ISSN 0914-2207

Reports of the
Toyama Industrial Technology Research & Development Center

№34　2020

富山県産業技術研究開発センター研究報告

富山県産業技術研究開発センター

富山県産業技術研究開発センター研究報告
目　次

Ⅰ　ものづくり研究開発センター

□科学研究費補助金

血中循環腫瘍細胞を利用した癌の遺伝子解析技術に関する基礎検討……1
機能素材加工課　大永　崇
富山大学第2外科　藤井　努
東京大学消化器内科　大塚基之

食道癌における血液循環癌幹細胞の免疫応答回避機構解明による転移制御法の確立……2
機能素材加工課　大永　崇
富山大学第2外科　藤井　努
富山大学工学部　寺林賢司

□フロンティア研究推進事業

微粉砕化技術を応用した木質高機能膜の形成に関する研究……3
デジタルものづくり課　岩坪　聡、住岡淳司、丹保浩行
木材研究所　藤澤泰士、鈴木　聡、村井敦史

□イノベーション共創プラットフォーム形成事業（技術研究）

高混練二軸押出機を用いた乾燥CNF/PP複合材料の作製と性能評価に関する研究……5
ものづくり基盤技術課　川野優希、水野　渡、岡野　優、藤牧寛城

コンピュテーショナルモデリングによる3Dプリント用設計手法の開発……7
デジタルものづくり課　住岡淳司、氷見清和、山本貴文

距離画像による衛生管理に向けた手の動作検出に関する研究……9
製品・機能評価課　佐々木克浩
デジタルものづくり課　岩坪　聡
生活工学研究所　塚本吉俊

強ひずみ加工による軽金属材料の高強度化技術の開発……11
機能素材加工課　佐藤　智、國方伸亮

□経常研究

レーザを用いた各種材料の表面修飾……13
ものづくり基盤技術課　髙松周一
デジタルものづくり課　氷見清和
企画管理部　石黒智明

樹脂3Dプリンターによる消失模型鋳型の作製と金属鋳造に関する研究……15
デジタルものづくり課　氷見清和、住岡淳司
企画管理部　石黒智明

電子デバイス用セルロースナノファイバー紙の開発 …… 17
デジタルものづくり課　丹保浩行、岩坪　聡

異方機能性を制御するための W 系材料を用いた金属 3D プリント技術の構築…… 19
デジタルものづくり課　山本貴文、氷見清和

パンチングによる熱可塑性炭素繊維強化樹脂と金属の異材接合…… 21
機能素材加工課　山岸英樹、佐藤　智

セルロースナノファイバーシートを用いた振動試験治具設計 …… 23
製品・機能評価課　清水孝晃
ものづくり基盤技術課　川野優希
デジタルものづくり課　丹保浩行、岩坪　聡

電磁ノイズ抑制構造に関する研究 …… 25
製品･機能評価課　宮田直幸、佐々木克浩

生分解性プラスチックの添加剤による生分解性の制御…… 27
ものづくり基盤技術課　岡野　優、水野　渡、川野優希、髙松周一、山崎茂一、藤牧寛城

レーザー樹脂溶着用の光熱変換効率の高い吸光剤の開発 …… 29
ものづくり基盤技術課　藤牧寛城、山崎茂一、髙松周一

金属製品の触感の向上に関する研究 …… 31
デシタルものづくり課　能登有里彩、氷見清和

イオン液体を用いた高効率水電解 …… 33
機能素材加工課　國方伸亮、山岸英樹、佐藤　智

タングステンを用いたアルミダイカスト金型補修のための基礎研究…… 35
製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃
デジタルものづくり課　山本貴文

Wi-fi(無線 LAN)の周波数帯域を用いるレクテナの試作と評価…… 37
製品・機能評価課　奈須野雅明、佐々木克浩

□企業との共同研究

香気成分の合成に関する研究…… 39
ものづくり基盤技術課　山崎茂一、藤牧寛城
生活工学研究所　吉田　巧
(有)アンティアンティ　宮崎　真、坂本沙恵、石坂里咲

SUS 系複合材料を用いた金属造形技術の構築…… 40
デジタルものづくり課　山本貴文、能登有里彩
新日本電工(株)　菊池貴彦、大塚　亮、橋場裕樹

自動車用構造部材のアルミ化促進のための高精度・高生産レーザシステムの開発…… 41
製品・機能評価課　清水孝晃、関口啓介、奈須野雅明
(株)小矢部精機　史　暁辰、空　卓見、高長昌志、砂　博信

高強度と高靭性を両立したプラスチック自動車部品向け CNF/湿式粉砕タルクハイブリッドフィラーの開発…… 42
ものづくり基盤技術課　川野優希、水野　渡、岡野　優、藤牧寛城
林化成株式会社　辻　泰弘、齋勝　誠

6000 系アルミニウム合金同種材の鍛接プロセスに関する研究 …… 43
機能素材加工課　山岸英樹、佐藤　智、國方伸亮
アイシン軽金属(株)　吉田朋夫、松井宏昭

長繊維を特徴とするナノファイバー製造の効率手法に関する研究…… 44
デジタルものづくり課　岩坪　聡、住岡淳司
生活工学研究所　寺田堂彦
機能素材加工課　佐藤　智
(株)スギノマシン　近藤兼司、森本裕輝、小倉孝太、峯村　淳

マルチマテリアル化による軽量・高強度構造部材の開発 …… 45
製品・機能評価課　清水孝晃、佐々木克浩、関口徳朗
(株)小矢部精機　史　暁辰、高長昌志、砂　博信
アール&スポーツディベロップメント(株)
金平卓巳、中田 満、久我口学、中村 周、小倉早苗、
竹本庸浩、宝田文彦、山口義則

次世代建築へ向けた 3 次元フレキシブルファザードの新規開発…… 46
デジタルものづくり課　氷見清和、能登有里彩
瀬尾製作所(株)　瀬尾良輔、瀬尾伸輔、太田文夫

摩擦攪拌プロセス(FSP)による表面改質層の特性向上技術開発 …… 47
機能素材加工課　佐藤　智、山岸英樹、國方伸亮
中越合金鋳工(株)　谷　真一、本吉史武、藤丸陽一、齊藤一成、土肥祐輝

塑性加工性の良好な難燃性マグネシウム合金微細ビレットの開発…… 48
機能素材加工課　山岸英樹、佐藤　智、國方伸亮
(株)TAN-EI-SYA　北西俊清、荒木順治、餅川昭二

セルロースナノファイバーを配合した新規生分解性複合材料の開発…… 49
ものづくり基盤技術課　川野優希、水野　渡、髙松周一、岡野　優、藤牧寛城
中越パルプ工業(株)　永田健二、坪井国雄、橋場洋美、明野美也子

アルミダイカスト用金型補修のための精密レーザ肉盛技術の開発による
金型の耐溶損性向上及び長寿命化 …… 50
製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃
機能素材加工課　山岸英樹
(株)キャステム　大上仁士

アルミ配管の無火気ロウ付け施工技術の確立 …… 51
製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃
デジタルものづくり課　氷見清和
(株)リケン CKJV　大橋一善、高橋宏幸

Ⅱ　生活工学研究所

□科学研究費補助金

マイクロ流体デバイスによる循環がん細胞除去法の開発 …… 52
生活資材開発課　高田耕児
富山県立大学　安田佳織
群馬大学　横堀武彦

希少細胞の高感度捕捉・選択的脱離回収フィルターの開発 …… 53
生活資材開発課　寺田堂彦

精子運動性の制御に基づく運動精子選別システムの開発 …… 54
生活資材開発課　高田耕児
岡山理科大学　杉浦宏治

安全な光治療・光細胞機能操作を可能にするナノーバイオ界面の創製…… 54
生活資材開発課　高田耕児
富山県立大学　村上達也

血中に存在するリポタンパク質の異所利用：加齢黄斑変性の点眼治療法開発に向けて…… 55
生活資材開発課　高田耕児
富山県立大学　村上達也

血中循環癌細胞のシングルセル解析による口腔癌次世代統合精密治療法の開発 …… 55
生活資材開発課　高田耕児
鹿児島大学　杉浦　剛

□公益財団法人タナカ財団助成事業

情報端末を用いた健康管理支援に関する研究 …… 56
生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊

□イノベーション共創プラットフォーム形成事業（技術研究）

身体バランス測定用ウェアのためのウェアラブルセンシング技術の開発…… 57
生活科学課　上野　実、浦上　晃

モニタリング用サポータの開発 …… 59
生活資材開発課　佐伯和光、吉田　巧
生活科学課　塚本吉俊、浦上　晃
生活工学研究所　金丸亮二

□経常研究

夏用プロテクトスポーツウェアの設計に関する研究…… 61
生活科学課　牧村めぐみ
生活工学研究所　金丸亮二

情報端末を用いた健康管理支援に関する研究 …… 63
生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊

ナノファイバー不織布の耐水性及び耐洗濯性の向上に関する研究 …… 65
生活資材開発課　吉田　巧、佐伯和光
生活工学研究所　金丸亮二

□企業との共同研究

耐薬品性を有する産業用ロボットウエアの開発 …… 67
生活資材開発課　吉田　巧
生活工学研究所　金丸亮二
(株)ミヤモリ　永野和明、吉田裕治

絹の光沢としなやかさ、綿の肌ざわりを合わせ持つ広幅交織織物の開発 …… 68
生活科学課　上野　実、牧村めぐみ、塚本吉俊
生活工学研究所　金丸亮二
(株)松井企業場　松井文一、松井　渉

細胞分離システムに関する研究 …… 69
生活資材開発課　高田耕児
ものづくり研究開発センター　丹保浩行
日本ゼオン(株)　橋岡真義

生活悪臭を吸着・分解できる高性能な消臭剤の開発 …… 70
生活科学課　牧村めぐみ、塚本吉俊
生活資材開発課　寺田堂彦
生活工学研究所　金丸亮二
ものづくり研究開発センター　岩坪　聡、山崎茂一
(株)エイト　中野收一

ナノファイバー模擬皮膚材をベースとしたヘルスケア用品の開発 …… 71
生活資材開発課　吉田　巧
生活工学研究所　金丸亮二
第一編物(株)　成瀬大輔、奥野一詩、石地敦司

ウェアラブル型飲酒による酔いの測定機器に関する研究 …… 72
生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊
生活工学研究所　金丸亮二
ライフケア技研(株)　日出嶋宗一、横井秀輔

粒子をサイズで分離するマイクロ流路チップに関する研究 …… 73
生活資材開発課　高田耕児
ものづくり研究開発センター　丹保浩行
(株)リッチェル　萩原　衛、村上　岳、荒引大輔、中村一樹

Ⅲ　機械電子研究所

□JST シーズ

射出成形用微細ナノ加工ハイブリッド金型の開発 …… 74

電子デバイス技術課	横山義之
ものづくり研究開発センター	川野優希
三光合成(株)	杉野直人、亀田隆夫
富山県立大	竹井　敏、安田佳織

□公益信託飴久晴富山県内大学等研究助成金

光パターニング可能なナノファイバーを利用したフレキシブルな透明回路の形成技術の開発 …… 75

電子デバイス技術課	横山義之

□フロンティア研究推進事業

チューリップのカメラ画像による病株判定システムの開発 …… 76

機械情報システム課	金森直希
機械電子研究所	佐山利彦
機械情報システム課	本保栄治
園芸研究所	西村麻実、八重樫元、山口清和

□イノベーション共創プラットフォーム形成事業（技術研究）

ウェアラブル小型電源の開発 …… 78

電子デバイス技術課	寺澤孝志、角田龍則

アルミ材へのリベットの超音波接合に関する研究 …… 80

機械情報システム課	羽柴利直
企画管理部	石黒智明

□経常研究

非接触 3D スキャナによる三次元表面形状評価に関する研究 …… 82

機械情報システム課	吉田　勉、金森直希
機械電子研究所	佐山利彦
ものづくり研究開発センター	清水孝晃
総合デザインセンター	堂本拓哉

デジタルカメラを用いた振動解析の高周波化に関する研究 …… 84

機械情報システム課	釣谷浩之、金森直希

大量の教師データを要する検知／判別システムのための学習作業の省力化に関する研究 …… 86

機械情報システム課	金森直希、釣谷浩之

アルミ材への鋼材ボルトの超音波接合に関する研究 …… 88

機械情報システム課	羽柴利直、中村陽文
企画管理部	石黒智明

軽量・高性能部材のためのCAEを活用した3次元中空構造の研究 …… 90
機械情報システム課　中村陽文、金森直希
機械電子研究所　佐山利彦
ものづくり研究開発センター　山本貴文

セルロース基成形体に関する研究 …… 92
電子デバイス技術課　早苗徳光
生活工学研究所　吉田　巧、金丸亮二

高分子ナノファイバーの高強度化と電子デバイスへの応用 …… 94
電子デバイス技術課　横山義之
生活工学研究所　寺田堂彦

酸化物系固体電解質を採用した厚膜二次電池の開発 …… 96
電子デバイス技術課　角田龍則
機械情報システム課　本保栄治

高温利用可能な非鉛圧電膜の開発 …… 98
電子デバイス技術課　坂井雄一、角田龍則

□企業との共同研究

感光性材料の開発 …… 100
電子デバイス技術課　横山義之
日産化学(株)　岸岡高広

□若手研究者育成支援共同研究

外観検査用画像処理の自動最適化に関する研究 …… 101
機械情報システム課　金森直希、本保栄治
ものづくり研究開発センター　佐々木克浩
若い研究者を育てる会
田中精密工業(株)　中嶋　謙
コーセル(株)　田中智惟

フレキシブル薄膜二次電池の基礎研究 …… 102
電子デバイス技術課　角田龍則、寺澤孝志、早苗徳光、横山義之
機械情報システム課　本保栄治
若い研究者を育てる会
北陸電気工業(株)　岩滝幸司
富山大学　中　茂樹

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 …… 103
機械情報システム課　釣谷浩之
機械電子研究所　佐山利彦
ものづくり研究開発センター　関口徳朗、佐々木克浩
生活工学研究所　塚本吉俊
若い研究者を育てる会
コーセル(株)　小林寛治
(株)タカギセイコー　吉澤　明

CAE の構造最適化を用いた設計手法に関する基礎研究……104
機械情報システム課　中村陽文、金森直希、羽柴利直
機械電子研究所　佐山利彦
ものづくり研究開発センター　住岡淳司、山本貴文
若い研究者を育てる会
(株)タカギセイコー　清田典秀

血中循環腫瘍細胞を利用した癌の遺伝子解析技術に関する基礎検討

機能素材加工課　大永 崇　　富山大学第 2 外科　藤井 努　　東京大学消化器内科　大塚 基之

1. はじめに

癌は遺伝子の異常に由来する病気であり、1 つの腫瘍の中でも細胞レベルでは遺伝子が不均一であること、さらには個々の患者さん、治療や病状の経過などにより遺伝子が変化することへの理解が深まりつつある。このような認識と共に、近年の飛躍的な遺伝子解析技術の進歩が相まって、現在癌医療は、患者さんの腫瘍の遺伝子情報を網羅的に把握し個別的・精密的に実施する方向に進みつつある。このような癌ゲノム医療の実現は、現在、国主導のもと強力に推進されており、既にその課題が明示されている。課題の一つに、生検に代わる低侵襲な遺伝子採取が挙げられており、“Liquid biopsy”が注目されている。Liquid biopsy は、血液などの体液から遺伝子を得る手法であり、必要時に繰り返し実施できるが、微量成分を単離することが容易でないため、現在世界で研究が進められている。筆者らは既に、マイクロ流体デバイスを用いた血中の微量な癌細胞（Circulating Tumor Cell; CTC）を捕捉する手法を確立している。本研究は、この手法で単離した CTC から遺伝子情報を得るための技術確立を目指し、がんゲノム医療推進に寄与すべく実施する。

2. ポリマーCTC チップをベースとした遺伝子解析

これまでに筆者らは、材料科学、表面科学、微細加工技術などを複合した工学的アプローチから、CTC 捕捉を目的とした“ポリマーCTC チップ”を開発し、実用化すると共に国内大学病院と共同して臨床検体試験を進めてきた。その結果、大腸癌（Ishibashi R et al. Oncol Lett. 2019,18,6397 および Kure K et al. Oncol Lett. 2020,19,2286）、前立腺癌（Obayashi K et al. Prostate International 2019,7,131）、悪性胸膜中皮腫（Yoneda K et al. Cancer Sci. 2019,110,726）、乳癌（長田拓哉ほか **癌と化学療法** 2015,42,1240）などにおいて高感度に CTC を捕捉し、本チップ技術の有用性を証明した。

本研究では、このように捕捉した CTC について漏れなく遺伝解析するための技術を検討する。解析にはチップに捕捉した細胞やその遺伝子の回収技術が必要なので、始めにこの点から検討を開始した。一般にこのような検討では高い回収率は達成されていないが、既に筆者らは確実な細胞保持が可能な回収技術を確立している（特許 6283792 号）。チップ中に特定のモノマー溶液を流し込み光照射により重合し、生成したゲルに細胞を包埋して回収する技術である。本技術では確かに全捕捉細胞の回収が可能だが、遺伝子解析を考えると次の懸念がある。

a. 光重合による遺伝子、特に RNA の変性
b. 使用化学物質の PCR への影響
c. 化学架橋ゲルのためその除去が困難
d. 死細胞で回収されるため細胞培養ができない（遺伝子量を増した信頼性の高い解析ができない）

そこで本研究では、温度などの刺激により可逆的にゾル・ゲル転移し細胞傷害性のない高分子溶液系を見出し、上記同様に細胞回収する技術を検討している（図 1 参照、シングルセルの回収も含む）。今年度は様々な天然高分子・合成高分子溶液のゲル化挙動やゲル物性について検討し、転移温度、溶液粘度、ゲル強度などの点から本研究の目的に適する高分子を見出した。今後、細胞回収テスト、遺伝子解析を進め、技術確立する。

謝辞：本研究は科研費（基盤研究(C)：19K07746）の助成を受けたものである。

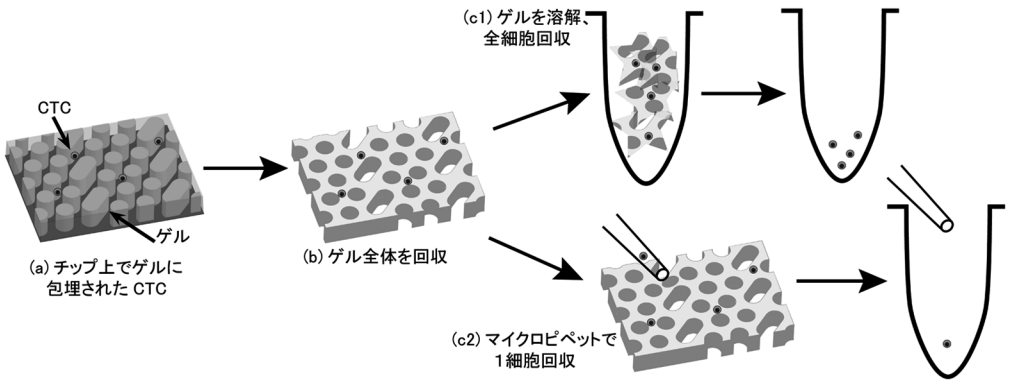


Fig. 1　ゲルを用いたポリマーCTC チップの細胞回収技術

食道癌における血液循環癌幹細胞の免疫応答回避機構解明による転移制御法の確立

機能素材加工課　大永 崇　　富山大学第 2 外科　藤井 努　　富山大学工学部　寺林　賢司

1. はじめに

本研究は、食道癌において転移成立に密接にかかわる癌幹細胞の免疫回避機構を解析し、治療標的を見出すことにより、新たな癌免疫治療法の開発を目指す。血中循環腫瘍細胞（CTC）は癌転移に直接かかわる細胞であり、癌幹細胞はその集団に含まれると考えられるので、本研究の重要な課題の 1 つとして、CTC の捕捉およびキャラクタリゼーション手法の確立が挙げられる。既に筆者らは癌患者さんからCTC を効率よく捕捉できるマイクロ流体デバイス“ポリマーCTC チップ”を開発しているので、ここではチップに捕捉された細胞の確実かつ効率的なキャラクタリゼーションについて、産技研および富山大工学部が中心となって検討する。

2. 画像認識による CTC キャラクタリゼーション

従来 CTC のキャラクタリゼーションは、特定マーカーおよび核の存在、モルフォロジーに注目し、その蛍光標識像および明視野像を用いて目視により実施されてきた。ここでは従来法から任意性を排除し効率化するために、機械学習による画像認識プログラムを作成し、CTC を同定すると共にその特徴を抽出する手法を検討する。はじめに、CTC 同定に必要な機械学習のための教師データを取得した。識別対象となる食道癌細胞、正常食道細胞、白血球を、別々のポリマーCTC チップに流して捕捉したのち蛍光染色し、顕微鏡画像を撮影した。撮影は、通常の CTC 同定に用いられる 3 種類の蛍光像（蛍光標識抗サイトケラチン抗体、蛍光標識抗 CD45 抗体または DAPI により染色）および位相差像について行い、各数百枚程度の教師データを各細胞について用意した。現在、これらのデータをもとに別途用意した評価用データで識別の精度を検討している。また今後は食道癌細胞の幹細胞マーカーであるp75NTR に関する検討や臨床検体試験も実施する。

謝辞：本研究は科研費（基盤研究(B)：18H02878）の助成を受けたものである。

微粉砕化技術を応用した木質高機能膜の形成に関する研究

デジタルものづくり課　岩坪　聡[*1]　住岡淳司[*1]　丹保　浩行
農林水産総合技術センター木材研究所　藤澤泰士　鈴木聡　村井敦史

1. 緒言

セルロースナノファイバーCNF は、環境に優しい次世代の材料として着目され、チキソ性を負荷するゲルや添加剤、あるいはその強い強度から補強剤として様々な応用が試みられている。一方、スギ木粉の製造に関する研究において、スギ未成熟部辺材は組織的に微粉砕されやすいこと、この木粉を原材料にして適切な条件で混練型 WPC 用コンパウンドを製造すると木粉は顔料オーダー（10 μm 以下）まで微細繊維化できることが報告され、混練型 WPC 用コンパウンドなどの応用技術が開発されてきた。しかし、この微粒子だけではお互いに結合することは無く塗膜にすることは出来なかった。木粉の一部を、リグノセルロースナノファイバーLCNF にすることで CNF とリグニンの特長とを持たせることができ、その膜に木材由来の構造による優れた断熱性と、造膜性に優れる特長を持たせることが可能になると考えられる。その応用として、暑熱対策用の塗料やその風合いを活かした工芸的な高級品などが挙げられる。さらに、CNF の特性を持たせることで、バルク木材より優れた特性を示す膜を作製することができると考えられる。そこで本研究では、木粉塗料の製造技術の開発を目的に、①木粉塗料の製造条件、②木質膜の形成方法、③木質膜の性状分析を実施し、LCNF を含む木質塗料とそれを用いた木質膜の形成技術について検討した。

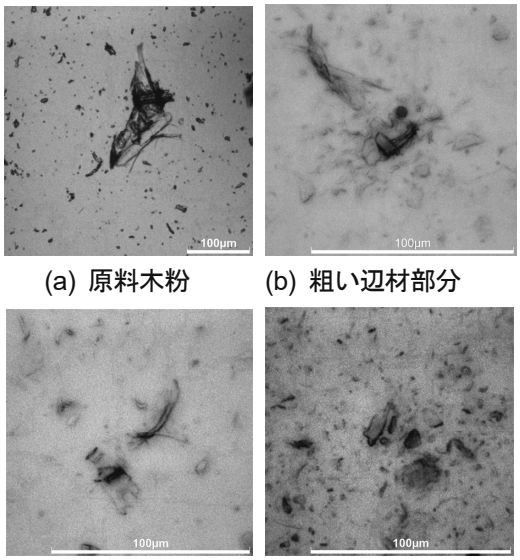
2. 実験方法

LCNF を作製するために、グラインダー処理は増幸産業株式会社製 MKCA6-2J を使用した。原料としては、スギ、ヒノキの各部位を粉砕･分級した木粉を用いた。処理した懸濁液から膜を作製し、熱伝導特性、防黴試験、摩擦係数の試験を行った。レオロジー特性の評価には、Anton Paar 社製 MCR302 を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 グラインダー処理によるリグノ CNF の構造

図 1 に条件を変えて処理したスギ木粉の顕微鏡像を示す。(a)は原料となる辺材部分のスギ木粉で、100 μm 程度の大きさの歪な形態粒子と細かな微粒子が観察された。辺材部分を原料とし処理した場合の(b)は、薄い色の 20 μm 程度の粒子も観察されるが 50 μm 以上の大きな部分も観察された。一方、心材部分の場合は（c）は、50 μm 以上の大きな塊もなく、10 μm 程度の細かな粒子になっていた。さらに、分級処理により選別した原料(d)では、10 μm 以下の細かな微粒子が非常に多く観察された。原料の部位などによって、粒子形態は大きく異なった。

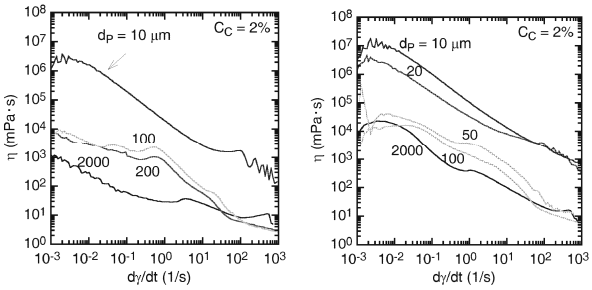


(a) 原料木粉　(b) 粗い辺材部分

(c) 粗い心材部分　(d) 細かい心材部分

図 1　各種木粉をグラインダー処理した懸濁液の OM 像

3.2 レオメータによる木粉ゲルの粘弾性評価



（a）粗い木粉懸濁液　（b）細かな木粉懸濁液

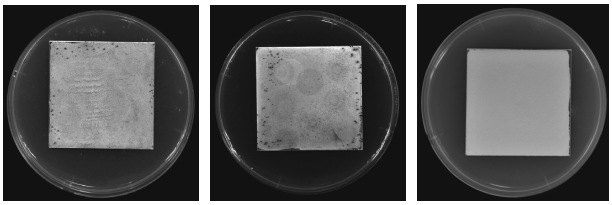
図 2　グラインダー処理した木粉懸濁液の粘度 η のせん断速度 *dγ/dt* 依存性

レオメータを用いて、濃度が 2%の木粉懸濁液の粘度や貯蔵弾性率を調べ、その構造解析を行った。図 2 に、(a)粗い辺材木粉を原料とした場合と(b)細かな辺材木粉を原料とした場合の懸濁液の粘度 η の *dt/dt* 依存性を示す。レオメータのプレート間距離が 2000 μm と大きい条件の測定で、粗い粒子を原料とした懸濁液の η は、1×10^3 mPa･s 以下の大きさであった。また、η の *dt/dt* 依存性は少な

*1 現　企画管理部

い傾向があった。これは、この懸濁液は粘性体としての特性を多く有していることを示し、CNF 化が余り進んでいないことを示している。一方、細かな木粉を原料とした場合は、η は 2×10^4 mPa･s と粗い場合の 20 倍以上も、また、η の *dt/dt* 依存性も大きくなった。この液は、擬塑性流体としての特性が強く現れていた。これらの結果からも、木材の材料の部位によって、CNF に解繊し易い部分とそうでない部分があることが分かった。ナノファイバー化し易い部位は、辺材の部分に多く、選別した細かな部位がリグノセルロースナノファイバーを作製するために、有効な原料となることが分かった。

3.3 木粉塗膜の防黴性能



(a)スギ木粉:4　　(b)スギ塗膜:5　(c)ヒノキ塗膜:0

図３　各種塗膜の JIS Z 2911 試験の結果

作製した木粉懸濁液から膜を作製し、その防黴性能を試験した。スギ塗膜と、ヒノキ塗膜に関して、JIS Z 2911 試験を行った。図 3 にその結果を示す。黒い部分が黴である。スギ塗膜の防黴性能は、グラインダー処理によって 4（菌糸はよく発育し、発育部分の面積は試料の全面積の 50%以上）から 5:（菌糸の発育は激しく、試料全面を覆っている）に劣化したが、ヒノキ塗膜では、2（肉眼でカビの発育が認められ、発育部分の面積は試料の全面積の 25%未満）から 0:（肉眼及び顕微鏡下でカビの発育は認められない）結果になった。スギは、ナノファイバー化により生分解性が高まり、黴が繁殖しやすくなったが、ヒノキは、木材内部のヒノキオールなどの防黴成分が表面に現れ、その繁殖が抑制できたと考えられる。

3.4 木粉塗膜の熱伝導特性

木材は、熱伝導性が悪く断熱材としての応用が期待できる。そこで、ナノファイバー化を含む塗膜により、その値が変化するかを、定常法-熱流計法にて熱伝導率を評価した。表 1 にスギの心材と辺材を塗膜にした場合の結果を示す。

表１　辺材と心材を原料とした各種塗膜の熱伝導率

スギ	辺材の熱伝導率 (W/(m･K))	心材の熱伝導率 (W/(m･K))
木粉	0.045	0.062
粗い解繊の塗膜	0.093	0.060
細かい解繊の塗膜	0.105	0.084

木粉は、膜にならずパラパラの状態であるが、0.045 W/(m･K)の非常に小さな熱伝導率を示した。辺材部分の膜はグラインダー処理することで、0.105 W/(m･K)まで大きくなった。一方、心材部分では、その処理によって 0.062 から 0.082 W/(m･K)と少ししか増加しなかった。これは、辺材の方が細かくなり、ナノファイバー化している体積が大きいことを示している。以上のことから、スギの場合、塗膜の材料として辺材で分級した細かな木粉が、ナノファイバー化処理に適していることが明らかになった。

4. 結言

木粉から密着性に優れた膜を作製することができた。この膜の熱伝導率や防黴特性を調べた結果、熱伝導率が 0.1 W/(m･K)以下と非常に小さく、高い断熱性能があることが確かめられた。その他、膜の摩擦係数が 0.14 と非常に小さいことや、木の風合いがあることが確認でき、建築用の高機能性の断熱膜あるいは、工芸的な応用展開が可能になることを示した。また、ヒノキの高い防黴性能も確認できた。これらの特長を活かした応用が期待される。

キーワード：木粉、リグノセルロース、ナノファイバー、微粒化、グラインダー

Study on High Performance Wood Films Prepared by Milling Process

Product and Function Evaluation Section; Satoshi IWATSUBO[*1] Junji SUMIOKA[*1] and Hiroyuki TAMBO
Forestry & Fisheries Research Center; Yasushi FUJISAWA Satoshi SUZUKI Atsushi MURAI

Lignocellulose suspensions with nanofibers were prepared from wood powders of Japanese cedar and sun tree by wet grinder milling. The suspensions prepared by the process included the large particles in the range between 1 and 100 μm. The particle size and the amount of nanofibers differed in the wood parts. The films from the suspensions were prepared. The properties of anti-mildew and the thermal conductivity of the films from the suspensions were investigated. The films of sun tree showed the excellent anti-mildew. The thermal conductivity of the films of Japanese cedar was values smaller than 0.1 W/(m･K). The film showed excellent adhesion. The applications that take advantage of the features are expected.

高混練二軸押出機を用いた乾燥 CNF/PP 複合材料の作製と性能評価に関する研究

ものづくり基盤技術課　川野優希　　水野　渡　　岡野　優　　藤牧寛城[*1]

1. 緒言

セルロースナノファイバー(CNF)は、高強度・高弾性率・低線膨張係数といった特徴から、樹脂材料へのフィラー材料として期待できる。しかし、CNF は水分を含んだ材料であるため、疎水性熱可塑性樹脂との複合時にセルロース分子同士が強固に凝集して固化し、優れたフィラーとしての補強効果が活かせなくなる。

これまでに、CNF の凝集固化を防ぎながら乾燥させる前処理方法の検討を行った結果、ステアリン酸骨格を持つ分散剤を添加しセルロース混合可塑化成形装置を用いて乾燥処理することで凝集物の少ない CNF の乾燥材(乾燥 CNF)が得られることを見出した。また、セルロース混合可塑化成形装置を用いて乾燥 CNF とポリプロピレン(PP)の複合材料を作製し CNF 分散状態と強度特性を評価したところ、複合材料内には直径 100 μm 程度の凝集物が存在し凝集物の大きさが強度特性の低下に影響を及ぼすことを明らかにした。

本研究ではより凝集物の少ない複合材料の混練方法を検討するため、混練時に強いせん断を与えることのできる高混練二軸押出機を用いて乾燥 CNF と PP の複合材料を作製し強度特性および CNF 分散状態を評価した。

2. 実験方法

2.1 使用材料

CNF は固形分 10 %となる中越パルプ工業株式会社製の含水 CNF(nanoforest-S / BB-S-1 (10 %))を用いた。分散剤はステアリン酸骨格を持つ分散剤を用いた。分散剤の添加量は、CNF の固形分に対して 20 mass%とした。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、CNF と PP の界面強度の向上を目的とし無水マレイン酸変性ポリプロピレン(理研ビタミン株式会社製、リケエイド MG-441P: MAPP)を用いた。

2.2 CNF 乾燥方法

CNF の乾燥処理にはセルロース混合可塑化成形装置(株式会社エムアンドエフ・テクノロジー製、MF-1001R)を用いた。乾燥条件は、回転羽根の回転数を 2700 rpm とし、水分が蒸発し CNF が粉体となって回転羽根のトルクが減少したところで乾燥処理を終了した。乾燥処理終了後、チャンバーを開け乾燥 CNF を回収した。

2.3 混練方法および成形方法

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 の固形分で複合材料総量に対して 5 mass%とした。乾燥 CNF と PP 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、スクリュー回転数 200 rpm とし、水冷した後ペレタイザーでペレット化した。また、界面活性剤の添加量は複合材料総量に対して 3 mass%とした。複合材料の成形には真空射出成形機(株式会社ソディック製、MS100)を用いて、引張試験片の形状(ダンベル形、タイプ 1A 形)および曲げ試験片の形状(短冊形、タイプ B)に成形した。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 とした。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。

2.4 複合材料強度評価方法

複合材料の強度評価として引張試験および 3 点曲げ試験を行った。いずれの試験も小型強度試験機(株式会社島津製作所製、EZ-LX)を用いた。引張試験条件は、試験速度 5 mm/min、標線間距離 50 mm、試験本数 5 本とし、引張強度および引張弾性率を算出した。曲げ試験条件は、試験速度 1 mm/min、支点間距離 64 mm、試験本数 5 本とし、曲げ強度および曲げ弾性率を算出した。

2.5 複合材料内 CNF 分散状態評価方法

乾燥CNF/PP複合材料内のCNFの分散状態の評価には、高分解能デスクトップ型 X 線 CT(BRUKER 社製、SKYSCAN 1272)を用いた。測定サンプルは射出成形した引張試験片の中央部から、4×4×10 mm の大きさに切り出したものを使用した。測定条件は、加速電圧 40 kV、空間分解能 2 μm、積算回数 2 回とし、回転角度 0.2 °毎に 360 °撮影を行った。また、X 線 CT 分析は測定サンプルの中心部 1×1×1 mm の範囲とした。

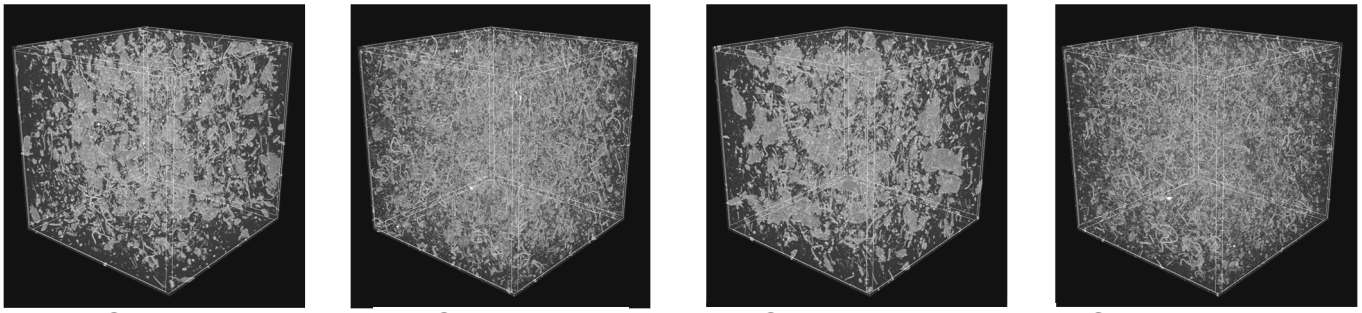
3. 実験結果および考察

Table 1 に、強度試験結果を示す。試験結果より、引張強度および曲げ強度は分散剤、MAPP を用いることで PP 材料よりも高い値を示した。また、引張弾性率および曲げ弾性率は分散剤、MAPP を用いることで PP 材料と同等の値を示した。また、分散剤および MAPP を用いることで

*1 現　生活工学研究所

Table 1 Strength test result

Sample	MAPP	Dispersant	Tensile strength [MPa]	Tensile modulus [MPa]	Flexural strength [MPa]	Flexural modulus [MPa]
①D-CNF/PP	No addition	No addition	31.2	2040	48.2	1680
②D-CNF-A/PP		Addition	31.0	2000	48.2	1770
③D-CNF/PP/MAPP	Addition	No addition	32.1	1960	47.9	1620
④D-CNF-A/PP/MAPP		Addition	33.0	2130	49.8	1720
⑤PP	Comparison material		32.6	2140	48.3	1710



(a) ①D-CNF/PP (b) ②D-CNF-A/PP (c) ③D-CNF/PP/MAPP (d) ④D-CNF-A/PP/MAPP

Fig. 1 X-ray CT images of composite materials

複合材料は分散剤を用いていない複合材料よりも高い強度を有しており強度特性に有効な影響を与えるといえる。また、曲げ弾性率は分散剤および MAPP を用いた複合材料よりも分散剤を添加し MAPP を用いていない複合材料の方が高い値を有している。これは、分散剤を用いていない複合材料の曲げ弾性率においても同様の傾向を示していることから MAPP を用いたことで母材である樹脂自体の曲げ弾性率が低くなったためであると考えられる。

Fig. 1 に、X 線 CT 分析より得られた乾燥 CNF/PP 複合材料の CT 画像を示す。図は分析範囲内部の CNF の分散状態を示している。分析結果より、分散剤を用いていない複合材料では CNF の大きな凝集物が多く見受けられるが、分散剤を用いた複合材料では大きな凝集物が見られず乾燥 CNF が複合材料内部に均一に分散していることが分かる。また、分散剤を用いた複合材料の CT 画像について数値解析をした結果、最大直径約 60 μm でありセルロース混合可塑化成形装置を用いて作製した複合材料に見られたような直径 100 μm を超える凝集物は確認されず、高混練二軸押出機を用いたことにより物性低下に影響を及ぼす大きな凝集物が減少したと考えられる。今後は乾燥 CNF/PP 複合材料の強度向上に適した添加剤の検討や疲労特性、長期熱安定性等の長期的な物性について評価を行い乾燥 CNF が複合材料に有効な影響を与える物性についての検討を行っていく予定である。

4. 結言

高混練二軸押出機を用いて乾燥処理した乾燥 CNF と熱可塑性樹脂の複合材料を作製し物性評価を行った。その結果、CNF の乾燥時に分散剤を、PP との複合時に界面活性剤を用いることで PP 材料と同等かそれ以上の物性を示すことを明らかにした。また、作製した複合材料の CNF 分散状態を評価した結果、高混練二軸押出機を用いて複合材料を作製することで凝集物の大きさが減少することを確認した。

キーワード：セルロースナノファイバー、高混練二軸押出機、分散剤、強度評価、X 線 CT

Study on Fabrication of Dry Cellulose Nanofiber / Polypropylene Composite Materials by the High Kneading Twin Screw Extruder and their Performance Evaluation

Core Manufacturing Technology Section; Yuki KAWANO, Wataru MIZUNO, Masaru OKANO and Hiroki FUJIMAKI[*1]

In this study, fabrication of dry cellulose nanofiber (CNF) / polypropylene (PP) composite materials by the high kneading twin screw extruder (HKTSE) and their performance evaluation were investigated. Dispersant having stearic acid and maleic anhydride denaturing PP (MAPP) were used. It was found that the tensile strength and flexural strength of dry CNF / PP composite material using the dispersant and MAPP were higher than those of PP. Also, HKTSE had dispersion effect of CNF.

コンピュテーショナルモデリングによる３Ｄプリント用設計手法の開発

デジタルものづくり課　住岡淳司[*1]，氷見清和，山本貴文

1. 緒言

伝統産業は全国的に低迷して久しく、県内も同様、代表的伝統産業の高岡銅器、高岡漆器においては、従来品の売り上げでは危機的状況にあるため、新商品の開発並びに多品種少量生産品、一品生産品による高付加価値化を推し進める必要がある。また銅器では原型師、漆器では木地師といった職人の後継者不足が深刻化し、業界存亡の危機にあると言っても過言ではない。

一方、コンピュテーショナルモデリングは、コンピューターを使用し大量のデータ処理を行いながら、造形上の意思決定と思考支援を行う設計ツールである。これを3D プリンティングに取り入れ、銅器の鋳物原型や漆器の木地に適用することにより、それぞれの特徴を活かした新商品開発、同製品の高付加価値化が期待できる。

そこで本研究では、この両者のコラボレーションを図ることを目的とし、画期的な商品開発支援ツールとしての可能性を探るべく、試作及び検討を行った。

2. Grasshopper の活用

2.1 Grasshopper の機能調査・検討

昨年度の研究において、コンピュテーショナルモデリングの機能調査を行った。コンピュテーショナルモデリングにはいくつかの専用ソフトウェアがあるが、県内伝統産業への導入し易さの観点から、3D-CAD「Rhinoceros」のプラグインツールの一つである「Grasshopper」を選定し、そのコンポーネントの活用方法やパターンについて調査を行った。コンポーネントは、3D-CAD 上での設計やパターン構築等を指示するための機能をもち、10 種類に大別され、さらに細分化されており、それぞれの中に数十種類のものが存在する。これらの膨大な組み合わせ（以下、造形レシピ）によって、製品の大きさや形状はもちろん、多様なテクスチャーパターンなども設計可能となることがわかった。また一昨年度までの研究において、銅器の少量生産や一品生産のための原型試作、または漆器(木地)そのものの製作に、当センターの積層造形装置(3D プリンター)による 3D プリンティングが有効であることがわかっている。この設計ツールと 3D プリンターを組み合わせ活用することで、さらに様々な商品のバリエーション展開が可能となることが大いに期待できる。

2.2 効率的で多様な形状設計

ここで「Grasshopper」を活用したコンピュテーショナルモデリングによるパネル試作の一例を示す。これは、波紋の中心点の位置や個数、凹凸面の半径の長さや高さをパラメータ化し、数値スライダーで自在にリアルタイムで形状変更を可能とする造形レシピであり(図 1)、これによって可能となったモデリングの一例である(図 2)。

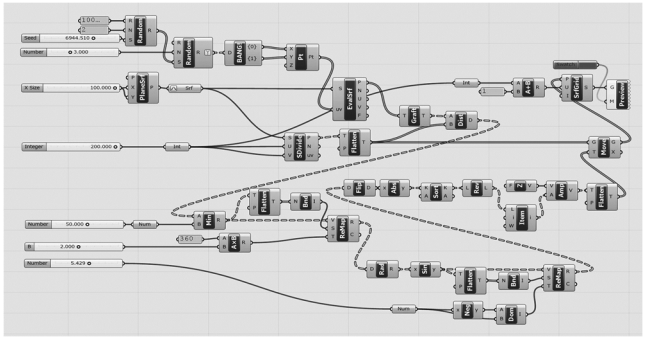


図１　「Grasshopper」によるパネルの造形レシピ

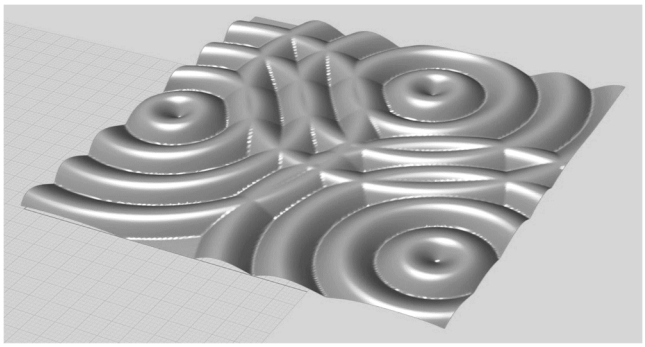


図２　造形レシピによるパネルのモデリング

例えばこれを壁面パネルやプレート等に応用することで、多様な商品原型となり、銅器、漆器への活用が可能となる。

2.3 銅器の原型及び漆器の木地への応用・試作

この手法を基に、銅器・漆器への応用として、二つの試作事例を示す。先ずは壁面パネルやトレイに転用可能な造形レシピによる試作提案であるが、これらの造形はほんの一例に過ぎず、無数の造形パターンを生み出すことが可能である(図 3,4)。

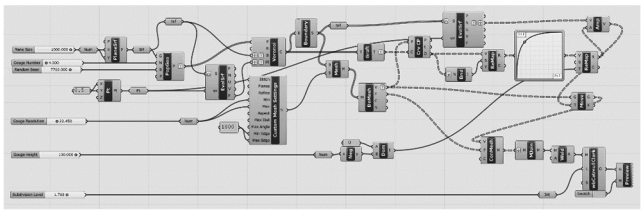


図３　壁面パネルやトレイ用の造形レシピ

*1 現　企画管理部

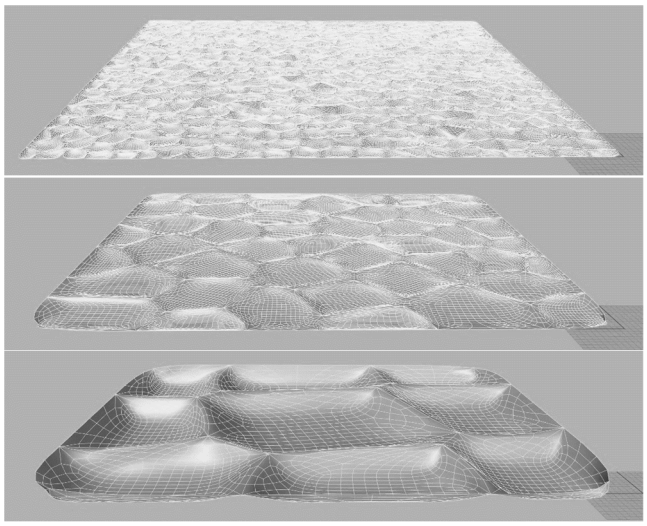


図４　壁面パネルやトレイ用のモデル

次にフラワーベース用の造形レシピと試作提案である。これによって、オーソドックスなモデルをはじめ近未来的なモデル、或いは新しい仏具としても提案可能なものが出来上がった(図 5,6)。

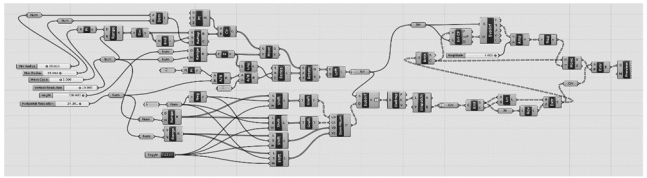


図５　フラワーベース用の造形レシピ

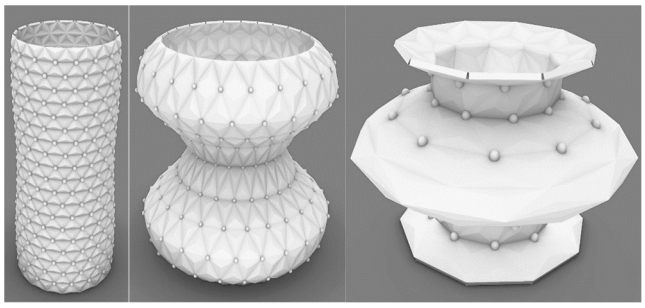


図６　フラワーベース用のモデル

以上のことからこの手法が、効率的に多様な造形パターンを生み出すことが出来、伝統産業での商品開発支援ツールとして可能性が無限大であることや、その他設計者が意図しない偶発的なモデルの発現など、大いに楽しめるツールでもあることがわかった。

3. まとめ

本研究により、高岡銅器、高岡漆器それぞれの分野において、新商品開発に向けたコンピュテーショナルモデリングの可能性について把握できた。多品種少量や一品生産に有効な 3D プリンティングに、コンピュテーショナルモデリングを取り入れることで、これまでにない多様なバリエーション展開が可能となり、ニッチで高付加価値的な商品開発に活用できると考える。また、昨今の新型コロナウイルス関連の深刻な世界情勢を考慮した場合、我々の産業自体の在り方について、抜本的な見直しを余儀なくされる可能性もある。幸いにして環境負荷が少なく家内制手工業的な傾向の強い伝統産業は、その産業形態として比較的有利な状況にあり、今後の情勢によってはその価値が見直され、等身大の産業として新たに再認識されていくことも考えられる。このタイミングにおいて、上記のデジタル技術を取り入れていくことで、売り上げ、後継者不足の両面において挽回を図っていくことも期待できるのではないかと考える。

今後も関連企業・団体と連携を図りながら、積極的なデジタル技術の活用方法を探り、支援を継続していくこととする。

参考文献

1) 石津優子、堀川淳一郎：Parametric Design with Grasshopper ー建築/プロダクトのための、Grasshopper クックブック　ビー・エヌ・エヌ新社 (2017)
2)中島淳雄 : Grasshopper 入門　株式会社ラトルズ (2014)
3)中島淳雄、高木秀太：コンピュテーショナル・モデリング入門から応用　株式会社ラトルズ (2019)
4)住岡 他：富山県産業技術研究開発センター研究報告,No33(2019)pp.22-23

キーワード：コンピュテーショナルモデリング、3D プリンティング､伝統産業､鋳造、漆器

Development of Design Method Using Computational Modeling to Support Traditional Industries

Junji SUMIOKA, Kiyokazu HIMI and Takafumi YAMAMOTO

The business of traditional industries in Japan has been performed poorly every year, this is the same in Toyama prefecture. It's necessary to add high extra value by development of a new product, high-variety low-volume manufacturing items and one piece product about copperware and lacquerware at Takaoka. On the other hand, computational modeling is a design tool that supports modeling decision and thinking while performing massive data processing using a computer. Therefore, we conducted the research in order to link the effectiveness of computational modeling to the support and activation of traditional industries.

距離画像による衛生管理に向けた手の動作検出に関する研究

製品・機能評価課　佐々木克浩*1、デジタルものづくり課　岩坪　聡*2、生活工学研究所　塚本吉俊

1. 緒言

現在、WHO のガイドライン等に推奨する手洗いの手順等が示されているが、食品工場や病院において必ずしも遵守されておらず、食中毒や院内感染を引き起こす原因になっている。このため、所定の手順で手洗いを行ったかを自動管理できるシステムが望まれる。そのシステムに向けた手洗い動作の認識技術[1]として、本研究では、距離画像センサを用いて手の姿勢と動きの両方を考慮した動作認識を目指して研究を進めている。本年度は、昨年度のシステム[2]を基盤として、手洗い種類を識別するための特徴量を取得するシステムを構築し、特徴量の計測と簡易的な動作識別実験を行った。

2. 特徴量およびシステム

手の姿勢を概略的に把握する狙いで、図 1 に示す特徴量を検討する。手の前方付近に距離画像センサを設置し、距離データについて小さい順に N_{ave} 個を平均することで、手の先端付近として基準距離 d_{ref} を定める[2]。手を含むと仮定する距離範囲は d_{ref}〜$d_{ref}+d_0$ とし、別途求める重心座標を中心に、x、y 軸についてそれぞれ$\pm X$、$\pm Y$ の範囲を対象とする。所定領域内のデータについて、x、y 軸それぞれ最小値と最大値を求めて、外接する幅 w と高さ h（ピクセル）を算出する。特徴量は、図 1 で示す 2 つの所定距離領域で導出し、領域 1 の場合に幅 w_1 と高さ h_1、領域 2 の場合に幅 w_2 と高さ h_2 と定義する（F 個のフレームの平均と d_{ref} による補正処理あり）。

手の擦り合せに伴う左右の手の動作情報を間接的に取得するため、腕付近の動きの指標として図 2 に示す特徴量を検討する。腕を含むと仮定する距離領域は $d_{ref}+d_0$ より長く、$d_{ref}+d_0+\Delta D_{max}$ 以下とする。現フレームと前フレームの距離の差分値がΔD_{min}〜ΔD_{max} の範囲内で、重心の x 座標よりも小さいデータのピクセル数を M_{np}、大きい場合のそれを M_{pp} とする。同様の手順で、距離の差分値が負の場合は M_{nn}、M_{pn} とする。左右の腕が相反して z 軸方向に動く擦り合せの指標として、$M_{nn}\times M_{pp}$ の F フレームの積算値 $S_{nn\text{-}pp}$ を算出する。同様に、$M_{np}\times M_{pn}$ の F フレームの積算値 $S_{np\text{-}pn}$ も求める。

上記の特徴量を取得するため、距離画像センサ（Creative 社製 Intel RealSense SR300）とパーソナルコンピュータを用いてシステムを構築した（プログラミング言語 C++と OpenCV 利用）。距離画像は、解像度が 640×480 で、取り込み周期を 30 フレーム/秒に設定し、データ処理を行うピクセル数は解像度の半分とした。

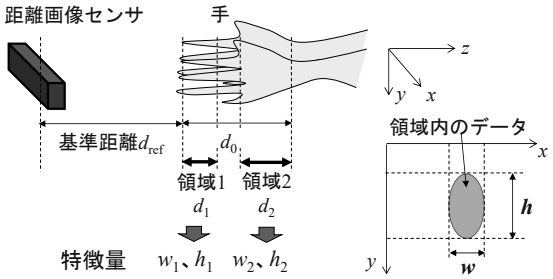


図 1 姿勢に関する特徴量の概略図

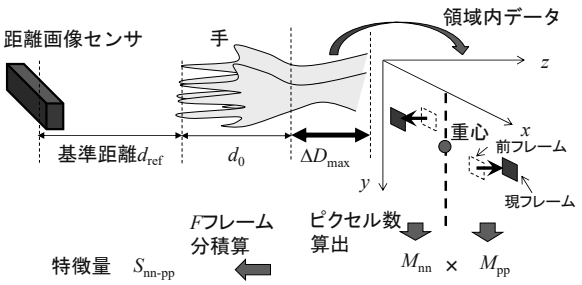


図 2 動きに関する特徴量の概略図

3. 実験

3.1 特徴量の計測

代表的な手洗い方法として、図 3 に示す①〜⑤の動作を対象とした（水や洗剤は用いない模擬動作）。各動作を個別に行った際の計測を 2 セット行った。なお、立ち位置は予め指定した。データ処理の条件について、N_{ave}=50、X=Y=150pixel、d_0=150mm、ΔD_{min}=10mm、ΔD_{max}=80mm、d_1=50mm、d_2=70mm、F=15 とした場合における特徴量の計測結果の一例を図 4 に示す。同図では、1 セット 1 動作あたり 15 個のデータを抽出し、2 セット分である 30 個のデータの平均値と標準偏差をそれぞれ黒丸とエラーバーで示している。また各特徴量は、動作①〜⑤の平均値と標準偏差がそれぞれ 0 と 1 になるように正規化している。同図(a)および(b)より、手が縦向きである動作①と③は、相対的に、w_1 が小さく、h_1 が大きいことがわかる。一方手が横向きである動作②と⑤は、w_1 が大きく、h_1 が小さい。また、同図(c)および(d)より、手首が開き気味である動作④と⑤は w_2 が大きく、低姿勢の動作⑤は h_2 が小さい。次に、同図(e)および(f)より、主に両手を z 軸方向に相反して動かす動作①と③は $S_{nn\text{-}pp}$ と $S_{np\text{-}pn}$ が大きく、動作②④⑤との違いが表れている。以上より、手の姿勢や腕の動きとの関連可能性を有する特徴量を得ることができた。

*1 現　生活工学研究所、*2 現　企画管理部

図 3 手洗い動作

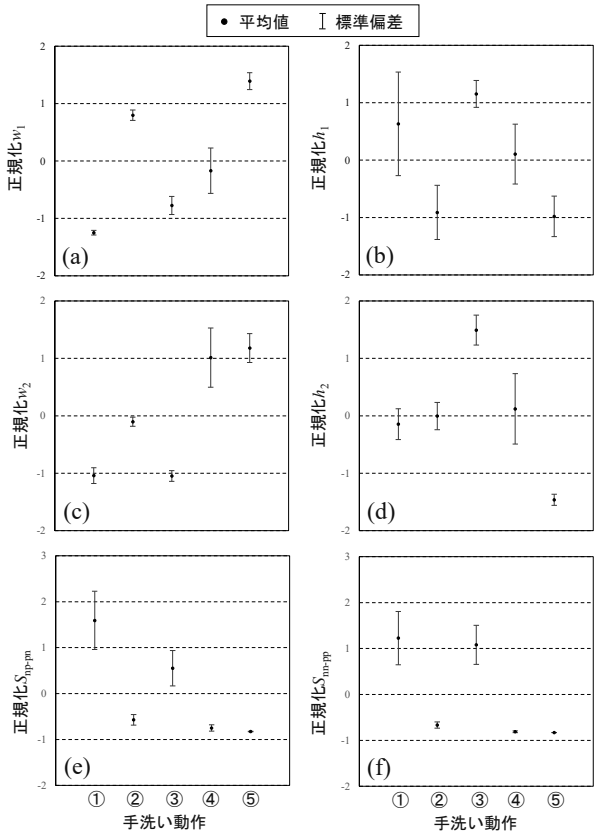


図 4 特徴量の計測結果例

(a) w_1, (b) h_1, (c) w_2, (d) h_2, (e) $S_{np\text{-}pn}$, (f) $S_{nn\text{-}pp}$

3.2 動作識別の簡易評価

3.1 で検討した 6 種類の特徴量を採用して、分類器としてサポートベクトルマシン [3]を用いて、簡易的な動作識別実験を行った。動作①～⑤（擦り合せ 10 回を指示）を連続して行った際の計測を 5 セット行った。1 セット 1 動作あたり 4 個のデータを手動で抽出し、4 セットを学習用データ、残りを評価用データとして、5 回の評価を行った。なお、学習と評価は OpenCV の機能 [3]を利用し、それぞれ trainAuto 関数と predict 関数を適用した。本評価の結果、動作①～⑤ともに平均 8 割以上の正答が得られた。動作①と③を誤認識する場合があったが、これは①と③の動作が類似しているためと考えられる。以上の結果から、本システムの基礎的な動作を確認できた。本研究の特徴量は、抽出する範囲等を距離やピクセル数で規定しているため、各所定条件の最適化が今後の課題となる。その際に、手の大きさ等の個人差の影響が懸念されるため、実用上は、RFID タグ等により個人を認証して、個人ごとに所定条件を設定することが考えられる。また、動作②④⑤については左右の手を組み替えた動作もあり、それらの識別に向けては、M_{nn} や M_{pp} を含めた特徴量の検討が必要と考えられる。

4. 結言

5 種類の手洗い動作を対象として、6 種類の特徴量の計測と簡易的な動作識別の実験結果例を示し、構築したシステムの基礎的な動作を確認した。今後は、水場における複数被験者に対する多数データ取得による動作識別の検証実験とともに、特徴量や所定条件の最適化が課題である。また、本システムは、距離画像センサを用いた動作検出の基礎的な枠組みとして、他の動作認識への展開も模索したい。

参考文献

1) B. Xia *et al.*: Proceedings of the 17th Irish Machine Vision and Image Processing conference (2015) 43.
2) 佐々木 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No33 (2019) 28.
3) 中村 他, OpenCV によるコンピュータビジョン・機械学習入門, 講談社 (2017)

キーワード：距離画像、手洗い、動作、特徴量、サポートベクトルマシン

Detection of Hands Motions for Hygiene Management Using Depth Camera

Product and Function Evaluation Section; Katsuhiro SASAKI[*1], Digital Manufacturing Section Satoshi IWATSUBO[*2] and Human Engineering Section; Yoshitoshi TSUKAMOTO

A system for detecting features involving hand poses and arm motions was constructed using a depth camera placed in front of a human. In the system, the data processing algorithm for acquiring six feature quantities was implemented to recognize the five hand washing motions. The fundamental performance of the system was confirmed.

強ひずみ加工による軽金属材料の高強度化技術の開発

機能素材加工課　佐藤　智　國方伸亮[*1]

1. 緒言

近年、輸送機器の軽量化要求が特に厳しくなっていることから、これまで主体としてきた鉄鋼材料から、Al 合金や Mg 合金などの軽量材料への置換が進められている。これまで以上に使用する部材を軽量化するためには、薄肉化が有効な手段の一つであるが、より高強度な材料が必要となる。材料強化法のなかでも、結晶粒微細化は、基本的な化学組成を変えることなく、優れた強度特性が得られる強化法である。この加工法として、バルク材に巨大ひずみを導入し、極めて微細な結晶粒が得られる強ひずみ加工(Severe Plastic Deformation)が知られている。従来、HPT(High Pressure Torsion)や ECAP (Equal-Channel Angular Pressing)が主に研究されているが、対象となる部材形状が限定されるため、実用化は進んでいない。一方で、圧延加工を応用した SPD 法の ARB(Accumulative Roll Bonding)は、板材の接合-圧延を繰り返す事で導入する相当ひずみを増加させる加工法で、量産化技術として注目されている。中空形状など比較的自由な断面形状を得ることができる押出加工では、CEC (Cyclic Extrusion and Compression)などが SPD 法として開発されているが、自由な断面形状の加工が可能で、単工程で完了でき、かつ連続加工が可能な加工法はない。

そこで、本研究では、軽金属材料(Mg 合金など)に適用可能な押出 SPD 加工技術の開発を目指し、開発した加工法による純 Mg の試験加工と結晶方位解析(以下 EBSD)による組織観察を行った。

2. 実験方法

2.1 使用材料

供試材料は、純 Mg(99.9%)である。受理材の押出丸棒の内部のひずみ除去を目的として、大気炉中で雰囲気温度 350°C - 45 分以上の焼鈍処理 [1]を行った。その後に、直径約 30mm、長さ約 50mm の試料寸法まで機械加工した。

2. 2 加工方法および観察方法

試料の余熱の温度に応じて予備加熱した押出加工用金型を、サーボプレス機：H1F200-2 に供して、押出材の直径が約 10mm になるよう加工を行った。試料は、押出加工の直前に、所定温度(350、400°C)で余熱した。

得られた円柱試料の中心部近傍において、イオンミリング(Ar)で前処理した後、EBSD による組織観察を行った。

3. 実験結果および考察

図 1 に、各余熱温度で得られた押出加工材の中心部近傍における IQ マップおよび結晶粒界(GB)マップ、表 1 に結晶粒界の方位差と長さを示す。なお、GB マップにおいて、太線は大傾角粒界(θ_1>15°)、細線は小傾角粒界(5<θ_2<15°)をそれぞれ示している。なお、350°C で加工した押出材の IQ マップにおいて、結晶粒内に、5°未満の粒界も観察されたが、GB マップには示していない。いずれの温度で余熱した試料でも、大傾角粒界が多く形成されていることが観察された。表 1 に示すとおり、各試料の小傾角粒界(θ_2)の長さは、余熱温度の低い試料では、比較的多く観察された。

図 2 に、焼鈍材と押出材の極点図形と逆極点図形を示す。A1 方向と[100]は押出方向、極点図中心と A2 方向は円柱試料の半径方向となるよう分析した。焼鈍材では、マグネシウムの六方最密充填構造(hcp)の(0001)面が、極点図中心と A2 方向に集積しており、受理材の押出加工で生じ

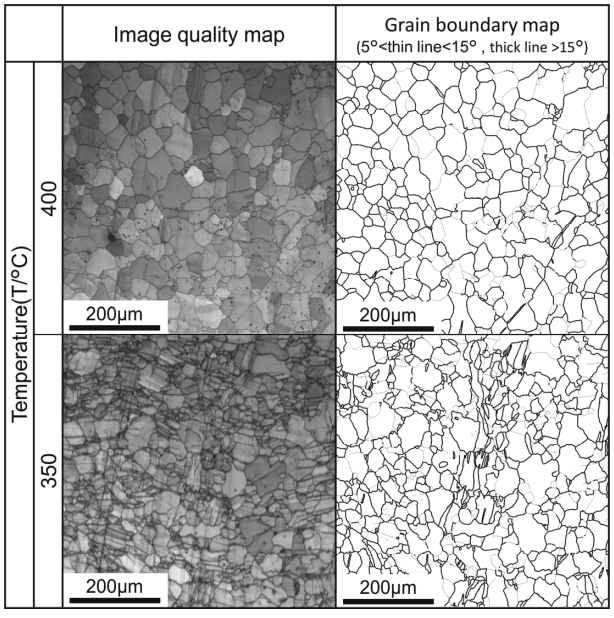


図 1　押出材の結晶粒界マップ

表 1　結晶粒界の角度と長さ

Temperature(°C)	Length of boundary(mm)	
	5-15deg	15-180deg
400	5.82	219
350	9.00	310

*1 現　機械電子研究所

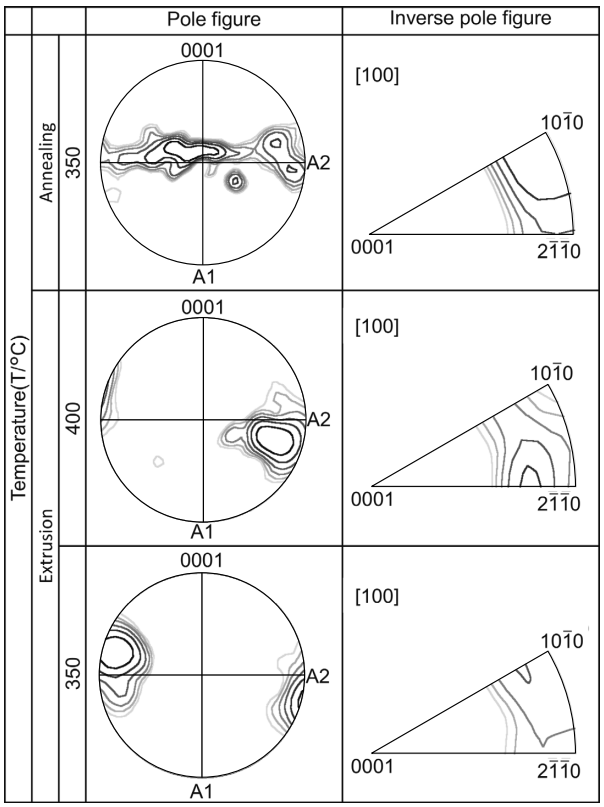


図２　焼鈍材と押出材の極点図形と逆極点図

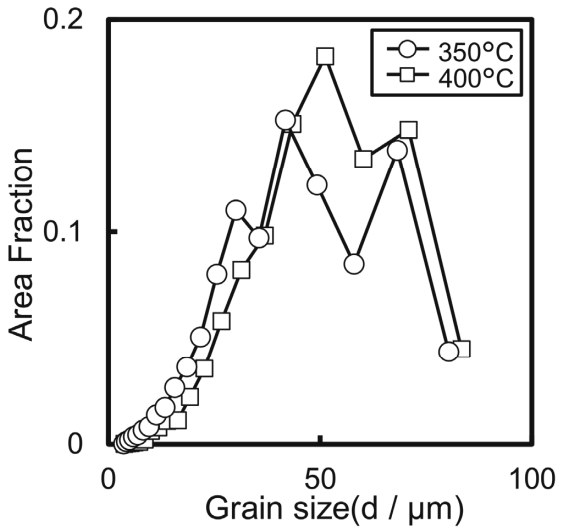


図３　押出加工材の結晶粒径

た集合組織[2]を形成しているものと考えられる。一方で、押出材の極点図形では、いずれの余熱温度においても、A2方向に(0001)面が強く集積したが、試料半径方向として等価な極点図中央には、ほとんど(0001)面の集積が観察されなかった。このことから、押出材は、特定の試料半径方向に対して、強い集合組織を形成したと考えられる。なお、焼鈍材と押出材のいずれの試料においても、押出方向への(0001)面の集積は、観察されなかった。

図 3 に、押出加工材の面積率による結晶粒径を示す。平均結晶粒径は、40μm(○：予熱温度 350°C) と 50μm(□：予熱温度 400°C)であった。予熱温度を低くすることで、わずかな粒径の変化が確認されたが、目的とした微細結晶粒径には至らなかった。

4. 結言

軽金属材料に適用可能な強ひずみ押出加工技術の開発を目指して、開発した加工法による 99.9%Mg の試験加工と EBSD による組織解析を行った。その結果を次に示す。

・押出材の結晶粒界は、主に大傾角粒界であったが、余熱温度の低い試料の結晶粒界では、比較的多くの小傾角粒界が観察された。

・焼鈍材と押出材のいずれの試料でも、試料半径方向に対して、(0001)面が強く集積した集合組織が形成された。

・押出材で形成された集合組織は、特定の試料半径方向に(0001)が強く集積した。

・余熱温度による変化があるものの、押出材の平均結晶粒径は、40～50μm であった。

参考文献

1)市川理衛ら：軽金属, vol.4 (1952) pp. 148-150
2)村井勉：塑性と加工, vol.48 (2007-5) pp.379-382

キーワード：強ひずみ加工、押出、マグネシウム、EBSD

Development of High-Strength Technology for Light Metal by Using Severe Plastic Deformation

Functional Material Processing Section; Masaru SATO, Nobuaki KUNIKATA

Extrusion severe plastic deformation developed for pure-magnesium, 99.9%Mg, its microstructure was analyzed by electron back scattered diffraction pattern. These grain sizes of specimen at extruded condition wasn't significant changed. In GB maps, low-angle grain boundary clearly increased at extrusion temperature. The plane (0001) pole figure of specimen extruded severe plastic deformation developed, showed distribution in specific extrusion direction.

レーザを用いた各種材料の表面修飾

ものづくり基盤技術課　髙松周一、デジタルものづくり課　氷見清和、企画調整課　石黒智明

1. 緒言

アルミニウム（Al）陽極酸化被膜は、硫酸、シュウ酸、リン酸等に代表される酸水溶液中で Al を陽極酸化することで生成し、セルと呼ばれる柱状組織の中心にナノサイズの微細孔が存在する特異的な構造を有している。

これまで、レーザ焼結により様々な材料（基材）に各種粉末等で導電性、蛍光性等の付与を検討してきた[1)]。

本研究では、基材を Al 陽極酸化被膜とし、レーザ焼結することで被膜自身の硬度・耐食性向上を目指した特性改善と、その特異的な構造に着目し酸化イットリウム（Y_2O_3）をその孔内に沈着させ、蛍光体への展開を目指すイットリウム・アルミニウム・ガーネット（Yttrium Aluminum Garnet：YAG）の生成について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

酸化アルミニウム（Al_2O_3）粉末は、住友化学株式会社製 AES-11C を、また酸化イットリウム（Y_2O_3）粉末は、純度 4Nup、粒径約 0.4μm の株式会社高純度化学研究所製のものを使用した。

2.2 陽極酸化

25mm x 50mm に切り出した市販アルミニウム（A5052）板を、10%NaOH 温水溶液でアルカリ脱脂、6%硝酸水溶液／超音波でのスマット除去後、4%シュウ酸水溶液中で陽極とした定電圧電解（25V、1 時間）により調製した。

2.3 イットリウム固着

Al 陽極酸化被膜への Y_2O_3 の固着は、エタノール 30mL 中へ 50mg の Y_2O_3 を分散させた溶液をスプレー塗布もしくはその分散液中へ浸漬することで行った。

2.4 レーザ焼結

レーザ焼結には、IPG フォトニクスジャパン株式会社/キャノン株式会社製ファイバーレーザ高速微細加工機を使用し、レーザ波長 1,070nm、最大出力 250W、スキャン速度 50～200mm/min、スキャン間隔 100μm で行った。

2.5 エックス線回折および電子顕微鏡観察

レーザ焼結による YAG 生成の確認は、株式会社リガク製 Smart Lab 9kW を使用し、回折角による同定を行った。

電子顕微鏡観察は、日本電子株式会社製 JSM-IT300LV を使用し、オスミウムコート後、加速電圧 10kV で行った。

3. 実験結果および考察

Al 陽極酸化被膜のレーザ焼結は、レーザ光を吸収せず特定波長吸収剤の必要性が心配されたが、レーザ出力 135W から良好な焼結が可能であった。

アモルファスである Al 陽極酸化被膜から α-アルミナ生成も一部認められているが、その生成条件については一定の条件下ではないことから、詳細な検討を要する。

Al 陽極酸化被膜上でのレーザ焼結による YAG 生成を行う予備試験として、Al_2O_3 / Y_2O_3 混合粉末による焼結体形成を試みた。

Fig. 1 に、Al_2O_3 / Y_2O_3 混合粉末のレーザ焼結体の一例を示す。

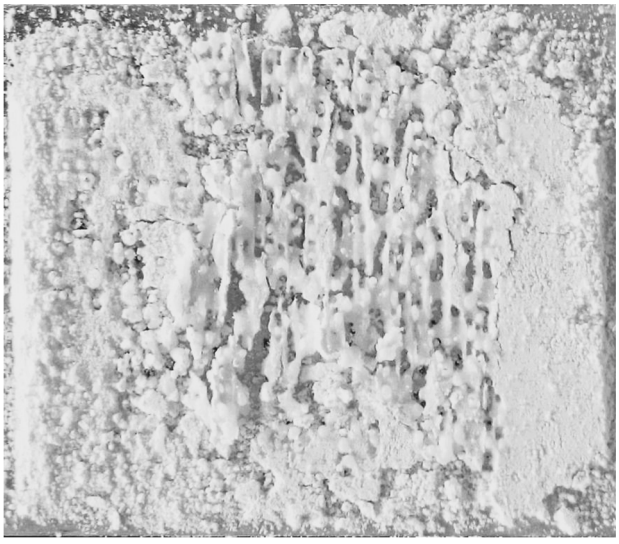


Fig. 1 Al_2O_3/Y_2O_3 混合粉末レーザ焼結体

レーザ出力が 110W 以下では焼結体を形成しないことがほとんどであったが、110W 以上では一様ではないものの焼結体を形成した。

Fig. 2 に、各種粉末およびレーザ焼結体のエックス線回折結果を示す。

レーザ焼結体には、黒丸（●）で示すように、YAG 生成が認められた。

レーザ焼結とは異なる、グラファイト基材上へのプラズマ溶射により作製したものでは、1,200°C、24 時間の熱処理、もしくは溶射時の基材の 1,200°C 予熱により、YAG 生成が認められている[2)]。

このことから、レーザ焼結では熱処理等を行わず、Al 陽極酸化被膜上で Y_2O_3 との焼結体形成により、YAG 生成の可能性があると推察された。

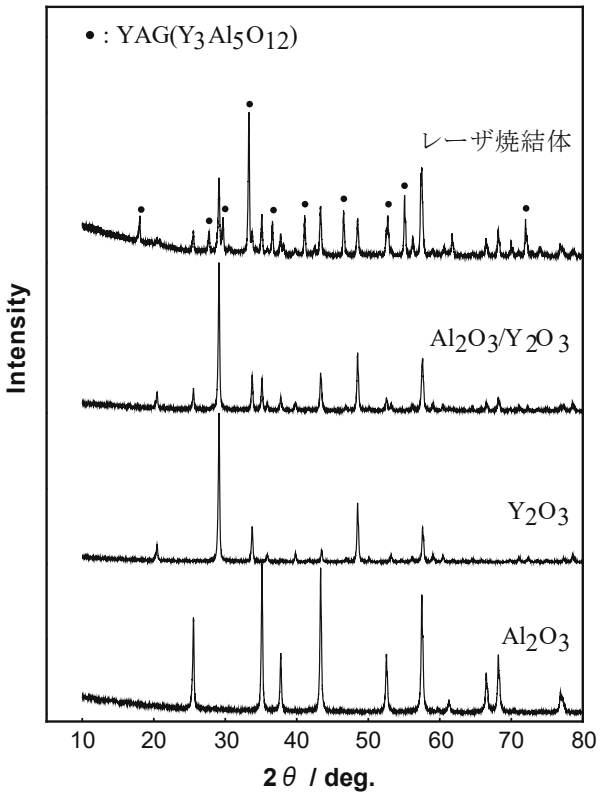


Fig. 2 各種粉末およびレーザ焼結体のエックス線回折

Al_2O_3 / Y_2O_3 混合粉末のレーザ焼結体形成条件を基に、Y_2O_3 塗布 Al 陽極酸化被膜のレーザ焼結を実施した。

レーザ出力、スキャン速度、間隔を各々変化させながらレーザ焼結を行ったが、どの条件下でも YAG 生成が認められなかった。

その要因としては、Y_2O_3 の被膜孔内への固着が巧く行われておらず、被膜表面のみに塗布された状態でレーザ焼結されたためと推測している。Fig. 3 にその表面の SEM 写真を示すが、レーザ焼結した Al 陽極酸化被膜のそれと酷似していた。

Y_2O_3 の被膜孔内への固着向上のため、5%硝酸水溶液によるポアワイドニング処理（40℃、30 分）を行ったものについても同様の実験を行っているが、YAG 生成が認められなかった。

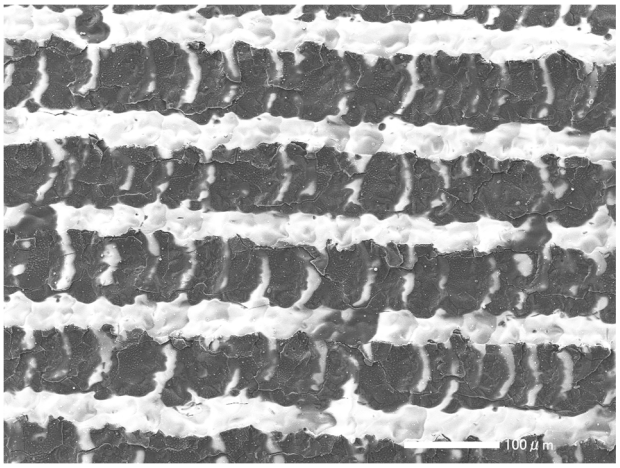


Fig. 3 Y_2O_3 塗布 Al 陽極酸化被膜のレーザ焼結面の SEM 写真

4. 結言

Al 陽極酸化被膜のレーザ焼結により、α-アルミナの生成が一部認められた。一方、Y_2O_3 塗布 Al 陽極酸化被膜上での YAG 生成は認められなかった。

しかしながら、Al_2O_3 / Y_2O_3 混合粉末による焼結体において YAG 生成が認められたことから、今後は、ポアワイドニング処理も巧く活用し、Al 陽極酸化被膜の孔中へのイットリウム固着方法を改善するとともに、YAG 生成を目指したい。

参考文献

1) 例えば、髙松, 富山県工業技術センター研究報告, **2019**, *33*, 24.
2) 鈴木雅人　他：日本金属学会誌, 第 69 巻 第 1 号 (2005),23-30.

キーワード：陽極酸化被膜、YAG、レーザ焼結

Surface Modification of Various Materials using Laser

Core Manufacturing Technology Section; Shuichi TAKAMATSU, Digital Manufacturing Section; Kiyokazu HIMI and Planning and Coordination Department; Tomoaki ISHIKURO

Laser sintering was performed for the purpose of a characteristic improvement of the aluminum oxide deposit and forming Yttrium-Aluminum-Garnet(YAG). As a result, it succeeded in forming of YAG by laser sintering to Al_2O_3/Y_2O_3 powder mixture. On the other hand, it was impossible to form of YAG in the case of aluminum anodic oxide deposit coated with Y_2O_3.

樹脂 3D プリンターによる消失模型鋳型の作製と金属鋳造に関する研究

デジタルものづくり課　氷見清和　住岡淳司[*1]　企画管理部　石黒智明

1. 緒言

近年、自動車用部品や産業機械用部品などは、部品の薄肉・軽量化、複雑形状化、高精度化のため複雑な形状の作製技術の開発が一層求められている。現在、その開発の中で複雑形状の金属製品を直接に作製することができる金属 3D プリンターが注目されているが、造形できる材料が限られるうえ、粉末材料が高く、またサポートの除去など造形形状にも様々な制限がある[1)]。そこで、これらの問題を解決する砂型 3D プリンターも開発されている。従来の砂型での鋳造方法の場合、製品形状が複雑になるほど特殊な中子が必要となり、どうしても解決できない形状になる場合がある。この砂型 3D プリンターは大型製品も鋳造でき、各種類の金属の鋳造ができることから大変注目されている[2)]。しかし、本プリンターは高価なことから、安価な製品試作方法が求められている。

そこで、樹脂を材料とする 3D プリンターで消失模型鋳型を作製することにより、従来方法では困難だった形状の作製について検討した。鋳型内で製品形状の模型を消失させることで、中子や型割形状を考慮する必要が無く、中空形状やアンダーカット形状のある複雑な部品の自由度が大幅に増える。本研究では、樹脂 3D プリンターを用いて、消失模型を試作し、砂や石膏などの耐火材料に模型を埋め込み、消失させてから溶融金属を流し込むインベストメント鋳造法にて鋳造を試みた。

2. 実験方法

2.1 試験および測定方法

樹脂材料の分析は、赤外分光光度計により結晶構造を分析した。また、熱による状態変化については、熱分析装置を用いた熱重量分析(TGA) 、および PVT 試験機を用いて樹脂材料の体積変化を測定した。

2.2 消失模型の作製と鋳造

消失模型は 3D-CAD で設計し、材料にポリアミド樹脂を用いて樹脂 3D プリンター（EOS 社製 Formiga P100）にて作製した。鋳型材料には石膏を用い、模型を埋没させて固化後に電気炉内にて最高温度 600°C まで上昇させて模型を消失させた。

模型が消失して空洞となった石膏鋳型に、溶解した錫合金を流し込み、冷却後に石膏を崩して鋳造製品を取り出した。

3. 実験結果および考察

3.1 材料測定結果

ポリアミド材料の熱重量分析の結果、おおよそ 300～400°C の間で最大の分解があり、450°C では分解がほぼ完了していると推測した。この結果から、実験では、充分に分解させるため炉の設定温度を 600°C とした。

埋没した消失模型を電気炉で消失する際に、熱により膨張し、固化した鋳型を崩してしまうことが考えられることから、加熱による樹脂材料の熱膨張について測定した。図 1 に、ポリアミド粉末材料について、応力 100MPa および 200MP における定圧での温度体積変化を示す。約 100°C 付近でガラス転移が観測され、約 200°C 付近で融点が観測されている。測定の結果、50°C 付近から 300°C までにおける体積膨張は約 10%あることがわかった。

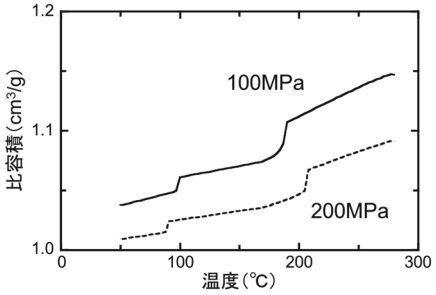


図 1 ポリアミド粉末材料の定圧温度変化

3.2 鋳造試験結果

図 2 に、(a)3D プリンターで作製した消失模型の外観、(b)模型を消失後に中空となった鋳型に溶融金属を流し込み取り出した鋳造製品の外観、(c)鋳造製品の表面の拡大観察を示す。実験の結果、樹脂模型は完全に消失しており、細部まで鋳造できていることがわかる。

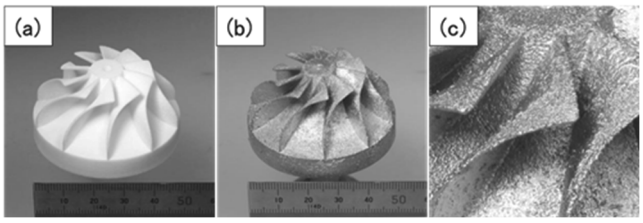


図 2 (a)消失模型, (b)鋳造製品, (c)鋳造製品の拡大

*1 現　企画管理部

近年では、3D プリンターの有効な利用法として、トポロジー最適化技術を利用した軽量化設計が注目されている。トポロジー最適化技術とは、製品が利用される上で想定される構造的な条件（荷重、形状など）の下で、設定した設計空間において、最も効率のよい形状を見出す手法である[3]。一般では、普及している樹脂 3D プリンターを用いて、トポロジー最適化によって得られた樹脂製の造形品が試作されているが、樹脂では強度が不十分なため、強度が必要とされる金属部品の代用としての利用はできない。また一方で、金属 3D プリンターによる造形では、前述のように造形できる形状に制約があることや造形コストがかかる問題点がある。そこで、本研究手法によって、複雑形状の造形および金属部品の作製可能性について試みた。図 3 に、(a)金属製ブラケット部品、(b) 軽量化を検討した設計 3D 画像、 (c)樹脂製の消失模型、および(d)金属鋳造製品の外観を示す。鋳造の結果、湯口や堰の切除作業は必要であるが、ほぼ最終形状の金属部品が作製でき、金属 3D プリンターに比べて金属材料や設計の自由度は大変に高いことが示唆された。

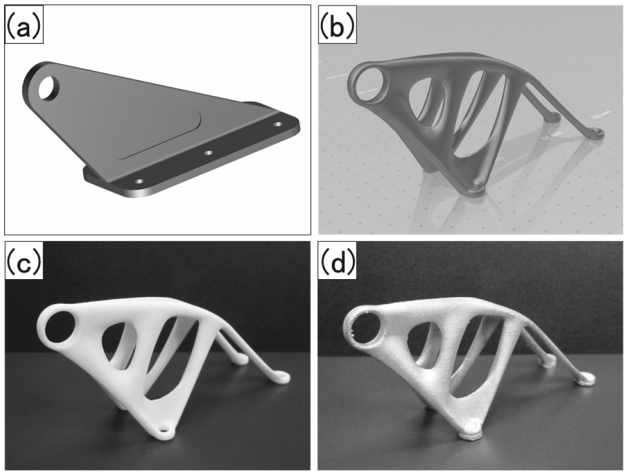


図 3　(a)金属製ブラケット部品、 (b)設計 3D 画像、(c)樹脂製の消失模型、 (d)金属鋳造製品

4. 結言

本研究では、樹脂 3D プリンターを用いて、積層造形法による消失模型を試作し、鋳型内の空間に溶融金属を流し込むインベストメント鋳造法にて金属製品の作製を試みた。実験の結果、樹脂模型は完全に消失しており、鋳造製品は細部まで鋳造できることを確認できた。特に、トポロジー最適化技術を利用した軽量化金属部品の作製においては、従来の加工方法では作製が困難な形状でもほぼ最終形状の金属部品が作製できることを確認し、金属 3D プリンターと比較して金属材料や設計の自由度は大変に高いことが示唆された。

大型で肉厚の製品の作製では、消失の際に樹脂模型の膨張により鋳型を崩してしまうことが考えられる。その対策として、3D プリンターが得意とする模型内部を中空にした極薄いシェル構造にすることにより、熱膨張による型の破壊を防ぐことができる。

現在、3D プリンターや AM 技術をはじめとする生産・加工技術のさらなる進歩に伴い、トポロジー最適化技術も一層進んでいることから、複雑形状した製品の可能性はますます拡大するものと考えられる。現在は、航空宇宙関連部品や高付加価値製品に利用研究が進んでおり、将来は、汎用機械製品（溶接ロボット部品、建設機械部品など）にも必ず利用されると推測される。

参考文献

1)永田, 滝沢ら:若い研究者を育てる会, **30** (2017) pp. 14-20
2)岡根利光ら: 鋳造工学, **90**(2018) pp.265-327
3)野村壮史ら:自動車技術会論文集,**51**(2020)pp.127-133

キーワード：3D プリンター、積層造形、消失模型、鋳造

Research on Fabrication of Sacrificial Patterns by 3D Printer and Metal Casting

Digital Manufacturing Section; Kiyokazu HIMI, Junji SUMIOKA,
and Tomoaki ISHIKURO

In this study, the basic characteristics of sacrificial patterns fabricated by 3D printer were investigated. The polyamide powder material decomposes completely at about 450 °C. Polyamide material has about 10% volume expansion from around 50 to 300 °C. Polyamide sacrificial patterns were fabricated by 3D printer. We tried to cast metal products by investment casting method. As a result of the experiment, the pattern completely disappeared, and metal was flowing to details in the cavity. These methods can be used to make metal products of complex shapes.

電子デバイス用セルロースナノファイバー紙の開発

デジタルものづくり課　丹保浩行　岩坪　聡[*1]

1. 緒言

フレキシブルデバイスの基板として、ガラスやプラスチックを用いた開発が行われている。近年、海洋環境中で分解されないプラスチックの環境汚染が問題となり、海洋生分解する材料の開発が求められている。セルロースナノファイバー（CNF）は、木材を構成する主成分のセルロースをナノ化した素材である。生分解性を有するCNF から形成される紙は、軽量で折り畳め、ガラス並みに低熱膨張率・高透過率である。我々は、これまでキャスト法や横プレス法を用いて CNF 紙の成形を行い、この上にスパッタ法を用いて酸化インジウムスズ（ITO）の堆積を行ってきた。ITO/CNF シートの ITO 膜厚が増大するにつれて、波打つ透過スペクトルの周期は短くなることがわかった[1]。このような干渉スペクトルは、均一な厚みの ITO 薄膜が CNF 紙上に形成されていることを示唆している。本研究では電子デバイス用途向け CNF 紙の高平坦化を目的として、ろ過法や横プレス法について検討した。

2. 実験方法

繊維幅の平均が数 10 nm の CNF を用いた。純水を加え 0.7 wt%に希釈した CNF 水懸濁液を減圧ろ過することにより、ゲル状 CNF 膜をメンブレンフィルター上に形成した。このゲル状 CNF 膜の表面にシリコンモールドを接触させ、室温大気中で重力方向に対して垂直方向にプレスした（図 1）。そして、電気炉の温度を上昇させ、110℃で 1 h プレスした。モールド及びメンブレンフィルターから剥離することにより CNF 紙を形成した。ここで、モールドは、3 cm × 3 cm と 4 cm × 4 cm の 2 通りのサイズを用いて CNF 紙を作製した。さらに、CNF 水懸濁液を 2 ~ 5 ml と変化させることにより、CNF 紙の厚みを 5 ~ 15 μm と変化させた。圧力測定フィルムを用いて 0.2 ~ 0.6 MPa となるように押込量を設定し、マイクロメータを用いて紙厚を測定した。

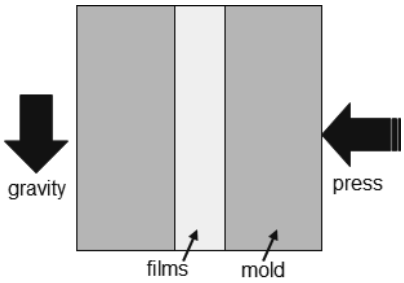


Fig. 1 Schematic of CNF paper formation using lateral hot-pressing method

3. 実験結果および考察

図 2 に横プレス法で成形した CNF 紙の光学像を示す。図 2(a)、図 2(b)は、それぞれ 3 cm × 3 cm、4 cm × 4 cm のモールドを用いて横プレス成形した CNF 紙である。図 2 (a)より、CNF 紙の外周付近に 4 本の直線が観察された。これら線が交差するまで延長させるとき、モールドと同じサイズの四角形が描かれるため、CNF 紙はプレス成形されたことがわかった。線より外周側はモールドサイズが小さいため、プレス成形されていない。一方、モールド端により形成される直線は、図 2(b)に示す CNF 紙からは観察されなかった。モールドは、ゲル状 CNF 膜より大きいため、CNF 紙全体がプレス成形されたことがわかった。これらより、プレスされていない領域では、自然凝集により CNF 紙は形成されるが、圧力を印加されている領域では CNF 同士の自然凝集に伴う変形が抑制された状態で CNF 紙は成形されていると考えられる。

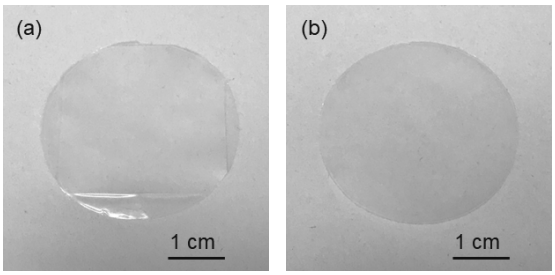


Fig. 2 Optical image of CNF paper formed by use of mold for various dimensions; (a) 3 cm × 3 cm, (b) 4 cm × 4 cm

図 3 に紫外可視近赤外分光光度計を用いて測定した CNF 紙の透過率を示す。CNF 紙の厚みが減少するにつれて、透過率は増大することがわかった。堅牢性は低くなるが、紙厚 5 μm の CNF 紙の透過スペクトルは、波長 550 nm において透過率 90%を示した。透過スペクトルより、

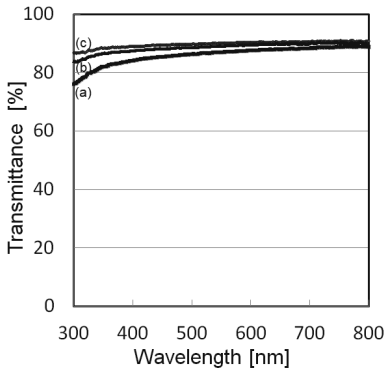


Fig. 3 Transmission spectra of the CNF papers with various thicknesses; (a) 15 μm, (b) 8 μm, (c) 5 μm

*1 現　企画管理部

紙厚が減少するにつれて、紙全体での光散乱が減少していると考えられる。

ここで、横方向プレスを用いたナノファイバーシート成形について明らかにするために、ミクロンレベルの長さを含むCNFと水の関係を調査した。ナノセルロースは、直径 3 ~ 4 nm のセルロースミクロフィブリル、あるいはその集合体として幅が数十 nm 以下の素材である。セルロース表面にリグニンが付着していない CNF は、セルロースミクロフィブリルの間に空隙が形成されている。水は、セルロース表面の水酸基と相互作用し、セルロースを膨潤させる。モールドで挟みプレスしたとき、余剰なゲル状 CNF、あるいは水分はモールド外周の端から排出される。そして、水分子は絡まり合うナノファイバーの空隙を拡散して、モールド端から蒸発する。重力方向に対して垂直方向のプレス（図 1）は、絡み合う CNF の空隙に残留するガスの量を劇的に減少させ、モールドと接触している CNF（図 2）の凝集に伴う自然変形を抑制させると考えられる。

図 4 に CNF 紙および再生紙の表面の水滴の状態を示す。減圧ろ過法や横プレス法で成形した CNF 紙の表面は、濡れ性が良い親水性を示した。一方、市販の再生紙は疎水化が施されていることを確認できた。セルロースは、微細化法により、ナノファイバー表面に親水面あるいは疎水面が形成される。横プレス成形された CNF 紙の表面は、多くの親水面が露出していると考えられる。

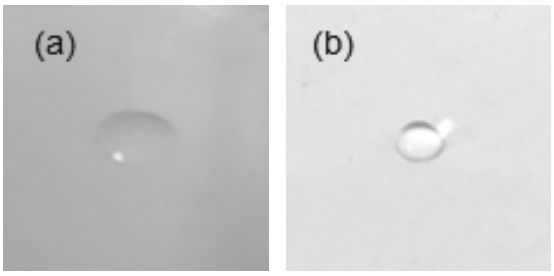


Fig. 4 States of a drop of water on the surface of paper; (a) CNF paper, (b) recycled paper

CNF 紙に対する X 線回折を θ-2θ スキャンで行った。得られた強度をセルロース(200)で規格化した結果を図 5 に示す。CNF 紙の厚み（CNF 水懸濁液量）が減少するにつれて、より高角度側（X 線の侵入できる深さが大きくなる）のセルロース(200)のピークが減少する傾向を示した。減圧ろ過や横方向プレスを用いて成形した紙はセルロースから形成されていることを確認した。

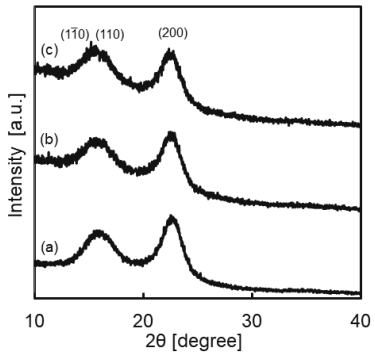


Fig. 5 XRD curves for the CNF papers with various thicknesses; (a) 15 μm, (b) 8 μm, (c) 5 μm

4. 結言

減圧ろ過法や横プレス法を用いて CNF 紙を作製した。CNF 水懸濁液量が減少するにつれて、CNF 紙厚みは減少し、堅牢性は低くなるが、CNF 紙の光透過率は増大した。CNF 紙の表面は親水性を示し、軽量で折り畳める紙はセルロースで形成されていることを X 線回折より確認した。

参考文献

1) 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **32** (2018) 28

謝　辞

本研究推進にあたり、CNF をご提供頂いた中越パルプ工業株式会社に深く感謝いたします。

キーワード：電子デバイス、セルロース、ナノファイバー

Development of Cellulose Nanofiber Paper for Electronic Device

Digital Manufacturing Section; Hiroyuki TAMBO and Satoshi IWATSUBO

Preparation of cellulose nanofiber (CNF) paper has been investigated to apply for electronic devices. Initially, the CNF/water suspension was filtered. The gel-like CNFs were pressed in the direction perpendicular to the direction of gravity. Pressing was carried out at the temperature of 110˚C for 1 hour in an electric furnace. It was found that when amount of the CNF/water suspension was decreased, the toughness of CNF paper decreased and the transmission of CNF paper increased. The surface of CNF paper showed hydrophilicity.

異方機能性を制御するための W 系材料を用いた金属 3D プリント技術の構築

デジタルものづくり課　山本貴文、　氷見清和

1. 緒言

金属積層造形法(金属 3D プリンティング)は、ファイバーレーザ等の熱源により薄くひかれた金属粉末の層を選択的に溶融・凝固させ、形成された層を積み重ねて金属部材を得るプロセスである。このプロセスは、従来の変形加工や除去加工では作製困難な材質や形状が、3D データから迅速かつモールドレスで作製できる特徴を有している。高融点金属であるタングステンは、高温領域でも良好な熱伝導率と強度を示す材料である。脆性的な性質を示すタングステン材料は、出発原料を材料粉末とする粉末冶金・圧延等により成形される。しかし、型や加工上の制約から、製造可能な形状は板形状や線材など比較的単純形状に限られる。このため、複雑形状に対応したタングステン部材の加工技術が求められている。

前報 [1]では、相対密度 98.0 %以上を示す高密度な純タングステン造形体には、結晶粒界に沿ってクラックが生じていることを、金属組織観察から明らかにした。クラックは材料特性を劣化させ、その配向は異方性の発現につながる可能性がある。本報では、クラックが機械的特性と熱特性に及ぼす影響を異方性の観点から調査するとともに、レーザ照射条件の制御によりこれらの特性の改善を試みた。

2. 実験方法

金属 3D プリンタには、ドイツ EOS 社製 EOSINT-M280 を用いた。造形装置に搭載されているレーザは、最大出力 400 W の Yb-ファイバーレーザであり、スポット径は約 0.1 mm、波長は 1070 nm である。供試粉末である純タングステン粉末は、タングステン酸化物の水素還元により精製された平均粒径約 17 μm の多角形状粒子である。

純タングステンの造形には、高密度化が可能なレーザ照射条件(出力、走査速度、走査ピッチ、積層厚)を用いた。また、造形はレーザのスキャン方向を一層ごとに約 67°ずつ回転させ、アルゴン雰囲気中(酸素濃度：0.1 %以下)で行われた。図 1 に、引張試験および熱伝導率測定に供した試料の造形配置と形状を示す。各試験片は、造形方向に平行(Z 方向)と直角(Y 方向)が用意され、これらは金属 3D プリンタにてブロックを造形後、放電加工により目的形状に調整した。引張試験には、オートグラフ (島津製作所社, AG-50kNX)を用い、室温で 0.5 mm/min の速度で試験を行った。試験後、走査型電子顕微鏡を用いて破面観察を行った。熱伝導率測定には、レーザフラッシュ装置(アドバンス理工, TC-9000)を用い、室温における熱拡散率、比熱、および試料密度から熱伝導率を算出した。

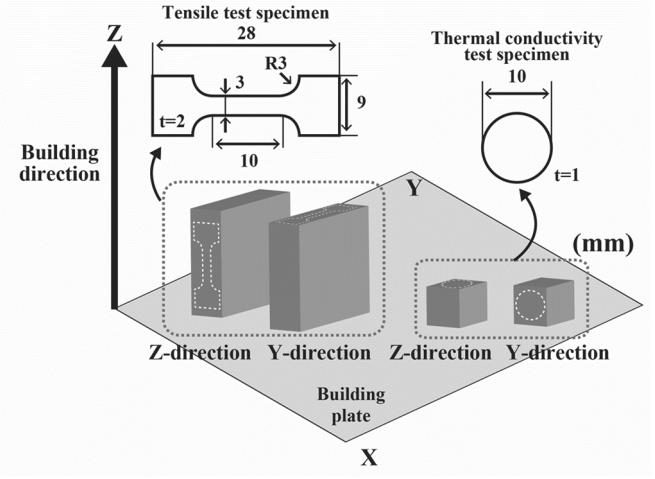


図 1　引張試験と熱伝導率測定用試料の配置と形状

3. 実験結果および考察

図2に作製したタングステンの引張試験の結果を示す。図中の E_dはレーザ照射条件から算出されるレーザの投入エネルギー密度を示している。Z 方向の最大引張応力は約 220～250 MPa を示した。圧延 W の最大引張応力は約 400～500 MPa であることから、3D プリンタで作製したタングステンは半分程度の強度を示したことになる。一

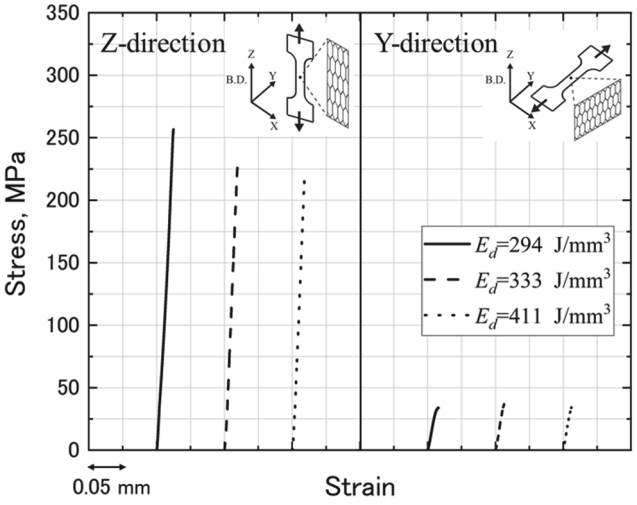


図 2　タングステン造形体の応力歪曲線

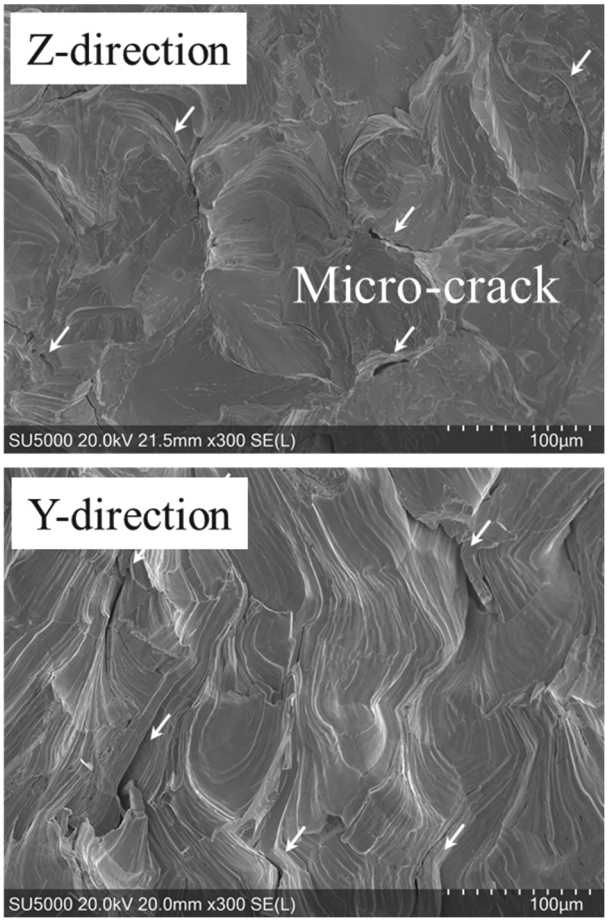


図 3　引張試験後の破面の SEM 像

方で、Y 方向は約 30～40 MPa を示し、ほとんど強度を示さなかった。また、エネルギー密度による顕著な差は認められなかった。図 3 に、引張試験後の破面観察結果を示す。破面には、結晶粒界の剥離とマイクロクラックの形成が認められ、Z 方向の破面は部分的にへき開破面を呈していた。一方、Y 方向では剥離の痕跡が鮮明に観察された。この破面の違いが、造形方向により強度差を示した要因であり、これは材料中の Z 方向に伸長した異方的な金属組織に起因して生じたと考えられる。図 4 に熱伝導率測定の結果を示す。引張試験の結果と同様に、Y 方向と

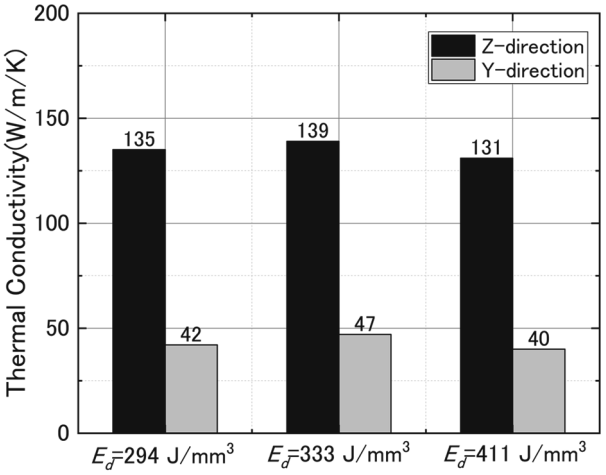


図 4　熱伝導率測定の結果

比較して Z 方向の熱伝導率は高い結果となった。異方性を示したのは、Z 方向に沿って形成されたマイクロクラックが熱抵抗となったためと推察される。また、エネルギー密度の可変による熱特性の改善は困難であった。

以上の結果より、最大引張応力と熱伝導率は異方性を示し、これは材料中のマイクロクラックが主要因であることが示された。クラックを抑制し、材料特性を改善するための材料設計が今後の課題である。

4. 結言

金属 3D プリンタで作製した純タングステンにおける機械的特性と熱特性の異方性を評価した。クラックに起因する特性劣化と異方性の発現が認められ、これらを改善するための材料設計の必要性が示された。

【参考文献】

1) 山本　他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.33 (2019) pp. 20-21

【謝辞】

本研究で使用した純タングステン粉末は、アライドマテリアル社から提供されたものである。ここに敬意を表す。

キーワード：金属 3D プリンティング、Additive Manufacturing、純タングステン、異方性

Metal 3D Printing Technology Using W-based Material to Control Anisotropic Characteristics

Digital Manufacturing Section; Takafumi YAMAMOTO, Kiyokazu HIMI

The mechanical and thermal characteristics of pure tungsten fabricated by metal 3D printing were investigated, focusing on anisotropy. As a result, the degradation and the anisotropy of the performances was observed as compared with hot rolled tungsten. In terms of anisotropy, the maximum tensile stress and thermal conductivity in the Z direction showed better performance than those in the Y direction. This is due to microstructure oriented in the building direction formed by directional solidification and cracks caused at a grain boundary. Thus, a material design for improving the material properties is required.

パンチングによる熱可塑性炭素繊維強化樹脂と金属の異材接合

機能素材加工課　山岸英樹　佐藤智

1. はじめに

プレス成形可能な熱可塑性炭素繊維強化樹脂(CFRTP)は製造・成形技術の開発が精力的に進められており、今後自動車の骨格・構造部品としての活用が急増すると予測[1]されている。そのため、この新しい材料とアルミニウム合金など金属との異材接合が今後重要なものづくり基盤技術となると考えられる。

現在、摩擦重ね接合法(FLJ)やレーザ溶着法、コアキシャル抵抗溶接法、接着剤などの各種プロセスにより、金属との直接接合法が試みられているが、これらはマトリクス樹脂や接着剤の強度に支配されるため、高強度な炭素繊維強化樹脂としての性能を活かせられないでいる。本研究では、複合材本来の強度を発揮できる技術開発として、穴をあけた金属プレートにCFRTP板材をパンチングにより差し込む機械的な締結法[2]について検討した。

2. 実験方法

Fig. 1 に本接合法の概略を示す。パンチング加工にはACサーボプレス機を用いた。直径15 mmの穴を設けた金属プレートの上にCFRTPを重ね(ともに電気炉で予熱済)、変位制御により直径11 mmのパンチを挿入し押え治具とともに抜熱、樹脂を冷却硬化させる。加工条件の検討として、継手の引張せん断荷重に及ぼすパンチ挿入深さ及び下死点保持時間の影響を検討した。接合材料の組合せは、①連続繊維CFRTP(50 × 150 × t3 mm, PA6-CF53Vol.%) × A6061(50 × 150 × t3 mm), ②射出成形CFRTP(30×100×t3 mm, PA6-CF30Vol.%)×A5052(30×100×t1.2 mm), ③射出成形CFRTP(30×100×t3 mm, PA6-CF30Vol.%)×SPCC(30×100×t1.2 mm)の3種類とした。

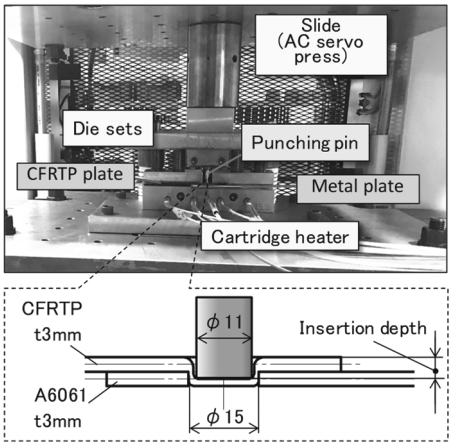


Fig. 1 Appearance of the punching mold and a schematic image of punch insertion (in case of the joining t3 mm plates between A6061 and CFRTP)

3. 実験結果

Fig. 2 に①連続繊維CFRTP(t3 mm)×A6061(t3 mm)における引張せん断荷重に及ぼす(a)パンチ挿入深さ及び(b)下死点保持時間の影響、また(c)引張せん断荷重-変位曲線の例を示す。なお、連続繊維部材では炭素繊維が切れないように部分的にシワを形成することで本接合を実現した。本試験条件においては、パンチ挿入深さは4 mmが最適と判断でき、またその条件において下死点保持時間は30秒程度で強度が概ね安定することが分かる。その破壊形態は、強化繊維が破断しているものであることが確認でき、複合材としての強度を発揮したものであった。

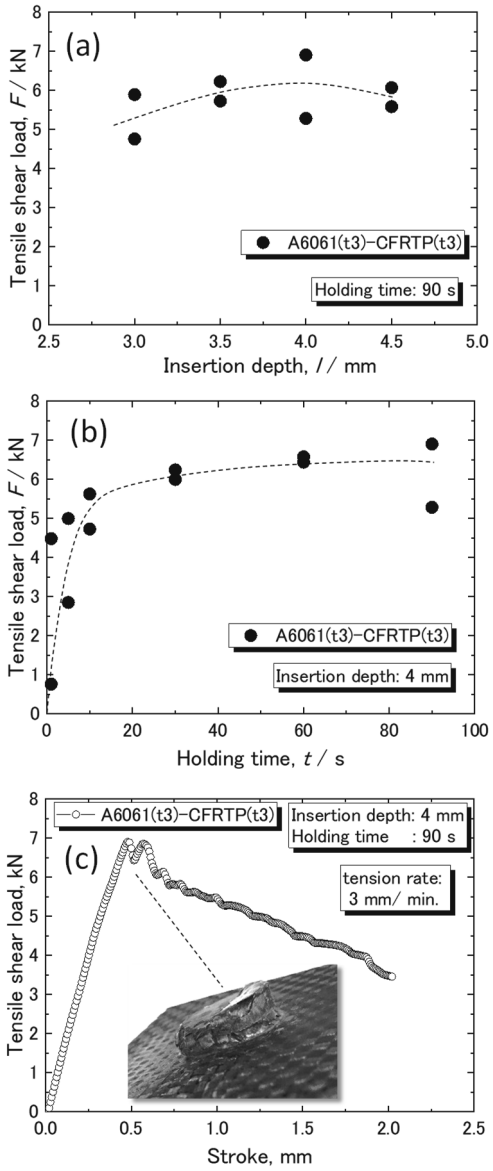


Fig. 2 Tensile shear load as a function of (a) insertion depth and (b) holding time, and a (c) tensile-test curve (A6061_t3 mm × CFRTP_t3 mm)

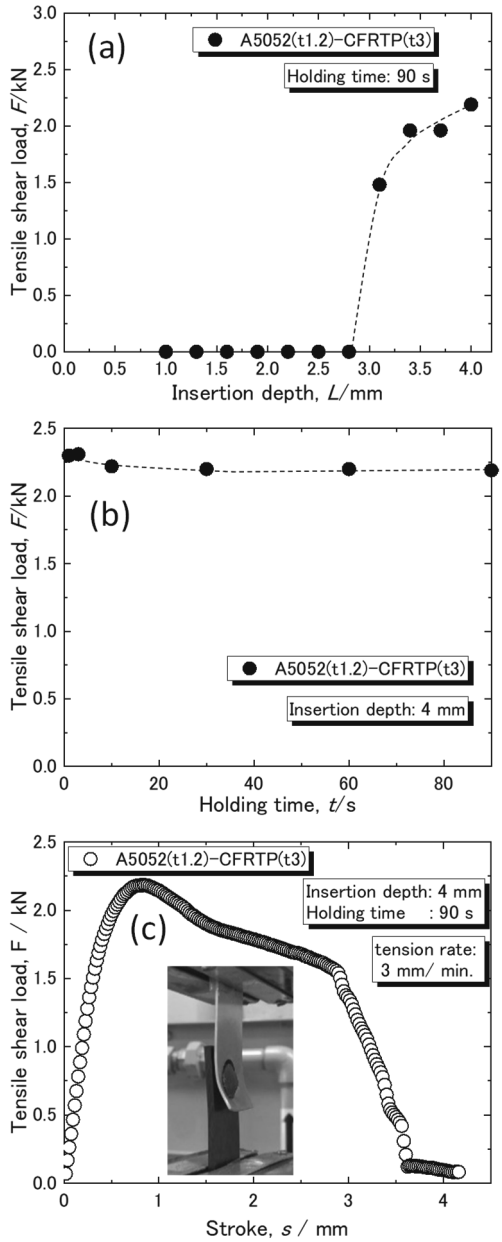


Fig. 3 Tensile shear load as a function of punch (a) insertion depth and (b) holding time, and a (c) tensile-test curve (A5052_t1.2 mm × CFRTP_t3 mm)

Fig. 3 に②射出成形 CFRTP(t3 mm)×A5052(t1.2 mm)における引張せん断荷重に及ぼす(a)パンチ挿入深さ及び(b)下死点保持時間の影響、また(c)引張せん断荷重-変位曲線の例を示す。引張せん断荷重は、パンチ挿入深さが CFRTP の板厚である 3 mm 以上で増加し、4 mm で最高強度となることが分かった(ここで裏当て治具に変形が生じたのでこれ以上の押し込みは行わなかった)。一方、下死点保持時間の影響は、先に示した①連続繊維 CFRTP の場合と大きく異なる挙動を示した。引張せん断荷重は保持時間に対してほぼ変化が無く、逆に 1 秒で最高強度となった。また本材は繊維に連続性がないことから、シワ部の形成は不要でその外観品質は良好となった。しかしながら破壊形態については、本実験で用いた金属プレート寸法に対してパンチ径が大きかったことにより、継手の破壊は金属プレートが塑性変形することで生じた。この結果は試験片形状が同じ③射出成形 CFRTP(t3 mm)×SPCC(t1.2 mm)においても同様で、②と③の継手の強度差は金属プレートの強度に依存した結果となった。本接合は部材同士の機械的な締結なため、樹脂と金属の強度バランスを考慮した形状設計が必要となる。以上より、射出成形 CFRTP はそもそも繊維が分断されたものであることから、連続繊維 CFRTP に比べ本法による接合時間が大幅に短いと考えられるが、適切な下死点保持時間については 1 秒でよいとは言えず、今後、CFRTP 母材破断となる条件(パンチ径調整)において確認する必要がある。

参考文献

1) https://www.fuji-keizai.co.jp/market/19017.html (accessed 31 Mar. 2020)

2) 山岸英樹，柿内茂樹，佐藤智: 特願 2016-253467 号「繊維強化樹脂材と金属材との接合構造及びその接合方法」

キーワード：パンチング、異材接合、熱可塑性炭素繊維強化樹脂、AC サーボプレス

Dissimilar joining between carbon fiber reinforced thermoplastic and metal by punching method

Functional Material Processing Section; Hideki YAMAGISHI and Masaru SATO

Using an alternating current (AC) servo press a high-productivity and high-strength dissimilar joining between carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) and metal was achieved by punching method. This joining technology has been intended for the automobile sector, which is increasingly becoming multi-material oriented. The characteristic difference of the joining condition on the tensile-shear load between the two types of CFRTP sheets, continuous-fiber- and long-fiber reinforced, were revealed.

セルロースナノファイバーシートを用いた振動試験治具設計

製品・機能評価課　清水孝晃[*1]　ものづくり基盤技術課　川野優希
デジタルものづくり課　丹保浩行　岩坪聡[*2]

1. 緒言

近年、産業用制御機器や情報処理装置、自動車部品において、機器を構成する電子部品の小型化、表面実装化の進展、機器の高密実装化により高い振動数の振動による影響が増大している。一方、機器を構成する各部品が小型化してもそれらを実装する基盤や筐体、ラック類においては低い振動数の影響を受けやすいことから、幅広い振動数に対する応答への十分な配慮がより必要となってきており、振動試験実施の重要性が高まってきている。試験の実効性を確保するためには、目的の振動を確実に試験体に伝達することが必要であるが、治具の共振や減衰、振動モードなどにより必ずしも伝達されているとは限らない。

本研究では高強度、高弾性率といった優れた特性を持つセルロースナノファイバー(CNF)を樹脂等で成形したシートを振動試験治具に貼り付けることにより固有振動数を制御できること、および多くの繊維が絡み合った構造から高減衰が期待できることから、共振時の振動加速度の減衰を行う技術について探った。また、振動計測を高精度化するため計測方法について検証を行った。

2. 実験方法

実験に先立ち振動計測法について検証を行った。

2-1 150mm サイコロ治具の振動計測

振動数範囲 10～2000Hz、加速度振幅 9.8m/s^2 で加振しそれを測定した。Fig. 1 に示す位置に制御用センサと同じ型式のセンサをボルトで取り付け加速度を測定した。センサは 731-B（EMIC）であり質量は 13.5g である。また、センサの固定を接着により行った場合でも加速度を測定した。さらに、同じ位置にサイズの異なるセンサを接着により取付け加速度を測定した。用いたセンサは 710-D(EMIC)であり質量は 1.9g である。

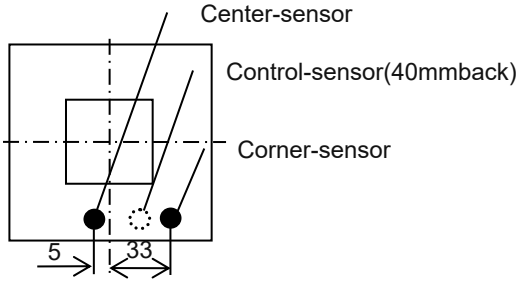


Fig. 1 Sensing point at the cubic fixture

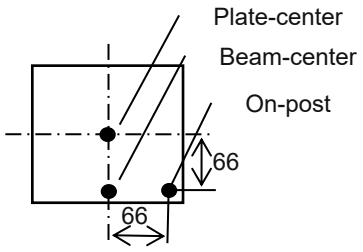


Fig. 2 Sensing point at the plate

2-2 治具上面に取り付けた板上での振動計測

150mm サイコロ治具の上面に厚さ 5mm のアルミ板をボルト固定し Fig. 2 に示すようにアルミ板上に 710-D センサを接着し振動測定を行った。

2-3 CNF シート貼付による効果の確認

厚さ 3mm のアクリル板を 150mm キュービック治具上面にボルト固定し振動を測定した。何も貼付けていないもの、厚さ 0.7mm の CNF シートを接着したもの、厚さ 0.4mm の PP シートを接着したもので板中央の加速度を比較した。

3. 実験結果および考察

3-1　150mm サイコロ治具の振動計測

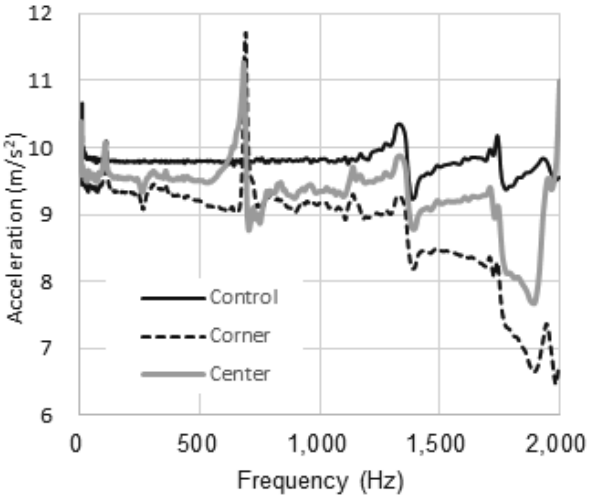


Fig. 3 Transition of vibration acceleration

Fig. 3 に各測定部における振動加速度の推移を示す。目標加速度は 9.8m/s^2 であるが、制御箇所においても 1350Hz 以上では目標加速度に制御できていないことがわかる。各測定値は目標加速度に対し異なっている

*1 現　機械電子研究所　*2 現　企画管理部

ことがわかり、コーナー部に取り付けたセンサではより低い加速度を計測している。部分的に大きくなっているところがあり、これは共振が発生したと考えられる。2000Hz 付近で中央部の加速度だけが大きくなっているが、これは形状的に変形しやすい場所であるため変位が大きくなったものと考えられる。

接着により取付けたセンサと比較すると振動数 1700Hz までは、いずれの測定位置、取り付け方法でも概ね同様の傾向を示しているが、接着の場合 1850Hz 付近でいずれの取付け位置においても加速度が極大値をとっているのに対し、ボルト取り付けでは加速度は低下している。また、680Hz 付近ではいずれも加速度が最大になっているが、その大きさはボルト取り付けに対し接着取り付けでは低くなっている。

731-B（大型）に比べ 710-D（小型）での計測値は増減の幅が小さい。680Hz 付近で計測値が極大となるが、小型センサでは大型センサに比べ振動数が 10Hz 程度高周波側にシフトしピーク値も低くなっている。コーナー部においては極大値が現れていない。1850Hz 付近での極大値は小型センサでは緩和されている。

3-2 治具上面に取り付けた板上での振動計測

Fig. 4 に各測定部における振動加速度の推移を示す。目標加速度 9.8m/s^2 に対し、制御位置での加速度は 1350Hz 付近で共振により制御しきれていないことがわかる。これに伴い、他の測定箇所での加速度にも乱れが生じている。加速度の傾向は 1350Hz までは概ね制御加速度に対し低い加速度を示すが、それ以上の周波数では板中央では大きな加速度を示しポスト上および梁中間では小さな加速度を示す。

150mm キュービック治具フレーム上の加速度と比較すると 700Hz 付近に見られた共振点がアルミ板上では無い。加速度の大きさは、板上の方が大きいがその差は小さく、ほぼ一体で振動していると言える。アルミ板中央部では 1000Hz 以上では加速度は大きくなっておりその差は 10%程度である。

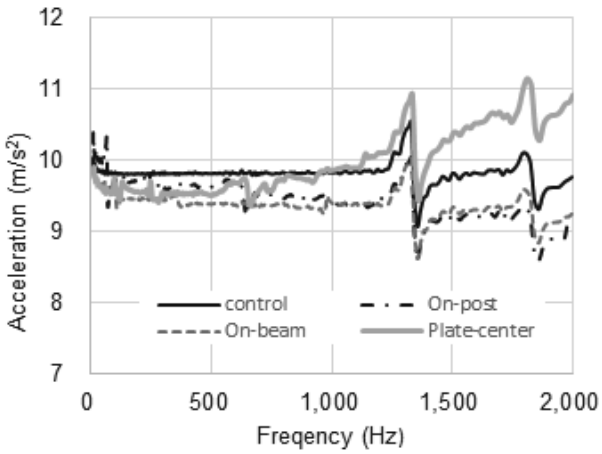


Fig. 4 Transition of vibration acceleration on the plate

3-3 CNF シート貼付による効果の確認

振動数における加速度の比較を Fig. 5 に記す。アクリル板単体では約 600Hz に共振点を持つが CNF シートを貼付することで共振点が約 50Hz 高周波側へ移動し振動加速度のピーク値は約 240m/s^2 から 140m/s^2 へ 40%減少した。比較のため PP シートを貼付したものの振動加速度を測定したが CNF シート貼付に比べ効果は小さかった。共振点が高周波側に移行したのはシート厚さの影響も考えられるが、減衰効果は CNF の特性によるものと考えられる。

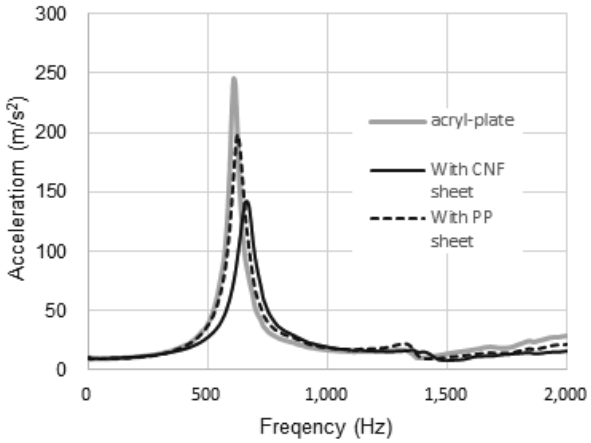


Fig 5. Relationship between frequency and acceleration

Investigation of Fixture for Vibration Test Improving a Vibrating-properties Using Cellulose Nanofiber Sheet

Product and Function Evaluating Section; Takaaki SHIMIZU　Core Manufacturing Technology Section; Yuki KAWANO
Digital Manufacturing Section; Hiroyuki TAMBO Satoshi IWATSUBO

As a result of verifying the vibration characteristics and the vibration measuring method for the vibration test fixture, it was found that the vibration measuring result varies depending on the sensor used, the mounting method, and the mounting position.

In order to reduce this difference, the use of the fixture with the CNF sheet was tried, and it was found that the acceleration at the resonance point was attenuated by 40%. This is due to the excellent properties such as high strength and high elastic modulus of the CNF.

電磁ノイズ抑制構造に関する研究

製品･機能評価課　宮田直幸　佐々木克浩[*1]

1. 緒言

電子機器は電磁ノイズを発生し、それによる誤動作が問題となることから、EMC（Electromagnetic Compatibility）に関する国際規格 CISPR では許容される放射エミッション等の限度値が規定されており、電子機器を製造・販売するためにはそれらの規格値を満たすことが重要となっている。

特に多層基板における電源／グラウンド層間の端部から漏れる電磁ノイズは PI（Power Integrity）や SI（Signal Integrity）の観点からも問題となっているが、高周波のため寄生インダクタンスが問題となり、デカップリングコンデンサを使った対策が難しい。

この問題に対し、メタマテリアルの一種である EBG（Electromagnetic Bandgap）構造を利用した方法が提案されている [1)2)3)]。これは、導体に周期的な構造を持たせることで電磁波のバンド分散にギャップが開き、ギャップ内の周波数では伝播できなくなることを利用したものである。

本研究では、前年度までに検討した渦巻き状オープンスタブ [3)]で一定幅のタイプと先端の幅が広いタイプについて実験を行い、数値計算結果と比較した。Fig.1(a)にその構造の断面、Fig.1(b)(c)に渦巻き状の部分をそれぞれ示す。

2. 手法

2.1 計算手法

具体的な計算手法として、前年度同様 FDTD 法 [4)]を用いた。境界条件には吸収境界条件ではなく、Bloch の定理による境界条件を課し、時間波形を FFT することでバンド分散を得ることができる。

2.2 実験手法

論文 [3)]に倣い、プローブを当てるためのパッドを、1、3、6、9 セルを間に挟むように設けた 20×20 セルの評価基板を作製し（Fig. 2）、Rohde & Schwarz 社製のベクトルネットワークアナライザ ZVA24 で通過特性 S_{21} を測定した。正方形セルの一辺 2.1mm、マイクロストリップ側基板厚 0.06mm、層導体間 0.66mm、導体厚 0.018mm、ビアの直径 0.25mm、線幅 0.1mm、線間ギャップ 0.1mm、幅が広い部分の幅 0.2.mm、誘電体（Fig. 1, 2 のグレー部分）の比誘電率 4.5 とした。

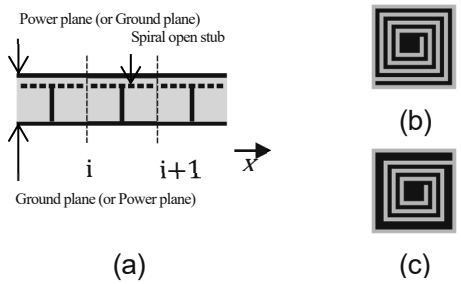


Fig. 1 EBG structures using spiral open stubs
(a) Cross sectional view. (b)(c) Top view of a spiral open stub of (b) fixed-width type and (c) club-shaped type. (Black : PEC, Other color : dielectric substrate)

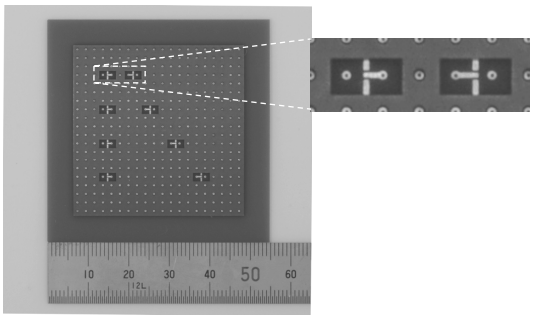


Fig. 2 An example of fabricated sample boards with EBG structures shown in Fig. 1

3. 結果

3.1 計算結果

Fig. 3 に FDTD 法による結果を示す。一定幅のタイプでは 1.9GHz～3.3GHz と 5.66GHz～6.91GHz に、先端の幅が広いタイプでは 2.05GHz～3.85GHz と 7.15GHz～8.68GHz にバンドギャップができていることがわかる。

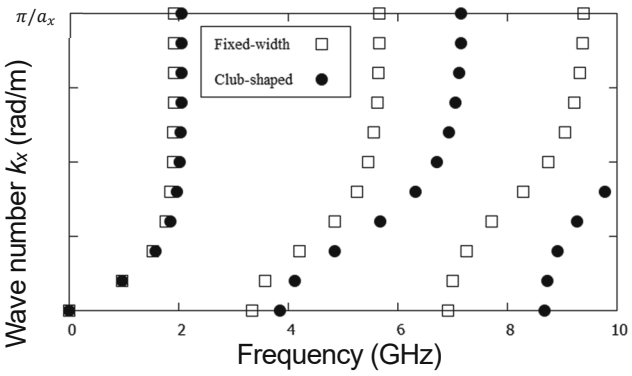


Fig. 3 Dispersion diagram of EBG structures

*1 現　生活工学研究所

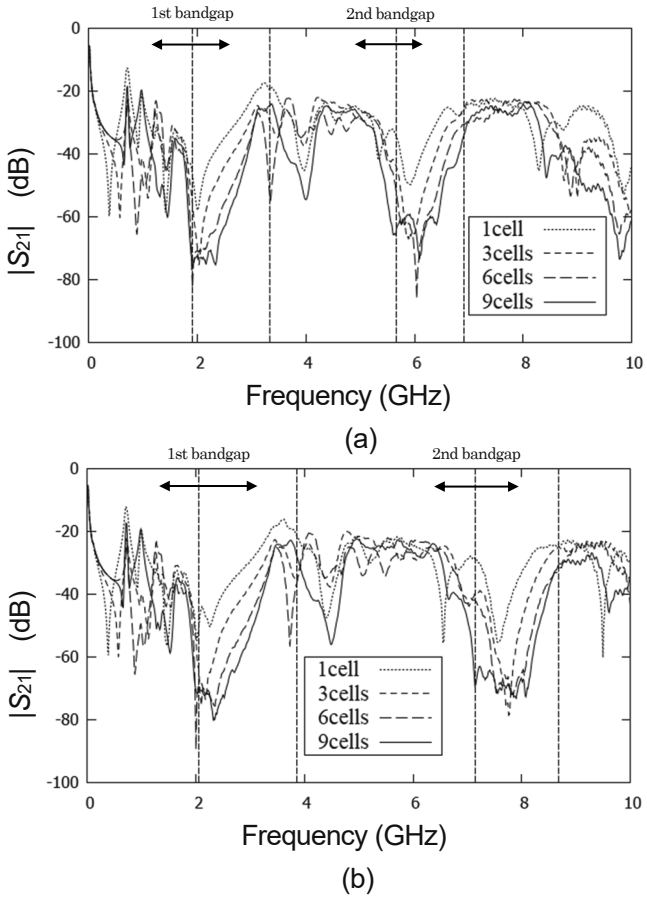


Fig. 4 Measured transmission coefficient (S_{21}).
(a) Fixed-width type. (b) Club-shaped type

3.2 実験結果と考察

Fig. 4 (a)(b)にそれぞれ一定幅タイプと先端の幅が広いタイプの結果を示す。数値計算で得られたバンドギャップの上端と下端の位置を破線で示した。どちらのタイプもバンドギャップの位置で、パッド間のセル数が増加するにつれて S_{21} が単調に低下していることがわかる。ここで注意すべきことは、電源／グラウンド層はインピーダンスが整合するように設計されているわけではないので、反射やパッド以外の部分への散乱の影響も受けているということである。つまり、EBG 構造による効果を単独で取り出して評価することは難しい。実際、ここでは示さないが EBG 構造の渦巻き状オープンスタブだけを評価基板から取り除いたものにおいても、EBG 構造のある評価基板よりも S_{21} が低下している周波数もあった。バンドギャップ外の周波数において、パッド間のセル数の増加に対して非単調に変化しているのは、そのことの一つの現れとも考えられる。同時に、それにもかかわらずバンドギャップ内の周波数でパッド間のセル数の増加とともに単調に低下しているということは、そのような複雑な要因を上回って電磁ノイズの伝播が抑制されていることを示していると考えられる。

4. 結言

既存の EBG 構造とその変形について実験による評価を行ったところ、数値計算結果による予測と良好な一致を示した。S_{21} の低下から、本構造により多層基板端部から放射される電磁ノイズ（放射エミッション）が低減されるという有用性が確認できたとともに、数値計算による事前のバンドギャップの見積もりの有効性を確認できた。

参考文献

1) R. Abhari *et al*., Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on., Vol. 51, No. 6, pp. 1629-1639 (2003)
2) T. L. Wu *et al*., Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on., Vol. 53, No. 9, pp. 2935-2942 (2005)
3) H. Toyao *et al*., IEIEC TRANSACTIONS on Communications, Vol. E93-B, No. 7, pp. 1754-1759 (2010)
4) A. Taflove and S. C. Hagness : Computational electrodynamics, ARTECH HOUSE (2005)

キーワード：EMC、電磁波、EBG

Development of Metamaterial Structures for Suppression of Electromagnetic Noise

Product and Function Evaluation Section; Naoyuki MIYATA and Katsuhiro SASAKI

Open stub electromagnetic bandgap (EBG) structures formed on power/ground plane of multilayer printed circuit boards (PCBs) were studied. Two types of sample boards, the fixed-width type and the club-shaped type, were fabricated, and their transmission coefficients S_{21} were measured using network analyzer. For both types the magnitude of S_{21} were significantly suppressed in the bandgap frequency range estimated by using FDTD simulation.

生分解性プラスチックの添加剤による生分解性の制御

ものづくり基盤技術課　岡野優　水野渡　川野優希　髙松周一　山崎茂一　藤牧寛城[*1]

1. 緒言

プラスチックは、主に石油を原料に合成され、軽量かつ丈夫であり、優れた加工性や長期安定性等の特性を有し、日常生活の様々な製品に利用されてきた。しかし、近年の世界的な生産量の増加に伴い、汎用プラスチックの海洋流出やマイクロプラスチック、焼却処分時に発生する温室効果ガスによる地球温暖化等の問題が顕在化し、生態系への影響が世界的に懸念されている。したがって、汎用プラスチックに起因するこれら問題を解決しうる、微生物によって最終的に水と二酸化炭素にまで分解される環境負荷の少ない生分解性プラスチックへ代替することが急務である。

生分解性プラスチックが分解する環境は、一般的にコンポスト（高温多湿）や土壌環境、水環境の 3 点が挙げられるが、種類によって分解する環境が異なり、分解する環境条件の制限がある [1)]。そこで生分解性プラスチックに種々の添加剤を複合化させ、生分解性を制御した新規プラスチック材料の開発を目指した。

本研究では生分解性プラスチックであるポリ乳酸（PLA）に添加剤としてデンプン（バレイショ由来）及びキチンをそれぞれ複合した材料を作製し、複合特性を確認した。また、PLA の簡易的な生分解性評価を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

PLA はユニチカ株式会社製テラマック（TE-2000）を用いた。デンプン（バレイショ由来）及びキチンは市販品を用いた。

2.2 複合特性

PLA とデンプンまたはキチンの複合は樹脂溶融混練押出装置（株式会社東洋精機製作所製、4C150）を使用した。添加剤の配合割合は両添加剤ともに 1wt% 及び 5wt% の 2 種類とした。これら複合材料の試験片は小型射出成形機（日精樹脂工業株式会社製、NPX7-1F）を用いて、小形引張試験片（ダンベル形）及び曲げ試験片（短冊形 : タイプ B）を作製した。

2.3 PLA の簡易的な生分解試験及び評価方法

2.3.1 試験片

PLA 試験片は真空射出成形機（株式会社ソデック製、MS100）を用いて、引張試験片（ダンベル形 : 1A 形）を作製した。

2.3.2 試験手順

生分解試験は、JIS K6953 等に則って実施するのが一般的であるが、試験装置の構築やコンポストの管理、試験手順の煩雑さの観点から、本研究では簡易的に行うものとした。

PLA 試験片を 15 本用意し、恒量になるまで乾燥した。試験容器（長さ 30 cm×幅 20 cm×高さ 10 cm の PP 製（ふた付き）で、ガス交換のための直径 5 mm の穴を設けたもの）に湿らせた市販の腐葉土を約 1kg 敷き詰め、これに試験片を入れ、恒温器（ADVANTEC 製、CI-610）にて温度 60°C で試験した。なお、試験片は腐葉土に入れる前に 30 秒間程度、純水中に浸漬した。試験開始後、定期的に腐葉土の撹拌及び純水の追加を行った。開始後、29 日目以降は撹拌せず、純水の追加のみ行った。試験開始 7、14、21、29、45 日後に試験片を 3 本ずつ取り出し、純水で洗浄し、恒量になるまで乾燥した。形態観察は洗浄直後に、重量変化及び強度変化は乾燥後に、それぞれ評価した。

2.3.3 評価方法

形態観察は、光学顕微鏡（KEYENCE 製、VHX-6000）を用いて、試験片中央の表面を観察した。

重量変化は、試験前の乾燥質量に対する試験後の乾燥質量を重量保持率として求めた。

強度変化は、小型強度試験機（株式会社島津製作所製、EZ-LX）を用いて、試験前の試験片の応力に対する試験後の試験片の応力を強度保持率として求めた。試験片は試験環境で 1 週間以上状態調節した。

3. 実験結果および考察

3.1 複合特性

Fig. 1 に、それぞれの複合材料を用いて作製した試験片を示した。デンプンの複合材料の場合は、熱履歴を受けても試験片にヤケ等の着色は見られなかったが、キチンの場合はヤケによる淡黄色の着色が見られた。添加剤によって熱劣化が起こることが確認できた。

*1 現　生活工学研究所

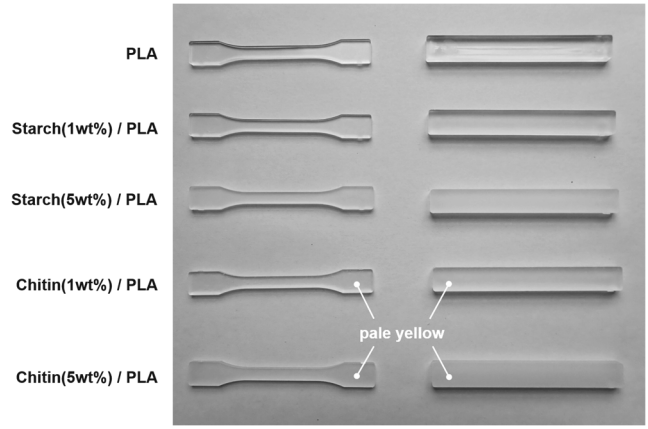


Fig. 1 The test pieces of PLA and PLA with additives

3.2 PLA の簡易的な生分解試験

Fig. 2 に、簡易的な生分解試験による PLA 試験片の表面状態の経時変化を示した。試験開始 7 日目で全体的に白濁し、14 日目では無数の白濁の斑点や亀裂の発生を確認した。21 日目では亀裂の量及びその程度が大きくなり、さらに試験片全体が淡褐色に着色した。29 日目には、試験片全体に表面のはく離を確認した。45 日目には、褐色が部分的に濃くなっている箇所を確認した。

Fig. 3 に、PLA 試験片の重量保持率及び強度保持率の経時変化を示した。重量保持率に関して、試験開始から 14 日目までは PLA 試験片の重量保持率にほとんど変化はなかった。この期間は加水分解による低分子化が主に起こっていると思われる。21 日目で重量保持率の減少が見られ、この時点で約 5%の重量減少があったことから、14～21 日の間で微生物による分解が顕著になり始めたと予想される。45 日間の試験で、もとの重量に対する重量減少は、約 20%であった。強度保持率に関して、試験開始 14 日目で強度保持率が 0%となったことを確認した。この強度保持率の低下は、重量保持率の結果も考慮すると、加水分解による低分子化が主要因であると考えられる。

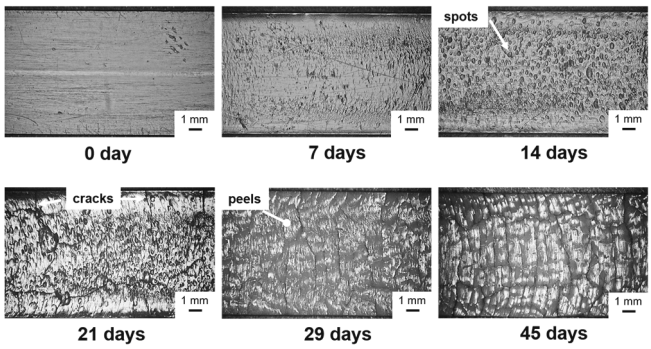


Fig. 2 Change-with-time of the surface of PLA test pieces

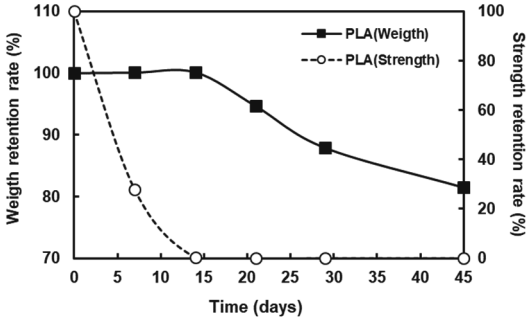


Fig. 3 Change-with-time of mass and strength retention rate of PLA test pieces

4. 結言

PLA と添加剤（デンプン及びキチン）の複合特性を確認した。また、PLA の簡易的な生分解試験を行った。形態変化や重量変化、強度保持率を評価することで生分解性を確認できた。

参考文献

1) 舟橋, 株式会社三菱総合研究所, 技術レポート, (2019)

キーワード：生分解性プラスチック、PLA、加水分解、添加剤、マイクロプラスチック

Control of Biodegradability for Biodegradable Plastics by using Additives

Core Manufacturing Technology Section; Masaru OKANO, Wataru MIZUNO, Yuki KAWANO, Shuichi TAKAMATSU, Shigekazu YAMAZAKI and Hiroki FUJIMAKI[*1]

In this study, composite characteristics between PLA and additives and biodegradability of poly(lactic acid)(PLA) were investigated. PLA and additives, starch (origin of potato) or chitin, were compounded and confirmed their composite characteristics. Also, a simple biodegradable test for PLA test pieces was conducted. As a result, the PLA test pieces had cracks and peels on the surface with time. In addition, the weight of test piece decreased about 20 % against that of original one for 45 days. Moreover, the tensile strength retention got 0 % for 14 days. Therefore, we could confirm biodegradability of the PLA.

レーザー樹脂溶着用の光熱変換効率の高い吸光剤の開発

ものづくり基盤技術課　藤牧寛城[*1]　山崎茂一　髙松周一

1. 緒言

レーザー樹脂溶着法は、熱板溶着、超音波溶着と比べ、製品ダメージが低く、製品ごとの型が不必要であり、微細な加工が可能であるというメリットを有している。

一般的な樹脂のレーザー溶着法は、レーザー光を透過する光透過性樹脂と吸光剤を予め練り混ませた光吸収性樹脂の 2 種類を重ね合わせて溶着する。光透過性樹脂側からレーザー光を照射し、光吸収性樹脂側で光熱変換が行われ、溶融する。この熱が光透過性樹脂側へ伝播することで両者を溶融させる。その後、樹脂を放熱によって固化させることで樹脂と樹脂を接合させるものである。

しかし、材料メーカーで添加された吸光剤の種類や配合は様々であるため、樹脂によって条件検討を行う必要があり、用いる樹脂によって条件が大きく左右されるという問題点がある。そのため、吸光剤を後付けで塗布し、レーザー照射するだけで溶着が可能な手法が望まれている。

そこで本研究では、光熱変換効率が高いことが予想されるアゾ色素を中心骨格とした新規レーザー溶着用吸光剤を開発することとし、樹脂間に塗布したのち、レーザー照射を行うだけで溶着が可能な吸光剤の開発を目指した（Fig. 1）。

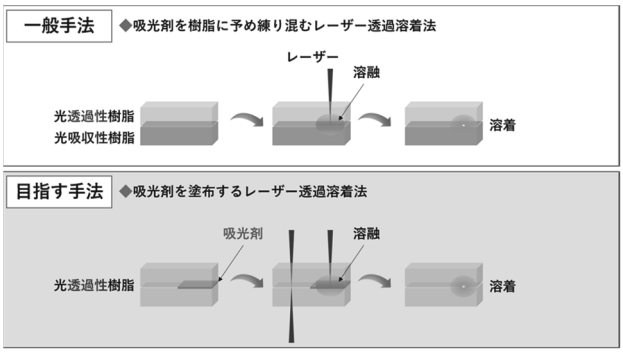


Fig. 1 Laser welding method

2. 実験方法

2.1 アゾ色素の合成

氷浴中、大気雰囲気下の DMF 溶媒中にて 4-アミノ安息香酸（東京化成工業社製）、亜硝酸ナトリウム（富士フィルム和光純薬製）および塩酸を反応させて塩化ベンゼンジアゾニウム塩を生じさせたのち、フェノール（富士フィルム和光純薬製）、水酸化ナトリウムを添加し、ジアゾカップリング反応を行った。

2.2 炭素鎖の導入

2.1 節で合成したアゾ色素に対して、大気雰囲気下の DMF 溶媒中にて、炭酸カリウム（富士フィルム和光純薬製）、1-ヨードペンタン（東京化成工業製）または 1-ヨードデカン（東京化成工業製）を添加し、アルキル化反応を行った。

2.3 アゾ色素の分析

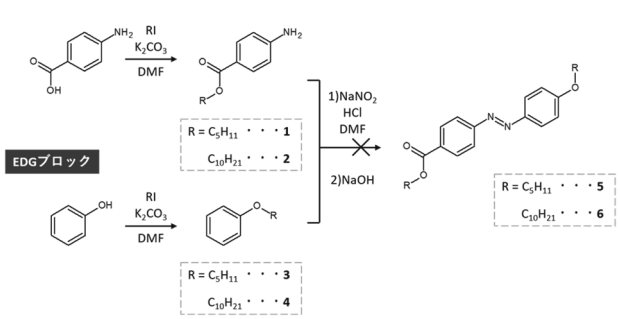
合成したアゾ色素は核磁気共鳴装置（NMR）（日本電子製、JNM-ECS400）を用いて構造決定し、分光光度計（島津製作所製、UV-2450）を用いて、吸光度の測定を行った。

3. 実験結果および考察

アゾ色素は導入する置換基によって吸収波長が変化することが知られている。そこで、当センターに設置されているレーザー加工機の波長 445 nm に吸収帯を有するように化合物を構造変換することとした。さらに光熱変換の向上を目指して、長鎖の炭素鎖の導入を考えた。炭素鎖が比較的簡便に導入可能なアゾ色素から合成を行うこととし、炭素鎖の導入によって吸収波長に影響を及ぼすのかを調べることとした。

炭素鎖の導入が比較的容易と考えられるエステル基、エーテル基を持った化合物を最初の目的化合物とした。

目的化合物の合成のために 2 種類の合成ルートを設定した。1 つは電子求引基（EWG）ブロックと電子供与基（EDG）ブロックをそれぞれ合成し、最後にジアゾカップリング反応によってアゾ色素を合成するルート 1、もう一方は合成したアゾ色素に置換基を導入するルート 2 である。当初、ルート 1 は EWG、EDG ブロックを様々な組み合わせで連結できるため、効率的な合成ルートであると考え、まずはルート 1 を用いて合成を行うこととした。4-



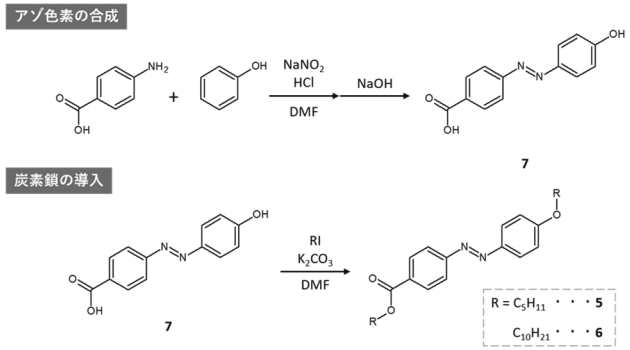
Scheme. 1 Synthesis of the azo dye (Route 1)

*1 現　生活工学研究所

アミノ安息香酸、フェノールに対して塩基性条件下で、ヨウ化アルキルを反応させ、目的のエステル体 **1**、**2** とエーテル体 **3**、**4** を得た。続いて、それぞれのエステル体 **1**、**2** に対して亜硝酸ナトリウム、塩酸を反応させたところ、副反応が起こり、複数の化合物の生成が確認されたため、ジアゾカップリング反応に至らなかった。

そこで、ルート 1 ではなく、ルート 2 で目的の化合物の合成を行うこととした（Scheme 2）。

ルート 2 では 4-アミノ安息香酸とフェノールを用いて、ジアゾカップリング反応によりアゾ色素 **7** を合成したのち、塩基性条件下で、ヨウ化アルキルと反応させることでアゾ色素 **5**、**6** を合成した。



Scheme. 2 Synthesis of the azo dye (Route 2)

続いて、炭素鎖の導入と伸長によってアゾ色素の吸収波長に変化が生じるかを調べる目的で、市販されている 445 nm に吸収帯を有する吸光剤と、合成した化合物 **7**、**5**、**6** の吸光度測定を行った。なお、化合物 **7**、**5**、**6** 濃度は 1 mM とし、市販吸光剤は分子量不明のため、同じ程度の吸光度を示すように濃度調整して測定を行った（Fig. 2）。

市販吸光剤は 445 nm 付近に極大吸収波長を有した。化合物 **7**、**5**、**6** は 360 nm 付近に極大吸収波長を持ち、それぞれ同様の吸収帯を有した。また、吸光度に着目すると、

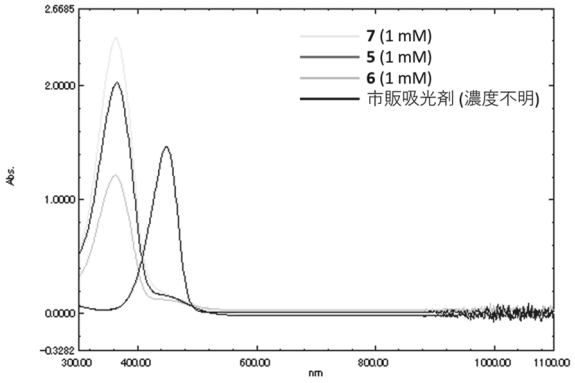


Fig. 2 Absorbance of compounds **7,5,6**

化合物 **7**、**5**、**6** の順に吸光度が減少しており、炭素鎖の伸長によって、吸光度が減少するという傾向を示した。従って、炭素鎖を単純に伸長していくのではなく、最適な長さの検討が必要であるということが示唆された。また、今回合成した化合物は目標とする 445 nm に対し、短波長側に吸収帯を有している。今後、445 nm 付近に極大吸収波長を有するように、さらに電子求引性の高い EWG ブロック、電子供与性の高い EDG ブロックを導入する必要性が示唆された。

4. 結言

樹脂間に塗布し、レーザー照射を行うだけで溶着が可能な光熱変換効率の高い吸光剤の開発を目指し、化合物の合成、光吸収特性の測定を行った。エステル基、エーテル基を導入した化合物は 360 nm 付近に極大吸収波長が生じた。今後、445 nm に極大吸収波長を有するように化合物の吸収波長の長波長化を目指す。また、化合物の光熱変換効率を測定し、最適な炭素鎖長を比較検討する。

参考文献

1) 山下達人:精密工学会誌, **84** (2018) pp. 423-426

キーワード：レーザー樹脂溶着、吸光剤、光熱変換、アゾ色素

Development of the laser-ray absorber with high photothermal conversion efficiency for resin welding

Core Manufacturing Technology Section; Hiroki FUJIMAKI[*1], Shigekazu YAMAZAKI, Shuichi TAKAMATSU

The laser welding method for resin has a problem that the conditions are greatly influenced by the resin used. The purpose of this study is to develop a new laser-ray absorber. We designed azo compounds which is expected to have high photothermal conversion efficiency, and it was expected that the introduction of carbon chains would improve the photothermal conversion efficiency. Several compounds with different carbon chain lengths were synthesized and measured the absorbance.

金属製品の触感の向上に関する研究

デジタルものづくり課　能登有里彩、氷見清和

1. 緒言

工業製品において、滑らかさや弾力、温かみに代表される触感は、視覚に訴える形状や色調とともに製品の付加価値を左右する重要な五感要素である。現在、製品の触感に関する研究は、主に樹脂製品について行われており、例えば、手帳カバーのような樹脂へのシボ加工が有名である。また、当研究所でもNC加工機等を用いて金型表面に精密なテクスチャを形成し、テクスチャを転写した樹脂表面について、表面形状と触感の関係を調査している[1]。しかし、金属材料の触感の向上における研究は、樹脂のように多くは行われていない。

そこで、本研究では汎用的な金属加工法である切削加工とショットピーニングを用いて代表的な表面形状を形成し、摩擦係数や表面粗さと触感との関係について調査を行った。

2. 実験方法

2.1 試験片

本研究で使用した金属材料は、汎用的なアルミ合金で加工性が良いA5052を用いた。試験片の寸法は縦75 mm、横25 mm、厚さ10 mmである。試験片表面はフライス加工を行ったままの状態となっている。

加工装置としては、丸鋸切断機とショットピーニング装置を用いた。切断機では、厚さ0.8 mmの円盤ディスクを用い、ピッチ幅1.0 mm、1.5 mm、2.0 mmの三種類の溝パターンを作製した。

ショットピーニング装置では、ステンレスのショットビーズを用いた。ステンレスのショットビーズでは噴霧圧力と噴射時間をパラメータに梨地加工を行った。噴霧圧力は、0.2 MPa、0.4 MPa、0.6 MPaの3条件、噴射時間は30秒、60秒の2条件を用いた。

2.2 試験方法

2.2.1 摩擦係数の測定

表面の滑らかさやざらつき感の指標の一つである摩擦係数を測定するため、摩擦感テスター（カトーテック株式会社、KES-SE）を用いた。摩擦感テスターは、物と物の触れ合う感触、感覚を平均摩擦係数(MIU)、その変動(MMD)を数値で表示することができる。試料台がセンサに対し水平方向に動くことで摩擦係数と変動を測定できる。センサは、人の指先を想定し、ピアノ線に厚さ縦10 mm×横10 mm×厚さ0.4 mmのシリコン樹脂シートを簡易的に被せたものを用いた。測定可能範囲は30 mmである。

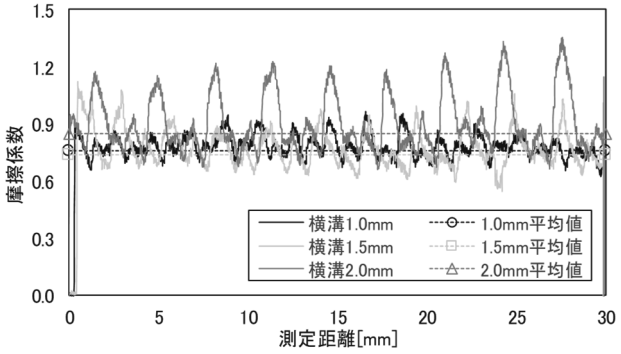
2.2.2 表面粗さの測定

表面の滑らかさの指標の一つである表面粗さは、表面形状測定装置（テーラーホブソン株式会社、PGI1200）を用いて測定した。本装置は接触式であり、スタイラスを水平方向に動かすことで表面粗さを測定できる。接触式であるため、大きな段差のある切断機を用いた表面には不向きのため、ショットピーニング処理による梨地表面のみ測定した。

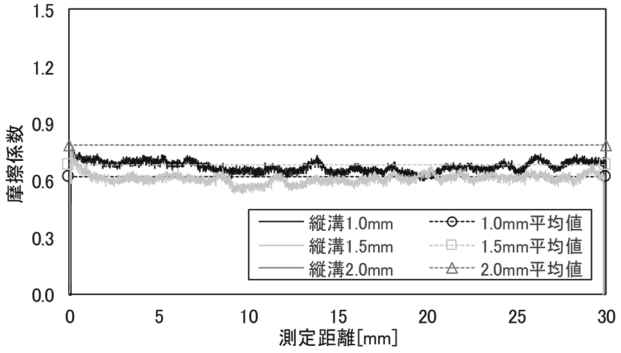
3. 実験結果および考察

3.1 切断機による試験片の実験結果

図1 に溝パターンの摩擦係数履歴結果を示す。(a)は溝に対してセンサを垂直に走査させた結果を、(b)は溝に対して平行にセンサを走査させた結果を示す。



(a) 横溝における摩擦係数履歴



(b) 縦溝における摩擦係数履歴

図1　縦溝、横溝における摩擦係数履歴

(a)において、ピッチ幅1.0 mmと1.5 mmの波形は凹凸が少なく、平均の摩擦係数もほぼ同一である。しかし、2.0 mmについては、波形の凹凸が大きく、これにより平

均摩擦係数も大きくなっている。これは、ピッチ幅の違いによるシリコン樹脂の撓み方の違いに起因すると考えられる。一方、(b)においてはピッチ幅に因らず波形の凹凸が少ない。これは測定中、シリコン樹脂の撓みが一定のためと考えられる。大きさはピッチ幅が大きくなるにつれて、平均摩擦係数も大きい傾向にあり、シリコン樹脂と接触している金属面の面積に比例しているものと考えられる。また、(a)、(b)を比較すると、溝加工における摩擦係数の異方性は明らかである。指で溝を走査した場合、溝と垂直方向では、いずれのピッチにおいても凹凸を感じ、摩擦についてもピッチ幅による差異は感じられなかった。溝と平行方向については、凹凸は感じず、ピッチ幅に比例して大きな摩擦を感じた。従って、(a)の結果は触感とは一致せず、(b)の結果については触感とほぼ一致していた。

3.2 ショットピーニング装置による試験片の実験結果

図 2 に梨地加工のシリコンシートセンサを用いた摩擦感テスターによる平均摩擦係数の測定結果を示す。梨地加工の場合、加工時間に依らず、0.2 MPa の試料が 0.4 MPa、0.6 MPa に比べて大きな摩擦係数を持つことが分かった。

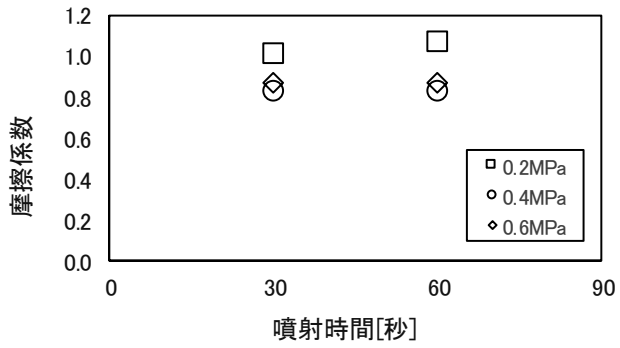


図２　梨地加工における平均摩擦係数

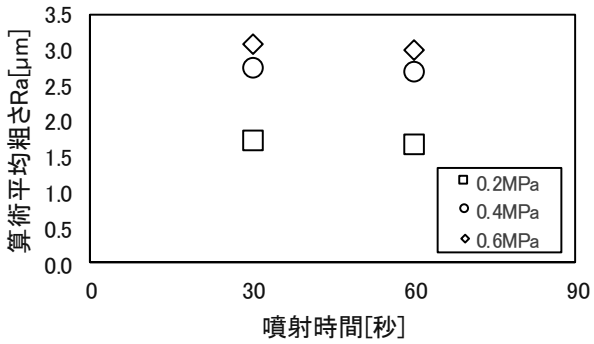


図３　梨地加工における平均算術粗さ

図 3 に梨地加工の算術平均粗さ Ra[μm]の測定結果を示す。噴射時間に依らず、0.2MPa、0.4MPa、0.6 MPa の順で平滑であった。図 2、図 3 より、表面が平滑なほど摩擦係数が高い傾向にあり、梨地表面とシリコン樹脂の接触面積が大きいほどに、表面粗さが高いものと考えられる。梨地表面を指で走査したところ、摩擦係数が高いものほど指が滑りにくく、表面が滑らかに感じた。従って、図 2,3 の結果と指の触感はほぼ一致していた。

4. 結言

本研究では代表的な表面形状を形成した金属材料の摩擦係数と表面粗さを測定し、触感との比較を行った。測定結果と触感は概ね一致していたが、そうでない場合もあった。滑らかさやざらつき以外の指標を組み合わせることや、シート材料の選定等を考慮しながら、触感を数値化する手法について引き続き検討する予定である。

参考文献

1)川堰　他，富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.32 (2018) pp. 2

キーワード：金属製品、触感向上、風合い試験、表面粗さ

A Study on the Improvement in Texture of Metal Products

Digital Manufacturing Section; Arisa NOTO and Kiyokazu HIMI

In this study, matte surfaces and trench surfaces were formed on wrought aluminum alloy by cutting work and shot peening process, which are widely used in metal process industry, and the relationship between tactile sensation with friction coefficient and surface roughness were investigated with KES evaluation system. In case of matte surfaces, the friction coefficient and surface roughness of them were roughly consistent with tactile impression. On the other hand, the tactile impression of trench surfaces disagreed with their surface roughness and friction coefficient under the condition of scanning direction perpendicular to the trench direction. In the future, we intend to continue studying the quantification methods of tactile sensations.

イオン液体を用いた高効率水電解

機能素材加工課　國方伸亮[*1]　山岸英樹　佐藤智

1. 緒言

エネルギー安全保障と地球温暖化対策としての位置付けから、水素社会の実現に向けた研究開発が国内外で盛んである。水素は電気や石油などの一次エネルギーを利用することで得られる二次エネルギーであり、コスト面で一次エネルギーと比較して不利であるため、より効率的な水素製造のための技術開発が普及の促進に必要である。

安価かつ大規模な水素製造手法である水電解において、反応温度が上昇することで、電解に必要な電気エネルギーの割合が熱力学的に小さくなることが知られている[1)]。また、温度上昇させることで電極反応速度が増加するため電極過電圧の低下も期待される。しかしながら、一般に水電解に使用する電解液は腐食性の高い強アルカリ性であるため、商用電解では 90 ℃ 程度の作動にとどまっている。そこで、イオン液体を KOH や NaOH などの従来の電解質の代替として用いることで、100 ℃ 以上でも安定に動作可能な反応系を開発できるのではないかと考えた。イオン液体は一般に 100 ℃ 以下に融点をもつ有機塩であり、電気伝導性や比較的高い熱的安定性など様々な特徴を有する。カチオンとアニオンのイオン種や組成を工夫することで、水電解における活性を高めることができるのではないかと期待される。

また、水素製造コストの低減には再生可能エネルギーの利用が有効と考えられる。本県は日本海側に位置するため冬季日照時間が少なく、風力発電のポテンシャルも低いが[2)]、急流河川や農業用水など水資源は豊富であるため、再生可能エネルギーとして小水力発電が有望である。小水力発電は、風力などに比べると少ないものの、自然条件の変化や設備メンテナンスなどに伴う急激な出力変動が頻繁に生じると想定され、水電解の電源として用いる場合、システムの劣化を促す要因となる。強アルカリ条件下でアノード電極に金属 Ni を用いた場合、電解の副生物としてニッケルの酸化物や水酸化物が生じるため、電解を行うための電力が供給されなくなると、これらが還元されることによる逆電流が生じ、電極触媒の脱離を促進する。そのため、電力変動のもとでも安定に動作する反応系の構築が必要であり、イオン液体は強アルカリ電解質のような腐食性を示さない点で有望である。

以上のことから本研究では、水素発生効率と耐久性に優れた電極系を開発することを目的として、イオン液体を水電解の添加剤として用いて電解効率と電解による材料の劣化挙動を研究する。本研究が目指す水素生成の高効率化は水素価格の低減や水素エネルギーの地産地消を目的とした基盤研究であり、SDGs への取り組みとして水素利活用の推進に取り組む本県にとって非常に重要であると考える。

本研究は令和元年度下期から令和 2 年度にかけての計画であり、今回は中間報告として材料の合成と評価までを報告する。

2. 実験方法

水電解の添加剤として用いるイオン液体を合成することを目的として、等モル量の 1-ブチルイミダゾール (1-Butylimidazole: BIm) とビストリフルオロメタンスルホンアミド (bis(trifluoromethanesulfonyl)imide: HTFSA) を純水中にて 24 時間混合し、90°C で真空乾燥させることで、褐色の粘稠な液体 BImH-TFSA を得た。また、HTFSA の代わりに硫酸 (H_2SO_4) を用いて、同様の手法で BImH-HSO_4 を得た。得られた試料を所定のモル比で純水と混合させ、水分子との相溶性を確認した。

試料の評価として、JASCO 社製 FT/IR-6700 を用い、ダイヤモンド ATR を用いて室温にて測定を行った。TG-DTA は Rigaku 製 TG 8120 を用い、温度範囲は室温-500 ℃、スキャンレートは 5 ℃/min.とした。蓋のない Al 製サンプルパンを使用し、大気雰囲気下にて測定を行った。

3. 実験結果および考察

酸塩基反応にて合成されたイミダゾリウム系イオン液体 BImH-TFSA および BImH-HSO_4 の化学式と写真を Fig. 1 に示す。HTFSA と H_2SO_4 はいずれもブレンステッド酸として BIm と相互作用することで、イオン液体のカチオンとアニオンを構成する。BImH-TFSA を純水に混和させた結果、水層と油層に分離したことから、疎水性であることを確認した。また、同様の操作を BImH-HSO_4 に行ったところ、均一相に混和したことから、親水性であることを確認した。水電解の電解質に用いる場合には水分子と混和する必要があることから、水電解の添加剤には BImH-HSO_4 を用いることとする。

Fig. 2 に、BImH-HSO_4 の FT-IR スペクトルを示した。イミダゾリウム環側鎖の C-H 対象伸縮振動 (2965cm^{-1} および 2930 cm^{-1}) や、硫酸水素イオンの S-O および S-OH 伸縮振動 (それぞれ 1222cm^{-1} および 1023 cm^{-1}) などに帰属

*1 現　機械電子研究所

されるバンドが確認されたことから、イオン液体 BImH-HSO_4 が合成されたとことを示唆する [3]。

Fig. 3 に、TG-DTA の結果を示した。図より、BImH-HSO_4 においては 3 段階の重量減少が確認される。室温から約 170 ℃ までの数%の重量減少はどちらのイオン液体も同程度であり、液中に含まれる水分によるものと考えられる。2 段階目の 200 ℃ 付近での重量減少は BImH-TFSA には見られないことから、BImH-HSO_4 における硫酸水素アニオンの分解に伴うものと考えられ、SOx ガスが発生していると推定される。また、300 ℃ 付近での 3 段階目の重量減少はカチオンを含むイオン液体全体の熱分解であり、累積でほぼ 100%の重量減となった。この結果から、BImH-HSO_4 は 170 ℃ 以下の温度範囲であれば熱的に安定に使用可能であることが確認された。

4. 結言

水電解の添加剤として用いることを目的として、イオン液体 BImH-HSO_4 を合成し、FT-IR にてスペクトルの帰属を行った。BImH-HSO_4 が親水性を示し、熱分解温度が約 170 ℃ であることを確認した。その一方、BImH-TFSA は純水と混和せず、疎水性であることを確認した。

今後、研究を継続し、BImH-HSO_4 を用いた水溶液系の電解効率や電解による材料の表面状態の変化を確認していく。

参考文献

1)客野貴広 他: *電学論 B*, **124** (4) (2004) pp. 605-611.

2)一般社団法人日本風力発電協会資料: *風力発電ポテンシャルマップ*

3) L. Zanchet 他: *Ionics*, **25** (2019) pp.1167-1176.

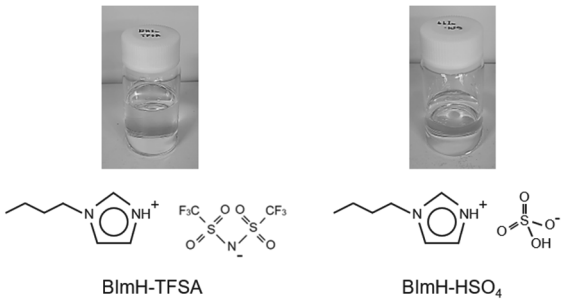


Fig. 1 Pictures and chemical structures of BImH-TFSA and BImH-HSO_4.

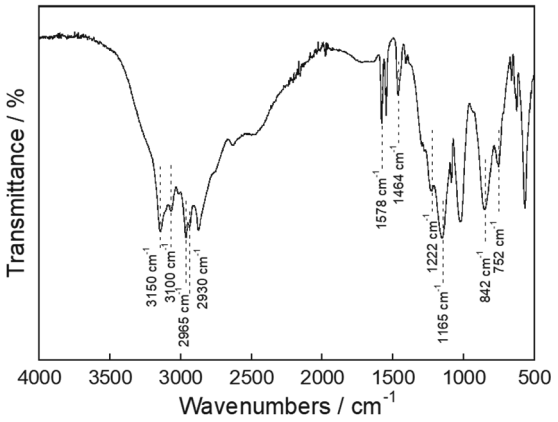


Fig. 2 FT-IR spectrum of BImH-HSO_4.

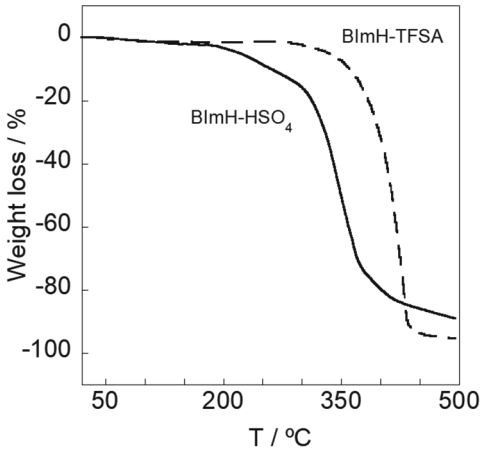


Fig. 3 TG curves of BIm-TFSA and BImH-HSO_4.

キーワード：水電解、水素、イオン液体、小水力発電

Water Splitting of Electrolyte Solution Promoted by Ionic Liquid

Core Manufacturing Technology Section; Nobuaki KUNIKATA[*1], Hideki YAMAGISHI and Masaru SATO

Preparing reagents and experimental equipment, the ionic liquid BImH-HSO_4 was synthesized for the purpose of using it as an additive material for water splitting. We assigned FT-IR spectra of the BImH-HSO_4 and underwent TG-DTA analysis. The thermal decomposition temperature of BImH-HSO_4 was about 170 °C. BImH-HSO_4 mixed with pure water showing a homogeneous phase. We continue this research investigating electrolysis efficiency of the aqueous solution system containing BImH-HSO_4.

タングステンを用いたアルミダイカスト金型補修のための基礎研究

製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃[*1]　デジタルものづくり課 山本貴文

1. 緒言

自動車のエンジン部品を始め、多くのアルミ部品はダイカスト金型により成型される。近年のアルミダイカスト品の高強度化や高サイクル生産化の対応に伴い、高温・高圧のアルミ溶湯が型内に射出されるために金型摩耗や溶損発生が課題となる。金型補修メーカは溶損が生じた金型に対し、主にマルエージング鋼等の溶接棒により肉盛溶接し切削加工することで型補修を行う。しかし補修後の成型において、溶接棒中の金属成分と溶融アルミとの間に金属間化合物を生じる等の理由から補修部の耐溶損性が低く留まることが知られている。従って数千ショット程度で再び型の溶損が起き、効率的なダイカスト金型の運用には至っていない。

そこで本研究では耐アルミ浸食性に優れたタングステンに着目し、ダイカスト金型補修向け材料としての適用可能性の検討するため、純タングステンの金属 3D プリンティング技術を活用し種々の金型材料への造形を実施した。本報告書では作成された造形体の金属組織および機械的特性についてその概要を報告する。

2. 実験方法

造形には、ドイツ EOS 社製 EOSINT-M280(図 1)を用いた。造形装置に搭載されているレーザは、最大出力 400W の Yb-ファイバーレーザであり、スポット径は約 0.1mm、波長は 1070nm である。用いたタングステン粉末は、タングステン酸化物の水素還元により精製された平均粒径 17μm の多角形状粒子である。

純タングステンの造形には、高密度化が可能なレーザ照射条件(出力、走査速度、走査ピッチ、積層厚)を用い、アルゴン雰囲気中(酸素濃度:0.1%以下)で積層を実施した。材料特性の調査に用いた造形体の形状は、直径 10mm で、高さ約 1mm(積層 50 回)の円柱状とした。また、造形される側の母材には(a)SKD61(熱処理無)、(b)SKD61(熱処理有)、(c)SUS304、(d)銅タングステンの 4 種を用いた。

タングステン造形体の金属組織観察には光学顕微鏡を用い、腐食液として村上試薬を使用した。また、機械的特性の評価は硬さ試験により行った。造形体表面から深さ 0.05mm、0.1mm、0.2mm…における硬さを測定した。硬さ試験機にはミツトヨ製マイクロビッカース硬さ試験機(HM220)を用い、試験力は 0.98N とした。

図 1　EOS 社製 EOSINT-M280

3. 実験結果および考察

図 2 にタングステン造形体における鉛直断面の断面光学写真を、図 3 にマイクロビッカース硬さ試験結果を示す。全ての造形体において、積層方向に強く伸長した金属組織の形成を確認した。このような積層方向に伸長した金属組織は、層を積み上げるプロセスに起因する金属 3D プリンティング特有の金属形態である。この伸長した組織内(造形体表面から深さ 0～0.6mm)における硬さは最大 580HV0.1 を示し、タングステン組織による硬化を確認することができた。更には(d)銅タングステン以外の組織では伸長組織と母材の間(深さ 0.7～1.1mm)には図 4 に示すような微細組織が確認され、この部位の硬さは 1120～1240HV0.1 を示し、非常に硬い組織が造形されていることが明らかになった。

一方で、全ての造形体において母材近傍にクラックおよび大きさが約 100～200μm の空洞（図中の黒色部）が複数箇所認められた。今回の造形体をアルミダイカスト金型補修材に適用することを考慮すると、造形体中のクラックおよび空洞の発生はアルミ射出成型時に造形体の剥離・脱落を誘発する重大な欠陥であると推察できる。今回このクラックおよび空洞の発生要因については解明には至らなかったが、今後、レーザ照射条件、母材材質、粉末の条件について検討を進める必要がある。

4. 結言

アルミダイカスト金型補修材への適用に向け、純タングステンを用いた金属 3D プリンティングで作成された造形体の金属組織と機械的特性を調査した。硬さはタングステンが持つ特性により高い値を示したが、造形体の内部にはクラックおよび空洞が数多く確認され、3D プリンティング側の条件、母材材質、粉末による影響につい

*1 現　機械電子研究所

て検討を実施し、改善を行っていく必要があると考えられる。

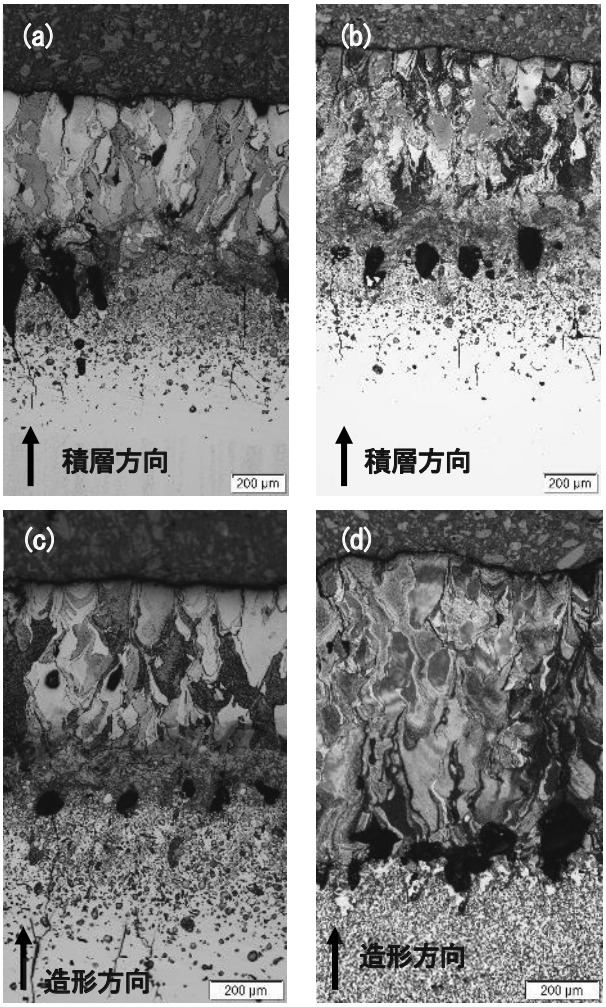


図２　タングステン造形体の金属組織

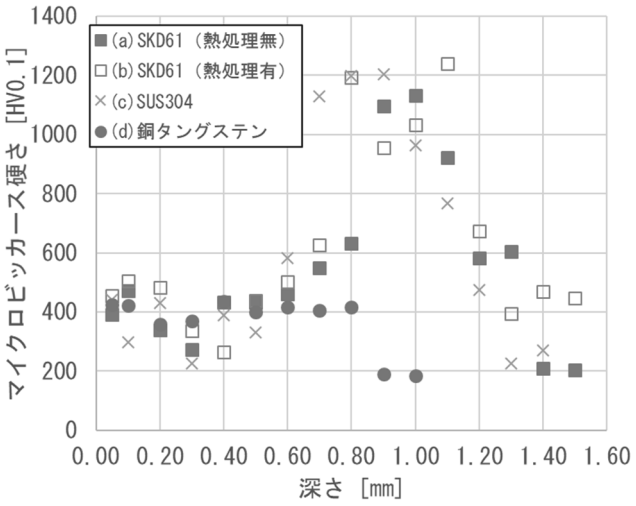


図３　マイクロビッカース硬さ試験結果

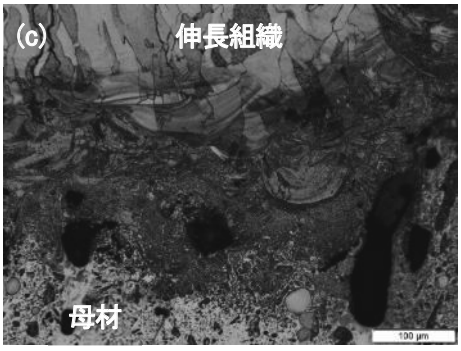


図４　伸長組織-母材間の微細組織

参考文献

1)山本　他,　富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.33(2019)pp.20-21

キーワード：金属 3D プリンティング、Additive manufacturing、純タングステン、ダイカスト金型

Basic Research of Repairing Aluminum Die Casting Mold Using Tungsten

Product and Function Evaluating Section; Keisuke SEKIGUCHI, Takaaki SHIMIZU[*1],
Digital Manufacturing Section; Takafumi YAMAMOTO

In study, the microstructure and mechanical properties of the model formed by metal 3D printing using pure tungsten were investigated. Apply on various aluminum casting mold base materials (SKD61, SUS304, copper tungsten alloy). As the result, the micro-vickers hardness shows high value due to the characteristic of tungsten, but many cracks and cavities were confirmed inside the molded body. It is necessary to continue to investigate the effects of 3D printing conditions and base material.

Wi-Fi(無線 LAN)の周波数帯域を用いるレクテナの試作と評価

製品・機能評価課　奈須野雅明、佐々木克浩*1

1. 緒言

近年、ノートパソコン、スマートホンやタブレットなどのモバイル通信機器の普及により、家庭内や屋内外の公共施設や商業施設等においても無料 Wi-Fi が設置され、利用されるエリアがますます広がっている。一般的に Wi-Fi の電波はルーター等のアンテナより送受信されているが、通信に使われない電波エネルギーを効率よく回収利用できれば、低消費電力の IoT 機器等の電源の補助やバッテリーレス化につながる可能性があると考える。本研究では、Wi-Fi の通信に用いられる周波数帯域の電磁波のエネルギーを回収するレクテナ(整流回路付きアンテナ)の試作と評価を行う。今年度は、ライセンスフリーの電磁界シミュレータを用いて、共進周波数が 2.4GHz 帯にあるマイクロストリップアンテナ(通称はパッチアンテナ、以下 MSA)の設計、試作、評価を行った。

2. 実験方法

2.1 MSA の設計

MSA は、GPS や ETC などの受信アンテナに用いられている。平板構造でプリント基板からの生産できること、基板の誘電率でサイズの調整が容易である等の特徴があり、微弱な電磁波エネルギーを回収する受信アンテナに適すると考えられる。形状には背面同軸給電方式、共平面方式、電磁結合給電方式などがあるが、インピーダンスの調整がしやすい切込みを設けた共平面方式とした。また、面積を増やすためにアレイ化することを考慮し、背面から給電するアンテナを設計することとした。図 1 にその模式図を示す。基本的な MSA は、アンテナ面（放射素子）、誘電体、地導体板の 3 層からなり、共進周波数 f_0 は、誘電体の比誘電率と放射面の長さによって決まり、式(1)で表される [1]。

$$f_0 = \frac{C_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \qquad (1)$$

C_0：真空中の光速、L:放射面の長さ、比誘電率 ε_r

試作パッチアンテナの基板には、日本ピラー工業社製のガラス布基材フッ素樹脂両面銅張積層板(NPC-F260(表 1 参照))を使用した。電磁界シミュレータには、周波数領域での解析法（モーメント法）による Sonnet Software 社製 SonnetLite を用いた [2]。シミュレータには、表 1 の基板

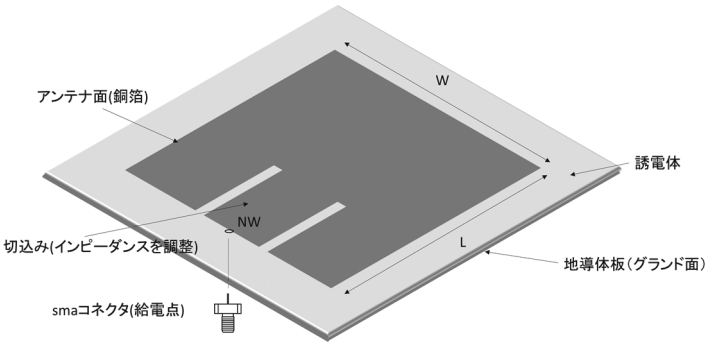


図 1 切込みを設けた共平面方式 MSA の模式図

パラメータを設定し CellSize(メッシュ)は 0.25mm 角とした。(1)式から設計する 2.4GHz 帯の共振周波数 2.45GHz より概略寸法(図 1 の長さ L 及び幅 W の長さ)は決まり、切込みの大きさによりインピーダンスを調整し、2.45GHz 付近で最も低いリターンロス(以下 S_{11})値が得られる長さ L や幅 W の長さを検証し設計した。設計した寸法サイズ及びシミュレータで得られた S_{11} 特性の結果を図 2 に示す。モデリング図の S_{11} の共振周波数は、2.45GHz で、S_{11}(シミュレート値)は-39.5dB となった。アンテナ動作の目安となる-10dB 以下の周波数帯域は、2.43GHz(-10.3dB)～2.47(-10.7dB)GHz となった。

表 1　使用基板材料(基板厚は測定値、他はカタログ値 (10GHz 近傍))

基板材料	基板厚	比誘電率	誘電正接	銅箔厚
NPC-F260	3.15mm	2.59	0.0028	35μm

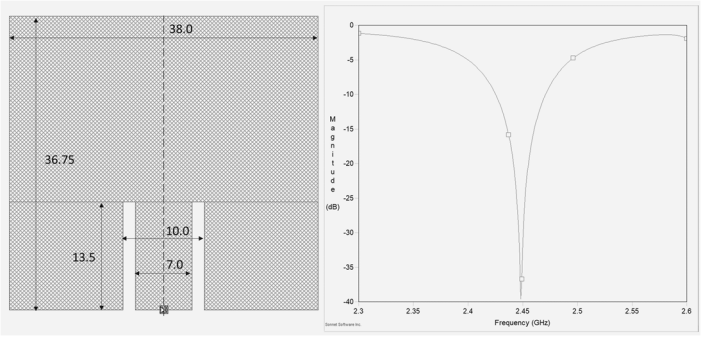


図2 電磁界シミュレータによるモデリング(左)及び S_{11} 特性(右)

2.2 MSA の試作

試作 MSA は、表 1 の基板を 70mm 角に切断し、アンテナ面のパターニングはウェットエッチングで行った。エッチングの保護シートには塩化ビニルシートを用い、市販のカッティングプロッターでモデリングした図形の形状にカッティングした。エッチングは塩化第二鉄水溶液

*1 現　生活工学研究所

(38%)を 40℃±2℃ で約 20min 行った。アンテナの地導体面には、70mm 角のアルミ板をねじ止めした。給電面は、アンテナ面の切込み外側の中央から φ1.4mm の貫通穴を設け、sma コネクタをアルミ板にビス止めし、端子を貫通穴に通してアンテナ面の銅箔とはんだ付けを行いスルーホールとした。試作した MSA の外観を図 3 に示す。

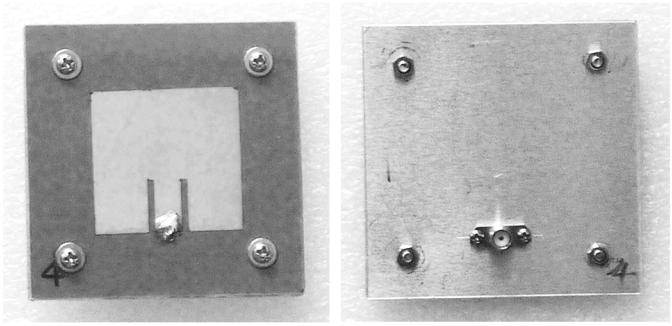


図 3 試作した MSA の外観（左：アンテナ面、右：地導体面）

2.3. 実験結果および考察

試作した MSA の S_{11} の測定をネットワークアナライザー(ROHDE & SCHWARZ 社製 ZVA-24）で行い、その測定結果及びモデリングのシミュレート値を図 4 に示す。試作した MSA の共振周波数は、シミュレート値より約 0.01GHz シフトし 2.46GHz(-29.1dB)に、S_{11} 値は、−10dB 高い値となった。塩化ビニルシートのカッティング精度や過エッチング等、加工精度が要因と思われる。アンテナの動作の目安である -10dB 以下の帯域は、2.44GHz(-11.9dB)~2.48GHz(-13.0dB)となり、帯域もシフトしているが、シミュレート値とほぼ近い特性が得られた。Wi-Fi の 2.4GHz 帯は、例えば IEEE802.11g の場合 2.412～2.472GHz の帯域で 5MHz 毎に 13ch(20MHz/ch）あることから、2.40～2.48GHz の帯域幅を含む必要があると考えられ、今後、周波数の帯域幅を広げるため基板の選定や形状及び構造等を検討するとととともに、寸法精度も高めて試作作製を試みたい。

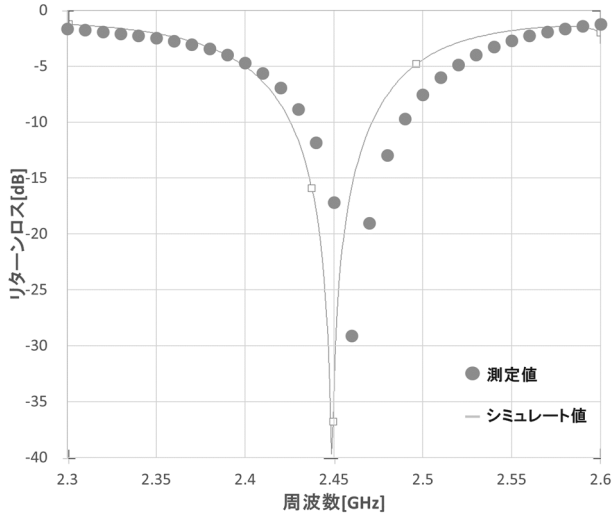


図 4　S_{11} の測定結果およびシミュレート値

3. 結言

Wi-Fi の周波数帯域 2.4GHz 帯で動作するレクテナ用のアンテナ(MSA)の設計、試作、評価を行った。今後、周波数領域の広帯域化したアンテナの試作やアレイ化に取り組むとともに、アンテナに適した高周波整流回路の試作評価に取り組む予定である。

参考文献

1) 電子情報通信学会　知識ベース　知識の森:[Online] http://www.ieice-hbkb.org/files/04/04gun_02hen_05.pdf
2) 小暮裕明他:[改訂]電磁界シミュレータで学ぶ高周波の世界
3) 無線 LAN 基礎知識：[Online] https://www.allied-telesis.co.jp/products/list/wireless/knowl.html

キーワード：Wi-Fi、レクテナ、マイクロストリップアンテナ、リターンロス

Development of Rectifying Antenna using Band of Wireless LAN/Wi-Fi

Product and Function Evaluating Section; Masaaki NASUNO Katsuhiro SASAKI[*1]

The purpose of this research is to develop a rectifying Antenna for the band used in Wi-Fi (wireless LAN). In this report, a microstrip antenna (MSA) with a frequency in the 2.4 GHz band was designed using an electromagnetic field simulator, and prototype evaluation was performed. The prototype MSA had an S_{11} of -10 dB or less in the frequency band 2.44 to 2.48, and a minimum S_{11} of -29.1dB at 2.46GHz.

香気成分の合成に関する研究

ものづくり基盤技術課　山崎茂一　藤牧寛城[*1]　　生活工学研究所　吉田　巧
有限会社アンティアンティ　宮崎　真　坂本沙恵　石坂里咲

1. 緒言

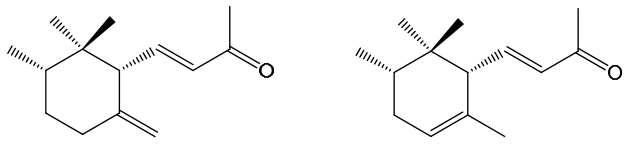
香料は人間の生活を豊かにするために、なくてはならないものである。香水、化粧品、トイレタリー製品、ハウスホールド製品、芳香剤など身の回りの多くの製品に香料が使われ、暮らしに彩りを添えている。また、加工食品や飲料にはフレーバーとして香料が添加され、食生活を豊かにすることにも貢献している。

香料には、動植物を原料として得られる天然香料と、有機合成化学によりつくられる合成香料がある。天然香料には安価に大量に得られるものもあるが、大量の原料からごくわずかの量しか得られず、非常に高額で取引されているものもある。このような高額な香料が、化学合成により天然品より安価に供給できるようになれば、その需要は大きいと考えられる。

イロンはニオイスミレの花香を有する香気物質であり、アヤメ科アヤメ属の草本であるイリスの根茎に含まれる。通常、根茎を数年間乾燥貯蔵した後抽出されるが、その生産量は少なく非常に高額である。そうしたことから、イロンの化学合成については古くから研究が行われており、近年でも最新の有機合成法を駆使した方法がいくつも報告されているが、工業的な生産で採算がとれるような方法は未だ開発されていない。本研究ではイロンの実用的な化学合成法の開発を目的とし、前年度に引き続き検討を行った。

2. 結果と考察

代表的なイロンの分子構造を図 1 に示す。イロンの分子中には 2 つの不斉炭素が存在し、また環上の二重結合の位置の違いや側鎖の二重結合に *cis, trans* 異性があるなど、多数の異性体が存在する。[1] 天然のイリス抽出物からは 6 種のイロンの異性体が単離されており、その中でも量的に多く含まれ、また強い香気を有するのが、*cis–γ–*イロンと *cis–α–*イロンである。本研究では、前年度に引き続き *cis–γ–*イロンの合成について検討した。



(-)-*cis*-γ-イロン　　(-)-*cis*-α-イロン

図1　香気物質イロンの分子構造

出発原料として、安価に市販され入手が容易な化合物を選択し、既に報告されているイロン合成に関する論文を参考にして合成ルートを考案した。反応は、水分や酸素が存在しても影響を受けにくいものを選択し、また氷水冷却以下の低温を必要とするような反応を避けるなどすることにより、反応および後処理操作ができるだけ容易になるよう工夫した。

これまでの検討では、各反応ステップにおける中間生成物の収率は、まずまず満足のいくものが得られたものの、最終生成物の *cis/trans* の量比を決定づける反応で、文献から推測した我々の予想とは異なり、生成物のほとんどが *trans* 体となり、所望の *cis* 体はごくわずかしか得られなかった。今回、この *cis/trans* の量比を決定づける反応を、*cis* 選択的あるいは *cis* 体の割合が多くなるように、反応条件等について検討を行った。

その結果、この *cis/trans* の量比を決定づける反応において、ある種の物質を反応系に添加すると、*trans* 体が *cis* 体に変換されることを見出した。しかしながら、*cis/trans* 比は 25/75 程度までにしかならず、当初よりは *cis* 体の割合を増やすことができたものの、未だ十分な割合の *cis* 体を得ることには成功していない。

また、それ以外の反応ステップにおける収率向上に関する検討では、収率に関しボトルネックとなっていたあるステップの反応において、反応試薬と溶媒の組み合わせを種々検討することにより、そのステップの収率を 20%以上向上させることに成功した。

今後はさらに、γ-イロンの *cis/trans* 比の改善、および反応全体をより安価に実施できるよう改良を続ける予定である。

3. まとめ

γ-イロンの合成において、強い香気を有する *cis*-γ-イロンの生成割合を前年度より増加させることはできたものの、未だ十分な割合には達しおらず、さらなる検討が必要である。

「参考文献」

[1] 増補新版 合成香料 化学と商品知識, 化学工業日報社 2016; pp. 314-318

*1 現　生活工学研究所

SUS 系複合材料を用いた金属造形技術の構築

デジタルものづくり課　山本　貴文、能登　有里彩
新日本電工株式会社　菊池　貴彦、大塚　亮、橋場　裕樹

1. 緒言

ステンレス（SUS）は優れた耐食性、延性、生体適合性を示す材料であり、一般的な構造材のみならず、航空機、熱交換器、生体医療などの分野で広く使用されている。なかでも、オーステナイト系ステンレスの代表的な鋼種である SUS316L は優れた耐食性、靭性を示すが、用途によっては強度が不足する一面を有する。熱処理による高強度化も困難である。このため、高強度化の一つの指針としては、第二相の添加による分散強化が有効であると考えられる。

本研究では、金属材料粉末をレーザで溶融させて形状を作製するレーザ積層造形法を SUS316L の製造法とし、第二相となる強化剤を複合化した材料粉末を用いることで SUS316L の高強度化を実現することを目標とした。今年度は、母材となる SUS316L のレーザ照射条件の検討と金属材料評価を実施した。

2. 実験方法

レーザ積層造形装置には、パウダーベット方式である EOS 社製 EOSINT M280 を用いた。使用した材料粉末は、EOS 社標準の SUS316L 粉末と比較材料として A 社の SUS316L 粉末の 2 種類である。図 1 に、A 社の粉末の SEM 像を示す。平均粒径が約 40 μmの球状粉末であり、EOS 社の粉末も同様の形態であることを確認した。レーザ照射条件の検討は、レーザ出力、スピード、走査ピッチの可変により行った。造形は、酸化を防止するため不活性雰囲気中で行い、一層毎にレーザ走査方向が約 67 °回転するスキャンストラテジーを適用した。また、造形体の密度はアルキメデス法及び断面観察により評価を行った。金属材料評価として、組織観察とマイクロビッカース硬さ測定、ならびに引張試験を行った。

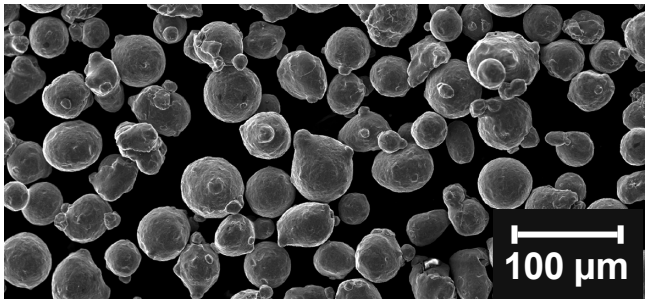


図 1　造形材料粉末の SEM 写真

3. 実験結果および考察

レーザ照射条件（レーザ出力、走査速度など）の最適化実験を行った結果、両材料ともアルキメデス法にて相対密度 99.5 %以上を示した。断面観察ではマクロ欠陥はほとんど観察されず、高密度体を得ることができた。A 社の材料により作製された高密度体の金属特性を示す。図 2 は、最適条件で作製された造形体の組織観察写真である。図中の B.D.は造形方向を示している。レーザ照射により形成された走査跡が観察されるとともに、鉛直断面では造形方向に伸長した組織が走査跡を跨って成長している状態が観察された。このような金属組織の形態は、レーザ積層造形法に観察される特有のものである。得られた造形体の硬さは、231±7 Hv0.3 を示した。次に、引張試験により機械的特性を評価した。材料の異方性を考慮して、XY と ZX（または Y）の 2 つの平面から試験片を採取した。最大引張応力は、XY 方向で 684 MPa、ZX 方向で 583 MPa を示した。このような異方性は、形成されて伸長した金属組織に起因して発現したものと考えられる。また、この傾向は EOS 社の材料を用いても同様であったことから、比較材料として用いた A 社の粉末特性は標準材同等であることが確認された。

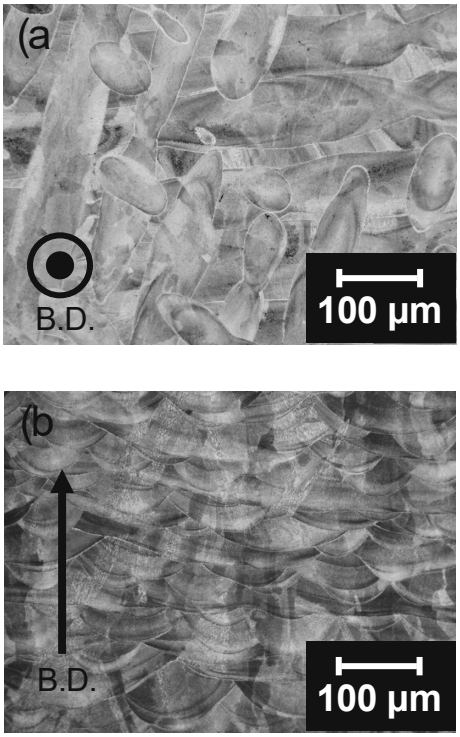


図 2　組織写真; (a) 水平断面、(b) 鉛直断面

自動車用構造部材のアルミ化推進のための高精度･高生産レーザシステムの開発

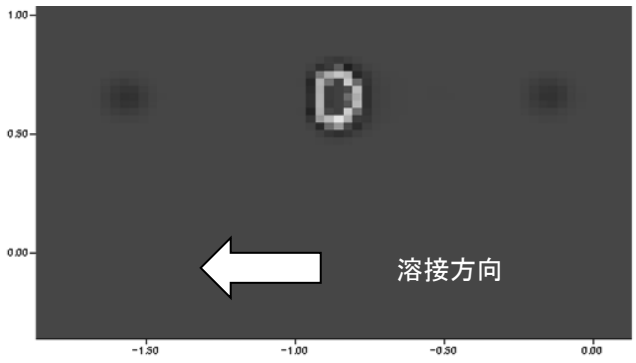
製品・機能評価課　清水孝晃[*1]　関口啓介　奈須野雅明
㈱小矢部精機　史　暁辰　　空卓　見　　高長昌志　　砂　博信

1. 緒言

近年、自動車のガソリンエンジン車から電動車へのシフトが始まっており、今後の自動車勢力図を一変させるものとなる可能性がある。この中で今後主流となる EV の車体軽量化が求められており、また従来のガソリンエンジン車も当面は燃費競争が続き EV と同様に車体の軽量化が求められていくと思われる。本研究では車体軽量化を図るため、剛構造設計が容易な高強度アルミ押出材料を用いた、ファイバーレーザによる車体構造体の生産技術の構築を目的に、アルミニウム合金のレーザ溶接用光学ユニットの開発及びこれを基にした自動レーザ溶接加工システムの確立を目指す。

2. 実験方法

レーザヘッドの光学系に 4 スポットジェネレータを導入しレーザプロファイルを調整しビードオン溶接を行った。4 スポットジェネレータはレーザ光を 4 点に分岐し各光の位置を調整できるシステムであり、本実験では 1 点に集光するもの(single)と、溶接方向に平行に 2 点配置しその中間に 2 点集光するもの(3 spot)の 2 通りで実験を行った(図 1)。3 spot は溶接方向に 3 つのスポットを配置することにより前後スポットで予熱・後熱効果を期待し、中心部スポットは高パワー密度による入熱を併せ持つプロファイルである。対象材料は A6063 としレーザ出力 2.5～5kW、溶接速度 5m/min または 15m/min でビードオン溶接を行った。



(a)single

溶接方向

(b)3 spot

図 1　レーザプロファイル

3. 実験結果および考察

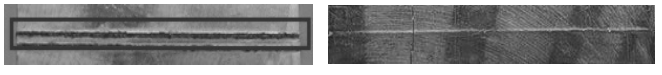
各条件における溶接の可否を表 1 と溶接ビード裏面の状態を図 2 に示す。

Single ではレーザ出力 2.5kW 以上でビードを貫通させることができ、5kW では溶接速度を 15m/min に高めても貫通させることができた。3spot ではレーザ出力 3kW では貫通せず 3.2kW で貫通した。また 5kW においては溶接速度を 15m/min に高めても貫通させることができた。

また、single での溶接と従来の単焦点ヘッドでの溶接を比較したところ、スパッタ発生量を 50%以上低減させることができた。

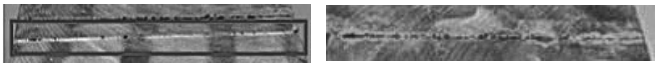
表 1　ビードオン溶接結果

レーザプロファイル	レーザ出力 (kW)	溶接速度 (m/min)	溶接ビード
Single	5	5	貫通
Single	5	15	貫通
Single	2.5	5	貫通
3 spot	3	5	非貫通
3 spot	3.2	5	貫通
3 spot	5	15	貫通



5kW, 5m/min, single　　3kW, 5m/min, 3 spot

5kW, 15m/min, single　　3.2kW, 5m/min, 3 spot



2.5kW, 5m/min, single　　5kW, 15m/min, 3 spot

図 2　溶接ビード裏面

*1 現　機械電子研究所

高強度と高靭性を両立したプラスチック自動車部品向け CNF／湿式粉砕タルクハイブリッドフィラーの開発

ものづくり基盤技術課　川野優希　　水野　渡　　岡野　優　　藤牧寛城[*1]
林化成株式会社　辻　泰弘　　齋勝　誠

1. 緒言

近年、地球温暖化対策のため自動車の軽量化が重要となっており金属部品を樹脂部品に置き換える取り組みが一段と加速している。樹脂製品の性能向上のための充填材料として無機材料のタルクが注目されている。微細化したタルクを充填することで高強度化、高弾性率化、破断ひずみの改善等が期待できるが、最適なタルクの微細化条件が見いだせておらず湿式粉砕タルクの開発には至っていない。

本研究では、湿式微粒化装置を用いて、様々な条件で湿式粉砕タルク（NanoPlate）を試作し、ポリプロピレン（PP）との複合材料を作製し各機械物性を評価することで湿式粉砕条件の最適化を目的とした。

なお、本研究は（公財）富山県新世紀産業機構の 2019 年度 産学官イノベーション推進事業において実施したものでその一部を報告する。

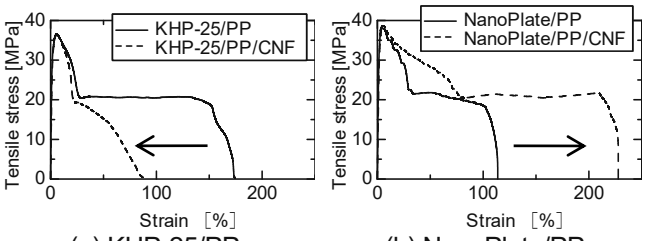
2. 実験方法

2.1 使用材料および作製条件

湿式粉砕に用いるタルクは林化成株式会社の KHP-400 とし比較材として KHP-25 を用いた。また、タルクの粉砕には株式会社スギノマシンの湿式微粒化装置スターバーストを用い、チャンバーは斜向衝突・シングルノズルの 2 条件、粉砕圧力は 100、200 MPa の 2 条件、パス回数は 1、3 回の 2 条件とした。作製した NanoPlate は二軸押出機を用いて PP と混練し、射出成形機を用いてダンベル試験片と短冊試験片に成形した。この NanoPlate/PP 複合材料に対する NanoPlate の含有量は 20 wt%とした。

2.2 試験方法

小型強度試験機を用いて引張試験および曲げ試験を行った。引張試験では引張強度および破断伸びを、曲げ試験では曲げ強度および曲げ弾性率を算出した。また、シャルピー衝撃試験を行い、シャルピー衝撃値を算出した。



(a) KHP-25/PP　　(b) NanoPlate/PP

Fig. 1 Relationships between tensile stress and strain

3. 実験結果および考察

Table 1 に NanoPlate/PP 複合材料の強度試験結果の一覧を示す。強度試験結果より、斜向衝突ノズル、粉砕圧力 200 MPa、パス回数 3 回の条件で作製した NanoPlate は比較材である KHP-25 と同等かそれ以上の物性を示すことが分かった。CNF 添加の効果を見るため、上記の複合材料および KHP-25 の複合材料に CNF を 0.5 wt%添加した複合材料を作製し引張試験を行った。その結果を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より KHP-25/PP 複合材料では CNF を添加することで破断伸びが短くなったのに対して、NanoPlate/PP 複合材料では CNF 未添加と比べて破断伸びが約 2 倍となり CNF 添加の効果がみられた。

4. 結言

斜向衝突ノズル・粉砕圧力 200 MPa・パス回数 3 回の条件で NanoPlate を作製することで最も高強度・高弾性率となった。また、上記の条件において作製した NanoPlate/PP 複合材料に CNF を 0.5 wt %ハイブリッド化する事により、CNF 未添加の複合材料と比較して破断伸びが 2 倍になった。

Table 1 Strength test result (NanoPlate/PP)

Chamber nozzle	Reference (KHP-25/PP)	Swash impact nozzle				Single nozzle			
Pressure [MPa]		100		200		100		200	
Number of passes		1	3	1	3	1	3	1	3
Tensile strength [MPa]	24.2	24.1	24.3	24.9	24.7	23.9	23.8	24.8	24.2
Breaking elongation [%]	24	25	33	22	27	20	25	35	23
Bending Strength [MPa]	38	37	38	38	39	38	39	38	38
Bending Modulus [MPa]	2,125	1,988	2,080	2,150	2,216	2,066	2,096	2,088	2,109
Charpy value [kJ/m^2]	4.4	4.2	4.2	4.1	4.3	4.2	4.2	4.2	4.4

*1 現　生活工学研究所

6000 系アルミニウム合金同種材の鍛接プロセスに関する研究

機能素材加工課　山岸英樹 佐藤智　國方伸亮*1、アイシン軽金属株式会社　吉田朋夫　松井宏昭

1．はじめに

自動車の燃費向上に直結する車両の軽量化の実現には、材質や形状あるいは生産性等に応じて様々な接合方法が求められる。本研究では、ハンマリングにより高速・高強度な接合を実現する鍛接法[1]（接合界面に塑性流動を伴う拡散接合）を軽量部材である6000系アルミニウム合金押出材の同材接合に適用し、その基礎的な接合条件の確立及び接合部材の機械的性質等について検討を行った。

2．試験方法及び試験結果

2,000 kN 級 AC サーボプレス機を用いて A6005C 押出材（φ50 mm - L50 mm）同士の鍛接加工条件を検討した。加工にはサーボプレスのフリーモーションを活用し、サイクルタイムは約 2 秒～約 8 秒の範囲で行った。

加工条件の検討の一つとして、鍛接まま材及び鍛接後熱処理（T6）材の継手引張強さに及ぼす予熱温度の影響を検討した。鍛接まま材では予熱温度の上昇に伴い継手の引張強さは低下した。この鍛接まま材における破断位置は、予熱温度にかかわらず全て Fig. 1 に示すように母材部であったことから、この引張強さの低下挙動は予熱による母材焼きなましの影響が表れたものと考えられる。一方、鍛接後 T6 処理したものについては、鍛接まま材と異なり予熱温度による引張強さへの明確な影響は認められなかった。

電子線後方散乱回折法（EBSD）により取得した本接合プロセスにおける金属組織変化の例を Fig. 2 に示す（IQ＋IPF）。押出方向（ED）に数 mm オーダーで伸長した母材（BM）の結晶粒は、鍛接加工に伴う動的再結晶により数 μm オーダーに微細化、鍛圧方向（FD）に垂直に積層した形態となる。またその後の T6 処理では粒成長により比較的ランダムな等軸粒となり、その平均結晶粒径は約 100 μm となる。このほか、より詳細な EBSD 解析及び電子線マイクロアナライザー分析（EPMA）によって、鍛接界面では酸化被膜が塑性流動により除去もしくは合金中に含まれるマグネシウム成分により還元されることで結晶性が高い状態であることを確認した（良好な拡散接合界面を形成）。

また実用性能で問題となる疲労強度の確認のため、油圧サーボ疲労試験機により鍛接後熱処理部材の単軸片振引張における SN カーブを取得した（Fig. 3）。当該継手の疲労破断位置は全て母材部であり、また BM の T6 処理材と同等な強度であることを確認した（部材間の強度差は熱処理の影響）。

以上のとおり、A6005C 押出材同士の接合において、生産性の高い鍛接プロセスの適用可能性及び健全性を確認した。

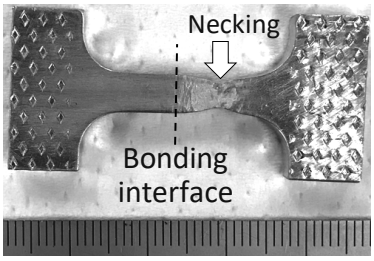


Fig. 1　Appearance of the as forge-weld joint after tensile test

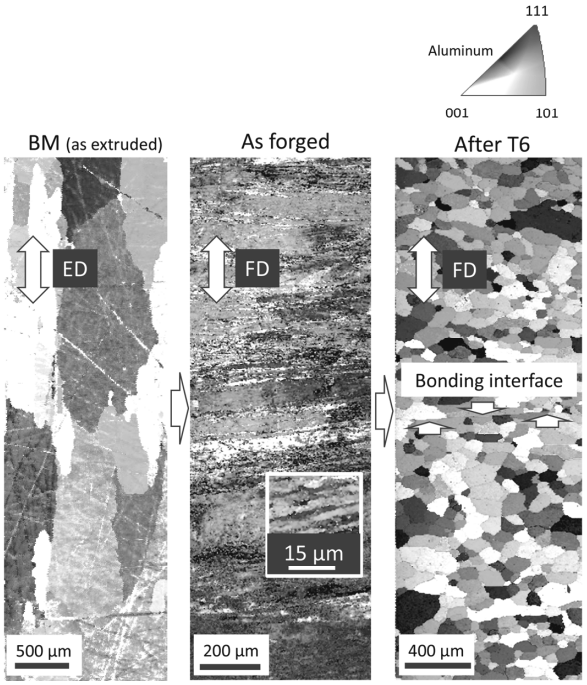


Fig. 2　Recrystallization behavior during the process determined by EBSD

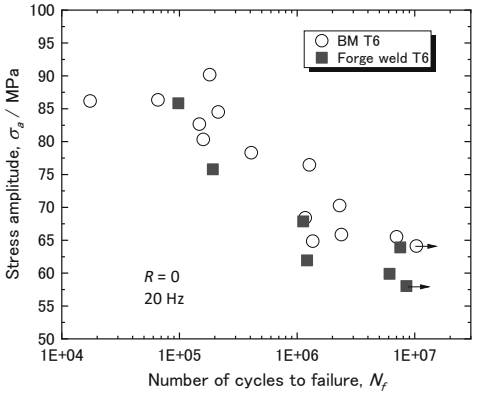


Fig. 3　S-N curves for the BM T6 and the forge-weld T6 materials

参考文献

1) H. Yamagishi *et al.* : *Metall. Mater. Trans. A*., 51 (2020) 2154-62

*1 現　機械電子研究所

長繊維を特長とするナノファイバー製造の高効率化手法に関する研究

デジタルものづくり課　岩坪　聡[*1]　住岡　淳司[*1]　生活工学研究所　寺田　堂彦　機能素材加工課　佐藤　智
株式会社スギノマシン　近藤　兼司、森本　裕輝、小倉　孝太、峯村　淳

1. 緒言

近年、工業製品原料にも環境への配慮が求められている。環境負荷が小さいフレキソインキなどに生分解性の高いバイオマスナノファイバーを添加することで、さらに環境負荷を低減することができる。ナノファイバーの添加は、印刷時の定着性を向上、退色速度の減少など、インクの機能性を向上が可能になる。特にシルクは、織物で使用する部分以外（高品質部分）は用途が少なく、その有効利用が期待されている。

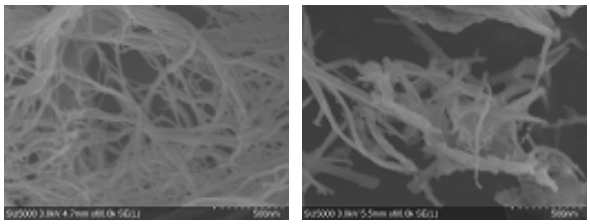
ナノファイバーは、その繊維長により特性が大きく異なることが予想されることから、本研究ではバイオマス原料となる繭由来のシルク繊維、綿（コットン）などから、長繊維ナノファイバーを生産する手法を開発し、その評価と応用探索を行った。

2. 実験方法

ナノファイバーの作製には㈱スギノマシン製　湿式微粒化装置スターバースト®を使用した。解繊状態は、FE-SEM 日本電子株式会社　JSM-7001FTTLS、結晶化度は、株式会社リガクの X 線回析装置　Smart Lab 9kW、色調の計時変化は、測色計コニカミノルタセンシング(株)　CM-3600d を用いた。シルクナノファイバーを新規応用として、油剤用のゲル化評価と細胞培養基材への添加を行い、その造形体も作製した。

3. 実験結果および考察

解繊したコットン由来のナノファイバーとシルク由来のナノファイバーの FE-SEM による画像を図 1 に示す。



(a) コットン　　(b) シルク

図 1　各種原料から作製したナノファイバーの SEM 像

得られたバイオマス由来のナノファイバーは、従来の材料と同様に結晶化度が高く、繊維が長いことが確認できた。

次に、得られたシルクナノファイバーを使用した油剤用のゲル化能を検討した。従来の油剤ゲル化剤は、使用可能な油剤選択性が低いものが多い。開発したナノファイバーでは、3 相乳化を行う際に用いられる多価アルコールとシルクナノファイバーを混ぜた後に、油剤を加えることでオイルゲルや乳化物が出来、長時間安定であることが分かった。図 2 にシルクナノファイバーで乳化したサンプルを示す。ナノファイバー化していないシルクには、この作用はなかった。

図 3 に、3D バイオプリンターで造形したサンプルを示す。3D バイオプリンターでの細胞培養基材作製でバイオマスナノファイバーを使用した結果、造形への効果と細胞培養への効果も確認出来た。

図 2　シルクナノファイバー添加による乳化物の外観

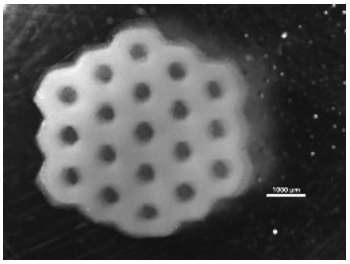


図 3　3D バイオプリンターによる造形物

4. 結言

前処理の検討により、湿式微粒化装置だけで長繊維ナノファイバーの作製プロセスが可能になった。この技術は高い生産性が期待できる。シルクナノファイバーは、油剤へのゲル化能や細胞培養基材に造形の効果が高いことが確認できた。

謝　辞

終わりに、本研究推進にあたり数多くご指導を頂いた富山大学 中村教授、岩永助教に深く感謝致します。

*1 現　企画管理部

マルチマテリアル化による軽量・高強度構造部材の開発

製品・機能評価課　清水孝晃[*1]、佐々木克浩[*2]、関口徳朗[*3]
株式会社小矢部精機　史　辰暁、高長昌志、砂　博信
アール&スポーツディベロップメント株式会社
金平卓巳、中田 満、久我口学、中村 周、小倉早苗、竹本庸浩、宝田文彦、山口義則

1. 緒言

アルミは鉄よりもコスト高になることから、適所適材の中で鉄との置き換えを行っていく必要がある。

また、強度が鉄よりも劣ることから、高強度な構造設計が重要になってくる。そこで本事業では、軽量なアルミニウム材料と他の材料を組み合わせるマルチマテリアル化によって、EV などの輸送機器の軽量、剛構造化技術を開発する

2. 実験結果および考察

2.1 ウォブルヘッド技術を用いた溶接実験

アルミ溶接に対し、高パワー密度のファイバーレーザビームを高速旋回照射による予熱効果と溶融池の撹拌による組織の均一化が期待できるウォブルヘッド（図 1）を導入し、厚いアルミ板（3mm 厚）を用いた重ね溶接に適用できるかどうかを確認するため、ビードオンテストおよび断面観察を実施した。

溶接テストより、貫通ビードの形成が確認でき、ウォブルヘッドが3mm厚のアルミ板の溶接にも適用可能であることが明らかとなった。また、出力および溶接速度以外にウォブル動作の周波数や振幅も、溶接結果に影響を与えることが分かった。

2.2 蓄電用リチウムイオンバッテリーの電極接合

本実験では異種金属（銅とアルミ）の電極タブと金属部材をウォブルヘッドによるレーザ溶接を用いて接合し、バッテリーモジュールを試作した。（図 2）

レーザ溶接は部材と接合機が非接触で溶接加工が可能なので、加工空間に余裕があり、セルを積み重ねていく工程が実現可能なため、部材と接合機が接触しなければ溶接できない超音波接合に比べて、モジュール製作が容易であることが分かった。

2.3 アルミ押出材溶接に適用可能な光学系の検討

小型 EV の軽量化を目指し、EV 用小型バッテリーモジュールを収納するバッテリーケースを兼ねたフレームをレーザ溶接により製作した。このフレームには薄肉のアルミ押出材を用いた。

今回、ツインヘッドシステムとフィラーワイヤによってアルミ押出材の接合が可能となった。（図 3）

このフレーム(長さ 150mm のもの)は外観上は問題なく溶接出来ていると考えられるが、強度については確認出来ていない為、引張試験や振動試験等により、溶接強度を明らかにしたいと考えている。

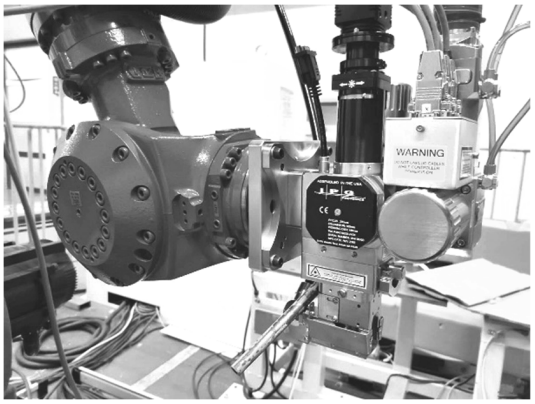


図 1　ウォブルヘッド外観

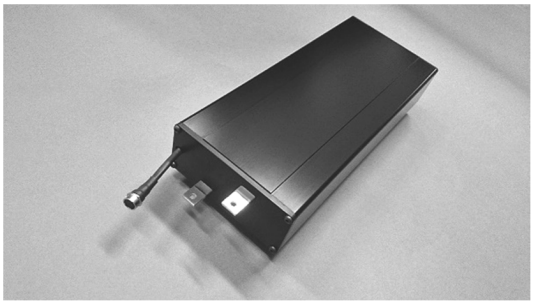


図 2　バッテリーモジュールの試作品

図 3　溶接フレーム全景

*1 現　機械電子研究所　*2 現　生活工学研究所　*3 現　企画管理部

次世代建築へ向けた３次元フレキシブルファサードの新規開発

デジタルものづくり課　氷見清和　能登有里彩
瀬尾製作所株式会社　瀬尾良輔　瀬尾伸輔　太田文夫

1. 緒言

ファサード（facade）とは、建築物の正面部分（デザイン）のことで、ビル等の建築物の主にデザイン的に彩るための外装材を指す。店舗や商業ビルにとって一番重要なポイントが建築物の“顔”となるファサードのデザインであり、ファサードは人々にその店や会社のイメージを一瞬でうえつけてしまう。店が繁盛するかどうかはファサードのデザイン次第で、とても重要な建築部品である。

高度成長期以降、大小問わず多数のビルが大都市圏を中心として建築されてきたが、ビル外装材に活用されるものは主に、焼成されたタイルや石やガラス、またはコンクリート等であり、これらが全面に貼られて建築物の意匠を形作ってきた。形状は基本的に建築基準法で許された最大限の容積率を確保するため、必然的に四角い立方体が主な形となってしまい、建築物の形状にオリジナリティーを求めることは難しくなってきていた。そのため、特に意匠的にこだわる建築物については、多額の予算を計上し、フルオーダーメイドのファサードを設計、開発する必要がある。

そこで、本研究では、建築の表現多様化に向けて、今までにない「3 次元フレキシブルファサードの新規開発」を目的とした。

2. 実験方法

2.1 引張強度試験

製品は、1 次元の引っ張り強度のみではなく、縦、横の 2 次元、そしてひねりも加わった場合での強度が求められる。パーツを繋ぐワイヤーも引っ張り強度だけではなく、面全体に荷重がかかった場合、斜め方向に引っ張られるため、その強度も確保するための設計、試験を新たに考慮していかなければいけない。そこで、接合部と連結部の基本的な強度を調査するために、図 1 に示すような一方向の試験体を製作し、接合方法や連結に用いる材料について調査した。

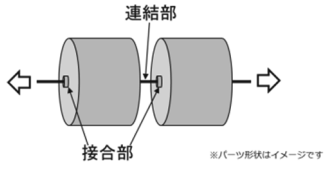


図 1　引張強度試験の概略図

2.2 風洞試験

ファサードの設置において、風が吹いたときの風切り音について調査する必要があるため、製品形状に似た試験体を製作し、風切り音について検討した。図 2 に示すように、風向きに対して 10 度刻みで角度を平面上で回転させ、風速を 5m/s、10m/s、15m/s に設定して試験を行った。合計、0 度～180 度の 19 パターン、風 3 パターン、3 試験体で風切り音について調査した。

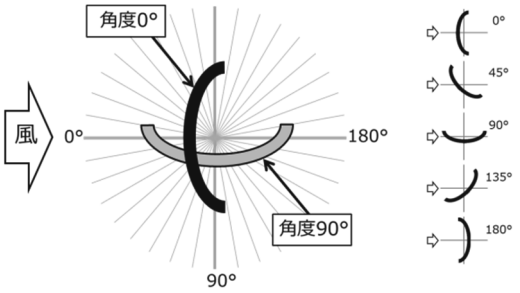


図 2　風洞試験の試験方法（風向）

3. 実験結果および考察

引張強度試験による接合および連結方法の調査の結果、接合材料の破損や連結材料での破断は発生せず、パーツ自体が破損した。この結果から、現在の接合方法で問題はなかった。しかし、更に引張強度が必要な場合は、パーツ自体の強度を上げる必要があることが分かった。

風洞試験による風切り音の調査の結果、風向き角度や製品の形状によって、風切り音の大小が発生した。パーツの間隔についても検討する必要があると考えられる。

4. 結言

製品形状に似た試験体を製作し、引張強度試験や風洞試験を行った結果、製品開発にとって有効な実験結果を得ることができ、具体的な製品が見えるところまで到達することができた。今後、3 次元的な配置における強度や風の抵抗等についてシミュレーション等も用いて検討し、自然災害にも十分に耐えられる強度をもつ新しいファサード製品の開発を目指す。

謝　辞

本共同研究は、公益財団法人富山県新世紀産業機構の産学官イノベーション推進事業（新商品新事業像出枠）の補助事業で実施した研究成果です。

摩擦攪拌プロセス(FSP)による表面改質層の特性向上技術開発

機能素材加工課　佐藤智　山岸英樹　國方伸亮*1
中越合金鋳工株式会社　谷真一　本吉史武　藤丸陽一　齊藤一成　土肥祐輝

1. 緒言

近年、摩擦攪拌接合(FSW)を応用した、摩擦攪拌プロセス(FSP)が注目されている。FSP は、FSW と同様に回転ツールを被加工材に圧入し、摩擦熱で軟化した材料を攪拌する表面改質法であり、鋳造欠陥の除去や結晶粒をナノメートルオーダーまで微細化できる[1)]。これにより、機械的性質や超塑性による成型性の向上も期待できる[2)]。

本研究では、この新しい表面改質技術である FSP に注目し、銅合金の低入熱の加工条件による結晶粒微細化による組織制御の検討を行った。

2. 実験方法

より広い改質領域を得るため、長さ 250mm×幅 20mm×深さ 10mm となるように、計 5 パスの連続加工を行った。このとき、未加工部が残留しないよう、ツール先端のプローブ直径に合わせて、1 パス加工毎に幅方向へ 5mm ずつオフセットした。ツール材質には、コバルト(Co)を用い、加工中の熱影響を抑制するために、冷却水をツール表面にあてながら加工した。

得られた試料の表面から約 1mm(表面近傍)と約 9mm(ツール先端のブローブ近傍)の 2 つの領域について、結晶方位解析(EBSD)を用いて、組織観察を行った。

3. 実験結果および考察

図 1 に、FSP 後の Co ツールの外観写真を示す。プローブのつぶれ等の変形がみられるものの、FSP 加工中にツールの破断は生じなかった。

図 2 に、5 パス目のツール通過部における、EBSD による結晶粒界マップを示す。プローブ近傍の結晶粒径は、表面近傍の結晶粒径よりも微細化されており、いずれの観察領域でも、大傾角粒界からなる結晶粒界が主に観察された。

図 3 に、FSP パス回数と結晶粒径の関係を示す。なお、5 パス全ての連続加工終了後に、各領域の組織観察を行ったものである。表面近傍とプローブ近傍における結晶粒径は、それぞれ約 0.4～0.6μm と約 0.7～1.4μm のサブミクロンオーダーまで微細化していた。複数パスの FSP では、加工中に生じる摩擦熱が、既に加工が完了した隣接部へ熱影響をおよぼすことが懸念されるが、結晶粒の明らかな粗大化は観察されなかった。

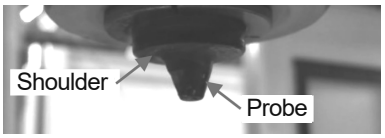
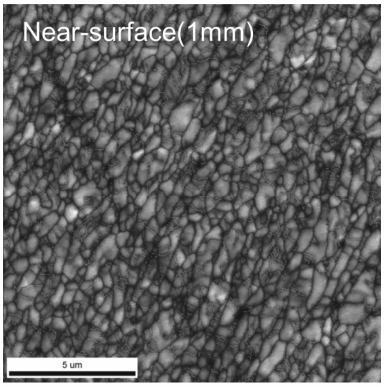


図 1　加工後のツール外観写真



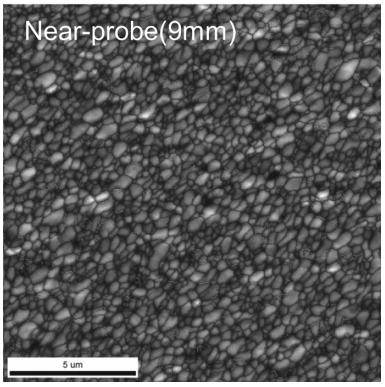


図 2　FSP 後の結晶粒界マップ

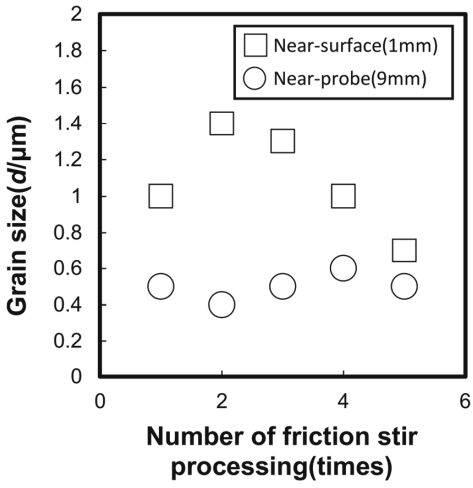


図 3　FSP パス回数と結晶粒径の関係

参考文献

1)森貞好昭:溶接学会誌, 76(2007)22-26
2)斎藤尚文:軽金属, 11(2007)492-498

*1 現　機械電子研究所

塑性加工性の良好な難燃性マグネシウム微細ビレットの開発

機能素材加工課　山岸英樹 佐藤智　國方伸亮[*1]
株式会社 TAN-EI-SYA　北西俊清　荒木順治　餅川昭二

1．はじめに

本研究は、㈱TAN-EI-SYAが新規に開発した難燃性マグネシウム合金を、撹拌鋳造により均一に分散凝固させ、その後鍛造加工により強ひずみを付与することで、結晶粒の微細化及び化合物相の均質分散化を図るものである。これにより、難燃性だけでなく強度及び延性に優れ、またその品質が安定した大径長尺のマグネシウム合金ブランク材(鍛造ビレット)を創成することを目指す。

2．試験結果など

前工程となる撹拌鋳造については、現在、試験条件を検討中である(図 1)。

後工程の動的再結晶挙動を評価するため、本開発合金について重力鋳造後に鍛造加工を施し、その金属組織観察及び引張試験またその破面観察を行った。電解放出形走査電子顕微鏡電子線後方散乱回折(FE-SEM/EBSD)による結晶方位解析の結果、結晶粒径は鍛錬比の増加に伴い細かくなる傾向がみられた。また電子線マイクロアナライザー(EPMA)による化学成分分析の結果、数種類の化合物相(多元系金属間化合物)が確認でき、その分布は撹拌鋳造をしていないため場所により不均一なものとなっていることが分かった(図 2)。一方、引張試験については、試験結果のばらつきが大きく、特に延性が低い破壊もみられた。低延性となった部材の SEM による破面観察結果(反射電子像)を図 3 に示す。エネルギ分散型エックス線分析(EDS)の結果、当該写真の明るい箇所(画面下側)にはアルミニウム及びカルシウムが相対的に多く含まれていることが明らかになった。比重の差により生じた鋳造時の成分不均一性が破壊強度に影響を与えていることが分かる(金属間化合物の偏析等)。

次年度は撹拌鋳造の検討を中心に行い、ねらいとする品質のビレット創成技術の確立を目指す。

図 1　鋳造実験の様子

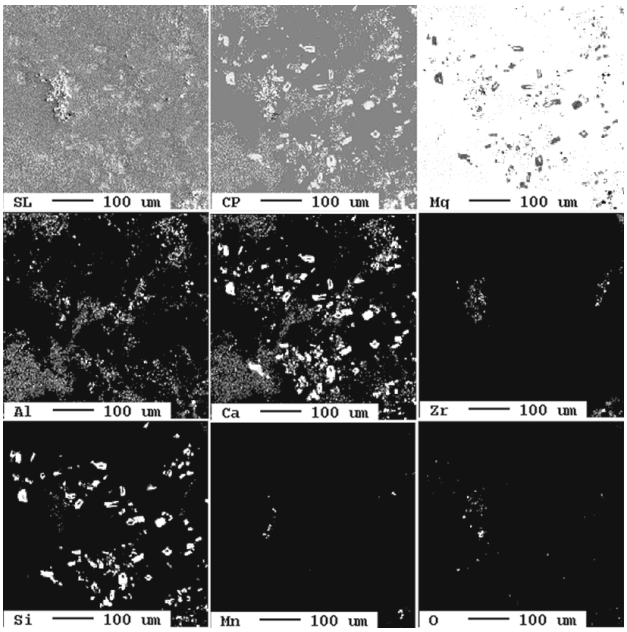


図 2　開発合金(強ひずみ付与品)の化学成分 EPMA 面分析

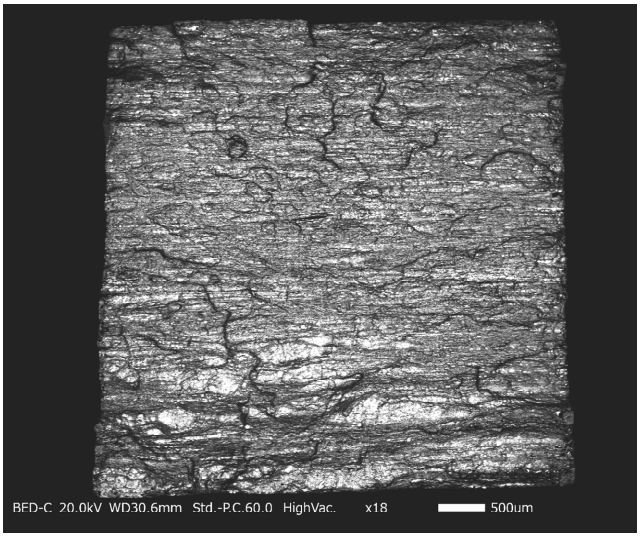


図 3　開発合金(強ひずみ付与品)の引張試験後破面観察(反射電子像)

謝　辞

本研究は(公財)富山県新世紀産業機構の 2019 年度産学官連携推進事業(新ものづくり戦略推進枠)において実施した。

*1 現　機械電子研究所

セルロースナノファイバー(CNF)を配合した新規生分解性複合材料の開発

ものづくり基盤技術課　川野優希　水野　渡　髙松周一　岡野優　藤牧寛城[*1]
中越パルプ工業株式会社　永田健二　坪井国雄　橋場洋美　明野美也子

1. 緒言

天然由来成分であるセルロースナノファイバー(CNF)は、地球上での保有量が 1 兆トンと最も多い再生可能な資源である。また、近年マイクロプラスチック問題が世界的に大きな問題となっており生分解性プラスチックの開発への取り組みが進められている。

本研究では、マイクロプラスチック問題を解決できる可能性を持つ生分解性樹脂であるポリ乳酸(PLA)と CNF を複合化することで、生分解性樹脂の欠点を補い一般的な使用に耐え得る新規生分解性複合樹脂(CNF/PLA)を開発することを目的とした。ここで、CNF は含水材料であるため、含水状態の CNF と PLA を押出混練すると CNF の水分が蒸発し混練物の発泡等混練加工が困難になることがあるため、本研究では水分を取り除いた粉体状の CNF を用いた。

2. 実験方法

高混練二軸押出機を用いて、生分解性プラスチックのポリ乳酸(ユニチカ株式会社製、TE-2000)と粉体状セルロースナノファイバー(中越パルプ工業株式会社製、nano-forest-PDP)の複合材料の作製を行った。CNF 含有量は重量比で複合材料に対して 5 %および 10 %の 2 種類とした。

熱分析により、PLA に粉体 CNF を 10%添加した複合材料(CNF(10 %)/PLA)の結晶化が完了するまでの時間を評価した。引張試験は JIS K7162 に準じて、曲げ試験は JIS K7171 に準じて小型強度試験機を用いて行った。生分解性試験は腐葉土中にダンベル試験片を入れ 7、14、21、28、45 日後に試験前の試料に対する重量保持率および強度保持率を求め評価した。

3. 実験結果および考察

CNF と PLA を溶融混練した結果、材料には発泡等の現象は見られず、CNF は PLA との複合化に適していると考えられる。

熱分析結果より、CNF(10 %)/PLA の結晶化が完了するまでの時間はメーカーの報告値 [1]に比べ短くなることが確認された。このことから、CNF を添加することで加工性が向上する可能性が示唆された。

強度試験の結果、CNF(10 %)/PLA において PLA のみと比較して引張弾性率で 10 %程度、曲げ弾性率で 15 %程度の向上が見られた。

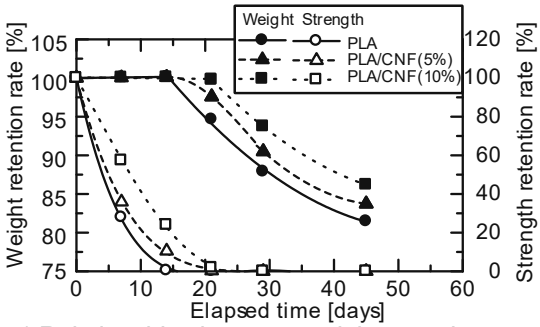


Fig. 1 Relationships between weight retention rate or strength retention rate and elapsed time

Fig. 1 に生分解性試験による重量保持率および強度保持率の変化を示す。PLA のみは生分解性試験 14 日目までは重量保持率に変化は見られず、その後減少がみられた。強度保持率は 14 日目までに大きく低下しそれ以降では 0 %となった。CNF(5 %)/PLA では 14 日目までに CNF(10 %)/PLA では 21 日目までに重量保持率に変化は見られず、その後減少がみられた。強度保持率はいずれにおいても 21 日目までに減少しそれ以降では 0 %となった。PLA の分解には加水分解と生分解があり、加水分解ののち生分解が進む。そのため重量保持率の変化していない期間では加水分解が進み、強度保持率が 0 %になった以降では生分解が進んでいると考えられる。また、CNF を添加することで PLA のみと比べ生分解の開始時期がずれた理由としては CNF が水分を吸収することで加水分解の進行が遅くなったためであると考えられる。

4. 結言

熱分析結果より、CNF を添加した PLA の結晶化が完了するまでの時間が短くなることを確認した。強度試験の結果、CNF を添加した PLA は引張弾性率および曲げ弾性率において強度向上がみられた。腐葉土による生分解性試験の結果、CNF 未添加の PLA では試験 14 日目以降において、CNF を添加した複合材料は試験 21 日目以降に生分解することを確認した。

参考文献

1)岡本昌司:日本不織布協会, 生活資材部会分科会要旨 (2018)

*1 現　生活工学研究所

アルミダイカスト用金型補修のための精密レーザ肉盛技術の開発による金型の耐溶損性向上及び長寿命化

製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃[*1]　機能素材加工課　山岸英樹
株式会社キャステム　大上仁士

1. 緒言

アルミダイカスト品の高強度化や高サイクル生産化への対応に伴い、高温・高圧のアルミ溶湯が型内に射出されるためにダイカストの金型摩耗や溶損発生が課題となる。金型が破損し補修が必要となってしまった場合には、大きな費用、リードタイムが掛かりダイカスト金型の効率的運用に大きな負の影響を及ぼしてしまう。本研究では、金型肉盛補修部の耐溶損性向上及び長寿命化を目指し、耐アルミ浸食性に優れたタングステン（以下 W）合金の選定とそのレーザ溶接肉盛技術の開発・検討を実施した。

2. 実験方法

予備試験として、W99.9%含有の合金溶接棒でレーザ肉盛溶接を実施したが溶接棒中の金属溶融が発生しなかった。W が非常に高い融点を持つためと考えられる。そこで W 合金の組成の見直しを行い、溶接ビードに剥離や割れが無い良好な溶接性を示す合金組成の溶接棒を選定した。以降の溶接実験ではこの組成の溶接棒を中心に検討を進めた。レーザ肉盛溶接後の断面観察とビッカース硬さ試験により溶接部評価を行った。また、耐溶損性確認のために SKD61 の円柱先端に W 合金の他、比較用の材料（マルエージング鋼、SKD61）をそれぞれ溶接したサンプルを作成し、700°C の Al 溶湯（ADC12）中にサンプルを沈めて 2000rpm の回転数で 60 分間回転させる溶損試験を実施した。

3. 実験結果と考察

図 1 に溶接部断面全体と A,B,C,D,E 部を拡大した光学顕微鏡写真を示す。溶接部全体では、溶接内部にブローホールが数箇所確認されたが、母材である SKD61 との境界に割れ等の欠陥は無かった。また A～E の様な 5 種の特徴的な領域が観察された。A 部では単一相の表面部分に粒状組織の分散が、B 部では粒状・白色・縞状組織が確認できた。一方、C 部では縞状組織のみが観察された。D および E 部では母材である SKD61 のマルテンサイト組織を観察された。溶接部の硬度（Hv0.1）は、溶接表面上部から深さ 0.2mm までの間で硬さ 500Hv 以上を示し、W 含有の溶接材による硬化が確認できた。一方で深さ 0.3mm 以降は硬さ 600Hv 前後を示し、母材である SKD61 の硬さを示しているものと推定した。

図 2 に溶損試験後の各サンプル写真を示す。マルエージング鋼溶接部は試験後にはその殆どが浸食により脱落してしまっている。一方 SKD61 では表面に欠けや脱落が生じている。しかし W 合金においては表面に殆ど浸食が確認されず、高い耐溶損性を有していることが示唆される。今後、実際のダイカスト型に適用し、ショット数による溶損の状況を確認していくこととした。

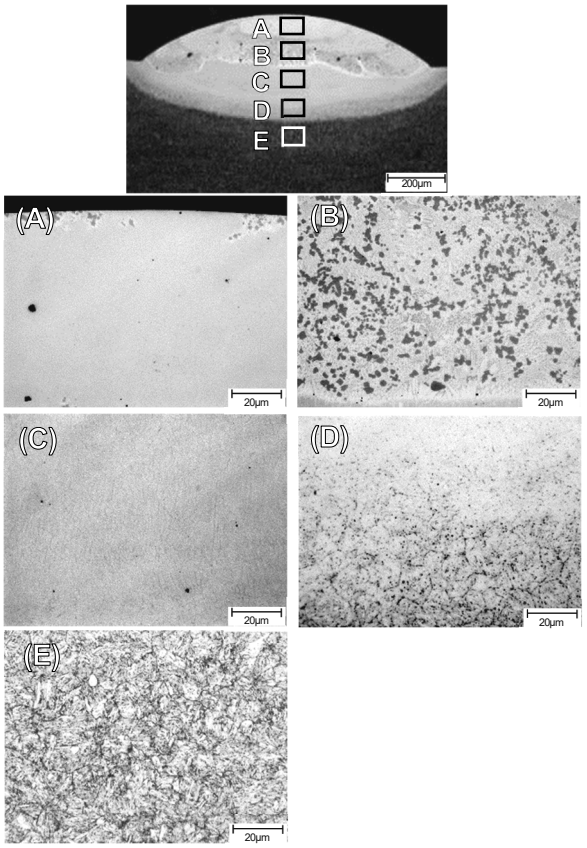


図 1　肉盛溶接部断面

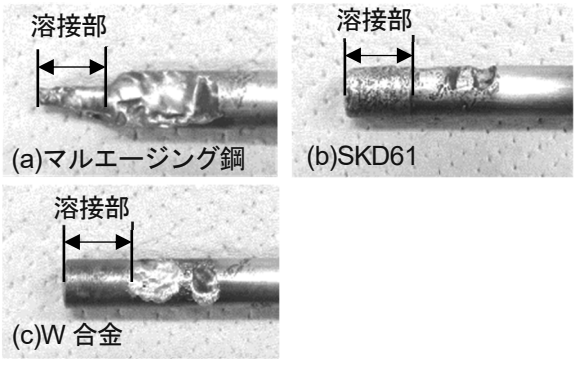


図 2　溶損試験後サンプル写真

*1 現　機械電子研究所

アルミ配管の無火気ロウ付け施工技術の確立

製品・機能評価課　関口啓介、清水孝晃[*1]　デジタルものづくり課　氷見清和
株式会社リケン CKJV　大橋一善、高橋宏幸

1. 緒言

近年、配管継手施工においてロウ付けの職人不足や火気厳禁作業環境への適用などの理由からメカニカル式継手が使用されるケースが増加している。しかしその一方で、管内流体の微量な漏れも許容されないことも多く、その場合は従来の火を用いた職人によるロウ付け作業が行われている。また、アルミ配管は銅配管に比べて軽量、安価であるとの理由からロウ付け継手配管材としての需要が高まっている。こうした状況を踏まえて、本研究ではアルミ配管の無火気ロウ付け施工技術について基礎的な実験および検討を行った。

本報告では無火気ロウ付け施工後のロウ付け部の品質評価結果についてのみ記述する。

2. 実験結果および考察

図 1 にマイクロフォーカス X 線 CT 装置により造影したロウ付け加熱後アルミパイプのロウ付け部断面を示す。今回の実験では溶融したロウが留まっていない箇所も確認され、全周に渡って均一にロウ付けするには至らなかった。溶けたロウを均一に行き渡らせるための工夫が今後必要と考えられる。

図 2 にロウ付け部のパイプ軸方向断面を示す。A,B,C 拡大図のロウ付け部分の金属組織を観察した結果、アルミ母材界面に有害な金属間化合物等は形成されておらず、良好な金属組織を得ることが出来た。また、表 1 には図 2 の B 部で示した各箇所におけるビッカース硬さ（単位：Hv0.1）の値を示す。加熱の際に継手および管側の Al 母材が焼きなまされ平均で 52.2、54.1Hv であり、軟化傾向であることが確認できるが、ロウ材側の硬さは平均で 75Hv を保っており良好な組織が得られていることが確認できた。

最後にロウ付け部の強度確認のために引張試験を実施した。表 2 にロウ付け継手と比較対象としてブランクのパイプの引張強度試験結果を示す。今回、ロウ材が全周に行き渡らなかったため、ロウ付け部を幅 9.6mm の短冊状にカットしたものを試験サンプルとした。ブランクのパイプも同じ幅で作成した。図 3 に示すようにロウ付け継手は母材で破断し最大荷重は 0.97kN となり、ブランクのパイプ材の 0.94kN 以上であったことから、ロウ付け部はパイプ母材以上の接合強度を有することが確認された。

図 1　ロウ付け部断面（CT 像）

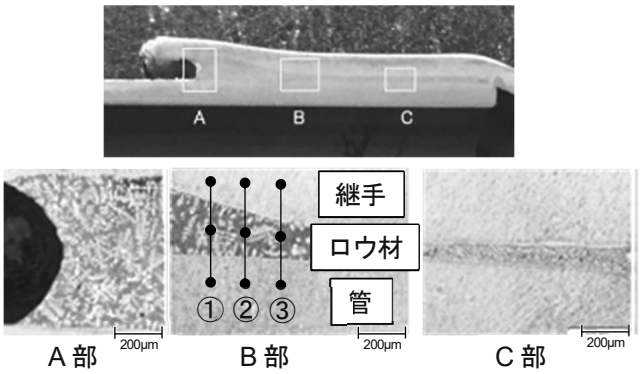


図 2　パイプ軸方向断面

表 1　ロウ付け部（図 2, B 部）ビッカース硬さ測定結果

単位：Hv0.1

	①	②	③	平均
継手	51.5	51.8	53.4	52.2
ロウ材	80.4	75.3	69.4	75.0
管	54.3	54.4	53.7	54.1

表 2　引張試験結果

	最大荷重（kN）	備考
ロウ付け継手	0.97	母材部で破断
ブランクパイプ	0.94	—

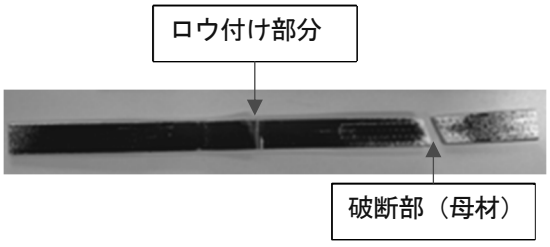


図 3　引張試験後のロウ付け継手

*1 現　機械電子研究所

マイクロ流体デバイスによる循環がん細胞除去法の開発

生活資材開発課　高田耕児
富山県立大学　安田佳織　　群馬大学　横堀武彦

1. 緒言

循環がん細胞（CTC）は、がん患者の血液中を流れるがん細胞であり、がんの転移の原因の一つと考えられている。そのため、血液から CTC を分離することができれば、血行性の転移を抑える革新的ながん治療に繋がる可能性がある。これまでの研究で、Deterministic Lateral Displacement 法 [1]を利用したマイクロ流路チップを開発し、血液から培養がん細胞を分離できることを示してきた。本研究では、このマイクロ流路チップを利用して、血液から連続的に CTC を分離することのできるデバイスを検討している。

2. 実験

チップは通常タイプ [2]と大流量タイプ [3]があり、通常タイプは主にサイズ分離性能の評価に、大流量タイプは主にハイスループット分離に用いられる。両方のタイプについてこれまでの課題を克服するための新たなデバイスの開発を行った。

大流量タイプは流路を 10 本並列化したチップであり、標的細胞を濃縮することができる。この大流量タイプを利用したデバイスとして、まず、大流量チップで濃縮された標的細胞を再びインプットに戻して、標的細胞がチップを何度も通るようにループさせて、標的細胞を除いた液（この場合血液）を排出する構造のデバイスについて検討した。しかし、このデバイスに血液を一定時間流した後、バッファを流したところ、血液の一部がループした管路の途中に滞留して取り除けなくなることがわかった。このことは、例えば CTC が管路に滞留して回収できなくなる可能性を示している。この問題を踏まえて、血液の滞留が起きにくい別のデバイスを新たに開発した。これにより、今後大量サンプル処理の検討ができるようになった。

通常タイプは流路が 1 本で血液中の標的細胞をバッファへと取り出すことができる。通常タイプによりサイズ分離性能の評価を効率的に行うために、簡便なデバイスの開発を行った。Fig. 1 は開発した簡便なデバイスである。5mL シリンジを手動で操作することで発生した圧力を分岐管でサンプル側の液だめとバッファ側の液だめの両方に分配し、同じ圧でサンプルとバッファをチップに流す構造となっている。これにより簡便でありながら適切にサイズ分離ができるようになり、今後効率的に分離性能の評価が行えるようになった。

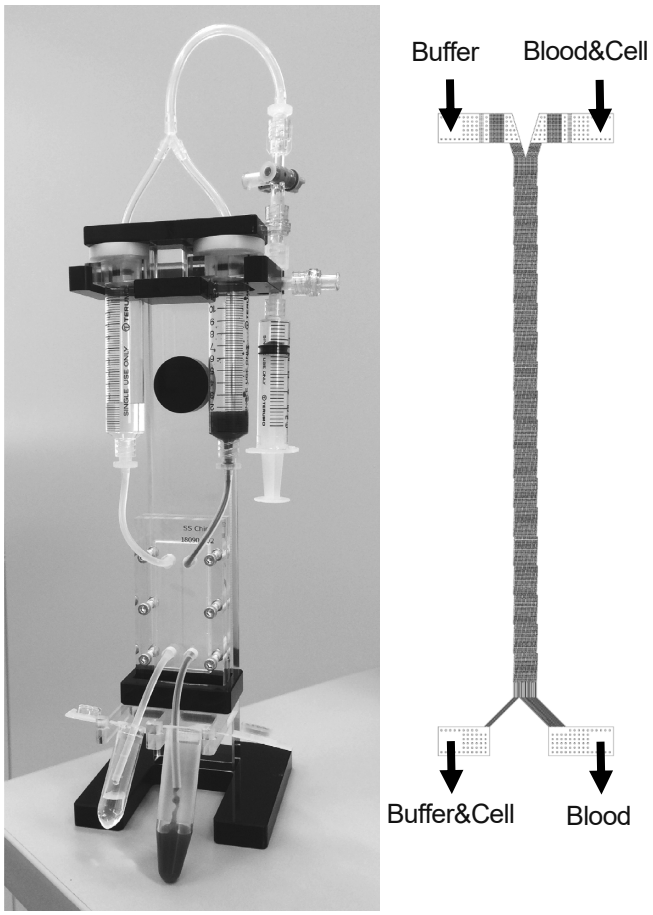


Fig. 1 簡便な分離デバイス（通常タイプ）

3. 結言

通常タイプと大流量タイプの両方のチップについて、新たなデバイスの開発を行った。これにより、今後、細胞分離実験をより効率的に進めることが可能となった。

参考文献

1)Huang *et al*.　Science **304** (2004) 987-990
2)富山県工業技術センター研究報告 **31** (2017) 112
3)富山県工業技術センター研究報告 **31** (2017) 90

謝辞

本研究は JSPS 科研費　JP17K01432 の助成を受けたものです。

希少細胞の高感度捕捉･選択的脱離回収フィルターの開発

生活資材開発課　寺田堂彦

1. 緒言

血中循環腫瘍細胞（CTC）とは、腫瘍組織から遊離して血中へ浸潤した腫瘍由来の細胞であり、有用なバイオマーカーとして注目されている。CTC を捕捉回収するには、細胞表面分子を抗原とする抗体を利用した方法が主流であるが、CTC の不均一性により、癌種によっては検出率が 20%を下回ることもある。一方で、不均一な CTC の中には、幹細胞性を持った血中循環腫瘍幹細胞（CTSC）がわずかに含まれており、この CTSC は癌の転移・再発に深くかかわっているため、選択的に採取して、解析に供することが可能となれば、癌の転移・再発を抑制するための薬剤スクリーニング、治療法の選定、あるいは、新薬開発等のために非常に有用なツールとなる。本研究では、性状不均一な CTC を高確率で捕捉するためのフィルターの開発を中間目標とし、捕捉した CTC の中から、簡便な操作によって、ある特定の CTC、すなわち CTSC の候補細胞のみを選択的に回収する技術の開発を最終的な目的とする。本年度には、ナノファイバーを構成素材とするフィルター基材の開発に取り組んだ。

2. 実験方法

2.1 使用材料

ポリエーテルスルホン（PES、Ultrason E6020P、BASF ジャパン株式会社）を用いた。

2.2 試験および測定方法

先行論文を参考にエレクトロスピニング法の条件を検討し、PES ファイバーの紡糸実験を行った[1-3]。得られた PES ファイバーに対して、電解放出形走査電子顕微鏡（JSM-7001FTTLS、日本電子株式会社）により観察を行った。さらに、日本薬局方に規定される乾熱滅菌処理（170℃、2h）を施し、処理による形態変化の有無を、レーザー顕微鏡（OLS4000、オリンパス株式会社）により観察した。

3. 実験結果および考察

紡糸実験により得られた PES ファイバーの一例を図 1 に示す。図のように、ビーズや粒子等の欠陥を含まない、比較的均一な PES ファイバーが得られていることがわかる（平均径 136 nm、標準偏差=24 nm、n=29）。

乾熱処理前後の PES ファイバーのレーザー顕微鏡像を図 2 に示す。図のように、170℃ での熱処理によっても、

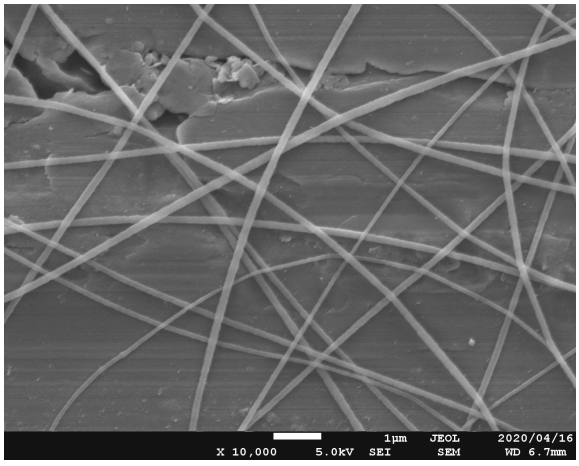


Fig. 1 FE-SEM image of electro-spun PES fibers

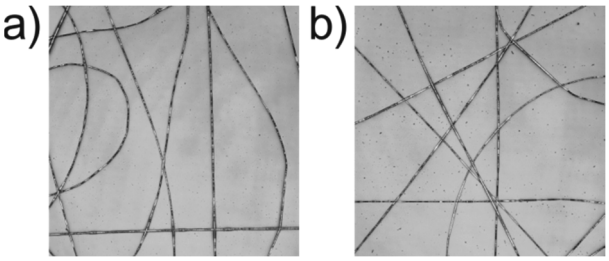


Fig. 2 Laser micrographs of electro-spun PES fibers; a) as-spun, b) annealed fibers at 170℃ for 2h

破断等の変化は認められず、その形態を維持することが確認された。PES は、ポリテトラフルオロエチレン、ポリエーテルエーテルケトンに次ぎ、高い耐熱性を有する樹脂として知られており、その耐熱性は直径 100 nm 強のファイバー形態であっても維持されることが示された。

4. 結言

血液適合性材料として既に臨床での使用実績を有する PES を用いて、エレクトロスピニング法により比較的均質なファイバーを作製した。PES ファイバーは乾熱滅菌と同条件の熱処理を施しても破断することなく、その形態を維持することを確認した。

参考文献

1)K.Nakata et al.: *SEN'I GAKKAISHI*, **67** (2007) 307-312.
2)K.Yoon et al.: *Polymer*, **50** (2009) 2893-2899.
3)Z.Tang et al.: *J. Polym. Sci. B* **47** (2009) 2288-2300.

謝辞　本研究は JSPS 科研費　JP19K12858 の助成を受けたものです。

精子運動性の制御に基づく運動精子選別システムの開発

生活資材開発課　高田耕児　　岡山理科大学　松浦宏治

生殖補助医療は、体外受精、顕微授精をはじめとして近年著しく進歩している不妊治療法であり、生殖補助医療出生児数も大きく増加している。そのため、この分野で有用なデバイスを開発することは極めて社会的意義が大きい。例えばマイクロ流路デバイスを用いて精子の回収数を増加させることができれば、顕微授精だけでなく人工授精に必要な量の精子を簡便に回収できるようになり、生殖補助医療を含む不妊治療法に大きな貢献ができる。本研究では、産技研のマイクロ流路チップ技術を利用して、精子を回収するための研究を行っている。

昨年度は、産技研で開発した閾値 8μm 程度のマイクロ流路チップを利用して、岡山理科大学で精子と細胞とを分離する実験を行い、不動精子と培養細胞（10～20μm）を分離することができたが、不動精子と運動精子の分離はできなかった。これは、不動精子と運動精子を分離するには、閾値が大きすぎるためである。不動精子と運動精子を分離するには、精子のサイズより小さい閾値で精子をソート（進む向きを変える）する必要があり、そのソートと運動性を組み合わせたチップの開発が必要である。精子は頭部が 3μm から 5μm で、尾部を含めた長さは 60μm という細長い粒子であり、これをソートするために閾値が 4μm 程度のマイクロ流路チップ（Fig. 1）を新たに設計し、フォトマスクを作製した。これにより来年度以降、精子の分離実験、さらに精子のソートと運動性を組み合わせたチップの開発を開始できるようになった。

Fig. 1 流路の構造

参考文献

1)Huang *et al*.　Science **304** (2004) 987-990

2)富山県工業技術センター研究報告 **31** (2017) 112

謝辞

本研究は JSPS 科研費　JP18K12069 の助成を受けたものです。

安全な光治療・光細胞機能操作を可能にするナノ－バイオ界面の創製

生活資材開発課　高田耕児　　富山県立大学　村上達也

近年、ナノテクノロジーの進歩に伴い、様々な光応答を示すナノ材料が生み出されており、例えば高い時間、空間分解能で患部を攻撃する革新的な光治療への応用が期待されている。しかし、光応答性ナノ材料は凝集しやすい、細胞に悪影響を与える等の問題を抱えている。富山県立大学では、血清蛋白質－脂質複合体を光応答性ナノ材料の表面修飾物質として利用し、凝集や細胞への悪影響という問題を解決するための研究を行っている。産技研では、血清タンパク質－脂質複合体で修飾された光応答性ナノ材料を効率的に作製するためのマイクロ流路デバイスの開発を行った。

Fig. 1 流路の構造

従来 3 つの入口から入った試料が合流して急速混合したものを 1 つの出口から回収する構造 [1]であったが、新たに入口が 3 つ、出口が 3 つのフタを射出成形で作製し、その穴位置に合わせて Fig. 1 に示す出口部分が 3 つに分かれるチップを設計した。急速混合によって生成したナノ粒子を含む液は、幅が狭まって中央に集まることがわかっているため、出口を 3 つに分けて中央のみを分取することで、生成物と未反応の材料を分けることができ、より高品質なナノ材料を作製することができると期待される。また、ナノ材料のうち実際に使用する金ナノロッド、金ナノ粒子の透過型電子顕微鏡観察を行った。これにより今後ナノ材料のサイズ・形状と性質の関係についての研究を進めることができる。

参考文献

1) Kim *et al*. ACS Nano **7** (2013) 9975-9983

謝辞

本研究は JSPS 科研費　JP17H03047 の助成を受けたものです。

血中に存在するリポタンパク質の異所利用 加齢黄斑変性の点眼治療法開発に向けて

生活資材開発課　高田耕児　　富山県立大学　村上達也

加齢黄斑変性は失明に至る眼難治疾患であり、侵襲性の低い点眼薬の開発が望まれている。また、超高齢化社会において、加齢に伴う疾患は急増すると予想されており、使いやすいドラッグキャリアの開発は極めて重要である。富山県立大学ではドラッグキャリアとして高比重リポ蛋白質（HDL）ナノ粒子が有用であることを示しているが、従来の作製法では少量しか作製できない。

本研究では、マイクロ流路デバイスで材料を急速混合する[1]ことでHDLナノ粒子を作製する方法を開発している。従来の作製法と比べてハイスループットであることがマイクロ流路デバイスの利点なのであるが、流速が速いために、実験に用いるタンパク質や脂質の消費量が速く、条件検討段階の実験には適していない。そのため、Fig. 1 に示すスケールを小さくした急速混合チップを設計し、フォトマスクを作製した。このチップは急速混合部の流路の幅、長さが従来のものの半分のサイズになっている。昨年度はマイクロ流路デバイスを位相差顕微鏡で観察することにより、急速混合が適切に起こっているかをモニタリングする方法を開発し、今年度は条件検討のためのスケールを小さくした急速混合チップを開発した。これらを組み合わせることにより来年度以降ナノ粒子作製実験を効率的に進めることができるようになった。

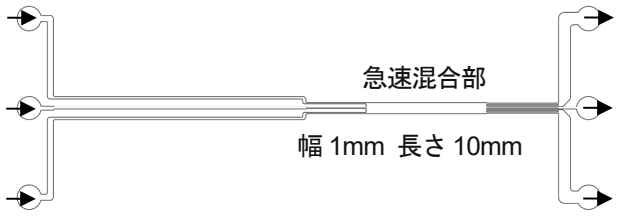


Fig. 1 条件検討用チップの構造

参考文献

1) Kim *et al*. ACS Nano **7** (2013) 9975-9983

謝辞

本研究は JSPS 科研費　JP18K18460 の助成を受けたものです。

血中循環癌細胞のシングルセル解析による 口腔癌次世代統合精密治療法の開発

生活資材開発課　高田耕児　　鹿児島大学　杉浦剛

がん患者の血液中を流れる循環癌細胞（CTC）は転移の原因の一つとされており、また、がんによる死亡の 9 割は転移が原因といわれる。そのため、CTC を簡便に分離・解析することができれば、転移を抑えることのできる革新的な癌治療につながる可能性がある。本研究では、原発癌と CTC の遺伝子変異を比較することにより CTC の機能と生物学的意義を明らかにして、それを基に、CTC の分離・解析による次世代精密治療法を開発することを目的とする。これまで産技研では、Deterministic Lateral Displacement（DLD）法[1]を利用したマイクロ流路チップを開発し、血液から培養がん細胞を分離できることを示してきており、本研究の中で、そのチップの改良等を行った。

今年度は、白血球の混入を減らすための検討を行った。昨年度白血球の混入を減らすために標的細胞を回収する分画と血液を回収する分画の境界の位置を変更し、標的細胞回収分画に白血球が混入しにくくしたチップを開発したが、それでも比較的サイズが大きい白血球は混入する。そのため、これまでより閾値を 10%大きくしたチップを新たに設計し、フォトマスクを作製した。これによって来年度以降、白血球の混入に関して、より詳しい検討を行うことができるようになった。また、鹿児島大学で実験を行いやすいようにチップをチップホルダ、チューブ、コネクタ等と組み合わせて提供しているが、組立ての時間を短縮することのできる新しいチップホルダを開発した。

参考文献

1)Huang *et al*.　Science **304** (2004) 987-990

2)富山県工業技術センター研究報告 **30** (2016) 89

謝辞

本研究は JSPS 科研費　JP18H03006 の助成を受けたものです。

情報端末を用いた健康管理機器に関する研究

生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊

1. 背景

高齢社会の到来により、在宅での医療、介護の機会が増加するとともに、健康管理意識も高まっている。これまでスマートフォンを中継装置として、手動入力または通信機能付の健康管理機器（血圧計等）からデータを取得し、データベースに蓄積するシステムの開発を行ってきた(1)。しかしながら、通信機能を有する機器は高価で、高齢者には操作が難しい等の問題がある。

そこで、通信機能を持たない従来機器での測定値を、画像認識により取得するシステムを開発する。将来的には、健康管理機器の測定値表示を撮影し、その画像から対象機器の認識、測定データを取得し、登録するシステムの開発を目標とするが、本研究では、血圧計の表示画像から数値データ領域の抽出と認識手法の開発について検討した。

2. 実験方法

BLE 規格に準拠した通信機能を持つ健康管理機器を用いたモニタリングシステムの概要を、図 1 に示す。スマートフォンを中継装置として、センサゲートウェイを経由し、健康データをネットワーク上に登録する。データ交換サーバは、センサゲートウェイと MQTT プロトコルで通信し、受信メッセージから SQL コマンドを生成し、データ蓄積サーバの操作を行う。スマートフォンにデータ取得した例を、図 2 に示す。

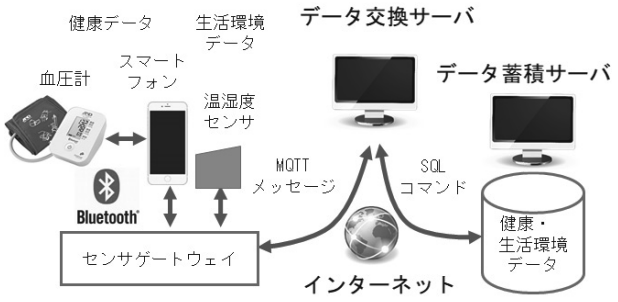


図１　生活モニタリングシステム

図２　健康管理機器からのデータ取得

また、通信機能を持たない健康管理機器のデータでもデータベースに蓄積可能とするため、カメラ画像を用いた安価な健康情報管理システムを構築する。処理の手順として、

i　健康管理機器（血圧計等）を使用
ii　iの表示画面をスマートフォン等で撮影
iii　iiの撮影データを画像認識サーバに送信
iv　画像処理プログラミングにより、サーバで対象機器、数値データを認識

となるが、本研究ではivで取得した画像から数値データ領域を抽出するための画像処理プログラムを検討した。プログラミング言語には Python を用いた。

3. 結果及び考察

Python を用いて画像処理プログラムを作成し、血圧計の表示画面から数値データ領域の抽出が可能となった（図 3）。スケール変換、2 値化、白黒反転、輪郭検出、雛形の数値データ領域画像との類似度の算出等の工程を踏むことで、データ領域をより精度よく抽出することができた。

```
def main():

    # loading astronaut image
    #img = data.astronaut()
    #img = data.imread('ua651ble.jpg')
    img = data.imread('bp.jpg')

    #io.imshow(img)
    #io.show()

    # perform selective search
    img_lbl, regions = selectivesearch.selective_search(
        img, scale=400, sigma=0.85, min_size=100)

    candidates = set()
    for r in regions:
        # excluding same rectangle (with different segments)
        if r['rect'] in candidates:
            continue
        # excluding regions smaller than 2000 pixels
        if r['size'] < 2000:
            continue
        # distorted rects
        x, y, w, h = r['rect']
        if w / h > 1.2 or h / w > 1.2:
            continue
        candidates.add(r['rect'])

    # draw rectangles on the original image
    fig, ax = plt.subplots(ncols=1, nrows=1, figsize=(6, 6))
    ax.imshow(img)
```

作成したプログラム（一部）

図３　数値データ領域の抽出結果例

4. まとめ

本研究では、Python を用いた画像認識プログラムを作成し、血圧計の表示画面から、数値領域の抽出が可能となった。今後は、対象機器の認識や数値データの意味づけ（最高、最低等）を行うプログラムの作成、RFID による複数利用者識別システムの開発、登録データの可視化ツールの開発に取り組む予定である。

謝　辞

本研究は、公益財団法人タナカ財団からの研究活動助成金を受けて行った。ここに謝意を示す。

身体バランス測定用ウェアのための ウェアラブルセンシング技術の開発

生活科学課　上野　実[*1]　浦上　晃

1. 緒言

身体のバランス能力や、体幹などと呼ばれる姿勢や関節を保持する筋肉は、一般に加齢や運動不足などにより衰えてゆき、日常生活における転倒リスクの重大な危険因子とされている。これらは、適切なトレーニングや日常の運動、生活習慣により、高齢者でも大きな負荷をかけず比較的安全に維持・向上させることができる。スポーツクラブやフィットネスクラブ、介護予防施設などでは、施設向けの高価な機器を導入して、これらの衰えを測定できるところもあるが、個人が自宅などで手軽に測定できる安価な機器は一般的ではない。一方、閉眼片足立ちによる保持時間からバランス能力を評価することは可能であるが、高齢者などでは、測定時に転倒の可能性があり、安全面から補助者の立ち合いが必要となることから、個人が手軽に実施するには問題がある。

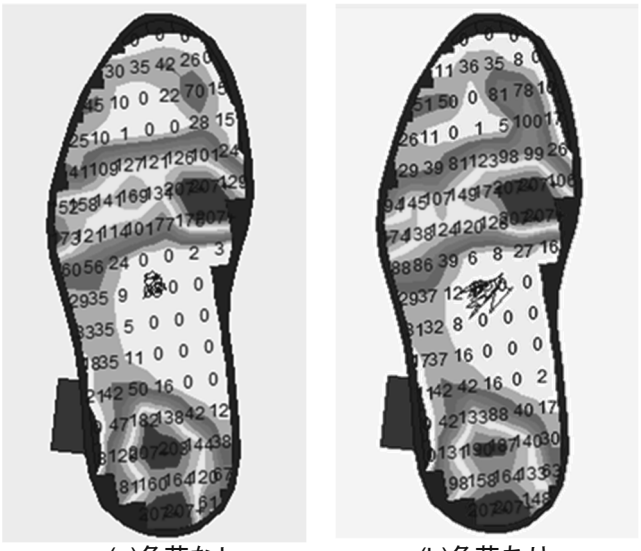
このため、自身のバランス能力の衰えや体幹トレーニングの効果を手軽に測定するための身体バランス測定用ウェア（センシングウェア）やウェアラブルデバイスへの応用のため、その測定技術の開発について検討を行った。その手法として、安全面と簡便性から開眼片足立ちにおける単位時間あたりの身体の動揺を、足裏接地面の重心の移動とその際の身体各部の挙動について、圧力分布及び重心移動が測定可能な足裏用インソールセンサおよび身体各所に取り付けた加速度センサにより測定を行った。この際、通常の開眼片足立ち時（無負荷の安定立位時）の状態と、片足立ち時に不安定負荷をかけた有負荷の状態において、身体動揺の挙動の特性を比較した。

2. 実験方法

平衡性などバランス感覚の測定や確認に用いられている開眼片足立ちテストは、時計以外の道具を使わずに家庭でも比較的容易に測定が可能である。バランス感覚のほか、関節などの柔軟性や、身体を支える筋力の有無に関係し、立位時間を長く保持できる人ほど歩行中の転倒のリスクが低いと言われている。またこのテストでは、高齢者など筋力や平衡感覚が衰えている場合、測定中に急激にバランスを崩し転倒などによりケガをする恐れがあるため広く安全な場所で行う必要があり、且つ安全確保や時間計測のため補助者が必要である。また、バランス能力に優れている場合、最大 180 秒まで測定する必要があるため計測に時間が掛かる一方、高齢者などでは数秒でバランスを崩してしまい、有意差が出にくいなどといった問題がある。

このため、比較的安全に測定可能な開眼片足立ちにおいて、立位時の 10 秒程度の短時間においてどの程度重心や身体が動揺するかを測定することとした。

まず、足裏接地面での重心移動について測定を行った。通常の閉眼・開眼片足立ちでは裸足の状態で測定を行うが、バランス状態を不安定にするためシューズを履いた状態とし、体圧分布装置のインソールセンサ（BodiTrak Inshoe 27cm タカノ(株)社製）をシューズ内に挿入して行った。測定した足裏接地面の圧力分布及び重心の軌跡の例を図 1(a)に示す。圧力分布は、シューズのインソールの形状やクッションのため指の形状までは判別できないが、指の付け根、および踵部で接地していることが分かる。重心位置の軌跡は、土踏まず部に前後±7.5mm 左右±6mm 程度の範囲で安定していた。開眼片足立ちにおいては、閉眼片足立ち時と異なり、左右方向の身体動揺が小さくなるため、身体バランスに対し負荷をかける目的で、容器内に入った水の不規則な移動と反動により、身体の予想外の不安定な負荷を与える円柱状ウォーターバッグを用いた。ウォーターバッグの重量は 4kg（うち水 3kg）とし、前方水平方向に肩幅で伸ばした両手で順手にて吊り下げる形で、ウォーターバッグの水平を維持するように保持した。この時の、不安定負荷をあたえた状態の重心軌跡を図 1(b)に示す。ウォーターバッグの負荷方



(a)負荷なし　　(b)負荷あり

図 1　重心軌跡

*1 現　ものづくり研究開発センター

向となる左右の重心の移動が±15mm と大きくなっているほか、前後方向についても腕を水平に伸ばした状態で負荷を保持することから、±13mm 程度と大きくなっている。

身体への負荷あり、負荷なしの状態で加速度センサを、身体表面に取り付け、その時の挙動を測定した。測定は、頭部（額）、背中(肩甲骨中央)、腰部、膝(前膝部)を選定し、加速度センサ（DSP ワイヤレス 8 軸※モーションセンサ SS-MS-SMA5G3A200YZ　(株)スポーツセンシング社製）を取り付け、サンプリング速度 100Hz にて測定し、得られた加速度を積分し各部の動揺（変位）を算出した。ここで、加速度センサの信号には、ノイズや低周波成分の載っているため、ハイパスフィルタによりカットオフ周波数 1.1Hz にて処理し、8 秒間の経時変化を出力した。この時の腰部・背中の水平平面上の挙動（前後左右）を図 2(a)(b)に示す。腰部は、足裏接地面の重心移動と同じように揺動が小さいが、上体（背中）は、無負荷においても左右方向のバランスをとるため揺らいでいるのがわかる。また、ウォーターバッグにより負荷をかけた場合、腰部・背中とも低周波の振幅の大きな挙動が増え、腰部は全体的に動揺が大きく、上体（背中）は左右の変位量は大きく変わらず、前後方向の揺れ幅が大きくなっていた。これは、上腕を水平に伸ばした状態でウォーターバッグを保持したため、前後方向にも負荷がかかり、そのバランスをとるためによるものと思われる。一方、頭部（額）に取り付けた場合は、視線の動きなどにより頭部・首が動いてしまうことから、バランスによる動揺の抽出は困難であった。また、膝（前膝部）は、常にバランスをとるため動いており、負荷の有無による有意差は判別できなかった。

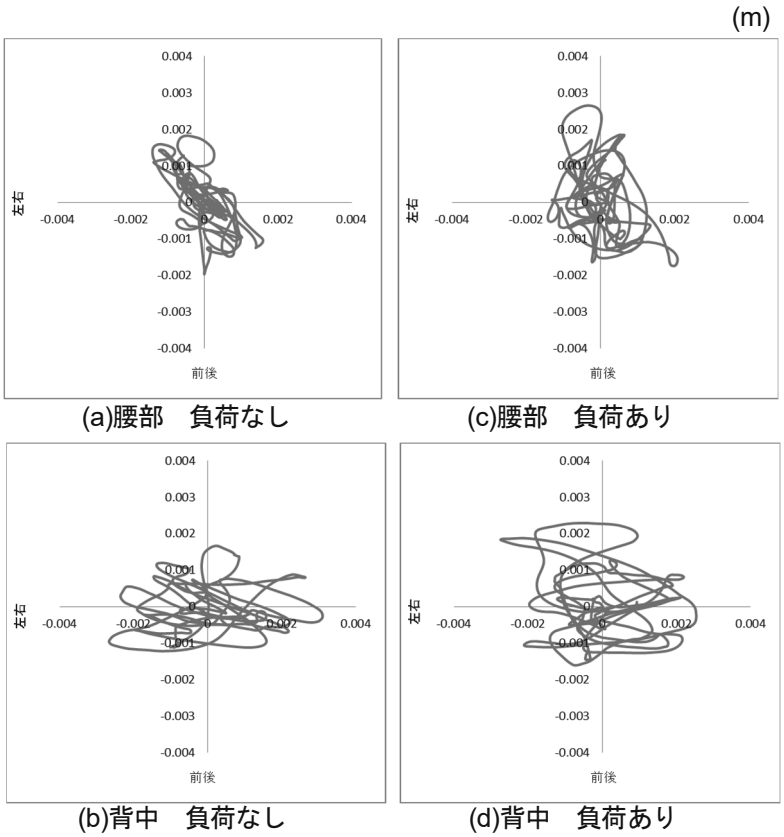


図２　各部の水平挙動

3. 結言

開眼片足立ちにおいて、身体動揺の挙動について比較を行った。その結果、腰部と背中ではその影響が異なり、負荷を与えることにより重心及び身体各部の変位や揺動の周期が変化し、背中は腰部より動揺が大きく身体バランスの能力や筋力の低下を短時間で測定できる可能性があることが分かった。

※加速度・角速度 6 軸＋加速度 2 軸

キーワード：バランス、加速度、動揺、センシング、重心

Development of Wearable Sensing Technology for Body Balance Measurement Wear

Human Engineering Section ; Minoru UENO[*1] and Akira URAKAMI

The body motion when standing on single leg with the eyes open was compared by an insole sensor and an acceleration sensor attached to each part of the body. There was a difference in the effects on the waist and back with and without load. It was found that the back is more motion than the waist region, and it is possible to measure the ability of body balance and weakness of muscles in a short time.

モニタリング用サポータの開発

生活資材開発課　佐伯和光[*1]、金丸亮二[*2]、吉田　巧　　生活科学課　塚本吉俊、浦上　晃

1. 緒言

近年、身近なテキスタイルを次世代デバイス構築のためのプラットフォームとするため、スマートテキスタイルの開発が盛んに行われている。例えば、ウェア型トレーニングデータ計測用デバイスや作業者の安全管理システム用ウェアなどが開発されている。これらのテキスタイルの開発には、伸縮性、柔軟性を有するデバイスが求められている。

サポータ等の装具において、温度、湿度、圧力、姿勢等のモニタリングが必要とされている。これらのモニタリングには、サポータにセンサや電線が必要となる。これらの機器では狭い空隙での配線が必要となり、その際、たるむことなく、ストレート形状で伸縮するセンサや電線が必要とされている。しかしながらサポータの伸縮のため、センサや電線の断線や寿命の低下が大きな問題となる。

そのため、本研究では、サポータに伸縮性、柔軟性を有する導電性樹脂を付加し、モニタリングできるサポータを開発する。今年度は、伸縮性、柔軟性を損なわずに、導電性を付与するとともに、実際にサポータへプリントし、伸縮性を検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料

導電性樹脂を開発するために、樹脂成分にはシリコーン樹脂を、導電性付与にはグラファイトを用いた。シリコーン樹脂には、信越化学工業株式会社製 KE-1603A/B を用いた。この樹脂は高強度負荷タイプの型取り用の樹脂であり、無色透明で、破断時伸びは 450%を有する。グラファイト粉末には、伊藤黒鉛工業株式会社製 EC1500(平均粒径 6μm)、EC500(平均粒径 22μm)、EC300(平均粒径 47μm)を用いた。この粉末は、グラファイトシートを裁断、粉砕した粉末であり、主な用途として、樹脂系複合材、導電性材料に利用されている。

2.2 複合化

所定の割合に計量した試料は株式会社シンキー製自転、公転ミキサーMX201 を用いて混合し、ガラス上で厚さ 100～200μm 程度になるように成形し、常温で硬化させた。

2.3 抵抗率の測定

抵抗率の測定には、株式会社三菱化学アナリテック製ロレスターGP を用いて、JIS K 7194 に基づいて行った。

3. 抵抗率測定結果

図 1 にシリコーン樹脂とグラファイト粉末の抵抗率の関係を示す。これより、カーボン含有量の増加とともに抵抗率が低下しているのが確認できる。

しかしながら、グラファイト含有量が多くなると、粘度が高くなるため、成形性が悪くなること、ならびに硬化後の成形体は伸縮性及び柔軟性が低下することを確認した。グラファイト含有量 40%程度の場合が導電性、伸縮性及び柔軟性のバランスがとれた状態であると思われる。

図 2 にグラファイト粉末の粒径の違いによる抵抗率の変化を示す。図より粒径が小さくなるほど、若干ではあるが、抵抗率が下がる傾向にあることがわかる。

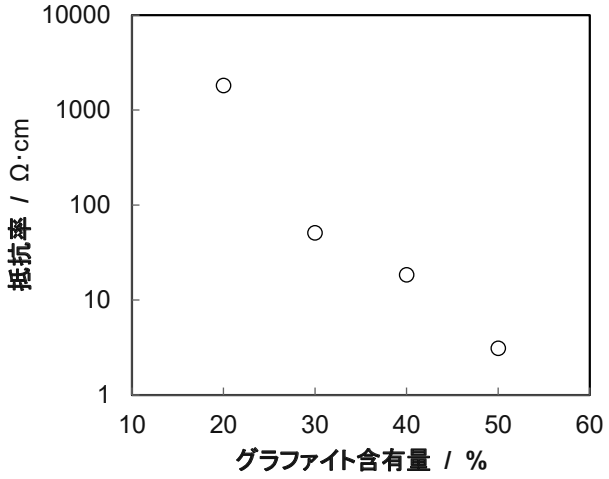


図 1 グラファイト含有量と抵抗率

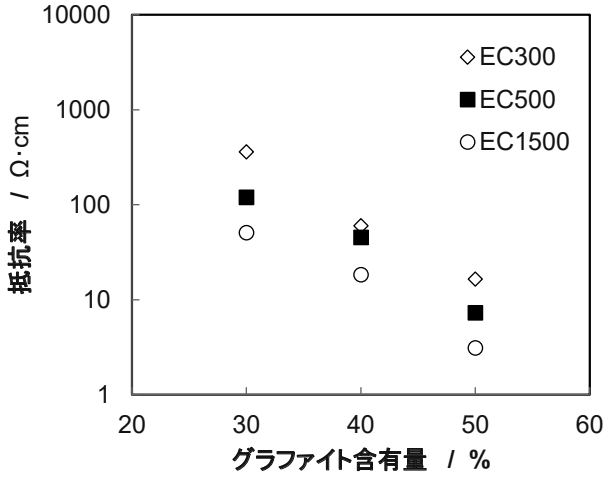


図 2　グラファイトの種類と低効率

*1 現　商工企画課　*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構

図 3 サポータ上へ印刷した導電性樹脂

図 4 伸張したサポータ

4. サポータへの印刷

作製した導電性樹脂（40%グラファイト含有シリコーン樹脂）をサポータへ印刷し、伸張と柔軟性の試験を行った。サポータへの導電性樹脂の印刷にはスクリーン印刷法を用いた。

スクリーン印刷にはサンハヤト株式会社製スクリーン印刷キット SR-250（スクリーンメッシュ#225）を利用した。

サポータへ導電性樹脂をスクリーン印刷した写真を図 3 に示す。作製した導電性樹脂はシリコーン樹脂のみよりも粘度が大きくなったが、サポータへのスクリーン印刷は良好に行うことができた。

また、図 4 に導電性樹樹脂を印刷したサポータを伸張した写真を示す。図より印刷した導電性樹脂は伸張したサポータに十分追従しているのが確認できる。

また、伸張と収縮を繰り返し行った場合でも導電性樹脂は剥離することなく、サポータへ十分に追従し、耐久性があることを確認した。

5. まとめ

今回の実験により以下の知見を得た。

1. シリコーン樹脂とグラファイト粉末を混合した導電性樹脂は、グラファイト粉末含有量 40%程度が伸縮性、柔軟性、導電性及び成形性のバランスが良くなる
2. グラファイト粉末の粒径が小さくなるほど、抵抗率は下がる傾向にある。
3. 作製した導電性樹脂をサポータへスクリーン印刷した際には、良好に印刷可能であり、十分に伸縮し、耐久性がある。

キーワード：ウエアラブル、モニター、スマートテキスタイル、センサ

Development of Monitoring Supporter for Biometic Informations

Life Materials Development Section; Kazumitsu SAEKI, Ryoji KANAMARU, Takumi YOSHIDA
Human Engineering Section; Yoshitoshi TSUKAMOTO, Akira URAKAMI

The purpose of this research is to develop monitoring supporter for biometic information. Conductivity of fiber and textile was studied. We mixed Silicone resin and various graphite powders. We developed conductive resin. Graphite powder contents are 40 % is most suitable for conductivity and forming. Resistivity decreased as graphite powder size became small. Conductive resins are coated by the silkscreen-printing on the supporter. This supporter with conductive resin is well stretchy.

夏用プロテクトスポーツウェアの設計に関する研究

生活科学課　牧村めぐみ[*1]　　生活工学研究所 金丸亮二[*2]

1. 緒言

夏季の暑熱環境下で行われる屋外スポーツの中でも、ラグビー、野球のキャッチャー、サッカーのゴールキーパー等のスポーツウェアには、転倒や衝突から身を守るためのプロテクター（衝撃吸収パッド）が配置されている。これらのウェアは他のスポーツウェアに比べてプロテクターによる体熱放散の抑制が予測される。

近年、夏季には猛暑が続くという異常気象がみられており、「熱中症」を引き起こすことが懸念される。そのため、できるだけ効率よく体熱放散を行えるプロテクトスポーツウェアの設計および開発が望まれる。

昨年度はサッカーのゴールキーパー用ウェアを対象とし、プロテクターによる体熱放散の抑制を抑えるダブルラッセル生地（厚さ 4mm：PE26%、NY72%）を見出した。本研究では、ゴールキーパー用ウェアの熱・水分移動の効果を高めることを主目的として、その素材・形状・保温率を検討した後、被験者実験を行い、温度快適性の指標となる発汗量、皮膚温、衣服内温湿度に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料とサーマルマネキンによる保温性評価

表 1 に示す、素材、えり・袖口形状、身幅、袖口幅、プロテクターサイズの異なるゴールキーパー用ウェア（実験用ウェア）を用いて、28℃、40%RH の生活環境シミュレータ室内で、サーマルマネキン（京都電子工業（株）製）の表面温度 33℃ 一定で消費電力量を測定し、保温性評価を行った。

表 1　試料に用いた実験用ウェアの詳細

試料記号	1	2	3	4	5	6
素材	ポリエステル	ポリエステル	ポリエステル 吸汗	ポリエステル 吸汗	ポリエステル 吸汗速乾	ポリエステル 吸汗速乾
えり形状						
袖口形状						
身幅	51.5cm	51.0cm	53cm	56cm	50cm	50cm
袖口幅	20.5cm	20.0cm	23.5cm	25cm	22.5cm	22.5cm
プロテクターサイズ	17×12cm 楕円	17×12cm 楕円	24×15.5cm 楕円	24×15.5cm 楕円	無し	無し

2.2 着用実験の測定手順

年齢 18～21 歳の健康な男性 5 名を被験者とし、夏季を想定して、28℃、40%RH の生活環境シミュレータ室内で着用実験を行った。被験者は、実験環境に身体を十分慣らすために実験開始の 1 時間前に試験室に入室し安静を保った。その後、ヌードで体重を測定後、半袖肌着、実験用ウェア、ボクサーパンツ、ゴールキーパー用パンツ、クルーソックスに着替えた。シューズは各自のものとした。次にトレッドミルによる運動負荷、10 分間座位安静 → 5 分間の歩行・走行運動（速度 5.5km／h（5 分間）→8.0km／h（5 分間）を 3 回繰り返したのち、5.5km／h（5 分間））→ 10 分間座位安静を行い、この間について生理量の測定を行った。実験終了後、再び体重測定を行った。なお体重は、精度 1 g で測定した。

測定項目は皮膚温 4 点（胸、上腕、大腿、下腿）、衣服内温湿度（胸、腹、背 2 か所、上腕、下腕）である。また、実験前後の体重減少量を発汗量とみなした。

運動終了後に被験者にヒアリングを行い、温熱感や蒸れ感、快適感について 2～−2 の 5 段階で点数化した。

3. 実験結果および考察

3.1 サーマルマネキンによる保温性評価

表 2 は、実験用ウェアの保温率（%）を式（1）に従い算出した結果である。肘にプロテクターが装着してある試料 1～4 は腕部で保温率が高かったが、袖口がストレートタイプの試料 2 は下腕部の保温率が低かった。

$$保温率(\%) = \frac{裸体での消費電力(w) - 着用での消費電力(w)}{裸体での消費電力(w)} \times 100 \quad (1)$$

表 2　サーマルマネキンによる保温性評価（%）

	胸部前	胸部後	右上腕部	右下腕部	左上腕部	左下腕部
1	46.56	52.32	42.09	44.10	51.92	40.57
2	48.65	51.50	42.32	22.83	50.09	25.72
3	45.71	55.13	55.05	50.50	61.21	50.26
4	49.36	61.20	56.93	43.04	67.99	41.43
5	50.35	53.04	39.41	20.00	40.44	18.45
6	54.02	52.7	41.53	19.42	42.38	21.05

3.2 発汗量と主観評価

図 1 は、5 名の汗量データを用いて試料ごとに被験者平均を算出した結果である。表 3 は、5 名の主観評価データを用いて試料ごとに被験者平均を算出した結果である。主観評価において評価が最も高かった試料 3 は、平均汗量も最も少なかった。汗量の多い試料は主観評価が低くなる傾向にあるが、試料 5、6 は汗をかいてべたついても、吸汗速乾素材のため肌触りがよく「涼しい、不快ではない」と感じる被験者が多かった。

*1 現　企画管理部　*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構

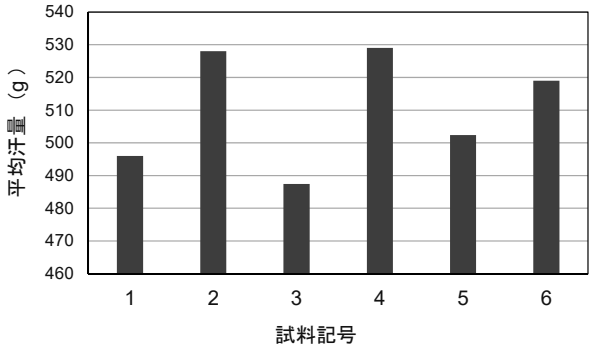


図１　体重減少による汗量（被験者平均）

表３　主観評価による点数（被験者平均）

試料記号	温熱感	蒸れ感	快適感
1	0.2	-0.6	0
2	-0.2	-1	-0.4
3	0.4	0.2	0.6
4	-0.2	-0.6	-0.4
5	0.2	-0.4	0
6	0	0	0.2

3.3 平均皮膚温への影響

本研究では、式（2）に示すラマナサンの 4 点法を用いて平均皮膚温（*M-Ts*）を求めた。

$$M\text{-}Ts = 0.3(Tc + Tu) + 0.2(Tt + Ti) \quad (2)$$

ここで、*Tc* は胸、*Tu* は上腕、*Tt* は大腿、*Ti* は下腿の皮膚温である。

M-Ts は昨年同様､運動開始直後に皮膚血管収縮により低下した後、運動による産熱の増大により緩やかに上昇し 2 回目の歩行運動時から上昇が急となり、走行運動時と運動終了後には低下する 3～4 峰性の形状を示した。

3.4 衣服内温度および衣服内湿度への影響

結果の一例を図 2 に示す。衣服内温度は *M-Ts* と類似の挙動を示したが、胸側の衣服内温度は運動後半の発汗量増大とともに、徐々に低下していく傾向が見られた。

衣服内湿度も、*M-Ts* と類似の挙動を示したが、時間の経過とともに上昇していく傾向がみられた。

4. 結言

サッカーのゴールキーパー用ウェアを対象とし、ウェアの熱・水分移動の効果を高めることを主目的とし、実験用ウェア 6 種を用いその素材・形状・保温率を検討した。その結果、肘にプロテクターを配置し、袖口をストレートにすることで保温率が低下した。また、被験者実験の結果から、汗量の多い試料は主観評価が低くなる傾向にあるが、吸汗速乾素材のウェアは汗をかいてべたついても、肌触りがよく「涼しい、不快ではない」と感じる被験者が多かった。よって、ゴールキーパー用ウェアは、素材は吸汗速乾、プロテクターにダブルラッセル、袖口はストレートで適度なゆとり量を持って設計する必要があることが分かった。

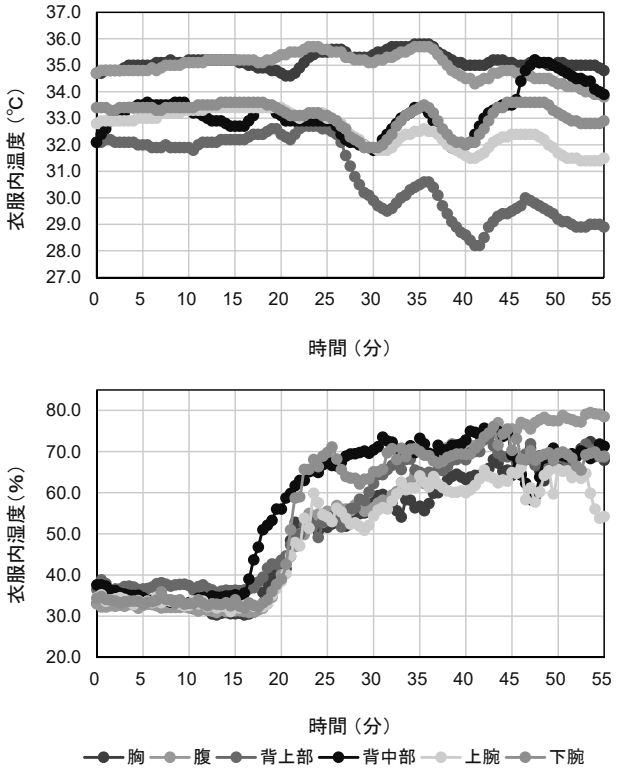


図２　衣服内温度および衣服内湿度の変化挙動

キーワード：プロテクター、サッカー、ゴールキーパー用ウェア、サーマルマネキン、温度快適性

Study on design of the protection sportswear for summer

Human Engineering Section; Megumi MAKIMURA, Director of Laboratory; Ryoji KANAMARU

This study examined material for the purpose of increase of the effect of the heat and the water vapor mobility in the sportswear for goal keepers of the soccer. First, we examined the material, shape, and heat retention rate using six types of experimental wear. Next, as a result of having performed a subject experiment, we found that the material for the goalkeeper wear should be designed so that the material is sweat-absorbent and quick-drying, the protector is double raschel knitted fabric, and the cuffs are straight and have the quantity of space of clothes.

情報端末を用いた健康管理機器に関する研究

生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊

1. 背景

高齢社会の到来により、在宅での医療、介護の機会が増加するとともに、健康管理意識も高まっている。これまでスマートフォンを中継装置として、手動入力または通信機能付の健康管理機器（血圧計等）からデータを取得し、データベースに蓄積するシステムの開発を行ってきた[1)]。しかしながら、通信機能を有する機器は高価で、高齢者には操作が難しい等の問題がある。

そこで、通信機能を持たない従来機器での測定値を、画像認識により取得するシステムを開発する。将来的には、健康管理機器の測定値表示を撮影し、その画像から対象機器の認識、測定データを取得し、登録するシステムの開発を目標とするが、本研究では、血圧計の表示画像から数値データ領域の抽出と認識手法の開発について検討した。

2. 実験方法

BLE 規格に準拠した通信機能を持つ健康管理機器を用いたモニタリングシステムの概要を、図 1 に示す。スマートフォンを中継装置として、センサゲートウェイを経由し、健康データをネットワーク上に登録する。データ交換サーバは、センサゲートウェイと MQTT プロトコルで通信し、受信メッセージから SQL コマンドを生成し、データ蓄積サーバの操作を行う。スマートフォンにデータ取得した例を、図 2 に示す。

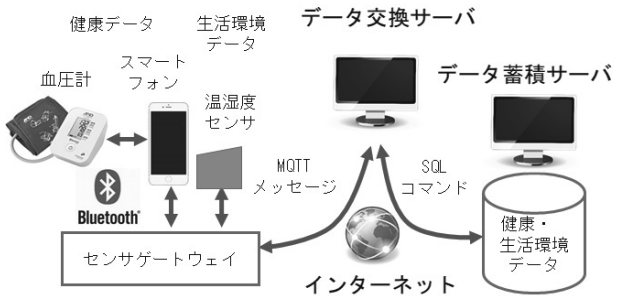


図１　生活モニタリングシステム

図２　健康管理機器からのデータ取得

また、通信機能を持たない健康管理機器のデータでもデータベースに蓄積可能とするため、カメラ画像を用いた安価な健康情報管理システムを構築する。処理の手順として、

i　健康管理機器（血圧計等）を使用
ii　iの表示画面をスマートフォン等で撮影
iii　iiの撮影データを画像認識サーバに送信
iv　画像処理プログラミングにより、サーバで対象機器、数値データを認識

となるが、本研究ではivで取得した画像から数値データ領域を抽出するための画像処理プログラムを検討した。プログラミング言語には Python を用いた。

3. 数値データ領域の抽出

本研究では、健康管理機器として血圧計を使用した。Python を用いて画像処理プログラムを作成し、スケール変換、明るさ調整、ノイズ除去、2 値化、白黒反転、平滑化、ラベリング処理、輪郭検出等の工程を踏むことで、まずは血圧計の撮影画像から数値領域候補を複数パターン自動的に抽出した（図 3）。

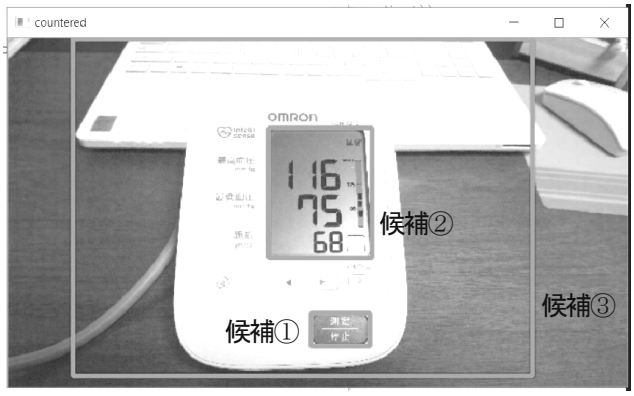


図３　数値領域候補の抽出

次に、事前に目的領域画像（血圧計の数値領域箇所）を登録しておくことで、これらの候補領域とそれぞれ類似性を比較し、最も登録画像に近い候補領域を、血圧計撮影画像の数値領域と判断することとした。類似性の判断基準として、「色合い（Hue）」「彩度（Saturation）」「明るさ（Brightness）」の 3 要素について比較し、その類似性を数値化、最も大きい値の候補領域を数値領域として採用した（図 4）。

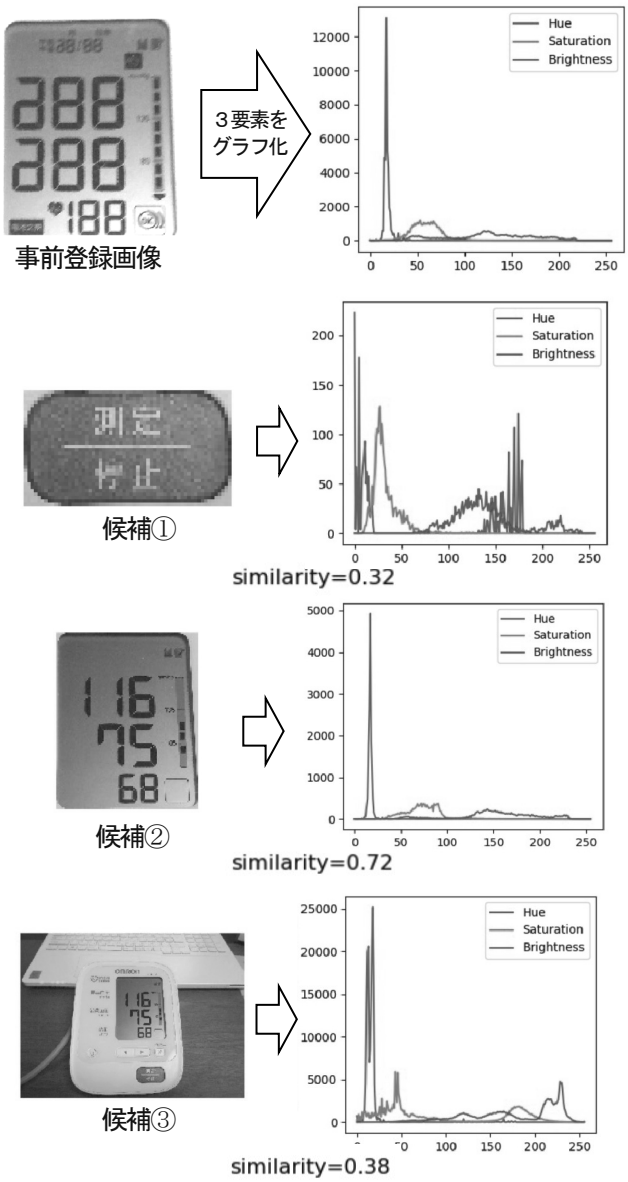


図４　登録画像と数値領域候補の比較

図４からわかるとおり、自動的に選択した３つの候補領域の中で最も候補②が登録画像と近いと判断することができ（類似値が最も大きい）、精度よく血圧計の数値データ領域を抽出することが可能となった。

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from skimage import data, io, filters
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches
import selectivesearch

def main():

    # loading astronaut image
    #img = data.astronaut()
    #img = data.imread('ua651ble.jpg')
    img = data.imread('bp.jpg')

    #io.imshow(img)
    #io.show()

    # perform selective search
    img_lbl, regions = selectivesearch.selective_search(
        img, scale=400, sigma=0.85, min_size=100)

    candidates = set()
    for r in regions:
        # excluding same rectangle (with different segments)
        if r['rect'] in candidates:
            continue
        # excluding regions smaller than 2000 pixels
        if r['size'] < 2000:
            continue
        # distorted rects
        x, y, w, h = r['rect']
        if w / h > 1.2 or h / w > 1.2:
            continue
        candidates.add(r['rect'])

    # draw rectangles on the original image
    fig, ax = plt.subplots(ncols=1, nrows=1, figsize=(6, 6))
    ax.imshow(img)
```

図５　作成した Python プログラム（一部）

4. まとめ

本研究では、Python を用いた画像認識プログラムを作成し、血圧計の表示画像から、数値領域の抽出が可能となった。本報告では事前に登録した画像との比較により数値領域を抽出する方法を採用したが、将来的には人工知能の手法（ディープラーニング）を用いることで、事前登録無しで対象機器の認識する画像処理プログラムを検討することとしている。

今後は、前述した対象機器の認識や数値データの意味づけ（最高、最低等）を行うプログラムの作成、RFID による複数利用者識別システムの開発、登録データの可視化ツールの開発に取り組む予定である。

参考文献

1)塚本ほか：富山県産業技術研究開発センター研究報告 No.32 (2018)38

キーワード：情報端末、健康管理機器、画像処理プログラム

Study on health care support using information terminal equipment

Human Engineering Section; Akira URAKAMI and Yoshitoshi TSUKAMOTO

In a rapidly aging society, the number of opportunities for home nursing service and medical care has increased, and awareness of health management is increasing. We have developed the system to accumulate data of health care equipment with communication function in a data base. But there was a problem that the equipment with a communication function was expensive, and that operation was difficult for senior users. In this study, the system to acquire the measure of the equipment with no communication function by image recognition is developed. The system is been developed to recognize the type of target device from the captured picture and obtain measurement values.

ナノファイバー不織布の耐水性及び耐洗濯性の向上に関する研究

生活資材開発課 吉田　巧　　佐伯和光[*1]　生活工学研究所 金丸亮二[*2]

1. 緒言

ナノファイバー(NF)不織布は防水性を有し、かつ優れた透湿性を持つことから、アウトドアウェア等への応用が期待されている[1]。しかしながら、NF は界面活性剤が付着するとその防水性能が低下するという欠点を有する。

この欠点は生地を洗濯した場合、生地上にわずかに残留した洗剤成分による耐水性の低下を招く恐れがある。

そこで本研究では、NF 不織布に撥水撥油剤を添加することによって、NF への界面活性剤の付着を防ぎ、耐水性と耐洗濯性を向上させることにより、この問題の改善を目指した。

2. 実験

2.1　NF 不織布の製造

市販のポリフッ化ビニリデン(PVDF)を有機溶剤に溶解して樹脂溶液を調整し、自作のシングルノズルのエレクトロスピニング装置または第一編物社製の有効幅 30 cm、紡糸ノズル 14 本(7 本/列×2)のマルチノズルのエレクトロスピニング装置を用いて NF 不織布を作製した。

2.2　NF 不織布の漏水性評価試験

4 cm×φ3 cm の円筒形ガラス管の片端を NF 不織布で覆い、1 mg/mL(pH10.1)の石けん水 15 mL をそのガラス管に入れ、液滴が落下し始めるまでの時間を計測した (Fig. 1)。石けんはミヨシ M 石けん(ミヨシ石鹸社製)を用いた。

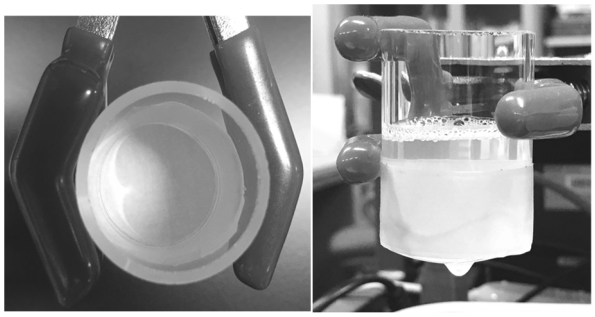


Fig. 1　NF 不織布の漏水性評評価試験

2.3　NF 不織布と基布との貼り合わせ

NF 不織布と基布との間にホットメルトポリウレタンウェブシート(東海サーモ社製 Fuzec 6J8D20)を挟み、ラミネート装置(アサヒ繊維機械社製 JR-1000NX)を用いて、設定温度 100 °C、接着時間 30 秒、加圧力 0.5 MPa で貼り合わせた。

2.4　洗濯試験

JIS L 0844 洗濯に対する染色堅ろう度試験を参考とし、試験瓶(ステンレス鋼製、容量 550 mL、内径 75 mm、円筒形)に、蒸留水 200 mL に石けんを 5 g/L となるように加えて調製した試験液および約 15×15 cm の試料を入れ、洗濯試験機(大栄科学精器製作所製 ラウンダーメータ L-8)を用いて、40 °C で洗濯処理を行い、その後、水でよくすすぎ、それから室温で自然乾燥させた。

2.5　耐水度の測定

耐水度試験機(インテック社製 IT-LHW)を用いて、高水圧法(加速水圧 100 kPa/min.)で試料の耐水度を測定した。なお、測定は試料上に金属製の目皿を置き、試料の膨れを抑えながら実施した。

3　結果と考察

3.1　NF 不織布の作製と漏水性評価試験

フッ素系繊維加工用、フッ素系模型コーティング用、フッ素系電子基板用の撥水撥油剤またはシリコーン系撥水撥油剤を包含した PVDF-NF 不織布を 2.1 に記した方法で、シングルノズル式のエレクトロスピニング装置によって作製した。その NF 不織布の界面活性剤水溶液に対する漏水性を 2.2 に記した方法で評価した。その結果、繊維加工用の撥水撥油剤を包含させた場合、最も漏水耐性の向上(漏水発生までの時間の延長)が認められた(Table 1　Entry 2-6)。次に、マルチノズル式のエレクトロスピニング装置を用いて、繊維加工用撥水撥油剤を包含した PVDF ナノファイバー不織布を作製し、その界面活性剤水溶液に対する漏水性を評価したところ、漏水耐性の向上が認められた(Table 1　Entry 7-8)。

Table 1　NF 不織布の漏水性評価試験結果

Entry	紡糸装置	撥水撥油剤	膜厚 (μm)	耐水時間
1	シングル	−	18	>24時間
2	シングル	−	18	2分31秒
3	シングル	繊維加工用	25	10分43秒
4	シングル	模型コーティング用	25	2分50秒
5	シングル	電子基板用	25	3分37秒
6	シングル	シリコーン系	25	8分43秒
7	マルチ	−	60	1分21秒
8	マルチ	繊維加工用	60	6分07秒

耐水時間:漏水が発生までの時間。Entry 1:蒸留水使用(石けん水不使用)。

*1 現　商工企画課　*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構

3.2　NF 不織布の洗濯処理前後の耐水度試験

マルチノズル式エレクトロスピニング装置で作製したナノファイバー不織布を、2.4 に記載の手順に従い、40 ℃の石鹸水を用いて洗濯処理(洗濯、すすぎ、乾燥)し、処理前後の耐水度を 2.5 に記した方法で、耐水度試験機を用いて測定した。その結果、撥水撥油剤を添加していないブランクのナノファイバー不織布には 25 %程度の耐水度の低下が認められた(処理前 : 56 kPa、処理後 : 41 kPa)。一方、撥水撥油剤を包含させたナノファイバー不織布に耐水度の低下は認められなかった(処理前 : 56 kPa、処理後 : 57 kPa)。この結果は、撥水撥油剤の添加が耐洗濯性の向上に一定の効果を与えることを示すものである。

ここで、Table 1 の Entry 1-2 を見ると、界面活性剤の存在下では、NF の防水性が大きく低下することがわかる。

このことから、撥水撥油剤を添加していない NF 不織布に、洗濯処理後の耐水度の低下が認められた原因として、洗濯後の界面活性剤の残存が考えられる。一方、撥水撥油剤を添加した NF 不織布には、撥水撥油剤の効果によって洗濯処理後の界面活性剤の残存が少ないと推量する。つまり、撥水撥油剤が NF への界面活性剤(石けん)成分の付着を防ぐことによって、洗濯後の耐水度の低下を防いだと考えられる。

3.3　NF 不織布と基布との貼合せ生地を用いた実験

マルチノズル式エレクトロスピニング装置で作製した含撥水撥油剤 NF 不織布を、ホットメルトウェブシートをバインダーとして朱子織物と貼合せた生地を作製した。この生地の耐水度を、耐水度試験機を用いて測定したところ 110 kPa と優れた耐水度を示した。この生地について、2.4 に記載の手順に従い、40 ℃の石鹸水を用いた洗濯処理(洗濯、すすぎ、乾燥)を行ったところ、織物生地とナノファイバーとの間に剥がれが認められた(Fig. 2)。これは、撥水撥油剤がバインダーの接着性を低下させたためであると推量する。したがって、本技術を実用化するためには、基布と NF との接着強度を向上させるなど、さらなる技術改善を行う必要がある。

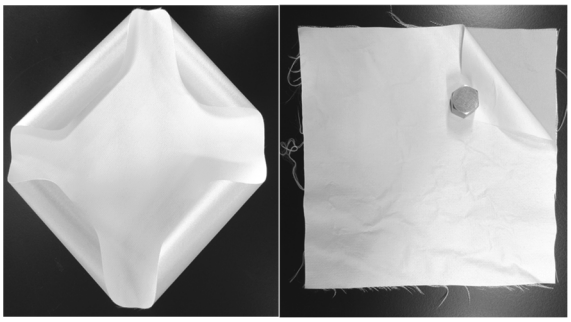


Fig. 2　洗濯処理前後の貼合せ生地
左:洗濯前、右:洗濯後

4. 結言

撥水撥油剤を包含したナノファイバー不織布を作製し、界面活性剤水溶液に対する漏水性を評価したところ、漏水耐性の向上が認められた。そのナノファイバー不織布を、石けん水を用いて洗濯処理し、処理前後の耐水度を測定した。その結果、ブランクのナノファイバー不織布には耐水度の低下が認められたが、撥水撥油剤を包含したナノファイバー不織布に耐水度の低下は認められなかった。この結果は、撥水撥油剤の添加が耐洗濯性の向上に有効であることを示すものである。

参考文献

1)　金丸亮二:富山県工業技術センター研究報告, **26**, 77 (2012).

キーワード：ナノファイバー、耐水度、洗濯耐久性、界面活性剤

Research on Improvement of Water and Washing Resistance of Nanofiber Nonwoven Fabric

Life Materials Development Section; Takumi YOSHIDA and Kazumitsu SAEKI[*1]
Director of Laboratory; Ryoji KANAMRU[*2]

A nanofiber nonwoven fabric containing water and oil repellent was prepared and the water leakage to surfactant aqueous solution was evaluated. The result showed that the improvement in water leakage resistance. The nanofiber nonwoven fabric was subjected to a washing treatment with soap water, and the water resistance before and after the treatment was measured. The result showed that it was reduced the water resistance of the blank nanofiber nonwoven fabric, by contrast, it was not reduced the water resistance of the nanofiber nonwoven fabric containing the water and oil repellent. This result indicates that the addition of the water and oil repellent to nanofiber is effective for improving the washing resistance for one.

耐薬品性を有する産業用ロボットウエアの開発

生活資材開発課 吉田　巧　　生活工学研究所 金丸亮二[*1]
株式会社ミヤモリ 永野和明　吉田裕治

1. 緒言

産業用ロボットは自動車・電子デバイス業界を中心に普及が進んできたが、労働力の減少を背景に、今後はこれまであまり用いられてこなかった業界における導入拡大が予想される。この導入拡大に伴い、産業用ロボットウエアのニーズも増加すると考えられる。

そこで本研究では、ロボットウエアに耐薬品性と伸縮性を兼ね備えた性能を付与することにより、より広範囲の分野に提供可能なロボットウエアの開発を目指した。

2. 結果と考察

耐薬品性と伸縮性を両立させるため、耐薬品性の高い樹脂 A と伸縮性の高い樹脂 B を配合し、その配合樹脂を伸縮性の高い編地に対して加工した。この試作生地は樹脂 A と樹脂 B の配合比率が異なるものを 5 種類作製した。

これら 5 水準の生地について、いくつかの酸、アルカリ、有機溶剤に対する耐薬品性確認試験を実施した。その結果、耐薬品性と伸縮性のバランスが最も良好な樹脂配合比率を明らかにすることができた。

この最適な配合比の樹脂を用いた加工生地に対して、さらに過酷な条件で耐薬品性試験を実施した。つまり、生地を強酸、強アルカリ(塩酸、硫酸、水酸化ナトリウム、フッ化水素酸)には 24 時間、その他の薬剤(*n*- ヘプタン、エタノール、過酸化水素、次亜塩素酸 Na)に対しては 72 時間浸漬した後、その生地の引張試験を行い、未処理状態の引張強度および伸び率に対する低下の程度を確認した。その結果、この過酷条件下の試験において、硫酸以外の薬剤に関しては、5 %程度の低下率であることが分かった。

また、縫い目からの薬品の侵入が懸念されたが、生地の縫い合わせ方法を検討し、されに伸縮性を損ないにくい方法で縫い目をシールリングすることによって、薬剤の侵入を完全に防ぐことができた。

開発した耐薬品性と伸縮性を兼ね備えた生地を用いて、ロボット形状に縫製し、複雑に動作するロボットアームに着せて動作確認を行ったところ、良好な追従性を示すことが確認できた(Fig. 1)。

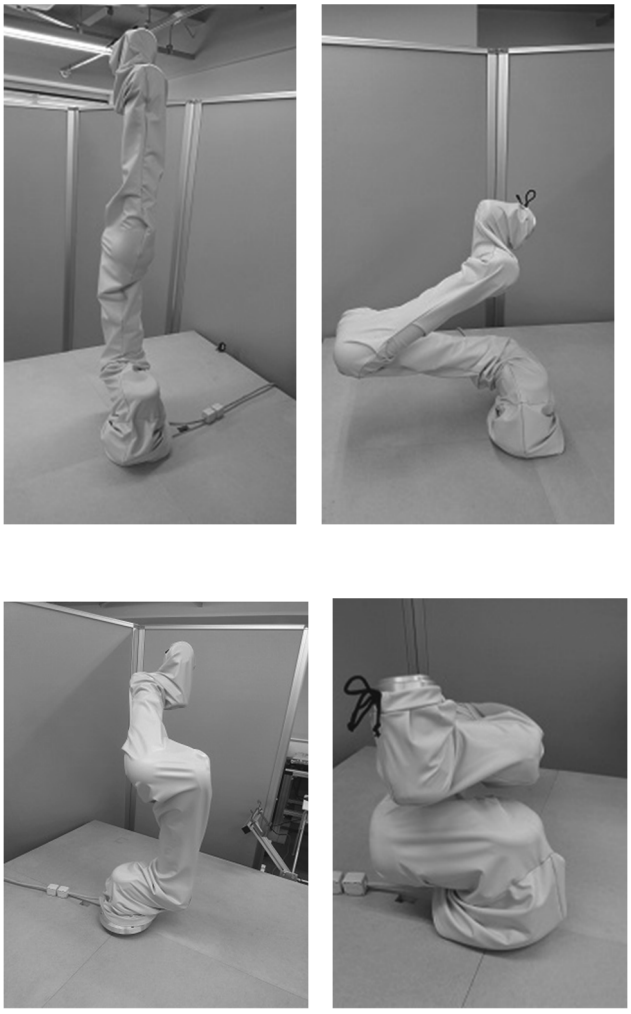


Fig. 1　試作ロボットウエアの動作確認試験

3. まとめ

耐薬品性の高い樹脂と伸縮性の高い樹脂を配合し、その配合樹脂を伸縮性の高い編地に加工することによって、耐薬品性と伸縮性を併せ持った生地を開発することができた。その開発した生地を用いて、ロボットウエア形状に縫製した。その縫製したロボットウエアをロボットに装着し、動作確認を行ったところ良好な動作性が確認できた。

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構

絹の光沢としなやかさ、綿の肌ざわりを合わせ持つ広幅交織織物の開発

生活科学課　上野　実[*1]、牧村めぐみ[*2]、塚本吉俊　生活工学研究所　金丸亮二[*3]
株式会社松井機業場　松井文一、松井　渉

1. 緒言

天然繊維である絹糸は光沢としなやかさなどの特徴があるが、生地が薄いことからボリューム感や保温性が低いなどの弱点があるほか、高価で製品の管理に注意する必要がある。一方、綿糸は低価格でボリューム感があり肌触りも良く製品も扱いやすい等の利点があるが、絹糸に比べて光沢感や手触りに劣る。これらを補うため、絹糸と綿糸の交織織物の開発をおこなった。絹と綿を組み合わせることにより、これまでにない、衣類にした時の表側に絹のしなやかさと光沢、裏側となる肌に触れる面に綿の柔らかな肌ざわりを持ち、かつボリューム感と保温性に優れた新たな商品の開発をおこなった。

2. 試験方法・測定結果

経糸に絹糸を、緯糸に綿糸を用いた交織朱子織物並びに交織二重織物において使用する太さや、打ち込み本数等を変えて試織した交織朱子織物の生地の特性を比較品の絹織物(朱子織)及び綿織物(平織)とともに測定を行った。ただし、試織品及び比較品は、それぞれ、生地の厚さや、単位面積当たりの重量(目付)が異なるため参考値である。

朱子織物において、織物組織として経糸の絹糸が現れる面を光沢計（MULTI GLOS 268 ミノルタ(株)製）を用いて測定したところ、比較品の絹織物とほぼ同等の値を示した。しかし、目視においては、緯糸の綿糸の色合いが目立ち、期待したほどの光沢感は得られなかった。また、生地表面を摩擦し、経糸と緯糸の交差する位置の片寄やズレやすさを評価する目寄れ試験を行ったところ、試織した交織織物は目寄れが発生しやすかった。今後、経糸密度を高めるなど織物設計の変更によりこれら物性の向上が必要と思われる。

一方、生地自体の保温性についてサーモラボ試験装置（KES-F7ⅡB 型カトーテック(株)製）を用いドライコンタクト法で測定したところ、比較品の絹織物の保温率が4.2%、比較綿織物が 11.3%であるのに対し、試織した交織朱子織物は、23.4～25.8%の値を示し、絹織物に対し保温率は 20%程度高い値を示した。

生地の柔らかさや、しなやかさ、ボリューム感(ふんわり感)などを評価するため、風合い測定システムの純曲げ試験機及び圧縮試験機（KES-FB2-A KES KES-FB3-A KES カトーテック(株)製）を用い生地の風合い試験を行った。

曲げ特性においては、曲げ剛性の値が小さいほうが柔らかく着心地が良いとされる。一般的に絹は曲げ硬いことから比較品の絹織物は大きな値を示したのに対し、交織織物は経糸に絹を用いながらも、比較品の綿織物の生地と同等程度の曲げ柔らかさを持った綿に近い風合いの生地にとなっていることがわかった。

また、圧縮特性においては、絹織物に対し厚みで 4.2 倍、圧縮エネルギーで 5.6 倍の値を示し、緯糸に用いた綿糸の特徴を生かしたボリューム感（ふんわり感）のある織物が開発できた。

試織した交織朱子織物の生地の中から 2 種を選定し、デザイナーの意見を参考に縫製品サンプルとしてパジャマを作成した（図 1）。

製品とした際の保温性を評価するため、写真右の開発品(厚地生地)と、比較品として用いた絹織物で縫製したサンプルを、サーマルマネキン（THM-117S/217S　京都電子工業㈱製）に着せ、手足等の露出部分を除く胴体(胸部・腰部)及び上腕・大腿部の保温性の比較したところ、平均で縫製品サンプルが 11%高いことが分かった。

3. 結言

試織した交織朱子織物は、絹のしなやかさと光沢、綿の柔らかな肌触りを持ち、比較品の絹織物に対して保温性が向上し、風合い試験機による比較では、曲げ柔らかさやボリューム感に優れたものとなった。

図 1　試作縫製品（左：薄地、右：厚地）

*1 現　ものづくり研究開発センター　　*2 現　企画管理部　　*3 現　(公財)富山県新世紀産業機構

細胞分離システムに関する開発

生活資材開発課　高田耕児　　ものづくり研究開発センター　丹保浩行
日本ゼオン株式会社　橋岡真義

1. 緒言

粒子をサイズで分離するマイクロ流路チップは、標的細胞等を分離・回収するために利用することができる。中でも微細な柱が一定の規則に基づいて配列された流路を用いる Deterministic Lateral Displacement（DLD）法 [1] は目詰まりを防いで連続的にサイズ分離できる方法として期待されている。これまで、DLD 法を利用した分離性能の優れたマイクロ流路チップの開発 [2]、チップの量産化等の検討 [3]、このチップを利用した細胞分離システムの開発を行ってきており、本研究では、チップと液だめ等を一体化した成形品の開発や送液システムの開発等を行った。

2. 実験

チップは既報 [3] と同様であり、構造を Fig. 1 に示す。例えば Inlet 1 から標的細胞を含む溶液を、Inlet 2 からバッファーを流すと、Inlet 1 から入った溶液は層流となって直進し、Outlet 1 から廃棄されるが、溶液中の標的細胞は DLD 法によりバッファー側へ移動して、Outlet 2 から回収される。このチップを利用した細胞分離システムの開発の中で、チップと液だめ等を一体化した成形品の開発や送液システムの開発等を行った。その中から、チップと液だめ等を一体化（カートリッジ化）した成形品の開発について次に示す。

これまで、チップはチップホルダ [4] ではさみ込み、コネクタと送液チューブにより、液だめと接続しており、組み立てに時間がかかるという問題や、長時間送液すると液漏れするという問題があった。これらの問題を解決するため、必要な部材を一つのカートリッジとして一体化した成形品を開発した。Fig. 2 は試作したチップ一体成形品である。左側が表から見た写真、右側が裏から見た写真である。液だめの口（上部）にはまっている蓋は別に成形したものである。

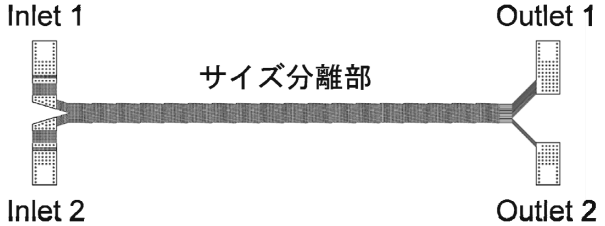


Fig. 1 チップの構造

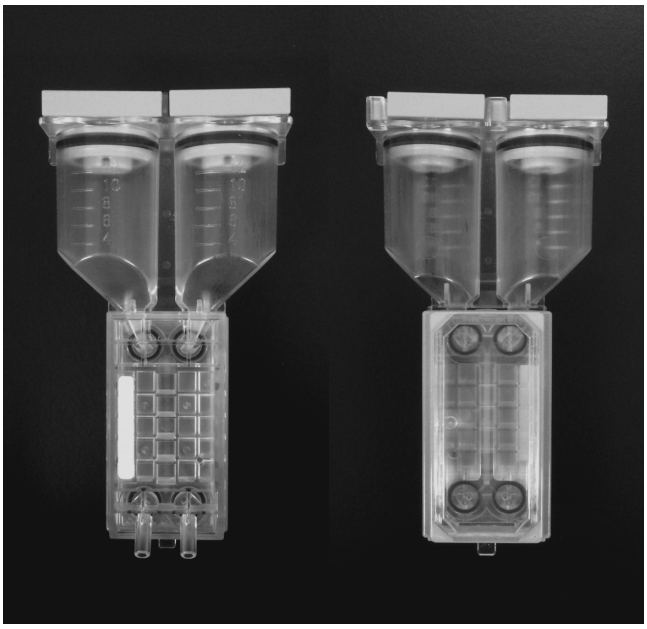


Fig. 2 試作したチップ一体成形品

チップ一体成形品の試作では、まず液だめを含むカートリッジ本体部分を射出成形し、そこにチップをはめ込み、同じく射出成形した押え板で押さえながら封止成形した。ここで、チップをカートリッジ本体部分にはめ込む際に、チップの向きを間違えることのないように、チップの表側に新たに穴を設け、そのチップの穴とカートリッジ本体の突起とを合わせてはめ込むようにした。また、封止成形の際に押え板を押さえる力についても検討した。試作したチップ一体成形品にサイズの異なるビーズを流したところ、ビーズをサイズで分離できることを確認した。

3. 結言

チップと液だめ等を一体化した成形品を試作した。また、送液システムの開発も進めた。これらによって、今後、細胞を分離する実験を効率的に進めることができるようになった。

参考文献

1)Huang *et al.*　Science **304** (2004) 987-990
2)富山県工業技術センター研究報告 **30** (2016) 89
3)富山県工業技術センター研究報告 **31** (2017) 112
4)富山県産業技術研究開発センター研究報告 **33** (2019) 71

生活悪臭を吸着・分解できる高性能な消臭剤の開発

生活科学課　牧村めぐみ[*1]　塚本吉俊　　生活資材開発課 寺田堂彦　生活工学研究所 金丸亮二[*2]
ものづくり研究開発センター　岩坪　聡[*1]　山崎茂一　　(株）エイト　中野收一

1. 緒言

災害現場において、水や電気のライフラインが途絶えることにより発生する臭気（生ゴミや排泄物など）の対策が問題となっている。県とエイトが共同で保有する特許発明(ガス分解剤及びガス分解剤の製造方法､並びに、ガス分解剤包装体）であるガス分解材の性能から、生活悪臭を消臭する製品に応用できると考え、災害時にも使用できる、生活悪臭を吸着かつ分解する高性能消臭剤を開発することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 使用材料

消臭剤の粉末での性能確認のため、ガス分解材の他、市販の消臭剤（A～C）を用意し、計 4 種を粉末試料とした。さらに、排泄時の使用を想定して、凝固剤（吸水性樹脂）と消臭剤を混ぜ合わせ蒸留水を加えた。また、消臭剤を含まないものをブランク（BL）とし、計 5 種を固形試料とした。

2.2 試験および測定方法

5L のスマートバッグ PA に、0.1g の粉末試料、20g の固形試料を入れ、所定の濃度に調整した臭気ガスを 4L 充填した。

臭気ガスは排泄臭を想定し、100ppm のアンモニア、30ppm の酢酸、4ppm の硫化水素、8ppm のメチルメルカプタン（CH_3SH）ガスの 4 種を用いた。

袋内の臭気ガス濃度を充填直後、30、60、120 分、1 週間、2 週間後にガス検知管で測定し（図 1)、式（1）に従い減少率（%）を算出した。

図 1　ガス検知管による消臭効果試験

$$減少率（\%）＝\{（a－b）／a\}\times 100 \quad (1)$$

a：空試験の濃度、b：試料試験濃度

3. 消臭効果試験結果および考察

表 1 に粉末試料の CH_3SH の消臭効果試験結果、表 2 に固形試料の CH_3SH の消臭効果試験結果を示す。

粉末では、ガス分解材がガス導入直後から 2 週間後まで継続して高い消臭性能を示した。固形では短時間では効果が低いが、時間の経過とともに高くなっていった。また、硫化水素での消臭効果試験も同様の結果を示し、アンモニアと酢酸はどの試料もガス導入直後から 2 週間後まで継続して高い消臭性能を示した。

このことから災害用トイレ用途では、凝固剤の上にガス分解材を振りかけての使用が適していることが分かった。

表 1　粉末試料の CH_3SH の消臭効果試験結果

経過時間（分）	減少率（%）			
	ガス分解材	A	B	C
直後	>84.4	84.4	67.5	37.5
30	>84.4	>84.4	67.5	37.5
60	>84.4	>84.4	67.5	37.5
120	>84.4	>84.4	67.5	37.5
1w	>82.1	>82.1	50.0	0.0
2w	>96.7	86.7	60.0	6.7

表 2　固形試料の CH_3SH の消臭効果試験結果

経過時間（分）	減少率（%）				
	BL	ガス分解材	A	B	C
直後	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5
30	0.0	6.3	25.0	0.0	0.0
60	0.0	3.8	50.0	0.0	6.3
120	3.8	31.3	84.4	2.5	3.8
1w	6.3	62.5	50.0	7.5	6.3
2w	6.3	65.0	43.8	7.5	3.8

4. 結言

災害時にも使用できる、生活悪臭を吸着かつ分解する高性能消臭剤を開発することを目的に、ガス分解材と市販の消臭剤 3 種の、粉末・固形試料の消臭効果を定量的に評価した結果、ガス分解材は粉末での消臭効果に加えて、凝固剤と混ざり水分を含んだ状態でも 2 週間は消臭効果が持続することを確認した。

*1 現　企画管理部　*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構

ナノファイバー模擬皮膚材をベースとしたヘルスケア用品の開発

生活資材開発課 吉田 巧　生活工学研究所 金丸亮二[*1]

第一編物株式会社　成瀬大輔　奥野一詩　石地敦司

1. 緒言

高齢化に伴い、医薬品産業が成長分野として注目される中、我々は高齢者層をメインターゲットとした、皮膚へのダメージ軽減を目的とする高機能な皮膚貼付剤の研究を行ってきた[1]。その研究において開発したナノファイバー貼付剤は、ナノファイバーシートの極薄かつ非常に優れた皮膚追従性と、一日当たり 10 万 g/m^2 の高い透湿性により、従来にない快適性を有し、着用時に皮膚色と高度に同化するため貼付箇所が目立たず、さらに剥離時の刺激も従来品の 1/5 程度に抑えられるなど、抜群の着用感をもたらした[2)3)]。

本研究では、我々の開発したナノファイバーシートの高い皮膚追従性および、皮膚色との高い親和性に着目し、メディカル用途のみならず、肌の傷やあざ、しわ、シミなどの悩みを持つ、より多くの対象者に向けたコスメティック分野への応用を目指した。

2. 結果と考察

保湿成分として用いられている薬剤および離型性向上剤を包含したナノファイバーシートを作製した。その作製したナノファイバーは特徴的な風合いを持ち、離型性が向上していた。

また、化粧品に使用が許可されている顔料を包含したナノファイバーシートを、顔料の選定、分散性を改善することにより作製することができた。この作製したナノファイバーは従来の染料を包含したナノファイバーよりも、エタノール浸漬下における色抜けが改善していた。

生産幅 600 mm 以上のロール巻取り機構、紡糸ノズル部におけるスイング機構の大型化により、有効幅が拡張された生産装置の開発を達成した。また、紡糸ブース内、ブース外の温湿度、装置作動時の電流、電圧、送液量、ロールの巻取り量を監視し、サーバーを介して観察や自動記録が可能なシステムを設計・導入した。

県内医薬品企業の協力により、フェイススキンケアを目的とした製剤を塗膏した、コスメ用のナノファイバー模擬皮膚材を開発した。

その開発したコスメ用のナノファイバー模擬皮膚材を、人工皮膚に貼付し、その人工皮膚上の貼付個所と非貼付個所との色差を、分光測色計(コニカミノルタ社製 CM-3600d)を用いて測定したところ、皮膚色との高い同化性が確認された(Fig. 1)。

また、剥離刺激性を、引張試験機(島津製作所製 AGS-5kNX)を用いた 180 °剥離試験によって評価したところ、非常に低刺激であることが分かった。デマッチャ繰返疲労試験機(大栄科学精器製作所製 DC-3)を用いて、開発した模擬皮膚材を貼付した基材(シリコンゴム)の繰返伸長試験を行ったところ、繰返伸長後も模擬皮膚材に捲れや剥がれは見られず、貼付力が維持されることが分かった。

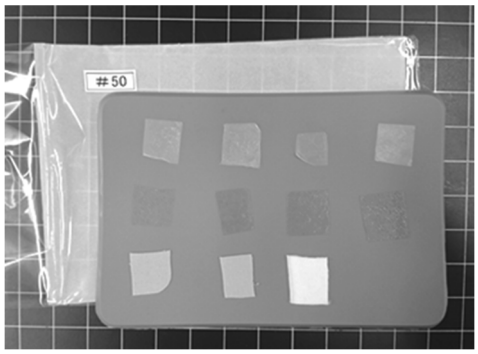


Fig. 1 各試験片を貼付した人工皮膚

3. まとめ

コスメティック用機能性剤を配合したナノファイバーを作製することができた。生産幅 600 mm 以上の、大型のナノファイバー生産装置の開発を達成した。紡糸ブース内、ブース外の温湿度、電流、電圧、送液量、ロール巻取量を監視し、観察や自動記録が可能なシステムにより、品質安定性を向上させた。県内医薬品企業と協力し、フェイススキンケアを目的としたコスメ用のナノファイバー模擬皮膚材を開発し、その高い皮膚色との同化性を確認した。

参考文献

1) 成瀬, 富山県産業技術研究開発センター研究報告書, **33**, 73 (2019).

2) 成瀬, 貼付材及び貼付材製品, 特開 2019-156748.

3) 成瀬, 貼付材及び貼付材の製造方法, 特願 2019-003529.

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構

ウェアラブル型飲酒による酔いの測定機器に関する研究

生活科学課　浦上　晃、塚本吉俊　　生活工学研究所　金丸亮二[*1]
ライフケア技研株式会社　日出嶋宗一、横井秀輔

1. 背景

飲酒による酔い度合いの目安として呼気アルコールチェッカーがあるが、アルコールの血中への吸収が進むと表示値は低下する。また、血中アルコール濃度測定は正確だが、セルフチェックは困難である。本研究では、脈拍変化から血中アルコール濃度を予測し、飲酒による酔い度合いを数値化できる腕時計型ウェアラブル機器を開発するため、呼気アルコールチェッカーと脈拍データを同時に取得、解析できるシステムを構築した。

図１　開発機器のイメージ図

2. 実験方法

飲酒による脈拍と呼気アルコールの測定方法について、脈拍は飲酒する 30 分前から測定開始し、脈拍値がおおよそ飲酒開始前の値に戻るまで 1 分間隔で測定した。また、酔い以外の影響を除外するため、測定値は一定時間（10～15 分間）の移動平均を算出してフィルタリングした。

呼気アルコール濃度は飲酒終了時に 1 回目を測定し、その後 15 分間隔で脈拍測定終了まで行った。脈拍測定にはライフケア技研㈱製ウェアラブル機器「WS V-3」(図 2 左) を、呼気アルコール濃度測定には㈱タニタ製アルコール検知器「FC-1000」（図 2 右）を使用した。

データの取り込みについて、脈拍数値は専用アプリにより Android 端末に csv データとして取得した。また、呼気アルコール濃度については、測定器が測定と同時に濃度数値を指定メールアドレスに送信する方式であるため、そのメールのデータから測定時刻と濃度数値を抽出する Python プログラムを作成することで Android 端末に csv データとして保存した。

図２　脈拍および呼気アルコール濃度測定機器

3. 結果及び考察

実験データ例を図 3 に示す。複数名の被験者によりデータを取得し、呼気アルコールは口腔内や胃中のアルコール量や、血液から肺を介して呼気に排出されるアルコール量を測定しているので測定値は急激に減少することが確認できた。一方、脈拍値は飲酒と共に上昇し、酔いの状況を反映していると考えられる。

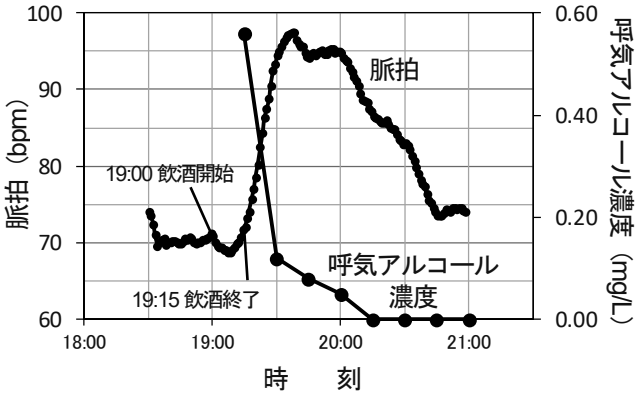


図３　脈拍及び呼気アルコール濃度測定結果例

4. まとめ

飲酒による酔い度合いを数値化できるウェアラブル機器の開発を目標とし、呼気アルコールチェッカーと脈拍データを同時に取得、解析できるシステムを構築した。専用アプリと Python プログラムを利用することで、脈拍と呼気アルコール濃度データを Android 端末に取得し、ネット時刻を基準に経時変化を同期表示することが可能となった。

謝　辞

本研究は（公財）富山県新世紀産業機構の 2019 年度産学官イノベーション推進事業（ヘルスケア製品開発推進枠）において実施した。

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構

粒子をサイズで分離するマイクロ流路チップに関する研究

生活資材開発課　高田耕児　　ものづくり研究開発センター　丹保浩行
株式会社リッチェル　萩原　衛　　村上　岳　　荒引大輔　　中村一樹

1. 緒言

粒子をサイズで分離するマイクロ流路チップは、標的細胞（例えば癌患者の血液中を流れる癌細胞である循環癌細胞（CTC））を分離・回収するために利用できる。これまで、細胞サイズ（例えば15μm程度）の粒子をサイズ分離するチップの射出成形による量産化等の検討を行ってきた。しかし、より小さいサイズ（数μm程度）の粒子を分離したいというニーズも多い。数 μm 程度の粒子を分離できるチップは、例えば血液中の血球と血漿を分離できる可能性があり、血漿中の癌に関係するDNAの解析等に利用できる可能性がある。本研究では新たに数μm程度の粒子を分離するチップに関する研究を行った。

2. 実験

Deterministic Lateral Displacement法[1)]を利用したサイズ分離チップは、微細な柱が林立した流路を用いる。この柱の列は一列ごとに少しずつシフトしており、サイズ分離の閾値は柱の間隔とシフト量によって決まる。サイズ分離の閾値を小さくするには、まずは柱の間隔を小さくすればよい。これまでの研究[2),3)]で作製してきたチップは柱の間隔が30μmでシフト量が100μm進むごとに5μmであり、柱の間隔とシフト量から閾値を計算[4)]すると8.1μmであった。ここで柱の間隔を変更して、閾値を2μm程度にするには柱の間隔を7.4μm程度にする必要があり、そうなると射出成形が困難になる。そのため、柱の間隔は従来の半分の 15μm に留め、シフト量を変えることによって2μm程度の閾値で粒子を分離できるチップを2種類設計し、フォトマスクを作製した。Fig.1は柱の直径が35μm、柱の間隔が 15μm で、シフト量は 50μm 進むごとに0.625μm のチップである。この構造での計算上の閾値は2.0μmとなる。Fig.2は柱の直径が35μm、柱の間隔が15μmで、シフト量は50μm進むごとに0.5μmのチップである。この構造での計算上の閾値は1.8μmとなる。このように、柱の間隔が 15μm であってもシフト量を変えることによって2μm程度の閾値で粒子を分離できるチップを設計できることがわかった。しかし、課題もある。Fig. 1のチップと Fig. 2 のチップは閾値が 0.2μm 程度しか変わらないが、Fig. 1 のチップは流路幅が 1.1mm であるのに対し、Fig.2のチップは流路幅が0.9mmである。

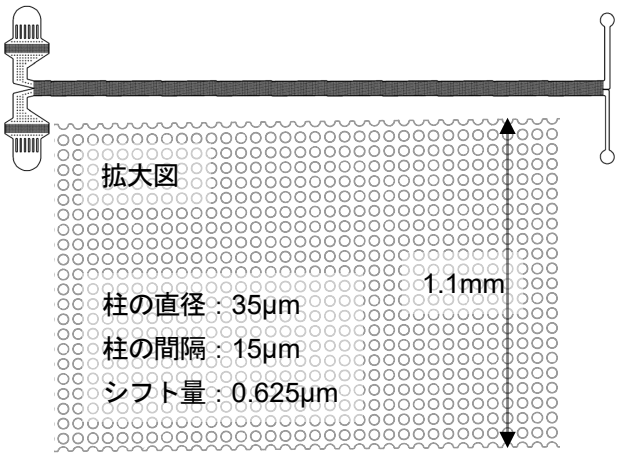


Fig. 1 流路（閾値約 2.0μm）の全体図と拡大図

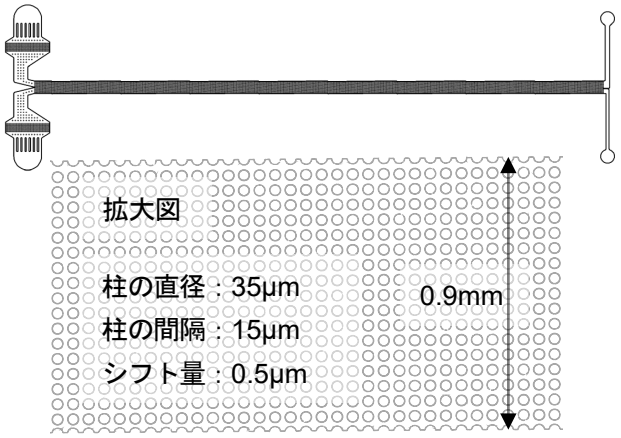


Fig. 2 流路（閾値約 1.8μm）の全体図と拡大図

シフト量を変えて閾値を小さくしようとすると、処理量が少なくなる。今後実用化に向けては、流路を並列化させる等の方法も併用していく必要があると考えられる。

3. 結言

数μm程度の粒子を分離できるチップを2種類設計し、フォトマスクを作製した。これにより今後細胞サイズの粒子だけでなく、数 μm 程度の粒子の分離にも対応できるようになった。

参考文献

1)Huang*et al.*　Science**304** (2004) 987-990
2)富山県工業技術センター研究報告 **30** (2016) 89
3)富山県工業技術センター研究報告 **31** (2017) 112
4)Inglis*et al.*　Lab on a Chip**6** (2006) 655-658

射出成形用微細ナノ加工ハイブリッド金型の開発

電子デバイス技術課　横山義之　ものづくり基盤技術課　川野優希
三光合成(株)　杉野直人　亀田隆夫　　富山県立大学　竹井　敏　安田佳織

1. 緒言

ナノレベルの微細加工材料は、半導体やディスプレイ、太陽電池、ホログラムなど様々な電子・光学デバイスの最先端分野で注目されている。しかし、その製造には、露光装置やエッチング装置などの高額な微細加工装置が多数用いられ、そこで使用される材料も非常に高価なものが多い。

それに対して、身の回りにあるプラスチック製品の多くは、例えば鋳型となる金型に樹脂を流し込む射出成形と呼ばれる方法で、非常に安価に製造されている。射出成形法は、様々な形状の製品を連続的に大量生産することが可能で、製造コストの面で優れている。しかし、ナノレベルの微細な凹凸形状を製品に与えることが可能な射出成形用金型を製作することは困難であった。

そこで、本研究では、ナノレベルの微細凹凸形状を持つプラスチック製品を安価に製造可能とする、これまでの射出成形技術の改良に必要な高性能な金型「射出成形用微細ナノ加工金型」の開発を試みた。

2. 実験

プラスチック材料の表面に、ナノレベルの微細な凹凸をつける際、樹脂を流し込む金型に微細凹凸構造を施しても、目的とする微細加工表面を持つプラスチック成形品を得ることは難しい。実際には、微細な突起部分が欠けた成形不良品が多く発生してしまう。これは、従来の金型のままでは、金型に樹脂を流し込んだ際に内部にガスがたまり、微細部分へのプラスチックの充填が不十分となることで、突起部分が欠けた成形品になるためである。そこで、これを解決するために、ガスを透過する性質のあるナノ加工金型の作製を検討した（図 1)。

具体的には、(1）金型の最表面にナノレベルの微細凹凸加工を施し、さらに、(2）金型全体としてガスを透過できる性質、および、(3）成形プロセスに耐えうる強度や耐久性を兼ね備える金型構造を考案した（図 2)。

現在、ナノ加工金型に対して、様々な評価を実施している。特に、今年度は、ナノ凹凸形状を金型表面に施した金型を用いて、実際に射出成形プロセスを実施し、プラスチック材料へのナノレベルの微細凹凸形状の転写性を詳細に観察した。また、金型として用いるために必要な強度や耐久性、耐熱性についても、様々な分析装置を駆使することで調査を行った。

今後も、引き続き、評価試験を繰り返しながら、金型としての性能向上を図っていく。さらには、開発した金型を用いてナノレベルの微細凹凸形状を持たせたプラスチック製品を製造し、その用途探索にも、積極的に取り組んでいく予定である。

3. 結言

本技術を活用することで、安価に微細加工された部品の供給を目指している。また、汎用プラスチック部品に新たな付加価値をつけることにもつながると期待され、一般家庭用品だけでなく、電気・電子機器、自動車部品、医療機器など、非常に幅広い製品に対して貢献できる金型技術になると思われる。

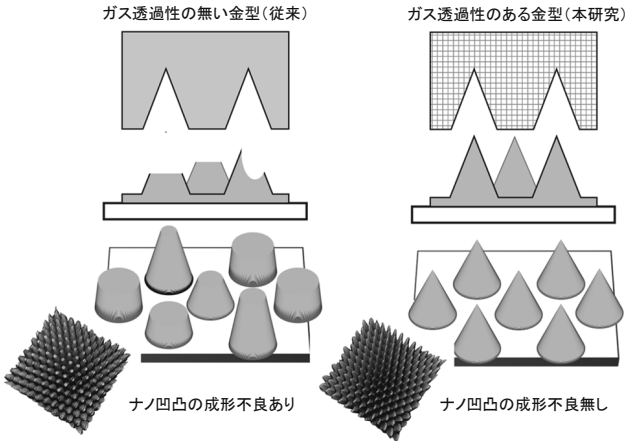


図 1　ナノ加工成形におけるガス透過性金型の効果

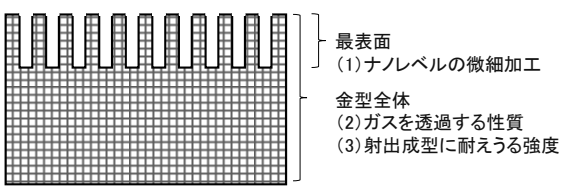


図 2　（1）～（3）の機能を兼ね備えた
射出成形用微細ナノ加工金型のイメージ図

光パターニング可能なナノファイバーを利用したフレキシブルな透明回路の形成技術の開発

電子デバイス技術課　横山義之

1. 緒言

タブレット PC やスマートフォンに搭載されているタッチパネルには、透明導電シートや透明導電回路パターンが重要な電子素材として使われており、現在は、導電性と透明性を兼ね備えた無機薄膜である酸化インジウムスズ（ITO）膜が主に用いられている。しかし、ITO 膜の課題として、レアメタルである原料のインジウムのコストが高く供給が不安定であること、無機材料であるため曲げ耐性が低くフレキシブルな電子機器への取り付けが制限されること等がある。特に、フレキシブル性については、今後、身の周りのあらゆるモノがインターネットにつながる IoT（Internet of Things）社会で求められるフレキシブル・ウェアラブルなセンサ、IC タグ、ディスプレイなどの実現のために必須となることから、ITO 膜に替わる代替材料の開発が強く求められている。

そこで、本研究では、感光性を付与した独自の高分子ナノファイバー（感光性ナノファイバー）を用いることで、ITO 膜に代わるフレキシブルで安価な透明導電パターンの開発に取り組んだ。

2. 実験と結果

ナノファイバーに付与する感光機構としては、溶解阻害型を検討した。はじめに、化学組成の異なる 5 種類の高分子（ベースポリマー）を合成した（図 1）。それぞれに、光反応性を有する溶解阻害剤を加え、アルコール系の溶媒に溶解した後、エレクトロスピニングを行い、感光性ナノファイバーを形成した。

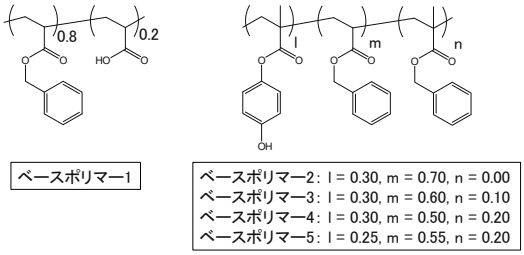


図 1　合成した種々のベースポリマーの化学構造

その結果、ベースポリマー5 を用いると、ナノファイバーの直径が 0.2μm～0.7μm となり、1μm よりも細いナノファイバーが形成できること、また、ナノファイバーの熱ダレ温度は、約 90℃ で、PET フィルムの耐熱温度（約 100℃）よりも低い温度で、Al 薄膜に密着させられることがわかった。また、光パターニングを行った結果、100μm 以下の回路パターンも形成できる良好なパターニング特性を有していることも確認できた。

ベースポリマーの化学組成に加えて、エレクトロスピニング時の溶液組成についても検討した。エレクトロスピニング溶液に、適切な紡糸助剤を加えると、感光性や熱特性の性能を低下させることなく、エレクトロスピニング時の紡糸性能を大幅に向上できることがわかった。その結果、直径 0.2μm～0.3μm のより細く均一なナノファイバーが安定して形成できるようになった（図 2）。

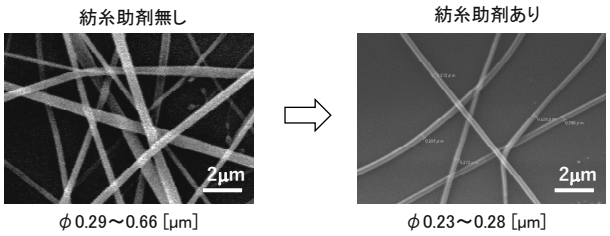


図 2　エレクトロスピニング助剤の効果

最後に、回路状に光パターニングした感光性ナノファイバーをエッチングマスクに用いて、PET フィルム上の Al 薄膜をエッチングし、Al ナノネットワークを形成した。その結果、高さが約 40nm、幅が約 500～900nm の Al ナノワイヤーがネットワーク状につながった透明導電パターンが得られた。網目状の Al ナノワイヤーを伝わり電気が流れ（シート抵抗：100Ω/sq.）Al ナノワイヤー間の隙間を光が通過することで、背景を透かして見ることができた（可視光透過率：約 80%）。また、市販の PET フィルム上 ITO パターンよりも、優れた曲げ耐性を有していることも確認できた。

3．結言

本研究では、感光性を付与したナノファイバーを用いて、PET フィルム上に Al ナノネットワークを形成し、曲げ耐性に優れた透明導電パターンの作製を試みた。その中で、感光性ナノファイバーの化学組成・溶液組成を最適化することで、可視光の波長よりも細いナノファイバーを得ることができた。また、感光性ナノファイバーをエッチングマスクとして用いる Al ナノネットワーク形成プロセスについても最適化することで、目標とする ITO 膜とほぼ同等の光学・電気特性を有するフレキシブルな透明導電パターンを得ることができた。

チューリップのカメラ画像による病株判定システムの開発

機械情報システム課　金森直希　　機械電子研究所　佐山利彦[*1]　　機械情報システム課　本保栄治[*2]
農林水産総合技術センター　園芸研究所　西村麻実　八重樫元　山口清和[*3]

1. 緒言

富山県における花卉産業の主力品目であるチューリップ球根の生産は、人件費の削減が喫緊の課題であり、スマート農業化に向けた植込から収穫までの一連の作業を自動化する取組が進められている。しかしながら、唯一機械化できていない工程がある。それは、栽培中にウイルス病の蔓延を防ぐために高頻度で行う必要のある病株抜き取り作業である。ウイルス罹病株では、品種、ウイルス種、および生育段階によって異なる病徴が現れ、高度な診断技術を要する。現状では、作業の全てを熟練農家の経験に頼っており、その負担は大きい。病株検知が容易になれば、作業の省力化や自動化が期待できる。

そこで本研究では、栽培中のチューリップをカメラ撮影したデジタル画像から、株が病株か否かを判定する病株判定システムを開発することとした。本報告では、初年度の取り組みとして、複数品種の複数ウイルスによる病徴を対象として、病株判定システムの学習に資する画像データベースの作成、および病株判定システムの試作、評価について述べる。

2. 画像データベースの作成

病株検知の省力化メリットがより大きいと考えられる10品種を選定し、2つの温室にて栽培した。温室1では、促成栽培法にて黄小町（黄）、ローズビューティ（桃白）、およびプリシマ（白）を栽培した。温室2では、促成ではない通常の栽培法にてコンプリメント（紫桃）、コンペックス（桃紫）、ファンアイク（赤）、ハネムーン（白）、インペリアルレッド（赤）、ラリベラ（赤）、黄小町（黄）、およびサネ（桃）を栽培した。栽培中の株を週1回程度の間隔で撮影し、異なる生育程度における画像を取得した。株の撮影に当たっては、病株判定システムの学習効果がより得られ、安定した判定精度が得られるような工夫を施した。具体的には、複数種類のデジタルカメラを用い、株を様々な角度から撮影し、株以外の部分（地面や背景）の模様が撮影の度に異なるようにした。また、株ごとに各ウイルスに特異的な抗体を用いたTissue-blot immunoassay (TBIA)検定を実施し、ウイルス感染の有無と撮影画像をリンクさせた。これまでに病株判定システムの学習・評価に資する画像データベースの作成（すなわち、カメラ撮影、整理、およびデータ拡張）が完了した品種の、株の日齢ごとの画像枚数をTable 1およびTable 2に示す。ここで、TulMVはチューリップモザイクウィルス、LSVはユリ潜在ウイルス、TuSVはチューリップ条斑ウイルスである。

Table 1 Number of images of Kikomachi in the 1st greenhouse

Days after planting	TulMV	LSV	Healthy
24	2,796	1,662	11,430
34	1,548	1,020	7,338
42	1,656	1,074	7,308
48	1,350	738	5,694
56	1,188	732	5,310
63	1,236	738	5,448
69	1,206	738	5,538
77	1,200	714	5,292
84	852	504	3,756
Total	13,032	7,920	57,114

Table 2 Number of images of Rose Beauty in the 2nd greenhouse

Days after planting	TulMV	TuSV	Healthy
48	1,074	1,356	6,726
56	996	1,254	6,252
63	1,008	1,512	6,264
69	1,020	1,218	6,420
77	984	1,392	5,934
84	228	732	2,334
91	1,176	1,626	1,176
Total	6,486	9,090	35,106

3. 病株判定システムの作成・評価

Table 1およびTable 2に挙げた各品種の日齢ごとに、ウイルス罹病株であるか健全株であるかを判定する病株判定器を作成した。先行研究[1)]により、日齢ごとに判定器を設けると判定精度が大きく向上することが分かっている。判定器は、事前学習済の畳み込みニューラルネットワーク AlexNet[1)]および2クラスSVM（サポートベクタマシン）を組み合わせて構成した。この構成は、高い判定精度を追及したものではなく、（1）各品種の各ウイルス種による病徴についてどの生育段階で病徴が現れ始めどの段階で現れなくなるのか、（2）品種・病徴ごとの判定精度に大きな差が出るのかなどを迅速に確認することを大きな目的としている。

まず、対象の病徴の画像上の特徴が畳み込みニューラルネットワーク AlexNet によって抽出され、その抽出さ

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構、*2 現　電子デバイス技術課、*3 現　農林水産総合技術センター企画管理部

れた特徴量を使って機械学習による判別器の学習（SVM 判別器を学習）を行った。より具体的には、各品種・各病徴の日齢ごとに、画像データベースに登録された画像から無作為に 70%を選んで判別器を学習させ、残りの 30%の画像で判別器を評価した。判別器の評価結果を Table 3 および Table 4 に示す。例えば、黄小町の日齢が 63 日の株の LSV については、TBIA 検定でウイルス感染していると判断された株（罹患株）の 91.5%を正しく判定し、残る 8.5%を健全であると誤判定したことを示している。同様に、健全株については、99.1%を正しく判定し、残る 0.9%を誤判定したことを示している。今回、病株判定器を作成した 2 品種の各ウイルスによる病徴については、株の日齢がそれほど若くない場合に、概して高い正答率が得られることがわかった。株の日齢が同じでも品種・病症間で正答率が大きく異なる場合があることもわかった。

Table 3 Classification accuracy of Kikomachi in the first greenhouse (unit : %)

Days after planting	Virus assay	Classifier output			
		TulMV		LSV	
		Diseased	Healthy	Diseased	Healthy
24	Diseased	56.1	43.9	72.2	27.8
	Healthy	29.8	70.2	6.1	93.9
34	Diseased	73.8	26.2	69.9	30.1
	Healthy	8.0	92.0	5.0	95.0
42	Diseased	60.8	39.2	76.2	23.8
	Healthy	19.3	80.7	4.1	95.9
48	Diseased	69.0	31.0	66.2	33.8
	Healthy	11.3	88.7	5.6	94.4
56	Diseased	86.6	13.4	91.5	8.5
	Healthy	2.7	97.3	1.1	98.9
63	Diseased	79.9	20.1	91.5	8.5
	Healthy	4.9	95.1	0.9	99.1
69	Diseased	79.8	20.2	88.7	11.3
	Healthy	5.9	94.1	1.4	98.6
77	Diseased	64.3	35.7	76.6	23.4
	Healthy	9.9	90.1	3.1	96.9
84	Diseased	80.6	19.4	71.7	28.3
	Healthy	4.3	95.7	3.0	97.0

Table 4 Classification accuracy of Rose Beauty(unit : %)

Days after planting	Virus assay	Classifier output			
		TulMV		TuSV	
		Diseased	Healthy	Diseased	Healthy
24	Diseased	56.4	43.6	54.5	45.5
	Healthy	18.7	81.3	29.2	70.8
34	Diseased	60.1	39.9	69.5	30.5
	Healthy	13.3	86.7	10.0	90.0
42	Diseased	83.1	16.9	80.8	19.2
	Healthy	2.4	97.6	5.4	94.6
48	Diseased	71.6	28.4	81.6	18.4
	Healthy	4.4	95.6	4.1	95.9
56	Diseased	82.9	17.1	79.1	20.9
	Healthy	3.0	97.0	5.8	94.2
63	Diseased	85.7	14.3	89.2	10.8
	Healthy	0.6	99.4	2.8	97.3
69	Diseased	89.7	10.3	83.1	16.9
	Healthy	1.4	98.6	3.9	96.1

4. 結言

チューリップの複数品種・病症を対象として、カメラ画像による病株判定システムの学習に資する画像データベースの作成、および病株判定システムの試作・評価を行い、概して高い正答率が得られた。

参考文献

1) 金森ほか：富山県産業技術研究開発センター研究報告, 33 (2019), 75-76.

キーワード：チューリップ、画像、病株、判定、深層学習、機械学習

Development of Disease Determination System Using Tulip Camera Images

Mechanics and Digital Engineering Section; Naoki KANAMORI,
Mechanics and Electronics Research Institute; Toshihiko SAYAMA,
Mechanics and Digital Engineering Section; Eiji Honbo,
Bulletin of the Horticultural Research Institute, Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center;
Mami NISHIMURA, Hajime YAEGASHI and Kiyokazu YAMAGUCHI

We created image databases that contribute to learning of disease determination systems using tulip camera images, and prototyped and evaluated disease determination systems.

ウェアラブル小型電源の開発

電子デバイス技術課　寺澤孝志、角田龍則

1. 緒言

ウェアラブル小型電源の開発を目標に、有機薄膜太陽電池（OSC：Organic thin-film Solar Cell）の特性の安定化に取り組んだ。熱処理等の作製プロセスの見直しにより、活性層がバルクヘテロ構造のOSCにおいて特性の安定化（短絡電流密度 2mA/cm^2、開放電圧 0.2V）を図った。
さらにウェアラブル機器用の小型電源として、OSC のモジュール化を検討した。動作電流は大面積化または並列化、動作電圧は直列化が有効であることを確認した。OSC 電源モジュールからコンバータ回路を介してウェアラブル機器のバッテリーへの充電を試みた。

2. 実験方法、実験結果および考察

2.1 有機薄膜太陽電池の構成と作製方法

有機薄膜太陽電池の構成およびエネルギー準位を図 1 に示す。

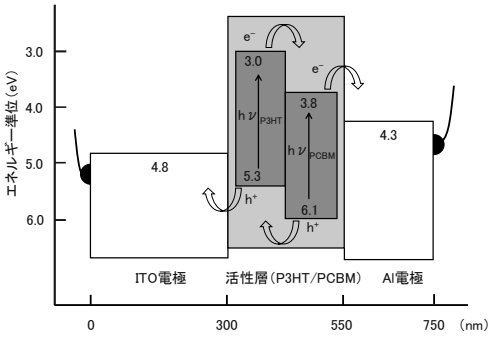


Fig. 1 Structure of OSC and energy levels

基板は、ITO 膜付きガラス基板（1001、ジオマテック㈱）を用いた。ITO 電極の抵抗値は、5Ω/sq.、膜厚は 300nm である。基板は、酸素プラズマ処理を行い使用した。
活性層は、ポリ(3-ヘキシルチオフェン-2,5-ジイル)（P3HT）と[6,6]-フェニル C_{61} 酪酸メチルエステル（PCBM）（共に富士フィルム和光純薬㈱）のジクロロベンゼン混合溶液をスピンコートすることにより成膜した。この活性層内では、P3HT の高分子ネットワーク中に島状の PCBM の分散したバルクヘテロ接合が形成される[1)]。形成過程で、溶媒の揮発、下層の性状、熱処理温度の影響で特性が変化する。ジクロロベンゼン混合溶液（溶質/溶媒）は、（P3HT;15mg＋PCBM;12mg）/ml を用い、ITO 膜付きガラス基板上にスピンコートし、乾燥後、120℃の窒素雰囲気で 10 分間、熱処理を行った。これによりバルクヘテロ接合の安定化を行った。活性層膜厚は 250nm である。対向電極は、アルミニウム（Al：99.5%、㈱高純度化学研究所）を真空蒸着により、膜厚 200nm を成膜した。作製した有機薄膜太陽電池（OSC）の外観を、図 2 に示す。太陽電池出力特性（J-V 特性、最大電力）は、ソーラーシミュレータ（CEP-25、分光計器㈱）を用いて測定した。

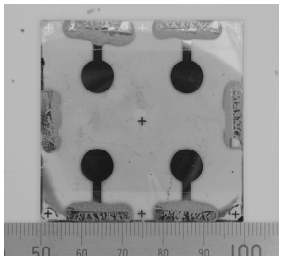


Fig. 2 Appearance of OSC

2.2　OSC の接続方法と出力特性

図 3 に、太陽電池出力特性（J-V 特性）を示す。OSC 単体（cell1～cell4）では、短絡電流密度は 2.1～2.8mA/cm^2、開放電圧 V は 0.2～0.22V、最大電力 0.11～0.17mW であった。2 つの cell を直列に接続した場合、電流密度 J は低下するものの、開放電圧 V は、単体の 0.20～0.22V から 0.25～0.26V と増加した。増加量が小さいのは、接触抵抗によるところが大きく、接続部も太陽電池モジュールとして一括して作製することにより、特性の低下を改善できると考えている。

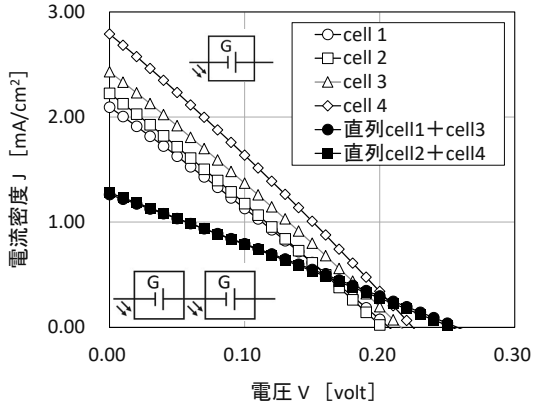


Fig. 3 OSC output characteristics (serial connection)

図 4 に、太陽電池出力特性を示す。単体（cell3～cell6）では、短絡電流密度 J は 2.0～2.8mA/cm^2、開放電圧 V は 0.17～0.22V、最大電力 0.10～0.17mW であった。２個の cell または 4 個の cell を並列に接続した場合、短絡電流密度 J は、２個の 3.9mA/cm^2、4 個の 5.3mA/cm^2 と増加した。開放電圧 V はそれぞれ、２個の 0.18V、４個の 0.15V と低下した。電流密度の増加量は大きかった。試作した cell の構造上、並列接続は直列接続に比べ接触箇所が少なかったためと考えている。

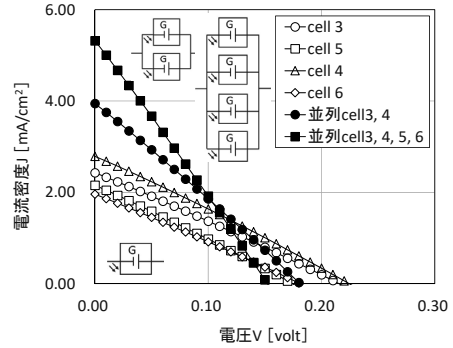


Fig. 4 OSC output characteristics (parallel connection)

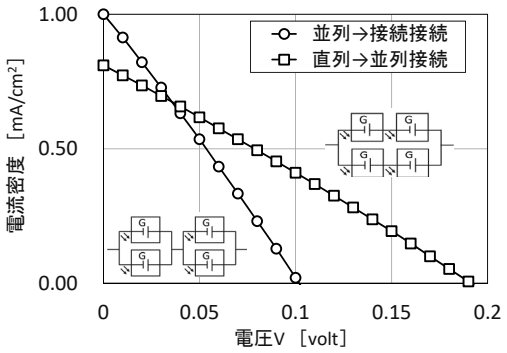


Fig. 5 OSC output characteristics (connection method)

図 5 に、太陽電池出力特性と接続方法を示す。

2 個の cell を並列接続し、直列に接続したもの（並列→直列接続）と、2 個の cell を直列接続し、並列に接続したもの（直列→並列接続）とを示す。それぞれ接続方法を反映し、並列→直列接続では電流密度を大きくでき、直列→並列接続では電圧 V を大きくできることが判った。最大電力は、それぞれ 0.03、0.04mW であった。

以上のことから、直列接続により電圧 V を、並列接続により電流密度を調整でき、OSC 電源モジュールを作製することにより、電源が作製できることを確認した。一方で、バルクヘテロ構造の OSC であるために、開放電圧（または OSC の動作電圧）が稼げないと考えている。動作電圧の安定化には、正孔輸送層の挿入（ITO 電極と活性層の間）が有効であることが判っている[2)]。図 6 に、正孔輸送層（ポリアニリン）を挿入した OSC の太陽電池出力特性を示す。短絡電流密度 J、開放電圧 V とも改善され、最大電力は 0.56 mW と向上する。

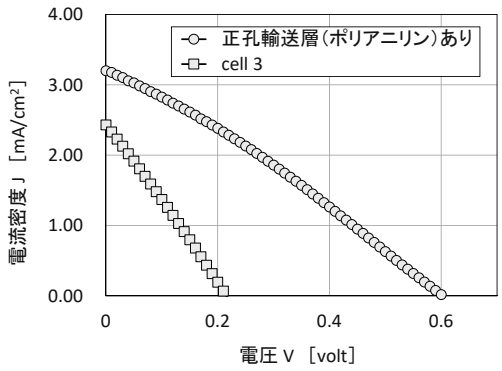


Fig. 6 OSC output characteristics (hole transport layer)

2.3 OSC 電源モジュールの試作と動作確認

現在の OSC 電源モジュールの性能は、正孔輸送層ありの OSC を用いた面積 2cm² のもので、動作電流 4mA、動作電圧 0.5V である。スマートウオッチの電源としては 100mA･h、5V 程度が必要である。そこで図 7 に示すように、OSC の動作電圧を DC-DC コンバータ（TPS61200、T I Inc.）を介して 5V に昇圧し、スマートウオッチのバッテリーに充電を行った。課題は、電源モジュールの高出力化である。

Fig. 7 Charging by OSC power supply module

3. 結言

有機薄膜太陽電池を用いたウェアラブル小型電源を検討した結果、動作電流は大面積化または並列化、動作電圧は直列化が有効であり、OSC 電源モジュールを試作し動作を確認した。

参考文献

1) 富山県産業技術研究開発センター研究報告 33, 87-88 (2019)
2) 若い研究者を育てる会研究論文集 31,36-42(2018)

キーワード：有機薄膜太陽電池、直列接続、並列接続、OSC 電源モジュール

Study on Small Power Supply for Wearable Device Using Organic Thin-film Solar Cell

Electronics and Device Technology Section; Takashi TERASAWA, Tatsunori KAKUDA

As a result of studying a wearable compact power supply using organic thin-film solar cells (OSCs), we have stabilized the characteristics (short-circuit current density 2mA/cm², open-circuit voltage 0.2V) in an OSC whose active layer is a bulk heterostructure. For the power supply module of OSCs, it was confirmed that increasing the area of OSCs or parallel connection was effective for increasing the operating current, and series connection was effective for increasing the operating voltage. Using the power supply module of OSCs, we worked on charging the battery of the wearable device.

アルミ材へのリベットの超音波接合に関する研究

機械情報システム課　羽柴利直[*1]
企画管理部　石黒智明

1. 緒言

超音波接合は、短時間で接合が可能であること等の多くの利点がある接合方法であるが、リベット形状の部品を加振材とする場合、一般的なローレット加工面を有するホーンでは、リベットの軸部を伝搬させることによる加振振動の減衰により、接合界面で清浄面を露出させるための摩擦振動を得ることが困難である。このようなリベット形状部品について、リベットの軸部が通る穴を設け、リベット頭部を直接ホーンのローレット加工面で加振できるホーンにより、接合が可能となることが明らかになっているが、リベット頭部の接合面が平らな形状では、接合がその外縁部に限定されるという問題がある[1)]。

本研究では、アルミリベットを加振材、アルミ合金板材を固定材として、接合界面の摩擦状態の改善による接合強度の向上のため、リベット頭部やホーンの形状を工夫し、これらの超音波接合を試みた。

2. 実験方法

実験に用いた試験片を図 1 に示す。本研究では、加振材を軸径 3mm のアルミリベット（A1070W）、固定材を板厚 2mm の ADC12 板材とした。リベットは、頭部の形状が平らなリベットに加え、リベット頭部の中心部の接合を生じさせることを目的とした半球状のリベット、リベット頭部の中心付近への加圧を目的とした皿状のリベット（以下、それぞれ平リベット、丸リベット、皿リベットと示す。）の 3 種とした。接合位置は固定材の端から 10mm の位置として、その反対側の端から 10mm の位置をクランプゴムにて固定して接合を行った。

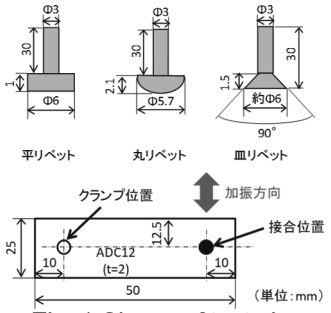


Fig. 1 Shape of test piece

これらの試験片の接合のために試作したホーンを図 2 に示す。平リベットおよび丸リベットの加振には、ローレット加工面を有するホーンを用い、皿リベットの加振には、リベット頭部と形状が合致する円すい穴を有するホーン（接合試験には図 2 の A 面を使用）を用いた。以下、それぞれローレットホーン、円すい穴ホーンと示す。いずれのホーンも、リベットの軸部が通る穴を設け、リベット頭部を直接加圧して固定し、加振できる構造とした。

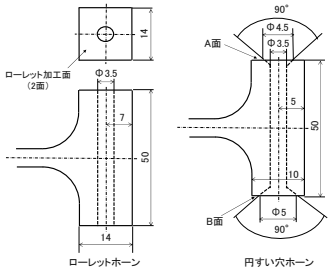


Fig. 2 Shape of welding horn for rivet joining

接合試験には超音波工業株式会社製の接合機 USW0620G3X（出力 600W、加振周波数 19kHz）を用いた。接合条件は、加圧力を 100～400N、加振時間を 0.1～4s とした。また、接合されたリベットを万能試験機（インストロンジャパン製 5567）にて軸方向に 1mm/min の試験速度で引っ張り、接合強度を求めた。

3. 実験結果および考察

試作したホーンを用いて接合試験を行い、接合強度を測定した結果を図 3 に示す。いずれのリベットも加振時間が 0.5～2s において接合強度が最大となり、それよりも長時間の加振では減少に転じる傾向が見られたが、丸リベットでは急激な減少は見られず、アルミリベットの引張強さの規格値（55N/mm^2 以上 95N/mm^2 以下[2)]）と同等の高い接合強度を維持することが明らかになった。

ここで、加振時の接合界面の摩擦状態を明らかにするため、それぞれの接合条件におけるホーンの加振に要した振動エネルギーを測定し、平均出力を算出した。その結果を図 4 に示す。平均出力（W）は、ホーンの加振に要した振動エネルギー（J）を加振時間（s）で割ることにより求められる値である。図 4 から、いずれのリベットにおいても、接合強度が最大となった加振時間以降は、平均出力がほぼ一定になることが明らかになった。このことから、いずれのリベットも加振初期には接合界面において摩擦が生じ、清浄面が露出した部分が接合起点となって接合面積が増大するとともに接合が強固となり、ホーンの加振の抵抗が大きくなったと推測される。一方、接合界面での拘束がある程度強固になると、加振振動は逆に接

*1 現　ものづくり研究開発センター

合部の破壊に作用し、ホーンの加振抵抗が大きい状態が維持されながら接合強度が低下したと推測される。

丸リベットは、条件によっては加振時間が 0.1s でも接合が生じている。これは、リベット頭部の半球形状の頂点に加圧力が集中し、加振により清浄面が露出しやすくなったためと考えられる。また、この部分が接合起点となり、加圧力の集中によりアルミ板材に沈み込むことで動きが拘束され、加振による接合部の破壊が抑制されたために、接合強度が長時間加振でも維持されたと推測される。

皿リベットは、平リベットよりも短い加振時間で接合強度が低下に転じる傾向が見られた。これは、平均出力が平リベットと同等であったことから、平リベットと同様に接合面積が拡大したと推測されるが、リベット頭部の外縁部が加圧されないために、接合部の外縁部分が加振により破壊されやすくなったためと考えられる。

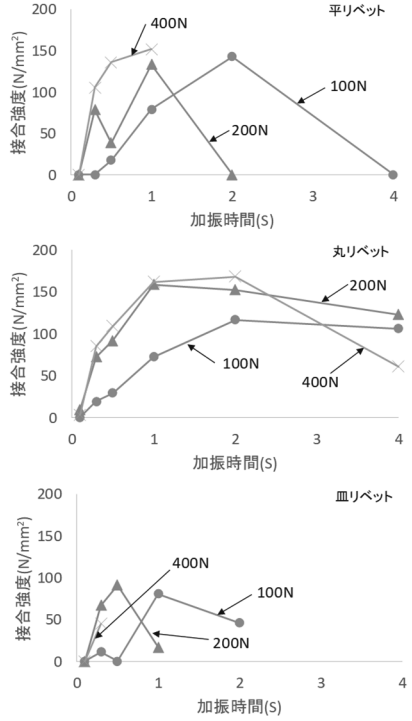


Fig. 3 Measurement result of rivet joining strength

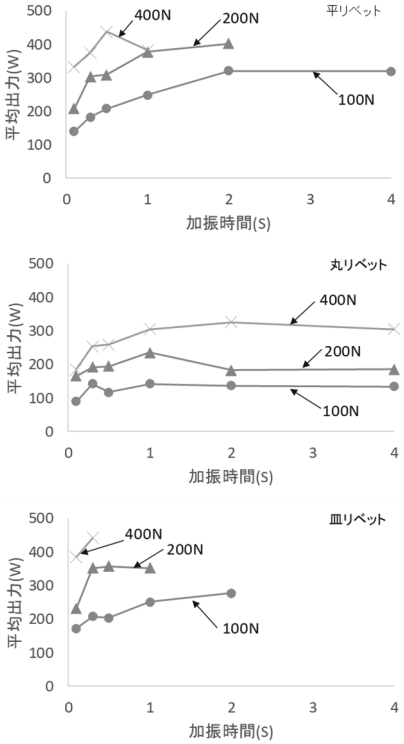


Fig. 4 Measurement result of average output

4. 結言

アルミリベットの頭部やホーンの形状を工夫し、試作したホーンにて超音波接合を試みた結果、丸リベットでは加振時間によらず安定した高強度接合が可能になることが明らかになり、実際の製品への適用の可能性が確認された。

参考文献

1)羽柴ほか、若い研究者を育てる会「研究論文集」,32, 8-14（平成 30 年度）

2)JIS H 4040:2006　アルミニウム及びアルミニウム合金の棒及び線

キーワード：超音波接合、アルミ材、リベット、ホーン、加振振動

Study on Ultrasonic Welding of Aluminum Rivets

Mechanics and Digital Engineering Section ; Toshinao HASHIBA[*1]

Monozukuri Research and Development Center ; Tomoaki ISHIKURO

The aim of this study is to develop practical techniques of joining aluminum rivets to aluminum materials by ultrasonic welding. Some shapes of welding horns were manufactured in order to join some shapes of rivets, and ultrasonic welding was carried out with using them. As a result of the experiment, average output considered to be related to breakage of the point already joined was confirmed, and the hemispherical head rivet has improved joining strength under a wide range of weld time.

非接触 3D スキャナによる表面形状測定の高精度化に関する研究

機械電子研究所　吉田勉、金森直希、佐山利彦[*1]
ものづくりセンター　清水孝晃[*2]、総合デザインセンター　堂本拓哉

1. 緒言

非接触 3D スキャナはリバースエンジニアリングの用途に非常に適している。測定対象の材質が金属の場合、表面の光沢により測定は困難となるため、一般的には、白色スプレーを塗布して表面を拡散表面としてから測定が実施される。しかしながら、白色粉末の膜厚が誤差として上積みされ、その誤差が管理できないことが課題となっている。本研究では、非接触 3D スキャナの測定精度などの特性を調べるとともに、スプレーレス測定方法の可能性について検討を行っている。本年度は、金型用部品（ロケートリンク）を対象に検討を行ったので、その詳細について述べる。

2. 実験方法

2.1　実験に使用した非接触 3D スキャナ

表 1 に示す非接触 3D スキャナを実験に用いた。

非接触 3D スキャナは、回転テーブル（以下 RT と記す）を付属し、RT を回転させながら測定できる。

表 1　実験に用いた非接触 3D スキャナの概要

型式	CARL ZEISS 製 COMET L3D8M
測定方法	縞投影カメラ方式
測定範囲	140×105×80mm
測定点間隔	0.042mm

2.2 試験体

測定実験に用いた試験体を図 1 に示す。試験体は 3 体の金型用部品(ロケートリンク)であり、旋盤加工で製造されたもので、表面には周期的な加工条痕が認められた。試験体外径は全て呼び寸法 φ30mm である。部品 1 の穴は公称角 45°の円錐形である。部品 2 と部品 3 の上面と下面との段差は公称値 11mm、8mm である。各試験体の寸法・角度・表面形状については、当センター所有の接触式三次元測定機((株)ミツトヨ製 型式 LEGEX574　以下 CMM と記す。)を用い、校正を行った。

部品 1　　部品 2　　部品 3

図 1 測定実験に用いた試験体

2.3 測定方法

試験体を作成・用意した専用ジグに搭載し、RT 上ほぼ中央位置に設置した。照射及び観察は、鉛直方向から約 8 度傾斜した落射方向から行った。RT を回転させながら、一定角度ピッチで測定した。なお、専用ジグ上に測定用のマーキングを設け、測定実施前に、試験体表面をエタノールで脱脂した。図 2 に測定時の様子を示す。

図 2　測定実験

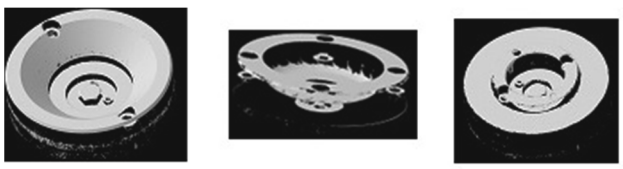
3. 実験結果および考察

露光時間 417msec 測定角度ピッチ 30°で、測定して得られた点群データを図 3 に示す。図から、部品 1 の測定点群データは大方取得されているが、その他は測定点群データが欠落しているのが確認される。

測定点群データの欠落がもたらす測定結果の影響の低減を図る目的とし、測定角度ピッチを 15°と細かくし、スプレーレス測定（露光時間 407msec の測定結果に露光時間 100msec の結果を重ね合わせ合成する測定）を実施した場合に得られた測定点群データを図 4 に示す。図から、測定点群データが良好に取得できているのが確認される。測定に要する時間は概ね 25 分であった。ただし、壁面、細かな複雑箇所は良好にデータ取得できてないのが確認される。

部品 1　　部品 2　　部品 3

図 3 測定点群データ(測定角度ピッチ 30°露光時間 417msec)



部品 1　　部品 2　　部品 3

図 4　測定点群データ(測定角度ピッチ 15°スプレーレス測定)

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構、*2 現　機械電子研究所

このようにして得られた点群データを基に、表明形状解析した結果の一例を図 5 に示す。

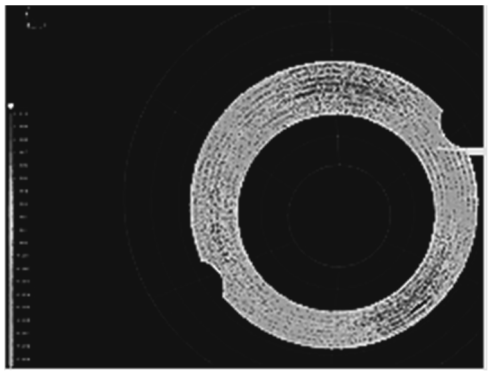


図 5　部品 1 円錐部分の解析結果

図から、部品 1 表面の円錐部分に角度方向に 3 等分するような凸形状歪が生じているのが認められる。このような歪は、部品 1 の上平面及び、部品 3 の上下平面にも認められた。

部品 1 の上平面の平面度、円錐部の円錐度、円錐部のなす角度、部品 2 の段差、部品 3 の上下面の平面度及び段差について、ノーマル測定、スプレーレス測定各々で解析評価した結果及びCMM で校正した結果を表 2 に示す。

表から、測定ピッチを細かく、スプレーレス方式で測定することにより、点群データの欠落が改善されるとともに、表面形状測定誤差が低減されることが認められる。　また、非接触 3D スキャナと CMM との測定偏差は、平面度、円錐度、段差については概ね 5μm 以下、角度については 0.01°以下の良好な結果が認められた。

ただし、部品 3 の上面平面度については測定結果の差が認められる。これは歪が著しく発生した箇所が穴近傍にあり、CMM のタッチプローブが接触・検出できなかったため、値が過小となったと考えている。

表 2　測定解析結果

測定方式	部品 1			部品 2	部品 3		
	平面度 (mm)	円錐度 (mm)	角度 (deg)	段差 (mm)	上面平面度 (mm)	下面平面度 (mm)	段差 (mm)
ノーマル	0.014	0.024	44.972	14.982	0.076	0.062	6.160
スプレーレス	0.011	0.019	44.973	14.987	0.016	0.016	6.162
CMM	0.011	0.019	44.979	14.988	0.003	0.017	6.160

4 結言

金型用部品（旋盤加工製品）の表面形状について、スプレーレス測定がほぼ可能であり、表面形状・寸法角度評価では、実用上、十分な精度で測定結果が得られることが明らかとなり、良好な測定事例が得られた。

一方、形状が複雑な所では 2 次反射光で歪みが生じ、壁面では検出光量が僅かなため、測定できなかった。

キーワード：非接触 3D スキャナ、高精度測定、スプレーレス測定、金属光沢面

Study about High Quality Surface Shape Measurements with Non-Contacting 3D-Scanner

Mechanics and Electronics Research Institute: Tsutomu YOSHIDA, Naoki KANAMORI, Toshihiko SAYAMA
Monozukuri Research and Development Center: Takaaki SHIMIZU,
Design Research Center: Takuya DOHMOTO

Surface measurements of glossy steel surfaces with Non-Contacting 3D-scanner have been considered to be ultimately difficult to be operated. The new 3D-scanners that have the efficacy to measure glossy surface shape, named ‘non-spraying measuring method’, however, have been burgeoning these years.　In this research, the adaptation of the method have been delved into concerning about the precisely milled products of steel material.

デジタルカメラを用いた振動解析の高周波化に関する研究

機械情報システム課　釣谷浩之　金森直希

1. 緒言

製品開発の際には、振動が製品に及ぼす影響を把握するために、振動解析が広く行われている。一般に振動計測には、加速度センサーが用いられるが、センサーを取付けた場所しか計測ができない、センサーの取付けが困難な場合がある、センサーの取付けによって振動特性が変化する場合がある、などの問題がある。この問題を解決するために、デジタル画像相関法を用いて、動画から振動計測を行う方法をこれまで開発してきた[1]。しかし、動画を用いた解析では、動画のレームレートにより解析できる周波数が制限され、通常のフレームレート(60fps)では、高い周波数の振動解析ができないという課題があり、これを解決するために、高価な高速度カメラを用いれば、利便性が損なわれてしまう。一方で、振動が一定で、振動周波数がある程度推定できる状況下では、アンダーサンプリングしたデータから高周波の解析を行うことが可能である[2]。例えば、現実の場面でも、振動試験機を用いて強制加振した製品の応答特性を計測するような場合は、アンダーサンプリングデータから高周波振動特性を解析できると考えられる。本研究では、一般的な動画のフレームレートで撮影した画像から、高周波振動特性の解析を可能にすることで、デジタルカメラによる簡易な振動測定法の適用範囲を大きく拡大しようとするものである。

2. 実験方法

2.1 試験体および振動状態の撮影

試験体は、縦 90.3 mm×横 50 mm×高さ 22.2 mm の ABS 樹脂製の筐体の内部に FR-4 基板をネジで固定したものである。この試験体を振動試験機に固定し、周波数は、15Hz, 35Hz, 80Hz, 190Hz, 430Hz の 5 段階、速度振幅 0.1m/s の一定振動で強制振動させ、デジタルカメラによって動画撮影を行った。動画の画像サイズは、縦 1,080pixel×横 1,920pixel、撮影間隔は、秒間 60 フレームとし、180 フレーム分、3 秒の画像を用いてデジタル画像相関法により変位を計測した。デジタル画像相関法による変位計測を確実にするため、試験体に黒色の塗料で薄く着色し、ランダムパターンを施した。

2.2 デジタル画像相関法による計測

デジタル画像相関法では、サブセットと呼ばれる一定のサイズの領域を決め、この領域単位で計算を行う。まず、粗探索により、残差が最小となる平行移動量(u_0, v_0)を各画素について求める。次に詳細探索を行い、1pixel 未満の精度で変位を求める。詳細探索では、次式で示す相互相関式を基礎とした評価関数を用いる。

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-M}^{M} I_d(X+i, Y+j) I_u(x+i, y+j)}{\sqrt{\sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-M}^{M} I_d(X+i, Y+j)^2 \sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-M}^{M} I_u(x+i, y+j)^2}} \quad \cdots (1)$$

X, Y は、次式で表され、剛体変形および一様ひずみまでを考慮している。

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j \ , \quad Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j \quad \cdots (2)$$

ここで、(u, v) は、サブセットの中心における変位を示している。評価関数の未知数 $(u, v, \partial u/\partial x, \partial u/\partial y, \partial v/\partial x, \partial v/\partial y)$ を Newton-Raphson 法を用いて求めることで、高い精度で変位計測が可能になる。

2.3 アンダーサンプリングによるパラメータの推定

今、観察対象の振動が、次式で表される単一正弦波であることがわかっているものとする。

$$x(t) = A\cos(2\pi f t + \theta) + d \quad \cdots (3)$$

ここで、A は振幅、f は周波数、θ は初期位相、d は直流成分の大きさである。この振動を周波数 f_s でサンプリングし、標本値を得るものとする。このとき、連続した 4 標本を用いることで、Prony 法により各パラメータの推定値 $(\tilde{A}, \tilde{f}, \tilde{\theta}, \tilde{d})$ を求めることができる。本研究では、 1 つの周波数あたり 3 秒、180 標本について、計算を行った。実際の振動周波数 f に応じてサンプリングモードを Fig.1 のように定義すると、アンダーサンプリングで標本化したデータを用いた場合、Prony 法により求めたパラメータの推定値と実際の振動のパラメータの間には、モードに応じて次の関係が成り立つ[2]。

$$m^+\text{モード}: \tilde{f} = f - mf_s,\ \tilde{\theta} = \theta,\ \tilde{A} = A$$
$$m^-\text{モード}: \tilde{f} = (m+1)f_s - f,\ \tilde{\theta} = -\theta,\ \tilde{A} = A \quad \cdots (4)$$

これにより、アンダーサンプリングにより得られたデータから実際の振動パラメータを推定した。

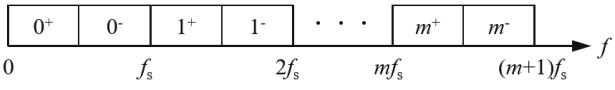


Fig. 1 Sampling mode definition

Table 1 Estimated Frequency from Moving Images

試験機 周波数	実測からの 推定周波数	乖離率	標準偏差	有効データ の割合
15Hz	15.03Hz	0.19%	4.21%	99.44%
35Hz	35.23Hz	0.65%	5.13%	96.05%
80Hz	79.97Hz	-0.04%	1.60%	97.18%
190Hz	190.95Hz	0.50%	1.94%	66.10%
430Hz	434.90Hz	1.14%	0.59%	53.67%

Table 2 Estimated Amplitude from Moving Images

試験機 周波数	試験機 変位振幅	実測からの 推定変位振幅	乖離率	標準偏差
15Hz	1.061mm$_{0\text{-}p}$	1.049mm$_{0\text{-}p}$	-1.2%	3.03%
35Hz	0.455mm$_{0\text{-}p}$	0.462mm$_{0\text{-}p}$	1.6%	19.51%
80Hz	0.199mm$_{0\text{-}p}$	0.174mm$_{0\text{-}p}$	-12.5%	10.72%
190Hz	0.084mm$_{0\text{-}p}$	0.077mm$_{0\text{-}p}$	-7.6%	60.10%
430Hz	0.037mm$_{0\text{-}p}$	0.008mm$_{0\text{-}p}$	-77.7%	53.64%

3. 実験結果

Table 1 は、撮影した動画から推定した周波数を示す。変位の計測は、試験体の中央で行い、3 秒分、180 標本について、連続する 4 標本を用いて求めた周波数を平均したものである。実際の振動周波数からの乖離率、標準偏差、計算できたデータの割合も併記してある。周波数については、どの周波数でも実際の周波数との乖離も小さく、概ね正しく計測できている。また、標準偏差が小さくバラつきも少ないことがわかる。ただ、比較的高い周波数の 190Hz および 430Hz では、計算できたデータ数が少なくなっている。Table 2 は、Table 1 で用いたものと同じ撮影データから推定した変位振幅を示す。Table.1 と同様に、3 秒分の変位振幅を平均したものを示す。振動試験機で設定された変位振幅、乖離率、標準偏差などを併記している。15Hz および 35Hz では、乖離率が小さく、正しく計測できていると考えられる。80Hz, 190Hz では、若干乖離が大きくなるものの、許容範囲であると考えられる。430Hz では、乖離が非常に大きく、変位振幅が正しく計測できているとは言えない。また、190Hz, 430Hz では、標準偏差が大きく、計測結果のバラつきが大きいことを示している。

計算不能となるデータの増加やバラつきについては、標本数を増やすことで、ある程度対処が可能であると考えられる。430Hz で変位振幅が正しく計測できなかったのは、周波数が増加すると変位自体が非常に小さくなるためと考えられる。

4. 結言

本研究では、デジタルカメラによる簡易な振動測定法の適用範囲を拡大するために、一般的な動画のフレームレートである 60fps で撮影した動画から、高周波の振動計測を試みた。15Hz～430Hz の任意の 5 周波数について計測を行った結果、周波数については、正しく計測することができた。変位振幅については、430Hz では、正しく計測することができなかった。これは、変位量が非常に小さくなったため、正しく計測できなかったものと考えられる。高い周波数では、慎重に、速度、加速度、変位の条件を選定する必要がある。また、周波数が高くなるに従って、計測不能なデータの割合が増加し、データのバラつきも大きくなることがわかった。これについては、充分な量の標本を使用することで、ある程度対処できるものと考えられる。

参考文献

1) 釣谷浩之ほか，富山県産業技術研究開発センター研究報告，No33(2019)，pp.77-78
2) 久保和良，計測自動制御学会論文集，Vol.43，No.9(2007)，pp.765-773

キーワード：デジタル画像相関法、振動計測、振動解析、アンダーサンプリング

Vibration Analysis from Undersampled Moving Images Based on Digital Image Correlation

Mechanics and Digital Engineering Section; Hiroyuki TSURITANI, Naoki KANAMORI

In this work, we tried vibration analysis from undersampled moving images. Electronic substrate fixed on plastic case was vibrated by vibration-testing machine that frequency are 15Hz, 35Hz, 80Hz, 190Hz, and 430Hz. Moving images were recoded by digital camera that flame rate is 60 fps. Displacement distribution were measured from moving images by digital image correlation. Amplitude and frequency of vibration were calculated from displacement distribution by prony method. In the result, Frequency were precise calculated. But amplitude was not calculated at 430Hz.

大量の教師データを要する検知/判別システムのための学習作業の省力化に関する研究

機械情報システム課　金森直希　釣谷浩之

1. 緒言

事前に大量の教師データによる学習を要するAIを用いた検知／判別システムの導入が、製造業を始め各種産業において進んでいる。それらのシステムを稼働させるには、事前に教師データを大量に収集してAIへ入力する作業を要するため、工程の種類や生産規模によっては作業負担がAI導入前よりも増加する懸念がある。とくに、低価格製品を作る製造ラインや多品種・少量生産の製造ラインでそのような事態が起こりやすいと考えられ、近年発達が目覚ましいAI技術の恩恵をより受けにくくなっていると考えられる。検知／判別精度を保ちつつ教師データ量を大幅に削減できれば、工程の省力化に繋がる。

そこで、本研究では、既に取得済の教師データをもとに、それらのデータが取得された際の状況を考慮して新たな教師データを作成して教師データ群を拡張する方法を検討した。

2. 対象とするAIシステムおよび教師データの拡張方法

カラーカメラで撮影されたデジタル画像を2つのクラスに分別するAIシステムを対象とした。具体的には、畳み込みニューラルネットワークにより画像の特徴を抽出し、SVM（サポートベクタマシン）により2クラスに分別するシステムである。

撮影時の状況を考慮したデータ拡張の考え方として、(1) カメラと撮影対象の幾何学的関係の変化、(2) カメラ内部のレンズ位置の変化、および (3) 現像段階における変化（画素信号の色空間特徴やゲインの変化）、の3点に着目した。これら3つの「変化」を仮想的に実現する方法として今回の試行では、元の画像に対して、(1) 画像の回転、(2) 画像のボカし、または (3) 画像の鮮鋭化、を実施し、元の画像群に加えることでデータ拡張を行った。元の画像1枚に対してデータ拡張を1回のみ実施することとしたため、データ拡張後の画像枚数は元の画像枚数の2倍となる。

3. 拡張データによる分別実験

3.1 概要

2章で述べたAIシステムへ入力する画像群として、異なる24の画像群を用意し、それぞれの画像群に対してデータ拡張を実施した。分別実験は、(1) 拡張された画像群を教師用データと評価用データとに 7:3 の割合で分割し、(2) 教師用データを使ってAIを学習させ、(3) 評価用データを使ってAIの正答率(第1クラス目の正答率)を算出する、という手順で行い、これを3回実施して正答率の平均値を求めた。さらに、これを24の画像群について実施し、正答率の平均値を算出した。なお、データ拡張前の正答率の平均値は96.0%であり、この値をデータ拡張法の比較・評価のための基準値とした。

3.2 画像を回転させた場合

画像を指定した角度範囲内でランダムに回転させることにより作成した画像で、データ拡張した場合の正答率を図1に示す。±0.5度から±10度までは、正答率が基準値よりも大きくなり、より小さな角度の場合に正答率がより向上する傾向が見られた。±0.5度でデータ拡張する場合、元の教師データを 50%減少させても正答率は基準値と同程度を維持できることがわかった。

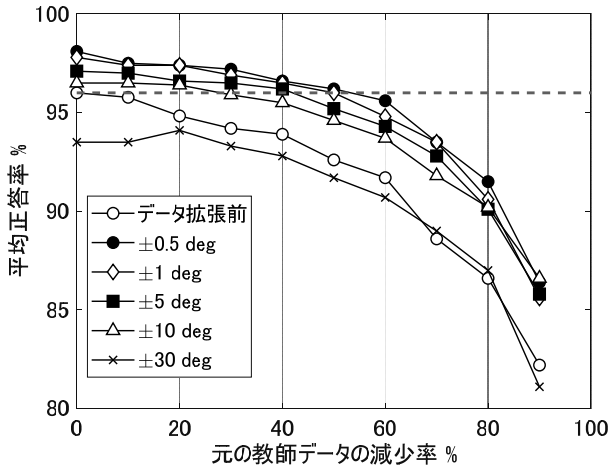


図1 画像の回転によりデータ拡張した場合の正答率

3.3 画像をボカした場合

画像を指定したパラメータでボカす（ガウスフィルタによりフィルタリングする）ことにより作成した画像でデータ拡張した場合の正答率を図2に示す。試行したすべてのパラメータにおいて正答率が基準値を上回った。とくに、$\sigma = 0.1$ の場合に正答率が高くなり、このとき元の教師データを 60%減少させても正答率は基準値と同程度を維持できることがわかった。

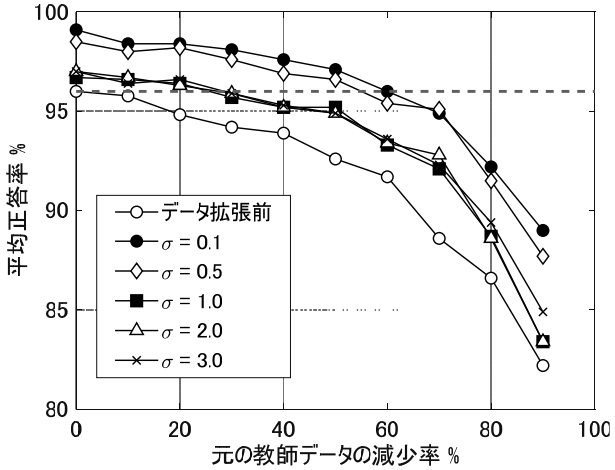


図 2 画像のボカしによるデータ拡張の効果

3.4 画像を鮮鋭化した場合

画像を指定したパラメータで鮮鋭化することにより作成した画像でデータ拡張した場合の正答率を図3に示す。試行したすべてのパラメータにおいて正答率が基準値を上回った。とくに、r=0.5 の場合に正答率が高くなり、このとき元の教師データを 60%減少させても正答率は基準値と同程度を維持できることがわかった。

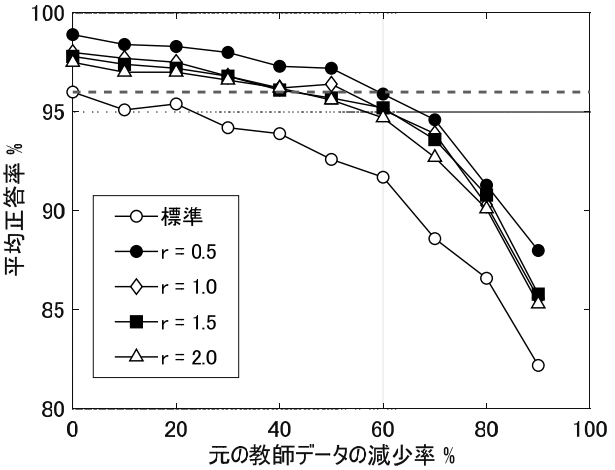


図 3 画像の鮮鋭化によるデータ拡張の効果

3.5 データ拡張法をすべて実施した場合

3.2～3.4 節でそれぞれ最も正答率が高くなった場合のデータ拡張法をすべて実施した場合の正答率を図 4 に示す。元の画像に対して回転、ボカし、および鮮鋭化をそれぞれ実施して画像を集約したものであり、データ拡張後の画像数は元の 4 倍になっている。今回検討した 3 つのデータ拡張法をすべて実施した場合、いずれかのデータ拡張法 1 つを実施した場合よりも正答率が高くなった。今回の試行では、元の教師データを 80%減少させても正答率は基準値と同程度を維持できることがわかった。

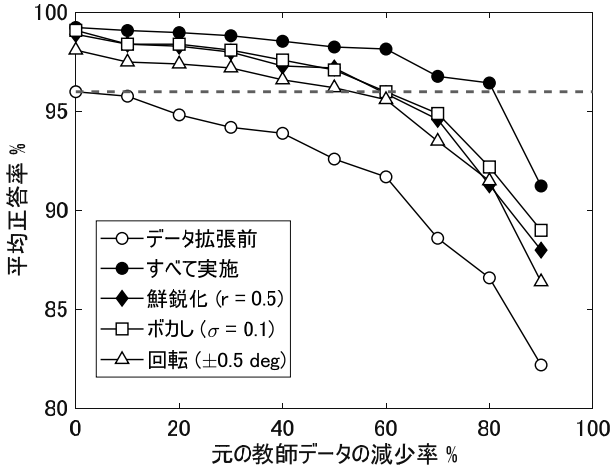


図 4 画像の回転・ボカし・鮮鋭化によりデータ拡張した場合の正答率

4. 結言

既に取得済の教師データをもとに、それらのデータが取得された際の状況を考慮して新たな教師データを作成して教師データ群を拡張する方法を検討し、画像分別システムを対象として具体的な 3 つのデータ拡張法を試行したところ、今回の AI システムおよび画像群においては、教師画像数を大幅に減少させた場合でも元の教師画像枚数と同程度の分別精度を維持できることがわかった。

キーワード：教師データ、データ拡張、画像処理、深層学習、機械学習

Research on Labor Saving of Learning Work of Detection / Classification System That Requires a Large Amount of Training Data

Mechanics and Digital Engineering Section; Naoki KANAMORI and Hiroyuki TSURITANI

For the AI teacher image group with a significantly reduced number of images, data expansion was performed considering the geometrical relationship between the camera and the shooting target, the camera lens position, and the pixel signal processing process. As the results of passing through the classification system, it was possible to obtain the same classification accuracy as in the case of the original number of teacher images.

アルミ材への鋼材ボルトの超音波接合に関する研究

機械情報システム課　羽柴利直[*1]、中村陽文
企画管理部　石黒智明

1. 緒言

近年、軽量化や耐食性の向上のため、自動車や建材などの製品には、アルミ部材が広く用いられている。アルミ部材の連結部においては、強度を必要とするため鋼材ボルトが多用されているが、アルミとの融点差が大きく溶接が困難であることから、アルミ部材に直接鋼材ボルトを接合して他部材とのボルト締結に利用している事例はほとんど見られない。

超音波接合は固相接合であることから、このような融点差の大きい異種材料の接合に適用可能であるが、加振材を鋼材ボルトとしてアルミ部材に超音波接合する場合、通常の方法では、鋼材ボルトの軸部を伝搬させることによる加振振動の減衰により、接合界面で清浄面を露出させるための摩擦振動を得ることが困難である。また、ホーンと加振材が同種金属の鉄鋼材料となるため、加振材がホーンに固着しやすく、ホーンが極めて短寿命になるという問題もある[1)]。

本研究では、鋼材ボルトを加振材、アルミ合金板材を固定材として、ホーンと加振材の間に固着防止用中間材を適用し、これに加振振動を伝搬させることにより、これらの超音波接合を試みた。

2. 実験方法

実験に用いた試験片を図 1 に示す。本研究では、加振材を市販の M4 六角穴付き皿ボルト（SUS304 相当品）、固定材を板厚 2mm の ADC12 板材とした。接合位置は固定材の端から 10mm の位置として、その反対側の端から 10mm の位置をクランプゴムにて固定して接合を行った。

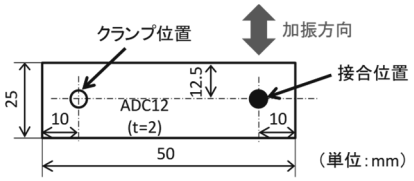


Fig. 1 Shape of test piece

試作した中間材を図 2 に示す。加振材およびホーンの材質である鉄との固溶が小さい金属であれば拡散等による固相での接合が生じにくく、これらへの固着が抑制できると考え銅に着目し、強度や剛性を確保するため、中間材の材質として黄銅（C3604）を選定した。

中間材に鋼材ボルトの軸部が通る穴を設け、中間材が鋼材ボルトの頭部の根本を直接加圧し、固定する構造とした。中間材の上面はホーンのローレット加工面により固定するため平面とし、中間材を伝搬する加振振動の減衰を抑制するために鋼材ボルトの軸径よりも大幅に太い外径 10mm の円柱構造とした。鋼材ボルトと接する下面側は、接合界面で生じる摩擦熱の拡散を抑制するため、テーパ加工により細くした。鋼材ボルトの軸部が通る穴を直径 4mm のキリ穴とした中間材（以下、キリ穴中間材と示す。）に加え、鋼材ボルトと中間材をより強固に固定するために M4 のねじ穴加工を行い、鋼材ボルトの軸部を固定できる中間材（以下、ねじ穴中間材と示す。）の 2 種類の中間材を試作した。

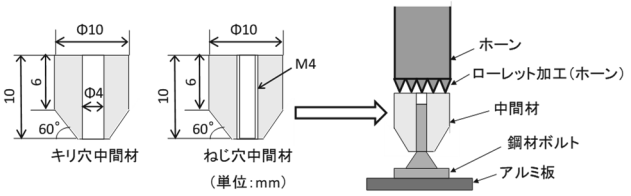


Fig. 2 Shape of insert material

接合試験には超音波工業株式会社製の接合機 USW0620G3X（出力 600W、加振周波数 19kHz）を用い、ホーンのローレット加工面（14mm×14mm）を中間材に押し当て、加圧、加振して接合を行った。接合条件は、加圧力を 100～600N、加振時間を 1～4s とした。

3. 実験結果および考察

試作した中間材を用いて接合試験を行った結果を表 1 に示す。接合試験の結果、キリ穴中間材を適用した場合には接合可能となる接合条件を見出すことができなかったが、ねじ穴中間材を適用した場合には、加圧力 600N、加振時間 4s の条件において接合可となった。鋼材ボルト、ホーンの中間材への固着は、いずれの接合条件においても生じなかった。

ここで、特定の接合条件において接合可となった原因が各部の振動状態にあると考え、それぞれの接合条件におけるホーンの加振に要した振動エネルギーを測定し、平均出力を算出した。その結果を図 3 に示す。平均出力（W）は、ホーンの加振に要した振動エネルギー（J）を加振時間（s）で割ることにより求められる値である。図 3 より、いずれの中間材においても、加振時間の長短にかかわらず加圧力が 400N までは加圧力の増大に伴い平均

*1 現　ものづくり研究開発センター

出力が増大することが明らかになった。これは、加圧力の増大に伴い、鋼材ボルトとアルミ板材の接合界面において摩擦力が増大し、ホーンの一定振幅加振に必要なエネルギーが大きくなったためと考えられる。

加圧力が 600N の条件においては、ねじ穴中間材を適用した場合には加圧力 400N の条件と平均出力がほぼ同じ値となったが、キリ穴中間材を適用した場合には平均出力が大幅に低下した。キリ穴中間材では、中間材による鋼材ボルトの固定は鋼材ボルトの頭部と中間材の穴の形状効果のみによって得られており、この部分で滑りが生じる可能性がある。このため、加圧力が 600N の条件において、接合界面の摩擦力に対してこの固定力が下回り、滑りが生じたことが平均出力の低下の原因と推測される。一方、ねじ穴中間材では、鋼材ボルトと中間材がねじ締結により強固に固定されているため、この部分での滑りが生じることなく加振振動が伝搬されたと考えられる。

キリ穴中間材　　接合可：○　接合不可：×

		加振時間（sec）		
		1	2	4
加圧力（N）	100	×	×	×
	200	×	×	×
	400	×	×	×
	600	×	×	×

ねじ穴中間材　　接合可：○　接合不可：×

		加振時間（sec）		
		1	2	4
加圧力（N）	100	×	×	×
	200	×	×	×
	400	×	×	×
	600	×	×	○

Table 1 Result of joining test

また、ねじ穴中間材を適用した接合で高加圧力、長時間加振の条件においてのみ接合可となったことから、加振振動が中間材を伝搬する過程で大きく減衰していると考えられる。中間材の形状を改善し、鋼材ボルトとの滑りやガタつきを抑制するとともに、中間材における振動の減衰を抑制することにより、幅広い接合条件で接合可能となり、接合条件の最適化により実際の製品に適用できる接合強度が得られるものと考えられる。

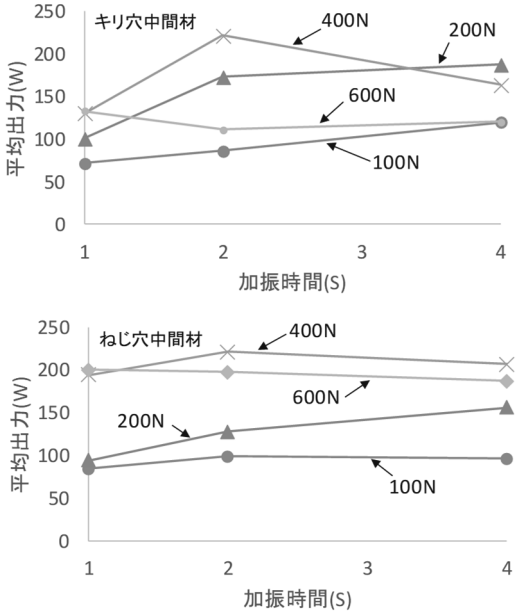


Fig. 3 Influence of welding force to average output

4. 結言

試作した中間材を用いて鋼材ボルトのアルミ板材への超音波接合を試みた結果、接合可能となる接合条件が確認された。今後、各部の振動の計測、解析や接合界面の観察、分析を行い、その結果に基づき中間材等の形状をさらに工夫することにより、実際の生産現場への超音波接合の適用が可能となる接合技術が確立できると考えられる。

参考文献

1)羽柴ほか、若い研究者を育てる会「研究論文集」,28, 37-44（平成 26 年度）

キーワード：超音波接合、アルミ材、鋼材ボルト、中間材、加振振動

Study on Ultrasonic Welding of Steel Bolts

Mechanics and Digital Engineering Section ; Toshinao HASHIBA[*1], Takafumi NAKAMURA
Monozukuri Research and Development Center ;Tomoaki ISHIKURO

The aim of this study is to develop practical techniques of joining steel bolts to aluminum materials by ultrasonic welding. Some shapes of insert materials were manufactured in order to avoid fixation of horn and steel bolt, and ultrasonic welding was carried out with using them. As a result of the experiment, it was possible to join under particular joining condition, and the difference in average output considered to be related to sliding between insert material and steel bolt was confirmed.

軽量･高性能部材のための CAE を活用した 3 次元中空構造の研究

機械情報システム課　中村陽文、金森直希　機械電子研究所　佐山利彦*1　ものづくり研究開発センター　山本貴文

1. 緒言

3 次元中空構造は、構造内部の幾何形状を変化させることで、部材全体の幾何形状を変えることなく軽量かつ様々な機械的特性をもたせることができると考えられている。加えて、積層造形装置は、従来の機械加工では困難であった複雑な形状を直接成形できることから、機械設計における多様なニーズに応え得る軽量・高性能な 3 次元中空構造を構造部材に適用する道が開かれつつある。しかしながら、3 次元中空構造の設計に関する研究はいまだ十分ではなく、設計指針の構築が望まれている。そこで、CAE を活用した構造最適化は、構造探索のための有効な手段になると考えられる。本研究では、均質化法を用いたユニットセルの弾性係数の評価ならびに、構造最適化計算を用いた 3 次元中空構造の単位構造であるユニットセルの最適分布の計算を行った。

2. 実験方法

2.1 ユニットセルの弾性特性解析

均質化法によりミクロ構造の応答からマクロ構造における等価な特性を求めることで、最適化計算における計算コストを大幅に削減することが可能である。ユニットセルの X 方向および XY 方向に単位量のひずみを与え、ひずみを与えていない方向の境界は周期境界条件を与えて有限要素解析を行う。その後、各方向の応力の積分値を計算し, 体積で割り平均値を求める。この値は等方弾性体の均質化弾性係数と呼ばれ、ミクロ構造のマクロ構造における等価な物性値とみなせる。ユニットセルの弾性特性解析を目的として、異なる見かけ密度における均質化弾性係数を求め、見かけ密度と均質化弾性係数の関係を、補間関数を用いて表現した。有限要素解析に用いる物性値は、金属積層造形において広く用いられる AlSi10Mg 合金（密度 : 2.64×10^3 g/mm^3、ポアソン比 : 0.33、ヤング率 : 70 GPa）とした。

2.2 ユニットセルの最適配置

ユニットセルの見かけ密度と均質化弾性係数の補間関数を、3 次元中空構造の物性値と設計変数の関係として導入し、最適化計算を行うことでユニットセルの最適な分布を求める。最適化問題は式（1）で示される。

$$\begin{aligned} &\text{minimize: } c(\rho) = \mathbf{f}^{\mathrm{T}}\mathbf{u} \\ &\text{subject to: } \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{f} \\ &\int_{\Omega} v dV \le V^{U} \\ &0 \le d_i \le 1 (i = 1, \ldots, n) \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、**f**、**u**、**K** および v は、それぞれ荷重ベクトル、変位ベクトル、全体剛性マトリクスおよび体積である。V^U は制約条件となる体積である。目的関数はコンプライアンスであり、コンプライアンスの最小化は荷重が一定の場合は荷重点の荷重方向変位の最小化に等しく、構造の剛性を最大化することにつながる。d はユニットセルの見かけ密度と関係付けられる設計変数である。最適化計算のプログラム実行および有限要素解析はそれぞれ、数値計算ソフト（MATLAB, The MathWorks）および汎用解析ソフト（COMSOL Multiphysics, COMSOL）を用いて行った。最適化の反復回数が 150 回に達した段階で計算を終了した。

3. 実験結果および考察

3.1 ユニットセルの弾性特性解析

Fig. 1 に、評価対象とした Cube 型および Bcc 型のユニットセルを示す。ユニットセルの形状は、先行研究 [1] で得られたトポロジー最適化の形状を基に造形性を考慮し

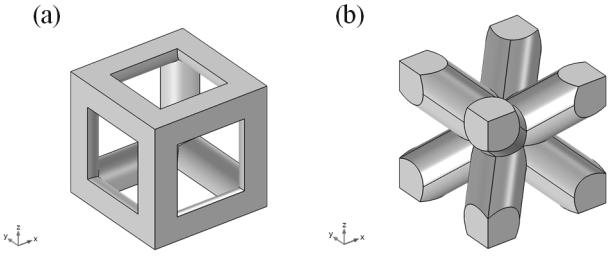


Fig. 1 Schematic diagrams of (a)the Cube and (b)the Bcc type unit cell

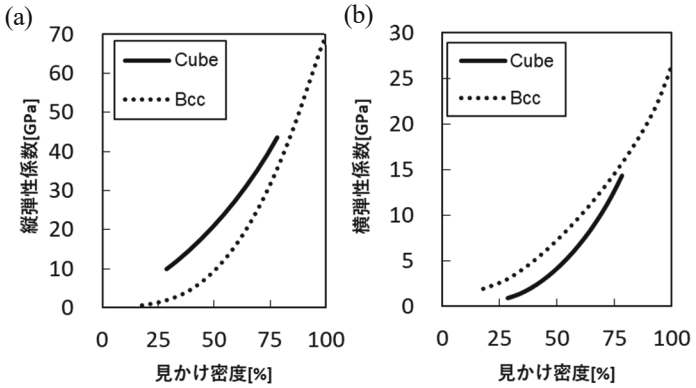


Fig. 2 (a)Young's modulus and (b)shear modulus of the unit cells as a function of the relative density

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構

て創作したものである。ユニットセルを構成する梁の径を変化させることで、ユニットセルの見かけ密度を変化させた。Fig. 2 に、各ユニットセルの、縦弾性係数および横弾性係数と見かけ密度の補間関数をプロットした図を示す。なお、同図の縦弾性係数および横弾性係数は均質化弾性係数から導出したものである。同図に示されるように、Bcc 型のユニットセルは、Cube 型と比較して縦弾性係数は低いものの、横弾性係数は高い値を示すことがわかる。これは、鉛直方向の梁は縦弾性係数に、斜交する梁は横弾性係数にそれぞれ効果が高いことに起因するものと考えられる。

3.2 ユニットセルの最適配置

3 次元中空構造の適用対象として、設計領域が 20×35×15 mm の片持ち梁のモデルを想定した。片方の側面を完全固定し反対側の側面の一部に 1000 N の等分布荷重を -Z 方向に与えた。制約条件は全体の体積が 50%以下となるよう設定した。Fig. 3 に最適化後のユニットセルの見かけ密度分布を示す。Table 1 に最適化後の目的関数（コンプライアンス）ならびに見かけ密度 50%の均一なユニットセルを配置させた場合のコンプライアンスの計算値を示す。最適化後のコンプライアンスは、Bcc 型と比較して Cube 型の方が大きいことから、今回のモデルでは Bcc 型のユニットセルが適していると考えられる。Cube 型および Bcc 型のユニットセルは共に見かけ密度 50%のユニットセルを均一に配置させた場合に比べてコンプライアンスはそれぞれ約 26%および約 63%減少した。

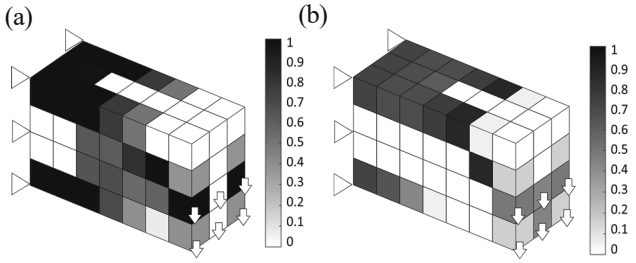


Fig. 3 Distribution of the relative density of (a)the Cube and (b)the Bcc type unit cell

Table 1 Calculated compliance of the lattice structures

ユニットセル	コンプライアンス[J]	
	最適配置	均一配置
Cube	0.073	0.099
Bcc	0.057	0.153

今後、本研究の手法を用いて、構造部材を想定したユニットセル分布の最適化、ならびに金属積層造形装置を用いた作製と評価、計算値との比較を行う予定である。

4. 結言

本研究では、3 次元中空構造の単位構造であるユニットセルの均質化弾性係数を求め、構造最適化計算を用いてのユニットセルの最適な分布を求めた。その結果、体積を元の形状の 50%とした際に剛性最大化したユニットセルの分布を得ることができた。Bcc 型のユニットセルを最適に分布させた 3 次元中空構造は、見かけ密度 50%のユニットセルを均一に配置させた 3 次元中空構造に比べてコンプライアンスは約 63%減少した。

参考文献

1) 中村陽文他，富山県産業技術研究開発センター研究報告，**33**，(2019) 93-94.

謝　辞

本研究推進にあたり早稲田大学理工学術院の竹澤晃弘准教授に多大なご協力を頂きました。深く感謝致します。

キーワード：CAE、最適化、3D プリンター、ラティス構造

Study on lattice structure design using CAE for lightweight and high-performance applications

Mechanics and Digital Engineering Section; Takafumi NAKAMURA, Naoki KANAMORI,
Mechanics and Electronics Research Institute; Toshihiko SAYAMA[*1],
Monozukuri Research and Development Center; Takafumi YAMAMOTO

Lattice structures are generally used inside a structural member in order to reduce a weight, and it is important to design shapes of lattice structure for high-performance applications. In this study, homogenization and structural optimization was performed to capture the effective mechanical properties of the unit cells and optimize distribution of the unit cells for the part being optimized. In conclusion, compliance of the optimal lattice structure composed by Bcc type unit cells decreases 63% compared to un-optimized lattice structure.

セルロース基成形体に関する研究

電子デバイス技術課　早苗徳光[*1]　生活工学研究所　吉田巧　金丸亮二[*2]

1. 緒言

近年、県内企業において天然バイオマス素材であるセルロースナノファイバー(CNF)が開発され、増粘剤や繊維強化材などへの応用が検討されている。CNF は主に水分散液の状態で供給されるが、そこから水を除去して得られる固形体は、強度や熱膨張などの物性に優れることからマトリクス素材としての利用も考えられる。本研究では、CNF の熱伝導性が高いとされることに着目し、CNF をマトリクスとする固形体の熱伝導性評価とその向上について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 使用材料

CNF 材料として、水分散液、およびパウダー(いずれも㈱スギノマシン BiNFi-s)を用いた。水分散液は繊維長の異なる 3 種(短い方から S、M、L とする)を用い、液状のまま使用するか、あるいは乾燥させて粒径約 1mm の顆粒に整えて使用した。

熱伝導性フィラーとして、市販のマグネシア(MgO) 2 種、およびアルミナ(Al_2O_3) 3 種をそのまま使用した。

2.2 試験および測定方法

CNF をマトリクスとする固形体試料は、CNF 材料(水分散液、顆粒、パウダー)とフィラー、および水を所定の割合で混合したコンパウンドを、図 1 に示す方式により加圧脱水し成形した。操作としては、30～60 分毎に吸水したろ紙を交換するとともに 0.04～28MPa まで段階的に加圧荷重を増加させた。その後型枠から取り出して室内環境下で 4 日間以上、更に 20℃･65%RH 環境下で 2 日間以上乾燥調整した。形状は直径 25mm×厚さ 5mm の円板状とした。

固形体試料の熱伝導率は、20℃･65%RH 環境下、ホットディスク方式により、加圧面と半分に切断した断面の 2 面を測定した。(図 1 参照)

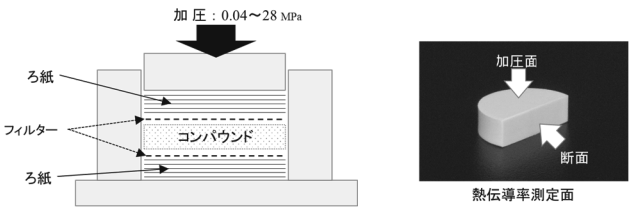


図 1　試料成形方法と熱伝導率測定面

3. 実験結果および考察

表 1 に、CNF のみからなる固形体、および PMMA と POM(ともに市販板材)の熱伝導率を示す。いずれの試料も PMMA、POM に比較し大きい値を示し、CNF 固形体は高分子系材料としては熱伝導性に優れることが確認できた。また、加圧面より断面の値が大きい傾向がみられるが、コンパウンドを一定方向にのみ加圧したことによる繊維配向のためと思われる。試料 A～C に比較し、試料 D、E では測定面間の差が小さいが、CNF 材料として用いた顆粒･パウダーのランダムな配向性が、試料成形行程を経ても一定維持されたものと思われる。このことは、異方性を緩和する方法の一つとして有効と考える。

CNF 固形体の熱伝導性向上を図るため、熱伝導性フィラーの複合を検討した。表 2 に、コンパウンドの配合、熱伝導率の実測値、および予測値を示す。試料 F～I、および試料 J～M の結果より、MgO の割合が増加するに従い複合体の熱伝導率は上昇した。しかし、例えば試料 G(MgO：50vol%)の場合、実測値は予測値の約 3 割程度に過ぎず、充分な効果は得られなかった。また、いずれの複合割合においても、ランダム･小粒径の MgO を用いた方がやや高い値を示した。熱伝導の阻害要因として、気泡だけでなく、マトリクス-フィラー界面の存在がある。界面を減らし、かつフィラーを多く充填するには、球状で粒径の大きい方が有利となるが、今回はそれとは逆の結果になった。図 2 に、試料 G および試料 K の X 線 CT 画像と SEM 画像(断面)を示す。X 線 CT 画像(A)、(B)より、全体に気泡とみられる黒点が多数存在しており、(A)では組成にムラも見られる。SEM 画像(a)からは、MgO の分散が不均一で粒子間に空隙が存在することや、界面の剥離、配向する CNF 繊維間の剥がれも多数確認できる。SEM 画像(b)においても空隙や剥離は多く存在するが、MgO の

表 1　CNF のみからなる固形体の熱伝導率

試料名	CNF		熱伝導率 (W/mK)	
	材料形態	繊維長	加圧面	断面
A	水分散液	S	0.61	0.74
B	水分散液	M	0.62	0.75
C	水分散液	L	0.62	0.80
D	顆 粒	M	0.66	0.69
E	パウダー	M	0.65	0.70
POM	－	－	0.42	－
PMMA	－	－	0.26	－

*1 現　生活工学研究所　　*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構

表２　フィラー複合系 CNF 固形体の熱伝導率

試料名	CNF		フィラー			複合割合 (vol%)		熱伝導率 (W/mK)		熱伝導率 * 予測値
	材料形態	繊維長	種類	形状	粒径 (μm)	CNF	フィラー	加圧面	断面	
F	水分散液	M	MgO	球状	20	70	30	0.83	0.96	1.67
G	水分散液	M	MgO	球状	20	50	50	1.12	1.26	3.84
H	水分散液	M	MgO	球状	20	30	70	1.59	1.72	10.08
I	水分散液	M	MgO	球状	20	20	80	1.97	2.15	16.49
J	水分散液	M	MgO	ランダム	2	70	30	1.07	1.33	－
K	水分散液	M	MgO	ランダム	2	50	50	1.41	1.66	－
L	水分散液	M	MgO	ランダム	2	30	70	2.29	2.60	－
M	水分散液	M	MgO	ランダム	2	20	80	2.74	2.75	－
N	水分散液	M	Al_2O_3	球状	0.3	50	50	1.04	1.16	3.60
O	水分散液	M	Al_2O_3	球状	4	50	50	0.98	1.07	3.60
P	水分散液	M	Al_2O_3	球状	43	50	50	0.88	0.94	3.60

* Bruggeman の式(球状フィラー充填系複合材の計算式)による。各材料の熱伝導率は CNF : 0.62、MgO : 40、Al_2O_3 : 30 W/mK とした。

分散は良好で比較的緻密な構造となっている。以上のことから、特に界面剥離によって CNF-MgO 間の熱伝搬が妨げられ、充分な複合効果を発現できなかったものと考える。複合体の熱伝導性を向上させるには、CNF の化学修飾やフィラーの表面処理などにより界面の密着性を改善することが不可欠と思われる。一方、MgO 粒径の影響については、小さい方が界面は増えるものの、CNF 繊維間へ分散するため繊維同士の絡み合いによって密着、保持されるため、熱伝導性が高まったものと考える。

他に MgO の複合効果が低い原因として、水分による MgO の変質(加水分解)も考えられるため、より耐水性に優れる Al_2O_3 を複合した場合も検討した。試料 N～P の結果より、Al_2O_3 でも MgO とほぼ同じ傾向を示しており、変質による影響は限定的であると確認した。

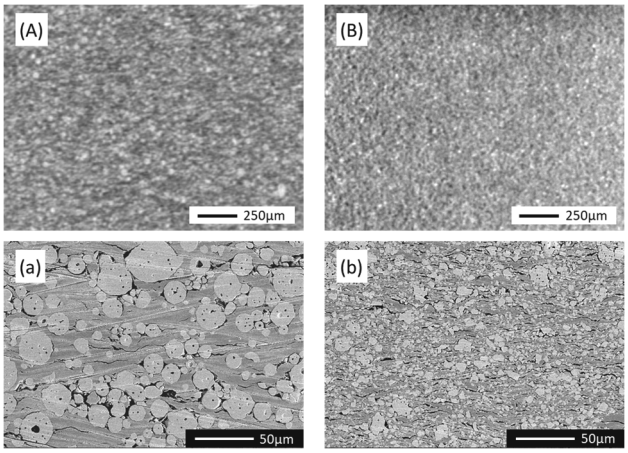


図２　MgO 複合 CNF 固形体の複合化状態
上段：X 線 CT 画像、下段：SEM 画像
(A) (a)：試料 G、(B) (b)：試料 K

4. 結言

CNF をマトリクスとする固形体の熱伝率評価と MgO 等の熱伝導性フィラー複合による性能向上について検討した。CNF 固形体は汎用プラスチックと比較して高い熱伝導性を示すことが確認できた一方、フィラー複合による性能向上については、効果はあるものの予測値に比較し大幅に低い結果となった。CNF、フィラー表面の改質等により、分散性と界面の密着性改善が今後の大きな課題として残された。

キーワード：セルロースナノファイバー、固形体、熱伝導、フィラー、界面剥離

Study on Cellulose Matrix Moldings

Norimitsu SANAE and Takumi YOSHIDA and Ryoji KANAMARU

The thermal conductivity of cellulose nanofiber(CNF) moldings and composite materials of CNF and high thermal conductive fillers such as MgO was evaluated. While it was confirmed that CNF moldings have higher thermal conductivity than general-purpose plastics, improving the thermal conductivity of composite by filling the filler was not very efficient, the measured value was much smaller than the predicted value. In the future, it is necessary to improve dispersibility and bond strength at the interface by modifying CNF and filler surface.

高分子ナノファイバーの高強度化と電子デバイスへの応用

電子デバイス技術課　横山義之　生活工学研究所　寺田堂彦

1. 緒言

近年、エレクトロスピニング法の発展によって、多様な機能を持った高分子材料がナノファイバー化されている。電子デバイスの分野においても、高分子ナノファイバーの持つ大きな比表面積やナノ空隙を利用した高効率な電池用電極やセパレーター、スーパーキャパシター、各種センサー（ガス、湿度など）が開発されている。

様々な高分子をナノファイバー化する手法としては、エレクトロスピニング法（電界紡糸法）が多く用いられている。しかしながら、エレクトロスピニング法で得られる高分子ナノファイバー（ENF：Electrospinning Nano-fiber）は、力学強度が弱く、電子デバイスの構成素材としては取り扱いが難しかった。そこで、本研究では、ENF の高強度化について、基礎的な検討を行った。具体的には、エレクトロスピニング用の高分子溶液に、補強材として生物由来のナノ繊維（セルロースナノファイバーやキチンナノファイバー）を配合し、ENF の生成過程で、ナノ繊維を内部に導入する手法を検討した。セルロースナノファイバーやキチンナノファイバーは、汎用プラスチックよりもはるかに強度が強く[1]、内部に取り込むことで、ENF の高強度化が期待される。

また、ENF の内部にナノ繊維がどのように分散して導入されているかを検証する分析手法の検討も行った。具体的には、ENF 中にナノ繊維を導入した試料に対して、走査型プローブ顕微鏡を用いた弾性率イメージングを実施し、周囲の高分子とナノ繊維の弾性率（硬さ）の違いから、ナノ繊維の分散状態を捉えることを検討した。

2. 実験方法

2.1 エレクトロスピニング分散液の調整

本研究では、ENF のベースポリマーとして水溶性高分子であるポリエチレンオキシド（PEO、Sigma-Aldrich）を用いた。はじめに、PEO の水溶液に、ナノ繊維として、BiNFi-s TFo（カルボキシメチル化したセルロースナノファイバー、スギノマシン（株））、BiNFi-s SFo（キチンナノファイバー、スギノマシン（株））、BiNFi-s WFo（セルロースナノファイバー、スギノマシン（株））を PEO に対する固形分割合で 10～30wt%配合した。次に、エレクトロスピニングの紡糸助剤として、溶液の電気伝導度を上げるための電解質（テトラブチルアンモニウムクロリド、東京化成工業（株））と表面張力を調整するための界面活性剤（Novec FC-4430、住友スリーエム（株））を、PEO に対してそれぞれ 0.5wt%の割合で添加した。続けて、3 日間連続攪拌し続けることで、エレクトロスピニング分散液とした。

2.2 エレクトロスピニング

ナノ繊維を分散させたエレクトロスピニング溶液を、エレクトロスピニング法でスプレーし、シリコン基板上に ENF の堆積を行った。印加電圧は 10 kV、ノズル先端と電極間の距離は 15cm とした。形成した ENF は、走査型電子顕微鏡（JSM-6610、日本電子（株））および走査型プローブ顕微鏡（Dimension Icon、ブルカー・エイエックスエス（株））を用いて観察した。また、ENF に対する赤外分光分析（IRT-7000、日本分光）は、金薄膜上に堆積したナノファイバーを用いて高感度反射法（RAS 法）で実施した。

2.3 弾性率イメージング

走査型プローブ顕微鏡は、ナノメートルオーダーの曲率半径を有する鋭い探針を試料表面の凹凸に沿って走査することにより表面形状を詳細に観察できる顕微鏡である。さらに、探針を走査する際の試料表面との相互作用により影響を受ける探針の振動変化を同時に読み取ることで、試料表面の力学的性質（弾性率）を得ることも可能である。他の顕微鏡法ではコントラストが得られにくい試料でも、弾性率の違いから対象物を捉えることが可能な手法として注目されている。本研究では、ナノ繊維を導入した ENF の表面に対して、走査型プローブ顕微鏡を用いた弾性率イメージング測定を行った。探針（カンチレバー）には、RTESPA-150（先端曲率 8nm、バネ定数 5N/m、ブルカージャパン（株））を用いた。

3. 実験結果

図 1 に、PEO に対して各ナノ繊維を 30wt%配合したエレクトロスピニング分散液を示す。BiNFi-s TFo および BiNFi-s SFo を配合した分散液は、3 日間の攪拌によってほぼ透明となった。可視光の波長よりも細かく均一に分散したことで光の散乱が起こらず透明になったと思われる。それに対し、BiNFi-s WFo を配合した分散液は、強く白濁したままとなった。直径数百 nm の ENF 内部にナノ繊維を導入することを考慮し、BiNFi-s TFo および BiNFi-s SFo を配合した分散液を今後の実験に用いることとした。

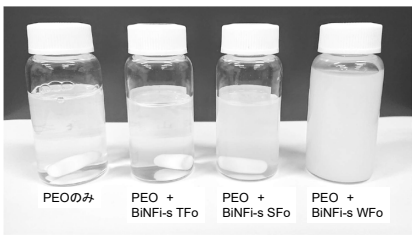


図１　PEO 水溶液にナノ繊維を配合した
エレクトロスピニング分散液

次に、エレクトロスピニング法による ENF の形成を行った（図 2）。PEO に対してナノ繊維を 10～30wt%配合したエレクトロスピニング分散液で、ENF を形成することができた。得られた ENF のファイバー径は、ばらつきが多く見られるものの約 200nm の非常に細いナノファイバーも存在し、これは、同一条件で形成した PEO のみの ENF とほぼ同じファイバー径であった。

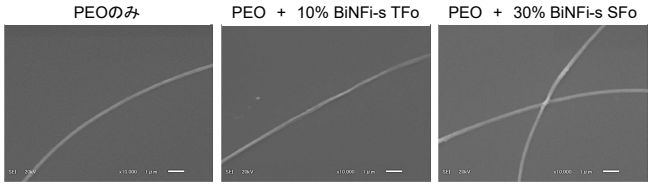


図２　ナノ繊維を配合したエレクトロスピニング
分散液で形成した ENF

次に、得られた ENF 中のナノ繊維の存在を赤外分光分析により確認した。図 3 に、各 ENF の赤外スペクトルを示す。BiNFi-s TFo を配合したものは、PEO 由来のピークに加えて、1600～700cm^{-1} 付近、3400cm^{-1} 付近に、BiNFi-s TFo 由来のカルボキシメチル基に帰属されるピークが確認された。また、BiNFi-s SFo を配合したものは、1550～1700cm^{-1} 付近および 3300cm^{-1} 付近に、BiNFi-s SFo 由来のアセトアミド基に帰属されるピークが確認された。この結果から、ENF 中のナノ繊維の存在が示唆された。

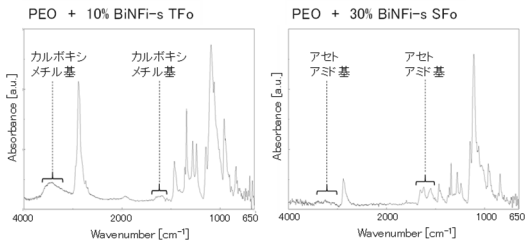


図３　ナノ繊維を導入した ENF の赤外スペクトル

次に、BiNFi-s SFo を 30wt%配合した ENF に関して拡大観察を行うと、滑らかな表面を有していることがわかった（図 4 左）。ナノ繊維の大きな凝集体は見られず、分散した状態で ENF 中に存在しているものと考えられる。

また、同時に、ENF1 本レベルでの弾性率イメージングを行った（図 4 右）。ENF 表面の弾性率は一様では無く、数十 nm の幅を持つ硬さ分布が存在することがわかった。

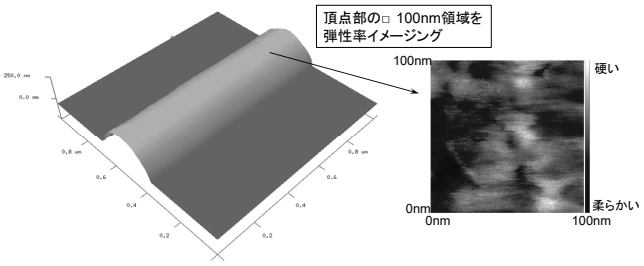


図４　ナノ繊維を導入した ENF の拡大像
（左：□1μm の凹凸像、右：□100nm の弾性率像）

4. 結言

本研究では、ナノ繊維を導入した ENF を作製することができた。今後は、この手法を用いて、高分子ナノファイバーの力学強度を高め、電子デバイスの構成素材としての耐久性向上を目指す予定である。

参考文献

1)Vincent, JFV and Wegst, UGK, *Arthropod Struct Dev,* **33**(2004)187-199

キーワード：セルロースナノファイバー、エレクトロスピニング、走査型プローブ顕微鏡

Development of Technology to Enhance Polymer Nanofiber Sheet Strength and Application to Electronic Devices

Electronics and Device Technology Section; Yoshiyuki YOKOYAMA,
Monozukuri Research and Development Center; Dohiko TERADA

Polymer nanofibers with large specific surface areas and nanovoids have shown application potential in many types of electronic devices, such as high-efficiency solar cells, rechargeable batteries, supercapacitors, and various sensors. Therefore, we are developing technology to enhance the polymer nanofibers sheet strength in order to facilitate the handling of it. In this study, carboxymethyl cellulose nanofibers and chitin nanofibers as a reinforcing material were introduced into the polymer nanofibers (ENF) obtained by the electrospinning method.

酸化物系固体電解質を採用した厚膜二次電池の開発

電子デバイス技術課　角田龍則　　機械情報システム課　本保栄治[*1]

1. 緒言

リチウムイオン二次電池は、高出力蓄電池として様々な電気機器に採用されており、今後、電気自動車や IoT 関連の市場が急速に拡大していくとともに、ますます需要増が期待されるデバイスである。現在、多くの研究機関で高容量化・高信頼性化を目標に、様々な電池材料が開発されている。その中でも固体電解質二次電池は、デバイス全体が流動しない固体電池であり、リチウム単一イオン伝導の電池である。液体の有機溶媒を使用しないため発火の心配がなく、電解液の分解副生成物による特性劣化が起きないという利点がある。一般的に固体は界面制御をクリアできれば取り扱いが楽であり、また、電池のエネルギー密度を上げることによる短絡の危険性を大幅に低減でき、高い長期信頼性と高出力特性が実現できると考えられている。

現在、代表的な固体電解質には、硫化物系と酸化物系があり、硫化物系は比較的容易に固体界面を形成できるという特徴がある。また、酸化物系は、硫化水素発生の恐れがなく、高温焼結することで界面を形成し高いリチウム伝導特性を得ることができる。本開発では、酸化物系固体電解質を採用した厚膜二次電池を開発することを目的として研究を行った。

2. 実験内容

2.1 固体電解質材料の作製

まず、固体電解質材料を得るために Li(OH)と $La(OH)_3$ 、Li(OH)と ZrO_2 の粉末をそれぞれ混合し所定の温度で焼成した。図 1 は作製した $LaLiO_2$ の X 線回折プロファイルを、図 2 は Li_2ZrO_3 のプロファイル示す。$LaLiO_2$ のプロファイルでは $La(OH)_3$ 比率を減らすと La_2O_3 のピークが減少し、不純物の少ない $LaLiO_2$ が合成できた。

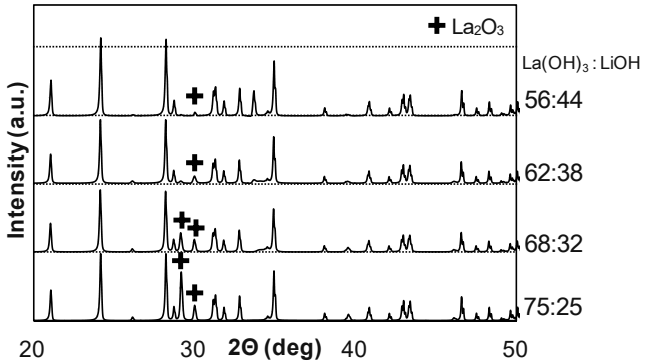


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of $LaLiO_2$ powders

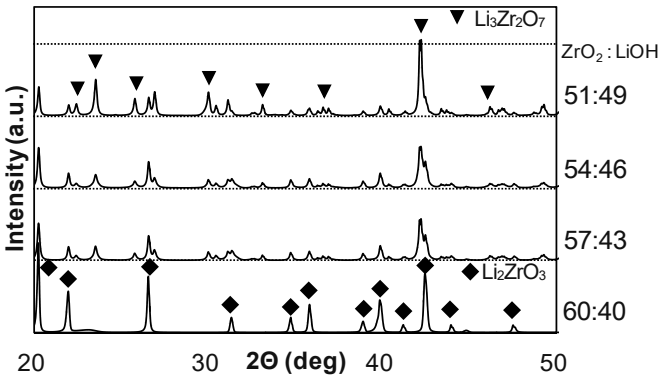


Fig2 X-ray diffraction patterns of Li_2ZrO_3 and $Li_3Zr_2O_7$ powders

また、Li_2ZrO_3 のプロファイルでは ZrO_2 量を増やすことで $Li_3Zr_2O_7$ の合成を減らすことができた。これらの結果より Li(OH)、$La(OH)_3$ および ZrO_2 の配合比が決定でき、比較的高純度の $LaLiO_2$(98%)と Li_2ZrO_3(99%)がそれぞれ作製できた。

次に、得られた $LaLiO_2$、Li_2ZrO_3 と $Al(OH)_3$ を混合し、所定の温度(950°C)で焼成をおこなった。図 3 は作製した立方晶 $Li_{7-3x}La_3Zr_2Al_xO_{12}$(LLZA)の X 線回折プロファイルを示す。$Al(OH)_3$ 添加量が 0%の場合、ピーク半値幅が狭く結晶性のよい $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ (LLZ)が合成された。また $Al(OH)_3$ の添加量を増やすと、半値幅は大きくなるが、分離していた $2\theta = 31,34^{\circ}$付近のピークが一つになり、結晶系が正方晶から立方晶に変化していることがわかる。本試作では $Al(OH)_3$ が 2～4%の場合、もっとも不純物の少ない LLZA が作製できた。

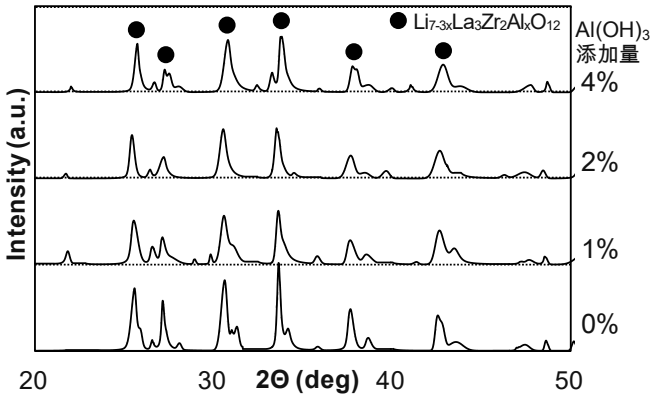


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of LLZA powders

さらに、$Al(OH)_3$ 4%添加して圧力をかけながら焼成し、板状試料の作製を試みた。圧力 300kg/cm^2 で所定の温度

*1 現　電子デバイス技術課

で焼成したところ、空孔の少ない高密度な LLZA 板が作製できた。図4は圧力をかけながら焼成した立方晶LLZAの断面 SEM 画像である。断面加工はイオンミリングでおこなった。950°C で加圧焼結した試料は、粒子間の密着性は低くないが、空孔部が多く見られ粒界も確認でき粒子間界面の抵抗は高いと予想された。1200°C で加工したものは、わずかに空孔は見られるものの粒界がほとんど観察できなかった。また、加圧なしで 1200°C 焼成したものは、空孔部は減少しているが、ほとんどの粒子径が数μm と小さいままで、加圧したサンプルと比較すると粒成長が進んでいなかった。さらに1200°C焼成では、元素分析から、Li_2ZrO_3 が多く生成されることがわかった。

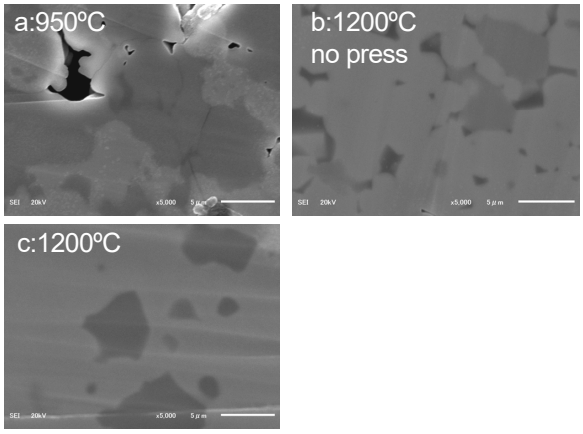


Fig. 4 Micrograph of LLZA cross sectional surface
(a:950ºC　b:1200ºC no press sintering　c:1200ºC)

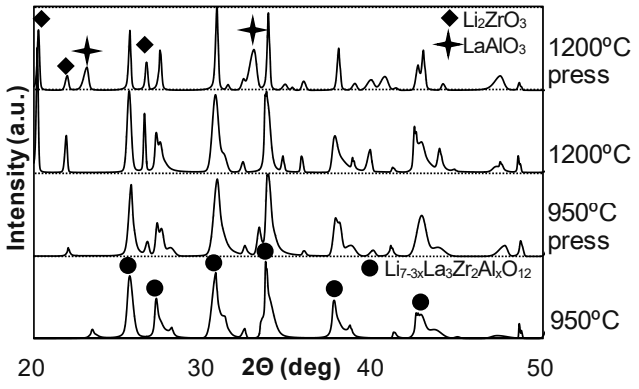


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of LLZA sheets

図 5 は、LLZA 板の X 線回折プロファイルである。焼成温度を 1200°C に上げると、ピークの半値幅が小さくなり、結晶化が進んでいることがわかる。また、Li_2ZrO_3 が生成され、加圧焼成したものは $LaAlO_3$ ペロブスカイトも生成されている。粒子の密着性を上げ、粒界抵抗を下げるために高温で焼成すると、LLZA だけでなくそれ以外の化合物も合成されてしまうことがわかった。

次に、作製した板状 LLZA にインジウム電極を溶融塗布し、電池セル内で伝導度測定をおこなった。表 1 は LLZA 板の焼成条件と算出したイオン伝導度を示す。1200°C で加圧焼成した場合にもっとも高い伝導度を示した。

Table 1 Ion Conductivity of LLZA sheets

焼成温度 (°C)	950	950	1200	1200
加圧有無	無	有	無	有
抵抗値 (Ω)	測定不可	14,000	10,100	1,250
厚さ / 面積 (cm^{-1})	—	0.09 / 1.00	0.11 / 0.25	0.10 / 0.35
伝導度 (S/cm)	—	7.0×10^{-6}	4.4×10^{-5}	2.3×10^{-4}

2.2 厚膜二次電池の作製

1200°C で加圧焼成した LLZA 電解質板に、正極活物質を印刷焼成し、さらに Ag 電極を印刷成膜した。正極の反対面に Li 金属を溶融塗布し評価セルにセットして、単層の多層の電池構造を作製した。作製した試料の充放電試験を実施したが、充放電は確認できなかった。イオン伝導度がある程度高いことを確認しており、今回電池特性を示さなかった原因は、試料厚みが約 1mm と大きく、内部抵抗が十分低くなかったためと考えられる。

3. 結言

本研究では、固体電解質 LLZA($Li_{7-3x}La_3Zr_2Al_xO_{12}$)を固相法で作製し、高いイオン伝導度を持つ板状試料を作製できた。さらにスクリーン印刷法により正極の厚膜パターンを形成して、二次電池の電気特性の評価を行ったが、充放電特性を確認することはできなかった。電解質板厚が大きく電池の内部抵抗が大きくなったことが原因と考えられるため、電解質材料の高い伝導特性と空孔の少ない結晶界面形成を維持しながら、電解質層の薄板化を達成することが必要である。

キーワード：酸化物系固体電解質、二次電池、X 線回折、厚膜、リチウム

Development of the Thick Film Secondary Battery Using Oxide-based Solid Electrolyte

Electronics and Device Technology Section; Tatsunori KAKUDA and Eiji HONBO

In this study, we improved the lithium ion secondary battery using a solid electrolyte experimentally. Specifically, we improved solid electrolyte LLZA($Li_{7-3x}La_3Zr_2Al_xO_{12}$) by solid-phase method and formed a thick film pattern by the screen-printing method and evaluated the electric characteristic of the secondary battery.

高温利用可能な非鉛圧電膜の開発

電子デバイス技術課　坂井雄一　角田龍則

1. 緒言

圧電材料は、センサ、アクチュエータ等で利用され、最近では振動発電や触覚デバイスなど、IoT、ヘルスケア、車載分野でも注目されている。しかしながら、そのほとんどで鉛系材料が使用されている。現在、鉛系圧電材料はRohs 指令の適用除外となっているが、非鉛系材料への要望は高く、種々の研究開発が進められている。非鉛圧電材料の有力候補のひとつとして、(1-*x*)(Bi,Na)TiO_3-*x*$BaTiO_3$ 系(BNT-BT)材料がある。この材料は、室温で良好な電気特性を有するものの、圧電性のなくなる脱分極温度(Td)が約100-150℃と比較的低温度にあり、幅広い温度範囲での使用は難しいとされてきた。しかしながら、スクリーン印刷で形成した 0.83(Bi,Na)TiO_3-0.17$BaTiO_3$ 膜について、基板からの圧縮応力を利用することで Td が高温化することを見出した[1-3]。この手法では、(Bi,Na)TiO_3-$BaTiO_3$ 系厚膜を熱膨張係数の大きな基板上に作製、厚膜に印加される圧縮応力によって相転移温度を上昇させることで圧電性の消失温度の向上を図っている。(Bi,Na)TiO_3-$BaTiO_3$ 系厚膜と基板の間に Pt の下部電極層があるが、Pt 下部電極の厚みが厚膜の応力に及ぼす影響は不明である。また、(1-*x*)(Bi,Na)TiO_3-*x*$BaTiO_3$ 系の *x*=0.05～0.10 の組成は、モルフォトロピック相境界 (MPB)と言われ、これまで厚膜化を検討してきた *x*=0.17 よりも良好な特性が得られることが期待される。そこで、これまで検討してきた *x*=0.17 の組成で下部電極厚みが厚膜の残留応力等に及ぼす影響を評価するとともに MPB 組成に近い *x*=0.09 の厚膜における圧電性消失温度の上昇について確認した。

2. 実験方法

固相反応法により、(1-*x*)(Bi,Na)TiO_3-*x*$BaTiO_3$ (以下、BNT-*x*BT)粉末を作製した。この粉末を用い、バルクセラミックスを作製した。また、作製粉末とエチルセルロース系のビヒクルと溶剤を混練し、スクリーン印刷用のペーストとした。基板にイットリア安定化ジルコニア(YSZ)、MgO セラミックス、Al_2O_3 セラミックスを用い、Pt ペーストをスクリーン印刷し、焼成することで下部電極を形成した。スクリーン製版の種類と印刷から焼成までのプロセスの繰り返し回数を変えることで種々の厚みの下部電極を作製した。これらの下部電極を形成した基板の上に作製した BNT-*x*BT ペーストをスクリーン印刷し、600℃ で脱バインダののち、1180 から 1200℃ で焼成した。この工程を 3 回繰り返すことでBNT-*x*BT 厚膜を形成、さらに Au ペーストで上部電極を形成した(図 1)。作製した厚膜は X 線回折測定を行った。また、X 線回折チャートから得られるピーク強度と以下の式から、厚膜の分極軸方向である c ドメインの体積分率 αc を算出した。

$$\alpha c = I'(002) / [I'(002) + I'(200)], \quad (1)$$

$$I'(002) = I(002) / I_0(002), \quad (2)$$

$$I'(200) = I(200) / I_0(200), \quad (3)$$

ここで I(*hkl*)、I_0(*hkl*)はそれぞれ配向、無配向の厚膜の *hkl* 面からのピーク強度を示す。厚膜の残留応力は、X 線回折測定装置を用いた 2D 法で行い、ヤング率 108GPa、ポアソン比 0.27 を用いて[4]算出した。

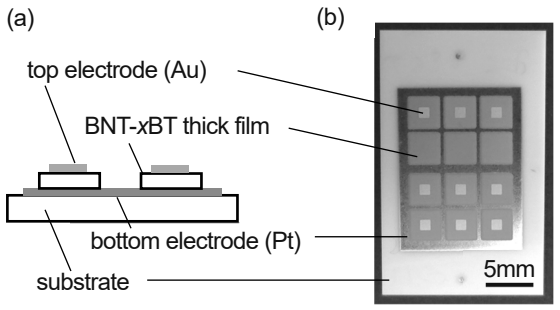


Fig. 1 (a) Schematic image of cross-section and (b) top view picture of thick film

3. 実験結果および考察

3.1 下部電極厚みの影響

MgO セラミック基板上の下部電極の作製条件と下部電極厚みを表 1 に示す。作製条件を変更することで 2.5μm から 14μm の厚みの下部電極が得られた。厚みの異なる下部電極を有する MgO セラミック基板にそれぞれ BNT-0.17BT 厚膜を形成した。焼成後の厚膜厚みはいずれも約 30μm であった。作製した BNT-0.17BT 厚膜について X 線回折測定を行った結果、いずれもペロブスカイト単相で異相は見られなかった。また、体積分率測定、残留応力測定を行った結果を表 1 に示した。体積分率、圧縮応力値は Pt 厚みに関わらず、いずれの試料もそれぞれ、約 0.88、約 220MPa となり、圧縮応力により、c ドメイン優位となっていることが確認された。厚膜の比誘電率の温度依存性の測定した結果、比誘電率が最大となる温度はバルク試料よりも高温側であり、いずれの試料もほぼ同じカーブであった。

Table 1 Volume fraction of c-domain and residual stress of 0.83BNT-0.17BT thick films prepared on Pt electrodes with different thickness

Condition	Pt-thickness (μm)	Volume Fraction αc	Residual Stress (MPa)
ST500CAL 2 layers	2.5	0.87	-220
ST325 1 layer	5	0.87	-220
ST325 2 layers	9.5	0.88	-220
ST200 2 layers	14	0.88	-220

3.2 組成の検討

BNT-0.09BT 厚膜を MgO、YSZ、Al_2O_3 基板を用い、それぞれ作製した。MgO、YSZ 基板上の厚膜は外観上問題がなかったが、Al_2O_3 基板上の厚膜はクラックが散見された。残留応力値を測定したところ、それぞれ 180、90、20MPa の圧縮応力であった。MgO 基板上の厚膜の残留応力値は表 1 で示した BNT-0.17BT 厚膜よりも小さな値となった。図 2 にそれぞれの基板及び BNT-0.09BT、BNT-0.17BT のバルクセラミックスの TMA 測定結果を示した。BNT-0.09BT、BNT-0.17BT は 200 °C 付近でいったん収縮し、温度上昇に伴い再度上昇した。これは、正方晶から立方晶への相転移に相当すると考えられる。3 種類の基板を用いた厚膜のなかで残留応力値が最も大きな MgO 基板上の BNT-0.09BT 厚膜について室温で PE カーブを測定した結果、強誘電性の指標を示す残留分極値 Pr は約 12μC/cm^2 であり、BNT-0.17BT 厚膜で得られた約 9μC/cm^2 よりも良好な特性を示した。また、高温特性については、BNT-0.09BT のバルクセラミックスが 180°C で Pr が約 3μC/cm^2 に低下するのに対し MgO 基板上に作製された厚膜は 250°C でも Pr が約 10μC/cm^2 を示した。

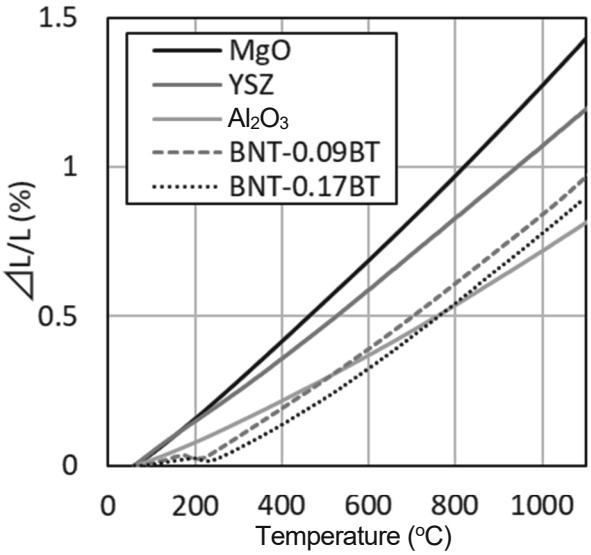


Fig. 2 TMA curves of MgO, YSZ, Al_2O_3, BNT-0.09BT, and BNT-0.17BT ceramics

4. 結言

下部電極の厚みは、厚膜の残留応力や比誘電率の温度特性に大きな影響を与えないことが確認された。また、BNT-0.09BT 厚膜は室温で BNT-0.17BT 厚膜よりも良好な電気特性を示した。熱膨張係数の大きな基板上に作製した BNT-0.09BT 厚膜はバルクセラミックスよりも高温で強誘電性を示し、BNT-0.17BT と同様にバルクセラミックスよりも高温で使用できる可能性が示された。

参考文献

1) 坂井ほか:富山県工業技術センター研究報告 32 (2018) 77
2) Y. Sakai *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **56** (2017) 10PF01
3) L. Liu *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **59** (2020) 025502
4) M. Vögler *et al.* : Phys. Rev. B, **95** (2017) 024104

キーワード：非鉛、圧電、厚膜、応力

Development of Lead-free Piezoelectric Thick Films for High Temperature Applications

Electronics and Device Technology Section; Yuichi SAKAI and Tatsunori KAKUDA

Preparation of lead-free piezoelectric thick films by screen printing has been studied. (1-*x*)$Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$-*x*$BaTiO_3$–based (BNT–*x*BT) thick films were prepared on substrates with different thermal expansions. Remanent polarization (Pr) over 250 °C of the BNT–0.09BT thick films prepared on MgO was better than that of the bulk ceramics. Results of the XRD measurement implied that the reason of the good electrical properties at high temperature of the BNT–0.09BT thick films prepared on MgO was compressive stress caused by difference in thermal expansions between thick films and substrates.

感光性材料の開発

電子デバイス技術課　横山義之　日産化学(株)　岸岡高広

1. 緒言

温度応答性ゲルは、温度変化に伴って、①親水性（室温）⇔疎水性（体温）が切り替わる、②膨潤⇔収縮を引き起こし体積が変化する、③水や薬剤を吸収⇔再放出する、という特徴を有している。これまでの研究で、この温度応答性ゲルに半導体フォトレジストのような感光性を付与し、フォトリソグラフィー法で直接微細パターニングできるように検討を行ってきた。上記のフォトレジスト化した温度応答性ゲルを我々は「バイオレジスト」と名づけ、医療・バイオ・MEMS 分野での実用化を目指している。その中では、1 細胞もしくは特定の大きさのスフェロイド（細胞塊）を一つずつ捕捉・配列できる細胞アレイチップや、再生医療用の高機能な細胞培養シート、マイクロ流体チップの流路を制御できるマイクロバルブ・ポンプ等への応用に取り組んでいる。

本研究では、このバイオレジストの細胞培養シートとしての一層の機能改善に取り組んだ。具体的には、バイオレジストの化学組成を変更・改良し、細胞の接着性・増殖性が異なる種々のバイオレジストの開発を行った。

2. 実験方法

はじめに、化学組成が異なるバイオレジストを複数合成し、その中の代表的なバイオレジスト 3 種を、組成 1〜3 と名付けた。次に、細胞培養基板上に、バイオレジストをスピンコートし、Xe-Hg ランプを光源としたフォトリソグラフィー法（コンタクト露光）によりマスクパターンを転写した。その結果、組成 1〜3 とも、フォトマスクパターンに対してネガ型の良好な微細パターンが得られた。続けて、バイオレジストパターン上での細胞培養実験を行った。マウス繊維芽細胞(NIH 3T3)を用い、培地には Minimum essential medium (MEM 培地、Gibco)に、10%のウシ胎児血清(Fetal bovine serum; FBS)と、1%のペニシリンストレプトマイシン (Gibco)と、0.5%のファンギゾン (Sigma)を加えた培養培地を用いた。細胞を播種した後、37℃、5% CO_2 条件下で 3 日間インキュベートし、位相差顕微鏡を用いて細胞の接着および増殖の様子を観察した。

3. 実験結果

細胞接着性の実験結果を図 1 に示す。組成 1〜3 において、レジストパターンが無く細胞培養基板が露出している領域には細胞が接着し、さらに、領域内全面に細胞が増殖していた。それに対して、組成 1 では、レジストパターン領域には細胞が接着せず、細胞の増殖も見られなかった。組成 2 では、レジストパターン領域のところどころに細胞が接着するとともに、伸長形状を取りながら、細胞が増殖していく様子が見られた。組成 3 では、レジストパターン領域のところどころに細胞が接着したが、通常の平面的な増殖やその際に見られる伸長形状はほとんど観察されず、立体的に丸まりながら、スフェロイド状に増殖していく様子が見られた。

4. 結言

医療・バイオ・MEMS 分野への応用を目的として、バイオレジストの機能改善を行った。その中で、細胞の接着性および増殖性が異なるバイオレジストの開発を試みた。開発した種々のバイオレジストは、良好な光パターニング特性を維持しながら、異なる細胞接着性および細胞増殖性を有していることがわかった。本研究の成果によって、培養したい細胞種および組織形態に合わせて、バイオレジストを使い分けることが可能になった。この手法により、再生医療分野へのバイオレジストの応用の可能性が拡がると期待される。

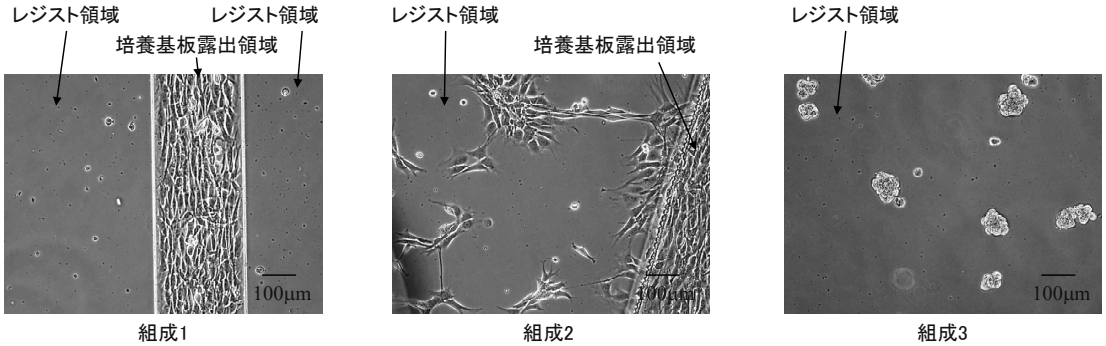


図 1　化学組成の異なる種々のバイオレジストパターン上で行った細胞培養の結果

外観検査用画像処理の自動最適化に関する研究

機械情報システム課　金森直希　本保栄治*1　　ものづくり研究開発センター　佐々木克浩
若い研究者を育てる会　田中精密工業(株)　中嶋謙　　コーセル(株)　田中智惟

1. 緒言

外観検査工程で誤検知が発生した場合の検査プログラムの迅速な修正・調整は、専任技術者に依存しており、彼らの負担が大きい。そこで、本研究では、外観検査用の画像処理において、外観不具合画像、良品画像、および大まかな不具合個所を提示するだけで、対象の画像処理システムの能力も考慮した画像処理の手順・パラメータを自動的に生成する方法を検討し、精密機械加工部品および電子基板の外観検査事例に適用して、提案手法の有効性を確認した。

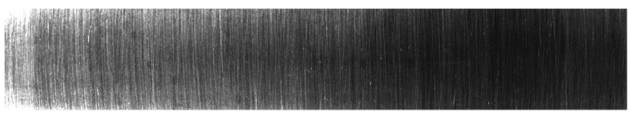
2. 画像処理の自動生成方法

外観検査のための画像処理は、撮影画像に対して様々な画像処理関数を適切な順番かつそれぞれの画像処理関数を適切なパラメータで施すことで実現されるが、従来、専任技術者に頼っていたこの工程を進化計算アルゴリズムの一つである遺伝的アルゴリズムによりコンピュータ内で実施する。同様の取り組みは既に幾つか存在するが、従来と異なるのは、生成された画像処理プログラムを撮影画像に適用した結果だけを評価するのではなく、生成されたプログラムを製造ライン用の外観検査システムで実行することを想定した評価も加えたことにある。

3. 精密機械加工部品の外観検査への適用

エンジン・ピストンピンの外周円筒面に発生することがある微小な研削ムラを対象として、不具合画像および良品画像（Fig. 1）を入力し、画像処理プログラムの生成を行ったところ、第 50 世代目に出力された有用なプログラム例を Fig. 2 に示し、このときの出力画像を Fig. 3 に示す。

(a) appearance defect image



(b) good product image

Fig. 1 Input images of piston pin

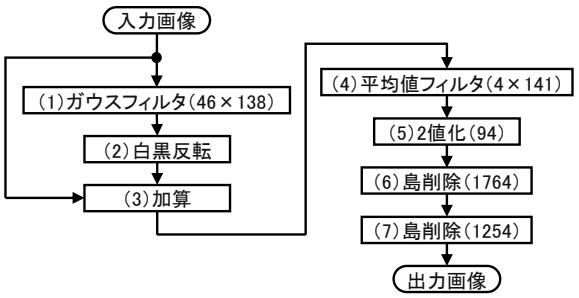


Fig. 2 Automatically generated image processing procedure for piston pin(50th generation)

Fig. 3 Output images (50th generation)

4. 電子基板の部品抜け検査への適用

本手法を電子部品が実装された電子基板におけるジャンパ線の欠落を検査する事例（Fig. 4）に適用した結果、部品の欠落を正しく判定することができた（Fig. 5）。

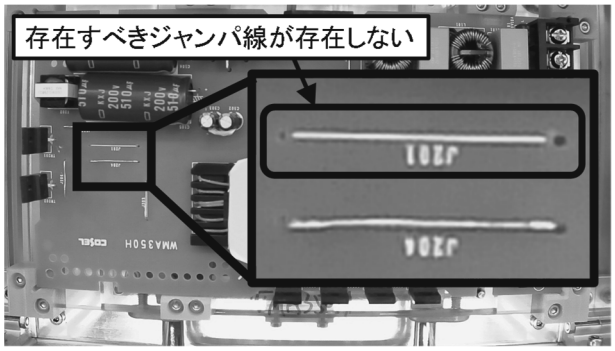
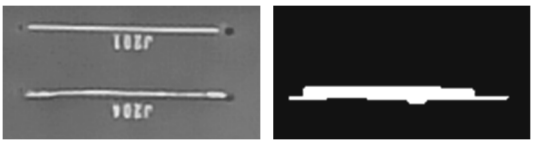


Fig. 4 Inspection of missing jumper wires on electronic boards



(a) input image　　(b) output image

Fig. 5 Image processing result

（詳細は、令和元年度　若い研究者を育てる会「研究論文集」pp. 1-7 を参照。）

*1 現　電子デバイス技術課

フレキシブル薄膜二次電池の基礎研究

電子デバイス技術課　角田龍則　寺澤孝志　早苗徳光[*1]　横山義之　　機械情報システム課　本保栄治[*2]
若い研究者を育てる会　北陸電気工業(株)　岩滝幸司　　富山大学　中　茂樹

1. 緒言

次世代の電池として期待されているリチウムイオン固体電解質二次電池は、電解液を使用しない固体材料のみの電池であり、リチウムイオン伝導の電池である。電解液を使用しないため、分解副生成物による特性劣化が起きないという特徴がある。そのような固体電池の中でも、構成材料を薄膜化した二次電池は、電解質を薄くすることで内部抵抗を低減しウェラブルデバイスと一体化できるという利点があり、フレキシブルな携帯電源としての応用が期待されている。そこで本研究では、真空成膜法で多層膜を形成し、フレキシブルな二次電池を開発することを目的とした。本年度は正極薄膜に重点をおき、その構造解析および電池特性の評価を実施し、充放電特性の改善を進めた。

2. 正極薄膜の形成

正極材料にはコバルト酸リチウム(LCO)を選択した。市販の LCO 粉末とバインダを混合し、加圧後、大気中 950°C で 1 時間焼結して、円板状の LCO 板を作製した。作製した LCO ターゲットをスパッタリング装置に取り付け、所定の条件で耐熱ガラス基板(ホウケイ酸ガラス)に成膜した。

得られた LCO 薄膜をグロー放電発光分析により厚み方向の組成分析を行った。なお、成膜時には、基板加熱を実施した。厚み方向の元素分布は、Li 比率が多目ではあるが、Co は一定の割合で成膜されており、Co : O のモル比はほぼ 1:2 の割合で存在していた。また、それぞれの薄膜のエックス線回折測定を実施し、成膜温度が高いほど LCO が結晶化していることを確認した。

続いて Ti 基板上に LCO 薄膜を成膜し、その薄膜を正極として、電解液、セパレータ、Li 箔を充放電特性評価用電池セルに組み込み、LCO 正極の放電特性を評価した。成膜時の基板加熱温度を加熱なし、200°C、300°C、400°C、500°C、550°C の 6 条件で実施した。表 1 はそれぞれの放電容量を示す。特に 300°C と 400°C の成膜において、容量が大きくなった。また、成膜時間を増加することで LCO 薄膜の厚みを 2 倍にして、同じように放電特性を評価した。表 2 は、成膜時間を 2 倍にした薄膜の放電容量を示す。放電容量は約 2 倍となった。

Table. 1 Discharge capacity of LCO electrode by heating substrate

加熱温度 [°C]	LCO 膜厚 [nm]	容量 [μAh/cm^2]
無し	250	40.8
200	—	38.2
300	—	48.4
400	250	47.4
500	—	44.1
550	220	39.6

Table. 2 Discharge capacity of LCO electrode by sputtering time

加熱温度 [°C]	成膜時間 [min]	容量 [μAh/cm^2]
無し	60	40.8
無し	120	84.1

3. 固体電解質窒化リン酸リチウム薄膜の形成

真空成膜法(スパッタリング法)により固体電解質膜の窒化リン酸リチウム(LiPON)を成膜した。N_2 導入量を変更した膜の交流インピーダンス測定をおこないイオン伝導度を算出した。成膜時の N_2 分圧 5×10^{-2} Pa の電解質膜で、最も高い伝導度が得られた。さらに Ti 板に正極、電解質、Si 負極、引き出し電極を成膜した多層膜(図 1)の充放電試験を実施したところ、数 μAh/cm^2 ではあるが放電特性を示した。

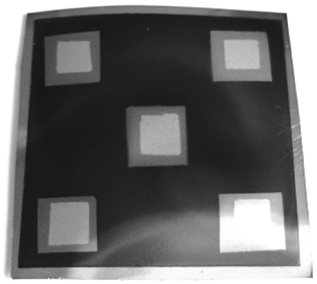


Fig. 1 Thin film battery on Ti substrate

4. まとめと今後の課題

本年度の研究では、フレキシブルな薄膜固体電池を開発することを目的に、スパッタリング法により LCO 正極薄膜と LiPON 固体電解質薄膜をそれぞれ得た。電池セルにより放電特性評価をおこない、正極として機能することを確認できた。また、正極、固体電解質を積層し、更に負極と引き出し電極を電池構造に成膜した多層膜で放電特性が得られた。

（詳細は、令和元年度　若い研究者を育てる会「研究論文集」pp. 15-21 を参照。）

*1 現　生活工学研究所、*2 現　電子デバイス技術課

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

機械情報システム課　釣谷浩之　　機械電子研究所 佐山利彦[*1]
ものづくり研究科発センター　関口徳朗　佐々木克浩[*2]　　生活工学研究所　塚本吉俊
若い研究者を育てる会　コーセル(株)　小林寛治　(株)タカギセイコー　吉澤　明

1. 緒言

本研究では、熱サイクル試験を実施する際に、機械電子研究所に設置された、環境試験装置を遠隔モニタリングできる試験機器集中管理システムを利用し、試験体を温度槽から取り出すことなく、外部から遠隔でモニタリングしながら、健全性の評価を行った。これにより、従来の方法と比較して、短い間隔で健全性の評価を行うことができることから、環境試験の効率化を図るとともに、これまで明らかでなかった対象製品の健全性が損なわれるまでの特性の変化の解明が期待できる。

2. 実験方法

2.1 試験体および熱サイクル試験

試験体は、直流安定化電源を使用した。この試験体は、縦 26.6 mm×横 36.2 mm×高さ 16.5 mm の樹脂製ケースの内部に、電子基板が入っており、シリコーンゴムを充填して隙間が埋められている。この試験体に、JIS 規格 C60068-2-14 環境試験方法－電気・電子－第 2-14 部 温度変化方法 [1]に準拠した加速熱サイクル試験を実施した。

2.2 試験体の健全性評価方法と計測回路

使用した試験体は、メーカーの基準で、入力電力に対する出力電力の割合が、85%以上を満たしている必要がある。そこで、この評価基準を試験体の健全性の評価に用いることとした。ネットワークを介して計測や操作が可能なデータロガーおよびリレースイッチを用いて、遠隔で入出力電力の計測を行った。

3. 実験結果

遠隔での計測により、おおよそ 1 日に 1 回計測を実施することが可能となった。そこで、実際に故障した時点から、入出力電力比を計測するまでの残サイクルについて、平均残サイクルを求め、平均残サイクルがどの程度削減されたか確認した。試験機器集中管理システムを利用した遠隔計測の計測間隔を $N=24$ サイクル(1 日 1 回計測)として計算した場合、平均残サイクル数は、11.5 サイクルとなる。Table 1 は、各サイクル間隔での平均残サイクル数と削減できた割合を示す。100 サイクルの間隔で健全性評価を行った場合、平均残サイクル数は、49.5 サイクルであり、削減率は、76.8%となった。間隔が大きくなるに従って削減率は上昇し、500 サイクル間隔の場合は、削減率は、95.4%となった。本研究で提示したシステムを用いることで、従来の方法と比較して無駄なサイクルを大幅に削減することが可能となった。

Table 1　Reduction rate for average number of remaining cycles

計測間隔[サイクル]	平均残サイクル数	削減率
100	49.5	76.8%
200	99.5	88.4%
300	149.5	92.3%
400	199.5	94.2%
500	249.5	95.4%

4. 結言

本研究では、富山県産業技術研究開発センターに整備された環境試験装置などを遠隔モニタリングできる試験機器集中管理システムを用いて、熱サイクル試験を実施する際に、試験体を温度槽から取り出すことなく、任意のサイクルで、外部から遠隔で健全性の評価を行えるようにすることで、環境試験の効率化を試みた。その結果、100 サイクル間隔で健全性の評価を行った場合と比較して、無駄となる平均残サイクル数を 76.8%削減することができた。また、短い間隔で計測を行うことができることから、健全性の評価に用いる入出力電力比が、非常に短期間で急速に低下することが明らかとなった。今後、計測を自動化するなど、改善を行うことで、さらに効率を高めることができると考えられる。一方で、計測の際に通電する必要があることから、頻繁に通電することが寿命に及ぼす影響が不明であること、計測回路の損失の影響の評価が不十分で旧機種の試験体については正しく評価が行えなかったなど課題も残った。また、通電せずに評価が行える対象であれば、より容易に遠隔モニタリングシステムを運用することができるものと考える。
（詳細は、令和元年度　若い研究者を育てる会「研究論文集」pp. 22-27 を参照）

参考文献

1) JIS 規格 C60068-2-14 環境試験方法－電気・電子－第 2-14 部 温度変化方法

*1 現　(公財)富山県新世紀産業機構、*2 現　生活工学研究所

CAE の構造最適化を用いた設計手法に関する研究

機械情報システム課　中村陽文　金森直希　羽柴利直[*1]　機械電子研究所　佐山利彦[*2]
ものづくり研究開発センター　住岡淳司[*3]　山本貴文　若い研究者を育てる会　（株）タカギセイコー　清田典秀

1. 緒言

機器・構造物の設計において、性能向上ならびに性能を満足した上での軽量化は重要な課題である。トポロジー最適化は、CAE を用い、目的の特性を満たす条件下で、最適な材料分布に到達する構造最適化手法のひとつである。本研究では、一般的な構造体に対して、トポロジー最適化を活用した実用的な設計手法を確立することを目的とした。最適化設計の対象として椅子をとりあげ、トポロジー最適化および構造解析を用いて最適形状の探索を行った。その際、椅子の日本工業規格（JIS）[(1)]に想定される静的負荷条件下おいて、可能な限り高い剛性と軽量化を実現することを目標とした。次に、得られたトポロジー最適化形状の 3D-CAD モデリングを行い、樹脂成形に適した形状設計について検討を加えた。最終的に得られた構造最適化モデルに対して、実験的検証を行った。

2. 実験方法

トポロジー最適化を行う椅子の初期形状は、外形 300×200×325 mm の大きさで、4 ヶ所の脚を有する形状とした。JIS [(1)] を参考に、座面および背もたれのそれぞれに、合力が 1100 N および 410 N となる等分布荷重を負荷する状況を標準条件として設定した。座り心地を考慮して、座面と背もたれの角度はそれぞれ地面に対して 6°および 104°とした [(2)]。トポロジー最適化は、FUSION360（Autodesk）を使用して行った。設計領域、境界条件、および体積制約条件が最適形状に及ぼす影響を調べて、最終的な最適形状の探索を行った。トポロジー最適化の工程で得られた形状を出力し NASTRAN（MSC Software）を使用して静的な構造解析を行った。実験的検証を行うため、積層造形装置(EOS GmbH 製、Formiga P100)を用いて 3D 実体化を行い、静的負荷試験を実施した。

3. 実験結果および考察

トポロジー最適化と静的構造解析の結果、体積制約条件を 7.5%とした場合の形状において、構造体として十分な強度を有しており、また強度において過剰設計ではないことがわかった。樹脂製品については、実際の生産性を考慮すると、射出成形が可能であることが最も望ましい。そこで、射出成形で製造可能な形状を検討した。設計上考慮すべき課題は、抜き勾配等の形状および樹脂成形時の不均一な冷却による反りやヒケ不良を回避すべく、5 mm 程度の均一な板厚構造にすることである。製造性を考慮したモデルを作成したところ、最適化で得られた形状に対してコンプライアンス（剛性の逆数）は 3.6%の僅かな増加に抑えることができた。Fig. 1 に示すのは、最適化で得られた形状および製造を考慮した形状をそれぞれ造形したものである。静的負荷試験の結果、規定の繰返し負荷の後も破損が認められなかったことから、いずれのモデルにおいても当初の目的の静的負荷条件に適合しているものと判断した。座面および背もたれへの負荷のいずれにおいても破壊箇所は構造解析によって得られた応力集中部と一致していた。以上より、構造体としての設計が適切に行われていることを検証できた。

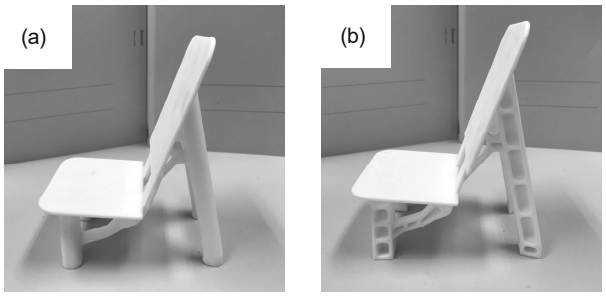


Fig. 1 Example of materialization by 3D printing from (a)the optimized model and (b)the model considered for resin moldability

4. 結言

本研究では、一般的な構造体として椅子を例にとり、トポロジー最適化を活用した実用的な設計手法について検討した。固定位置、負荷形態、体積制約等の多くの条件を考慮してトポロジー最適化を行い、構造体として成立しうる形状を見いだした。最終的に得られた形状について、積層造形装置を用いた実体化を経て、静的負荷試験によるコンプライアンスの検証を行った。

（詳細は、令和元年度　若い研究者を育てる会「研究論文集」pp. 28-35 を参照）

参考文献

1) JIS S1203：1998, 家具ーいす及びスツールー強度と耐久性の試験方法

2) 花岡利昌 他：人間工学, Vol. 2, No. 5 (1966), pp. 30-38

*1 現　ものづくり研究開発センター、*2 現　(公財)富山県新世紀産業機構、*3 現　企画管理部

富山県産業技術研究開発センター研究報告

№34　2020

発行日　令和 2 年 7 月 20 日

発　行　富山県産業技術研究開発センター
企画管理部・ものづくり研究開発センター
〒 933-0981 高岡市二上町 150 番地
Tel. 0766 21 2121　Fax 0766 21 2402
生活工学研究所
〒 939-1503 南砺市岩武新 35-1 番地
Tel. 0763 22 2141　Fax 0763 22 4604
機械電子研究所
〒 930-0866 富山市高田 383 番地
Tel. 076 433 5466　Fax 076 433 5472

編　集　富山県産業技術研究開発センター
企画管理部　企画調整課
〒 933-0981 高岡市二上町 150 番地
Tel. 0766 21 2121　Fax 0766 21 2402
http://www.itc.pref.toyama.jp/

富山県産業技術研究開発センター研究報告

№34

2020

富山県産業技術研究開発センター