

ISSN 0918-0192

CODEN: HKSHEQ

兵庫県立工業技術センター

研究報告書

第29号

(令和2年版)



兵庫県立工業技術センター
Hyogo Prefectural Institute of Technology
つながる兵庫の技

目 次

無機材料系

-
- | | | | |
|---|---|------|---|
| 1 | プラスチック射出成形を用いたアルミ—エンプラマルチマテリアルの創成と実用化
[兵庫県最先端技術研究事業(応用ステージ研究)] | 山下 満 | 1 |
| 2 | 水熱合成によるランタンシリケート系イオン伝導体微粒子の形状制御
[経常研究A] | 石原嗣生 | 3 |
| 3 | アパタイト型ランタンシリケート配向膜の合成と燃料電池への応用
[経常研究A] | 坂尾光正 | 4 |

有機材料系

-
- | | | | |
|---|---|-------------|----|
| 4 | 触媒による天然ゴム (RSS) の臭気軽減に関する研究
[重点領域研究推進事業] | 阿知良浩人, 鷲家洋彦 | 5 |
| 5 | 金属ナノ粒子—高分子複合体の高機能化に関する研究
[経常研究A] | 石原マリ | 8 |
| 6 | セルロースナノファイバーの化学修飾に関する研究
[経常研究A] | 平瀬龍二 | 9 |
| 7 | セルロース系材料を活用した包装資材の開発
～セルロース成形物の成形性改善について～
[経常研究A] | 佐伯光哉 | 10 |

バイオ技術系

-
- | | | | |
|---|---------------------------|------|----|
| 8 | 低酸生産性のはりま酵母の取得
[経常研究A] | 西村友里 | 11 |
|---|---------------------------|------|----|

金属材料系

-
- | | | | |
|----|--|------|----|
| 9 | つり下げ電極を用いた放電加工による小径曲がり穴の創成
[科学研究費助成事業・挑戦的研究(日本学術振興会)] | 山口 篤 | 12 |
| 10 | 大面積電子ビーム照射による金属AM造形物の表面仕上げ
[経常研究A] | 山口 篤 | 14 |
| 11 | マイクロショットピーニングによるチタン合金の表面改質
[経常研究A] | 青木俊憲 | 15 |

生産技術系

-
- | | | | |
|----|---|------------------|----|
| 12 | 小径テーパエンドミルの摩耗特性に関する研究
[科学研究費助成事業・基盤研究C(日本学術振興会)] | 浜口和也 | 16 |
| 13 | 電子デバイス接合用はんだのミニチュア試験片を用いたクリープ疲労寿命評価法の開発
[技術改善研究事業] | 野崎峰雄 | 18 |
| 14 | トポロジー最適化を用いた三木金物(手工具)に対する軽量化設計の可能性調査
[重点領域研究推進事業] | 吉岡淳也, 平山明宏, 山口 篤 | 21 |
| 15 | 金属粉末レーザ積層造形法により作製したAC8Aアルミニウム合金の造形品質改善
[経常研究A] | 平山明宏 | 24 |

電子・情報技術系

- | | | | |
|----|--|--------------------------|----|
| 16 | 複合センサを利用した屋外環境の三次元モデル化に関する研究
[技術改善研究事業] | 金谷典武, 松本哲也, 中里一茂
福井 航 | 25 |
| 17 | 感性指標に基づいた製品の評価方法に関する研究
[重点領域研究推進事業] | 松本哲也, 福井 航, 平田一郎 | 31 |

プロダクトデザイン系

- | | | | |
|----|---|------------|----|
| 18 | 健康モデル化によるスマートインタラクティブサービス
[未来社会創造事業・探索加速型(日本学術振興会)] | 後藤泰徳, 平田一郎 | 33 |
| 19 | デジタルハンドシュミレータを用いたグリップデザインシステム
[科学研究費助成事業・基盤研究C(日本学術振興会)] | 平田一郎 | 35 |

繊維技術系

- | | | | |
|----|---|--------------------------|----|
| 20 | 糸むら形状を利用した新規織物の開発に関する研究
[技術改善研究事業] | 佐伯 靖, 東山幸央, 中野恵之
藤田浩行 | 37 |
| 21 | 複雑形状へ成形可能な炭素繊維複合糸からなるテキスタイル
材料の開発
[経常研究A] | 藤田浩行 | 42 |
| 22 | 静電噴霧法を用いた布表面への樹脂加工法の開発
[経常研究A] | 中野恵之 | 43 |
| 23 | 歪糸の撚り数が織物の柄に及ぼす影響に関する予備調査
[経常研究A] | 東山幸央 | 44 |

皮革技術系

- | | | | |
|----|---|--------------------------------|----|
| 24 | 新規ジルコニウム鞣剤を用いた鞣しに関する研究
[技術改善研究事業] | 松本 誠, 本田幸司, 西森昭人
杉本 太, 原田 修 | 45 |
| 25 | 紡糸コラーゲン繊維により試作した製品の耐久性に関する研究
[経常研究A] | 原田 修 | 50 |

経常研究B

- | | | | |
|----|--|-------|----|
| 26 | 県産原料を利用する機能性建材の開発 | 泉 宏和 | 51 |
| 27 | スパッタリング法による貴金属系ナノ粒子のコア・シェル化の
検討 | 福住正文 | 51 |
| 28 | 麴酵素活性測定法の検討 | 原田知左子 | 52 |
| 29 | X線マイクロアナライザー(EPMA)によるB KX線スペクトルに
注目した状態分析 | 山田和俊 | 52 |
| 30 | フラーレンを用いた複合めっきの検討 | 山田直輝 | 53 |
| 31 | マイクロ駆動機構のための微細銅電極の製作 | 安東隆志 | 53 |

32	自由曲面の高精度なリバーエンジニアリング手法の検討	阿部 剛	54
33	紫外レーザー加熱を利用したステンレス鋼箔板の曲げ加工に関する研究	岸本 正	54
34	管状材料のシールド評価に関する研究（Ⅱ）	中里一茂	55
35	ナイロン糸アクチュエータに適した制御手法の検討	福井 航	55
36	レーザーを用いた革へのマーキング	西森昭人	56
37	含フッ素高分子を利用した撥水撥油革に関する研究	本田幸司	56

1 プラスチック射出成形を用いたアルミ-エンブレママルチマテリアルの創成と実用化

山下 満

1 目 的

現在、輸送機器分野では CO₂ 排出量の削減・燃費向上に向け、車体重量の軽量化が必須の課題である。鉄鋼部品から軽量なアルミニウム合金や樹脂部品へ置き換えが図られているが、単一材料による軽量化には限界があるため、複合材料化に大きな注目が集まっている。しかしながら、アルミニウム合金と樹脂との間では化学的な結合を生じにくく一体成型法では十分な接合強度を得ることが困難なため、これまでは生産性に劣る接着法を用いることが多かった。我々は兵庫県最先端技術研究事業（応用ステージ）の下で、接合強度および耐食性に優れたアルミニウムの表面処理技術を開発し、生産性およびコスト面で有利なプラスチック射出（一体）成型法によるアルミニウム-エンジニアリングプラスチックの複合材料化を目指した研究を行った。

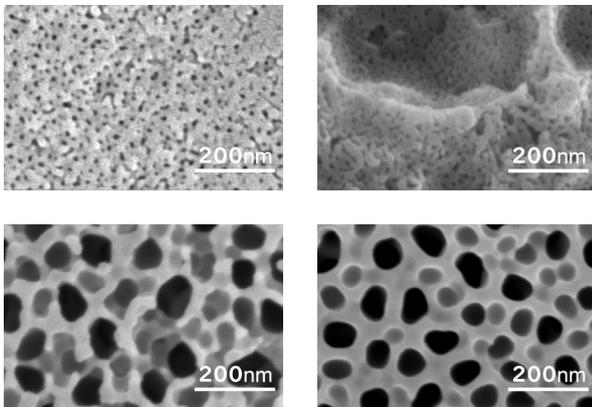


図 1 ダブル陽極電解処理法を用いて 2 層酸化皮膜の表面に形成された細孔の 2 次電子像。処理条件を調整することで大小さまざまな細孔径を選択可能。

接着法ではアルミニウム表面に 100nm 程度の細孔が存在するとアンカー効果と化学的界面結合力の面で有利と言われている。一方、射出（一体）成型では、熔融したエンジニアリングプラスチックを効率的に充填してアンカー効果を得るには、細孔を粗大化（図 1）して充填性を高める必要がある。また、輸送機器の接合部材では製造工程で -40～120℃の熱負荷を受け

るため、接合界面に生じる熱応力による剥離を抑制するプラスチック樹脂の選定も重要である。これらを実現するために、我々は耐食性に優れた皮膜を生成可能なダブル陽極電解処理法¹⁾を用いて生成された 2 層酸化皮膜の表面に形成される細孔を 200～300nm 程度に粗大化することにより充填性を向上させる処理方法の検討を行った。具体的な処理手順は次のとおりである。

- ・アルミニウム基材は A50502、あるいは、ADC12 とし、りん酸処理（第 1 皮膜）および硫酸処理（第 2 皮膜）によるダブル陽極電解処理を行う。
- ・射出成型法により樹脂（FZ-2140、Z230、Z-650-S 等）を異種接合する（樹脂の選定、射出条件等は協力会社に一任した。）。
- ・異種接合界面に対して引張り試験を行い、その接合強度を評価する。

筆者らは細孔への樹脂の充填度合いを直接観察するための試料調整（酸化皮膜／樹脂の異種接合の界面の断面加工方法）、および、SEM・TEM 観察を行った。

2 実験方法

異種接合界面の状態を可能な限り保持して断面加工処理を行うために、先ずダイヤモンドワイヤーソーを用いて目的部位から 100μm 程度以下までトリミングを行った。次にクロスセクションポリッシャ（CP:IB-09010CP）を用い、イオンビームによる非接触の断面加工（イオン加速電圧 6kV、処理時間 2h）を行った。断面を SEM 観察するにあたり、帯電を抑制する導電膜が微細な細孔組織を埋めてしまう事象が確認されたため、導電膜のコーティング処理は行わず、帯電の影響を受けにくい反射電子像観察による組織観察を実施した。さらに、一部の試料については、集束イオンビーム加工装置（FIB Versa3D HiVac）で超薄切片化を行い、透過型電子顕微鏡（TEM JEM-2010）を用いた異種接合界面の高分解能観察（加速電圧：200kV）を実施した。

3 結果と考察

ダブル陽極電解処理法で形成された 2 層酸化皮膜表面の 2 次電子像を図 1 に示す。処理条件

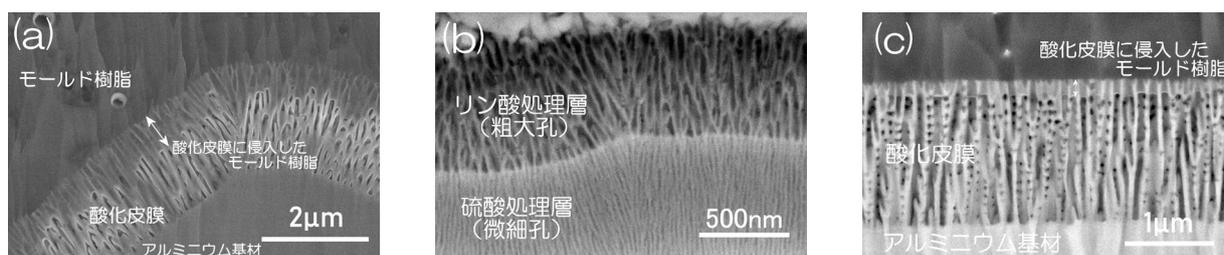


図 2 (a),(c)粗大孔の表面付近に侵入したモールド樹脂の侵入深さを評価した 2 次電子像（上方の濃い部分は射出成型によって異種接合された樹脂）、および、(b)ダブル陽極電解処理法を用いて形成された 2 層酸化皮膜断面の 2 次電子像（硫酸処理で形成された微細孔（下層）と、りん酸処理で形成された粗大孔（上層）の 2 層からなる。

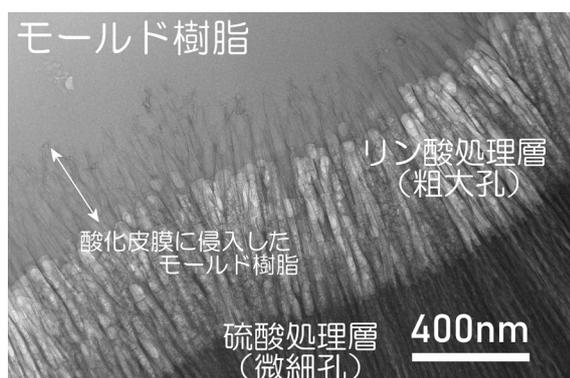


図 3 ダブル陽極電解処理法を用いて A5052 の表面に形成された細孔径の異なる 2 層酸化皮膜、およびモールド樹脂との異種接合界面の断面 TEM 像

の選定により、数十 nm から数百 nm までの細孔径が生成可能であった。

図 2 は 2 層酸化皮膜の断面、および射出成型によりモールドされた樹脂との異種接合界面の断面 SEM 像である。酸化皮膜には、りん酸処理により形成された粗大な細孔（アンカー効果が期待できる）と硫酸処理により形成された微細な細孔（耐食性を付与する効果が期待できる）の 2 層を明瞭に区別して観察できた。さらに、りん酸処理層の表面側（上方）には、モールドされた樹脂が粗大孔の一部に侵入してアンカー効果を担っている様子を確認することができた。

図 3 は A5052 をダブル陽極電解処理し、射出成型により樹脂をモールドした異種接合界面の断面 TEM 像で、図 4 はその模式図である。りん酸処理で形成された粗大孔組織（中央の明るい組織）と硫酸処理で形成された微細孔組織（右下のやや暗い組織）、およびモールド樹脂（左上の灰色の組織）の一部が粗大孔に概ね数百 nm 程度侵入している様子を明瞭に確認することができた。しかしながら、モールド樹脂の侵入深さと引張り試験で見積もられた接合強度

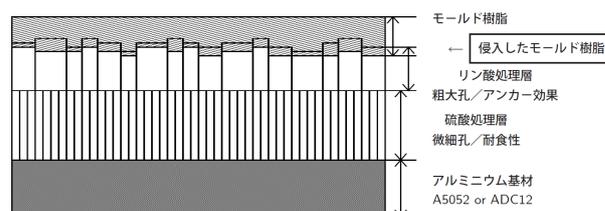


図 4 2 層酸化皮膜とモールド樹脂との異種接合界面の断面模式図

(4MPa~50MPa 樹脂:FZ-2140) との間に明確な比例関係は見られなかった。

4 結 論

輸送機器分野における軽量化、複合材料化を念頭に、ダブル陽極電解処理法を適用して細孔径の異なる 2 層酸化皮膜を形成した。量産に適した射出成型法により接合した異種接合界面に対して断面観察を行った。CP 断面加工処理、および FIB 断面加工処理、ともに細孔径の異なる 2 層の酸化皮膜を直接観察することが可能であった。さらに、コントラストの違いから、モールド樹脂の侵入深さの評価も可能であった。一方、モールド樹脂の侵入深さと接合強度との間に強い相関は見られなかった事から、接合強度はアンカー効果だけではなく、化学的界面結合力、モールド樹脂とのぬれ性や酸化皮膜自体の強度、あるいは破壊の起点となる接合面の不均一性なども強く関係しているものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 特許 第 6237999 号, 永田教人、日野実、村上浩二

(問合せ先 山下 満)

2 水熱合成によるランタンシリケート系イオン伝導体微粒子の形状制御

石原嗣生

1 目的

当センターで開発したランタンシリケート系イオン伝導体を用いた固体酸化物型燃料電池の実用化に向けた研究開発を行っている¹⁾。中温域(600°C)での発電出力の向上を目指して、ペースト法やスパッタリング法を用いた高配向焼結体・薄膜電極の作製に取り組んできているが現時点では思うような高配向試料が得られていないため、目標としている実用的な発電出力(250mWcm⁻²)に達していない。

本研究では、高度に001優先配向した焼結体を得るため、そのペレット用粉末であるランタンシリケート系イオン伝導体微粒子の形状制御を水熱合成法により検討した。

2 実験方法

ゼオライトの水熱合成方法を参考に行った。出発原料にLa源としてLa₂O₃、La(NO₃)₃を、Si源としてSiO₂、水ガラス(Na₂SiO₃)を用いた。秤量後、それぞれをイオン交換水に加え、それらを混合した水溶液にNaOHを添加して攪拌後、懸濁液を容量100mlのテフロン容器製のオートクレーブに入れ、230°C12時間加熱処理を行った。得られた沈殿は遠心分離後、洗浄、乾燥を行い、粉末を得た。LaおよびSiの添加濃度は、それぞれ0.1mol/Lおよび0.15mol/Lとし、NaOHは4mol/Lになるように添加した。得られた試料は、結晶構造をX線回折により調べ、粒子の形状をSEMにより観察した。

3 結果と考察

X線回折測定の結果、Si源としてSiO₂を用いた場合は、アパタイト型(La_{9.5}Si₆O_{26.55})の結晶のみが生成しており、Na₂SiO₃を用いた場合には、La_{9.5}Si₆O_{26.55}にLa(OH)₃が混在したものの(La源:La₂O₃)と非晶質のもの(La源:La(NO₃)₃)が生成していることがわかった。

それらの生成物のSEM観察結果を図1に示す。その一次粒子径は、数十nmと非常に小さなものであるが、La源としてLa(NO₃)₃を用いた場合、二次粒子径が数百nmのラグビーボール状のものが得られた。

針状のLa(OH)₃を出発原料に用い、その後の水熱処理により、トポタクチック構造変換反応

を利用して生成粒子の形状を制御することを試みた。まず、La(NO₃)₃とLiOHの水熱処理により針状La(OH)₃を作製し、それにNa₂SiO₃を添加し、再度水熱処理を行った。針状La(OH)₃と生成したLa_{9.5}Si₆O_{26.55}の形状を図2に示す。元の針状の形態を維持しているが、拡大して観察すると100nm程度の微粒子の集合体であることがわかった。

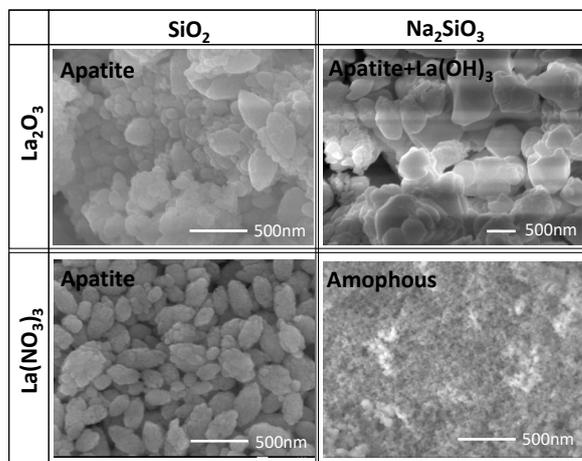


図1 生成物のSEM像

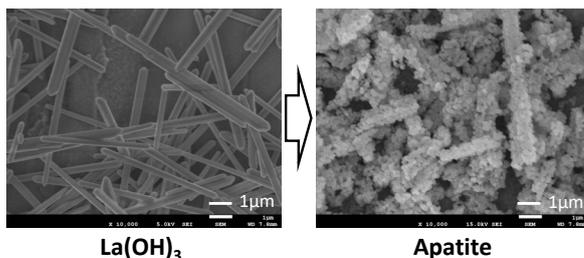


図2 針状La(OH)₃と生成物のSEM像

4 結論

水熱合成法により、ランタンシリケート系イオン伝導体微粒子の形状制御を検討した。その結果、本研究で実施した条件では、一次粒子径が100nm以下の粒状粒子の集合体であり、六角板状のアパタイト型ランタンシリケートを作製することはできなかった。

参考文献

- 1) 吉岡秀樹：特許第4581077号
(問合せ先 石原嗣生)

3 アパタイト型ランタンシリケート配向膜の合成と燃料電池への応用

坂尾光正

1 目的

アパタイト型ランタンシリケート (LSO) は良好な酸化物イオン導電体であり、600℃近傍の中温域においても比較的高いイオン伝導度を示す。そのため、現行の SOFC 用電解質材料である YSZ の代替材料としての使用が期待されている。c 軸方向に高速イオン伝導パスを有するこの材料は、配向試料の創製により高出力な SOFC の開発につながると考えられる。我々はこれまでの研究において、アパタイト型ランタンシリケート配向膜を用いたテストセルが燃料電池として機能することを明らかにしてきた。より高配向な LSO 膜の作製に取り組んでいるが、再現性が取れなくなっている。その原因を特定するために作製した試料組成について評価した。

2 実験方法

スパッタ成膜に用いた LSO ターゲットは成膜処理後に表面が変色しており組成が変化している可能性がある。再現性の問題はターゲット試料の組成変化に原因があると考え、波長分散型蛍光エックス線分析装置 (XRF) を用いてターゲットに未使用の LSO と比較した。また、配向膜の組成を明らかにするために発電特性評価に用いた LSO 膜を集束イオンビーム加工装置 (FIB) にて断片化し、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) による組成分析を行った。

3 結果と考察

表 1 に LSO 試料の組成分析結果を示す。いずれの試料も仕込み組成は $\text{La}_{9.59}\text{Si}_6\text{O}_{26.39}$ であり、この組成において La/Si 比は 1.60 である。XRF にて求めた La/Si 比はスパッタターゲットに使用したものが 2.06、ターゲット未使用のものが 2.02 であった。La 過剰または Si が少ない結果となったが、試料作成における高温処理で一部の Si が揮発したためと考えられる。数値に大きな差異がないため、スパッタ成膜使用による試料の劣化は少ないことが示唆された。

図 1 に FIB で加工した LSO 膜の SEM 画像を示す。LSO 膜の厚みはおよそ 3 μm 程度であり、部分的に空隙があるものの緻密であることがわかる。EDX による組成分析の結果から膜部分の La/Si 比は 1.53 であった。これは標準的な LSO

表 1 ターゲット試料の La/Si 比

ターゲット	元素	mass%	mol	La/Si
未使用	La	91.64	0.65	2.02
	Si	8.36	0.32	
使用后	La	91.28	0.66	2.06
	Si	8.72	0.32	

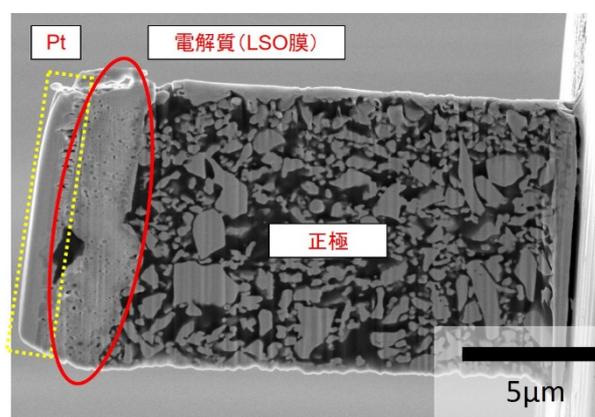


図 1 FIB で加工した LSO 膜の SEM 画像

($\text{La}_{9.33}\text{Si}_6\text{O}_{26}$) の La/Si 比 : 1.56 に非常に近い値であり、成膜と焼成の過程が標準的なランタンシリケートの生成に寄与していると考えられる。ターゲットに用いる LSO の組成と成膜後得られた LSO 膜の組成が異なることから、アパタイト型ランタンシリケートにおいてスパッタ成膜のターゲット組成は、そのまま膜組成に反映されないことが明らかになった。

4 結論

今回の取組みでは再現性の取れない原因についての特定は難しいため、今後はスパッタ成膜条件の検討によって明らかにしていきたいと考えている。

(問合せ先 坂尾光正)

4 触媒による天然ゴム (RSS) の臭気軽減に関する研究

阿知良浩人, 鷲家洋彦

1 目 的

天然ゴムの生産は、ゴムの樹から樹液を採取することから始まる。樹液のまま輸送することはできないため、様々な処理を行ってからゴム製造現場に輸送される。その際、天然ゴムから非ゴム成分由来の特有の臭気が発生するため、素練り工程では従業員に、ゴム製品では消費者に敬遠される。その中でも、燻煙処理がなされた天然ゴム (Ribbed Smoked Sheet, RSS) では独特な燻煙臭が強く感じられ、RSS の主な臭気成分は 2,6-dimethoxyphenol (図 1 a) などのフェノール類であることが先行研究¹⁾で明らかになった。天然ゴムの感覚的消臭対策の検討²⁾は行われているものの、根本的な消臭対策は確立されていないのが現状である。

化学反応において、図 1 b の類似構造をもつ触媒はフェノールの空気酸化によってキノン類に変換させることができる (図 2)³⁾。本研究では図 1 a の分子構造を変える触媒 (図 1 b) を RSS に混ぜることで触媒の効果を溶液による浸漬および混練工程で検証し、フェノール類特有の臭気を軽減することを目的とした。

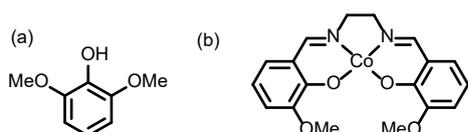


図 1 2,6-dimethoxyphenol(a)および触媒(b)の分子構造

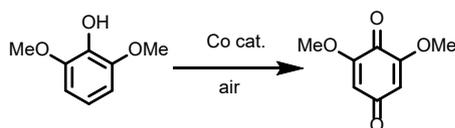


図 2 触媒によるフェノール類の酸化反応

2 実験方法

2.1 RSS の浸漬による触媒の効果の検証

図 1 b の触媒は市販の試薬により 2 段階の合成で得られた。触媒の分子構造は FT-IR およ

び ESI-MS によって同定した。1 g のブロック状の RSS3 号を 30 mL の触媒を含む溶液 ($\text{CH}_2\text{Cl}_2 : \text{MeOH} = 1 : 1$, 触媒 5 mg) に室温で 2 日間攪拌した⁴⁾。浸漬した RSS の前処理は固相マイクロ抽出で行い、100 mg の試料を入れた 20 mL のバイアル内で、100 °C で 10 分間揮発性物質を抽出した。ファイバーは 50/30 μm DVB/CAR/PDMS (シグマアルドリッチ製) を使用した。GC-MS はトリプル四重極型質量分析計 ((株) 島津製作所製 GCMS-TQ8040) を用いて評価した。分析条件を表 1 に示す。

表 1 GC-MS の分析条件

GC	
Column.	SH-Rxi-5Sil MS 0.25mmI.D. ×30m, df = 0.25 μm
Column.	40 °C (1 min)-10 °C/min ⁻¹
Temp.	-240 °C(10 min)
Carrier Gas	He, 120 kPa
Injection	250 °C, Splitless
MS	
Interface Temp.	250 °C
Ionsource Temp.	200 °C
Detection	SIM (m/z 154, 139, 111)

2.2 RSS と触媒の混練と臭気軽減の評価

ミキシングロール機 (日本ロール製造 (株) 製 $\Phi 200 \text{ mm} \times \text{L} 500 \text{ mm}$) を用いて、RSS と触媒を混練した。100 g の RSS3 号を表面温度 40 °C のミキシングロールに巻き付けた。触媒の調整条件を表 2 に示した。溶液に関してはディスポピペットで添加した。混練性について、少量添加時に、ロールが数回転する間にゴムに混ざり合っているものを良とした。触媒の添加後、ロールが回転している間に、交互切り返しを 5 回ずつ、丸め通しを 5 回行って触媒を RSS に分散した。混練時の臭気の評価は、

RSS 特有の臭気が感覚的にした場合に有とした。

表2 触媒の調整条件

分類	触媒の量	混合するもの
粉末	500 mg	なし
	5 mg	ステアリン酸 500 mg
	5 mg	SBA-15* 500 mg
溶液	なし	SBA-15* 500 mg
	5 mg	不飽和脂肪酸 5 mL
	5 mg	芳香族系 5 mL
	5 mg	ナフテン系 5 mL
	5 mg	エタノール 5 mL

*多孔質シリカ (シグマアルドリッチ製) 5)

臭気軽減は GC-MS で評価した。混練した RSS の前処理では、2 g の試料を入れた 20 mL のバイアル内で、Monotrap® RGC18TD (ジーエルサイエンス(株)製) を用いて 40 °C で 30 分間揮発性物質を抽出した。GC-MS は前項の装置に Inlet OPTIC-4 (GL Sciences B. V.) を取り付けたもので評価した。分析条件を表 3 に示す。

表3 GC-MS の分析条件

GC	
Column.	Inertcap Pure-WAX 0.25mmI.D. ×30m, df = 0.25 μm
Column. Temp.	40 °C (1 min)-10 °C/min ⁻¹ -240 °C(10 min)
Carrier Gas	He
Injection	Desorb Temp. 35 °C-50 °C/sec- 250 °C (296 sec), Column Flow: 1.8 mL/min, Split Flow: 50 mL/min.
MS	
Interface Temp.	250 °C
Ionsource Temp.	200 °C
Detection	SIM (m/z 154, 139, 111)

3 結果と考察

3.1 触媒溶液の浸漬による効果

図 3 に RSS から揮発する 2,6-

dimethoxyphenol の SIM クロマトグラム (m/z = 154) を示す。RSS を浸漬することで 2,6-dimethoxyphenol のピークが大幅に減少した。また、触媒の有無で比較すると、触媒溶液で処理したものは溶媒のみのものの約 3 分の 1 の強度であった。浸漬に使用した溶媒および触媒溶液を DART-MS で調べたところ、両方ともフェノールに由来するピーク (m/z = 155, M + H⁺) が観測され、触媒溶液の方が強度は小さかった。図 2 の反応が進行していると仮定し、キノン (m/z = 168) のピークは GC-MS および DART-MS で検出されなかった。また、標品のキノン (TCI 製 2,6-dimethoxy-1,4-benzoquinone) を用いて GC-MS を測定してもピークは全く検出されなかった。キノンは GC-MS および DART-MS の温度で熱分解することを TG-DTA で確認した。これらの結果から、RSS に含まれる 2,6-dimethoxyphenol が触媒と溶液中で反応し、酸化分解したと考えられる。

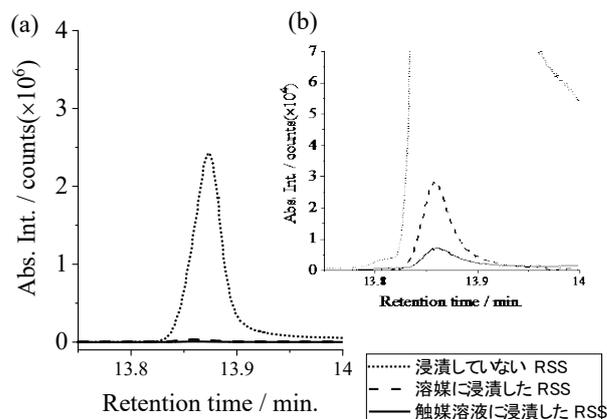


図3 浸漬による RSS の臭気成分の影響
(a) 全体図 (b) 拡大図

3.2 触媒の混練による臭気軽減の効果

RSS に対する粉末および溶液の添加の結果を表 4 に示す。全ての粉末の混練性は良好であったものの、燻煙臭は残っていた。溶液ではエタノール以外のものの混練性は触媒の有無に関係なく良好で、燻煙臭の有無に差異が生じた。不飽和脂肪酸では燻煙臭がほとんど感じられず、芳香族系溶液では芳香族系溶媒のにおいしか感じられなかった。ナフテン系ではナフテン系溶媒と燻煙臭が複合しており、エタノール溶液では混練後のエタノール臭が強く感じられたもの

の、時間が経つと燻煙臭が感じられた。この結果は SIM クロマトグラムにも反映されていた。

表4 混練条件の結果

条件	混練性	混練後の燻煙臭
触媒のみ	良	有
ステアリン酸+触媒	良	有
SBA-15+触媒	良	有
SBA-15のみ	良	有
不飽和脂肪酸溶液	良	無
芳香族系溶液	良	無
ナフテン系溶液	良	有
エタノール溶液	不良	無

粉末および溶液を混練した RSS から発生する 2,6-dimethoxyphenol の SIM クロマトグラム ($m/z = 154$) を図4に示す。添加物を混練していない RSS を基準にした時、混合粉末を混練したものよりも、溶液を混練した方が減少量は大きかった。他の粉末条件でも減少量が小さかったことから、粉末には臭気成分を捕集する能力がないと考えられる。

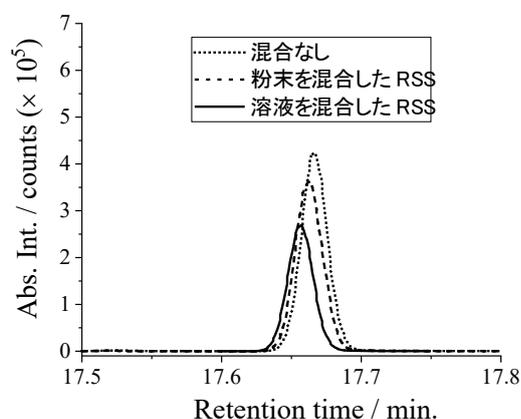


図4 粉末あるいは溶液の混練による RSS 臭気成分の影響

溶媒の違いによる SIM クロマトグラム ($m/z = 154$) の比較を図5に示す。混合していない RSS を基準にしたとき、ナフテン系溶液ではピークが減少していないのに対し、芳香族系溶液ではピークの減少がみられた。不飽和脂肪酸溶液でも芳香族系溶液と同様の結果が得

られた。表4の結果で、不飽和脂肪酸と芳香族系溶液では燻煙臭が感じられなかったのに対し、ナフテン系およびエタノール溶液では燻煙臭が感じられた。これらの結果から、混練工程でフェノールが芳香族系溶液および不飽和脂肪酸溶液に溶けて、反応が進行したと考えられる。

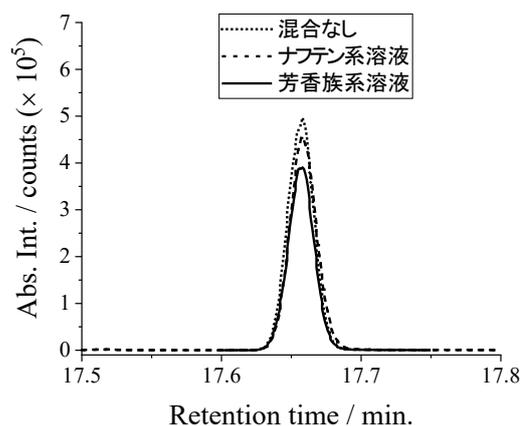


図5 各種溶液による RSS の臭気成分の影響

4 結 論

RSS の浸漬実験において、2,6-dimethoxyphenol が溶液に抽出され、触媒による化学反応が進行していることを確認できた。また、混練工程に適した触媒溶液の条件を確立し、臭気を軽減することに成功した。触媒を混練したゴムの物性については今後検討する。

謝辞

DART-MS および ESI-MS は神戸大学大学院工学研究科で実施された。

参 考 文 献

- 1) 鷲家洋彦, 第31回におい・かおり環境学会講演要旨集, 74-75 (2018)
- 2) 城田光穂, 小関在, 光田恵, 岩橋尊嗣, 近藤肇, 第28回におい・かおり環境学会講演要旨集, 63-64 (2015)
- 3) C. R. H. I. De Jonge, H. J. Hageman, G. Hoentjen and W. J. Mijs, *Org. Synth.*, **57**, 78 (1977)
- 4) E. Ispir, *Dye Pig.*, **82**, pp.13(2009)
- 5) S. K. Badamali, R. Luque, J. H. Clark, S. W. Breeden, *Cat. Commun.*, **10**, 1010 (2009) (問合せ先 阿知良浩人)

5 金属ナノ粒子-高分子複合体の高機能化に関する研究

石原マリ

1 目的

2012年に超高精細度テレビジョンに関する色域国際規格が策定され、実在の色彩をほぼ100%表現できることとなった。これに適応する広い色再現性を有するディスプレイが求められ、そのために、カラーフィルターや色補正用光学フィルターなどの色純度向上は重要である。

金属ナノ粒子は可視光を吸収し極少量で鮮やかな発色を示すだけでなく耐久性も良いことから高意匠性色材等に展開されている。一方で、既報における金属(金、銀)ナノ粒子分散体の吸収半値幅は比較的広い(約60nm以上)。吸収半値幅を狭小化させて色純度を向上できれば応用範囲が広がり、例えば、高精細ディスプレイ用光学フィルター向け材料などとして期待できると考えた。本研究では、吸収半値幅の狭い(目標値:30nm)銀ナノ粒子-高分子複合体の作製を目的とした。

2 実験方法

銀ナノ粒子-高分子複合体の作製には、銀化合物としてAgNO₃またはCH₃COOAg、銀ナノ粒子の保護基として両親媒性高分子であるポリ(スチレン)-*block*-ポリ(4-ビニルピリジン)ブロック共重合体(以下PS-P4VP)、還元剤としてエタノールを用いた。AgNO₃を用いる場合には、各種溶媒(エタノール、トルエン、テトラヒドロフラン)にPS-P4VPを溶解しこれにAgNO₃のエタノール溶液を混合、攪拌しながら80~130℃で17時間還流し、混合液体(分散液)を得た。溶媒がエタノールの場合のみ黄色を示し、その他の場合はほぼ無色あるいは白濁した状態であった。後述する通り、黄色の着色はAgナノ粒子の生成に基づくと考えられるため、黄色の分散液(以下PS-P4VP/Ag-1)の紫外・可視吸収スペクトルを測定し、4-ビニルピリジンユニット(以下VP)とAg⁺との濃度比が吸収半値幅に及ぼす影響を調べた。CH₃COOAgを用いる場合には、PS-P4VPおよびCH₃COOAgにエタノールを添加・攪拌しながら80℃で3.5時間還流して濃黄色分散液(以下PS-P4VP/Ag-2)を得、AgNO₃の場合と同様にその可視領域における吸収半値幅を調べた。

3 結果と考察

PS-P4VP/Ag-1およびPS-P4VP/Ag-2の作製条件(VPとAg⁺との濃度比)、可視領域の吸収極大波長およびその吸収半値幅を表1に示す。Ag⁺との相互作用が考えられるPS-P4VP中のVPとAg⁺との濃度比に依存して分散液の可視領域における吸収極大波長および吸収半値幅は異なった。PS-P4VP/Ag-1およびPS-P4VP/Ag-2の可視領域における吸収極大波長は407~424nmであった。これらはAgナノ粒子の局在プラズモン共鳴に基づくと考えられ、VPユニットとAg⁺との濃度比に依存して異なるサイズのAgナノ粒子が生成したと考えられる。吸収半値幅は、VPとAg⁺との濃度比が1:1の場合に最も狭く54~57nmであった。

表1 PS-P4VP/Ag-1およびPS-P4VP/Ag-2作製条件と可視領域における吸収極大波長・吸収半値幅

試料No.	VP:Ag ⁺	吸収極大波長 /nm	吸収半値幅 /nm
PS-P4VP-1(1)	1:1	412	56
PS-P4VP-1(2)	1:4	424	103
PS-P4VP-1(3)	3:1	408	82
PS-P4VP-1(4)	1:1	414	57
PS-P4VP-2(1)	1:1	407	54
PS-P4VP-2(2)	10:1	414	57

Agナノ粒子に起因する吸収バンドの吸光度は、CH₃COOAgを用いた場合にはAgNO₃の場合の約3倍であり、Agナノ粒子は多く生成した。これは、CH₃COO⁻がAgナノ粒子の保護基として機能しその安定化に寄与したためと考えている。

4 結論

銀ナノ粒子-高分子複合体分散液を作製した。得られた分散液において銀ナノ粒子に基づく吸収の半値幅は最小で54nmであり、目標値(30nm)には達しなかった。AgNO₃の代わりにCH₃COOAgを用いることにより生成する銀ナノ粒子濃度を上げることができた。作製条件を再検討し吸収半値幅の狭小化を目指す。

(問合せ先 石原マリ)

6 セルロースナノファイバーの化学修飾に関する研究

平瀬龍二

1 目 的

工業技術センターは、セルロースナノファイバー (CNF) を補強剤とした機能性ゴム材料の開発を目標に研究を行っている。CNF は親水性であるため、単純にゴムに練り込むだけでは十分な補強効果は得られない。本研究では、CNF の表面処理、すなわち各種ゴムとの相溶性を向上させるための官能基の導入 (化学修飾) について検討した。CNF の化学修飾は例えば縮合のような反応を伴うため¹⁾、工程が煩雑になるが、カルボキシ基 (-COOH) が導入されているものであれば、アミン誘導体など塩基とのイオン複合体を形成による容易な化学修飾が可能である。本研究では、TEMPO 酸化パルプを原料に用い、使用するアミンの種類とナノファイバー収率との関連を調査した。

2 実験方法

TEMPO 酸化パルプとして、日本製紙(株)製 COOH 型 TEMPO 酸化パルプ (COOH 含量: 1.97 mmol/g) を用いた。TEMPO 酸化パルプの濃度が 1 wt% となるように水を加えてバイアル瓶に仕込み、導入されているカルボキシ基に対して 100 mol% のアミンを添加した後、600~700 rpm の回転速度で振盪することにより、反応・ナノファイバー化を行った。反応後の分散液を、9,000 rpm、20 min の条件で遠心分離を

行い、分離後の上澄み液を TG で測定することにより固形分重量を求め、これをナノファイバーとしてナノファイバー収率を算出した。

3 結果と考察

使用したアミンの種類とナノファイバー収率を表 1 に示す。化学修飾反応時の攪拌により TEMPO 酸化パルプがナノファイバー化されることを確認した。Entry4~6 では反応 (攪拌) 時間の影響を調べた。90 時間攪拌してもナノファイバー収率の大きな向上はみられなかったため、反応時間は 40 時間で実施することとした。Entry1~3 および 5 ではアルキルアミンの分岐がナノファイバー収率に与える影響を調べた。短鎖アルキル (炭素数 4 (Entry1、Entry2)) ではナノファイバー収率に差はみられなかったが、長鎖アルキル (炭素数 8 (Entry3、Entry5)) の場合で分岐のあるアミンにおいてナノファイバー収率が高くなるという現象が見られた。ドデシルアミン (炭素数 12 の直鎖、Entry7) ではさらに低いナノファイバー収率となった。直鎖状の長鎖アルキルを有するアミンの導入はパルプの解繊を妨害するという結果となった。この原因は現時点では不明である。Entry8 および 9 では、2 級アミンを用いた検討を行った。分岐による嵩高さの増大によるナノファイバー収率の向上を期待したが、結果は 1 級アミンのナノファイバー収率と同等であった。

4 結 論

TEMPO 酸化パルプを原料に用いることにより、各種アルキルアミンと攪拌するだけで化学修飾した CNF が得られることがわかった。ナノファイバー収率は、アルキル基の構造に影響された。1 級アミンの場合、直鎖アルキルでは鎖長が短く、長鎖アルキルでは分岐のあるほうがナノファイバー収率は向上する傾向であった。アミンの級数とナノファイバー化収率の関連は見いだせなかった。

参 考 文 献

- 1) M.B. Agustin, T. Nakatsubo, H. Yano, Carbohydr. Polym., 164, 1-7 (2017).

(問合せ先 平瀬龍二)

表 1 使用したアミンとナノファイバー(NF)収率

Entry	アミン	振盪時間 (hr)	NF収率 (%)
1	n-Butylamine	40	43
2	tert-Butylamine	40	43
3	n-Octylamine	40	15
4	tert-Octylamine	20	45
5	tert-Octylamine	40	44
6	tert-Octylamine	90	51
7	n-Dodecylamine	40	6
8	Di-n-butylamine	40	45
9	Diisobutylamine	40	41

7 セルロース系材料を活用した包装材料の開発～セルロース成形物の成形性改善について～

佐伯光哉

1 目 的

海洋汚染の疑いで問題となっているプラスチックに代わる材料として、CNF（セルロースナノファイバー）が注目されている。ポリオレフィン系樹脂とパルプを原料として高せん断下の混練によりCNF複合材を生成したのから従来の成形法で製造する技術は「京都プロセス」として確立している¹⁾。しかし、水に分散したCNFスラリーを型に入れた後、水を乾燥させてCNFリッチな成形物を製造する技術は有効な方法が開発されていない。セルロースと親和性のある糖アルコール類のグリセリンを柔軟剤として使用した例として、河本ら²⁾はシルクにCNFを複合したフィルムでその効果を報告している。本研究では、乾燥過程の収縮とシワ発生を抑制するためグリセリンを配合したCNFの立体成形への可能性について検証したので報告する。

2 実験方法

CNF原料は、BiNFs長繊維 BMa10010（濃度10wt%、スギノマシン（株）製）を使用した。乾燥時の収縮とシワの抑制の効果を確かめることを目的にグリセリン配合量を段階的（CNF固体分とグリセリンの混合物における配合比で0wt%、5wt%、13wt%、25wt%）に変化させた。成形に使用するCNFスラリーの調整は、CNF固体濃度が3wt%になるようにCNF原料を計量、指定した配合比でグリセリンを加えたものをメカニカル式ホモジナイザーで分散、混合した。

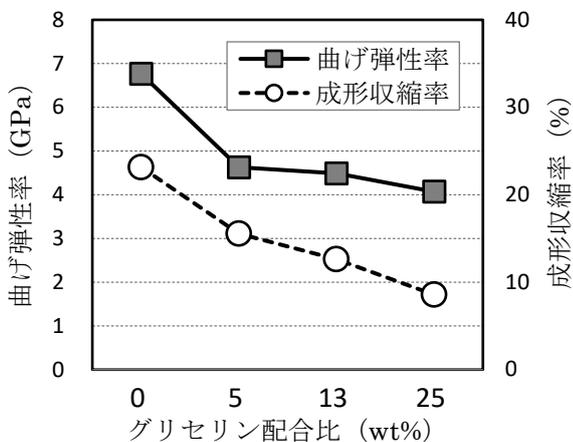


図1 成形収縮率、曲げ弾性率へのグリセリン配合比の影響

このスラリーを成型型に流し込み水分を自然乾燥させることで平板状試料を作製した。

成形した試料は、成形性を確認するため成形収縮率（JIS K7152-4 準拠）を求めた。物性評価では曲げ弾性率（JIS K7074 準拠、接線法）を求めた。

3 結果と考察

試料を作製した結果、グリセリンを配合しない場合はシワの発生は非常に大きく、グリセリンの配合量が増えるにしたがってシワ発生が小さくなることを目視で確認した。成形収縮率、成形物の曲げ弾性率のグリセリン配合比の影響を図1に示した。配合比5wt%以下では収縮率は15%以上と大きいですが、配合比25wt%で収縮率は10%以下に抑えることが可能であった。曲げ弾性率は、配合比0wt%で6.8GPaであり、配合比5wt%以上で4.8GPa以下に低下した。

容器形状の型を使用して成形した例を図2に示す。グリセリンの配合比が25wt%で立体的な形状の成形が可能であった。キャップネジ部の細かい構造も転写可能であった。但し、全体的な収縮と反りは避けることができなかった。



図2 立体成形物(左)

4 結 論

本研究によりCNFの成形において、グリセリンが成形収縮の低減と柔軟性付与、ひいてはシワの抑制に効果があることが判明した。ただし、CNFスラリーから水分を乾燥させることで成形する方法は、熱可塑性プラスチックのような金型に合致した形状の成形物を短時間で成形することは容易ではなかった。

参 考 文 献

- 1) 矢野浩之, Nanocellulose Symposium 2016 pp.27-50
- 2) http://www.pref.kyoto.jp/oriki/documents/kenkyuhokoku_h30_1.pdf

(問合せ先 佐伯光哉)

8 低酸生産性のほりま酵母の取得

西村友里

1 目的

平成 25 年度に初の県産酵母（ほりま酵母 NJ1 株）が取得されたが、酢酸やコハク酸などの酸の生成量が多いことが改良点として挙げられている。そこで、酸生成が少なくなるようにほりま酵母を育種改良することを目的とする。

2 実験方法

親株として、平成 25 年に取得されたほりま酵母（NJ1 株）を使用した。ストックされている NJ1 のうち 6 株をランダムに選抜し、総米 150 g の小仕込み試験に供した。仕込み配合は、 α 化米（水分補正後）109.2 g、乾燥麴（水分補正後）28.8 g、仕込み水 261 mL、乳酸（90%）0.15 mL とした。酵母は、YPD 培地 100 mL で培養し、遠心分離で集菌した後仕込み水に約 1×10^8 細胞/mL になるよう懸濁したものを使用した。約 900 mL のガラス瓶を用い、15 °C 一定で 14 日間発酵させた。得られた醸成酒は、アルコライザーにてアルコール度数及び日本酒度を測定し、イオンクロマトグラフにて有機酸の成分分析を行った。また、清酒の国税庁所定分析法に基づき酸度の測定も行った。

3 結果と考察

ランダムに選抜した 6 株に No.1~6 の番号を付け、総米 150 g の小仕込み試験を行った。その発酵経過を図 1 に示す。どの株も同様であったが、No.2 が若干ではあるが発酵が早く進んだ。

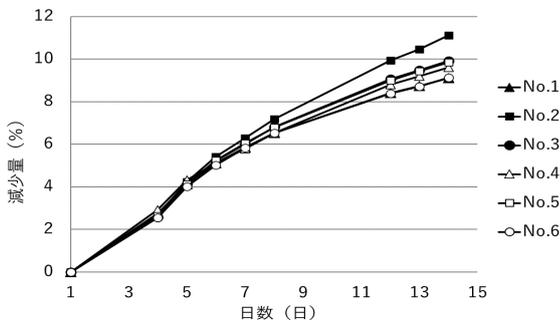


図 1 発酵経過

その傾向は、アルコール度数にも表れていたが、酸度では No.2 が最も低い値を示した（表 1）。酸度に伴い No.2 における酢酸の生成量も最も

表 1 醸成酒の一般成分分析結果

	アルコール 度数 (%)	日本酒度	酸度
No.1	12.8	-23.7	3.8
No.2	15.0	-4.3	2.9
No.3	14.1	-12.9	3.5
No.4	14.3	-10.8	3.4
No.5	14.1	-13.1	3.5
No.6	13.3	-20.0	3.5

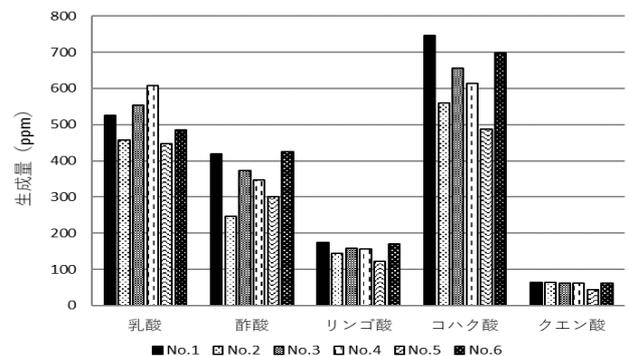


図 2 各種有機酸生成量

低くなった（図 2）。

この No.2 を NJ1 と異なる性質を持つ株として NJ2 と名付けた。再現性のため、再度 NJ1 及び NJ2 に対して小仕込み試験を行った。NJ1 は、代表として 1 回目の小仕込みの際に No.1 とした株を用いた。その結果、NJ2 は NJ1 に対して酢酸生成量が 40.2 % 低下した。1 回目の小仕込み試験の際には、NJ2 (No.2) は NJ1 (No.1) に対して 41.2 % 低下したことから、再現性を確認することが出来た。

4 結論

酢酸の生成量が低下したほりま酵母 NJ2 を選抜した。数値的には酸生成は低下したが呈味に大きな変化を感じられなかったため、この NJ2 親株として引き続き育種を行い、酸味の低下した清酒の醸造に適した酵母の取得を目指す。

（問合せ先 西村友里）

9 つり下げ電極を用いた放電加工による小径曲がり穴の創成

山口 篤

1 目 的

つり下げ電極を用いた放電加工法は、加工反力によって電極球が揺れ動くことで安定した加工状態が得られ、曲がり穴などの特殊形状加工法として高いポテンシャルを有している。曲がり穴加工の手順を図1に示す。汎用の形彫り放電加工機につり下げ電極を取り付け、主軸を下降させて直線穴加工を行う(a)。次に、電極球が所定の深さへ到達した際、(b)のように工作物を所定の角度(θ)に傾ける。導線が十分に柔軟であるため、電極球が重力方向へ進み、加工が進行する。これらの制御を必要な角度と回数を設定することによって、所望の曲がり穴を得ることができる。

筆者らはこれまで、亜鉛合金、合金工具鋼、アルミニウム合金などの工作物に対するつり下げ電極の放電加工特性を明らかにするとともに、工作物の傾斜制御と組み合わせることで曲がり穴が加工できることを示してきた¹⁾²⁾。一方で、電極球の直径が比較的小径(10 mm未満)にな

ると、放電が不安定になり、加工が持続しないという課題も明らかになっていた。

そこで本研究は、つり下げ電極を用いた小径穴の放電加工を安定させるため、工作物への振動付与の効果を調べるとともに、曲がり穴加工への適用を行った。

2 実験方法

つり下げ電極の外観を図2に示す。S ϕ 5.5 mmの銅タングステン合金球(30%Cu-70%W)を厚さ0.01 mm、長さ60 mm、幅3 mmの銅箔で接合した構造とした。加工実験はNC形彫り放電加工機(Sodick製、AP1L)を使用した。表1に示す加工条件で、工作物はアルミニウム合金(以後、A5052)、合金工具鋼(以後、SKD11)、チタン合金(以後、64Ti)である。工作物への振動付与は、空圧式タービンバイブレータ(EXEN製、BTP24)で発生させた振動を、治具を介して工作物に伝達させる方法を用いた。工作物の振動測定の結果、工作物は水平方向よりも鉛直方向に大きく振動し、その振幅は $A_z = 185 \mu\text{m}$ 、 $A_x = 49 \mu\text{m}$ であり、振動数は約120 Hzであった。

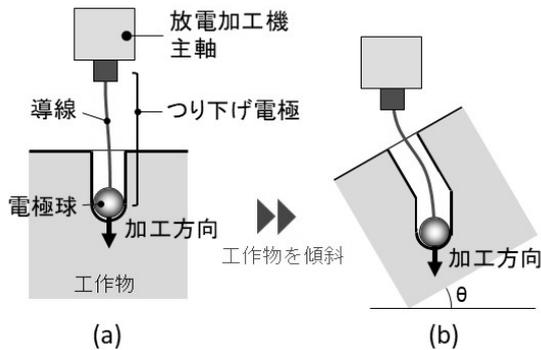


図1 曲がり穴加工の手順

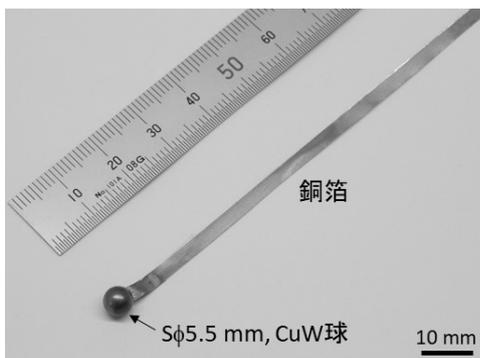


図2 小径穴加工用つり下げ電極の外観

表1 放電加工条件

電極極性、無負荷電圧, u_i / V	(+), 120
電流ピーク値, i_e / A	28
サーボ基準電圧, S_V / V	100
放電時間, $t_e / \mu\text{s}$	400
放電休止時間, $t_o / \mu\text{s}$	400

3 結果と考察

3.1 工作物振動付与による直線穴加工

つり下げ電極を用いた放電加工では、電極球が加工反力によって揺れ動く。その現象は電極球が小さくなるほど顕著になり、場合によっては放電が持続しなくなる。図3に、S ϕ 5.5 mmの電極球を用いて、A5052の工作物に対して直線穴加工を行った際の加工進捗を示す。

工作物に振動を付与しない場合は、加工機主軸が頻繁に上昇を繰り返し、加工が安定していない様子がみられた。これは、電極球が加工穴内面と加工粉を介して接触するなどして放電が

発生しない状態となり、加工機が極間距離を広くする制御を行っているためである。そして、加工深さが約 16 mm でアーク現象が回避できず加工が停止した。

一方で工作物に振動を与えた場合、加工機ヘッドの上昇はほとんどなく、安定した加工状態が維持されている。振動を付与することによって加工粉などの排出が促進されると共に、電極球と加工穴内面の長時間の接触を抑制したためである。

これらの体積加工速度 (V_w) と加工穴径 (d) を表 2 にまとめた。その結果、振動を与えることで、振動なしの場合に比べて加工速度は 2 倍程度になった。また、穴径は工作物の振動の影響を受け、0.2 mm ほど大きかった。

工作物振動による加工状態の安定化は、他の工作物 (SKD11、64Ti) にも有効であった³⁾⁴⁾。

3.2 曲がり穴加工

前項において、工作物に振動を付与することで小径の電極球を用い安定した加工状態が得られることをしめした。次に、工作物の傾斜制御を組み合わせ、SKD11 に対する曲がり穴加工を試みた。図 4 は、屈折角度が 30°、45° および 60° の屈折曲がり穴加工の断面写真を示す。直線穴加工の後、0.5 mm 進むごとに工作物を

5°ずつ傾ける動作 (傾斜比: $T_i=10^\circ/1.0\text{ mm}$) を所定の角度になるまで繰り返した。図から、屈折穴形状は正確に工作物の傾斜角度応していることが分かる。この結果から、工作物振動による放電の安定化と、工作物の傾斜制御を組み合わせることによって、小径かつ形状精度の高い曲がり穴が創成できることを示した。

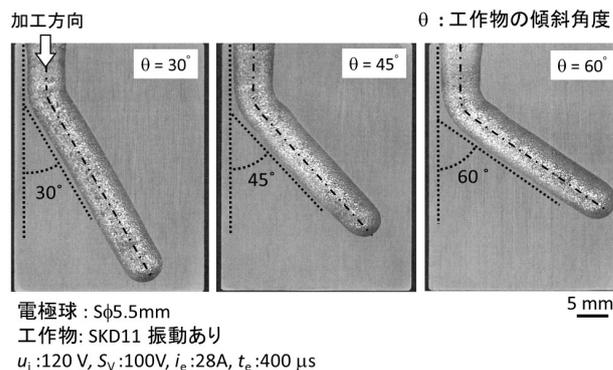


図 4 小径曲がり穴の断面 (工作物: SKD11)

4 結 論

つり下げ電極による小径の曲がり穴加工を実現させるため、工作物に振動を付与する方法を考案した。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 比較的小径のつり下げ電極 (Sφ5.5 mm) を使用する場合、工作物に振動を付与することで安定した加工状態が得られる。
- (2) 工作物への振動付与と傾斜制御を組み合わせることによって、アルミニウム合金 (A5052) 等に対して比較的小径の曲がり穴を加工することができる。

謝 辞

本研究は、JSPS 科研費 17K18829 の助成を受け、岡山大学大学院自然科学研究科特殊加工工学研究室との共同研究によって実施した。

参 考 文 献

- 1) 山口篤, 岡田晃ら, 精密工学会誌, **81**-11, 987-990 (2015)
- 2) 山口篤, 岡田晃ら, 精密工学会誌, **82**-10, 907-912 (2016)
- 3) T.Miyake, K.Ota, A.Okada, A.Yamaguchi, Proceedings of The 17th IMEC, 66-67(2016)
- 4) 山口篤, 岡田晃ら, 精密工学会誌, **85**-4, 359-364 (2019)

(問合せ先 山口 篤)

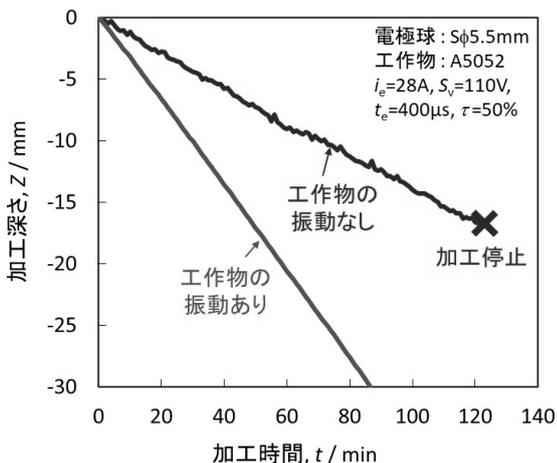


図 3 工作物振動の有無と加工進捗

表 2 工作物の振動有無と加工特性

	加工速度, $V_w / \text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	穴径, d / mm
工作物の振動あり	0.151	6.65
工作物の振動なし	0.074	6.44

10 大面積電子ビーム照射による金属 AM 造形物の表面仕上げ

山口 篤

1 目的

金属 AM (Additive Manufacturing) 造形法は、造形方法やレーザーの高出力化などにより、造形物の形状や寸法精度などが向上する一方で、造形物の表面は粗く、用途に応じて表面を平滑に仕上げることが必要である。現在は後工程で切削や研削などが行われているが、造形物の形状が複雑になるほど多大な労力とコストを要する。さらに、造形物は積層構造の焼結体がゆえ、完全な光沢が得られにくい。

これまでに、金属 AM 造形物に大面積電子ビーム (LEB) 照射することで、表面を平滑に仕上げられることを示した。しかし、造形物の極表面が熔融凝固するとともに、一部が蒸発していることが分かり、LEB 照射に伴う化学組成や機械的性質への影響などが不明のままであった。そこで本研究では、マルエージング鋼 AM 造形体へ LEB 照射を行い、化学組成や硬さに与える影響を解明するとともに、そのメカニズムの検討を行った。

2 実験方法

金属 AM 造形は、粉末床熔融結合方式の積層造形装置 (3Dsystems、ProX DMP200) を使用した。原料粉末はマルエージング鋼 (平均粒径: 約 10 μm)、造形雰囲気は酸素濃度が約 500 ppm 以下の窒素環境である。粉末の積層厚さは 30 μm 、レーザーのスポット径は約 100 μm 、走査間隔は 50 μm とした。造形物の形状は 10 \times 10 \times 5 mm の直方体で、その上面 (平面) を評価面とした。溶体化や時効等の熱処理は行っていない。

LEB 照射は、(株)ソディック製 PF-32A を使用した。電子ビームのエネルギー密度を 15 J/cm² で一定として 10 から 100 回の照射を行った。

3 結果と考察

マルエージング鋼は、Ni、Co、Mo、Ti を含む合金鋼であり、金属 AM 造形用材料として多用されている。図 1 に、LEB 未照射(a)および LEB 照射後(b)~(d)試料表面の EPMA による Mo-L α の強度分布を示す。未照射の場合は Mo が均一に分布しているものの、LEB 照射を重ねるごとに Mo が斑状に濃化していた。LEB 100

回照射後の斑状濃化部 (A 部) の Mo 量は 30.8 mass% であり、未照射試料の 5.39 % と比べて大幅に濃化していた。この理由は、LEB 照射で極表面が熔融・蒸発する際に、他の合金元素よりも融点の高い Mo が残存し、徐々に濃化が進行したためと考える。斑模様になるのは、溶湯が流動する際に生成した模様であると考えられる。

Mo 濃化部 (A 部) の硬さは 13500 MPa であり、LEB 未照射試料のナノインデント硬さ (5326 MPa) と比べて大幅に硬化していた。Mo 量と硬さに相関があることが分かった。

以上の結果から、LEB 照射によって Mo が斑状に濃化し、濃化部は合金相が形成するなどの理由により、高硬度な領域が生成することが明らかになった。

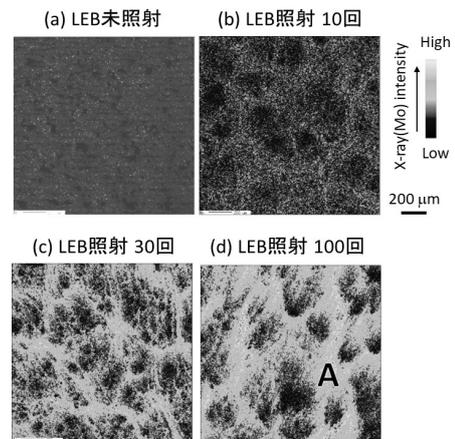


図 1 LEB 照射前後の Mo-L α 強度分布図

4 結論

マルエージング鋼の金属 AM 造形物に LEB 照射を行ったところ、表面を平滑に仕上げられる一方で、Mo が斑状に濃化することが明らかになった。

謝辞

本研究は岡山大学大学院自然科学研究科特殊加工工学研究室との共同研究によって実施した。

参考文献

- 山口篤, 篠永東吾, 岡田晃, 電気加工技術, 43-133, 6-12(2019) (問合せ先 山口 篤)

11 マイクロショットピーニングによるチタン合金の表面改質

青木俊憲

1 目 的

チタンおよびその合金は、軽量、高強度、低弾性率および高耐食性などの優れた特性を示すことから、航空機産業や自動車産業、医療産業などの様々な分野で採用されている。さらに用途を拡大していくため、疲労強度の向上が強く求められている。疲労強度を向上させる方法としてショットピーニング（SP）が知られている。近年、この技術は周辺技術の進歩とともに、直径 200 μm 以下の微細なショットを用いたマイクロショットピーニング（MSP）として普及している。MPS は、従来の SP と比較して、表面粗さを低減し、表層に大きな圧縮残留応力を付与することができるため、疲労強度を向上させる表面処理として期待されている。

本研究では、機能的な材料として利用範囲が広がっているチタンとその合金に対して、MSP による疲労強度特性の向上を目的としている。今回、チタン合金の中で最も高強度を有する β 型チタン合金における金属組織や硬さ、残留応力が及ぼす MSP の影響について調べた。

2 実験方法

供試材には、焼鈍および酸洗処理を行った β 型チタン合金（Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al）の厚さ 3 mm の板材を用いた。それから 25 mm 角の試験片を採取した。MSP 処理には空気式機械を用いた。投射材は、直径 0.1 mm、比重 7.4 g/cm^3 、硬さ 460 HV の鋳鋼製ショット（以下、CS）と、直径 0.1 mm、比重 7.4 g/cm^3 、硬さ 1200 HV の FeCrB 合金製ショット（以下、FCB）を用いた。MSP 処理した試験片に対して、表面粗さ測定、硬さ試験、残留応力測定を行い、MSP の影響について調べた。

3 結 果

β 型チタン合金に対して、CS および FCB の 2 種類の投射材を用いて MSP 処理を行った。MSP 処理した試料の表面粗さを測定した結果、いずれの処理においても 20 s 以上の処理ではほぼ一定の粗さとなった。MSP 処理前は $R_a=0.5 \mu\text{m}$ であったが、MSP 処理することにより CS の場合、投射圧力 0.6 MPa で $R_a=1.2 \mu\text{m}$ を示した。また、FCB の場合、投射圧力 0.4 MPa

および 0.6 MPa で $R_a=1.1 \mu\text{m}$ および $R_a=1.4 \mu\text{m}$ を示し、表面粗さの増加は少なかった。

図 1 に、MSP 処理した加工面における表面硬さと投射時間の関係を示す。投射時間とともに表面硬さが増加し、投射時間 20 s で表面硬さが飽和した。CS では約 400 HV、FCB では投射圧力 0.4 MPa で約 450 HV、投射圧力 0.6 MPa では約 510 HV となった。

図 2 に残留応力と投射時間の関係を示す。ばらつきはあるものの投射時間 20~30 s で圧縮残留応力は飽和している。CS では約 1050 MPa、FCB では投射圧力 0.4 MPa で約 1100 MPa、投射圧力 0.6 MPa で約 1200 MPa の圧縮残留応力が付与されることが分かった。

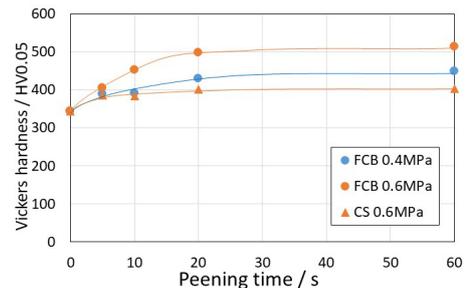


図 1 表面硬さと投射時間の関係

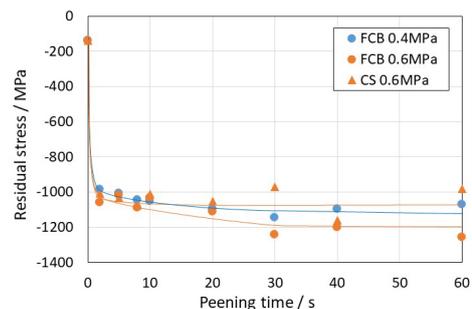


図 2 残留応力と投射時間の関係

4 結 論

β 型チタン合金に対して、硬さ 460 HV の CS と、硬さ 1200 HV の FCB を用いて MSP 処理を行った。その結果、硬い投射材を用いて高い投射圧力で MSP 処理することにより、表面硬さの向上や圧縮残留応力の付与など大きなピーニング効果を得られることが分かった。また、表面粗さの増加も少なく、疲労強度の向上も期待できることが分かった。

(問合せ先 青木俊憲)

12 小径テーパエンドミルの摩耗特性に関する研究

浜口和也

1 目的

マイクロニードルアレイなどの医療用微細針は、①最終形状となるマスター型の作製、②マスター型を反転させた成形用型の作製、③成形用型によるマイクロニードルアレイの成形の順に製造される。マスター型は、高さと同径が 1 mm 以下の凸型円錐形状が数十から数百個並べられたものであり、フォトリソグラフィ等で作製されているが、最近では小径エンドミルを用いた切削加工に対するニーズが増えている。エンドミルによるマスター型の製作では、凸型の微細な円錐形状を残すことから、切削加工による除去量が多くなり非効率である。さらに、工具移動量が大きくなるため、摩耗が増大して形状精度が得られにくい。そこで本研究では、エンドミルを用いて成形用型を直に製作することによるマスター型の削減を提案した。エンドミルで成形用型を製作する場合、微細な凹型の円錐形状のみの切削となるため、加工時間の短縮、工具摩耗の低減が可能となる。成形用型の製作には、テーパ形状の切れ刃を有する小径エンドミルを用いた止まり穴加工が適するが、その摩耗特性は明らかではない。エンドミルによる成形用型の製作を実現させるため、本研究では金型用鋼に対して切削実験を行い、送り速度および主軸回転数が切れ刃の摩耗特性に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

2.1 切削工具

切削実験で使用した工具は、V溝加工や面取り加工に用いられるエンドミル（協和精工(株)製 KSV-26010）であり、図 1 に切れ刃形状を示す。2枚刃の超合金製エンドミルであり、コーティングは施していない。切れ刃は、先端角 60°、最大直径 1 mm、最小直径 0.08 mm のテーパ形状になっているが、先端部は平坦である。回転させながら金型表面から深さ方向に移動させることで円錐形状の止まり穴を加工できる。

2.2 被削材

被削材は、プラスチックの成形に用いられる硬さ 40 HRC のプリハードン鋼（大同特殊鋼(株)製 NAK55）である。

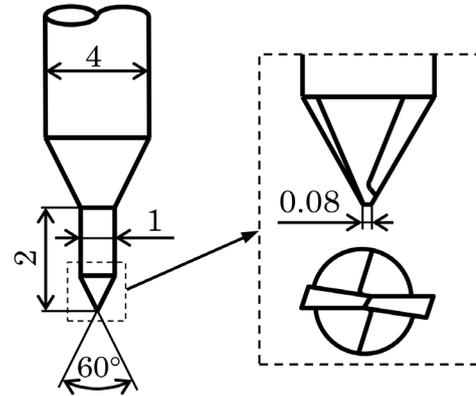


図 1 テーパエンドミルの切れ刃形状

2.3 切削条件

本研究では、送り速度、主軸回転数について検討したものをそれぞれ実験 1、2 とした。実験 1 では、主軸回転数を 10000 min^{-1} で固定し、送り速度を変化させて止まり穴を加工した。表 1 に示した切削条件のもと、切れ刃が欠損するまで加工を続けた。実験 2 では、主軸回転数を 20000~80000 min^{-1} で変化させて 25 穴加工した。なお、1 回転あたりの送り量を 0.5 μm で固定したため、表 2 に示したとおり、送り速度は主軸回転数に合わせて変化している。

表 1 実験 1 の切削条件

主軸回転数(min^{-1})	10000
送り速度(mm/min)	1-5
切込み深さ(mm)	0.2

表 2 実験 2 の切削条件

主軸回転数 (min^{-1})	20000	40000	80000
送り速度(mm/min)	2	4	8
切込み深さ(mm)	0.3		

3 結果と考察

3.1 送り速度が工具摩耗に及ぼす影響

切れ刃が欠損するまでに加工した止まり穴の数と送り速度との関係を図 2 に示す。送り速度 1 mm/min では 100 穴以上加工できているが、送り速度を増加させるにつれて穴の数は減少し

ている。送り速度が 3 mm/min 以上になると、穴数は送り速度 1 mm/min のときの 1/10 よりも少なく、工具寿命が極端に短くなっていることがわかる。先端部が平坦なマイクロドリルを用いた穴あけ加工では、送り速度の低減により工具寿命が延長されていることから¹⁾、小径テーパエンドミルでもマイクロドリルと同様の摩耗傾向を示すと考えられる。以上の結果から、小径テーパエンドミルを用いた止まり穴加工では、送り速度の低減により工具寿命を延長できることが明らかになった。

3.2 主軸回転数が工具摩耗に及ぼす影響

切削加工後の工具摩耗について評価するため、マイクロSCOPEを用いてエンドミル切れ刃を観察した。図3は、切れ刃を逃げ面から観察したものであり、白い点線は加工前の切れ刃稜線を示している。局所的な欠損は確認されず、切れ刃先端から徐々に摩耗が増加していることがわかる。摩耗幅が最大となる箇所は、すべての条件において切れ刃先端から 230~250 μm の位置となり、主軸回転数に関係なく、ほぼ同様の摩耗形態を示していた。

図4は、切削加工後の最大逃げ面摩耗幅を比較したものである。本実験で使用したエンドミルは2枚刃であるため、図では各切れ刃における摩耗幅の合計を比較している。逃げ面摩耗幅は主軸回転数 20000 min⁻¹ のときに最大となり、40000 min⁻¹ まで増加させると約 20 %減少する。さらに、主軸回転数を 80000 min⁻¹ まで増加させた場合、摩耗幅は 20000 min⁻¹ に比べてほぼ半減する。小径ボールエンドミル加工では、主軸回転数の増加により摩耗が減少するが²⁾、小径テーパエンドミル加工でも同様の傾向を示すことが明らかになった。

4 結 論

小径テーパエンドミルを用いた金型用鋼の切削加工実験および摩耗評価を実施した結果、送り速度の低減により加工穴数が増えること、主軸回転数の増加が逃げ面摩耗の低減につながることを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 江頭快, 藤田翔吾, 細野誉章, 砥粒加工学会誌, **52**, 105(2008)
- 2) K. Hamaguchi, H. Shizuka and K. Okuda, Proceedings of Euspen, **2**, 224 (2011)

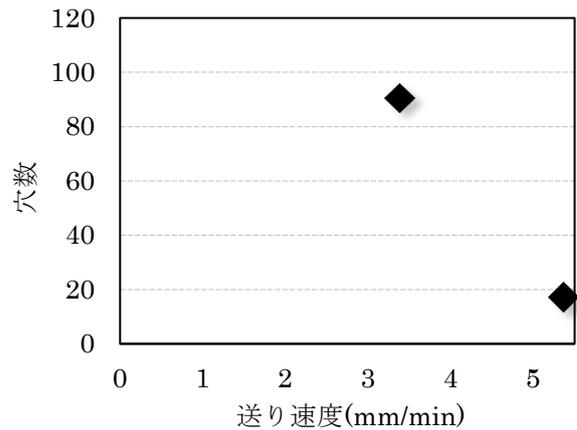


図2 送り速度と加工穴数との関係

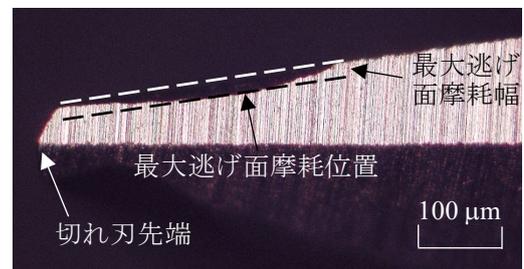


図3 切れ刃における逃げ面摩耗

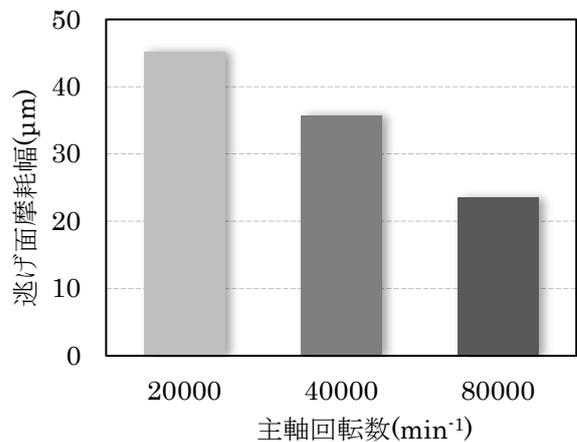


図4 主軸回転数と逃げ面摩耗との関係

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 17K06109 の助成を受けたものである。

(問合せ先 浜口和也)

13 電子デバイス接合用はんだのミニチュア試験片を用いた クリープ疲労寿命評価法の開発

野崎峰男

1 目的

電子デバイスのはんだ接合部のクリープ疲労損傷を評価するため、はんだの試験片を用いた種々のクリープ疲労寿命評価¹⁻³⁾が実施されてきた。しかし実装品のはんだ接合部の寸法は、最大でも数 100 μm であるにもかかわらず、従来のクリープ疲労寿命評価には、標点部の直径が 10mm 程度のバルク試験片を用いたものがほとんどであった。したがって、はんだ接合部の設計に適用するための高精度なクリープ疲労寿命評価結果を得るためには、できるだけはんだ接合部と同等寸法の試験片（ミニチュア試験片）を用いることが必要とされる。

本研究では、Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア試験片のクリープ疲労寿命評価法を検討するため、5 種類のひずみ波形を用いてクリープ疲労試験を実施した。得られた結果および Sn-3.0Ag-0.5Cu バルク試験片のクリープ疲労試験結果の引用⁴⁾から、Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片に対して線形累積損傷則および粒界すべり損傷モデル⁵⁾を用いたクリープ疲労寿命評価を行い、それぞれのクリープ疲労寿命則の Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片への適用性について考察した。

2 実験方法

ミニチュア試験片は、Sn-3.0Ag-0.5Cu の鋳塊から機械加工により図 1 に示す形状および寸法に製作した。クリープ疲労試験は、電気油圧サーボ疲労試験機を使用し、図 2 に示すひずみ波形を用いて温度 313K で実施した。なお、全ひずみ範囲 ($\Delta\epsilon_t$) は、PP 波では 0.5、0.7、1.0、1.5% の 4 レベル、CC、PC、CP、TH 波ではそれぞれ 0.7% とした。また破損繰返し数 (N_f) は、引張側応力振幅が $1/2N_f$ 時のそれから 25% 低下したときの繰返し数として定義した。

3 結果と考察

3.1 線形累積損傷則

線形累積損傷則について Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片への適用性を検討

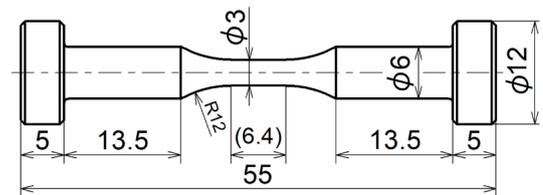


図 1 ミニチュア試験片の形状および寸法 (mm)

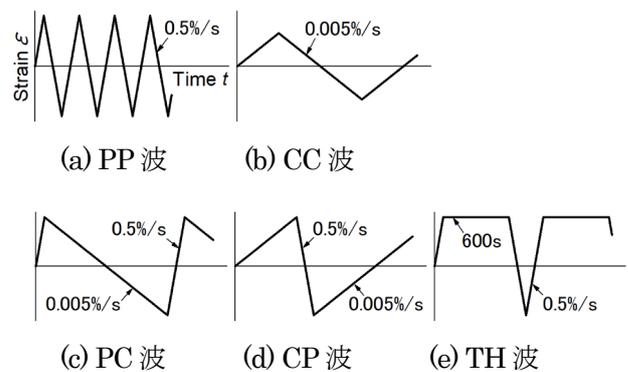


図 2 ひずみ波形

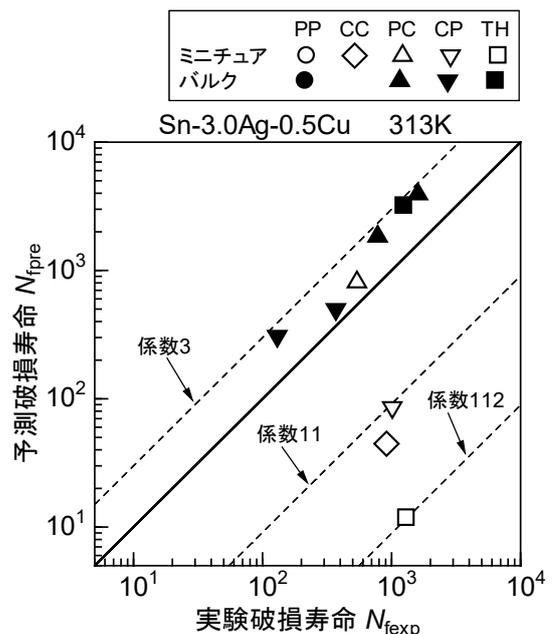


図 3 線形累積損傷則による予測破損寿命と実験破損寿命との比較

した。最初に疲労損傷 Φ_f およびクリープ損傷 Φ_c をそれぞれ次式より求めた。

$$\Phi_f = \sum \frac{N}{N_f}, \quad \Phi_c = \sum \frac{t}{t_r} \quad (1)$$

ここで、 N_f は PP 波の破損繰返し数、 N は CC, PC, CP, TH 波での破損繰返し数であり、 t_r および t はそれぞれ静クリープ破断時間およびクリープ負荷時間である。クリープ損傷は、CC, PC, CP 波では slow 部について、TH 波では引張ひずみ保持部について静クリープ破断線図⁴⁾を用いて評価し、圧縮側のクリープ損傷も引張側と同等の損傷が生じると仮定した。 $\Phi_f + \Phi_c = 1$ のとき試験片は破壊するとして求めた予測破損寿命と実験破損寿命との比較を図 3 に示す。ミニチュア試験片では PC 波で係数 3 の範囲内で危険側、CC, CP, TH 波では係数 11~112 の極端な安全側の評価となり、バルク試験片ではすべての波形で危険側に係数 3 の評価となった。

3.2 粒界すべり損傷モデル

粒界すべり損傷モデルは、クリープを含む任意のひずみ波形により負荷された材料は、各ひずみ波形成分で生じる粒界すべりの量 u_{CC} , u_{PC} , u_{CP} および u_{TH} の和が限界値 u_{CR} に達したとき破壊するという仮定に基づいたモデルである⁵⁾。したがって、同モデルは次式で記述される。

$$\frac{du_{CC}}{dN} + \frac{du_{PC}}{dN} + \frac{du_{CP}}{dN} + \frac{du_{TH}}{dN} = \frac{du_{CR}}{dN} \quad (2)$$

ここで、式 (2) の左辺の各項は、CC, PC, CP, TH 波をそれぞれ単独で負荷した場合の 1 サイクルあたりの損傷 $1/N_{CC}$, $1/N_{PC}$, $1/N_{CP}$, $1/N_{TH}$ に比例するとし、右辺は 1 サイクルあたりの全損傷 $1/N_f$ に比例すると仮定すると、式 (2) は次式となる。

$$\frac{1}{N_{CC}} + \frac{1}{N_{PC}} + \frac{1}{N_{CP}} + \frac{1}{N_{TH}} = \frac{1}{N_f} \quad (3)$$

一方、図 4~6 にそれぞれひずみ速度に対する CC 波と PP 波との破損寿命比の変化、ひずみ速度比に対する PC または CP 波と PP 波との破損寿命比の変化、ひずみ保持時間に対する TH 波と PP 波との破損寿命比の変化を示す。図 4~6 中のそれぞれの式および N_{PP} を表す Coffin-Manson 則の式⁶⁾を式 (3) に用いると、Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュア (式 (4)) およびバルク (式 (5)) 試験片の粒界すべり損傷モデルに基づくクリープ疲労寿命則を得る。

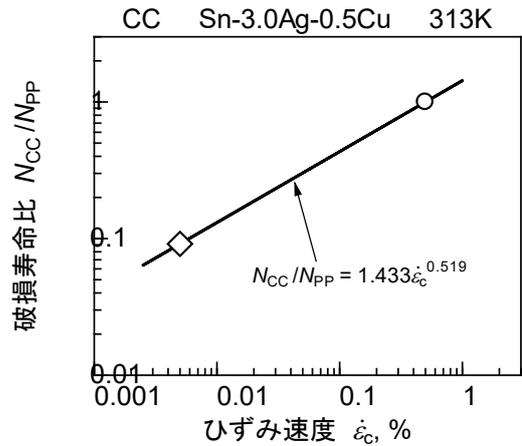


図 4 ひずみ速度と破損寿命比との関係 (凡例は図 3 に同じ)

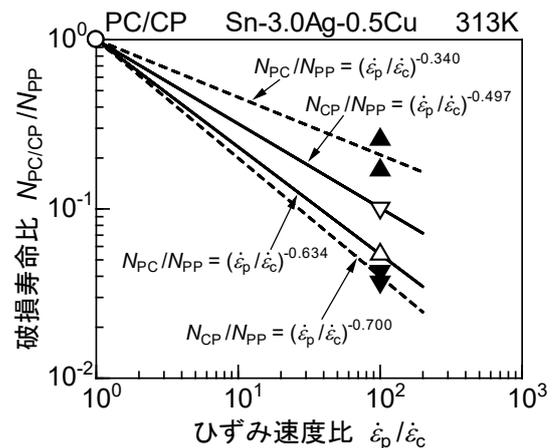


図 5 ひずみ速度比と破損寿命比との関係 (凡例は図 3 に同じ)

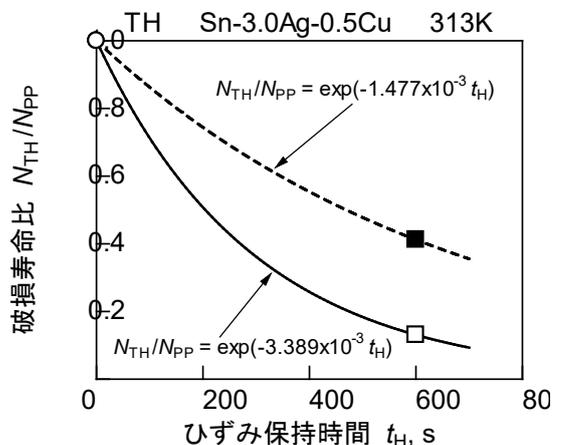


図 6 ひずみ保持時間と破損寿命比との関係 (凡例は図 3 に同じ)

$$N_f = 1.911 \times 10^3 (\Delta \varepsilon_m)^{-2.521} \times \left[0.698 \dot{\varepsilon}_c^{-0.519} + (\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{0.634} + (\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{0.497} + e^{3.389 \times 10^{-3} t_H} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$N_f = 2.639 \times 10^3 (\Delta \varepsilon_m)^{-2.276} \times \left[(\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{0.340} + (\dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_c)^{0.700} + e^{1.477 \times 10^{-3} t_H} \right]^{-1} \quad (5)$$

式 (4) および式 (5) により破損寿命予測を行った結果を図 7 に示す。ミニチュアおよびバルク試験片ともにすべての波形について、係数 2 の範囲で予測破損寿命と実験破損寿命が一致しており、線形累積損傷則と比較して良好な評価結果となった。したがって、粒界すべり損傷モデルは Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片にも適用が可能であることが明らかとなった。

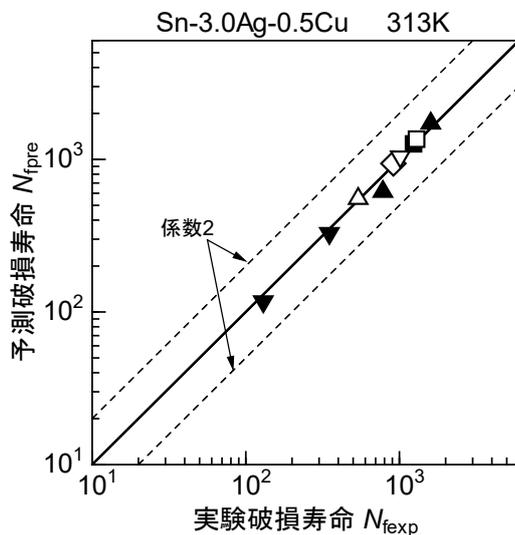


図 7 粒界すべりモデルによる予測破損寿命と実験破損寿命との比較 (凡例は図 3 に同じ)

4 結 論

線形累積損傷則および粒界すべり損傷モデルを用いて Sn-3.0Ag-0.5Cu ミニチュアおよびバルク試験片に対して破損寿命予測を行った結果、線形累積損傷則についてはミニチュア試験片では PC 波で係数 3 の範囲内で危険側、CC、CP、TH 波で係数 11~112 の極端な安全側の評価となり、バルク試験片ではすべての波形で危険側に係数 3 の評価となった。粒界すべり損傷モデルについては両試験片ですべてのひずみ波形で係数 2 の範囲内に整理され良好な破損寿命予測結果となった。

参 考 文 献

- 1) 山本隆栄, 坂根政男, 大南正瑛, 塚田裕, 西村秀夫, 材料, **46**, 969 (1997)
- 2) M.Nozaki, M.Sakane, Y.Tsukada, and H.Nishimura, J. Eng. Mater. Tech., ASME, **128**, 142 (2006)
- 3) S.Zhang, S.Ogawa, and M.Sakane, J. Solid Mech. Mater. Eng., **3**, 507 (2009)
- 4) M.Sakane et al: Factual Database on Tensile, Creep, Low Cycle Fatigue and Creep-fatigue of Lead and Lead-free Solders, Soc. Mater. Sci, Jpn. (2013)
- 5) M.Sakane, T.Shiratsuchi, Y.Tsukada, and H.Nishimura, Proc. 8th Inter. Fat. Cong., FATIGUE 2002, 3117 (2002)
- 6) 兵庫県立工業技術センター研究報告書, **28**, 24 (2019)

(問合せ先 野崎峰男)

14 トポロジー最適化を用いた三木金物（手工具）に対する軽量化設計の可能性調査

吉岡淳也, 平山明宏, 山口 篤

1 目 的

兵庫県の地場産業の一つである三木金物は、三木市の工業生産額の約 30 %を占めており、現在では工具を中心とした製品が開発・生産されている。多くの工具は量産可能な製造方法（鍛造、鋳造、切削加工等）を考慮した形状のため、各社、類似する傾向となり差別化が求められている。

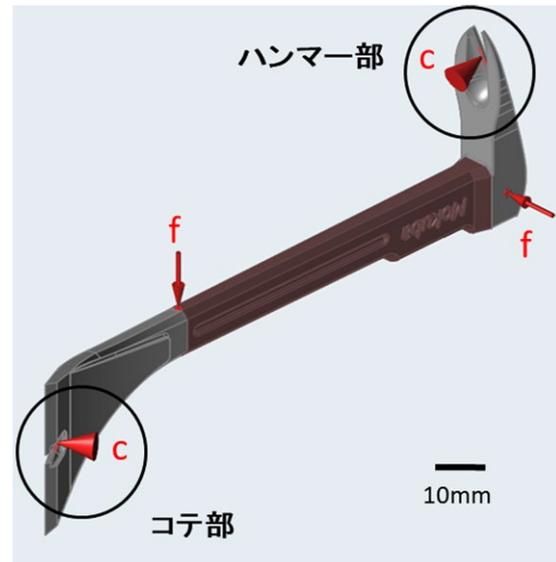
そこで本研究では、形状最適化シミュレーションの一つである「トポロジー最適化」を三木金物の手工具に応用して、現行形状と同等の剛性を確保しつつ軽量化が可能な形状について検討した。また、トポロジー最適化による設計自由度を最大限に活かすため、得られた形状の造形は金属 3D プリンタを用いた。形状最適化品の造形を行うことで、本手法の優位性や造形における課題点について検証した。

2 トポロジー最適化

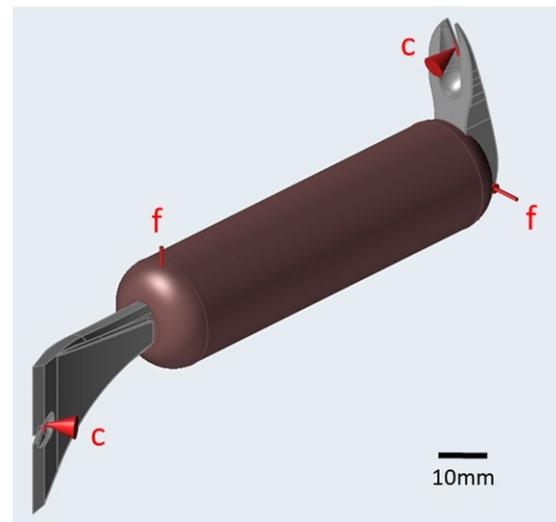
2.1 解析方法

本研究では、Altair 社の形状最適化ソフトウェア HyperWorks を用いて、三徳バール形状に対してトポロジー最適化を行った。トポロジー最適化は、図 1 (a) に示す現行バール形状の中央箇所（濃色部）を設計領域とした条件（以下 Type A）と、図 1 (b) の設計領域を現行形状（図 1 (a) 濃色部）よりも拡大した条件（以下 Type B）においてそれぞれ行った。トポロジー最適化における設計領域とは、想定される荷重に対して最適な有限要素メッシュの配置を行う領域であり、その範囲内でのみ形状の最適化が実施される¹⁾。すなわち、設計領域を拡大した Type B では最適化形状の自由度を増やした条件となる。

本研究では、コテ部とハンマー部のくぎ抜き作業を想定した使用環境下における荷重条件（図中 f の箇所に 98N）および拘束条件（図中 C の箇所に完全拘束）を与え、設計領域内の剛性の最大化（安全係数 2 以上）と質量の最小化を最適化目標として有限要素法（FEM）による解析を行った。材料物性は表 1 に示す金属 3D プリンタ用の粉末材料であるマルエージング鋼（3D Systems 社製）の数値を用いた。



(a) 現行バール形状モデル (Type A)

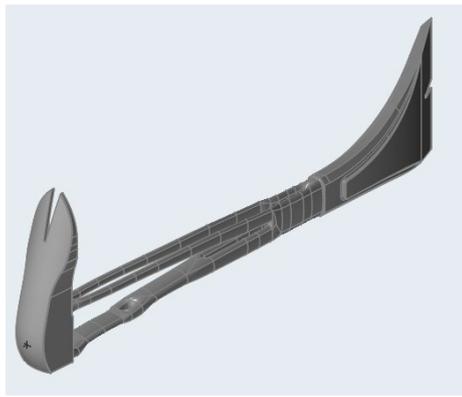


(b) 設計領域拡大化モデル (Type B)

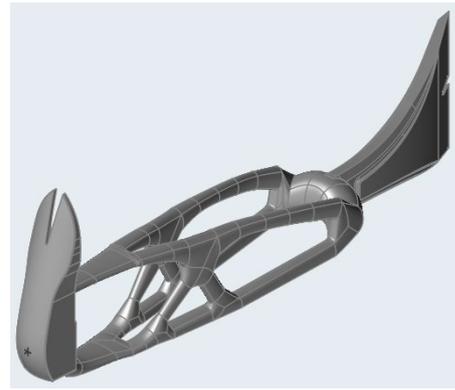
図 1 トポロジー最適化条件

表 1 マルエージング鋼の物性値

ヤング率 (MPa)	160±30
降伏応力 (MPa)	950±60
ポアソン比	0.3
比重 (g/cm ³)	8.06



(a) Type A



(b) Type B

図2 トポロジー最適化結果

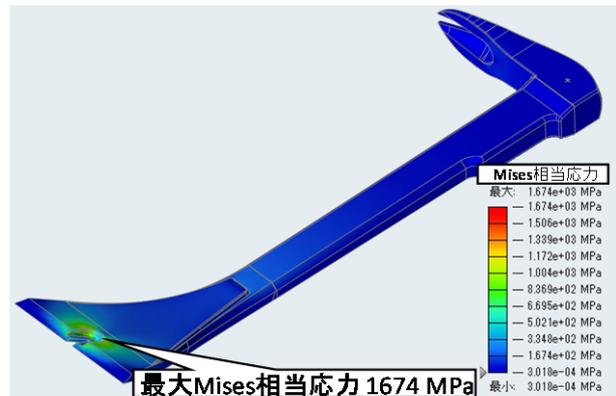
2.2 解析結果

Type A、Type B の条件でトポロジー最適化を行った結果を図2に示す。現行形状の一部を設計領域に指定した Type A の質量は 71.27 g であり、現行形状品の 96.73 g と比べて約 26.4 % 軽量化した。一方、設計領域を拡大した Type B においては、Type A よりも自由度の高い形状が得られていた。ただし、Type B の質量は 104.03 g と約 7.5 % 増加しており、軽量化の効果は認められなかった。

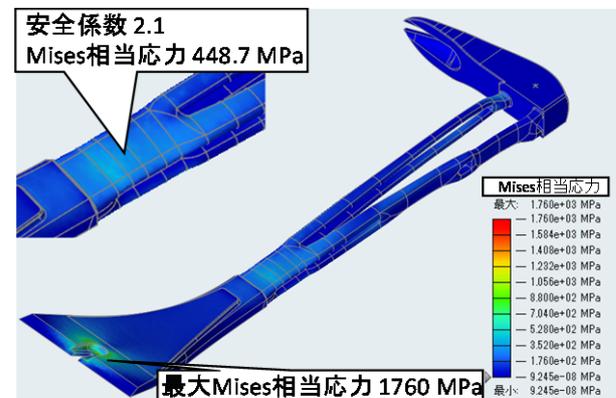
図3(a)～(c)に現行形状品、Type A、Type B の FEM 解析から得られたそれぞれの Mises 相当応力分布を示す。最大 Mises 相当応力は現行形状品、Type A、Type B でそれぞれ 1674 MPa、1760 MPa、1688 MPa であり、3つのモデル間で大きな差は認められなかった。それぞれのモデルで最大 Mises 相当応力が、マルエージング鋼の降伏応力(表1)を超えたのは、図1(a)、(b)中のC点を完全拘束したためである。また、最大 Mises 相当応力が示された場所は3つのモデルで共通しており、コテ部のV溝付近であった。

2.3 考察

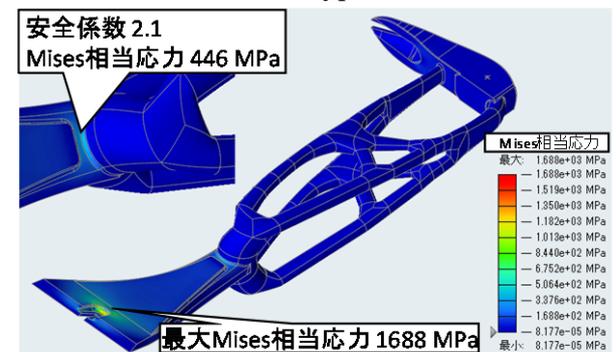
トポロジー最適化を三木金物の手工具(バール形状)に適用することでこれまでの既成概念にとらわれない斬新な形状での軽量化を実現できることが分かった。本研究では、形状の自由度を最大限活かすため、金属3Dプリンタにおける製造を前提にしたトポロジー最適化による検証を行った。三木金物の事業所で行われている鍛造などの従来加工方法を用いる場合、垂直方向や水平方向からのみ肉抜きを行うといった造形制約条件を踏まえた最適化が必要となるため、それらについては今後検討していきたい。また、Type B はより自由度の高い最適化形状と



(a) 現行形状品



(b) Type A



(c) Type B

図3 FEM 解析結果

なっているが、質量は現行形状品の質量よりも増加していた。このため、形状の自由度を重視する反面、軽量化の実現は困難であることがわかった。

本研究では、二つの条件（図 1 (a)、(b)）にて最適化を行った。トポロジー最適化により得られる形状は、最適化条件の違いによって大きく差が現れた。そのため、目標や条件の設定は熟慮する必要がある。

3 金属 3D プリントによる造形

3.1 金属 3D プリントによる造形

実際に金属 3D プリントを用いて Type A の造形を行った。図 4 は造形の際に必要なサポート設定を示している。図中に示す Type A のサポート設定 (a) は、現行形状品のモデル (b) と比べて、最適化に伴う肉抜き部分（図中丸で囲む箇所）の薄肉化により多くのサポートが必要であった。また、造形後におけるこの箇所のサポート除去においては、細心の注意を払って行う必要があった。図 5 に示すように造形後、サポート除去および、ショットブラストによる表面処理を行い、Type A を造形した。

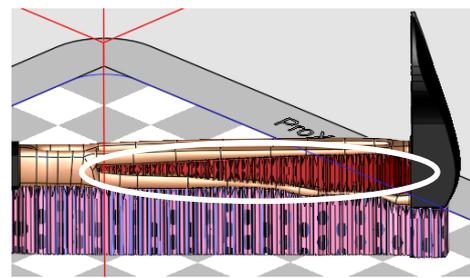
3.2 考察

Type A の造形は成功したが、複雑化および薄肉化した箇所が多く、サポートの設置などの工夫が必要となった。軽量化を進めると、3D プリントを用いても造形難易度が高まることが分かった。金属 3D プリントによる造形を前提とする場合、最適化形状後の材料の太さの設定やオーバーハング（反り）角度といった条件を考慮することで造形難易度を抑えた最適化形状を求める必要があることがわかった。

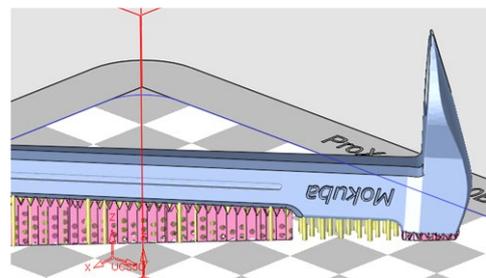
4 結論

本研究では、三木金物の三徳バールに対してトポロジー最適化を試み、トポロジー最適化の手法の確立や実際の製造における課題点の抽出を行った。以下に得られた結果を示す。

- ・トポロジー最適化を三木金物の手工具（バール形状）に適用することで斬新な形状での軽量化を実現できることが分かった。
- ・トポロジー最適化により得られる形状は、最適化条件の違いによって大きく差が現れたため、目標や条件の設定は熟慮する必要があることがわかった。



(a) Type A



(b) 現行形状品

図 4 造形時のサポート設定



図 5 Type A 造形品

- ・トポロジー最適化による軽量化を進めると、3D プリントを用いても造形難易度が高まるため、難易度を抑えた最適化形状を求める必要があることがわかった。

謝 辞

本研究にて使用した三徳バールのモデルデータは、株式会社小山刃物製作所様より提供して頂きました。厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 西脇眞二, 泉井一浩, 菊池昇: 計算力学レクチャーコース トポロジー最適化, 丸善出版, 25-57, 155-156 (2013)
(問合せ先 吉岡淳也)

15 金属粉末レーザー積層造形法により作製したAC8A アルミニウム合金の造形品質改善

平山明宏

1 目的

金属粉末レーザー積層造形法 (Selective Laser Melting : SLM) により作製したアルミニウム造形は、その低比重、高熱伝導性を活かした各種の機械部品への応用が期待されている。筆者は、線膨張係数が低く、耐熱性、耐摩耗性に優れる JIS-AC8A アルミニウム合金 (以降、AC8A 合金) に着目して、高密度な造形体が得られる造形条件を明らかとてきた¹⁾。しかしながら、試料サイズを大きくすると亀裂が発生するなどの課題があった。一般的に SLM は、造形プロセス中に温度勾配が生じて残留応力が発生し、それに起因した亀裂や剥離、反りなどの欠陥が生じることが知られている。そこで本研究では、AC8A 合金の造形サイズと残留応力および亀裂の発生状況について検証を行うとともに、残留応力の低減が期待されるレーザー照射の再熔融の影響についても検証した。

2 実験方法

試料の造形は、平均粒子径約 20 μm の AC8A 合金粉末 (東洋アルミニウム株式会社 製) を用いて、3D Systems 製 ProX DMP200 にて行った。表 1 に主な造形条件を示す。試料の残留応力の測定は、ポータブル型 X 線残留応力測定装置 (パルステック工業(株)製 μ -X360s) を用いた。

表 1 主な造形条件

積層ピッチ (mm)	0.03
レーザー出力 (W)	200,220
走査速度 (mm/s)	800
走査ピッチ (mm)	0.01
雰囲気	Ar gass

3 結果と考察

3.1 造形サイズの影響

図 1 に高密度な AC8A 合金の造形体が得られるレーザー照射条件 (積層ピッチ 0.003 mm、レーザー出力 220 W、走査速度 800 mm/s、走査ピッチ 0.01 mm) にて種々のサイズで造形した試料の残留応力を示す。図中、白丸のプロットは亀裂の無い試料を黒丸のプロットは亀裂が生じた試料を示している。造形サイズが小さい場

合、亀裂は生じないが、2,754 mm^3 (W34×D9×H9) 以上となると亀裂が発生した。残留応力は造形サイズが小さくなるとわずかに低下傾向となるが、AC8A 造形体の引張強度 (約 320 MPa) 以上であり依然として高い引張の残留応力が観察された。

3.2 レーザ再熔融の影響

図 2 に残留応力と再熔融で使用したレーザーのエネルギー密度の割合 (再熔融時のレーザー出力 / レーザ出力 220 W) の関係を示す。レーザーの再熔融は残留応力に大きく影響を及ぼし、約 20% のエネルギー密度 (レーザー出力 40 W) で再熔融を実施した場合、残留応力は最小値を示すことがわかった。再熔融によって、AC8A 造形体の引張強度 (約 320 MPa) 以下の残留応力を示したものの亀裂が認められた。AC8A 合金の場合、液相線-固相線の温度差が大きいことが造形時の亀裂の主因である可能性が考えられる。

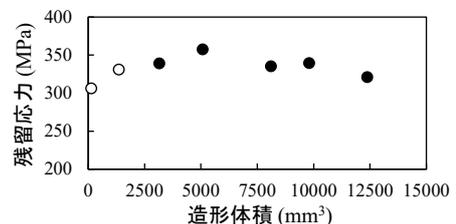


図 1 残留応力と造形体積の関係

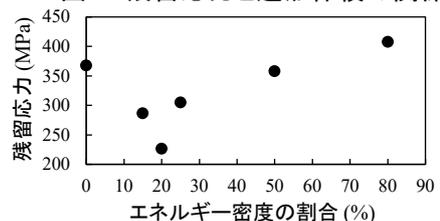


図 2 レーザ再熔融の影響

4 結論

AC8A 合金の造形において、比較的、小さなサイズでも亀裂の発生が見られた。レーザーの再熔融は AC8A 合金の残留応力に大きく影響を及ぼすものの、亀裂の抑制には至らなかった。

参考文献

- 1) 平山明宏, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, **28**, 20 (2019)

(問合せ先 平山明宏)

16 複合センサを利用した屋外環境の三次元モデル化に関する研究

金谷典武, 松本哲也, 中里一茂, 福井 航

1 目 的

屋外環境の三次元モデルは、景観シミュレーションやナビゲーション、複合現実感など様々な分野で利用されている。広域屋外環境のモデルを作成するためには膨大な労力が必要になるため、複数の静止画像から三次元形状を復元する研究^{1),2)}や、レーザレンジファインダによる測定結果を併用し、屋外環境の三次元モデルを生成する研究³⁻⁵⁾が行われている。近年、車両走行環境の三次元モデル生成に関する発展がめざましく、種々の計測システム⁶⁻⁹⁾が開発されている。

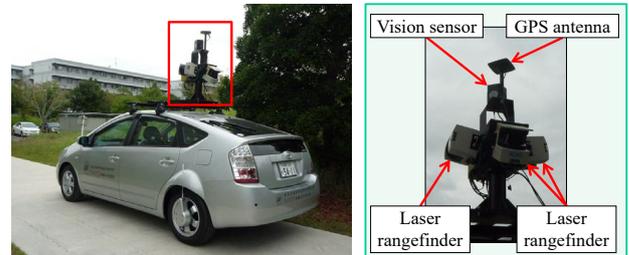
現実環境の測定に基づく三次元モデルの生成は、広域屋外環境の三次元モデルを自動生成する手法として有力であるが、測定時に移動物体が存在した場合、測定データの中に移動物体を測定した点が混在するとともに、移動物体によって隠蔽された静止物体上のデータが欠落することになり、三次元モデル生成の際の妨げになる。屋外環境を異なる時刻において複数回測定することにより、移動物体の影響を低減することができるが、少ない測定回数で三次元モデルを自動生成することができれば、効率的な三次元モデルの生成が可能になる。そこで、我々は、少ない測定回数で三次元モデルを自動生成することを目的に、移動物体を考慮した三次元モデルの生成に関する研究を行った。

本資料では、移動物体を自動検出した後に必要となる欠落した点群データを補間する手法について記述する。具体的には、欠落した点群データの周囲に存在する点群データの距離情報を事例として利用^{10),11)}することにより欠落部分を補間するとともに、ベクトルメディアンフィルタを応用して色情報を補間する手法¹¹⁾について報告する。

2 点群データと画像データの概要

本研究では、TOPCON 社製の車載型 3D 計測システム IP-S2 を利用して三次元形状およびテクスチャ情報（表面の色や質感の情報）の取得を行い、取得した情報から移動物体の検出と除去を行った後、欠落した点群データの補間を行う。

車載型 3D 計測システムの外観を図 1 に示す。



(a) センサ搭載車両 (b) 複合センサ

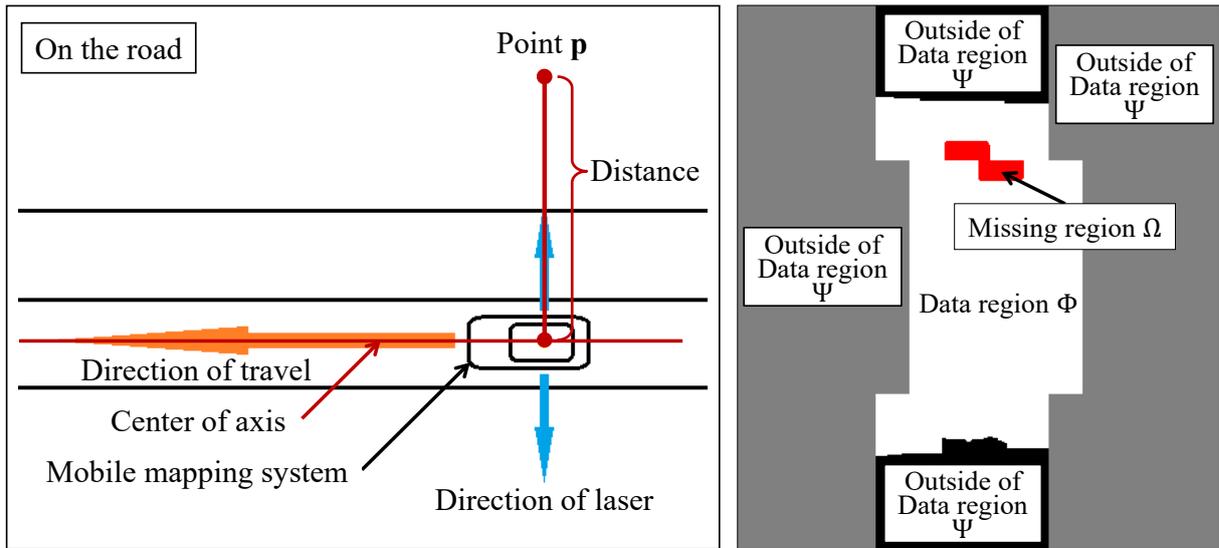
図 1 車載型 3D 計測システムの外観

このシステムには 3 台の一次元レーザレンジファインダと 1 台の全方位カメラ、GPS、ジャイロセンサ、ホイールエンコーダが設置されている。2 台のレンジファインダは、システムの左右両側の距離情報について垂直方向にレーザを走査しながら測定する。残りの 1 台のレンジファインダは、システムの斜め下後方の距離情報について道路を横切る方向にレーザを走査しながら測定する。これにより、周囲環境の三次元点群を取得することができ、形状データとしての利用が可能になる。全方位カメラは、設定された距離間隔または時間間隔によって、全方位画像を取得することができる。この画像データによりテクスチャ情報を取得することができる。レンジファインダと全方位カメラによって取得した点群データと画像データは、GPS、ジャイロセンサ、ホイールエンコーダの測定値によって、位置合わせを行うことも可能である。

3 実験方法

3.1 移動物体上の点の検出と除去

システムから取得した点群データと画像データの位置関係を計算し、点群データの各点を複数枚の全方位画像上に投影する。複数枚の全方位画像上に投影された点の画素値の変化を特徴量として移動物体検出¹²⁾を行う。全方位画像はカラー画像であり、各画素 RGB 8bit のデータが利用可能である。本研究では、RGB の値を、色を表現する方法の一つである HSV モデルの値に変換し、明度および彩度の変化を検出することにより静止物体上の点と移動物体上の点の判定を行う。その後、道路環境の事前知識を利用することによって、移動物体上の点を検出¹²⁾



(a) 測定点と車載型 3D 計測システム
(b) 距離画像
図 2 距離画像の生成

し、それを除去する。

3.2 事例ベースによる修復

移動物体の隠蔽により欠落した点群データを補間するため、距離情報を利用した事例ベースによる点群データの修復を行う。修復した距離情報を基に、欠落した三次元点群の復元を行い、その各点を全方位画像上に投影する。複数の全方位画像に投影された点について、ベクトルメディアンフィルタ¹³⁾を応用することにより復元された点群の色情報を決定する。具体的な方法は以下のとおりである。

3.2.1 距離画像の生成

測定された三次元空間の点について、システムの中心から各測定点までの水平方向の距離を計算し、レンジファインダの測定ラインごとに整列させる。各測定ラインを測定時刻順に整列させることにより、距離画像を生成 (図 2 参照) する。斜め下後方を測定している後方レーザの測定結果を考慮するため、該当するデータ領域の位置を平行移動させることにより、側方レーザと後方レーザの測定結果の整合性を確保する。

レンジファインダの測定結果には、空や測定対象が遠方に存在する等の理由で距離情報が得られなかった領域がある。そこで、距離情報が得られた部分はデータ領域 Φ とし、距離情報が得られなかった部分はデータ領域外 Ψ とする。また、点群データを利用して距離画像を生成するとき、距離画像の左右両端には点群データが存在しない領域が生じる。この領域もデータ領域外 Ψ として区別する。

3.2.2 点群データの距離情報の補間

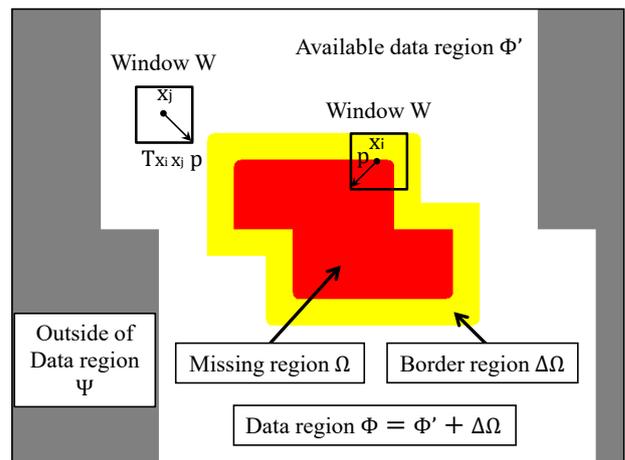


図 3 距離画像上のデータ領域と欠損領域

データ領域 Φ には移動物体上の点も存在するので、移動物体上の点を補間すべき点として区別すると、生成された距離画像の内部に、移動物体により隠蔽された領域が表れる。この領域について、Kawai ら¹⁴⁾が提案した対称性と明度変化および局所性を考慮したエネルギー関数を最小化する手法を用いて、周辺の情報を事例として用いることにより点群データを補間する。

図 3 に示すように、データ領域 Φ を細かく分類し、欠損領域 Ω を囲む境界領域 $\Delta\Omega$ と、領域 $\Delta\Omega$ 以外のデータ領域 Φ' に分ける。領域 $\Delta\Omega$ は、距離画像内において一定サイズの正方ウィンドウ W 内に一部でも Ω が含まれるウィンドウの中心画素の集合である。領域 $\Delta\Omega \cup \Omega$ 内の画像の尤もらしさをデータ領域 Φ' 内の画像パターンを用いて

エネルギー関数として定義する。ただし、データ領域外 Ψ については、データが存在しないので、この計算から除外する。

エネルギー E を、領域 $\Delta\Omega \cup \Omega$ 内の画素 x_i とデータ領域 Φ' 内の画素 x_j 周辺のパターン類似度を用いて以下のように定義する。

$$E = \sum_{x_i \in \Delta\Omega \cup \Omega} w_{x_i} \{SSD(x_i, x_j, T_{x_i x_j}) + \kappa SD(x_i, x_j)\} \quad (1)$$

ここで、 $SSD(x_i, x_j, T_{x_i x_j})$ は画素位置 x_i と x_j との間の明るさと対称性を考慮したパターン類似度を表し、 $SD(x_i, x_j)$ はテクスチャの局所性を考慮したコスト関数を、 w_{x_i} は重みを表す。領域 $\Delta\Omega$ では各画素の真値が既知であるため $w_{x_i}=1$ を、領域 Ω では境界に近いほど画素値の信頼度が高くなるため $w_{x_i}=c^{-d}$ (d は Ω の境界から画素 x_i までの距離、 c は定数)を用いる。 κ は SSD 項と SD 項との相対的な重み係数を表す。

式(1)で定義したエネルギー E を最小化することにより、各画素の補間を行う。具体的なエネルギー最小化の方法として、本研究ではKawaiらの手法¹⁴⁾を利用する。

3.2.3 点群データの色情報の補間

補間した距離画像を基に色情報の補間を行う。まず、点群データの各点が測定された直近の画像を基準フレームとする。距離情報の補間により得られた点群を基準フレームに投影した場合、移動物体上の点に投影される可能性が高い。そのため、基準フレームを含まない基準フレーム前後それぞれ M 枚の画像に各点を投影し、投影点の画素値に対してベクトルメディアンフィルタを適応し、中央値を算出する。つまり、以下の式により画素値 v_{out} を求める。

$$v_{out} = \underset{v \in \{v_{-M}, \dots, v_{-1}, v_1, \dots, v_M\}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{i=-M}^{-1} \|v - v_i\|_2 + \sum_{i=1}^M \|v - v_i\|_2 \right\} \quad (2)$$

静止物体上の点については、基本的には、基準フレーム上の投影点の画素値 v_0 を利用する。ただし、周辺に存在する移動物体の影の映り込みや、点群データの取得周期と動画データ撮影タイミングが異なるために生じる影響で、移動物体上の映像が静止物体上の点群の色情報として投影される場合¹⁰⁾がある。これらの影響を除去するため、移動物体が含まれる基準フレームに属する静止物体上の点に対しては、次式のとおり、 $2M+1$ 個の画素値のベクトルメディアンフィルタの値を各点の画素値 v_{out} とし



図4 全方位画像の測定例

て決定する。

$$v_{out} = \underset{v \in \{v_{-M}, \dots, v_M\}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=-M}^M \|v - v_i\|_2 \quad (3)$$

3.3 三次元モデルの復元

補間した距離画像と色情報を基に移動物体を取り除いた後の三次元モデルを生成する。具体的には、距離画像の各点とシステムの位置関係は既知であるので、その情報から三次元空間の点を復元する。各点の色については、前述の色情報の補間結果を利用する。

4 実験結果

4.1 移動物体上の点の検出

車載型3D計測システムで撮影した全方位画像の例を図4に示す。図4右側の白い自動車が対向車両であり、移動物体である。この画像を撮影した時刻とほぼ同時刻に取得された点群データを図5に示す。図5は、測定した点群データから連続する30000点のデータを抽出し表示している。中央部分の点群が道路を測定した結果であり、道路上に存在する密集した点群が移動物体である。図5の点群に対して移動物体上の点を判定した結果を図6に示す。青色の点が静止物体上の点を表しており、黄色の点が移動物体上の点を表している。

4.2 距離情報と色情報の補間

次に、図6で得られた判定結果に基づき移動物体上の点を取り除き、残りの点群から距離画像を生成する。システムから各測定点までの水平方向の距離を計算し、点群データの取得順に整列させることにより生成した距離画像と、距離情報と色情報を補間した結果を図7に示す。図7(a)は距離画像を示しており、図7(b)は、エネルギー最小化によって図7(a)の距離画像を補間した結果を示している。図7(a)、(b)は、近い点を明るく、遠い点を暗く表示しており、システムの位置(0m)から25mまで距離を0.5mm間隔で、16bitの距離画像として記録している。

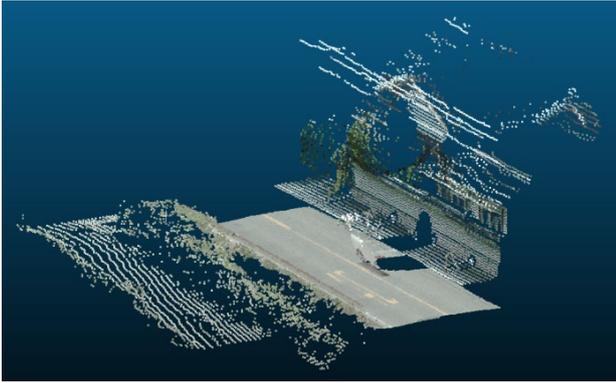


図5 屋外環境（点群データ）の測定例

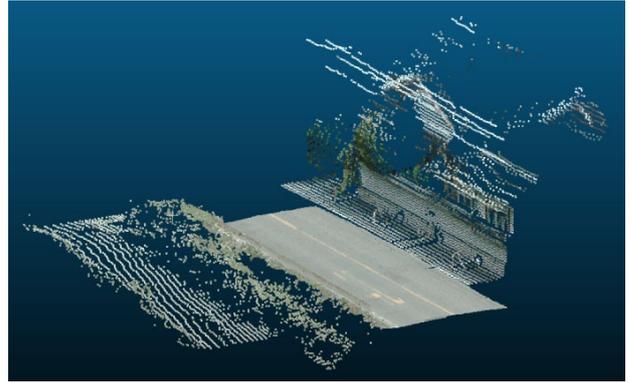


図8 三次元モデルの復元結果（白色自動車）

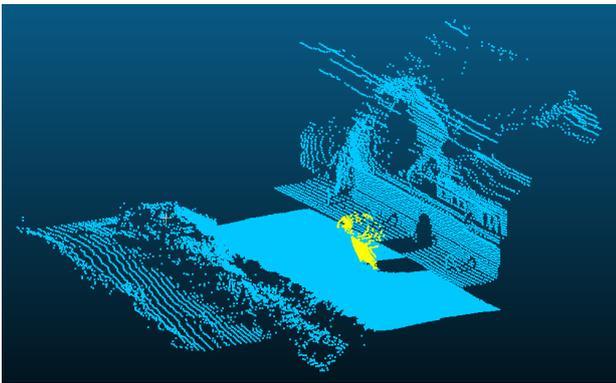
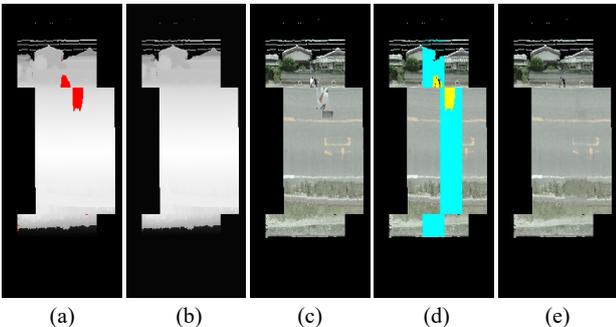


図6 移動物体上の点の検出結果
（黄色：移動物体、青色：静止物体）



(a) 距離画像 (b) 距離画像の補間 (c) 色情報の投影結果 (d) 処理領域 (e) 補間結果
図7 欠損領域の補間

図7(a)の赤色部分は移動物体上の点として判定された点であり、図7(b)ではこの部分が補間されている。

図7(b)の結果を利用して基準フレームに各点を投影し、投影点の画素値を求めた結果を図7(c)に示す。この図では、移動物体の画素の一部と移動物体により生じる影を確認することができる。次に、色情報を補間する領域を図7(d)に示す。黄色部分は移動物体上の点、青色部分は

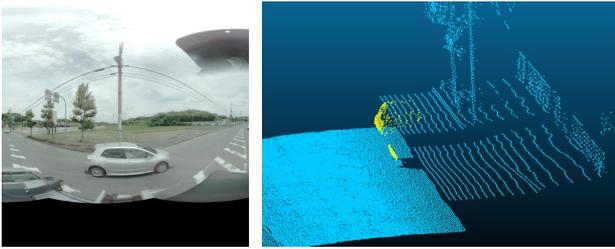
移動物体上の点が含まれる基準フレームに属する静止物体上の点を示している。データ領域のその他の静止物体上の点については基準フレーム上の投影点の画素値を示している。本手法により色情報を補間した結果を図7(e)に示す。図7(c)、(e)を比較することにより、移動物体の存在しない違和感のない補間結果を確認することができる。

図7(b)、(e)の結果を利用して三次元モデルを再構成した結果を図8に示す。この結果から、本手法を利用することにより移動物体を除去した三次元モデルの生成が可能であることが確認できる。

4.3 三次元モデルの生成

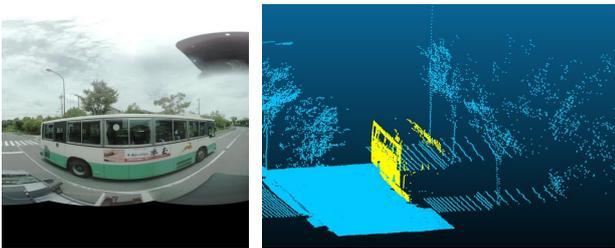
異なる自動車の移動物体に対して、移動物体検出と欠損領域の補間実験を行った。銀色自動車、バスに対する実験結果を図9、図10に示す。各図とも、上段左図は全方位画像の右側（対向車線側）、上段右図は移動物体上の点の検出結果、下段の図は移動物体除去と欠損領域の補間を行い、三次元モデルを生成した結果を表している。上段右図の黄色の点は、移動物体上の点の検出結果である。これらの結果からも、本手法を利用することにより移動物体を考慮した三次元モデルの生成が可能であることを確認できる。

本研究では移動物体の隠蔽により欠落した点群データを距離情報を利用した事例ベースの修復により補間している。本研究の補間方法の有効性を確認するため、本手法による補間と線形補間の結果について比較した。白色自動車、銀色自動車、バスに対する補間の結果を図11、図12、図13に示す。各図において、本手法の補間領域は赤紫色、線形補間の補間領域は緑色で示している。図11については、どちらの手法も現実環境に近い補間結果が得られている。図12、図13の場合、欠損領域の境界線の一方に



(左上：全方位画像の一部、右上：移動物体の検出結果、下：本手法による復元結果)

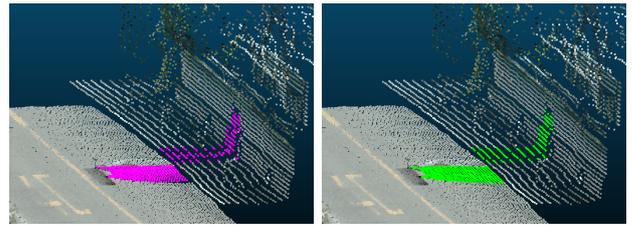
図9 三次元モデルの復元結果（銀色自動車）



(左上：全方位画像の一部、右上：移動物体の検出結果、下：本手法による復元結果)

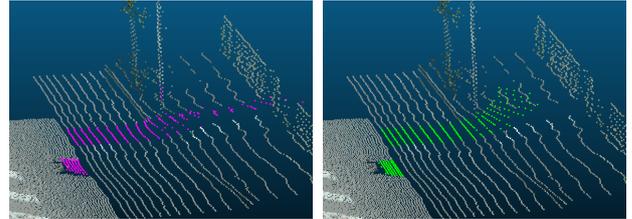
図10 三次元モデルの復元結果（バス）

樹木が存在する。線形補間の場合はこの影響を受け、現実環境と異なる結果になっているが、本手法の場合はこの影響が少なく、現実環境に近い補間結果が得られている。この結果より本



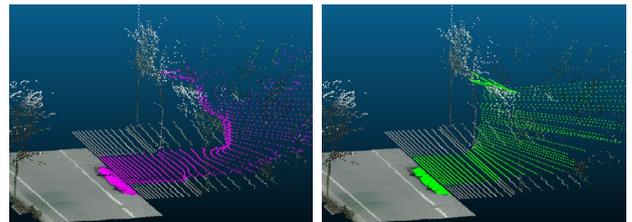
(左：本手法による補間、右：線形補間)

図11 補間の結果（白色自動車）



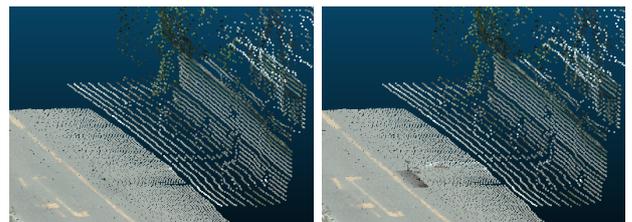
(左：本手法による補間、右：線形補間)

図12 補間の結果（銀色自動車）



(左：本手法による補間、右：線形補間)

図13 補間の結果（バス）



(左：本手法、右：式(3)不使用の結果)

図14 色情報の補間結果（白色自動車）

手法の有効性が確認できる。

本研究における色情報の補間の有効性を確認するため、本研究による補間の結果と式(3)を利用することなく補間した結果について比較した。白色自動車について実験を行った結果を図14に示す。図14の右図では移動物体の一部と移動物体の影が静止物体上の点に残っていることを確認することができる。それと比較して、図14の左図では自然な色補間の結果を確認することができる。

5 結 論

移動物体を考慮した屋外環境の三次元モデルを生成するために、欠落した点群データの周囲に存在する点群データの距離情報を事例として利用するとともに、ベクトルメディアンフィルタを応用し色情報を補間する手法について記述した。本手法により点群データにおける欠損領域の自然な補間が可能であること、また、本手法により移動物体を考慮した三次元モデルの生成が可能であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) S. Agarwal, N. Snavely, I. Simon, S. M. Seitz, and R. Szeliski, Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 72-79 (2009)
- 2) Q. Shan, C. Wu, B. Curless, Y. Furukawa, C. Hernandez, and S. M. Seitz, Proc. Int. Conf. 3D Vision, 525-532 (2014)
- 3) A. Banno, T. Masuda, T. Oishi, and K. Ikeuchi, Int. Journal of Computer Vision, 78 (2-3), 207-222 (2008)
- 4) D. Munoz, N. Vandapel, and M. Hebert, Proc. Int. Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 63-70 (2008)
- 5) C. Mertz, et al, Journal of Field Robotics, 30 (1), 1-27 (2013)
- 6) G. Petrie, GEOInformatics, 13, 32-43 (2010)
- 7) 首藤 真, 情報処理学会研究報告, CVIM-176 (11), 1-2 (2011)
- 8) 瀧口純一, 情報処理学会研究報告, CVIM-176 (20), 1-5 (2011)
- 9) 穴井哲治, 中島力也, 写真測量とリモートセンシング, 49 (2), 56-57 (2010)
- 10) 金谷典武, 河合紀彦, 佐藤智和, 横矢直和, 画像の認識・理解シンポジウム, PS2-59, 1-4 (2016)
- 11) 金谷典武, 河合紀彦, 佐藤智和, 横矢直和, 画像の認識・理解シンポジウム, PS1-43, 1-4 (2017)
- 12) T. Kanatani, H. Kume, T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya, IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, 3 (1), 54-62 (2015)
- 13) J. Astola, P. Haavisto, and Y. Neuvo, Proc. the IEEE, 78 (4), 678-689 (1990)
- 14) N. Kawai and N. Yokoya, Proc. IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition, 2744-2747 (2012)

(問合せ先 金谷典武)

注) 本文中の色に関する詳細については、工業技術センターホームページに掲載するPDFをご確認ください。

17 感性指標に基づいた製品の評価方法に関する研究

松本哲也, 福井 航, 平田一郎

1 目 的

近年、製品やサービスを通して得られる感動などを感性価値と位置づけ、感性価値を創造する取り組みが推進されている¹⁾。そこで本研究は、感性価値の観点から製品評価を行うことを目的に、心理学的手法と統計学的手法を組み合わせた感性の指標化技術について研究した。具体的対象として、県内企業で製造販売されている農作業用長靴を用いた。感性価値がどのような心理要因から構成され、どのような物理要因によってもたらされるかについて分析するため、下記の3つの段階を踏んで実験を行った。最初に、インタビューによって農作業用長靴に関する評価語を収集し、評価グリッド法²⁾によって評価語の絞り込みを行った。次に、収集した評価語間の距離を数値化し、評価語のクラスタリングを行い、代表語の選出を行った。最後に、選出した代表語を用いて農作業用長靴の感性評価を行い、代表語による感性評価の妥当性について検証した。

2 実験方法

2.1 評価語の収集

日頃、農作業をされている被験者 10 名（男性 8 名、女性 2 名、平均年齢 62.9 歳、SD（標準偏差）=9.93）に農作業用長靴を履いてもらい、農作業を想定した状況下で、心に思い浮かんだことについて自由に発話してもらった（図 1）。農作業を想定した作業姿勢として「長靴を履く時」「平地を歩く時」「坂道を歩く時」「しゃがんだ時」等の姿勢になってもらい、感じたことを発話してもらった。発話された評価語に対し、被験者の根源的心理状態に近づけていくための「ラダーアップ」（例：靴底が柔らかいとどうして良いのですか？）、対象の具体的状態を定めていくための「ラダーダウン」（例：履きやすいと感じるのはなぜですか？）を繰り返し行い、被験者が農作業用長靴に対する感情を階層的に把握した。実験に使用した農作業用長靴は「一般的な黒いゴム長靴 a」「足首前部がスポンジ素材の長靴 b」「ふくらはぎ全体がスポンジ素材の長靴 c」の 3 種類を用いた。長靴のサイズは、被験者が普段履いている長靴と同様のサイズのものを用いた。



図 1 インタビューによる評価語の収集

2.2 評価語の絞り込み

インタビューで収集した評価語は「曲げた時の皺の位置が良い」といった具体的なものから、「歩きやすい」といった抽象的なものまで幅広く収集された。これらの中から評価グリッド法により評価語の絞り込みを行った。

2.3 評価語間距離の数値化とクラスタリング

収集した評価語についてアンケート調査し、調査結果をもとにクラスター分析により評価語の絞り込みを行った。まず、被験者 23 名（男性 20 名、女性 3 名、平均年齢 52 歳、SD=10.54）に、各評価語について「評価語 A を評価語 B に代用できるか」という質問について 5 段階評価を行ってもらうことにより、各評価語間の距離を数値化した。この距離データをもとにクラスター分析³⁾による分類を行った。

2.4 代表語の選出とそれを用いた感性評価

各クラスター内の評価語の中から最も重心に近い評価語 1 つと、分かりやすい評価語 1 つをそのクラスターの代表語として選択した。選択した代表語（各 2 語×クラスター数）を用いて感性評価を行った。

感性評価は、評価語収集時と同様の農作業用長靴 3 種類と被験者 10 名で実施した。評価に用いた農作業用長靴と評価語の順番は、被験者ごとにランダムに提示して行った。

3 結果と考察

3.1 評価語の収集と絞り込み

評価グリッド法によりインタビューした結果について、1 名の被験者が 1 種類のサンプル分の結果を図 2 に示す。評価構造マップを 30 個

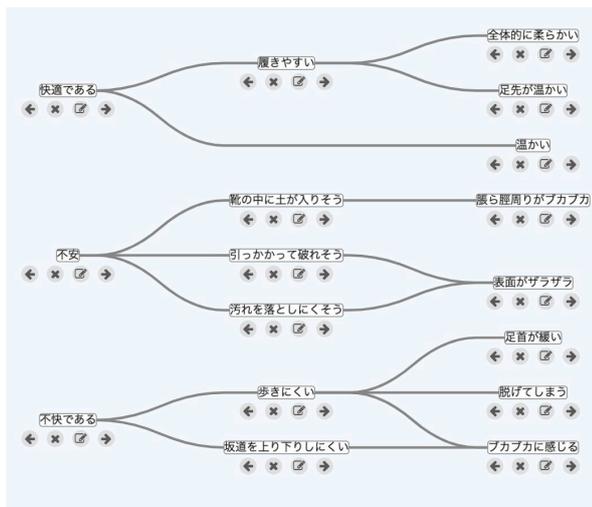


図2 評価グリッド法による評価結果 (被験者1名、1サンプル分)

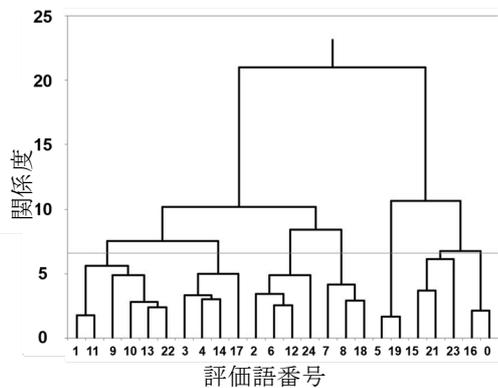


図3 クラスタ分析結果 (樹形図)

(10名×3種類)作成した後、同類の意味の評価語を統合し、発話頻度の高かった評価語を選別し、最終的に24語の評価語を選択した。

3.2 クラスタリングと代表語の選出

選択した24語の評価語間距離の数値化を行い、クラスタ分析を行った。「クラスタ内の評価語が似通った意味を持つこと」、「クラスタ間で意味が異なること」、「クラスタに評価語が2つ以上含まれること」を考慮し、クラスタ数を7と決めた結果、図3に示す樹形図が生成され、各クラスタから下記の代表語を選出した。

1. 上り下りしやすい・斜面で踏ん張りやすい
2. 曲げやすい・しゃがみやすい
3. 全体的にフィット感がある・脱げにくい
4. 温かい・冬に履きたい
5. 歩きやすい・履きやすい
6. 耐久性がある・破れにくそう
7. 地面の感触が伝わる・靴底が柔らかい

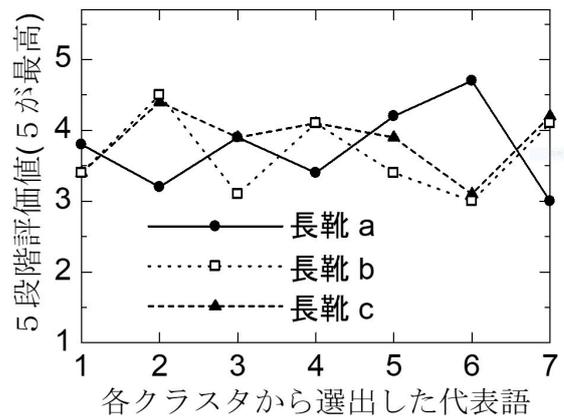


図4 代表語を用いた感性評価結果

3.3 代表語を用いた感性評価

抽出した7つの代表語を用いて被験者による感性評価を行った。その結果、図4に示す結果となった。この結果は、評価語収集時のインタビュー内容と類似した結果となっており、7つの代表語を用いて農作業用長靴の評価が行えることが確認できた。今後、別の農作業用長靴を評価する場合においてもこれらの代表語を用いて感性評価が可能であると考えられる。

4 結論

本稿では、感性価値の観点から製品評価を行うことを目的に、県内企業で製造販売されている農作業用長靴を対象とした実験を行い、感性の指標化について検討した。その結果、農作業用長靴に対してユーザが抱えているイメージを評価語として抽出し、抽出した評価語を用いて感性評価することにより、ユーザニーズに対応した製品開発や製品評価が行えるようになった。

謝辞

今回の実験を進めるにあたり、関西学院大学理工学部人間システム工学科の長田典子教授と杉本匡史特任助教にご指導頂きました。感謝致します。

本研究の一部はJST COI JPMJCE1314の支援によって行われました。

参考文献

- 1) 長田典子, 電子情報通信学会誌, **102**, 873-880 (2019)
- 2) 讚井純一郎, 品質, **33**, 281-288(2003)
- 3) D. Wishart, Biometrics, **25**, 165-170(1969)

(問合せ先 松本哲也)

18 健康モデル化によるスマートインタラクティブサービス

後藤泰徳, 平田一郎

1 目 的

JST未来社会創造事業では、ひとりひとりの生活や未来社会を豊かにして生活者の健康寿命を延ばすことを目的として、生活者に最適な運動・生活処方¹⁾の提供を行う新たなサービスの創出を目的としている²⁾。その方法として、生活者ひとりひとりのデジタルダミー(生活者の分身)をクラウド上に生成し、日常生活中で計測した「生活者の運動情報」とデジタルアバターによる日常の運動シミュレーション結果から最適な運動サービスを提供することを検討している。上記を実現させる方法として、下記3点を計画し、研究した。

1. 身体情報に基づいた生活者のデジタルダミー(分身)をクラウド上に生成する(図1)。
2. 日常生活で計測された「生活者の行動・運動情報」に基づく「デジタルダミーによる運動シミュレーション」を行う。
3. シミュレーション結果に基づいた最適な運動サービス、介助機器などを提案する。

以上のような健康モデル化スマートインタラクティブサービスを実現するために、本研究開発では、1)モデルベースド・サービスモデル、2)サービスインダストリービジネスモデル、3)次世代計測・デジタル身体モデル、4)サービスシステムインタフェース、5)体力診断・健康管理サービスの研究開発およびPOC検証・ビジネス展開の5つの共同研究開発グループと、全体を取りまとめる研究代表者グループを編成して実施した。兵庫県立工業技術センターは4)サービスシステムインタフェースを担当した。本稿では、サービスシステムインタラクション研究チームが中心となり試作した日常行動アプリケーションの概要について報告する。

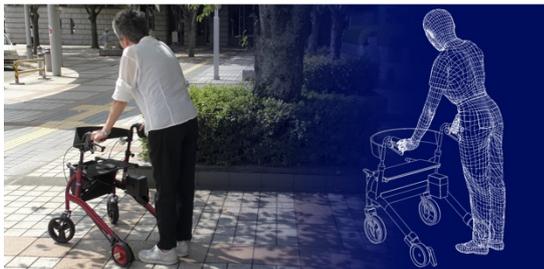


図1 デジタルダミーの生成

2 方 法

アプリケーションを試作するにあたり、日常生活における計測シーンを設定した。勤労者の場合は、会社で年に一回実施される健康診断を受診する際に「体力診断(歩行能力や筋力)」も一緒に実施することを検討した。体力診断することにより、生活者のデジタルダミーに付加させる健康情報を充実させることができ、勤労者に対してきめ細かい健康サービスを提供することが可能となる。同時に、健康診断情報と体力診断情報に基づいた「健康モデルデータベース」を構築することが可能となる。また、勤労者以外の生活者においては「外出時の移動」と「自宅での日常動作」の測定データを収集し、勤労者を中心に構築予定の「健康モデルデータベース」と関連づけた健康シミュレーションを行うことにより、生活者に最適な健康サービスを提供することが可能となると考えた。

以上により、アプリケーションによる計測場面として下記の3シーンを設定した。

1. 会社や自宅での体力診断
2. 外出時の移動
3. 自宅での日常動作

各シーンにおいて、スマートフォンで計測可能なアプリケーションを試作し、それらの実現可能性について検討した。

3 結 果

3.1 歩行能力診断アプリケーション

最初に、会社や自宅で簡単に運動能力(ロコモ度)をチェックするためのスマートフォン用の計測アプリケーションを試作した²⁾。このアプリケーションに用いた歩行機能の診断は、公益社団法人日本整形外科学会が提案している「2ステップテスト」³⁾を参考にした。

勤労者や生活者が会社や家庭で2ステップテストを定期的実施し、測定したデータをクラウド(サーバ)に送信するためのアプリケーション画面を図2に示す。クラウド上では、スマートフォンから送信されたデータをもとに、「あらかじめ生成していた生活者のデジタルダミー」が健康シミュレーションを行い、生活者の日々の歩行機能の変容を解析することを想定している。2ステップテストで計測する歩幅は、

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以降、産総研）が開発した小型の距離センサ⁴⁾を用いて計測する仕様とした。このアプリケーションにより、定期的に会社や自宅で簡単に歩行機能を確認し、構築予定の健康モデルデータベースにデータ蓄積することにより生活者の歩行機能の変化の将来予測をする。



図2 歩行能力診断アプリケーション

3.2 歩行器の設定アプリケーション

歩幅計測アプリケーションで実施した方法と同様に、産総研が開発した小型のセンサを活用して「移動時の姿勢」を計測する方法について検討した。開発コンセプトは「生活者が意識することなく日常の行動を計測できる」とした。そこで、生活者側には計測用の小型センサを取り付けず機器や環境側に設置することにした。通常、環境側に取り付けたセンサから取得したデータだけで人の姿勢や行動を予測するためには「想定される姿勢」と「その時のセンサ情報」をあらかじめ計測し、データベース化しておく必要がある。そこで「人体モデル生成ソフト (Dhaiba Works)⁵⁾を用いてクラウド上で生活者の日常行動を再現し、健康シミュレーションを行う。屋外での移動時の姿勢の計測方法として「歩行器」や「シューズ」「カート」などに小型の「測距センサ」と「IMU (慣性) センサ」を取り付け、姿勢を推定する実験を勧めた。



図3 歩行器の設定アプリケーション

3.3 日常行動計測アプリケーション

家庭内における日常行動の計測方法として、小型センサを家庭内の空間（玄関や階段、手すりなど）や家事道具（掃除機やほうきなど）に取り付けて歩行速度や作業姿勢を推定することを想定し、アプリケーションを試作した。玄関や階段については、歩行姿勢を計測する方法と同様に、距離センサを活用した計測を想定している。別の研究プロジェクトチームでは、複数の距離センサの情報から歩行速度を予測する技術を研究しており、このアプリケーションは計測イメージを共有するためのものである（図4）。



図4 日常行動計測アプリケーション

4 結論

本稿では、デジタルダミーによる健康シミュレーションによる新たなサービスを創出することを目的に、日常行動を計測するためのアプリケーション試作について報告した。今後も小型センサを用いた計測実験によるデータ検証を進め、アプリケーションの運用方法についても検討していきたい。

参考文献

- 1) <https://sakamoto21.wixsite.com/mysitehuman>
- 2) 平田一郎, 後藤泰徳: 最大歩幅計測アプリケーション-デジタルアバターによる健康シミュレーションを目指して-, 第21回日本感性工学会大会, 12P-26 (2018)
- 3) 公益社団法人日本整形外科学会「ロコモティブシンドローム」(2015)
- 4) 多田充徳, 現場における運動計測・介入のための無線センサ・ディスプレイモジュール, SI2018, 計測自動制御学会 (2018)
- 5) 遠藤 維, 多田充徳, 持丸 正明: DhaibaWorks: デジタルヒューマンモデルを利用した人間中心設計支援ソフトウェアシステム (第3報): Dhaibaモデルを利用した人間中心設計支援機能 (デジタルヒューマン), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2013(0), (2013)

(問合せ先 後藤泰徳)

19 デジタルハンドシュミレータを用いたグリップデザインシステム

平田一郎

1 目 的

本研究は、持ち手（グリップ）の形状やサイズをユーザに最適化させるための「グリップデザインシステム」を提案することである。工具などの持ち手は、多様な持ち方や握り方を考慮してデザインする必要がある。また、多様な持ち方を考慮して設計するためには、製品を使用中の「持ち方の動的な変化」を分析することが必要である。そこで本研究は、複数の手のサイズを用いて多様な持ち方や握り方のシミュレーションを行いながら製品設計を行うための設計プロセス構築を目指した。その方法として、デジタルハンドをコンピュータ上に生成させ、生成したデジタルハンドと製品の試作モデル（3D-CAD データ）を用いて製品の把持状況をシミュレーションする方法について検討した。コンピュータ上で把持姿勢を再現し、握りやすさを評価することにより、製品のモデルを試作する前から握りやすさについて検討できると考えた。具体的には下記 3 点について相互に検討を繰り返し行った（図 1）。

- (1) ユーザの手の寸法計測
- (2) ユーザのデジタルハンド作成
- (3) デジタルハンドによる把持姿勢の再現



図 1 本研究で実施した内容

2 ユーザの手の寸法計測

2.1 計測方法の検討

評価に用いるデジタルハンドは、それぞれのユーザの手の寸法データをもとに生成することを想定している。本研究では、これまでの研究で開発した「足寸法計測アプリケーション¹⁾」で用いた計測技術を応用した。この足寸法計測アプリケーションは、ランニングシューズをオーダーメイド設計することを目的に開発したものである。専用の A3 用紙の上に足を置いて

撮影することにより「用紙に描かれたマーカー寸法」と「足の輪郭画像」から足の 2 寸法（足長、足幅）を自動で算出することが可能である。さらに、撮影画像をもとに母指およびカカトの傾きを手動で測定可能である。以上の計測技術を活用し、手の寸法計測方法について検討した。計測箇所についてはデジタルハンドの作成方法を考慮しながら検討した。

2.2 計測用アプリケーションの開発

ユーザの掌をスマートフォンのカメラで撮影し、撮影画像から指の関節寸法を算出するアプリケーションを開発した。寸法の測定方法は、四隅にマーカーを付けた用紙（A4 サイズ）の上に手を乗せて同時に撮影する仕様とした。この方法は、足寸法測定アプリケーションと同様の撮影方法である。足寸法計測アプリケーションでは、撮影画像から足の輪郭を抽出し、マーカーとの対比で寸法算出を行った。足モデルの場合は、シューズとのフィット性を考慮するため「足の表面形状」の再現性が重要であった。それに対し今回の手モデルは「把持姿勢の再現性」が重要であった。そこで、手の表面形状を再現する方法ではなく、指の関節寸法を測定することとした。方法は、足寸法計測アプリケーションの「画像処理による足幅測定」と「手動による母指の傾き測定」で実施した手法を融合した。手動で関節位置を指定すると「指定された関節位置」と「A4 のマーカー寸法」との対比により関節寸法が算出される仕様にした。開発したアプリケーションは、下記の流れで手の関節寸法が測定できるようになっている（図 2）。

1. 撮影する手（左、右）を選択。
2. 画面に表示される「位置合わせガイド」に手を合わせて写真撮影。
3. 画面に表示された「指関節リンク」を手動で動かし、撮影画像の関節位置に合わせる。
4. 関節位置を調整後、寸法データを保存。

上記のアプリケーションで測定した寸法値とノギスで計測した寸法値を比較したところ、指先から指の根元までの誤差は 3mm 以内に収まり、中手骨の誤差が大きく出ることがわかった。指関節リンクの基準となる手首の指定にバラツキが生じてしまうことによる誤差が要因として考えられる。

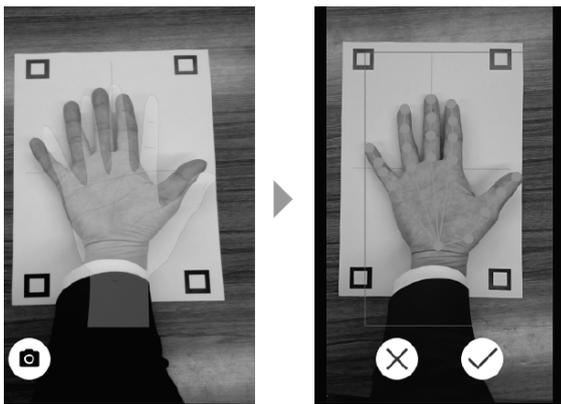


図2 指関節寸法計測アプリケーション

3 ユーザのデジタルハンドの作成

本研究で活用するデジタルハンドとして、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以降、産総研）で開発されたデジタルヒューマンモデルソフトウェア“Dhaiba Works²⁾”で生成されるデジタルハンドを用いた。ユーザのデジタルハンドを生成する方法として、産総研が開発した「少数の計測した寸法から個人別 3 次元足形状モデルの作成に必要なすべての寸法を推定する技術³⁾」を活用し、少数の計測項目からユーザのデジタルハンドを再現する方法について検討した。Dhaiba Works で生成するデジタルハンドは 20 個の指関節のリンク構造で構成されている。そこで、指寸法計測アプリケーションでは指の各関節リンクの長さをユーザの指関節寸法に適合させることにより、ユーザのデジタルハンドを生成する方法を提案した。

4 デジタルハンドによる把持姿勢の再現

デジタルハンドに把持姿勢を同期させる方法について検討し、デジタルハンドによる姿勢シミュレーションを行った。これまでの方法では、試作品の把持姿勢を光学式のモーションキャプチャ（以降、MoCAP）で計測し、計測した姿勢データをデジタルハンドに反映させる必要があった。しかし、上記方法で計測するためには「赤外線反射型マーカーの貼り付け」や「赤外線カメラの位置・角度調整」などに時間がかかった。そこで、従来よりも簡易に計測可能な装置を用いて仮想的に把持姿勢を再現する方法について検討した。把持姿勢を計測する装置として、比較的安価な装置である小型モーションコントローラ：Leap Motion Controller⁴⁾（以降、Leap）を活用した。Leap は 2 個の赤外線カメラと赤外線照射 LED で構成された装置で非常に

コンパクト（W80×D30×H11mm）な上、位置調整も短時間で行うことができるため計測準備が容易であった。

コンピュータに接続した Leap の上に手をかざすことにより、手と指の動きを容易に計測することが可能となった。本研究で開発したシステムにより簡単に把持姿勢のシミュレーションが可能となり、デジタルハンドによる把持姿勢の再現が可能となった⁵⁾（図3）。



図3 Leap を用いた把持姿勢の再現

5 結 論

本稿では、これまで実施してきたグリップデザインシステム構築のための研究内容と成果について報告した。本研究で得られた知見をもとに、圧力分布情報に基づいた把持操作の推定も加えた手法に発展していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 後藤泰徳, 平田一郎, 原野健一, 磯部真志, スマートフォンアプリを活用したユーザ足形状に関する情報収集システム, 日本人間工学会 第57回大会講演集, 440-441(2016)
- 2) 持丸正明, 人間機能の個人差を再現する次世代デジタルヒューマン“Dhaiba”, 計測と制御, 45 巻, 12 号 999-1004, (2006)
- 3) R. Nohara, Y. Endo, A. Murai, H. Takemura, M. Kouchi, M. Tada, “Multiple regression based imputation for individualizing template human model from a small number of measured dimensions”, in Proceedings of the 38th Annual International Conference of the IEEE EMBC, 2188-2193, 2016.
- 4) <https://www.leapmotion.com/>
- 5) 平田一郎, 宮田なつき, 多田充徳, 後藤泰徳, デジタルヒューマン技術の活用による製品の把持姿勢シミュレーション, 日本人間工学会 関西支部大会 講演論文集, 57-58(2017)

（問合せ先 平田一郎）

37 糸むら形状を利用した新規織物の開発に関する研究

佐伯 靖, 東山幸央, 中野恵之, 藤田浩行

1 目的

播州織産地では、綿紡績糸や綿・ポリエステル混紡糸が主として使用される。これら紡績糸の糸むらや毛羽は、一般的に製織におけるたて・よこ筋等の織物欠点の要因となることが多い。近年、むら糸やネップ糸、スラブ（節）糸を利用して独創的な表面外観（スジや粒感）を持つ織物の開発も見られるが、これまで糸むらや毛羽が織物表面に及ぼす影響についての基礎的な検討はなされていない。そこで、本研究では、アレンジワインダー（AW）による糸結び技術を利用して、糸番手の異なる糸を結び、周期的な糸むら形状を持つ糸を作製して、よこ糸として製織することにより新たな外観・風合いを持つ織物の開発を目指した。

2 実験方法

2.1 糸むらAW糸の作製と糸むら試験

アレンジワインダー（㈱片山商店、村田機械㈱、当所による共同開発）を用い、綿双糸太番手（60/2）から中番手（80/2）、細番手（100/2）の色糸3本を0.5mから30mの間で、繋ぐ長さを変化させて糸むらAW糸を作製した。作製した糸むらAW糸は、糸むら試験機（USTER TESTER6、USTER製）により、糸むら変動係数（CV）、細さ：平均単糸番手に対して-50%質量（Thin）、太さ：平均単糸番手に対して+50%質量（Thick）、節状：平均単糸番手に対して+200%質量（Nep）および周期性を評価した。

2.2 糸むらAW糸の製織試験1

作製した糸むらAW糸をよこ糸としてエアージェット織機（津田駒工業製）を用い織物組織4枚朱子1 / 3右上がり、たて糸（綿番手80/2）で製織を行った。

2.3 糸むらAW糸の製織試験2

綿単糸（30/1、40/1、50/1、80/2、100/1）の黒糸4本または5本を50mの長さで繋いで糸むらAW糸を作製した。作製した糸むらAW糸をよこ糸としてAW糸の製織試験1と同様に製織を行った。

3 結果と考察

3.1 糸むらAW糸の作製と糸むら指数

表1に示すように糸むらの周期は1.5mから60mにあり、3本繋いだNo.1～4の平均単糸番手は、40s前後、2本繋いだNo.5は33sとなった。表2のように繋いだ各双糸の糸むら変動係数（CV）は太番手（60/2）で10.5、中番手（80/2）で10.7、細番手（100/2）で11.8に対して糸むらAW糸のCVは2倍～3倍に増加した。また平均単糸番手に対するThin、Thick、Nepの1km当たりの個数も大きく増加した。

表1 糸むらAW糸の周期長さと平均番手

繋ぐ糸種	60/2 赤色	80/2 黄緑	100/2 水色	周期	平均単糸番手
AW糸No.	繋ぐ長さ(m)			(m)	(s)
1	10	20	30	60	43.2
2	5	5	5	15	39.4
3	1	3	5	9	44.7
4	5	0.5	5	10.5	38.0
5	1	0.5	—	1.5	33.1

表2 糸むらAW糸のCV、Thin、Thick、Nep

	糸むら指数	CV (%)	Thin (個/km)	Thick (個/km)	Nep (個/km)
構成糸	60/2	10.5	0	4	10
	80/2	10.7	0	8	9
	100/2	11.8	1	6	22
AW糸No.	1	28.4	225	63	71
	2	28.4	841	219	226
	3	28.9	918	364	369
	4	33.5	1385	308	314
	5	22.6	39	1333	1338

図1から図3に綿双糸太番手（60/2）から中番手（80/2）、細番手（100/2）の質量ダイヤグラム（長さにおける糸の質量比率）、図4～8に糸むらAW糸の質量ダイヤグラムを示した。各綿双糸の質量比率は平均質量の0に対して-30%から50%の間で変動しているが、糸むらAW糸は繋いだ長さで周期的に変動し、結び目において急激に高くなった。図9～11に綿双糸の質量スペクトログラム（一定長さに対する質量

の変動係数)、図12~16に糸むらAW糸の質量スペクトログラムを示した。各綿双糸(60/2、80/2、100/2)の質量スペクトログラムは顕著なピークはなく、一部4~6cmになだらかなピークを示す程度で周期性は低い。一方、表3に示すように糸むらAW糸では糸の繋ぐ長さを一定の割合で増加した場合は合計長、合計長の半分、3分の1の長さにピークが現れる事が明らかになった。また同じ長さで繋いだ場合は合計長、合計長の半分、4分の1の長さにピークが現れる事が明らかになった。糸むらAW糸はこれらの周期毎に太さが大きく変化していることを示している。

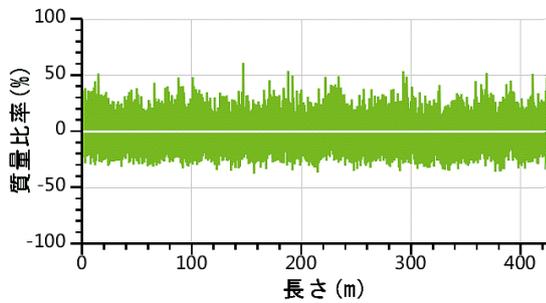


図1 綿双糸 (60/2) の質量ダイアグラム

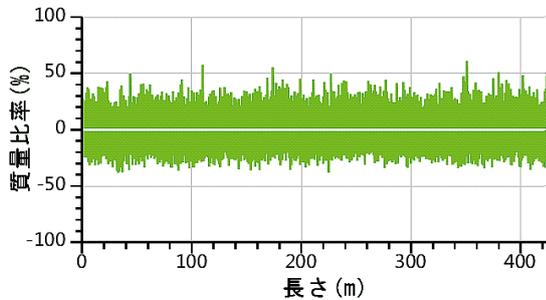


図2 綿双糸 (80/2) の質量ダイアグラム

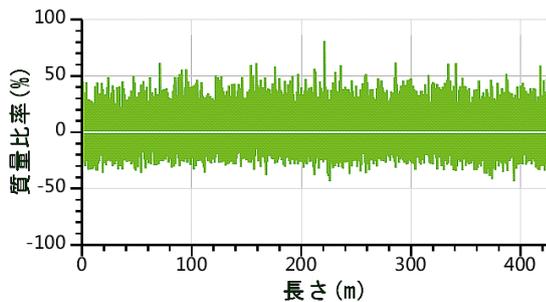


図3 綿双糸 (100/2) の質量ダイアグラム

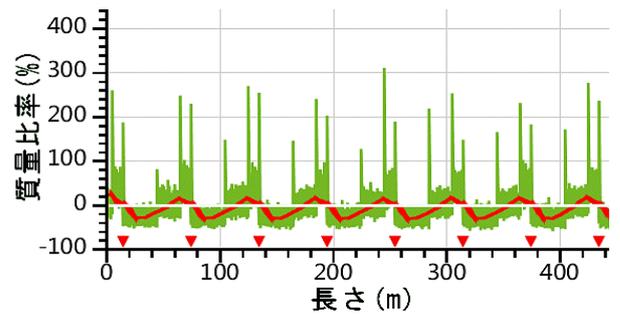


図4 糸むらAW糸No. 1の質量ダイアグラム

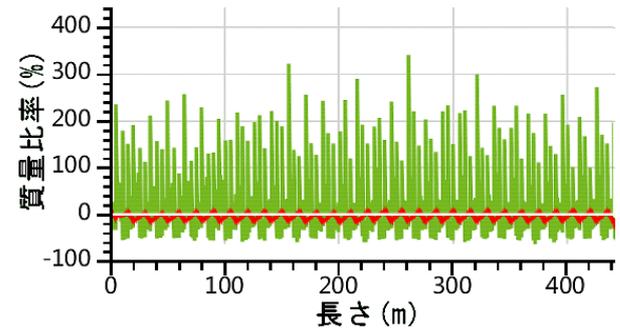


図5 糸むらAW糸No. 2の質量ダイアグラム

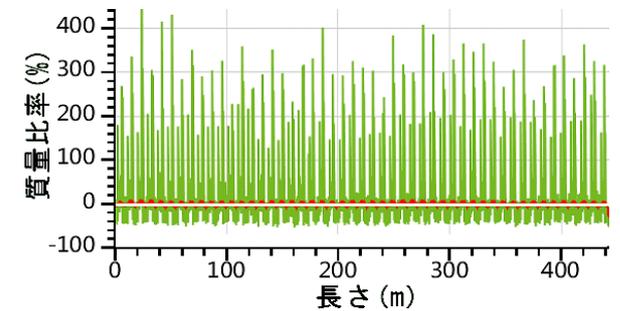


図6 糸むらAW糸No. 3の質量ダイアグラム

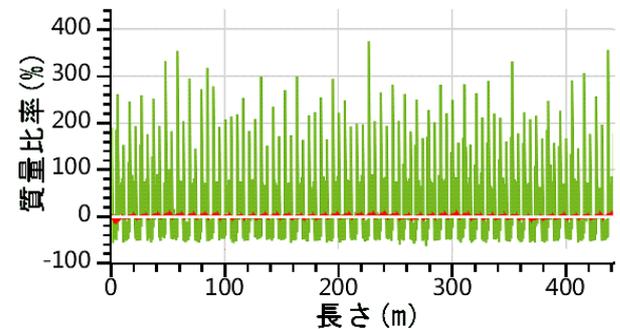


図7 糸むらAW糸No. 4の質量ダイアグラム

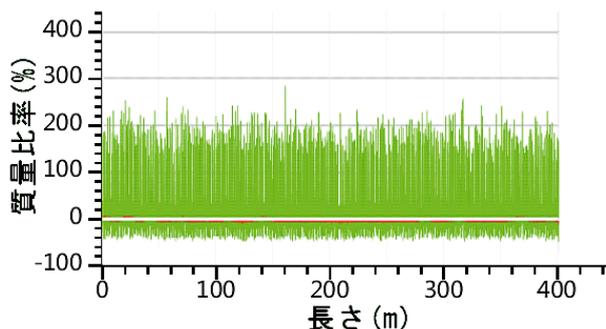


図8 糸むらAW糸No.5の質量ダイヤグラム

糸むらAW糸No.5の場合は、長さ1.5mに2本の結び目ができるため、質量ダイヤグラムには結び目による約200%の質量変動が顕著に現れる結果となった。

表3 糸むらAW糸の質量スペクトログラムピーク

No.	ピークの周期 (m)		
1	60	30	20
2	15	7.5	3.75
3	9	4.5	3
4	10.5	3.5	—
5	1.5	0.75	—

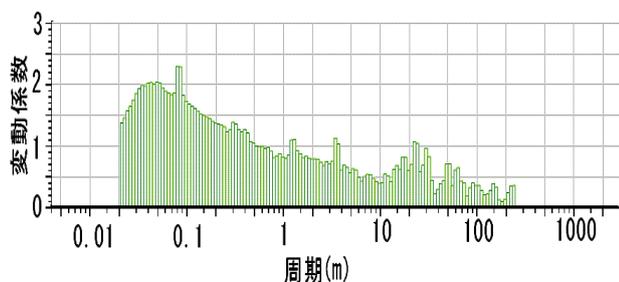


図9 綿双糸 (60/2) の質量スペクトログラム

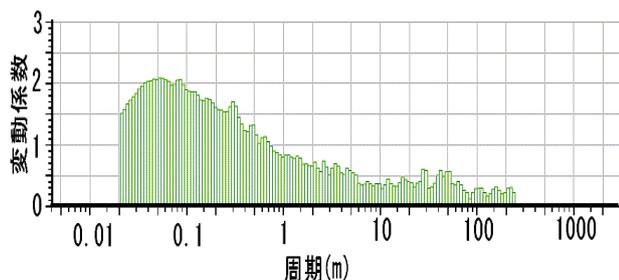


図10 綿双糸 (80/2) の質量スペクトログラム

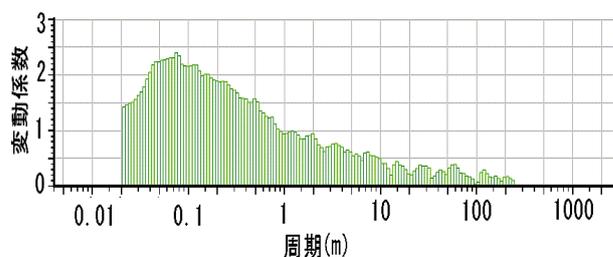


図11 綿双糸 (100/2) の質量スペクトログラム

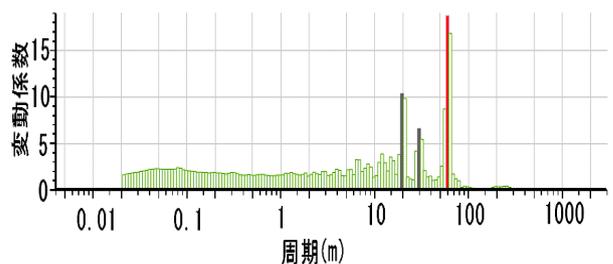


図12 糸むらAW糸No.1の質量スペクトログラム

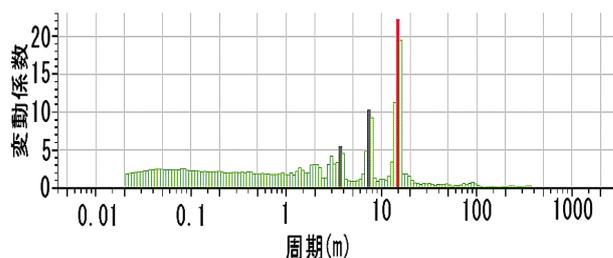


図13 糸むらAW糸No.2の質量スペクトログラム

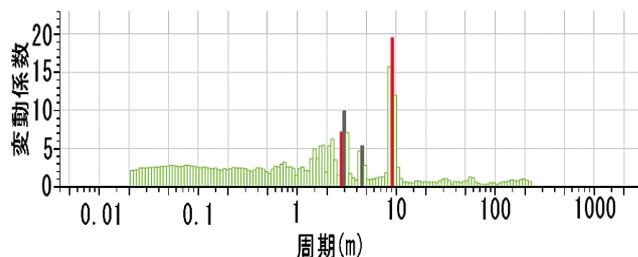


図14 糸むらAW糸No.3の質量スペクトログラム

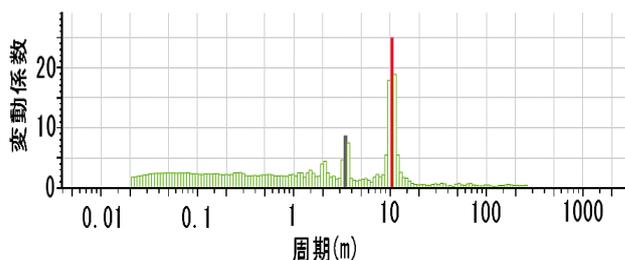


図15 糸むらAW糸No.4の質量スペクトログラム

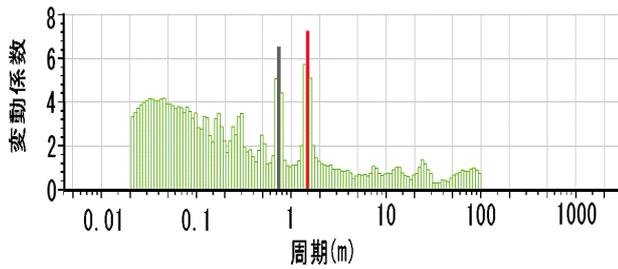


図16 糸むらAW糸No. 5の質量スペクトログラム

3.2 糸むらAW糸の製織1の結果

これらの糸むらAW糸をよこ糸に製織した織物を図17～19に示した。繋ぐ周期が5mを超えると横ストライプとなり、5mより短いと横ストライプが崩れ、結び目が目立つことが明らかになった。

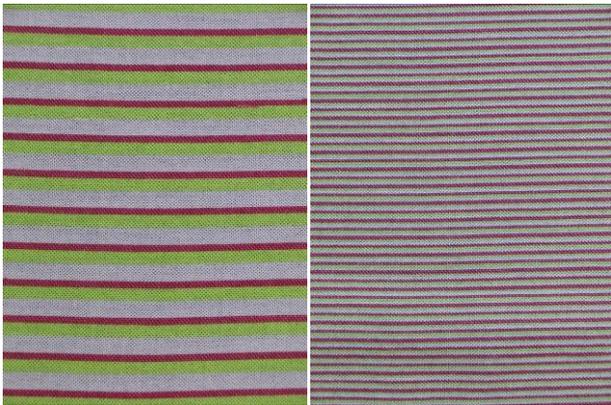


図17 糸むらAW糸No. 1、No. 2の織物表面



図18 糸むらAW糸No. 3、No. 4の織物表面

図19のように特に0.5mの繋ぎ糸の多い場合は横ストライプの崩れが大きく、織物表面に不規則な糸むらを生じた。



図19 糸むらAW糸No. 5の織物表面

3.3 糸むらAW糸の製織2の結果

表4に綿単糸による糸むらAW糸の平均番手を示した。No. 6は57s、No. 7は49sであった。表5に示すように、綿単糸のCVは13～19とばらつきが大きかったため、糸むらAW糸のCVは2倍～3倍に増加したが、平均番手に対するThin、Thick、Nepの1km当たりの個数はあまり増加しなかった。

表4 糸むらAW糸の周期長さと平均番手

単糸番手	30/1	40/1	50/1	80/1	100/1	平均番手
No	繋ぎ長さ (m)					(s)
6	—	50	50	50	50	57.2
7	50	50	50	50	50	48.9

表5 糸むらAW糸のCV、Thin、Thick、Nep

	糸むら指数	CV (%)	Thin (個/km)	Thick (個/km)	Nep (個/km)
構成糸	30/1	13.1	0	35	91
	40/1	19.1	211	557	893
	50/1	16.2	73	158	174
	80/1	14.1	14	57	117
	100/1	17.5	254	304	561
AW糸No.	6	41.0	195	277	291
	7	47.2	166	246	280

図20に糸むらAW糸No. 6、図21に糸むらAW糸No. 7の質量ダイヤグラムを図22と図23にそれぞれの質量スペクトログラムを示した。質量比率は、図4～8と比較すると明らかに変動は小さく-100%から100%の範囲で変化した。質量スペクトログラムには糸の繋いだ長さの合計、合計長の半分の周期ピーク以外に複雑なピーク

が表れた。図24、図25に糸むらAW糸による織物表面を示した。糸むらAW糸No. 6では40/1の横ストライプに、AW糸No. 7では30/1の横ストライプにひだ状の表面変化が見られた。ストライプの幅が広くなることにより、製織時において細糸と隣り合う太糸の曲げ剛性の差のバランスを取るため、表面凹凸が現れたと考えられる。

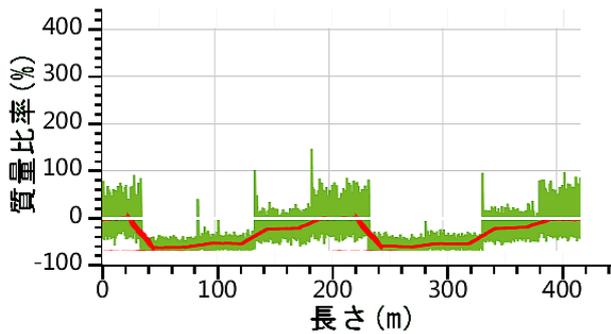


図20 糸むらAW糸No. 6の質量ダイヤグラム

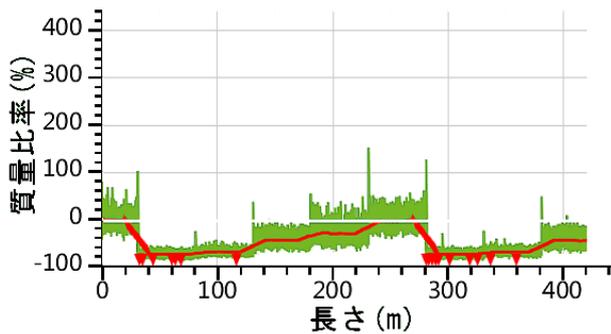


図21 糸むらAW糸No. 7の質量ダイヤグラム

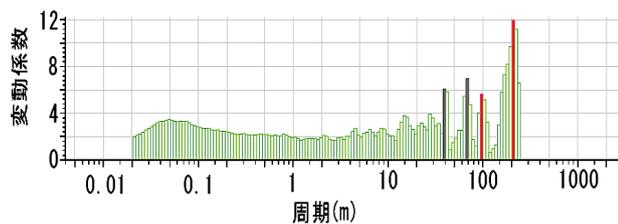


図22 糸むらAW糸No. 6の質量スペクトログラム

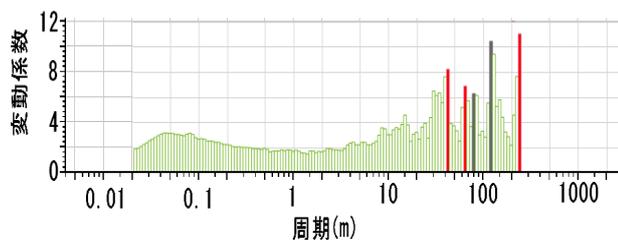


図23 糸むらAW糸No. 7の質量スペクトログラム

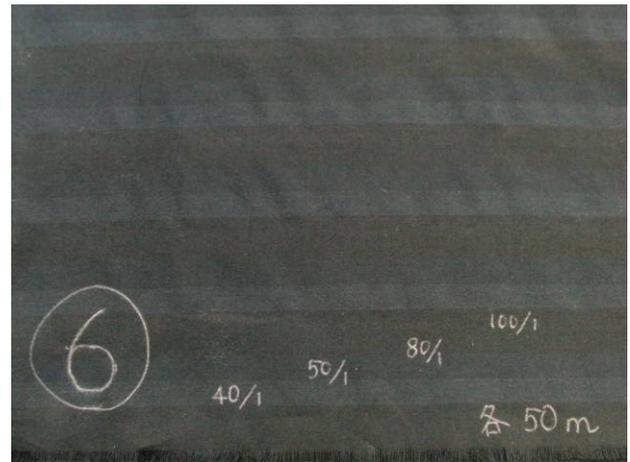


図24 糸むらAW糸No. 6の織物表面

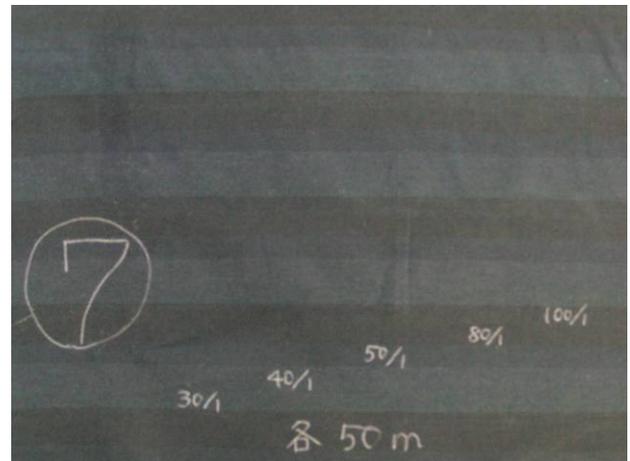


図25 糸むらAW糸No. 7の織物表面

4 結 論

アレンジワインダーにより繫いだ糸について糸むら試験することで、質量変動や周期性の特徴を明らかにすることができた。また、よこ糸として織物を製織した結果、繫ぐ周期が5mを超えると横ストライプ、短いストライプが崩れた柄になる傾向が見られた。繫ぐ周期が50m以上だとストライプの幅が広くなり、最も細糸と隣り合う太糸のストライプには、ひだ状の表面変化が生じる織物が得られた。

(問合せ先 東山幸央)

21 複雑形状へ成形可能な炭素繊維複合糸からなるテキスタイル材料の開発

藤田浩行

1 目的

熱可塑性炭素繊維強化複合材料の成形においては複雑な形状かつ立体形状へ適用可能な中間基材の開発がある。本研究は炭素繊維複合糸から上記織物の開発を目的とした。炭素繊維はほとんど伸びないため、織物のせん断や曲げ変形により一定範囲内で立体形状に沿うことが可能と考えられる。そこで、炭素繊維複合糸から試作した織物について、柔軟性に関する評価方法を検討し、織組織との関連性を明らかにした。

2 実験方法

炭素繊維とナイロン6 繊維からなる複合糸(表1)を用いて、表2に示す5種類の織物をレピア織機で試織した。織密度は、たて糸・よこ糸方向共、12本/インチである。組織図は、たて糸とよこ糸の浮き沈みを示した図で、たて糸が上にある箇所を黒く塗りつぶしてある。

表1 炭素繊維とナイロン6繊維からなる複合糸

炭素繊維	ナイロン6 繊維		CF含有率
	巻縫糸	引揃糸	
3K	315D	315D-3本	38.8wt%

表2 試織織物の組織図

平織	2/2綾織	2/2ロイヤルOX	5枚朱子	8枚朱子

織物のせん断や曲げ変形など構造的な変形は柔軟性と大きな関係がある。本研究では、柔軟性つまり剛軟度の評価方法の一つであるカンチレバーによる手法を定量化の評価方法として活用した。一定の高さ(37.3mm)の台に置かれた短冊状の織物をゆっくりと水平方向へスライドさせると自重により撓む。その際織物端部が下部水平面へ着地するまでの水平距離で剛軟度を評価した(図1)。測定はレーザー変位計を用いて撓んだ織物の形状を計測することで水平距離を算出した。なお、たて糸方向が短冊状試料の長手方向とした試料3点について測定した。

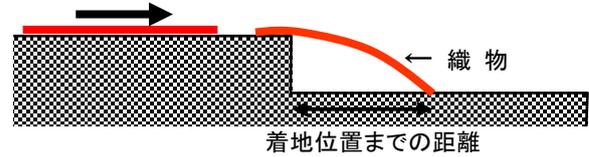


図1 カンチレバーによる剛軟度の評価

3 実験結果と考察

図2は平織について、織物端部が接地した際の形状の代表例である。図3に着地距離と組織の関係を示すが、組織により着地距離が異なっている。織物は、たて糸とよこ糸が交差することで作られるが、糸の浮き沈みの回数が多いほど糸同士の摩擦が大きくなって一般的に堅い織物となる。そこで、たて糸のよこ糸に対して連続した浮き数を算出し、着地距離との関係を求めた。図4に両者の関係を示すが、両者は高い負の相関関係にあることがわかった。

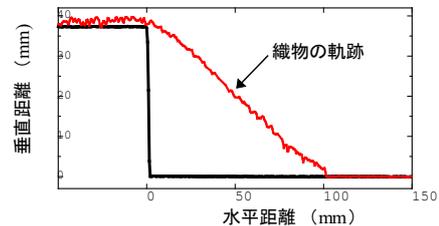


図2 カンチレバーによる織物の軌跡(平織)

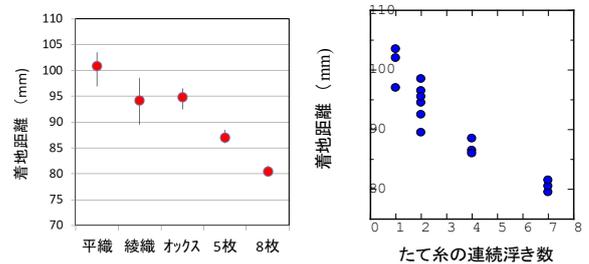


図3 織組織と着地距離 図4 連続浮き数と着地距離

4 結論

炭素繊維複合糸から異なる組織の織物を作製し、それらの変形性をカンチレバーにより評価した。その結果、自重による撓みの軌跡が異なっており着地距離が変化し、糸の連続浮き数と密接な関係にあることがわかった。

(問合せ先 藤田浩行)

22 静電噴霧法を用いた布表面への樹脂加工法の開発

中野恵之

1 目的

静電噴霧法は静電気力を応用した精密なコーティング技術で、噴霧条件によって薄膜や粒状、または微細繊維を製造する技術である(図1)。高分子を溶剤に溶かし高電位をかけたキャピラリー中を移動させ静電噴霧することにより様々な加工ができる。

本研究にて、架橋剤の効果を期待した薄い被膜をデザイン性の高い播州織物の表面に付与させる加工技術を開発した。これにより加工剤使用量の削減や加工処理エネルギーの削減を試みる。平成30年度経常研究において布片面に撥水加工する技術開発(図2)に成功した¹⁾が、摩擦堅牢度試験(図3)の湿潤条件での耐久性がなかった。本年度は加工後の耐久性を向上させることを目的として架橋剤を用いた静電噴霧加工を検討し実用化を目指す。

2 実験方法

2.1 撥水加工布の試作

大原パラジウム化学(株)製の撥水加工剤AF900及び架橋剤PG11を10:1に配合し純水で16倍に希釈して加工剤を調整した。基布は(財)日本規格協会の綿添付白布(かなきん3号)、目付100g/m²を5cm四方にて使用した。ノズル間距離14cm、電圧15kV、ノズル径27Gで15分加工試験した。試験布は直径45mmのアースをとった金属棒に付けて200rpmで回転させた。加工後の試料は105℃で乾燥後に3分間150℃で処理した。

2.2 摩擦堅牢度試験

撥水処理布に対し湿潤した綿白布にて2Nの荷重で100mmの長さを100回往復する摩擦試験を行った。

3 結果と考察

試作した撥水加工布に湿潤摩擦堅牢度試験を行い、表面の炭素に対するフッ素の割合を測定したところ、加工後は24.4%で湿潤摩擦試験後は21.0%であり若干のフッ素割合の低下はあったが撥水性は確認できた。

図4に加工試料布の摩擦試験後の顕微鏡写真を示す。加工試料布と比較して加工後に摩擦した試験布には若干の摩擦されたことによる毛羽

立ちが観察された。この毛羽立ちの影響によってフッ素割合の低下を起こしたと考えられる。

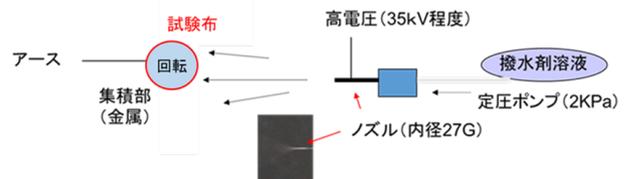


図1 静電噴霧法の概要

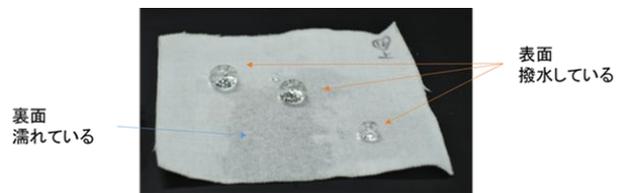


図2 片面撥水处理布



図3 摩擦堅牢度試験の様子

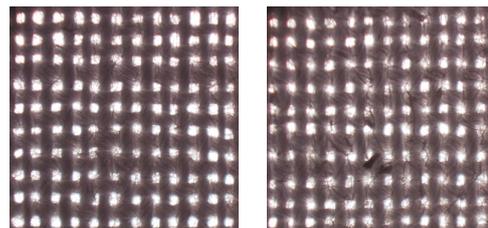


図4 加工試料布(左)および摩擦試験後

4 結論

撥水剤へ架橋剤を配合した静電噴霧法により綿生地表面へ薄い被膜を付与させたところ、耐久性が向上し、湿潤摩擦堅牢度試験においても撥水性を維持することに成功した。

参考文献

- 1) 中野恵之, 繊維学会予稿集, Vol.74, No.2, (秋季研究発表会) 2P16 (2019) .

(問合せ先 中野恵之)

23 空糸の撚り数が織物の柄に及ぼす影響に関する予備調査

東山幸央

1 目 的

平成 30 年度の技術改善研究「アレンジワンダーを用いた空糸の意匠性向上に関する研究」で試織した生地にて、特徴的な幾何学柄のぼやけが見られた（図 1）。

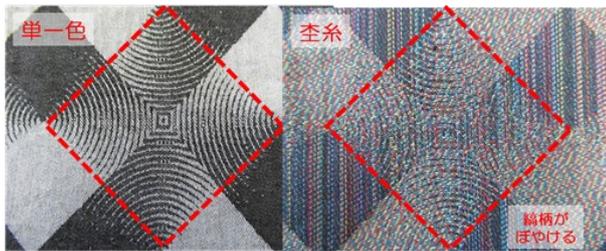


図 1 特徴的な柄のぼやけ（空糸）

図 1 左は経糸が黒色で緯糸が白色であり、菱形点線内の幾何学柄が縞状であるのに対して、図 1 右は経糸がやたら縞、緯糸が空糸であり、菱形点線内の幾何学柄に特徴的なぼやけが見られる。

図 1 の空糸の撚り数は 400T/m であるが、この柄のぼやけが撚り数を変えることでどのように変化するかを確認した。

また図 1 とは異なる立体的な織柄にて、空糸を用いることで、図 1 のような特徴的な柄の変化が見られるか検討した。

2 実験方法

2.1 空糸作成

CF-20 コンビネーション意匠撚糸機（（株）共立機械製作所製）を用いて綿 30 番単糸の赤と緑、および黄と青をそれぞれ合糸し、撚り数が 100T/m、200T/m、300T/m、400T/m の空糸を作製した。

2.2 製織試験

ジャカード開口 ER レピア織機（津田駒工業（株）製）を用い、経糸はやたら縞で密度は 100 本/インチ、緯糸は 2.1 で作製した赤/緑の空糸と黄/青の空糸を交互に、96 本/インチの密度とした。

3 結 果

400T/m および 100T/m の緯糸を用いた図 1 の織柄の生地を図 2 に示す。菱形点線内の幾何学柄のぼやけ方は空糸の撚り数による差はほと

んど見られなかった（200T/m、300T/m も同様）。これに対し、丸形点線内の緯糸のベタ柄部分では、撚り数による空糸目の変化が確認できた。

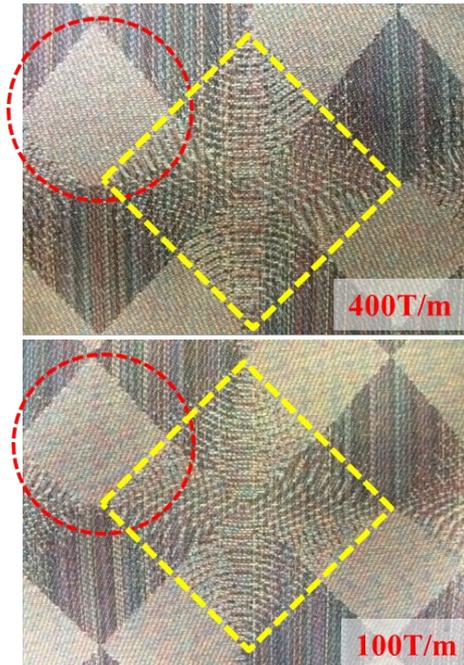


図 2 空糸の撚り数による織柄の変化

織柄を図 1 と異なる錯視を用いた立体柄に変え、空糸による特徴的な柄のぼやけや変化を検討したが、特徴的な差は見られなかった。

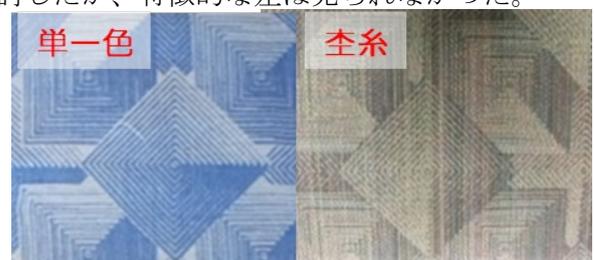


図 3 図 1 と異なる錯視を用いた立体柄で検討

4 結 論

幾何学柄の種類によって、空糸による特徴的な柄のぼやけの発現に違いがあり、発現した場合、空糸の撚り数の影響（100-400T/m の範囲）は殆どないことが明らかとなった。

（問合せ先 東山幸央）

24 新規ジルコニウム鞣剤を用いた鞣しに関する研究

松本 誠, 本田幸司, 西森昭人, 杉本 太, 原田 修

1 目 的

現在、皮革製造業者は輸入革の流入による価格競争にさらされ、かつ排水負荷の削減への対応などが求められている。

最近、TFL 社製ジルコニウム鞣剤「タネスコ CPR」が初めて日本に輸入された。この鞣剤で鞣せば、排水処理施設にクロムが流入しなくなるので汚泥処理負荷が大きく低減できる。また、ノンクロム、ホルムアルデヒドフリーで耐熱性に優れた付加価値の高いエコレザーの製作が可能となる。そこで、小型四連ドラム、ステンレスドラムを用いた試作実験によって、鞣し条件を確立後、皮革製造業者三社において、現場レベルに合わせた試作を行い、実用化を試みた。

2 実験方法

2.1 小型四連ドラムを用いた試作

ピクル処理後の成牛皮を表1の鞣し処方ではタネスコ CPR を用いて、図1に示す小型四連ドラムで鞣した。鞣し後、JIS K 6550に基づいて耐熱性の指標である液中熱収縮温度 (Ts) の測定を行った。

表1 鞣し処方

80%	ピクル液(水、塩、ギ酸、硫酸)	
0.8%	セラタン PA	90分回転
※1	タネスコ CPR	90分回転
		pH : 3.0
	オーバーナイト	翌朝
0.5%	炭酸水素ナトリウム	30分回転
1.0%	炭酸水素ナトリウム	※2回転
		※3
		pH : 5.5
	水洗	
※1	15%、20%、25%、30%	鞣剤使用量
※2	60分、180分	鞣し時間
※3	35°C、40°C、45°C	鞣し温度



図1 小型四連ドラム

2.2 ステンレスドラムを用いた試作

2.1の試作で得られた最適鞣し条件によって、図2に示すステンレスドラムを用いて、半裁革スケールで試作を行った。鞣し革に再鞣と加脂を施し、乾燥させてクラストレザーとした後、JIS K 6550に基づく各種試験を行った。



図2 ステンレスドラム

2.3 皮革製造業者における試作

2.3.1 栴山陽における試作

主に靴用革を製造している(株)山陽が所有する製造工場において、試作を行った。図3のステンレスドラムにピクル後の牛半裁皮を投入し、タネスコ CPR を用いた鞣しを行い、紳士靴用黒革、スポーツ靴用防水白革を試作した。



図3 (株)山陽所有ステンレスドラム

2.3.2 (有)松本皮革製造所における試作

主に靴用革を製造している(有)松本皮革製造所が所有する製造工場において、試作を行った。図4の皮革製造用ドラムにピクル後の牛半裁皮を投入し、鞣しを行い、紳士靴用黒革、ヌメ調靴用革などを試作した。



図4 (有)松本皮革製造所所有皮革製造用ドラム

2.3.3 (株)前實における試作

姫革友禪、靴用革、鞆用革などを製造している(株)前實が所有する製造工場において、試作を行った。図5の木製ドラムにピクル後の牛半

裁皮を投入し、鞣しを行い、紳士靴用黒革、友禪用白革、鞆用革を製造した。



図5 (株)前實所有木製ドラム

3 結果と考察

3.1 小型四連ドラムを用いた試作

試作革の液中熱収縮温度 (T_s) を表2に示す。

表2 試作革の液中熱収縮温度 (T_s)

T_s ($^{\circ}\text{C}$)	鞣剤				
	15%	20%	25%	30%	
	鞣し時間				
	60分	180分	60分	60分	60分
鞣し温度 35 $^{\circ}\text{C}$	81	81	81	83	82
鞣し温度 40 $^{\circ}\text{C}$	79	79	/		
鞣し温度 45 $^{\circ}\text{C}$	83	80			

TFL 社による基本処方においては、鞣剤添加量は 10%であるが、事前試験において T_s が安定しなかったため、鞣剤添加量 15~30%で試作を行った。その結果、添加量を増やしても T_s の顕著な上昇は見られなかったもので、製造コストを考慮して、最適鞣剤添加量を 15%とした。鞣し温度を 35 $^{\circ}\text{C}$ から 45 $^{\circ}\text{C}$ まで、鞣し時間を 60 分から 180 分まで、変化させて試作を行った結果、鞣し温度 45 $^{\circ}\text{C}$ 、鞣し時間 60 分で T_s が 83 $^{\circ}\text{C}$ ともっとも高くなった。以上より、最適鞣し条件は温度を 45 $^{\circ}\text{C}$ 、時間を 60 分とした。

3.2 ステンレスドラムを用いた試作

3.1 で定めた鞣し条件でスケールアップし

て試作した革の各種物性値を表3に示す。また、JIS K 6551 甲革（男子用）の規定値を併せて示す。試作革の Ts は 91°C となり、ノンクロム革では厳しい規定値である 90°C 以上を達成することができた。

表3 試作革の各種物性値および規定値

	試作革 JIS 指定 試料採取 部位	試作革 JIS 指定 腹部	規定値
Ts (°C)	91	91	90 以上
引張強さ (MPa)	18	15	11.77 以上
伸び (%)	52	56	30 以上
引裂強さ (N/mm)	33	43	29.42 以上
銀面割れ 荷重 (N)	267	351	147.1 以上
銀面割れ 高さ (mm)	9.0	9.2	6.0 以上
厚み (mm)	1.2	1.3	—

規定値： JIS K 6551 甲革（男子用）

引張強さ、伸び、引裂強さ、銀面割れ荷重、銀面割れ高さはいずれも規定値を達成しており、良好な物性が得られていることが確認できた。よって、この鞣し処方により、皮革製造業者における試作を行うことにした。

3.3 榊山陽における試作

試作革の Ts は 85°C と良好な結果が得られた。図6に鞣し後の試作革を示す。青色を呈するクロム鞣し革に対して、タネスコ CPR で鞣すと白色の革が得られ、淡色の色合いで染色すると綺麗に発色する。特に白色にする場合、クロム鞣し革よりも良好な色合いが得られた。

紳士靴用黒革にした場合、クロム鞣し革よりも硬い風合いに仕上がった。柔軟性を改善するための再鞣剤、加脂剤などの調合を工夫する必要があると考えられる。スポーツ靴用防水白革にした場合、防水性がクロム鞣し革よりも劣っていた。一般的にノンクロム革はクロム鞣し革よりも防水性が劣っており、防水加脂剤の添加量、添加条件、乾燥条件などを精査していく必要があると考えられる。



図6 鞣し後の試作革

3.4 榊松本皮革製造所における試作

試作革の Ts は 72°C と低い値となったが、冬期で鞣し温度が 30°C 未満になったのが大きな原因だと考えられる。しかし、シェービング工程などで問題はなく、十分な鞣し効果が得られているのを確認した。

クロム鞣し革と同じ再鞣、染色、加脂工程によって紳士靴用黒革を製造した場合、クロム鞣し革よりも硬くなってしまい、柔軟性が改善できるように再鞣、加脂の処方を変更する必要があることがわかった。図7にタネスコ CPR で鞣したヌメ調鞣用革を示す。鞣し後に植物タンニンで再鞣して、ヌメ調に仕上げた鞣用革で、従来のヌメ革よりもスムーズな仕上がりで、新規な風合いの革を製造することができた。メーカーなどユーザーに積極的に PR できる新規な革として商品化が期待できる。



図7 新しい風合いに仕上がったヌメ調鞣用革

3.5 榊前實における試作

Ts は 96°C ともっとも高い値が得られた。榊前實は KYOTO LEATHER(株)と提携し、友禪革を販売している。当該企業の友禪革を製造するには蒸気処理が必要で、耐熱性の低いノンクロム革では処理時に収縮してしまい、クロム革以

外では友禅革を製造できなかった。一方、タネスコ CPR で鞣した試作革は蒸気処理を行っても大きな収縮が見られず、ノンクロム革で初めて、友禅革が製造可能となった。青地のクロム鞣し革では色合いに限界があったが、白地の試作革は、様々な色表現が重要な友禅革において大きなメリットとなる。

試作革を展示会に出展した。第 101 回東京レザーフェアにおける展示を図 8 に、KYOTO LEATHER MEETING TOKYO 2020 における展示を図 9 に、LENEAPELLE NEWYORK 2020 における展示を図 10 に示す。試作革(図 11)はどの展示会においても好評であり、多くの来場者から問い合わせがあった。



8 第 101 回東京レザーフェア



図 10 LENEAPELLE NEWYORK 2020

試作革を様々な皮革製品製造業者に評価を受けた結果、日本エコレザー基準を取得すれば、鞣用革として採用されることが決まった。そこで、試作革を元に当センターが技術指導を行い、鞣用エコレザーを製造したことで、2020 年 3 月に(株)前實はソフトスムーズ 黒、ネイビー、ニューホワイト(190033、190034、190035)という名称で日本エコレザー基準の認定を取得し、鞣用革として採用された。



図 9 KYOTO LEATHER MEETING TOKYO 2020



図 11 試作した鞣

4 結 論

皮革製造業者三社において、新しいジルコニウム鞣剤であるタネスコ CPR を用いた試作革が作製できた。ただし、クロム鞣し革よりも硬く仕上がる傾向があり、再鞣剤、加脂剤で調整する必要があることがわかった。(株)前實においては現在、タネスコ CPR を用いた鞣用エコレザーの生産を進めており、実用化することができた。これらの成果を生かして、令和 2 年度では NPO 法人日本皮革技術協会との共同研究に取り組む予定であり、県下皮革製造業者への技術普及につとめていく。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、試作していただいた(株)山陽、(有)松本皮革製造所、(株)前實、KYOTO Leather (株)、また、技術情報を提供していただいた(株)IdeE の嶋田裕亮様に深く感謝いたします。

(問合せ先 松本 誠)

25 紡糸コラーゲン繊維により試作した製品の耐久性に関する研究

原田 修

1 目 的

これまでの研究で、エアギャップ紡糸法により高濃度可溶化コラーゲンを紡糸するとコラーゲン分子が高度に配向した再生コラーゲン繊維ができることが分かった。再生コラーゲン繊維を衣料に利用する場合、日常の使用に耐えられなければ実用化することはできない。そこで本研究では、再生コラーゲン繊維から小片の編地試料を作り、これらに対し耐久性試験の一つである洗濯試験、およびアイロン試験を行った。

2 実験方法

2.1 編地試料の作製

再生コラーゲン繊維をホルムアルデヒド (H)、グルタルアルデヒド (G)、クロム (Cr)、合成タンニン (S) で架橋し、水洗後真空乾燥した。架橋した再生コラーゲン繊維をカード機、撚糸機および手編み機で処理して試料 (約 23×160mm) を作製した。

2.2 洗濯試験およびアイロン試験

家庭洗濯機法 (JIS L 1930) に準じて、家庭用洗濯機にて洗い 5 分、すすぎ 5 分、脱水を行い、その後自然乾燥した。寸法変化率は (処理後の長さ－処理前の長さ) / (処理前の長さ) により算出した。同じ試料で計 4 回の洗濯試験を行った。アイロン試験では、織物及び編み物のアイロン寸法変化率試験法 (JIS L 1057) に準じて、所定温度でドライおよびスチームアイロンをかけて同様に寸法の変化を観察した。

3 結果と考察

3.1 洗濯試験

洗濯試験の結果を図 1 に示す。図から分かるように、コントロールの綿を含め全体的に縮む傾向であった。特にアルデヒド系が顕著で 16～25%縮んでいた。S と Cr は綿と同等で、つまり市販繊維と変わらない。ただ、1 回目の洗濯で縮んだ後の 2～4 回の洗濯ではほとんど縮みがないため、通常行われている通り製品を作る上で縮みを想定して縫製すれば問題ないと考えられる。

3.2 アイロン試験

洗濯試験と同様の生地についてアイロンのドライ、およびスチーム試験を行った結果を表 1

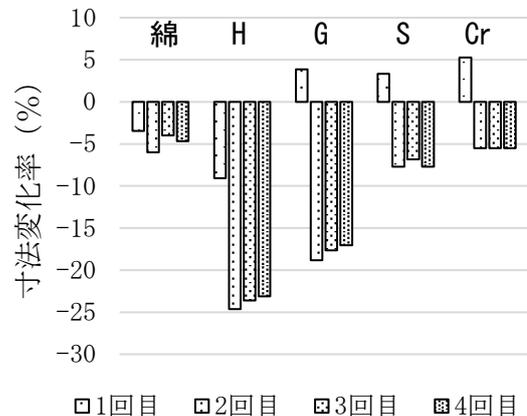


図 1 洗濯試験による寸法変化率

に示す。ドライ試験ではいずれの試料、温度で寸法変化はなかった。一方、スチーム試験では比較的低温のスチーム温度である 150℃でも瞬間的に縮んでしまった。皮革と同様に架橋した再生コラーゲン繊維でも、乾燥状態での加熱には強いが湿潤状態では弱く、アイロンがけはドライに限られることが分かった。

表 1 アイロン試験による寸法変化

○：変化なし ×：縮みあり

ドライ試験

	綿	H	G	S	Cr
100℃	○	○	○	○	○
150℃	○	○	○	○	○
190℃	○	○	○	○	○

スチーム試験

	綿	H	G	S	Cr
150℃	○	×	×	×	×

4 結 論

洗濯試験ではある程度の縮みが生じたが寸法変化率を考慮して製品を作れば問題ないと考えられる。また、アイロン試験ではドライアイロンで縮みは生じなかった。

(問合せ先 原田 修)

26 県産原料を利用する機能性建材の開発

泉 宏和

研究背景

県内で産出する「竜山石」は、比較的軟質で加工しやすいため、古代から石棺などに利用され、現在でも建築・造園用の石材として利用されている。竜山石は凝灰岩であり、微細な空孔を有していることから良好な吸放湿性を示すことが知られており、これまで、石材としてのほか、屋内用塗り壁材としての利用も行われてきた。本研究では、竜山石の加工時に出る加工粉を有効活用し、吸放湿特性を損なわない固化方法を採用することによって、調湿機能を有する屋内壁材として利用することが可能なタイル状固化体の形成について検討した。

研究成果

竜山石粉末に水酸化カルシウムまたは炭酸カルシウム粉末を混合したものに、けい酸ナトリウム水溶液を加えてよく練り、ステンレス製バットに広げて成形、乾燥後、150℃の熱処理を行うことで、試料を得た。

いずれの試料も耐水性に優れており、3点曲げ試験により求めた曲げ強度は、一般的な材齢4週のモルタルに匹敵する 10Nmm^{-2} 以上であった。また、いずれも大きな吸湿量を示したが、放湿量は十分大きくはなかった(表1)。これは、水酸化ナトリウムあるいは無水炭酸ナトリウムといった高い吸湿性を有する副生成物が生成しているためと考えられることから、これらの副生成物を生じさせない工夫が必要と考えられる。

表1 吸放湿性試験の結果

添加物	吸湿量 (g/m^2)	放湿量 (g/m^2)	蓄湿量 (%)
水酸化カルシウム	+58.7	-32.2	45.1
炭酸カルシウム	+23.0	-6.2	73.0

27 スパッタリング法による貴金属ナノ粒子のコア・シェル化の検討

福住正文

研究背景

単体では Pt が最も触媒活性が高いが、Pd をコア、Pt をシェルとすることで、Pt 単体よりも活性は高くなることが知られている。これは Pt 合金触媒最表面に数原子層の Pt 濃縮層がある場合に下地の電子状態の影響を受けて高い活性を示すことが考えられる。

本検討では、スパッタリング装置を用いて貴金属系ナノ粒子をコア・シェル化させる条件について調べる。具体的には、コアとなる原子として Pd を選択し、シェルに Pt モノレイヤーを形成するスパッタリング条件を調べる。

研究成果

高周波出力 25W、基板加熱を 550℃で Si 基板上に Pt をスパッタリングし、SEM 観察から形状を確認した。スパッタ時間を 15 秒とした場合、Pt が 5-7nm 程度の粒子状に形成していた。

図1にコア原子への Pt ナノ粒子担持状態の FE-SEM 写真を示す。コア原子を 25W で 30 秒、室温にてスパッタし 800℃で 1 時間熱処理した結果、粒径は 50nm 程度となった。これらコア原子へ Pt スパッタをした結果、Pd 粒子に 3-4nm 程度の Pt ナノ粒子が担持していることが確認された(図1(a))。1,000℃で 30 分の熱処理により粒子の成長を試みたが、Pt モノレイヤー化にはいたらなかった(図1(b))。

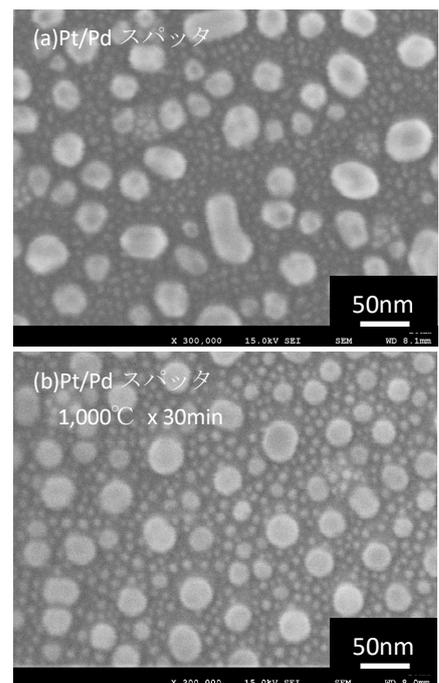


図1 コア原子への Pt ナノ粒子

28 麴酵素活性測定法の検討

原田知左子

研究背景

清酒製造にとって麴は「一に麴」と言われるほど重要なものである。麴の活性測定方法は国税庁所定分析法によって定められているが、酵素液の調製方法（表1）の記述にあいまいな部分があり、解釈によって結果が違ふことがある。この違いが、数値としてどれだけあるのかを把握することを目的とした。

研究成果

表1の所定分析法 A 法の「ときどき振りまぜながら」がどの程度影響あるかを検討するために、①5℃16時間、②20℃3時間を固定し、振とうの強さを変えて酵素液の調製を行った。また、使用する容器の底面積の違いで振とう幅が変わることを懸念して、容器は100 mL、200 mL、300 mL 容の三角フラスコを用いた。酵素活性はキッコーマンバイオケミファ製糖化力分別定量キットにてグルコアミラーゼ活性を測定した。その結果（図1）、静置より少しでも振とうした方が活性が高い傾向があると思われ、一番活性が高かったものは、20℃3時間120 rpm で振とうしたものであった。容器の検討については、必ずしも大

きい容量の方が高くなく、100 mL 容の小さい容器ではうまく攪拌されないのか、200 mL 容以上とは違う傾向の結果となった。

表1 国税庁所定分析法 211-4-2 酵素液の調製(抜粋)

A) 静置抽出法	
固体こうじ10 gに塩化ナトリウム溶液50 mLを加え、低温室(5℃以下)で一晩、又は室温(15~20℃)で3時間ときどき振りまぜながら浸出した後ろ過する。	
B) ホモジナイズ抽出法	
固体こうじ2 gに塩化ナトリウム溶液10 mLを加え、ワーリングブレンダーにより、10,000 rpm2分間、ホモジナイズを行う。ホモジナイズ後、乾燥ろ紙でろ過するか、遠心分離15,000 rpm3分間の上清を得る。	

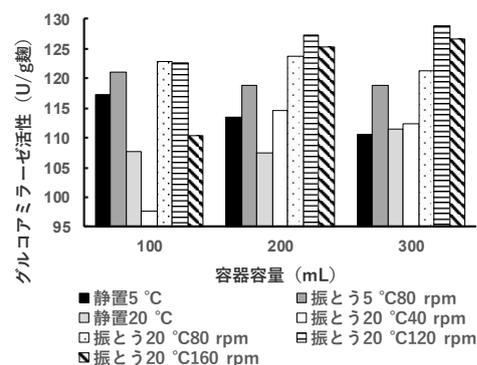


図1 酵素液の調製方法の検討

29 X線マイクロアナライザー(EPMA)による B KX 線スペクトルに注目した状態分析

山田和俊

研究背景

C KX 線スペクトルのように第2周期元素の KX 線スペクトルは、化学結合状態により変化することが知られている。また、六方晶系の結晶構造を有する物質から放出される KX 線スペクトルは観測角度により変化することも知られている。系統的に測定データの蓄積を行っており、今年度はホウ化物等の B KX 線スペクトルを X 線マイクロアナライザー (EPMA) で測定し、比較・検討を行った。

研究成果

B KX 線スペクトルの測定は日本電子株式会社 JXA-8230 を用いて加速電圧 15 keV、照射電流 0.05~0.2 μA で、ステアリン酸鉛を分光結晶とした。図1に TiB と TiB₂ の B KX 線スペクトルを示す。TiB は斜方晶、TiB₂ は六方晶系の結晶構造を有する。ピーク波長および半値幅が異なることが確認され、結晶構造が異なることでスペクトル形状が変化することが分かった。図2にホウ素と観測角度が異なる h-BN の B KX 線スペクトルを示す。ホウ素のピーク波長は、今回測定した B KX 線スペクトルにおいて最も短波長側にあり、メインピークの左右に観られるサテライトピークは観察されなかった。また、h-BN の B KX 線スペクトルは観測角度（基底面に対して 0° および 45°）によって異なる形状を示した。ピーク波長およびサテライトピークの強度に差異があり、観測角度依存性が確認できた。

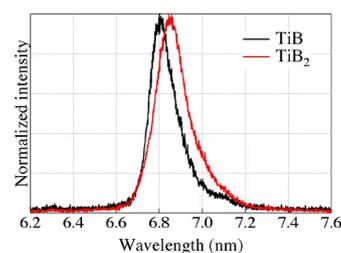


図1 TiB および TiB₂ の B KX 線スペクトル

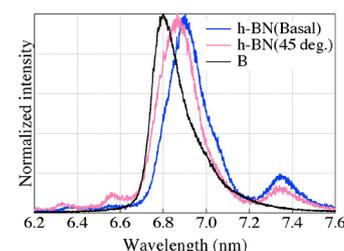


図2 ホウ素および観測角度が異なる h-BN の B KX 線スペクトル

30 フラーレンを用いた複合めっきの検討

山田直輝

研究背景

複合めっきは皮膜中に微粒子を共析させることで、単一な金属皮膜だけでは有しない様々な機能性を付与できる技術である。カーボンナノチューブ等のカーボンナノ材料を共析させた皮膜は熱伝導性や耐摩耗性が向上する等の報告がある。その一種であるフラーレン(C₆₀)は、潤滑性や耐酸化性の向上等の効果が期待されるが研究例は少ない。本研究では、皮膜中に C₆₀ を含有することで得られる機能性について検討を行った。

研究成果

一般的な硫酸スズめっき溶液からなる A 浴と、これに C₆₀ を添加した B 浴を用い、電流密度 150Am² で電析を行った。断面 SEM から、C₆₀ を添加することで、ドメイン径は微細になり、粒界付近に黒色の粒子が観察された。XPS から、A 浴から得た皮膜からは、最表面のみで炭素が観測されたのに対し、B 浴から得た皮膜からは、皮膜内まで炭素が観測された(図1)。以上から、皮膜中には炭素由来の物質が取り込まれたことが示唆されるが、C₆₀ の定性及び定量は極めて困難であった。

皮膜に C₆₀ を含有することで得られる効果は、C₆₀ の含有量の増加により、皮膜が硬くなる程度であり、その他の効果はみられなかった。これは、めっき浴中に C₆₀ は凝集体として存在しており、皮膜中に凝集体として取り込まれるためであると考えられる。C₆₀ へ水酸基などを付与することにより溶液への分散を行い、C₆₀ 単体の効果を検討していく必要がある。

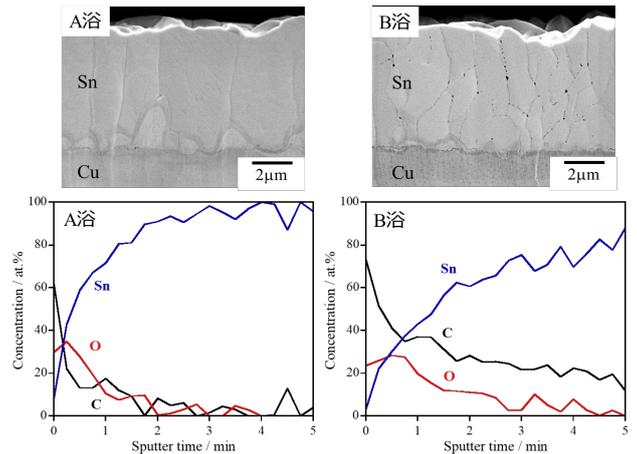


図1 A浴、B浴から得た皮膜の断面SEM像およびXPSによる深さ方向分析結果

31 マイクロ駆動機構のための微細銅電極の製作

安東隆志

研究背景

図1の微小回転切削工具(刃径 30 μm、刃長 45 μm)を用いて銅基板を切削加工することによりマイクロ駆動機構のための楯型微細電極を製作する。微小回転切削工具を用いることにより、これまではマスクパターンとエッチングでしか実現できなかった銅基板の溝加工が簡便になる。銅電極間隔を 50 μm 以下にすることにより、10~15V の電圧で、200~300kV/m の電界を得ることができる。この電界内に強誘電体を設置することにより発生する電気力によって駆動力を発生させることができる。そこで、銅基板に対して切削加工により溝幅 50 μm 以下、深さ 40 μm 以上の溝加工を行い微細銅電極の製作を試みた。

研究成果

微小回転切削工具を用いて銅基板を切削加工し、微細銅電極(図2)を製作した。図2の観察結果から、目視により銅電極間隔 35~40 μm であることが確認できる。加工中の観察から長さ 45 μm の加工刃が加工溝に完全に入り込んでおり溝深さは 45 μm 以上であることを確認している。表面形状解析装置(Zygo)を用いて銅電極の表面形状計測と深さ計測を試みたが、光の干渉縞パターンで表面形状計測する当該装置では、電極表面の形状は計測できたが、投入光に対する溝底からの反射光が不十分なため、溝の深さを計測することができなかった。そのため、溝の3次元形状を計測するための他の方法を検討する必要がある。今回の取り組みでは微小回転切削工具を用いて銅基板を切削加工することにより、電極間隔が 35~40 μm の銅電極を形成可能なことが確認できた。

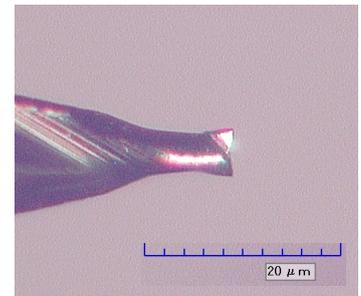


図1 微小回転切削工具(直径 30 μm 長さ 45 μm)

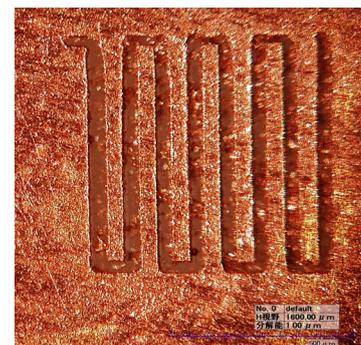


図2 加工電極溝

32 自由曲面の高精度なリバースエンジニアリング手法の検討

阿部 剛

研究背景

近年、デジタル設計技術の高度化に伴い、自由曲面を有した部品、製品も数多く生産されている。しかし製品を計測し、デジタル化し、3次元CADデータ化するリバースエンジニアリングにおいて、部品の改良、改造に耐える、高精度な3次元CADモデルを得ることは難しいのが現状である。そこで本研究では、三次元測定機と3次元CADを用いて、高精度なリバースエンジニアリング手法の可能性について検討した。

研究成果

検討した手法は以下である。①測定対象を三次元測定機で数か所を点測定する。②測定で得られた座標データをもとに追いつみ測定を行うための3次元CADデータを作成する。③作成した3次元CADデータを三次元測定機に読み込み、追いつみ測定を行い精度の向上を行う。

測定対象に、刃先の曲がったハサミを用いて検証を行った。図1に検証結果を示す。初期モデルの形状誤差、約40~120 μm から追いつみ測定後は、約7~30 μm まで低減し、高精度なリバースエンジニアリングモデルを得ることができた。

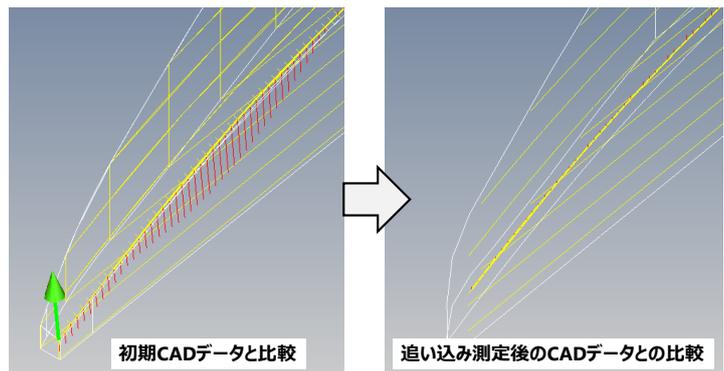


図1 本手法の検証結果

33 紫外レーザー加熱を利用したステンレス鋼箔板の曲げ加工に関する研究

岸本 正

研究背景

厚さ0.005mmのステンレス鋼箔板にレーザー加熱による曲げ加工技術を開発する。紫外レーザー光を用いて加熱実験を行い、曲げ加工部の角度が最大となる加工条件および曲げ機構について明らかにする。

研究成果

供試材は、厚さ0.005mmのオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) 箔板を用いた。試験片は、ステンレス鋼箔板を治具に貼り付け、紫外レーザー加工装置の紫外レーザービームを用いて、幅10mm、突き出し6mmの形状に切断したものを用いた。治具に貼り付けた試験片の突き出し6mmの端面から1mmの位置に、波長266nm、周波数10kHz、出力200mWから25mW、ビーム径0.01mmから0.1mmと変えた紫外レーザービームを、加熱速度10mm/sから200mm/s、加熱回数1から10回と加熱条件を変えて幅方向に長さ10mm移動させ、加熱実験を行った。

加熱前後における加熱位置の高さおよび端面の高さを計測し、その高さの変化から試験片の曲げ角度を求めた。図1にビーム径0.010mmおよび0.020mmにおける加熱速度とステンレス鋼箔板の曲げ角度の関係を示す。図より、加熱速度が大きくなるしたがって曲げ角度が小さくなっていることがわかる。曲げ加工部の角度が最大となる加工条件は、レーザー出力200mW、ビーム径0.020mm、加熱速度30mm/sであり、曲げ角度は18degである。加熱回数に比例して曲げ角度が大きくなる。曲げ機構は、温度勾配機構である。

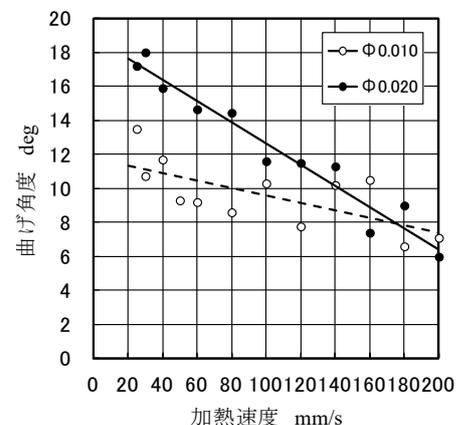


図1 加熱速度と曲げ角度の関係

34 管状材料のシールド評価に関する研究 (II)

中里一茂

研究背景

板状シールド材料のシールド評価については、KEC 法等による方法が確立されている。しかし、ジッパーチューブ等の管状シールド材料については測定方法が確立されていない。そこで、本研究では管状シールド材料の測定方法の確立を目指し、シールド材料内部のケーブルに信号を重畳させ、この時のシールド材の外に漏洩する電磁波強度値を元にシールド値を評価する手法について検討してきた。今回、シールド値の測定精度向上させるため基本的な構成について検討した。

研究成果

実験構成を図1に示す。計測対象である管状材料からの透過電磁波以外の電磁波が計測信号に混入しないように、受信器には従来のアンテナ (BBA9106、UHALP9108 SCHWARZBECK 製) の代わりに近傍界プローブ (XFR400-1 LANGER 製) を用いた。また、発信器にはシグナルジェネレータ (4432B

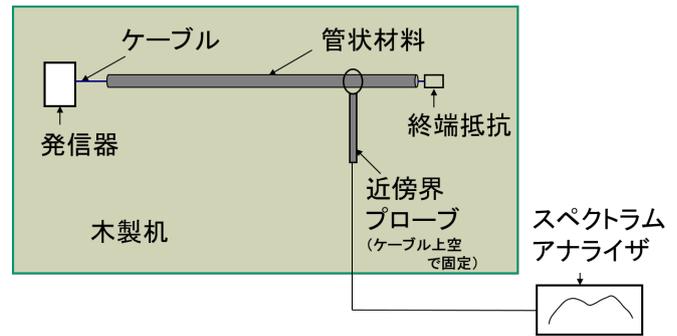


図1 管状材料のシールド評価の実験構成図

アジレントテクノロジー製) を用いた。ケーブル (CAN-BUS ケーブル 2P) に電磁波を入力し、ケーブルのみの場合とケーブルに管状シールド材料を覆った場合の電磁波の出力の差異によるシールド値を求めた。このとき、周波数は電磁波対策で一般的に使用されている 30MHz から 1GHz の範囲とした。その結果、シールド値は 20dB~35dB であった。周波数によってシールド値のばらつきは見られるが、評価の見通しを立てることができた。今後は評価の妥当性や再現性を高めるための検討を行う。

35 ナイロン糸アクチュエータに適した制御手法の検討

福井 航

研究背景

これまでのナイロン糸アクチュエータ (CNMA) に関する研究で、ガラススリーブとニクロム線を使った加熱装置はニクロム線に印加する電圧を高くするほど早く目標温度に到達し、CNMA は早く収縮することが分かっている。一方で昨年度実施した ON/OFF 制御では目標温度に素早く近づけるために電圧を高くすると、オーバーシュートが起りやすくなり、意図せず CNMA が溶断してしまう恐れがあった。よって、溶断することなく、出来るだけ早く目標温度に収束させるため、本研究では P 制御を導入し、応答速度の改善を目指した。

研究成果

P 制御のゲイン (K_p) を変えた時の実験結果を図1に示す。125℃に到達するまでの時間を比較すると、32.2 秒 (14.5V 一定)、17.2 秒 ($K_p=0.16$)、11.1 秒 ($K_p=0.24$)、10.3 秒 ($K_p=0.32$) であった。次に 10mm に到達するまでの時間を比較すると、37.4 秒 (14.5V 一定)、26.3 秒 ($K_p=0.16$)、20.8 秒 ($K_p=0.24$)、18.3 秒 ($K_p=0.32$) であった。ともに P 制御を導入したことで応答性の改善が見られた。ただし、 K_p を大きくすると温度のオーバーシュートが見られた。今回の実験において、 $K_p=0.24$ が溶断を恐れずに動作可能な上限である。以上の結果から、P 制御を導入し、電源に高電圧源を用いることでガラススリーブ内の温度を急激に上昇させることができ、CNMA の応答性を改善できることが分かった。

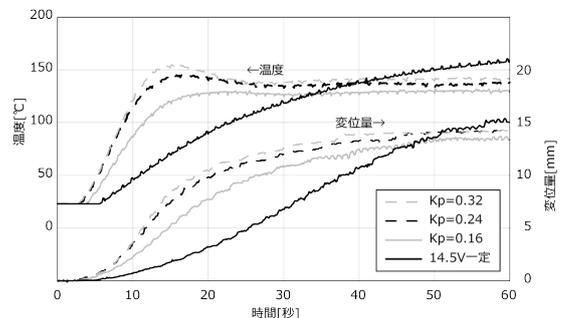


図1 ゲイン (K_p) と温度・変位量の時間変化

36 レーザーを用いた革へのマーキング

西森昭人

研究背景

レーザーを材料へ照射することによって、材料の変色を利用して絵・文字・写真等を描くことや、切断することが可能である。今回、革の表面をマーキングするのに最適なレーザーの加工条件を検討した。

研究成果

加工はトロテック・レーザー・ジャパン株式会社製の“Speedy 360”を用いた。最大出力 80W、最大速度 3550mm/s である。加工に最適な出力と速度を求めるために、それぞれを種々変化させて革に照射した。高エネルギー照射では焦げた革が飛散して周辺部を汚染し、低エネルギーでのマーキングは痕跡程度になった。照射エネルギー密度が同じ場合では、高出力高速加工のほうが、低出力低速加工よりも周囲を汚染した。レーザー照射時に生じる革の変化を電子顕微鏡で観察した。レーザーおよびカッターナイフによる切断面と表面へのレーザー照射有無による違いを、図1に示す。切断面では強い照射により革の組織が融着している。また、マーキングでは表面塗膜が変質していることが読み取れる。レーザー出力と走査速度の最適加工条件を求めるには、革素材と鞣しおよび仕上げの加工方法が多種多様なので、その革に応じた出力と速度を見出すために、条件を色々と変えて試してみる方法に落ち着いた。

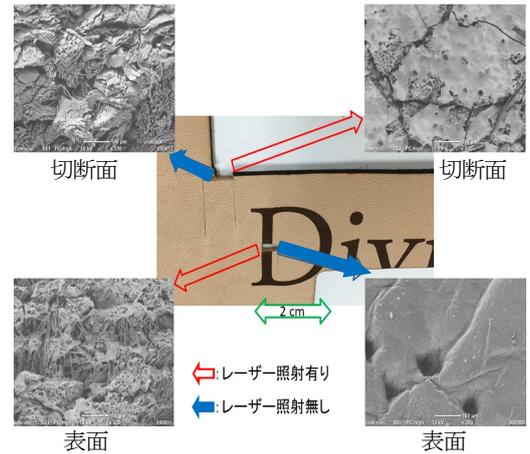


図1 レーザー加工と電子顕微鏡写真

37 含フッ素高分子を利用した撥水撥油革に関する研究

本田幸司

研究背景

昨年度の技術改善研究において、ゴム材料で有用であったフッ素系高分子を革に処理したところ、市販の防水スプレーに匹敵する撥水撥油性を付与する事が可能であった。本年度は、フッ素系高分子で処理した革の撥水撥油性の耐久性に関して評価を行った。

研究成果

耐久性は、フッ素系高分子 (P(F8A-StA)、図1) および防水スプレーで処理した革を屋外にて日光や雨に曝露し、1週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月ごとに回収した後、接触角測定を行い評価した。図2にフッ素系高分子および防水スプレーで処理した革の動的接触角(転落法、水、20 μL) 測定より求めた転落角の経時変化を示す。防水スプレーで処理した革(■)では、1週間経過の段階で転落角が90°近くまで増加した。これは、液滴が試料の表面から滑りづらくなっている事を示している。一方、フッ素系高分子で処理した革(●)では、時間経過により転落角が上昇する傾向はあるが、3ヶ月経過後も50°程度であり、液滴の滑落性が維持されている。以上の結果、フッ素系高分子による処理は、性能面だけではなく、耐久性の点においても優れる事が明らかとなった。

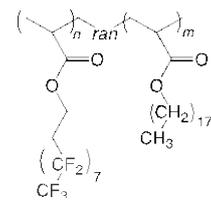


図1 P(F8A-StA)の化学構造

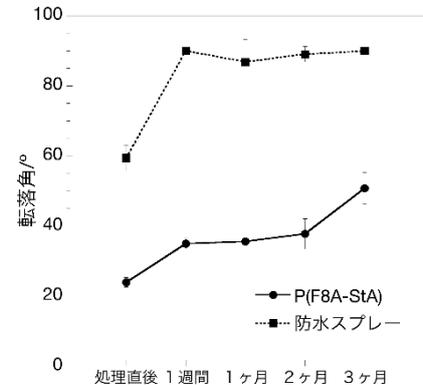


図2 転落角の経時変化

兵庫県立工業技術センター

〒654-0037 神戸市須磨区行平町3丁目1-12 TEL(078) 731-4033 FAX (078) 735-7845

兵庫県立工業技術センター 繊維工業技術支援センター

〒677-0054 西脇市野村町1790-496 TEL (0795) 22-2041 FAX (0795) 22-3671

兵庫県立工業技術センター 皮革工業技術支援センター

〒670-0811 姫路市野里3 TEL (079) 282-2290 FAX (079) 222-9043

兵庫県立工業技術センター

研究報告書

第29号

(令和2年版)

令和2年10月1日 発行
