令和3年度 (第 34 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

令和4年3月15日(火)

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

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 富山大学学術研究部都市デザイン学系 富山県立大学工学部

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

ごあいさつ

会長谷川正人

「若い研究者を育てる会」の研究論文集発行にあたり、一言ごあい さつを申し上げます。

1987年(昭和62年)1月に「若研」は発足し、これまで継続的 に産学官連携での研究と論文発表を行ってきました。残念ながら令 和2年度においては、新型コロナの影響で研究活動そのものを中止 せざるを得ませんでした。令和3年度におきましても、研究活動を 開始したものの、リモートでの打合せや発表など感染防止に最大限 の配慮をしながらの活動となりました。このような環境にも関わら ず、こうして令和3年度の研究論文集を無事、発行できましたこと、 たいへんうれしく思うと同時に、研究者の皆様の熱意あるご努力に 敬意を表します。また、引き続き熱心にご指導いただいた産業技術 研究開発センター、大学の先生方をはじめ、富山県新世紀産業機構、



会員企業、研究者を派遣頂いた各企業の関係者各位の多大なご支援に深く感謝を申し上げます。

さて、今、気候変動から地球を守る動きが加速しており、脱炭素化、それに伴う再生エネルギー化・E V化の伸展、そして、デジタル化や半導体技術競争など、世界を大きく動かす技術革新の波が押し寄せ、 産業構造も大きく激変、多様化してきています。こういった環境の中、特に、資源も少なく、生産人口の 減少も著しい我が国においては、優位な科学技術をベースとした新たな成長領域を見出し労働生産性を高 めていくことが求められています。

先日、世界の研究における日本の「注目論文数の順位低下」や「博士号取得者が減少傾向にある」など、 日本の研究力が低落の一途をたどっている(文科省研究所)、という記事を目にしました。研究というのは、 結果を導き出すにも成果を得るにも時間がかかります。一企業だけで完結する努力も重要ですが、時間軸 での競争がある中、産学官の連携による研究で、より質の高い結果を早期に導き出すことが必要ですし、 何よりも「なぜ」を自ら考える探求心をもった研究者を育てていく、また、そのための裾野を広げていく ことの重要性をあらためて感じた次第です。「若研」の活動は、地域に根付いた形で産学官連携を図り、研 究の基礎を学びつつ技術を探索・深堀し、人脈作りにも繋がる活動です。間違いなく研究者の育成や裾野 を広げる一翼を担っており、ひいては「ものづくり県とやま」の発展につながると確信しています。

今後も「若研」の活動に一層のご理解をいただき、多くの企業から参加・聴講されますこと、また、関係各位の変わらぬご指導とご支援をお願いして、発行にあたってのごあいさつとさせていただきます。

研究の概要

「若い研究者を育てる会」(以下、「若研」)の研究成果発表会は**今年度で34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6つの研究テーマについて、令和3年5月から富山県産業技術研究開発センターにおいて、6グループ(5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6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 博士(工学) 小幡 勤

①「基盤トランスにおける交流抵抗の低減技術検討」の研究 グループ(参加企業1社)では、昨今の情報関連機器等の 小型化、高密度化の要求に対し、機器に内蔵するスイッチ ング電源のサイズや電力効率等を改善するために、電源の 高周波駆動時におけるトランスでの損失の改善をシミュ レーションとコイルの試作により検討した。まずはトラン スの損失低減を目的として、コイル構造のシミュレーショ ンを中心として検討を行い、その結果から基板トランスを 構成する素材の比誘電率や巻線幅や配置によって、特性が 大きく変化することを確認した。またシミュレーション結



果をもとに試作を行ったところ、等比幅巻き線(内側の巻き線幅を小さく、外側の巻き 線幅を大きくすること)によって、交流抵抗が小さくなり、損失が抑制されることを確 認した。

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター 博士(工学) 石黒智明 ②「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」の研究グループ(参

加企業1社)では、フッ素ガスと接触させることで表面をフッ 素化する工法を用いて、ACM(アクリルゴム)やNBR(ニトリ ルゴム)といった汎用ゴム表面を高機能なフッ素ゴム化できな いかについて検討した。その結果、両ゴムともにフッ素化でき ることは確認できたが、130℃耐熱試験(空気中、油中)におい ては、ゴム母材の特性に影響されることがわかった。また、ア セトン、エタノール、イソプロピルアルコール浸漬試験におい ては、浸漬時間の増加に伴い、フッ素化の有無に関らず、同様 の重量増・厚み増が確認でき、フッ素化の効果が確認できなかっ た。これらのことから、フッ素化処理表面が粗であることが推



測され、ち密なフッ素処理層を生成する条件の検討が必要であることがわかった。

富山県産業技術研究開発センター 機械電子研究所 博士(工学) 林 千歳

③「時系列データ分類のための誤分類低減手法」の研究グルー

プ(参加企業1社)では、現在運用されている加工振動などの データに基づく異常検知システムをそのまま利用し、特定の条件での正常/異常の判別システムを改良することで正答率を向 上させる方法を複数考案し、検証を行った。

まず、入力データをマルチバンドデジタルフィルタで前処理す ることにより、正答率が向上することを見出した。その際、進 化的計算手法の一つである遺伝的アルゴリズムによるフィルタ パラメータの最適化が大きく貢献した。第二に、フィルタパラ メータに加え入力データの切出し範囲を最適化することで、正



答率を大きく向上させた。第三に、学習データ群を拡張することにより、正答率をさらに 向上できることを明らかにした。これらによって、分類精度が実用レベルに到達するまで の時間を短縮できるようになり、作業者の負担を軽減することが期待できる。

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」の研究グループ(参加企業1社)では、熱伝導式水素センサの温度履歴再現を目的に、熱伝導方程式による解析解導出、有限要素法による熱流体解析、および熱定数補正法の検討を行った。

まず、コイル状のセンサ部を線状に簡略化したモデルを用い、非定常熱伝導方程式により 計算したところ、形状が実際と大きく異なるため実験値よりも速く冷却される結果となっ た。このため、有限要素法により、センサ部の形状が実際に近い 3D モデルを用い、熱定 数の温度依存性も適切に補正し計算した。その結果、計算結果と実験値の差異は十分小さ く、コイルの材料やピッチ等より温度履歴を予測できることを示した。

さらに、この計算モデルを COMSOL Multiphysics でアプリケーション化したことにより、 解析が専門でなくても、自身の PC で任意の形状等に設計したセンサの温度履歴が計算可 能となった。

富山県産業技術研究開発センター 機械電子研究所 関口徳朗

⑤「製品のヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究」の研究 グループ(参加企業1社)では、現状、人の手によって1日1

回温湿度を確認している保存庫内の温湿度の管理業務を自動化 すると同時に品質との関連を明らかにするため、無線ネット ワークなどの IoT 技術を活用することで、温湿度データを遠隔 地から高頻度で自動的に収集するとともに、ひずみゲージを用 いて接合部の変形データも同時に計測するヘルスモニタリング システムを試作した。

これによって品質管理業務の効率化と不具合発生時の詳細な検証が可能となり、今後この開発したシステムを用いて、保管中



の温湿度と接合部の変形データ、コアはずれの関係を明らかにすることで、保管中の温湿 度履歴から、電子部品のヘルスモニタリングが実現できる可能性がある。 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 博士(工学) 本保栄治

⑥「水の光分解に関する基礎研究」の研究グループ(参加企業 1社)では、水素の生成に向けて、光触媒材料を電極として用 い太陽光を利用した水分解の基礎的な研究に取り組んだ。光触 媒材料として、可視光においても高い酸化力を有するオルトリ ン酸銀(Ag3PO4)に着目し、高い光活性を示すことを確認した。 光電極は化学反応により銀板上に Ag3PO4 薄膜を析出すること により合成した。さらに、キャリアの再結合を防ぐため光電極 表面に電解重合によりポリピロールをコーティングした。疑似 太陽光(AM1.5)を照射しながら電気化学測定を行うことによ り光活性を評価した結果、明状態において急激に電流値が増加 する光応答を確認した。ポリピロール被覆した電極では副反応



を抑え、高い外部量子収率を示した。連続通電試験による反応耐久性については、今後さ らに検討が必要な結果であった。光電極に新たな表面被覆を考案したことは、今後の光エ ネルギー変換材料の開発に期待される。

今年度は、6つの研究テーマに6人の企業内若手技術者が参加した。これまでこの会で は34年間に212テーマの研究を実施しており、卒業生は389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. 基盤トランスにおける交流抵抗の低減技術検討の研究グループ

研究担当者 萩中 悠太 (コーセル(株))

- ○角田 龍則(産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 二口 友昭 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆小幡 勤(産業技術研究開発センターものづくり)

Ⅱ.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グループ

研究担当者 中山 翔(㈱タカギセイコー)

- ○高松 周一(産業技術研究開発センターものづくり)
- 坂井 雄一 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆石黒 智明(産業技術研究開発センターものづくり)

Ⅲ. 時系列データ分類のための誤分類低減手法の研究グループ

研究担当者 寺井 太朗 (田中精密工業株)

- ○金森 直希 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - ☆ 林 千歳 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- IV. 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の研究グループ

研究担当者 中野 貴之(北陸電気工業株)

- ○中村 陽文(産業技術研究開発センター機械電子研)
- 清水 孝晃 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆ 林 千歳 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- V. 製品のヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究グループ

研究担当者 西井 渉太 (コーセル(株))

- ○釣谷 浩之 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 金森 直希 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 中村 陽文 (産業技術研究開発センター機械電子研)
 - 升方 康智(産業技術研究開発センターものづくり)
- 佐々木克浩(産業技術研究開発センター生活工学研)
- ☆関口 徳朗 (産業技術研究開発センター機械電子研)

Ⅵ. 水の光分解に関する基礎研究グループ

研究担当者

塚田 成弘 (燐化学工業株)

- ○國方 伸亮 (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)
- 二口 友昭 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 寺澤 孝志 (産業技術研究開発センターものづくり)
- ☆本保 栄治(産業技術研究開発センターものづくり)
- 註:〇印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

[.	基盘	と と トランスにおける交流抵抗の低減技術検討
	1.	緒言
	2.	銅巻き線構造のシミュレーション
	3.	交流抵抗増加の要因調査
	4.	フェライトコアによる交流抵抗の変化
	5.	渦電流損失の小さい巻き線構造の検討
	6.	試作基板の周波数特性
	7.	まとめと今後の課題
•	フッ	ν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
	1.	緒言
	2.	実験方法および結果
	3.	まとめと今後の課題
	時系	、 列データ分類のための誤分類低減手法
	1.	緒言
	2.	誤分類低減の考え方
	3.	入力データの前処理による誤分類低減
	4.	学習用データ群の拡張による誤分類低減
	5.	結言
	熱伤	、導式水素センサの加熱冷却曲線のシミュレーション
	1.	緒言
	2.	水素センサについて
	3.	1 次元モデル解析解による計算
	4.	有限要素法による3次元モデル解析
	5.	結言
	製品	ものヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究
	1.	緒言
	2.	品質管理と IoT 技術の活用について
	3.	試験体と問題点
	4.	庫内温湿度データの確度・収集効率向上に関する実験
	5.	コア接着状態のヘルスモニタリング
	6.	結言

目

次

VI.	水の)光分解に関する基礎研究	37
	1.	緒言	37
	2.	実験方法	38
	3.	実験結果および考察	39
	4.	結言	42

○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— 7
○会員企業および研究幹事名簿	付—24
〇入会申込書	付—25

I. 基板トランスにおける交流抵抗の低減技術検討

The study of the AC resistance reduction in the multi-layer substrate transformer

萩中 悠太角田 龍則二口 友昭小幡 勤HAGINAKA YutaKAKUDA TatsunoriFUTAKUCHI TomoakiOBATA Tutomu

Abstract

Now, switching power supply is adopted to various electronic equipment. In recent years, the demand of downsizing and thinning for switching power supply becomes strong, and the shape of coil is the factor to obstruct it. Therefore, the multi-layer substrate transformer having a high switching frequency is developed for the purpose of downsizing and thinning.

The purpose of this study is to investigate the relationship of the copper loss at high frequencies to the patterns of coil using a multilayer printed wiring board. Specifically, it is to discover the cause of increase in AC resistance at 100kHz. We compare the experimental values with the calculated values using a simplified model simulation, and evaluate the skin effect, the proximity effect and the dielectric loss. In this paper, we are reporting the frequency response of the test product transformer based on the simulation results.

1. 緒言

近年の産業機器、医療機器の小型化に伴い、スイッチング電源 の小型化が進んでいる。その小型化を進める上で、搭載部品中で 大きな容積を占めているスイッチング電源のトランスの小型化と、 スイッチング周波数の高周波化に取り組む必要がある。トランス とはフェライトコアとコイル(導体巻き線)から構成される部品で、 電源において入出力間の絶縁および電流電圧の変換を目的として いる。

トランスの小型化設計においては、その損失低減が最も重要で あり、損失には銅損(コイルで発生)と鉄損(フェライトコアで発生) がある⁽¹⁾。本研究では薄型化が容易な多層基板トランスの銅損低 減を目的として研究を行った。トランスの銅損 P は下記式によっ て計算される。

 $P = (I_{dc}^{2} \times R_{dc}) + (I_{ac}^{2} \times R_{ac}) \cdot \cdot \cdot \vec{x} \mathbf{1}$ $I_{dc} = \bar{a} \tilde{m} \bar{a} \tilde{m} d\beta \quad I_{ac} = \bar{\phi} \tilde{m} \bar{a} \tilde{m} d\beta$ $R_{dc} = \bar{a} \tilde{m} t t \bar{t} t \bar{t} \bar{t} R_{ac} = \bar{\phi} \tilde{m} t t t \bar{t} \bar{t} \bar{t} \bar{t}$ $R_{dc} = \rho \times l/S \cdot \cdot \cdot \vec{x} \mathbf{2}$ $\rho = t t t t \tilde{m} r = l = \delta \tilde{r} \delta \theta \tilde{k} S = \delta \tilde{r} \delta \theta t \bar{t} \delta \theta \bar{t}$

R_d は数式 2 が適用できるが、R_a は確立された理論式がなく、コ イルの構造や材質によって周波数特性が異なる。またその要因は、 表皮効果・近接効果・誘電体損失等が考えられる。

2. 銅巻き線構造のシミュレーション

<2. 1>シミュレーションの概要

本研究では、基板トランスの構造や物性が交流抵抗にあたえる 影響を調査するため、電磁界シミュレータを使用した。シミュレ ータは、ムラタソフトウェア社製の Femtet を用いた。図1に基板 トランスのシミュレーションモデルを示す。巻き線のモデルは、1 次側 12 ターン(3 ターン/層×4 層)、2 次側 2 ターン(1 ターン/層× 2 層)の銅配線とし、基材をガラスエポキシ樹脂とした。モデルは 基準軸を中心に回転したリング状軸対称モデルを採用した。



図1 基板トランスのシミュレーションモデル Fig.1 The simulation model of planar transformer.

<2. 2>シミュレーションの妥当性確認

シミュレーションを行う前に、モデルが妥当であることを確認 した。既知の内部構造である基板トランスをモデリング、シミュ レーションし、実測値とシミュレーション結果の比較を行った。 図2に基板トランスのX線CT画像とシミュレーションモデルを 示す。色の薄い部分が銅配線の断面である。



図2 基板トランスの X線 CT 画像とシミュレーションモデル Fig.2 The X-ray CT image and simulation model of planar transformer.

図3に基板トランスの周波数特性(実測とシミュレーション)を 示す。1kHzから1MHzの周波数において、ほぼ実測値を再現で きており、本シミュレーション手法が妥当であることを確認でき た。



Fig.3 The frequency response of planar transformer

(measured resistance and simulation).

3. 交流抵抗増加の要因調査

<3.1>基板トランスの周波数特性比較

次に、外形サイズや層構造の似た3種類の基板トランスを用意 し、交流抵抗を測定した。図4にそれぞれの基板トランスの周波 数特性を示す。



図4 基板トランス周波数特性(A, B, C)

Fig.4 The frequency response of planar transformer (A, B, C).

lkHzの交流抵抗はそれぞれ A:0.25, B:0.19, C:0.12 (Ω)であ り、交流抵抗を lkHz の値で除算した増加率は、およそ l0kHz か ら差異がみられた。この要因を調査するため、まずは3つの基板 トランス構成材料の成分分析を行った。

<3. 2>構成材料の成分分析

基板トランスを切断し、その断面を電子線マイクロアナライザ により元素分析した。成分分析は銅箔部、ガラエポ基材部の2か 所を各3回実施した。表1に基板トランス(銅箔、ガラエポ)の成 分分析結果を示す。

表1 基板トランス(銅箔、ガラエポ)の成分分析

Table 1 Component analysis of planar transformer (Copper, Glass epoxy). $(wt\%)$									
銅箔部	С		0		Si		Cu		
製品A	1		0.4		0.2	ç	98		
製品 B	1		0.4		0.6	98			
製品C	1		0.9		0.4	98			
							(wt%)		
基材部	С	0	Al	Si	Ca	Cu	Br		
製品A	25	27	5	19	14	2	5		
製品 B	17	28	7	23	15	1	6		
製品C	42	26	4	14	9	1	4		

銅箔部は、3 種類ともほぼ同じ元素比率であった。基材部は、 C(樹脂)と Si(ガラス)の比率に差があった。そこで基材の C、Siの 比率と周波数特性の関係について確認することとした。

成分分析をおこなった前述3種類の基板は、基材の物性データ が不明であったため、物性データが入手できる5種類の多層基板 を用意し、同じように電子線マイクロアナライザでガラエポ基材 部を元素分析した。表2はその成分分析結果を示す。

表2 多層基板(ガラスエポキシ)の成分分析

Table 2 Component analysis of planar transformer (Glass epoxy). (wt%)								
基材部	С	0	Al	Si	Са	Br		
基材 D	35	33	3	14	5	8		
基材 E	35	24	5	13	9	13		
基材 F	31	31	6	12	9	9		
基材 G	40	32	7	10	8	-		
基材 H	26	31	6	20	15	-		

基材の C, Si 成分比率と誘電率、誘電正接の相関を確認した。図 5 に C, Si 成分比率と誘電正接の分布図、図 6 に C, Si 成分比率と 比誘電率の分布図を示す。

誘電正接は C, Si ともに相関があり、比誘電率はあまり相関が無かった。次に電磁界シミュレーションにおいて、誘電正接と比誘電率を変化させ、周波数特性の変化を確認した。表 3 に、シミュレーションで使用した誘電正接、比誘電率、熱膨張係数および lkHz と 1MHz の抵抗値 $R_{\alphac}(1kHz), R_{\alphac}(1MHz)$ のシミュレーション 結果を示す。比誘電率の値を大きくした場合にのみ、抵抗値の変化がみられた。



Fig.5 Relationship between C, Si ratio and loss tangent.



Fig.6 Relationship between C, Si ratio and relative dielectric constant.

表3 多層基板の誘電正接、比誘電率、熱膨張係数、

シミュレーションによる交流抵抗値(1kHz,1MHz)

Table 3 Loss tangent, relative dielectric constant, thermal expansion

coefficient and AC resistance(1kHz, 1MHz) by the simulation.									
	誘電正接	比誘電率	熱膨張係数 [ppm/°C]	$R_{ac}(1kHz)$ [Ω]	$R_{ac}(1MHz)$ [Ω]				
基材 D	0.018	4.3	65	0.012	0.082				
基材 G	0.010	4.6	40	0.013	0.088				
基材H	0.018	4.6	41	0.013	0.088				

比誘電率は、熱膨張係数と負の相関のある事がわかっており、 一般的に高信頼性基板といわれる熱膨張係数の小さい基板ほど比 誘電率が大きい。そのため比誘電率の大きな高信頼性基板は、抵 抗値が大きくなると予想される。また、シミュレーションの結果 から比誘電率が7%増加した場合、1MHzの抵抗値は7%程度増加 することがわかった。1MHz 以下の交流抵抗において、材料の元 素成分の影響は、あまり大きくないことがわかった。

<3. 3>基板トランスの巻き線構造

次に、3種類の基板トランスをX線CT撮影し、内部構造を確認した。図7に基板トランスのX線CT解析画像を示す。解析結果よりトランスによって巻き線の幅、間隔や巻き方(円、四角)、

巻き線厚み、各内層などの構成に大きな違いがあった。表4は、 画像から算出したそれぞれの基板トランスの巻き線の幅、厚さ、 間隔の寸法である。以上の結果から、基板トランスの3次元構造 が、周波数特性にあたえる影響を調査するため、シミュレーショ ンを実施することとした。



図7 基板トランスのX線CT解析画像 Fig.7 The X-ray CT image of planar transformer

表4 基板トランスの巻き線寸法

	Table 4 The coil size of planar transformer.				
	幅	厚さ	間隔		
製品 A	0.59	0.11	0.21		
製品 B	0.62	0.09	0.18		
製品C	0.95	0.14	0.30		

<3. 4>巻き線構造による周波数特性の変化

巻き線構造(幅、厚さ、間隔)を変化させた場合の周波数特性への 影響をシミュレーションした。シミュレーションに用いた巻き線 条件を表 5、得られた周波数特性を図 8 に示す。

表5 シミュレーション巻き線条件							
	(mm)						
	幅	厚さ	間隔				
範囲 0.2~1.0		0.035~0.140	0.1~0.4				
四古夕供	厚さ 0.07	幅 1.0	幅 1.0				
固止采件	間隔 0.3	間隔 0.3	厚さ0.07				

幅を大きくしていくと 1kHz の抵抗値が減少し、増加の始まる 周波数が低いほうにシフトすることがわかった。また厚みを大き くする場合も幅を大きくする場合と同じ傾向であった。次に、巻 き線の間隔を広くしていくと 1kHz の抵抗値はわずかに増加し、 80kHz 付近から始まる抵抗値の増加の傾きが小さくなり、100kHz 以降では抵抗値が逆転した。

以上により、巻き線の断面積を大きくすると、lkHzの抵抗値は 小さくなるが増加の始まる周波数が低くなり、また、間隔を広く することは、近接効果を低減できるため抵抗値増加を抑えること がわかった。



Fig.8 The frequency response of simulation planar transformer (Change the width, thickness and pitch of the coil).

4. フェライトコアによる交流抵抗の変化

トランスの電源搭載時には、巻き線にフェライトコアが挿入される。コアが交流抵抗値におよぼす影響を確認するため、コアあり/なしのモデルを作成し、同様のシミュレーションを行った。 図9は左列がコアあり、右列が前述したコアなしの周波数特性の シミュレーション結果である。

モデルにフェライトコアを加えた結果、20kHz以下の抵抗値は ほとんど変化がなく、50kHz以降の増加の傾きが大きくなり、特 に巻き線の幅が大きい場合と厚さが小さい場合に、増加が大きく なった。また、間隔を変化させたときの抵抗値は、コアの有無で 値は大きくなるが、同様の傾向であった。100kHz~1MHzの抵抗 の増加については、フェライトコアの影響が大きい結果となっ た。



図9 巻き線寸法を変化させたシミュレーションの周波数特性(フェライトコアありなし) Fig.9 The frequency response of simulation planar transformer (Change the size of the coil "with core" and "without core").

次に、フェライトコアの影響について、磁束密度のシミュレー ション結果から考察した。図 10 にコアありなしの磁束密度の分 布図を示す。コアありの場合、コアギャップから漏れた磁束によ って、磁束密度が高くなっている個所がある。漏れた磁束が巻き 線に鎖交することで、その磁束を打ち消す方向に導体内で渦電流 が流れ、渦電流損失が発生していると考えられる。フェライトコ アによる抵抗増加の要因は、この漏れ磁束が巻き線に鎖交するこ とで発生する渦電流損失が大きいと考えた。



Fig.10 The magnetic flux density of "with core" and "without core".

5. 渦電流損失の小さい巻き線構造の検討

<5.1>ギャップから巻き線を離す構造

漏れ磁束の影響が少なくなる構造を、シミュレーションで検討 した。漏れ磁束はコアギャップ付近で発生していることから、コ アギャップと巻き線の間隔を大きくすると、渦電流損失が小さく なると考え、コアギャップと巻き線の間隔を変更して、電磁界シ ミュレーションをおこなった。図 11 はそのシミュレーションモデル、図 12 は、間隔を変えたときの各周波数での抵抗値である。



図 11 コアギャップと巻き線の間隔を変更したシミュレーションモデル

Fig.11 The simulation model of planar transformer





Fig.12 AC resistance of 1kHz, 100kHz and 1MHz (Change the distance between coil and core gap).

コアギャップと巻き線の間隔を大きくすると、導体断面積が小 さくなるため、1kHzの抵抗値(≒直流抵抗値)は大きくなった。ま た 100kHz では極小値を示す下に凸な曲線となり、500kHz では間 隔によらず 1.4Ω付近で一定の値を示す曲線となった。

<5. 2>等比幅巻き線構造

次に、漏れ磁束の大きいギャップに近い内側の巻き線を細くし、 ギャップから遠い外側の巻き線を太くしたモデル(等比幅巻き線) について考察した。図10の漏れ磁束の分布においては、ギャップ を中心に同心円状に広がる結果が得られている。そこで、巻き線 を等比幅でかつギャップと巻き線の間隔を同心円状に配置した構 造も検討した。図13は等幅(巻き線幅が同じ)・等比幅(巻き線幅を 変更)のモデル、図14は各周波数での抵抗値変化である。

等幅と等比幅において各周波数の抵抗値変化は、ほぼ同様の傾向を示した。また、ほぼすべての条件(周波数、間隔)で、等比幅構造の抵抗値が最小になった。しかしコアギャップと巻線の間隔が

狭いモデルにおいては、等比幅+円状配置の抵抗値が小さい値と なった。



図 13 等幅と等比幅の巻き線のシミュレーションモデル Fig.13 The simulation model of the equal width and equal ratio width.



最後に R_{dc}を 1kHz の交流抵抗、R_{ac}を 100kHz の交流抵抗と仮定 して、銅損 P を式 1 から算出した。銅損計算に用いる電流値は I_{ac}=0.58A、I_{dt}=0.89A とした(60W 出力、フライバック方式の電流を 想定)。コアギャップと巻線の間隔を変化させたときの銅損 P のシ ミュレーション結果を図 15 に示す。

$$P = (I_{dc}^2 \times R_{dc}) + (I_{ac}^2 \times R_{ac}) \cdot \cdot \cdot 式 1$$

 $I_{dc} = 直流電流成分 \quad I_{ac} = 交流電流成分$
 $R_{dc} = 1$ kHz 交流抵抗 $R_{ac} = 100$ kHz交流抵抗

*R_{ac}を*100kHzの交流抵抗とした場合、コアギャップと巻き線の 間隔を変化させると、銅損は極小値を示した。また、等比幅巻き 線構造で間隔 1.9mmのモデルが、もっとも小さい銅損となった。



図 15 コアギャップと巻き線の間隔を変更した場合の銅損 Fig.15 The copper loss (Change the distance between coil and core gap).

6. 試作基板の周波数特性

<6.1>試作基板トランスの周波数特性

シミュレーションをもとに、いくつかの基板トランスを設計試 作した。図 16 は、等幅でコアギャップとの間隔が 0.7mm パター ンのフェライトコアあり/なしの周波数特性である。





Fig.16 The frequency response of the test product transformer (with core and without core).

コアなしの場合、シミュレーションと実測の抵抗値は、おおむ ね一致した。しかし、コアありの場合、実測値はシミュレーショ ンとはかなり異なる結果となった。

<6.2>等幅と等比幅巻の周波数特性

図 17 に等幅と等比幅巻き線の試作基板の各周波数での抵抗値 変化を示す。実測では、すべての周波数でコアギャップと巻き線 の間隔を大きくすると抵抗値が増加する結果となった。シミュレ ーションと実測値のずれについて、鉄損、フェライトコア形状の 違いの2点が考えられる。

まず、鉄損については、影響が小さいと判断してシミュレーションで考慮していなかったが、コアボリュームが小さく(断面積 32.8 mm²)かつターン数が少ないコイル(12 ターン)を使用したため、予想より鉄損が大きくなったことがあげられる。交流抵抗測 定時に印加電圧を変化させると、値が大きく変化することからも、 鉄損が交流抵抗に加わって測定されていることが考えられる。





次に、フェライトコア形状の違いがあげられる。図18は、シミ ュレーションと実機のフェライトコアあり3次元モデルである。



図 18 基板トランス 3 次元モデル(フェライトコアあり) Fig. 18 The 3dimension simulation model with ferrite core of transformer.

図18のとおり、シミュレーションでは軸対象モデルを使用した ため、巻き線の全周がフェライトコアと対向している。対して、 実機のフェライトコアは一部覆ってない部分があり、全周が対向 していない。次に、図19に示す巻き線部の磁束密度分布について 説明する。磁束はコアギャップ付近が最も強く、コアギャップか ら離れると減少する。しかし、少なくない磁束が巻き線に対して 垂直に漏れていることが分かる。この磁束はギャップを通らずに フェライトコアから直接漏れる磁束であり、この磁束による渦電 流損失は、軸対象シミュレーションモデルが大きくなると考えら れる。



図 19 巻き線部の磁束密度分布 Fig.19 The magnetic flux density of coil with ferrite core.

このモデルの違いによる交流抵抗の変化を確認した。図20に3 次元モデルでのシミュレーション結果を示す。





100kHz 以上において、軸対象シミュレーションモデルの交流抵抗が大きい結果となった(100kHz で 110%、500kHz で 115%)。このような理由などで、フェライトコアありの場合、実機測定とシミュレーションの周波数特性に違いができたと考えている。

続いて、1kHzと100kHzの交流抵抗を式1に代入した銅損結果 を図21に示す。等幅と等比幅構造を比較すると、シミュレーショ ンと同様に、すべての条件で等比幅構造の銅損が小さい結果とな った。フェライトコアの中足にギャップのある基板トランスにお いて、巻き線を等比幅とすることで、銅損を低減できることがわ かった(本モデルにおいてはおよそ10%)。



図 21 コアギャップと巻き線の間隔を変更した場合の試作基板トランスの銅損 Fig.21 The copper loss of the test product planar transformer

(Change the distance between coil and core gap).

7. まとめと今後の課題

本研究では電源の小型化のため、基板トランスの交流抵抗低減 技術の検討を行った。電源のスイッチング周波数(およそ 100kHz) における抵抗増加要因として、フェライトコアからの漏れ磁束に よる渦電流損失の影響が大きいと考え、その影響を小さくする巻 き線構造をシミュレーションにより検討した。具体的には、①フ ェライトコアのギャップと巻き線の間隔を最適化すること、②等 比幅巻き線(内側の巻き線幅を小さく、外側の巻き線幅を大きくす ること)の2 種類の構造である。

シミュレーション結果をもとに基板トランスを設計試作した結 果、いくつかの要因のためシミュレーション結果を十分に再現で きず、フェライトコアのギャップと巻き線の間隔最適化はできな かったが、実際に等比幅巻き線構造において、交流抵抗値が小さ くなり損失が抑えられることを確認できた。

文 献

(1)CQ 出版株式会社:スイッチング電源のコイル/トランス設計

Ⅱ.フッ素ガス表面処理によるガスケット 高機能化の評価方法の研究

Research on Evaluation Method for High Performance Gaskets by Surface Treatment of Fluorine Gas

中山 翔	髙松 周一	坂井 雄一	石黒 智明
NAKAYAMA Sho	TAKAMATSU Shuichi	SAKAI Yuichi	ISHIKURO Tomoaki

Abstract

Sealing technology is required in all industries, and gaskets are used in various products for the purpose of sealing water, air, oil, and the like. Rubber materials are the mainstream for gaskets, and since each material has unique characteristics, some materials are often used. In the automobile field in recent years, the functions required for gaskets are increasing, and there are cases where universal fluorine rubber is used. However, fluorine rubber is expensive, and there is a problem in terms of cost when it is adopted. On the other hand, there is also a construction method in which the surface can be controlled to various characteristics by surface-treating a general-purpose material with fluorine gas without using a fluorine material. In this research, we will target oil seals, apply fluorine gas surface treatment to general-purpose rubber materials, and try to improve the functionality by surface modification. We will also try to study the evaluation method of surface- treated rubber materials.

1. 緒言

シール技術はあらゆる産業において必要とされ、ガスケットは 水やエアー、オイル等を封止する目的で様々な製品に採用されて いる。ガスケットではゴム材が主流となっており、各材料が固有 の特性を有しているため、特定の材料が多用されている。

近年の自動車分野においては、ガスケットに要求される機能が 高まってきており、万能なフッ素ゴムを採用するケースが増えて きている。しかしながら、フッ素ゴムは非常に高価で、採用にあ たりコスト面での課題が挙げられる。一方で、フッ素材料を用い ずに、汎用材料にフッ素ガスの表面処理を行うことで、表面に 様々な特性を付与する手法も存在する。

まず、フッ素ガス表面処理法について概説する。

フッ素ガス表面処理法は、フッ素ガスを材料と接触させ、接触 した部分の表面原子をフッ素原子と置換することで、図1に示す ように、表面にフッ素化物の層を形成するものである。フッ素化 に伴い耐熱性、耐薬品性、低ガス透過性など⁽¹⁾様々な性能の向 上が期待されている。



また、表面処理によって形成された層は、母材にフッ素を結合 させることで形成されている。そのため母材性能を維持し性能を 付与できる、フッ素化物層と母材間には界面がなく剥離しにくい などのメリットがあり、フッ素ガスと接触するだけで反応が起き るため、処理を行う際の製品形状に関係なく処理が可能である。

次に、汎用樹脂材のポリエチレンにフッ素処理を施した場合、 表面がどのように変化するかについて示す。

光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた改質層の断 面観察の結果を図2に示す。



(a)光学顕微鏡写真

(b)SEM 写真(フッ素マッピング)

図 2 改質層の検出 Fig.2 Detecting the reforming layer

これらの観察結果から、フッ素化物層の厚みは5~6µm であり、 一定深さまでフッ素化が進んでいることがわかる。

また、IR分析によって処理材を分析した結果、図3に示すスペクトルが得られた。フッ素化物由来の1100~1200cm⁻¹の強い吸収が確認でき、ポリエチレン由来の吸収は見られない。



図3 フッ素層の IR 分析 Fig.3 IR analysis of the fluorine layer

次にラマン分析を行い、ラマンスペクトルによる表面の分子構造の分析を行った。励起レーザー光の波長は、532nm で、図4中の光点はレーザー光を照射した位置である。



図 4 ラマン分析部分 Fig.4 Raman analyzed part



得られたラマンスペクトルを図5に示す。

PE 部の結果には、ポリエチレンのみのスペクトルが認められた が、フッ素化部にはポリエチレンとその他のスペクトルが検出さ れた。その他のスペクトルは、フッ素化物由来のものと考えてい る。フッ素処理部の結果にポリエチレンのスペクトルが検出され たのは、フッ素処理層が非常に薄くレーザー光が母材部分にも拡 散したためと考えている。

引き続き XPS 分析を行い、元素の結合状態を調べた。

分析結果は図6のとおりで、(a)ポリエチレンでは炭素が90%以 上含まれているが、(b)フッ素化処理 PE では40%程度まで減少し、 フッ素が60%となっている。また、炭素のナロースペクトルの解 析から、殆どが CF2で一部 CF 結合が混ざっているようである。

ポリエチレンのフッ素化処理においては、一定深さまで完全に フッ素化されているようである。このことは、表面をポリテトラ フルオロエチレンでコートした材料と同じもの考えて良く、表面



特性はポリテトラフルオロエチレンに相当するものと考えられ る。事実、ポリエチレンでは、この処理により耐薬品性、低ガス 透過性の向上が確認される。

本研究では、オイルシールをターゲットとし、汎用的なゴム材 料にフッ素ガス表面処理を施し、表面改質による高機能化を試み る。表面がフッ素化されれば、フッ素ゴムと同様の特性を有する ことが期待できる。なお、ゴム材のフッ素化処理の効果を記載し たものは見受けられないので、表面処理ゴム材の評価方法につい ても検討する。

2. 実験方法および結果

<2.1> 材料選定

ガスケットは、構造に気密性、液密性を持たせるために用いら れる固定用シール材であり、要求性能として、耐熱性や耐水性、 耐油性、耐久性が求められる。自動車分野においては、要求され る機能が高まってきており、万能なフッ素ゴムを採用するケース が見受けられる。フッ素ゴムは非常に高価な材料のため、今回の 研究では現在のガスケットに多く使用されている ACM (アクリ ルゴム)、NBR (ニトリルゴム)を用いる。

これら汎用ゴム材にフッ素ガス表面処理を施し、表面改質による高機能化を目的とした。フッ素処理後の試料がフッ素ゴムと同等の性能になれば、ACM 材ならば 1/3 に、NBR 材ならば 1/6 に 低廉化が可能である。

	ACM	NBR	FKM				
引張強さ(kg/cm²)	70~120	50~250	70~200				
硬さ(JIS-A) 40~90		20~100	50~90				
耐熱性/耐寒性(°C)	180 / -30	120 / -50	250 / -50				
耐水性/耐油性	∆ / ©	0/0	0/0				
耐老化性	Ø	0	Ø				
値段 (100×100×1相当)	¥ 100	¥ 50	¥330				

表1 ゴム材の性能比較 Table 1 Performance comparison of rubber materials

<2. 2> フッ素処理条件

今回のフッ素処理では、2 つの条件で処理を行う。両試験条件 ともに処理時間は60min、処理環境のフッ素濃度は20%である。 処理環境の温度は、室温と50℃に分け、室温での処理を弱処理条 件、50℃での処理を強処理条件とし、評価を行う。

<2.3> 表面分析によるフッ素化の確認

フッ素化の確認は、赤外分光分析 (FTIR)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、X線回折 (XRD) により行った。

<u>FTIR</u>による表面分析



図 7 FT-IR によるフッ素処理に伴う変化の確認 Fig.7 Confirmation of changes associated with fluorine treatment by FT-IR

まず、フッ素処理を施したゴムサンプルの構造の変化について、 未処理品とフッ素処理品を用いて FTIR による確認を行った。そ のスペクトルを図7に示す。

フッ素処理により、両材料とも CF 結合由来の 1100cm⁻¹付近に 吸収が見られるようになった。また、同時に、ACM、NBR では CH3と CH2、および、さらに NBR では添加物の CaCO3:炭酸カ ルシウムのピークが小さくなっている。これらのことから、それ らの部分でフッ素が置換反応を起こしフッ化物層を形成してい るものと考えられ、ゴムでもフッ素化できることが分かった。

X線回折による確認

次に X 線回折による分析を行い、結果を図 8 に示す。また、 NBR では FTIR の測定から添加物である炭酸カルシウムが減少し ていたため、フッ素処理品の XRD 結果を詳細に解析した(図 9)。



図8 ACM、NBR 処理材のX線回折結果





Fig.9 Confirmation of fluorine layer by X-ray diffraction

ACM の分析ではゴムの回折線のみが認められ、フッ素処理前後で大きな変化は認められない。NBR ではゴムの回折線だけでなく無機添加物による多くの回折線が見られた。NBR の強処理品を詳細に分析した図9から、CaF2の生成が確認され、これはフッ素処理により NBR の添加物である炭酸カルシウムから分解生成したものと考えられる。

SEM による断面観察

SEM 観察による観察結果を図 10 に示す。

両サンプルとも表面にはフッ素化物層が存在しているものの、 ACMではフッ素層が不明瞭であり、NBRはフッ素層が薄いこと が確認できた。このことから、PEの例に示したものと異なり、ち 密なフッ素化物層になっていないことが予想される。



写真上:SEM 写真 写真下:F 元素のマッピング写真 Fig.10 Cross sectional observation of the sample after fluorine treatment

<2. 4> 耐久試験方法

耐久試験では、未処理、フッ素処理品2種類をダブルクリップ で挟み、容器内に吊るし、恒温槽内で130℃に加温した。試験環 境は、油環境と空気環境の2種類で、所定時間後、試料を取り出 し重量、硬さ、引張強さを測定した。なお、油環境で試験を行っ た場合は、取出し直後にエタノールで油分を拭き取った。

<2. 4. 1> 重量評価

評価に用いた試料数は、表2のとおりである。図11にはACM

 表 2 重量評価に用いた試料数

 Table 2
 Number used for weight evaluation

 初期
 3h
 6h
 24h
 1w
 2w
 4w

ACM (油環境)	3	1	1	1	2	2	2	
ACM (空気環境)	(3)	1	1	1	2	2	2	
NBR (油環境)	3	1	1	1	2	2	2	
NBR (空気環境)	(3)	1	1	1	2	2	2	

の結果を、図12にはNBRの結果をまとめた。なお、図の縦軸は、 試験前の初期重量を100とした値で示してある。

ACMは、空気環境では浸漬時間が増えても重量は殆ど一定で、 油環境では初期に重量が増加しその後に減少する傾向が見られ、 フッ素処理の効果は見られない。

NBR については、油環境、空気環境下で時間による重量の変化 は見られず、フッ素処理による変化も見られなかった。

これは、ACM、NBR ともに母材が耐油性の高い材料であった ために表面処理の効果が顕在化しなかったものと考える。



<2.4.2> 硬さ評価

NBR 弱処理

日数[日]

110

区 105% 分 100%

硬さは、タイプAのデューロメータを用いJISK 6253-3⁽²⁾に従

110%

図 12 NBR の重量評価 Fig.12 Evaluation of weight changes in NBR

골 105% 갖 NBR 強処理

10 2 日数[日]

表3 硬さ評価に用いた数量

	初期	3h	6h	24h	1w	2w	4w
ACM (油環境)	3	1	1	1	2	2	2
ACM (空気環境)	(3)	1	1	1	2	2	2
NBR (油環境)	3	1	1	1	2	2	2
NBR (空気環境)	(3)	1	1	1	2	2	2

い行った。評価を行った試料数を表3に示す。

図 13 には ACM の結果を、図 14 には NBR の結果をまとめた。

ACM では、空気・油環境下ともに硬さの変化が見られず、フ ッ素処理による相違は認められなかった。一方、NBR では、試験 開始から上昇し始め、4w目には1.3 倍程度になり、またフッ素処 理効果も見られず、油・空気環境下で変わらなかった。





図 15 ダンベル片 5 号形 Fig.15 Dumbbell piece shape

表4 引張強さ評価に用いた数量

Table 4 Number used for hardness evaluation

	初期	2w	4w
ACM (空気環境)	4	5	5
ACM (油環境)	(4)	5	5
NBR (空気環境)	4	5	5
NBR (油環境)	(4)	5	5

<2. 4. 3> 引張強さの評価

耐久試験後の試験片を用いて、JISK 6251⁽³⁾に従い引張試験を 行った。引張速度は 500mm/min で行い、ダンベル片 5 号形(図 15)を用いた。評価に用いた試料数を表 4 に、ACM の引張強さ の結果を図 16 に、NBR の結果を図 17 に示す。

ACM では、浸漬時間の増加に伴い、若干であるが引張強さは 減少した。この傾向は、油・空気環境やフッ素化処理の有無によ らず変わらなかった。

NBRでは、油・空気環境やフッ素化処理の有無によらず、浸漬時間の経過に伴い引張強さが著しく低下した。また、空気環境中では4w、油環境下で2w、4w 経過したサンプルでは、可撓性が全く無く試験不可であった。







<2.4.4> 耐久試験後の表面分析

耐熱性評価では、表面だけでなくフッ素処理されていない内部 にも熱が加わるため、母材の物性に依存することが確認され、フ ッ素処理による耐熱性の向上は認められなかった。耐油性につい ては、今回の試験で用いた材料は耐油性の高い材料であったため、 未処理との差が見られなかった。

これらの結果を考慮し、強処理材の油中浸漬後のサンプルを使用して FTIR による変化の確認し、評価を行った。その結果を図 18 に示す。



図18 FT-IR による耐久試験後の表面分析 Fig.18 Surface analysis after endurance test by FT-IR

ACM では、耐久試験前と耐久試験を 24h 行ったものを比較す ると、1100cm⁻¹付近の吸収ピークで大きな変化が見られ、フッ素 層の減少が確認できた。耐久試験を 24h と 4w を比較すると大き な変化は確認できなかった。よって、耐久試験開始後 24h 以内に フッ素層の大部分が分解或いは溶出し、効果がなくなっていると 確認された。

NBR では、耐久試験前と耐久試験を 24h 行ったものを比較する と、同様に 1100cm⁻¹付近の吸収が変化し、フッ素層の減少が確認 できた。耐久試験 24h と 4w を比較すると大きな変化は確認でき なかった。よって、耐久試験開始後 24h 以内にフッ素層による効 果がなくなっていると確認された。

また、弱処理の油環境でも、同様の早期での変化が見られた。 空気環境中では、フッ素層は4w後も認められた。

<2. 5>耐溶剤性の確認

130℃の空気・油環境中では、重さ、硬さ、引張強さいずれの 結果からも表面処理の効果は認められず、母材の特性に左右され た。

耐溶剤性では表面フッ素処理が機能し、ゴム中への溶剤浸透、 膨潤を抑制するものと期待し、溶剤浸漬試験を実施した。

<2.5.1> 浸漬試験方法および結果

材料の SP 値を基準に3 種の溶剤(エタノール、イソプロピル アルコール、アセトン)を選定した。室温下で、遠沈管に入れた 溶剤中ヘゴム材を沈めて所定時間ごとに取り出し、重量と厚みを 測定した。試験の様子を図19に示す。



図19 浸漬試験の様子 Fig.19 Dipping test

ACM をエタノールに浸漬した時の重量変化を図 20 に示す。縦 軸は、初期重量との比で示した。(a)は、全試験期間の結果であり、 (b)は初期部を拡大したものである。

図 20(a)より、重量は初期の1日で急激に増加し、若干低下する が、ほぼ一定値になる。また、未処理と処理品では、大きな差は 見られない。初期部を拡大した(b)より、浸漬直後には急激に、時 間の経過に伴い増加の仕方が小さくなっていることが分かる。

引き続き(c)は、初期部の重量変化を、横軸に時間の平方根を用いて示したものである。

その結果、重量は、浸漬時間の平方根に対して直線的に増加し ていることが分かった。このことは、ゴム中への溶剤の拡散が律 速であることを示している。



以下の図では、横軸を√t で示すものとする。



Fig.21 Comparison of immersion results of fluorine-treated products

ACM では、今回の溶剤すべてで重量の増加が確認された。特に、アセトンの浸透速度は早く大きい。エタノールと IPA では初期の直線部分の傾きはほとんど同じで、すなわち、浸透速度はほとんど同じであるが、最終的には IPA の浸透量が多いことが確認された。

NBRでは、アセトンで重量の増加が確認されたが、エタノールとIPAではほとんど重量の増加は確認されなかった。

厚さの測定結果も、重量と同様であった。また、溶剤浸漬後の 試料を 50℃で乾燥し、FTIR 分析したところ、試料には CF 結合が 認められた。このことは、フッ素化処理により生成したフッ素層 が緻密でないことを示唆している。

3. まとめと今後の課題

本研究では、フッ素表面処理による高機能なゴムを開発することを目的とし、ACM(アクリルゴム)と NBR(ニトリルゴム) にフッ素表面処理を施し、物性の評価を行った。

ゴム材のフッ素表面処理では、フッ素層の厚みが薄く不均一な ことが確認され、フッ素層の形成が不十分であるとわかった。

130℃の耐久試験では、フッ素処理効果が確認されず母材の物 性に強く影響を受けた結果となった。また、空気中材では、フッ 素層が4w後も認められたが、油中材ではフッ素層が24時間後に はほとんどが消失していた。

また、耐溶剤性の確認では、浸漬時間の増加に伴い、フッ素化 の有無に寄らず、同様の重量と厚みの増が確認でき、フッ素化の 効果が確認できなかった。初期の重量・厚さの変化は浸漬時間の 平方根に比例したことから、ゴム中への溶剤の拡散が律速である ことが推測された。浸漬終了後もフッ素層は確認されたことから、 フッ素化処理により緻密なフッ素層が生成していなことが示唆 された。

今後、

① ゴム材への均一・緻密・厚いフッ素層の形成

② 他性能も含めてフッ素処理効果の確認

を考えており、フッ素処理条件を変えながら、その効果の確認 を進める予定である。 文 献

- 高松帝産株式会社 / フッ素ガス表面処理とは https://www.takatei.co.jp/business/fluorine/treatment
 JIS K 6253-3,加硫ゴム及び熱可塑性ゴム、硬さの求め方
- (3) JISK 6251,加硫ゴム及び熱可塑性ゴム、引張特性の求め方

Ⅲ. 時系列データ分類のための誤分類低減手法

Misclassification Reduction Methods for Time Series Data Classification

寺井 太朗 TERAI Taro 金森 直希 KANAMORI Naoki 林 千歳 HAYASHI Chitoshi

Abstract

When an abnormality detection system based on time-series data such as machining vibration is applied to a massproduced machine, the data may change due to changes in tools, dies, material lots, etc. Using such changed data for classification can lead to misclassification. Therefore, every time a misclassification occurs, the production line worker must train the classification model with the added data. After all, it will take a long time before it can be operated with classification accuracy that can withstand mass production. If this re-learning can be reduced, it can be expected to shorten the time to mass production and reduce the burden on workers.

Therefore, in this study, we devised and tested several methods to improve the correct answer rate while using the classification system currently in operation as it is by improving a specific normal / abnormal classification system. First, it was found that preprocessing the input data with a multi-band digital filter improves the accuracy rate. At that time, the optimization of filter parameters using the genetic algorithm, which is one of the evolutionary computation methods, made a great contribution. Second, by optimizing the cutout range of the input data at the same time as the filter parameters, the accuracy rate has been greatly improved. Third, it was found that the correct answer rate was improved by expanding the learning data group.

1.緒言

加工振動などの時系列データに基づく正常/異常分類システム を量産用の加工機械に適用した場合、工具や金型の交換や材料ロ ットが変わるタイミングでデータに何らかの変化が生じることが ある。また、これらの変化したデータを、それ以前に取得された データによって学習された正常/異常分類システムで分類した場 合、誤分類が発生することがある。そのため、量産に耐えうる分 類精度で運用できるようになるまでには、現場の技術者が再学習 を伴う調整を繰り返す必要があり、長期間を要することがあるこ とから、誤分類による再学習を減らすことができれば、量産運用 までの期間短縮が期待でき、現場技術者の負担軽減にも繋がる。

そこで、本研究では、2つの具体的な正常/異常分類システムの 改良を通して、現在稼働中の正常/異常分類システムをそのまま 利用しながら正答率を向上させる手法を検討した。

2. 誤分類低減の考え方

<2.1> 概要

分類モデルの学習および未知データが分類されるまでの流れを 図1に示す。学習用として取得した時系列データ(センサデータ)が 特徴量へ変換され、この特徴量により分類モデルが学習される。 そして、未知データを特徴量へ変換して学習させた分類モデルへ 入力することによって分類結果が出力される。ここで、特徴量変 換部分および分類モデルとして現在稼働中のものをできるだけそ



図 1 分類モデルの学習および分類の流れ Fig. 1 Classification model learning and classification flow.

のまま利用することを考えると、誤分類を低減させるには、分類 システムに入力されるデータ(学習用データ群および未知データ) の質を向上させる必要がある。そこで、著者らはこのために2つ の方法(<2.2>および<2.3>節)を検討した。

<2. 2> 入力データの前処理による方法

入力データは、センサが出力する生データであるため、分類に 不必要あるいは重要でない成分が含まれている。そこで、入力デ ータを前処理する(図2)ことで、分類のために必要あるいは重要で あると考えられる成分のみを抽出し、学習および分類に用いることで分類精度の向上が可能となるものと考えられる。



図 2 分類モデルの学習および分類の流れ(前処理を実施する場合) Fig. 2 Classification model learning and classification flow (when performing preprocessing).

<2.3> 学習用データ群の拡張による方法

学習用データ群は、正常/異常状態の範囲を規定するための材料となるものである。この学習用データを増加させることで、学習用データの密度が上昇するため、正常/異常の境界をより詳細に規定することにつながるものと考えられる。そこで、既存の学習用データ群に処理を加えたものを作成し、もとの学習用データ群に加えた拡張済学習用データ群を学習に用いる(図3)ことで、分類精度の向上を狙う。



図3 分類モデルの学習および分類の流れ(学習データ群の拡張を実施する 場合)

Fig. 3 Classification model learning and classification flow (when expanding the training data group).

3. 入力データの前処理による誤分類低減

- <3.1> 検討対象
- <3.1.1> 概要

ここでは、後述する機械加工 A(旋削加工)および機械加工 B(プレス加工)における加工時の異常を、加速度センサが出力する時系 列データをもとに検知するシステムを対象とした。このシステム は、先行研究⁽¹⁾の成果などを活用した MT 法²⁾(多変量解析および 品質工学を利用した判定方法)による異常検知システムであり、機 械加工AおよびBにおいて同一の異常検知システムを用いた。

<3.1.2> 機械加工A(旋削加工)

対象の加工機械および測定系の概要を図4に示す。バルブリフ ターと呼ばれるエンジン部品の端面部を旋削加工する際の加工振 動が、旋盤の工具ホルダに設置された1軸加速度センサによって 測定される。ここでは、測定される加速度はz方向のみである。 サンプリング周波数は1600Hz、測定点数は1000点とした。加工 後に工具破損(チッピング)していない状態を正常状態、加工後に工 具破損している状態を異常状態とし、1回の加工ごとに加速度デ ータを収集した。収集した加速度データの例を図5に示す。





Fig. 5 Example of acceleration data for machining A.

<3.1.3>機械加工B(プレス加工)

対象の加工機械および測定系の概要を図6に示す。ロッカーア ームと呼ばれるエンジン部品を、プレス機によって鋳造品から切 り取る際の振動が、プレス機のシリンダ付近に設置された1軸加 速度センサによって測定される。測定される加速度はz方向のみ である。サンプリング周波数は1600Hz、測定点数は350点とした。 切り取られた部品に圧痕などのキズが存在する状態を異常状態、 キズが存在しない状態を正常状態とした。1回のプレス加工ごと に加速度データを収集した。収集した加速度データの例を図7に 示す。



図6 機械加工 B(プレス加工) Fig.6 Machining B (pressing).



<3.1.4> 異常検知方法

加速度センサから得られた生の加速度データは、すべて後述の 特徴ベクトルに変換されて、MT 法により学習・判定を行う。MT 法は、正常データ群のみを学習させた単位空間と呼ばれる基準デ ータと、未知データとの離れ具合を MD 値(マハラノビス距離)に よって評価する1クラス分類手法である(1クラス分類手法では、 学習に使用するデータは正常状態のデータのみであり、異常状態 のデータは学習に使用されない)。この MD 値が、設計者によって 予め設定された閾値よりも小さい場合には正常状態と判定し、逆 に大きい場合には異常状態と判定する。本研究では、異常状態の MD 値の最小値を閾値とした。

<3.1.5> 判定までの詳細

加速度データを特徴ベクトルへ変換する方法として、ここでは、 図8に示すように、時系列の波形プロットに対して標本線を引き、 その標本線と波形プロットの交点を求め、交点の数を変化量とし、 交点から交点までの距離の総和を存在量として算出した。例えば、 標本線が5本であれば、時系列データから10要素の特徴ベクトル



図 8 特徴量への変換方法 Fig. 8 Conversion method to features.

(5 要素の変化量および5 要素の存在量)を取り出すことになる。

正常状態の加速度データをある程度まとまった数だけ集め、それらをすべて特徴ベクトルに変換し得られる行列から相関行列 R を求め、その逆行列(疑似逆行列)R⁻¹を単位空間(判定基準)とする。 次に、判定対象の時系列データに対して同様に特徴ベクトル x を 求め、この x を正規化した値 z を用いて、式(1)により MD 値(マハ ラノビス距離)を求め判定を行った。

z: 判定対象データ(正規化した特徴ベクトル)

R:相関行列

k:特徴ベクトルの要素数(変化量および存在量の要素数の和)

<3. 2> 前処理方法の検討

機械加工Aでは、回転機械の振動信号を取得している。入力デ ータのパワースペクトル例(図9)から、幾つかのピークの大きさを 比較することよって、正常か異常かの判定ができる可能性がある。 これらのピーク周辺の周波数成分のみを抽出することにより、特 徴量に不要な信号が重畳することを防ぎ、検知精度を向上できる のではないかと考えられた。そこで、加速度センサから得られた データ(入力データ)に対して、マルチバンドのバンドパスフィルタ



図 9 入力データのパワースペクトル密度の例 Fig. 9 Example of power spectral density of input data.

<3.3> 手動調整した前処理フィルタの効果(加工機械 A)

加工機械 A の検知システムにおいて、試行錯誤的に決定したバンドパスフィルタで前処理した入力データを使用して、基準データ(分類モデル)の作成および正常/異常の判定(チッピングしたか否かの判定)を行った。決定したフィルタパラメータは、中心周波数が190、305、545 および 650Hz であった。なお、各バンドパスフィルタのバンド幅は中心周波数±30Hz とした。

前処理なしの場合と前処理ありの場合の、未知データに対する MD 値を図 10 に示す。前処理なしの場合(図 10(a))において、正常 状態(チッピングしていない状態)にもかかわらず大きな MD 値を 示していたデータの多くが、前処理ありの場合(図 10(b))において、 MD 値がより小さくなった。さらに、異常状態の正答率が 100%と なるように閾値を設定した場合の混同行列を作成した(表 1)とこ ろ、正答率は 4.5 ポイント向上した。





図 10 加工機械 A における手動調整したフィルタによる前処理効果 (MD 値) Fig. 10 Pretreatment effect by the manually adjusted filter on Machining A

(MD value).

表 1 加工機械 A における手動調整したフィルタによる前処理効果 (混同行列)

 Table 1
 Pretreatment effect by the manually adjusted filter on Machining A (Confusion matrix).

(a) 前処理なし

(a) Without pretreatment.

			単位:%
		判定	結果
		正常	異常
古信	正常	74.0	26.0
具但	異常	0.0	100.0

(b) 前処理あり

(b) With pretreatment.

			単位:%
		判定	結果
		正常	異常
古体	正常	78.5	21.5
具他	異常	0.0	100.0

<3. 4> 最適化した前処理フィルタの効果(加工機械 A)

前節では、入力データを前処理するバンドパスフィルタのパラ メータ組合せを試行錯誤的に決定したが、これにある程度の時間 を要すること、およびより良いフィルタパラメータの組合せが存 在する可能性があったため、フィルタパラメータの組合せを自動 的に最適化することを試みた。ここでは、このフィルタパラメー タの組合せを、進化的計算手法の一つである遺伝的アルゴリズム (図 11)により最適化することとした。最適化するパラメータは、



図 11 遺伝的アルゴリズムのフロチャート Fig. 11 Flowchart of genetic algorithm.

バンドパスフィルタの数(1~6 個)、各フィルタの中心周波数(0~780Hz)である。なお、バンドパスフィルタのバンド幅は中心周波数±30Hz で固定とした。遺伝的アルゴリズムの中で使用する適応 度関数(評価関数)は、正常データの MD 値の最大値と異常データ の MD 値の最小値の差とし、これを最大化するように最適化した。 ここで、染色体数は 100 個とし、終了条件は 10 世代とした。

遺伝的アルゴリズムにより求まったフィルタの中心周波数は、 180 および 540Hz であった。これらのバンドパスフィルタで前処 理した入力データを使用して、基準データの作成(学習)およびチッ ピングの判定を行った。未知データに対する MD 値を図 12 に示 す。試行錯誤的に決めたフィルタパラメータで前処理された入力 データを使用した場合(図 10(b))と比較すると、正常状態の MD 値 は概して小さくなった。また、異常状態の正答率が 100%となるよ うに閾値を設定した場合の混同行列を作成した(表 2)ところ、試行 錯誤的に決めたフィルタパラメータで前処理された入力データを 使用した場合(表 1(b))よりも正答率が 20.1 ポイント向上した。



図 12 加工機械 A における最適化フィルタによる前処理効果(MD 値) Fig. 12 Pretreatment effect by the optimized filter on Machining A(MD value).

表 2 加工機械 A における最適化フィルタによる前処理の効果(混同行列) Table 2 Pretreatment effect by the optimized filter on Machining A(Confusion matrix).

			里位:%
		判定	結果
		正常	異常
古店	正常	98.6	1.4
具他	異常	0.0	100.0

<3.5> 最適化した前処理フィルタの効果(加工機械 B)

前節の加工機械 A の異常検知システムで有効であったフィルタ パラメータの自動最適化手法を、加工機械 B の異常検知システム にも適用した。

遺伝的アルゴリズムにより求まったフィルタの中心周波数は 270 および 570Hz であった。これらのバンドパスフィルタで前処 理した入力データを使用して、基準データの作成(学習)および正常 /異常の判定を行った。未知データに対する MD 値を図 13 に示 す。正常状態の MD 値の多くが異常状態の MD 値よりも大きくなった。異常状態の正答率が 100% となるように閾値を設定した場合の混同行列を表 3 に示す。正答率は 76.0% であった。



図 13 機械加工 B における最適化フィルタによる前処理の効果(MD 値) Fig. 13 Pretreatment effect by the optimized filter on Machining B(MD value).

表 3 機械加工 B における最適化フィルタによる前処理の効果(混同行列) Table 3 Pretreatment effect by the optimized filter on Machining

B(Confusion matrix).

			単位:%
		判定	結果
		正常	異常
古体	正常	76.0	24.0
具但	異常	0.0	100.0

<3.6> 入力データの切り出し範囲を最適化した効果(機械加 工 B)

高い正答率を得ることができなかった前節の方法では、入力デ ータとして、加速度センサにて取得した 350 サンプルの時系列デ ータをそのまますべて使用していたが、これらの中には MD 値に 悪影響を及ぼすものも存在していたと考えられる。このとき入力 データとして使用するデータ範囲は、現場技術者の経験によって 試行錯誤的に決められたものであるが、より有用なデータ範囲の みを学習・判定に使用すれば正答率が向上するのではないかと考 えられる。そこで、前節のフィルタパラメータに加え、入力デー タの切り出し開始位置および切り出し終了位置についても同時に 遺伝的アルゴリズムにて最適化することを試みた。

求まった切り出し範囲は 1~222 サンプル目であり、フィルタの 中心周波数は 300、390、450、および 630Hz であった。切り出し 後の入力データ(加速度データ)例を図 14 に示す。

これらの切り出し範囲およびバンドパスフィルタで前処理した 入力データを使用して、基準データの作成(学習)および正常/異常 の判定を行った。未知データに対する MD 値を図 15 に示す。切り 出し範囲を最適化しなかった場合(図 13)と比較すると、正常状態 の MD 値の最大値と異常状態の MD 値の最小値の差が大きくなっ た。また、異常状態の正答率が 100%となるように閾値を設定した 場合の混同行列を作成した(表 4)ところ、切り出し範囲を最適化し なかった場合(表 3)よりも正答率が 1.4 ポイント向上した。







図 15 加工機械 B におけるフィルタおよび入力データの切り出し範囲を 最適化した効果(MD 値)

Fig. 15 Effect of optimizing the filter and input data cutout range on Machining B(MD value).

表4 加工機械 B における入力データの切り出し範囲およびフィルタを 最適化した効果(混同行列)

Table 4 Effect of optimizing the filter and input data cutout range in processing machine B(Confusion matrix).

			单位.%
		判定	結果
		正常	異常
古法	正常	100.0	0.0
則具	異常	0.0	100.0

4. 学習用データ群の拡張による誤分類低減

<4. 1> 概要

<3.4>節では、機械加工Aにおいて入力データの前処理フィルタを最適化することにより正答率が向上することを示したが、本節では、正答率をより向上させることを狙い、機械加工Aの入

カデータに対して<2.3>節で述べた学習用データの拡張を実施した。

<4.2> 学習用データ群の拡張方法

既存の正常状態のデータにごく近いデータを多数作成すること で、正常/異常の境目をより詳細に規定することができると考え られる。そこで、元の学習用データ群に対して<3.4>節で最 適化された前処理フィルタの中心周波数(180 および 540Hz)に近い 中心周波数のバンドバスフィルタでフィルタリングしたデータを 学習用データ群に加えた。

より具体的には、学習用データ群からランダムに10個のデータ を取り出し、これらに170および550Hzのバンドパスフィルタを かけたもの、およびランダムに15個のデータを取り出し、これら に190および550Hzのバンドパスフィルタをかけたものを作成し、 これらの作成データを学習用データ群に加えた。

<4.3> 学習用データ拡張の効果

前節で拡張した学習用データ群を使用して基準データ(分類モ デル)を作成し正常/異常の判定を行ったときの、未知データに対 する MD 値を図 16 に示す。学習用データ群を拡張しなかった場 合(図12)と比べると、概して正常状態のMD 値が少々小さくなり、 かつ異常状態の MD 値が少々大きくなった。また、異常状態の正 答率が 100%となるように閾値を設定した場合の混同行列を作成 した(表 5)ところ、学習用データ群を拡張しなかった場合(表 2)よ りも正答率が 0.5 ポイント向上した。



図 16 機械加工 A における拡張した学習用データによる効果(MD 値) Fig. 16 Effect of extended learning data on Machining A(MD value).

表 5 機械加工 A における拡張した学習用データによる効果(混同行列) Table 5 Effect of extended learning data on Machining A(Confusion matrix).

			単位:%
		判定	結果
		正常	異常
古店	正常	99.1	0.9
具他	異常	0.0	100.0

5. 結言

本研究では、具体的な正常/異常分類システムの改良を通して、 現在稼働中の正常/異常分類システムをそのまま利用しながら正 答率を向上させる手法を検討した。得られた成果は以下のとおり である。

- (1)入力データ(学習用データ群および未知データ)をマルチバン ドデジタルフィルタによって前処理することにより、正答率を 向上させることができた。
- (2) マルチバンドデジタルフィルタのパラメータ組み合わせを進 化計算手法(遺伝的アルゴリズム)によって最適化することに より、上記(1)よりも正答率を向上させることができた。
- (3) デジタルフィルタに加え、入力データの切り出し範囲も同時に 最適化することにより、上記(2)よりも正答率を向上させるこ とができた。
- (4) 学習用データ群を拡張することにより、正答率を向上させることができた。

文 献

- (1) 石澤剛士,金森直希,羽柴利直,杉森博;"工具寿命の機上検出手 法に関する研究",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,(2018), pp.21-27.
- (2) 立林和夫,手島昌一,長谷川良子; "入門 MT システム", (2008), 日科技連.

Ⅳ. 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

Simulation of Heating and Cooling Curve of the Thermal Conductivity Hydrogen Sensor

中野 貴之 中村 陽文 清水 孝晃 林 千歳 NAKANO Takayuki NAKAMURA Takafumi SHIMIZU Takaaki HAYASHI Chitoshi

Abstract

The thermal conductivity hydrogen sensor is one of the physical sensors which utilizes the difference in thermal conductivity between air and hydrogen. The cooling curve, which is a relationship of time and coil temperature, has shown that there is a cross point at every environmental temperature. Therefore, the sensor used in this study can detect the hydrogen concentration unaffected by the environmental temperature.

From a design perspective, it is important to predict an effect of the design parameters such as the coil material, the coil pitch, etc., on the cooling curve in a simulation model for a reduction of development time. So, the purpose of this study is to simulate the heating and cooling process of the thermal conductivity hydrogen sensor. First, we derived an analytical solution by employing a transient heat transfer equation on a simple 1D metal wire model, next we introduced finite element method in a thermal fluid analysis of the sensor. Then, we evaluated difference of the cooling times of the sensor between the simulation models and the experimental model.

Finally, for use of design and development, we built a custom simulation application of the sensor.

1. 緒言

近年、地球温暖化による大規模自然災害が顕在化しており、人 類存続に係わる危機的な状況となっている。地球温暖化は CO₂ 等 の温室効果ガスが要因であることは今や周知の事実であり、CO₂ 排出量の削減には石油・石炭をはじめとする化石燃料の使用量を 抑えることが最も効果的な手段である。2015 年に開催された COP21 ではパリ協定が採択され、CO₂削減目標が掲げられた。こ の COP21 を契機として脱炭素社会への取組みは全世界的な共通 課題となり、カーボンニュートラルを目指した技術開発はより一 層加速している。

化石燃料の代替エネルギーとして、水素の利用は以前から有力 視されており、燃料電池自動車、業務用・家庭用燃料電池コジェ ネレーションシステム(通称エネファーム)、各種インフラへの利 用も進んでいる。ただ、水素の安全利用の観点から、水素漏れが 発生した場合を想定する必要性があり、水素を瞬時に検出するこ とが可能な水素センサが必要不可欠となる。このため、これまで 高感度検出が可能で高信頼性を有する水素センサの技術開発は進 められてきたが⁽¹⁾、更なる性能向上が求められている。

水素センサには、熱線型半導体式、接触燃焼式および気体熱伝 導式の方式があるが⁽¹⁾、北陸電気工業株式会社では以前より気体 熱伝導方式に着目して研究開発を行ってきた。気体熱伝導式には、 ガス濃度の検知範囲が広い(0–100vol%)、動作温度が低く長寿命 およびメンテナンスフリーといった特長がある。また、同社の熱 伝導式水素センサは、発熱させた金属コイルにおいて、発熱前と の温度差がある特定の値まで冷却されるのに要する時間が、環境 温度に関わらず一定値となる現象を利用するために、環境温度の 影響を受けずに水素濃度を検知できるといった独自の特長を有す る(以下、この特定の温度差およびそのときの冷却時間で表され る座標点をクロス点とする)。しかしながら、用いる金属コイルの 材料、形状等によりこのクロス点の位置およびセンサ感度は変化 することが実験的には分かっているものの、その詳細な挙動に関 してはいまだ明らかになっていない。もし、シミュレーションを 用いることにより金属コイルの材料・形状、加熱冷却条件等がク ロス点の位置および感度に及ぼす影響を調査することができれば、 センサの設計・開発の効率化につながると考えられる。

そこで本研究では、熱伝導式水素センサの加熱冷却曲線をシミ ュレーションで再現することを目指し、熱伝導方程式による解析 解の導出および有限要素法による熱流体解析を行った。

2. 水素センサについて

<2.1> 気体熱伝導式水素センサ

図1(a) に気体熱伝導式水素センサのモジュール外観、図1(b) に検知素子の内部構造を示す。検知素子は、空気を取り込むため の開口部に金属メッシュを取り付けた金属缶で封止された構造と











	表 1 気体の熱伝導率				
	T	able 1 The	rmal cond	luctivity of gases	
		気体種類	TATA	熱伝導率(室温) [10 ⁻³ <u>W</u>]	
		空気		26.7	7
		水素		187	,
1,300)				- -
1,200				35°C_0%	
1 100				25°C_0%	
1,100				-·- 85°C_0%	
1,000		水素 2.0 vol.	.%	35°C_2%	
<u>و</u> و	Ē.	のクロス点 (tc1.Vc)	2		
田 800		. \		− · · 85°C_2%	
T 700				水素 0 vol.%の	
丑 700		and the second second		ノロス点 (tc0.Vc)	
600					
500			a sea	Magazinia.	
400		/=Vc 水素濃 関わらず一反	寝 官		
300					
	20	25	30	35 4	40
		経	過時間[n	nsec]	
	図3 冷却曲線のクロス点				
Fig. 3 Cross points of the cooling curves					

なっており、金属コイル(タングステンコイル)はプリント基板 に半田で実装されている。センサの検知濃度範囲は、水素の爆発 下限値である4.0 vol.%以下であり、センサの使用温度範囲は、-35-85℃である。

<2.2> 熱伝導式水素センサの動作原理とクロス点

熱伝導式水素センサの動作原理を図2に示す。金属コイルには 加熱および冷却過程でそれぞれ特定の一定電流を繰り返し印加さ せる(図2(a))。冷却曲線において水素濃度が高いほど冷却速度 は速くなる。これは、表1に示されるように空気と水素の熱伝導 率⁽²⁾に大きな差があることに起因しており、加熱した金属コイル の冷却速度は、水素濃度に依存するため、水素濃度の検知が可能 となる。実際の水素センサでは、図2(b)に示されるように冷却 領域の電圧は増幅して使用される。同社のセンサで実際に計測さ れた冷却曲線を図3に示す。冷却曲線において、図3に示される ようなクロス点に到達する時間を計測して水素濃度を検知する。 クロス点の座標を(*t*, *V*)とすると、*V*。は水素濃度に依らず一定値を 取り、*t*は水素濃度が高くなるに従って小さくなる。このため、*V*。 を基準にして環境温度の影響を受けずに水素濃度を求めることが 可能となる。



Fig. 5 Flow chart of the simulation

3.1次元モデル解析解による計算

<3.1>伝熱現象の基本形態

本研究では伝熱現象を取り扱う。伝熱現象の基本形態の模式図 を図4に示す。熱伝導は物体中に温度勾配が存在する場合に発生 する伝熱現象で、熱伝導率kは材料によって決まる物性値である。 対流熱伝達は固体壁から気体、又は液体への伝熱現象を示してお り、対流熱伝達率hは物性値ではなく、流速や物体の形状によっ て変化する工学的数値である。輻射伝熱は電磁波を介しての伝熱 現象で、ステファン-ボルツマンの法則によって表される。輻射に よる移動熱量は温度の4乗に比例し、温度が高くなるに従い輻射 の効果が無視出来なくなる。本研究で対象とするセンサの室温に おける金属コイルの発熱温度を測定したところ、最高でも約70°C であったことから、輻射の効果は十分無視出来ると考えられる。 そこで本研究では、熱伝導と対流熱伝達を考慮したシミュレーシ ョンによる解析を行うこととした。

図5にシミュレーションの概要をフローチャート形式で表した ものを示す。物理現象の数理モデルは一般的に偏微分方程式で記 述される。偏微分方程式が解析的に解ける場合には、解析解を求 めることができるが、解析解が得られるのは一般的に限られた場



図6 1 次元モデルの概要 Fig. 6 Schematic illustration of the 1D metal wire model

合である。解析解はパラメータの関係式として得られるため、様々 な物理パラメータ、初期条件、境界条件等の解に及ぼす影響を数 式で表すことができる。本研究では、まず解析解を導出し、解析 解によるシミュレーションを試みることとした。

<3. 2>1次元モデルの熱伝導方程式

ί

まず数理モデルである熱伝導方程式を考えて、導出される解析 解について考察することとした。実際の水素センサで用いられる コイルのような、複雑な形状に対して方程式を立てることは困難 であるため、ここでは図6に示されるような、コイルを1次元の 棒とみなすモデルで考察を進めることにした。長さLの1次元の コイルにおいて、位置x、時間tにおける温度をu(x,t)とする。棒の 両端は断熱境界条件とし、棒の側面から対流熱伝達に起因する熱 損失が発生する。この1次元モデルに対して非定常熱伝導方程式 を考えると、式(1)の偏微分方程式および式(2)の初期値・境界 値条件で表される数理モデルを得られる³⁰。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \beta (u - T_{\infty}) + \frac{\dot{q}}{\rho C}$$
(1)
$$\int u(x, 0) = T_0$$

$$\left. \left| \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right|_{x=0,L} = 0$$
⁽²⁾

ここで、 α は熱拡散率、Cはコイルの比熱、 ρ はコイルの密度、 T_{α} は環境温度である。 β は

$$\beta = \frac{lh}{C\rho A} \tag{3}$$

で表され、棒の側面からの温度に比例する熱損失を表す係数である。1は周長、hは熱伝達率、Aは棒の断面積を表す。また、式(1) においてġは単位体積当たりのジュール発熱であり

$$\dot{q} = \frac{l^2 r_1 \left(1 + a_1 (u - T_{r_1})\right)}{A^2} \tag{4}$$

で表される。ここで、Iは電流、aはコイルの抵抗温度係数、Trlは 基準温度、rlはコイルの抵抗率である。

式(1)-(4)を解くと解析解として次式を得られる。

γ

$$u(t) = \frac{\zeta}{\gamma} + (T_0 - \frac{\zeta}{\gamma})e^{-\gamma t}$$
(5)

ここで、

$$=\beta - \frac{l^2 r_1 a_1}{\rho C^{A^2}} \tag{6}$$

$$\zeta = \beta T_{\infty} + \frac{l^2 r_1 (1 - a_1 T_{r_1})}{\rho C A^2}$$
(7)







表2 解析解によるシミュレーションに使用した計算パラメータ Table 2 Parameters for simulation using analytical solution

パラメ・	ータ	値
大気温度	T_{∞} [K]	240, 300, 360
初期温度	T_0 [K]	240, 300, 360
コイルの比熱	C [J/(kgK)]	138
コイルの密度	ρ [kg/m ³]	19300
コイルの直径	<i>D</i> [m]	1E-5
コイルの断面積	$A [m^2]$	7.85E-11
コイルの長さ	<i>L</i> [m]	0.2
抵抗率	$r_l \ [\Omega m]$	5.0E-8 ⁽²⁾
抵抗温度係数	a [1/K]	4.0E-3 ⁽²⁾
基準温度	<i>Tr</i> ₁ [K]	293
冷却時電流	<i>I</i> m [A]	0.006
加熱時電流	<i>I</i> n [A]	0.003
コイル表面温度	<i>Ts</i> [K]	250, 310, 370

とおいた。

また、熱伝達率
$$h$$
は次式を用いて計算した。
 $h = \frac{Nuk}{D}$

$$\frac{d\kappa}{dt}$$
 (8)

ここで、Dはコイルの直径、kは気体の熱伝導率である。ヌセル ト数 Nu は水平円柱モデルの自然対流における相関式(4)

$$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387 R_a^{1/6}}{[1 + (0.559/P_r)^{9/16}]^{8/27}}\right]^2$$
(9)

を利用して求めた。ここで Ra はレイリー数、Pr はプラントル数 である。









<3.3> 混合気体の物性値

任意の水素濃度および環境温度におけるシミュレーションを行 うためには、任意の水素濃度および温度における混合気体の物性 値が必要である。混合気体の物性値の推定のために、数種類の混 合則 5 が知られており、大きく分けて、線形変化を仮定した単純 混合則と、混合気体の相互作用を考慮した相互作用係数を含む混 合則の2つがある。図7に、窒素・水素混合気体の各水素濃度に おける熱伝導率および粘度の、単純混合則、相互作用係数を含む 混合則、および文献より参照した実験値(5)を比較したものを示す。

図7に示されるように、どちらの混合則も実験値と一致しない傾向が認められる。そのため、シミュレーションで用いる濃度範囲である0-4 vol.%に着目すると物性値はほぼ線形に変化するとみなせるものとして、本研究では混合気体の熱伝導率および粘度は、0 vol.%および10 vol.%における文献の実験値を水素濃度および温度に関して線形補間して解析に使用することとした。比熱および密度については、水素および窒素の物性値²⁰から単純混合則で推定することとした。解析解のシミュレーションにおいては、コイルの温度上昇に伴う混合気体の物性値変化は考慮しないこととし、環境温度での物性値を代表値として使用した。

<3. 4>計算結果と実験との比較

式(5)-(9)および表2の数値パラメータを用いて、異なる環 境温度での空気中における冷却曲線を求めた。センサ仕様の下限 温度・常温・上限温度にほぼ相当する、240 K、300 K および 360 K での冷却曲線を求めた結果を図8に示す。図8に示されるよう に、各々の冷却曲線は、ほぼ環境温度に収束している。実際の水 素センサでは、コイル温度と冷却過程終了時のコイル温度との差 (以下、コイル温度差とする)を計算し、冷却時間との関係から クロス点を求めており、解析解についても同様の処理を行った。 縦軸をコイル温度差とした冷却曲線を図9に示す。異なる環境温 度において冷却曲線が交わることが確認された。解析解の結果か らクロス点の冷却時間を求めたところ、水素濃度0 vol.%および4 vol.%において、それぞれ 6.61 msec および 4.41 msec であり、水素 濃度が高くなるに伴い、交点の冷却時間が短くなることが確認さ れた。さらに、水素濃度と得られたクロス点時間の関係から感度 (傾き)を計算したところ、0.55 msec/vol.%であり、実験で得られ ているクロス点時間(0 vol.%時: 29.36 msec)および感度(0.92 msec/vol.%)と比較すると、解析解の方がそれぞれ約77%および約 40%小さい値となることがわかった。このように、解析解の方が実 験値よりも速く冷却される結果となったのは、実際のコイルの場 合、コイル内側の気体と接している箇所は冷却されにくいことに 起因するものと考えられる。

式(5) – (8)の解析解の数式からは、環境温度の上昇に伴い、 式(5)の右辺第2項係数 T_0 - $\zeta\gamma$ (T_0 は加熱終了温度とする)が増 大するため冷却開始時のコイル温度差は高くなること、および熱 伝達率の計算式(8)において、混合気体の熱伝導率kが増加し、 式(6)の γ は増大し冷却速度は速くなること、ならびに環境温度 が同じ場合、水素濃度の増加に伴い混合気体の熱伝導率は増加す るため、 γ は増大し冷却速度は速くなるといった傾向があることを 確認することができる。

4. 有限要素法による3次元モデル解析

<4.1> 有限要素法を用いた解析について

コイルを1次元の棒とみなして、解析解を導出し、加熱冷却曲線を計算した結果、冷却曲線の形は実験と近いものとなったが、



図10 熱流体解析の概要





感度およびクロス点の冷却時間には実験との差異があった。加え て、本研究で対象としている水素センサは、コイルのピッチや巻 径も設計パラメータとなっており、それらが冷却曲線へ及ぼす影 響をシミュレーションで調査可能である方が活用の幅が広がる。 しかしながら、熱伝達係数を求めるための経験式は、円柱や板の ような単純形状の場合は広く知られているが、コイル形状のよう な複雑な形状の場合は経験式で熱伝達係数を予測することは難し く、コイルのピッチや巻径が変化した際の対流熱伝達の変化を予 測することは困難である。そのため、空気の対流を含めてシミュ レーションを行う必要があるが、流体現象は非線形の偏微分方程 式で表されるため、解析的に解くことはできないとされている。

一方、数値解析手法として広く知られている有限要素法は、偏
微分方程式で表される支配方程式を直接解析的に解くのではなく、 物体を小さな要素に分割し各要素内で支配方程式を平均的に満足 するような解を求める手法であり、複雑な形状かつ非線形の方程 式で表される物理現象であっても数値的に計算することが可能と いう特徴を有する。一般的な有限要素法の簡単な流れは、①支配 方程式を重み付き残差法で弱形式化し、②形状関数を基底関数と して要素内で代数方程式を組み立て、③解析対象全体で代数方程 式を重ね合わせて数値計算する、となる。また、汎用 CAE ソフト では、3D-CAD モデル、物性値および境界条件といった CAE 解析 条件を入力すれば上記の計算を内部で順次実行する。

以上の背景から、コイルの形状を考慮したセンサのシミュレー ションのために、有限要素法を用いた流体解析と伝熱解析の連成 解析を実施した。自然対流熱伝達における、伝熱解析と流体解析 の情報のやり取りを模式的に表したものを図 10 に示す。伝熱解析 で温度を求め、流体解析では、伝熱解析で求めた温度差に起因し た浮力を含めて流速の計算を行い、対流を考慮した伝熱解析が行 われる。流体解析は、連続の式および運動方程式が支配方程式と なり、流速が計算される。

<4. 2> シミュレーションモデル

図 11 (a) で示されるようなコイルが半田で基板に実装されてい る 3D-CAD モデルを作成した。コイルは、センサに使用されてい るものに合わせて、線径10 µm、巻径90 µm、コイルピッチ19 µm、 巻数 29 回とした。モデル周囲に空気領域を設定し(図 11 (b))、 流体境界条件は開放境界とし、伝熱境界条件は環境温度指定とし た。基板および半田の境界は、壁面で環境温度指定とした。空気 領域の周囲を環境温度指定としているため、空気領域の大きさを できるだけ大きくする方が実際の状況を模擬できるが、計算コス トとの兼ね合いから適切な空気領域の大きさを決定した。時間依 存の解析は陰解法で行い、解析時間刻み幅は2msecとし、コイル に流される電流が加熱から冷却に切り替わる時点周辺は半分の時 間刻みにする可変時間刻みとした。流体現象と伝熱現象の間の連 成解析の方法は強連成とし、空気に発生する浮力は、温度依存性 密度を用いて計算されるものとした。有限要素法のシミュレーシ ョンは、COMSOL Multiphysics (COMSOL 社)を使用した。コイ ルの物性値および加熱冷却条件は表2に示される値を使用した。 混合気体の物性値は温度依存性を考慮して計算に用いられるよう にした。環境温度は、センサ仕様の下限温度・常温・上限温度にほ ぼ相当する、240K、300Kおよび360Kとして冷却曲線を求めた。 有限要素モデルは約122万個の10節点4面体要素とした。

<4.3> 計算結果と実験との比較

図12に、冷却開始時(0 msec)における環境温度300K時のコイルYZ断面の温度分布を示す。図12に示されるように、コイル内部は周囲の空気に比べて約70K高い温度となっていることがわかる。自然対流の場合、空気中に置かれた熱源からは上昇気流







Fig. 13 Cooling curves obtained by the thermal fluid analysis

に伴う温度分布が認められることが多いが、計算結果からはそれ は確認できなかった。これは、コイルの寸法が小さいために空気 の粘度に比べて浮力が相対的に小さいことに起因するものと考え られる。図13に有限要素法により計算した異なる環境温度および 水素濃度における冷却曲線を示す。なお、第3章と同様に、コイ ル平均温度と冷却過程終了時のコイル平均温度との差(コイル温 度差)を縦軸にしている。環境温度300K、水素濃度0vol.%の場 合、コイル温度差が初期値(0msec時)の37%に達するまでに要 する時間は約20msecであり、同条件の解析解(約6msec)に比 べて、冷却速度は遅いことが認められた。数値計算ソフトを用い て各冷却曲線の最小2乗法による近似曲線を求め、近似曲線から クロス点座標を計算した。計算されたクロス点の冷却時間は0 vol.%で35.11msec、4vol.%で27.62msecであった。さらに、水素 濃度とクロス点時間の関係から感度を計算したところ、1.87 msec/vol.%であった。実験で得られているクロス点の冷却時間(0



Fig. 14 Cooling curves obtained by the thermal fluid analysis after material properties correction

vol.%時:29.36 msec) および感度(0.92 msec/vol.%) と比較すると、 有限要素法によるシミュレーションはそれぞれ約 20%および約 103%大きい値となった。加えて、解析解のクロス点の冷却時間お よび感度の実験値との差異(水素濃度 0 vol.%時クロス点の冷却時 間:約77%小、感度:約40%小)と比較すると、有限要素法によ るシミュレーションはクロス点の冷却時間は実験との差異は減少 したものの、感度は実験との差異が増大した。このように実験値 との差が認められる要因として、混合気体およびコイルの物性値 には文献値を用いていることから、それらの物性値は実際とは異 なる可能性があること、ならびに基板および半田の詳細な形状を 3D-CAD モデルでは完全には再現できない、といったことが考え られる。

<4. 4> 物性値の補正

感度およびクロス点の冷却時間を実験値とシミュレーションで 合わせるために、混合気体の熱伝導率およびコイルの抵抗値に関 して補正を行った。なお、混合気体の熱伝導率およびコイルの抵 抗値を補正対象としたのは、経験的にこれらの物性値が感度およ びクロス点の冷却時間に影響を及ぼすことがわかっていたことに 加えて、次の2点が理由として挙げられる。まず、混合気体の熱 伝導率は0vol.%および10vol.%における文献値(実験値)を水素 濃度および温度に関して線形補間して解析に使用しているが、全 体の濃度範囲をみると下に凸の形で変化しているため、線形補間 の場合は実際より大きく見積もっている可能性がある。次に、コ イルの抵抗値は、実験により得られている値とシミュレーション で使用した文献値とで抵抗値の温度変化率に差異があることを確 認している。以上の点および感度およびクロス点の冷却時間への



Fig. 15 Relationships between the hydrogen concentration and the cooling time at the cross points

経験的にわかっていた影響度合を踏まえて、混合気体の熱伝導率 は、0-10 vol.%の線形補間において傾きを元の55%になるよう補正 し、コイルの抵抗値は、基準温度300K、基準温度における抵抗率 を4.7E-8 Ωm、抵抗温度係数を3.5E-3 K⁻¹に補正した。

物性値補正後のシミュレーションから得られた冷却曲線を図14 に示す。図14に示されるように、物性値補正前に比べて冷却開始 時(0msec)のコイル温度差は約5K低下していることがわかる。 物性値補正後のシミュレーションおよびこれまでの各シミュレー ション結果から、クロス点の冷却時間と水素濃度との関係を表し たものを図15に示す。なお同図には各シミュレーション結果の1 次近似式プロットおよびその近似式を示してある。物性値補正後 のシミュレーションでは、水素濃度0vol.%のクロス点の冷却時間 および感度は実験値に比べてそれぞれ約1%および約3%大きい値 となった。物性値補正前のシミュレーションによるクロス点の冷 却時間および感度の実験値との差異(水素濃度0vol.%時クロス点 の冷却時間:約20%大、感度:約103%大)と比較すると、有限要 素法によるシミュレーションは実験との差異が小さくなった。た だし、補正後の物性値は実際の値と整合が取れているという根拠 は得られていないことに留意してシミュレーション結果を用いる 必要がある。

<4. 5> CAE 解析アプリ作成

COMSOL Multiphysics は、シミュレーションモデルをアプリケ ーション化し、実行形式ファイルとして生成する機能がある。解 析モデルをアプリケーション化することで、解析が専門の者でな くても、変更したいパラメータを入力してアプリ上でシミュレー ションを実行することができる。加えて、作成したアプリケーシ



図 16 シミュレーションアプリ実行時に表示される画面 Fig. 16 GUI of the custom simulation application of the sensor

ョンは COMSOL のライセンスを持たない PC でも、実行すること が可能である。図 16 に、作成したアプリケーションを実行した際 に表示される画面を示す。設計パラメータ、メッシュサイズおよ び計算条件ならびに結果表示を設定する作業を、それぞれタブで 切り替えて行える形式とした。設計パラメータとして、コイル形 状、コイル材質および加熱冷却条件を変更できるようにした。解 析条件は、任意の温度および水素濃度の複数パターンでの解析を 連続で実行できるようにした。結果表示は、温度および加熱冷却 曲線を表示できるようにし、加熱冷却曲線のデータを出力できる ようにした。作成したアプリを使用することで、解析が専門の者 に依頼することなく設計者が任意の設計パラメータで解析を実行 し、結果を基にして設計を改善することが可能となった。

設計パラメータを変化させた場合のシミュレーションとして、 コイルの巻径が 90 µm および 135 µm の場合のシミュレーション を行い、感度の計算を行った。その結果、感度は巻径の増大に伴 って増加し、135 µm の場合は 90 µm の場合に比べて 1.35 倍高い 感度となった。実際のセンサを用いて、コイルの巻径が 90 µm お よび 135 µm の場合で感度の計測を行ったところ、感度の増加率は 1.31 倍となり、シミュレーション結果と同様の変化傾向を示した。 以上の結果より、コイルの巻径に関しては有限要素法によるシミ ュレーションは、設計パラメータの変更に伴う冷却カーブの挙動 変化の傾向をとらえることができていると考えられる。その他の 設計パラメータ(コイルのピッチ、巻数、電流値等)を変化させた 場合においても、実験と同様の傾向をシミュレーションで得られ ることを確認している。

5. 結言

本研究では、熱伝導式水素センサの冷却曲線をシミュレーショ ンで再現することを目指し、熱伝導方程式からの解析解の導出お よび有限要素法による熱流体解析を行った。また、コイルを1次 元の棒とみなして定式化した熱伝導方程式の解析解によるシミュ レーションを行った。その結果、冷却曲線は得られたものの、ク ロス点における冷却時間および感度は実験値よりも小さい値を示 した。

さらに、コイルの形状を考慮したシミュレーションのために、 有限要素法による熱流体解析を行った。その結果、解析解と比較 してクロス点における冷却時間および感度は実験値と近づいた。 また、コイルの抵抗および混合気体の物性値に関する補正をおこ ない、シミュレーションと実験の整合を行った。

これらの知見を基に、有限要素法によるシミュレーションモデ ルをアプリケーション化することで、設計者が自分の PC で任意 の設計パラメータを設定した解析を実行することが可能となった。

文 献

(1) 小島由継 監修, 水素エネルギー利用拡大に向けた最新技術動 向, シーエムシー出版(2021).

(2) 日本機械学会編, 伝熱工学資料 改訂第 5 版, 日本機械学会 (2009).

(3) S.ファーロウ, 偏微分方程式, 朝倉書店(1996).

(4) 小山敏行, 例題で学ぶ伝熱工学, 森北出版(2012).

(5) 化学工学協会編, 化学工学物性定数 第 9 巻, 科学工業社 (1987).

V. 製品のヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究

Research on Appling IoT to Health Monitoring for Electronic Device

西井	涉太	釣谷	浩之	金森	直希	中村	陽文
NISHII S	Shouta	TSURITAN	I Hiroyuki	KANAMO	ORI Naoki	NAKAMUI	RA Takafumi
	佐々木	克浩	升方	康智	関ロ	コ 徳朗	
	SASAKI Ka	tsuhiro	MASUKATA	Yasutomo	SEKIGU	UCHI Norial	ki

Abstract

Quality control is widely practiced to ensure product reliability. Quality control has elements such as performance and appearance inspection and process control. As an example, Cosel Co., Ltd. manages the temperature and humidity during storage of parts in order to ensure the reliability of the parts. However, at present, the procedure is to manually check the temperature and humidity once a day, which requires manpower and has problems such as the change in temperature and humidity being known only on a daily basis. In this research, the temperature and humidity management performed by Cosel Co., Ltd. is converted to digital data using a temperature and humidity sensor and a single board computer, and temperature and humidity data are constantly collected remotely to improve the efficiency of quality control. In addition, we attempted to remotely detect the deterioration of the quality of the stored parts. As a result, it became possible to automatically collect the temperature and humidity in each storage, and it was confirmed that the humidity of each storage was always kept low. In addition, when the deformation of the specimen was measured using a strain gauge, it was possible to capture the gradual deformation of the object in a high temperature and high humidity environment. As a result, it may be possible to detect the occurrence of a target defect during storage.

1. 緒言

製造現場では、製品の信頼性を確保するために、品質管理が広 く行われている。品質管理には、製品の性能や外観の検査を実施 することによる製品そのものの品質管理や、製品を加工する設備 などを点検することによる製造工程の管理などの要素がある。一 例として、コーセル株式会社では、部品の信頼性を確保するため に、部品保管時の温湿度の管理を行っている。しかし、現状は、 人の手によって1日1回温湿度を確認するという手順となってお り、データの収集効率が悪いうえ、データに偏りがある。一方で、 品質管理に IoT 技術を活用することで、効率化を図る動きが広が りつつある。例えば、エアコンの汚れを遠隔で常時モニタリング し、清掃タイミングを最適化した事例⁽¹⁾や、生コンクリートの性 状変化をリアルタイムで確認しコンクリートの品質を保つ⁽²⁾など、 様々な試みが行われている。本研究では、コーセル株式会社で行 っている温湿度の管理に IoT 技術を活用することで、温湿度デー タを常時収集し品質管理の効率化を図る。これにより、保存庫内 の温湿度分布の変化についても詳細な検証が可能となることが期 待できる。加えて、保存している部品の品質の劣化についても IoT 技術を活用することで遠隔で検出するヘルスモニタリングを試み る。これにより、保管中の不具合発生の検出を実現しようとする ものである。

2. 品質管理と IoT 技術の活用について

<2.1> 品質管理

品質管理は、広義には品質マネジメントのことを指し、幅広い 要素を含むものである。外観や性能を検査する品質検証や、作業 手順や製造方法、材料の保管方法を一定の基準に保つ工程管理な どもこれに含まれる。今回、IoT 化の対象とするコーセル株式会 社における品質管理の例では、電子部品保管中の湿度を低湿に保 つという管理が行われている。これは、電子部品の構成要素のう ち、樹脂部が吸湿することでリフロー時に体積膨張を起こし、部 品を破損させてしまう恐れがあるためである。図1は、低湿庫で の管理の概要を示す。図1に示すように、電子部品は、低湿庫に 保管されている。低湿庫内には、温度計と湿度計が設置されてお



図1 電子部品の温湿度管理 Fig.1 Overview of the temperature and the humidity control of electric components.

り、1日1回作業者が温湿度計の値を記録し、基準内であるかを 確認することとなっている。しかし、この方法では人が毎回保管 場所に確認しに行かなければならず、データの収集効率が悪い上、 確認した時点の値しかわからず、他の時間は、実際にどのような 温度、湿度となっているかは不明である。また温湿度計は保管庫 内の最上段にのみ設置されており、他の段の温度湿度とどの程度 の乖離があるかは、不明である。このため、もし保管状態に起因 する不具合が発生しても、現状では、充分な原因究明ができない 可能性がある。

<2. 2> IoT 技術の活用

近年品質管理への IoT (Internet of Things) 技術の活用が増えて いる。IoT とは、あらゆるモノがインターネットでつながり、情 報交換や相互に制御できる仕組みであり、これにより、今までに ない価値やサービスが生み出されることや、生産性が向上するこ とが期待されている。コーセル株式会社における温湿度管理につ いても IoT 技術を活用することで、人の手を介さずに常時無人で 監視することが可能であると考えられる。常時自動監視すること により、温湿度管理の省力化が図られるとともに、温湿度の時間 変化を人手による計測と比較して非常に短い間隔で知ることが できることから、不具合発生時に、より原因究明に役立つデータ を得ることが期待できる。さらに、何等かの手段で、部品の不具 合を直接検出することができれば、保管中の部品の状態を監視す るヘルスモニタリングを行うことが可能と考えられる。



Fig.2 Schematic view of manufacturing process of the product including the specimen.

3. 試験体と問題点

今回実験で使用する試験体はコーセル株式会社で製造してい る直流安定化電源である。図2は、試験体の組立工程を示す。試 験体は、幅約9.1mm × 長さ約15.5mm×厚さ約1.8mmの多層基 板を断面がE字型のフェライトコア2つで挟み込んだものを、幅 約9.6mm×長さ約15.7mm×厚さ約0.6mmの別の基板に実装した ものである。2つのフェライトコアは、中央部でエポキシ接着剤 により接着されており、一方のコアは、挟み込んだ積層基板と2 箇所でエポキシ接着剤により固定されている。接合状態でのフェ ライトコアの寸法は、縦約4.5mm×横約9.2mm×高さ約4mmで ある。

この試験体を用いた製品の製造工程について説明する。製造工 程では、縦17mm×横8.5mm×高さ12mmの樹脂製のケースにシ リコーンゴムを充填する。シリコーンゴムが充填されたケースに 試験体を挿入する。その後、試験体が挿入されたケースに蓋をす るようにシリコーンゴムをさらに充填する。これをリフロー工程 で熱硬化させることで、製品の組立てが完了する。

しかし、組立て完了後の検査で、試験体の多層基板を挟み込ん で接合されている2つのフェライトコアの接着が、はずれている 場合があることが確認された。本不具合は、発生が梅雨時であっ たことなどから、吸湿による接着剤の劣化と推定された。そこで、 確認のための実験を行った。実験では、試験体を温度・湿度が、 25℃,0%、25℃,38%、28℃,80%、85℃,80% となる4条件で保管 し、一定期間保管後に組立工程を実施し、どの程度コアはずれが 発生するか確認した。図3は、各温湿度条件での保存期間とコア



Fig.3 The relation between storage environment of specimen and number of fail products.

はずれの状況を示す。横軸が、保管週数、縦軸が良品となった数 である。図から25℃,0%、25℃,38%の2条件では、20週目までコ アはずれが発生しなかったのに対して、28℃,80%では、1週間で 120個中40個、85℃,80%では、1週間で 60個の全量でコアはず れが発生している。この結果から、保管中の湿度がコアはずれに 大きく影響していると推定されている。

4. 庫内温湿度データの確度・収集効率向上に関する実験

まず、現状の1日1回の人の手での温湿度確認による管理をIoT 化することで、品質管理の効率化を図る。加えて常時計測による 温湿度データの確度の向上および複数のセンサの配置による庫 内の温湿度分布の可視化を試みた。

<4.1> 保管庫と計測エリア

図4は、本研究の試験体を保管する保管庫と温湿度の計測エリ アを示す。図4(a)は、保管庫の外観を示す。保管庫は、東洋リビ ング社製のED-1206-10で、外寸は、幅1200mm×高さ1846mm× 奥行687mmのスチール製で、10% ~ 50%の範囲で湿度設定が可 能である。図4(b)は、保管庫内の計測エリアの区分を示す。今回 は、5個の温湿度センサを用いて図4(b)に示すArea1 ~ Area5の 5 か所で温湿度の計測を行い、庫内の温湿度分布の可視化を試み た。

<4. 2> シングルボードコンピュータを用いた loT 化

本実験では、シングルボードコンピュータと、温湿度センサを 用いて温湿度管理の IoT 化を図った。図5は、本実験で用いたシ ングルボードコンピュータの外観を示す。シングルボードコンピ ュータは、Raspberry Pi Zero W (以下 Raspberry Pi) を用いた。表1 は、Raspberry Pi の主な仕様を示す。外径寸法は、幅 65mm×奥







図5 シングルボードコンピュータ(Raspberry Pi Zero W)⁽³⁾ Fig.5 Overview of sigle board computer.

表1 Raspberry Pi Zero W の仕様

Table 1 Specification of Raspberry PI Zero	Table 1	Specification	of Raspberry	/ Pi Zero '	M
--	---------	---------------	--------------	-------------	---

項目	仕様			
外形寸法	65 (W) × 30 (D) × 9 (H)			
CPU	ARM1176JZF-S 1GHz			
CPU クロック				
メモリ	512MB			



図6 温湿度センサ(BME280)⁽⁴⁾ Fig.6 Overview of temperature and humidity sensor.

表2 温湿度センサの仕様

Table 2 Specification of temperature and humidity sensor.

項目	仕様			
外形寸法	11.43 (W) × 20.32 (D) × 9 (H)			
通信方式	I2C (最大 3.4MHz) / SPI (最大 10MHz)			
温度計測範囲	-40 ~ +85 °C			
湿度計測範囲	0~100%			
気圧計測範囲	300 ~ 1100hPa			





行 30mm×高さ 9mm、CPU は ARM 社設計の ARM1176JZF-S で 動作クロックは1GHz、メモリは、512MB で、IEEE 802.11 b/g/n 規 格の無線 LAN によりネットワーク接続することが可能である。 図6は、温湿度センサの外観を示す。温湿度センサには、ボッシ ュ社製 BME280 が実装された基板を用いた。表2は、この基板と 温湿度センサの主な仕様を示す。基板の寸法は、幅11.43mm×奥 行 20.32mm×高さ 9mm で、I2C 規格による接続でセンサの値を 取得することができる。センサの計測可能範囲は、温度が、-40℃ ~85℃、湿度が、0%~100%、加えて 300~1100hPa の範囲で気圧 を計測することが可能である。このセンサと前述の Raspberry Pi を接続し、Raspberry Pi 上のプログラムにより自動的に温湿度を 計測するものとした。図7は、センサと Raspberry Pi の配線状況 と取得した温湿度データの流れを示す。Raspberry Pi 1 台につき BME280 を2 個接続可能なので、Raspberry Pi3台、センサ5 個を 用いて、図4(b)で示した保管庫の5つのエリアの計測を行うこと とした。温湿度は、10 sec 毎に計測し、計測した温湿度データは、 Raspberry Pi のストレージ(SD メモリカード)に保存することとし た。Raspberry Pi は、無線 LAN 接続でネットワークに接続されて おり、ネットワーク上のコンピュータから計測データを取得する ことができる。

<4.3> 温湿度管理の効率化

シングルボードコンピュータと温湿度センサを用いることで、 電子部品の保管庫内の温度を10 sec 間隔で常時監視することが 可能となった。これにより、任意の時点の温湿度を過去に遡って いつでも確認できるため、1日1回の人手による温湿度確認が必 要なくなり、温湿度管理業務を大幅に効率化することができた。



図8 温度計測結果

Fig.8 Temperature distribution measured by Raspberry Pi Zero W and BME280.



Fig.9 Humidity distribution measured by Raspberry Pi Zero W and BME280.

また 10 sec 間隔で計測することができることから、計測データの確度が向上した。

<4.4> 低湿庫の温湿度分布について

図8および、図9は、実際に低湿庫内の温湿度をおよそ5日間 計測した結果を示す。図8は、温度の計測結果を示す。横軸は時 間、縦軸は温度である。Area1 ~ Area5 は、図4(b)で示した計測 エリアと対応する。低湿庫内は、温度制御がされていないので、 外部環境の温度変化の影響を受けて、時間経過に従って低湿庫内 の温度が変化しているのが確認できる。計測エリアごとのバラつ きについては、概ね2℃以内に収まっており。極端なバラつきは ないと言える。図9は、湿度の計測結果を示す。横軸は時間、縦 軸は、湿度を示す。図8と同様に Area1 ~ Area5 は、図4(b)で



Fig.10 Schematic view of assembling specimen, jig and neodymium magnet.

示した計測エリアに対応する。湿度については、周期的な変動が 見られるものの、低湿庫の扉を閉めた直後の0時間付近以外は、 16%以下の低湿度に保たれていることがわかる。計測エリアごと のバラつきについては、最大でも5%以内に収まっており、計測 エリアの違いによる極端なバラつきは見られない。今回は、温度、 湿度ともに低湿庫内のどの場所でも大きな差異は見られなかっ たが、低湿庫内の複数の箇所の温湿度を計測できるようになった ことから、きめ細かな管理が可能となるものと考えられる。

5. コア接着状態のヘルスモニタリング

<5.1> ひずみゲージによる変形の計測

次に、保管中の試験体の不具合発生を直接監視するヘルスモニ タリングの可能性について検証した。製品組み立て時のコアはず れについては、第3章で述べたとおり、保管中の湿度の影響によ り、接着力の低下が起こったためと推定されている。仮に接着力 の低下にともない接合部分に変形が生じるようであれば、接合部 を跨ぐようにひずみゲージを貼り付けて計測を行うことで、この 変形を計測できる可能性がある。そこでひずみゲージによる計測 から試験体のヘルスモニタリングが行えるか検証を行った。

<5. 2> 実験方法

試験体は、第3章で説明した直流安定化電源を用いる。図10 は、ひずみゲージによる計測状況を模式的に示す。図は試験体を 側面から見た状態であり、試験体と試験体を支える治具、片方の コアを引っ張り常に一定の応力が加わるようにするためのネオ ジム磁石などが描かれている。コアはずれの問題が生じるフェラ イトコアは、多層基板の中央付近を上下から挟み込む形で接合さ れている。上のコアと下のコアの境目を跨ぐようにひずみゲージ を貼り付ける。下のコアが自由に動ける形で多層基板を支える治 具を設置する。この治具は、アルミ製のプレート2枚で構成され、 治具に近い上側のプレートは、縦20mm×横20mm×厚さ1.5mm



図11 ロードセルアンプモジュール(HX711)⁽⁵⁾ Fig.11 Overview of load cell amplifier module.





でフェライトコアが当たらないように中央部に、6mm×10mmの 長方形の穴が開けられている。下側のもう一方のプレートは、ネ オジム磁石の位置決め用で縦20mm×横20mm×厚さ2mmで中央 部にネオジム磁石を配置するために 8mm×8mm の正方形の穴が 開いている。この治具を介して、ネオジム磁石を配置する。ネオ ジム磁石で下側のコアを引っ張ることで、接着力が低下した際に 接合部の変形を確実なものにしようとするものである。ネオジム 磁石は、直径約8mm×高さ約5mmの円筒形で、表面磁束密度は、 4200~4400G である。ひずみゲージの電圧変化は非常に小さいこ とからロードセルアンプにより増幅する必要がある。今回は、ひ ずみゲージの値を Raspberry Pi により計測するために、ロードセ ルアンプとしてHX711を搭載したロードセルアンプモジュール を使用した。図11は、ロードセルアンプモジュールの外観を示 す。このロードセルアンプは、±20mV もしくは、±40mV を 24bit で計測することができる。今回は、±40mV のレンジで計 測を実施した。ひずみゲージは、共和電業製の KFGS-02-120-C1-11 N1M3 を用いた。このひずみゲージは、長さ3.3mm × 幅2.4mm で標準抵抗は、120Ω リード長さ1m の3線式のひずみゲージで ある。図12は、ひずみゲージとロードセルアンプ、Raspberry Piの 配線を示す。ひずみゲージは、上下のコアの境界を跨ぐ形で貼り

付けられる。120Ωの抵抗を用いてブリッジ回路を組みこのブリ ッジ回路を介してロードセルアンプに接続される。ロードセルア ンプは、Raspberry Pi と接続され GPIO 規格による通信で計測値 が取得される。

Raspberry Pi 上のプログラムにより、一定間隔でひずみゲージ の値を計測するものとした。図13は、計測の流れを示す。計測 は、1時間ごとに行うものとし、1回で1sec 毎に5分間分の計測 を行うものとする。計測時の通電によりひずみゲージが発熱する ため、発熱による試験体への影響を抑制するため、ひずみゲージ には、計測時のみ通電するものとする。また通電による発熱の影 響で、通電開始直後は計測値の変動が大きいため、5分間の計測 データのうち最後30秒の計測値の平均をひずみゲージの値とし て用いることとした。

このシステムを用いて、フェライトコアの接着力の低下を検出 可能か検証するために、恒温恒湿槽を用いていくつかの温度湿度 条件下で計測を行った。恒温恒湿槽は、エスペック社製のPL-2J を用いた。図14は、恒温恒湿槽の外観を示す。試験体を恒温槽 内にいれ、恒温恒湿槽側面の貫通孔からひずみゲージのリードを 引出し、ロードセルアンプに接続した。温度条件は、常温低湿の 25℃, 35%、高温高湿の 80℃,80%、常温高湿の 25℃, 80%、高温低 湿の80℃,20%の4条件とした。第3章の確認実験の結果から、 コアはずれが発生する条件の場合は、最初の1週間で多くの試験 体がコアはずれを起こしていることから、前述の4条件で約1週 間の計測を行った。

<5.3> 実験結果

2.5

2

1.5

1

0.5

0

-0.5

-1

0

20

40

電圧変化[mV]

図 15 は、ひずみゲージによる計測結果を示す。図 15(a)は、高

温高湿の80℃,80%、図15(b)は、常温低湿の25℃,35%、図15(c) は、高温低湿の80℃,20%、図15(d)は、常温高湿の25℃,80%、 の計測結果を示す。図は、それぞれ5個の試験体の計測結果を示 しており、いずれも横軸が時間、縦軸がロードセルアンプによる



図13 計測の流れ Fig.13 Flow chart of measurement program.



図14 恒温恒湿槽(PL-2J) Fig.14 Overview of Temperature and humidity chamber.



(a) 高温高湿 80°C85%

80

経過時間[h]

100

120

140

60

(b) 常温低湿 25℃35%

図15 ひずみゲージの計測値の変化 Fig.15 Transition of voltage measured by strain gauge.



図15 ひずみゲージの計測値の変化 Fig.15 Transition of voltage measured by strain gauge.

ひずみの計測電圧である。電圧は、恒温恒湿槽に試験体を投入し てから 30 分以上経過した 1 回目の計測値からの差分で示してあ る。最初の状態から接合部が引きはがされる方向に変形した場合 は、電圧が上昇し、逆に縮んだ場合は電圧が低下するようになっ ている。図15(a)の高温高湿の条件では、試験体1、試験体2につ いては、初期にやや電圧が低下した後少しずつ上昇しているのに 対して、試験体3~試験体4については、早期に電圧が上昇して おり特に試験体5については、グラフ外の最大8mV以上上昇し ている。これは、コアの接合部が引きはがされる方向に変形して いることを示しているものと考えられる。湿度の低い、常温低湿 の図 15(b) 高温低湿の図 15(c) については、いずれの試験体も大 きな電圧の変化は見られない。常温高湿の図 15(d) については、 試験体17を除く4つの試験体で初期に若干電圧が低下している。 これは、断定はできないが、ひずみゲージの貼り付けにシアノア クリレート系の瞬間接着剤を使用していることから、接着剤の硬 化が進行した可能性が考えられる。この結果から、ひずみゲージ により接合部の変形を計測することで、不具合を保管中に検出で きる可能性があることがわかった。また、変形は、高温高湿の条 件の場合でのみ発生しており、不具合の発生には湿度だけでなく 温度の条件も影響しているものと考えられる。第3章の確認実験 では、常温高湿の条件でも、コアはずれが検出されており、この 結果と一見整合していないようにも見える。しかし、第3章の実 験では、シリコーンゴムの硬化のために高温に加熱しており、こ の加熱がコアはずれに影響している可能性がある。

6. 結言

本研究では、コーセル株式会社で行っている温湿度の管理に IoT 技術を活用することで、温湿度データを常時収集し品質管理 の効率化を図った。加えて、保存している部品の品質の劣化につ いても IoT 技術を活用することで遠隔で検出するヘルスモニタリ ングを試みた。この結果、従来1日1回の人手による温湿度の収 集を、自動的に 10sec 間隔で取集することが可能となり、温湿度 の収集管理を大幅に効率化できた。また、複数のセンサを設置し 保存庫内の温度分布の計測も可能となり、計測した範囲では、保 存庫内で大きな温湿度の偏りが生じていないことが確認できた。 複数のセンサの設置と 10sec 間隔のデータ収集により、不具合発 生時には、より詳細な検証が可能となる。また、保管中のコア接 合部の変形をひずみゲージにより、検出することが可能であるこ とが明らかとなった。これにより、保管中に部品の不具合発生を モニタリングできる可能性がある。ただし、これについては、変 形とコアはずれの関係を今後、確認する必要がある。また、保管 中の温湿度とコア接合部の変形の関係から、変形は、高温高湿環 境でのみ発生しており、第3章の確認実験の結果も踏まえて考え ると、保管中の湿度だけでなくシリコーンゴム硬化時の湿度管理 についても検討する必要がある。将来的には、今回開発したシス テムを用いて、保管中の温湿度と接合部の変形データ、コアはず れの関係を明らかにすることで、保管中の温湿度履歴から、電子 部品のヘルスモニタリングを実現できる可能性がある。

	- ++1
V	- 1911
~	ITV

https://iotnews.jp/archives/132757
 https://keikakuhiroba-mfi.com/archives/21432
 https://www.switch-science.com/catalog/3200/
 https://www.switch-science.com/catalog/2236/
 https://www.switch-science.com/catalog/2848/

Ⅵ. 水の光分解に関する基礎研究

Synthesis of Silver Phosphate based Photoelectrode for Water Splitting

塚田 成弘 TSUKADA Norihiro 角田 龍則 KAKUDA Tatsunori 國方 伸亮 KUNIKATA Nobuaki 寺澤 孝志 TERASAWA Takashi 二口 友昭 FUTAKUCHI Tomoaki 本保 栄治 HONBO Eiji

Abstract

Semiconductor photoelectrodes enable to split water into hydrogen and oxygen even with a small applied voltage due to the photoexcitation, and are important as a method for effectively utilizing solar energy which has a very low energy density. In this study, we conducted the synthesis of the photoelectrodes and photoelectrochemical evaluation using electrochemical methods. We focused on silver phosphate which has been reported to have visible light responsiveness and aimed to develop a silver phosphate-based novel photoelectrode material that exhibits highly efficient photoactivity. We prepared a photoelectrode Ag₃PO₄/Ag in which the surface of the silver plate was covered with a silver phosphate thin film, and subsequently synthesized PPy/Ag₃PO₄/Ag depositing polypyrrole on Ag₃PO₄/Ag. Photoelectrochemical evaluation using a solar simulator revealed that PPy/Ag₃PO₄/Ag and Ag₃PO₄/Ag converted light energy to electrical energy efficiently, and PPy/Ag₃PO₄/Ag showed higher incident photon to current efficiency than Ag₃PO₄/Ag. It seemed to be the effect of conductive polypyrrole deposited on the semiconductor photoelectrode.

1.緒言

近年、地球温暖化やエネルギー安全保障の観点から、化石燃料 に代わる新たなエネルギー源として水素の利活用が注目を集め ている。なかでも無尽蔵に地球に降り注ぐ太陽光を用いて地球上 に豊富に存在する水を分解することにより、太陽エネルギーの水 素エネルギーへの変換が期待されている。

光触媒や光電極は、半導体表面の光起電力を利用するものであ り、それぞれの違いを図1に示す。一般に1段階励起型の光触媒 の場合、半導体表面にバンドギャップ以上のエネルギーの光を照 射すると、価電子帯の電子が伝導帯へと励起され、価電子帯には 正孔が生じる。このとき、価電子帯の上端の準位が水の酸化電位 よりも貴であれば、正孔により水の酸化反応が発生し酸素が生成 する。また、伝導帯下端の準位が水の還元電位よりも卑であれば、 電子による還元反応によって水が還元されて水素が生成する。つ まり、半導体のバンドギャップが水の酸化還元電位を挟む位置に あれば、水を分解できるポテンシャルがあるということになる。 実際には、反応が進行するかどうかは励起した電子とホールの動 きやすさや、酸化還元反応が同時に起こるかどうか、半導体表面 での化学反応の効率など様々な要因が影響するため、水の分解反 応が進行するかどうかは半導体材料のバンドギャップ位置だけ では不十分な場合が多い。これに対して光電極は、半導体表面の 光励起によって生じた励起電子に外部バイアスを作用させるこ とで効率よく対極側へ送り、酸化還元反応を起こす技術である。

一般的に電解による水の分解反応では、理論上1.23V以上、実際 には過電圧の影響で1.6V以上の電圧が必要である。補助電源を 用いるため光触媒よりもバンド電位制約の面で有利であり、また 光励起を伴わない電気化学反応に比べると、少ない印加電圧で水 を水素と酸素に分解することができるので水素製造の低コスト 化につながる。また、酸化と還元の反応場を分離できるため、励 起した電子とホールの再結合による失活を防ぐことができ、効率 的に太陽光エネルギーを変換することができる。しかしながら、 可視光領域での量子収率や製造コストなど課題が多いことから 実用化には至っておらず、次世代技術として研究が行われている。





オルトリン酸銀 (AgsPO4) は可視光下にて高い酸化力を有する ことが知られている光触媒半導体材料であり、アノードとして酸 素発生極に使用することで夢の技術である人工光合成の実現に 近づくことができるとして今後の展開が期待されている。しかし 光触媒反応過程で生じる励起電子が Ag3PO4 中の Ag+と結合して 金属銀となることで触媒の分解につながり、構造安定性が低い。 そこで三重大学のグループでは、リン酸溶液中にて Ag 板を表面 処理することで Ag3PO4 薄膜を析出させ、光電極 Ag3PO4/Ag を作 製し、良好な性能を得た。Ag3PO4/Ag では光応答を示す半導体と 集電体となる Ag 板とがバインダーなどを介さず一体となってい るため界面抵抗が存在せず、励起電子の対極への移動がスムース に起こっているためとされている。一方、光電極の特性は励起電 子とホールの再結合で活性に大きな影響が出ることから、ホール の拡散移動も重要である。そこで本研究では、導電性高分子であ るポリピロールに着目した。ポリピロールは電気化学的酸化や化 学種のドーピングによって価電子帯から電子が奪われて正孔が 発生し、バイポーラロン状態として安定化する。酸化が進んでキ ャリア密度が増大すると、バイポーラロン状態の重なりからバイ ポーラロンバンドが形成され、電荷キャリアはきわめて動きやす くなることが知られている。光励起によって Ag3PO4 表面に発生 したホールがポリピロール中を素早く拡散することで電子とホ ールの再結合を防ぎ、水との酸化反応が効率的に起こるのではな いかと考えたことから、Ag3PO4/Agの表面にポリピロール (PPy) をコーティングすることによって新規光電極PPy/Ag3PO4/Agを合 成し、光電気化学的特性を評価することで水分解による水素製造 技術への応用を検討した。

2. 実験方法

<2.1> リン酸銀粉末の合成

リン酸銀の光触媒活性を評価するため、粉末の合成を行った。 0.1mol/L の硝酸銀水溶液に 1wt%リン酸水溶液を等モル量となる よう加えた。その後、30wt%NaOH 水溶液を滴下し pH=7 に調整 した。反応液を濾別して得られた残渣を純水で洗浄し、130°Cの 恒温槽にて4時間乾燥後、乳鉢で粉砕して試料とした。試料の評 価には株式会社リガク製 Smart Lab によるX線回折法 (XRD) お よび日本電子株式会社製 JSM-6619LA による走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った。

合成の反応式を以下に示す。

3AgNO	3	+ H ₃ PC	$)_4 \rightarrow$	· Ag ₃ PO	D_4	+	3HNO ₃
HNO ₃	+	NaOH	\rightarrow	NaNO ₃	+	H_2	20

<2. 2> Ag3PO4 粉末の光触媒活性の評価

10ppm メチレンブルー溶液に、合成した Ag3PO4 粉末を 0.1wt% となるよう添加した。暗所にて撹拌し、LED およびブラックライ トにて光照射を行った。分散液を所定時間ごとに分取して分散媒 除去のためろ過し、分光光度計にて測定した 664nm の吸光度の初 期吸光度に対する割合から濃度割合(C/C₀)に換算して、メチレ ンブルーの分解率を算出した。比較のため、光触媒としてルチル型 TiO2粉末を用いて同様の実験を行った。

<2. 3> 半導体光電極の合成

銀板上への Ag3PO4 薄膜の調製法は林らの報文を参考にした。 0.2mol/L の NaH2PO4 aq.にポリビニルピロリドンを 0.8mol/L 相当 になるよう加え、完全に溶解するまで攪拌した。その後、Ag 板 を混合液に浸漬させ、30% H2O2を 1ml 滴下した。3 時間反応後、 黄色の板を採取して洗浄および乾燥し、Ag3PO4 薄膜を表面析出さ せた銀板 Ag3PO4/Ag を得た。

Ag₃PO₄/Ag 表面へのポリピロールのコーティングは電解重合に よって行った。合成した Ag₃PO₄/Ag を作用極とした 2 極セルを用 い、0.01mol L⁻¹のピロールを含む 0.4mol L⁻¹ Na₂HPO₄ *aq*.中にて 1mA/cm² を 10 分間通電することで、ポリピロール被覆した PPy/Ag₃PO₄/Ag を得た。Ag₃PO₄/Ag および PPy/Ag₃PO₄/Ag の合成 フローを図 2 に示す。電解重合前後のサンプルは日本分光株式会 社製 IRT-7000 による赤外分光分析を用いて評価した。



図2 (a) Ag₃PO₄/Ag の合成 (b) PPy/Ag₃PO₄/Ag の合成 Fig.2 Synthesis of (a) Ag₃PO₄/Ag and (b) PPy/Ag₃PO₄/Ag.

<2. 4> 電気化学的評価

光電極の活性評価には、キセノンランプによる太陽光シミュレ ーター (分光計器株式会社製定エネルギー分光感度測定装置)を 用いて AM1.5、100mW/cm²の疑似太陽光を照射しながら solartron 製ポテンショスタット Si1287 にて電気化学測定を行った。AM1.5 は地上に垂直入射する AM1の太陽光スペクトルより 1.5 倍長く空 気層を通過することを意味する大気量の値である。図3に示すよ うに可視光の他に赤外光や紫外光を含み、空気層を通過しない大 気圏外での太陽光スペクトル AM0 と比べると大気圏中での散乱 や吸収などによって減衰している。AM1.5 は約 42 度の太陽高度 に相当し、日本付近の緯度の地上における平均的なスペクトルと して用いられる。合成した半導体電極を作用極とし、対極に白金、 参照極に飽和 KCl aq.による Ag/AgCl 電極を用いる H 型 3 極式ガ ラスセルを用い、電解液は 0.4mol L⁻¹ Na2HPO4 aq.とした。参照極 は KCl ag.の電解液へのコンタミを防ぐためダブルジャンクショ ンとした。

入射した光のうち光電流に変換された割合を示す外部量子収 率 (IPCE: Incident Photon to Current Efficiency) は、光電極の光電変 換特性を決定する上で極めて重要である。印加電圧を 1.2 V vs. Ag/AgClとし、光電極に各波長ごとの単色光 (400, 450, 500, 550, 600, 650 nm) を照射した場合の10分後の電流量から算出した。全 ての電気化学測定は室温 (25 ℃) で行った。



3. 実験結果および考察

<3.1> リン酸銀粉末の合成と光活性評価

合成によって得られたリン酸銀Ag3PO4は黄色の粉末であった。 試料のX線回折パターンを図4に示す。Ag3PO4粉末の回折パタ ーンは文献と十分に一致し、オルトリン酸銀が得られたことが確 認された。



図4 合成した Ag3PO4の X 線回折パターン Fig.4 XRD pattern of synthesized Ag3PO4 particle.

メチレンブルーの分解によるリン酸銀の光活性評価の結果と して、メチレンブルー濃度の経時変化を図5に示す。光源に紫外 光であるブラックライトを用いた場合、Ag3PO4粉末は2時間で約 50%を分解したのに対し、TiO2粉末での分解は約 30%となった。 また可視光である LED を光源に用いた場合、2 時間経過後に Ag₃PO₄粉末では 80%以上を分解したのに対して TiO₂粉末はほと んど分解していないことが確認された。このことから、合成した Ag₃PO₄粉末は紫外光しか利用できない TiO₂と異なり、可視光に 対して高い光活性を示すことが確認された。



図5 (a)紫外光および(b)可視光照射下でのメチレンブルー色素の分解実験 Fig.5 Decomposition of methylene blue dye under (a) ultraviolet light and (b) visible light.

<3. 2> 半導体電極 Ag3PO4/Ag の合成と評価

Ag板の表面処理によりAg3PO4薄膜を析出させたAg3PO4/Agについて、X線回折パターンを図6に示す。Ag3PO4粉末の場合と同様、得られた回折パターンはオルトリン酸銀の文献と一致した。 また、Agの回折に帰属されるピークも確認され、これは基板のAg板に起因するものであると考えられる。これらより、半導体電極Ag3PO4/Agの合成に成功したことが確認された。



Fig.6 XRD pattern of Ag₃PO₄/Ag electrode.

図7にはAg3PO4/Agに1.2V vs. Ag/AgClの印加電圧を加え、光 照射のon/offを30秒毎に行った際の電流値の経時変化を測定した。 暗状態から明状態に移ると急激に電流値が増加することから、 Ag3PO4/Agが明確な光応答を示していることが確認された。



Fig.7 Potentiometry of Ag₃PO₄/Ag electrode.

AgaPO4/Agの光電気化学的特性評価として、図8にAM1.5の光 を照射しながら行ったサイクリックボルタンメトリーの結果を 示す。10mV sec⁻¹にて掃引を行い、折り返し電位を1.5V vs. Ag/AgCl とした。図より、光を照射する場合(明状態)としない場合(暗 状態)のどちらも0.5V vs. Ag/AgCl付近に電流の急激な増加があ り、さらに1.0V vs. Ag/AgCl以上において電流の立ち上がりが確 認された。1.0V vs. Ag/AgCl以上での電流の立ち上がりは光照射が ある場合の方が大きく、1.5V vs. Ag/AgCl付近で作用極および対極 の表面から気泡の発生が認められたので、電流増加は水の酸化反 応に伴う酸素の発生によるものであると考えられる。1.5V vs. Ag/AgClの印加電圧において明状態では1.28mA/cm²の電流密度 の値が得られ、暗状態での電流密度0.72mA/cm²と比較して約1.8 倍高くなることを確認した。水の酸化反応は暗状態においても印 加電圧を大きくすることで起こるものの、光の照射によってより 反応性が高くなっていると示唆される。



図8 Ag₃PO₄/Ag 電極のサイクリックボルタンメトリー Fig.8 Cyclic voltammetry of Ag₃PO₄/Ag electrode.

また、比較として作用極に白金を用いた場合の電位と電流の関係を、明状態での Ag3PO4/Ag の結果と併せて図9に示す。白金作 用極の電流値は1.2V vs. Ag/AgCl 付近から急激に増加しており、 気泡の発生も認められたので水の酸化反応による酸素発生反応 と考えられる。白金における酸素発生電位は Ag3PO4/Ag よりも少 し卑であった。水溶液中における水の分解反応はプロトンおよび 水酸化物イオンが関与するため、反応電位が pH に依存すること が知られている。Nemst の式に基づいて得られる平衡反応電位の pH 依存性は一般にプールベ図と呼ばれており、図10に1気圧に おけるプールベ図を示した。電解液に用いた0.4mol L⁻¹ Na2HPO4 *aq.*の pH は9.28 であったので、酸素発生反応における平衡電位は 0.45V vs. Ag/AgCl であることがわかる。実際に反応が進行するた めには平衡電位に過電圧分の電位を余分に与える必要があり、 Ag3PO4/Ag の場合約1V 程度の過電圧であることがわかった。



図9 Pt 電極のリニアスイープボルタンメトリー Fig.9 Linear sweep voltammetry of Pt electrode.



図8における0.5V vs. Ag/AgCl付近の反応について調べるため、 0.4mol L⁻¹ Na₂HPO₄ aq.中において光照射を行いながら Ag 板のサ イクリックボルタンメトリーを実施した。明状態でのAg₃PO₄/Ag の結果と併せて図11(a)に示す。Ag 板においても0.5V vs. Ag/AgCl 付近で急激な電流値の増加が認められたことから、この反応は Ag₃PO₄ではなく Ag による反応であることがわかる。また、0.4V vs. Ag/AgCl、0.7V vs. Ag/AgCl、1.5V vs. Ag/AgCl までで掃引を停 止させた Ag 板について XRD 測定および SEM 観察した結果を、 それぞれ図 11(b)および図 11(c)に示す。X 線回折パターンとして は確認されなかったものの、SEM による観察から 0.4V vs. Ag/AgCl で掃引を停止させた Ag では表面に変化が認められた。 また 1.5V vs. Ag/AgCl で掃引を停止させた Ag 板からは Ag₃PO₄ に 帰属される X 線回折パターンが得られた。これはリン酸水溶液中 にて銀の酸化反応が行われたことで表面に Ag₃PO₄ が成長したも のと考えられる。電流値が増加する電位が複数あることから多段 階の反応であることが示唆され、0.7V vs. Ag/AgCl より貴な電位に おいて Ag₃PO₄ の成長が顕著になるものと考えられる。

次に、単色光の照射から得られた Ag3PO4/Ag の IPCE を図 12 に示す。また、日本分光株式会社製分光光度計 V-750 を用いて測 定した Ag3PO4/Ag の紫外可視吸収スペクトルも同じグラフに併せ て示した。400m の単色光照射下において 50%程度の IPCE であ ることが確認された。IPCE のグラフは紫外可視吸収スペクトルの グラフと類似した形となり、Ag3PO4/Ag は吸収する光エネルギー を効率的に電気エネルギーに変換できていることがわかった。



図11 Ag 電極の(a)サイクリックボルタンメトリー、(b) 電位掃引後の XRD 回折 パターン、(c)電位掃引後の SEM 像

Fig.11 (a) Cyclic voltammetry of Ag electrode, (b) XRD pattern of Ag electrode after sweep and (c) SEM image of Ag electrode after sweep.



<3. 3> 新規光電極 PPy/Ag₃PO₄/Ag の合成と評価

光電気化学的特性の向上を目的として、ホール伝導性のポリピ ロールで被覆した光電極 PPy/Ag3PO4/Ag を合成した。図 13 には 電極に対する赤外分光測定の結果を示した。電解重合前後におけ る示唆吸光スペクトルにおいて、ポリピロールの C-H 伸縮振動に 帰属される 1270 cm⁻¹付近に吸収ピークを確認したことから、ポリ ピロールが生成したことを確認した。



図13 PPy/Ag₃PO₄/Ag から Ag₃PO₄/Ag を差し引いた差スペクトル Fig.13 Difference spectrum; subtract Ag₃PO₄/Ag from PPy/Ag₃PO₄/Ag.

図 14 に PPy/Ag3PO4/Ag の明状態および暗状態でのサイクリッ クボルタンメトリーの結果を示す。図8と比較して酸素発生に関 する暗状態の電流量はあまり変化ないものの、明状態での電流は 増加しており、1.5V vs. Ag/AgClにおいて約1.8 倍大きくなること を確認した。これは導電性のポリピロールによって励起電子とホ ールの再結合が減少し、反応効率が改善したのではないかと示唆 される。また、Ag3PO4の生成と考えられる0.5V vs. Ag/AgCl付近 の電流の増加はポリピロールの被覆によって減少した。これはポ リピロールの被覆によって Ag の反応面積が減少したためではないかと思われる。



図14 PPy/Ag₃PO₄/Ag 電極のサイクリックボルタンメトリー Fig.14 Cyclic voltammetry of PPy/Ag₃PO₄/Ag electrode

図 15 には光照射の on/off を 30 秒毎に繰り返しながら印加電圧 1.2V vs. Ag/AgCl を加えた際の PPy/Ag₃PO₄/Ag のポテンショメト リーの結果を示した。図 7 と同様に明状態と暗状態の切り替えに 応じて電流値が増加することから、PPy/Ag₃PO₄/Ag が光応答を示 していることが確認された。





図16には単色光の照射から得られた PPy/Ag3PO4/AgのIPCE を紫 外可視吸収スペクトルと併せて示した。IPCEのグラフは紫外可視 吸収スペクトルのグラフと類似した形となり、Ag3PO4/Agと同様 に PPy/Ag3PO4/Ag も吸収する光エネルギーを効率的に電気エネル ギーに変換できていることがわかった。また、PPy/Ag3PO4/Ag は Ag3PO4/Ag よりも高い IPCE を示した。



光電極の実用化に向けた耐久性を調べるため、AM1.5の光を8時間照射しながら印加電圧 1.2V vs. Ag/AgClを加えたポテンショメトリーの結果を示した。PPy/Ag3PO4/Agおよび Ag3PO4/Agとも時間の経過とともに流れる電流は次第に低下し、8時間経過後にはPPy/Ag3PO4/Agの電流値は0.1mA/cm²程度とAg3PO4/Agの電流値より小さくなった。ポリピロールは有機物であるため反応の進行によっては無機物よりも分解しやすい可能性がある。これについては更に検討が必要である。



4. 結言

夢の技術である人工光合成の実現において非常に重要なデバ イスとなる可視光応答性の光電極について、材料合成から光電気 化学的評価に至る過程について知見を得た。光電極による水電解 の特性を向上させるには、ホール伝導性物質で半導体を被覆する ことで励起電子とホールの再結合が妨げられ、水の酸化反応が効 率的に起こるのではないかと考えたことから、Ag₃PO₄/Agの表面 にポリピロールを被覆した PPy/Ag₃PO₄/Ag を合成し、光電気化学 的特性を評価した。ソーラーシミュレーターを用いて AM1.5 の光 を照射しながら活性を評価した結果、PPy/Ag3PO4/Ag は Ag3PO4/Agより良好な特性を示した。しかし、光電極の実用化を 模した 8 時間の連続通電を実施したところ、8 時間経過後の電流 値はポリピロール被覆をしていないAg3PO4/Agの方が高くなった。 PPy/Ag3PO4/Agの反応耐久性については更に検討が必要である。

(1) 佐山和弘、三石雄吾, Synthesiology, 7 (2) (2014) pp. 81-92.

(2) Nims プレスリリース,

https://www.nims.go.jp/news/press/2010/06/201006070/p201006070.pdf

(3) 平成 26 年度 三重大学報文,

https://mie-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=9648&file_id=1 7&file_no=1

(4) C. S. Priya, G. Velraj, *Materials Letters.*, **77** (2012) pp. 29-31.

文 献

「基盤トランスにおける交流抵抗の低減技術検討」グループの研究活動風景





「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」グループの研究活動風景





「時系列データ分類のための誤分類低減手法」グループの研究活動風景





「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」グループの研究活動風景





「製品のヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究」グループの研究活動風景





「水の光分解に関する基礎研究」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

○ 34年間の研究テーマ数:212テーマ(昭和62年度~令和3年度)
 ○ 参加研究員延べ人数:389名(指導機関の研究員を除く)

☆昭和62年度(第1回)研究テーマと研究参加者(3テーマ、12名)

- 複合材料の開発-金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発 竹本要一(㈱タカギセイコー)、田上輝次(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱) ◎指導機関:工業技術センター富山研究所(現機械電子研究所)
- 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発~中高温用サーミスタの開発
 岡崎誠一(北陸電気工業株)、加藤昌憲(日本鋼管株)、滝川義弘(燐化学工業株)、
 堀田孝章(立山科学工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター富山研究所(現機械電子研究所)
- 3. フレキシブルハンドの開発~介護ロボット用アームの試作
 石崎浩・滝森幸浩(タカノギケン(株)、茨木正則(北日本電子(株)、西田信孝(株タカギセイコー)、
 山田俊一(エルコー(株)、現コーセル(株)
 ⑥指導機関:工業技術センター富山研究所(現機械電子研究所)

☆昭和63年度(第2回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、21名)

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

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

☆平成元年度(第3回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、19名)

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

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

6. 超音波メガネの研究
 中村 亮(北日本電子㈱)、中山正明(㈱和泉電気富山製作所)
 ◎指導機関:富山大学工学部

☆平成2年度(第4回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、16名)

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

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

☆平成3年度(第5回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、14名)

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

☆平成4年度(第6回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

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

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一(立山科学工業㈱) ◎指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成5年度(第7回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

- 機能性膜の微細加工に関する研究へ磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作 伊東 守(コーセル(株)、森田智之(北陸電気工業(株))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- マイクロマシンの研究 川西和昭(三協アルミニウム工業株)、後藤 肇(コーセル株)、佐々木啓充(株タナカエンジニアリング) ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 有機電子材料の研究
 雨野孝信(㈱タカギセイコー)、堀田正人(東洋化工㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- リン酸塩系セラミックス固体電解質の開発~Agイオン固体2次電池の試作
 黒川寛幸(北陸電気工業㈱)、山口 睦(燐化学工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. RIMのCAEに関する研究 杉田孝嗣(三協アルミニウム工業㈱)、中村和禎(㈱タカギセイコー) ③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㈱)
 ⑥指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成6年度(第8回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、16名)

- 視覚システムを持つ移動ロボットの開発
 小山直人(㈱タカギセイコー)、寺本正夫・杉谷健(コーセル㈱)、
 中村厚平(エヌアイシ・オートテック㈱)、松田英雄(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2.機能性薄膜と半導体の複合素子の開発 高柳 殻(コーセル(株))、田村雅英(北陸電気工業(株)) ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3.リン酸系エッチング液の基礎研究
 山口 睦(燐化学工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 傾斜機能膜素子の開発
 市川良雄(富山軽金属工業㈱)、福本 滋(北陸電気工業㈱)、三松克次(㈱タカギセイコー)、
 山下慎也(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所

5. 3次元入力デバイスの開発 細木文夫(三協アルミニウム工業㈱)、横山 大(長岡技術科学大学) ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(2)
 五十嵐隆治(立山アルミニウム工業株)、米谷庄一(三協アルミニウム工業株)
 ⑥指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成7年度(第9回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、15名)

- 視覚システムを持つ移動ロボットの開発(2)
 大浦真司(三協アルミニウム工業㈱)、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
- 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究 永森和久(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 電子回路用ウェットエッチング液の研究
 山口 睦(燐化学工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発
 高橋伸忠(㈱タカギセイコー)、能村輝一(北陸電気工業㈱)、山下慎也(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 微動機構による機械の高度化の研究 佐野仁一(東洋化工㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6.薄膜超磁歪素子の研究
 酒井隆正(コーセル(株))、谷上英樹(北陸電気工業(株))
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- ア・レドックス型太陽発電システムの開発
 市川良雄・大橋伸一(富山軽金属工業㈱)、三井清隆(㈱タナカエンジニアリング)
 長谷川益夫(富山県林業技術センター木材試験場)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(3)
 五十嵐隆治(立山アルミニウム工業㈱)
 ⑥指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成8年度(第10回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、15名)

- 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発
 三松克次・笹島和明(㈱タカギセイコー)、田島正康(㈱タナカエンジニアリング)
 田中 篤(北陸電気工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究
 松井裕昭(㈱タナカエンジニアリング)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. レドックス型太陽発電システムの開発(2)
 市川良雄(富山軽金属工業㈱)、田畑裕信(中越合金鋳工㈱)、三井清隆(㈱タナカエンジニアリング)、
 長谷川益夫(富山県林業技術センター木材試験場)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所

4. 複数のロボットによる協調制御の研究

金田淳也(コーセル(㈱)、森田裕之(立山アルミニウム工業㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

- 5. 多孔質シリコンの形成に関する研究 石川秀人(北陸電気工業㈱)、安田純子(コーセル㈱) ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 高輝度蓄光性蛍光板の開発
 佐野仁一(東洋化工㈱)、二見泰雄(三協アルミニウム工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度(第11回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、18名)

- レドックス型太陽発電システムの開発(3)
 市川良雄(富山軽金属工業㈱)、田畑裕信(中越合金鋳工㈱)、野中義夫(衛トヤマ技術開発研究所)、 長谷川益夫(富山県林業技術センター木材試験場)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 複数のロボットによる協調制御の研究(2)
 森田裕之(立山アルミニウム工業㈱)、渡辺暁信(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 生活環境用臭センサの開発
 垣内由美子(コーセル(株))、角谷哲哉(北陸電気工業株)、小島理敬(三協アルミニウム工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 電力変換用圧電セラミックストランスの開発
 堀井一宏(コーセル(株)、柳川 新(立山科学工業(株))
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発 丹保哲也(北陸電気工業㈱)、野上拓也(㈱タナカエンジニアリング)、山田浩美(東洋化工㈱)、 滝川健太郎(金沢大学工学部) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 電気自動車の開発
 坂本雅美(㈱斉藤製作所)、高橋 聡(㈱タナカエンジニアリング)、藤木和幸(㈱タカギセイコー)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所

☆平成10年度(第12回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、11名)

- **正電素子を用いた制振機構の研究** 稲垣 聡(北陸電気工業(株))、渡辺暁信(田中精密工業(株))
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- コーティング工具の密着性向上に関する研究
 野上拓也(田中精密工業株)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 生活環境用においセンサの開発(2) 星野昌則(コーセル(株))、南 政克(北陸電気工業(株))、山田浩美(東洋化工(株)) 〇指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発(2)

坂本雅美(㈱斉藤製作所) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 5. 微細放電加工の研究
 太田光則(㈱斉藤製作所)、橋本 明(田中精密工業㈱)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
- 6. 電磁シールド材の基礎研究
 高橋伸忠(㈱タカギセイコー)、福田隆之(コーセル㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所

☆平成11年度(第13回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

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

☆平成12年度(第14回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

- エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価(2) 島村和孝(田中精密工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- インテリジェントにおいセンサの研究(2)
 小森一哉(北陸電気工業㈱)、谷口真也(コーセル㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

3. 高摩擦係数材料の研究

高田智哉(田中精密工業㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

- 4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究
 酒井康弘(㈱タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター中央研究所
- 5. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究 高橋雄一(コーセル(株)、山田浩美(東洋化工(株)) ②指導機関:工業技術センター中央研究所

☆平成13年度(第15回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

- 滑雪板(着雪防止板)の開発 河井牧夫(田中精密工業㈱)、高橋伸忠(㈱タカギセイコー)、野田耕司(三協アルミニウム工業㈱)、 石井 雅(富山県土木部)
 ◎指導機関:工業技術センターPJ・中央研究所
- 分子機能材料を用いた光電池の研究開発 濱口 誠(コーセル(株))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 高摩擦係数材料の研究(2)
 高田智哉(田中精密工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 本粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究(2)
 酒井康弘(㈱タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部
- 5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発 小出哲雄(コーセル(㈱)、坂本雅美(㈱斉藤製作所) ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
- 体質診断等DNAチップと測定装置の開発
 水島昌徳(立山科学工業株)、川上浩美(東洋化工株)
 ⑥指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所
- 7. マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発 桑原大輔(北陸電気工業㈱) ◎指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所、富山大学工学部、JST
- 8.アルミ表面解析技術の高度化に関する研究
 澤井 崇(武内プレス工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- ☆平成14年度(第16回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、13名)
- ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)
 石見雅美(㈱斉藤製作所)、稲澤直子(コーセル㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
- 4. 体質診断等DNAチップの開発(2)

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

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

☆平成15年度(第17回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

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

☆平成16年度(第18回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、12名)

 大型色素増感太陽電池の開発 廣田和也(㈱タカギセイコー)
 ②指導機関:工業技術センター中央研究所

- 2. 交流法を用いたバイオセンサの開発
 米澤久恵(コーセル(株))、碓井洋平(立山科学工業(株))、深沢正樹(立山マシン(株))、
 宝泉重徳(東洋化工株))
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構
- インクジェット用機能性インクの開発
 松田杏子(立山科学工業株)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発
 澤田篤宏(コーセル(株)、石見雅美(株) 斉藤製作所)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 5.薄膜低温度特性抵抗器の開発(2)
 桑原大輔(北陸電気工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
- 環境適応型インテリジェント窓の開発
 堀 剛文・松田 力(立山アルミニウム工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター中央研究所
- 7. 高摩擦係数材料の研究(3)
 上田修一(田中精密工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター中央研究所・生活工学研究所・機械電子研究所

☆平成17年度(第19回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、10名)

- 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発(2)
 小杉京平(コーセル(株)、太田光則(株) (株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 交流法を用いたバイオセンサの開発(2)
 上谷聡史(コーセル(株)、深沢正樹(立山マシン(株)、中田守人(東洋化工(株))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構
- 薄膜低温度特性抵抗器の開発(3)
 津幡 健(北陸電気工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
- 4. 圧電材料による起電力素子の研究
 猪田明宏(立山科学工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 5. 高摩擦係数材料の研究(4) 山下剛史(田中精密工業㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・生活工学研究所・中央研究所
- 6. インクジェット技術の応用研究
 田中裕美(立山科学工業㈱)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 7.大型色素増感太陽電池の開発(2)
 廣田和也(㈱タカギセイコー)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所

- ☆平成18年度(第20回)研究テーマと研究参加者(9テーマ、11名) 1. メタボリック症候群関連遺伝子検出装置の開発 三宅正浩(コーセル㈱)、深沢正樹(立山マシン㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県新世紀産業機構 2. マイクロTASチップの開発 嶋 将伸 (コーセル(株) ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・P」推進担当・機械電子研究所 3. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の開発 清水裕也(㈱タカギセイコー) ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・PⅠ推進担当 4. インクジェット法による電子回路パターンの作製 篠原おりえ、田中裕美(立山科学工業株) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所 5. 小径穴仕上げ加工 高岡利尚(田中精密工業㈱) ◎指導機関:工業技術センターPJ推進担当・中央研究所・機械電子研究所 6. ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究 中野貴之(北陸電気工業株) ◎指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部 7. 高温耐熱型サーミスタの開発 山野 博 (立山科学工業(株)) ◎指導機関:工業技術センター中央研究所 8. 低域 UHF 帯用小型指向性アンテナの開発 徳島達也 (立山科学工業(株)) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所 9. 機械部品の洗浄に関する研究 杉森雅一 (エヌアイシ・オートテック(株)) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ推進担当 ☆平成19年度(第21回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、10名)
 - 1. 電子回路用ウエットエッチング液の研究 曽根宏信(燐化学工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部
 - 肉盛ステライトの硬さに影響を与える溶接条件の研究
 田中隆尚(田中精密工業㈱)、長柄大介(長柄鉄工㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部
 - インクジェット法を用いたアンテナの作製
 廣島大三(立山科学工業株)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
 - 4. 燃料電池用超小型水素発生器の開発
 川端基裕(コーセル(株))、遠藤 亮(三協立山アルミ(株))
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所

- 三次元座標測定機における測定信頼性向上に関する研究
 中橋秀記(立山マシン(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部
- 6.ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究(2)
 石橋孝裕(北陸電気工業㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 7. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の応用研究 清水裕也(㈱タカギセイコー) ◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・PJ推進担当
- 8.マイクロTASチップの開発(2)
 石村和雄(コーセル(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

☆平成20年度(第22回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

- マイクロリアクタによる反応制御方法に関する研究 大橋裕之(燐化学工業㈱)、梅原洋平(コーセル㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
- 2.空中超音波を用いた空間温度計測システムの研究
 正源浩之(コーセル(株)、木下正之(立山科学工業株)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
- 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)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当、富山大学芸術文化学部
- 4. 局部加熱によるプラスチック表面の高機能化
 吉田康子(㈱タカギセイコー)
 ⑥富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 5. 酵母を利用した和漢薬の薬理作用の解析および測定デバイスの開発 日出嶋宗一(立山マシン(株)) 〇富山県工業技術センター機械電子研究所

☆平成21年度(第23回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、9名)

- 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発
 吉田康子(㈱タカギセイコー)、中田裕一(北陸電気工業㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 2. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発 熊田泉実(コーセル(㈱)、日出嶋宗一(立山マシン(㈱) ◎富山県工業技術センター機械電子研究所
- 3. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術の研究 山根幸治(コーセル(株)、細川修宏((株)タカギセイコー) ◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 4.ダイカスト金型材料の接合技術の開発(2)
 中田雄三(田中精密工業㈱)
 ②富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部

5. スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発 斉藤洋輔(コーセル(株)、若林 傑(立山科学工業(株) ◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成22年度(第24回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

- 1. ミニロボット群による水田防除草システムの開発 上田将志(コーセル(株)、古川和明(立山科学工業(株)) 〇富山県工業技術センター機械電子研究所
- CMM (三次元測定機) 用簡易検査器の開発
 広地信一(立山マシン(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部
- 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発 須田誠(田中精密工業㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部
- 4. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用 澤田修平(コーセル(株)、細川修宏(株)タカギセイコー) ②富山県工業技術センター機械電子研究所
- 5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発 高見和志(コーセル(㈱)、新川翔平(北陸電気工業㈱) ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部・中央研究所

☆平成23年度(第25回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、7名)

- CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発(2)
 広地信一(立山マシン㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部
- LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究
 平田哲郎(コーセル(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- ・積層鋼板の磁気特性に関する研究 堀田哲朗(田中精密工業㈱)、杉本考行(コーセル㈱)
 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・
- 4.シリコンアーマチュアデバイスの研究開発
 木澤裕志(立山科学工業㈱)、岩滝幸司(北陸電気工業㈱)
 ◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 5. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究 藤井美里(㈱タカギセイコー) ②富山県工業技術センター中央研究所

☆平成24年度(第26回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、10名)

 MDF木屑からのバイオエタノール抽出技術の開発 羽根新太郎(三協立山㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所
- マグネシウムイオン2次電池に関する研究 作道千枝(燐化学工業㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所
- ナノインプリントを応用した微細電極パターンの形成に関する研究 大門貴史(北陸電気工業株)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部
- 4.小水力発電システムの研究
 中瀬典章(コーセル(株)、荒井勇人(立山科学工業(株)、熊澤周士(株)タカギセイコー)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部
- 5. 受動的歩行ロボットの開発 水上慎太郎(コーセル(株)、若崎祥人(立山マシン(株)) ③富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 6.積層鋼板の磁気特性に関する研究(2)
 藤岡英示(田中精密工業㈱)
 ⑥富山県工業技術センター機械電子研究所、谷野技術士事務所、富山大学大学院理工学研究部
- 7. SW電源の電磁ノイズのシミュレーション
 野口拡(コーセル(株))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成25年度(第27回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、7名)

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

☆平成26年度(第28回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

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

- 切削加工シミュレーションに関する研究 水野輝章(田中精密工業㈱)、若林武司(立山マシン㈱)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、元工業技術センター
- 3.3Dプリンタを利用した簡易的なブロー成形樹脂型の製作に関する研究 黒田大輔(武内プレス工業㈱)、相馬 優(㈱斉藤製作所)、桑原浩一(コーセル㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・ものづくり研究開発センター
- 4. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究
 浦山陽平(コーセル(株)、中田智康(北陸電気工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所・機械電子研究所
- 5.量子ドット増感太陽電池の研究
 山本尚人(北陸電気工業株)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部
- 6. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究(2)
 大浦秀剛(三協立山(㈱)、山崎鉄平(㈱タカギセイコー)、林 達規(田中精密工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所、元工業技術センター

☆平成27年度(第29回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

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

☆平成28年度(第30回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

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

- 金属積層造形の基礎と造形物の評価に関する研究
 永田直也(三協立山㈱)、滝沢将史(コーセル㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所
- 4. 容器用実用アルミ材の耐食性および腐食反応の解析に関する研究 深川裕之(武内プレス工業株) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 5. エンドミル加工での工具寿命向上に関する研究
 中嶋 謙(田中精密工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・生活工学研究所・中央研究所
- 6. ウェアラブル電源の開発 関ロ貴彬(コーセル(株))、天野久美子(北陸電気工業(株))、坂井友樹(立山科学工業(株)) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成29年度(第31回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、9名)

1. 有機無機ペロブスカイト太陽電池の開発 宮崎幸輝(コーセル㈱)

◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

- 複合化樹脂粉を用いたレーザ塗装
 島林孝吉(㈱斉藤製作所)
 ②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 (㈱タカギセイコー) ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 工具寿命の機上検出手法に関する研究
 石澤剛士(田中精密工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究 盤若秀明(三協立山㈱) ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 6. ウェアラブル電源の開発(2)
 林 大志(コーセル(株))、渡辺涼太(立山マシン(株))
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 7.厚膜型圧電振動発電素子の開発に関する研究(3)
 櫻井雅崇(北陸電気工業㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

☆平成30年度(第32回)研究テーマと研究参加者(4テーマ、5名)

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

3. 曲面用外観検査手法の研究

石澤剛士(田中精密工業㈱) ◎指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター 4. 感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製

槇 正史(コーセル(株) ◎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)

- 外観検査用画像処理の自動最適化に関する研究
 中嶋 謙(田中精密工業株)、田中智惟(コーセル株)
 ⑥指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所・ものづくり研究開発センター
- 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(株)、三鍋香織(立山科学工業(株))
 ⑥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(株)、吉澤 明((株タカギセイコー)
 ②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) ②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. 基盤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
- 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)
 ②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.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(北陸電気工業株)

 ⑥指導機関:産業技術研究開発センター機械電子研究所
- 5.製品のヘルスモニタリングの IoT 化に関する研究
 西井渉太(コーセル(株))
 ②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

〇会員企業

令和4年3月15日現在(50音順)

	企業名	代表者名	運営委員	電話番号		
1	コーセル(株)	谷川 正人	真野 達也	076-432-8151		
2	㈱斉藤製作所	齊藤 行男	相馬 優	076-468-2727		
3	三協立山㈱	平能 正三	庵 真砂代	0766-20-2322		
4	(株)タカギセイコー	高木 章裕	髙橋 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㈱	武内 繁和	澤井 崇	076-441-1856		
7	立山科学(株)	水口 勝史	森 喜代志	076-483-3088		
8	立山マシン(株)	宮野 兼美	水口 世紀	076-483-4123		
9	田中精密工業㈱	金森 俊幸	高田 智哉	076-469-9107		
10	長柄鉄工㈱	長柄 大介	長柄 大介	0766-22-3170		
11	北陸電気工業㈱	多田 守男	今村 徹治	076-467-1125		
12	<i>燐化学工業(株</i>)	大塚 肇	下野 哲数	0766-86-2511		
事務局	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、源卓也)					

O研究会員

E	氏 名		氏		Z	所 属	役 職	学位	電話番号
研究	醉事	₹.							
石	黒	智	明	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	デジタルモノづくり課 上席専門員	博士(工学)	0766-21-2121		
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	富山県立大学工学部	准教授	博士(政策・メディア)	0766-56-7500		
大	寺	康	夫	富山県立大学工学部	教授	博士(工学)	0766-56-7500		
小	幡		勤	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	機能素材加工課長	博士(工学)	0766-21-2121		
関	\square	徳	朗	産業技術研究開発センター機械電子研究所	所 長		076-433-5466		
高	林	外	広	産業技術研究開発センター	次 長	博士(工学)	0766-21-2121		
塚	本	吉	俊	産業技術研究開発センター生活工学研究所	生活科学課長		0763-22-2141		
中		茂	樹	富山大学学術研究部工学系	教授	博士(工学)	076-445-6731		
鍋	澤	浩	文	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	デジタルモノづくり課長	博士(工学)	0766-21-2121		
西	村	克	彦	富山大学学術研究部都市デザイン学系	教授	理学博士	076-445-6011		
林		千	歳	産業技術研究開発センター機械電子研究所	機械情報システム課長	博士(工学)	076-433-5466		
本	保	栄	治	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	ものづくり基盤技術課長	博士(工学)	0766-21-2121		
溝	口	Æ	人	産業技術研究開発センター生活工学研究所	所 長	博士(工学)	0763-22-2141		

○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	餄	久晴(昭和	162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	27 年度~5	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	E)	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	E)	8代会長	水口時	四一郎	(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	E)	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	E)	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	E)	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~~~	和2年度)		16代会長	谷川	正人	(令和3年度~	~)

- **O顧 問**(50音順)
 - 會澤 宣一((大) 富山大学・工学部長)
 - 谷野 克巳 (元工業技術センター・所長)
 - 土肥 義治((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)
 - 鳥山 素弘 (産業技術研究開発センター・所長)
 - 中島 範行((大) 富山県立大学・工学部長)
 - 夏野 光弘((公財) 富山県新世紀産業機構·専務理事)
 - 二口 友昭 (元 (公財) 富山県新世紀産業機構・イノベーション推進センター長)
 - 町野 利道 (CS ポート (株)・代表取締役社長)
 - 松田 敏弘 (元 (大) 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・ファクシミリ番号 -	
T 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ファクシミリにてお願いします。
- ・申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。
- ・その他不明な点は事務局へお問合わせください。

☆申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

(公財) 富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

- TEL 076-444-5607
- $F \ A \ X \quad 0 \ 7 \ 6 \ \ 4 \ 4 \ 4 \ \ 5 \ 6 \ 3 \ 0$

発	行	者	若い研究者を育てる会
			〒930-0866 富山市高田529 (公財)富山県新世紀産業機構 プロジェクト推進課内
発行	亍 責 伯	£ 者	富山県産業技術研究開発センター 関ロ 徳朗 (公財)富山県新世紀産業機構 源 卓也
発行	テ 年 月	月日	令和4年3月15日
印	刷	所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる.非売品.