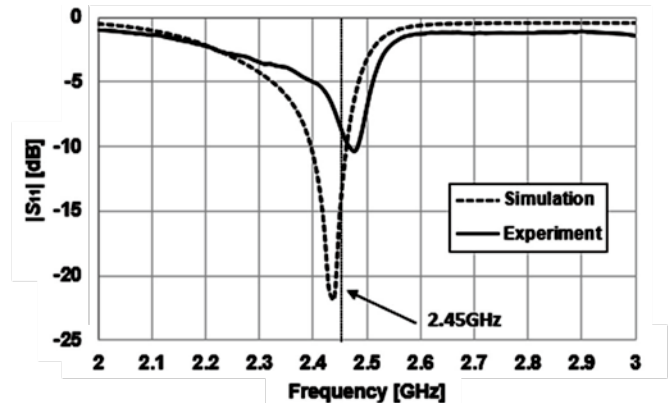


図 15 2 素子アレイアンテナの $|S_{11}|$ シミュレーション結果および実測値

Fig.15 Simulation results and measured values of the $|S_{11}|$ parameter for the 2-element array antenna.

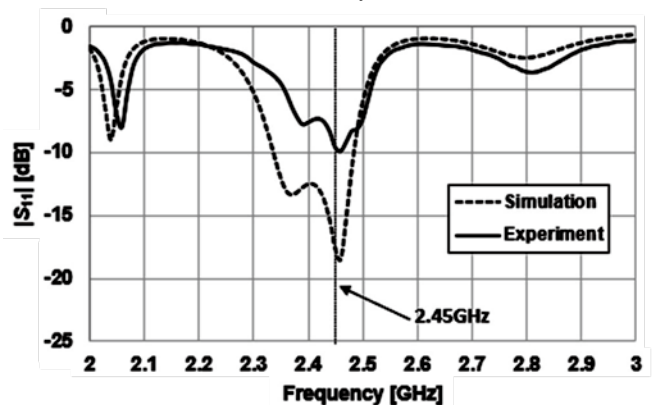


図 16 4 素子アレイアンテナの $|S_{11}|$ シミュレーション結果および実測値

Fig.16 Simulation results and measured values of the $|S_{11}|$ parameter for the 4-element array antenna.

2 素子アレイアンテナの $|S_{11}|$ 測定結果の共振周波数 (2.47 GHz) は、シミュレーション結果の共振周波数 (2.44 GHz) に比べて高周波側にシフトした。これは加工精度が原因と考えられる。4 素子アレイアンテナの $|S_{11}|$ 測定結果の共振周波数 (2.46 GHz) は、シミュレーション結果と同様の共振周波数となり、実際に受信する周波数 (2.45 GHz) からも近い値となった。

次に、試作したアレイアンテナの放射特性測定結果から、

式 (3) により利得を求め作成した放射パターンを図 17 に示す。
また、アレイアンテナの最大利得測定結果を表 5 に示す。

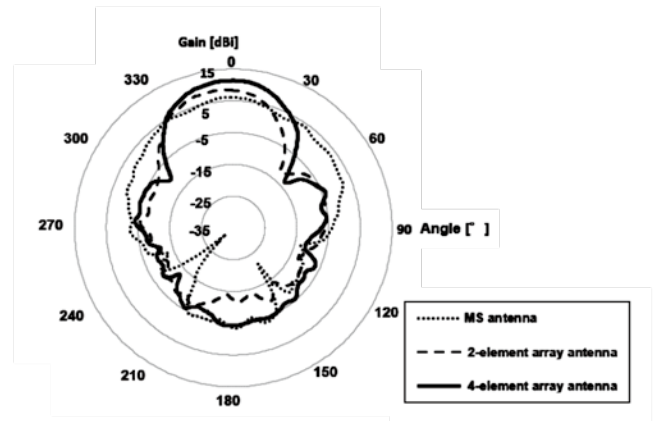


図 17 アレイアンテナの放射特性測定結果

Fig.17 Array antenna radiation characteristics measurement results.

表 5 アレイアンテナの最大利得測定結果

Table 5 Maximum Gain Measurement Results for Array Antenna.

試作品名	アンテナ最大利得[dBi]
MS アンテナ(前年度)	6.2
2 素子アレイアンテナ	8.6
4 素子アレイアンテナ	11.4

図 17 のアレイアンテナの放射特性測定結果より、MS アンテナのアレイ化により指向性が向上していることが確認できる。また、表 5 のアレイアンテナ最大利得測定結果から、MS アンテナ (6.2 dBi) を 2 素子アレイアンテナにすることで最大利得が 2.4 dBi 向上し、8.6 dBi となることを確認した。さらに、2 素子アレイアンテナを 4 素子アレイアンテナにすることで最大利得が 2.8 dBi 向上し、11.4 dBi となることを確認した。

< 3. 2 > 整流回路の出力高調波の測定結果および対策

図 10 の整流回路に周波数 2.45 GHz の連続波 (15 dBm (31.6 mW)) を入力したときの出力側からシグナルアナライザ (Agilent Technologies 社製 N9010A) で測定した高調波測定結果を図 18 に示す。図より、2.45 GHz (1 次)、4.9 GHz (2 次)、7.35 GHz (3 次)、9.8 GHz (4 次)、12.25 GHz (5 次) の高調波が発生していることを確認できた。

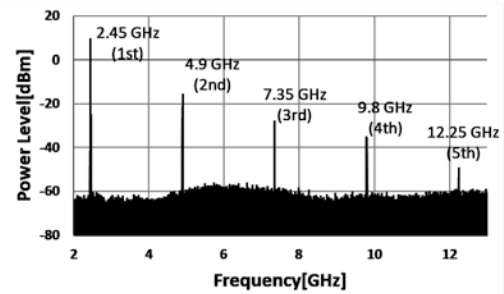


図 18 高調波の測定結果

Fig.18 Measurement results of harmonics.

図 11 の NF①と NF②の $|S_{21}|$ シミュレーション結果とベクトルネットワークアナライザ (VNA) による測定結果を図 19 と図 20 に示す。また、シミュレーションと実測の NF の長さを表 6 に示す。ここでの NF の長さは、図 21 の部分とする。

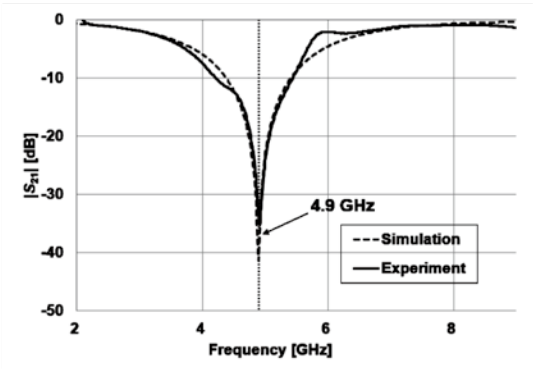


図 19 NF①の $|S_{21}|$ シミュレーション結果および実測値

Fig.19 Simulation results and measured values of $|S_{21}|$ for NF①.

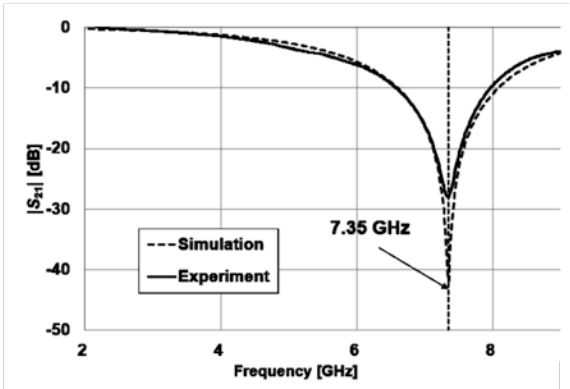


図 20 NF②の $|S_{21}|$ シミュレーション結果および実測値

Fig.20 Simulation results and measured values of $|S_{21}|$ for NF②.

表 6 NF の長さ

Table 6 Length of NF

	NF①	NF②
シミュレーション [mm]	9.3	6.3
実測 [mm]	9.1	6.1

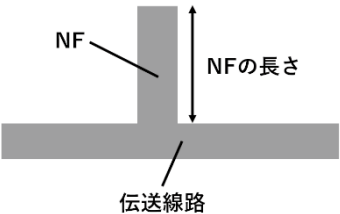


図 21 NF の長さ測定箇所

Fig21 Measurement location of NF length.

次に図 12 の整流回路で高調波の低減効果の確認を行った。入力する信号発生器の電力は 15 dBm (31.6mW)、負荷抵抗は 1 k Ω とした。NF①を組み込んだものを図 22、NF②を組み込んだものを図 23 に示す。図 18 と図 22 を比較すると、2 次高調波の電力の強度が小さくなっていることがわかる。また、図 18 と図 23 を比較すると、3 次高調波の電力の強度が小さくなっていることがわかる。よって、NF は目的の高調波成分を小さくするよう機能している。

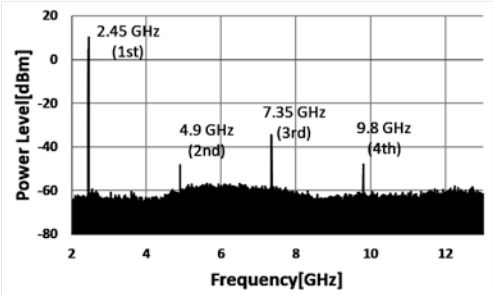


図 22 NF①の高調波の測定結果
Fig.22 Measurement results of harmonics of NF①.

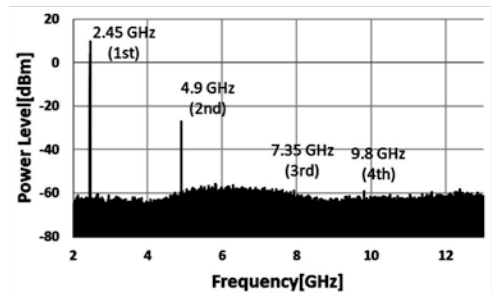


図 23 NF②の高調波の測定結果
Fig.23 Measurement results of harmonics of NF②.

< 3. 3 > 整流回路の測定結果

図 12 の整流回路から出力側の SMA 端子を取り除いた整流回路の出力電圧特性の測定結果を図 24 に示す。NF①、②をそれぞれ組み込んだ整流回路を Sample 3、Sample 4 とした。整流回路 (Sample) の違いを整理したものを表 7 に示す。信号発生器の電力は 15 dBm、負荷抵抗は 1 k Ω である。

表 7 整流回路(Sample)の違い

Table 7 Difference in sample rectifier circuits

	オープンスタブ	NF	備考
Sample 1	-	-	図 9
Sample 2	○	-	図 9
Sample 3	-	NF1	図 12
Sample 4	-	NF2	図 12
Sample 5	○	NF1	図 12

図 24 より、直流出力電圧は 2.45 GHz では Sample 3 は 2.3 V、

Sample 4 は 1.9 V であり、Sample 3 の方が大きくなった。

このことより、3 次高調波より、2 次高調波を除去した方が出力電圧特性の向上につながるという。

しかし、2.65 GHz から 2.7 GHz で出力電圧が最も大きくなり、2.45 GHz でインピーダンスマッチングができていない。そのため、2.45 GHz でインピーダンスマッチングすることで、2.45 GHz でのさらなる出力電圧の向上が見込める。

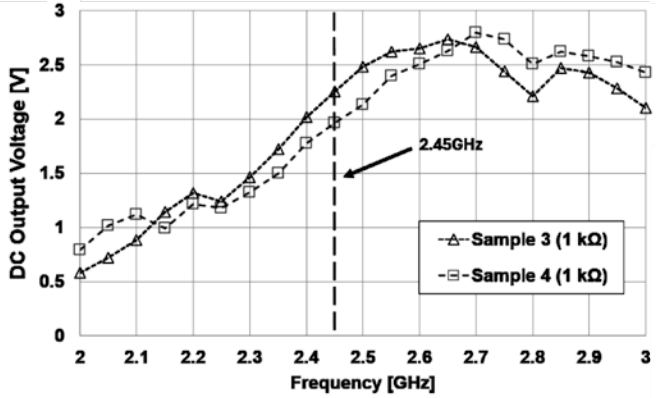


図 24 NF を組み込んだ整流回路の直流出力電圧特性
Fig.24 DC output voltage characteristics of a rectifier circuit incorporating NF.

Sample 3 の入力のオープンスタブを調整し、Sample 5 (図 12 参照) を試作した。Sample 2 と Sample 3 を比較した結果を図 25 および図 26 に示す。信号発生器の電力は 0 dBm (1 mW) で、出力電圧を測定する負荷抵抗は 1 k Ω であり、周波数範囲は 2.0 GHz から 3.0 GHz、0.5 GHz ステップで測定した。

図 25、26 より、Sample 5 は 2.45 GHz で出力電圧が約 0.53 V であり、Sample 2 より約 0.17 V 出力電圧が向上した。

また、Sample 5 は入力のオープンスタブの調整により、Sample 3 よりも反射電力の極小値は 2.45 GHz 付近にシフトし、出力電圧特性の向上につながった。一方、Sample 2 より反射電力は大きいことから、オープンスタブの最適化により出力電圧の向上が見込める。

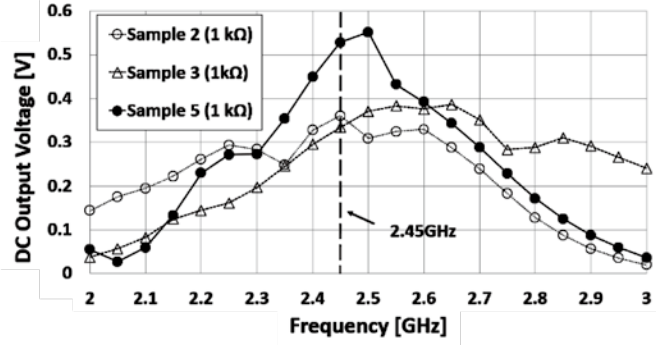


図 25 整流回路の直流出力電圧特性
Fig.25 DC output voltage characteristics of rectifier circuit.

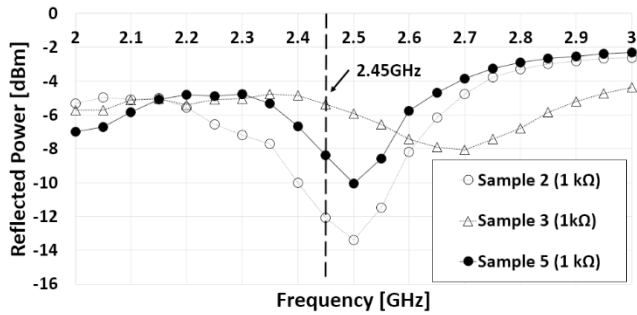


図 26 整流回路の反射電力特性

Fig.26 Reflected power characteristics of rectifier circuit.

図 27 に周波数を 2.45 GHz に固定し、入力電力を -20 dBm (0.01 mW) から 19 dBm (79.4 mW) に変化させたときの出力電圧特性を示す。また、図 28 にその時の変換効率特性を示す。入力電力 10 dBm (10 mW) 時のそれぞれの出力電圧および変換効率は、Sample 2 は 1.3 V で約 21 %、Sample 5 は 1.8 V で約 40 % であり、インピーダンスマッチングおよび出力高調波の低減により、電圧および変換効率が向上した。

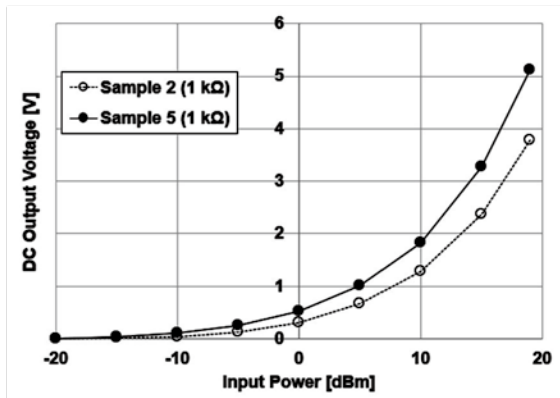


図 27 整流回路の直流出力電圧-入力電力特性

Fig.27 DC output voltage of rectifier circuit vs. input power.

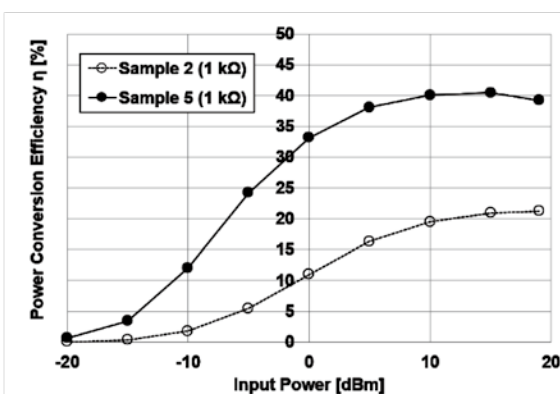


図 28 整流回路の変換効率-入力電力特性

Fig.28 Conversion efficiency of rectifier circuit vs. input power.

4. 結言

本研究は、2.45 GHz 帯 (波長 $\lambda = 122$ mm) の電波を用いて IoT デバイスに給電することを目的とし、前年度の受電アンテナおよび整流回路の特性特性評価の成果を踏まえ、性能向上を目指し、受電アンテナのアレイ化および整流回路の高効率化に取り組んだ。

(1) 受電アンテナでは、MS アンテナのアレイ化を検討し、2 素子アレイアンテナおよび 4 素子アレイアンテナを試作評価した。その結果、MS アンテナ (6.2 dBi) を 2 素子アレイアンテナにすることで最大利得が 2.4 dBi 向上し、8.6 dBi となった。さらに、2 素子アレイアンテナを 4 素子アレイアンテナに変更することで最大利得が 2.8 dBi 向上し、11.4 dBi を得た。

(2) 整流回路では、ダイオードから発生する高調波の強度を確認し、高調波を減少させる NF を検討した。NF を組み込み、入力のインピーダンスマッチングした整流回路を試作評価した結果、負荷抵抗 1 kΩ 接続、入力 10 dBm 時に前年度の変換効率 21 % から変換効率 40 % を得た。

今後の課題は、今回得られた受電アンテナの利得の向上、整流回路の高効率化を踏まえ、インピーダンスマッチングの最適化、IoT デバイスの安定駆動である。

文 献

- (1) 内閣府. 第 5 期科学技術基本計画の概要, 2016.
- (2) 篠原真毅. 無線電力伝送の技術. 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), 2010, 130.2: 145-148.
- (3) 総務省. 令和 6 年度版 情報通信白書 第 II 部第 3 節 電波政策の動向, 2024
- (4) 高嶋 翔太, 田開 孝祐 他. 小型マイクロ波無線給電システムの開発. 令和 5 年度若い研究者を育てる会研究発表会 研究論文集, 2024.

Ⅱ．半透明有機薄膜太陽電池の開発

Development of Semitransparent Organic Solar Cells

田中 溪太 柳原 康平 角田 龍則
TANAKA Keita YANAGIHARA Kohei KAKUDA Tatsunori
佐々木 克浩 中 茂樹
SASAKI Katsuhiko NAKA Shigeki

Abstract

As global warming and the depletion of fossil fuels become more serious, the use of renewable energy is urgently needed. Photovoltaic power generation has attracted attention because it can provide an abundant and clean energy source. However, conventional inorganic semiconductor solar cells are expensive to manufacture and have limitations regarding where they can be installed. In contrast, organic thin-film solar cells are low-cost, lightweight, flexible, transparent, and can be applied to a variety of uses. The advantages of organic thin-film solar cells are that the manufacturing process is simple and low-temperature processing is possible, which helps reduce costs. Moreover, they can be installed on curved and vertical surfaces, making them suitable for a variety of locations, such as buildings and agricultural facilities. In particular, semi-transparent organic thin-film solar cells can generate electricity while maintaining light transparency, and can be used as building materials to supply energy without compromising the aesthetics. In the agricultural field, these solar cells are expected that they will simultaneously achieve solar power generation and the transmission of red light necessary for plant growth. As a result, their use in plant factories and greenhouses is progressing. By using semi-transparent organic thin-film solar cells as roofing materials, it is possible to achieve both power generation and light transmission, and to achieve agriculture and energy supply at the same time. On the other hand, organic thin-film solar cells have lower photoelectric conversion efficiency than inorganic solar cells, and there are issues with durability and stability. Improvements to these issues are required, but features such as low cost, flexibility, and transparency are advantages that other technologies do not have, and future technological innovations are expected to further improve efficiency. In this study, we designed and evaluated the characteristics of semi-transparent organic thin-film solar cells that can transmit red light necessary for plant growth during the day while generating electricity using the remaining light, with the aim of applying them as roofing materials for plant factories.

1. 緒言

地球温暖化や化石燃料の枯渇が深刻化する中、再生可能エネルギーの活用が急務となっている。太陽光発電は、豊富でクリーンなエネルギー源を提供できるため注目されているが、従来の無機半導体太陽電池は製造コストが高く、設置場所に制約がある。これに対し、有機薄膜太陽電池は低コストで軽量、柔軟性に優れ、透明性を持ち、さまざまな用途に応用可能である。

有機薄膜太陽電池の利点は、製造プロセスが簡便で低温加工が可能であり、生産コストを抑えられる点である⁽¹⁾。さらに、曲面や垂直面にも設置できるため、建築物や農業施設など、多様な場所への導入が可能となる。特に半透明の有機薄膜太陽電池は、植物の成長に必要な光の透過性を保持しながら発電でき、建材として使用することで美観を損ねることなくエネルギー供給を行うことができる。そのため、農業分野では、太陽光発電と植物の成長に必要な赤色光の透過を同時に実現することが期待されている。半透明有機薄膜太陽電池を屋根材として使用す

ることで、光透過と発電を両立させ、農業とエネルギー供給を同時に実現することができる。

本研究では、植物工場の屋根材としての応用を想定し、日中に植物の成長に必要な赤色光を透過させつつ、残りの光で発電可能な半透明有機薄膜太陽電池の設計と特性評価を行った⁽²⁾。

2. 実験方法と結果

< 2. 1 > 作製工程

有機薄膜太陽電池の作製工程を図1に示す。ITO (Indium Tin Oxide)が成膜されたガラス基板を用意し、エッチング工程にて電極パターン形成後、有機半導体溶液をスピンドーティングにて成膜、バッキングを行った。その後、2枚のガラス基板を熱と圧力を加えて接合させるラミネート法にて接合し、セルを作製した。

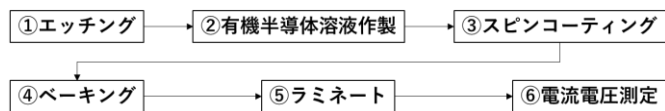


図1 作製工程

Fig.1 Experimental cell fabrication process.

< 2. 2 > エッチング

基材として、ITO をコーティングしたガラス基板(テクノプリント株式会社製)を使用した。ITO の不要部分を正確に除去し、所定のパターンを形成するためにエッチングを行った。耐酸性のテープを使用し、ITO コーティングを必要な形状にマスキングした。エッチング液として 20 wt%の希塩酸を使用し、亜鉛粒を触媒として添加することで、反応を効率的に進行させた。エッチング後には基板を十分に洗浄し、反応残渣を除去した後、マスキングに使用したテープを慎重に剥がした。この工程を経て、図2 のとおり、所望の形状に成形された ITO パターンが得られた。

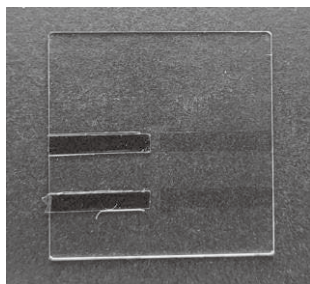


図2 エッチング後のガラス基板

Fig.2 Glass substrate after etching.

< 2. 3 > 有機半導体溶液

有機半導体溶液の作製条件を表1に示す。有機薄膜太陽電池の活性層材料として、PEIE (ポリエチレニミン)、PEDOT:PSS (PEDOT:ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)、PSS:ポリスチレンスルホン酸)、P3HT+PCBM (P3HT:ポリ 3-ヘキシルチオフェン、PCBM:フェニル C61 醜酸メチルエステル)を使用した⁽³⁾⁽⁴⁾。エタノールを溶媒として、PEIE 溶液を濃度 10 wt%、PEDOT:PSS 溶液を濃度 0.56 wt%に調整した。P3HT+PCBM 溶液は、P3HT と PCBM を 1:1 の質量比で混合し、クロロホルムを溶媒として濃度 3.4 wt%に調整した。各溶液の攪拌には、攪拌装置(アズワン株式会社製、RSH-4DN)を使用した。

表1 溶液作製条件

Table 1 Solution preparation conditions.

溶液	溶媒	攪拌回転速度 [rpm]	攪拌温度 [°C]
PEIE	エタノール	700	40
PEDOT:PSS	エタノール	660	30
P3HT+PCBM	クロロホルム	660	50

< 2. 4 > スピコーティングとベーキング

各溶液の成膜にはスピコーティング法を用い、表2の条件で実施した後、表3の条件でベーキングを行った。図3に示すとおり、ガラス基板上に作製した溶液を成膜する。塗布量は0.4 mLとし、溶液内の不純物除去のため、所定の孔径のフィルタを通して塗布した。PEIE 溶液の成膜では、ITO をコーティングしたガラス基板上にスピコートを行った。スピコーティング装置(株式会社ミカサ製、MS-A150)を使用し、湿度 25%以下の雰囲気下で実施した。その後、エタノールを 0.4 mL 滴下し、回転速度 1500 rpm でリンス処理を2回実施した後、真空中で温度 55°C、60 分間ベーキングした。PEDOT:PSS 溶液の成膜では、リンス処理は行わず真空中で温度 200°C、5 分間ベーキングした。P3HT+PCBM 溶液の成膜には、上記とは別のスピコーティング装置(株式会社アイデン製、SC4001)を使用した。PEDOT:PSS 層が成膜された基板上に、窒素雰囲気下でスピコート、温度 150°C、45 分間ベーキングを行った⁽⁵⁾。

表2 スピコーティング条件

Table 2 Spin coating conditions.

	溶液	雰囲気	回転速度 [rpm]	フィルタ孔径 [μm]
①	PEIE	湿度 25%以下	1 500	0.22
②	PEDOT:PSS	湿度 25%以下	1 000	0.22
③	P3HT+PCBM	窒素	1 000	0.45

表3 ベーキング条件

Table 3 Baking conditions.

	溶液	雰囲気	温度 [°C]	時間 [min]
①	PEIE	真空	55	60
②	PEDOT:PSS	真空	200	5
③	P3HT+PCBM	窒素	150	45

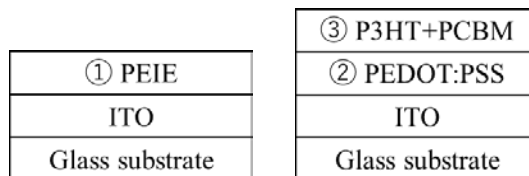


図3 ベーキング後のガラス基板イメージ

Fig.3 Image of glass substrate after spin coating.

< 2. 5 > ラミネート

ラミネート工程にて、図 3 に示した 2 種のガラス基板を接着させる。図 4 にラミネート後のセル構造を示す。図 5 に示すラミネート装置(Xinhong Mech & Elec Co., Ltd.製、HP230C-X)を使用し、圧力 2.7×10^{-2} MPa、温度 200℃、加圧時間 20 分の条件下にて、PEIE 層と P3HT+PCBM 層を接着面としてラミネートを行った。

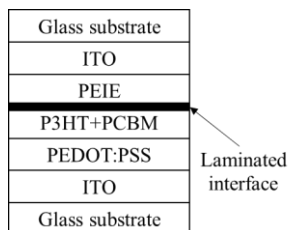


図 4 セル構造
Fig.4 Cell structure.



図 5 ラミネート装置
Fig.5 Laminating equipment

< 2. 6 > 電流－電圧特性

電流－電圧特性の測定には、半導体パラメータアナライザ(Keysight Technologies, Inc.製、B1500A)を使用した。光源にはソーラーシミュレーター(株式会社三永栄電機製作所製、XES-40S3)を用い、AM1.5 基準、光強度 100 mW/cm^2 の条件下で測定した。その結果、短絡電流密度は -0.012 mA/cm^2 、開放電圧は 0.48 V であり、エネルギー変換効率は 0.01% 未満であった。

< 2. 7 > 考察

エネルギー変換効率が非常に小さかった原因として、光吸収層でのキャリア生成が不十分である可能性や、生成されたキャリアが効率的に電極へ輸送されていない可能性が考えられる。

そこで、ラミネート工程直前の P3HT+PCBM 層の表面形態を観察した。観察には非接触三次元粗さ測定装置(Canon 製、NewView7300)を用いた。観察結果を図 6 に示す。膜表面には長さ約 0.1 mm の針状の結晶が確認された。さらに、走査型プローブ顕微鏡(ブルカー・エイエックスエス製、Dimension Icon)にて、結晶の凹凸状態を詳細に観察した。観察結果を図 7 に示す。結晶は膜表面から約 $3 \mu\text{m}$ 凸になって存在していることがわかった。この結晶は、ラミネート工程において、層間の微小な隙間や気泡が生ずる原因となり、界面密着性の悪化、接触抵抗の増加を引き起こす可能性が高いと考えられる。この影響が、電流－電圧特性の低下に寄与している可能性が示唆された。

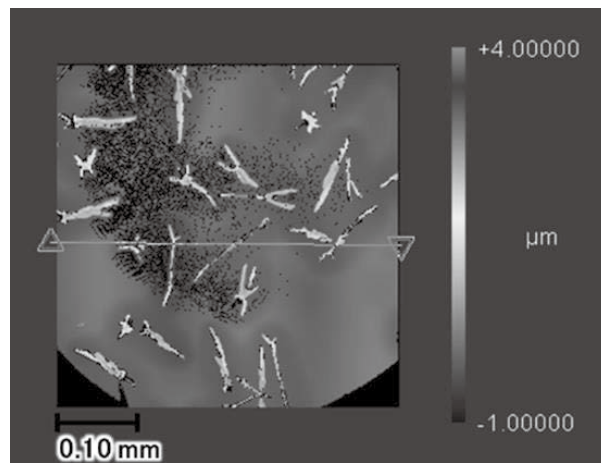


図 6 ラミネート前の P3HT+PCBM 層の表面
Fig.6 Surface of the P3HT+PCBM layer before lamination.

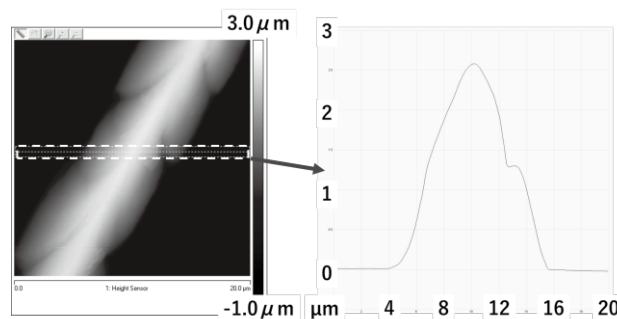


図 7 P3HT+PCBM 層の結晶の凹凸
Fig.7 The surface roughness of the crystals in the P3HT+PCBM layer.

3. 作製条件変更

前述の作製条件では、変換効率が小さく、太陽電池として機能していなかった。そこで、変換効率の向上を目指し、表 4 に示すとおり条件を変更した。主に、P3HT+PCBM 溶液のスピンコート、ベーキング、ラミネート条件に着目して実験を行った。

< 3. 1 > フィルタ、ベーキング、ラミネート条件変更

まず、P3HT+PCBM 溶液を塗布する際のフィルタをより細かな $0.22 \mu\text{m}$ に変更し、溶液を 2 回通過させた。ベーキング処理により、P3HT+PCBM 層の結晶化がどの程度進行しているか確認するため、ベーキング前、ベーキング温度 150°C および 200°C の基板を用意し、膜表面を観察した。図 8 に観察結果を示す。ベーキング前では、針状の結晶が確認されなかった。一方、 150°C では小さく繊細な結晶が膜表面に形成されており、 200°C ではこれらに比べて大きな結晶が形成されていた。特に 200°C の条件では、結晶が成長することで膜表面が不均一になりやすい傾向が見られた。 150°C で形成された小さな結晶は、キャリア移動効率の向上や再結合の抑制に寄与する可能性がある。また、小さ

表 4 作製条件

Table 4 List of processing conditions.

主な変更内容	変更の目的	P3HT+PCBM 溶液 濃度[wt%]	P3HT+PCBM 溶液 フィルタ	P3HT+PCBM 溶液 ベーキング	ラミネート
—	—	3.4	0.45 μm ×1 回	窒素雰囲気 150℃×40 min	圧力 $2.7\times 10^{-2}\text{MPa}$ 200℃×20 min
塗布フィルタの細孔化 ベーキング省略 ラミネート温度最適化	過度の結晶化を抑制	3.4	<u>0.22 μm×2 回</u>	<u>無し</u>	圧力 $2.7\times 10^{-2}\text{MPa}$ <u>150℃</u> ×20 min
P3HT+PCBM 溶液濃度	光吸収効率の向上	<u>6.8</u>	<u>0.22 μm×2 回</u>	<u>無し</u>	圧力 $2.7\times 10^{-2}\text{MPa}$ 200℃×20 min
ラミネート 圧力増加	界面密着性の向上	3.4	<u>0.22 μm×2 回</u>	<u>無し</u>	<u>圧力 $5.4\times 10^{-1}\text{MPa}$</u> 200℃×20 min

な結晶は表面均一性を保ちやすく、電荷分離や輸送の効率が改善されるため、特性向上につながると考えられる。一方、200℃で形成された大きな結晶は、結晶サイズの不均一性がキャリア移動の妨げとなり、デバイス特性を劣化させる可能性がある。最初の試作にて変換効率が小さかった要因は、温度 200℃でのラミネート前に比較的高温でベーキングしたことにより、P3HT と PCBM の分子間相互作用を促進し、過度に結晶化したためと仮定した。そのため、ベーキング処理を省き、P3HT と PCBM が非結晶状態のままラミネートすることで、エネルギー整合性の改善とキャリア輸送効率の向上を図る。

次に、ラミネート温度の最適化を図り、ラミネート温度 120℃および 150℃にてセルを作製した。電流－電圧特性を測定した結果、ラミネート温度 120℃では特性を取得することができなかった。一方で 150℃の場合、短絡電流密度は 0.13 mA/cm^2 、開

放電圧 0.56 V を記録した。ラミネート界面で剥離し、P3HT+PCBM 層の結晶を観察した。その結果を図 9 に示す。120℃では結晶が確認されなかったが、150℃では結晶が存在していた。この結果から、太陽電池の特性発現には P3HT+PCBM の結晶形成が不可欠であることがわかった。結晶が形成されない場合、キャリア輸送経路が十分に構築されず、特性が得られなかったと考えられる。発生メカニズムとして、P3HT と PCBM の結晶化は温度依存性を持ち、一定以上の温度が必要であると考えられる。120℃では結晶化のための熱エネルギーが不足していた。一方で、150℃では熱エネルギーが結晶成長に十分であったため、小さな結晶が形成されたと推察される。太陽電池の特性を得るためには、ラミネート温度が 150℃以上必要であることから、本研究では温度を 200℃に設定した。

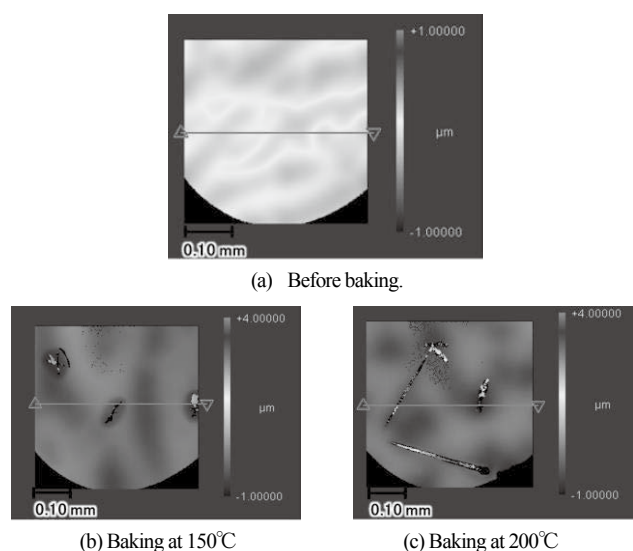


図 8 ベーキング前後の P3HT+PCBM 表面

Fig.8 P3HT+PCBM surface after baking.

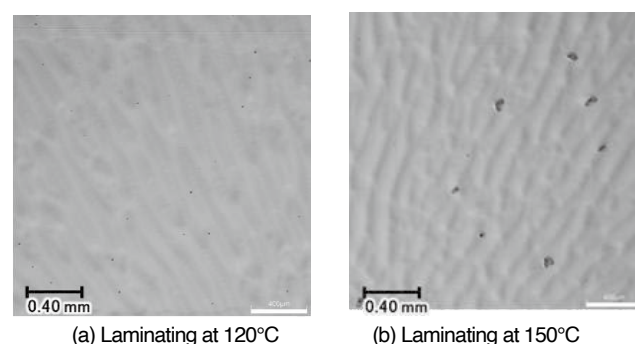


図 9 ラミネート後の P3HT+PCBM 表面

Fig.9 P3HT+PCBM surface after lamination.

< 3. 2 > P3HT+PCBM 溶液濃度の比較

P3HT+PCBM 溶液を、濃度 3.4 wt% と 6.8 wt% の 2 種用意し、電流－電圧特性の比較を行った。電流－電圧特性を測定した結果、溶液濃度 3.4 wt% と 6.8 wt% の短絡電流密度は、それぞれ 0.87 mA/cm^2 、 -1.54 mA/cm^2 となった。溶液の濃度が高いほど、より

多くの光を吸収し、キャリアが生成されるため、短絡電流密度が高くなったと考えられる。

＜ 3. 3 ＞ ラミネート圧力の増加

ラミネート圧力を 2.7×10^{-2} MPaから 5.4×10^{-1} MPaに変更した。図 10 に各作製条件のセルの電流－電圧特性を示す。ラミネート圧力の増加により、特性が顕著に向上し、短絡電流密度は -2.11 mA/cm²、開放電圧は 0.42 V を記録した。また、電流密度と電圧の積が最大となる点での電流密度 $J_{\max}$ は -0.96 mA/cm²、電圧 $V_{\max}$ は 0.16 V であった。この結果、Fill Factor (FF)は 0.18 、エネルギー変換効率は 0.15% を記録した。圧力増加により、層間の微小な隙間や気泡が除去され、界面密着性が向上し、電荷移動の妨げが減少したと推測される。以上の結果は、ラミネート圧力の適切な制御が、半透明有機薄膜太陽電池の性能向上に重要であることを示している。

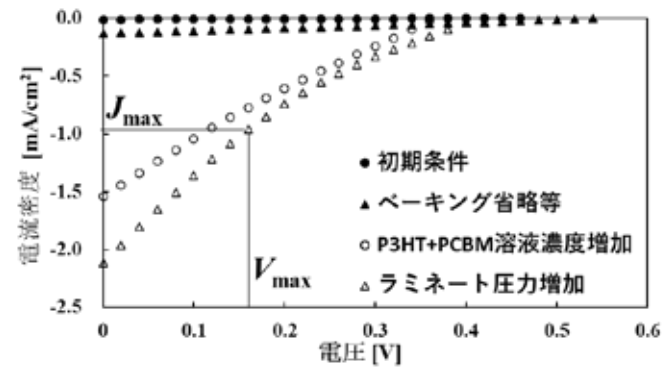


図 10 作製したセルの電流－電圧特性

Fig.10 Current-voltage characteristics of laminated cells.

4. 実験結果のまとめ

本研究にて作製したセルの電流－電圧特性の一覧を表 5 に示す。エネルギー変換効率について、ラミネート圧力を増加させた条件が最も良く、次いで P3HT+PCBM 溶液濃度を高めた条件

が良い結果となった。ラミネート圧力の増加により、接着面の密着性を高め、PEIE 層と P3HT+PCBM 層における電荷移動抵抗が低減したと推察される。また、高い濃度の P3HT+PCBM 溶液により、層の光吸収効率が良化し、生成キャリアが増加した結果、当初の作製条件と比較してエネルギー変換効率が高くなったと推察される。

5. 赤色光透過率の測定

作製したセルの赤色光透過率を確認した。透過率の測定は、透過率測定装置（株式会社島津製作所製、UV-1900i）を使用して行った。図 11 に測定結果を示す。700 nm 付近の波長において透過率は 80% 以上を記録した。このことから、赤色光がデバイス透過していることが確認された。実際にモニターの前にデバイスをかざした様子を図 12 に示す。モニターの文字が鮮明に確認できるほど高い透過性を有していることも確認された。

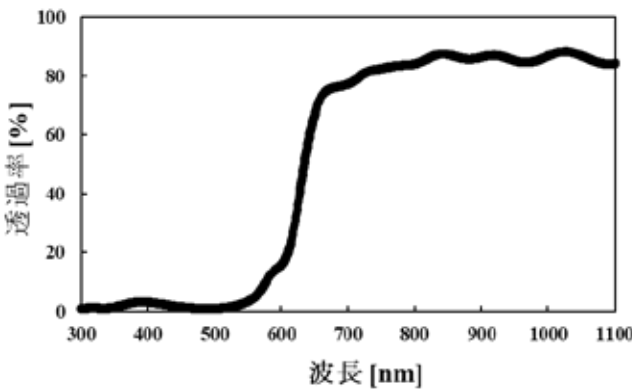


図 11 セルの透過率

Fig.11 Permeability of laminated cell.

表 5 電流－電圧特性一覧

Table 5 List of current-voltage characteristics.

主な変更内容	変更の目的	短絡電流密度 [mA/cm ²]	開放電圧 [V]	Fill Factor	エネルギー 変換効率[%]
—	—	-0.01	0.46	0.27	0.00
塗布フィルタの細孔化					
ベーキング省略	過度の結晶化を抑制	-0.13	0.56	0.27	0.02
ラミネート温度最適化					
P3HT+PCBM 溶液濃度	光吸収効率の向上	-1.54	0.36	0.22	0.12
ラミネート 圧力増加	界面密着性の向上	-2.11	0.40	0.18	0.15

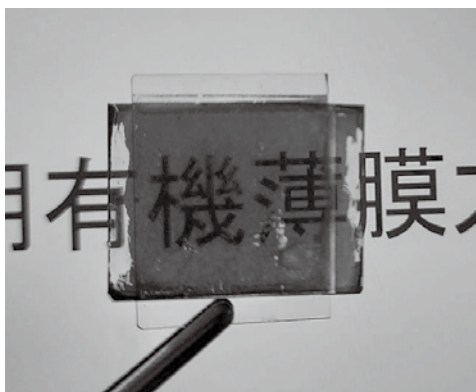


図 12 モニターの前にセルをかざした様子

Fig.12 Appearance of the cell held in front of the monitor.

6. 結言

本研究では、植物工場の屋根材としての応用を目指した半透明有機薄膜太陽電池の設計と特性評価を行い、透明性と高いエネルギー変換効率を両立させるための条件を明確にした。特に、P3HT+PCBM 層のベーキング処理省略、目の細かいフィルタの選定、ラミネート圧力の増加、および P3HT+PCBM 溶液の濃度増加が、セルの特性向上に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

特性の発現には、P3HT+PCBM 層の結晶化が欠かせず、その結晶の形成はラミネート温度に依存することが示された。一方で、過度の結晶化はラミネート界面の密着性を低下させる要因であることも示唆された。ラミネート界面の密着性がセル特性に深く関わっており、結晶化と密着性の両方が最適化されることで、より高効率なセルの実現が期待できることがわかった。

セルの透明性については、赤色光透過率が 80% 以上であることが確認された。有機半導体層をラミネート法にて接着させることで、透明性を有する有機薄膜太陽電池を作製できることがわかった。

文 献

- (1) 當摩 哲也.「有機薄膜太陽電池の研究開発-シリコンを使わない新しい太陽電池-」『化学と教育』. 2018 年, 66 巻 7 号, 350-353 頁.
- (2) 産業技術総合研究所.「変換効率とは: AIST 太陽光発電技術開発」. https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/principle/principle_4n.html, 2024 年 6 月 20 日閲覧.
- (3) MilliporeSigma.「有機薄膜太陽電池の基礎」. <https://www.sigmaaldrich.com/JP/ja/technical-documents/technical-article/materials-science-and-engineering/photovoltaics-and-solar-cells/zknk-opv>, 2024 年 7 月 2 日閲覧.

- (4) 株式会社日本触媒.「ポリエチレンイミン (エポミン®) | 製品情報 | 日本触媒」. <https://www.shokubai.co.jp/ja/products/detail/epomin1/>, 2024 年 7 月 5 日閲覧.
- (5) 分子科学研究所.「新コンセプト有機太陽電池によって高効率化への道筋を拓く ―水平交互多層接合によってバルクヘテロ接合を超える― (平本グループ)」. https://www.ims.ac.jp/news/2019/02/19_4254.html, 2024 年 7 月 5 日閲覧.

Ⅲ. フレキシブル導体の開発

Development of Flexible Conductors

岡田 達也

OKADA Tatsuya

水戸 俊宏

MITO Toshihiro

吉田 巧

YOSHIDA Takumi

早苗 徳光

SANAE Norimitsu

横山 義之

YOKOYAMA Yoshiyuki

丹保 浩行

TAMBO Hiroyuki

上野 実

UENO Minoru

Abstract

In recent years, analysis has been conducted to synchronize biological signals with movement in rehabilitation support and sports, among other fields. For acquiring these signals, electrodes and conductors that exhibit high compatibility with humans are required. In this study, we aimed to develop a flexible conductor that combines elasticity and conductivity, and investigated a method for fabricating a flexible conductor using a liquid metal as the conductor layer and nanofibers as the encapsulant, and evaluated its electrical and mechanical properties. As a method for coating the base encapsulant with liquid metal, we decided to first sputter Au onto the base encapsulant, and then use a combination of the pressing method and bar coating method. The liquid metal was then sealed using electrospinning, and a conductive wire was inserted into the liquid metal to complete the flexible conductor. Measurement of the resistance of the flexible conductor revealed a favorable value of 28 mΩ, and also demonstrated satisfactory characteristics at the actual operating temperature. As a result of evaluating the mechanical properties, the change in resistance was small up to an elongation rate of 30%, and no damage to the flexible conductor was confirmed. In addition, we succeeded in acquiring biosignals in a stationary state.

1. 緒言

近年、リハビリ支援やスポーツ等において、生体信号と運動動作をシンクロナイズさせた解析が行われており、その信号取得に際して、体に負荷をかけない長時間計測法が求められている⁽¹⁾。負荷をかけない計測のためには、身体との親和性が高い電極や導体が必要である。しかし、従来導体には金属等の硬質材料が使用されており、それらは人の動作に伴う衣服の変形(曲げ、ねじり、伸縮等)に追従可能な柔軟性を備えていない。そのため、装着時の違和感や皮膚の炎症などを引き起こす要因となっていた⁽²⁾。一方、導体に柔軟性を付与する様々な研究がおこなわれている。例えば、伸縮性を有する樹脂に金属粒子を混練することで導体とする研究があるが、伸長時には導電性が低下してしまう等の課題がある⁽³⁾。

そこで、本研究では、導電層として電気伝導性及び展延性に優れている液体金属を利用し、封止材に柔軟性及び伸縮性、通気性等に優れ、身体との親和性が高い素材であるナノファイバー不織布を用いることで、伸縮性と導電性を兼ね備えたフレキシブル導体の開発を目指した。このフレキシブル導体は身体との親和性が良く着心地や通気性などに優れた衣服型のウェアラブルデバイスとしてスポーツやリハビリ分野への応用が期待できる。

2. 研究対象

< 2. 1 > フレキシブル導体の概要

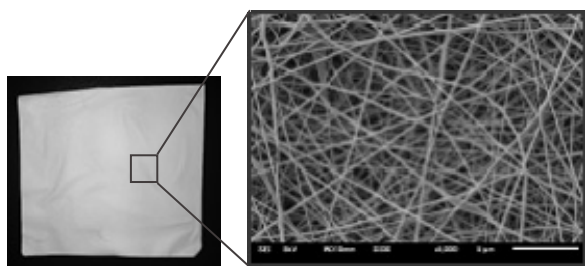
フレキシブル導体とは、変形や伸縮が可能な導体のことである。フレキシブル導体の開発例として、電気が流れる高分子材料である導電性ポリマーや⁽⁴⁾繊維に金属メッキや蒸着などにより膜を複合した導電性繊維などがある⁽⁵⁾。

< 2. 2 > 液体金属

液体金属とは、融点が低く、常温で液体状態にある金属のことである。電気伝導性や展延性などに優れており、特にガリウム系合金は低毒性の液体金属であることから、水銀フリー体温計や家庭用ゲーム機のヒートシンク及び冷却ファンのサーマルペーストなど様々な用途で実用化されている。

< 2. 3 > ナノファイバー

ナノファイバーとは、直径が1 nm から数百 nm の繊維状物質である。ポリウレタンや絹など様々な高分子材料から作ることができ、その性質は材料によって異なる。前述のとおり、シート状にしたナノファイバー不織布は柔軟性、伸縮性、通気性に優れ、人との親和性が良好な素材であることから、再生医療やマスク用フィルター、透湿防水膜など様々な用途で使用されている。



電子顕微鏡 5000 倍

図1 ナノファイバースシート

Fig.1 Nano Fiber Sheet.

< 2. 4 > エレクトロスピニング法

ナノファイバーの製造方法の一つであるエレクトロスピニング法とは、高分子材料を溶剤に溶かしたポリマー溶液などを充填した金属ノズルに高電圧を印加することで、ポリマー溶液を射出させる方法である。ポリマー中の電荷量がしきい値を超えると、電荷を帯びた nm サイズの直径の噴流が発生する。この噴流を集積させることでナノファイバースシート（不織布）を形成する（図 1）。

3. フレキシブル導体の作製

< 3. 1 > コーティング方法の検討

フレキシブル導体の作製にあたり、下地封止材に液体金属をコーティングする方法を検討した。数十 μm 程度の厚みを持った均一な液体金属の導体層を形成する方法をとって、①プレス法、②バーコート法、③スピコート法について検討した（図 2）。①～③の共通条件として、液体金属として市販のガリウム合金（Ga75.5-In24.5、融点約 16°C ）、下地封止材として取り扱いやすいポリプロピレン（PP）フィルムを使用した。まず、PP フィルム（ $30 \times 30 \text{ mm}$ ）上にガリウム合金を滴下し塗り広げてみたところ、PP フィルムに対する濡れ性が悪く薄膜が形成できなかった。そこで、液体金属と Au を合金化させることによる濡れ性の向上を狙って、あらかじめ PP フィルムに SEM 用のスパッタ装置を用いて Au スパッタを行った。ここで、①プレス法とは、PP フィルム上に液体金属を滴下し、ガラス板で挟むことにより圧力を加え、液体金属を塗り広げるコーティング方法である。本実験ではガラス板（ $100 \times 100 \text{ mm}$ ）の上に 3.13 kg のおもりを 1 分間乗せることで圧力を加えた。②バーコート法とは、PP フィルム上に液体金属を滴下し、ガラス棒で液体金属を延ばすことにより薄膜を形成する方法である。③スピコート法とは、PP フィルム上に液体金属を滴下し、フィルムを回転させ遠心力により余分な液体金属を除去することで液体金属を塗り広げる方法である。回転数は 3000 rpm とし、30 秒間行った。

それぞれのコーティング結果を図 3 に示す。①プレス法では、レーザー顕微鏡（株式会社オリンパス製 OLS4000）を用いてコーティ

ング後の液体金属の膜厚を測定したところ、膜厚が $1 \mu\text{m}$ 以下となり配線として使用するには薄い結果となった。厚みが $1 \mu\text{m}$ で配線を作製した場合、市販の生体信号取得のための電極配線の抵抗値を参考にしたところ、配線幅がおおよそ 20 cm 必要となるため、今回想定される衣服型のウェアラブルデバイスには適していない結果となった。②バーコート法では、液体金属がほとんど PP フィルムに付着せず、部分的に液体金属がまとまって存在する液だまりが発生したのみであった。③スピコート法では、①プレス法と同じく液体金属の厚みが $1 \mu\text{m}$ 以下と薄い結果となった。

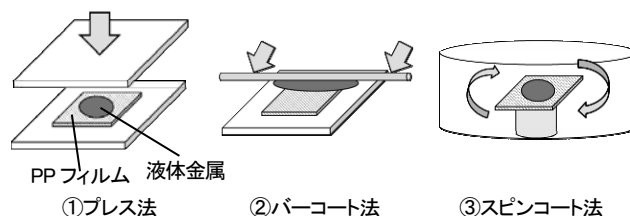
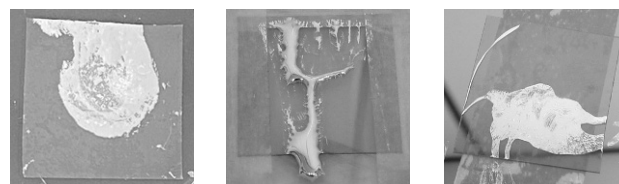


図2 液体金属のコーティング方法

Fig.2 Liquid metal coating methods.



①プレス法 ②バーコート法 ③スピコート法

図3 液体金属のコーティング結果

Fig.3 Liquid metal coating results.

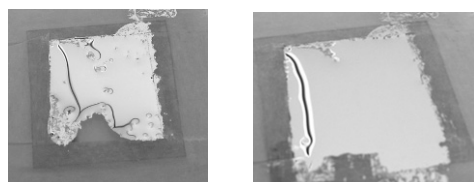
そこで、液体金属を十分かつ均一な厚みに塗布するためのコーティング方法としてプレス法とバーコート法の組み合わせを試みた（図 4）。プレス法では厚み約 $90 \mu\text{m}$ のマスキングテープをスパーサーとして用いることで、導体層の厚みを調整した。その後、バーコート法により、液体金属を均一に塗り広げることとした。

コーティング結果を図 5 に示す。結果として、厚さ約 $90 \mu\text{m}$ で鏡面のような均一な導体層を作製することができた。よって、コーティング方法はプレス-バーコート法を採用することとした。次に、動作に伴う衣服の変形に追従可能にするために、PP フィルムに比べて伸縮性に優れているポリウレタンフィルムに対して同様のコーティングを行った。その結果、PP フィルムの場合と同様に均一な液体金属の導体層を形成することができた。



図4 プレス-バーコート法でのコーティング

Fig.4 Coating by press method and bar coating method.



プレス後

バーコート後

図5 プレス-バーコート法でのコーティング結果

Fig.5 Coating results with press method and bar coating method.

< 3. 2 > ナノファイバーシートへのコーティング

身体との親和性をより高めるために、柔軟性と通気性を加える目的で、ポリウレタンフィルムをポリウレタンのナノファイバーシートに変更し、表1に示す条件でフィルムの際と同じく液体金属のコーティングを行った。

その結果、ナノファイバーシートと液体金属との濡れ性はポリウレタンフィルムより悪く、コーティングできていない箇所があった(図6)。これは、図1の不織布を構成するシート表面のナノファイバーの微細な凹凸形状の影響だと考えた。そこで、ナノファイバーシートとの濡れ性改善方法の検討を行うことにした。

表1 コーティング条件

Table1 Coating conditions.

項目	条件
サイズ	30×30 mm
コーティング方法	プレス - バーコート法
スパッタ時間	2分40秒
液体金属	ガリウム合金 (Ga75.5-In24.5)
下地封止材	ナノファイバーシート (ポリウレタン)

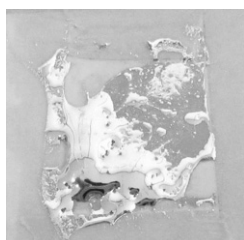


図6 ナノファイバーシートへのコーティング

Fig.6 Coating on nanofiber sheets.

< 3. 2. 1 > ガリウム合金の粘着性の向上

ガリウム合金の表面張力が大きくナノファイバーシート上の濡れ性が悪いことから表面張力を上回る粘着力を得ることを目的とし、ガリウム合金にNi粉末の混合を試みた。Ni粉末の混合比が大きいほど、ガリウム合金の酸化が促進するため粘着力は向上するとされている⁶⁾。

ビーカーに液体金属と今回入手可能であった粒径 150 μm のNi粉末を 15wt%入れて、30分程度ガラス棒で混合した後、表1の条件のもとコーティングを行った。その結果、粘着性は向上せず、濡れ性は改善しなかった。Ni粉末を混合したビーカーから1滴取り出して観察したところ図7のように表面が滑らかなままであった。これは、Ni粉末が均一に混ざらなかったことを示している。この原因として、今回用いたNi粉末の粒径が大きかったことが考えられる。

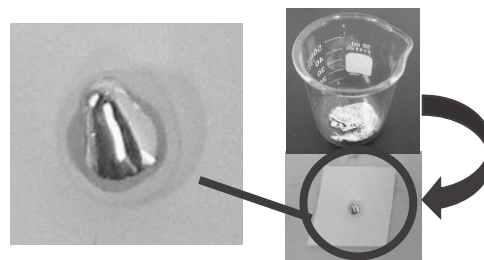


図7 液体金属とNi粉末の混合

Fig.7 Mixing of liquid metal and Ni powder.

< 3. 2. 2 > 表面改質剤による濡れ性向上

液体金属とシリコーンゴムの濡れ性が良いことから、シリコーン系表面改質剤を使用し、ポリウレタンのナノファイバーシートの濡れ性向上を目指した。

表面改質剤(信越化学工業株製 kp341)をエタノールで2倍希釈し、ナノファイバーシートに塗布した。その後、表1の条件のもとコーティングを行った。その結果、図8のように未処理のもの比べて若干の改善は認められたもののほとんど塗膜されず、均一なコーティングには至らなかった。



未処理

表面改質剤塗布

図8 ナノファイバーシート濡れ性の比較

Fig.8 Comparison of nanofiber sheet wettability.

< 3. 2. 3 > Au スパッタ時間の増加による濡れ性向上

スパッタしたAuと液体金属との合金を作りやすくするため、ナノファイバーシートへのAuスパッタ時間を延長し、Auの堆積量の増加を試みた。スパッタを5分、8分、10分の3パターンで実施し、表1の条件のもとコーティングを行った。その結果、5分と8分では濡れ性は改善しなかったが、10分ではむしろ均一にナノファイバーシート上に液体金属をコーティングすることができた(図9)。

ここで、スパッタ時間の差異によるAuの堆積量の評価を行った。シリコーン基板上に、Auスパッタ膜を形成し、ピンセットでAuの膜に傷をつけ、できた段差を走査型プローブ顕微鏡(ブルカー・エイエクセス株製 Dimension Icon)により測定したところ、スパッタ時間2分40秒では膜厚7.8 nm、8分では18.1 nm、10分では23.8 nmとなった。したがって、PPフィルムではAuスパッタ時間2分40秒で均一なコーティングが可能であったが、表面が凹凸形状のナノファイバーシートでは10分必要なため、Auの堆積量はPPの約3倍必要であることが明らかとなった。



スパッタ 2 分 40 秒 スパッタ 8 分 スパッタ 10 分

図 9 Au スパッタ時間による濡れ性の比較

Fig.9 Comparison of wettability by Au sputtering time.

< 3. 3 > フレキシブル導体の作製

本研究で作製したフレキシブル導体の作製プロセスを図 10 に示す。まず、ナノファイバーシートにスパッタ用マスクを被せ Au スパッタを行った (①、②)。次にスパッタ用マスクを外し、コーティング用マスクを被せ、液体金属をコーティングした (③、④)。コーティング用マスクを外し、エレクトロスピンング法による液体金属の封止を行った (⑤、⑥)。導線を液体金属に挿入し、エレクトロスピンング法による導線挿入部の再封止を行った (⑦、⑧)。

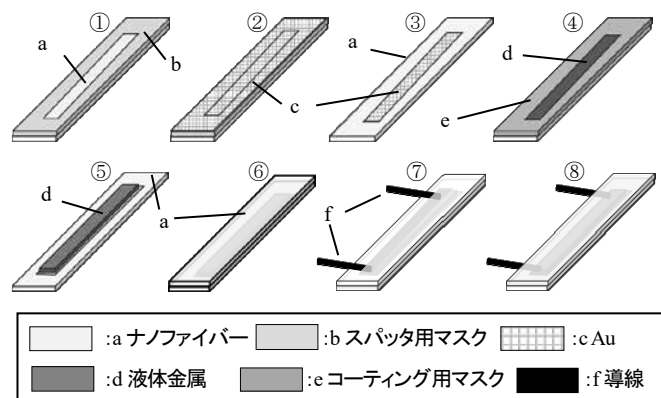
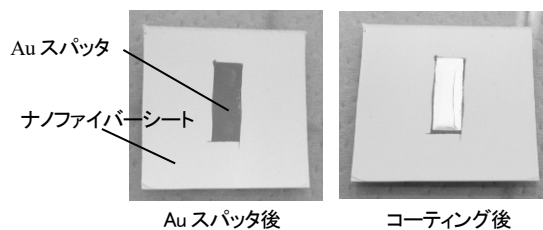


図 10 配線プロセス

Fig.10 Wiring Process.

< 3. 3. 1 > 配線パターン作製方法の検討

配線パターン作製方法の検討 (図 10①～⑤) は、配線サイズ：5×20 mm、コーティング方法：プレスパーコート法、Au スパッタ時間：10 分間、液体金属：ガリウム合金で行った。これまでマスクングテープを用いたコーティングを行っていたが、より正確な形状及び厚みでのコーティングを行うため厚み約 90 μm の紙のコーティング用マスクを使用した。その結果、図 11 のように、Au スパッタされた箇所とされていない箇所との濡れ性の差を活かして配線パターンを作製することができた。



Au スパッタ後 コーティング後

図 11 配線パターン作製方法の検討結果

Fig.11 Study results of wiring pattern creation method.

< 3. 3. 2 > 封止方法の検討

エレクトロスピンング法により液体金属上にナノファイバーを堆積させながら液体金属を覆うことで封止を試みた (図 10⑥)。本研究におけるナノファイバー(NF)の紡糸条件は表 2 に示すとおりである。3. 3. 1 で作製した 5×20 mm の配線パターンに対して、エレクトロスピンングを行ったところ、上部封止材の不織布の目の隙間や上下の封止材の密着部から液体金属が漏れ出すことはなく、封止に成功した。SEM で上部封止材を観察したところ繊維状になっており、液体金属上にナノファイバーの形成が確認できた。なお、堆積させるナノファイバーの厚みは、下地のナノファイバーと同じ 26 μm 程度とした。

表 2 NF 作製条件

Table2 NF production condition

項目	条件
ポリマーの種類	ポリウレタン
温度	23.4℃
湿度	55%
電圧	19 kV
電流	0.1 μA
時間	10 分
濃度	15wt% (DMF/MEK=6/4)
ターゲット距離	12 cm

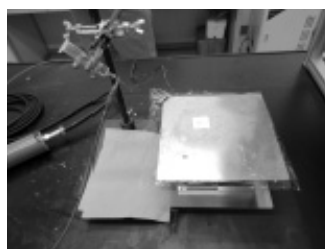


図 12 エレクトロスピンング法

Fig.12 Electrospinning Process.

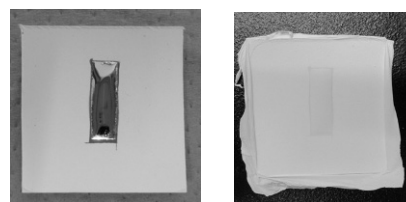


図 13 エレクトロスピンング法による封止結果

Fig.13 Sealing results by electrospinning method.

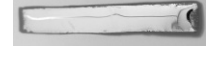
< 3. 4 > 配線パターンとスパッタ条件の検討

次に、より製品の配線パターンに類似した、長い形状でのパターンニングを試みた。配線パターンとスパッタ条件を表 3 に示す。また、コーティング条件は表 1 のとおりである。条件 I として、試料をスパッタ装置の中心に置いて 10 分間 Au スパッタを行った

ところ、全体的にコーティングむらが発生した。その原因として、形状が細長くなったことから、合金化して濡れ広がろうとする力より、液体金属の表面張力の方が強く作用したと考えた。そこで、条件Ⅱとして、スパッタ条件は変えず、 $6 \times 40 \text{ mm}$ と線幅を広げ、長さを短くした配線パターンで検討を行った。その結果、中心部は改善したものの、配線の端部の濡れ性は依然として悪かった。次に、条件Ⅲとして、配線パターン形状は変更せずスパッタ時間を 15 分間に延長した。しかしながら、条件Ⅱの結果と同様に、配線の端部の濡れ性は向上しなかった。そこで条件Ⅳとして、小型スパッタ装置を用いて配線の端部により Au を堆積させるため、スパッタ装置の中心から試料を置く位置をずらし、10 分間 2 回のスパッタを行った。その結果、端部の濡れ性は改善し、均一な導体層の作製に成功した。よって、配線パターンとスパッタは条件Ⅳとすることとした。

表 3 配線パターンとスパッタ条件

Table3 Wiring pattern and sputtering conditions.

条件	配線パターン	スパッタ	結果
I	$2 \times 50 \text{ mm}$	中心に置いて 10 分	
II	$6 \times 40 \text{ mm}$	中心に置いて 10 分	
III	$6 \times 40 \text{ mm}$	中心に置いて 15 分	
IV	$6 \times 40 \text{ mm}$	中心をずらして 10 分×2 回	

< 3. 5 > 導線の接続

フレキシブル導体に接続する導線として、導体が 0.1 mm^2 (構成 10 本/ 0.12 mm)、仕上げ外径は 1.0 mm 、材質は銅にすずめっき、長さは約 100 mm のものを用いた。

導線の接続は、ナノファイバーで封止した液体金属部に導線を挿入することで行った (図 10⑦～⑧)。挿入部の補強のため、エレクトロスピニングにより 2 分間再封止を行った。次に、伸縮性のある低密度ニット生地をホットメルトシートで両面に貼り合わせることで、全体の補強を行った (図 14)。

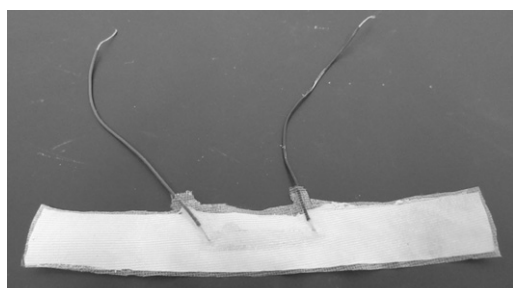


図 14 フレキシブル導体

Fig.14 Flexible Conductor.

4. 電気特性の評価

< 4. 1 > 導通の確認

フレキシブル導体の抵抗値は、電気抵抗測定装置 (株アドバンテスト製 TR6878) を使用し、装置のワニ口測定ケーブルを各導線の端部に接続して、4 端子法にて測定した。フレキシブル導体の導体層のサイズが $6 \times 40 \text{ mm}$ の試料 (図 14) を測定したところ、抵抗値が $28 \text{ m}\Omega$ と測定され、導通を確認することができた。

< 4. 2 > 導線の抵抗及び接触抵抗の確認

上記で測定した抵抗値には、液体金属の導体層の抵抗だけでなく、導線の抵抗及び導体層との接触抵抗が含まれている。そこで、導線の抵抗及び導体層との接触抵抗を測定するための試料を作製した (図 15)。試料には長さを揃えた導線を導体層に等間隔で 4 本配置しており、各 2 点間の導体層の長さにおける抵抗値を測定した。導線の抵抗及び接触抵抗がすべての測定値において均一な場合、抵抗値は長さに対して線形に増加し、その近似直線の切片が導線の抵抗及び接触抵抗となる。

図 16 に導体層の長さに対する抵抗値の測定結果を示す。このグラフより、切片 (導線の抵抗及び接触抵抗) の値は $12.1 \text{ m}\Omega$ となった。したがって、長さ 35 mm における抵抗値は $20.7 \text{ m}\Omega$ であることから、液体金属の導体層のみの抵抗値は $8.6 \text{ m}\Omega$ となる。

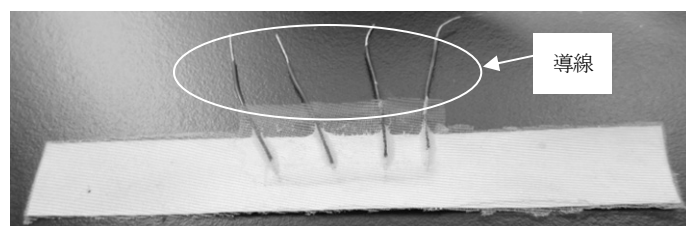


図 15 抵抗値測定試料

Fig.15 Sample for measuring the resistance.

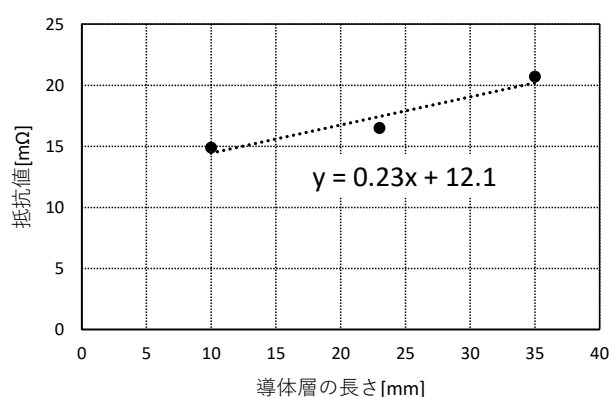


図 16 導体層の長さ抵抗値の関係

Fig.16 Relationship between conductor layer length and resistance.

< 4. 3 > 温度特性の確認

フレキシブル導体をアンダーウェア等に貼り付けて使用する場合、フレキシブル導体の温度は人の皮膚温から真夏の温度上昇時の服の温度まで変化することが予想される。そこで、使用想定温度下における抵抗値の変化を確認するため、ホットプレート上でフレキシブル導体を、室温（25℃付近）から 50℃まで変化させて抵抗値の測定を行った。図 17 にフレキシブル導体の抵抗値の温度特性を示す。抵抗値は室温で 27 mΩ、50℃で 28 mΩ と使用想定温度範囲において抵抗の変化は小さいことが分かった。したがって、今回試作したフレキシブル導体は、使用に際して温度の影響はほぼ受けないと考えられる。また、試作したフレキシブル導体の抵抗温度係数は $1.36 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ であった。

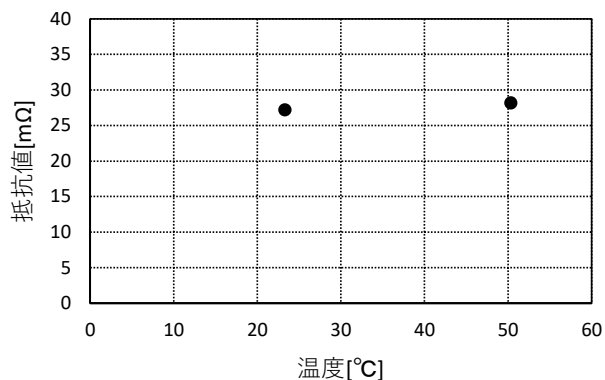


図 17 抵抗値の温度特性

Fig.17 Temperature characteristics of resistance.

5. 機械特性の評価

< 5. 1 > 引張試験

試作したフレキシブル導体に対して、単純引張試験、伸長回復試験、伸長サイクル試験を行った。測定風景を図 18 に示す。試験機はオートグラフ（株島津製作所製 AGS-5kNX）を使用し、引張速度は 10 mm/min、掴み間隔は 65 mm とし、試作した導体層 6×40 mm 導線間隔 30 mm のフレキシブル導体（20×150 mm）において前述した 4 端子法で抵抗値を計測した。

単純引張試験の試験結果を図 19 に示す。試験はフレキシブル導体の伸長率が 30%になるまで行った。導体層のある部分とない部分で伸びに違いがなく、30%伸長時の抵抗値の変化は 6 mΩ 程度であることが分かった。また、試験後にフレキシブル導体の破損状態の有無をデジタルマイクロスコープ（株キーエンス製 VHX-5000）を使用して確認したところ、ナノファイバーの裂けや液体金属の漏れ出しは確認されなかった。人間の体幹部位における皮膚の伸び率は 20~30%であることから、体幹部位に使用する場合において、十分な引張強度があると考えられる。



図 18 引張試験

Fig.18 Tensile Test.

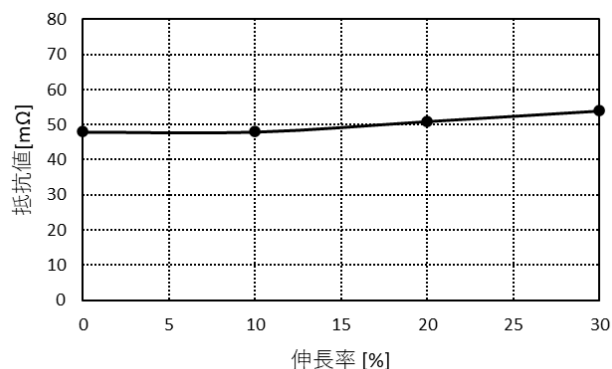


図 19 伸長率と抵抗値の関係

Fig.19 Relationship between elongation rate and resistance.

伸長回復試験を(1)ナノファイバーシート、(2)ニット（補強材）、(3)ナノファイバーシートとニットを貼り合わせたもの及び(4)試作したフレキシブル導体に対して実施した。試料の伸長率を 10%、20%、30%まで 10 mm/min で変化させた後、同速度で 0%に戻した際の試料の残留伸びを測定した。伸長回復試験の結果、ナノファイバーシートが最も残留伸びが小さく、ナノファイバーシートとニットを貼り合わせたものが最も残留伸びが大きいことが分かった（表 4）。この結果から、貼り合わせに使用した接着シート（ホットメルトシート）が伸長回復性を損なう原因であると考えられる。一方、試作フレキシブル導体の試験結果はナノファイバーシートとニットを貼り合わせたものよりも残留伸びが小さい結果を示しており、これはナノファイバーシートがニットで固定されていない部分（導体層）の影響であると考えられる。

表 4 伸長回復試験結果

Table4 Elongation recovery test result.

試料	伸長率	10%	20%	30%
		残留伸び [mm]		
(1)ナノファイバーシート		0.6	1.1	1.9
(2)ニット		1.3	1.7	2.6
(3)ナノファイバーシート ニット貼り合わせ		1.9	4.2	5.6
(4)試作フレキシブル導体		1.1	3.3	4.3

伸長サイクル試験を試作フレキシブル導体で実施した結果を図 20 に示す。試験では、伸長率を 0% から 30% までのサイクルを 10 回行った。いずれのサイクル回数においても、0% に戻した際に抵抗値が上昇しており、残留伸びにより導体部分がたわんだ影響と考えられる。また、10 サイクル目の伸長時に抵抗値が急激に高くなっており、試験後の試料を確認したところ、液体金属の漏れはなかったが、ナノファイバーシートとニットをホットメルトシートで貼り合わせた一部が剥離しており、その影響でたわみが著しく大きくなったことで抵抗値が高くなったと考えられる。

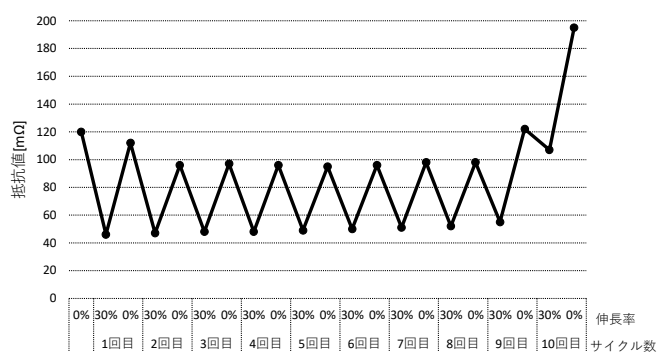


図 20 伸長サイクル試験

Fig.20 Extension cycle test.

貼り合わせに使用しているホットメルトシートがフレキシブル導体の伸長回復性と耐久性を損ねていると考えられることから、貼り合わせ方法の改善を行った。予め、ホットメルト接着剤を溶解した溶剤にニットを含浸、乾燥したものを使用し、接着層を薄くして貼り合わせることを目指した。これにより、ニットの繊維に薄く接着剤がコーティングされ、接着剤量が減り、追従性が向上するだけでなく、ナノファイバーシートの通気性を損なうことなく貼り合わせることが可能になると考えた。

貼り合わせ方法を変更して作製したフレキシブル導体で伸長サイクル試験を行った結果を図 21 に示す。前述と同様に最大伸長率 30%、サイクル回数 10 回で試験を行った。その結果、10 回伸長後であってもナノファイバーシートとニットの剥離は生

じず、貼り合わせ強度の改善ができた。しかし、伸長時の抵抗値が以前より増加した。これは接着剤の追従性に問題があり、接着剤を更に伸縮性を持つものに変更すれば伸長回復性と耐久性の両立ができると考える。また、今回作製した試料をデジタルマイクロスコープで確認したところ、ホットメルトシートを用いた際には、接着剤がニットの編目を埋めてしまっていた箇所が観測されなかった。このことは、フレキシブル導体の通気性の改善に繋がると考える (図 22)。

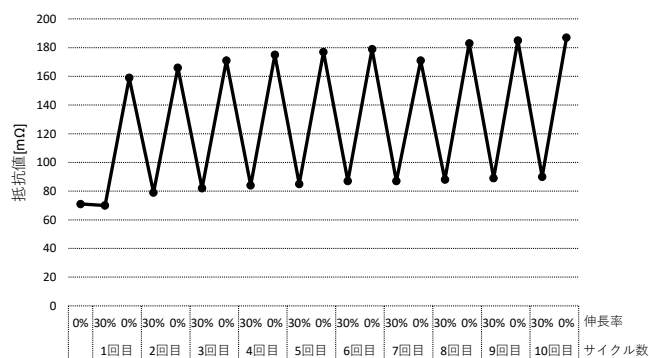
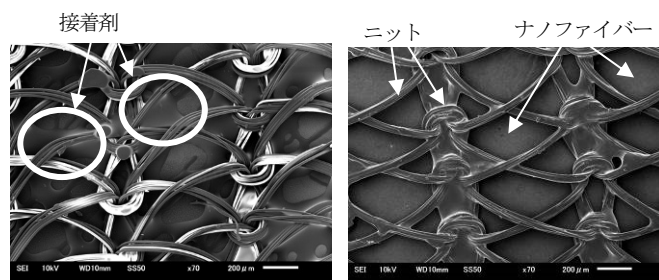


図 21 貼り合わせ方法変更試料での伸長サイクル試験

Fig.21 Elongation cycle test on samples with different lamination.



ホットメルトシート

ニット接着剤含浸

図 22 張り合わせ生地の SEM 写真

Fig.22 SEM of laminated fabric.

< 5. 2 > 曲げによる抵抗値の変化

人の腕部等の曲面で使用する場合を想定して、フレキシブル導体を曲げた際の抵抗値の変化を確認した。測定風景を図 23 に示す。曲率の異なる円柱を 2 つ用意し ($1/r = 0.23$ 及び 0.60)、その円柱にフレキシブル導体を貼り付けた状態で、抵抗値を 4 端子法で測定した。なお、半径 r の円柱の曲率は $1/r$ であり、半径が小さいほど曲率が大きくなり、曲がり具合が大きい。

測定結果を表 5 に示す。この結果から、曲げによる抵抗値の変化は少ないことが分かった。また、曲率 0.23 (半径 4.3 cm) の円柱は一般的な成人男性の腕周りの平均サイズと同程度であるため、腕部において使用可能であると考えられる。

表 5 曲げによる抵抗値の変化

Table 5 Change in resistance value due to bending.

半径 [cm]	曲率	抵抗値 [$m\Omega$]
(初期値)		28
4.3	0.23	28
1.65	0.60	30

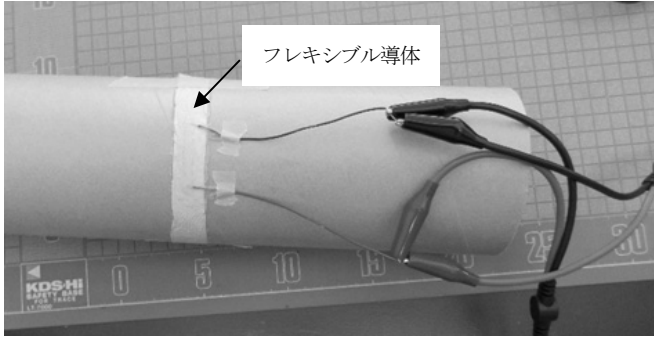


図 23 曲げによる抵抗値変化の測定風景

Fig.23 Scene of measuring the change in resistance due to bending.

6. 生体信号の測定

フレキシブル導体を測定ケーブルの一部として使用し、生体信号の取得を行った。なお、生体信号のセンシングデバイスにはウェアラブル心拍センサ myBeat (ユニオンツール(株)製 WHS-1) を使用し心拍情報を取得した。

作製したケーブルを図 24 に示す。フレキシブル導体の導体層は 6×20 mm で形成し、全長 90 mm、ケーブルの片側に電極パッド接続用のクリップ部が、もう片側にセンサ接続用のスタッドが接続された形状とした。作製したケーブルを使用し測定した心拍波形を図 25 に示す。なお、測定対象者がベッドに横たわった状態で心拍測定をした。心拍波形から、一定間隔で心拍を取得し、取得させた心拍数は 70 bpm と計測できた。測定した波形は心拍センサの標準ケーブルで測定したものと同等であり、開発したフレキシブル導体は使用可能であることが実証できた。

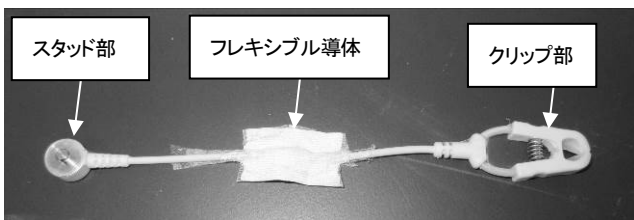


図 24 心拍測定ケーブル

Fig.24 Heart rate measurement cable.



図 25 測定した心拍波形

Fig.25 Measured heart rate waveform.

7. 結言

伸縮性と導電性を兼ね備えたフレキシブル導体の開発を目的とし、導体層として液体金属 (Ga75.5-In24.5)、封止材としてナノファイバーを使用したフレキシブル導体の作製及びその電気・機械特性の評価を行った。

フレキシブル導体の作製にあたり、下地封止材に液体金属をコーティングする方法として、あらかじめ下地封止材に Au スパッタを施し、プレス法とバーコート法を組み合わせることで、厚さ約 $90 \mu\text{m}$ で鏡面のような均一な厚みの導体層を作製することができた。また、下地封止材 (PP フィルム又はナノファイバーシート) や配線パターンの大きさによって液体金属との濡れ性に差異があったが、Au スパッタ時間や配線形状を変更することで解決することができた。液体金属の封止は、エレクトロスピンニングを用いることで、ナノファイバー不織布の目の隙間や上下封止材の密着部から液体金属が漏れ出すことのない封止に成功した。封止後に外部接続用の導線を液体金属部に挿入し、ナノファイバーでの再封止及びユニット生地での補強を行うことで、フレキシブル導体を完成させた。

作製したフレキシブル導体の電気特性を評価した結果、 $28 m\Omega$ と良好な導通を確認することができ、使用想定温度においても抵抗値の大幅な上昇は認められなかった。機械特性を評価した結果、伸長率が 30%までは抵抗値変化が小さく破損も確認されなかったが、伸縮時に抵抗値が増加しており、これはフレキシブル導体の伸長回復性が原因と考えられる。実用化のためには、接着剤により伸縮性のある材料に変更する必要があると考える。また、静止状態における生体信号 (心拍) の取得に成功したことから、今後は運動動作中での生体信号取得を試みたい。

文 献

- (1) 関谷毅 監, ストレッチャブルエレクトロニクスの技術動向, シーエムシー出版, 2021 年, P86
- (2) 前掲, ストレッチャブルエレクトロニクスの技術動向, P86
- (3) 化研テック 導電性接着剤(銀ペースト)とは,
https://www.kaken-tech.co.jp/trouble/conductive_paste/
- (4) PEDOT:正孔輸送層を超えた PSS アプリケーション,
<https://madras-project.eu/pedot-pss-applications-beyond-hole-transport-layer/>
- (5) 布地に回路パターンの「導電性繊維」、拡販するセーレンの狙い,
<https://news.switch.jp/p/20695>
- (6) R. Guo, X. Wang, H. Chang, W. Yu, S. Liang, W. Rao, J. Liu, *Adv. Eng. Mater.*, 2018, 20, 1800054

IV. 振動発電デバイスのための 自動共振機構に関する研究

Research on automatic resonance mechanism
for vibration power generation devices

東 光一郎 織田 航輝 吉江 真太郎
AZUMA Koichiro ODA Koki YOSHIE Shintaro

釣谷 浩之 羽柴 利直 中村 陽文 坂井 雄一
TSURITANI Hiroyuki HASHIBA Toshinao NAKAMURA Takafumi SAKAI Yuichi

Abstract

With the miniaturization of IoT devices and mobile terminals in recent years, there is a need for more sophisticated energy harvesting (EH) technology that harvests small amounts of energy from the surrounding environment and converts it into electricity. In this research, with the aim of increasing the output of vibration power generation, which is one of the EH technologies, we developed a mechanism (automatic resonance mechanism) that actively changes the natural frequency of the cantilever on the device side in synchronization with the frequency of external vibration. Prototype models consisting of two sets of cantilever-shaped resonant plates with movable weights were created. The responses acceleration at each frequency were measured by sweep vibration tests using these models.

1. 緒言

近年、無線技術やMEMS技術の革新と普及を背景に、周囲の環境に存在する光や熱、振動、電波などの微小なエネルギーを電力に変換して利用するエネルギーハーベスト(EH)技術が注目されている。一般的には、EHは無線センサなどの小型の電子情報機器を無給電で動かすための局所的な発電手段のことをいい、周囲の環境に存在するエネルギー源を活用することから、環境発電とも呼ばれており、省エネルギー化や、電池コスト削減への貢献が期待されている。無線センサなどのデバイスの電力を環境発電によって供給することができれば、電池レスやメンテナンスフリーの実現、人的コストや電池コストの削減などにつながる。また、今後さらなる普及が見込まれる Internet of Things(IoT)や Machine to Machine(M2M)デバイスは、配線や電池交換が容易にできない環境で使用されることも想定され、環境発電はこうしたデバイスの普及につながる技術としても注目されている⁽¹⁾。

本研究では環境発電のひとつである振動発電に着目した。振動発電とは、人体の運動や機械・構造物の振動に伴う振動エネルギーを電力に変換する発電方法であり、設備管理の分野で特に活用が期待されている。振動発電では、大きな振動(加速度)を与えるほど、得られる発電量は大きくなる。そのため、効率的に電力を得るには、発電素子をいかに大きく振動させるかが重要である。

振動発電に用いられる発電素子は様々なタイプのものが既に開発・利用されているが、いずれの発電素子を使う場合においても、その発電素子を取り付ける部分(本研究では「振動板」と呼ぶ)が、環境振動によって効率的に振動させるようにすることが発電デバイス設計の上で重要である。こうしたことから、多くの振動発電デバイスでは、発電素子を効率的に振動させるために、振動板の共振現象を利用している。

共振とは、物体の固有振動数と同じ周波数の振動を外部から受けたときに、その物体の振動の大きさ(振幅、速度、加速度)が最大になる現象である。機械部品のような剛性のある物体の振動系は複数のモードの異なる固有振動数をもつが、異なるモードの固有振動数は大きく離れており、環境発電で利用できる外部振動の周波数にあわせて共振を起こせる固有振動数は通常は1つしかない。つまり、ある1つの周波数の外部振動を受けたときには、大きく振動板が振動し、発電量が増大するが、それ以外の周波数の外部振動では、発電量は減少してしまう。これが共振を利用する振動発電デバイスの課題のひとつである。

この課題に対して、共振が起きる周波数帯を広帯域化させる様々な試みがこれまでに行われている。この試みについて Tang ら⁽²⁾は(a)共振周波数を機械的または電氣的にチューニングするもの、(b)複数モードを有する振動子を用いるもの、(c)周波数変換機構を用いるもの、および、(d)非線形振動子を用いるもの、に分類して

いる。このうち(d)の非線形振動子を用いた振動系の例^③を Fig.1 に示す。スライダとはりから成るこの系を加振すると、スライダがはりに沿って受動的に移動し、はりの固有振動数が変化する。その結果、はりの運動とスライダの運動の非線形結合を含む共振現象が引き起こされる。このような非線形振動により、共振を起こせる加振振動数帯域を広げられることが報告されている^④。

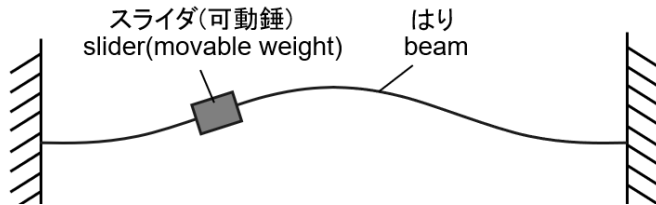


図 1: はりと可動錘の系

Fig. 1 System of the beam and the sliding weight

こうした非線形振動子を用いる機構は、単純な機械的構造の実現が可能であるという特徴があるが、多くの場合、共振帯域において一つの加振周波数に対して複数の安定的な振動形態の解（安定周期解）が存在し、外乱によって容易に小さい振幅の解に飛び移ることがあり、これが非線形振動子を用いる広帯域発電デバイスの欠点である^①。

本研究では、振動発電における共振周波数の広帯域化を目的として、2 対の片持ち梁式の振動板からなる機構を提案し、広い周波数帯域で共振が安定的に持続するかの検証を行った。

2. 研究対象

< 2. 1 > 想定している電子デバイス

過去の若研^⑤において、厚膜型圧電発電素子を用いた振動発電ユニットを作製し、ロータリーポンプの機械振動をエネルギー源として、電池レスでの温湿度センサの駆動およびデータの無線通信に成功している (Fig. 2)。

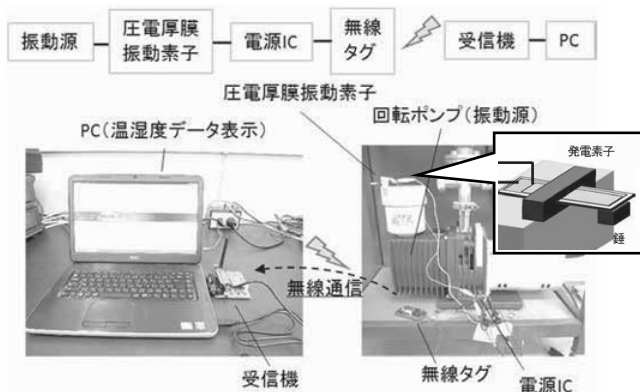


図2: 先行研究において作製された振動発電ユニット

Fig. 2 Vibration power generation unit created in previous research.

本研究においても、こうした機械設備の振動を振動源として、センサおよび無線通信機器の駆動に利用できる振動発電デバイスを想定した。環境センサは一般的に温湿度センサで 70~80 μ W、人感センサで 100~500 μ W 程度必要であり、想定電力は約 100 μ W とした。

< 2. 2 > 想定している振動源

本研究で想定している振動源は工場等で用いられる機械設備の機械振動であり、その周波数は多くは 100Hz 以下である^⑥。

ロータリーポンプのような機械振動の周波数は機械が安定的に稼働している場合は一定であるため、振動発電デバイスを設置する際には、その周波数で共振が起きるように、振動板の微調整（長さ、錘の重量など）を行うことが一般的である。過去の若研においても、こうした調整作業を行ったうえで、安定的な発電に成功している。一方で、異なる多くの機械に一度に発電デバイスを設置する場合には、こうした設置時の調整作業をひとつひとつ行う必要があるのは振動発電の普及を妨げる問題のひとつである。また、機械の経年劣化や修理・改造等によって振動の周波数が設置時から変化した場合は、再度、振動板の調整が必要になってしまい、メンテナンスフリーという狙いと逆行してしまうことになる。本研究では、振動源の周波数が変化することを前提に、それに対応して共振が継続する機構の開発を目標とした。

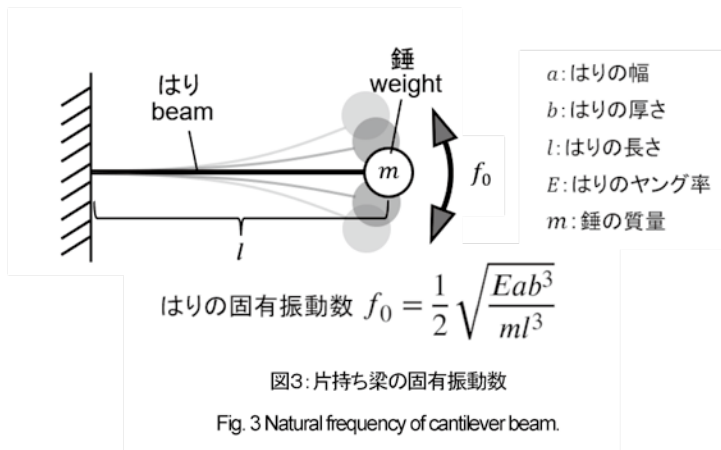
< 2. 3 > 入力振動の振動形態と周波数

外部振動の振動数や加速度が大きく変化した場合でも、振動発電デバイス側の振動板がすぐにその変化に対応して固有振動数が同調し、共振が切れ目なく継続する、という機構は理想的ではあるが、本研究では、実現可能性を考慮して、外部振動の振動形態の変化としては、加速度が一定のまま、周波数のみが連続的にゆっくりと変化するような条件として実験を計画した。具体的には加速度は 1G で一定とし、20Hz から 70Hz の間で、周波数が一定の速度(oct/分)で、5 分間かけて上昇または下降するという掃引試験を行った。

3. 機構の設計

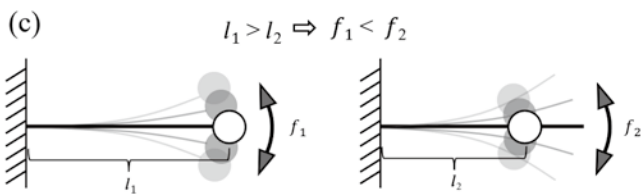
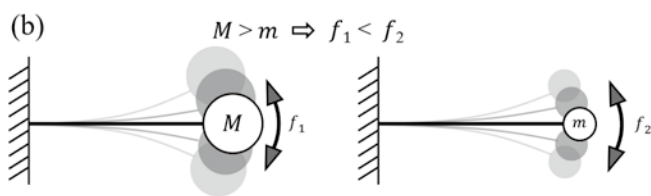
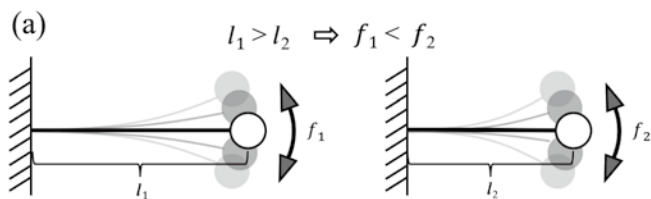
< 3. 1 > 共振周波数を変化させる仕組み

共振機構の設計にあたり、まず振動板の共振周波数が増加する基本的な仕組みについて整理した。今回は、過去の若研においても用いた片持ち梁形式の振動板を想定して、機構の設計および製作を行った。Fig. 3 に先端に質量 m の錘をもつ片持ち梁の固有振動数 f_0 の理論式を示す。



この式から、はりの固有振動数は錘の質量やはりの幅、厚さ、長さなどによって変化することがわかる。この式をもとに、はりの共振周波数を変化させる仕組みとして以下の3パターンを検討した。

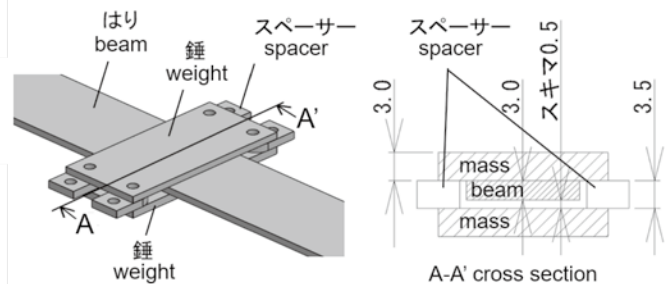
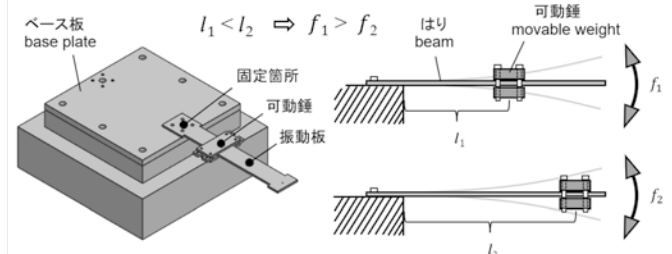
- (a) はりの長さの変化 (Fig. 4)
- (b) 錘の質量の変化 (Fig. 5)
- (c) 錘の位置の変化 (Fig. 6)



上記のパターンごとに、機構製作の実現可能性を検討した結果、比較的単純な構造で実現できると考えられた(c)の仕組み、すなわち錘の位置が移動することにより、振動板の固有振動数が変化する仕組みを用いた機構の開発を目指すこととした。なお、(a)の仕組みを用いた機構として、水平回転方向に片持ち梁の振動板が移動しながら加振周波数にあわせて共振周波数が同調する機構が先行研究として提案されている。

< 3. 2 > 試作モデルの製作

錘の位置が変化する機構として製作したモデルを Fig. 7 に示す。市販のアルミ板 (A5052, 板厚 3.0mm) をはりとし、その板を挟み込むように錘として2枚のステンレス (SUS304, 板厚 3.0mm) の板材を取り付けた。挟み込む際に、はりと錘の間に隙間ができるように、錘と錘の間の隙間を調整するための部品 (以下、スペーサーという) を入れ、スペーサーの高さ寸法によってはりと錘の間の隙間の大きさを調整できるようにした (Fig. 8)。



振動試験機を用いて予備実験を行った結果、スペーサーの高さ寸法を 3.5mm としたときに、はりと錘が一体的に共振を起こすと同時に、錘のはりの長手方向に移動していく現象が確認できた。それ以降の実験では、可動錘としてはりに錘を取り付ける際はこの高さ寸法を 3.5mm のスペーサーを使用し (このとき振動板と錘の隙間は 0.5mm となる)、固定錘として錘が動かないように固定する場合は、3.0mm (はりの厚さと同じ寸法) のスペーサーを使

用した。このほかの製作した実験モデルの各部品の寸法および詳細図を Table.1 および Fig.9～11 に示す。

表 1:実験モデルの各部品の材質および比重

Table 1 Material and density of each part of the experimental model.

部品 parts	材質 material	密度 density
ベース板 bass plate	A5052	2.68 g/cm ³
はり beam	A5052	2.68 g/cm ³
錘 weight	SUS304	7.93 g/cm ³
スペーサー spacer	SS400	7.85 g/cm ³

囲で変化することをねらって設定した(Fig. 12)。

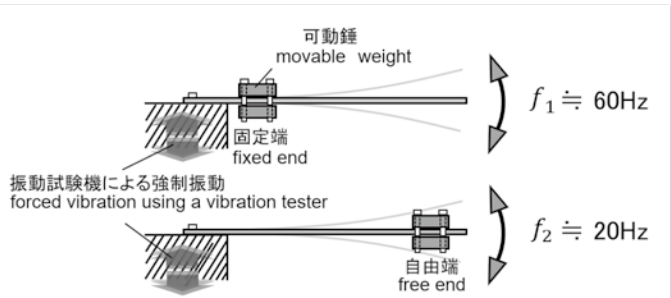


図 12:可動錘の位置による固有振動数の差

Fig. 12 Difference in natural frequency by the position of the movable weight.

4. 実験①

< 4. 1 > 実験方法

振動試験機を用いて、上記モデル（以下、試作モデル①）に対する周波数掃引試験（以下、スイープ試験という）を実施した。スイープ試験とは、周波数を徐々に変化させながら振動を一定時間かけ続ける試験であり、一般的には共振点探査や耐久試験の目的で行われる試験である。今回は、徐々に周波数が変化する振動を与えたときに、実験モデルの可動錘がどのように移動するかどうか、および可動錘の移動にともなって振動板全体の共振が周波数の変化に追従するように継続する現象が起きるかどうかを調査する目的で試験を行った。実験に用いた振動試験機の詳細を Table. 2に、実験条件の詳細を Table. 3に示す。

表 2:実験に用いた振動試験機の詳細

Table. 2 Details of the vibration testing machine used in the experiment.

項目	内容
試験機の名称	動電型振動試験機
型式	エミック株式会社製 FL-16K/100
最大加振力(サイン波)	16kN
制御可能振動数	3～2,000Hz
制御可能波形	サイン波、ランダム波、ショック波

表 3:実験条件の詳細

Table. 3 Details of experimental conditions.

項目	内容
試験方式	周波数掃引試験(スイープ試験)
印加加速度	1.0G (サイン波)
周波数範囲	20Hz ～ 70Hz
掃引速度	片道 5 分(対数掃引)

< 4. 2 > 実験対象

試作モデル①の模式図を Fig. 13 に示す。振動試験機に振動板の

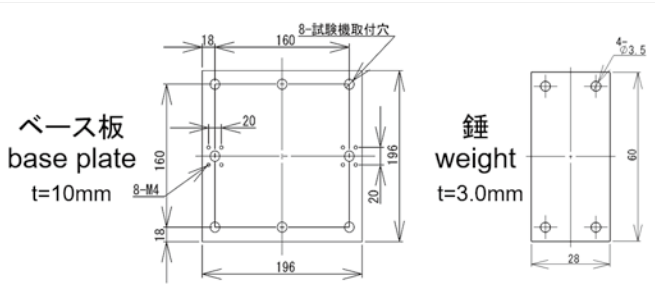


図 9:ベース板および錘の詳細図
Fig. 9 Details of bass plate and weight.

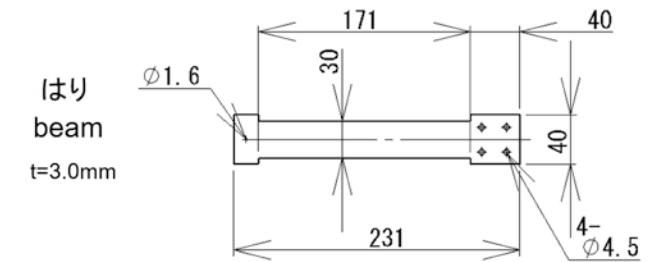


図 10:はりの詳細図
Fig. 10 Details of beam.

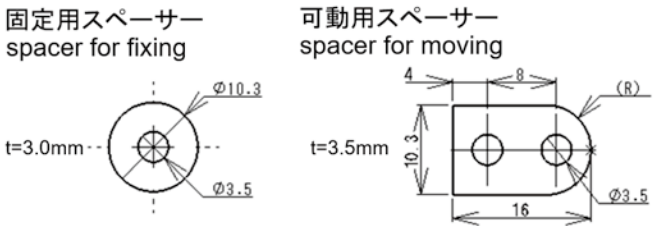


図 11:スペーサーの詳細図
Fig. 11 Details of spacer.

実験モデルにおけるはりの長さおよび幅、厚さなどの寸法は錘の位置がはりの固定端側および自由端側のそれぞれの位置に移動したときに、振動板全体の固有振動数がおおよそ 20Hz～60Hz の範

片側を固定し、＜4. 1＞で示した方法で実験を行い、挙動を観察した。

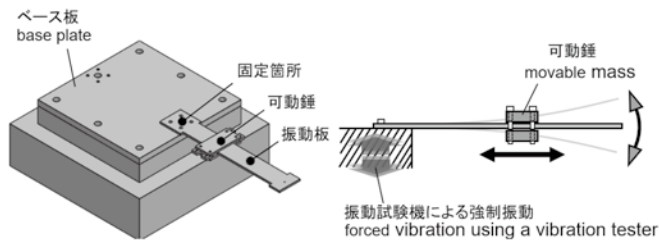


図 13:試作モデル①模式図

Fig. 13 Schematic diagram of prototype model (1).

本研究の実験において、共振が起きたかどうかの判定は、はりの先端に取り付けた加速度ピックアップで計測した応答加速度が印加加速度の 10 倍以上（印加加速度が 1G の場合は 10G 以上）となった帯域とした(Fig. 14)。

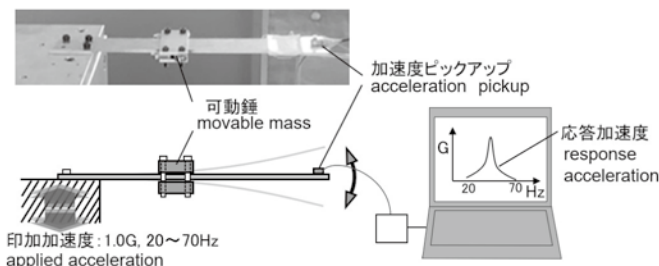


図 14:実験条件の模式図

Fig. 14 Schematic diagram of experimental conditions.

＜4. 3＞実験結果①

可動錘を様々な位置にセットし、20Hz から 70Hz の範囲で上昇（低い周波数から高い周波数への変化）および下降（高い周波数から低い周波数への変化）の掃引（スイープ）試験を行ったところ、下降時には、可動錘が共振すると同時に、振動で錘が移動し、共振が続く方向（自由端側）に自動で移動する動きをすることが確認できた(Fig. 15)。しかし、上昇の掃引試験時には、共振が起きた際に、共振が続く方向（固定端側）に錘が移動する動きはみられなかった(Fig. 16)。

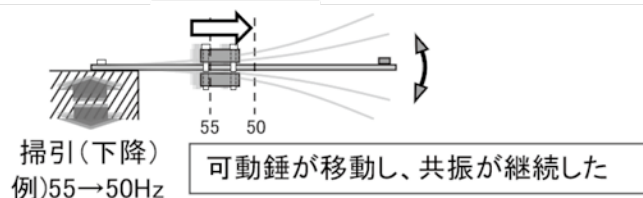


図 15:可動錘の観察結果(下降掃引時)

Fig. 15 Observation results of movable weights (During downward sweep).

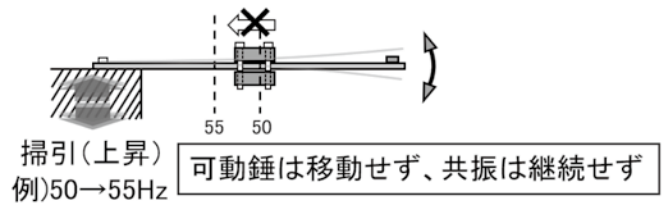


図 16:可動錘の観察結果(上昇掃引時)

Fig. 16 Observation results of movable weights (At the time of rising sweep).

5. 実験モデルの改良

前項で示したように、1 枚の振動板の実験では、錘が固定端側に移動する動きはみられず、開発目標である繰り返し再現性があるものとはならないため、錘が固定端側にも移動できるようにモデルの改良を試みた。改良した実験モデル②を Fig. 17 に示す。

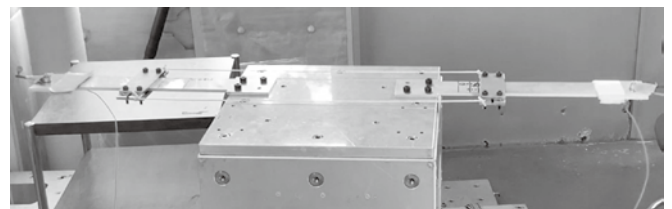


図 17:実験モデル②の外観

Fig. 17 Appearance of experimental model (2).

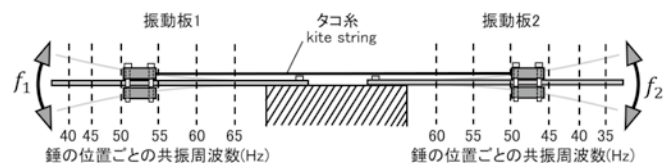


図 18:実験モデル②の錘の位置ごとの共振周波数

Fig. 18 Resonant frequency for each position of the weight in the experimental model (2).

振動板を 1 枚から 2 枚に増やし、それを水平方向に对称の位置に固定し、可動錘をタコ糸で繋ぐことで、錘同士に引き合う動きを与え、固定端側へも移動できるようになることを狙った。このとき、可動錘の位置ごとの固有振動数は、2 対の振動板で微妙に異なる（錘が同じ位置にあるときには振動板 1 の共振周波数が 2 よりも 5Hz 程度高くなる）ように、振動板のはりの長さなどを調整した(Fig. 18)。

6. 実験②

＜6. 1＞実験対象

実際に共振が起こる周波数の帯域が広がるかどうか検証するため、2 通りの実験を行った。

1. 固定錘とした場合

前項の改良した実験モデル②は 2 対の振動板がタコ糸で引き合いながら連動して動くことを想定したものであるが、その比較対象として、錘が動かない（はりのある位置に固定された）振動板を 2 枚とりつけ、その共振振動数をずらすことで、共振周波数の広域化を意図したモデルを準備し、実験を行った(Fig. 19)。

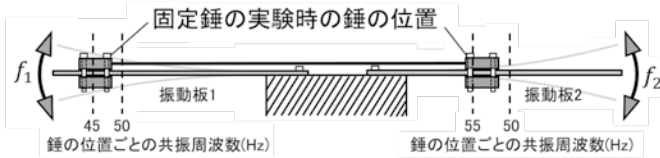


図 19: 固定錘の実験モデル(比較用)

Fig. 19 Experimental model of a fixed weight (for comparison).

2. 可動錘をタコ糸で繋いだ場合

可動錘同士をタコ糸で繋いだ状態で、ある初期位置に錘をセットし、掃引試験を行った。タコ糸がついた可動錘の写真を Fig. 20 に、可動錘の初期位置を Fig. 21 に示す。

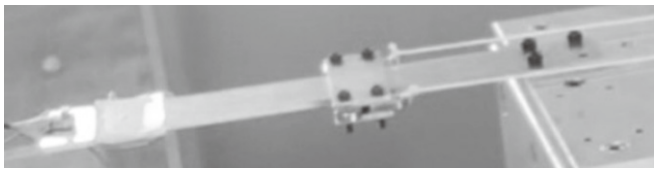


図 20: 可動錘の実験モデルの外観

Fig. 20 Appearance of experimental model of a movable weight.

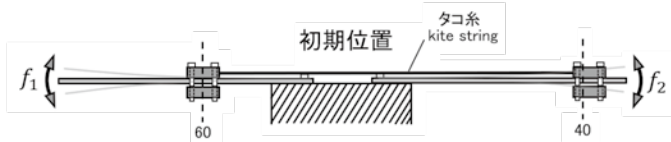


図 21: 可動錘の実験における錘の初期位置

Fig. 21 First position of movable weights in experiment.

< 6. 2 > 実験結果

Fig. 22 に固定錘とした場合の応答加速度と印加周波数の関係を示す。周波数は 70Hz から 20Hz の範囲で下降方向の掃引試験を行った。振動板 1 では共振周波数(53Hz)をピークとして、58~48Hz の範囲で共振し、振動板 2 では、共振周波数(45Hz)をピークとして、50~42Hz の範囲で共振の発生がみられた。2 つの振動板をあわせてひとつの振動板ユニットと考えると、58~42Hz の帯域で共振が発生した結果となった。

次に、可動錘とした場合の応答加速度と印加周波数の関係を示す(Fig. 23)。振動板 1 では明確な共振周波数のピークは見られず、57~46Hz の範囲で共振が発生した。振動板 2 においても、明確な

共振周波数のピークは見られなかったが、50~31Hz の広い範囲で共振が続いた。振動板 1 と振動板 2 とともに掃引試験中に可動錘の移動が発生したため、振動板の共振周波数が変化し、固定錘の場合と比べて共振が広い帯域で継続したかたちとなった。2 つの振動板をあわせてひとつのユニットと考えると、57~31Hz の帯域で共振が発生した結果となった。

固定錘の場合と可動錘の場合を比較すると、共振が発生した周波数帯域の上限は、ほぼ同じ(57~58Hz 付近)であったが、下限は、固定錘の場合に 42Hz であったのに対し、可動錘では 31Hz と、共振が発生する帯域が低周波側に大きく広がる結果となった。

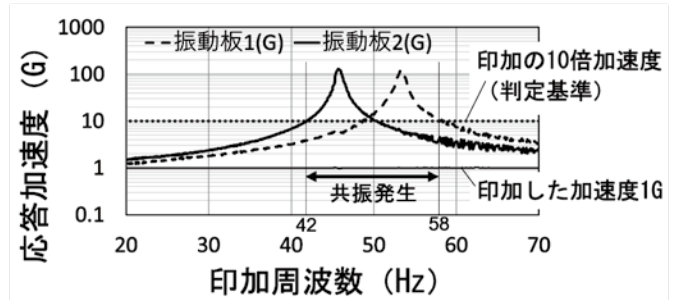


図 22: 固定錘とした場合の応答加速度と印加周波数の関係

Fig. 22 Relationship between response acceleration and applied frequency when using fixed weights.

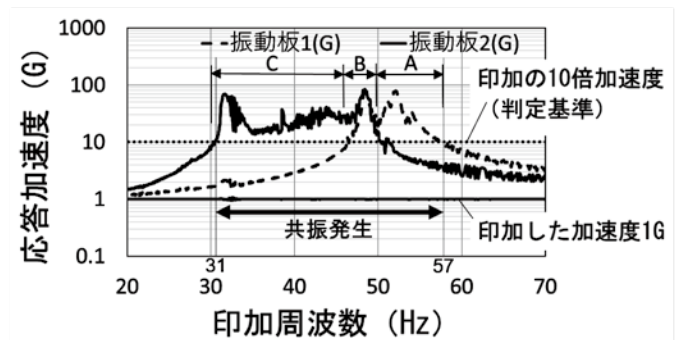
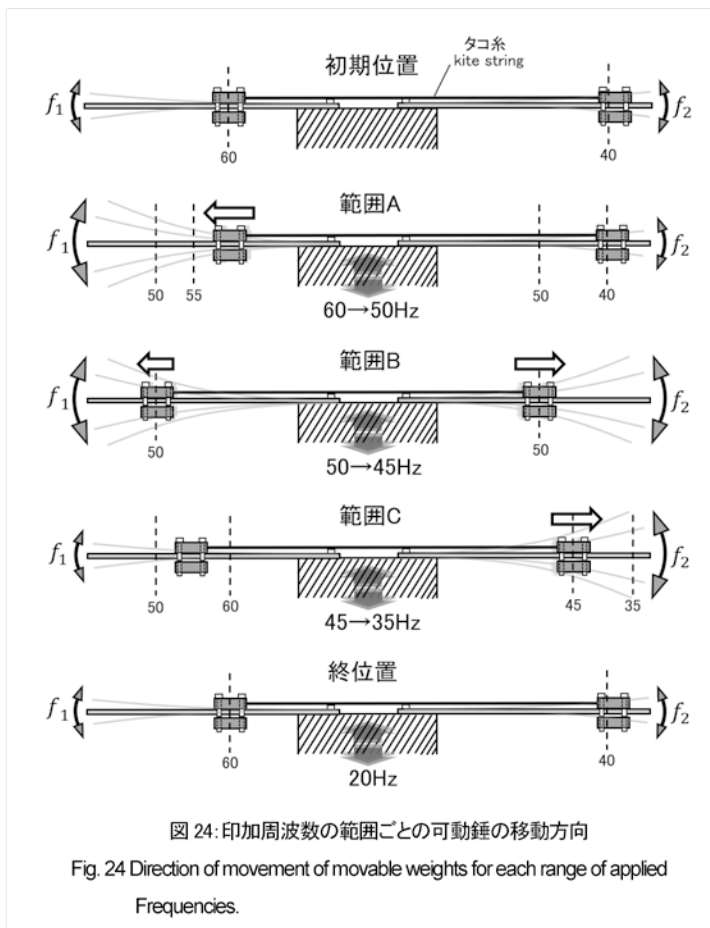


図 23: 可動錘とした場合の応答加速度と印加周波数の関係

Fig. 23 Relationship between response acceleration and applied frequency when using a movable weight.

< 6. 3 > 結果及び考察

可動錘同士をタコ糸で繋ぎ、2 つの可動錘が連動して動くようにした場合に、共振が発生する周波数帯域が大きく広がった理由を考察した。Fig. 24 に実験時の印加周波数ごとの可動錘の位置と移動方向を示す。今回の実験では、可動錘は、印加周波数の 3 つの範囲(A, B, C) でそれぞれ特徴的な異なる挙動を示したため、これについて詳述する。A, B, C の周波数範囲は Fig. 23 の図中にも示した。



範囲 A (60→50Hz 付近) では、振動板 1 の可動錘が共振によって自由端側へ移動し、振動板 2 の可動錘はタコ糸に引かれて固定端側へ移動した(Fig. 24 範囲 A)。範囲 B (50→45Hz 付近) では 2 枚の振動板の可動錘の位置が、ともに共振が発生する位置になったため、両方で共振が発生し、可動錘はお互いに引っ張り合う状態となりながら、その力がつりあうことで共振が継続した(Fig. 24 範囲 B)。その後、範囲 C (45→35Hz 付近) では、タコ糸で引き合う力のつり合いが崩れ、振動板 2 の可動錘が共振しながら自由端側へ移動していき、振動板 1 の可動錘はタコ糸に引かれて固定端側へ移動していった(Fig. 24 範囲 C)。この一連の動きを経て、掃引試験終了時には、可動錘の位置は、初期位置とほぼ同じ位置に戻るかたちとなった。可動錘が初期位置に戻った後に、再度、同じ下降スイープ試験(70→20Hz)を行うと、可動錘は再び同じ動きをして、同様の応答加速度が得られることが確認できた。

一方で、同様の初期位置で、上昇スイープ試験(20→70Hz)を行った場合には、可動錘はほぼ移動せず、共振周波数が広がることはなかった。この原因は、可動錘が共振時に僅かに固定端側に移動したとしても、タコ糸が弛んでしまい、可動錘を押す方向の動きにはつながらないことが、一因だと考えられた。また、＜4.3＞で示したように、片持ち梁の場合に、固定端側から自由端側への可動錘の移動は起こりやすいが、反対の自由端側から固定端

側への移動は起こりにくいことが再確認された。

7. 実験③ (試作モデル③)

＜7. 1＞モデルの再改良の試み

前項の実験②では、入力振動の周波数が高い周波数から低い周波数への変化(下降掃引)の際に、可動錘が移動して共振帯域が広がることが確認できた。しかしながら、振動発電デバイスとしての実用化を考えると、低い周波数から高い周波数への変化(上昇掃引)の場合においても、錘が移動して共振周波数が広域化する機構であることが求められるため、更なるモデルの改良を試みた。

Fig. 27 に示すように、タコ糸とローラーから成るプリーのような機構を振動板の自由端側から少し離れた位置に配置した。これは、一方の可動錘が固定端側に移動しようとしたときに、もう一方の可動錘も同じ向きに移動することをねらったものである。



図 27: 試作モデル③模式図

Fig. 27 Schematic diagram of prototype model (3).

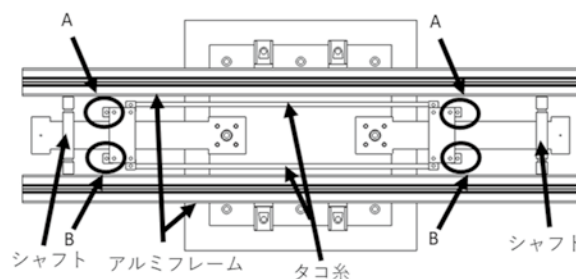


図 28: 試作モデル③上立面図

Fig. 28 Top elevation of prototype model (3).

実際に制作したモデルの外観および上面図を Fig. 28 に示すように試作モデル②の外側に 2 対のアルミフレームを取付け、フレーム間にシャフト(ローラーとしての役割をもつ部品)を渡した。このシャフトに引っ掛けるように、互いの錘の A 位置同士、および B 位置同士を新たにタコ糸で繋いだ。このモデルを用いて、再び前項と同じ掃引試験を行った。

＜7. 2＞実験結果

上昇スイープ時にも、可動錘が連動して動くことを期待したが、結果としては、試作モデル②と変わらず、下降掃引(高い周波数から低い周波数への変化)の場合のみ、可動錘が移動する結果となり、この改良の試みはうまくいかなかった。

< 7. 3 > 考察

試作モデル③は、試作モデル②と比べて、可動錘同士がより連動して動きやすい機構ではあったが、共振時に可動錘が自由端から固定端へ次第に移動していくような動きには繋がらなかった。ローラーの回転のしやすさの調整や、タコ糸以外の糸・紐の材質の検討、糸の取り回し方法など、いくつかの改良を試みたが、いずれも、上昇掃引時の共振帯域の広域化には至らなかった。

8. 結言

本研究では、振動発電の高効率化を目的として、外部からの入力振動の周波数の変化に応じて、自動で共振周波数が変化する振動板機構の開発および検証を行った。片持ち梁のはりの上を錘が移動できる振動板の機構をまず検討し、その後に、可動錘同士をタコ糸でつないだ 2 対の振動板からなる機構へと発展させ、その検証を行った。掃引試験の結果、70Hz から 20Hz のように高い周波数から低い周波数への変化（下降掃引）の場合は、錘を固定した 2 対の振動板からなる機構と比較して、共振が発生する帯域が大きく広がることが確認できた。これは、可動錘の位置が、共振が継続する方向（自由端側）に徐々に移動していったことによるものであった。

一方で、20Hz から 70Hz のように低い周波数から高い周波数への変化（上昇掃引）の場合には、可動錘の移動はほとんど起こらず、共振帯域の広域化にはつながらなかった。これは、片持ち梁の場合に、共振が発生した時に、固定端側から自由端側への可動錘の移動は起こりやすいが、自由端側から固定端側への錘の移動は起こりにくいことが一因であると考えられたが、その明確なメカニズムの解明や、機構としての対策はできなかった。また、実際に振動板に発電素子等を取付けての発電量の検証や、発電機構としての信頼性の検証等を行うまでには至らなかった。今回の試作モデルは、機構の製作や実験が容易なスケールのサイズで開発・検証を行ったが、実用化にむけてはより小さなデバイスに適したスケールでの検証も必要であると考えられ、これらが今後の課題として残った。

- (5) 櫻井雅崇, 坂井雄一, 寺澤孝志, 西村克彦, 厚膜型圧電振動発電素子の開発に関する研究-III, 平成 29 年度 若い研究者を育てる会研究発表会 研究論文集: 45-49 (2018)
- (6) 桑野博喜, 竹内敬治, エネルギーハーベスティングの設計と応用展開, シーエムシー出版 (2022)
- (7) 村上鉄之亮, 井上卓見, 門脇廉, 大村和久, B-16 自動共振同調機構における板ばねの移動現象についての実験的考察, 日本機械学会九州支部講演論文集: 69-70 (2016)

文 献

- (1) 増田新, 振動発電技術の動向—非線形広帯域振動発電を中心に—, 精密工学会誌 88(11): 824-827 (2022)
- (2) L. Tang, Y. Yang, C. K. Soh, Toward Broadband Vibration-based Energy Harvesting, Journal of Intelligent Material Systems and Structures 21(18): 1867-1897 (2010)
- (3) T. Tagashira, T. Sugiura, Effect of Broadening the Resonant Frequency Band in a Self-Resonant System on Vibration Power Generation, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics 32(1): 201-206 (2024)
- (4) L. M. Miller, Micro-scale piezoelectric vibration energy harvesting: From fixed-frequency to adaptable-frequency devices, Phd Thesis, Pages: 60-73 (2012)

「マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究」グループの研究活動風景



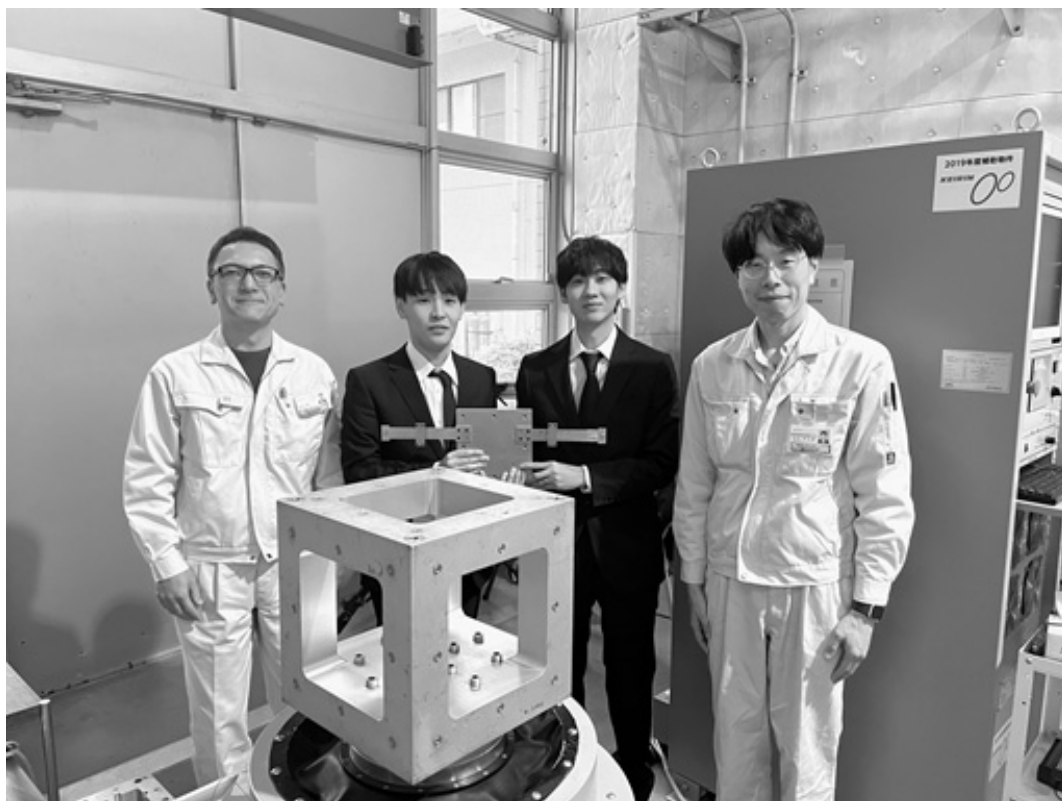
「半透明有機薄膜太陽電池の開発」グループの研究活動風景



「フレキシブル導体の開発」グループの研究活動風景



「振動発電デバイスのための自動共振機構に関する研究」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

○ 37年間の研究テーマ数：225テーマ（昭和62年度～令和6年度）

○ 参加研究員延べ人数：412名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発

竹本要一（㈱タカギセイコー）、田上輝次（東洋化工㈱）、長柄 勝（長柄鉄工㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発～中高温用サーミスタの開発

岡崎誠一（北陸電気工業㈱）、加藤昌憲（日本鋼管㈱）、滝川義弘（燐化学工業㈱）、

堀田孝章（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

3. フレキシブルハンドの開発～介護ロボット用アームの試作

石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン㈱）、茨木正則（北日本電子㈱）、西田信孝（㈱タカギセイコー）、

山田俊一（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

1. フレキシブルハンドに関する研究～ロボット用アームの試作（2）

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～圧電薄膜音響素子の開発

小西孝浩（タカノギケン㈱）、小町秀彦（㈱タカギセイコー）、滝川義弘（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・ファイバー複合材パネに関する研究

池田秀雄（㈱タカギセイコー）、上段一徳（東洋化工㈱）、長柄 勝（長柄鉄工㈱）、

柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究～光シャッター及び赤外線センサの開発をめざして

中溝佳幸（北陸電気工業㈱）、水谷里志（立山電化工業㈱）、山田義昭（東洋化工㈱）、

宮沢進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）、山本直樹（NKK（日本鋼管㈱）富山製造所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

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

古瀬正浩（㈱インテック）、堀井 孝（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成元年度（第3回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、19名）

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究～圧電薄膜音響光学素子の開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

古瀬正浩（㈱インテック）、堀井 孝（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮（北日本電子㈱）、中山正明（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度（第4回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、16名）

1. 磁性薄膜の応用に関する研究～倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫（㈱不二越）、高島 誠（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畑哲史（㈱和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

煙田不二男（燐化学工業㈱）、若林成喜（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

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

西浦慎一・村井哲雄（㈱タカノギケン）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 超音波杖の研究

中村 亮（北日本電子㈱）、堀登紀男（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

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

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究～光書き込み型メモリの開発
玉川 勤（北陸電気工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究
桜栄和則（㈱タカギセイコー）、田村正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）、柳原 潔（㈱黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
3. 画像による円筒内面検査装置の開発
荒木満男（㈱タナカエンジニアリング）、西浦慎一（㈱タカノギケン）、
山本達生（エルコー㈱、現コーセル㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究
尾畑哲史（㈱和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 薄膜微細加工技術の研究
飴井俊裕（エルコー㈱、現コーセル㈱）、竹端精己（㈱不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究
岩田雅明（北日本電子㈱）、島野英明（㈱インテック）
◎指導機関：富山大学工学部
7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究～完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
土田隆一（立山科学工業㈱）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンの研究
白石信行（コーセル㈱）、新谷哲也（北陸電気工業㈱）、吉井靖岳（㈱タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 薄膜微細加工技術の研究～トランスの試作
伊勢寿夫（コーセル㈱）、戸田雅規（㈱不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 形状測定装置の開発に関する研究
野末昌朗（立山アルミニウム工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発
大岩秀徳（三協アルミニウム工業㈱）、長峰浩幸（㈱タカギセイコー）、本堂 裕（㈱斎藤製作所）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 単音節認識による音声～点字変換
北喜靖規（北日本電子㈱）、島野英明（㈱インテックシステム研究所）
◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. 機能性膜の微細加工に関する研究～磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作

伊東 守（コーセル㈱）、森田智之（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンの研究

川西和昭（三協アルミニウム工業㈱）、後藤 肇（コーセル㈱）、佐々木啓充（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 有機電子材料の研究

雨野孝信（㈱タカギセイコー）、堀田正人（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. リン酸塩系セラミックス固体電解質の開発～Ag イオン固体2次電池の試作

黒川寛幸（北陸電気工業㈱）、山口 睦（燐化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. RIMのCAEに関する研究

杉田孝嗣（三協アルミニウム工業㈱）、中村和禎（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（1）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成6年度（第8回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、16名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（㈱タカギセイコー）、寺本正夫・杉谷 健（コーセル㈱）、

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅（コーセル㈱）、田村雅英（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸系エッチング液の基礎研究

山口 睦（燐化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

細木文夫（三協アルミニウム工業㈱）、横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（2）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）、米谷庄一（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成7年度（第9回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、15名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発（2）

大浦真司（三協アルミニウム工業㈱）、高田謙一（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

永森和久（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

山口 睦（燐化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）、能村輝一（北陸電気工業㈱）、山下慎也（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微動機構による機械の高度化の研究

佐野仁一（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 薄膜超磁歪素子の研究

酒井隆正（コーセル㈱）、谷上英樹（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

7. レドックス型太陽発電システムの開発

市川良雄・大橋伸一（富山軽金属工業㈱）、三井清隆（㈱タナカエンジニアリング）

長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（3）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成8年度（第10回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、15名）

1. 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発

三松克次・笹島和明（㈱タカギセイコー）、田島正康（㈱タナカエンジニアリング）

田中 篤（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

松井裕昭（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. レドックス型太陽発電システムの開発（2）

市川良雄（富山軽金属工業㈱）、田畑裕信（中越合金鋳工㈱）、三井清隆（㈱タナカエンジニアリング）、

長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 複数のロボットによる協調制御の研究

金田淳也（コーセル㈱）、森田裕之（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

5. 多孔質シリコンの形成に関する研究

石川秀人（北陸電気工業㈱）、安田純子（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 高輝度蓄光性蛍光板の開発

佐野仁一（東洋化工㈱）、二見泰雄（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度（第11回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、18名）

1. レドックス型太陽発電システムの開発（3）

市川良雄（富山軽金属工業㈱）、田畑裕信（中越合金鋳工㈱）、野中義夫（㈲トヤマ技術開発研究所）、
長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）

森田裕之（立山アルミニウム工業㈱）、渡辺暁信（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 生活環境用臭センサの開発

垣内由美子（コーセル㈱）、角谷哲哉（北陸電気工業㈱）、小島理敬（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックストランズの開発

堀井一宏（コーセル㈱）、柳川 新（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 局所的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

丹保哲也（北陸電気工業㈱）、野上拓也（㈱タナカエンジニアリング）、山田浩美（東洋化工㈱）、
滝川健太郎（金沢大学工学部）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 電気自動車の開発

坂本雅美（㈱斉藤製作所）、高橋 聡（㈱タナカエンジニアリング）、藤木和幸（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成10年度（第12回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、11名）

1. 圧電素子を用いた制振機構の研究

稲垣 聡（北陸電気工業㈱）、渡辺暁信（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究

野上拓也（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 生活環境用においセンサの開発（2）

星野昌則（コーセル㈱）、南 政克（北陸電気工業㈱）、山田浩美（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発（2）

坂本雅美（㈱斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微細放電加工の研究

太田光則（㈱斉藤製作所）、橋本 明（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

6. 電磁シールド材の基礎研究

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）、福田隆之（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成11年度（第13回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価

島村和孝（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究（2）

高田智哉（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 深層水及び藻類を利用した太陽光発電の基礎研究

東堂浩次（コーセル㈱）、坂本雅美（㈱斉藤製作所）、長谷川益夫（木材試験場）、小善圭一（水産試験場）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

4. 山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究

前田智博（立山科学工業㈱）、高瀬 洋（県警察本部）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. インテリジェントにおいセンサの研究

小森一哉（北陸電気工業㈱）、石川勝巳（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

6. 微細放電加工の研究（2）

太田光則（㈱斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

7. 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発

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. プラスチック上のハードコーティング技術の研究

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成12年度（第14回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価（2）

島村和孝（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. インテリジェントにおいセンサの研究（2）

小森一哉（北陸電気工業㈱）、谷口真也（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

3. 高摩擦係数材料の研究

高田智哉（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究

酒井康弘（㈱タカギセイコー）、前田健二（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究

高橋雄一（コーセル㈱）、山田浩美（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆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（着雪防止板）の開発

河井牧夫（田中精密工業㈱）、高橋伸忠（㈱タカギセイコー）、野田耕司（三協アルミニウム工業㈱）、
石井 雅（富山県土木部）

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

2. 分子機能材料を用いた光電池の研究開発

濱口 誠（コーセル㈱）

◎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㈱）

◎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（2）

酒井康弘（㈱タカギセイコー）、前田健二（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発

小出哲雄（コーセル㈱）、坂本雅美（㈱斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

6. 体質診断等DNAチップと測定装置の開発

水島昌徳（立山科学工業㈱）、川上浩美（東洋化工㈱）

◎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㈱）

◎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㈱）

◎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（㈱斉藤製作所）、稲澤直子（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

2. 体質診断等DNAチップの開発（2）

碓井洋平（立山科学工業㈱）、水原 崇（コーセル㈱）、米嶋勝宏（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J・中央研究所

3. MEMSを応用した高精度温度センサの開発

今村徹治（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J、富山大学工学部

4. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発

清水 歩（武内プレス工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・P J

5. 超小型4サイクルエンジンの開発

杉森雅一（エヌアイシ・オートテック㈱）、中西智英（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 滑雪機構の改善に関する研究

河井牧夫（田中精密工業㈱）、野田耕司（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

7. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発

山田英子（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討

酒井康弘（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター生活工学研究所、機械電子研究所

☆平成15年度（第17回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（3）

石見雅美（㈱斉藤製作所）、魚谷一成（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究（3）

碓井洋平（立山科学工業㈱）、中山 均（コーセル㈱）、中林俊幸（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発

桑原大輔（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 小径穴加工システムの開発

手嶋成市（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 超小型4サイクルエンジンの開発（2）

花崎 大（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究

増山智英（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成16年度（第18回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、12名）

1. 大型色素増感太陽電池の開発

廣田和也（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発

米澤久恵（コーセル(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（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(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. 薄膜低温度特性抵抗器の開発（3）

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（4）

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：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

7. 大型色素増感太陽電池の開発（2）

廣田和也（(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関連遺伝子検出装置の開発

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（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

8. 低域UHF帯用小型指向性アンテナの開発

徳島達也（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

9. 機械部品の洗浄に関する研究

杉森雅一（エヌアイシ・オートテック株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・PJ推進担当

☆平成19年度（第21回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、10名）

1. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

曾根宏信（燐化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

2. 肉盛ステライトの硬さに影響を与える溶接条件の研究

田中隆尚（田中精密工業株）、長柄大介（長柄鉄工株）

◎富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部

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㈱）

◎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㈱）

◎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㈱）

◎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㈱）、梅原洋平（コーセル㈱）

◎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㈱）、木下正之（立山科学工業㈱）

◎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）

◎富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部

4. 局部加熱によるプラスチック表面の高機能化

吉田康子（㈱タカギセイコー）

◎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㈱）

◎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㈱）

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

2. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発

熊田泉実（コーセル㈱）、日出嶋宗一（立山マシン㈱）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

3. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術の研究

山根幸治（コーセル㈱）、細川修宏（㈱タカギセイコー）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. ダイカスト金型材料の接合技術の開発（2）

中田雄三（田中精密工業㈱）

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部

5. スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発

斉藤洋輔（コーセル(株)）、若林 傑（立山科学工業(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成22年度（第24回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. ミニロボット群による水田防除草システムの開発

上田将志（コーセル(株)）、古川和明（立山科学工業(株)）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

2. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発

広地信一（立山マシン(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部

3. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発

須田誠（田中精密工業(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部

4. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用

澤田修平（コーセル(株)）、細川修宏（(株)タカギセイコー）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発

高見和志（コーセル(株)）、新川翔平（北陸電気工業(株)）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部・中央研究所

☆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）

1. 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(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

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(株)）、杉本考行（コーセル(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

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（(株)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(株)）

◎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

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. SW電源の電磁ノイズのシミュレーション

野口 拓（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 拓（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

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（三協立山株）、山崎鉄平（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、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

☆平成26年度（第28回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究

中村将士（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 切削加工シミュレーションに関する研究

水野輝章（田中精密工業株）、若林武司（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・中央研究所、元工業技術センター

3. 3Dプリンタを利用した簡易的なブロー成形樹脂型の製作に関する研究

黒田大輔（武内プレス工業株）、相馬 優（株斉藤製作所）、桑原浩一（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・ものづくり研究開発センター

4. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究

浦山陽平（コーセル株）、中田智康（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所・機械電子研究所

5. 量子ドット増感太陽電池の研究

山本尚人（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

6. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究（2）

大浦秀剛（三協立山株）、山崎鉄平（株タカギセイコー）、林 達規（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

☆平成27年度（第29回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究（2）

杉森雄平（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用

山崎諭史（コーセル株）、内山 肇（三協立山株）、金山侑司（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. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究

山本貴之（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・富山大学大学院理工学研究部

4. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善

熊澤周士（株タカギセイコー）、黒河歩美（立山マシン株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. ドリル切削加工における精度向上に関する研究

石澤剛士（田中精密工業株）

◎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. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化

筒井英明（武内プレス工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成28年度（第30回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究（2）

今井航平（北陸電気工業株）

◎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

2. 振動の簡便な測定法・低減法の開発

林 大清（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 金属積層造形の基礎と造形物の評価に関する研究

永田直也（三協立山(株)）、滝沢将史（コーセル(株)）

◎指導機関：工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所

4. 容器用実用アルミ材の耐食性および腐食反応の解析に関する研究

深川裕之（武内プレス工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. エンドミル加工での工具寿命向上に関する研究

中嶋 謙（田中精密工業(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. ウェアラブル電源の開発

関口貴彬（コーセル(株)）、天野久美子（北陸電気工業(株)）、坂井友樹（立山科学工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成29年度（第31回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、9名）

1. 有機無機ペロブスカイト太陽電池の開発

宮崎幸輝（コーセル(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

2. 複合化樹脂粉を用いたレーザ塗装

島林孝吉（(株)斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・ものづくり研究開発センター

3. X線CTの形状計測および変形評価への応用

朝野剣太（コーセル(株)）、瀧田 諭（(株)タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. 工具寿命の机上検出手法に関する研究

石澤剛士（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

5. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究

盤若秀明（三協立山(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. ウェアラブル電源の開発（2）

林 大志（コーセル(株)）、渡辺涼太（立山マシン(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

7. 厚膜型圧電振動発電素子の開発に関する研究（3）

櫻井雅崇（北陸電気工業(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

☆平成30年度（第32回）研究テーマと研究参加者（4テーマ、5名）

1. CAEを用いた振動解析の信頼性評価への応用

稲垣友大（(株)タカギセイコー）、村井慎介（北陸電気工業(株)）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

2. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究（2）

藤田直希（コーセル(株)）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

3. 曲面用外観検査手法の研究

石澤剛士（田中精密工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

4. 感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製

榎 正史（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

☆令和元年度（第33回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. 外観検査用画像処理の自動最適化に関する研究

中嶋 謙（田中精密工業㈱）、田中智惟（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

2. 生産現場への行動認識及びマルチエージェントシミュレーションの適用

大上泰輝（コーセル㈱）、三鍋香織（立山科学工業㈱）

◎指導機関：富山県立大学工学部

3. フレキシブル薄膜二次電池の基礎研究

岩滝幸司（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所、富山大学学術研究部工学系

4. 遠隔モニタリングシステムを利用した製品評価技術の研究

小林寛治（コーセル㈱）、吉澤 明（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

5. CAEの構造最適化を用いた設計手法に関する研究

清田典秀（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

☆令和3年度（第34回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、6名）

1. 基板トランスにおける交流抵抗の低減技術検討

萩中悠太（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

2. フッ素ガス表面処理によるガスケット高機能化の評価手法の研究

中山 翔（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

3. 時系列データ分類のための誤分類低減手法

寺井太朗（田中精密工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

4. 熱伝導式水素センサの加熱冷却曲線のシミュレーション

中野貴之（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

5. 製品のヘルスマモニタリングのIoT化に関する研究

西井渉太（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター・生活工学研究所

6. 水の光分解に関する基礎研究

塚田成弘（燐化学工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター

☆令和4年度（第35回）研究テーマと研究参加者（4テーマ、8名）

1. CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製

朝日奈幸輝（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

2. 表面微細構造による濡れ性制御に関する研究

杉田涼輔（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

3. プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究

永井孝紀（コーセル㈱）、大上戸勇馬（㈱タカギセイコー）、田中和馬（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

4. デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善

澤田直登（立山マシン㈱）、沙 悠輝（田中精密工業㈱）、長柄直樹（長柄鉄工㈱）

◎指導機関：富山県立大学工学部

☆令和5年度（第36回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. リグニン系バイオマス製品の開発に関する研究

天池夏希（三協立山㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

2. 小型マイクロ波無線給電システムの開発

高嶋翔太（コーセル㈱）、田開孝祐（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

3. プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究（2）

田中和馬（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

4. 衝撃応答特性の測定および解析による電子部品の信頼性向上

林 怜汰（コーセル㈱）、松田修人（コーセル㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

5. 製造業におけるデジタルツインを活用した業務改善

諸岡哲史（三協立山㈱）、中村宙夢（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：富山県立大学工学部

☆令和6年度（第37回）研究テーマと研究参加者（4テーマ、7名）

1. マイクロ波電力伝送の高効率化に関する研究

水島颯汰（コーセル㈱）、種岡涼音（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

2. 半透明有機薄膜太陽電池の開発

田中溪太（コーセル㈱）

◎指導機関：富山大学学術研究部工学系、産業技術研究開発センター機械電子研究所

3. フレキシブル導体の開発

岡田達也（㈱タカギセイコー）、水戸俊宏（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：産業技術研究開発センター生活工学研究所

4. 振動発電デバイスのための自動共振機構に関する研究

東光一郎（㈱立山科学ハイテクノロジーズ）、織田航輝（㈱立山科学ハイテクノロジーズ）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

○ 会 員 企 業

令和7年3月12日現在（50音順）

	企 業 名	代表者名	運営委員	電話番号
1	コーセル(株)	斉藤 盛雄	真野 達也	076-432-8151
2	(株)斉藤製作所	齊藤 行男	相馬 優	076-468-2727
3	三協立山(株)	平能 正三	庵 真砂代	0766-20-2101
4	(株)タカギセイコー	高木 章裕	高橋 伸忠	0766-24-5522
5	タカノギケン(株)	高野 吉寿	高野 吉寿	076-455-2525
6	武内プレス工業(株)	武内 繁和	澤井 崇	076-441-1856
7	立山科学(株)	水口 勝史	西野 文雄	076-483-3088
8	立山マシン(株)	宮野 兼美	松井 和浩	076-483-4123
9	田中精密工業(株)	田中 英一郎	高井 正樹	076-469-9107
10	長柄鉄工(株)	長柄 大介	長柄 大介	0766-22-3170
11	北陸電気工業(株)	多田 守男	今村 徹治	076-467-1111
12	燐化学工業(株)	吉村 浩幸	下野 哲数	0766-86-2511

事務局：(公財) 富山県新世紀産業機構内 〒930-0866 富山市高田 529 TEL:076-444-5607 (佐山 利彦、市田 聡)

○ 研 究 幹 事

氏 名	所 属	役 職	学 位	電話番号
石本 卓也	富山大学先進アルミニウム国際研究センター	教 授	博士 (工学)	076-411-4897
岩坪 聡	産業技術研究開発センター企画管理部	企画調整課 上席専門員	博士 (工学)	0766-21-2121
岩本 健嗣	富山県立大学情報工学部情報システム工学科	教 授	博士 (政策・メディア)	0766-56-7500
上野 実	産業技術研究開発センター生活工学研究所	所 長		0763-22-2141
大寺 康夫	富山県立大学工学部電気電子工学科	教 授	博士 (工学)	0766-56-7500
小幡 勤	産業技術研究開発センター機械電子研究所	所 長	博士 (工学)	076-433-5466
角田 龍則	産業技術研究開発センター機械電子研究所	電子デバイス技術課長		076-433-5466
川堰 宣隆	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	デジタルものづくり課 副主幹研究員	博士 (工学)	0766-21-2121
坂井 雄一	産業技術研究開発センター機械電子研究所	電子デバイス技術課 副主幹研究員	博士 (工学)	076-433-5466
塚本 吉俊	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	製品・機能評価課 上席専門員		0766-21-2121
寺澤 孝志	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	製品・機能評価課長		0766-21-2121
中 茂樹	富山大学学術研究部工学系	教 授	博士 (工学)	076-445-6731
中橋 美幸	産業技術研究開発センター企画管理部	企画調整課長	博士 (学術)	0766-21-2121
鍋澤 浩文	産業技術研究開発センター企画管理部	部 長	博士 (工学)	0766-21-2121
林 千歳	産業技術研究開発センター	次 長	博士 (工学)	0766-21-2121

○歴代会長 (会長は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年)

初代会長	飴 久晴 (昭和62年度～平成4年度)	2代会長	高木 正明 (平成5年度～平成6年度)
3代会長	中田 守人 (平成7年度～平成8年度)	4代会長	野村 正也 (平成9年度～平成10年度)
5代会長	田中 一郎 (平成11年度～平成12年度)	6代会長	武内 繁和 (平成13年度～平成14年度)
7代会長	斉藤 恵三 (平成15年度～平成16年度)	8代会長	水口昭一郎 (平成17年度～平成18年度)
9代会長	町野 利道 (平成19年度～平成20年度)	10代会長	笠井 千秋 (平成21年度～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～平成26年度)
13代会長	武内 繁和 (平成27年度～平成28年度)	14代会長	齊藤 行男 (平成29年度～平成30年度)
15代会長	水口 勝史 (令和元年度～令和2年度)	16代会長	谷川 正人 (令和3年度～令和4年度)
17代会長	高木 章裕 (令和5年度～令和6年度)		

○顧問 (50音順)

小熊 規泰 ((大) 富山大学・工学部長)
九曜 英雄 ((公財) 富山県新世紀産業機構・イノベーション推進センター長)
坂村 芳孝 ((大) 富山県立大学・工学部長)
杉森 博 (前(公財) 富山県新世紀産業機構・イノベーション推進センター長)
高林 外広 (産業技術研究開発センター・所長)
谷野 克巳 (元工業技術センター・所長)
土肥 義治 (前(公財) 富山県新世紀産業機構・イノベーション推進センター参与)
夏野 光弘 ((公財) 富山県新世紀産業機構・専務理事)
町野 利道 (CS ポート (株)・代表取締役社長)
松田 敏弘 (元公立大学法人富山県立大学・工学部教授)

(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)
代表者名
住所・電話番号・FAX 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。 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 FAX 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 5 2 9

(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 責 任 者	富山県産業技術研究開発センター 小幡 勤 (公財)富山県新世紀産業機構 市田 聡
発 行 年 月 日	令和7年3月12日
印 刷 所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。

