

令和4年度

(第35回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

令和5年3月10日(金)

於：ホテルグランテラス富山

若い研究者を育てる会

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

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県産業技術研究開発センター
富山大学学術研究部工学系
富山大学学術研究部都市デザイン学系
富山県立大学工学部

ごあいさつ

会長 谷川 正人

1987年（昭和62年）1月に発足した「若い研究者を育てる会」は、令和4年度も各企業から今後を期待され選抜された若い研究者が集い、各研究テーマに真剣に取り組んでいただきました。おかげさまで、ここに35回目の研究論文集発行と研究成果発表会を開催することができました。

今年度も、引き続き新型コロナ感染防止に配慮をしながらの活動を余儀なくされましたが、研究者皆様のご努力、そして、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、経営課題の一つとして、人のもつ能力を資本と捉える「人的資本経営」の重要性が取り沙汰されています。「若研」は文字どおり、「創造的な若い研究者を育てる」という人材育成が目的であり、テーマを通じて、基礎的な科学技術・知識を幅広く習得することはもちろんですが、「研究の仕方・アプローチ方法の学び」、「人脈作り」が長期的視点で大事であるとの想いで設立されています。

研究者の皆様は、1年間の研究課題の取り組みで、仮説や推論を立てるのに苦労したことや思いどおりの結果が得られず試行錯誤も多かったのではないかと推察します。しかしながら、「世の中の技術的関心がどこに向かっているのか」を認識できたり、もがきながらも自分自身で調べたことで突破口が見えたり、また、博士号をもつ研究幹事・指導員のプロの方々から考え方・アプローチの仕方などを学んだことで、これまでの自分の枠を超えた幅広い技術・知識が習得でき、視野も広がったのではないのでしょうか。推論と結果の違いを面白いと感じたり、さらに調べたいと思う探求心も持ちつつ、『研究の道筋を大事にすることの重要性』を体得、学ばれたことは大きな成果、財産と言えます。

今回の活動を研究論文としてまとめ、一区切りをつけるわけですが、研究者の皆様には、若研での経験、得られた技術・知識、そして、新たにできた人脈も頼りにして、これからの業務にも生かし自分磨きを続けて欲しいと願っています。

様々な分野で技術革新・技術競争が起こり、必要とされる研究テーマも多様性を増しています。また、DXを活用したアプローチ方法なども進歩発展しています。若研の研究テーマや進め方にも新しいことを取り入れていく変化が起きています。今後とも、企業・大学からより多くの方々に参加や聴講をしていただき、富山県の若い研究者育成の本活動にご支援、ご協力を賜りますようお願いいたします。

研究の概要

「若い研究者を育てる会」(以下、「若研」)の研究発表会は今年度で35回目を迎えた。本論文集は「若研」に参加する企業(現在の会員企業数12社)と会員企業の若手技術者が4つの研究テーマについて、令和4年5月から富山県産業技術研究開発センターおよび富山県立大学において、4グループ(6企業参加)が実施してきた研究成果をまとめたものである。ここでは、今年度実施した4テーマの研究概要を述べる。

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター 博士(工学) 本保栄治

①「CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製」の研究グループ(参加企業 1 社)では、CNF 複合樹脂へのめっき技術の開発を目的として、高分散な CNF/PP 複合材を成形し、環境負荷の低いめっき前処理方法を検討した。まず、表面改質方法として、UV 処理及び O₂ プラズマ処理を行い、表面粗さや親水性が大きく変化することを確認した。プリエッチングや触媒化工程を検討し、センシタイズ工程とアクチベータ工程の繰り返しによる触媒化により、PP 複合材への無電解ニッケルめっきが可能であり、CNF を複合化することで析出速度が上昇することを確認した。表面改質では UV 照射が有効であり、これは酸素結合の生成、及び表面粗化によるものと推測した。さらに、電解銅めっきを行い、密着強度を評価したところ、PP/CNF 複合材において密着強度が上がるものの、目標値を大きく下回り、今後さらに工程の改善が必要な結果であった。



富山県産業技術研究開発センター 企画管理部 博士(工学) 小幡 勤

②「表面微細構造による濡れ性制御に関する研究」の研究グループ(参加企業 1 社)では、微細構造を形成することにより発現する機能性表面形成を目的として、微細化による機能性発現のための設計ルールを定義することを試みた。ミクロンオーダーのピラー構造の試作は加工寸法精度に優れる半導体微細加工技術により行い、微細化表面の水に対する接触角を評価することで、表面構造における撥水性の理論モデルとの比較を行った。微細構造による撥水性は、液滴下部に空隙を形成する条件で実現され、さらにピン止め効果により撥水性が高まることを確認した。本テーマは、表面微細構造を応用して微小な液滴を取り扱うアプリケーションにおけるデバイス設計の手がかりを示した。



富山県産業技術研究開発センター 機械電子研究所 博士(工学) 鍋澤浩文

③「プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究」の研究グループ(参加企業2社)では、ガラス繊維強化プラスチック(以下、FRP)製品の剛性評価について、均質化解析に基づくCAE解析の適用性を検討した。均質化解析から求めた機械的材料物性値とFRP試験体の材料強度試験で得られた同物性値を用い、製品の応用範囲が広いハット型成形品を対象とした曲げ剛性のCAE解析を行った。均質化解析と材料試験で得られた物性値の5通りの組み合わせについてCAE解析を行い、ハット型成形品の曲げ剛性試験で得られた実験値との比較を通して、均質化解析の適用性を評価した。結論として、均質化解析を用いた剛性評価は製品強度設計の目安として有用であり、製品仕様に関連する物性値を一部実験値に置換することで精度の高い解析が可能になることを明らかにした。



富山県立大学 工学部 情報システム工学科 博士(政策・メディア) 岩本健嗣

④「デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善」の研究グループ(参加企業3社)では、ものづくり現場における電波同士の干渉や生産設備等の障害物による通信障害に対し、デジタルツイン技術を活用した解決策の構築を目指した。デジタルツインとは「現実空間上のモノや環境の状態を収集し、デジタル空間上にコピーし再現する技術概念」のことを言う。また、将来の事象についてデジタル空間上に再現された空間で予測することができるシミュレーション技術の一つでもある。本研究では、デジタルツインの手法、すなわち対象課題をコンピュータ・シミュレーション上で再現し、その上で解決策を見出し、現実世界にフィードバックする、といった手順を、工場内電波環境改善に適用することを試みる。具体的には工場のレイアウトと工場内の機器配置を精緻にシミュレーション空間上で再現する。これにより工場内の無線LANによる電波伝搬が、壁や機器配置にどのように影響するのかを可視化する。この可視化結果に基づき電波混信要因を特定し、実工場での機器配置の見直し方を立案することを目的とする。



今年度は、4つの研究テーマに8人の企業内若手技術者が参加した。これまでこの会では35年間に216テーマの研究を実施しており、修了生は397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、ご助言を賜ったことに深く感謝の意を表す。

研究グループの構成

I. CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製の研究グループ

研究担当者 **朝日奈 幸輝 (コーセル㈱)**

- 川野 優希 (産業技術研究開発センターものづくり)
- 岡野 優 (産業技術研究開発センターものづくり)
- 石黒 智明 (産業技術研究開発センターものづくり)
- 奈須野雅明 (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)

II. 表面微細構造による濡れ性制御に関する研究の研究グループ

研究担当者 **杉田 涼輔 (北陸電気工業㈱)**

- 升方 康智 (産業技術研究開発センターものづくり)
- 奈須野雅明 (産業技術研究開発センターものづくり)
- 室 慧悟 (産業技術研究開発センターものづくり)
- ☆小幡 勤 (産業技術研究開発センター企画管理部)

III. プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究の研究グループ

研究担当者 **永井 孝紀 (コーセル㈱)**

大上戸勇馬 (㈱タカギセイコー)

田中 和馬 (㈱タカギセイコー)

- 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)
- 吉江真太郎 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- 能登有里彩 (産業技術研究開発センター機械電子研)
- ☆鍋澤 浩文 (産業技術研究開発センター機械電子研)

IV. デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善グループ

研究担当者 **澤田 直登 (立山マシン㈱)**

沙 悠輝 (田中精密工業㈱)

長柄 直樹 (長柄鉄工㈱)

- 榊原 一紀 (富山県立大学工学部)
- ☆岩本 健嗣 (富山県立大学工学部)

註：○印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

目 次

I. CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製	1
1. 緒言	1
2. CNF/PP 複合材成形	2
3. PP 及び CNF/PP 複合材へのめっき	2
4. PP 及び CNF/PP 複合材に施しためっきの評価	6
5. 結言	6
II. 表面微細構造による濡れ性制御に関する研究	7
1. 緒言	7
2. 濡れ性と理論モデル	7
3. 表面微細構造の試作	8
4. 濡れ性評価の結果と考察	9
5. 応用に向けた設計指針	1 3
6. 結言	1 3
III. プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究	1 4
1. 緒言	1 4
2. 研究対象	1 4
3. FRP 基板の材料物性値評価	1 5
4. ハット型成形品の剛性評価	1 7
5. 結言	2 0
IV. デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善	2 1
1. 緒言	2 1
2. デジタルツインによる電波環境改善の概要	2 1
3. 工場における電波測定結果	2 2
4. シミュレーションによる工場内電波環境の再現	2 5
5. 最適コンバータ位置での通信成功率確認	2 7
6. 結言	2 7

○各研究グループの研究活動風景	-----	付-1
○「若い研究者を育てる会」研究活動の足跡	-----	付-5
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-23
○入会申込書	-----	付-24

I . CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた 高性能部品の作製

Development of Plating on CNF Composite Materials for High-Quality Parts

朝日奈 幸輝 <i>ASAHINA Koki</i>	川野 優希 <i>KAWANO Yuki</i>	岡野 優 <i>OKANO Masaru</i>
石黒 智明 <i>ISHIKURO Tomoaki</i>	奈須野 雅明 <i>NASUNO Masaaki</i>	本保 栄治 <i>HONBO Eiji</i>

Abstract

Plating technology for resin is one of the surface treatment methods that can impart new properties such as decorativeness and durability by covering the resin surface with a thin metal film. In recent years, to further weight reduction and miniaturization of electronic circuits, plating other than ABS resin (acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer) is required. In addition, with increasing interest in environmental issues, a plating process with a low environmental load is also required. On the other hand, by combining cellulose nanofiber (CNF), which is a plant-derived material, with polypropylene (PP), strength properties and dimensional stability are improved, and development is underway. We have been working on the molding of highly dispersed CNF/PP composite materials. There is also a report that the adhesion of plating is improved in CNF composite materials, and we will work on the development of plating technology with low environmental load using highly dispersed CNF/PP composite materials. The purpose of this study was to develop a plating technique using CNF/PP composite materials, to study a plating pretreatment method with low environmental load and to evaluate the mechanical and electrical properties of CNF/PP composite material plated products. As a result of examining the pretreatment method, it was possible to perform even electroplating by performing UV treatment. And the adhesion on CNF/PP composite materials was higher.

1. 緒言

樹脂へのめっき技術は、樹脂表面を薄い金属皮膜で覆うことで装飾性・耐久性などの新たな特性を付与することができる表面処理方法の1つである。現在、めっきが施されている樹脂の85～90%がABS樹脂であり、樹脂へのめっき技術の工業化のきっかけとなった材料でもある。ABS樹脂が最も使用されている理由は、ABS樹脂へのエッチング工程として、ABS樹脂表面のB(ブタジエン)成分をクロム酸/硫酸の混合液により溶解し、微孔を生成し親水性を向上させる工程により、高密着なめっきを施せることが確立したためである⁽¹⁾。近年では、使用用途の多様化により、さらなる軽量化や電子回路の微細化、環境問題への関心の高まりと共に、クロム酸を用いない環境負荷の低いめっき工程、ABS樹脂以外へのめっき技術の確立が求められている。

一方、セルロースナノファイバー(CNF)と呼ばれる、植物細胞内のセルロース繊維から作製された、植物由来の極微細な繊維材料(幅:3~100 nm、長さ:100 μm)に注目が集まっている。原料は

主に木や竹が用いられることが多く、木質パルプをさらに細かく解繊して作製される。また、フィラーとして用いて樹脂に複合することで、強度特性や寸法安定性が向上することが分かっており、CNF/PP複合材やCNF/PA複合材の開発が進められている。その中でも、CNF複合樹脂へのめっきに関する先行研究として、CNF/PA複合材へのめっき技術の研究⁽²⁾や、CNF/PP複合材へのめっき技術の研究⁽³⁾等も盛んに行われている。

我々は、これまでに高分散なCNF/PP複合材の成形に取り組んできた。CNF複合材においてCNF非複合材と比較してめっきの密着性が向上するという報告もあり⁽²⁾⁽³⁾、高分散なCNF/PP複合材を用いて環境負荷の低いめっき技術の開発に取り組んだ。

本研究では、CNF/PP複合材を用いためっき技術の開発を目的とし、環境負荷の低いめっき前処理方法の検討及びCNF/PP複合材めっき品の機械的・電気的特性の評価を行った。

2. CNF/PP 複合材成形

< 2. 1 > 含水 CNF 乾燥方法

CNF は親水性が高い材料であるため、図 1 のような含水状態で取引されることが一般的であり、疎水性熱可塑性樹脂との複合が困難とされている。そのため、フィラーとして用いる際に乾燥処理を行う必要がある。しかし、セルロース分子同士は結合しやすく乾燥時に凝集物が発生する。凝集物が発生することで優れたフィラーとしての効果が活かせず強度低下の原因となる。そのため、独自技術であるセルロース混合可塑化成形装置を用いた乾燥処理方法を採用し、高せん断を掛けながら短時間で乾燥処理を行い処理した凝集物の少ない高分散可能な CNF 乾燥材料を用いることとした (図 2)。



図 1 含水状態の CNF
Fig. 1 Hydrus CNF



図 2 乾燥状態の CNF
Fig. 2 Dry CNF

< 2. 2 > 使用材料

CNF は固形分 10% となる含水 CNF である nanoforest-S / BB-S-1 (10%) (中越パルプ工業株式会社製) を用いた。熱可塑性樹脂にはポリプロピレン (株式会社プライムポリマー製 H700: PP) を用いた。また、乾燥処理時には CNF の凝集を防ぐ目的でステアリン酸骨格を持つ分散剤を用いた。CNF と PP の界面強度の向上を目的とし乾燥 CNF と PP の混練時に無水マレイン酸変性ポリプロピレンであるリケエイド (理研ビタミン株式会社製 MG-441P: MAPP) を界面活性剤として用いた。

< 2. 3 > 混練方法及び成形方法

乾燥 CNF と PP の混練には高混練二軸押出機 (東芝機械株式会社製 TEM-48) を用いた。乾燥 CNF の含有量は CNF の固形分で複合材総量に対して 5 mass% とした。PP の含有量は複合材総量に対して 92 mass% とした。界面活性剤の含有量は複合材総量に対して 3 mass% とした。乾燥 CNF と PP と界面活性剤はドライブレンドし、混練条件はバレル温度 180 °C、材料供給量 12 kg/h、スクリュウ回転数 200 rpm とし、水冷した後ペレタイザーでペレット化した。複合材の成形には真空射出成形機 (株式会社ソデック製 MS100) を用いて、試験片形状 (60 mm × 60 mm、t=2) に成形した。CNF/PP 複合材の成形条件は、樹脂溶融温度 180 °C、金型温度 40 °C、冷却時間 20 sec、射出時間 1sec、保圧力 45 MPa、保圧時間 10s とした (図 3)。また、比較材料とし PP のみを射出成形した試験片を用意した。PP のみの成形条件は、CNF/PP 複合材成形に対し保圧力を 50 MPa に置き換えた条件を用いた。

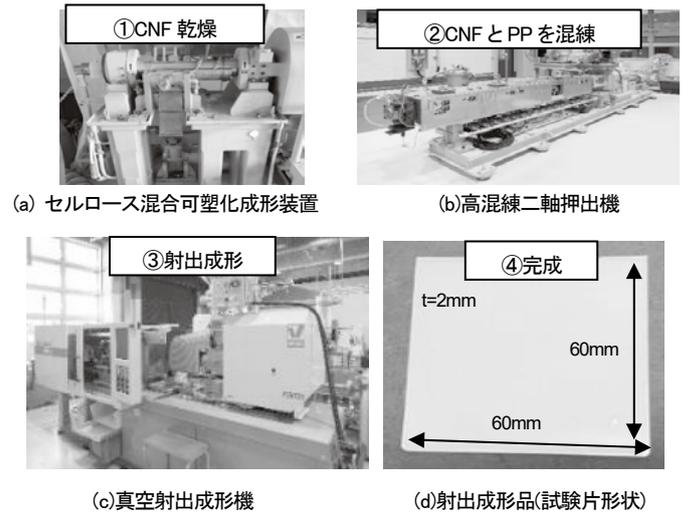


図 3 CNF/PP 複合材成形工程

Fig. 3 CNF/PP composite molding process

< 2. 4 > CNF/PP 複合材の CNF 分散状態

実際に成形した CNF/PP 複合材の CNF 分散状態を X 線 CT (ブルージャパン株式会社製 SKYSCAN1271) により確認した (図 4、5)。低分散 CNF/PP に比べて、高分散 CNF/PP は、表面から確認できる凝集物も非常に小さいことが確認できた。また、内部を比較しても、全体に分散されていることも確認した。

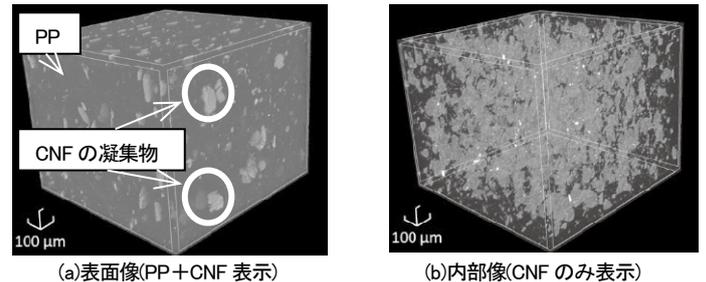


図 4 低分散 CNF/PP 複合材 X 線 CT 像

Fig. 4 Low-dispersion CNF/PP composite mass X-ray CT image

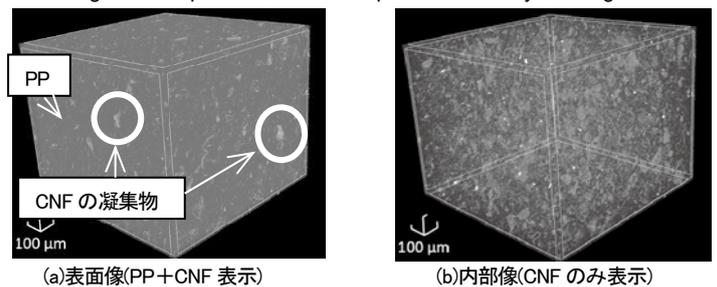


図 5 高分散 CNF/PP 複合材 X 線 CT 像

Fig. 5 High-dispersion CNF/PP composite mass X-ray CT image

3. PP 及び CNF/PP 複合材へのめっき

PP へのめっきの従来方法としては、PP に ABS 樹脂のブタジエン成分に相当するものをブレンドし、クロム酸を用いたエッチングを行う方法が確立されている。本研究では、エッチングに代わ

る環境負荷低い方法を考案し、表面をなるべく平滑に保った状態でのめっき処理を目的としている。行う予定のめっき工程を図 6 に示す。各工程の中でも、洗浄、プリエッチング、表面改質処理及び触媒化工程を前処理工程として、前処理工程の環境負荷低減を目的とし、めっき工程の検討を行った。

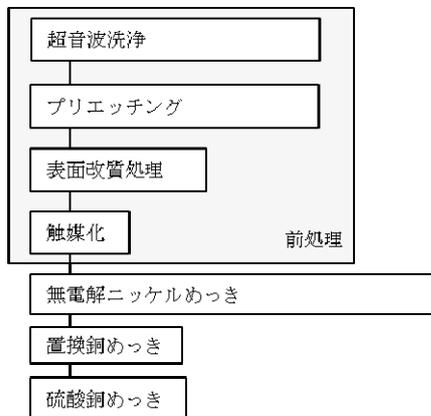


図 6 PP 及び CNF/PP 複合材のメッキ工程
Fig. 6 Plating process for PP and CNF/PP composites

< 3. 1 > 表面改質処理

PP 及び CNF/PP 複合材への表面改質処理は、UV 処理および O₂ プラズマ処理を用いた。UV 処理には、UV 表面加工装置（サンエナジー株式会社製 SKC1102Y-01）を用いた。低圧水銀ランプを採用しており、波長は 254 nm × 185 nm、照射距離は 35 mm とし、照射時間は 0、5、15、30 min の 4 水準で処理を行った。O₂ プラズマ処理には、低温灰化炉（ヤナコ分析工業株式会社製 LTA-102）を用いた。真空度は 10 Torr、O₂ 流量は 30 mL/min、エネルギーは 50 W とし、処理時間は 0、5、10、15 min の 4 水準で処理を行った（表 1）。

表 1 表面改質処理条件一覧表

Table 1 List of surface modification treatment conditions

項	処理方法	処理時間(分)
1	UV 処理	0~30
2	O ₂ プラズマ処理	0~15

UV 処理、O₂ プラズマ処理を行った PP 及び CNF/PP 複合材に対して、水滴接触角測定を用いて、処理時間毎の処理状態を評価し、接触角が小さく親水性が高くなる処理時間を最適条件とした。また、表面性状の及ぼす影響も併せて確認するために、表面粗さ測定を行った。水滴接触角測定には、水滴接触角測定器（協和科学株式会社製 CA-D）を用いた。水滴量は約 0.52 μL で直径約 1 mm の水滴とした。表面粗さ測定には、非接触 3 次元測定器(ZygoCorp. 製 Nexview)を用いた。垂直走査低コヒーレンス干渉法を用いた測定器で、対物レンズ 20 倍、ズーム倍率 0.5 倍、測定範囲は 0.863 mm × 0.863 mm に設定して測定を行った。

UV 処理、O₂ プラズマ処理に対して、評価結果を図 7 に示す。

UV 処理を行うことで、接触角の大きな変化は確認できなかったが、CNF/PP において 30min で最も接触角が小さくなっていることを確認できた。また、表面粗さは大きく変化していることが確認できた。接触角の結果から、最適な UV 処理時間を 30 min とした。O₂ プラズマ処理を行うことで、接触角が大きく変化しており、CNF/PP において、15min で最も接触角が小さくなっていることを確認できた。表面粗さについては、変化が確認できなかった。接触角の結果から、最適な O₂ プラズマ処理時間を 15 min とした。

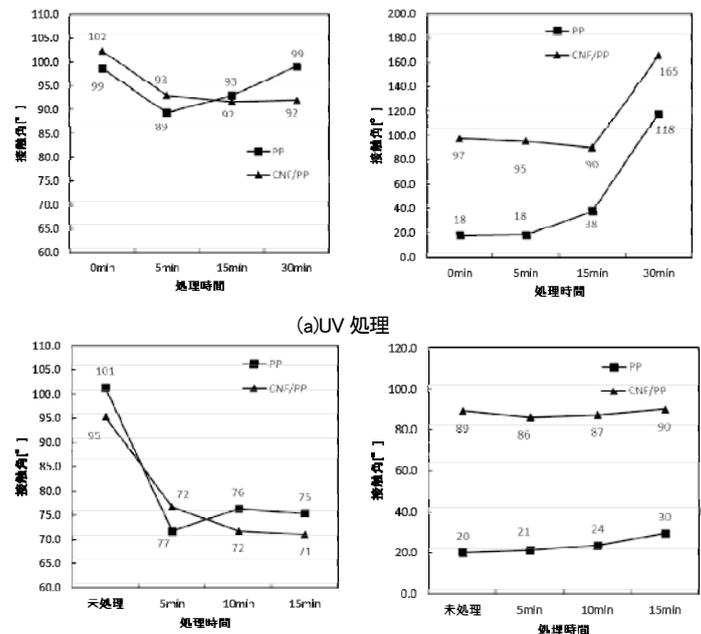


図 7 UV 及び O₂ プラズマ処理時間における、接触角及び表面粗さ
Fig.7 Contact angle and surface roughness during UV and O₂ plasma treatment

< 3. 2 > 前処理及び無電解ニッケルめっき

< 3. 2. 1 > 前処理及び無電解ニッケルめっき条件の検討①
超音波洗浄は、溶剤をエタノールとし、室温で 10 min、PP 及び CNF/PP 複合材に対して行った。触媒化は、CNF が触媒であるパラジウムの吸着核となる報告²⁾を参考とし、センシタイズ-アクチベータ法のアクチベータ法のみを用いた。アクチベータは、溶液を塩化パラジウム 50 mg/L、塩酸 100 mL/L とし、35 °C に調整し、PP 及び CNF/PP 複合材を 5 min 浸漬した。

無電解ニッケルめっきは、溶液をナイコ 8K01 A（キザイ株式会社製）35 mL/L、ナイコ 8K01 B（キザイ株式会社製）35 mL/L、ナイコ 8K01 C（キザイ株式会社製）50 mL/L、25 %アンモニウム水 20mL/L とし、pH8.5~9.0、35 °C に調整し、PP 及び CNF/PP 複合材を 10 min 浸漬した。

無電解ニッケルめっき処理までの工程を図 8 に示す。図 8 の条件で無電解ニッケルめっきを行ったところ、無電解ニッケルめっきが析出しなかった。結果に対する考察としては、触媒である塩

化パラジウムが PP 及び CNF/PP 複合材の表面に付着していないことが考えられる。そのため、先行研究³⁾を参考に、超音波洗浄をブリエッチングに置き換え、アルカリ処理、酸浸漬、コンディショニングを追加で行うこととした。

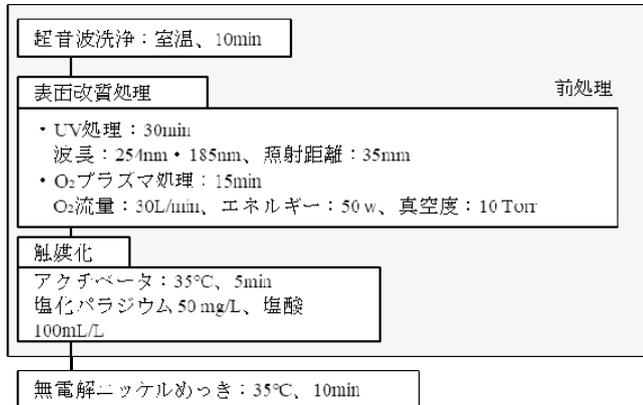


図 8 PP 及び CNF/PP 複合材のメッキ工程(その 1)

Fig. 8 Plating process of PP and CNF/PP composite material (Part 1)

< 3. 2. 2 > 前処理及び無電解ニッケルめっき条件の検討②

改良した無電解ニッケルめっき処理までの工程のフローを図 9 に示す。ブリエッチングで用いた溶液は、キシレンとし 65 °C で調整したキシレンに PP 及び CNF/PP 複合材を 5 min 浸漬した。アルカリ処理で用いた溶液は、水酸化ナトリウム 50 g/L として、65 °C に調整し、PP 及び CNF/PP 複合材を 2 min 浸漬した。コンディショニングで用いた溶液は、CP コンディショナーBD (キザイ株式会社製) として、室温にて PP 及び CNF/PP 複合材を 5 min 浸漬した。酸浸漬に用いた溶液は、塩酸 10 mL/L として室温にて PP 及び CNF/PP 複合材を 1 min 浸漬した。

上記の条件で無電解ニッケルめっきを行ったところ、無電解ニッケルめっきが析出しなかった。原因としては、CNF/PP 複合材の表面に、触媒の吸着する核となる CNF が存在していないため、触媒であるパラジウムが CNF/PP 複合材の表面に付着できていないことが考えられる。そのため、センシタイズ工程を追加して CNF の代わりにスズを付着させることとした。また、センシタイズ工程とアクチベータ工程を繰り返すこととした⁴⁾。なお、条件の複雑化を防ぐために、表面改質処理を UV 処理のみとし、< 3. 2. 2 > で追加したアルカリ処理、コンディショニング、酸浸漬を行わないこととした。

< 3. 2. 3 > 前処理及び無電解ニッケルめっき条件の検討③

再検討した、工程のフローを図 10 に示す。センシタイズで用いた溶液は、塩化スズを 0.5 g/L、塩酸を 5 mL/L として、室温にて調整した。センシタイズ工程の追加に伴い、アクチベータ工程で用いた溶液の組成の見直しを行った。溶液は、塩化パラジウムを 0.1 g/L、塩酸を 5 mL/L として、室温にて調整した。処理時要件は、センシタイズ溶液に PP 及び CNF/PP 複合材を 1 min 浸漬し

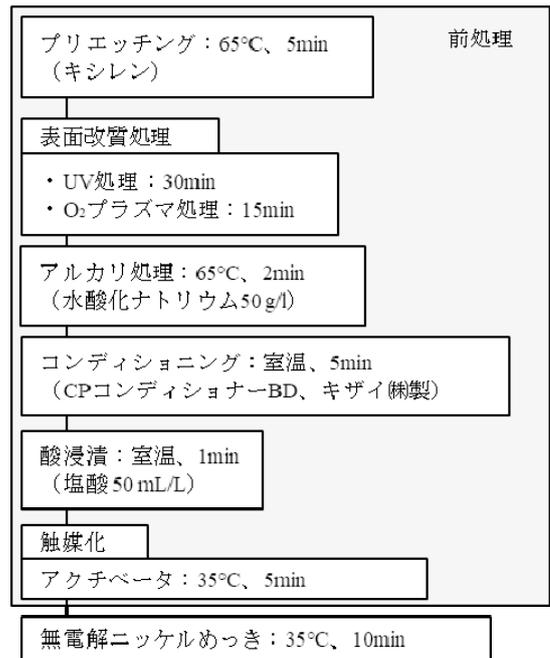


図 9 PP 及び CNF/PP 複合材のメッキ工程(その 2)

Fig. 9 Plating process of PP and CNF/PP composite material (Part 2)

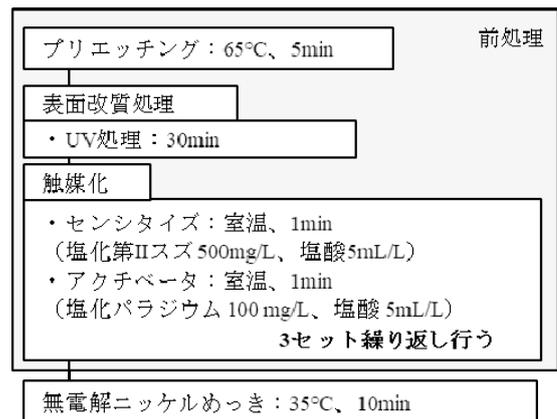


図 10 PP 及び CNF/PP 複合材のメッキ工程(その 3)

Fig. 10 Plating process of PP and CNF/PP composite material (Part 3)

水洗、その後アクチベータ溶液に 1 min 浸漬後水洗を 1 セットとし、3 セット行った。その後、無電解ニッケルめっき溶液に 10 min 浸漬した。

上記の条件で無電解ニッケルめっきを行ったところ、UV 処理面にのみめっきの析出を確認することができた (図 11)。上記条件でめっきが析出した要因としては、センシタイズ工程によりスズが PP 及び CNF/PP 複合材の表面に付着し、触媒であるパラジウム吸着の核として働いたためと考えられる。また、酸性の無電解ニッケルめっき液を用いて処理を行ったところ、PP に対して CNF/PP 複合材は半分の時間でおよそ同等の状態となったことから、CNF/PP 複合材は PP に対して、めっき析出速度において優位であると考えられる。

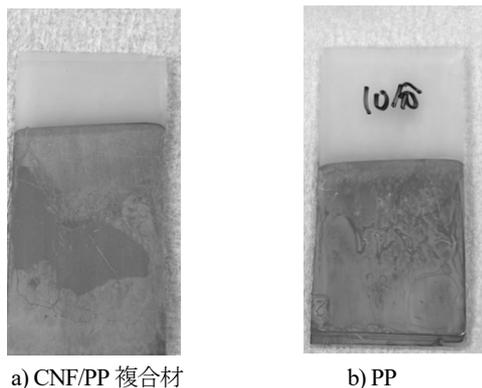


図 11 無電解ニッケルめっき処理後の PP 及び CNF/PP 複合材
Fig. 11 PP and CNF/PP composites after electroless nickel plating

< 3. 2. 4 > 無電解ニッケルめっき析出メカニズムの検討

無電解ニッケルめっき析出に至るメカニズムを解明するために3点調査を行った。1点目はCNF/PP複合材の表面におけるCNFの存在の有無を確認するために赤外分光光度計FT/IR-6700/IRT5200（日本分光株式会社製）を用いて赤外分光分析を（IR分析）を行った。分析結果より、PPとCNF/PP複合材の分析結果に大きな差が見られないことから、PP及びCNF/PP複合材表面にはCNFが検出されておらず、存在しないか検出されない程度の極微量しか存在していないと考えられる（図12）。2点目は、UV及びO₂プラズマ処理面にC=Oの結合が存在していることを確認するために、PP及びCNF/PP複合材の処理面に対してIR分析を行ったところ、未処理のものに対して図中枠線部にC=O結合のピークが見られないことおよびO₂プラズマ処理およびUV処理したサンプルに対してC=O結合のピークが見られることを確認した（図13）。また、O₂プラズマ処理よりもUV処理の方がC=O結合のピークが大きいことを確認した。3点目は、プリエッチング後のUV及びO₂プラズマ処理後の表面粗化状態を確認するために、非接触3次元測定器を用い処理面の表面粗さを測定した。その結果UV及びO₂プラズマ共に表面粗さが増加していることが確認できた（表2）。以上の結果を踏まえて、PP及びCNF/PP複合材に対する無電解ニッケルめっき析出メカニズムにおける要点を以下にまとめた。

- ① センシタイズ工程（スズの付与）は必要である。
- ② センシタイズ工程とアクチベータ工程を繰り返し行うことが無電解ニッケルめっきを析出させるうえで有効である。
- ③ UV処理により発生した、酸素原子の付与もしくは表面粗化が無電解ニッケルめっきを析出させるうえで有効である。
- ④ PPに対し、CNF/PP複合材の方が、無電解ニッケルめっき析出速度において優位である。

< 3. 3 > 置換銅めっき及び、硫酸銅めっき処理

< 3. 2 >で無電解めっき処理を施すことができた成形品に置換めっき及び硫酸銅めっきを実施した。硫酸銅めっき処理までの

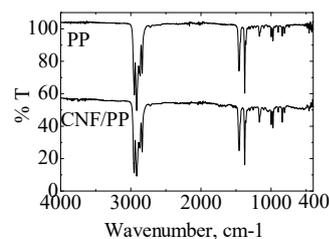


図 12 PP 及び CNF/PP 複合材の IR 結果

Fig.12 IR results of PP and CNF/PP composites

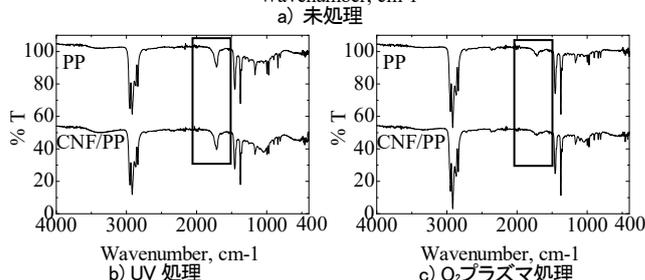
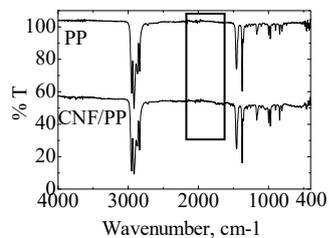


図 13 表面改質処理後の PP 及び CNF/PP 複合材に対する IR 結果
Fig.13 IR results for PP and CNF/PP composites after surface modification treatment

表 2 表面改質処理後の CNF/PP の表面粗さ

Table 2 Surface roughness of CNF/PP after surface modification treatment

	表面粗さ(面の算術粗さSa (nm))		
	未処理	プリエッチング +UV(30分)	プリエッチング +O ₂ プラズマ(15分)
CNF/PP	97	182	303
PP	23	92	2157

工程を図14に示す。置換銅めっき溶液は、CP-SCA(キザイ株式会社製)を10 mL/L、濃硫酸30 mL/Lで調整し、温度25℃で使用した。硫酸銅めっき溶液は硫酸銅200 g/L、硫酸60 g/L、塩素イオン60 ppm、KOTAC-MU（大和特殊株式会社製）4 mL/L、KOTAC-1（大和特殊株式会社製）0.5 mL/Lを用いて、室温にて使用した。硫酸銅めっき処理を行う際には、めっき析出面積を一定にするためにめっき面が30 mm×30 mmになるようにマスキングテープを張り付けた。また、導電性を向上させるために、試験片とワニ口クリップの間に銅箔を挟んだ（図15）。工程としては、PP及びCNF/PP複合材を置換銅めっき溶液に5 min 浸漬し水洗を行った。その後、電解銅めっき溶液に浸漬し陽極側に含銅板、陰極側にPPもしくはCNF/PP複合材をセットし、60 min、2.4 Aの直流電流を印加した。その結果、置換銅めっき、硫酸銅めっき共にPP及びCNF/PP複合材のUV処理面に析出したことを確認した（図16）。

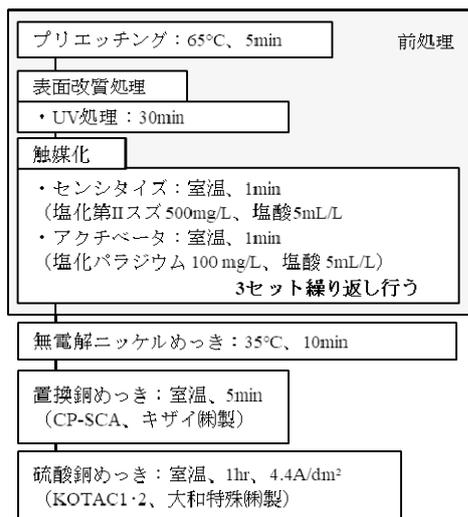


図 14 PP 及び CNF/PP 複合材のめっき工程(その 4)
Fig. 14 Plating process for PP and CNF/PP composites (Part 4)

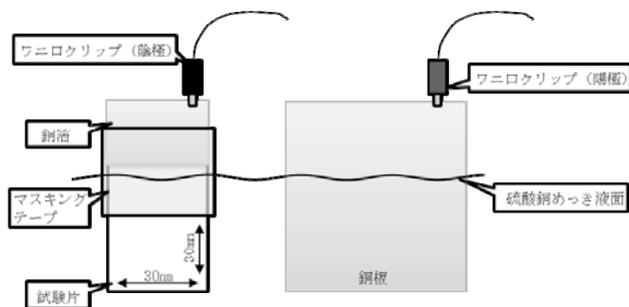
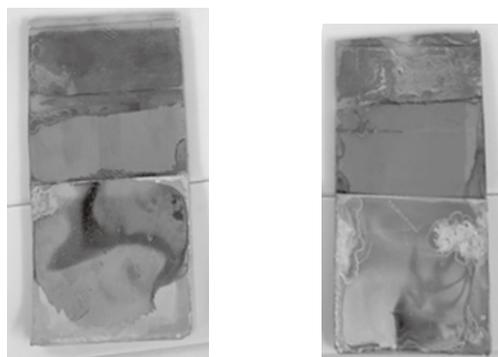


図 15 硫酸銅めっき工程イメージ
Fig. 15 Image of copper sulfate plating process



a) CNF/PP 複合材 b) PP
図 16 硫酸銅めっき処理後の PP 及び CNF 複合材
Fig.16 PP and CNF composite after copper sulfate plating

4. PP 及び CNF/PP 複合材に施しためっきの評価

< 3. 3 >で行った硫酸銅めっき後の PP 及び CNF/PP 複合材 (図 16) を用いて、密着強度試験を行った。密着強度試験は、硫酸銅めっき後の試料へ幅 10 mm の切れ込みを入れて被膜の一部を試料から引きはがし、引きはがした被膜にセロハンテープを張

り付け治具の掴み代を作製し、専用の治具で掴み、90° 方向へ、引き剥がし速度 10 mm/min で剥離した際の密着強度を、卓上小型試験機 (島津製作所株式会社製 EZTest) を用いて測定した。測定データの取得間隔は 10 msec とし、密着強度の平均値を求めた。

結果を表 3 に示す。PP においては、硫酸銅メッキ後に乾燥させた際に、生成した金属皮膜が浮き上がり、剥がれ落ちたため密着強度を測定することができなかった。CNF/PP 複合材においては、密着強度は平均 0.221N/cm であった。

結果より、PP に対して CNF/PP 複合材は密着強度が高いことが分かり、めっき処理を行う上で、CNF の複合が有効であると考えられる。しかし、JIS H 8630 で設定されている必要とされる密着強度の目標値 5.0 N/cm には及ばなかったことから、図 14 に示すめっき工程を再度検討する必要がある。PP 及び CNF/PP 複合材表面に存在する C=O の結合および微細な凹凸が存在することでめっき処理できることを確認できており、めっきの密着強度に影響を及ぼしていると考えられることから、成形品表面に存在する酸素 (C=O 結合) の量や凹凸を変化させていくことで、密着強度の向上が期待できることが考えられる。

表 3 硫酸銅めっき被膜平均密着強度測定結果

Table 3 Surface roughness of CNF/PP after surface modification treatment

	平均密着強度(N/cm)
CMF/PP	0.221
PP	測定不可(※)

5. 結言

本研究では、CNF/PP 複合材を用いためっき技術の開発を目的とし、環境負荷の低いめっき前処理方法の検討及び CNF/PP 複合材めっき品の機械的評価を行った。

無電解ニッケルめっき処理においては、センシタイズ工程が必要であること、センシタイズ工程とアクチベータ工程を繰り返すこと、酸素原子の付与もしくは表面を粗化することが無電解ニッケルめっきを析出させるうえで有効であることを確認できた。また、CNF を複合することでめっき析出速度が上昇すること、硫酸銅めっき処理において、PP 単体に対し、CNF/PP 複合材は密着強度が高いことを確認できた。

文 献

- (1) 斎藤 圃、山下 嗣人、小岩 一郎、本間 英夫、入門新めっき技術、株式会社工業調査会、(2007)
- (2) 遊佐 敦、めっき成形体の製造方法及びめっき成形体、特許第 6830596 号、2021.1.29
- (3) 田中 宏樹、望月 玲於、篠原 恵吾、高密度な樹脂めっきの作製：ポリカーボネート、PP/CNF 複合材へのめっき技術の検討、静岡県工業技術研究所研究報告、(2021)
- (4) 電気化学会編、電気化学測定マニュアル実践編、丸善株式会社、(2002)

Ⅱ. 表面微細構造による濡れ性制御に関する研究

Study on Wettability Control by Formation of Surface Microstructure

杉田 涼輔
SUGITA Ryosuke

升方 康智
MASUGATA Yasutomo

室 慧悟
MURO Keigo

奈須野 雅明
NASUNO Masaaki

小幡 勤
OBATA Tsutomu

Abstract

Technologies to control the surface wettability of materials have attracted attention in the fields of construction materials, microfluidic devices, and energy devices. It is known that wettability varies not only with the surface material but also with the surface microstructure. It has been pointed out that it is possible to fabricate superhydrophobic surfaces that cannot be achieved by coating alone, and that it is possible to turn hydrophilic surfaces into hydrophobic surfaces without changing the surface material. In this study, we fabricated pillar array (cylinder) surface microstructure on Si surfaces using MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) technology, which allows fabrication of ultrafine structures with a high degree of freedom. Using a contact angle measurement device, we confirmed the influence of surface microstructural parameters on wettability and compared it with a theoretical model. The research aims to establish a wettability control method using the surface microstructure and to explore its application to droplet transport, energy devices, and so on.

1. 緒言

材料の表面濡れ性を制御する技術は、建設資材、マイクロ流路デバイス、エネルギーデバイスなどの様々な分野で注目を集めている。

濡れ性は表面材質のみならず、表面微細構造によっても変化することが知られており、撥水膜コーティングだけでは実現できない超撥水表面の作製や、表面の材質を変えずに親水表面を撥水表面にすることができる可能性などが期待されている⁽¹⁾。

本研究では、超微細構造を高い自由度で作製可能な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて、Si 表面にピラーアレイ (円柱) 状の表面微細構造を作製した。接触角測定装置を用いることで表面微細構造上のパラメータの濡れ性への影響を確認し、理論モデルとの比較を行った。液滴輸送、エネルギーデバイスなどへの応用に向け、表面微細構造による濡れ性制御の手法を確立することを目指した。

2. 濡れ性と理論モデル

< 2. 1 > 濡れ性とは

ハスの葉は表面に植物由来であるプラントワックスが付いていることと、突起がある微細構造を持つことから高い撥水性を有している。このハス科の植物に見られる撥水の性質はロータス効果と呼ばれている。このハスの葉の構造はヨーグルトのふたや濡れない傘などに応用されている。ハスの葉が持つ撥水性のように、

固体表面に対する液体の付着しやすさを表す性質のことを濡れ性と呼び、主に濡れが良くはじきが悪いときは親水性、濡れが悪くはじきが良いときは撥水性と言われる。液滴と固体表面のなす角度は接触角と呼ばれており、図 1 のようにこの角度の大小により濡れ性を評価する。10°以下で超親水性、10~90°で親水性、90~150°で撥水性、150°以上で超撥水性である。濡れ性は、表面張力 (表面積をできるだけ小さくしようとする力) によって決まる。表面張力はさらに、表面状態 (自由エネルギー) と接触面の微細形状によって決まる。このことから、濡れ性の制御方法は主に二つあるといえる。一つ目は、ハスの葉表面のプラントワックスを模倣したテフロンなどフッ素系の撥水性の高い材料を、物質の表面にコーティング塗布することで撥水性を高くする表面処理である。表面処理はコーティングをするだけで撥水性を得られるが、コーティングの剥離など耐久性に課題があり、接触角の上限は 115°程度とされている。二つ目は、ハスの葉表面の突起構造を模倣して物質の表面に微細構造を形成する表面微細加工である。表面微細加工は微細構造を高い自由度で作製可能であり、表面処理に比べて耐久性が高く、超撥水性である接触角 150°以上の撥水性実現の可能性がある。以上から我々は表面処理に比べて耐久性が高く、より高い撥水性の実現が可能な表面微細加工による濡れ性制御を試みた。機械加工やナノインプリントなどによる表面微細構造の作製は可能だが、超微細構造を高い自由度で作製可能で、電子部品にも応用可能という理由から、本研究では MEMS 技術を用いて Si (シリコン) ウエハー上に表面微細構造を作製することとした。

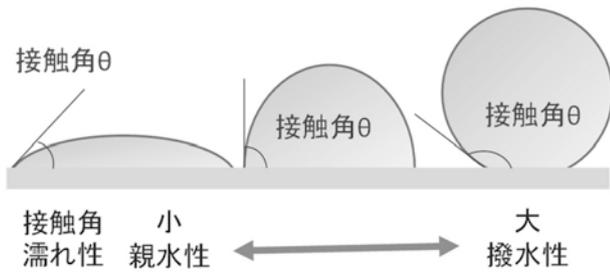


図1 接触角による濡れ性の評価

Fig. 1 Evaluation of wettability by the contact angle

< 2. 2 > 理論モデル

固体表面の濡れ性のマクロ的評価方法について説明する⁽²⁾。固体表面が平滑面の場合は図 2(a)の Young's model が適用され、固体-液体-気体の三重点における界面張力のつり合いの関係から、式(1)の Young の式により接触角が表現される。

$$\gamma_{SL} - \gamma_{SV} + \gamma_{LV} \cos \theta_Y = 0 \quad (1)$$

θ_Y は Young's model における接触角、 γ_{SL} 、 γ_{SV} 、 γ_{LV} はそれぞれ固体と液体、固体と気体、液体と気体の界面における表面張力である。

また、固体表面に微細構造が存在する場合は、図 2(b)の Wenzel's model で表され、式(1)は表面微細構造のパラメータにより式(2)のように表される。

$$\cos \theta_W = r' \cos \theta_Y \quad (2)$$

ここで r' は構造表面と平滑面の表面積の比率を表す。式(2)から Wenzel's model において、構造表面による表面積の増加は、親水性あるいは撥水性を強化する効果があることがわかる。

さらに、液滴の接地面が表面張力の異なる素材で構成されている場合(θ_A 、 θ_B)は図 2(c)の Cassie-Baxter's model が適用され、式(3)のように表される。

$$\cos \theta_C = f \cos \theta_A + (1 - f) \cos \theta_B \quad (3)$$

微細構造内に空隙が存在する場合を想定し、 θ_B を 180° とすると、空隙が存在する微細構造における接触角は、Cassie-Baxter's model を用いて式(4)のように表現される。

$$\cos \theta_C = f \cos \theta_Y + f - 1 \quad (4)$$

ここで f は接触角が θ_A の素材の表面積分率である。式(4)から f が小さく、空隙の占める割合が大きくなるほど撥水性は高くなることが分かる。また、撥水性の理論モデルとしては図 2(d)のピン止め効果があるが⁽³⁾、これは表面の凹凸構造によって液面の進行が阻止され、凹凸を超えられないため、液滴の接地面積が小さくなり、通常の接触角より大きい接触角となるという理論である。

3. 表面微細構造の試作

< 3. 1 > 微細構造形成プロセス

本研究では Si ウエハー上に、半導体微細加工技術を用いて表面微細構造を作製した。その作製工程の流れを図 3 に示す。

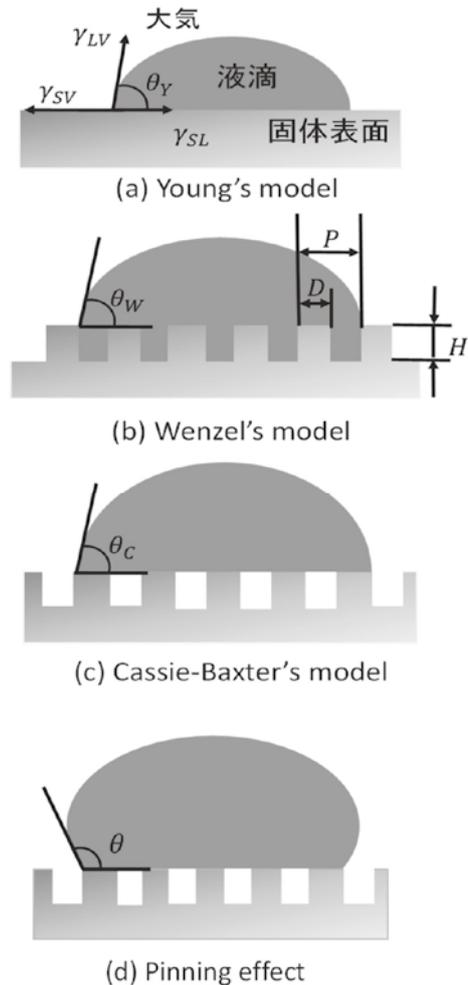


図2 撥水性の理論モデル

Fig. 2 Theoretical model of water repellency

基板洗浄後にホットプレートにて塗布前ベーク(130 °C、1 min)をし、HMDS(ヘキサメチルジシラザン)処理後にフォトレジストを塗布する。フォトレジストは高解像度が得られやすいポジ型を選択し、スピナーで塗布後、プリベーク(90 °C、90 sec ホットプレート)を行った。続いてフォトマスクによるコンタクト露光後、現像、ポストベーク(120 °C、90 sec ホットプレート)によりレジストマスクを形成した。また、エッチングガス(SF₆)と側壁保護膜形成ガス(C₄F₈)を交互に導入してエッチングする Bosch プロセス(Deep-RIE)を利用することで、通常の RIE (Reactive Ion Etching) よりも高アスペクト比の垂直エッチングを実現した。

< 3. 2 > 表面微細構造の設計値

作製した表面微細構造のイメージ及びパラメータを図 4 に、試作の設計値を表 1 に示す。本研究で扱う主なパラメータは、円柱の直径であるピラーサイズ D 、ピッチ P 、エッチング深さ H 、隣り合う円柱の間隔であるスペース s である。試作 1 ではピラーサイズ

D とスペース s が同じ値となり、ピッチ P が $P = 2D$ となる。試作2ではピラーサイズ D を $28\ \mu\text{m}$ と $86\ \mu\text{m}$ で固定し、スペース s を変化させることで、ピッチ P が $P = D + s$ となるように設計した。

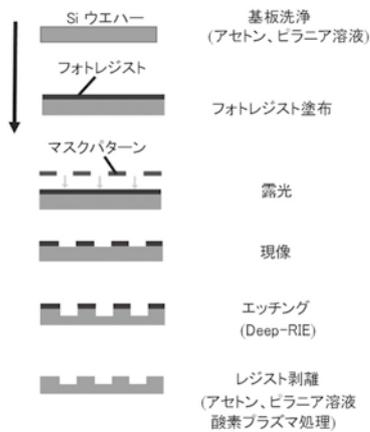


図3 MEMS 技術による表面微細構造の作製工程

Fig. 3 Fabrication process of surface microstructures by MEMS technology

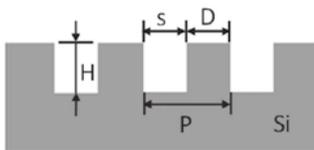


図4 表面微細構造のパラメータ

Fig. 4 Parameters of surface microstructure

表1 試作1, 2の設計値

Table1 Design values of prototypes 1 and 2

	試作1	試作2
ピラーサイズ $D[\mu\text{m}]$	3.5, 9.16 28, 48, 86, 150	28, 86
ピッチ $P[\mu\text{m}]$	$P=2D$	$P=D+s$
エッチング深さ $H[\mu\text{m}]$	2.4, 7	2.5, 10
スペース $s[\mu\text{m}]$	D	ピラーサイズ $28\ \mu\text{m}$ 11, 15, 20, 28 37, 50, 67, 110 ピラーサイズ $86\ \mu\text{m}$ 14, 19, 26, 35 47, 64, 86, 115

< 3. 3 > 試作した表面微細構造の形状評価

試作が設計値通りの表面微細構造になっていることを確認するために、非接触3次元形状測定器(ZYGO 製、Nexview™)と走査型電子顕微鏡(SEM: 日本電子製、JSM-IT300LV)を用いて形状評価を

行った。Nexview™ ではエッチング深さ $H[\mu\text{m}]$ を測定し、SEM 像よりピラーサイズ $D[\mu\text{m}]$ 、ピッチ $P[\mu\text{m}]$ を測定した。非接触3次元形状測定器、SEM による測定結果を図5、図6に示す。

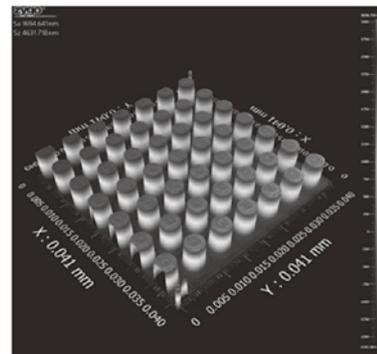


図5 非接触3次元形状測定器により測定した微細構造の表面形状

Fig. 5 Surface shape of the microstructure measured by Nexview™

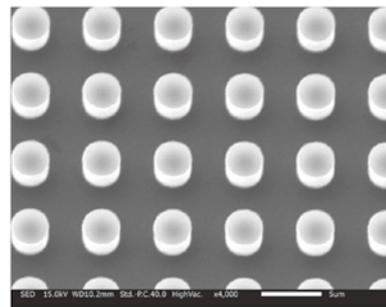


図6 微細構造のSEM像

Fig. 6 SEM image of the microstructure

加工形状は、設計値から多少のずれはあるものの、目的の円柱ピラー状の表面微細構造が形成されていることが確認できた。

4. 濡れ性評価の結果と考察

< 4. 1 > Si 表面状態の制御方法

Bosch プロセスでは、側壁保護膜形成時に撥水膜となるフルオロカーボンポリマーを形成するため、微細構造の表面本来の濡れ性を評価するためには、当該ポリマーの除去などをする必要がある。表面状態の制御方法の一連の流れを図7に示す。Deep-RIE 後は、図7のようにウエハー表面全体に撥水膜であるフルオロカーボンポリマーが形成されている。その後、レジスト除去のためにアセトン洗浄とピラニア洗浄をするが、この時点ではまだエッチング面にフルオロカーボンポリマーが残っており、一部が撥水性になるため正確な濡れ性の評価ができない。そこでフルオロカーボンポリマーを完全に除去するために $100\ \text{W}$ 、 $1\ \text{min}$ で酸素プラズマによる灰化処理を行う。これによりポリマーを完全に除去できるが、同時に酸化してできた酸化シリコン(SiO_2)の表面に官能基

(OH)が大量に形成されるため、非常に強い親水性に変化する。正確な濡れ性の評価のため、この状態からバッファードフッ酸(BHF)による酸化膜エッチングをすることでSi表面に水素による単原子層を形成し、均一なウエハー表面状態を得た。この状態をベースに、設計条件が異なる試作における接触角を測定し、比較することで濡れ性を評価する。

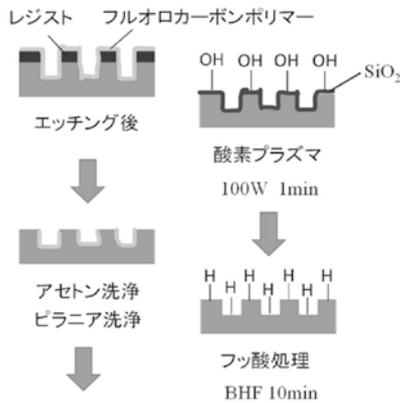


図7 Si表面状態の制御方法

Fig. 7 Si surface state control method

< 4. 2 > 接触角の測定方法

図8の接触角測定装置を用いて、液滴が静的な状態でSi表面微細構造との接触角を測定した。測定はフッ酸処理後直ちに行った。液滴は純水を使用し、滴下量は2.85 μL とした。微細構造を液滴に接触させることで滴下させた。図8のように、測定した角度の2倍が実際の接触角となる $\theta/2$ 法を用いて接触角を測定した。

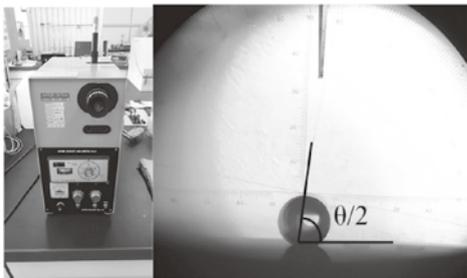


図8 接触角測定時の様子

Fig. 8 Appearance of contact angle measurement

< 4. 3 > 接触角測定結果

ピラーサイズ D とエッチング深さ H の濡れ性への影響を評価する目的とした試作1におけるエッチング深さ2 μm 、4 μm 、7 μm でのピラーサイズ D と接触角 θ の測定結果を図9に示す。ここで、測定結果は、液滴を微細構造があるパターン部に滴下した場合の結果であり、イニシャルとなる微細構造がない平坦部に液滴を滴下した接触角については約70°付近であり、この結果は省略する

ものとする。この結果から、 $H=2\mu\text{m}$ においては $D=5\mu\text{m}$ 以下で接触角90°以上となった。 $H=4\mu\text{m}$ においては、ピラーサイズ $D=49\mu\text{m}$ 以下、7 μm においては $D=86\mu\text{m}$ 以下で接触角が140°程度となった。

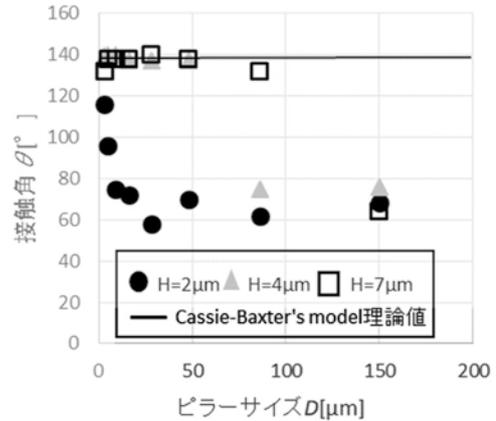


図9 試作1における接触角の測定結果

Fig. 9 Contact angle measurement results for Prototype 1

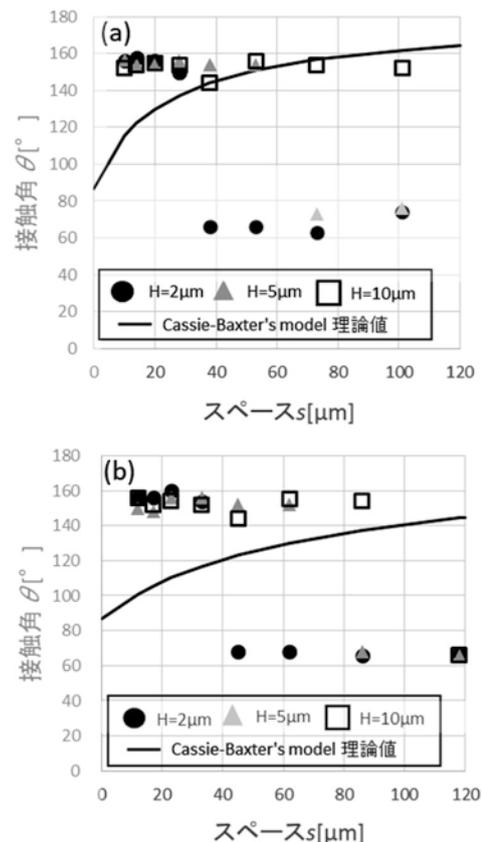


図10 試作2における接触角の測定結果

(a) $D=28\mu\text{m}$ (b) $D=86\mu\text{m}$

Fig. 10 Contact angle measurement results of Prototype 2 (a) $D=28\mu\text{m}$ (b) $D=86\mu\text{m}$

また、スペース s とエッチング深さ H の濡れ性への影響を見ることを目的とした試作2におけるピラーサイズ $28\ \mu\text{m}$ 、 $86\ \mu\text{m}$ でのスペース s と接触角 θ の測定結果を図10に示す。この結果からは、図9と同様にエッチング深さ H が深いほど撥水性は高くなっているが、スペース s による接触角 θ の変化は見られなかった。

ここで試作1、2の接触角測定結果(図9、10)と撥水性の理論モデルを比較、検討する。試作1、2のどちらも平坦部で接触角が約 70° と親水性を示すことから、微細構造が存在する場合、親水性な面はさらに親水性になるWenzel's modelは除外される。次に、平坦面において親水性で、微細構造のある場合 140° 以上と撥水性となっていることから、パターン内部に空気が入り込むCassie Baxter's modelとの比較をする。この理論モデルにおける理論値は式(3)よりSiの表面積分率 f により決まる。 f の計算方法を図11および式(5)に示す。ここで、 $P = xD$ であり x はピッチ P とピラーサイズ D の比である。式(3)と f の式を用いることで求めた試作1、2におけるCassie Baxter's modelの接触角の理論値を図9、10に示す。

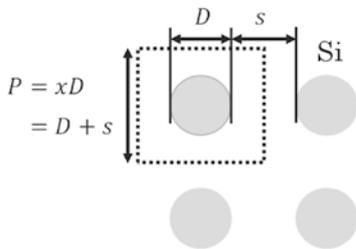


図11 Siの表面積分率 f の計算

Fig. 11 Calculation of Si surface area fraction f

$$f = \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}{(xD)^2} = \frac{\pi}{4x^2} \quad (5)$$

試作1(図9)では $P = 2D$ と一定であるためSiの表面積分率 f は一定となり、接触角 θ の理論値は定数になる。一方、試作2(図10)ではスペース s の変化に伴い x が変化するため、 s に依存してSiの表面積分率 f が変化し、接触角 θ の理論値は変化する。

試作1(図9)では D が $3\sim 86\ \mu\text{m}$ の、高い撥水性が得られた領域でCassie Baxter's modelにおける接触角の理論値に近い結果が得られたのに対して、試作2(図10)では理論値とほとんど合致しなかった。以上から、試作1、2(図9、10)の結果は、Wenzel's modelとCassie Baxter's modelでは上手く説明できないと考えられる。前述の理論モデルで述べたように、表面微細構造の撥水性の理論モデルにはピン止め効果があり、この効果を考慮して接触角測定の結果について検討を試みる。

< 4. 4 > ピン止め効果の確認

上記の結果はピン止め効果により得られたと想定し、実際にピン止め効果により撥水性が高くなっていることを確認するための実験を行った。Si上にピラーサイズが $0.75\ \text{mm}$ の円柱を作製し、1つの円柱上に1個の液滴を滴下し、接触角を測定した(図12)。この状態では、液滴の接地面に微細構造は存在せず、微細構造による

接触角への影響を除外し、界面張力のつり合いによって生じるピン止め効果による接触角への影響のみを評価できる。図14における測定の結果、接触角は 114° となり、試作1、2の平坦部における接触角 70° よりも大きくなることが確認され、実際にピン止め効果により接触角が大きくなることが確認された。この時の接触角を θ_1 と定義すると、 $\cos \theta_1$ は式(6)で表される。

$$\cos \theta_1 = -\frac{\gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (6)$$

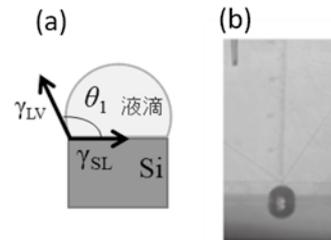


図12 θ_1 測定方法 (a)模式図 (b)測定の様子

Fig. 12 Measurement method of θ_1

(a)Schematic diagram (b)Photography

< 4. 5 > ピン止め効果の理論と測定結果の比較

微細構造のエッジ部におけるピン止め効果による接触角の理論モデルとして、四角柱状の微細構造を有する表面におけるモデルが考察されている(図13)⁽⁴⁾。 a は微細構造における四角柱の一辺の長さ、 b は空隙部の四角柱の辺に沿った長さである。液滴の接地面における固体、液体、気体の界面張力のつり合いは、固体部、空隙部に分けて、それぞれの長さをかけることで式(7)のように表される。

$$(a + b)\gamma_{LV}\cos\theta = -a\gamma_{SL} - b\gamma_{LV} \quad (7)$$

式(6)、(7)より、式(8)となる。

$$\cos\theta = \frac{a}{a+b}\cos\theta_1 - \frac{b}{a+b} \quad (8)$$

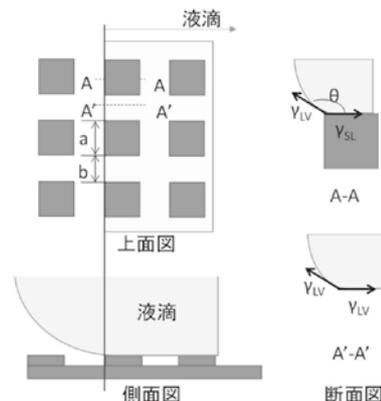


図13 ピン止め効果による接触角の理論モデル

Fig. 13 Theoretical model of contact angle based on pinning effect

一方、微細構造が円柱状の場合を考えると、液滴接地面の外周におけるパターン部 a のしめる割合は b に比べて非常に小さくなり(図14)、式(7)に0を代入すると $\theta = 180^\circ$ となる。

これは液滴の接地面の外周が直線の場合(液滴が無限に大きい)で、実際には直線ではない形状となる。液滴を観察したところ、 $D = 86 \mu\text{m}$ における測定では、液滴の接地面を横から見た長さはドット5個分とみられることが分かった。液滴の接地面はさまざまな形状をとると考えられるが、液滴の接地面の外周の長さを l_{total} とし、これが最小になる場合と最大になる場合はそれぞれ図15のようになると考えられる。

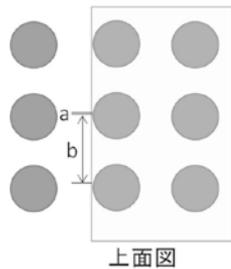


図14 円柱状の微細構造におけるピン止め効果
Fig. 14 Pinning effect of cylindrical microstructure

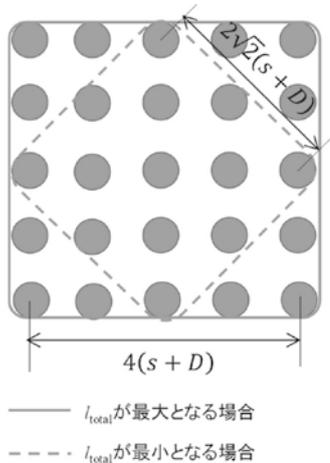


図15 ピン止め効果が発現する場合の液滴の接地面
Fig. 15 Ground area of droplet when pinning effect occurs

式(8)における $a/(a+b)$ 、 $b/(a+b)$ はそれぞれ接地面の外周におけるピラー、空隙の接触する部分の長さの割合である。図15において、 l_{total} のうちピラーと接触する部分の長さを l_{pillar} 、空隙の部分の長さを l_{air} とすると、図14で示したように液滴接地面が直線となる部分におけるピラーと液滴の接触する長さが0になるとすると、 l_{pillar} は接地面の形状によらず πD となる。また、 l_{air} は、 l_{total} が最小の場合は、 $l_{air-min} = 4 \times 2\sqrt{2}(s+D)$ 、最大の場合は、

$l_{air-max} = 4 \times 4(s+D)$ となり、接地面の形状がどのような場合でもこれらの値の範囲内となると考えられる。今回のモデルでは l_{total} 自体はスペース s 、ピラーサイズ D によらず一定になると仮定し、式(8)において、 a に l_{pillar} 、 b に $l_{air-min}$ と $l_{air-max}$ を、また、図12における測定で得られた $\theta_1 = 114^\circ$ を、それぞれ式(8)に代入すると接触角のとりうる範囲が求まると考えられる。

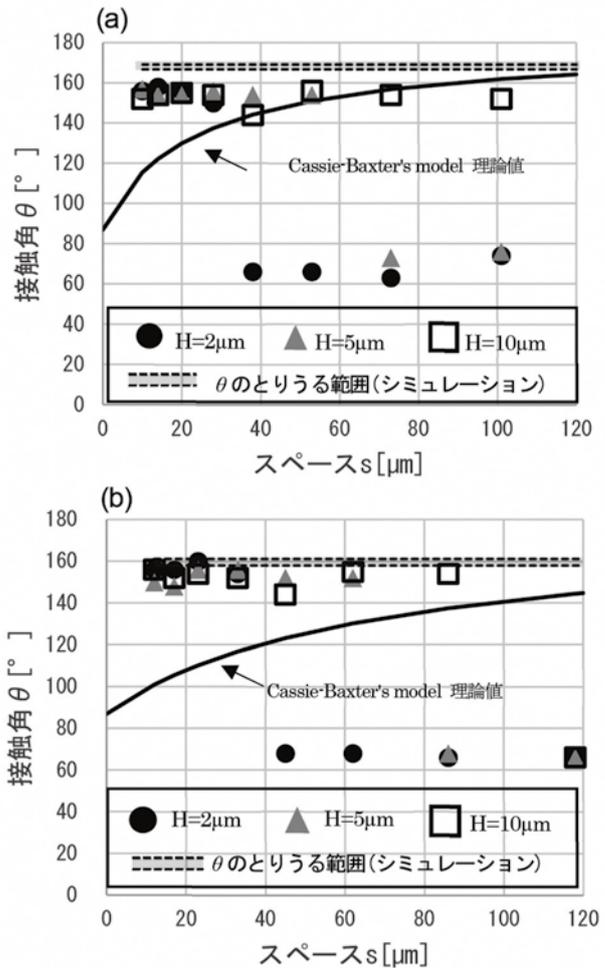


図16 実測値とシミュレーションの比較
Fig. 16 Comparison between experimental results and simulation

シミュレーションした結果と、試作2における接触角測定結果(図10(a)、(b))の比較をそれぞれ図16(a)、(b)に示す。

$D = 86 \mu\text{m}$ における測定(図16(b))において、高い撥水性が得られた領域においてシミュレーションによる θ のとりうる範囲は、測定結果と比較的良く一致することが分かる。一方、 $D = 28 \mu\text{m}$ (図16(a))においては、測定結果と一致していない。液滴接地面が直線となる部分におけるピラーと液滴の接触する長さが0と近似できると仮定したが、実際は0でない値をとると考えられ、ピラーサイズ D が小さい場合は接地面内に存在するピラーの数が多くなるこ

とで誤差が大きくなった可能性や、今回のシミュレーションでは、 $D = 28 \mu\text{m}$ においても l_{total} は $D = 86 \mu\text{m}$ の時と同等となると仮定したが、実際は l_{total} 自体が変化しており、誤差が生じた可能性などが考えられる。

以上から、Si 表面に円柱状の微細構造を形成した今回の測定における接触角の決定要因としては、液滴下部に空隙が存在しない領域では接触角は平坦面と同等な値となり、撥水性($\theta > 90^\circ$)が得られる領域においては液滴下部に空隙が存在することが推察された。さらにその場合では、ピン止め効果が支配的である可能性があると考え、ピン止め効果によるモデルを円柱状の微細パターンに適用したところ、円柱状の微細構造における接触角が予想できる可能性を示したが、ピラーサイズが液滴に対し非常に小さい場合はさらなるモデルの検証が必要であることが分かった。

5. 応用に向けた設計指針

表面微細構造による撥水性の制御を、製品に応用するためには表面微細構造のパラメータをどのようにすると親水、撥水性となるかを明らかにする必要がある。図 17 は試作 1 の濡れ性評価の結果 (図 9) から得られた、ピラーサイズ D とエッチング深さ H に対する親水性と撥水性の領域図である。グラフ左上の領域で高い撥水性が得られており、この図から例えば「ピラーサイズ $49 \mu\text{m}$ の表面微細構造で撥水性を良くするにはエッチングの深さを $4 \mu\text{m}$ 以上にする、素子作製効率を上げるためにエッチングの深さを $4 \mu\text{m}$ にするならばピラーサイズを $49 \mu\text{m}$ 以下にすればよい」など、表面微細構造を作製するときどのようなパラメータ条件で撥水性が良くできるかの設計指針に活用できると考えられる。

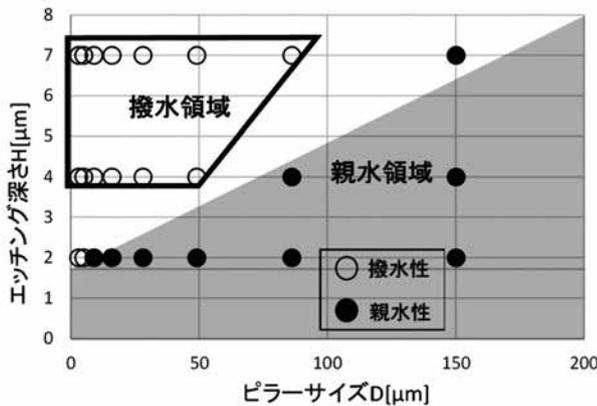


図 17 ピラーサイズ D とエッチング深さ H に対する親水性と撥水性の領域図
 Fig. 17 Area map of hydrophilicity and water repellency for pillar size D and etching depth H

6. 結言

本研究では、表面微細構造による濡れ性制御の手法を確立することを目指し、MEMS 技術を用いて Si ウエハー上に円柱ピラー状の表面微細構造を作製し、その形状と濡れ性を評価した。また得

られた接触角の結果から、表面微細構造のパラメータの濡れ性への影響を考察し、撥水性の理論モデルと比較を行った。その結果、円柱ピラー状の表面微細構造では、スペース s を小さくする、エッチング深さ H を深くすることで液滴下部に空隙が生じ、ピン止め効果により高い撥水性が得られると推察された。

本技術の応用分野としては、燃料電池などの排水部分に微細構造を形成することで排水性を高めることや、微細構造を有する部分と平滑面をパターンニングすることで親水・撥水パターンニングを施し、細胞をパターンニングするなどの応用が期待される。

文献

- (1) 日本機械学会論文集(B 編) 70 巻 693 号(2004-5)
- (2) 日本機械学会論文集(B 編) 73 巻 728 号(2007-4)
- (3) 日本大学生産工学部第 48 回学術講演会公演概要(2015-12-5)
- (4) S. Suzuki and K. Ueno, *Langmuir* 33, 138-143(2016)

Ⅲ. プラスチック製品の性能向上のための 設計技術と評価に関する研究

Research on Design and Evaluation Methodology for Plastic Products

田中 和馬	大上戸 勇馬	永井 孝紀	中村 陽文
TANAKA Kazuma	DAIJOGO Yuma	NAGAI Koki	NAKAMURA Takafumi
吉江 真太郎	能登 亜里彩	清水 孝晃	鍋澤 浩文
YOSHIE Shintaro	NOTO Arisa	SHIMIZU Takaaki	NABESAWA Hirofumi

Abstract

In recent years, composite materials such as fiber-reinforced plastics (FRP) have been used in various industries due to their high mechanical properties. FRP is typically a laminate of individual layers, and the mechanical properties of FRP vary depending on the fiber orientation direction in the matrix material. The use of computer-aided engineering (CAE) is expected to reduce the cost and time required to develop FRP products. However, there are difficulties in structural analysis of FRP such as acquisition of anisotropy material properties and creation of analytical model. Therefore, the purpose of this research is to establish a design methodology using the homogenization technique that can utilize CAE in the development process of FRP products, through the structural analysis of the GFRP hat shaped member as experimental objects. Two patterns of hat shaped member combining GFRP continuous one and discontinuous fiber material were molded by a stamping molding method, and bending rigidity was evaluated. As a result, it was found that in the structural analysis of FRP products, the homogenized analysis results may be applicable to CAE analysis by modifying them appropriately.

1. 緒言

近年、繊維強化プラスチック（以下 FRP）を代表とする複合材料は、高い比剛性・比強度を有し軽量であることから、金属の代替材料として輸送機器を中心とする構造部材に広く用いられている。FRP は、母材に強化材として混合される繊維の配向によって材料物性が変化する異方性材料であり、一般的には繊維層を複数枚重ねた積層材として使用される。現状、FRP 製品開発に際しては試作を繰り返すことで強度評価を行っており、開発期間の長期化、試作費用の増加が問題となっている。この解決方法としてコンピューター支援工学（以下 CAE）を用いた有限要素法解析の利用が考えられるが、複数の異種材料を有するため、材料物性の割り当て、方向に依存する材料物性の定義が困難なこと、積層設定等の解析モデル作成が必要なこと、膨大な要素数により解析時間が長いことから、FRP の構造解析は金属などの等方均質材料と比べ難易度が高い。最近では、母材に含まれる繊維の状態を考慮して物性予測し、解析対象を均質な等価モデルで代用して全体を解析する均質化解析が行われるようになってきた⁽¹⁾。しかしながら、実際の製品に均質化解析を用いた CAE を適用し詳細な検証を行った事例は少なく、解析精度を検証し解析手法の確立を行う必要がある。

そこで本研究では、CAE を用いた FRP 製品の構造解析手法の

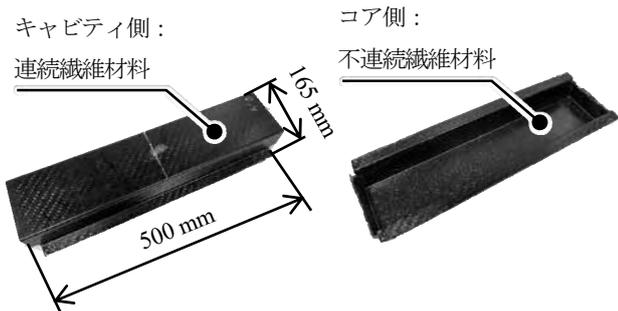
確立を目的とし、高速スタンピング成形により作製されたガラス繊維 FRP のハット型成形品の剛性評価を実験的評価との比較を通し、均質化解析に基づく CAE の適用可能性について検討した。

2. 研究対象

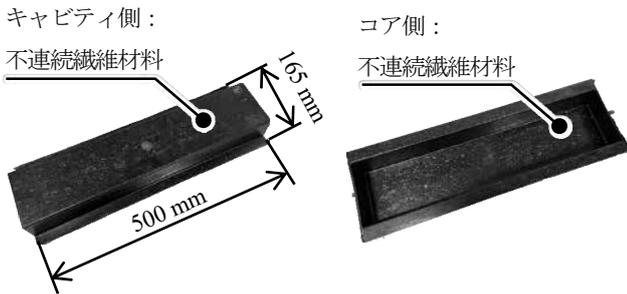
本研究で研究対象としたハット型成形品の外観を図 1 に示す。本品を選定した理由は、自動車のバンパーやピラーと類似した形状であり実製品を想定した検証となることである。本研究では本品を用いて、バンパーやピラーへの物体の接触を想定した曲げ剛性を評価し、CAE 解析との比較を行った。ハット型成形品は高速スタンピング成形法にて作製した。高速スタンピング成形とは 2 枚の FRP シートを加熱し可塑性を与え、温度調整をした金型に投入後、圧縮成形機で圧縮成形をし、成形加工する手法である⁽²⁾。この方法では、熱可塑性樹脂を基材とするスタンパブルシートの板厚などのバラつきに対応するため、各工程の設備の選択と必要な制御技術、また異なる種類のスタンパブルシートの軟化状態での搬送、配置技術の開発により成形システムの自動化が実現されたシステムとなっており、量産に適した成形法となっている⁽³⁾。

ハット型成形品は図 1(a)のようにキャビティ側に連続繊維材、コア側に不連続繊維材を使用したサンプル（以下、連続/不連続）と図 1(b)のようにキャビティ側コア側の両方が不連続材料を使用

したサンプル（以下、不連続/不連続）の2パターンを作製した。使用材料は、連続繊維材は Tepex dynalite102（Bond-Laminates GmbH）、不連続繊維材は Tepex Flowcore102（Bond-Laminates GmbH）とした。図2に使用した連続繊維材および不連続繊維材の基板を示す。連続繊維材の Tepex dynalite102 は、図2(a)に示すようにマトリクス樹脂のPA6中にガラス繊維束が2方向に編み込まれた材料で、繊維束の方向に対して高い強度を持つ特徴がある。一方、不連続繊維材の Tepex Flowcore102 は、図2(b)に示すようにマトリクス樹脂のPA6中にガラス繊維束が不織布状に散りばめられた材料である。連続繊維材と比べて繊維束が短く、流動性が高い特徴がある。



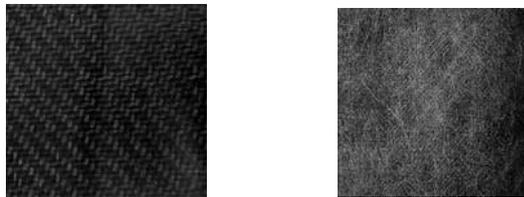
(a) 連続 / 不連続
(a) Continuous/Discontinuous



(b) 不連続/不連続
(b) Discontinuous /Discontinuous

図1 ハット型成形品

Fig. 1 Hat shaped member



(a) 連続繊維材 (b) 不連続繊維材

(a) Continuous fiber materials (b) Discontinuous fiber materials

図2 GFRP の材料表面

Fig. 2 Material surface of the GFRP

3. FRP 基板の材料物性値評価

< 3. 1 > 概要

FRP の CAE 解析を行う際の問題点として、樹脂と繊維の異種材料のモデル構造が複雑であり、1 繊維を再現するために膨大な要素数と解析時間がかかることが挙げられる。また、繊維直径は約数十 μm であり、モデルを再現するために繊維の要素は1辺当たり 1-5 μm で生成する必要がある。

このような問題点を解決するために、微視的な構造が規則的に繰り返されている場合に、巨視的に等価な材料物性を求める均質化解析を用いた手法が提案されている。本研究では、ハット型成形品の剛性評価を行うために、まず均質化解析を実施して材料物性を取得した。

< 3. 2 > 均質化解析

均質化解析は樹脂と繊維からなるユニット構造の一定のひずみに対する応答性を評価する手法である。本研究では、均質化解析には Hexagon 社製 Digimat-MF を用いた。Digimat-MF は平均場均質化法による均質化解析を行うソフトウェアであり、短時間で材料物性予測が可能という特徴をもつ。繊維などの介在物は、含有率や長さ、配向を定義できるが、形状を回転楕円体で表現することや均一分散であることを仮定するなどの制限も有している。図3に連続繊維材のシミュレーションの解析モデルを示す。また連続繊維材、不連続繊維材の均質化解析で設定したモデル特性値をそれぞれ表1、表2に示す。これらは材料物性表およびX線CT画像を基にして決定した。今回使用する連続繊維材および不連続繊維材は、互いに直交する3つの方向で特有の機械的特性を有する直交異方性材料であるため、解析を行うためのパラメータとして、弾性係数 (E_1 、 E_2 、 E_3)、ポアソン比 (ν_{12} 、 ν_{23} 、 ν_{31})、せん断弾性係数 (G_{12} 、 G_{23} 、 G_{31}) の計9個の物性値を計算した。表3に得られた材料物性値を示す。

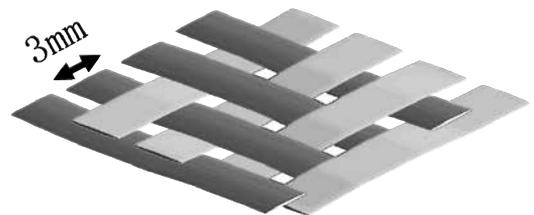


図3 連続繊維材 解析モデル

Fig. 3 Analytical model of continuous fiber material

< 3. 3 > 物性値の比較

均質化解析で得られた物性出力値の妥当性の評価をするため、FRP 基板単体の引張特性試験、せん断特性試験、曲げ特性試験を行い、繊維方向の引張弾性係数、ポアソン比、せん断弾性係数および曲げ弾性係数を均質化解析で得られた結果と比較した。樹脂の構造解析には通常、引張弾性係数を用いるが、FRP の場合、引張と圧縮で強度特性が大きく変化する可能性があるため、圧縮も生じる曲げ変形による曲げ弾性係数との比較も行った。図 4 に各試験片の形状を示す。試験片は、スギノマシン社製ウォータージェット装置 (C1010NN-AB) を使用し、図 4 に示す厚さ 2 mm のダンベルおよび直方体試験片に加工した。インストロン製万能試験機 (インストロン・ジャパン (株) 製 5567) により、引張特性試験は JIS K7161⁽⁴⁾、せん断特性試験は JIS K7019⁽⁵⁾、曲げ特性試験は JIS K7017⁽⁶⁾ に準拠して行い、引張弾性係数、ポアソン比、せん断弾性係数、および曲げ弾性係数を算出した。

図 5 に弾性係数の実験値と均質化解析値、図 6 にポアソン比の実験値と均質化解析値を示す。引張弾性係数、曲げ弾性係数、せん断弾性係数は、均質化解析値が実験値より高い値を示した。これは、均質化解析においては、マトリクス樹脂 (PA6) 中の微小空隙・き裂など初期欠陥の影響を考慮していないことによると考えられる。また、ポアソン比は、連続繊維材では均質化解析値が実験値より高い値を、不連続繊維材では均質化解析値が実験値より低い値を示した。これは、均質化解析では繊維を楕円体で近似しているため、実材料と均質モデルの変形量に差が生じたことが要因であると考えられる。

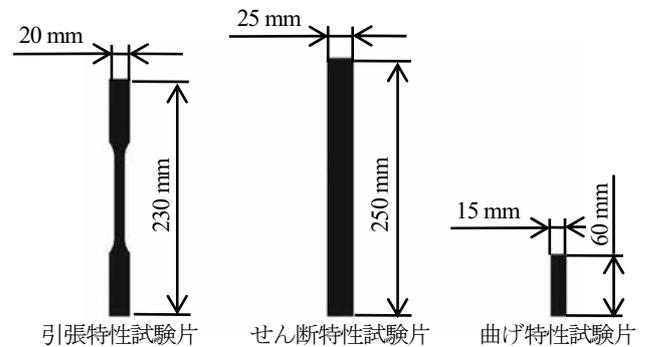


図 4 引張・せん断・曲げ試験片

Fig. 4 Tensile/shear/bending test piece

表 1 連続繊維材 モデル特性値

Table 1 Characteristic values of continuous fiber materials

項目		特性値
モデルサイズ	[mm]	16×16×0.5
面密度	[g/m ²]	600.667
繊維含有率	[%]	47
線密度	[tex]	1200
繊維直径	[mm]	0.02
繊維アスペクト比	[-]	2500
PA6 弾性係数	[GPa]	2.6
ガラス弾性係数	[GPa]	72.0
PA6 ポアソン比	[-]	0.36
ガラス繊維ポアソン比	[-]	0.24
PA6 密度	[g/cm ³]	1.8
ガラス繊維密度	[g/cm ³]	2.54

表 2 不連続繊維材 モデル特性値

Table 2 Characteristic values of discontinuous fiber materials

項目		特性値
繊維含有率	[%]	47
繊維半径	[mm]	1
繊維アスペクト比	[-]	2500
PA6 弾性係数	[GPa]	2.6
ガラス弾性係数	[GPa]	72.0
PA6 ポアソン比	[-]	0.36
ガラス繊維ポアソン比	[-]	0.24
PA6 密度	[g/cm ³]	1.8
ガラス繊維密度	[g/cm ³]	2.54

表 3 均質化解析で得られた物性出力値

Table 3 Mechanical property output value from homogenization method

項目	引張弾性係数 [GPa]			ポアソン比			せん断弾性係数 [GPa]		
	E_1	E_2	E_3	ν_{12}	ν_{23}	ν_{31}	G_{12}	G_{23}	G_{31}
連続	22.13	22.13	8.49	0.11	0.42	0.16	3.61	2.65	2.65
不連続	15.91	15.91	7.63	0.31	0.33	0.16	6.05	2.34	2.34

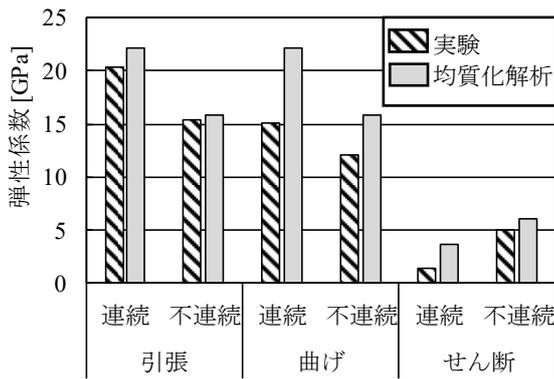


図5 弾性係数の実験値と均質化解析値

Fig. 5 Experimental and homogenized analytical values of elastic modulus

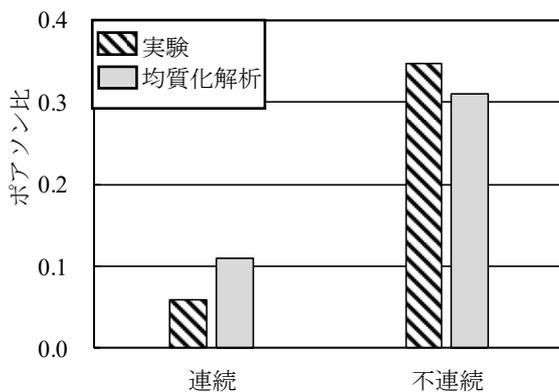


図6 ポアソン比の実験値と均質化解析値

Fig. 6 Experimental and homogenized analytical values of Poisson's ratio

4. ハット型成形品の剛性評価

< 4. 1 > ハット型成形品の成形性評価

連続/不連続サンプルの成形品でX線CT観察を実施したところ、図7のように部分的な繊維の乱れを確認した。そこで、< 4. 2 >で後述するハット型成形品の剛性評価の際に影響が大きいと思われる箇所について、切り出した試験片の曲げ試験を行い、製品の各箇所の曲げ弾性係数の違いを確認した。曲げ試験片は図8に示すように、A~Dの範囲で切り出しをして、JIS K7017⁶⁾に準拠して測定し、曲げ弾性係数を算出した。

図9にハット型成形品の曲げ試験から求めた曲げ弾性係数を示す。曲げ弾性係数はA:12.9 GPa、B:12.4 GPa、C:12.2 GPa、D:12.6 GPaとなり、曲げ弾性係数が最も大きいAの箇所と最も小さいCの箇所の差は0.7 GPaとなった。これは、すべての箇所の曲げ弾性係数の平均値12.5 GPaの約6%と小さくなっているため、場所による曲げ弾性係数の変化はないと判断した。

< 4. 2 > ハット型成形品の剛性評価試験

ハット型成形品の剛性評価は、連続/不連続サンプルと不連続/不連続サンプルを用いて図10に示す概略図のように、三点曲げ試験により評価した。試験は東京衡機試験機社製万能試験機(RU-1000)で行った。試験条件は変位速度を1 mm/min、支点間距離を240 mmとした。試験結果より得られた荷重-変位曲線から、変位が0.3 mmから0.8 mmの範囲の傾きを剛性として算出した。

< 4. 3 > ハット型成形品の有限要素解析

実験と同様の条件となるようにハット型成形品の有限要素法解析を実施した。解析ソルバーにはMSC Software社製MARC2022.1を使用した。図11に剛性解析に用いた有限要素モデルを示す。本モデルは1/4対称で、要素が3次元厚肉シェル4角形2次要素とし、1.5 mm厚の層を2層積層したものとした。解析評価は中央の圧子を1 mm変位させた際の荷重を剛性として算出した。また、均質化解析値と実験で得られた物性値の違いが、剛性解析に及ぼす影響を評価することを目的として、以下の5つのパターンで解析を実施した。

- ① 均質化解析での計算値
- ② ①の E_1 、 E_2 、 ν_{12} を材料基板の引張試験で得られた引張弾性係数およびポアソン比に置換
- ③ ②の G_{12} を材料基板のせん断試験で得られたせん断弾性係数に置換
- ④ ①の E_1 、 E_2 を材料基板の曲げ試験で得られた曲げ弾性係数に置換
- ⑤ ③の引張弾性係数 E_1 、 E_2 を曲げ弾性係数に置換

各材料の具体的な材料物性値を表4と表5に示す。(太文字は置換した実験値を示す。)

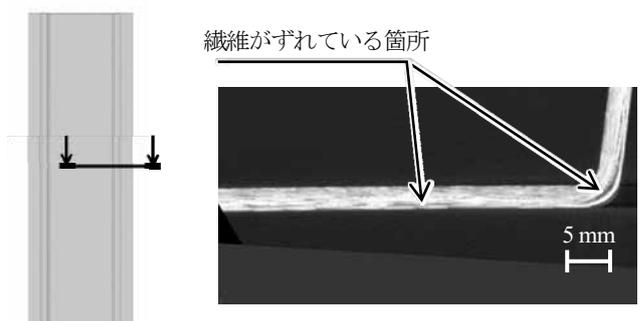
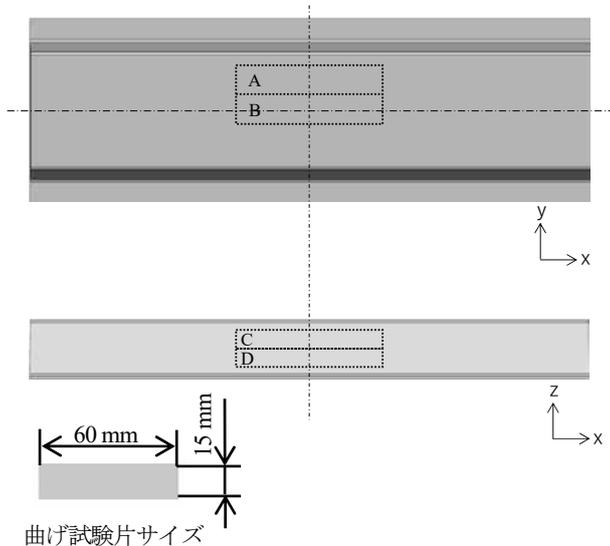


図7 連続/不連続サンプルのX線CT画像

Fig. 7 X-ray CT images of continuous/discontinuous hat shaped member



曲げ試験片サイズ

図8 連続/不連続サンプルの曲げ試験片切り出し範囲

Fig. 8 Bending test piece cutting point of continuous/discontinuous hat shaped member

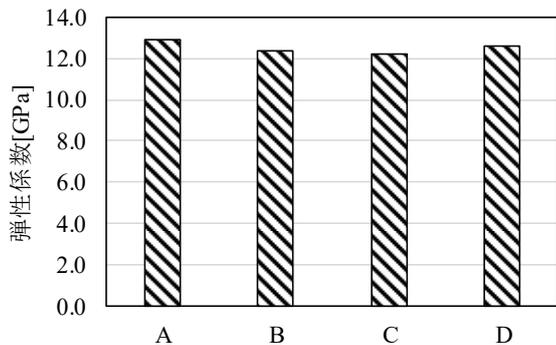


図9 連続/不連続サンプルの曲げ弾性係数

Fig. 9 Flexural modulus of continuous/discontinuous hat shaped member

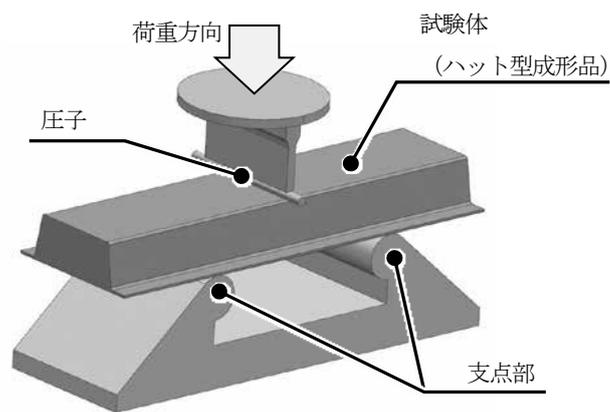


図10 剛性評価の概略図

Fig. 10 Schematic diagram of stiffness evaluation

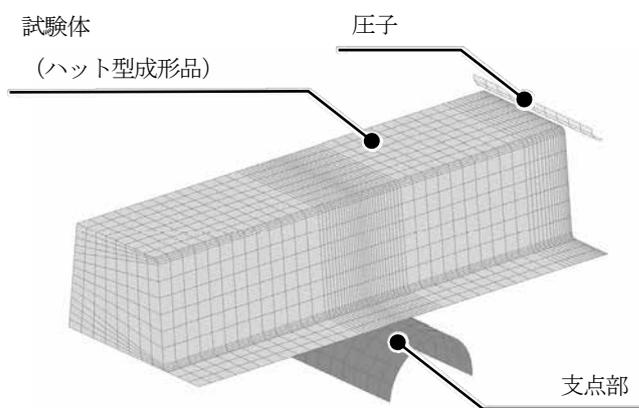


図11 ハット型成形品の剛性評価の有限要素モデル(1/4 対称モデル)

Fig. 11 Finite element model for stiffness evaluation of hat shaped member (1/4 model)

表4 連続繊維材剛性解析物性条件

Table 4 Mechanical property conditions for stiffness analysis of continuous fiber materials

No.	置換した実験値	弾性係数 [GPa]			ポアソン比			せん断弾性係数 [GPa]		
		E_1	E_2	E_3	ν_{12}	ν_{23}	ν_{31}	G_{12}	G_{23}	G_{31}
①	Digmat 出力値	22.13	22.13	8.49	0.11	0.42	0.16	3.61	2.65	2.65
②	引張弾性係数/ポアソン比	20.31	20.31	8.49	0.06	0.42	0.16	3.61	2.65	2.65
③	引張弾性係数/ポアソン比/ せん断弾性係数	20.31	20.31	8.49	0.06	0.42	0.16	1.45	2.65	2.65
④	曲げ弾性係数	15.02	15.02	8.49	0.11	0.42	0.16	3.61	2.65	2.65
⑤	曲げ弾性係数/ポアソン比/ せん断弾性係数	15.02	15.02	8.49	0.06	0.42	0.16	1.45	2.65	2.65

表 5 不連続繊維材剛性解析物性条件

Table 5 Mechanical property conditions for stiffness analysis of discontinuous fiber materials

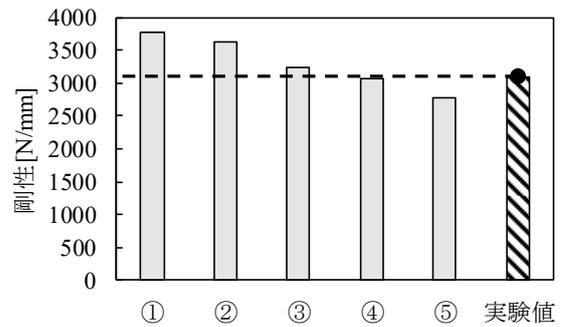
No.	置換した実験値	弾性係数 [GPa]			ポアソン比			せん断弾性係数 [GPa]		
		E_1	E_2	E_3	ν_{12}	ν_{23}	ν_{31}	G_{12}	G_{23}	G_{31}
①	Digmat 出力値	15.91	15.91	7.63	0.31	0.33	0.16	6.05	2.34	2.34
②	引張弾性係数/ポアソン比	15.42	15.42	7.63	0.35	0.33	0.16	6.05	2.34	2.34
③	引張弾性係数/ポアソン比/ せん断弾性係数	15.42	15.42	7.63	0.35	0.33	0.16	5.05	2.34	2.34
④	曲げ弾性係数	12.01	12.01	7.63	0.31	0.33	0.16	6.05	2.34	2.34
⑤	曲げ弾性係数/ポアソン比/ せん断弾性係数	12.01	12.01	7.63	0.35	0.33	0.16	5.05	2.34	2.34

< 4. 4 > 実験結果と解析結果の比較

連続/不連続サンプルの剛性の実験結果と解析結果を図 12(a)および表 6、不連続/不連続サンプルの剛性の実験結果と解析結果を図 12(b)および表 7 に示す。連続/不連続サンプルでは、①、②、③の条件での剛性は実験値と比較してそれぞれ 22.1%、17.8%、5.4%高く、④、⑤の条件ではそれぞれ-0.1%、-10.1%低い。同様に不連続/不連続サンプルでは①、②、③の条件での剛性は実験値と比較してそれぞれ 14.5%、13.5%、9.2%高く、④、⑤の条件ではそれぞれ-3.7%、-6.1%低い。①の条件で実験値に比べて剛性が高くなった要因としては、均質化解析で求めた引張弾性係数、せん断弾性係数が実験値に比べて大きいためであり、その理由は前述のとおり初期欠陥を想定していないためと考えられる。②と③の条件での解析結果は、③の方が②よりも実測値に近づいている。これは、今回の荷重条件ではせん断方向の変形が起こりやすいため、せん断弾性係数の測定値を使用した③の方が実測値に近づいたものと考えられる。⑤は、弾性係数に引張弾性係数より小さい曲げ弾性係数を用いていることから、引張弾性係数を用いた①、②、③に比べて剛性が低い結果が得られた。今回の剛性評価試験の試験方法は3点曲げ試験であり、曲げ弾性係数、ポアソン比、せん断弾性係数を用いた⑤が実験値に近くなると予想したが、実験値よりも剛性が低い結果が得られた。このことは、曲げによる圧縮が支配的な部分と引張が支配的な部分が混在しているため、⑤の条件では実験値より低くなったと考えられる。

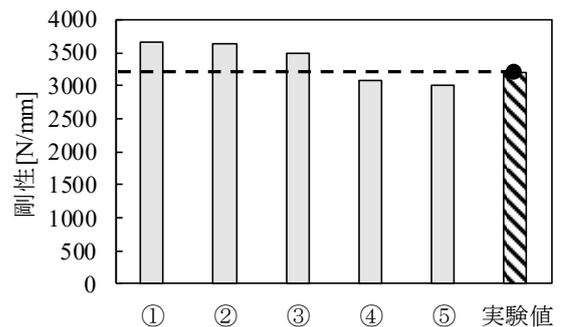
連続/不連続サンプルの剛性は、不連続/不連続サンプルの剛性と比較すると、せん断弾性係数の実験値を置換していない計算値(条件①、条件②および条件④)はそれぞれ 3.0%、0.3%および 0.2%高くなり、せん断弾性係数の実験値を置換した計算値(条件③および条件⑤)と実験値はそれぞれ 6.8%、7.6%および 3.4%低くなった。連続繊維材は引張弾性係数と曲げ弾性係数が不連続繊維材より大きい、せん断弾性係数は不連続繊維材より小さくなっている。このことから今回のハット型成形品の曲げ剛性試験で

は曲げによる圧縮や引張が支配的な変形に加え、せん断が支配的な変形も生じているために不連続/不連続サンプルの方が連続/不連続サンプルよりも高い剛性になったと考えられる。



(a) 連続/不連続サンプルの剛性結果

(a) Stiffness results for continuous/discontinuous hat shaped member



(b) 不連続/不連続サンプルの剛性結果

(b) Stiffness results for continuous/continuous hat shaped member

図 12 ハット型成形品の剛性結果

Fig. 12 Stiffness results for hat shaped member

表6 連続/不連続サンプルの剛性結果

Table 6 Stiffness results for continuous/continuous hat shaped member

No.	剛性 [N/mm]	実験値との誤差 [%]
①	3766.0	22.1
②	3633.6	17.8
③	3250.4	5.4
④	3080.4	-0.1
⑤	2772.0	-10.1
実験値	3083.7	-

表7 不連続/不連続サンプルの剛性結果

Table 7 Stiffness results for continuous/continuous hat shaped member

No.	剛性 [N/mm]	実験値との誤差 [%]
①	3656.8	14.5
②	3624.4	13.5
③	3488.4	9.2
④	3075.6	-3.7
⑤	2998.8	-6.1
実験値	3193.5	-

5. 結言

本研究では、CAEを用いたFRP製品の構造解析手法の確立を目的として、スタンピング成形により作製されたガラス繊維FRPのハット型成形品の曲げ剛性について、均質化解析を用いたCAEを行うとともに実験の評価を行った。以下に得られた知見を示す。

【基板の材料物性値評価】

- 引張弾性係数、曲げ弾性係数、せん断弾性係数は均質化解析値が実験値より高い値を示した。これは均質化解析では樹脂の微小空隙やき裂が考慮されないためであると考えられる。
- ポアソン比は、連続繊維材では均質化解析値が実験値より高く、不連続繊維材では均質化解析値が低い値を示した。これは、均質化解析における繊維モデル作成の制約によって、実験との変形量に差が生じたためであると考えられる。

【ハット型成形品の剛性評価】

- 基板の材料物性値として、計算値を実験値で修正した値を使用することで、曲げ剛性の計算値は実験値に近づく傾向が認められた。
- 曲げ剛性の実験値は、引張試験およびせん断試験の結果で修正をした物性値を使用した場合と、引張試験、せん断試験および

曲げ試験の結果で修正をした物性値を使用した場合の計算値の間に入る値となった。これはハット型成形品の剛性評価試験において、圧縮が支配的な部分と引張が支配的な部分が混在することに起因するものと考えられる。

- 連続/不連続構成の曲げ剛性は、不連続/不連続構成の場合に比べて計算値（条件③：引張弾性係数、ポアソン比およびせん断弾性係数の実験値を置換した場合および条件⑤：曲げ弾性係数、ポアソン比およびせん断弾性係数の実験値を置換した場合）および実験値でそれぞれ6.8%、7.6%および3.4%低くなった。これは、連続繊維基板に比べて不連続繊維基板はせん断弾性係数が高い（実験値で71.3%）ことに起因するものと考えられる。

【均質化解析の適用性】

均質化解析値を実験値で適切に修正することで、FRPの剛性評価にCAEを適用できる可能性が示された。物性値の置き換えをして解析を行う際には、解析対象の変形の仕方によって、弾性係数 E_1 、 E_2 を引張弾性係数か曲げ弾性係数のどちらを適用するかを判断する必要があると考えられる。ポアソン比 ν_{12} 、およびせん断弾性係数 G_{12} は均質化解析での数値と実験値が大きくかけ離れた場合には適応する必要があると考えられる。

今後の課題

本研究では、ハット型成形品の曲げ剛性に関するのみ行ったが、その他の形状や荷重条件でも同様の試験および解析を行い、実験値と解析値との整合性を調査していく必要がある。

文献

- (1) 寺田賢二郎, 平山紀夫, 山本晃司, 数値材料試験, 丸善出版 2020
- (2) 強化プラスチック協会, 基礎からわかるFRP-繊維強化プラスチックの基礎から実用まで, コロナ社 2016
- (3) 彌武朋也, 安原重人, 内田忠行, 上坂聡, 井波克之: 繊維形態の異なる熱可塑性FRPの高強度・成形自由度を両立した複合同時成形技術の開発. 成形加工 第31巻 第10号 2019 P388
- (4) JIS K 7161, プラスチック — 引張特性の試験方法 — 第4部: 等方性及び直行異方性繊維強化プラスチックの試験条件
- (5) JIS K 7019, 繊維強化プラスチック ±45° 引張試験による面内せん断特性の求め方
- (6) JIS K 7017, 繊維強化プラスチック—曲げ特性の求め方

IV. デジタルツイン技術を活用した 工場内の電波環境の改善

Improvement of the radio environment in factories using digital twin technology

澤田 直登 沙 悠輝 長柄 直樹
SAWADA Naoto SUNA Yuki NAGAE Naoki
榊原 一紀 岩本 健嗣
SAKAKIBARA Kazutoshi IWAMOTO Takeshi

Abstract

Radio waves in many frequency bands are frequently used in factories as information and communication technology spreads to manufacturing sites. In such an environment, problems such as interference between radio waves and intermittent communication breakdowns due to obstacles in production facilities are easy to occur. In this study, we aim to construct a solution to this problem by utilizing digital twin technology. First, a simulator of the radio environment that models the target factory is constructed. Then, we will measure the radio environment in various situations, identify the parameters of the simulator based on the measured values, and realize a highly accurate simulation. The simulator built at Toyama Prefectural University was used for this research. From the radio wave measurements inside the factory, we found a 2.4GHz band radio wave interference inside the factory. To improve the accuracy of the simulator, a continuous survey of the radio wave environment around the factory will be conducted. Through this research, we aim to establish a methodology for utilizing big data to bring the results of physical simulations closer to reality.

1. 緒言

ものづくり現場に情報通信技術が浸透するにつれて、多くの周波数帯の電波が工場内で使われる傾向にある。このような環境においては、電波同士の干渉や生産設備等の障害物により通信が断続的に途切れるなどの問題が発生しやすい。この課題に対して本研究では、デジタルツイン技術を活用した解決策の構築を目指す。具体的には、対象工場を模した電波環境のシミュレータを構築する。その上で、様々な状況における実現場の電波環境を測定し、得られた測定値に基づきシミュレータのパラメータを同定し、精度高いシミュレーションを実現する。シミュレーションにより電波混信箇所の特定と配置の改善案を見出し、対象の工場で検証を行うことで、本研究の有効性を確認する。

2. デジタルツインによる電波環境改善の概要

< 2. 1 > デジタルツイン

デジタルツインとは、英語では Digital Twin と表記され「デジタル空間上の双子」という意味である。より具体的には、「現実空間上のモノや環境の状態を収集し、デジタル空間上にコピーし再現する技術概念」のことを言う⁽¹⁾。

また、将来の事象についてデジタル空間上に再現された空間で予測することができるシミュレーション技術の一つでもある。

本研究では、デジタルツインの手法、すなわち対象課題をコンピュータ・シミュレーション上で再現し、その上で解決策を見出し、現実世界にフィードバックする、といった手順を、工場内電波環境改善に適用することを試みる。具体的には、工場のレイアウトと工場内の機器配置を精緻にシミュレーション空間上で再現する。これにより工場内の無線 LAN による電波伝搬が、壁や機器配置にどのように影響するのかを可視化する。この可視化結果に基づき電波混信要因を特定し、実工場での機器配置の見直し方を立案することを目的とする。

< 2. 2 > 無線 LAN (Wi-Fi) の電波特性

無線 LAN で多く使われる 2.4GHz 帯では、11~14 個のチャンネルが設定されているが、これらのチャンネルは完全には分離されておらず、オーバーラップしている⁽²⁾。従って、近隣のチャンネルを用いると後述するような干渉の問題が発生する。このオーバーラップチャンネルの様子を図 1 に示す。図 1 において、横軸が周波数、縦軸が信号強度である。ま

た、各チャンネルで送出される電波の関係を模式的に示したのが図2である。送信される電波スペクトラムは、各チャンネル外（つまり隣接チャンネル）に漏れ出すことでオーバーラップが発生する。このオーバーラップする信号強度が大きいと、後述する干渉も大きくなる。一般に、チャンネルが近いほど、また地理的距離が近いほど、オーバーラップする信号強度も大きい。そのため、例えば、オーバーラップしないとされるチャンネル 1,6,11 間においても、距離が近い場合などでは、オーバーラップによる干渉が通信性能に大きな影響を与える。

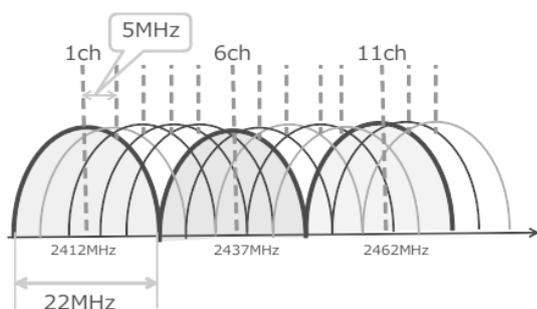


図1 無線LAN周波数
Fig. 1 Wireless LAN frequency.



図2 スペクトラムのオーバーラップ
Fig. 2 Spectrum overlap.

< 2. 3 > FDTD 法

本研究では、シミュレータとして 3 次元 FDTD シミュレータを使用する。3 次元 FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) では解析領域全体を微小直方体セルに分割し、全セルに対してマクスウェル方程式を差分化して定式化する。その基本が Yee のアルゴリズムである³⁾。Yee のアルゴリズムは時空間についての差分、電磁界の時間配置、電磁界の空間配置の 3 つのステップからなる。また、セルサイズや時間ステップを決める際には、安定条件についても考えなければならない。FDTD 法は基本的に閉領域の解析手法であるため、開放領域の問題を扱う場合には解析領域の外壁に反射が起こらないような仮想的な境界 (境界条件) を設ける必要がある。

3. 工場における電波測定結果

< 3. 1 > 工場内電波障害頻度測定

まず現状把握として、T 社工場内で実際にどのくらいの頻度で電波障害が発生しているのかについて測定を実施した。電波障害の有無については、コンバータと電波源 (ルーター) 間で通信ができていないかどうかを判断する。測定には、プログラムソフト (ラダー言語) 内で毎分の通信状況の監視ソフトを作成し使用した。

コンバータと電波源 (ルーター) の通信結果の出力値を CSV 形式で出力し、受け取った 16 進数の値から通信状態を確認するもので、今回、2 週間通信状態を測定 (測定実施期間: 2022 年 11 月~2023 年 2 月) ログデータの作成を行った。CSV 形式で出力されたログデータの一例を図3に示す。通信結果が○の場合は、コンバータと電波源 (ルーター) 間で通信 (データの受送信) ができおり、×の場合は、コンバータからの返答がないことを表している。また、この測定が行われた T 社工場のレイアウトを図4に示す。工場レイアウトにおいて横方向を x、縦方向を y、高さ方向を z とおくこととする。

A	B	C	D
2022/11/15	1:22:33	10.34.96.1	x
2022/11/15	1:23:43	10.34.96.1	x
2022/11/15	1:24:53	10.34.96.1	x
2022/11/15	1:26:03	10.34.96.1	x
2022/11/15	1:27:13	10.34.96.1	o
2022/11/15	1:28:13	10.34.96.1	o

・表内容
 ・A行:日付 ・B行:計測時刻(hh:mm:ss)
 ・C行:IPアドレス ・D行:通信結果

図3 通信状況ログデータの一例
Fig. 3 Communication status log data.

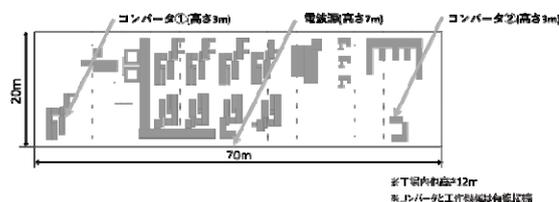


図4 工場レイアウト(水平面 xy)
Fig. 4 Factory layout. (horizontal surface xy)

表 1 にコンバータと電波源（ルーター）間での通信成功率の結果を示す。コンバータ②の通信状況が良好である一方で、コンバータ①の通信状況が悪いことが分かる。これは、コンバータ周辺状況より、コンバータ①の周囲に設備が密集していることから、設備による遮蔽及びノイズが電波環境に影響を及ぼしているものと考えられる。

表 1 コンバータ通信成功率(11ch 時)

Table 1 Converter communication success rate (for 11ch).

コンバータ	通信成功率
①	56.2%
②	97.1%

< 3. 2 > 工場内電波環境測定

次に、工場内の電波環境について測定を実施した。まず、Wi-fi アナライザにて工場周辺での電波状況の確認を実施した。測定結果を図 5（コンバータ①付近）、図 6（コンバータ②付近）に示す。図 5 と図 6 より、工場内にて複数の 2.4GHz 帯の電波を受信していることが確認された。また、コンバータ①付近では、工場内で使用している Wi-fi ルーターと同一チャンネル(11ch)で、電波強度の高い社内ネットワーク(11ch)が確認されたことから、電波の混信が考えられる。

一方で、コンバータ②付近では、11ch 付近での電波使用が少ないため、電波混信の影響は少ないと考えられる。

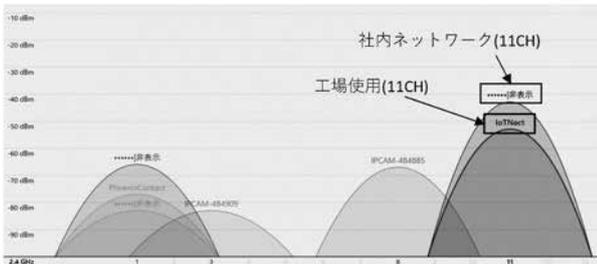


図 5 コンバータ①周辺電波確認(11ch 時)

Fig. 5 Confirmation of radio wave around converter-1 (for 11ch).

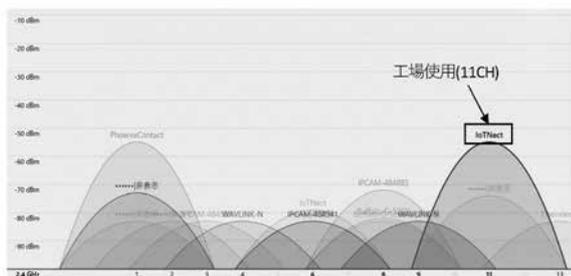


図 6 コンバータ②周辺電波確認(11ch 時)

Fig. 6 Confirmation of radio wave around converter-2 (for 11ch).

次に、Wi-fi アナライザの測定結果の確からしさを確認するために、2.4GHz 帯の電波の実測を行った。図 4 に測定環境の写真を示す。受信アンテナにはログペリ オデミックアンテナ/UHALP 9108A を用い、受信機には スペクトラムアナライザ/MS2721B を用いた。測定に使用したスペクトラムアナライザの出力を図 7 に示す。なお、垂直偏波および水平偏波を、それぞれ 1 分間連続で計測し続けて Max-Hold で受信電力データを取得した。アンテナで受信可能な周波数帯として 1.4GHz~3.4GHz 帯におけるスペクトルを測定した。

図 8 と図 9 の測定結果より、2.4GHz~2.5GHz の広い範囲で高い周波数を受信していることから、複数の電波(チャンネル)を受信していることが分かる。つまり、Wi-fi アナライザでの測定結果と同様の結果が確認されたことが分かる。

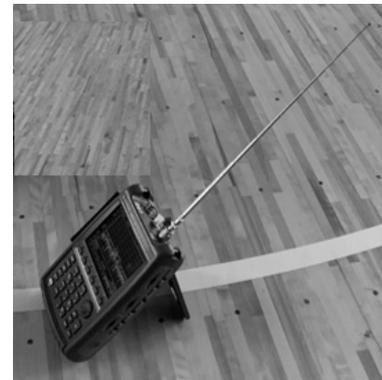


図 7 測定に用いたスペクトラムアナライザ

Fig. 7 Spectrum analyzer used for measurement.

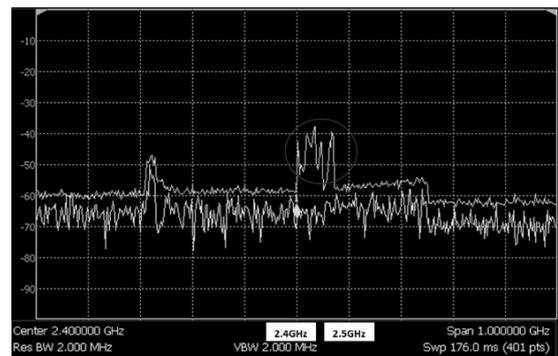


図 8 スペクトラムアナライザによるコンバータ①付近測定結果

Fig. 8 Measurement results of Spectrum Analyzer near the converter-1.

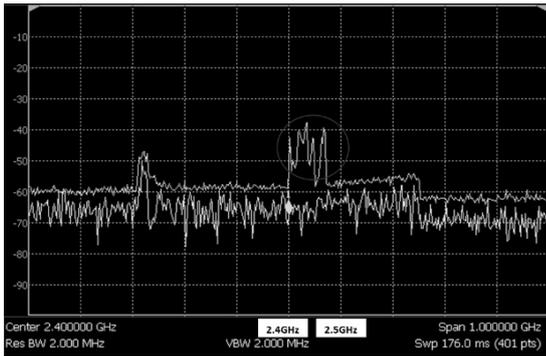


図9 スペクトラムアナライザによるコンバータ②付近測定結果
Fig. 9 Spectrum Analyzer Measurement results near the converter-2.

以上の電波環境測定結果より、同一チャンネルによる電波混信が考えられるため、次にチャンネル干渉が少ない状態での通信成功率の確認を実施した。具体的には、工場内で利用しているwi-fiルーターのチャンネル数を4chに設定し測定を実施した。このときの工場内電波状況測定結果を図10（コンバータ①付近）及び図11（コンバータ②付近）に示す。さらに、表2にコンバータと電波源（ルーター）間での通信成功率の結果を示す。

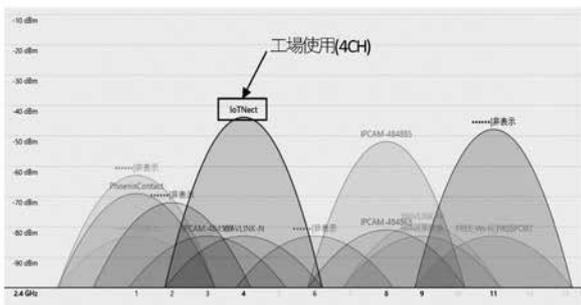


図10 コンバータ①周辺電波確認(4ch時)
Fig. 10 Confirmation of radio wave around converter-1 (for 4ch).

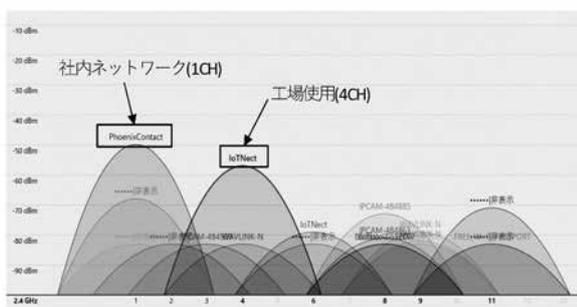


図11 コンバータ②周辺電波確認(4ch時)
Fig. 11 Confirmation of radio wave around converter-2 (for 4ch).

表2 コンバータ通信成功率(4ch時)
Table 2 Converter communication success rate (for 4ch).

コンバータ	通信成功率
①	87.8%
②	47.2%

表2より、コンバータ①の通信状況は、チャンネル数を干渉の少ない4chに変更したことにより、通信成功率が56.2%から87.8%に大きく改善することが確認された。一方で、コンバータ②の通信状況は、チャンネルを4chに変更した場合、電波強度の高い社内ネットワーク(1ch)との混信により、通信成功率が97%から47.2%と低下する結果となった。以上より、コンバータの通信成功率は、電波混信による影響が非常に大きいということが確認された。

< 3. 4 > コンバータ位置による電波改善

ここまでの測定では、チャンネル変更による電波障害改善の傾向が分かったが、コンバータ①の通信成功率については、87.8%とまだ改善の余地が残っている。従って、コンバータ①の通信成功率をさらに改善させるため、コンバータ位置を現実的に変更可能な場所に変更し通信成功率の測定を実施した。具体的なコンバータ①変更位置を図12に示す。元々コンバータ①の周囲には設備が密集していることから、少しでも設備による遮蔽及びノイズの影響を少なくするために、現状よりも1m高い位置($z=4m$)にコンバータ①を設置することにした。この時のコンバータ①通信成功率の結果を表3に示す。

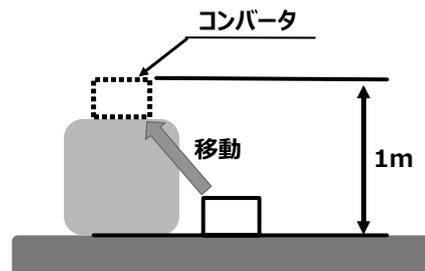


図12 コンバータ①変更位置
Fig. 12 Converter-1 position.

表3 コンバータ通信成功率($z=4m$)
Table 3 Converter communication success rate (for $z=4m$).

コンバータ	通信成功率
①	95.5%

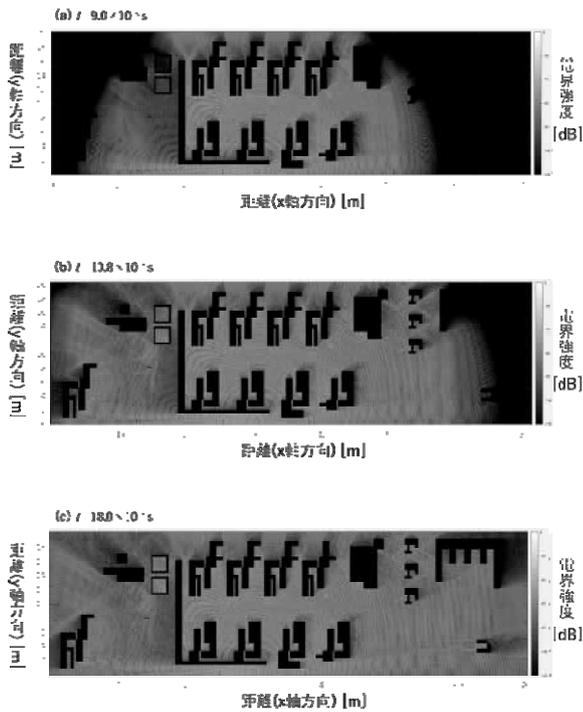


図 14 高さ 3 m の水平面における電界強度分布(dB)

Fig. 14 Field strength distribution in a horizontal plane at a height of 3 m.(dB)

これらの図を見ると、すべての時刻において中心部では生産設備付近で高い電界強度が見られる。図 14(c)のコンバータ① $(x, y)=(5, 5)$ とコンバータ② $(x, y)=(65.5, 5)$ 付近を見てみると、コンバータ②では障害物がないため、安定した電波が確認された。それに対しコンバータ①では強い干渉が見られ、安定した電波は確認されなかった。

次に、各コンバータ付近における電波の干渉の様子を確認するために、高さ 3 m における水平面における電界強度分布を振幅で表したものを図 15 に示す。色は電界強度の振幅を表しており、発信源における振幅 1 V/m としたときの相対値である。中心部の生産設備付近では、反射された電波が様々な方向に電波が伝わって強い干渉が起こっていることが確認された。それに対して通路部分 ($y=0\sim 1$ m) では強い電波が電波源を中心に左右に広がっているため、コンバータ② $(x, y) = (65.5, 5)$ 付近では比較的干渉の影響が少ない。コンバータ① $(x, y) = (5, 5)$ 付近の電波は、コンバータ①の下側の通路の先 ($y=0\sim 1$ m) に伝搬した強い電波が生産設備によって反射され伝わってきたので、コンバータ②と比べて電波強度が弱く、干渉の影響が強いことが分かる。

また、 $(x, y) = (12, 3)$ 付近にコンバータ①を移動する場合、干渉は少ないが電波強度が低いため、通信成功率の向上に繋

がらない可能性がある。一方コンバータ①の下側の通路の先 $(x, y) = (0, 0)$ 付近では電波源から出た強い電波が直接伝搬してきており強い干渉の影響が見られないため、この付近にコンバータ①を移動することによって通信成功率の向上に繋がることを期待できる。

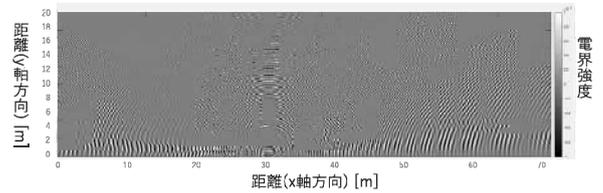


図 15 高さ 3 m の水平面における電界強度分布 (振幅)

Fig. 15 Field strength distribution (amplitude) in a horizontal plane at a height of 3 m.

< 4. 3 > 垂直面(xz)におけるシミュレーション結果

$y=5$ m の垂直面(xz 方向)における発信源の電界強度に対する比を dB で表した電界強度分布を図 16、電界強度分布を振幅で表したものを図 17 に示す。(a)は $t=9.0 \times 10^{-8}$ s、(b)は $t=10.8 \times 10^{-8}$ s、(c)は $t=18.0 \times 10^{-8}$ s である。電界強度分布において縦軸は z 軸方向の距離、横軸は x 方向の距離を表している。

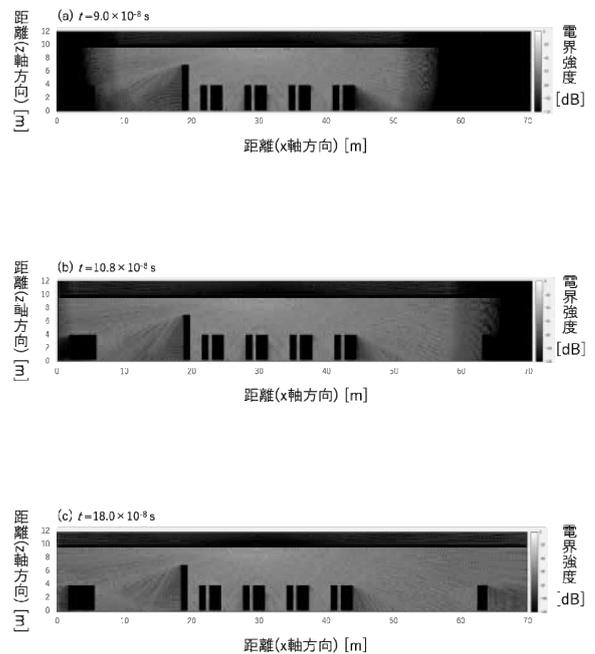


図 16 奥行 5 m の垂直面における電界強度分布(dB)

Fig. 16 Field strength distribution in a vertical plane with a depth of 5 m (dB)

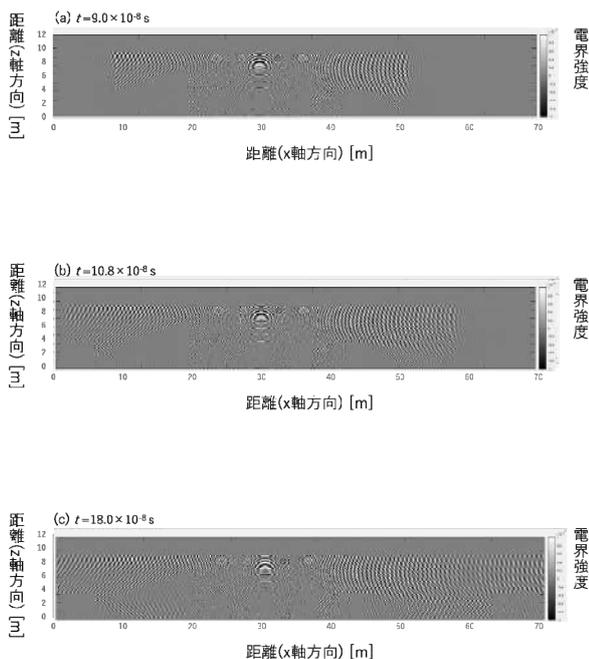


図 17 奥行 5 m の垂直面における電界強度分布(振幅)

Fig. 17 Field strength distribution (amplitude) in a vertical plane with a depth of 5 m.

図 16 の(a)を見ると、電波源からの電波が高さ 7 m の生産設備 $x = 18\sim 20$ m, $y = 0\sim 7$ m の裏に向かって回り込んでいる。各図においてコンバータ② $(x, z) = (65.5, 3)$ 付近を見ても、図 16 の電界強度分布(dB)では、干渉が小さく、安定した電波が伝わっていることが分かる。また、図 17 の電界強度分布(振幅)においてもコンバータ②部分では干渉が小さく、コンバータ②より高さが低い位置に関しては、右側の生産設備によって反射された電波との干渉が起きている。これよりコンバータの位置は高さ 4 m 以上に設定することによって通信の安定性が向上すると考えられる。一方で、コンバータ① $(x, z) = (5, 3)$ 付近を見ても、図 17 の電界強度分布(dB)では、コンバータ①の左側の生産設備によって反射された電波との干渉が起きている。コンバータ①の高さに注目してみると、高さ 4 m 以上では干渉が小さく、コンバータ②と似たような電界強度となっている。また、図 17 の電界強度分布(振幅)を見ると、コンバータ①の高さ 4 m 以上では干渉が小さいことが分かる。この結果より、3 章でコンバータ位置(高さ)を 4 m に変更したことで通信成功率が改善したことの裏付けが取れた。また、コンバータ位置(高さ)を地上($z=0$ m)としたときに通信成功率が悪くなったことも証明できたといえる。

5. 最適コンバータ位置での通信成功率確認

< 5. 1 > コンバータ①最適位置での測定結果

シミュレーション結果よりコンバータ①の最適位置は、 y 方向が 0~1m, z 方向が 4m 以上と考えられるが、現実的に設置可能という点を考慮し、コンバータ位置① $(x, y, z) = (0, 0, 1)$ での通信成功率(4ch)を測定した結果を表 7 に示す。

表 7 コンバータ通信成功率($z = 1$ m)

Table 7 Converter communication success rate. (for $z = 1$ m).

コンバータ	通信成功率
①	98.2%

表 7 より、チャンネル干渉による電波混信をなくし、コンバータを設備による遮蔽及びノイズの影響が少ない位置にすることで通信成功率が大きく改善することが確認された。

6. 結言

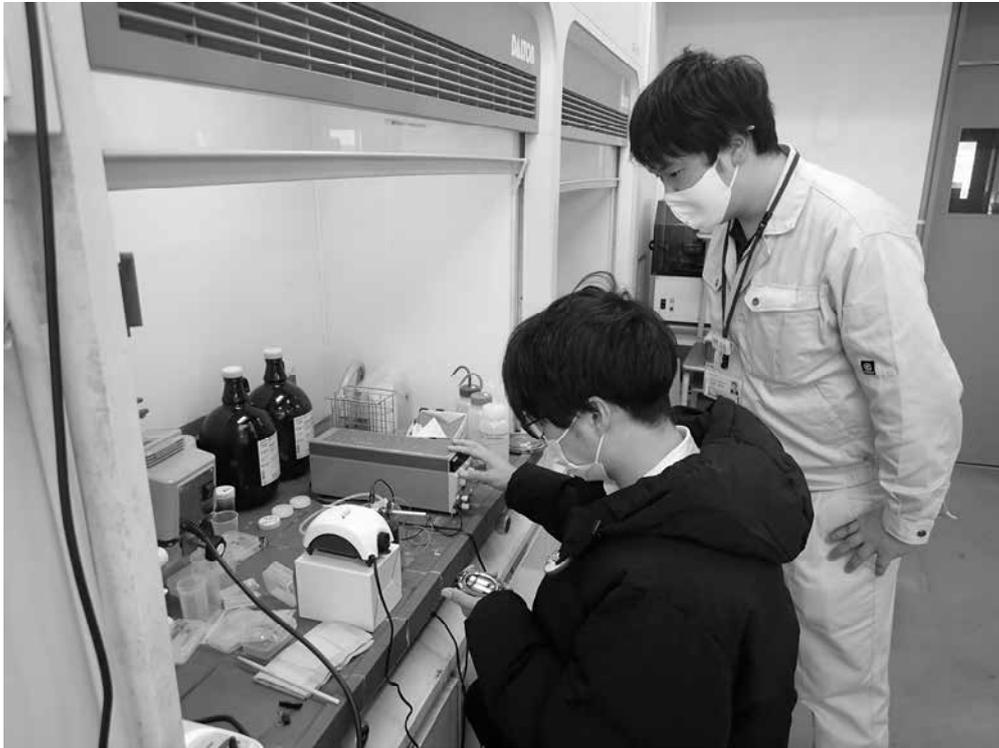
本研究では、デジタルツイン技術を用いて、工場内の最適な電波環境について検討した。具体的には、①工場のレイアウトと工場内の機器配置を精緻にシミュレーション空間上で再現、②シミュレーションにより工場内の無線 LAN による電波伝搬が、壁や機器配置にどのように影響するかを可視化、③可視化結果に基づき電波混信要因を特定し、実工場での機器配置の見直し方策を立案、④工場内の電波測定、通信成功率確認による有効性の検証の流れで研究を実施した。今回、シミュレーション及び電波測定により、最適なコンバータ位置及びチャンネル選定を実施し、コンバータ通信成功率の大幅な改善を達成することができた。

今後の課題として、T 社工場内では、今回シミュレーションで用いた工場内モデル以外にもルーター(電波源)が移動している場合が存在する。今回はルーターが固定された条件であったが、ルーターが移動している場合、電波環境はより複雑になる。電波の実測値からコンバータの最適な位置を見つけることは難しいため、よりシミュレーションによる解析が有効であると考えられる。

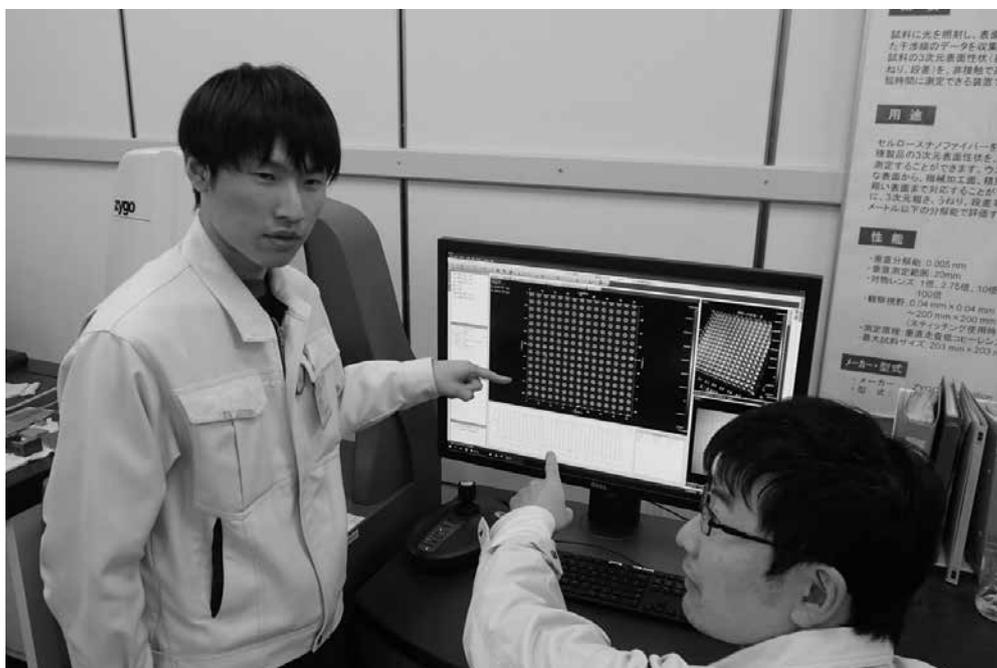
文献

- (1) デジタルツインとは～シミュレーションとの違い、解決する課題、企業・国・都市の事例、注目データ～
- (2) Jens Nachtigal, LANatolij Zubow, Jens-Peter Redlich: "The Impact of Adjacent channel Interference in MultiRadio Systems using IEEE 802.11," IEEE IWCMC, 2008
- (3) 宇野亨, "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析" コロナ社, 1998

「CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製」グループの研究活動風景



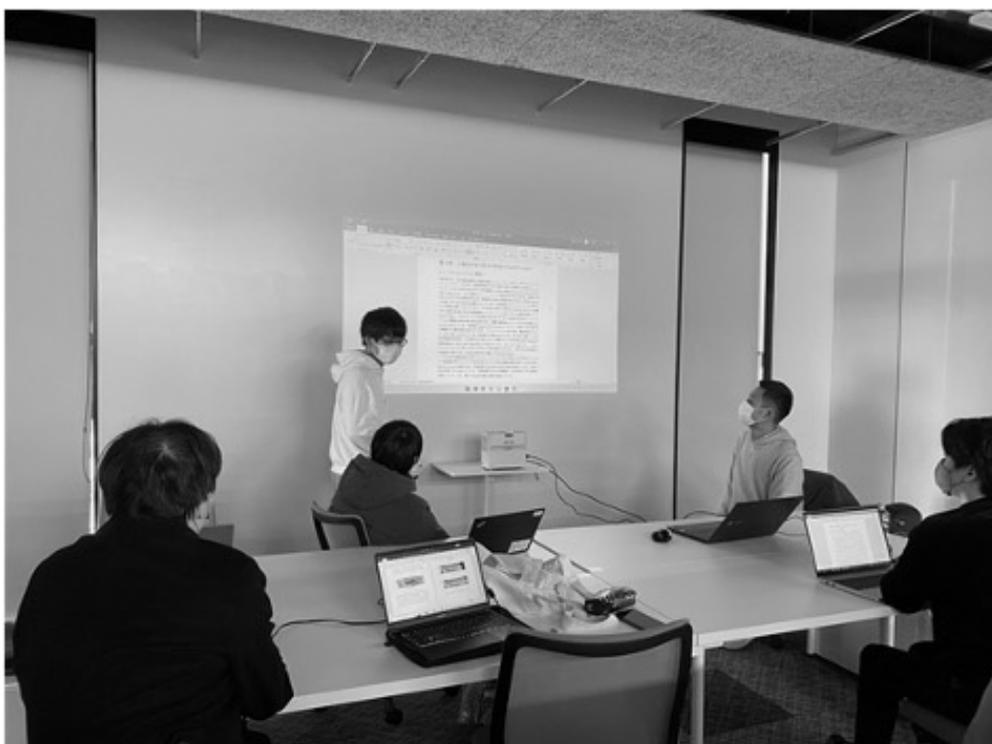
「表面微細構造による濡れ性制御に関する研究」グループの研究活動風景



「プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究」グループの研究活動風景



「デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善」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

- 35年間の研究テーマ数：216テーマ（昭和62年度～令和4年度）
- 参加研究員延べ人数：397名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

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

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

1. フレキシブルハンドに関する研究～ロボット用アームの試作（2）
石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン株）、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）
◎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）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. Co-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究
越浜哲夫（株不二越東富山製鋼所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
4. 樹脂・ファイバー複合材パネに関する研究
池田秀雄（株タカギセイコー）、上段一徳（東洋化工株）、長柄 勝（長柄鉄工株）、
柳原 潔（株黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究～光シャッター及び赤外線センサの開発をめざして
中溝佳幸（北陸電気工業株）、水谷里志（立山電化工業株）、山田義昭（東洋化工株）、
宮沢進一（吉田工業株、現YKK株黒部工場）、山本直樹（NKK（日本鋼管株）富山製造所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
6. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究～機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発
古瀬正浩（株インテック）、堀井 孝（エルコー株、現コーセル株）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成元年度（第3回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、19名）

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究～圧電薄膜音響光学素子の開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

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

古瀬正浩（㈱インテック）、堀井 孝（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮（北日本電子㈱）、中山正明（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度（第4回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、16名）

1. 磁性薄膜の応用に関する研究～倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫（㈱不二越）、高島 誠（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畑哲史（㈱和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

煙田不二男（燐化学工業㈱）、若林成喜（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

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

西浦慎一・村井哲雄（㈱タカノギケン）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 超音波杖の研究

中村 亮（北日本電子㈱）、堀登紀男（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究～完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究～光書き込み型メモリの開発

玉川 勤（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

桜栄和則（株タカギセイコー）、田村正行（吉田工業株、現YKK株）、柳原 潔（株黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 画像による円筒内面検査装置の開発

荒木満男（株タナカエンジニアリング）、西浦慎一（株タカノギケン）、

山本達生（エルコー株、現コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畑哲史（株和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 薄膜微細加工技術の研究

飴井俊裕（エルコー株、現コーセル株）、竹端精己（株不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究

岩田雅明（北日本電子株）、島野英明（株インテック）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究～完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンの研究

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

2. 薄膜微細加工技術の研究～トランスの試作

伊勢寿夫（コーセル株）、戸田雅規（株不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 形状測定装置の開発に関する研究

野末昌朗（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発

大岩秀徳（三協アルミニウム工業株）、長峰浩幸（株タカギセイコー）、本堂 裕（株斎藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 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（立山科学工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

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

伊東 守（コーセル株）、森田智之（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンの研究

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 有機電子材料の研究

雨野孝信（株タカギセイコー）、堀田正人（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. リン酸塩系セラミックス固体電解質の開発～Agイオン固体2次電池の試作

黒川寛幸（北陸電気工業株）、山口 睦（磷化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. RIMのCAEに関する研究

杉田孝嗣（三協アルミニウム工業株）、中村和禎（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（1）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成6年度（第8回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、16名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（株タカギセイコー）、寺本正夫・杉谷 健（コーセル株）、

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅（コーセル株）、田村雅英（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸系エッチング液の基礎研究

山口 睦（磷化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川良雄（富山軽金属工業株）、福本 滋（北陸電気工業株）、三松克次（株タカギセイコー）、

山下慎也（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 3次元入力デバイスの開発

細木文夫（三協アルミニウム工業株）、横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (2)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業株)、米谷庄一 (三協アルミニウム工業株)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成7年度 (第9回) 研究テーマと研究参加者 (8テーマ、15名)

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発 (2)

大浦真司 (三協アルミニウム工業株)、高田謙一 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

永森和久 (株タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

山口 睦 (燐化学工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微動機構による機械の高度化の研究

佐野仁一 (東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 薄膜超磁歪素子の研究

酒井隆正 (コーセル株)、谷上英樹 (北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

7. レドックス型太陽発電システムの開発

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

長谷川益夫 (富山県林業技術センター木材試験場)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (3)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業株)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成8年度 (第10回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、15名)

1. 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 (株タカギセイコー)、田島正康 (株タナカエンジニアリング)

田中 篤 (北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

松井裕昭 (株タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. レドックス型太陽発電システムの開発 (2)

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

長谷川益夫 (富山県林業技術センター木材試験場)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 複数のロボットによる協調制御の研究

金田淳也（コーセル株）、森田裕之（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

5. 多孔質シリコンの形成に関する研究

石川秀人（北陸電気工業株）、安田純子（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 高輝度蓄光性蛍光板の開発

佐野仁一（東洋化工株）、二見泰雄（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度（第11回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、18名）

1. レドックス型太陽発電システムの開発（3）

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）

森田裕之（立山アルミニウム工業株）、渡辺暁信（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 生活環境用臭センサの開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックストランスの開発

堀井一宏（コーセル株）、柳川 新（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 局所的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 電気自動車の開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成10年度（第12回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、11名）

1. 圧電素子を用いた制振機構の研究

稲垣 聡（北陸電気工業株）、渡辺暁信（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究

野上拓也（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 生活環境用においセンサの開発（2）

星野昌則（コーセル株）、南 政克（北陸電気工業株）、山田浩美（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発 (2)

坂本雅美 (株斉藤製作所)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微細放電加工の研究

太田光則 (株斉藤製作所)、橋本 明 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

6. 電磁シールド材の基礎研究

高橋伸忠 (株タカギセイコー)、福田隆之 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成11年度 (第13回) 研究テーマと研究参加者 (8テーマ、14名)

1. エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価

島村和孝 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究 (2)

高田智哉 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 深層水及び藻類を利用した太陽光発電の基礎研究

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

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

4. 山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究

前田智博 (立山科学工業株)、高瀬 洋 (県警察本部)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. インテリジェントにおいセンサの研究

小森一哉 (北陸電気工業株)、石川勝巳 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

6. 微細放電加工の研究 (2)

太田光則 (株斉藤製作所)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

7. 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発

小中稔正 (YKK株)、山田浩美 (東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. プラスチック上のハードコーティング技術の研究

高橋伸忠 (株タカギセイコー)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成12年度 (第14回) 研究テーマと研究参加者 (5テーマ、8名)

1. エンジンの動弁機構における構造解析および強度評価 (2)

島村和孝 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. インテリジェントにおいセンサの研究 (2)

小森一哉 (北陸電気工業株)、谷口真也 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

3. 高摩擦係数材料の研究

高田智哉 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究

酒井康弘 (株タカギセイコー)、前田健二 (立山アルミニウム工業株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. 低温駆動小型燃料電池の開発に関する基礎研究

高橋雄一 (コーセル株)、山田浩美 (東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成13年度(第15回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、14名)

1. 滑雪板(着雪防止板)の開発

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

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

2. 分子機能材料を用いた光電池の研究開発

濱口 誠(コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 高摩擦係数材料の研究(2)

高田智哉(田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究(2)

酒井康弘(株タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発

小出哲雄(コーセル株)、坂本雅美(株斉藤製作所)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

6. 体質診断等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)

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所

7. マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発

桑原大輔(北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所、富山大学工学部、J S T

8. アルミ表面解析技術の高度化に関する研究

澤井 崇(武内プレス工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成14年度(第16回)研究テーマと研究参加者(8テーマ、13名)

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)

石見雅美(株斉藤製作所)、稲澤直子(コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

2. 体質診断等DNAチップの開発(2)

碓井洋平(立山科学工業株)、水原 崇(コーセル株)、米嶋勝宏(東洋化工株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J・中央研究所

3. MEMSを応用した高精度温度センサの開発

今村徹治（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J、富山大学工学部

4. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発

清水 歩（武内プレス工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・P J

5. 超小型4サイクルエンジンの開発

杉森雅一（エヌアイシ・オートテック株）、中西智英（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 滑雪機構の改善に関する研究

河井牧夫（田中精密工業株）、野田耕司（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

7. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発

山田英子（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討

酒井康弘（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター生活工学研究所、機械電子研究所

☆平成15年度（第17回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（3）

石見雅美（株齊藤製作所）、魚谷一成（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究（3）

碓井洋平（立山科学工業株）、中山 均（コーセル株）、中林俊幸（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発

桑原大輔（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 小径穴加工システムの開発

手嶋成市（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 超小型4サイクルエンジンの開発（2）

花崎 大（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究

増山智英（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成16年度（第18回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、12名）

1. 大型色素増感太陽電池の開発

廣田和也（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発

米澤久恵（コーセル(株)）、碓井洋平（立山科学工業(株)）、深沢正樹（立山マシン(株)）、
宝泉重徳（東洋化工(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

3. インクジェット用機能性インクの開発

松田杏子（立山科学工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発

澤田篤宏（コーセル(株)）、石見雅美（(株)斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 薄膜低温度特性抵抗器の開発（2）

桑原大輔（北陸電気工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

6. 環境適応型インテリジェント窓の開発

堀 剛文・松田 力（立山アルミニウム工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

7. 高摩擦係数材料の研究（3）

上田修一（田中精密工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・生活工学研究所・機械電子研究所

☆平成17年度（第19回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、10名）

1. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発（2）

小杉京平（コーセル(株)）、太田光則（(株)斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発（2）

上谷聡史（コーセル(株)）、深沢正樹（立山マシン(株)）、中田守人（東洋化工(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

3. 薄膜低温度特性抵抗器の開発（3）

津幡 健（北陸電気工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

4. 圧電材料による起電力素子の研究

猪田明宏（立山科学工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

5. 高摩擦係数材料の研究（4）

山下剛史（田中精密工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・生活工学研究所・中央研究所

6. インクジェット技術の応用研究

田中裕美（立山科学工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

7. 大型色素増感太陽電池の開発（2）

廣田和也（(株)タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成18年度（第20回）研究テーマと研究参加者（9テーマ、11名）

1. メタボリック症候群関連遺伝子検出装置の開発

三宅正浩（コーセル株）、深沢正樹（立山マシン株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県新世紀産業機構

2. マイクロTASチップの開発

嶋 将伸（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・P J推進担当・機械電子研究所

3. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の開発

清水裕也（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・P J推進担当

4. インクジェット法による電子回路パターンの作製

篠原おりえ、田中裕美（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 小径穴仕上げ加工

高岡利尚（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センターP J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・P J推進担当

☆平成19年度（第21回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、10名）

1. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

曾根宏信（燐化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

2. 肉盛ステライトの硬さに影響を与える溶接条件の研究

田中隆尚（田中精密工業株）、長柄大介（長柄鉄工株）

◎富山県工業技術センター中央研究所・P J推進担当、富山大学芸術文化学部

3. インクジェット法を用いたアンテナの作製

廣島大三（立山科学工業株）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. 燃料電池用超小型水素発生器の開発

川端基裕（コーセル株）、遠藤 亮（三協立山アルミ株）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

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

☆平成20年度（第22回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. マイクロリアクタによる反応制御方法に関する研究
大橋裕之（燐化学工業株）、梅原洋平（コーセル株）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
2. 空中超音波を用いた空間温度計測システムの研究
正源浩之（コーセル株）、木下正之（立山科学工業株）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
3. ダイカスト金型材料の接合技術の開発
花崎裕美（田中精密工業株）、古川万晃（株タカギセイコー）
◎富山県工業技術センター中央研究所・P J 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（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
5. 酵母を利用した和漢薬の薬理作用の解析および測定デバイスの開発
日出嶋宗一（立山マシン株）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所

☆平成21年度（第23回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、9名）

1. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発
吉田康子（株タカギセイコー）、中田裕一（北陸電気工業株）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
2. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発
熊田泉実（コーセル株）、日出嶋宗一（立山マシン株）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
3. 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（田中精密工業株）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部

5. スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発

斉藤洋輔（コーセル(株)）、若林 傑（立山科学工業(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成22年度（第24回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. ミニロボット群による水田防除草システムの開発

上田将志（コーセル(株)）、古川和明（立山科学工業(株)）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

2. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発

広地信一（立山マシン(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部

3. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発

須田誠（田中精密工業(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部

4. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用

澤田修平（コーセル(株)）、細川修宏（株）タカギセイコー）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発

高見和志（コーセル(株)）、新川翔平（北陸電気工業(株)）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部・中央研究所

☆平成23年度（第25回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、7名）

1. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発（2）

広地信一（立山マシン(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部

2. LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究

平田哲郎（コーセル(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

3. 積層鋼板の磁気特性に関する研究

堀田哲朗（田中精密工業(株)）、杉本考行（コーセル(株)）

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

4. シリコンアーマチュアデバイスの研究開発

木澤裕志（立山科学工業(株)）、岩滝幸司（北陸電気工業(株)）

◎富山県工業技術センター中央研究所、富山大学大学院理工学研究部

5. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究

藤井美里（株）タカギセイコー）

◎富山県工業技術センター中央研究所

☆平成24年度（第26回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、10名）

1. MDF木屑からのバイオエタノール抽出技術の開発

羽根新太郎（三協立山(株)）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

2. マグネシウムイオン2次電池に関する研究

作道千枝 (燐化学工業株)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

3. ナノインプリントを応用した微細電極パターンの形成に関する研究

大門貴史 (北陸電気工業株)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

4. 小水力発電システムの研究

中瀬典章 (コーセル株)、荒井勇人 (立山科学工業株)、熊澤周士 (株タカギセイコー)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

5. 受動的歩行ロボットの開発

水上慎太郎 (コーセル株)、若崎祥人 (立山マシン株)

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. 積層鋼板の磁気特性に関する研究 (2)

藤岡英示 (田中精密工業株)

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

7. SW電源の電磁ノイズのシミュレーション

野口拓 (コーセル株)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成25年度 (第27回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、7名)

1. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究

猪原 悠 (田中精密工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、元工業技術センター

2. スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究

野口 拓 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

3. 単層カーボンナノチューブに関する研究

大門貴史 (北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

4. 極低容量水力発電システムの研究

住和大輔 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. マグネシウム燃料電池の開発

安田 剛 (三協立山株)、山崎鉄平 (株タカギセイコー)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

6. ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究

升方康智 (立山科学工業株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・企画管理部、県商工労働部

☆平成26年度 (第28回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、12名)

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究

中村将士 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 切削加工シミュレーションに関する研究

水野輝章（田中精密工業株）、若林武司（立山マシン株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、元工業技術センター

3. 3Dプリンタを利用した簡易的なブロー成形樹脂型の製作に関する研究

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

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

4. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究

浦山陽平（コーセル株）、中田智康（北陸電気工業株）

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

5. 量子ドット増感太陽電池の研究

山本尚人（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

6. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究（2）

大浦秀剛（三協立山株）、山崎鉄平（株タカギセイコー）、林 達規（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、元工業技術センター

☆平成27年度（第29回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究（2）

杉森雄平（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用

山崎諭史（コーセル株）、内山 肇（三協立山株）、金山侑司（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究

山本貴之（コーセル株）

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

4. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善

熊澤周士（株タカギセイコー）、黒河歩美（立山マシン株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. ドリル切削加工における精度向上に関する研究

石澤剛士（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化

筒井英明（武内プレス工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成28年度（第30回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究（2）

今井航平（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

2. 振動の簡便な測定法・低減法の開発

林 大清（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 金属積層造形の基礎と造形物の評価に関する研究

永田直也（三協立山(株)、滝沢将史（コーセル(株)）

◎指導機関：工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所

4. 容器用実用アルミ材の耐食性および腐食反応の解析に関する研究

深川裕之（武内プレス工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. エンドミル加工での工具寿命向上に関する研究

中嶋 謙（田中精密工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・生活工学研究所・中央研究所

6. ウェアラブル電源の開発

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

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

☆平成29年度（第31回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、9名）

1. 有機無機ペロブスカイト太陽電池の開発

宮崎幸輝（コーセル(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

2. 複合化樹脂粉を用いたレーザ塗装

島林孝吉（株斉藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・ものづくり研究開発センター

3. X線CTの形状計測および変形評価への応用

朝野剣太（コーセル(株)、瀧田 諭（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. 工具寿命の机上検出手法に関する研究

石澤剛士（田中精密工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究

盤若秀明（三協立山(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. ウェアラブル電源の開発（2）

林 大志（コーセル(株)、渡辺涼太（立山マシン(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

7. 厚膜型圧電振動発電素子の開発に関する研究（3）

櫻井雅崇（北陸電気工業(株)）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学大学院理工学研究部

☆平成30年度（第32回）研究テーマと研究参加者（4テーマ、5名）

1. CAEを用いた振動解析の信頼性評価への応用

稲垣友大（株タカギセイコー）、村井慎介（北陸電気工業(株)）

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

2. 超音波接合における接合材の振動特性に関する研究（2）

藤田直希（コーセル(株)）

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

3. 曲面用外観検査手法の研究

石澤剛士（田中精密工業株）

◎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

4. 感光性ナノファイバーを用いたフレキシブルな透明導電パターンの作製

榎 正史（コーセル株）

◎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）

1. 外観検査用画像処理の自動最適化に関する研究

中嶋 謙（田中精密工業株）、田中智惟（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

2. 生産現場への行動認識及びマルチエージェントシミュレーションの適用

大上泰輝（コーセル株）、三鍋香織（立山科学工業株）

◎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）

◎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（株タカギセイコー）

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

☆令和3年度（第34回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、6名）

1. 基板トランスにおける交流抵抗の低減技術検討

萩中悠太（コーセル株）

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

2. 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（株タカギセイコー）

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

3. 時系列データ分類のための誤分類低減手法

寺井太朗（田中精密工業株）

◎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）

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

5. 製品のヘルスマニタリングのIoT化に関する研究

西井渉太（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・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（磷化学工業株）

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

☆令和4年度（第35回）研究テーマと研究参加者（4テーマ、8名）

1. CNF 複合樹脂成形とめっき技術を用いた高性能部品の作製

朝日奈幸輝（コーセル株）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

2. 表面微細構造による濡れ性制御に関する研究

杉田涼輔（北陸電気工業株）

◎指導機関：産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター

3. プラスチック製品の性能向上のための設計技術と評価に関する研究

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

◎指導機関：産業技術研究開発センター機械電子研究所

4. デジタルツイン技術を活用した工場内の電波環境の改善

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

◎指導機関：富山県立大学工学部

○ 会 員 企 業

令和5年3月10日現在（50音順）

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

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

○ 研 究 会 員

氏 名	所 属	役 職	学 位	電話番号
研究幹事				
石 黒 智 明	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	デジタルものづくり課 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企画管理部	部 長	博士(工学)	0766-21-2121
関 口 徳 朗	産業技術研究開発センター	次 長		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	所 長		0763-22-2141
寺 澤 孝 志	産業技術研究開発センターものづくり研究開発センター	製品・機能評価課長		0766-21-2121
中 茂 樹	富山大学学術研究部工学系	教 授	博士(工学)	076-445-6731
鍋 澤 浩 文	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
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	076-445-6844
林 千 歳	産業技術研究開発センター機械電子研究所	所 長	博士(工学)	076-433-5466
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 正 人	産業技術研究開発センター生活工学研究所	上席専門員	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 飴 久晴 (昭和62年度～平成4年度)	2代会長 高木 正明 (平成5年度～平成6年度)
3代会長 中田 守人 (平成7年度～平成8年度)	4代会長 野村 正也 (平成9年度～平成10年度)
5代会長 田中 一郎 (平成11年度～平成12年度)	6代会長 武内 繁和 (平成13年度～平成14年度)
7代会長 斉藤 恵三 (平成15年度～平成16年度)	8代会長 水口昭一郎 (平成17年度～平成18年度)
9代会長 町野 利道 (平成19年度～平成20年度)	10代会長 笠井 千秋 (平成21年度～平成22年度)
11代会長 津田 信治 (平成23年度～平成24年度)	12代会長 田中 一郎 (平成25年度～平成26年度)
13代会長 武内 繁和 (平成27年度～平成28年度)	14代会長 齊藤 行男 (平成29年度～平成30年度)
15代会長 水口 勝史 (令和元年度～令和2年度)	16代会長 谷川 正人 (令和3年度～令和4年度)

○ 願 問 (50音順)

- 會澤 宣一 ((大) 富山大学・工学部長)
- 高林 外広 (産業技術研究開発センター・所長)
- 谷野 克巳 (元工業技術センター・所長)
- 土肥 義治 ((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・顧問)
- 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 (元公益財団法人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 (元公立大学法人富山県立大学・工学部教授)

(様式1)

「若い研究者を育てる会」入会申込書

企業名 (事業所名)
代表者名
住所・電話番号・FAX番号 〒 TEL : FAX :
連絡担当者所属・役職・氏名・E-mail address
上記のとおり貴会へ入会を申し込みます。 年 月 日 企業名 (事業所名) 印 「若い研究者を育てる会」 殿

◎ 「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

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

☆申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

(公財) 富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

TEL 076-444-5607

FAX 076-444-5630

発 行 者	若い研究者を育てる会
	〒930-0866 富山市高田529 (公財)富山県新世紀産業機構 プロジェクト推進課内
発 行 責 任 者	富山県産業技術研究開発センター 林 千歳 (公財)富山県新世紀産業機構 高川 恭輔
発 行 年 月 日	令和5年3月10日
印 刷 所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。

