

岡山県工業技術センター報告

(Report of Industrial Technology Center of Okayama Prefecture)

第 50 号

令和 6 年 7 月

岡山県工業技術センター

目次

【 技術資料 】

1 合織インジゴ染色布の脱色技術	國藤 勝士	1
2 デニムの綾織り構造が表面特性に及ぼす影響	松本 侑子 藤井 英司	3
3 白色度の異なる麴における破精込みの違い	谷野 有佳 竹内 赴登 伊藤 一成 三宅 剛史	5
4 リグノセルロースナノファイバーを用いた無機粒子の分散性の向上	藤井 英司 古谷 充章 瀧本 亮	7
5 カルボキシル基を深さ方向に導入したポリプロピレンの表面自由エネルギーに関する研究	中西 亮太	9
6 浸窒焼入れ処理により形成する組織におよぼす試料サイズの影響	築山 訓明	12
7 環境調査を目的とした遠隔モニタリングシステムの長時間連続運転に関する検討	松岡 大樹 山下 泰司 竹本 浩之	14
8 レーザクラディングにおける溶接条件と温度に関する実験的・数值的検討	藤井 健博 築山 訓明 勝田 智宣 林 泰弘 松浦 善彦	16
9 ヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率の予測と検証	藤本 望夢 眞田 明 高田 卓	18
10 ポリプロピレン/ポリスチレンブレンド材料に関する粘弾性曲線の算出	甲加 晃一 藤原 和子 日笠 茂樹	20
11 ゴム/セルロース複合材中のセルロース配向の定量評価手法	幕田 悟史 石田 拓也 藤井 英司	23
12 ゴム材料の薄片試料の作製手法	岩舘 仁 石田 拓也 八木 駿	25
13 解析的手法によるLorentz型FIDのGauss展開	岩舘 仁 村上 浩二	27
14 LANケーブルコネクタ部の引張強度の検討	渡辺 哲史 若尾 和正 林洋 之	29
15 銅張ポリプロピレン薄板の高周波基板への適用検討	常定 健 渡辺 哲史	31
16 機械学習を用いた子牛の高精度な体重推定	岩田 和大 堀川 寛通	34
17 マルチマテリアルにおける接着面形状の最適化	岩田 和大 中西 亮太	36
18 ポリプロピレンフラットヤーンの耐候性評価	川野 道則 浦部 匡史 戸来 義仁 高瀬 武馬	38

Contents

【 TECHNICAL REPORT 】

1 Decolorization technology for indigo dyed fabrics of synthetic Fibers	Katsushi KUNITOU	1
2 Effect of twill weave structure of denim on surface properties	Yuko MATSUMOTO Eiji FUJII	3
3 Difference of <i>haze-komi</i> in <i>koji</i> having different whiteness	Yuka TANINO Hayato TAKEUCHI Kazunari ITO Tsuyoshi MIYAKE	5
4 Improvement of dispersibility for inorganic particles using lignocellulose nanofiber	Eiji FUJII Mitsuaki FURUTANI Ryo TAKIMOTO	7
5 A study on the surface free energy of polypropylene with carboxyl groups introduced in the depth direction	Ryota NAKANISHI	9
6 Influence of specimen size on microstructure formed by high temperature nitriding and quenching	Kuniaki TSUKIYAMA	12
7 Study on continuous operation of remote monitoring system for environmental survey	Hiroki MATSUOKA Yasushi YAMASHITA Hirouyuki TAKEMOTO	14
8 Experimental and numerical study on process parameters and temperature in laser cladding	Takehiro FUJII Kuniaki TSUKIYAMA Tomonori KATSUTA Yasuhiro HAYASHI Yoshihiko MATSUURA	16
9 Estimation and verification of normal incidence absorption coefficient of Helmholtz resonator	Nozomu FUJIMOTO Akira SANADA Suguru TAKATA	18
10 Calculation of the viscoelastic curves about polypropylene / polystyrene blend materials	Kouichi KOUKA Kazuko FUJIWARA Shigeki HIKASA	20
11 Quantitative evaluation method for cellulose orientation in rubber/cellulose composites	Satoshi MAKUTA Takuya ISHIDA Eiji FUJII	23
12 Preparation method of samples for depth analysis in rubber materials	Hitoshi IWABUKI Takuya ISHIDA Suguru YAGI	25
13 Gaussian expansion of Lorentz-type FID by analytical method	Hitoshi IWABUKI Koji MURAKAMI	27
14 Evaluation of tensile strength of plug connection in LAN cable	Tetsushi WATANABE Kazmasa WAKAO Hiroyuki HAYASHI	29
15 Application of copper-clad polypropylene sheet to high-frequency circuit boards	Tetsushi WATANABE Takeshi TSUNESADA	31
16 Highly accurate weight estimation of calves using machine learning	Kazuhiro IWATA, Hiromichi HORIKAWA	34
17 Optimization of bonding surface geometry in multi-materials	Ryota NAKANISHI	36
18 A study on weatherability of polypropylene flat yarn	Michinori KAWANO Kohei YAMAMURA Noriyuki NAGAYAMA	38

【 外部発表 】

(誌上発表)

1 粉末・樹脂成型用金型に適した高機能硬質膜の開発	國次 真輔	43
2 Ensemble Learning in CNN augmented with fully connected subnetworks	平田 大貴 高橋 規一	
3 Natural convective heat transfer from a heated horizontal disc with heated hollow cylinders: Effect of flow characteristics around heated cylinders with a gap	下山 力生 山田 寛 磯部 和真 堀部 明彦	44
4 異種材料との複合化がポリオレフィンの衝撃強度に及ぼす影響	日笠 茂樹	
5 LLDPE/PA6ブレンドの疲労特性に及ぼす相容化材の影響	日笠 茂樹	
6 シリコーンゴムを透過した気体状モノクロラミンによる種々の微生物の不活化	高橋 和宏 大村 蒼志 福崎 智司	45
7 Efficacy of sodium chlorite in inactivating <i>Vibrio parahaemolyticus</i> attached to polyethylene terephthalate surfaces	高橋 和宏 福崎 智司	
8 Preparation of platinum nanoparticles using a continuous-flow precision synthesis system	木村 祥彦 藤井 英司	46
9 Green Synthesis of Copper Nanoparticles using a High-Pressure Wet-Type Jet Mill	藤井 英司 木村 祥彦 峯村 淳	

(口頭発表)

47 ~ 52

技術資料

合繊インジゴ染色布の脱色技術

Decolorization technology for indigo dyed fabrics of synthetic fibers

國藤勝士

Katsushi KUNITOU

キーワード ナイロン／ポリエステル／インジゴ／脱色／還元
KEY WORDS Nylon／Polyester／Indigo／Decolorization／Reduction

1 はじめに

インジゴは藍染めやジーンズ用染料として現在も多く使用されている青色染料である¹⁾。インジゴは主として綿や羊毛等、天然繊維用の染料であり、ジーンズでは次亜塩素酸ナトリウムやオゾン等の酸化剤によってインジゴを分解・脱色させ、ジーンズ独特の色落ち感を創出できることがインジゴの大きな特徴となっている。

ナイロンやポリエステルなど合成繊維(以下、「合繊」と表記)は綿など天然繊維と比べて軽量であり、速乾性や柔軟性にも優れている。合繊をジーンズに用いることができれば綿ジーンズには無い特徴を有する合繊ジーンズ創出が期待される。我々は、これまでの研究でナイロンやポリエステルなど合繊へのインジゴ染色技術を確立している²⁾。しかしながら、合繊インジゴ染色布は次亜塩素酸ナトリウム、オゾンなどの酸化剤による脱色が極めて困難であったため、合繊ジーンズを作製しても綿ジーンズと同等な脱色加工を行うことができなかった。合繊ジーンズを実用化するためには、合繊インジゴ染色布脱色技術の確立が不可欠な要素となっている。

そこで本研究では、脱色剤として還元剤(ハイドロサルファイト)を使用し、合繊インジゴ染色布(ナイロンおよびポリエステル)の脱色について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 試料

染料であるインジゴは Dystar 製の合成インジゴ(Dystar Indigo Gran)、被染物は(一財)日本規格協会のナイロンおよびポリエステル添付白布を使用した。ハイドロサルファイトはキシダ化学(株)製の化学用(85%)、水酸化ナトリウムはナカライテスク(株)製特級を使用した。

2.2 合繊インジゴ染色布の作製

既報³⁾の染色方法に従って、赤外線ポット染色試験機((株)テクサム技研製、UR MINI-COLOUR)を用いて、インジゴ染色したポリエステル染色布(2%o.w.f., Total K/S 値=98.56)とナイロン染色布(0.5%o.w.f., Total K/S 値=32.35)を作製した。

2.3 脱色方法

染色ポットにハイドロサルファイト 10g/L、水酸化ナトリウム 5g/L の混合溶液 44 mL に布 0.44 g (浴比 1:100)を投入し、赤外線ポット染色試験機にて 60~120℃・30 分処理した。複数回脱色を行う場合は、ナイロンでは 90℃、ポリエステルでは 120℃・30 分処理した。布を取り出した後に新しい混合溶液に同布を投入して同条件処理を繰り返した。試験終了後、布を取り出して水洗・乾燥し試料とした。

2.4 評価

コニカミノルタ(株)製の分光測色計 CM-3600d を用いて 400-800 nm の反射率を測定し、Kubelka-Munk 関数により、濃色性の指標である Total K/S 値を算出することにより各布のインジゴ染着量を求めた。ナイロン、ポリエステルの染着量が異なるため、式(1)の脱色率に換算して評価した。

$$\text{脱色率(\%)} = (1 - (\text{処理布の Total K/S 値} / \text{未処理布の Total K/S 値})) \times 100 \quad \cdot \cdot (1)$$

3 結果と考察

図1に処理温度の影響を示す。脱色率0%の場合、染色布は全く脱色されていないことを示し、数値が100%に近いほど、より脱色されて染色布が無色となったことを表す。

検討の結果、ナイロンでは80~90℃の範囲で脱色率は約80%と最も高くなったが、100℃以

上では逆に脱色率は約 60%程度となった。100℃以上ではナイロン布の収縮や硬化が認められたことより、高温領域ではナイロンの収縮等により見かけの脱色率が低下したと推察される。一方、ポリエステルは温度上昇に伴って加速度的に脱色し、120℃では脱色率は約 95%(見かけ上はほぼ無色)となった。一般にナイロンは 80～90℃、ポリエステルは 120℃～130℃の範囲で染色する。脱色の場合も染色と同様の温度領域において繊維内から還元液へと染料が溶出し、脱色が進行したと考えられる。

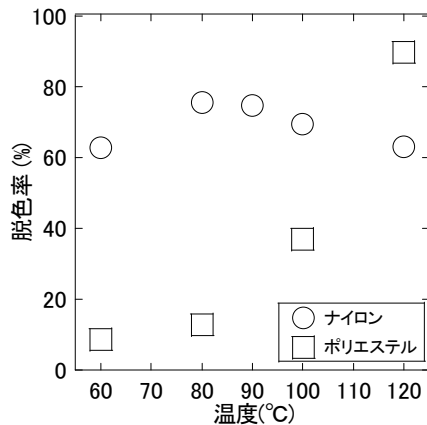


図1 処理温度の影響

図2に水酸化ナトリウム濃度の影響を示す。1g/L 条件では染色ポットから取り出した直後のナイロン、ポリエステル布は黄色であった。時間経過とともに青色に変化した。還元インジゴは黄色であることから、布上でインジゴが還元状態となったと考えられる。1g/L では還元液への溶出がほとんど確認できなかったことより、布中の還元インジゴが溶出されず脱色率が低下したと推察される。2.5g/L 以上では 1g/L と同様に布の黄色化が確認されたが、還元液への染料溶出も認められた。脱色率は 5g/L 以上の濃

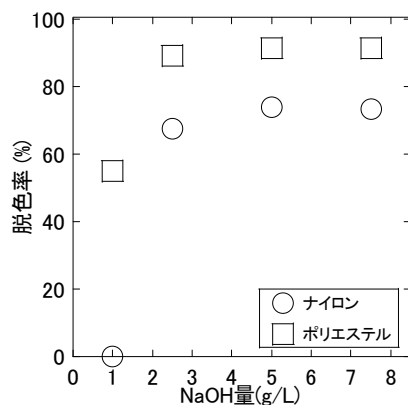


図2 水酸化ナトリウム濃度の影響

度ではほとんど変化しなかった。脱色を効率的に行うには一定以上のアルカリ条件が必要であることが分かった。

図3に脱色回数の影響を示す。ポリエステルでは1回操作でほぼ無色まで脱色できたが、ナイロンは 80%程度の脱色率に留まった。脱色率を高めるため、新しい還元液を使用して脱色操作を繰り返した。その結果、脱色操作回数増加に伴ってナイロンは脱色され、3回操作でほぼ無色まで脱色できた。

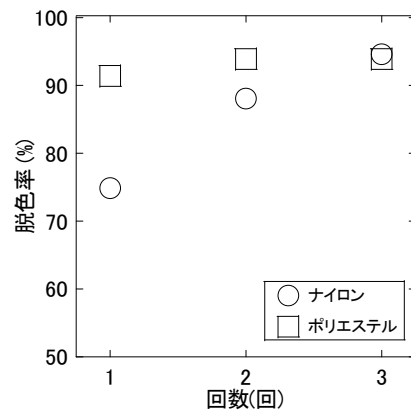


図3 脱色回数の影響

3 まとめ

インジゴ染色した合繊(ナイロン、ポリエステル)布の還元剤(ヒドロサルファイト)処理による脱色に関する検討を行い、以下の結果を得た。

- ・ナイロンは 80～90℃、ポリエステルは 120℃処理温度の時に最も脱色した。
- ・水酸化ナトリウムは 1g/L では脱色率は低かったが、濃度増加とともに脱色率は増加した。本試験条件では 5g/L 以上の濃度が必要であることが分かった。
- ・ポリエステルは 1 回操作でほぼ無色に脱色できた。一方、ナイロンは 1 回操作では脱色率は約 80%程度であったが、3 回操作でほぼ無色まで脱色できた。

本研究は岡山県産業廃棄物処理税により実施した。

4 参考文献

- 1) 坂川哲雄. 渡辺弘. 広田昭治. 染色工業, 1988, 35(5), 199-225.
- 2) 本行節暉. 國藤勝士. 内山真喜雄. 森脇紘輝. 特許第 3129674 号.
- 3) 本行節暉. 前田進悟. 國藤勝士. 染色工業, 2000, 48(12), 589-594.

デニムの綾織り構造が表面特性に及ぼす影響

Effect of twill weave structure of denim on surface properties

松本 侑子・藤井 英司

Yuko MATSUMOTO, Eiji FUJII

キーワード デニム / 綾織り / 糸の太さ / 表面特性 / KES

KEY WORDS Denim / Twill / Thread thickness / Surface properties / KES

1 はじめに

厚手の綾織物であるデニムは、表面に独特の斜線模様（綾線）が現出する特有の構造（綾構造）を有し、綾構造は外観だけでなく、ヒトが生地に触れる際に感じる表面の摩擦特性にも影響を及ぼす。繊維製品において、ヒトが触れた時に感じる生地風の合いを評価する手法として、Kawabata Evaluation System (KES) が知られており、表面特性の評価においては、3種類の特性値（*MIU*（平均摩擦係数）、*MMD*（摩擦係数の平均偏差）、および*SMD*（表面粗さの平均偏差））が用いられている¹⁾。

これまでに、4方向（経糸方向、緯糸方向、綾線方向、綾線の垂線方向）に摩擦した場合のデニム生地の表面特性について基礎検討をおこない²⁾、KES試験機で測定した*MIU*、*MMD*、および*SMD*が、経糸方向および綾線方向の結果よりも緯糸方向および綾線の垂線方向のほうが大きいことを確認した。摩擦方向によって表面特性が異なる理由として、摩擦方向に対する経糸や綾線の向きと糸や綾線の太さが影響すると考えられるが、詳細は明らかになっていない。

そこで、本研究では、糸の太さが異なるデニム生地を用い、綾構造が表面特性に及ぼす影響を調査した。生地表面を摩擦したときに感知する糸の太さは、整理加工によっても変化することを考慮し、整理加工条件を同じにした目付の異なる生地を用意した。生地を上から観察したときの糸の太さを見かけの糸の太さとして、表面特性との関連性を評価した。

2 実験方法

目付が8オンス（D8）、および12オンス（D12）の市販のデニム生地（綿100%）を用いた。各デニム生地の整理加工条件は同一で、どちらも2/1右綾構造である。各生地表面をデジタルマイクロスコープ（ハイロックス製、HRX-01）を用いて観察した。糸4本について各糸の任意の1箇所の幅を測定した平均値を算出した（図1）。

表面特性は、経糸方向および緯糸方向について各3箇所から、測定方向が長辺になるように裁断した3 cm × 27 cmの大きさの試料を評価した。20°C、65%RHの条件下で、粗さ/摩擦感テスター（カトーテック株式会社、KES-SESRU）に、試料の片側に

張力が20 gf/cmになるようにおもりをつけて試料を設置し、生地のおもて面を摩擦接触子または粗さ接触子を用いて1 mm/sで、30 mm走査した。摩擦接触子（10 mm × 10 mm）と粗さ接触子（0.5 mm × 5 mm）をそれぞれ50 gf、および10 gfの荷重で生地に押し当てた。開始直後と終了直前の5 mmの結果をのぞく、20 mm範囲の測定値から、KES特性値の*MIU*、*MMD*、および*SMD*を算出した。

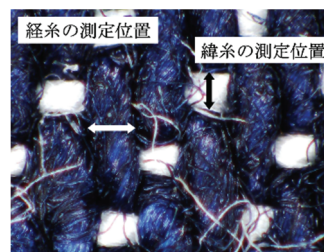


図1 見かけの糸の太さの測定手法

3 結果と考察

見かけの糸の太さの平均値を表1に示す。経糸および緯糸では、ともにD8よりもD12のほうが見かけの糸の太さは大きいことを確認した。

表1 試料の見かけの糸の太さ

試料名	経糸/ μm	緯糸/ μm
D8	397 ± 9	259 ± 15
D12	469 ± 44	282 ± 24

図2に各デニム生地のおもて面のデジタルマイクロスコープ像を示す。画像の幅は、摩擦接触子と同一の幅（10 mm）を示し、測定ではこの幅の摩擦接触子が画像の上下方向に移動する。また、粗さ接触子はこの半分の幅である。おもて面は大部分を経糸が占めており、経糸に沿って接触子が移動する場合、経糸や、経糸で構成した斜線模様（以後、綾線とする）が表面特性に与える影響が大きいと推察された。一方、緯糸方向では、一定間隔で緯糸を含んで経糸が摩擦方向に対して並行に並んでいることから、接触子は糸の形状に沿って移動することとなり、緯糸方向の表面特性には、経糸や緯糸の見かけの糸の太さの影響が大きいと推察された。2/1綾構造であるため、10 mmの摩擦子の幅内に含まれ

る経糸2本を一組とした組数を綾線の数としたとき、経糸方向の画像から、摩擦子の幅に含まれる綾線は、D8およびD12ともに、9組であることを確認した。経糸一本に着目すると、表面に浮いた経糸の長さは、沈んだ緯糸2本分の見かけの糸の太さに相当すると推測されることから、緯糸の見かけの糸の太さが細いほど綾線は細くなると考えられる。今回用意した試料は、綾線の組数は同様であるが、D8のほうがD12に比べて見かけの糸の太さが細く、綾線が細い特徴があるとわかった。

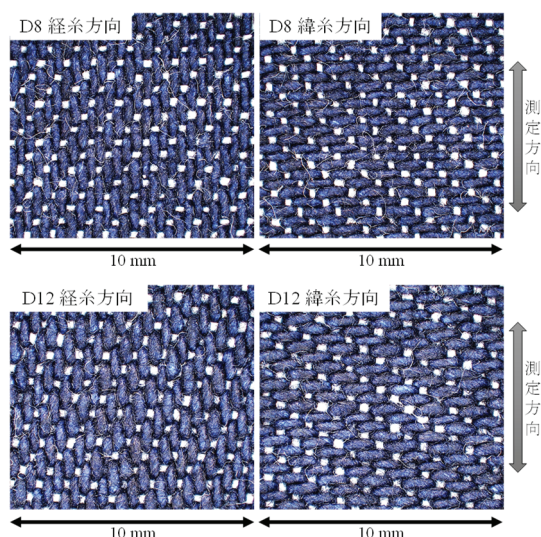


図2 各試料の表面

図3に各試料のMIU、MMD、およびSMDを示す。一般に、MIUが大きいほど滑りにくく、MMDが大きいほど滑らかさが低くざらつきが大きい。またSMDが大きいほど表面の凹凸が大きいことを示す。同じ生地を経糸方向と緯糸方向を比較すると、どちらの試料においても、すべての特性値は、緯糸方向のほうが大きく、緯糸方向に摩擦したときに、すべりにくく、ざらつきのある特性であることがわかった。この結果は以前の報告²⁾と合致しており、デニム生地に共通する特徴であると考えられる。デニム生地の表面には経糸が多いため、摩擦方向が経糸に平行である場合、経糸に沿って摩擦するため、滑らかとなるが、緯糸方向に摩擦する場合、経糸の向きは摩擦方向に対し、垂直になるため、表面の滑らかさや凹凸が経糸方向の摩擦に比べて大きくなったと考察した。

次に、摩擦方向毎に試料を比較した。経糸方向では、D8のほうがD12よりもMIUが大きく、MMDが小さかった。SMDでは差は確認されなかった。緯糸方向では、D8のほうがD12よりもMIUが大きく、MMDが小さかった。SMDでは、D8のほうが大きかった。同じ方向に摩擦した場合に、見かけの糸の太さが細いほど、MIUは大きくなり、MMDが小さくなることが示唆された。また、SMDについては、経糸方向に摩擦した場合には目付による差が確認されず、緯糸方向に摩擦した場合でのみ、差がみられたこ

とから、目付の影響は緯糸方向の摩擦の場合に大きいことが示唆された。緯糸方向の測定では、経糸の形状に沿って、接触子が移動することとなるので、見かけの糸の太さが細いほど、凹凸が細かい構造となり、目付が小さい生地でSMDが大きくなったと考察した。

以上より、緯糸方向に摩擦したほうがすべりにくく、ざらつきのある表面であることはデニム生地に共通した特徴であることがわかった。また、見かけの糸の太さが細いほうが、摩擦方向にかかわらず滑りにくく、特に緯糸方向の摩擦の場合に、表面の凹凸が大きいことがわかった。

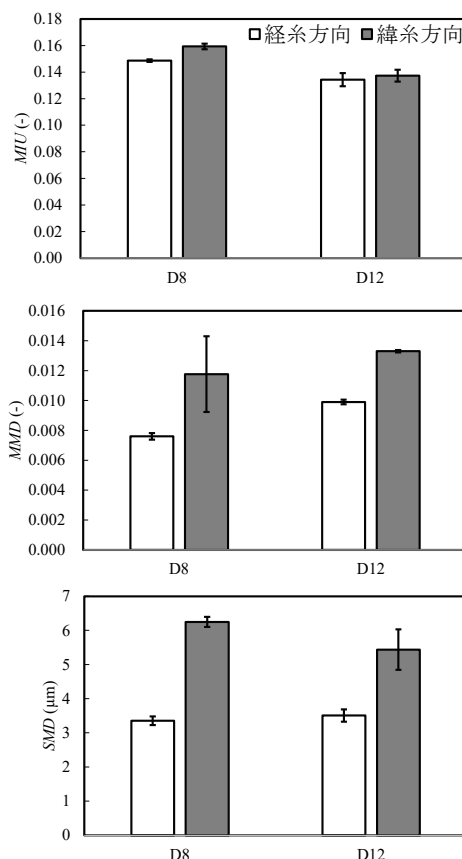


図3 各試料のMIU、MMD および SMD

4 まとめ

デニム生地の表面特性において、全ての特性値が、経糸方向に摩擦するよりも緯糸方向のほうが大きくなった。目付の異なる生地を比較すると、摩擦方向を問わず、目付の小さい生地でMIUが大きく、MMDが小さかった。また、緯糸方向に摩擦した場合、目付の小さい生地でSMDが大きかった。

参考文献

- 1) テキスタイル科学研究会. KES 特性値(パラメータ)を用いるテキスタイルの風合い・外観・快適性客観評価式. 一般社団法人 日本繊維機械学会, 2015.
- 2) 松本侑子. デニム生地の表面特性評価に及ぼす摩擦方向の影響. 岡山県工業技術センター報告. 2020, 47, p.12-13.

白色度の異なる麴における破精込みの違い

Difference of haze-komi in koji having different whiteness

谷野有佳・竹内赴登・伊藤一成・三宅剛史

Yuka TANINO, Hayato TAKEUCHI, Kazunari ITO, and Tsuyoshi MIYAKE

キーワード 麴 / 破精込み / 白色度 / デジタルマイクロスコープ

KEY WORDS Koji / Haze-komi / Whiteness / Digital microscopy

1 はじめに

清酒製造において、麴は酵母の発酵に必要な栄養素を供給する役割を担っているため、麴の品質が発酵や酒質に大きな影響を与える。麴の品質評価指標として、麴の酵素力価の測定と「破精」の観察が一般的である。酵素力価の測定では、糖質やタンパク質の分解酵素の力価を測定することで、目的とする酒質に見合う麴になっているかを確認する。しかしながら、酵素力価の分析は、結果が得られるまでに時間を要する上、製造現場で全ての試料を測定することは現実的に困難である。そのため、製造現場では、リアルタイムに肉眼で確認できる「破精」を指標にして目的に応じた状態となるように製麴管理を行うことが重要となる。破精とは、麴菌が蒸米に増殖し、菌糸と米の崩壊によって光が乱反射するために白く見える状態のことをいい、米表面における麴菌の増殖を「破精回り」、米内部の増殖を「破精込み」と呼ぶ。これら破精の状態が酵素生産やそのバランスに影響を与えることが認識されているが¹⁾、破精の状態は、麴粒ごとや局所でそれぞれに異なることから、これまで全体として判断することは難しかった。また、一般的に麴表面及び内部への菌糸の伸長の程度により、破精状態のタイプが分けられ、菌糸の伸長が麴表面や内部で全体的に確認できる「総破精」、菌糸の伸長が麴表面では限定的だが麴内部まで確認できる「突き破精」、菌糸の伸長が麴表面付近でしか確認されない「塗り破精」などが知られている。これら様々なタイプの麴の走査電子顕微鏡 (SEM) による観察から、麴表面の米組織の溶解が良く、菌糸が太い麴では、麴内部まで破精込んでいることが報告されている²⁾。

これまでに我々はデジタルマイクロスコープを用いた破精の客観的な評価法を確立している³⁾。この方法では、一定数の麴粒に対して、麴の破精部分の白色度の閾値を設定し、麴粒ごとの破精部分の割合を算出することで、これまで難しかった破精の数値化と培養全体としての判断を可能にした。我々は、この方法を用いて麴表面の観察を行う過程で、肉眼では同じ白色に見えていても、白色度が異なる麴が存在すること⁴⁾、そして、白色度が異なると、菌糸の太さや麴表面における米組織の崩

壊の様子、麴表面の間隙の大きさが異なること⁵⁾を見出した。今回は、我々が見出した、白色度が異なり、菌糸の太さと米組織の崩壊レベルが異なる麴粒について破精込みの程度を観察し、白色度と破精込みの関係性を評価した。

2 実験方法

麴は、前報⁵⁾のSEMで観察を行った麴粒を用いた。画像処理ソフト (Olympus Stream; Olympus) を用いて測定した麴粒表面全体の白色度が55,000未満の麴粒を白色度の低い麴粒として、麴粒表面に白色度が55,000以上の部分を有する麴粒を白色度の高い麴粒とした。各麴粒表面の最も白色度の高い部分を含む約1 mm厚の切片を作製し、デジタルマイクロスコープ (DSX500; Olympus) により撮影を行った。さらに、画像処理ソフト (Olympus Stream; Olympus) により、前報³⁾に基づいて、白色閾値約40,000以上の部分を破精込みとして濃灰色で色づけした。また、破精込みの麴表面からの距離を画像処理ソフト (Olympus Stream; Olympus) を用いて計測した。

3 結果と考察

白色度の低い麴粒と高い麴粒の破精込みをそれぞれ図1と図2に示す。麴粒の大きさは約3-4 mmである。麴粒表面画像の破線は断面画像 (上) と、図中の○と★は、表面画像と断面画像の一致する方向を示している。麴粒断面画像は、破精部分が明確となるように濃灰色で色付けした画像を並べて提示した。

前報⁵⁾のSEM観察像において、白色度の低い麴粒の表面は菌糸が細く、米の消化残渣が多くみられ、これら菌糸と米の消化残渣で構成される麴表面の間隙が小さい傾向であった。一方、白色度の高い麴粒では、白色度の低い麴粒と比較して、菌糸は太い傾向であり、米の消化残渣が少なく、麴表面の間隙が大きくなっていた。このような表面特性を示した箇所の破精込みを評価するために、各麴粒表面の最も白色度の高い部分の断面を観察したところ、白色度の低い麴粒では、いずれの麴粒でも破精込みはあまりみられなかった (図1)。一方で、白色度の高い麴粒では、白色度の高い部分に対応する位置の破精込みが深く、麴内部まで菌糸が侵

入している様子が確認された (図2)。

「塗り破精」と呼ばれる麹では、麹表面から100–200 μm 程度の破精込みであると報告されている²⁾。そこで、白色度の高い麹粒について、麹表面の白色度が高い部分に対応する麹表面からの破精込みの距離を計測したところ、いずれの麹粒でも、麹表面の白色度が高い部分では、内部方向へ400 μm 以上の深い破精込みがみられることがわかった (表1)。これらの麹粒は吟醸麹として重要な「突き破精」型の状態となつていると考えられる。

表1 白色度の高い麹粒の破精込み距離

麹粒	距離 (μm)
1	4.2×10^2
2	4.2×10^2
3	4.6×10^2
4	4.8×10^2

今回の観察により、麹表面の白色度と破精込みには関連があることが示唆された。麹表面の白色度の強さは、麹表面付近の菌糸や間隙の状態にのみ起因しているのではなく、麹内部まで菌糸が伸長していることによる、深さ方向の菌糸や米組織の消化による間隙の大きさも何らかの形で寄与しているのではないかと推察している。

4 まとめ

2022年の報告⁴⁾において、肉眼では同じ白色に見える破精部分でも、デジタルマイクロスコープによる麹表面の観察によって白色度に違いがあることを見出した。さらに、2023年の報告⁵⁾では、麹表面の白色度が高いほど、菌糸が太くなる傾向にあり、米組織残渣が少なく、間隙が大きいことを示した。本報告においては、麹表面の白色度が高い麹粒では、破精込みが深く、菌糸が麹内部まで侵入していることを確認した。これらのことから、麹菌が麹内部まで深く侵入していると、麹表面の菌糸が太い傾向にあり、米組織残渣が少なく、間隙が大きくなることで白色度が高くなることが推測された。この現象を利用することで、デジタルマイクロスコープで麹の表面を観察し、白色度を比較するだけで、麹断面の観察を行わなくても破精込みの程度を評価できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 柳内敏靖ほか. 製麹における種もやしの差異. 日本醸造協会誌. 1993, 88 (7), p.559–564.
- 2) 吉井美華ほか. 走査電子顕微鏡による麹の観察. 日本醸造協会誌. 2001, 96 (12), p.806–813.
- 3) Ito, K. et al. Quantitative evaluation of haze formation of *koji* and progression of internal haze by drying of *koji* during *koji* making. J. Biosci. Bioeng., 2017, 124 (1), p.62–70.
- 4) 谷野有佳ほか. 麹の破精部分における白色度の

違い. 岡山県工業技術センター報告. 2022, 48, p.11–12.

- 5) 谷野有佳ほか. 白色度の異なる麹の走査電子顕微鏡観察. 岡山県工業技術センター報告. 2023, 49, p.11–12.

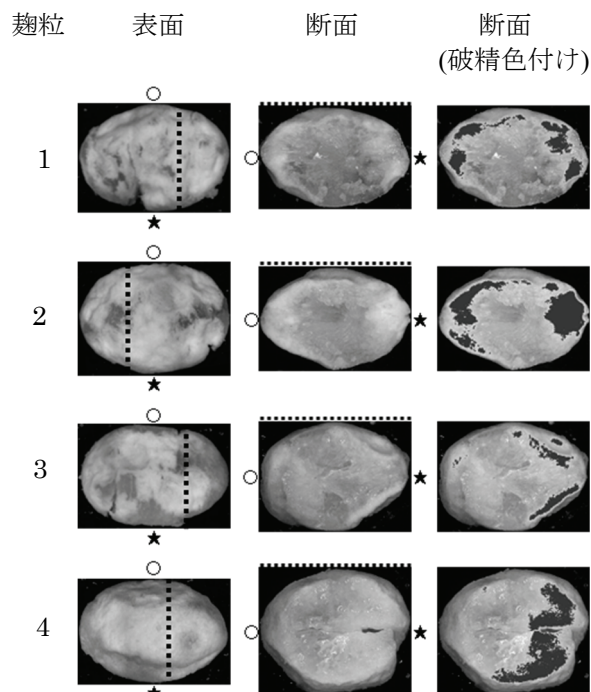


図1 白色度の低い麹粒の破精込み

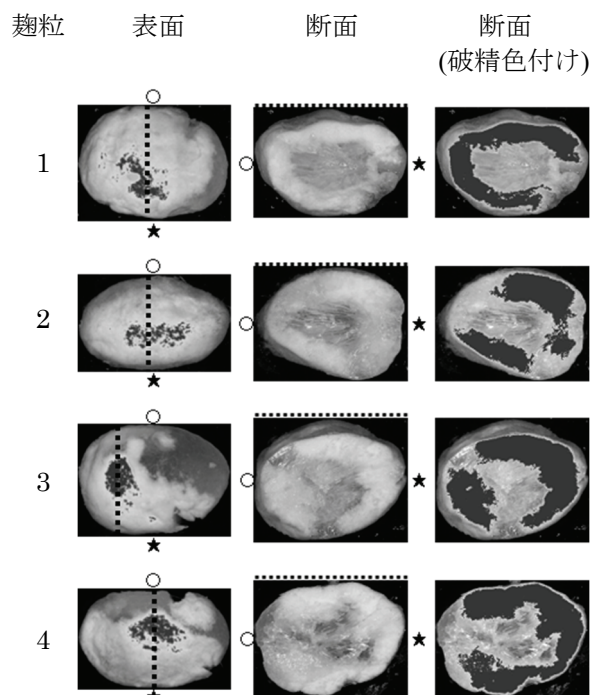


図2 白色度の高い麹粒の破精込み

リグノセルロースナノファイバーを用いた無機粒子の分散性の向上

Improvement of dispersibility for inorganic particles using lignocellulose nanofiber

藤井 英司・古谷 充章・瀧本 亮*

Eiji FUJII, Mitsuaki FURUTANI, and Ryo TAKIMOTO

キーワード リグノセルロースナノファイバー / 分散性 / 無機粒子 / ネットワーク構造

KEY WORDS Lignocellulose nanofiber / Dispersibility / Inorganic particles / Network structure

1 はじめに

気候変動問題の解決に向けたカーボンニュートラルを達成するため、近年、陸上生物由来のグリーンカーボンや海洋生物由来のブルーカーボンの活用について、盛んに研究開発が行われている。特に、セルロースナノファイバー (CNF) は地球上で最も豊富な天然ポリマーのナノファイバーであり、軽量かつ高強度・高比表面積・低熱膨張など優れた特性を有していることから、非常に注目されている素材である。このCNFは、自動車部品、家電製品筐体などの高強度材料や住宅建材、内装材などの高機能材料の幅広い分野への応用が期待されている。より安価なCNFとして、木質由来のリグニンを含有したリグノセルロースナノファイバー (LCNF) がある。その懸濁液はCNFと同様に特異的な粘弾性やチキソ性を示す。さらに、CNFが持つ親水基だけでなく、リグニン由来の疎水基も有するため、両親媒性に類似する特性が期待できる。これらの特性に着目し、LCNFを無機粒子の分散剤として利用することを検討した。対象とする無機粒子にはクライミング用の滑り止めチョーク (炭酸マグネシウム等) を用いた。現在、滑り止めチョークには、乾燥した粉末のチョークが一般的に使用されている。液体チョークは、粒子と溶媒が分離しやすいためハンドリングに問題があるが、飛散防止や密着性の向上など利点も多く、開発が期待されている。そこで、LCNFによる無機粒子の分散安定性を検討し、分散剤としての有用性を評価した。

2 実験方法

1.6 gの無機粒子 (山陽クレイ工業 (株) 製、SETOUCHI MAGNESIO) にエタノール (富士フイルム和光純薬株式会社製、試薬特級) を6.4 g加え、20%分散液を調製した。その分散液に対して、0-5%のLCNF (モリマシナリー (株) 製、CellFiML-100 (固形分量: 4.5%)) を添加した。各試料は超音波ホモジナイザー (BRANSON 製、Advanced SONIFIER450A) を用い、発振出力2で3分間分散させた。作製した試料は、電界放型走査電子顕微鏡 (FE-SEM、(株) 日立ハイテク製、SU8220) により

形態観察をおこなった (測定モード: SE (UL)、加速電圧: 3 kV)。各試料は、試料台に滴下し風乾した後、オスミウムコーター (フィルジェン株式会社製、OPC60A) を用いて、導電性オスミウム薄膜をコーティングした。

分散安定性の評価には、液中分散安定性評価装置 (三洋貿易 (株) 製、Turbiscan Classic2) を用いた。分散処理した試料を1時間間隔で24時間測定し、液中での粒子の分散安定性を評価した。本装置は、試料管に対し近赤外光を高さ方向に走査し、その際に生じる透過光と後方散乱光 (BS) の強度を測定し、液中粒子の凝集・分散・沈降などを評価することができる。

3 結果と考察

図1に、無機粒子と1%LCNF添加試料のFE-SEM観察像を示す。無機粒子のみの試料は、鱗片状の粒子が凝集し、5-30 μm の大きさの凝集塊を形成していることがわかった。1%LCNF添加試料では、無機粒子がLCNF上に付着し、そのネットワーク構造に絡み合っている様子が観察された。その結果、無機粒子の凝集がLCNFにより抑制されていることがわかった。

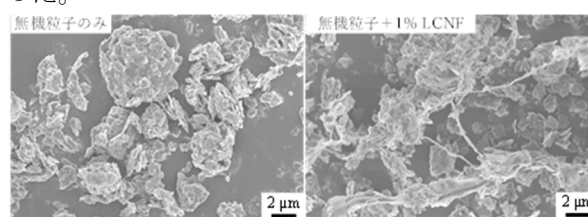


図1 無機粒子と1%LCNF添加試料のFE-SEM像

図2に分散安定性試験後 (24時間後) の試料外観写真を示す。LCNFを添加していない試料 (0%) は、強固な沈殿層を形成し、転倒混和による再分散は困難な状態であった。1-4%LCNF添加試料では、沈殿物の層が上下2層に分離していることを確認した。LCNFの添加量が増加するに伴い、下層部 (白矢印) の厚みが増加し、上層部 (黄矢印) の厚みは減少していることを目視で確認した。これらの試料の再分散を試みたところ、上層部はLCNF無添加の試料と同様に強く凝集し、再分散できなかった。

* 山陽クレイ工業 (株)

下層部の凝集力は弱く、転倒混和により容易に再分散した。5%LCNF添加試料は、強固な沈殿層を形成せず、転倒混和することにより、容易に再分散することを確認した。

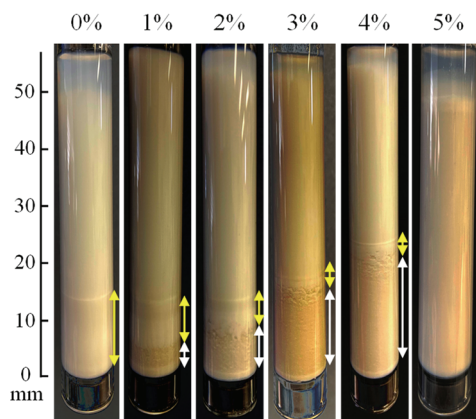


図2 分散安定性試験後の各試料の外観写真

図3に、LCNFを0-5%添加した試料のBS値の経時変化を示す。測定開始時（黒線：0h）、全ての試料において、BS値が74%の値で一定し、凝集を示す凹凸のピークは見られなかった。このことより、74%のBS値を示すプロファイルは、無機粒子とLCNFが均一に分散している状態を示唆していると思われる。LCNF無添加試料（0%）は、時間経過とともに、底部（高さ10mm付近）のBS値が86%まで上昇し、液面部（高さ50mm以上）のBS値は連続的に減少していた。このプロファイルは、液面部の粒子が減少し、底部の粒子が増加していることを示している。この現象は典型的な凝集沈殿の挙動であり、図2の写真とも合致する。この結果より、86%付近のBS値が粒子層を示すと考えられる。LCNFの添加量を増加させることにより、粒子層の位置は徐々に上昇し、LCNFを5%添加することにより、完全に消滅することが分かった。この一連のBS値の変化より、図2で確認された沈殿の上層部は無機粒子層であり、下層部はLCNFが大部分を占有する層であることが明らかとなった。5%LCNF添加試料は、液面部（高さ45mm以上）のBS値が次第に低下し、粒子濃度が低下している様子が確認できるが、高さ0-45mmの大部分の範囲で、粒子とLCNFが均一に分散している状態を24時間、保持できたことが分かった。CNF懸濁液は0.5wt%以上の固形分濃度で液全体に内部ネットワーク構造が形成されることが報告されている¹⁾。CNFと類似したLCNFも同様にネットワーク構造が出来ると考えられるが、本実験では、添加量が少ないためネットワーク構造が構築できず、沈殿が生じたと思われる。5%LCNF添加試料中のLCNFの固形分濃度は0.225wt%（0.045（固形分濃度）×5%=0.225wt%）であり、LCNFのみではネットワーク構造が構築される濃度ではないが、無機粒子とLCNFの静電反発や立体障害などの相互作用に

より、複合的なネットワーク構造が形成され、分散・安定化したと推察する。

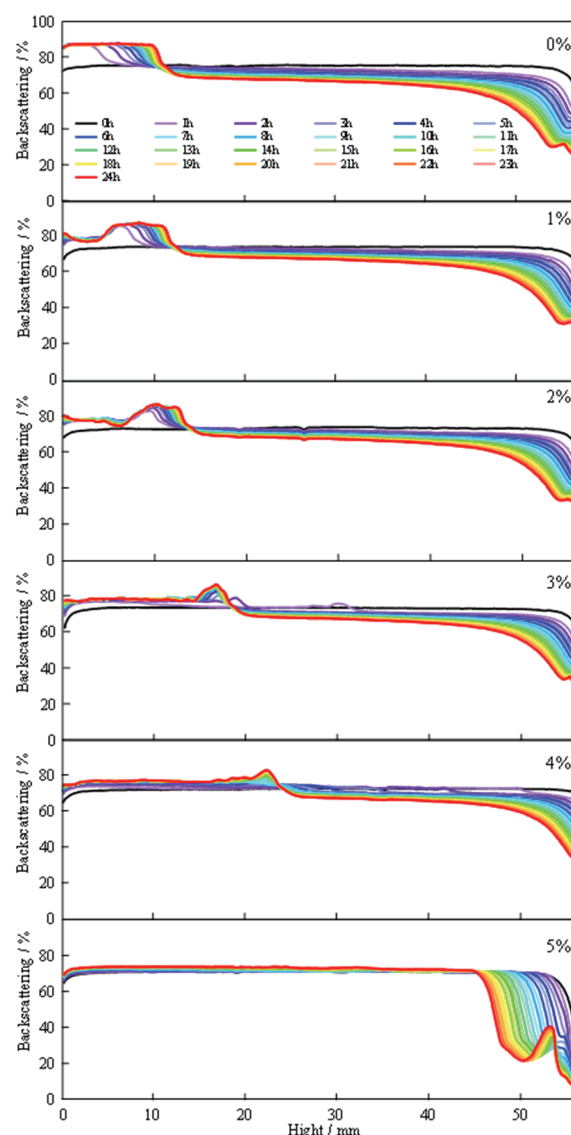


図3 各試料のBS値の経時変化

4 まとめ

LCNFを無機粒子含有懸濁液に添加し、液中粒子の凝集・沈殿の挙動解析から分散状態を評価した。少量の添加では無機粒子とともにLCNFも沈殿したが、粒子のみの沈殿層と比較して、凝集が抑制され、再分散が容易な複合層を形成していることがわかった。LCNFの添加量が増加するに伴い、粒子の凝集・沈殿は抑制される傾向を示し、5%添加することにより無機粒子の沈殿を完全に抑制した。LCNFは少量の添加で無機粒子の凝集・沈殿の抑制が可能であり、分散剤として有用であることを見いだした。

参考文献

- 1) 岩坪 聡, セルロース学会第25回年次大会要旨集, 2018, p.99.

カルボキシル基を深さ方向に導入したポリプロピレンの表面自由エネルギーに関する研究

A study on the surface free energy of polypropylene with carboxyl groups introduced in the depth direction

中西 亮太

Ryota NAKANISHI

キーワード 分子動力学計算/ 表面自由エネルギー/ カルボキシル基/ ポリプロピレン/ 深さ方向分析
KEY WORDS Molecular dynamics calculation / Surface free energy / Carboxyl group / Polypropylene/ Depth profile analysis

1 はじめに

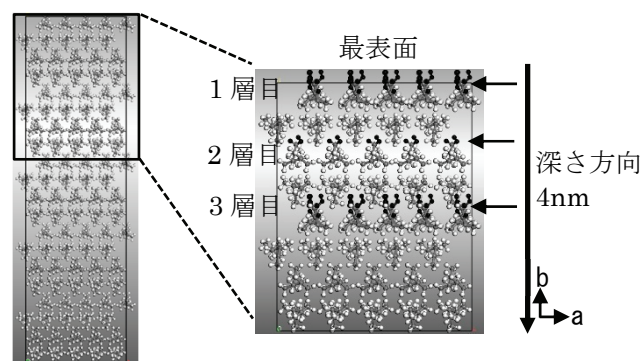
輸送機器業界では、低炭素社会の実現に向けて構造物や部品の軽量化が望まれている。金属材料と樹脂材料を複合化するマルチマテリアル化は軽量化に有効な技術である。しかしながら、金属と樹脂において、溶着によるマルチマテリアル化が困難な組み合わせがある。その場合は、樹脂にプラズマ処理を行い、樹脂表面に官能基を導入することで表面自由エネルギーを向上させ、接着強度を維持させる研究が多くなされている^{1),2)}。そのなかでもプラズマ照射時間と表面自由エネルギーの関係は明らかとされており、短時間のプラズマ処理では、表面自由エネルギーは増加傾向を示し、長時間の処理では表面自由エネルギーが一定となる報告がなされている³⁾。しかしながら、長時間のプラズマ処理において、表面分析では官能基の増加が確認されるにも関わらず、表面自由エネルギーが一定となる理由については明らかとなっていない。そこで、本研究では、自動車部品、家庭電化製品など幅広い分野で使用されているポリプロピレン(PP)を対象として、カルボキシル基を導入した場合の表面自由エネルギーの変化について、実験と分子動力学計算の両面から解明を試みた。ここでカルボキシル基に着目した理由は、プラズマ処理により導入された官能基のほとんどがカルボキシル基であることが確認されたためである。

2 実験方法

カルボキシル基の導入は、大気圧プラズマ装置((株)プラズマコンセプト東京)を用いた。原料は99.999%の酸素ガスとし、PP表面にプラズマを照射した。照射条件は、PPとノズルとの照射距離を5 mm、照射時間を5、10、15、30、60、90 sとした。プラズマ照射したPPについて、光電子分光分析装置(アルバックファイ(株))(XPS)を用いて、化学結合状態を評価した。さらに、XPSに搭載のガスクラスターイオン銃(GCIB)を用いて、深さ方向分析を行った。また、接触角測定機(協和界面化学(株))を用いて、北崎・畑の式から表面自由エネルギーを算出した⁴⁾。なお表面自由エネルギーは、純水、ジヨードメタン、1-ブロモナフタレンの接触角から算出した。

3 計算方法

本計算に用いたソフトウェアは、ダッソー・システムズ・BIOVIA 社の Forcite Plus である。ここで、計算対象としたアイソタクチックポリプロピレン(i-PP)は、構造物として用いられる PP の一般的な結晶構造の基本単位であり、規則正しい繰返しの構造を持つために一般に結晶化しやすく、結晶状態において平面ではメチル基間の距離が近いことため反発し、らせん構造となり構造単位 3 個(上、右、左向き)で 1 巻きすることが報告されている⁵⁾。本計算では i-PP α 2 晶の結晶構造を用いた。i-PP 結晶表面においては、b 軸成長を伴いながら界面を形成する報告もなされている⁶⁾。そこで、293 Kにおいて、深さ方向 1 層目、1 層目と 2 層目、1 層目、2 層目および 3 層目にカルボキシル基を導入し、b 軸との直交面(ac 面)の表面自由エネルギーをそれぞれ求めた。図 1 に深さ方向にカルボキシル基を 3 層導入した計算モデルを示す。導入したカルボキシル基を矢印で示してある。



(a) 深さ方向 10nm モデル (b) カルボキシル基 3 層導入モデル

図 1 計算モデル

なお、i-PP の c 軸方向上向きのすべてのメチル基にカルボキシル基を導入した。本計算の i-PP の分子量は、50000 である。本計算では、バルクモデルのエネルギーと表面モデルのエネルギーをそれぞれ計算から求め、その差を表面積で割った値を表

面自由エネルギーとし、以下の式で算出した。

$$E = ((E_{\text{surface}} - E_{\text{bulk}}) / A)$$

E はac面の表面自由エネルギー(mJ/m^2)、 E_{bulk} は等温定圧計算で得られたバルクのエネルギー、 E_{surface} はバルクから表面を切り出した時のエネルギー、 A はセルの表面積である。

4 実験結果

図2にプラズマ照射後の炭素1sのXPSスペクトルを示す。なお、未処理の結果も示す。スペクトルの結果から、 O_2 プラズマ照射を行うと、主としてカルボキシル基が生成することが確認された。相対感度定数を用いて表面元素組成を算出すると、90 sのプラズマ処理により40%の酸素が導入されることが確認された。

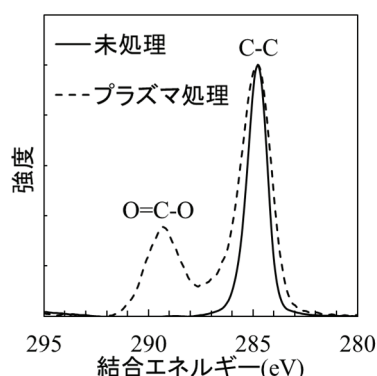


図2 未処理と90 sプラズマ処理した炭素1sのXPSスペクトル

図3にXPSのGCIBを用いた $\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}$ の深さ方向分析結果を示す。図1aに示したモデルは深さ方向10nmに相当する。最表面において、 $\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}$ は照射時間60sまで ($\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}=0.42$ まで) は照射時間と正の相関関係があった。しかしながら、60と90 sの $\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}$ は、0.42および0.41と同程度となった。また、照射時間が長いと $\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}$ は、深さ方向に増加する傾向を示した。この結果から、最表面へのカルボキシル基の導入量には制限があり、プラズマ処理が長くなるほど、PP内部へのカルボキシル基導入量が増加することが示唆された。また、導入されたカルボキシル基の深さは、90 sを除いて10nm程度であった。低温プラズマを用いた場合のプラズマ改質層の深さは10nmオーダーであることは他の研究者からも報告されている⁷⁾。

図4にプラズマ照射時間と接触角から求めた表面自由エネルギーの関係 (実験値) を示す。照射時間の増加とともに表面自由エネルギーは高くなった。しかしながら、30 s以降では70 mJ/m^2 と一定となった。この結果から、深さ方向にカルボキシル基が導入されても最表面以外のカルボキシル基は表面自由エネルギーに影響を及ぼさない可能性が示唆された。

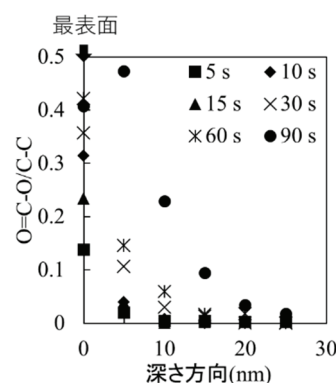


図3 Ar クラスターイオン銃を用いた $\text{O}=\text{C}-\text{O}/\text{C}-\text{C}$ の深さ方向分析

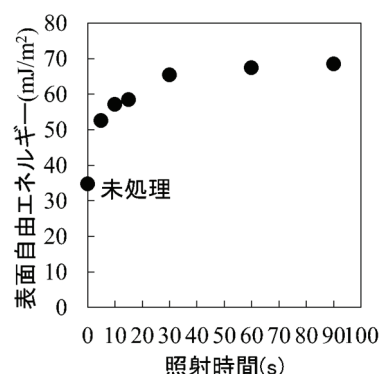


図4 プラズマ照射時間と接触角から求めた表面自由エネルギーの関係 (実験値)

5 表面自由エネルギーの計算結果

深さ方向にカルボキシル基を導入した場合の表面自由エネルギーの計算結果を図5に示す。

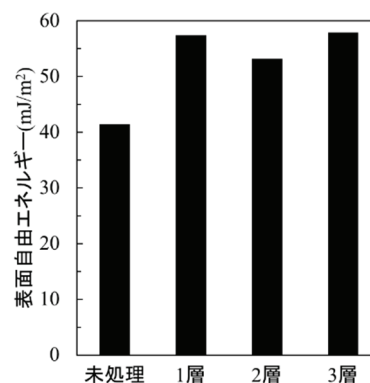


図5 深さ方向にカルボキシル基を導入した場合の表面自由エネルギー (計算値)

カルボキシル基を導入しない場合の表面自由エネルギーは41.4 mJ/m^2 であった。計算の結果、1層目にカルボキシル基を導入した場合、表面自由エネルギーは、57 mJ/m^2 となった。また、1層目と2層目では、53 mJ/m^2 となり、1層目、2層目および3層目では、58 mJ/m^2 となった。本計算の結果から、深さ方向にカルボキシル基を導入しても表面自由エネルギーの向上に顕著な違いがみられなかった。このことから、長時間のプラズマ処理を行っても、深

さ方向に導入されたカルボキシル基が表面自由エネルギーの向上に寄与しないことが分子動力学計算からも確かめられた。

6 まとめ

本研究では、長時間のプラズマ処理をした場合、その効果が一定レベルに留まる原因について、XPSによる深さ方向分析と分子動力学計算の両面から考察した。長時間のプラズマ照射は、表面だけでなくPP内部にもカルボキシル基を導入することがXPS分析により確認された。また内部に導入されたカルボキシル基は表面自由エネルギーの増加に寄与しないことが分子動力学計算により確認された。

参考文献

- 1) 入山裕. プラズマ処理効果の持続性. 表面科学, 2007, 28(8), p.459-466.
- 2) 白濱洋太ほか. 大気圧プラズマ処理を用いたFDM 造形物の接着強度向上. 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2013, p.1053-1054.
- 3) 高山史奈子ほか. 大気圧コロナトーチによるプラスチックの表面改質. 電気学会論文誌 A, 122(8), p.722-728.
- 4) 北崎寧昭ほか. Fowkes式の拡張と高分子固体の表面張力の評価. 日本接着学会, 1972, 8(3), p. 131-142.
- 5) 田所宏行. 高分子物質の立体規則性 構造および物性. 日本ゴム協会誌, 1959, 32(11), p.841-856.
- 6) 野村孝夫. 自動車用材料の主役「ポリプロピレン」: その実力と今後の進化の可能性を探る, Polyfile, 2013, 50(5), p.26-30.
- 7) 百瀬義広. プラズマを利用した材料表面改質. 色材, 1998, 71(3), p.186-193.

浸室焼入れによって形成される組織におよぼす

試料サイズの影響

Influence of specimen size on microstructure formed by high temperature nitriding and quenching

築山 訓明

Kuniaki TSUKIYAMA

キーワード 浸室焼入れ / 組織 / 試料サイズ

KEY WORDS High temperature nitriding and quenching / Microstructure / Specimen size

1 はじめに

表面改質技術は、熱処理・化学処理・被覆処理などを施すことにより組成や構造を変化させ、材料表面に母材とは異なる性質を付与する技術である。熱処理による表面改質技術では、高炭素マルテンサイトの形成を利用した浸炭焼入れや、合金窒化物による析出強化を利用した窒化処理が工業的には一般的に使用されている。近年では環境問題への関心が高まっており、熱処理分野においても、環境負荷の低減可能な手法の開発が求められている。先述した浸炭焼入れでは温室効果ガスの排出、窒化処理では、適応可能鋼種が窒化物形成元素を含む合金であり、さらに厚い硬化層を得るためには長時間処理が必要といった課題がある。当センターでは、従来熱処理の課題である温室効果ガス排出を抑制でき、鋼種の制限がなく、比較的短時間で厚い硬化層が得られる浸室焼入れに関する研究をおこなっている¹⁾。本手法は表面硬化処理を目指しており、硬化組織を形成させることが目的であるが、過去の研究報告では試料サイズの影響を検討した報告はほとんどない。しかしながら、実製品に本技術を適用する場合、鋼種に加え、形状や大きさの異なる製品に適用されることが予想される。

ここでは、試料サイズ(表面積)の異なる純鉄を対象に、同条件下での浸室焼入れ処理を実施し、それにより形成される組織および硬さの検討をおこなった結果について報告する。

2 実験方法

供試材には純鉄を用い、試料サイズは25 mm×25 mm、25 mm×50 mm、25 mm×100 mm(厚さ3 mm)の3種類を用意した。以下、それぞれx1材、x2材、x4材と表記する。それぞれの試料に対し、雰囲気制御型金属熱処理炉を用いて、浸室焼入れ試料を作製した。熱処理では、炉内に試料を設置し、炉内を真空引きし、N₂ガス置換した。その後、700℃まで昇温し、試料温度が所定温度に達した時点でNH₃/N₂混合ガスを導入し、1時間の浸室処理後に水中に焼入れた(図1)。炉内導入ガス流量は2 L/min

とし、導入ガス中NH₃濃度は30%に調整した。ここでの導入ガス組成は、マスフローコントローラにより制御した。作製した試料に対し、長手方向の中央で切断・樹脂包埋し、切断面をエメリー紙(#320～#4000)による湿式粗研磨後、ダイヤモンド研磨(6 μm)による仕上げ研磨をおこなった。仕上げ研磨をおこなった試料に対し、5%ナイトール腐食液を用いて組織を現出させ、光学顕微鏡(Eclipse LV100ND、(株)ニコン製)を用いて組織観察をおこなった。表面から深さ50 μmにおける硬さ試験にはマイクロビッカース(HM-200、(株)ミツトヨ製)を用い、加重2.942 N(0.3kgf)で7点測定し、そのうち5点の平均硬さを算出した。

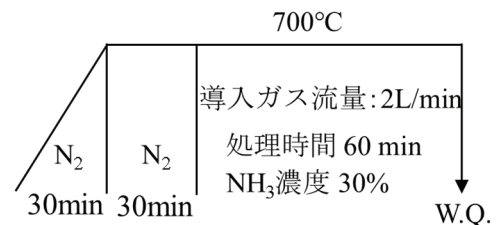


図1 熱処理プロセス

3 結果と考察

図2に、浸室焼入れをおこなった断面組織光学顕微鏡写真および硬さ測定結果を示す。図中白破線は組織界面を示している。また、各ローマ数字は同一金属組織(相)であることを示しており、後述するが、状態図(図3)と浸室処理時の窒素拡散過程より、Iは窒化物相、IIは焼入れ時に変態が生じなかった(残留)オーステナイト相、IIIは焼入れによりオーステナイトから生じたマルテンサイト相、IVは母相のフェライト相と考えられる¹⁾。組織写真より、x1材およびx2材は4層、x4材は(少量のオーステナイトはみられるものの)3層から組織が形成していることがわかる。I層の厚さは試料サイズの影響を受けず、すべての試料で約20 μmであった。一方、II層の厚さはx1材、x2材、x4材の順に薄くなり、それぞれ約20 μm、約10 μm、なしとなっている一方、III層の厚さはそれぞれ約35 μm、約45 μm、約50 μm

であった。先述したように、Ⅲ層は焼入れによる変態により生じる組織であり、浸室処理過程においては、Ⅱ層と同じ組織であると考えられる。このことから、浸室処理中の各層の厚さはⅠ、Ⅱ+Ⅲで整理することができ、各試料におけるそれは、x1材とx2材は約20 μm と約55 μm 、x4材は約20 μm と約45 μm となり、形成組織の厚さに大きな差は生じないことがわかった。また、写真右上に表面から50 μm 位置での硬さを示す。x1材、x2材、x4材のそれは、それぞれ620 HV、643 HV、649 HVとなっており、x2材およびx4材と比較し、x1材はわずかに小さい値となっていた。これについて、組織形成過程とともに考察をおこなう。

図3は、Fe-N二元系状態図であり、縦軸温度、横軸窒素濃度となっている。また、図中矢印は、今回の実験(700℃)における試料表面から内部の予想する窒素濃度を示している。浸室処理では、鋼材表面

で雰囲気中のアンモニアガスが分解し、その際に生じる[N]が表面から侵入・拡散する。窒素濃度の上昇に伴い、フェライト(α)がオーステナイト(γ)へ変態し、さらに窒素濃度が上昇すると窒化物(今回は ε と予想される)が形成する²⁾。ただし、窒素濃度は一様ではなく、表面から内部にかけて減少するため、濃度勾配が生じていると予想される。生成したオーステナイトを急冷(焼入れ)し、マルテンサイト変態開始温度(M_s 点)より短時間で低温にすることで、硬質なマルテンサイトが得られる。ただし、組織中の窒素濃度に応じて M_s 点は低下することが知られており、急冷した場合でも、この温度より冷却到達温度が高い場合には、冷却後にオーステナイトが残存する(残留オーステナイト)。今回の場合では、浸室処理中の形成組織に違いはなかったと考えられるが、試料サイズが小さい(x1材)ほど、オーステナイト中の窒素濃度が高くなり、残留オーステナイトが多くなった(図2中Ⅱ層)と考えられる。また、x1材の硬さが低かった理由について、硬さ試験時の圧痕の対角線長さが約30 μm であったため、この軟質組織を含む結果となったためだと考えられる。

4 まとめ

本報告では試料サイズの異なる純鉄を対象に、同一条件下で浸室焼入れを適用し、形成組織および硬さについて検討をおこなった。その結果、試料サイズが変化しても全浸室層厚さは変化しないが、層内の組織に差が生じることがわかった。硬さについて、残留オーステナイト層が厚いx1材のみ、わずかに小さい値となっていた。これは、軟質なオーステナイトを含めた結果であるためと考えられる。

参考文献

- 1) 築山訓明. 純鉄および S20C への高温窒化処理の適用. 岡山県工業技術センター報告.2020, 47, p14-p15.
- 2) 千葉真ほか. 純鉄の浸室焼入れ組織, 日本金属学会誌, 2012, 76(4), p. 256-264.

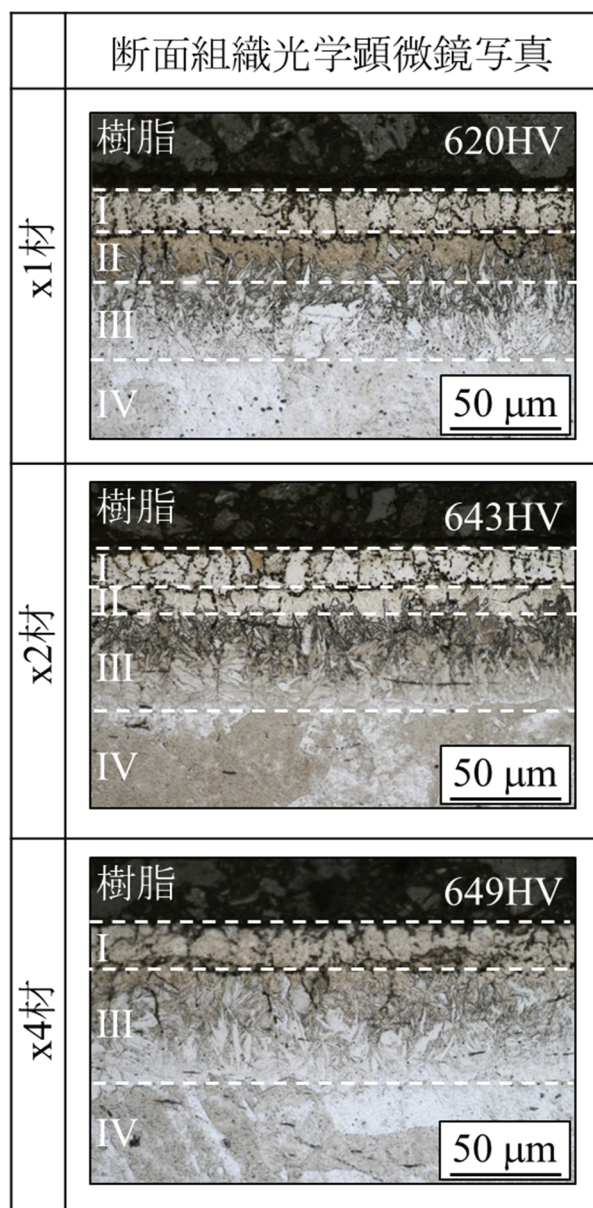


図 2 浸室焼入れした純鉄の断面組織光学顕微鏡写真および硬さ測定結果

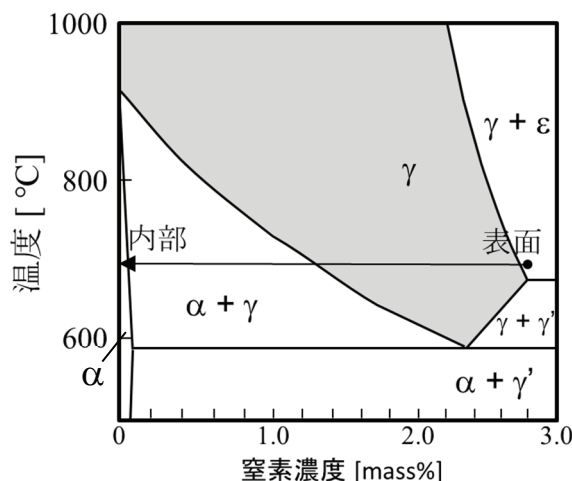


図 3 Fe-N 二元系状態図

環境調査を目的とした遠隔モニタリングシステムの 長時間連続運転に関する検討

Study on continuous operation of remote monitoring system for environmental survey

松岡 大樹・山下 泰司*・竹本 浩之**

Hiroki MATSUOKA, Yasushi YAMASHITA, Hiroyuki TAKEMOTO

キーワード DX / 連続運転/省電力化/ラズベリーパイ/アユ

KEY WORDS Digital Transformation /Continuous Operation/ Energy saving /Raspberry Pi/ *Plecoglossus altivelis*

1 はじめに

近年、様々なIoTデバイスが市販されているが、その活用範囲は多様で、工業分野に留まらず幅広くDX(Digital Transformation)に貢献している。これらは安価かつ入手性が良好かつ事例が豊富で、オープンソースを基本としており、画像などのデータを取得し、ネットワークを経由して送信するシステムの構築が比較的容易である。岡山県工業技術センターでは、これら市販デバイス群を活用した遠隔モニタリングシステムを構築し、アユ産卵場人工整備事業の場においてDX化についての検討を行った¹⁾。

アユ産卵場人工整備事業は、自然の河川において、石や砂などを人工的に移動させ、アユの産卵に適した環境を整備し、アユの資源量回復を図るものである。その効果検証の手段として、魚卵のサンプリングが行われているが、作業に伴う河床の踏み荒らしや、かかる人的労力が問題である。そこで、水中カメラによる間欠撮影画像を用いた親アユの出現確認および計数が提案されている²⁾。しかし、水中カメラからのデータ回収や確認作業にかかる労力が問題となっていた。

そこで、令和4年度の研究では水中画像データを遠隔送信するシステムを構築した。自然の河川では、電源やネットワークなど有線設備が使用できない環境のため、システムは、バッテリーによる独立稼働および携帯電話回線を利用した無線通信に対応している。フィールド試験では、産卵のために出現したアユの姿を撮影し、遠隔地に送信することに成功した。一方、システム全体の消費電力が大きく、3日に1回程度電池交換作業が必要、データ量が多く確認作業にかかる労力が大きいといった実用上の課題が残されていた。

本研究では、長時間連続運転を達成するため、電池容量の増大、システム全体の省電力化とソフトウェアの最適化によるシステム全体の再構成に取り組み、省電力化効果を確認するとともに、フィールド試験においてその効果を検証したので報告する。

2 システムの比較

2.1 ハードウェア

表1に令和4年度のシステムと本研究（令和5年度）のシステムとの比較を示す。画像の撮影、処理、送信には令和4年度に使用したRaspberry Pi 4B(以下4B)より消費電力の小さいRaspberry Pi 3A+(Raspberry Pi 財団、以下3A+)³⁾を使用した。電源にはポータブル電源(Anker製PowerHouse200)に変えて定格電圧12.8Vのリン酸鉄リチウムイオン電池(LiTime製12V50Ah、以下LiFePO₄)を採用した。3A+はイーサネットポートを持たないため、LTEルータ(楽天モバイル製Rakuten Wi-Fi Pocket 2B)をUSB接続した。バッテリー等変更にともない、本体サイズはやや大型化した。

2.2 ソフトウェア

令和4年度のソフトウェアでは30枚/分撮影し、10分おきにタイムラプス動画にエンコードと送信を繰り返していたため、データの確認作業にかかる労力が大きかった。そこで令和5年度は、水産研究所設置の水中カメラと同設定の6枚/分とし、30fpsで10秒間の動画を55分毎に送信することとした。

表1 システムの比較

	令和4年度構成	令和5年度構成
コントローラ	RaspberryPi4B 公称消費電流:600mA	RaspberryPi3A+ 公称消費電流:350mA
バッテリー	ポータブル電源 容量:213WH	リン酸鉄リチウムイオン電池 容量:640WH
LTEルータ	産業用LTEルータ Ethernet接続	民生用モバイルルータ USB接続
本体サイズ(mm)	300x400x180	350x450x220
本体コスト	約15万円	約20万円
送信頻度	約10分 (撮影間隔30枚/min)	約55分 (撮影間隔6枚/min)

3 実験方法

3.1 システム全体の消費電力

システムの消費電力について検討を行った。電源は安定化電源(タカサゴ製作所製KX-210L)により13.5Vを供給した。一定電圧が供給されることから、消費エネルギーを消費電流で評価することとし、安定化電源のプラス端子とシステム電源の間

*岡山県環境文化部環境管理課 **岡山県農林水産総合センター 水産研究所

にデジタルマルチメータ（岩崎通信製VOAC5021H）を接続した。電流値はデジタルマルチメータにシリアル接続したPCにより読み込んだ。測定間隔は1 secとした。

3.2 フィールド試験

試作したシステムの動作を検証するため、岡山市を流れる旭川の岡山市中区西川原で行われた令和5年度アユ産卵場整備現場においてフィールド試験を行った。システムはJR山陽本線/赤穂線高架橋脚付近の川中に設置した。試験は産卵場整備の日程と同じ、令和5年10月20日から11月29日までの41日間とした。

4 試験結果

4.1 システム全体の消費電力

図1に4B、図2に3A+の起動からデータ送信完了までにかかる電流値の変化の例を示す。ソフトウェアは令和5年度の仕様とした。グラフより、3A+では起動処理の消費電流が大きくなっている。起動後はいずれのハードウェアでも大きな電流変動はなく、MP4エンコーダが立ち上がるタイミングで消費電流が大きくなる傾向が見られた。グラフの平均消費電流から平均消費電力を計算すると、4Bは5.19 W、3A+は4.20 Wとなり、この部分で約20%の消費電力削減が期待される結果となった。

令和5年度のシステムでは、バッテリー容量を213Whから640Whに増量している。従って、待機電力を無視し、1日あたり7時間の稼働し電池残量10%で停止すると仮定すると、電池寿命は4Bが5日に対して3A+は19日と計算され、3.5倍以上稼働時間延長すると期待される。

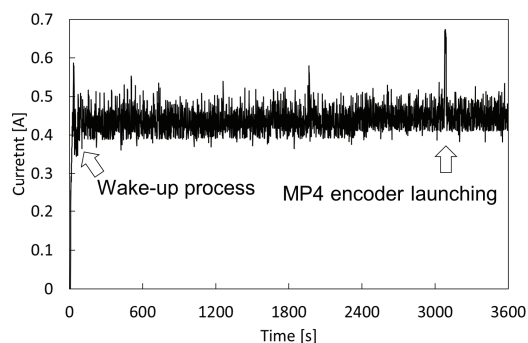


図1 4Bの消費電流の例

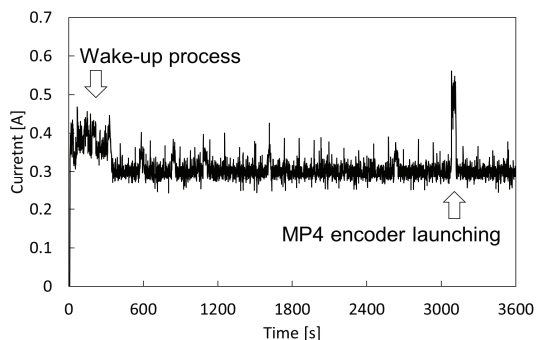


図2 3A+の消費電流の例

4.2 フィールド試験

システムは正常に稼働し、親アユの画像取得および遠隔送信に成功した。18時時点のバッテリー電圧をオンボード測定した結果を図3に示す。電池交換頻度は、7日間に1回行われる試験場の見回りに合わせる予定であったが、電源電圧の変動を確認した結果14日間とすることができた。試験期間中2回の電池交換いずれにおいても、電圧は13.0Vをわずかに下回る程度であり、余力を残していた。この結果から、令和4年度と比較して、少なくとも4.5倍の電池交換間隔で運用が可能であった。

この延長の理由として、電源の待機電力の差が考えられる。ポータブル電源では、多様な電源出力を制御するコントローラに電力が必要であるのに対して、LiFePO₄は単一電圧出力で、コントローラ不要のため、待機電力が削減されたと考えられる。

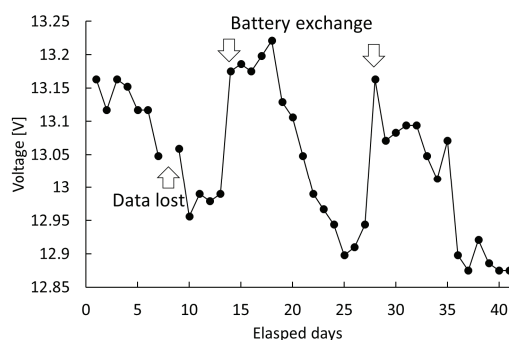


図3 バッテリー電圧(Slee-pi3 オンボード測定)

5 まとめ

アユ産卵場整備現場における遠隔モニタリングシステムのDX化において、課題として残されていたシステムの省力化と画像の確認のための労力削減に取り組んだ。画像撮影ソフトウェアを新しくするとともに低消費電力ハードウェアと大容量電池を組み合わせることで、3日に1回の電池交換が必要であったものを、14日に1日以下の電池交換頻度に改善するなど、実用性の向上に成功した。得られた知見を今後の活動へと展開していきたい。

謝辞

本研究は岡山県農林水産総合センター令和5年度外部知見活用型・産学官連携研究事業にて行われました。フィールド試験の場を提供いただいた、旭川南部漁業協同組合に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松岡大樹ほか. アユ産卵場整備における遠隔モニタリングシステムの検討. 岡山県工業技術センター報告.2023,p.13-14.
- 2) 岡山県農林水産総合センター水産研究所. アユの産卵場造成マニュアル. 2022, p.8.
- 3) “RaspberryPi Documentation”
,<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html#typical-power-requirements>.(参照 2024-05-01)

レーザクラディングにおける溶接条件と温度に関する 実験的・数値的検討

Experimental and numerical study on process parameters and temperature in laser cladding

藤井 健博・築山 訓明・勝田 智宣・林 泰弘*・松浦 善彦*

Takehiro FUJII, Kuniaki TSUKIYAMA, Tomonori KATSUTA, Yasuhiro HAYASHI and Yoshihiko MATSUURA

キーワード レーザクラディング / ステライト / サーモグラフィ / 数値シミュレーション
KEY WORDS Laser cladding / Stellite / Thermography / Numerical simulation

1 はじめに

レーザクラディングは、母材表面に異種金属をコーティングし、耐摩耗性・耐食性の向上等、表面改質を図る肉盛溶接法の一つであり、近年、自動車産業やエネルギー産業などで利用されている。この肉盛溶接法は、レーザを熱源とすることによるエネルギーの高密度化と精密な入熱制御性の特長を持ち、熱ひずみを抑制した硬いコーティングが可能となる。一方、レーザクラディング特有の急熱・急冷に起因する肉盛層でのクラックの発生が指摘されている²⁾。その抑制方法として、実用的かつ効果的なものは、レーザ出力や肉盛材の供給速度といった溶接条件の最適化である。この条件設定は経験に基づいて行われることが多いが、クラック発生を安定して抑制するには、溶接条件とクラックの原因となる温度との関係を明らかにする必要がある。

そこで、本研究ではその関係の究明を目的として、丸棒へのレーザクラディングを対象に、肉盛材の粉体供給量と溶接方向が温度におよぼす影響について実験的検討を行った。また、2次元問題で実験を模擬した熱流体の数値シミュレーションを実施し、温度に関する数値的検討も行った。

2 実験方法と計算手法

2.1 実験方法

本研究では丸棒(母材)の先端付近に20周程度肉盛りした試料を作製した。溶接中は、一定の速度で回転する丸棒(SS400)にレーザを照射して表面を溶融させ、そこに粉体の肉盛材(ステライト#6)を吹き付ける。表1は、検討した試料と溶接条件を示す。表中の粉体供給量と溶接方向が本実験で比較するパラメータである。溶接方向は、1周ごとにレーザヘッドを動かす方向であり、丸棒の先端から中央に向かう方向を「内向き」とし、その逆を「外向き」とする。溶接中の温度測定にはサーモカメラを用いた。その際、被測定物の放射率が必要であるが、その値は、溶接直後に接触式温度計で測定した温度と一致するように調整することで取得した。

表1 試料と溶接条件

試料	寸法	φ30 mm, L200 mm
	母材	SS400
	肉盛材	ステライト#6
溶接条件	レーザ出力	2500 W
	レーザ照射径	5 mm角
	丸棒回転速度	3.1 rpm
	粉体供給量	少、多
	溶接方向	内向き、外向き

2.2 計算手法

サーモカメラでは測定できない内部の温度分布や熱の流れを検討するため、本実験を模擬した数値シミュレーションを実施した。ただし、試験的計算として2次元問題として扱った。これは、丸棒の長さが極めて短く、丸棒端面が断熱されている問題に相当し、溶接方向の設定はできないことに注意を要する。なお、試料内部の伝熱だけでなく、周囲流体である空気の流れも考慮した。表2は、計算に用いた空気と母材(SS400)の物性値を示す。そのほかの条件は表1に示した値を用い、粉体供給量は少ない条件に合わせた。

次にレーザによるステライト、SS400への入熱計算の方法を説明する。ステライトへの入熱量 $\dot{Q}$ [W]は次式による概算で評価した。

$$\dot{Q} = c(T_m - T_0)\dot{m} \quad (1)$$

ここで、 c はステライトの比熱(4.23×10^{-1} J/(g·K))、 T_m はステライトの融点(1290℃)、 T_0 は室温(20℃)、 $\dot{m}$ は単位時間あたりのステライトの粉体供給量[g/s]である。一方、SS400には、レーザ出力を P として、 $\alpha(P - \dot{Q})$ のエネルギーが流入するとした。ここで、 α は試料表面におけるレーザの反射率であり、1μmの波長の光に対するFeの反射率に近い0.55とした。なお、ステライトとSS400ともに、融解による吸熱と凝固による放熱を等しいとして、相変化の影響を無視した。また、試料表面からの輻射エネルギーは、レーザによるエネルギーの流入

*林電化工業(株)

表2 計算に用いた空気とSS400の物性値

	空気	SS400
密度[kg/m ³]	1.17	7.85×10^3
粘性係数[Pa・s]	1.83×10^{-5}	—
比熱[J/(kg・K)]	1.01×10^3	4.73×10^2
熱伝導係数[W/(m・K)]	2.57×10^{-2}	5.16×10^1
熱膨張係数[1/K]	3.41×10^{-1}	—

量に対して小さいため、ここでは無視した。

周囲の空気は、ひずみ速度に比例したせん断応力が働く Newton 流体とし、その流れは密度一定の非圧縮流れとして扱う。ただし、熱膨張による密度変動の影響を考慮するため、その変動を熱膨張係数と温度変化で表す Boussinesq 近似を用いた。また、流体(空気)と物体(SS400)の熱的・力学的相互作用は体積力型埋め込み境界法³⁾に基づいて計算した。時間刻みは、自然対流の時間スケールを十分解像できるよう、 $\Delta t = 3 \times 10^{-4}$ s とした。また、空間離散化は不等間隔格子を用いた有限差分法により行うが、その格子幅は丸棒付近で最小かつ等間隔とし、試験的にその値を、丸棒径を 50 等分する $\Delta x = 0.6$ mm とした。

3 結果と考察

3.1 温度測定結果

図1は、サーモカメラによって得られた温度分布を示す。図中には、各溶接条件で作製された試料を表す番号(1,2,3,4)と、レーザーヘッドがある照射部の温度を付記してある。粉体供給量に関して、図1の試料1と2、3と4をそれぞれ比較すると、粉体供給量が多い試料2,4の方が、照射部の温度が低いことがわかる。これは、肉盛材の熱容量が大きくなるためと考えられる。一方、溶接方向に関して、図1の試料1と3、2と4をそれぞれ比較すると、外向きの試料3,4の方が、照射部の温度が高いことがわかる。これは、外向きに溶接した場合、流入する熱の多くが丸棒先端に到達し、空気の断熱性によって蓄熱するためと考えられる。

3.2 計算結果

図2は、レーザー照射開始から6秒経過(約1/3周回転)した丸棒付近の温度分布の計算結果を示す。図2に示すように、1730℃のレーザー照射部温度が得られ、2次元計算であるものの、粉体供給量が対応する図1の試料1(1740℃)と試料3(1860℃)の実験結果とおおむね近い値となった。また、高温となるのは照射部のごく近傍であり、内部や、丸棒の回転が進み照射部から離れた部分では、温度が200～600℃程度となり、顕著に低い結果となった。一方、空気の温度分布に着目すると、温度が高いのは丸棒近傍と自然対流の発生部分のみで、空気への伝熱は小さいことが確認された。

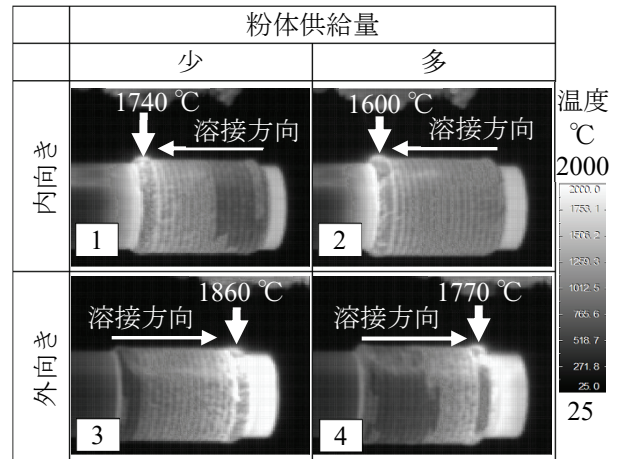


図1 レーザクラディング時の温度分布

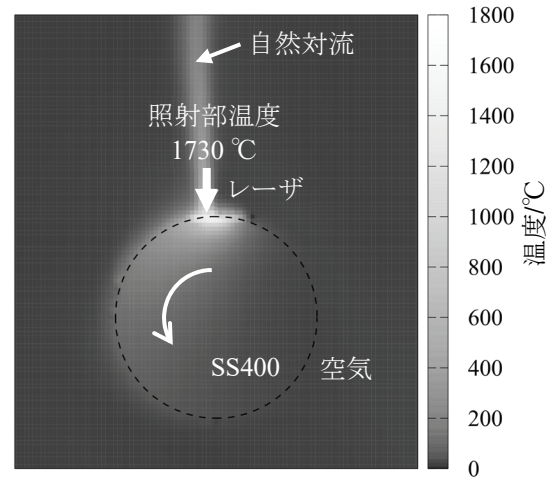


図2 数値シミュレーションによる温度分布

4 まとめ

レーザークラディングにおける溶接条件と温度について、実験とシミュレーションの双方から検討を行った。サーモカメラによる温度測定の結果から、レーザー照射部の温度は、肉盛材の粉体供給量が多いほど低く、溶接方向が外向きの場合に高くなることがわかった。また、実験を模擬した2次元の数値シミュレーションを実施したところ、実験値と近いレーザー照射部の温度が得られ、高温となるのは照射部のごく近傍であることが確認された。今後は、実験によるレーザー出力等のさらなる溶接条件の検討と、数値シミュレーションの3次元化を行い、溶接条件とクラックの原因となる温度との関係を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 牧野吉延ほか. レーザクラディングの実際. 溶接学会誌. 1995, 64(3), p.154-160.
- 2) Li, Mingke. et al. Crack Formation Mechanisms and Control Methods of Laser Cladding Coatings: A Review. Coatings. 2023, 13(6), 1117.
- 3) Gu, Jingchen. et al. Influence of Rayleigh number and solid volume fraction in particle-dispersed natural convection. Int. J. Heat Mass Transf. 2018, 120, p.250-258.

ヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率の予測と検証

Estimation and verification of normal incidence absorption coefficient of Helmholtz resonator

藤本 望夢・眞田 明・高田 卓*

Nozomu FUJIMOTO, Akira SANADA, Suguru TAKATA

キーワード 吸音 / 孔あき板 / ヘルムホルツ共鳴 / 集中定数系

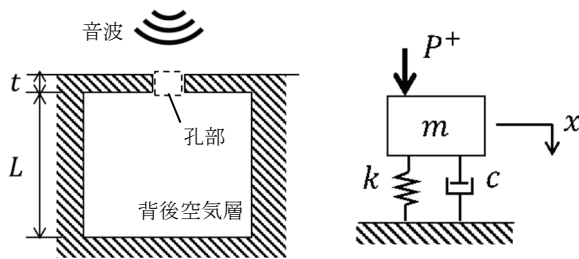
KEY WORDS Sound absorption / Perforated plate / Helmholtz-resonance / Lumped parameter system

1 はじめに

近年、入射する音波の波長よりも短い(サブ波長)構造から構成される音響メタマテリアル吸音体や音響メタサーフェス吸音体が注目されている¹⁾。これらの吸音体の多くは、共鳴系や共振系を周期並列に配置した構造である。ゆえに、音響メタマテリアル吸音体や音響メタサーフェス吸音体を設計するうえで、構成要素の共鳴系や共振系の吸音特性を把握することは重要である。

音響メタマテリアル吸音体や音響メタサーフェス吸音体を使用される共鳴系として、ヘルムホルツ共鳴器が挙げられる。ヘルムホルツ共鳴器は、図1(a)のように孔の背後に空気層が設けられた構造である²⁾。孔部の空気が質量、背後の空気層がバネとして働き、図1(b)の1自由度の共振系を構成する。この共振系の共振周波数付近の音波が孔部に入射した際、共鳴して孔部の空気が振動し、それに伴い孔部で粘性摩擦によるエネルギー損失が生じ、音波が吸収される。例えば、共鳴周波数の異なる複数のヘルムホルツ共鳴器を並列配置することで、広帯域な吸音特性を実現した音響メタマテリアル吸音体が報告されている¹⁾。

本報告では音響メタマテリアル吸音体の設計に向けた基礎検討として、ヘルムホルツ共鳴器を対象に垂直入射吸音率の予測式を導出し、実験による測定値との比較検証を行った。まず、集中定数モデルから垂直入射吸音率の予測式を求めた。次に、孔あき板を製作して、音響インピーダンス測定による垂直入射吸音率測定を行い、得られた測定値と予測式から求めた計算値の比較を行った。



(a) 概要図 (b) 集中定数モデル

図1 ヘルムホルツ共鳴器

2 垂直入射吸音率の予測式

ヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率の予測式を導出する。図1(a)の単一孔を有する板と空気層からなるヘルムホルツ共鳴器を考える。孔あき板や孔、空気層の断面は円形とする。ここでは、対象の周波数帯域における音波の波長に対して、吸音板の外径や孔径、空気層厚さが十分に小さいとする。このとき、ヘルムホルツ共鳴器は集中定数系として扱うことができる。これにより、孔部空気について、孔面積あたりの運動方程式は以下のように考えることができる。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P^+ \quad (1)$$

ここで、 P^+ は入射波振幅である。バネ係数 k は以下のように表せる。

$$k = \frac{\phi \rho_a c_a^2}{L} \quad (2)$$

ただし、 ρ_a は空気の密度、 c_a は音速、 L は背後空気層の長さである。また、 ϕ は空気層の断面積 S に対する孔面積 S_h の開口率であり、 $\phi = S_h/S$ となる。孔部空気の面密度 m は、孔部の開口端補正 ε_e を考慮して以下のように与えた。なお、開口端補正はIngardによる実験式を用いた³⁾。

$$m = \rho_a(t + 2\varepsilon_e) \quad (3)$$

$$\varepsilon_e = 0.48\sqrt{S_h}(1 - 1.25\sqrt{\phi}) \quad (4)$$

t は孔の長さである。次に、 c は孔部の空気に作用する粘性減衰係数であり、Ingardのモデルから以下のように与えた³⁾。

$$c = \left(\frac{4t}{d} + 4\right) \frac{\sqrt{2\rho_a\eta_a\omega}}{2} \quad (5)$$

d は孔の直径、 η_a は空気の粘性係数である。式(1)の運動方程式から、吸音板表面の音響インピーダンス密度 Z^+ は次式となる。

$$Z^+ = \frac{1}{\phi} \left[c + j \frac{m}{\omega} (\omega^2 - \omega_h^2) \right] \quad (6)$$

ここで、 ω_h はヘルムホルツ共鳴器の共鳴振動数であり、次式のようになる。

$$\omega_h = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\phi c_a^2}{L(t + 2\varepsilon_e)}} \quad (7)$$

*みのる化成(株)

最後に、垂直入射吸音率 α は次式から算出する。

$$\alpha = 1 - \left| \frac{z^+ - z_a}{z^+ + z_a} \right|^2 \quad (8)$$

ここで、 Z_a は空気のインピーダンス密度であり、 $Z_a = \rho_a c_a$ で表される。

3 垂直入射吸音率の測定

集中定数モデルによる予測式を検証するために、垂直入射吸音率の測定を行った。孔あき板の寸法は外径105 mm、板厚2 mmとし、孔の直径が5 mm、10 mm、15 mmのものをそれぞれ試作した。

試作した孔あき板を用いて、垂直入射吸音率の測定を行った。図2に垂直入射吸音率測定の概要を示す、垂直入射吸音率の測定には、内径100 mmのインピーダンス測定管（B&K 4206）を用いた。図2のように吸音板の周辺を管壁で挟み込み吸音板を設置し、管壁と吸音板の接触部に隙間が生じないようにワセリンを塗った。背後空気層は50 mmで一定とした。

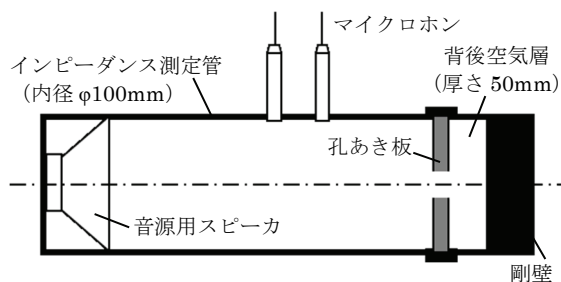


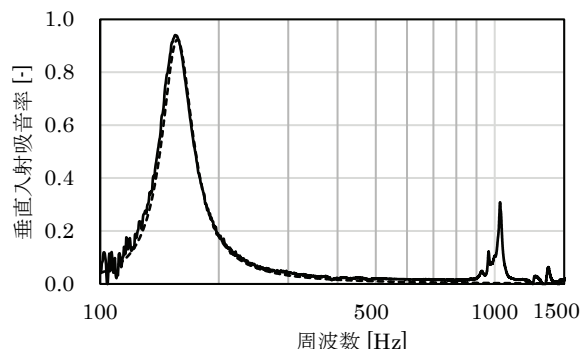
図2 垂直入射吸音率測定の概要

図3に垂直入射吸音率の測定値（実線）と計算値（破線）を示す。図3より低周波側と高周波側に吸音ピークが生じていた。低周波側の吸音ピークは、ピークの位置や高さが孔径に依存していることから、ヘルムホルツ共鳴によるものである。対して、高周波側の吸音ピークは、どの条件においても1000 Hz付近に生じていることから、構成する材料の振動に起因するものと考えられる。ヘルムホルツ共鳴による吸音ピークは、孔径が大きくなるに伴い、ピーク位置が高い周波数にシフトして、ピーク高さが小さくなる傾向を得た。まず、ピーク位置が高い周波数にシフトした理由は、共鳴周波数が大きくなったためである。次に、ピーク高さが小さくなった理由は、孔部の粘性抵抗が小さくなったことが考えられる。式(5)においても、孔径 d が大きくなるに伴い、粘性減衰係数 c が小さくなるように測定値と同じ傾向が確認できる。図3より孔径5 mm、10 mm、15 mmのすべての条件において、測定値と計算値は良好に一致していることを確認した。

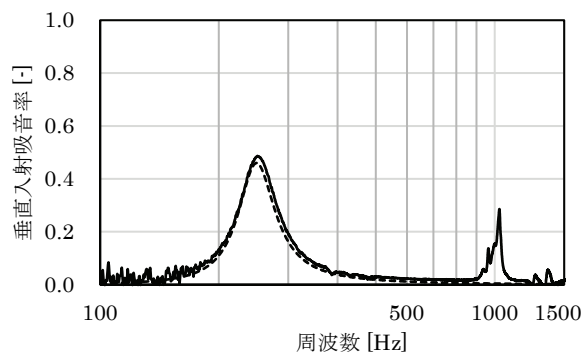
4 まとめ

本報告では、音響メタマテリアル吸音体に利用されているヘルムホルツ共鳴器を対象として、垂直入射吸音率の予測式による計算値と測定値の比

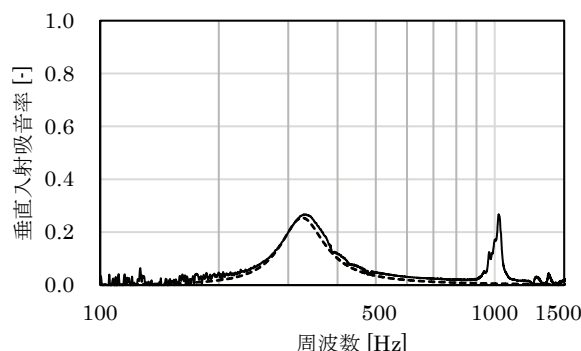
較を行った。集中定数モデルを用いてヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率の予測式を導出した。さらに、孔径の異なる3枚の孔あき板を試作し、音響インピーダンス測定による垂直入射吸音率の測定を行った。ヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率の計算値と測定値は良好に一致しており、予測式の妥当性を確認した。今後は、予測式を基盤に音響メタマテリアル吸音体の設計に取り組む予定である。



(a) 孔径5 mm



(b) 孔径10 mm



(c) 孔径15 mm

図3 垂直入射吸音率の測定結果
(実線：測定値、破線：計算値)

参考文献

- 1) 山本崇史. 音響メタマテリアルの研究背景と動向. 日本音響学会誌. 2023, 79(8), p.397-403.
- 2) 前川純一ほか. 建築・環境音響学（第3版）. 共立出版, 2011, 83p.
- 3) U. Ingard. On the Theory and Design of Acoustic Resonators. The Journal of Acoustical Society of America. 1953, Vol. 25, p. 1037-1061.

ポリプロピレン/ポリスチレンブレンド材料に関する 粘弾性曲線の算出

Calculation of the viscoelastic curves about polypropylene / polystyrene blend materials

甲加 晃一・藤原 和子・日笠 茂樹

Kouichi KOUKA, Kazuko FUJIWARA, Shigeki HIKASA

キーワード ポリマーブレンド / 衝撃強度 / 粘弾性 / 高柳モデル

KEY WORDS Polymer blend / Impact strength / Viscoelasticity / Takayanagi's model

1 はじめに

使用済みプラスチック材料のマテリアルリサイクルは、プラスチック材料そのものを原料として再利用する方法である。そのため、リサイクルに必要なエネルギー消費量が少なく、環境負荷が低い。しかしながら、マテリアルリサイクルは、未だ十分に普及していない。その理由として、以下のことが挙げられる。通常、回収されるプラスチック材料では、単一種類であることは少なく、複数種類の混合物であることが多い。そのため、マテリアルリサイクル時に、異種プラスチック材料は、ブレンド化されて、ポリマーブレンド材料となる。著者らは、ポリマーブレンド材料の力学特性において、特に衝撃強度は低下し易いことを報告した¹⁾。

ところで、単一プラスチック材料の衝撃強度は、粘弾性曲線の緩和との間に密接な関係にあることが報告されている²⁾。例えば、ポリカーボネートでは、側鎖緩和や局所的な主鎖緩和の拡がりにより、衝撃強度が向上することが述べられている。このように、プラスチック材料の粘弾性曲線を調べることは、衝撃特性の理解に重要である。しかしながら、複数のプラスチック材料がブレンド化されるポリマーブレンド材料において、ポリマーブレンド材料の粘弾性曲線の緩和と衝撃強度との関係は、十分に明らかにされておらず、複数のポリマーブレンド材料の粘弾性曲線を実測するためには、試料調製および動的粘弾性試験を何度も行う必要があった。

そこで、本研究では、まず、ポリマーブレンド材料の粘弾性曲線の算出に取り組んだ。本報告では、ポリマーブレンド材料のモデルとして、広く利用されているポリプロピレン(PP)とポリスチレン(PS)をブレンドした2元系材料を想定し、その粘弾性曲線の計算値と実験値との比較を行い、粘弾性曲線の緩和について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 試料の調製

マトリックスポリマーとして、PP (PM671A、メルトマスフローレイト(MFR)= $7\text{ g}\cdot 10\text{ min}^{-1}$ 、サンアロマー(株)製)を用いた。分散ポリマーとしてPS (HF77、MFR= $7.5\text{ g}\cdot 10\text{ min}^{-1}$ 、PSジャパン(株)製)を用いた。PP、PSを小型混練機(B50EHT、Brabender社製)に投入した。混合物を $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 60 rpm で混練し、PP/PSを得た。PSの体積分率を0.2とした。得られたPP/PSをプレス機(IMC-181C-A型、(株)井元製作所製)を用いて、 $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、5分間熱プレスした後、 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、5分間冷却プレスし、成形体を得た。動的粘弾性試験の試料として、短冊試験片(長さ 40 mm 、幅 4 mm 、厚さ 0.5 mm)を用いた。

2.2 走査電子顕微鏡(SEM)観察

PP/PSを電界放出形走査電子顕微鏡(SU8220、(株)日立ハイテクノロジーズ製)で観察した。成形体をウルトラミクロトーム(EM FC7、Leica Microsystems GmbH)を用いて、約 $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ に冷却して切削した。作製した切削面を四酸化ルテニウム蒸気にて、スチレン成分を染色し、観察試料とした。

2.3 動的粘弾性試験

動的粘弾性試験は、粘弾性測定装置(DMS6100、エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)製)を用いて、周波数 1 Hz 、測定温度 $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近から $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近、昇温速度 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、窒素雰囲気下の条件で行い、動的損失弾性率を求めた。さらに、動的損失弾性率の粘弾性曲線より、緩和を評価した。

2.4 PP/PSにおける粘弾性曲線の計算方法

図1に、PP/PSの模式図を示す。ここで、PS島相の縦および横の分率を λ とすると、PS島相の体積分率は λ^2 で示され、 $\lambda^2=0.2$ となる。また、図2に、図1の模式図を高柳モデル³⁾に基づく並列モデルおよび直列モデルで記載される結合モデルを示す。

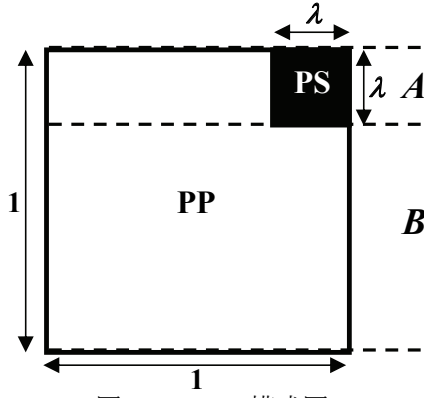


図 1 PP/PS の模式図

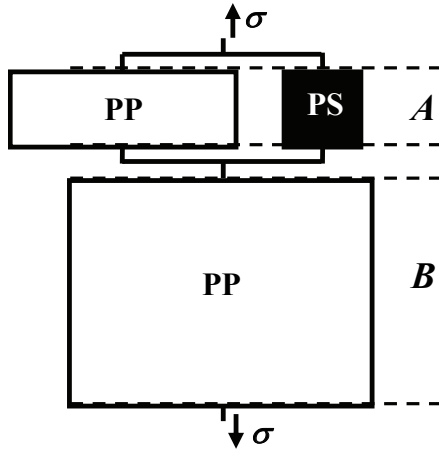


図 2 PP/PS の結合模型

PP/PS全体の動的損失弾性率を高柳モデルに基づき数式化を行った^{3,4)}。図2のA領域の歪み(ε_A)、B領域の歪み(ε_B)および全体の歪み(ε)は、それぞれ式(1)、(2)、(3)で表される。

$$\varepsilon_A = \frac{\sigma}{(1-\lambda)E_{PP}'' + \lambda E_{PS}''} \quad \text{式(1)}$$

$$\varepsilon_B = \frac{\sigma}{E_{PP}''} \quad \text{式(2)}$$

$$\varepsilon = \lambda \varepsilon_A + (1-\lambda) \varepsilon_B \quad \text{式(3)}$$

式(1)、式(2)を式(3)に代入して、

$$\varepsilon = \sigma \left(\frac{\lambda}{(1-\lambda)E_{PP}'' + \lambda E_{PS}''} + \frac{1-\lambda}{E_{PP}''} \right) \quad \text{式(4)}$$

両辺を σ で除することにより、全体の動的損失弾性率を個々の動的損失弾性率にて表す式(5)が得られる。

$$\frac{1}{E''} = \frac{\lambda}{(1-\lambda)E_{PP}'' + \lambda E_{PS}''} + \frac{1-\lambda}{E_{PP}''} \quad \text{式(5)}$$

E'' : PP/PS 全体の動的損失弾性率、 σ :応力、 λ : PS 島相の縦および横の分率、 E_{PP}'' : PP の動的損失弾性率の実験値、 E_{PS}'' : PS の動的損失弾性率の実験値

3 結果および考察

図3に、PP/PSのSEM像を示す。図3より、PP海相中に、球状の大きなPS島相が分散していることが観察された。

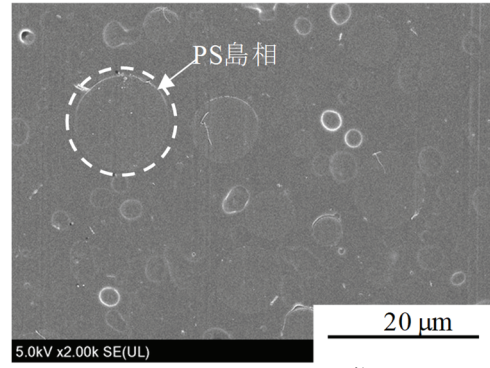


図 3 PP/PS の SEM 像

図4に、PPおよびPSの E'' と温度の関係から成る粘弾性曲線を示す。1にPPの実験値、2にPSの実験値を示す。また、図5に、PP/PSの E'' と温度の関係から成る粘弾性曲線を示す。3に実験値、4に式(5)に基づく計算値を示す。図5におけるPP/PSの計算値の算出には、図4におけるPPおよびPSの実験値を用いた。図5において、実験値の緩和ピーク値は、低温側から-60℃付近、0℃付近および110℃付近に観測された。一方、計算値の緩和ピーク値は、低温側から-60℃付近、0℃付近および100℃付近に求められた。-120℃付近から50℃付近の温度範囲において、実験値の粘弾性曲線と計算値のそれは、良い一致を示した。しかしながら、50℃付近から120℃付近の温度範囲において、実験値の粘弾性曲線と計算値のそれは、一致しなかった。

実験値の粘弾性曲線において、-60℃付近の緩和は、PP中のエラストマー成分の分子鎖熱運動に、0℃付近の緩和は、PPの主鎖の分子鎖熱運動に、110℃付近の緩和は、PSの主鎖の分子鎖熱運動に由来すると考えられる。また、PSの主鎖の分子鎖熱運動に由来する緩和において、実験値の緩和ピーク値は、110℃付近となり、計算値の緩和ピーク値100℃付近より高温側へシフトしている。これについては、以下の理由より支持される。吉田らは、イソタクチックポリプロピレン(i-PP)とアタクチックポリスチレン(a-PS)をブレンド化した材料において、i-

PPの含有量の増加に伴い、a-PSのガラス転移温度は高温側へ徐々にシフトすることを報告している⁵⁾。この現象については、a-PSの活性化エントロピーがi-PP含有量の増加に伴い減少したことが原因としている。ここで、a-PSのガラス転移温度は、a-PSの緩和ピーク温度に該当するものであり、本研究で得られた結果と同様の傾向が得られている。

上記のようにPP/PSに対して高柳モデルを利用した式(5)を用いて算出した粘弾性曲線は、50℃付近以下の温度領域において利用可能と判断された。次に、50℃付近から100℃付近までの温度領域における粘弾性曲線について説明する。高柳らは、融解状態のPPを低温に急冷することにより、50℃付近に幅広い緩和が現れることを明らかにしている⁶⁾。本研究において、210℃の融解状態のPPを45℃に急冷することで、試料を調製している。そのため、実験値において、50℃付近にPPの幅広い緩和が観測されると考えられる。また、PSの緩和ピーク温度は110℃付近となり、吉田らの研究⁵⁾に見られるように、高温側へシフトしている。そのため、実験値は、50℃付近のPPの幅広い緩和と、PPとの共存により高温側へシフトした110℃付近のPSの緩和が有る程度分離している。一方、計算値において、PSの緩和ピーク温度が高温側へシフトする要素は、考慮されていない。そのため、計算値は、50℃付近のPPの幅広い緩和と100℃付近のPSの緩和が一部重なってしまい、見掛け上幅広い緩和が観測されると推察される。

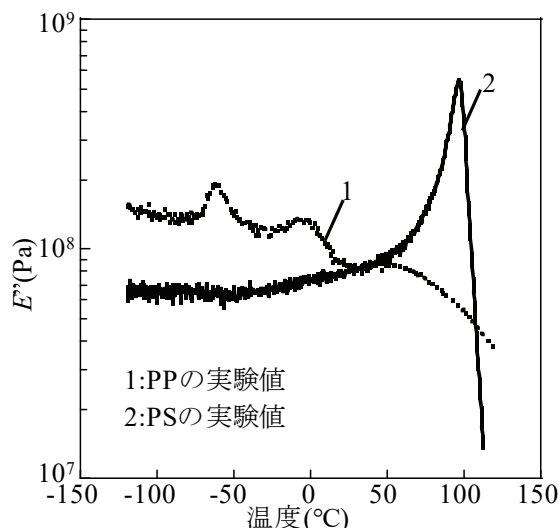


図4 PPおよびPSの E' と温度との関係
(1:PPの実験値および2:PSの実験値)

4 まとめ

PP/PSの粘弾性曲線の計算値と実験値との比較を行い、粘弾性曲線の緩和について検討した。その結果、50℃付近以下の温度領域において、PP/PSの

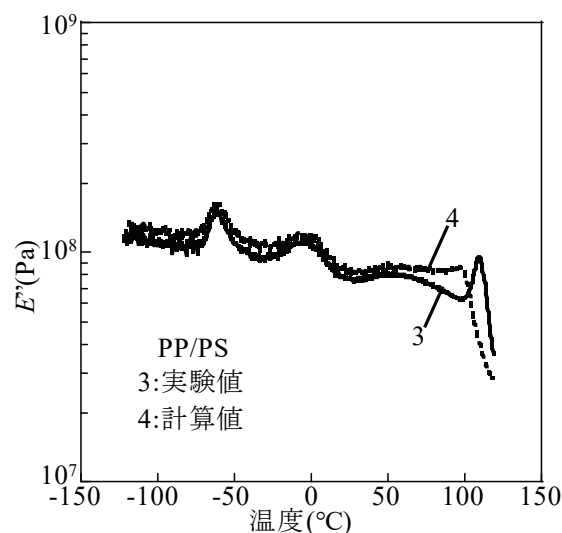


図5 PP/PSの E' と温度との関係
(3:実験値および4:計算値)

粘弾性曲線の計算値は、その実験値と良く一致した。

本研究は岡山県産業廃棄物処理税により実施した。

参考文献

- 1) 甲加晃一など. PP/HIPS/相容化剤ブレンド材料のモルフォロジーが機械的特性に及ぼす影響. 日本接着学会誌. 2015, 52(1), p.4-p.8.
- 2) 高分子学会編, 高分子科学の基礎(第2版). 東京化学同人, 1994, p.232.
- 3) 高柳素夫など. ポリマーブレンドの粘弾性特性と模型実験による検討. 材料. 1963, 12(116), p.389-p.394.
- 4) X. L. Ji et al, Tensile Modulus of Polymer Nanocomposites. Polymer Engineering and Science. 2002, 42(5), p.983-p.993.
- 5) 吉田和宏など. PP/PS系の動的粘弾性特性に及ぼすSEBSの添加効果. 日本レオロジー学会誌. 2008, 36(1), p.29-p.34.
- 6) 高柳素夫など. アイソタクチックポリプロピレンの結晶相の粘弾性緩和挙動. 工業化学雑誌. 1965, 68(5), p.830-p.836.

ゴム/セルロース複合材中の セルロース配向の定量評価手法

Quantitative evaluation method for cellulose orientation in rubber/cellulose composites

幕田 悟史・石田 拓也・藤井 英司

Satoshi MAKUTA, Takuya ISHIDA, Eiji FUJII

キーワード セルロース繊維 / ゴム複合材料 / 配向 / X線回折
KEY WORDS Cellulose fiber / Rubber composite / Orientation / X ray diffraction

1 はじめに

ゴム/セルロース複合材の材料設計においては、セルロースの配向を制御することが重要である。そのためゴム中セルロースの配向状態を評価する手法が求められるが、複合材の配向分析をした事例はほとんど見られない。前報では、X線回折(XRD)で試料の設置方向を変え、異なる3面の2 θ / θ プロファイルを測定することで、配向方向の情報が得られることを示した¹⁾。しかしこの手法では定量的な評価は難しく、改良が必要であった。本報では、XRDで複合材中のセルロースの配向状態を数値化して評価する手法を検討した。また、配向状態と複合材の力学物性の関係を調査した。

2 実験方法

イソブレンゴム(IR2200、JSR株式会社)、粉末セルロース(KCフロックW-100G、日本製紙株式会社)20重量部(phr)、過酸化剤架橋剤(パークミルド、日油株式会社)0.8 phrを6インチオープンロールで混練した。混練物をオープンロールに1回通し、2 mm厚のシート状に加工した。加工時のロール圧延方向をRD、横方向をTD、厚み方向をNDとする(図1(a))。任意の方向のベクトルがRD軸となす角を ϕ と定義する。圧延シートを155°Cで熱プレスし、架橋シートを得た。打抜き刃を用いてRDと平行方向にダンベル状の試験片を作製した。また、参照としてセルロースを添加しない試料を作製した。

X線回折強度の方位依存性はX線回折装置(SmartLab、株式会社リガク)の微小点光学系を用いた。ここでは簡易的に一軸結晶配向の測定・解析

手法を採用した。試験片を透過試料台に取り付け、図1(b)に示す方向に設置した。2 θ をセルロース(004)面の回折角である34.6°に固定し、試験片をND軸周りに連続的に90°回転させることで ϕ と回折強度の関係を測定した。さらに試料を元の位置から90°、180°、270°回転して設置し、同様の測定を行いそれぞれつなぎ合わせることで、 $\phi=0^\circ\sim180^\circ\sim0^\circ$ の広範囲のプロファイルを得た。式(1)および式(2)により一軸配向における配向関数 f_ϕ を計算した²⁾。ここで $I(\phi)$ は角度 ϕ における回折強度である。 f_ϕ が-0.5のとき完全TD配向、0のときランダム配向、1のとき完全RD配向である。試験片内でX線入射位置をずらして5点の測定し、それぞれ f_ϕ を求めその平均値を求めた。

$$\text{配向係数 } \overline{\cos^2 \phi} = \frac{\int I(\phi) \cos^2 \phi \sin \phi d\phi}{\int I(\phi) \sin \phi d\phi} \quad (1)$$

$$\text{配向関数 } f_\phi = \frac{3 \overline{\cos^2 \phi} - 1}{2} \quad (2)$$

XRD測定後の試験片の複素弾性率 E^* を粘弾性測定装置(RSA-G2、TA Instruments)を用いて求めた。室温で0.5%、1 Hzの動的ひずみを与えて応力を測定した。さらに材料試験機(オートグラフAG-100kNXplus、株式会社島津製作所)により、同一試験片の100%伸長モジュラス S_{100} を求めた。引張速度は500 mm/minとした。

3 結果

セルロース粉末を20 phr配合したイソブレンゴムの、セルロース(004)面におけるXRDの ϕ スキンの代表的な結果を図2に示す。 $\phi=0^\circ$ 、 180° のとき回折強度は最大に、 $\phi=90^\circ$ で最小となった。これはRD方向への配向を示している。グラフ形状は $\phi=180^\circ$ を中心に左右同形となったほか、 $\phi=90^\circ$ においても対称となった。ここから配向関数 f_ϕ を計算すると0.17であった。

f_ϕ と複素弾性率 E^* および100%伸長モジュラス S_{100} のとの関係をまとめた結果を図3に示す。同一試験片内5点の f_ϕ の標準偏差を図内エラーバーで示す。

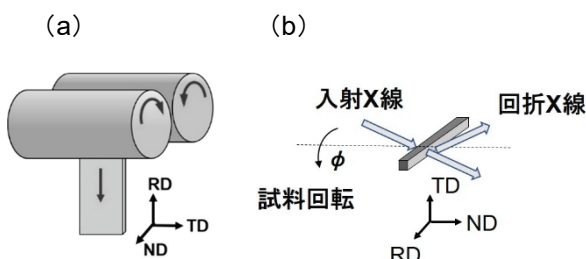


図1 (a) ロール加工と方位軸の関係。(b) XRD測定時の試料設置模式図($\phi=90^\circ$)と試料回転方向。

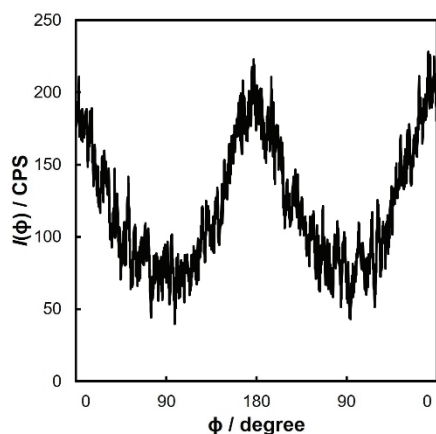


図2 イソプレングム/セルロース複合材を、RD-TD 面内でND軸まわりに360°回転させたときの、 ϕ とX線回折強度 $I(\phi)$ の関係 ($2\theta=34.6^\circ$)。

図3の f_ϕ は、グラフの対称性から $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ の範囲で求めた。 E^* 、 S_{100} とも、 f_ϕ が大きいほど、すなわちより強くRD方向に配向しているほど大きい値が得られた。その相関係数は E^* で0.84、 S_{100} で0.74であった。

4 考察

本実験に用いた試験片は同一シートから打ち抜いたものであるが、異なる力学物性 (E^* や S_{100}) が得られた。例えば E^* においては10個の試験片の平均が2.61 MPa、標準偏差が0.85 MPaであり大きなばらつきを示した。同一試験片の繰り返し試験の標準偏差が0.006 MPaと小さいことから、ばらつきは測定誤差ではなく試験片間の物性の差を反映していると判断される。力学物性を左右する要因として充填材の分散状態、充填材の配向状態、ゴムの架橋状態などがある。これらの1つあるいは複数の状態がシート内で不均一のため、試験片ごとに物性が異なると考えられる。ここで、セルロース未配合のシートから打ち抜いた5個の試験片の E^* 平均値は0.98 MPa、標準偏差は0.002 MPaであり、参照シート内では物性のばらつきはほとんどなかった。このため複合材における物性値のばらつきは、セルロースの不均一性 (分散あるいは配向) が関与していると推定された。このうち配向については、負荷の方向と同方向に繊維が配向していると、繊維による補強効果が高くなることが知られている³⁾。図3から E^* 、 S_{100} ともに f_ϕ と強い相関を示しており、力学物性のばらつきは、配向状態の不均一性が主要因であると推察された。また、複合材中のセルロースの配向の定量評価手法として、 f_ϕ を用いることの有効性が確認された。

本研究で作製した複合材は、ロール圧延加工を経ているため二軸配向が予想される。厳密な配向評価には、一軸配向 (RD軸の周りで円筒対称) を仮定した式 (1) ではなく、極点測定から得られる二軸配向試料における配向係数⁴⁾を用いる必要がある。しかし本実験においては式 (1) で近似的に求めた f_ϕ であっても物性値と良い相関が得られた。測定を行ったRD-TD面内に配向の多くが集中して

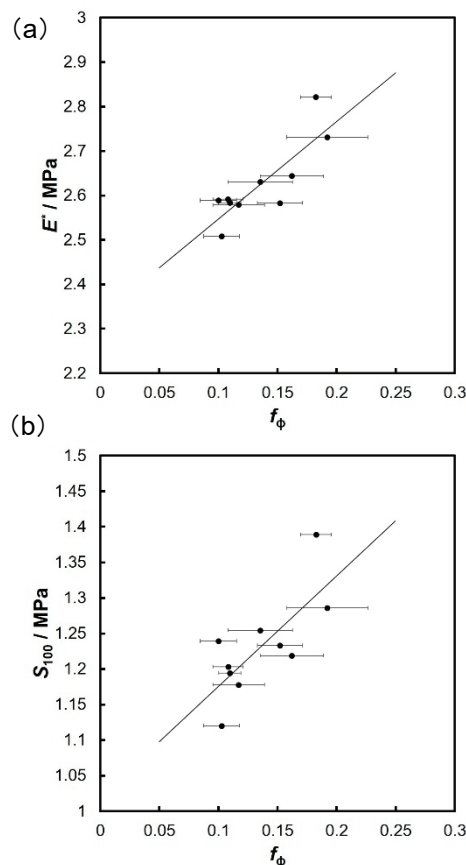


図3 配向関数 f_ϕ と (a) 室温、ひずみ量0.5%、周波数1 Hzにおける複素弾性率 E^* および (b) 引張速度500 mm/minにおける100%伸長モジュラス S_{100} との関係。図中の直線は1次回帰直線を表す。

おり面外における配向状態は無視できるため、あるいは面外における $I(\phi)$ のプロファイルが面内におけるプロファイルと類似するため、などがその要因として考えられる。

5 まとめ

ゴム/セルロース複合材のX線回折測定により、セルロースの配向を定量評価する手法を検討した。試料を回転させて回折プロファイルを測定し、配向関数を求めることで、配向状態を数値として表した。配向関数と複合材の力学物性値との間に強い相関が得られ、本手法が配向評価手法として有用であることが示唆された。

参考文献

- 1) 幕田悟史ほか. ゴム/セルロース複合材中のセルロース配向評価. 岡山県工業技術センター報告. 2023, 49, p.29-30.
- 2) 山田 武ほか. DSC-XRD ならびに DSC-FTIR による高分子結晶配向関数の温度変化. Netsu Sokutei. 2003, 30(4), p.161-166.
- 3) 日本ゴム協会編. 新版 ゴム技術の基礎 (改訂版). 2019.
- 4) 高原弘和ほか. 結晶性高分子の結晶および非結晶相の配向とその評価 II. 繊維と工業. 1965, 21(7S), p.S177-S186.

ゴム材料の薄片試料の作製手法

Preparation method of samples for depth analysis in rubber materials

岩 露 仁、石田 拓也、八木 駿

Hitoshi IWABUKI, Takuya ISHIDA, Suguru YAGI

キーワード ゴム / 薄片 / 断面 / 深さ分析

KEY WORDS Rubber / Thin specimen / Cross section / Depth analysis

1 はじめに

ゴム材料の薄片試料は、クライオミクロトームを用いてガラス転移温度以下まで冷却して作製することが多い。クライオミクロトームで切り出した切片試料は丸まり易いため、作製に要する技術や労力が大きい。また、切片の大きさも限られてしまうため、広い範囲の分析を行うための試料作製には適していない。そこで、本検討では、均一な厚みでmmオーダーの大きさのゴム切片を作製する手法の開発に取り組んだ。その結果、弾性接着剤でゴム試料を包埋して、その包埋試料から薄い切片を切り出す手法が有効であることを見出したので報告する。

2 実験方法

2.1 試料の作製

原料ゴムはシス含量98 wt.%のポリブタジエン(BR)(UBEPOL BR 150L 宇部興産(株)製)を用いた。加硫剤として硫黄を、その他配合剤として酸化亜鉛、ステアリン酸、加硫促進剤としてN-シクロヘキシルベンゾチアゾール-2-スルフェンアミド(CBS)を用いた。配合表を表1に示す。6インチオープンロールを用いて、ゴムと配合剤を混練した後、160℃でプレス加硫して1 mm厚みの加硫ゴムシートを得た。

表1 配合表

	重量部
ブタジエンゴム	100
ステアリン酸	1
酸化亜鉛	2
硫黄	1
加硫促進剤(CBS)	1

2.2 試料の包埋

試料の包埋にはエポキシ変成シリコーン樹脂系接着剤(ボンドMOS8、コニシ株式会社製)を用いた。図1に包埋の手順を示す。テフロンシートの上に接着剤を展開し、接着剤上にゴム試料を置いて、さらに接着剤を上から展開し熱硬化試料を埋めこんだ。室温で24時間静置することで、弾性接着剤を硬化させ、包埋試料を得た。

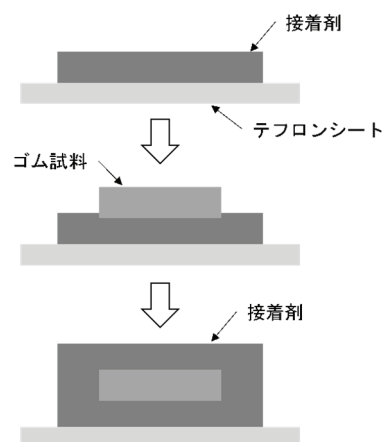


図1 ゴム試料の包埋手順

2.3 薄片試料の採取

2枚の剃刀刃の間にスペーサーを挟み、小型バイスで固定した治具を作製した。スペーサーの厚みを変えることで任意の厚みの試料を得ることができる。本検討では0.22 mmのステンレス製のスペーサーを用いた。治具をダンベルカッター用の打ち抜き機に取り付け、ゆっくりと試料を切断して薄片試料を採取した。

4 結果と考察

図2に弾性接着剤に包埋せずに直接切り出したゴム薄片の光学顕微鏡写真を示す。図中の点線は切断前のゴムシートの表面の位置である。切断方向は図の上から下に向けてである。

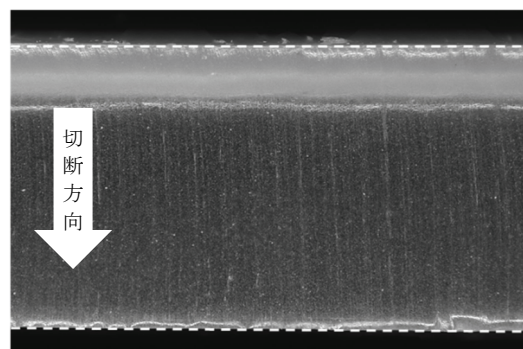


図2 弾性接着剤に包埋せずに切り出したゴム切片の光学顕微鏡像(ゴムシートの厚さは約1 mm)

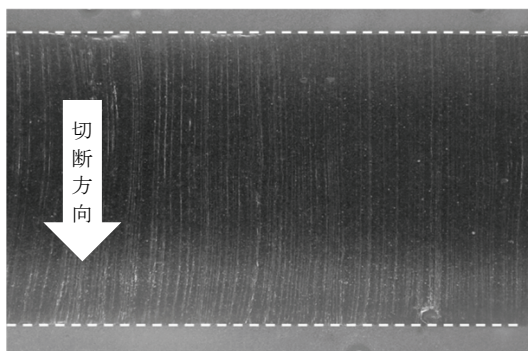


図3 弾性接着剤に包埋して切り出したゴム切片の光学顕微鏡像（ゴムシートの厚さは約1 mm）

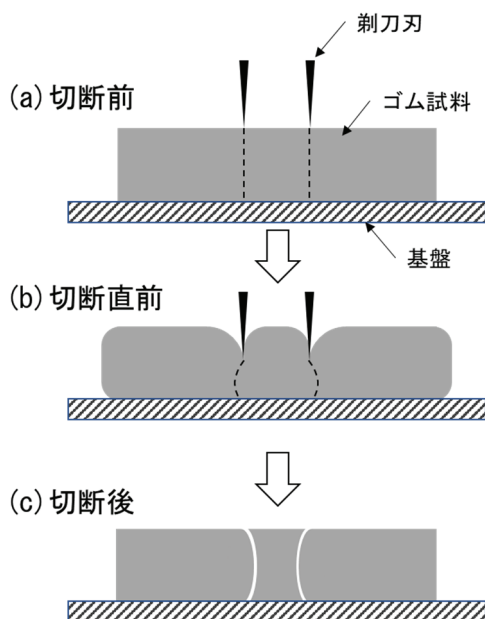


図4 ゴムから直接薄片を採取する場合のイメージ図。点線は想定した切断位置。

写真の断面の下側の4/5ほどにはナイフマークが見られるが、上から1/5ほどの白く見えている部分にはナイフマークが確認できない。最後に切断された部分（下側点線付近）は切断面の乱れが多く、破れも見られた。肉眼の観察では、上側部分が下側部分より厚く、中央部分が最も薄いと見受けられた。薄片を写真の上下で切り分けてマイクロメーターで厚さを測定したところ、上側は厚さが0.15～0.17mm、下側は厚さが0.05～0.07mmであった。

図3に弾性接着剤に包埋して切り出したゴム薄片の光学顕微鏡写真を示す。図2と同様に、図中の点線はゴムシートの表面の位置を表し、切断方向は図の上から下である。図2の切断面と異なり、全体にナイフマークが見られ、破れも見られなかった。写真の上下で切り分けて計測した薄片の厚さはいずれも厚さは0.06～0.09mmであり、包埋せずに切断した薄片のような顕著な偏りは見られなかった。

包埋せずに薄片を採取した場合のイメージ図を図4に示す。図4(a)中の点線は想定する切断ラインであるが、ゴム試料が柔らかいため、

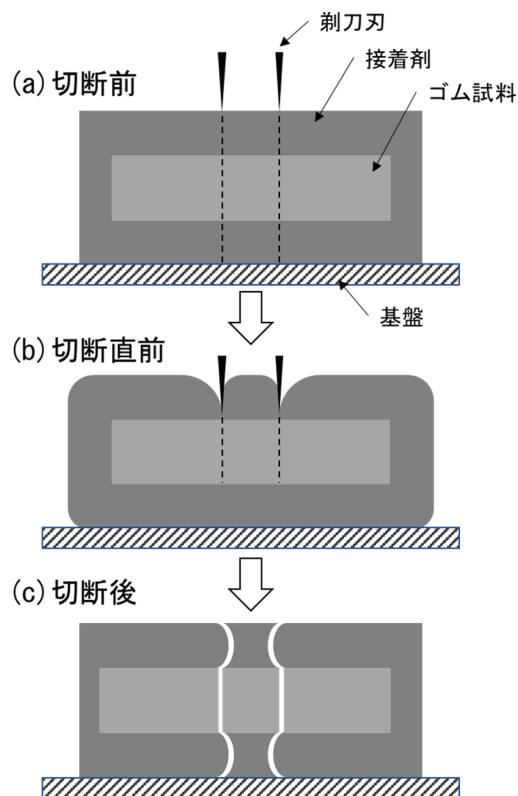


図5 包埋して薄片を採取する場合のイメージ図。点線は想定した切断位置。

剃刀刃が切り込む前にゴムが変形する（図4(b)）。ゴムは非圧縮性であるので剃刀刃によって押されて凹んだ分、横方向に伸びる。ただし、基盤に接した部分は摩擦によって変形が少ないと考えられる。変形によって剃刀刃の直下から当初想定した切断ラインがずれ、切断面が湾曲すると考えられる。一方、弾性接着剤で包埋した場合、主に接着剤層が剃刀刃に押されて変形し、ゴム試料の変形が小さくなるため、想定に近いラインで切断できたと考えられる（図5）。

5 まとめ

ゴム材料から簡便に薄片状試験片を作製するために、ゴム材料を弾性接着剤に包埋して剃刀で切断する手法を検討した。クライオミクロトームによる薄片作製法と比較すると、液体窒素による試料の冷却が不要で手間が小さい、比較的大きな試験片を作製することができる、弾性接着剤によるサポートで試料の丸まりも起こらない、などの優位性が認められた。今後、接着剤とゴムの柔らかさのバランスや界面接着の効果を検討し、さらに精度を高めて、劣化したゴム試料の表面から深さ方向の分光分析、原子間力顕微鏡による伸長下でのナノ触診、走査型電子顕微鏡による元素分布マッピングなどに応用していく予定である。

解析的手法による Lorentz 型 FID の Gauss 展開

Gaussian expansion of Lorentz-type FID by analytical method

岩路 仁・村上浩二*

Hitoshi IWABUKI, Koji MURAKAMI

キーワード ガウス展開 / ローレンツ型 / 横緩和 / 解析的 / T_2 分布
KEY WORDS Gaussian expansion / Lorentz-type / transverse relaxation / Analytical / T_2 distribution

1 はじめに

Gauss 展開は ^1H パルス法 NMR 測定あるいは時間領域 NMR 測定 (TD-NMR) によって得られる横緩和の減衰曲線 (Free induction decay: FID) をスピン-スピン緩和時間 (T_2) の分布 (緩和スペクトル) に変換する手法である¹⁾。得られた T_2 分布は分子運動性の分布を表し、ゴムの架橋密度²⁾や応力状態³⁾の分布に対応する。

FID は一般に Weibull 型 FID の重ね合わせとして解析され、観測時間 t と磁化の横成分 $M(t)$ の関数として式(1)で表される。

$$M(t) = \sum_{i=1}^m F_i \exp \left\{ - \left(\frac{t}{T_{2i}} \right)^{W_i} \right\} \quad (1)$$

F_i , T_{2i} および W_i は成分 i の存在比、 T_2 および Weibull 定数 ($1 \leq W_i \leq 2$) である。単成分の FID で $W_i=1$ の場合を Lorentz 型 FID と呼び、 $W_i=2$ の場合を Gauss 型 FID と呼ぶ。一方、Gauss 展開は $M(t)$ を式(2)で定義する。

$$M(t) = \sum_{j=1}^n {}^G F_j \exp \left\{ - \left(\frac{t}{T_{2j}} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

式(1)による解析 (Weibull 解析) では成分数 m を 1 ~ 4 程度としてカーブフィットで F_i , T_{2i} および W_i を求める。それに対して、Gauss 展開では T_{2j} を初期値として与え、Weibull 定数を 2 に固定して成分 j の存在比 ${}^G F_j$ を求める。その際に成分数 n を多くすることで (100~200)、連続的な T_2 分布となる。

2 課題

著者らは、Gauss 展開を行うためのアルゴリズムを独自に開発し、ゴムの構造解析に応用してその有用性を示してきた¹⁻³⁾。最近では正則化パラメータを組み込む改良を加えて解の安定化を図った Gauss 展開ソフトウェア RelaTE (山本金属製作所製) が市販され、TD-NMR を運用しているユーザーへの提供も始まったが、ほとんどのユーザーが Weibull 解析に留まっているのが現状である。

式(1)で $m=1$, $F_i=1$ とした単成分のモデル FID の T_2 分布を Gauss 展開で求め、得られた ${}^G F_j$ を T_{2i} と

W_i の関数として定式化する試みは、Gauss 展開を簡便に利用し、活用を拡げるための方策の一つである⁴⁾。定式化のメリットの第一は、Gauss 展開のアルゴリズムを使用せずに Weibull 解析の結果から T_2 分布を得ることができることである。第二は Gauss 展開の計算結果を検証できることである。ノイズを含んだ実測 $M(t)$ を Gauss 展開する際に必要な正則化は、数値解の安定と引き換えに分布形状を歪ませ、誤差を増大させる。Weibull 解析はノイズの影響が小さく正則化を必要としないので、その結果から近似した分布と比較することで、分布形状や正則化パラメータの妥当性を評価できる。

これまでに行ってきた定式化に関する検討⁴⁾から、式(2)で T_{2j} を対数で等間隔になるように設定する条件で、Lorentz 型のモデル FID の T_2 分布の近似解として次式が得られている。

$${}^G F_j = g \frac{T_{2j}}{T_{2i}} \exp \left\{ - \left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

g は $\sum {}^G F_j = 1$ とするための係数であり、 n によって変わる。近似解から再構成した FID とモデル FID はほぼ完全に一致する。 $W_i > 1$ の場合、式(3)をアレレンジし、べき関数 $(T_{2j}/T_{2i})^4$ と指数関数 $\exp \{ - (T_{2j}/BT_{2i})^C \}$ の積 (A , B , C は定数) で T_2 分布を近似できるが、 W_i が大きくなると精度は低下する。

本検討の課題は、 $W_i=1$ の Lorentz 型モデル FID を解析的に Gauss 展開することである。それによって、式(3)は定式として揺るぎないものとなり、加えて、 $1 < W_i < 2$ の Weibull 型モデル FID の Gauss 展開の近似の精度向上や解析解の導出、さらにはスピン-スピン緩和という物理現象の理解に繋がることが期待される。

3 解析

Gauss 関数 $\exp(-\xi t^2)$ の重ね合わせで Lorentz 型 $\exp(-at)$ を作ることを式で表すと、

$$\exp(-at) = \int_0^{+\infty} d\xi C(\xi) \exp(-t^2 \xi) \quad (4)$$

*(株)山本金属製作所

ここで、

$$t^2 = s \quad (5)$$

とすると、

$$\exp(-a\sqrt{s}) = \int_0^{+\infty} d\xi C(\xi) \exp(-s\xi) \quad (6)$$

これは、 ξ の関数である $C(\xi)$ から s の関数である左辺への Laplace 変換を表す。Laplace 変換表より⁵⁾、

$$\frac{a}{2\sqrt{\pi}\xi^{1.5}} \exp\left(-\frac{a^2}{4\xi}\right) \rightarrow \exp(-a\sqrt{s}) \quad (7)$$

(6)、(7)より

$$C(\xi) = \frac{a}{2\sqrt{\pi}\xi^{1.5}} \exp\left(-\frac{a^2}{4\xi}\right) \quad (8)$$

ここで、

$$a = T_{2i}^{-1} \quad (9)$$

$$\xi = T_{2j}^{-2} \quad (10)$$

とすれば、

$$\begin{aligned} C(\xi) &= \frac{T_{2i}^{-1}}{2\sqrt{\pi}(T_{2j}^{-2})^{1.5}} \exp\left\{-\frac{1}{4} \frac{(T_{2i}^{-1})^2}{T_{2j}^{-2}}\right\} \\ &= \frac{T_{2j}^3}{2\sqrt{\pi}T_{2i}} \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (11)$$

さらに、 ξ を T_{2j} で微分して、

$$\begin{aligned} \frac{d\xi}{dT_{2j}} &= -2T_{2j}^{-3} \\ d\xi &= -2T_{2j}^{-3} dT_{2j} \end{aligned} \quad (12)$$

式(9)～(12)より、式(6)は、

$$\begin{aligned} \exp\left(-\frac{t}{T_{2i}}\right) &= \int_0^{+\infty} dT_{2j} \frac{-2T_{2j}^{-3}T_{2j}^3}{2\sqrt{\pi}T_{2i}} \\ &\quad \times \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \exp\left(-\frac{t^2}{T_{2j}^2}\right) \\ &= \int_0^{+\infty} dT_{2j} \frac{1}{\sqrt{\pi}T_{2i}} \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \\ &\quad \times \exp\left\{-\left(\frac{t}{T_{2j}}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (13)$$

式(13)の右辺を離散化し、 Σ に変換すると、

$$\begin{aligned} \exp\left(-\frac{t}{T_{2i}}\right) &= \sum_j \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Delta T_{2j}}{T_{2i}} \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \\ &\quad \times \exp\left\{-\left(\frac{t}{T_{2j}}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (14)$$

ここで、

$$\Delta T_{2j} \propto T_{2j}$$

$$\Delta T_{2j} = kT_{2j} \quad (15)$$

とすれば (k は定数)、

$$\begin{aligned} \exp\left(-\frac{t}{T_{2i}}\right) &= \sum_j \frac{k}{\sqrt{\pi}} \frac{T_{2j}}{T_{2i}} \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \\ &\quad \times \exp\left\{-\left(\frac{t}{T_{2j}}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (16)$$

式(2)の定義式との比較から、

$${}^gF_j = \frac{k}{\sqrt{\pi}} \frac{T_{2j}}{T_{2i}} \exp\left\{-\left(\frac{T_{2j}}{2T_{2i}}\right)^2\right\} \quad (17)$$

式(17)は近似によって得られた式(3)と一致する ($g = k/\pi^{0.5}$)。式(15)における ΔT_{2j} が T_{2j} に比例するという前提は、式(3)が得られた条件である $\log T_{2j}$ を等間隔にするという設定に矛盾しない。

4 まとめ

Lorentz 型 FID を Gauss 型 FID の重ね合わせとして解析的に解き、解析解が Gauss 展開アルゴリズムで得られた数値解の近似式と一致することを証明した。開発した Gauss 展開アルゴリズムの正確性ととも、Gauss 展開というアプローチの妥当性が示された。この成果を足がかりにして、今後は Weibull 型のモデル FID を Gauss 展開した T_2 分布の近似を高精度化するとともに、解析解の導出を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 岩路ほか. スピンスピン緩和のガウス展開による天然ゴムの素練りの解析, 日本接着学会誌, 2010, 46(9), p326-331.
- 2) 岩路ほか. スピンスピン緩和スペクトルによる架橋天然ゴムの解析, 日本接着学会誌, 2012, 48(4), p121-126.
- 3) 岩路ほか, 加硫ブタジエンゴムの伸長下における分子運動の不均一性, 日本ゴム協会 2022 年年度大会講演要旨, 2022, p.52.
- 4) 岩路ほか, ワイブル型 FID のガウス展開で得られる T_2 分布の定式化, 第 34 回エラストマー討論会講演要旨, 2023, p127-128.
- 5) <https://math.stackexchange.com/questions/2939791/finding-inverse-laplace-transform>, Table 2.1

LANケーブルコネクタ部の引張強度の検討

Evaluation of tensile strength of plug connection in LAN cable

渡辺 哲史・若尾 和正*・林 洋之*

Tetsushi WATANABE, Kazmasa WAKAO* and Hiroyuki HAYASHI*

キーワード 引張強度／イーサネット／RJ45モジュラプラグ／はんだ付け
KEY WORDS Tensile Strength／Ethernet／RJ45 Modular Plug／Soldering

1 はじめに

近年、IOTの広がり等により、LANケーブルは事務室内のみでなく、工場その他幅広い場面で利用されている。また、取り回しの良さから芯線の細いケーブルが多用される傾向にある。しかし、芯線の細いケーブルは機械強度が弱く、信頼性に課題があると考えられる。特に、ケーブルの両端に用いられているRJ45モジュラプラグとの接続部分が最も脆弱な部分であると考えられる。

そこで、サンワサプライに於いては、独自のRJ45プラグを開発した。従来のプラグは電線をカシメ(圧着)で固定するが、新開発のプラグでは電線をはんだ付けにより接続する。これにより、接続の強度が高くなると考えられる。

今回は引張試験により、このプラグを使用したケーブルの引張強度を測定した。コネクタの機械的強度に関する試験法はJIS¹⁾に規定があるが、この規定では、破断を目視で確認することを想定している。しかし、市販のLANコネクタ部は樹脂モールドされており目視確認できない。そこで、電氣的接続を確認しながら試験を行うこととした。

2 断線検出回路

一般的に、引張試験において破断は試料の変形を目視によって確認するが、LANケーブルにおいては内部の導線が切断することを確認することが必要である。このため、試験を行っている間通電を行い、8本の芯線の各々が導通しているか確認することとした。この検出回路として図1の回路を構成した。この回路では被測定部Xの抵抗値Rの増加に応じて図2に示すように検出電圧 V_X 、LED電流 I_{LED} が増加する。概ね $R > 100\Omega$ において $V_X > 1V$ となり、LEDの点灯が視認できる。今回の試験においては $V_X > 1V$ で断線と判定した。

この検出回路を8組組み込んだ基板を作成した

(図3)。この基板を用いることによってLEDの点灯状況によって断線状態を即座に判断でき、データロガー(横河電機 DL-800)により、8chの電圧を記録することによって断線の状態を記録した。

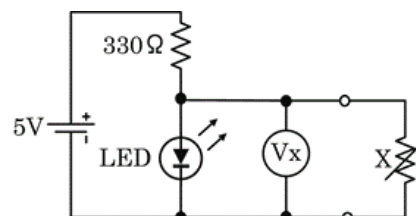


図1 断線検出回路 回路図

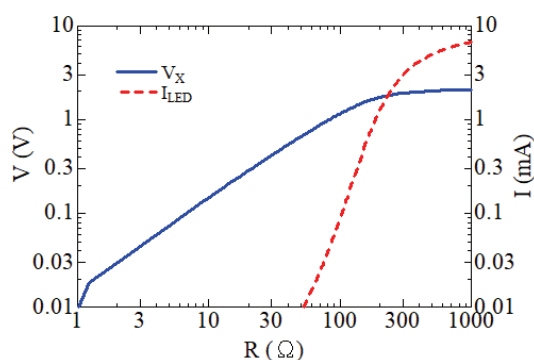


図2 断線検出回路応答

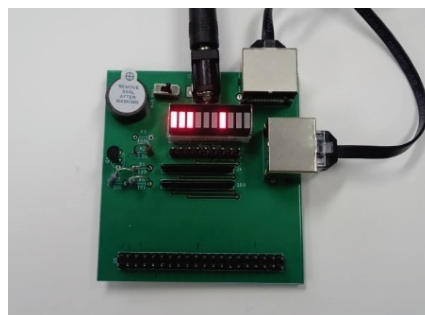


図3 断線検出基板

* サンワサプライ(株)

3 試験方法

今回の引張試験にはエー・アンド・デイ社製 RTC-1325A TENSILONを使用した。試験配置としては図4に示すようにLANケーブルを固定した。ケーブル部の固定ジグとして、上側は糸つかみ具を用いて、挟み込み部の端部に応力が集中しないようにした。コネクタ部の固定には、図5に示す固定ジグを作製し、プラグの側面を左右各2本のネジで押さえて固定し、抜け止めの爪に荷重がかからないようにした。



図4 引張試験配置

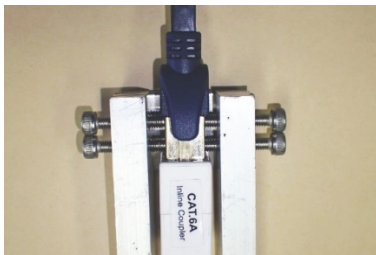


図5 コネクタ部固定ジグ

4 試験結果

今回の試験対象では、芯線AWG28撚り線のフラットケーブルを使用したLANケーブルを使用した。両端のプラグに従来型のカシメタイプとはんだ付けタイプのものを用意した。試験条件は、ジグの間隔を約250mmとし、引き伸ばし速度を15mm/sとした。

最初にケーブル部分の強度を確認するため、両端とも糸つかみ具を用いて、ケーブルの中央部付近での強度を測定した。その結果を図6に示す。図中、太線が荷重を表し、細線が断線した線数を表す。80mm程度の伸びに達した際に約240Nの荷重で断線が始まったことがわかる。

次に、試験対象の2種類のプラグを使用したケーブルに対する測定結果を図7に示す。カシメプラグでは、伸びが5mm程度で荷重150N程度から断線が始まっていることがわかる。その後も引き伸ばし続けると、プラグのモールド部分からケーブル

が引き抜かれ、プラグ内の接続部で切断されていることが確認された。

はんだ付けプラグでは70mm程度の伸びで240N程度の荷重に達したところで断線が始まっている。この荷重はケーブル部分が断線する荷重と同じ値であり、試験後確認したところ、プラグ接続部では断線しておらず、ケーブルの中間部で断線していた。従って、はんだ付けプラグの接続強度は240Nを超えると考えられる。

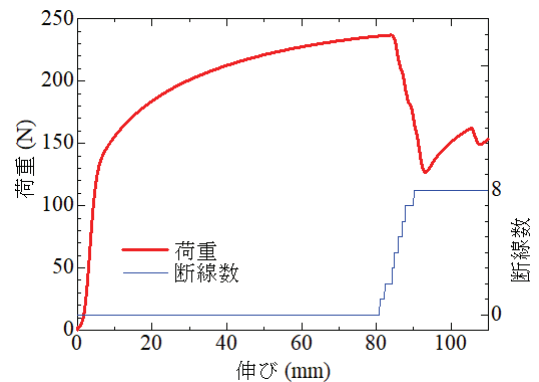


図6 ケーブル部 強度試験結果

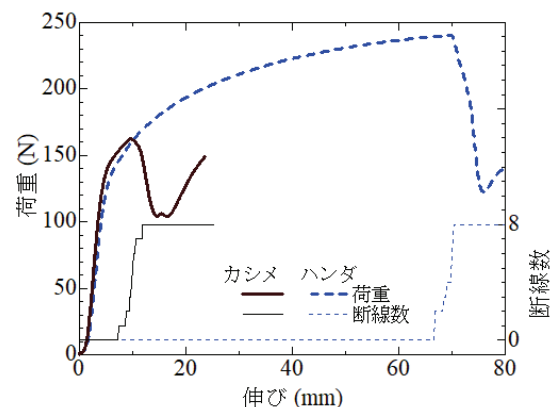


図7 コネクタ部 強度試験結果

5 結論

LANケーブルのコネクタ接続部について引張強度を測定した結果、従来型のカシメプラグの接続強度は150N程度であり、はんだ付けプラグの接続強度は240Nを超えることが確認された。従って、はんだ付けプラグはカシメプラグより大きな引張強度に耐え、細線ケーブルの引張強度以上であるため、細線ケーブルに対しては十分な強度を持っていることが確認できた。

参考文献

- 1) JIS C 5402-16-4 電子機器用コネクタ -試験および測定- 第16-4部：コンタクト及びターミネーションの機械的試験- 試験16d：引張強度（圧着接続）

銅張ポリプロピレン薄板の高周波基板への適用検討

Application of copper-clad polypropylene sheet to high-frequency circuit boards

常定 健・渡辺 哲史

Takeshi TSUNESADA, Tetsushi WATANABE

キーワード 熱溶着 / 誘電損失 / 導体損失 / 表皮効果

KEY WORDS Heat Welding / Dielectric Loss / Conductor Loss / Epidermal Effect

1 はじめに

5G、6Gなどの高周波用のプリント回路基板では、周波数の増加に伴う伝搬損失の増加が問題となっている。この伝搬損失は大きく分けて2つの要因があり、一つは基板の絶縁材料の誘電特性に起因する損失(誘電損失)、もう一つは表皮効果により導体の見かけ上の抵抗が増大することによる損失(導体損失)である。この導体損失は銅箔表面の凹凸によって増加する。導体損失を低減させるには、表面の凹凸(粗度)を減らして平滑化することが有効であるが、基板材料は銅箔との接着性が良くないため、アンカー効果による接着力が重要になっている。このことから、銅箔の粗度を減らすと、基板材料と銅箔の接着力が低下するという問題がある¹⁾。また、誘電損失を低減させるためには、従来品とは異なる素材を用いる必要がある。汎用基板材料であるFR-4は、ガラス繊維の布にエポキシ樹脂をしみ込ませて熱硬化させた素材であるが、高周波向けとしては誘電損失が大きいため、誘電損失の少ない基板の開発が進んでいる²⁾。しかしながら、銅箔との接着に関して、アンカー効果を全く必要としない基板材料は見いだされていない。

このような現状のなか、我々は基板材料として、ポリプロピレン(PP)に注目した。PPは熱可塑性(結晶性)の安価な汎用樹脂で、基板としての耐熱性にはやや難があるものの、FR-4より誘電特性に優れており、高周波用プリント基板としての可能性を秘めている。しかしながら、他の低誘電樹脂と同様、PPと他材料との接着性が悪いことが難点になっている³⁾。

そこで本研究では、PPと銅箔の間に、PPにも銅箔にも親和性のある素材を挿入することで接着性の改善を行い、熱溶着による評価ボードの作製を試みた。本接着法では、アンカー効果を必要としないため、平滑な銅箔に対しても接着力を維持できると期待される。さらに、試作した基板に対する高周波の伝送損失を測定した。

2 実験

2.1 電解銅箔の表面粗さ測定法

表面粗さの測定には、(株)小坂研究所の微細形状測定機ET4000Aを用いた。本装置は接触式表面粗さ計であり、触針にはダイヤモンド(先端 $R=2\text{ }\mu\text{m}$)を使用した。カットオフ値(λ_c)を0.008、0.08、0.8 mmに設定し、アズワン(株)で購入した電解銅箔(厚さ 0.035 mm)のシャイニー面(光沢面)とマット面(光沢がない面)の1 mm(評価長さ)を、移動速度0.01 mm/sで測定し、結果を R_a (算術平均粗さ)、 R_q (二乗平均平方根粗さ)、 R_z (最大高さ粗さ)で示した。

2.2 評価基板の作製法

作製基板のPP、ガラス繊維には、(株)ユポ・コーポレーションのアルファユポQJJ 合成紙(厚さ 0.35 mm)、アドバンテック東洋(株)のガラス繊維濾紙GA-55(厚さ 0.21 mm、バインダーなし)をそれぞれ用いた。PP合成紙の上下にガラス繊維を密着させたものを、ユニチカ(株)の変性PP樹脂水性分散液 アローベースDA-1010(固形分濃度 25 wt%)に2時間含浸させた。過剰な水分を除去した後、60°C2時間乾燥した試料の上下に、表面粗さ測定済の電解銅箔を置いて、設定温度を「低」(約120°C)にした家庭用アイロンにて、これらを熱溶着させた。溶着後、80°Cで3分間置いておいたものに10 MPa(75 kN)で3秒間加圧して銅張PP薄板にした。

試料上面に幅2 mmの短冊状の電解銅箔、下面に試料全面を覆う電解銅箔を熱溶着したものを、伝搬損失用評価基板(約30×300 mm)として作製した。

2.3 伝搬損失の測定法

伝搬損失の測定にはKeysight Technologies 社製ネットワークアナライザ P5024Aを用いた。基板と接続するジグとしてヨコワDS製 GK-HL18を使用した。このジグは50 Ω のマイクロストリップ線路に接続するように設計されている。

試料となるプリント基板の誘電率を測定するため、両面に全面銅箔を貼り付けた基板を作製し、その共振周波数から基材の比誘電率 ϵ_r が約3.0であることを算出した。文献⁴⁾より、50 Ω のマイクロストリップ線路とするため、この ϵ_r と基板厚さ(0.8 mmと仮定)の場合、線路幅 $w=2.0$ mmと決定した。

伝搬損失の測定にはポート間の伝搬特性 S_{21} を測定し、タイムゲート処理を行うことによって、多重反射の影響を除去した。

3 結果と考察

3.1 電解銅箔の表面粗さ

表1 電解銅箔(長さ方向)の表面粗さ

	λ_c (mm)	表面粗さ結果		
		Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
シャイニー面	0.008	0.058	0.077	0.665
	0.08	0.160	0.203	1.268
	0.8	0.201	0.252	1.242
マット面	0.008	0.421	0.498	2.355
	0.08	1.220	1.509	8.390
	0.8	1.640	2.017	8.660

表1に電解銅箔(長さ方向)の表面粗さ結果を示す。その結果、 λ_c の値に関わらず、すべての指標で、シャイニー面のほうがマット面よりも、平滑であることが分かった。一般に、断面曲線は波長により粗さ曲線とうねり曲線に分けられ、 λ_c 超の波長成分はうねりとして、粗さの結果から除外される。本結果から、シャイニー面は、ミクロンオーダーにおいて、マット面よりも凹凸が少ないと言える。なお、本報

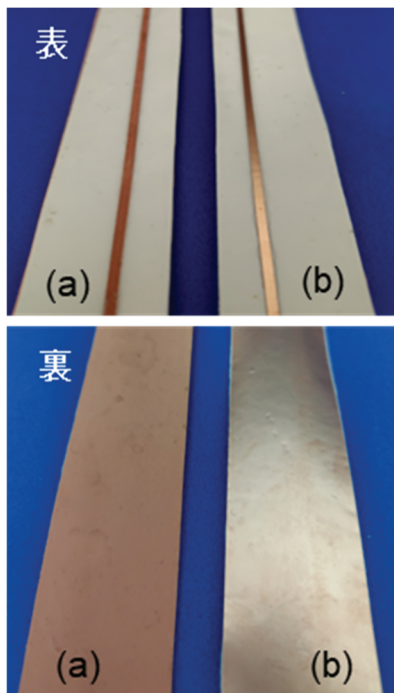


図1 PP試作プリント基板

では結果を示さないが、電解銅箔の幅方向でも類似の結果となった。電解銅箔の両面でこのような違いが出るのは、製造工程においてドラムに接する面が片面(ドラムに接する面がシャイニー面、その反対側がマット面)であることによるものと考えられる。

3.2 伝搬損失測定用の試作基板

作製した2つ基板(a)、(b)の表面と裏面を図1に示す。(a)はシャイニー面が樹脂面に接したもの(銅箔平滑面試料)、(b)はマット面が樹脂面に接したもの(銅箔粗面試料)で、どちらの試料も、両面ともに、長さ方向に「電解銅箔の長さ方向」を向けている。なお、一般的な基板で樹脂側に使用されるのは、粗化处理をしたマット面である。目視観察の結果、2つの基板は、銅張り部のすべてにおいて、樹脂との完全な密着性を有していた。

銅張り部の厚さを測定したところ、両試料とも、厚さは0.80 mmであった。使用した素材の厚さから計算上の試料厚は0.84 mmであった。この結果から、試料は熱プレス時に大きな変形をすることなく、やや圧縮された状態で成形されたと考えられる。

PPと銅箔が接着できた理由は、PPと銅箔の間に存在する変性PP樹脂に起因していると推察される。変性PP樹脂の大部分はPPであるため、基板のPPと変性PP樹脂は、PP同士の熱溶着により、接着していると考えられる。また、変性PP樹脂には僅かであるが極性基から成る変性部が存在しており、極性基が銅箔面に接することで、銅箔と変性PP樹脂が接着していると考えられる。なお、塗布時において変性PP樹脂は水に分散しているが、加熱によって変性部に化学変化が起きることで、水に不溶となる。このため、接着後の変性PP樹脂は耐水性に優れている⁵⁾。

3.3 評価ボードの伝送損失測定

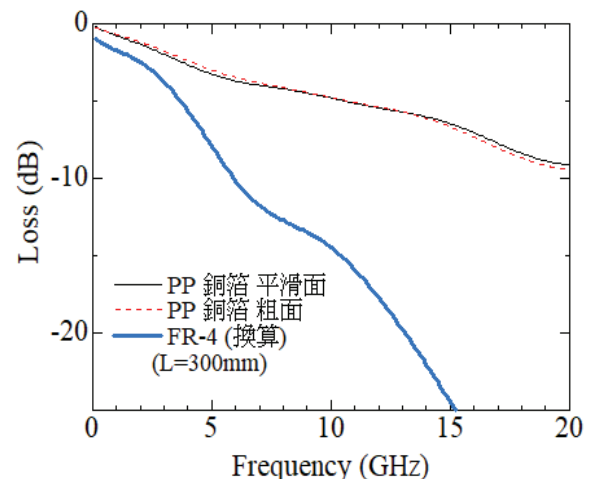


図2 伝搬損失の測定結果

試料となるプリント基板の伝搬損失測定値を図2に示す。比較対象として、一般的な用途に使われるFR-4材のプリント基板の伝搬損失も示す。なお、FR-4材のプリント基板は長さ100 mmであったため、被検試料と同じ300 mm長に換算して表示している。

図2より、FR-4製の基板はPP使用の試作基板の約3倍の損失であることが分かる。これは、FR-4の基材であるガラスエポキシの誘電損失がPPの誘電損失より大きなことに起因している。一方、銅箔の粗面を貼り付けた基板と平滑面を貼り付けた基板では0.3dB以下の差しか見られず、有意の差が確認できなかった。この原因を究明したところ、図1の試料形状では、導体損失の影響が非常に小さいことが確認された。

完全に平坦な銅箔の場合の導体損失の損失係数 α_c の理論値は次式で近似される⁶⁾。

$$\alpha_c = \frac{1}{Z_0 W} \sqrt{\frac{\pi \mu_0 f}{\sigma}} \quad [\text{Np/m}] \quad [1]$$

ここで、 Z_0 は線路の特性インピーダンス、 W は線路幅、 μ_0 は真空の透磁率、 f は周波数、 σ は導電率を表す。式より明らかなように、損失係数は W に反比例する。マイクロ波帯のプリント基板では、一般的に基板厚 $d=0.1$ mm程度、線路幅 $W=0.2$ mm程度の配線が使用される。今回は試作の容易さを考えて $W=2.0$ mmとしているため、実際に使用される状況の10倍の幅である。よって、実際の使用状況の1/10程度の導体損失であった。[1]式を用いて今回の基板の理想的な導体損失を計算すると10 GHzにおいて0.3 dB程度と算出される。したがって、仮に、シャイニー面とマット面で表面粗さに起因する導体損失の差異があったとしても、本試作基板では、その差異を確認することはできない。

これらの結果から、今回使用した銅箔の粗度の影響を確認するためには W を小さくして測定することが必要であることが分かった。

4 まとめ

本研究では、難接着性であるPPに銅箔を熱溶着させることにより、高周波特性の優れたプリント基板を構成することができた。一般的なプリント基板においては銅箔のアンカー効果によって表面粗さが大きな銅箔でないと樹脂材料と接合することができないが、今回の製法では、通常のプリント基板では接合困難な $R_z=1.2$ μm 程度の銅箔を貼り付けることができた。また、高周波の伝搬特性はPPを基材とすることにより、FR-4材より少ない伝搬損失が確認された。

PPと銅箔の密着性については、90度剥離試験（ピール強度の測定）を行う予定にしている。今回の試

作基板では銅箔粗度の違いによる伝搬特性の差は確認できなかったが、今後、線路幅の小さな基板を作製してこの差を確認することを目指す。

参考文献

- 1) 材料・環境技術委員会・サステナブル高機能材料研究会. 情報通信システムにおける高周波低損失プリント配線板材料の技術動向, エレクトロニクス実装学会誌, 2023, 26(1), p.4-7.
- 2) 河合 晃監修. 高周波対応基板材料の開発動向と応用展開, シーエムシー出版, 2021.
- 3) 益子朱音, 男澤 嶺, 大森和宏. ポリプロピレン樹脂の結晶化度制御による接着性向上. 栃木県産業技術センター研究報告, 2023, 20, p.71-74.
- 4) 小西良弘. マイクロ波回路の基礎とその応用, 総合電子出版社, 1990, p.53-57.
- 5) ユニチカニュースリリース. 機能性樹脂の新規水性分散体「アローベース D シリーズ」の開発と今後の展開について, ユニチカ(株), 2014.
- 6) David M. Pozar. マイクロ波工学(第4版), 森北出版, 2021, p.190-192.

機械学習を用いた子牛の高精度な体重推定

Highly accurate weight estimation of calves using machine learning

岩田 和大・堀川 寛通*

Kazuhiro IWATA, Hiromichi HORIKAWA

キーワード 畜産 / 深度カメラ / 機械学習 / 深層学習

KEY WORDS Livestock / Depth Camera / Machine learning / Deep learning

1 はじめに

子牛の体重の変化は健康状態や疾病の早期警告サインとしても機能するため、定期的な体重測定は重要である。また、子牛の市場価格は、その体重が重要な決定因子であるため、日々の発育調査と飼養管理が必要である。しかしながら、多くの繁殖農家は、精度が低い体重推定尺しか使用しておらず、測定自体も子牛の捕獲と保定が必要となるため、作業者の危険を伴う。このような問題に対処するため、工業技術センターでは非接触牛体測定システムの開発に取り組んでいる。これまでの研究によって、子牛を5方向から深度カメラで撮影することで全身の形状データおよび各寸法を非接触で取得することに成功している。その結果、牛のストレスを最小限に抑えながら安全かつ効率的に体型を測定できているが、そこから高精度に体重を推定できていない。

そこで本研究では、前述したシステムを用いて取得した子牛の各種寸法に加え、日齢や雌雄のデータを入力とした教師ありの機械学習モデルを作成し、高精度な体重推定プログラムの開発を目的とする。

2 牛体測定システム

本研究では、子牛の正確な体型を非接触で測定するために、牛体測定システムを用いる¹⁾。測定環境及び牛体測定システムの外観を図1に示す。深度カメラを用いて子牛の全身を同一平面の5方向から撮影することで、腹回りと背中回りを含む深度データを取得できる。今年度はより少人数で子牛を保定するために移動式保定枠を組み合わせて測定を行った。本システムで得られた5つの深度データを図2に示す。得られた5つの深度データを、独自に作成した牛体測定用プログラムに入力することで、ノイズ除去および多方向位置合わせを行う。これにより子牛の体長計算、胸と腹の断面抽出および胸囲・腹囲計算を実施し、体重推定に必要なデータを出力できる。本プログラムによって得られた9ヶ所の測定データ（胸幅、胸深、腹幅、腹深、体長、体高、十字部高、胸囲、腹囲）に日齢と雌雄を加えた11種類のデータから体重推定を行う。

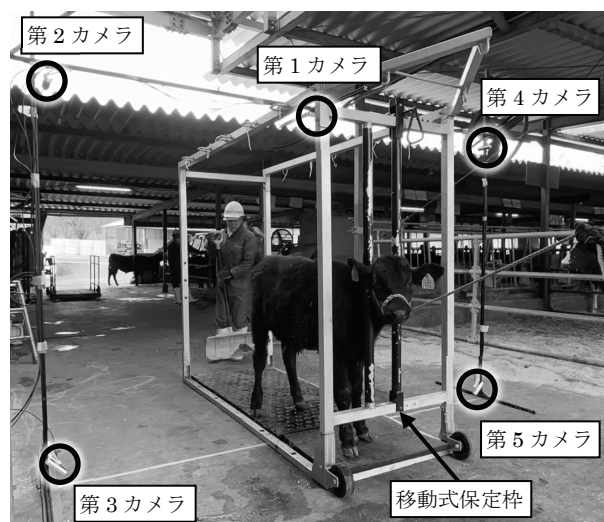


図1 測定環境および牛体測定システム

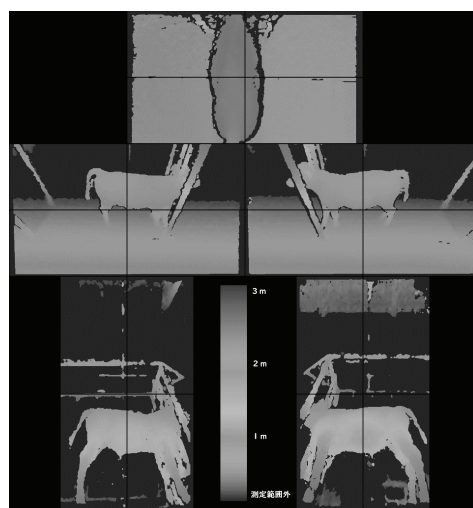


図2 牛体測定システムから得られた深度データ

3 体重推定プログラム

機械学習を用いた体重推定プログラムは線形回帰、Lasso 回帰、Ridge回帰、Elastic Net回帰、Random Forest回帰、勾配ブースティング木、サポートベクターマシン、探索Random Forestといった8つの回帰分析を同時に実行し比較するものと、深層学習による体重推定を行う2つを作成した。分析に用いるデータは前章システムで測定した子牛100頭分で、90%を学習に用い、残り10%を検証に用いる。

*岡山県農林水産総合センター

プログラムへの入力は前述した11種類とし、出力は体重とした。

8つの回帰分析を行うプログラムはハイパーパラメータを自由に調整できるように専用の初期設定GUIを作成した。また、k-分割交差検証により10回平均を行い、モデル精度評価の信頼性を担保している。プログラムのGUIと今回の分析で用いたハイパーパラメータの値を図3に示す。

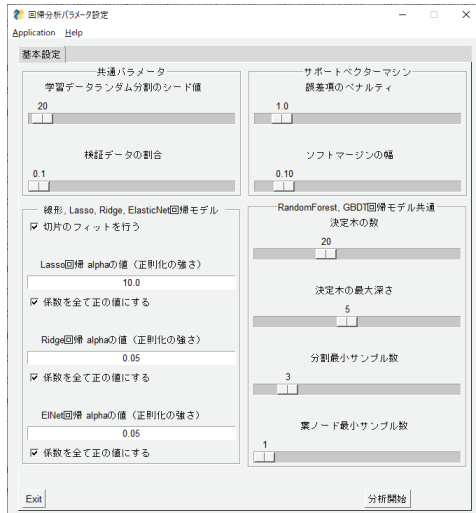


図3 回帰分析用GUIとハイパーパラメータ値

深層学習プログラムはSequentialモデルを用い、層構造は入力層が11ノード、全結合層(64ノード)、ドロップアウト(0.1)、全結合層(32ノード)、出力層(体重)で構成される。活性化関数にはReLUを用い、損失関数を絶対割合誤差(MAPE)とし、学習回数(epoch)は500epochsとしている。深層学習プログラムの各epochにおけるMAPEの推移を図4に示す。

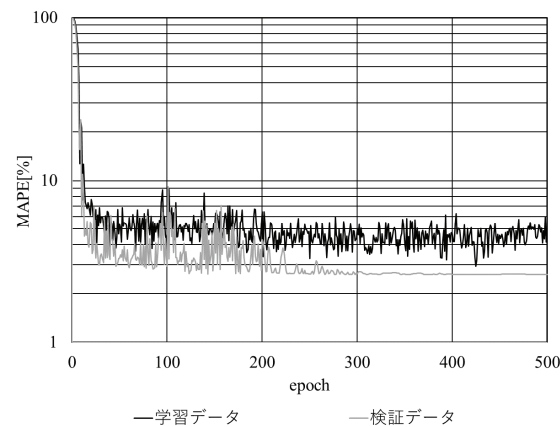


図4 深層学習の各epochにおけるMAPE

学習率は初期を0.01、200epochsから0.001、300epochsからは0.0001、400epochsからは0.00001と減少させることで、推定精度を高めている。グラフからも200,300,400epochsで検証データのMAPEのばらつきが小さくなっていることがわかる。

ランダム分割のシード値を20として各プログラムを実行し、検証データから得られた推定値と実測値との割合誤差の比較を図5に示す。

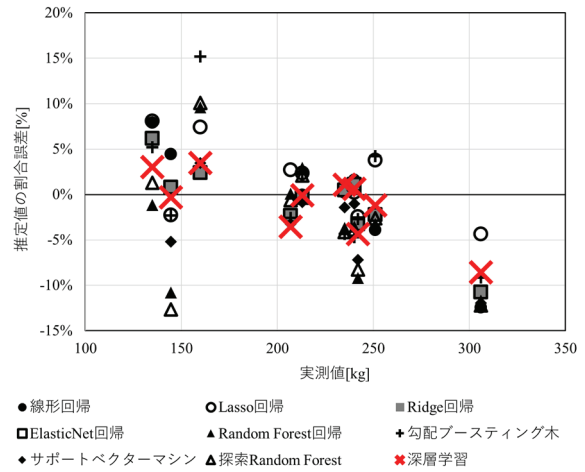


図5 推定モデルの割合誤差比較

比較結果から、どの推定手法でも検証データすべてが誤差±15%に収まり、半分以上が誤差±5%以内に収まることが分かった。また、Ridge回帰とElastic Net回帰はほぼ同じ結果となることが分かった。このことから、Elastic Net回帰式による体重推定において、L1正則化項の影響が小さいことが分かる。

次にk-分割交差検証に得られた10回平均のMAPEの比較を表1に示す。

表1 推定モデルの平均精度比較

	平均MAPE[%]
線形回帰	4.278
Lasso回帰	3.849
Ridge回帰	3.587
Elastic Net回帰	3.373
Random Forest回帰	6.588
勾配ブースティング木	7.626
サポートベクターマシン	3.909
探索Random Forest	6.394
深層学習	2.623

比較の結果、平均MAPEが最も低いのは深層学習による体重推定で約2.6%であった。また、線形回帰式に正則化項を加えた推定手法であるLasso回帰、Ridge回帰、Elastic Net回帰も低いMAPEで体重推定できることが分かった。

4 まとめ

非接触で牛体を測定した結果を学習に用いる、機械学習による体重推定プログラムを作成した。推定モデルの精度を比較した結果、深層学習による体重推定結果が最もMAPEが低くなることが分かった。今後は、ハイパーパラメータや層構造を調整し、更なる精度向上を目指す。

参考文献

- 1) 岩田 和大 ほか. 全周撮影による非接触牛体測定システムの開発. 岡山県工業技術センター報告. 2023, 49, p.1-5.

マルチマテリアルにおける接着面形状の最適化

Optimization of bonding surface geometry in multi-materials

岩田 和太・中西 亮太

Kazuhiro IWATA, Ryouta NAKANISHI

キーワード マルチマテリアル / 有限要素解析 / 形状最適化
KEY WORDS Multi material / FE analysis/ Shape optimization

1 はじめに

マルチマテリアルは、異なる種類の材料を組み合わせて作られる複合材料であり、その重要性は多岐にわたる。まず、マルチマテリアルは単一の材料では得られない性能や機能を実現することができる。例えば、軽量で強靱な繊維強化複合材料は、航空機や自動車などの輸送機器で使用され、燃費の向上や安全性の向上に貢献している。また、マルチマテリアルは耐久性や耐腐食性などの特性を組み合わせることで、さまざまな産業分野での利用価値が高まっている。さらに、マルチマテリアルは持続可能性にも貢献している。例えば、リサイクル可能な材料を組み合わせることで、製品の廃棄物や環境への負荷を低減し、循環型社会の実現に寄与できる¹⁾。また、軽量化や省資源化などの効果もあり、エネルギー効率の向上や資源の節約につながる。

これまで研究で、アルミニウム(以下Al)表面に穴をあけた状態でポリプロピレン(以下PP)と加圧溶着することで、接着強度が大きく向上することが分かっている。図1に穴あきAl板にPPを溶着したマルチマテリアルを示す。接着強度向上はPPが穴の中に入り込むことによる接着面積の増加や残留応力、熱変形によるものと考えられるため、穴は貫通・非貫通を問わない。一方で、この穴の直径や深さ、穴間隔、パターンは最適化されておらず、軽量化を目指すうえでの指針が無い。実際に製作する等の試行錯誤によって穴形状を最適化する場合は膨大なパターンが考えられ、多大なコストが必要となるため現実的ではない。

そこで本研究では、PPが上下から穴あきAlで挟み込まれ加圧溶着したマルチマテリアルを対象とし、その強度および質量を指定した場合に最適な接着面(穴)形状を、有限要素解析を用いたノンパラメトリックな形状最適化により求める。製品にマルチマテリアルを適用する箇所によっては、剛性を上昇させたい場合と軽量化を行いたい場合の2種類が考えられる。そのため本報告においては、強度をある程度犠牲にした軽量化と、質量を維持したまま剛性を最大化した時に接着面(穴)形状にどのような変化があるかを確認する。

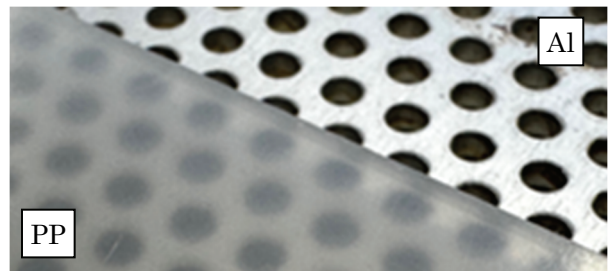


図1 穴あきAlとPPを溶着したマルチマテリアル

2 ノンパラメトリック形状最適化

Al板の接着面形状を何も制限なく最適化した場合、製作が困難な形状に収束する可能性が高い。そのため本研究においては、円形状の非貫通穴を用いることを前提条件とし、穴間隔とパターンは固定したうえで、穴径と穴深さを最適化することを目的とする。事前検討において、Al板に対してパンチングにより作成した非貫通穴の穴径や穴深さはある程度制御可能であることを確認している。

有限要素解析を用いた構造の最適化手法はいくつか存在するが、近年注目されているノンパラメトリックな構造最適化には、形状最適化とトポロジー最適化の2種類が存在する²⁾。トポロジー最適化は有限要素メッシュの要不要を判断する手法であるため、穴の数やパターンを最適化する場合に適している。本研究において最適化したいのは穴径と穴深さなので、有限要素メッシュの節点移動を行う形状最適化を用いる。

対象が大きい場合最適化に必要な時間が長くなるため、本研究では2×2の穴パターンが1つ入る大きさの板形状を対象とすることで、大きな板にも拡張可能とした。具体的には、厚さ1mmのPP板を厚さ3mmのAl板で挟み込んだ合計厚み7mm、幅24mm、奥行き24mmの板とした。初期状態ではAl板に直径6mm、深さ1mmの穴2×2が12mm間隔で開いており、穴にはPPが充填している。このモデル全体の質量は9.76gであった。穴のみを節点移動対象とし、モデル全体の曲げ剛性を極力下げないように軽量化をする制御を行った。形状最適化に用いた有限要素モデルの外観を図2に、水平視点から見た

荷重位置と拘束位置を図3に示す。有限要素モデル作成にはMSC softwareのmentatを使用し、形状最適化には株式会社くいんとのOPTISHAPE-TSを用いた。要素はすべて五面体であるpenta6を用い、14336個の要素で有限要素モデルを構成した。

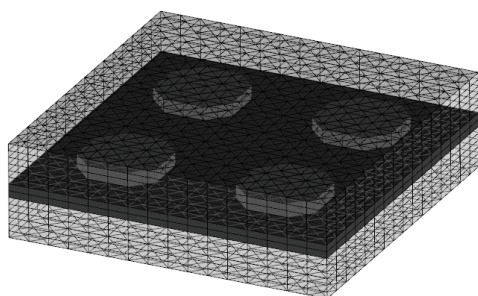


図2 有限要素モデルの外観

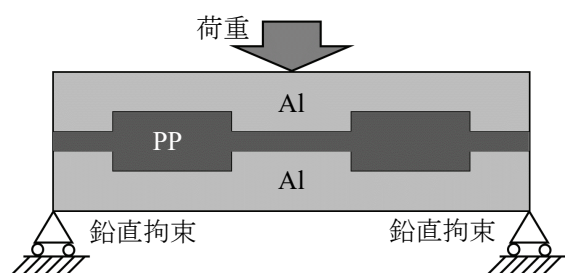


図3 荷重位置と拘束位置

対称を加味した形状拘束を行わない場合、穴の中心位置が変わってしまうため、本最適化においてはモデル中心を軸とした90度周期の回転対称保

持形状拘束を行っている。最適化の条件は、初期形状から比較して曲げ強度を0.8倍にした時に最も軽量となる形状と、質量を維持しつつ最も曲げ剛性が高くなる形状の2パターンとした。

3 結果

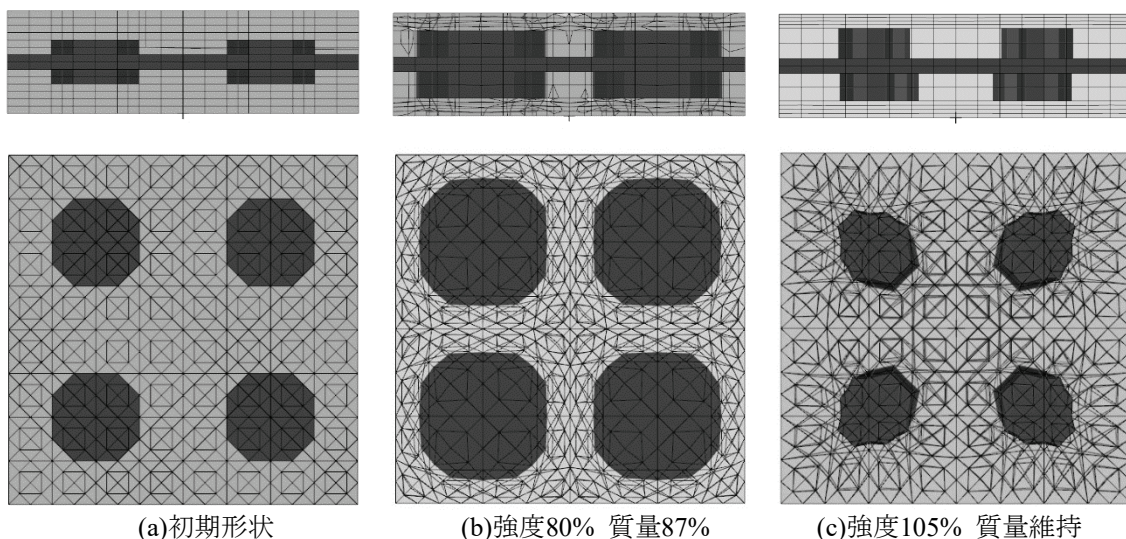
最適化の結果を図4に示す。この結果から、曲げ強度を8割に下げつつ軽量化を行った場合、穴直径8.77mm、穴深さ1.79mmに穴形状が変化し、全体質量を87%に削減できることが分かった。また、質量を維持したまま剛性を最大化した場合、穴直径約4.16mm、穴深さ2.05mmに穴形状が変化し、曲げ強度を5%向上できることが分かった。各形状における曲げ解析の結果を図5に示す。以上の結果から、目標とする質量、強度のマルチマテリアルを自由に最適化設計できることが示唆された。

4 まとめ

穴あきAl板に挟まれたPPという構成のマルチマテリアルに対して形状最適化を行ったところ軽量化や剛性最大化などの設計が可能であることを確認できた。今後はトポロジー最適化によって穴の数やパターンについても最適化を行う予定である。

参考文献

- 1) 経済産業省, SDGs 経営ガイド, 2019
- 2) 一般社団法人日本計算工学会編. 計算力学レクチャーコース トポロジー最適化. 丸善出版, 2013, 1p.

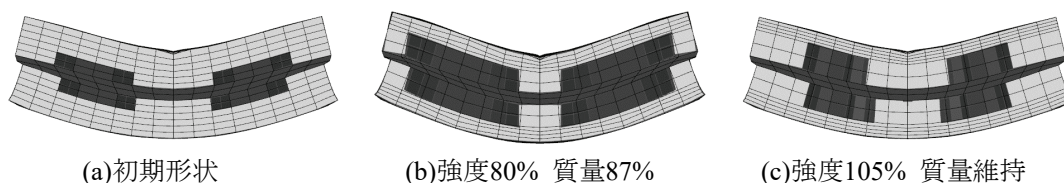


(a)初期形状

(b)強度80% 質量87%

(c)強度105% 質量維持

図4 形状最適化から得られた穴形状



(a)初期形状

(b)強度80% 質量87%

(c)強度105% 質量維持

図5 最適形状における曲げ解析の結果 (変位10000倍)

ポリプロピレンフラットヤーンの耐候性評価

A study on weatherability of polypropylene flat yarn

川野 道則・浦部 匡史・戸来 義仁*・高瀬 武馬*

Michinori KAWANO, Masashi URABE, Yoshinori HERAI, Takema TAKASE

キーワード ポリプロピレン / フラットヤーン / 耐候性

KEY WORDS Polypropylene / Flat yarn / Weatherability

1 はじめに

ポリオレフィンフラットヤーンには、軽量、低吸水性、耐薬品性、安価などの優れた特長があり、フレキシブルコンテナ、遮水シート、植生資材など、屋外で用いる産業資材としても多く使用されている。一般的に、プラスチックは、光、大気、水、水蒸気、氷、微生物等によって劣化するが、ポリオレフィンは熱や光による酸化などによる分子鎖の切断で物性が低下し易いため、用途に応じて酸化防止剤や光安定剤などが添加されている^{1,2)}。しかし、その配合はメーカーや品種によって異なり、詳細情報は開示されないことが多い。

本研究では、屋外使用データが無いフラットヤーンの耐候性を短時間で評価するため、促進耐候試験が物性に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

試料として、黒色のポリプロピレン製フラットヤーン (FY B)、白色のポリプロピレン製フラットヤーン (FY W) を用いた。あらかじめ測定した物性を表1に示す。

表 1 試 料

試料名	項 目		値
FY B	繊 度		1280 dtex
	幅		2.8 mm
	厚 さ		48 μm
	引張	強 度	4.80 N/dtex
		伸び率	27.0 %
FY W	繊 度		1080 dtex
	幅		2.8 mm
	厚 さ		43 μm
	引張	強 度	3.68 N/dtex
		伸び率	21.5 %

エネルギー分散型蛍光X線分析 (EDX) は、堀場製作所製 XGT-7200V を用い、X線照射径は直径1.2mmとし、X線管球電圧15 kV、測定時間60秒で行った。

* 日本植生(株)

赤外分光分析 (IR) は、パーキンエルマー製 Spectrum400を用い、表面についてはATR法で測定した。促進耐候試験時間ごとのスペクトルの比較は、規格化した吸光度スペクトルで行った。また、フラットヤーンの厚さ方向の情報を得るため、フラットヤーン断面薄片を作製し、透過法によりIRイメージング測定を行った。

深さ方向の劣化に影響すると考えられる光の透過性については、FY B、FY Wは紫外光を透過しにくかったため、均一な厚さにできなかったが、熱プレスによってFY Bを1/3程度の厚さにしたFY Bフィルム、FY Wを1/2程度の厚さにしたFY Wフィルムを作製した。また対照として厚さ44 μ mのポリプロピレンフィルム (PPフィルム) を用いた。分光スペクトルの測定は島津製作所製 UV-3100を用い、直進光線透過は波長190-3100 nmで、全光線透過 (直進光線透過+拡散光線透過) と反射は積分球とスペクトラロン反射標準板を用い、240-2400 nmで行った。

促進耐候試験は、メタルハライドランプ式の岩崎電気製 アイスーパーUVテスター SUV-W161を用い、ブラックパネル温度63°C、湿度50%RH、放射照度150 mW/cm²、水噴霧時間は2時間当たり30秒とした。

引張試験には島津製作所製 オートグラフ AG-Xplus 50kNを用いた。試料長さは100mmとし、つかみ間隔50mm、引張速度25mm/minで試験を行った。

顕微鏡観察は、共焦点レーザー顕微鏡 (オリンパス製 LEXT OLS4000) で行った。

3 結果と考察

最初に含有元素の情報を得るため行ったEDXの結果を示す (図1)。FY B、FY WともにCaが観察され強度は同程度であった。試料形状が同等のため、Caの含有濃度も同程度と推測される。FY Wには、Caの他、Mg、SiとTiが含まれていた。強度の大きいSi、Tiについて簡易定量を行ったところ、原子数比率でTiはCaの数倍程度多く、SiはTiの数倍程度多いことがわかった。図2にはFY B、FY Wと比較対照としてポリプロピレン、炭酸カルシウム、タルク、酸

化チタンのIRスペクトルを示す。FY Bには炭酸カルシウム、FY Wには炭酸カルシウム、タルク、酸化チタンと思われるピークが確認できた。EDXとIRの結果から、FY Bには炭酸カルシウム、FY Wには炭酸カルシウムの他、酸化チタンとタルクが含まれており、タルクが高い比率を占めていると考えられる。

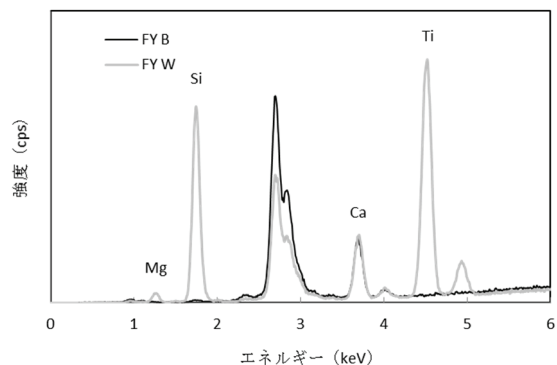


図 1 EDX スペクトル

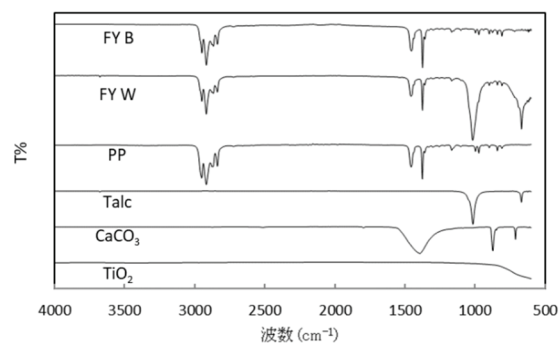


図 2 IR スペクトルの比較

次に、耐候性に大きい影響があると考えられる光学特性について、分光透過スペクトルを示す(図3)。熱プレス試料は厚さの問題があるため、試料間での単純な強度比較はできないが、PPフィルムは全領域で光を透過しやすいのに対し、FY Bフィルムは光の拡散が少なく比較的波長に依存せず透過しにくいこと、FY Wフィルムは、可視領域では直進光より拡散光が強いこと、紫外領域では透過しにくいことがわかった。

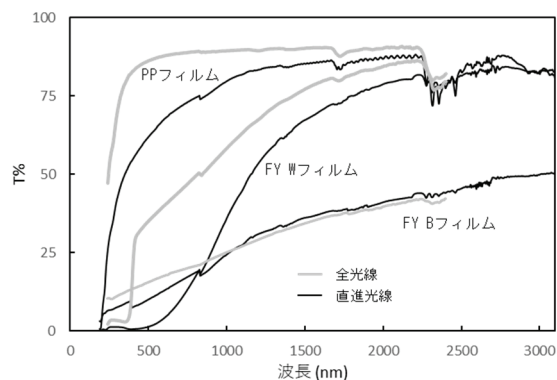


図 3 分光透過率

図4には反射率の結果を示す。FY Bは、紫外領域から近赤外領域まで反射率が10%以下で一定であることがわかった。一方、FY Wは400 nm以下の紫外領域では15%程度と反射率が小さく、400 nm付近で急激に反射率が高くなり、2400 nmまで徐々に小さくなる傾向であることがわかった。

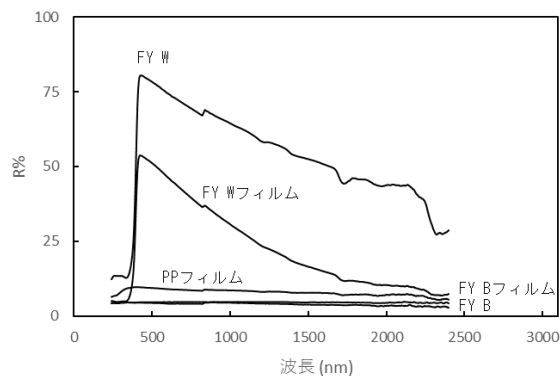


図 4 分光反射率

図5には、促進耐候試験前の引張強さを100%としたときの保持率の経時変化結果を示す。FY Bは、50時間では低下は見られなかったが、その後徐々に低下し、250時間で保持率80%程度であった。FY Wは、50時間で75%程度まで低下し、250時間で50%程度まで低下した。

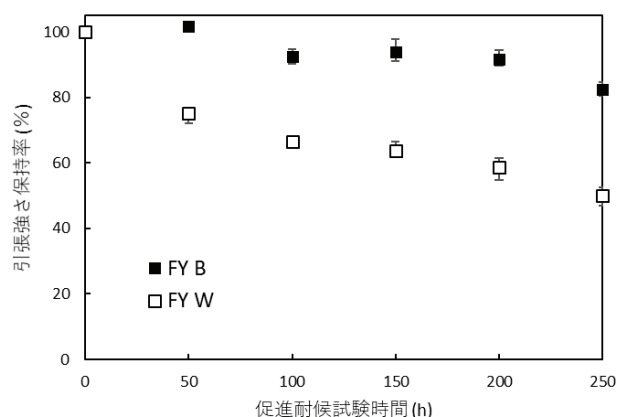


図 5 促進耐候試験時間と引張強さ保持率

次に、IRスペクトルへ及ぼす促進耐候試験の影響について検討した。図6にFY Bの結果を示すが、照射面は、1740 cm⁻¹付近の酸化に由来するピーク^{3,4)}が試験時間の経過にともない大きくなることが観察された。裏面は顕著な変化はみられなかった。FY Wは図7に示すとおり、照射面で試験時間にともない1020 cm⁻¹付近と670 cm⁻¹付近のタルクに由来するピークの顕著な増大が観察された。これは、照射面表面付近において、母材であるポリプロピレンの消失やタルクのブリードアウトによる影響と考えられる。裏面では観察されなかったため、温度によるブリードアウトの影響とは考えにくい。また、酸

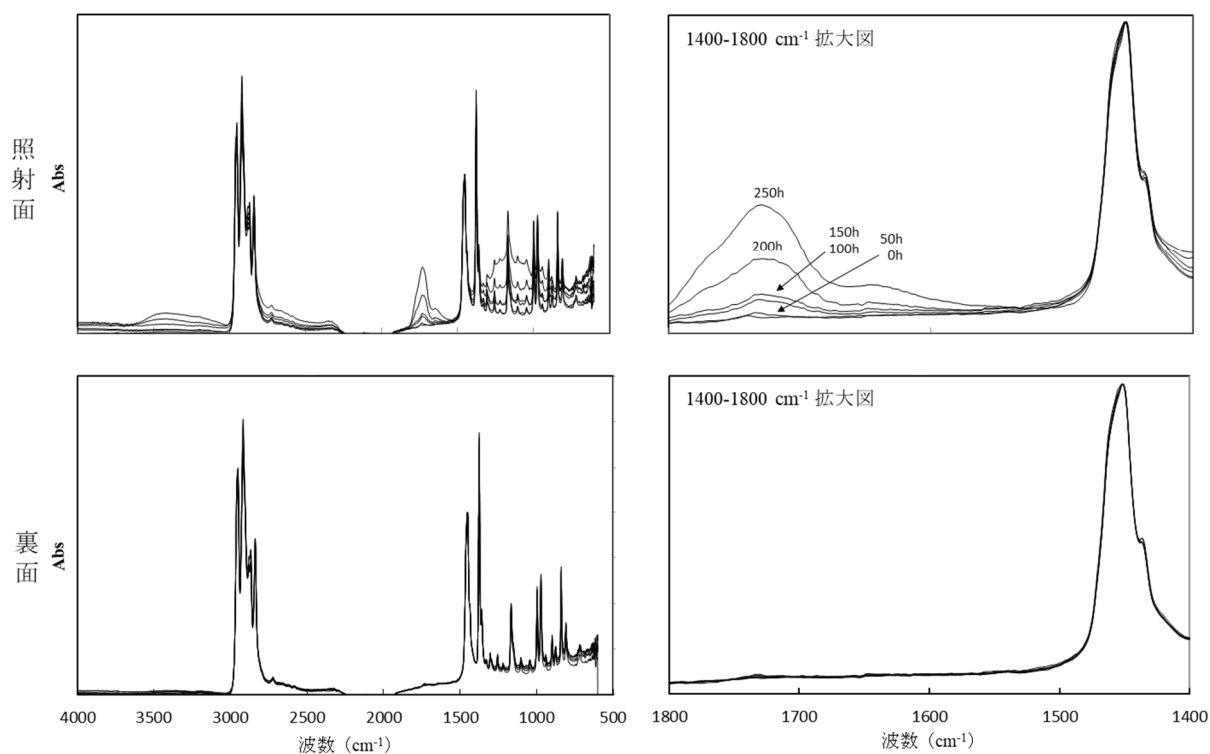


図 6 FY B の IR スペクトル経時変化

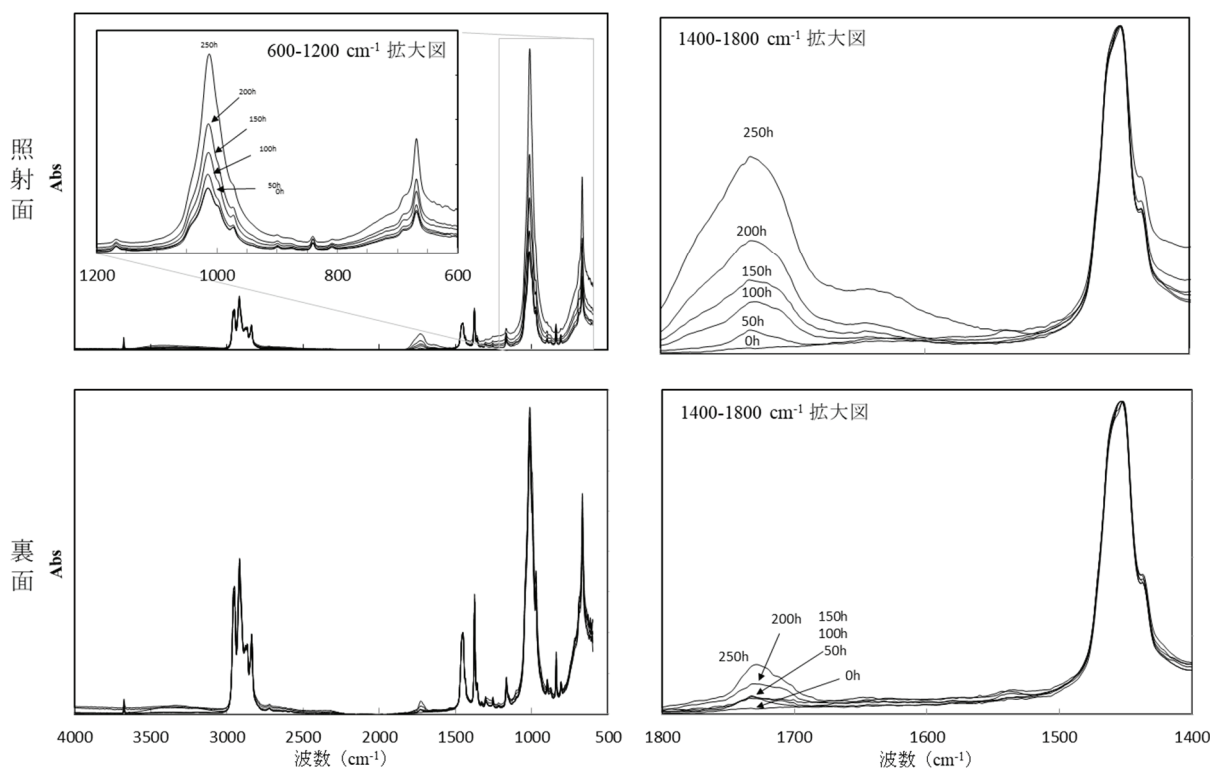


図 7 FY W の IR スペクトル経時変化

化ピークについては、FY Bよりも変化が大きいことと裏面でも増大することがわかった。紫外領域の透過スペクトルに着目すると、FY Bフィルムに比べFY Wフィルムの方が裏面への透過率は小さく、厚さの違いを考慮してもFY Bに比べFY Wが小さいと考えられる (図3)。FY Wの250時間試料も確認し

たところ、0時間試料とスペクトルの違いは見られなかったため、裏面の酸化劣化が紫外光の強度だけに依存しているとは考えにくい。タルクが酸化劣化を促進することや紫外光だけでなく長波長の光でも起こるという報告⁵⁾があり、それらの影響を受けている可能性が考えられる。

次に、表面の酸化度合いと強さ保持率について検討した。照射面での酸化ピーク強度に着目すると、FYBの250時間とFYWの200時間が同等(図6,7)と考えられるが、引張強さ残存率は、80%に対して60%(図5)であった。このことから、深さ方向への劣化の度合いが異なると考えられるため、促進耐候試験250時間の試料について断面のIRイメージングを行った。酸化ピークの強度が相対的に高いほど、濃色として図示し、図上側の照射面から図下側の裏面までの酸化状態を確認した(図8)。照射面、裏面の両エッジ付近は誤差が大きいため定量的な検討はできないが、FYBでは照射面表層付近のみが濃いのに比べ、FYWでは、より深い部分まで濃くなっていること、酸素が届きにくい中央部分は酸化が見られないこと、また裏面でも濃いことが確認できた。

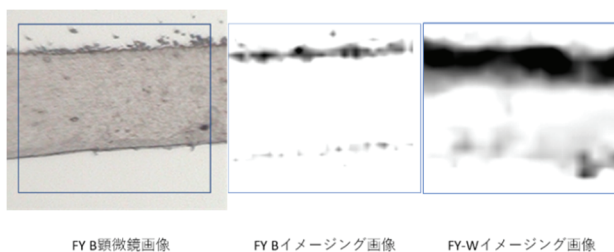


図 8 断面のIRイメージング画像

最後に照射面表面の形態を確認するため、促進耐候試験250時間の試料について、顕微鏡画像と高さの情報を示す(図9)。両者ともフラットヤーンの幅方向に亀裂が生じていたが、FY Bは幅の小さい

亀裂が多く見られたのに対し、FY Wは亀裂幅が大きく、激しく劣化していることが確認できた。亀裂深さについては、FYBでは深さ1~2 μm 程度のものが多く見られたのに対し、FY Wでは4~5 μm 程度であった。

4 まとめ

赤外分光分析による表面の酸化度合い評価では、黒いフラットヤーンであるFY Bの促進耐候試験250時間と白いフラットヤーンであるFY Wの200時間が同等であったが、引張強さ減少率は20%と40%と、大きく異なることがわかった。また、酸化劣化は紫外光の強さだけに依存せず、充填されている物質の影響を受けることが示唆された。

本研究は、受託研究“ポリプロピレン織物の耐候性評価”で行いました。

参考文献

- 1) 根岸 由典. 安定化技術. マテリアルライフ学会誌. 2003, 15, p.109-115.
- 2) 山下賢治. 光安定剤による高分子劣化制御. 日本ゴム協会誌. 2018, 91, p.454-459.
- 3) 高原 淳. 繊維・高分子材料の環境劣化. 繊維学会誌. 2024, 80, p.152-157.
- 4) Guido Grause. et al. Changes during the weathering of polyolefins. Polymer Degradation and Stability. 2020, 181, 109364.
- 5) 東 泰ほか. ポリプロピレン材料の耐候性に影響を与える因子に関する研究. マテリアルライフ学会誌. 2009, 22, p.20-25.

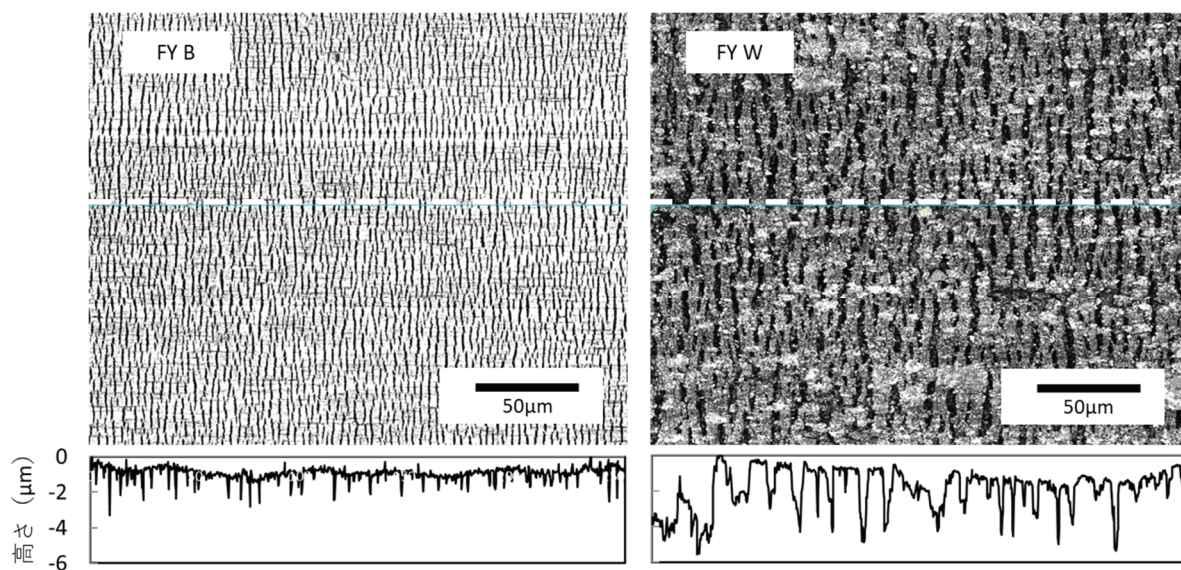


図 9 促進耐候試験 250 時間後の顕微鏡画像と亀裂深さ

外部発表

誌 上 発 表

1. 粉末・樹脂成型用金型に適した高機能硬質膜の開発

(トライボロジスト 68 巻 4 号 令和 5 年 4 月)

國次 真輔

岡山県の取り組みとして、著者らは、樹脂成形および粉末成型において優れた離型性の有する金型コーティングの開発を行ってきた。まず「離型性」は、金型の表面コーティングに対する成形物の「ぬれ」の現象であり、物理量としての表面エネルギーに支配されていると考えた。そこで、第一原理計算を用いて金型のハードコーティングとして多く利用されている NaCl 型窒化物について各種表面エネルギーの計算を試みた。その計算結果を踏まえ、工具や金型のハードコーティングの代表的な成膜方法であるカソードイックアークイオンプレーティング (CA : Cathodic arc ion plating) 法を用いて、膜質の制御を行うことで離型性に優れた皮膜を作製した。あわせて新たな離型性の評価手法の検討も行い、さらに金型コーティングに要求される密着性と耐食性を向上させる電子ビーム照射を用いた下地処理の開発を行った。

2. Ensemble Learning in CNN augmented with fully connected subnetworks

(The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Transactions on Information and System E106-D No.7 令和 5 年 7 月)

平田 大貴 高橋 規一* (*岡山大学)

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は近年の画像認識タスクにおいて最も注目されている AI モデルの一つである。本論文では、ベースとなる CNN モデルに全結合のサブネットワークを複数接続した新しいニューラルネットワークモデルを提案した。このモデルでは、ベースとなる CNN の畳み込み層によって生成された特徴マップを分割してサブネットワークに入力し、出力の多数決処理を行った。このような方法で、手書き数字画像の MNIST、衣類画像の Fashion-MNIST、カラー画像分類の Cifar-10 の 3 種類のデータセットの認識精度が従来の CNN よりも向上する事を示した。また、MNIST データセットにおいては、他の先行研究と比較して最も高い認識精度(99.84%)となることを示した。

3. Natural convective heat transfer from a heated horizontal disc with heated hollow cylinders: Effect of flow characteristics around heated cylinders with a gap

(International Communications in Heat and Mass Transfer Vol.146 令和5年7月)

下山 力生、山田 寛*、磯部 和真*、堀部 明彦* (*岡山大学)

機器の冷却には、ファンなどを用いる強制空冷と比較して信頼性、静寂性などの観点から自然空冷が注目されている。しかし、自然空冷は、強制空冷と比較して冷却能力が劣ることが問題とされている。本研究は煙突効果を利用した機器冷却の高効率化を行うための基礎研究として、スリットを設けた円筒発熱体が水平発熱円板まわりの自然対流熱伝達について実験的に検討した。結果として、スリット構造が流動特性に及ぼす影響とともに、水平発熱面の熱伝達との関連性について整理した。

4. 異種材料との複合化がポリオレフィンの衝撃強度に及ぼす影響

(日本接着学会誌 59 巻 8 号 令和5年8月)

日笠 茂樹

ポリオレフィンをマトリックスとした複合材料において、分散体が衝撃強度に大きく影響する。PP/エラストマーブレンドやHDPEをポリマー相とした複合材料に関して、1)PP/エラストマーブレンドにおけるエラストマー量、2)PP/エラストマーブレンドにおける試験温度、3)HDPEにおけるベースポリマーの衝撃強度などを選択することによって、ポリマー相の衝撃破壊挙動は任意に選択される。ポリマー相が延性破壊を示す場合には、直径数100 nmのフィラー添加が衝撃強度を飛躍的に向上させた。一方、ポリマー相が脆性破壊を示す場合には、直径数100 nmのフィラー添加は衝撃強度をほとんど向上させなかった。しかしながら、直径数 μm のフィラー添加は、マトリックスの衝撃破壊挙動にかかわらず衝撃強度を低下させた。

5. LLDPE/PA6 ブレンドの疲労特性に及ぼす相容化材の影響

(日本接着学会誌 59 巻 8 号 令和5年8月)

日笠茂樹、甲加晃一

LLDPE/PA6 ブレンドに、相容化材として無水マレイン酸変性ポリプロピレン(PP-g-MA)を添加した。PP-g-MAの添加によってLLDPE中に分散するPA6粒子が微細化された。PP-g-MAの適量添加は疲労特性を顕著に向上させた。しかしながら、PP-g-MAの過剰添加は疲労特性を低下させた。

6. シリコーンゴムを透過した気体状モノクロラミンによる種々の微生物の不活化

(日本防菌防黴学会誌 51 巻 10 号 令和 5 年 10 月)

高橋 和宏、大村 蒼志*、福崎 智司* (*三重大学大学院)

モノクロラミン (NH_2Cl) のシリコーンゴムを通しての気化と微生物制御への応用を検討した。pH8.5 のモノクロラミン ($\text{NH}_2\text{Cl}_{(\text{aq})}$) 溶液と pH5.0 の NaOCl 溶液を入れたシリコーンゴムチューブを、密閉したポリカーボネート (PC) ボックス内に設置した。ガス状モノクロラミン ($\text{NH}_2\text{Cl}_{(\text{g})}$) の濃度は、同じ条件下で $\text{HOCl}_{(\text{g})}$ よりも高い速度で時間とともに上昇した。シリコーンゴムチューブを透過した $\text{NH}_2\text{Cl}_{(\text{g})}$ は、平板寒天上で *Staphylococcus aureus*、*Escherichia coli*、*Cladosporium sphaerospermum* conidia、*Geobacillus stearothermophilus* endospore に対する不活化剤として優れた作用を示した。 $\text{NH}_2\text{Cl}_{(\text{g})}$ の不活性化効果は、 $\text{NH}_2\text{Cl}_{(\text{g})}$ の濃度と時間の積に依存した。

7. Efficacy of sodium chlorite in inactivating *Vibrio parahaemolyticus* attached to polyethylene terephthalate surfaces

(Journal of Microorganism Control 28 巻 3 号 令和 5 年 10 月)

高橋 和宏、 福崎 智司* (*三重大学大学院)

Vibrio parahaemolyticus はバイオフィルム形成菌の一つであり、交差汚染により二次感染が広がることが知られていたため、固体表面に付着した状態の *V. parahaemolyticus* の制御が重要となる。一般的に、付着菌は菌体外多糖類を介して表面に付着するため、未付着菌よりも殺菌しにくいことが知られている。本研究では、 NaClO よりも温和な酸化剤である亜塩素酸ナトリウム (NaClO_2) のポリエチレンテレフタレート表面に付着した *V. parahaemolyticus* に対する不活化効果の pH 依存性 (pH4.0-6.5) を速度論的に調べ、得られた一次不活化速度定数 (k 値) を未付着菌に対する k 値と比較した。その結果、pH が低くなるほど NaClO_2 の不活化効果が指数関数的に高まること、付着菌に対する k 値は未付着菌に対する k 値の 1/2 までの低下に留まることを確認した。以上のことから、 NaClO_2 は付着微生物に対しても有効な不活化効果を示すと考えられた。

8. Preparation of platinum nanoparticles using a continuous-flow precision synthesis system

(Journal of the Ceramic Society of Japan 132 巻 2 号 令和 6 年 2 月)

木村 祥彦、藤井 英司

連続式フロー精密合成システムを用いて、メタノールによる白金イオンの還元反応を介して白金ナノ粒子を作製した。XRD による分析の結果、得られたナノ粒子は金属白金であることがわかった。反応温度や流路長、分散剤の濃度等の反応条件が、得られるナノ粒子のサイズや粒度分布、分散安定性に与える影響を精査した。反応温度および反応流路長を変更した場合、白金ナノ粒子のサイズや形状に変化はなく、3 nm 程度の白金ナノ粒子が得られた。白金ナノ粒子の収率は反応温度の上昇および反応流路長を長くするにつれて上昇し、反応温度 140°C、反応流路長 5m の場合収率は 51%であった。

9. Green Synthesis of Copper Nanoparticles using a High-Pressure Wet-Type Jet Mill

(Journal of the Ceramic Society of Japan 132 巻 3 号 令和 6 年 3 月)

藤井 英司、木村 祥彦、峯村 淳* (*㈱スギノマシン)

バイオマス素材であるカルボキシメチルセルロース (CMC) と硝酸銅水溶液の混合懸濁液を湿式ジェットミルで処理することにより、銅ナノ粒子を合成することに成功した。処理条件を最適化することにより、約 6 nm サイズの非晶質銅粒子を合成することができた。この銅ナノ粒子は、抗菌材料や導電性材料への応用が期待できる。

口 頭 発 表

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
1	熱処理コンテスト	○ 小野 祐作 築山 訓明	東豊精機 (株) 金属材料科	日本熱処理技術協会第 13 回中部支部講演大会熱処理コンテスト	R5.4.24
2	パッチ型吸音構造の吸音特性	○ 眞田 明 藤本 望夢 小野 裕行	計測制御科 計測制御科 三乗工業 (株)	日本音響学会 5 月度建築音響研究会	R5.5.25
3	隙間を有する円管状フィンを設置した水平加熱面からの放熱挙動	○ 森本 龍介 下山 力生 山田 寛 磯部 和真 堀部 明彦	岡山大学大学院 計測制御科 岡山大学大学院 岡山大学大学院 岡山大学大学院	第 60 回日本伝熱シンポジウム	R5.5.27
4	加硫ゴムの伸長に伴う不均一構造変化の 2 次元フーリエ変換による解析	○ 石田 拓也 岩路 仁 中嶋 健	高分子材料科 高分子材料科 東京工業大学	日本ゴム協会 2023 年年次大会	R5.5.30
5	繰り返し変形と静置が織物の引張り特性に及ぼす影響	○ 松本 侑子 勝田 智宣 藤井 英司	食品・繊維科 精密加工科 食品・繊維科	日本繊維機械学会第 76 回 年次大会	R5.6.2
6	岡山県工業技術センターの紹介	○ 國藤 勝士	食品・繊維科	日本繊維機械学会中国支部講演会	R5.6.16
7	金属/樹脂の接着性に関する PP 表面の分子動力学計算	○ 中西 亮太	基盤技術創成科	日本接着学会 若手交流シンポジウム 2023	R5.6.21
8	界面制御によるプラスチック複合材料の力学特性向上	○ 日笠 茂樹	機能材料科	第 61 回日本接着学会年次大会	R5.6.22
9	フレキシブルデバイス用耐久試験機の製品開発	○ 勝田 智宣 村上 章弘	精密加工科 ユアサシステム機器 (株)	先進加工技術懇話会第 106 回例会	R5.7.14
10	機械構造用鋼への浸窒焼入れの適用	○ 築山 訓明 小野 祐作	金属材料科 東豊精機 (株)	金属 63 回・鉄鋼 66 回中国四国支部講演大会	R5.8.9
11	反応染料を用いたマグネシウム合金の陽極酸化皮膜に対する黒色化処理	○ 岡野 航佑 水戸岡 豊 藤原 浩市	金属材料科 金属材料科 堀金属表面処理工業 (株)	金属 63 回・鉄鋼 66 回中国四国支部講演大会	R5.8.9
12	High-frequency measurement method of normal-incidence sound absorption coefficient with a square cross-section impedance tube using eight microphones	○ 眞田 明 藤本 望夢 中川 博	計測制御科 計測制御科 日本音響エンジニアリング (株)	Inter-noise 2023 (International Congress and Exposition of Noise Control Engineering)	R5.8.21
13	Optimal design for a perforated panel absorber combined with Helmholtz-resonance and plate vibration	○ 藤本 望夢 眞田 明 高田 卓	計測制御科 計測制御科 みのる化成 (株)	Inter-noise 2023 (International Congress and Exposition of Noise Control Engineering)	R5.8.22

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
14	回転工具に作用する加振力推定	○ 辻 善夫 藤本 望夢 眞田 明 村上 浩二 松田 亮 廣田 義明 吉村 卓也	計測制御科 計測制御科 計測制御科 (株) 山本金属製作所 (株) 山本金属製作所 (株) 山本金属製作所 東京都立大学	日本機械学会 機械力学・計 測制御部門 Dynamics and Design Conference 2023	R5.8.28
15	シリコンチューブを介して透過気化した気体 状モノクロラミンによる微生物の殺菌	○ 高橋 和宏 大村 蒼志 福崎 智司	企画推進科 三重大学大学院 三重大学大学院	日本防菌防黴 学会第 50 回 年次大会	R5.8.30
16	不織布を用いた拭き取り洗浄によるステンレス 鋼表面からの固体状の動物脂の除去に影響を及 ぼす操作因子	○ 大野 穂 渡邊 大貴 福崎 智司 高橋 和宏 林 沙英 落合 徹	三重大学大学院 三重大学大学院 三重大学大学院 企画推進科 クラレクラフレックス (株) クラレクラフレックス (株)	日本防菌防黴 学会第 50 回 年次大会	R5.8.30
17	次亜塩素酸のシリコンゴム透過性を利用した モノクロラミンの新規調製法と気体状モノクロ ラミンによる殺菌	○ 大村 蒼志 高橋 和宏 福崎 智司	三重大学大学院 企画推進科 三重大学大学院	日本防菌防黴 学会第 50 回 年次大会	R5.8.30
18	蛍光増白剤含有植物油と蛍光検出法を用いた食 品製造機器の加工表面の洗浄性の評価	○ 橋爪 峻司 大野 穂 福崎 智司 高橋 和宏	三重大学大学院 三重大学大学院 三重大学大学院 企画推進科	日本防菌防黴 学会第 50 回 年次大会	R5.8.30
19	CFRP のドライアイスジェット援用乾式研削に おける切りくず除去へのドライアイス昇華特性 の影響	○ 段王 春輝 山崎 一志 余田 裕之 児玉 紘幸 大橋 一仁	岡山大学 岡山大学 精密加工科 岡山大学 岡山大学	2023 年度砥粒 加工学会学術 講演会	R5.8.30
20	ジピコリン酸を含む Sr(II)イオンドープリン酸八 カルシウムの合成と評価	○ 西山 青太 片岡 卓也 吉岡 朋彦 藤井 英司 早川 聡	岡山大学 岡山大学 岡山大学 食品・繊維科 岡山大学	日本セラミッ クス協会第 36 回秋季シンポ ジウム	R5.9.6
21	異なる量のキトサン存在下で合成した Mg(II)イ オン含有アパタイト粒子の評価	○ 西崎 航 安平 友飛 片岡 卓也 吉岡 朋彦 藤井 英司 早川 聡	岡山大学 岡山大学 岡山大学 岡山大学 食品・繊維科 岡山大学	日本セラミッ クス協会第 36 回秋季シンポ ジウム	R5.9.8
22	レーダーセンサーデータを使用した CNN によ るヒトの姿勢推定	○ 平田 大貴 渡邊 哲史 眞田 明 渡邊 礼方 山岡 中	計測制御科 基盤技術創成科 計測制御科 エスタカヤ電子工業 (株) エスタカヤ電子工業 (株)	電子情報通信 学会ソサイエ ティ大会 2023	R5.9.15
23	機器の熱設計技術	○ 下山 力生	計測制御科	大学等研究者 のミニサイズ 発信会	R5.9.20
24	Synthesis of noble Nanoparticles / Cellulose Nanofiber composite Using High-Pressure Wet-Type Jet Mill	○ 藤井 英司 木村 祥彦 峯村 淳	食品・繊維科 機能材料科 (株) スギノマシン	The 5th International Cellulose Conference	R5.9.27

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
25	Development of evaluation method of load carrying capacity on DLC film for standardization	○ 間野 大樹 大花 継頼 平塚 傑工 平田 敦 加納 眞 國次 真輔 竹内 光明 宝泉 俊寛 越智 直行 田中 章浩	産業技術総合研究所 産業技術総合研究所 (株) ナノテック 東京工業大学 加納コンサルティングオフィス 企画推進科 (株) レスカ (株) レスカ パーカー熱処理工業 (株) (一社) DLC 工業会	9th International Tribology Conference, Fukuoka 2023 (ITC Fukuoka 2023)	R5.9.30
26	国内産地を支える公設機関の活躍	○ 國藤 勝士	食品・繊維科	第 103 回企業 内技術士交流 会・関東会場	R5.9.30
27	8 マイクロホン法による広帯域垂直入射吸音率測定法	○ 眞田 明	計測制御科	日本機械学会第 124 回振動・音 響研究会 (VS 研究会)	R5.10.13
28	隙間のある円管状フィンが水平発熱円板上の自然対流熱伝達に及ぼす影響	○ 下山 力生 堀部 明彦 山田 寛 磯部 和真 森本 龍介	計測制御科 岡山大学大学院 岡山大学大学院 岡山大学大学院 岡山大学大学院	日本機械学会 熱工学コンフ アレンス 2023	R5.10.15
29	8 マイクロホン法広帯域垂直入射吸音率測定法	○ 眞田 明	計測制御科	日本機械学会 環境工学部門 「音・振動快 適化技術と新 しい評価法研 究会」	R5.10.20
30	岡山県工業技術センター 繊維部門の研究紹介	○ 松本 侑子	食品・繊維科	日本繊維機械 学会第 30 回 秋季セミナー	R5.11.1
31	高温・長時間浸室焼入れ処理時に形成する SPCC の金属組織	○ 築山 訓明	金属材料科	関西金属表面 処理若手研究 会連絡会議	R5.11.2
32	低騒音化技術の基礎	○ 藤本 望夢	計測制御科	大学等研究者 のミニサイズ 発信会	R5.11.16
33	Computational simulation of the intracellular pressure response to action potentials using the permeation flux model for multicomponent electrolyte solutions	○ 松山 遥陽 藤井 健博 宮内 優 竹内 伸太郎	大阪大学 精密加工科 宮崎大学 大阪大学	APS Division of Fluid Dynamics 76th Annual Meeting	R5.11.21
34	LLDPE/PA6/相容化材系ポリマーブレンドの力学特性に与える相容化材主鎖構造の影響	○ 日笠 茂樹	機能材料科	第 28 回フィ ラーシンポジ ウム	R5.11.27
35	ポリプロピレン／フィラー複合材料の引張特性に及ぼす界面接着の影響	○ 甲加 晃一 日笠 茂樹 織田 ゆかり 川口 大輔 田中 敬二	機能材料科 機能材料科 静岡大学大学院 東京大学大学院 九州大学大学院	第 28 回フィ ラーシンポジ ウム	R5.11.27
36	ジーンズのストレッチ性評価手法の開発	○ 松本 侑子 岡本 有未 窪田 真一郎	食品・繊維科 食品・繊維科 研究企画部	2023 年繊維学 会秋季研究発 表会	R5.11.28

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
37	金型の成形温度が圧粉磁心の特性に与える影響	○ 勝田 智宣 綱分 友春 渡辺 哲史 余田 裕之 河野 正宏 柴田 岳弥 飛田 景行 楊 寅 杉谷 志朗 高橋 郁文	精密加工科 精密加工科 基盤技術創成科 精密加工科 ゼノー・テック (株) ゼノー・テック (株) ゼノー・テック (株) ゼノー・テック (株) ゼノー・テック (株) ゼノー・テック (株)	第 32 回 MAGDA コン ファレンス in 金沢	R5.11.28
38	ロングパルス電子ビーム照射による金属 AM 造 形物の表面平滑化	○ 趙 旭澤 篠永 東吾 余田 裕之 山口 篤 岡田 晃	岡山大学 岡山大学 精密加工科 兵庫県立工業技術センター 岡山大学	電気加工学会 全国大会 (2023)	R5.11.30
39	SPCC の高温浸空焼入れ時に生じる組織変化	○ 築山 訓明	金属材料科	第 25 回関西 表面技術フォー ラム	R5.12.1
40	熱酸化した加硫イソプレンゴムの multiple- quantum NMR による評価	○ 八木 駿 石田 拓也 岩路 仁	高分子材料科 高分子材料科 高分子材料科	第 34 回エラス トマー討論会	R5.12.4
41	ワイブル型 FID のガウス展開で得られる T_2 分布 の定式化	○ 岩路 仁 村上 浩二 石田 拓也	高分子材料科 (株) 山本金属製作所 高分子材料科	第 34 回エラス トマー討論会	R5.12.5
42	一軸伸長に伴う加硫ブタジエンゴムの網目構造 の変化	○ 石田 拓也 岩路 仁 中嶋 健	高分子材料科 高分子材料科 東京工業大学	第 34 回エラス トマー討論会	R5.12.5
43	AFM およびパルス法 NMR による CNF と NR の界面評価	○ 幕田 悟史 石田 拓也 八木 駿 岩路 仁	高分子材料科 高分子材料科 高分子材料科 高分子材料科	第 34 回エラス トマー討論会	R5.12.5
44	洗浄の基礎知識	○ 浦野 博水	素材開発部	日本防菌防黴 学会令和 5 年 度微生物汚染 と対策に関する 基礎講座	R5.12.5
45	金属/樹脂の接着性に関する PP 結晶表面の分子 動力学計算	○ 中西 亮太	基盤技術創成科	第 19 回日本 接着学会関西 支部若手の会	R5.12.5
46	経産産業省の動きから探る繊維産業の未来について	○ 國藤 勝士	食品・繊維科	アパレル加工 研究会講演会	R5.12.5
47	全周撮影による非接触牛体測定システムの開発	○ 岩田 和大 堀川 寛通	基盤技術創成科 岡山県農林水産総合センター	第 24 回計測 自動制御学会 システムイン テグレーション 部門講演会	R5.12.14
48	短パルスレーザー利用による材料の表面改質技術	○ 水戸岡 豊	金属材料科	中国地域総研 技術セミナー	R5.12.15
49	逆フィルタによる加速度信号からの回転工具に 作用する切削力推定の検討	○ 藤本 望夢 辻 善夫 眞田 明 村上 浩二 松田 亮 廣田 義明 吉村 卓也	計測制御科 計測制御科 計測制御科 (株) 山本金属製作所 (株) 山本金属製作所 (株) 山本金属製作所 東京都立大学	第 24 回計測 自動制御学会 システムイン テグレーション 部門講演会	R5.12.16

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
50	岡山県工業技術センターの業務紹介と活用事例	○ 村岡 賢	応用技術部	セルロースナノファイバー実用化フォーラム 2024 in おかやま	R6.2.8
51	パッチ型吸音構造の吸音原理に関する研究	○ 眞田 明 藤本 望夢 小野 裕行 菊田 久雄	計測制御科 計測制御科 三乗工業（株） 大阪公立大学	日本音響学会第151回（2024年春季）研究発表会	R6.3.7
52	磁界解析を用いた圧粉磁心の設計と製作 ー共同研究開発事例ー	○ 勝田 智宣	精密加工科	おかやまものづくり大学「第3回磁界解析セミナー」	R6.3.14
53	マイクロフロー精密合成における銀ナノ粒子の粒径制御	○ 木村 祥彦 藤井 英司	機能材料科 食品・繊維科	日本セラミックス協会 2024 年年会	R6.3.16
54	清酒製造現場での製麹を再現した培養における醸造関連酵素の遺伝子発現	○ 伊藤 一成 谷野 有佳 竹内 赴登 五味 勝也 狩山 昌弘 三宅 剛史	食品・繊維科 食品・繊維科 食品・繊維科 東北大学大学院 （株）フジワラテクノアート 基盤技術創成科	日本農芸化学会 2024 年度大会	R6.3.26
55	オリーブ葉を基材とした固体培養における麹菌の生育とオリーブ葉麹の酵素活性	○ 谷野 有佳 伊藤 一成 竹内 赴登 三宅 剛史 橋本 敦子 奥川 日菜乃 山下 秀行 吉田 靖弘 徐 恵美 菊池 敬一 深野 夏暉 仁戸田 照彦 神崎 浩	食品・繊維科 食品・繊維科 食品・繊維科 基盤技術創成科 岡山大学大学院 岡山大学大学院 （株）樋口松之助商店 日本オリーブ（株） 日本オリーブ（株） 日本オリーブ（株） 岡山大学大学院 岡山大学大学院 岡山大学大学院	日本農芸化学会 2024 年度大会	R6.3.26
56	生酛における酒造年度ごとの乳酸菌叢の多様性	○ 竹内 赴登 伊藤 一成 三宅 祐治 谷野 有佳 渡邊 秀造 渡邊 醇造 三宅 剛史	食品・繊維科 食品・繊維科 白菊酒造（株） 食品・繊維科 白菊酒造（株） 白菊酒造（株） 基盤技術創成科	日本農芸化学会 2024 年度大会	R6.3.26
57	小型通気式固体培養装置を用いた麹菌固体培養によるワインパミス成分の微生物変換	○ 岡 深雪 藤田 彩楓 奥川 日菜乃 橋本 敦子 三宅 剛史 伊藤 一成 谷野 有佳 山下 秀行 中川 拓郎 平野 幸司 深野 夏暉 仁戸田 照彦 神崎 浩	岡山大学 岡山大学 岡山大学大学院 岡山大学大学院 基盤技術創成科 食品・繊維科 食品・繊維科 （株）樋口松之助商店 （株）樋口松之助商店 （株）樋口松之助商店 （株）果実工房 岡山大学大学院 岡山大学大学院	日本農芸化学会 2024 年度大会	R6.3.26

No	題目	発表者	所属	発表会名	年月日
58	Microbial Conversion of Unpolished Thai-Colored Rice by Aspergillus Solid-State Cultivation: Effect on Amino Acid Composition	○ Jirayu Jitpakdee 伊藤 一成 谷野 有佳 竹内 赴登 山下 秀行 中川 拓郎 仁戸田 照彦 神崎 浩	岡山大学大学院 食品・繊維科 食品・繊維科 食品・繊維科 (株)樋口松之助商店 (株)樋口松之助商店 岡山大学大学院 岡山大学大学院	日本農芸化学会 2024 年度大会	R6.3.26

岡山県工業技術センター報告第 50 号

令和 5 年度版（2023 年度版）

令和 6 年 7 月発行

（2024 年 7 月発行）

岡山県工業技術センター

〒701-1296

岡山県岡山市北区芳賀 5301

TEL 086-286-9600（代表）

FAX 086-286-9630

URL <https://www.pref.okayama.jp/site/kougi/>

技術内容についてのお問い合わせは kougi-info@pref.okayama.lg.jp まで

無断転載を禁ずる