ISSN　0919-6676
CODEN：SFHPFE

試 験 研 究 報 告

平成２８年度

福島県ハイテクプラザ
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

平成２８年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

目　　次

○企業支援業務

福島の未来を担う開発型企業育成支援事業

１　画像解析を活用したアルミ鋳造製品の実体強度評価･･････････････････････････1
　技術開発部 工業材料科　工藤弘行
　応募企業　株式会社ミウラ

２　金属溶融３Ｄプリンタ製品の特性評価法に関する研究･･････････････････････6
　技術開発部 工業材料科　光井啓　工藤弘行　市川俊基　小柴佳子
　応募企業　富士通アイソテック株式会社

３　ゴミ圧縮貯留装置の遠隔監視を可能とするＩｏＴ通信基盤の実現･････････････11
　技術開発部 生産･加工科　稲葉勉　太田悟　尾形直秀
　応募企業　日本クリーンシステム株式会社

４　ベクトル制御ドライバを用いたブラシレスＤＣモータ制御システムの開発････16
　技術開発部 プロジェクト研究科　柿崎正貴　高樋昌
　応募企業　ＴＮＫ株式会社

５　環境負荷の少ないセリシン定着方法の検討･･････････････････････････････19
　福島技術支援センター 繊維･材料科　伊藤哲司
　応募企業　齋栄織物株式会社

６　リリヤン構造を活用した新規絹製弦の開発･･････････････････････････････22
　福島技術支援センター 繊維･材料科　中村和由　東瀬慎　長澤浩
　応募企業　東北撚糸株式会社

７　天然物由来食品添加物を利用した馬肉加工食品の保存性向上･･････････････････25
　会津若松技術支援センター 醸造･食品科　高橋亮　小野和広
　応募企業　馬力本願

８　エタノール法による酒類のアミノ酸度の測定方法の検討････････････････････28
　会津若松技術支援センター 醸造･食品科
　矢吹有唯　中島奈津子　菊地伸広　鈴木賢二
　応募企業　福島県酒造組合

９　デジタル製造技術を活用した桐のこ人形の量産化･････････････････････････32
　会津若松技術支援センター 産業工芸科　夏井憲司　出羽重遠
　応募企業　木之本漆器店

１０　高精度非接触形状測定のための前処理技術開発･･･････････････････････････36
　いわき技術支援センター 機械･材料科　佐藤善久　渡邊孝康
　応募企業　アルプス電気株式会社小名浜工場

酵母開発・頒布事業

１　福島県オリジナル酵母の改良･･･39
　会津若松技術支援センター 醸造･食品科
　中島奈津子　菊地伸広　高橋亮　矢吹有唯　鈴木賢二

○技術開発業務

チャレンジふくしま「ロボット産業革命の地」創出事業

1　配管内洗浄ロボットの開発……………………………………………………43
技術開発部 プロジェクト研究科　安藤久人　柿崎正貴　三浦勝吏　高樋昌

2　電気防獣柵漏電検出・通報装置と自走式電気防獣柵除草ロボットの開発………46
技術開発部 プロジェクト研究科　高樋昌　三浦勝吏
農業総合センター 企画経営部　青田聡　木幡栄子　河原田友美

ふくしまから はじめよう。産総研福島拠点連携技術開発推進事業

1　太陽光発電用シリコンウェハの加工技術に関する研究……………………………50
技術開発部 生産･加工科　小野裕道　三瓶義之　小林翼　尾形直秀
株式会社横浜石英
大野仁嗣　蛭田亨　坂本俊哉　小林大樹
東成イービー東北株式会社
高島康文　佐々木伸也　鈴木秀　村上友宏　西原啓三　石井裕司
株式会社東北電子
渋川達弘　篠田清郁
学校法人日本大学 工学部 工学研究所
池田正則　目黒翔平　森田寛也
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
高遠秀尚　白澤勝彦　福田哲生　望月敏光　水野英範　棚橋克人　鈴木信隆
木田康博

ハイテクプラザ研究開発事業

1　ＣＡＥによる電子デバイスの信頼性評価手法の確立－第３報－………………57
技術開発部 工業材料科　矢内誠人　鈴木雅千　工藤弘行

2　微細管の内面仕上げ技術の開発……………………………………………………61
技術開発部 生産･加工科　緑川祐二　山口泰寿　小林翼

3　本藍染めによる自動染色システムの試作開発……………………………………65
福島技術支援センター 繊維･材料科　伊藤哲司
技術開発部 生産･加工科　尾形直秀
福島染工株式会社　桜井弾

4　県産醸造製品の品質向上に向けた高品質製造技術の確立………………………68
会津若松技術支援センター 醸造･食品科　小野和広　高橋亮　菊地伸広

産業廃棄物減量化・再資源化技術支援事業

1　石英ガラス粉末のゴムフィラーとしての有効活用…………………………………71
技術開発部 工業材料科　菊地時雄

科学技術調整会議共同研究事業

1　地域在来作物の栄養・機能性を生かした加工技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・74
　会津若松技術支援センター 醸造･食品科　遠藤敦史　島宗和行
　農業総合センター 生産環境部 流通加工科　長澤梓　関澤春仁

2　食品企業の利用を前提とした雪下野菜の特性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・77
　会津若松技術支援センター 醸造･食品科　島宗和行　遠藤敦史
　農業総合センター 生産環境部 流通加工科　関澤春仁
　農業総合センター 会津地域研究所　星佳織

受託研究開発事業

1　超小型高性能面実装サージアブソーバーの商品化に伴う試作開発と
　量産設備試作開発・・81
　技術開発部 生産・加工科　三瓶義之　尾形直秀　鈴木健司　本田和夫
　委託企業　株式会社コンド電機

2　ニットとテキスタイルの融合によるオンリーワン・ファッション衣料の開発と販売
（１）ニットと織物の融合生地の開発とファッション衣料の製品化・・・・・・・・・・・・・85

（２）シルクとカシミヤによるニットおよび織物用最新ブレーダー意匠糸の製品化
・・88
　福島技術支援センター 繊維･材料科　長澤浩　東瀬慎　中村和由
　委託企業　福島県ファッション協同組合
　　永山産業株式会社　株式会社大三　菅野繊維株式会社
　　齋栄織物株式会社　株式会社三恵クレア　株式会社シラカワ

3　強さと軽さを兼ね備えた、機能性次世代漆製品の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・93
　会津若松技術支援センター
　　産業工芸科　志鎌一江　堀内芳明　原朋弥　須藤靖典
　委託企業　鈴善工業株式会社

4　縦ログパネル工法による耐力壁の品質向上に関する研究
・・97
　会津若松技術支援センター 産業工芸科　斎藤勇人　橋本春夫
　委託企業　合同会社良品店

5　漆塗装や蒔絵技術を応用した家電製品の実用化に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・101
　会津若松技術支援センター
　　産業工芸科　原朋弥　堀内芳明　志鎌一江　須藤靖典　出羽重遠
　　醸造･食品科 高橋亮
　技術開発部 工業材料科　矢内誠人
　委託企業　パナソニック株式会社　アプライアンス社

6　漆塗装や蒔絵技術を応用した車載製品の研究開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・105
　会津若松技術支援センター
　　産業工芸科　原朋弥　堀内芳明　志鎌一江　須藤靖典　出羽重遠
　委託企業　パナソニック株式会社　ＡＶＣネットワークス社

画像解析を活用したアルミ鋳造製品の実体強度評価

Strength Evaluation of Aluminum Cast Products using Image Analysis

技術開発部 工業材料科　工藤弘行
応募企業　株式会社ミウラ

JIS 規格などでは、鋳造材料の機械的特性は、欠陥の生じにくい適正な条件で製造された標準試験体で測定することが規定されているため、実製品の強度（実体強度）を正確に評価できないことが課題となっている。現在、様々な分野で製品の軽量化のためにアルミ鋳造が注目されているが、統一的な実体強度評価手法がないことがボトルネックとなり、その活用は期待されるほどは広まっていない。本研究では、採取位置や寸法が限定される実体強度評価に有効と見られる画像解析を活用した強度試験を実施し、き裂開口変位（COD）を用いた破壊力学評価が有効であることを確認した。また、弾塑性有限解析を併用することで、曲げ試験であっても引張試験と整合性を持った強度評価が可能であることを確認した。

Key words: デジタル画像相関法、破壊力学、き裂開口変位

１．緒言

鋳造は溶融した金属を型に流し込み、冷却・凝固させることにより製品形状を得る加工方法であるが、強度・じん性がやや劣るため、凝固速度や化学組成の調整により凝固組織を制御し強度を高める試みが行われている。例えば、製品の特定部位に冷やし金を配置することにより、局所的に凝固速度を高める手法などが用いられている。

これらの組織を制御した効果を検証するには､本来、実製品の冷やし金付近から採取した試験片（実体採取試験片）で引張試験を行うべきだが、製品形状によっては必要な寸法の試験片を採取できない。また、代替的な評価手法として多用される組織観察や硬さ測定は、強度との相関性が明確でないなど多くの課題がある。

今回研究対象とした企業の製品についても、実体採取試験片で引張試験や曲げ試験を実施しているが、標準的な方法である引張試験は破断伸びがばらつくため､試験本数が限られた実体評価としては不向きである。

一方､曲げ試験は破断時のばらつきは小さいものの、引張試験で可能な耐力、伸びの評価ができない点が課題である。

本研究では、上記課題を解決する評価手法を確立することを目的とし、画像解析による強度評価を系統的な条件で実施した。特に、引張試験では、じん性の評価指標となる伸びのばらつきが大きい点に着目し、これに代わる試験法として切欠き曲げ試験を実施し、デジタル画像相関法によるひずみ・変位測定を併用した破壊力学評価手法の妥当性を検証した。

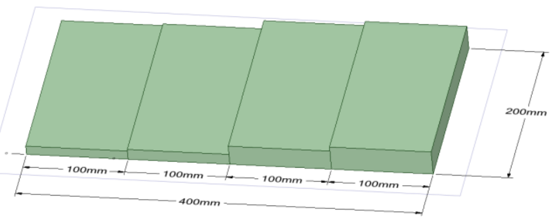
２．実験ならびにＣＡＥ解析

２．１．強度試験片作製

板厚の異なる部位から強度試験片を得るため、図１に示すように「階段状供試体」を作製した。各段の幅は 100 ㎜、奥行きは 200 ㎜、板厚は 11、14、18、25 ㎜の４条件とした。また、冷やし金の効果を確認するため、各段の一部に冷やし金を配置した。材質は AC4B (Al-Si-Cu 系鋳造用アルミ合金)とした。

供試体の各段から、冷やし金の有無を区別して引張試験片と曲げ試験片を採取した。引張試験片形状は、板厚 11、14、18 ㎜部については幅 10 ㎜、板厚 3 ㎜の平板断面形状、板厚 25 ㎜部については直径 14 ㎜の丸棒断面とした。

曲げ試験片は、幅 7 ㎜、高さ 7 ㎜、長さ 65 ㎜程度の直方体形状とし、片側の中央部に長さ 0.5 ㎜の U 字形状の切欠きを R0.5 ㎜のボールエンドミル工具で作製した。



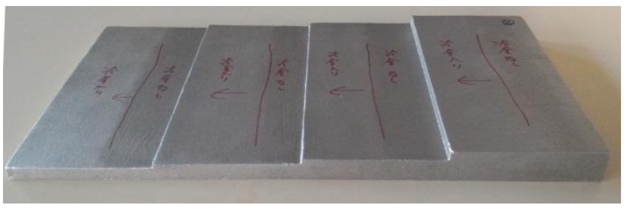


図１　階段状供試体（各段の板厚 11,14,18,25㎜）

２．２．強度試験

引張試験は、万能材料試験機（UH-100kNIR）により実施した。本研究では、非接触ひずみ測定システム

（VIC-3D）を用いてデジタル画像相関（DIC）法によりひずみ測定を行った。DIC 法は試験片表面に付与したランダムパターンを CCD カメラで撮影し、画像処理によってパターンの微小な変位量を測定する方法である。本試験では、白と黒のスプレーを塗布することでランダムパターンを付与した。撮影速度は 2～10 コマ/秒とした。

曲げ試験は、精密万能試験機（AG-10kNE）で、３点曲げ治具を用い、支点間距離は 50 ㎜として実施した。

２．３．ＣＡＥ解析

切欠き曲げ試験の結果を理論的に検討するため、弾塑性有限要素解析を行った。材料モデルは二直線近似モデルを用いた。二直線近似モデルは、応力－ひずみ曲線の弾性区間と塑性変形区間をそれぞれ直線として近似するモデルであり、弾性率、応力値で指定された弾性限界、それ以降の区間の傾きを示す接線係数の３パラメータで定義される。

図２に解析モデル例を示す。左右方向と板幅方向についての対称性を考慮し 1/4 モデルとしている。異なる材料特性パラメータの解析を行うことで、材料特性の違いが荷重 - 変位曲線に与える影響を検討する。

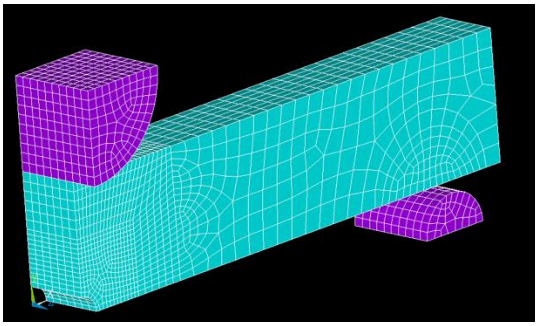


図２　曲げ試験の有限要素解析モデル

３．結果及び考察

３．１．強度試験

３．１．１．引張試験

図３に DIC２次元ひずみ測定により得られたひずみ分布の解析例を示す。この例では、１画素当たり約 0.048 ㎜の条件で解析を行っている。表１に、引張試験のひずみ測定に利用される３手法の特徴を記載した。デジタル画像相関法は、他の手法に比べて、空間分解能が非常に高いこと、測定点数が非常に多いことが利点である。短所としては測定できる最小のひずみが 100μｅであり､比較的大きなひずみしか測定できない点だが、引張試験では特に問題とならない。

図４は DIC ひずみ測定より得られた平板試験の応力－ひずみグラフである。万能材料試験機単独では非線形挙動を正確に捉えることができないため､0.2%耐力を求める時などに、伸び計やひずみゲージが使用される。図４に示す通り、DIC ひずみ測定は、非線形挙動を明瞭に捉えて、伸び計やひずみゲージを使用した場合と同様に、0.2%耐力を算出することができる。

表１　ひずみ測定手法の特徴

	伸び計（測定区間50㎜の例）	ひずみゲージ（5㎜ゲージ1個の例）	デジタル画像相関法（本研究の例）
測定区間	50㎜	5㎜	0.24㎜
取り付けに必要なスペース	約100㎜	約15㎜	（非接触）
測定方向	1方向	1方向	任意の方向
測定点数	1点	1点	約15,000点
前処理時間	なし	5分程度	10～20分程度
取付け時間	数分程度	5分程度	なし
特記事項	硬い材料、薄い材料では正確に測定できない場合がある	精密な測定をする場合、24時間の養生が必要	比較的大きなひずみしか測定できない。(カタログ値で100μｅ 以上)

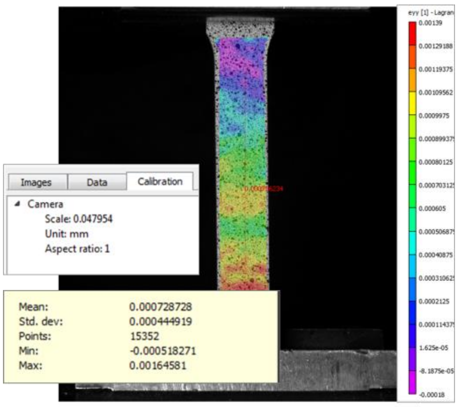


図３　平板引張試験の DIC２次元ひずみ測定結果例

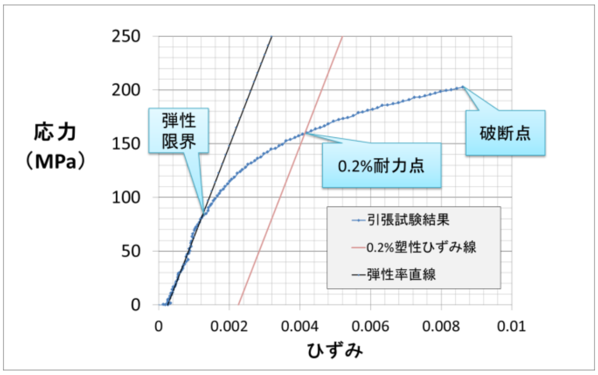


図４　DIC ひずみ測定より求めた平板試験片の応力―ひずみグラフ例

３．１．２．曲げ試験

図５に曲げ試験により得られた荷重－変位曲線の代表的な結果を示す。いずれも、試験中盤以降に僅かな非線形挙動を見せた後に、破壊に伴う荷重低下が見られるのが特徴である。

曲げ試験は、板厚４条件（11、14、18、25㎜）について、それぞれ冷やし金が有る部位と無い部位の試験片に対して実施した。結果を表２に示すが、いずれの

板厚においても冷やし金の存在により、最大荷重が上昇していることが確認できた。また、切欠きの存在を無視し、サンプルを直方体形状の弾性体と仮定して計算した最大曲げ応力を表中に記載したが、いずれの場合も、引張試験で得られた引張強度と同程度であった。これは、塑性変形の程度が極めて小さい（２％前後）ためと思われる。

以上より、曲げ試験で得られる最大曲げ応力を、引張試験で得られる引張強度の代替評価としても差し支えないと思われる。

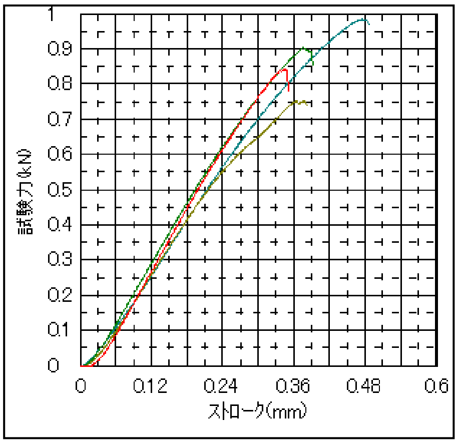


図５　曲げ試験により得られた荷重－変位曲線の例

表２ 曲げ試験結果

採取位置		最大荷重(kN)		最大曲げ応力(MPa)	
板厚	No	冷やし金有	冷やし金なし	冷やし金有	冷やし金なし
11mm	-1	0.99	0.76	220	177
11mm	-2		0.82		184
14mm	-1	0.96	0.83	205	180
14mm	-2		0.80		174
18mm	-1	0.93	0.84	202	187
18mm	-2		0.84		181
25mm	-1	0.91	0.85	198	182
25mm	-2		0.87		189

３．２．ＣＡＥ解析

弾性率を 70GPa、弾性限界を 100MPa、接線係数を 10,000MPa とした条件で、３点曲げ試験モデルを対象に 0.5 mm変位させた場合の相当応力分布を図６に、塑性ひずみ分布を図７に示す。切欠き周辺で塑性変形が生じるため、最大応力は 361MPa にとどまり、最大塑性ひずみは 0.0224(2.24%)である。弾塑性解析では、最大応力の変化は鈍化するため、変形の程度を代表する指標として塑性ひずみが用いられることが多い。

弾性率を 70GPa、接線係数を 10,000MPa に固定し、弾性限界を 100、150、200 MPa と変化させた場合の荷重－変位曲線の結果を図８に示す。なお、図中には弾性解析結果も併せて記載した。この結果から、曲げ試験における非線形挙動は塑性変形に起因するものであること、非線形挙動の開始は弾性限界と相関があることが分かった。

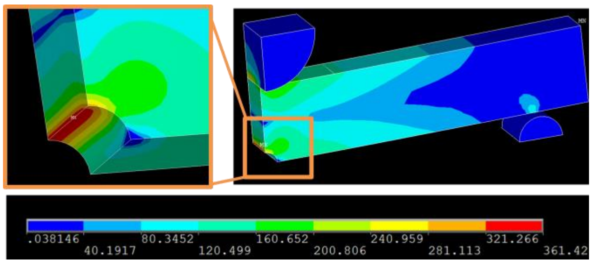


図６　ＣＡＥ弾塑性解析例（相当応力分布図）

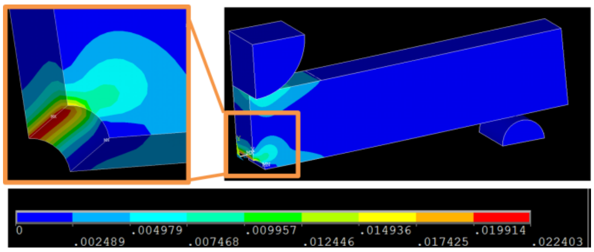


図７　ＣＡＥ弾塑性解析例（塑性ひずみ分布図）

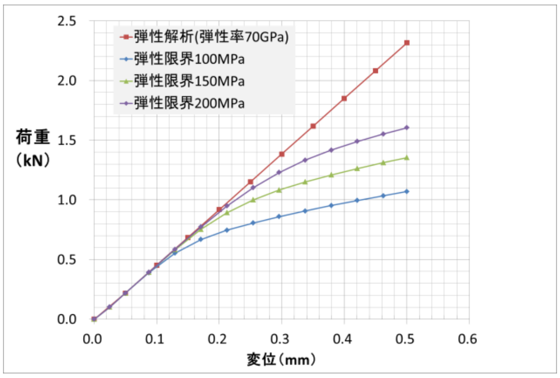


図８　ＣＡＥ解析より求めた荷重－変位曲線
（弾性限界の影響）

弾性率を 70GPa、弾性限界を 150MPa 固定とし、接線係数を 100、1000、10,000 MPa と変化させた場合の弾塑性解析の結果を図９に示す。この結果から、切欠き曲げ試験の非線形挙動の傾きは接線係数と相関があることが分かる。なお、接線係数は材料の加工硬化の程度を表しており、材種ごとにほぼ一定の値を持つと考えられる。

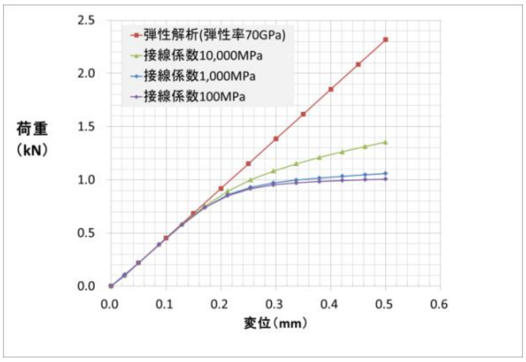


図９　ＣＡＥ解析より求めた荷重－変位曲線
（接線係数の影響）

以上の結果から、曲げ試験時の挙動は、CAE 解析における材料特性パラメータである弾性率、弾性限界、接線係数と強い相関があることが分かる。ここで、この３つの材料特性パラメータに関して、様々な組合せで荷重－変位曲線を計算し、最も実験に近いものを選べば、最も確からしい材料特性パラメータを推定することができる。このような材料特性パラメータの決定方法は、「逆解析手法」と呼ばれるもので、特に塑性加工分野で、材料特性パラメータ決定手法のひとつとして定着している。

図１０に板厚 11 ㎜、冷やし金有りの場合の曲げ試験についての逆解析の例を示す。なお、このグラフの実験結果は、試験機自体の変形などの影響を除外するため、補正を行っている。この例のように、最大荷重直前を除いて、CAE 結果が実験結果とほぼ同じ挙動となっていることから、計算に使用したパラメータを試験体の物性値として扱っても差し支えないと判断できる。CAE 解析で求めた弾性率、弾性限界、接線係数を用いて、0.2%耐力をその定義に基づいて計算すると、153MPa となり、引張試験から算出した 0.2%耐力とよく一致した。このように、曲げ試験であっても、引張試験と同様に 0.2%耐力を評価できることを示した。

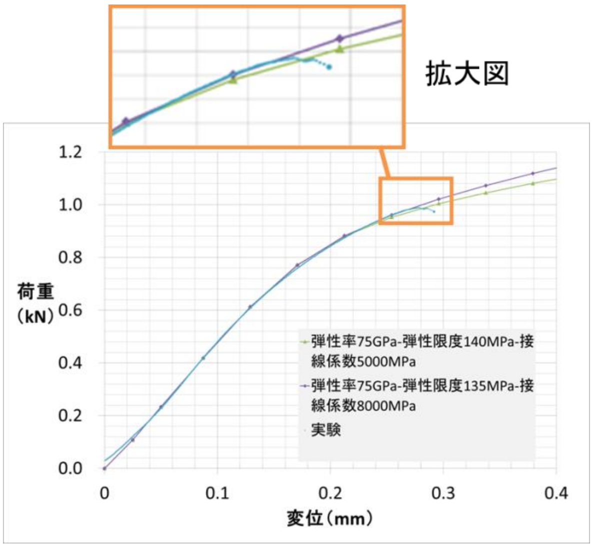


図１０　逆解析による材料特性パラメータ推定

３．３．強度評価手法

当所では、これまで画像処理ひずみ測定を用いた強度評価に関する取り組みを行い、その有効性を確認している[1),2)]。しかし、試験結果がどのような意味を持つかなど学術的な観点からの考察は不十分であった。本研究で実施した曲げ試験は、破壊力学に基づいて行われる破壊じん性評価との共通点が多いことから、破壊力学的なアプローチにより試験の妥当性を考察し、強度評価手法を検討した。

はじめに DIC 法を用いて破壊力学パラメータであるき裂開口変位（COD）の測定と塑性域の観察を行った。通常、COD の測定にはクリップゲージと呼ばれる特殊なセンサーを用いるが、本研究では画像処理により変位を測定するため、クリップゲージが必要ない点が利点である。また、き裂先端付近の応力集中部に存在している塑性変形が生じた領域である塑性域の大きさは、破壊力学的見地から現象を考察する上で重要な指標となる。

図１１に塑性域の観察例と COD の測定例を併せて図示した。塑性域は簡便に測定する方法がないことが知られているが、DIC 法によるひずみ測定により、塑性域の成長や破壊に至る過程を連続的に捉えることに成功した。本手法を発展させれば、塑性域の発展過程の測定に基づく新たな破壊力学評価も期待できる。

本研究では、CAE 解析結果の妥当性について塑性域を基準として検証した例を示す。図１０の荷重 0.88kN の時点におけるひずみ分布の CAE 結果と DIC 測定結果を図１２に示す。両者の分布はほぼ一致しており、CAE 解析は荷重－変位グラフだけでなく、切欠き周辺部の変形挙動も正確に反映できていることが確認できた。以上を前提とすれば、DIC 測定と CAE 解析を有機的に結び付けた破壊力学評価も可能と思われる。

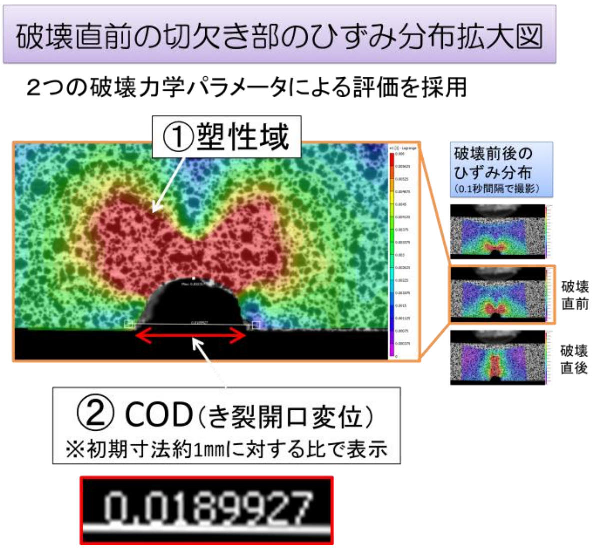


図１１　DIC による塑性域観察、COD 測定例

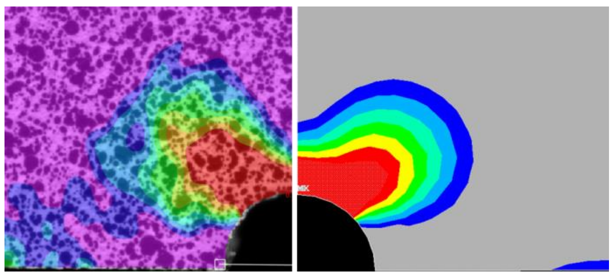


図１２　塑性域を基準とした CAE 解析の妥当性検証
（左：DIC 測定、右：CAE 解析）

図１３に COD－時間グラフを示すが、破壊の直前に急激に増加した後に、破壊の瞬間に不連続な急峻な増加を示しており、破壊力学評価パラメータとして利用できることが確認できる。これにより、破断限界の COD は引張試験における破断伸びの代替として利用が可能と思われる。

図１４に荷重－COD グラフを示すが、弾塑性破壊じん性試験で得られるのとほぼ同等の挙動を示すことが確認できる。破壊じん性試験では、初期の傾きを 5%減少した 5%オフセット線と、荷重－COD グラフとの交点の荷重を「5%オフセット荷重」として、塑性変形開始の目安としている。これにより「5%オフセット荷重」は引張試験における 0.2%耐力の代替としての利用が可能だと思われる。

なお、COD による強度評価については、まだ、データの蓄積が不十分であるため、今後、様々な材料を対象に試験を実施し、その妥当性や実用性を検証したいと考えている。

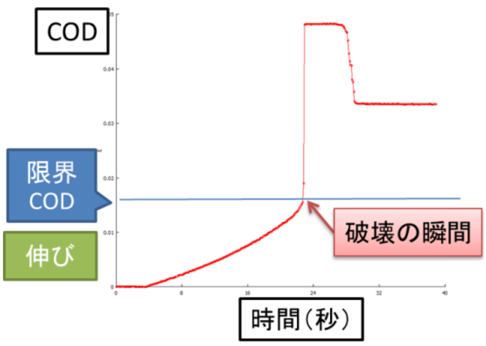


図１３　ＣＯＤ－時間グラフの例

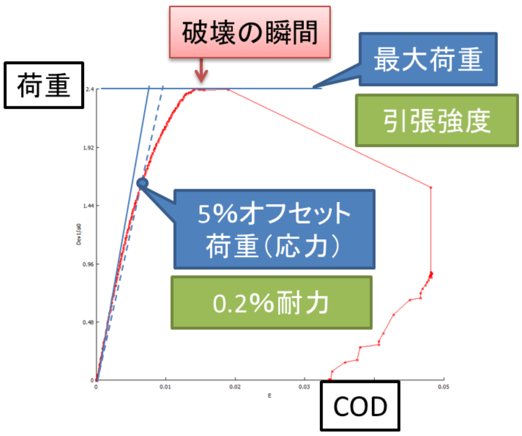


図１４　荷重－ＣＯＤグラフの例

４．結言

本研究では、アルミ鋳造品から採取した試験体に対して、DIC を活用した引張試験、曲げ試験を実施した。

また、曲げ試験に関して CAE 解析を実施した。

これらの試験で得られた以下の知見は、凝固組織を制御し強度・じん性を高めるための指針として利用できると考えられる。

① 引張試験に DIC を併用することで低延性の材料でも非線形挙動を評価することができた。特に、十分な長さが無い試験片の試験に有効である。

② 曲げ試験において、切欠きが無いと仮定して計算した最大曲げ応力は、引張試験で得られた引張強度とほぼ同等であり、塑性変形が小さい場合は、引張試験の代替評価が可能であると思われる。

③ 曲げ試験に関する CAE 解析を行い、弾性率、弾性限界、接線係数が、荷重－変位グラフに与える影響を定量的に評価した。

④ 曲げ試験において CAE 解析を併用した逆解析手法により 0.2%耐力を算出できることを確認した。

⑤ DIC により、き裂開口変位（COD）を求めることで、変形、破壊挙動を把握し、切欠き曲げ試験により求めた 5%オフセット荷重や限界 COD により、引張試験による 0.2%耐力、破断伸びの代替評価が可能であることを確認した。

⑥ 引張試験ならびに曲げ試験の結果、冷やし金の存在により、強度が上昇していることを確認した。これは一定以上の冷却速度を確保し、好ましい組織形成がなされたためと思われる。

参考文献

１） 工藤弘行，光井啓．アルミ鋳造製品における熱処理条件の最適化．平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2015), p.1-5.

２） 工藤弘行　他．マルチスケール計算材料科学の応用による鋳造製品の高強度･高じん化組織制御技術の確立（第２報）．平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2015), p.60-65.

金属溶融３Dプリンタ製品の特性評価法に関する研究

－ミクロ組織的特徴と機械的特性の関連性の調査－

Evaluation of physical properties of the metal melting 3D printer products

- Investigation of relation between microstructure and mechanical properties -

技術開発部 工業材料科　光井啓　工藤弘行　市川俊基　小柴佳子
応募企業　　富士通アイソテック株式会社

金属溶融３Dプリンタによる造形物のミクロ組織的特徴とそれに起因する機械的特性を明らかにするため、オーステナイト系ステンレス鋼とアルミニウム青銅の異種金属積層造形品のミクロ組織解析、押し込み硬さ試験及び曲げ試験を行った。その結果、積層時に形成されるデンドライト組織は積層界面をまたいで前層の結晶方位を受け継ぐように成長していることがわかった。また異種金属積層界面近傍では、高硬度の領域の生成と強固な接合の形成が確認された。

Key words: 金属溶融３Dプリンタ、エピタキシャル凝固、異種金属接合

１．緒言

富士通アイソテック(株)で開発している金属溶融３Dプリンタは、溶接用ワイヤをアーク溶接により溶融しながらプレート上に積み上げて造形するものである。プレートを５軸制御することで複雑形状の造形ができる。さらにマシニングセンタ等と連動させることにより、図１[1)]に示すように精密加工仕上げができる。

金属溶融３Dプリンタによる造形は、従来法であるブランクからの切削加工や粉末金属を使用した選択的レーザー焼結型金属３Dプリンタによる造形と比べて所要時間が短く、材料費も低減できることから、特にステンレス鋼を始めとする特殊金属を用いた積層造形において有利であると考えられる。また、造形途中にワイヤの種類を入れ替えて異種金属を組み合わせた造形物を製作できることが、選択的レーザー焼結型金属３Dプリンタにはない特長である。

富士通アイソテック(株)においては、設計どおりの形状に積層する造形条件を見出すことはできているものの、造形物の機械的特性を始めとした諸特性の評価はできていない。特に本装置の特長の一つである異種金属接合部の機械的特性の評価は重要である。

そこで本研究では、金属溶融３Dプリンタによる異種金属積層造形品のミクロ組織解析とそれに起因する機械的特性について調査を行った。

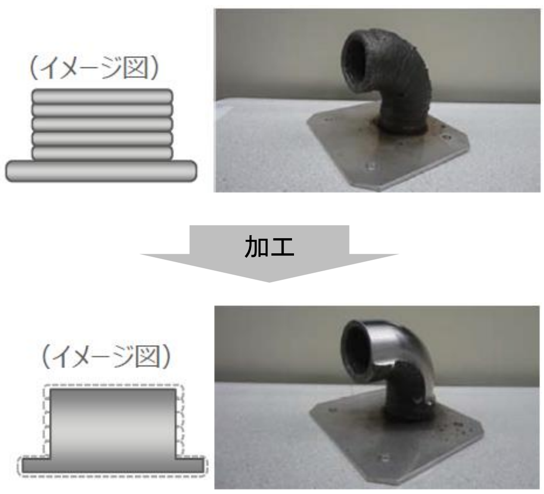


図１　金属溶融３Dプリンタによる積層造形[1)]

２．実験

２．１．試験片作製

溶接用ワイヤ YS308（オーステナイト系ステンレス鋼）及び YCuAlNiA（アルミニウム青銅）を用いて、１ライン積層の直方体形試験片を作製した。試験片は YS308 のみで作製した YS 試験片と、YS308 積層後引き続き YCuAlNiA を積層した YS/Al 試験片の２種とした。試験片の作製は富士通アイソテック(株)において標準的に使用されている造形条件で行った。なお、本研究では図２(b)に示すように、積層方向を Z 方向、積層ラ

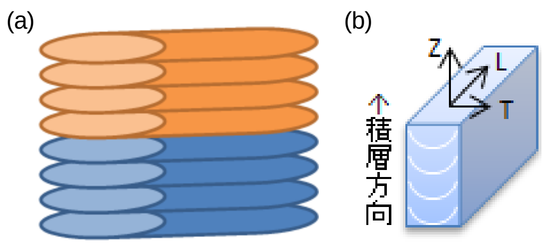


図２　作製試料の模式図

インの走査方向をＬ方向とし、そのZ-L断面に垂直な方向をＴ方向とする。直方体形試験片から所定の断面を切り出し、鏡面研磨した後、イオンミリング装置（IM4000Plus）によるArイオンエッチング（フラットミリングモード：6kV×20分、傾斜45°）にてミクロ組織を現出させた。

２．２．組織観察

光学顕微鏡（微分干渉モード）によるミクロ組織観察、電子線プローブマイクロアナライザ（EPMA-1610）による反射電子像観察を行った。

２．３．元素マッピング

EPMAによる元素マッピングを行った。YS試験片においてはCr、Fe、Ni、O及びMn、YS/Al試験片においては、Al、Cu、Cr、Fe、Ni、O及びMnの元素マッピングを行った。マッピングにはそれぞれの元素のＫα線を使用した。

２．４．マイクロビッカース硬さ試験

積層造形品の機械的特性を調査するため、マイクロビッカース硬度計（HMV-2ADW）によるビッカース硬さ試験を行った。

２．５．曲げ試験

積層造形品の変形挙動を調査するため、精密万能試験機(AG-10kNE)により、試験片大きさ5mm×4mm×20mm、支点間距離15mm、試験速度2mm/分で３点曲げ試験を行った。また、デジタル画像相関（DIC）法により曲げ試験中の２次元の歪み観察を行った。DIC法は試験片表面に付与したランダムパターンをCCDカメラで撮影し、画像処理によってパターンの微小な変位量を測定する方法である。

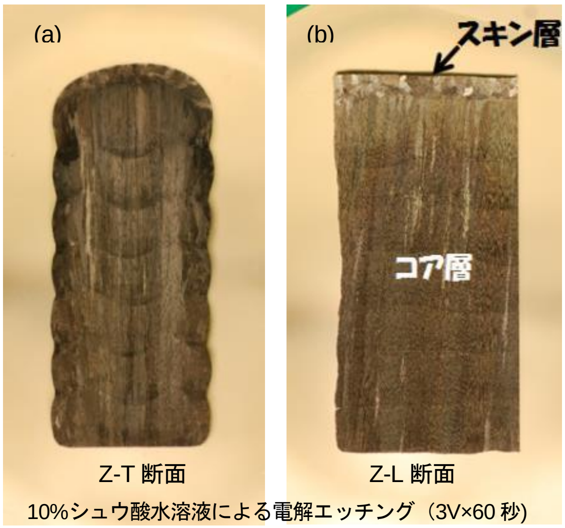


図３　YS308試験片の(a)Z-T断面及び(b)Z-L断面のマクロ組織

３．結果及び考察

３．１．組織観察

３．１．１．YS308試験片

図３、４にYS308試験片の断面マクロ組織及びミクロ組織を示す。マクロ組織の特徴として、外気冷却に

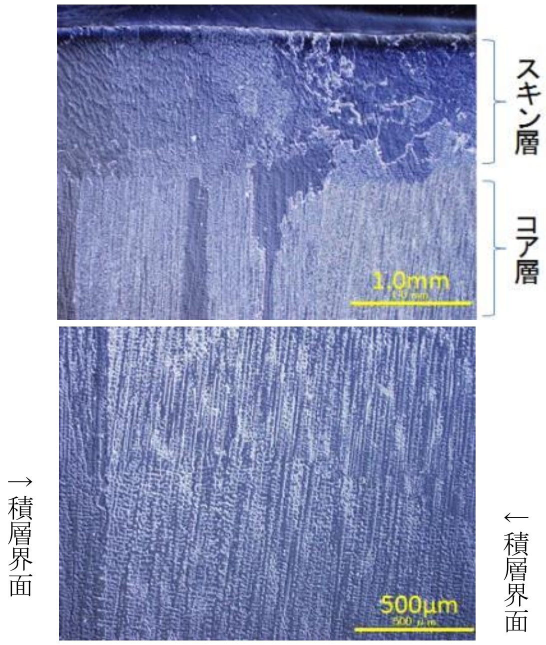
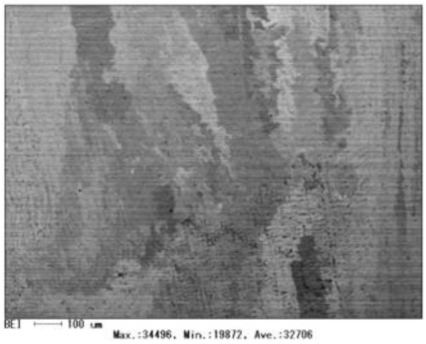


図４　YS308試験片のZ-L断面の(a)スキン層/コア層境界及び(b)コア層内積層界面のミクロ組織

(a) スキン



(b) コア

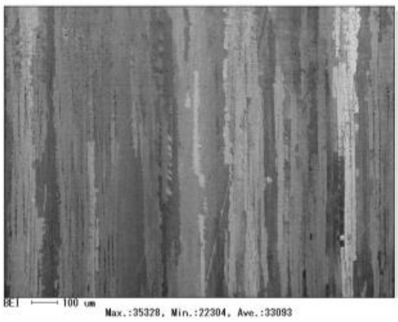


図５　YS308試験片のZ-T断面の反射電子像　(a)スキン層、(b)コア層

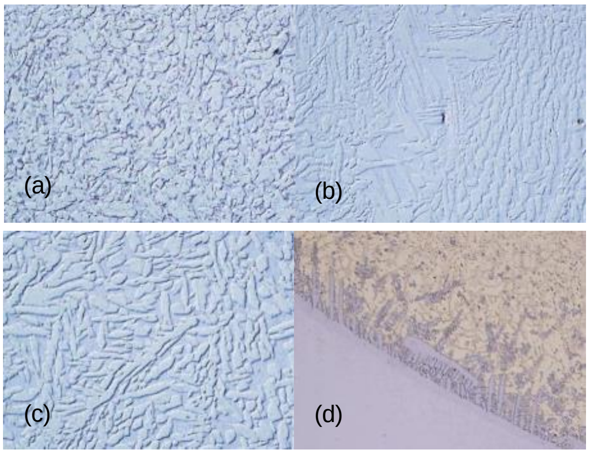


図６　YS308/YCuAlNiA 試験片の Z-T 断面ミクロ組織
YCuAlNiA 側：(a)１層目、(b)界面から約 4mm、(c)界面から約 8mm、及び(d) 異種金属積層界面（明視野）

より外側から冷え固まるスキン層と前層界面から凝固を開始するコア層に分類できる。ミクロ組織の特徴としてはコア層には約 2mm ピッチの積層界面とともに、それを貫通するように繊維状の模様（デンドライト組織）が観察される。

図５に EPMA による反射電子像を示す。これはチャネリング効果により結晶方位を反映した像となる。

図５(a)に示すように、スキン層は結晶粒がランダムな方位をもつ組織であった。これに対しコア層では光学顕微鏡と同様に繊維状の模様が見られた。これからコア層のデンドライト群は Z 方向に結晶方位をそろえたものであることがわかる。これは次の機構によると考えられる。溶融金属が供給されると、それまでのスキン層は一度再溶解・消失する。次に凝固が始まるが、積層界面では前層のコア層の結晶方位に整合するようにデンドライトが成長する「エピタキシャル凝固」が起きる。この機構によりデンドライトは積層界面をまたいで、結晶配向を受け継いで成長するため、光学顕微鏡で観察できた積層界面が反射電子像では明確ではない。

これに対し、スキン層では表面から凝固を開始するため、結晶粒がランダムな方向を向くと考えられる。

３．１．２．YS308/YCuAlNiA 試験片

図６に YS/Al 試験片における異種金属積層界面のミクロ組織を示す。図６(a)～６(c)に示すように YCuAlNiA の１層目の(a)と２層目以降の(b)、(c)とで組織に違いが見られた。すなわち、１層目は組織が微細で、２層目以降は界面から離れるほど粗大な組織であった。また、図６(d)に示すように異種金属積層界面に YS308 組織と YCuAlNiA 組織が混合した領域が観察された。

３．２．元素マッピング

図７に YS308 試験片におけるコア層及びスキン層の元素マッピング結果を示す。両層の凝固メカニズムが異なるため、元素分布も大きく異なったものとなった。コア層の元素分布は積層方向に繊維状の分布となっており、エピタキシャル凝固による組織形成を裏付けるものである。

Mn は鉄の酸化防止の目的で溶接用ワイヤに添加されているものである。酸化マンガンが材料内部に多量に析出すると機械的特性の低下につながるが、本試験片においては比較的微細且つ少量の析出であり、後述の曲げ試験でも確認できているように機械的特性への影響は少ないと考えられる。

３．３．マイクロビッカース硬さ試験

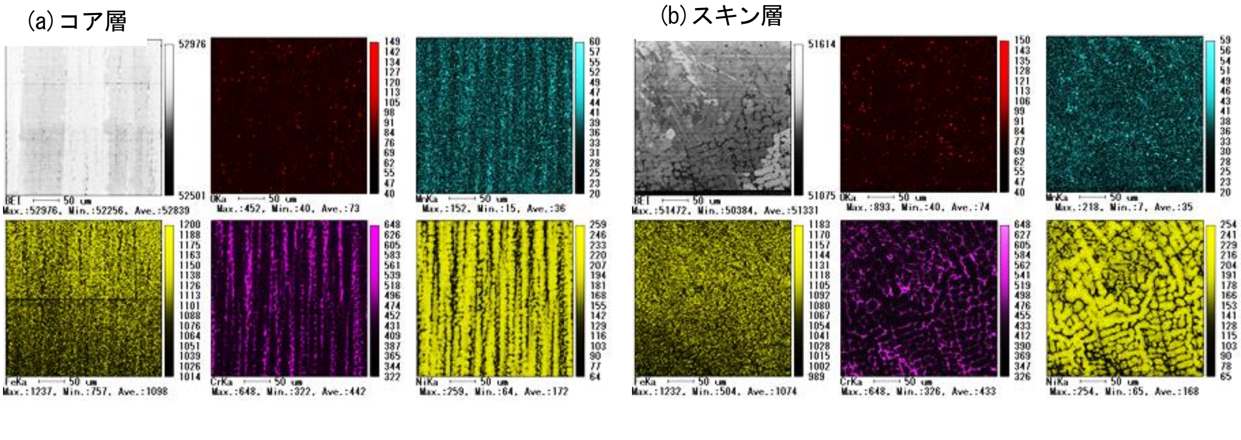


図７　YS308 試験片における EPMA 元素マッピング.(a)コア層、(b)スキン層
上段：反射電子像、O-Kα、Mn-Kα、下段：Fe-Kα、Cr-Kα、Ni-Kα
測定条件：加速電圧 15kV、ビーム電流 70nA、ビーム径φ1μm、エリア 300μm×300μm、サンプリング 50ms

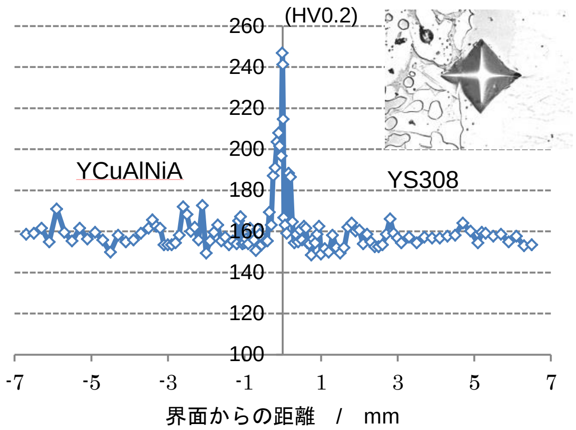


図８　YS308/YCuAlNiA 試験片（Z-L 断面）における異種金属積層界面のビッカース硬さプロファイル.
測定条件：荷重 0.2kgf、負荷保持時間 15s

図８に YS/Al 試験片（Z-L 断面）における異種金属積層界面のビッカース硬さプロファイルを示す。同図中に示す写真のように、ビッカース圧痕は組織と比較して大きいため、当条件ではある程度広い領域の平均的な硬さを評価していると言える。YS308 及び YCuAlNiA の硬さはともに約 160HV であるのに対し、境界層は約 250HV であった。また、境界層から両側約 0.5mm の範囲では YCuAlNiA 側のほうが YS308 側よりも高硬度であった。３．２．で述べたように境界相では YS308 組織と YCuAlNiA 組織が混在しており、このことが高硬度である要因と推測される。また境界層からデンドライトが YCuAlNiA 側へ成長しているため、YCuAlNiA 側の境界層近くも２つの組織が混合した高硬度の領域となっていると考えられる。

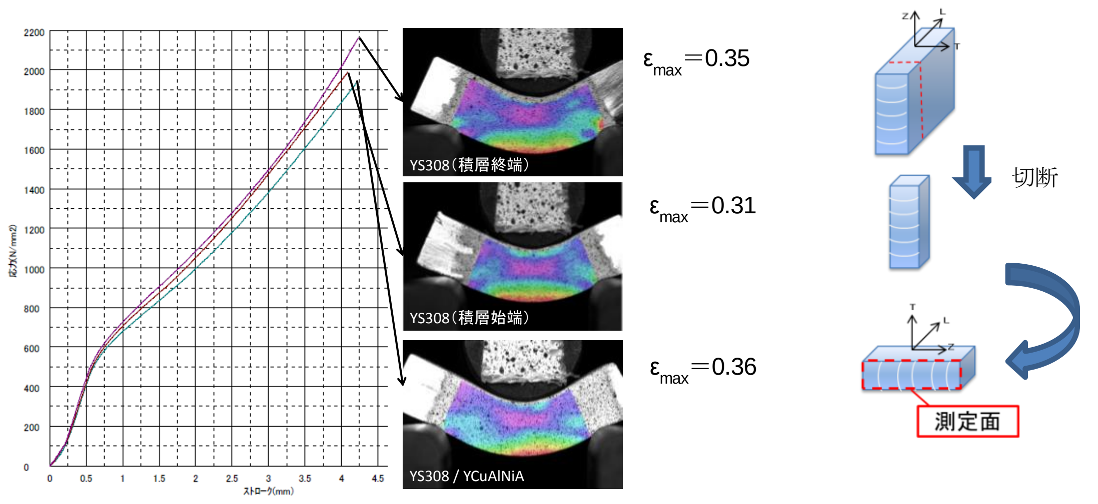
３．４．曲げ試験

図９（a）に YS308 の積層始端及び積層終端、YS308/YCuAlNiA の異種金属積層界面近傍からそれぞれ採取した試験片における三点曲げ試験時の応力-変位線図を示す。図９（b）に DIC 法により観察した最大変位時のひずみ分布を示す。

粉末を用いた選択的レーザー焼結型金属３Ｄプリンタによる積層造形の場合、各積層間やポロシティー、ミクロ偏析部が欠陥となる[2]。本研究の金属溶融３Ｄプリンタによる造形の場合には積層界面、特に異種金属積層界面に欠陥が生じやすく、強度・靭性が低下する恐れがある。しかし、図９（a）に示すように、いずれの試験片においても 0.3 以上の大ひずみを与えても荷重低下は見られず、良好な靭性を有することを確認した。

試験片にクラックや欠陥が存在する場合、その周辺に応力集中による大きなひずみが発生するため、DIC 法によるひずみ分布測定で検証が可能である。しかし、今回の実験では、図９（b）に示すように、積層界面で異常なひずみ分布は見られず、大きな欠陥等は見当たらず、良好な靭性を有することが明らかになった。特に、異種金属を接合した YS/Al 試験片は靭性低下が懸念されたが、こちらでも異常なひずみ分布は見られず、応力-変位線もほぼ YS 試験片と同一挙動を示した。これのことから、２種の金属の接合は強固なものであることがわかった。

なお、今回のように靭性の高い材料の場合には、引張試験も有効であると考えられる。DIC 法によるひずみ観察の有効性はこれまでの研究で実証されており[3-5]、DIC 法によるひずみ観察を取り入れた引張試験の実施が今後取り組むべき課題である。



（a）応力ー変位線図　　（b）ひずみ分布図　　（c）試料採取位置と測定方向

図９　応力-変位線図および DIC 法による歪み観察.

４．結言

本研究では、金属溶融３Ｄプリンタにより製造された造形物のミクロ組織的特徴とそれに起因する機械的特性を明らかにするため、YS308 と YCuAlNiA の異種金属積層造形品のミクロ組織解析、ビッカース硬さ試験及び曲げ試験による調査を行った。

その結果、以下の知見を得た。

① YS308 積層品はデンドライトの配向性が少ないスキン層と、配向性が強いコア層とで形成される。コア層は前の積層部の結晶方位に整合するように凝固するエピタキシャル凝固の様式を取るため、積層界面をまたいで配向性を示した。

② YS308/YCuAlNiA 積層界面付近では、YS308 組織と YCuAlNiA 組織が混合した領域が形成されるため、高いビッカース硬さを示した。曲げ試験においても、YS308 とほぼ同等の良好な靭性を示した。

③ 金属溶融３Ｄプリンタによる造形物は高い靭性を有し、曲げ試験では破断しなかったため、引張試験による評価が必要である。この場合も、デジタル画像相関（DIC）法によるひずみ観察が有効であると考えられる。

参考文献

１）“トピックス 溶融金属積層方式金属３Ｄプリンタの開発について”. 富士通アイソテック株式会社. http://www.fujitsu.com/jp/group/fit/resources/news/topics/20160517.html, (参照 2016-12-12).

２）光井啓, 工藤弘行,小柴佳子. 金属積層造形製品の品質向上技術の開発. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2016), p.14-18.

３）工藤弘行, 光井啓. アルミ鋳造製品における熱処理条件の最適化. 平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2015), p.1-5.

４）工藤弘行　他. マルチスケール計算材料科学の応用による鋳造製品の高強度･高じん化組織制御技術の確立（第２報）. 平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2015), p.60-65.

５）工藤弘行　他. カメラ型センサ技術を活用した工業製品の挙動解析. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2016), p.9-13.

ゴミ圧縮貯留装置の遠隔監視を可能とする IoT 通信基盤の実現

A development of IoT communication framework
to monitor the garbage storage and discharging system remotely.

技術開発部 生産・加工科　稲葉勉　太田悟　尾形直秀
応募企業　　日本クリーンシステム株式会社

仮想移動体通信事業者（MVNO）の提供する通信回線と VPN ソフトウエアを用いて、ゴミ圧縮貯留装置（ゴミドラム）の状態や周辺環境をリアルタイムに監視できる IoT 通信基盤を開発した。その結果、ゴミドラムの監視システムを安価かつセキュアに構築することができた。また、本基盤は、ポート転送制限等の MVNO 毎に異なるサービス仕様に影響されないため、別の MVNO の SIM に変更しても、同じ通信基盤を維持することができ、国内外を問わず利用することが可能であることが確認できた。

Key words: MVNO、シェアードアドレス、キャリアグレード NAT、SoftEther VPN、Raspberry Pi

１．緒言

近年、モノのインターネット IoT（Internet of Things）が注目されている。機器の遠隔保守等のソリューションが次々に提案されているが、多くのケースで通信コストが課題となっている[1)]。

通信コスト削減のためには、MVNO（仮想移動体通信事業者）の SIM を用いると効果がある。しかし、IP アドレスの付与体系やサービス転送制限などが、MVNO 毎に個別に設けられており、SIM を変更したり、SIM が混在したりする環境下においては、システム構成の変更を余儀なくされてしまう。

このような課題を解決するために、本研究では、仮想的な通信手段である SoftEther VPN をベースとして IoT 通信基盤のプロトタイプの構築を行った。

２．背景と課題

ゴミドラムは、ゴミの圧縮・減容化による省スペース化と、自動排出等による省電力化の機能を有する、安全かつ衛生的なゴミ貯留装置である。同装置を開発・販売する日本クリーンシステム社では、これまでに“ゴミック”というシリーズで、国内外で 1500 件を超える納入実績があり、保守・管理も提供している[2)]。

最近、通信回線を用いたリアルタイム遠隔保守サービスの必要性から、ゴミドラム監視のための IoT 通信基盤の確立が喫緊の課題となっている。 ついては、費用対効果の点から、同社はこれまで MVNO の SIM を用いた無線通信環境を前提として、図１のようなシステム構成を検討してきた。しかし、ある MVNO の SIM では通信可能であることが、別の MVNO の SIM に変更すると通信できないという事態にしばしば遭遇し、MVNO 毎に異なるサービス仕様に振り回されてきた。

例えば、遠隔監視地点のルータに直接アクセスするために必要なグローバルアドレスやダイナミック DNS(DDNS)サービスも、MVNO 毎に提供の有無や価格が大きく異なる。また、遠隔機器を操作するためのリモートデスクトップ(VNC)接続も許可するものとしないものがあった。

しかし、同社は、喫緊の課題である通信コスト削減の前に、海外に設置されたゴミドラムを国内同様に監視するため、SIM フリーのシステムを構築する必要に迫られていた。 さらに、予防保守の観点から、ゴミドラムの貯蓄量監視や、温湿度等の環境把握も重要な監視要素となっている。

ゴミドラム監視は、これまで「プログラマブル表示器」と呼ばれる高価な装置に委ねられていて、100 拠点超規模での遠隔監視の仕組みを実現するためには、同等の機能を低コストで実現できるシステムの確立が急務となっていた。

３．設計及び開発

３．１．設計方針

本研究では、システムを通信部とハードウエア部に分けて、双方の観点で設計及び開発を行い、 ゴミドラムの重量及び周辺の環境情報を定期的に計測・集計可能な SIM フリーの遠隔監視システムを、セキュアかつ安価に実現することを目指した。

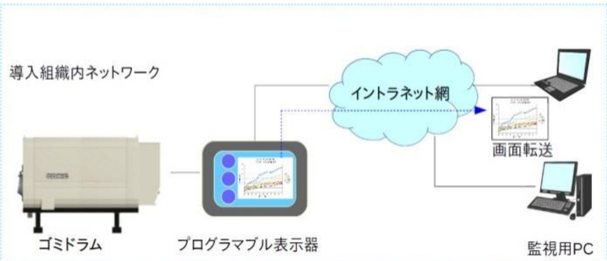


図１　検討初期の監視システム構成

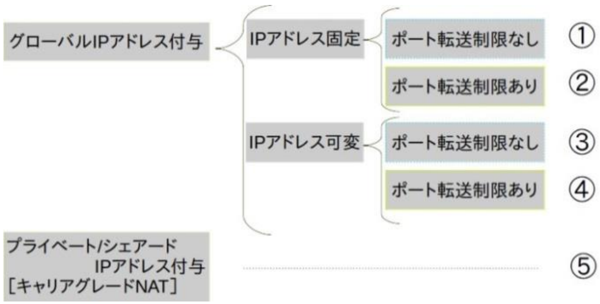


図２　SIMサービスの分類

３．２．通信システム設計

MVNOの各社から提供されるSIMサービスを調査し、通信サービスの観点で分類した結果を図２に示す。

サービスは、グローバルIPアドレス付与の有無、IPアドレス固定/可変、通信ポート転送制限の有無により大別できる。最近では、IPV4アドレス枯渇対策として、図２中⑤の様に、プライベートIPアドレスや、シェアードIPアドレスと呼ばれる10.64.0.0/24のアドレス帯を割り当てるキャリアグレードNATを用いるサービスが圧倒的に多いことが分かった。また、MVNO各社は、インターネット閲覧のみの利用者層を前提にしていることから、HTTP、HTTPS、SMTP等の基本的サービス以外のポート転送を制限しているところが多い。従って、図１のような構成のシステムを構築するには、ポート転送制限のない図２中の①、もしくはDDNS利用を前提とした③のサービスを利用する必要がある。しかし、我々の調査では、①を提供するMVNOはごく少数であり、③には追加費用の負担が少なくないことが判明した。

以上のことから、本研究では図中①～⑤の全てのSIMサービスに対応するため、後述する２つのソフトウエアによる仮想的な通信手段を用いて解決する方法を採用することにした。どちらのソフトウエアも、PC等の通信機器からの通信を、サービス提供者のルーティングサーバが中継する仕組みを採用している。この中継により、PC等の発信するHTTPやHTTPSによる通信に対する応答という形で、相手側からの通信が送信されてくるため、通信経路上のあらゆる制限を乗り越えることができる。このため、図２中の①～⑤のいずれのタイプのSIMを用いても通信経路を確立できる。

３．３．仮想通信ソフトウエアの検討

TeamViewer[3] は、インターネット経由でPCなどを遠隔操作するソフトウエアである。ドイツに本社を置くTeamViewer GmbH社の運営するサービスであり、同社の運営するTeamViewer ルーティングサーバを経由して、２つの機器間で画面転送を行うことができる。

利用者側から見れば、接続先がサーバ機能を、接続元がクライアント機能を有することになるが、TeamViewerアーキテクチャ上では、接続する機器は全て対等な関係にある。なお、商用利用は有償である。

SoftEther VPN[4] は、筑波大学のSoftEther VPNプロジェクトが開発と配布を行うオープンソースのソフトウエアであり、商用利用でも無償で利用できる。LANカードやHUB等の各種Ethernetデバイスを仮想化し、ソフトウエアでエミュレートすることにより、VPNセッションを実現している。サーバとクライアントとが明確に区別されており、それぞれ異なるソフトウエアをインストールする。インターネット上にあるSoftEther VPNプロジェクトの運営するサーバ(VPN Azure)が通信を橋渡しする。

３．４．ハードウエア設計

ハードウエアに対する要求条件を以下に示す。

（１）通信の仮想化ソフトウエアが動作すること 。
（２）温湿度環境センサと接続可能なこと。
（３）PLCとTCP/IP通信が可能なこと。
（４）異常を検知した際にメール発報が可能なこと。
（５）安価に導入できること。

以上の条件を満たすものとして、システムハードウエアにはRaspberry Piを採用した。Raspberry Piは、ARMプロセッサを搭載したシングルボードコンピュータである。2017年２月現在、5,000円程度で販売されており、（５）の条件を満たす。また、Debianから派生したLinuxディストリビューションであるRaspbian OS上で動作するため、上記の（３）や（４）の条件も満たすことができる。 更に、TeamViewerやSoftEther VPNは、Linux向けのソフトウエアを提供していることから、Raspbian OS上でも動作することが見込まれ、(１)の条件を満たす。また、GPIOと呼ばれる汎用入出力端子を備えており、（２）の条件も満たす。

３．５．開発

以上の設計を踏まえて、プロトタイプシステムを設計した。SoftEther VPN を用いた場合の構成を図４に示す。試験環境ではゴミドラムは接続していない。TeamViewerの場合も図４と同等の構成とした。システムの主な構成は、表１のとおりである。

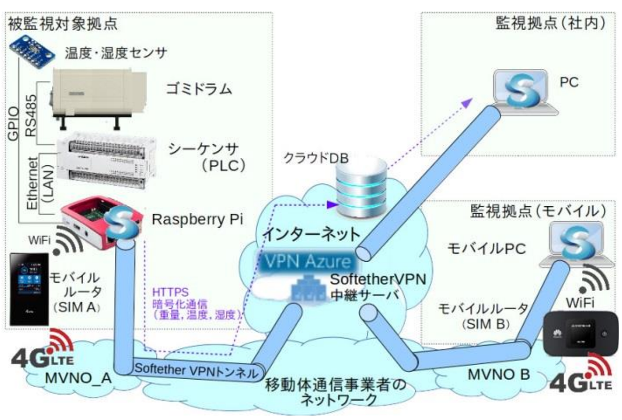


図３　SoftEther VPNによる全体構成図

表１　主な構成

被監視拠点	プログラマブルコントローラ PLC	MITSUBISHI ELECTRIC FX5U-64M
	Raspberry Pi	Raspberry Pi Model 3
	環境センサ	AE-BME280 通信方式：I2C（最大3.4MHz） 温度：-40～+85℃、±1℃ 湿度：0～100%、±3% 気圧：300-1100hPa、 ±1hPa
	モバイルルータ（被監視拠点）	NEC Aterm MR04LN
	SIM	B-mobile 4G LTE 高速データ通信
監視拠点	PC	iiyama INFINITY SERIES Windows 10 Pro Core i5、RAM 8G
	モバイルルータ（被監視拠点）	HUAWEI Mobile WiFi E5377
	SIM	DTI SIM データプラン ネット使い放題

３．５．１．物理構成

被監視拠点には、SoftEther VPN サーバの役割を担う Raspberry Pi を中心に機器を配備した。プログラマブルコントローラ（PLC）は有線 LAN のみ１ポートを有する。一方、Raspberry Pi は、有線 LAN１ポートと無線 LAN 機能を有する。このため、Raspberry Pi は、PLC とは有線 LAN で、モバイルルータとは無線 LAN で、それぞれ別ネットワークを設けて接続させた。

B-mobile はキャリアグレード NAT を採用し、割当 IP アドレスは、シェアード IP アドレスではなく、クラス A のプライベート IP アドレスであった。

環境センサ AE-BME280 は、図４の様に GPIO を介して Raspberry Pi と接続した。通信方式には I2C を用いた。

監視拠点は、社内網を想定したファイアーウォール等に守られた実験用ネットワークと、一般のモバイル環境を利用した。

３．５．２．ソフトウエア構成

被監視拠点に設置した Raspberry Pi には、SoftEther VPN のサーバ用ソフトウエアを、監視拠点に設置した PC には同じくクライアント用ソフトウエアをインストールした。Raspbian OS に特化した仕様のサーバ用ソフトウエアは提供されていないが、Linux 用のソフトウエアで代用でき、問題なくインストールすることができた。SoftEther VPN 接続された後は、SSH や VNC などを用いて、Raspberry Pi を監視拠点から自由に利用することが可能である。VNC サーバには、TightVNCServer を採用した。

３．５．３．被監視拠点の情報収集と集約

PLC が収集したゴミドラムの重量は、Raspberry Pi が取得し監視者へ通知する。これを実現するため、PLC

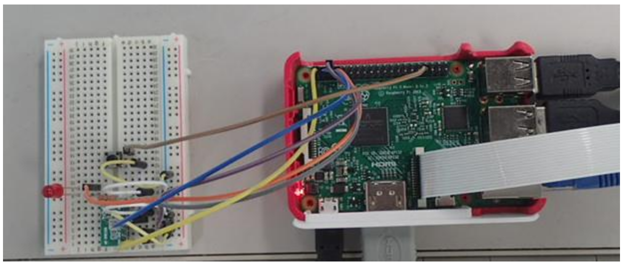


図４　Raspberry Pi と環境センサ

のリッスン中のポート 5010 へ TCP/IP 接続する Socket 通信プログラムを、Raspberry Pi 上に C 言語で作成した。本プログラムを実行し出力要求を送信すると、PLC からゴミドラムの重量情報が返信される。

また、環境センシング情報を取得し収集するプログラムを Raspberry Pi 上に Python で作成した。

更に、これらのプログラムを連続して起動し、取得した結果を記録した後にクラウドデータベース（DB）へ登録するシェルスクリプトを作成した。このシェルスクリプトを cron で定期的に動作させることで、各種情報の定期取得と記録、クラウド DB への登録が可能となる。クラウド DB には、IoT データを蓄積し参照する無料のサービスである ThingSpeak[5] を利用した。

重量や環境情報はゴミドラムを監視する上で重要な情報である。このため、予め閾値を設定し、それを超えた場合には、Gmail 経由で指定先アドレスにアラートメールを発報する仕組みも合わせてシェルスクリプトに実装した。

４．実験結果と考察

４．１．実験結果

構築した遠隔監視システムのプロトタイプを通信量の観点から評価するため、以下に示す６つの状態における通信データ量を測定した。

[TeamViewer]
（待機） LTE 網に接続。TeamViewer のみ起動
（接続） 上記に加え、TeamViewer 接続
（操作） 上記に加え、TeamViewer 上で作業
[SoftEther VPN]
（待機） LTE 網に接続。SoftEther VPN のみ起動
（接続） 上記に加え、SoftEther VPN 接続
（操作） 上記に加え、VNC 接続し作業

それぞれ任意の時間帯において 15 分間間隔でデータを取得した。**（操作）**は、画面上でテキストファイルの最大化/最小化を２０回繰り返す作業とした。また、時間帯を変えてそれぞれ５回ずつデータ量を測定した。測定結果を図５に示す。

サーバとのセッション維持のための**（待機中）**にお

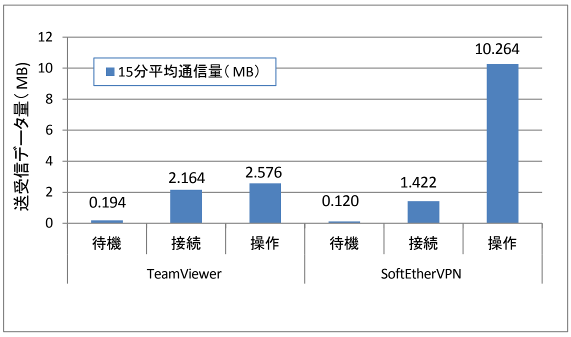


図５　各種状態における通信データ量

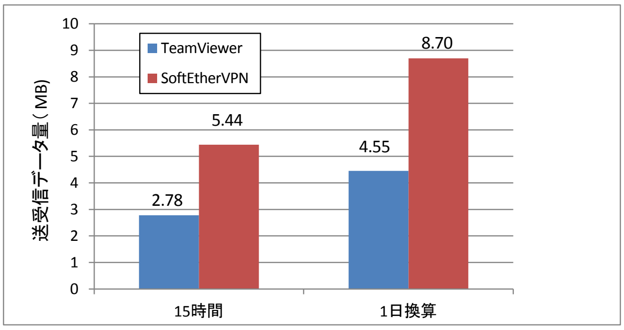


図６　待機状態における 15 時間毎の通信量（MB）

ける通信、及び**(接続中)**の通信量は共に SoftEther VPN の方が少ない。これは、TeamViewer は接続状態で既に画面転送を行っているのに対し、SoftEther VPN は通信経路の確立までで、画面転送は行っていないためであると考えられる。そこで、SoftEther VPN 上で、VNC により画面転送を行うと、通信量は格段に増大した。TightVNCServer をはじめ、画面転送ソフトウエアを利用するとデータ通信量は著しく増加する。

また図５の結果より、**(待機中)**、**(通信中)**状態の通信量は、双方のソフトウエアともに 15 分当たりそれぞれ 0.1～0.2MB、２MB 程度であることが分かった。

次に、**(待機中)**のデータ通信量を更に精密に測定するため、長時間連続での測定を行った。また、システムの安定性も同時に確認することができる。図６は、17:30 から翌朝 8:30 までの 15 時間連続で**(待機中)**のデータ通信量を測定した結果である。１日相当に換算した値も合わせて記載した。この間、システムの不具合は生じておらず，安定的な動作も確認できた。

１日換算の結果から一か月（３０日）のデータ量を計算すると、TeamViewer、SoftEther VPN の順に、163.5MB、261MB となる。**(待機中)**状態だけであれば、月１GB が上限の SIM を利用すれば十分利用可能である。この値を前提として、接続及び VNC による作業時間がどの程度発生するかを見積ることが重要である。

最後に、SIM が利用可能データ量の上限に達した場合の振舞いを確認した。実験で用いた B-mobile の SIM は、１か月の利用可能データ量：１GB を超えると通信速度が 150kbps に制限される。検証の結果，通信制限状態下では、双方共にリモートデスクトップ操作は不可能であった。しかし、SoftEther VPN では、ssh によるコマンド操作は可能であった。SoftEther VPN は、通信制限下でも通信手段を確保できるため、IoT 通信基盤のソフトウエアとして優位性があると言える。

４．２．考察

図５の**(待機中)**における 15 分ごとの通信データを１日換算すると、TeamViewer、SoftEther VPN の順に、18.6MB、11.5MB となる。これを図６の結果と比較すると、TeamViewer の値：4.5MB は大きく異なっている。長時間接続中の TeamViewer は、サーバとのセッション維持を最適化している可能性がある。

次に、一か月当たりの通信量は、前述したように、**(待機中)**の通信データ量は約 300MB 程度を見積もれば不足しない。これに、約 10MB/15 分の VNC による作業が月に何回程度発生するかを見積る。更に、OS やアプリのアップデートに必要な通信量を加えて、月当たりのデータ量を算出するのが望ましい。月１GB を上限とする SIM であっても、毎日 15 分程度の利用であれば十分耐えうるものと考えられる。

TeamViewer はパスワード漏えいによる PC 乗っ取りの事故が、SoftEther VPN は AZURE サーバへの DDoS 攻撃が過去に報告されている。パスワードの運用や不要なサービスを停止するなど、セキュリティの観点には、特に注意を払って利用する必要がある。

５．結言

ゴミドラムの遠隔監視を SIM フリー、低コスト、セキュアに実現するため、Raspberry Pi と SoftEther VPN 及び TeamViewer を用いて、IoT 通信基盤構築プロトタイプを構築し、通信データ量を評価した。

実験の結果、これらのソフトの通信データ量は、毎日 15 分程度の作業であれば、１GB を上限とする SIM で十分利用可能であることが明らかになった。

また、プログラマブル表示機の一部機能代用や異常検知時のアラートメール通知機能の実装などは、Raspberry Pi を活用することが可能である。

今後は、より実運用に合わせた通信データ量の評価と、Raspberry Pi の耐久性検証を行う予定である。

参考文献

１）“特集　先行事例６社に見る IoT ビジネス成功の道”，日経コミュニケーション２０１６年８月号，日経ＢＰ社. p.12-25.

２）“日本クリーンシステム社ウェブサイト”，http://www.jcs-co.com/, (参照 2017-1-20).

３）“TeamViewer ウェブサイト”，https://www.teamviewer.com/ja/, (参照

2017-1-20).
4）"SoftEther VPN プロジェクト ウェブサイト".
https://ja.softether.org/, (参照 2017-2-21).
5）"ThingSpeak ウェブサイト".
https://thingspeak.com/, (参照 2017-1-20).

ベクトル制御ドライバを用いたブラシレス DC モータ制御システムの開発

Development of brushless DC motor control system using vector control driver

技術開発部 プロジェクト研究科　柿崎正貴　高樋昌
応募企業　　ＴＮＫ株式会社

TNK 株式会社が導入を検討しているブラシレス DC モータの制御ドライバに対して、自動巻線機の張力調整装置等の制御へ応用可能であるかを検討するため、巻線機に取り付けることを想定したブラシレス DC モータ制御システムを試作した。その結果、巻線動作に必要な最高回転数・回転数変化率・回転方向・全巻き数について制御が可能であることを確認し、今回使用した制御ドライバが巻線機開発へ応用できる可能性があることを確認した。

Key words: ブラシレス DC モータ、ベクトル制御、PID 制御

１．緒言

自動巻線機を開発、製造している TNK 株式会社では、現在、巻線機における張力調整装置等の制御を DC モータやステッピングモータにより行っているが、長寿命化や振動低減、脱調回避等の観点からブラシレス DC モータに変更する予定であり、制御ドライバとして、BLDC モータ・ベクトル制御開発プラットフォーム（株式会社イーエスピー企画製）[1] の使用を検討している。そこで本研究では、この制御ドライバを用いた、ブラシレス DC モータ制御システムを試作した。

また、巻線動作に最低限必要な最高回転数・回転数変化率（回転数増速率、回転数減速率）・回転方向（時計回り、反時計回り）・全巻き数について制御が可能なプログラムを開発し、この制御ドライバが巻線機への応用が可能であるか検討した。

２．モータ制御システムの構築

２．１．ブラシレス DC モータ

図１に本製品の外観を示す。以下に、図１に示したモータ及びドライバの詳細を記す。

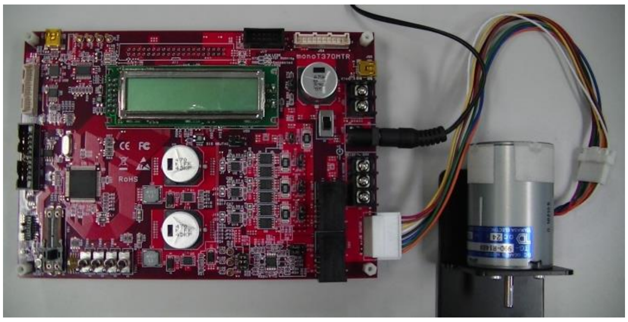


図１　BLDC モータ・ベクトル制御開発プラットフォーム

テスト駆動用のモータとして、ツカサ電工株式会社製のブラシレス DC モータ TG-99D を使用した。このモータは、定格電圧 24[V]で駆動し、無負荷時の最高回転数は 3500[rpm]である。また時計回り、反時計回りの両方向の回転に対応している。

２．２．ベクトル制御ドライバ

制御ドライバには、株式会社東芝製のベクトルエンジン搭載マイコン TMPM370 が組み込まれている。本製品は ARM 社製 Cortex-M3 コアをベースに、モータのベクトル制御を行うために開発されたマイコンで、ベクトル制御の演算プロセスの一部をハードウェアとして実装している[2]。図２に、今回使用するベクトル制御ドライバにおけるベクトル制御フローを示す。電流制御・座標変換・相変換の演算処理は既に実装されている為、図中のソフトウェア処理部分をプログラムすることで制御システムを構築することができる。

また、駆動回路には PWM とインバータが組み込まれており、PWM 生成による正弦波駆動によって、高効率で低振動なモータ回転が可能である。今回のモータ制御システムにおいては 3 シャント方式のセンサレス駆動を採用した。

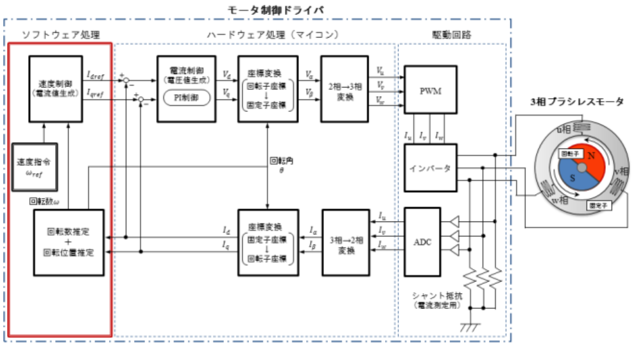


図２　ベクトル制御フロー（正弦波駆動、センサレス、３シャント方式）

３．モータ制御プログラムの開発

３．１．回転数・回転方向制御

本研究において制御目標とするパラメータの内、最

高回転数・回転数増速率・回転数減速率・回転方向に関しては、それぞれのパラメータをプログラム上で変数化し、それらをベクトル制御ドライバへ入力することで対応した。図３に上記の制御を行った際のモータ回転数の時間変化を示す。黒点及び黒線は制御ドライバから 50[ms]毎に取得した回転数推定値ω[rpm]のプロットで、赤線は入力した制御パラメータにおける理想的な回転数変化である。また便宜上、時計回りの回転数を正、反時計回りの回転数を負としてプロットしている。

プログラム上での制御パラメータの変更指示は以下の通りである。尚、回転方向に関しては、時計回りをCW、反時計回りを CCW と表記する。

- t=0.0[s]において、最高回転数 3500[rpm]、回転数増速率 1000[rpm/s]、回転方向 CW
- t=10.0[s]において、最高回転数 0[rpm]、回転数減速率 1000[rpm/s]、回転方向 CW
- t=15.0[s]において、最高回転数 2000[rpm]、回転数増速率 500[rpm/s]、回転方向 CCW
- t=25.0[s]において、最高回転数 0[rpm]、回転数減速率 500[rpm/s]、回転方向 CCW

図３において、時間 t=0.0[s]（モータ駆動開始時）から t=1.0[s]の間、モータは回転位置の初期調整を行っている。t=1.0[s]以降の回転数推定値ω[rpm]は、赤線で示した回転数変化をなぞるように推移する。この結果から、最高回転数・回転数増速率・回転数減速率・回転方向に関して制御が可能であることを確認した。

尚、モータの回転が低速である期間は、回転数推定値のフィードバックによる PI 制御をかけずに、強制転流（回転数指令値に対応する３相交流を生成する開ループ制御）による駆動を行っている。この方式を採用した理由としては、センサレス駆動における回転数推定値はモータの回転により発生する誘起電圧から算出されているため、低速回転時に発生する誘起電圧は小さく回転数推定精度が悪くなり、モータが脱調を起こす危険性が高いため、上記の強制転流による駆動方式を採用した。従って今回の制御では、回転数 0[rpm]以上 375[rpm]以下の領域を強制転流区間とし、図３の強制転流区間における回転数推定値は回転数指令値に置き換えた上でプロットしている。

３．２．全巻き数制御

本研究は巻線機における張力調整装置への応用を考慮しているため、トルク変動の激しい急峻な回転数変化は極力避ける必要がある。その為、全巻き数の制御に関しては提案企業からの要望を踏まえ、パラメータで指定した最高回転数から回転数減速率で徐々に減速し、モータの回転が停止した時点で目標の全巻き数に到達する制御を行った。

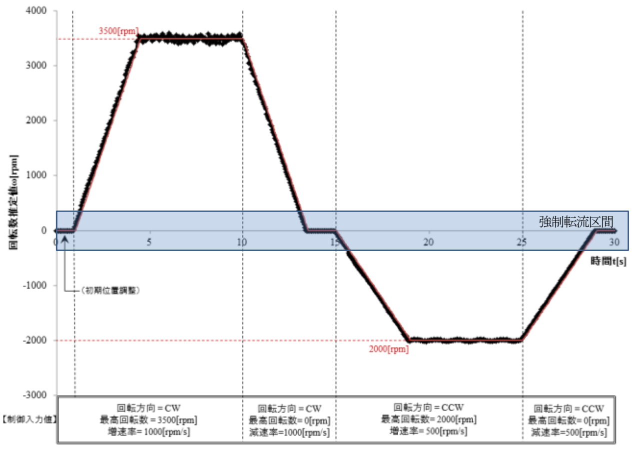


図３　制御入力値に対するモータ回転数の時間変化

一定の回転数減速率D[Hz/s]で減速した場合、モータが停止するまでの所要時間t_d[s]は、最高回転数をω_{max}[Hz]として、

$$\mathrm{t}_d = \omega_{max}/\mathrm{D}$$

で表される。また、その間の理想的な全巻き数Ω_dは、

$$\Omega_\mathrm{d} = \omega_{max} \cdot \mathrm{t}_d/2$$

となる。そこで、目標とする全巻き数をΩ_comとした場合、減速開始時の巻き数Ω_sを以下の式で決定する。

$$\Omega_s = \Omega_\mathrm{com} - \Omega_\mathrm{d}$$

巻き数がΩ_sへ到達した時点から減速を開始すれば、目標全巻き数Ω_comへ到達すると同時にモータが停止すると考えられる。プログラム上では、目標全巻き数Ω_comを変数化し、ユーザーが指定した$\Omega_\mathrm{com}, \omega_{max}$, Dから$\Omega_s$を計算、回転数推定から得られる巻き数測定値$\Omega(\mathrm{t})$が$\Omega_s$へ到達した時点で減速運転に切り替えるアルゴリズムを構築した。

一方で、図３に示したように回転数指令値（赤線）と実際の回転数（黒点及び黒線）との間にはずれが生じる。このずれが回転数減速率D[Hz/s]の追従性に誤差を生み出し、ひいては全巻き数に誤差が生じる。そのため、より正確に目標全巻き数Ω_comを実現するため、巻き数測定値$\Omega(\mathrm{t})$のフィードバックによる PID 制御を行った。減速開始からの経過時間を t[s]、時間 t における理想的な全巻き数を$\Omega_{ref}(t) = \Omega_\mathrm{com} - D(\mathrm{t}_d - t)^2/2$、巻き数測定値との偏差を$\Omega_{diff}(t) = \Omega_{ref}(t) - \Omega(t)$として、回転数指令値$\omega_{com}(t)$[Hz]を次式により算出した。

$$\omega_{\mathrm{com}}(t) = \omega_{\mathrm{max}} - \mathrm{D}t + \left(\kappa_{\mathrm{p}}\Omega_{diff}(t) + \kappa_{\mathrm{i}}\int_{\tau=0}^{t} \Omega_{diff}(\tau)\mathrm{d}\tau + \kappa_{\mathrm{d}}\frac{d\Omega_{diff}(t)}{dt} \right)$$

ここで、$\kappa_{\mathrm{p}}, \kappa_{\mathrm{i}}, \kappa_{\mathrm{d}}$はそれぞれ PID 制御のゲインで任意定数である。プログラム中では、モータの駆動条件に応じて PID 制御のゲイン調整ができるよう$\kappa_{\mathrm{p}}, \kappa_{\mathrm{i}}, \kappa_{\mathrm{d}}$を変数化した。また、PID 制御による回転数のオーバーシュートを防ぐため、回転数指令値$\omega_{com}(t)$[Hz]が 0 に達した時点で、以後の回転数指令値を$\omega_{com}(t) = 0$とする処理を施した。

全巻き数制御を行うプログラムの動作検証を行った結果を表１に示す。表中に示した最高回転数ω_{max}[Hz]と回転数減速率 D[Hz/s] の条件のもと、モータ停止時の全巻き数$\Omega(\mathrm{t}_d)$が目標全巻き数Ω_{com}と一致する様、PID ゲイン$\kappa_{\mathrm{p}}, \kappa_{\mathrm{i}}, \kappa_{\mathrm{d}}$の調整を行った。その際の$\kappa_{\mathrm{p}}, \kappa_{\mathrm{i}}, \kappa_{\mathrm{d}}$の値と、全巻き数制御の指標として目標全巻き数とモータ停止時の全巻き数との差分$\Omega_{\mathrm{com}} - \Omega(\mathrm{t}_d)$を示し、さらに PID 制御をかけなかった際の差分$\Omega_{\mathrm{com}} - \Omega(\mathrm{t}_d)$を参考として示した。結果として、PID 制御をかけることで全巻き数の制御を正確に行い、モータ駆動条件の変化に対しても PID ゲインを調整することで全巻き数制御が可能であることが示された。

表１　PID 制御による全巻き数の制御

最高回転数 ω_{max}[rpm]	回転数減速率 D[rpm/s]	PIDゲイン			巻き数差分 (Ωcom - Ω(td))	(PID制御無) 巻き数差分 (Ωcom - Ω(td))
		κp	κi	κd		
3500	1000	0.175	0.150	0.00005	0.018±0.009	47.298
2500	1000	0.415	0.364	0.00005	0.014±0.009	24.359
1500	1000	1.550	1.230	0.00005	-0.006±0.010	9.431
3000	2000	1.500	1.310	0.00005	0.023±0.005	17.658
3000	1500	0.760	0.635	0.00005	-0.009±0.003	23.350
3000	1000	0.270	0.216	0.00005	-0.011±0.005	34.957
3000	500	0.0442	0.0345	0.00005	0.027±0.011	69.392

４．結言

本研究では、ベクトル制御ドライバを用いたブラシレス DC モータの制御システムを構築し、巻線動作に最低限必要な最高回転数・回転数変化率・回転方向・全巻き数について制御が可能であることを確認した。

回転数及び回転方向の制御に関しては、指定した値を制御ドライバへ入力することで制御が可能である。

また、全巻き数の制御に関しては PID 制御を用いて、緩やかな減速・停止と同時に目標の全巻き数へ到達する制御を行った。このシステムは PID 制御のゲイン調整を行うことで、様々なモータ駆動条件のもとで運用が可能である。これらの結果から、本システムは巻線機開発へ応用できる可能性があることが示された。尚、今回の動作確認ではモータに負荷がかからない状態で検証したため、負荷をかけた状態で検証を行う際は改めて PID 制御のゲインを調整する必要がある。

参考文献

１）株式会社イーエスピー企画.“株式会社イーエスピー企画”. 株式会社イーエスピー企画. http://www.esp.jp/, (参照 2017-03-01).
２）東芝 ストレージ&デバイスソリューション社. “ベクトルエンジンとベクトル制御”. 東芝 ストレージ&デバイスソリューション社. https://toshiba.semicon-storage.com/jp/design-support/e-learning/mcupark/village/vector-1.html, (参照 2017-03-01).

環境負荷の少ないセリシン定着方法の検討

Consideration of sericin fixing method with less environmental impact

福島技術支援センター 繊維・材料科　伊藤哲司
応募企業　　　　　　　齋栄織物株式会社

これまで生糸のセリシン定着方法にはホルマリン等の化学薬品が使用されており、人体や環境への負荷が懸念されている。環境負荷の少ない改質剤もあるが、効果が少ないため一般的には使用されず詳しい加工条件などは未検証のままであった。そこで、環境負荷の少ない加工剤でのセリシン定着加工の検討を行い、その効果について検証を行った。

その結果、タンニン酸とアルミニウム塩類水溶液を組み合わせることで、環境負荷が少なくセリシンの定着効果が十分にある加工方法を確立することができた。

Key words: 絹、生糸、セリシン定着

１．緒言

生糸のセリシン定着加工は、絹先染め織物において必要な加工技術の一つである。通常は染色工場など専門業者に加工を委託するが、一定の発注量が必要であり、少量では高コストとなる。そのため、委託元である織物業者などは内製化を行いたいが、加工装置や加工剤の廃液処理などの問題があり、出来ないのが現状である。そこで、環境や人体への負荷が少ない加工法や、専用装置などを必要としない定着方法について検討を行った。

これまで生糸のセリシン定着方法は、ホルムアルデヒドや重クロム酸などを用いて行われてきた。しかし、昨今の環境問題や加工時の人体に対する影響などを考慮し、塩化シアヌルやグリオキザール系、エポキシ系の樹脂が使用されている。しかしながら、これらの加工剤の場合も廃液処理など専用の設備が必要となってくる。また、天然物由来のタンニン酸にはセリシン定着効果のあることが知られているが、加工糸の着色や吐酒石などと併用する必要があるためこれも廃液処理に問題がある。

人体や廃液処理等を含め、環境負荷の少ない加工剤としては、カリミョウバンなどのアルミニウム塩類でもセリシン定着効果が検証されているが、その効果は非常に低い[1)]。そこで、以前当所で行った研究[2)]での知見から、タンニン酸と、硫酸アルミニウム水溶液を併用したセリシン定着加工について検討を行った。

２．実験

２．１．加工原糸

加工原糸は生糸 21 中×4 本（S120T/m）を使用した。

２．２．加工剤

タンニン酸は、富士化学工業(株)製の工業用タンニン酸、硫酸アルミニウムは、和光純薬工業(株)製の硫酸アルミニウム 14-18 水を使用した。

２．３．タンニン酸処理とアルミニウム塩類水溶液処理

試料の加工手順は、タンニン酸水溶液に浸漬後、硫酸アルミニウム水溶液に浸漬し、水洗、乾燥を行った。糸量は約２g、それぞれの溶液量は 100ml（浴比１：50)、常温で 24 時間浸漬した。

それぞれの溶液濃度と試料名（A,B）を表１に示す。また、硫酸アルミニウム水溶液は炭酸ナトリウムを pH 調整剤とし、約 pH3.8 に調整し使用した。

表１　溶液濃度と試料名

硫酸アルミニウム(%) ＼ タンニン酸(%)	5.0	7.5
0.05	A-1	B-1
0.10	A-2	B-2
0.25	A-3	B-3
0.50	A-4	B-4

２．４．強伸度試験及び重量変化率

定着加工により糸の物性値が低下するか確認するため、強伸度試験を行った。また、セリシンの定着率を検証するため、定着加工後と精練加工後に重量変化率を測定した。

強伸度試験は、(株)島津製作所製の精密万能試験機 AGS-10KNG を使い JIS L1013 8.15 引張強さ及び伸び率に準拠し、つかみ間隔 200mm、引張速度 100mm/min で試験を行った。

精練加工は、JIS L1096 8.35 練減りに準拠し精練を行った。生糸の場合セリシンの重量比率は 25%であり、セリシンが 10%程度残留していれば定着効果

は認められる。

２．５．電子顕微鏡による糸の表面観察

精練加工後の糸のセリシン付着状態を確認するため、電子顕微鏡を使い観察を行った。観察条件は、日本電子(株)製走査型電子顕微鏡 JSM-6510LA を使い二次電子像で観察した。

２．６． 測色試験

定着加工による糸の変色を測定するため、日本電色工業(株)製 NF-999 を用い測色した。測色条件は光源を D65、視野が 10° で測色し、L*a*b*で示した。

２．７． 漂白試験

精練加工後の糸は、茶色く着色したため漂白が必要となった。定着条件は精練加工後の重量変化率の結果から決定した。漂白加工は、過酸化水素(30%)による酸化漂白と洛東化成工業(株)製 ブライト RX-1 による還元漂白、それぞれ二つを組み合わせた、酸化還元漂白を行った。それぞれの漂白条件を表２に示す。

表２ 漂白条件

No.		加工剤	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (hr)	炭酸ナトリウム (g/L)
1	酸化漂白	過酸化水素	3	70	0.5	5
2	酸化漂白	過酸化水素	3	70	0.5	0
3	酸化漂白	過酸化水素	3	常温	24	0
4	還元漂白	ブライト RX-1	1	80	0.4	5
5	酸化還元漂白	No. 1 の後 No. 4				
6	酸化還元漂白	No. 2 の後 No. 4				

３.結果と考察

３．１．強伸度試験と重量変化率

セリシン定着加工後の糸の強伸度試験結果を表３に示す。定着加工後の糸は、強度、伸度とも、加工前生糸と比べ、大きな変化は見られなかった。この加工により製織時の糸切れ等のトラブルは発生しないと考えられる。

図１．１と図１．２に、タンニン酸濃度毎の重量変化率を示す。定着加工後の重量変化率は、タンニン酸濃度が高いほど大きくなり、また、精練加工後でも、タンニン酸濃度が高いほど減量率が小さくなっているが、硫酸アルミニウム水溶液の濃度は大きく影響していないことが分かる。

３．２．電子顕微鏡による糸の表面観察

試料 A (硫酸アルミニウム水溶液濃度 5%処理) の精練加工後の糸の電子顕微鏡による表面観察写真を図２に示す。重量変化率の大きい糸 (A-1、A-2) は、セリシンが除去されフィブロインの露出が多く見られ、重量変化率の小さい糸 (A-3、A-4) は、セリシンによりまとまりが見られる。

表３ 強伸度試験結果

試料名	最大点応力 (mN/dtex)	最大点伸度 (%)	強度比 (%)	伸度比 (%)
原糸	36.7	20.0	---	---
A-1	36.7	21.0	100	105
A-2	37.0	20.8	101	104
A-3	34.6	19.7	94	99
A-4	36.7	22.1	100	111
B-1	35.6	20.8	97	104
B-2	35.2	20.0	96	100
B-3	36.0	19.9	98	99
B-4	35.9	18.9	98	95

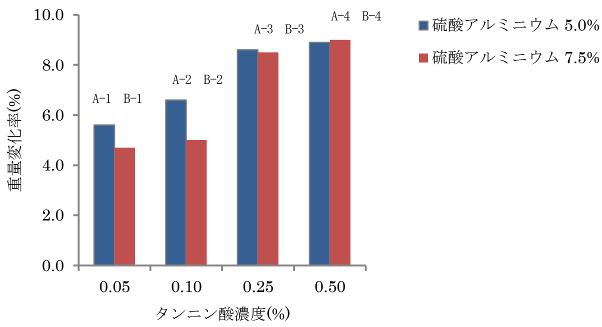


図１．１ 定着加工後の重量変化率

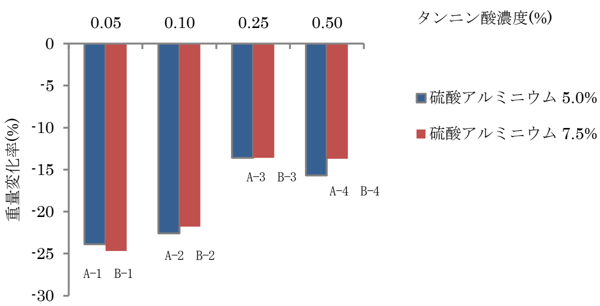


図１．２ 精練加工後の重量変化率

３．３．測色試験

図３．１に加工剤の濃度と色差を示す。定着加工後の糸は重量が増し、色差ΔE*(ab)が大きくなり着色していることが分かる。しかし、タンニン酸など加工剤の濃度による色差には関係が見られなかった。色差のバラツキは、定着加工の処理方法が、浸漬処理と不定期の撹拌処理で行っているため、撹拌が十分でなく加工剤の付着ムラに起因すると考えられる。

今後は、撹拌条件についても検討する必要がある。
図３．２に精練加工後の重量変化率と色差を示す。精練加工後の糸では、減量率が大きいものほど色差が小さい。これはセリシンに加工剤が浸透しているため、セリシンが脱落することで色差が小さくなっていると考えられる。

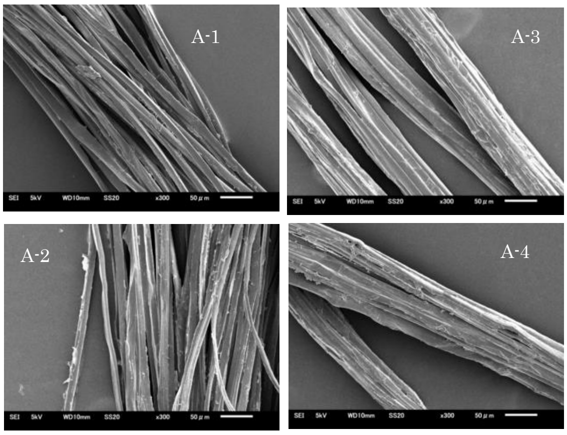


図２　電子顕微鏡写真

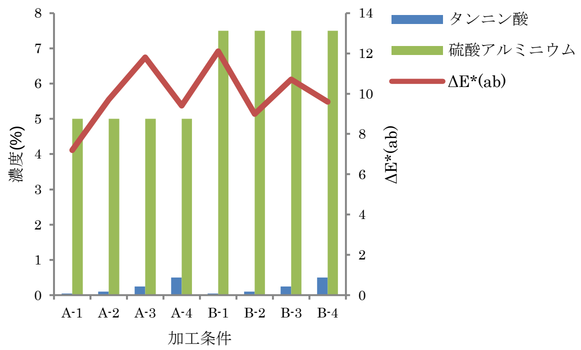


図３．１　加工剤の濃度と色差

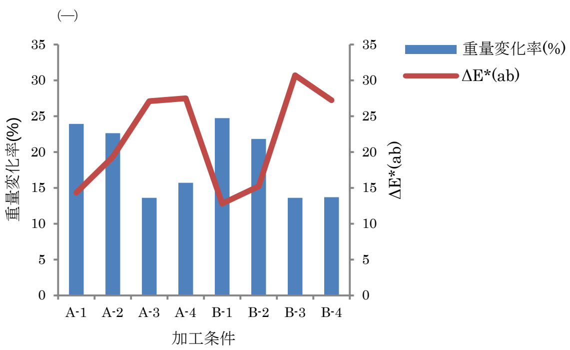


図３．２　精練加工後の重量変化率と色差

３．４．漂白試験

漂白試験は精練後の結果から、試料 A-3 を用いた。精練加工後、表２の漂白条件により漂白加工を行い、生糸精練糸を基準として測色を行った。また、各加工後の重量変化率を測定した。

図４に漂白加工後の重量変化率と色差ΔE*(ab)を示す。重量変化率が小さく、色差も小さい漂白条件が必要であるが、糸の重量変化率が大きいものほど色差が小さくなっている。今回の漂白条件では、No.４とNo.６が、色差が小さく、重量変化率も小さい加工条件だが、減量率と漂白効果は十分ではなく、更なる検討が必要である。

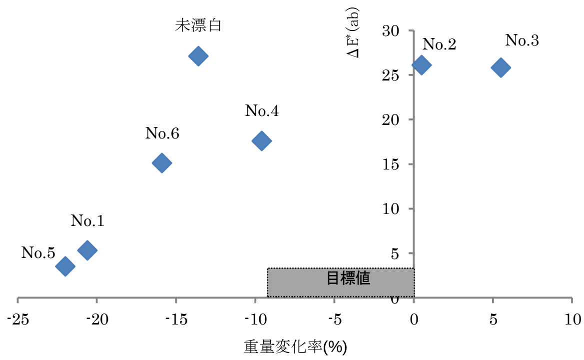


図４　漂白加工後の重量変化率と色差

４．結言

硫酸アルミニウムなどのアルミニウム塩類水溶液を使ったセリシン定着加工は、手軽で環境負荷が少ない加工であるが、その効果が低くこれまで使用されて来なかった。しかし、同じ天然物由来のタンニン酸加工と組み合わせることで、十分な定着効果を得ることができた。

精練加工後の糸はタンニン酸による着色があり、漂白方法や、染色品のみでの使用が検討される。今後は、量産化試験と定着糸の染色性や漂白方法について検討を行い、商品化に繋げていく。

参考文献

１）奥正巳．セリシン定着論．紡織雑誌社，1941, p.104.
２）伊藤哲司，タンニン酸と金属イオンを使用した媒染加工技術の構築．平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2015, p.9

リリヤン構造を活用した新規絹製弦の開発

Development of the new silk strings having structure of the lily yarn

福島技術支援センター　繊維・材料科　中村和由　東瀬慎　長澤浩
応募企業　　　　　　　東北撚糸株式会社

近年、楽器用の弦は、ナイロンやポリエステルなどの合成繊維や金属繊維が主流となっている。しかし、絹製弦特有の音色が再評価され、需要が高まりつつある。弦楽器の一つであるストリングラフィーは、絹製の撚糸とリリヤン糸を併用しているが、より音色の優れていると感じるリリヤン糸にすべて置きかえたいとの要望があり、本研究ではシルクリリヤン糸を試作し、既存の撚糸構造の弦との比較を行った。

Key words: シルク、弦、ストリングラフィー、サスティーン

１． 緒言

絹製弦は、古来より三味線、琴、琵琶（薩摩、筑前）、胡弓、中国伝統楽器絃（古琴、二胡、中胡、中国琵琶）、ギター（コンパウンド弦芯線）等で使用されてきたが、耐久性等に問題があることから、より物性強度に優れた合成繊維や金属材料への置き換えが進んでいる[1)]。

しかし、近年絹製弦の音色やサスティーン（伸び、響き）等が再評価され、その需要、用途が拡大している。

図１　ストリングラフィーの演奏風景
（ストリングラフィー演奏者から提供）

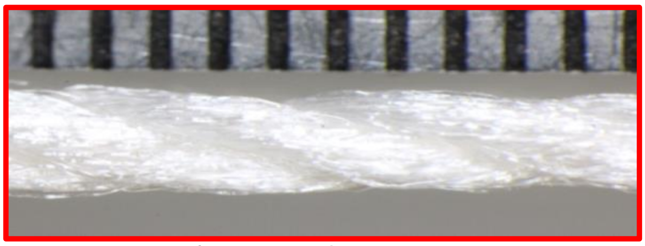
絹製弦を使用する弦楽器の一つに、ストリングラフィー（図１）がある。ストリングラフィーは、1992 年に作曲家の水嶋一江氏によって開発された楽器であり、絹糸と共鳴器によって構成され、一つの演奏に１６～２１本の弦を使用する。演奏は、演奏者が手で繊維の軸方向に擦るまたは弾くことによって行い[2)]、その弦は撚糸構造の弦とリリヤン構造の弦を併用している（図２）。

今般、撚糸構造の弦に関して、生産が中止になったことや、演奏時の音色は、リリヤン構造のほうが演奏者の意見として優れていることより、リリヤン構造の弦に置き換えたいという要望が提案企業より寄せられた。

本研究では、リリヤン試作糸を作製し、物性評価と音色評価をおこなった。しかし、短期間の研究だったため、音色評価については、演奏者がリリヤン試作糸を実際に演奏し、従来の撚糸構造の弦との感覚的な比較（以下、官能評価）を行った。

弦Ａ（撚糸構造）880dtex

弦Ｂ（リリヤン構造）1350dtex



弦Ｃ（撚糸構造）2580dtex

図２　撚糸構造とリリヤン構造

２． 研究概要

２． １． 目標値

ストリングラフィーでは、３種類の弦（図２）を使用している。本研究では、このうち２種類の撚糸構造の弦（弦Ａと弦Ｃ）についてリリヤン構造への置き換えを検討した。

目標値は、現在使用している弦Aと弦Cの物性値を基準として、表１に示す値とした。

表１　目標値

		目標値
①	強度	試作糸（細）≧　0.038N/dtex（弦A）
		試作糸（太）≧　0.020N/dtex（弦C）
②	伸度	試作糸（細）≦　23.0%　　（弦A）
		試作糸（細）≦　28.0%　　（弦C）
③	繊度	弦A or 弦C　と比べて　±10%以内

２．２．リリヤン試作糸について

試作糸に用いた繊維素材は表２のとおりである。

表２　繊維素材

繊維	繊度（dtex）	備考
シルク（練糸）	190	東北撚糸（株）で加工したものを使用

試作糸は、シングルブレーダー糸製造装置（図３）により、製造を行った。シングルブレーダー糸製造装置は、円周状にベラ針が並んだ構造をしている。ベラ針を保持しているスピンドルが回転すると、装置内に固定されたカムがベラ針上のバットを押し上げて上下運動を繰り返す丸編機の原理により、紐状のブレーダー糸を製造する。

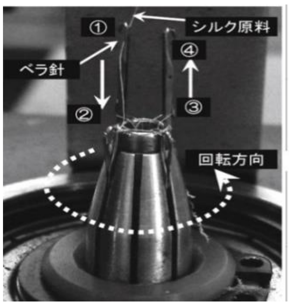


図３　ブレーダーマシンの外観

２．３．試験機器

試作に使用した製造装置及び物性試験機器の使用目的と機器名を表３に示す。

表３　使用機器と使用目的

使用目的	機器名	製造メーカー
ブレーダー糸加工	新ブレーダーマシン	(有)小塚コーポレーション製　K-5
試料観察	拡大映像システム	(株)キーエンス製 VH-8000
試料強伸度測定	万能抗張力試験機	(株)島津製作所製 AGS-10kNG

２．４．評価試験

２．４．１．強伸度評価

万能抗張力試験機を用い、JISL 1013 法8.5.1標準時試験により試験を行った。（恒温恒湿室内20℃、65%）。また、繊度については、1mの長さの加工糸を３点取り、精密天秤によりそれぞれの重量を測定し、その平均値から繊度（dtex）を求めた。

２．４．２．官能評価

今回試作した糸を、演奏者が実際に演奏し、既存の絹製弦と比較を行った。このとき、演奏者が松脂を糸表面に塗った上で、演奏を行った。

評価項目は、「①音の再現性、②音色、③弾いた感触（弾きやすさ）」の３項目で行った。

３．実験結果

３．１．リリヤン試作糸作製

針本数を変え、表４のとおり７種類の試作糸を作製

試作糸	針本数	原糸本数	置き換え対象
細①	4	1	弦A（撚糸構造）880dtex
細②		2	
細③		3	
太①	6	1	弦C（撚糸構造）2580dtex
太②	8	2	
太③		3	
太④		4	

した。

表４　試作加工条件

３．２．リリヤン試作糸評価

３．２．１．強伸度評価

試作糸の強伸度測定結果を表５に示す。黄色は目標値を達成した項目である。

表５　物性評価結果

試作糸	繊度（dtex）	比強度（N/dtex）	伸度（%）
細①	920	0.046	16.5
細②	2560	0.046	21.3
細③	3840	0.025	27.7
比較：弦A（撚糸）	880	0.038	23.0
太①	2280	0.014	9.0
太②	8170	0.014	22.0
太③	14440	0.013	36.4
太④	23040	0.012	53.0
比較：弦C（撚糸）	2580	0.020	28.0

細繊度試作糸（細①～細③）のうち、細①が３つの目標値をすべて満たした。それに対して、太繊度試作糸（太①～太④）のうち、太①が、２項目（繊度、伸度）の目標値を満たし、太①～太④の中では一番評価が高かった。

３．２．２．官能評価

（１）細繊度試作糸

それぞれの項目について、試作糸の比較結果を以下に示す。

ｉ）音の再現性
細①　＞　細②、細③
ⅱ）音色
細①　＞　細②、細③
ⅲ）弾いた感触
細①　＞　細②、細③

（２）太繊度試作糸

それぞれの項目について、試作糸の比較結果を以下に示す。

ｉ）音の再現性
太③　＞　太②　＞　太①、太④
ⅱ）音色
太①　＞　太②、太③、太④
ⅲ）弾いた感触
太①　＞　太②　＞　太③、太④

演奏者の官能評価の結果、細繊度試作糸は、細①が３つの評価項目をすべてで一番評価が高かった。それに対して、太繊度試作糸は、太①が一番評価が高く、２項目（音色、弾いた感触）で一番良好な評価だった。

４．結言

本研究において、ストリングラフィー用弦のうち、撚糸構造の弦をリリヤン構造の弦への置き換えを検討した結果、以下のことが分かった。

（１）細繊度リリヤン糸：
細①（針本数：４本、原糸本数：1 本）により置き換えが可能となった。
（２）太繊度リリヤン糸：
太①（針本数：４本、原糸本数：1 本）について一番評価が高かった。

本研究において、演奏者がリリヤン構造の弦のほうが音色に優れていると感じることについて、明確な理由は分からなかった。

ただし、先行技術[3]の中に、金属芯材に高分子材料をコイル状に巻くことによって（図４）、音色やサスティーンの向上を図ったものがある。一方で、今回試作したリリヤン構造も、ループ結節をコイル形状に形成（図５）している。

このコイル形状が、音色やサスティーンの向上に寄与しているのではないかと考えている。

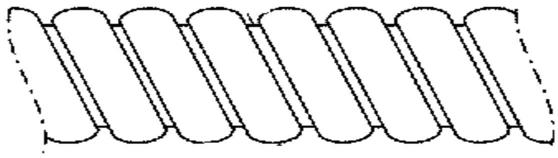


図４　巻き弦

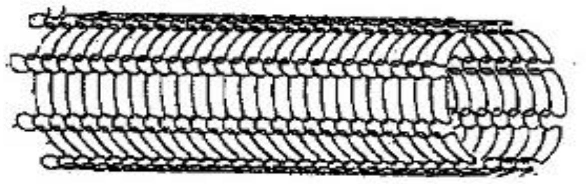


図５　リリヤン構造

今後の予定として、提案企業では、本事業で開発したリリヤン試作糸を基に、音響分析を取り入れて、さらなる開発を予定している。また、太繊度の試作糸について、一部残った課題（強度、音色の再現性）については、合成繊維との組み合わせにより、改良を行う予定である。

５．参考文献

１）清水, 徳丸, 金子. 国産蚕品種による絹箏弦の開発―蚕品種による絹弦の音色特性. 日本シルク学会誌. 2014, No.22, p.71-79
２）山口, 水嶋, 八重樫, 菅村. 「ストリングラフィ」の音響解析. 情報処理学会研究報告.2008, p.17-22.
３）岡本, 河原.「楽器用弦及びその製造方法（特開2014-145812)」. 2013.

天然物由来食品添加物を利用した馬肉加工食品の保存性向上

Improving method for storage stability of horsemeat processed food
applying natural food additive.

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 高橋 亮 小野和広
応募企業 馬力本願

応募企業では土産用として新たな馬肉加工品の商品開発を進めていたが保存性に課題があった。そこで本研究では微生物制御の有効な手段の一つとされる食品添加物を利用し、馬肉加工食品の保存性向上について検討を行った。その結果、馬肉加工品へのしらこたん白添加による抗菌効果を確認し、加熱処理との併用により商品化が可能となった。

Key words: 食品添加物、しらこたん白、プロタミン

１．緒言

馬肉は会津地方で日常的に食べられる食材で、スーパー等の食料品店で他の精肉と並び売られている。応募企業では店舗にて会津馬味噌ラーメンをはじめ、馬刺しやさくらユッケ等を提供している。応募企業においては、消費者需要の高い馬肉チャーシューと馬肉モツ煮について、今回新たに土産用馬肉加工品として商品開発を進めていたが、保存性に課題があった。今回開発中の馬肉加工品のように、喫食前に加熱を要さない調理済み食品（Ready-to-Eat 食品）は、製造後から消費まで一定の期間保存されるため、温度やpH、水分活性、食品添加物（保存料）等を組み合わせた微生物制御が必要となるが、pHや水分活性を下げる方法は風味を損ねやすいという問題がある。

そこで本研究では、微生物制御の有効な手段の一つとされる天然物由来の食品添加物を利用した馬肉加工食品の保存性向上について検討した。

２．実験方法

２．１．供試食品添加物

消費者イメージを重視し、食品表示義務のある食品添加物は天然物由来のしらこたん白（プロタミン）を使用することとした。しらこたん白はサケやニシンのしらこから得られる比較的低分子量の強塩基性蛋白質である。これはバチルス属などの耐熱性菌や乳酸菌を含む広い範囲のグラム陽性菌に対して増殖抑制効果を示す。また、熱安定性が高いため食品の加熱処理との併用で殺菌効果を高められる。さらに、弱酸性からアルカリ性まで広いpH領域で効果を示すためpHを下げずに保存できて、風味を損なわない利点がある。試験に供したしらこたん白製品を表１に示す。

２．２．供試馬肉加工品

馬肉チャーシューは製造後、スライスして表２の配合にて真空包装して供試した。馬肉モツ煮についても製造後、表３の配合にて真空包装して供試した。

表１　試験に用いたしらこたん白製剤

商標名	成分
インパクトA	グリシン・酢酸Na・ポリリン酸Na・しらこたん白
インパクトE	グリシン・しらこたん白・卵白リゾチーム
インパクトN	しらこたん白

表２　馬肉チャーシュー検体調整の配合

チャーシュー	約20ｇ
漬けタレ	馬肉重量の30%
しらこたん白製剤	検体重量の1%

表３　馬肉モツ煮検体調整の配合

固形部	約50ｇ
液部	固形部重量と等量
しらこたん白製剤	検体重量の1%

２．３．保存試験

馬肉チャーシューの保存試験を表４、馬肉モツ煮の保存試験を表５の条件にて実施した。土産という特性上、馬肉チャーシューは冷蔵にて10日間以上、馬肉モツ煮は冷蔵にて14日間以上の保存を目標とした。

なお､馬肉チャーシューの製造は加熱処理された後、漬けタレに一昼夜漬け込み、スライスして包装されることから、製造直後から一定数の生菌が存在すると考えられる。そこで、しらこたん白の高い熱安定性を利用した加熱処理との併用についても検討した。食味を損ねない低温殺菌条件として真空パック後に恒温槽にて80℃で10、20、30分間の加熱処理をした。

表４　馬肉チャーシュー保存試験

しらこたん白	保存温度	期間	加熱処理
無添加 インパクトA インパクトE インパクトN	25℃ 10℃	18日間	80℃ 30min 無処理

表５　馬肉モツ煮保存試験

しらこたん白	保存温度	期間	加熱処理
無添加 インパクトA インパクトE インパクトN	10℃	21日間	80℃ 30min 無処理

２．４．微生物の計数方法

一般細菌は標準寒天培地（日水製薬）、大腸菌群はデソキシコレート寒天培地（日水製薬）を用い常法により計数した。

２．５．官能評価

官能評価は当所職員と応募企業担当者の３名で行い、味、香り、組成、色、総合について５点法(1:優～5:難)にて平均点を算出した。

３．試験結果及び考察

３．１．馬肉チャーシュー保存試験結果

弁当・そうざいの衛生規範によると、加熱処理した製品の規格は生菌数が5.0 logCFU/g以下となっており、初発は適合要件を満たしていた。常温保存を想定した25℃条件では、非加熱処理のすべての試験区で保存 5 日後の生菌数が7.0 logCFU/g以上となり常温保存は不可能であった（図１）。

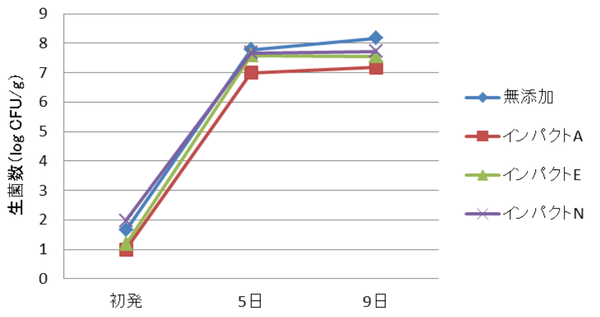


図１ しらこたん白製剤別の保存試験

（25℃保存・非加熱処理）

冷蔵保存を想定した 10℃条件、非加熱処理区分では、無添加と比較し、しらこたん白製剤添加により生菌数の増殖抑制効果がみられた。また、内容成分としてしらこたん白単体の製剤（インパクト N）よりも、グリシン等を併用した製剤（インパクトA、インパクトE）の効果が高く、特にインパクトAは保存6日後で無処理と比較して10^2オーダーの増殖抑制効果を示した(図２)。

しかしながら、非加熱処理では目標とする 10 日間の保存を達成できないため、加熱処理について検討した。

加熱処理効果を検討するために、検体を 25℃で 9 日間保存して生菌数をほぼ最大とした後に、80℃で 10 分間、20 分間の加熱処理を行った。その結果、すべての試験区で生菌数を 10^4 オーダー減少させる効果があり、加熱時間を 20 分間に増加することでしらこたん白製剤添加区分は効果が高くなることが分かった(図３)。

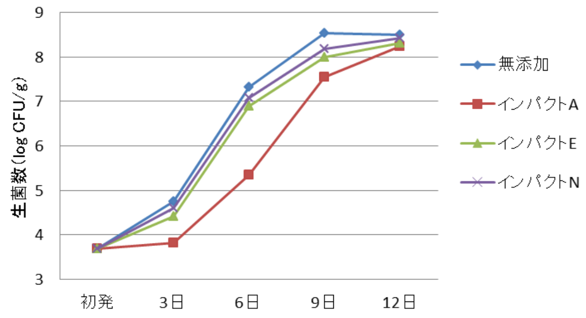


図２ しらこたん白製剤別の保存試験

（10℃保存・非加熱処理）

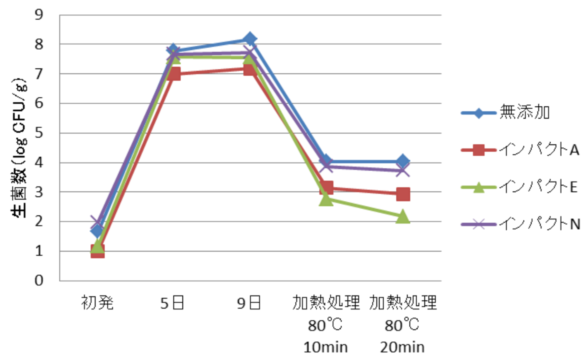


図３ しらこたん白製剤別の加熱処理効果試験

冷蔵保存を想定した 10℃条件、加熱処理区分では、初発から保存 18 日後まで生菌は確認されなかった(表６)。表には示さないが、インパクトN添加と加熱処理を併用した条件の再現性試験において保存 21 日後においても生菌は確認されなかった。今回の加熱処理試験では、しらこたん白が無添加でも同様の結果となったが、一般的に 80℃、30 分間の加熱条件では耐熱性菌まで完全に殺菌することは不可能であり、耐熱性菌の増殖抑制効果を有するしらこたん白製剤の添加が必要だと考えられる。

表６　馬肉チャーシュー加熱処理保存試験

しらこたん白	保存温度	期間	生菌数
無添加 インパクトA インパクトE インパクトN	10℃	18日間	300個/g以下 300個/g以下 300個/g以下 300個/g以下

３．２．馬肉チャーシュー官能評価結果

添加するしらこたん白製剤の種類により馬肉チャーシューの香味に若干の変化が確認された。無添加と比較し、インパクトNの評価が高く、インパクトEがほ

ぼ同等、インパクトＡがやや劣る結果となった。短評からインパクトＥは甘味が増加し、インパクトＡは酸味が増加して感じる傾向があった。

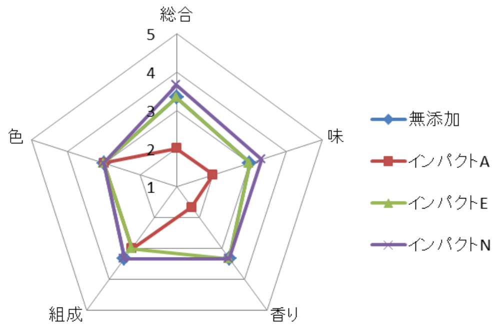


図４　しらこたん白製剤別の官能評価
５点法（1:難～5:優）

３．３．馬肉モツ煮保存試験結果

試験結果は示さないが、加熱処理の有無、しらこたん白の添加に関わらず、すべての区分で冷蔵保存 21 日後において生菌は確認されなかった。この原因としては、馬肉モツ煮は品温が下がると油が固化するため 60℃程度の比較的高い状態で真空包装することから、加熱処理された状態とほぼ同等となるためだと考えられる。

４．結言

微生物制御の有効な手段の一つとされる食品添加物と加熱処理を併用し、馬肉加工食品の保存性向上について検討した。その結果、馬肉チャーシューについては、しらこたん白製剤の添加による一定の保存性向上効果を確認できた。80℃、30 分間の加熱処理を併用することで目標とする保存期間内では生菌は確認されず、商品化が可能となった。馬肉モツ煮については加熱処理の有無、しらこたん白の添加に関わらず、すべての区分で目標とする保存期間内で生菌は確認されなかった。馬肉チャーシュー、馬肉モツ煮ともに麺とセットで新たな土産用の馬肉ラーメンとして商品化予定である。

エタノール法による酒類のアミノ酸度の測定方法の検討

Investigation of ethanol method for measuring amino acid levels in sake

会津若松技術支援センター　醸造・食品科　矢吹有唯　中島奈津子　菊地伸広　鈴木賢二
応募企業　福島県酒造組合

国税庁所定分析法において、アミノ酸度の測定はホルマリン法が採用されているが、ホルマリンを使用しない清酒のアミノ酸度の分析方法として、エタノール添加法（以下、エタノール法と省略）による分析方法が酒類総合研究所標準分析法に追加された。そのため、県内の多くの酒造場が採用しているホルマリン法との比較検討を行った。その結果、エタノール法ではホルマリン法に比べ、pH 計による場合 0.1～0.2 程度低く、指示薬滴定法による場合 0.2 程度高い分析値となることが分かった。

Key words:清酒、醪、アミノ酸度、エタノール

１．緒言

清酒に含まれるアミノ酸は、グルタミン酸やアスパラギン酸は呈味、アルギニンは苦味、アラニンは甘味に関与するなど､多いと旨味とコクがでるようになり、多すぎると雑味となってくどいように感じられる。また、清酒醪末期において酵母菌体からアミノ態窒素が漏出することにより、アミノ酸度が上昇することが知られている。そのため、アミノ酸度の測定は、清酒の商品特性や醪の発酵状態を把握するために必要とされている。

県内の酒造メーカー２９社にアミノ酸度分析について聴き取り調査を行ったところ、83%がアミノ酸度の分析を実施しており、うち９割以上が指示薬滴定法によるホルモール法（以下、ホルマリン法と省略）によりアミノ酸度分析を実施していた。

また、現在アミノ酸度分析を行っていない酒造メーカーも今後は実施したいとの回答があり、県内の酒造現場におけるアミノ酸度分析の必要性は非常に高い。

国税庁所定分析法において、アミノ酸度の分析にはホルマリンを使用する方法が採用されているが、特定化学物質障害予防規則等が改正（平成２０年３月、厚生労働省）され、ホルマリンの取扱いに対する規制が強化された。そのため、ホルマリンを使用しないアミノ酸度の測定方法として、エタノール法が酒類総合研究所標準分析法に追加された。

しかしながら、酒造現場の分析担当者からは、実際に測定した場合エタノール法とホルマリン法との分析値が一致しない等の意見が寄せられている。そこで本研究では､指示薬滴定法及び pH 計によるエタノール法とホルマリン法のアミノ酸度の分析方法の比較検討を行った。

２．実験方法

２．１．試料

清酒として、県内の市販酒５９点（普通酒４３点、本醸造９点、純米酒４点、吟醸酒３点）を使用した。

醪として、当所にて平成２９年１～２月に行った純米大吟醸の試験醸造（総米 67kg）の２種類の醪（１７日目以降～上槽まで）を遠心分離にてろ液を採取し、試料とした。

２．２．試薬

エタノールは特級エタノール（99.5%）（純度（GC）質量分率 99.5%以上）を使用し、フェノールフタレイン指示薬及び N/10 水酸化ナトリウム溶液は国税庁所定分析法[1] に従って調製した。

２．３．pH 計によるアミノ酸度の測定

pH 計によるアミノ酸度の測定は、ホルマリン法は国税庁所定分析法により終点を pH 8.2 に、エタノール法は藤田ら[2] の方法により終点を pH 10.2 に設定し行った。また、pH 計による測定には自動滴定システム（AT-700/京都電子工業(株)製）を用いて行った。

２．４．指示薬滴定法によるアミノ酸度の測定

指示薬滴定によるアミノ酸度の測定は、藤田らの方法に従って行った。なお､指示薬滴定法による検討は、当所職員３名により同方法で実施した。

２．５．2-プロパノールによるアミノ酸度の測定

試料 10 mL をとり、フェノールフタレイン指示薬 2～3 滴を加えて N/10 水酸化ナトリウム溶液で中和した。そこに、2-プロパノール 10 mL を加え、N/10 水酸化ナトリウム水溶液で淡桃色になるまで滴定した。この滴定量（mL）に N/10 水酸化ナトリウム水溶液の力価を乗じて測定値とした。

３．実験結果及び考察

３．１．pH 計による市販清酒の分析

市販清酒を pH 計により分析したところ、ホルマリン法とエタノール法では高い相関を示した（図１）。また、エタノール法ではホルマリン法に比べ 0.1～0.2 程度低い値となった（図２）。エタノール法で終点を pH 10.2 と設定した場合、ホルマリン法で得られた分析値と一定の誤差が生じることが分かった。

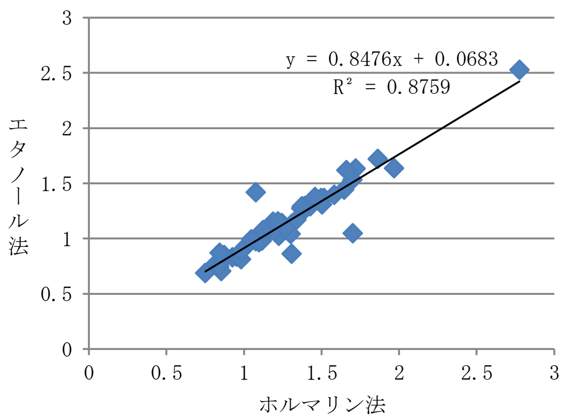


図１　pH 計による分析の相関

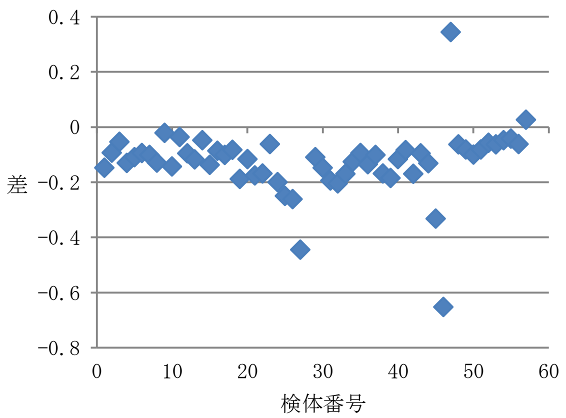


図２　pH 計による場合の差
（エタノール法－ホルマリン法）

３．２．醪の分析

醪の分析は、醪日数 17 日目以降の純米大吟醸の醪を採取し、ろ液のアミノ酸度を指示薬滴定法によるホルマリン法、pH 計によるエタノール法、指示薬滴定法によるエタノール法の３つの方法で分析した。その結果を図３、４に示す。同一試料を測定した際、指示薬滴定法によるホルマリン法、pH 計によるエタノール法、指示薬滴定法によるエタノール法の順にアミノ酸度が高くなり、その差はそれぞれ 0.1～0.2 程度であった。

分析値の誤差が生じる原因のひとつとして、指示薬滴定法では、エタノール 25 mL を添加した際に白濁が生じ、終点の判別が困難になったことにより、滴定量が過剰になりやすいことが考えられた（図５）。

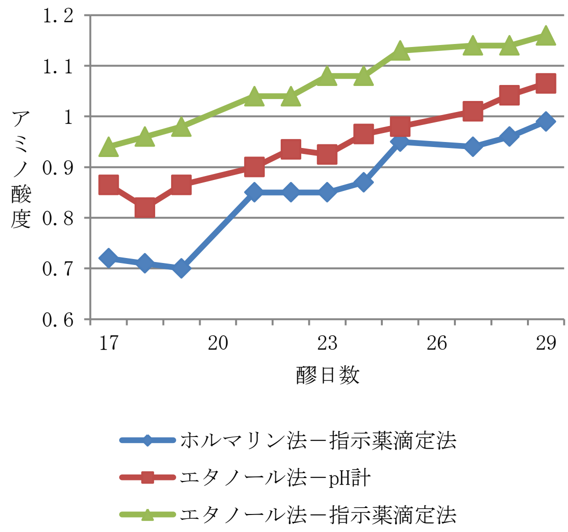


図３　醪後半のアミノ酸度の推移
（醪１号）

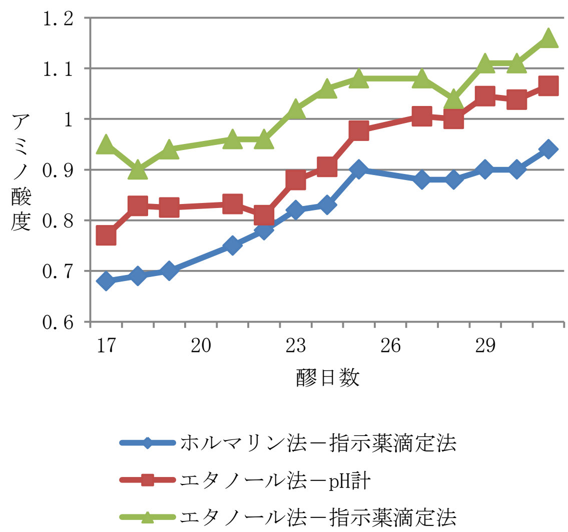


図４　醪後半のアミノ酸度の推移
（醪２号）

エタノール添加後　　　終点

図５　醪でのエタノール法における色の変化

３．３．指示薬滴定法による分析方法の検討

吟醸酒及び純米酒に対し、ホルマリン法とエタノール法により測定したアミノ酸度の結果を図６、７に示す。測定は３名の測定者 A、B、C により行った。ホルマリン法では､測定者による分析値の差は小さいが(最大で 0.06)、エタノール法では測定者によるばらつきが大きくなった（最大で 0.21）。また、平均してエタノール法が 0.2 程度高い分析値となった。藤田らの報告によると、エタノール法では終点を pH10.2～10.3 に設定するとホルマリン法と同等の測定値が得られるとされている。しかしながら、実際に指示薬滴定法によるエタノール法で分析した際の終点の pH を測定すると平均 pH10.9 を示し、設定値より 0.6～0.7 高い pH となった。醪と同様、設定された値では淡桃色への変化が見にくく､終点の見極めが困難であることにより、滴定量が過剰となってしまうことが考えられた。過剰な滴定及び測定者によるばらつきの大きさはエタノール 25 mL を添加した際の白濁が原因と考えられたため（図８)、検体に水 10 mL を加えて白濁を抑え、その後の方法はエタノール法と同様に測定した。結果、白濁は抑えられたものの、分析値はホルマリン法よりもやや高くなり、測定者によるばらつきも大きかった（図６、７)。また、エタノールに替えて 2-プロパノール 10 mL を添加したところ、白濁は抑えられ、分析値はホルマリン法と同程度となった（図９)。終点時の pH は平均 10.4 となり､藤田らの報告でホルマリン法と同程度の測定値となると設定された終点 pH 10.2～10.3 と近い値を示した。今後、さらに測定対象の酒類を増やし、2-プロパノール添加によるアミノ酸度分析法の妥当性を確認していく必要があると思われる。

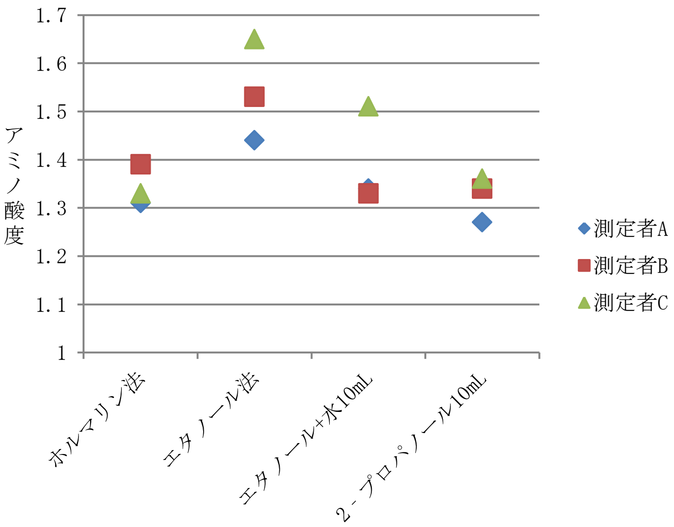


図７　各方法におけるアミノ酸度（純米酒）

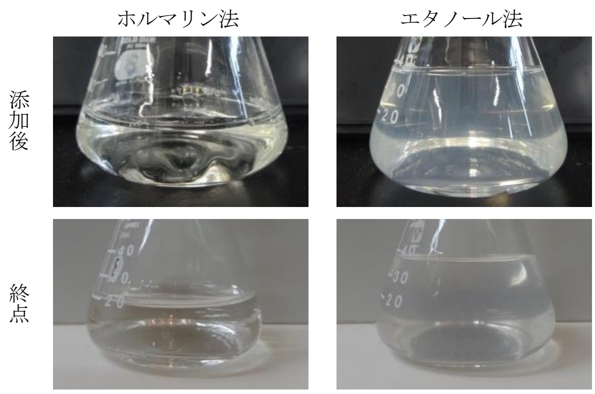


図８　各方法での色の変化

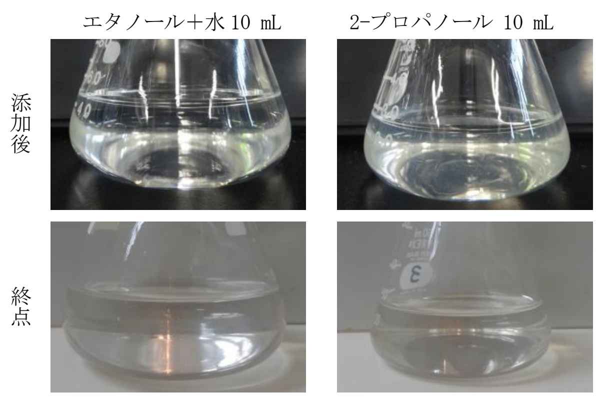


図９　各方法での色の変化

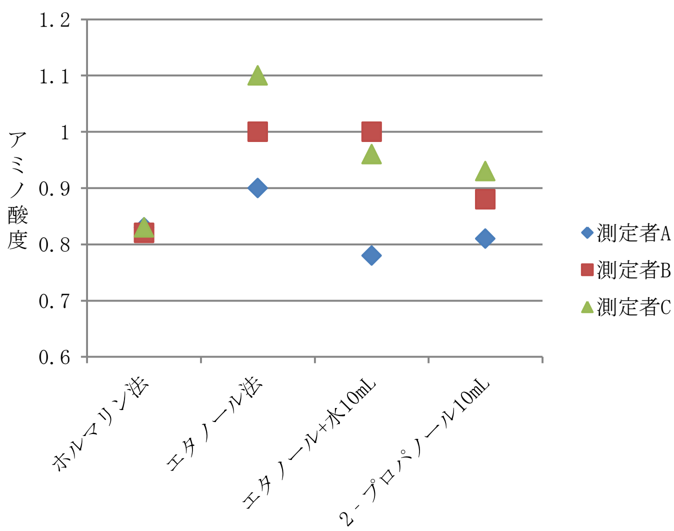


図６　各方法におけるアミノ酸度（吟醸酒）

４．結言

平成２７年５月に酒類総合研究所標準分析法に追加されたエタノール法について、現在県内の酒造メーカーの多くが採用しているホルマリン法との比較検討を行った。その結果、pH 計による場合、エタノール法で終点を pH 10.2 に設定するとホルマリン法(終点 pH 8.2)により得られる分析値より 0.1～0.2 程度低い値となることが分かった。また、指示薬滴定法による場合、清酒及び醪いずれにおいても、エタノール法ではエタノールの添加による白濁が原因で終点の見極めが難しいことから、滴定が過剰量になりやすくなり、ホルマリン法に比べ 0.2 程度高い分析値となる傾向となった。白濁は、2-プロパノールや水の添加により解消することができたが、分析値は測定者による誤差が大きかった。

本研究では、同一試料を分析した際、指示薬滴定法によるホルマリン法、pH 計によるエタノール法、指示薬滴定法によるエタノール法の順にアミノ酸度の分析値が高くなり､その差はそれぞれ 0.1～0.2 程度あることが分かった。そのため、今後は現状のエタノール法を用いると分析方法によって±0.1～0.2 程度誤差が生じる可能性があることを組合員へ周知していくとともに、ホルマリン法と同程度の分析値が得られるようさらなる検討を行っていきたい。

参考文献

１）国税庁所定分析法注解. 第４回改正, 日本醸造協会, 1993, p.23-24.
２）藤田晃子, 塚本香, 橋本知子, 遠藤路子,松丸克己, 藤井力. エタノールを使用した清酒のアミノ酸度分析方法の検討. 日本醸造協会誌. 2015, vol.110, no.5, p.591-598.

デジタル製造技術を活用した桐のこ人形の量産化

Mass production technology of Kirinoko dolls using digital manufacturing technology.

会津若松技術支援センター　産業工芸科　夏井憲司　出羽重遠
応募企業　　　　　　　　　木之本漆器店

デジタル製造技術を活用して、木之本漆器店の製品（桐のこ人形）の成形型の開発を行った。その結果、３Ｄスキャナ、３Ｄ-ＣＡＤ、３Ｄプリンタを使用して、離形性に優れた成形型を短時間で製造する手法を開発した。

Key words: ３Ｄスキャナ、３Ｄ-ＣＡＤ、３Ｄプリンタ

１．緒言

木之本漆器店（以下、提案企業という）は、喜多方市に立地し、手作り工芸品の製造・販売を行っている。提案企業の代表的な商品の一つに、桐のこ人形がある（図１）。

図１　桐のこ人形（猫）

桐のこ人形は、下記の手順で作られている。

① 桐のおがくずと小麦粉をこねて粘土を作る。
② 粘土を、手びねりで成形する。
③ 成形した粘土を乾燥させる。
④ 筆で色付けする。

しかし、②の人形を手びねりで成形する作業は、高度な技能が必要であり、未経験者は一つの人形を成形するのに２０～３０分以上必要になる。しかも、未経験者は粘土に必要以上触れてしまうため、乾燥させたときに割れなどの不良も発生するようになる。

熟練者であっても、複雑な形状の成形には５分以上の時間が必要である。また、特定の作業者しか成形できない種類の人形もあり、量産化の課題となっている。

そのため、提案企業では、過去に桐のこ人形を成形するための木型や石膏型の開発を行った。しかし、木型は、木片に人形の形状を彫ることと、試しに成形してみて人形の形状を確認することを繰り返しながら作製したため、１つの型が完成するまでに３、４日必要となり、１００種類以上ある桐のこ人形のうち、図２に示す会津天神の木型を含め４つの成形型しか製作することができなかった。

石膏型については、石膏が粘土の水分を吸って石膏の表面に粘土が張り付いてしまい、上手く離形することができなかったため実用化には至らなかった。

そこで、３Ｄプリンタの普及により注目されているデジタル製造技術を活用して、離形性が良く、短時間で製作可能な成形型の開発を行った。

図２　木型（会津天神）

２．試作

２．１．人形の三次元形状測定

はじめに、非接触三次元デジタイザ（ジーオーエム社製 ATOS Compact Scan 5M）を使用して、人形の三次元形状の測定を行った。今回使用した機器は、測定物にプロジェクタで投映した縞パターンを、２台のカメラで撮影することにより、測定物の三次元形状を測定するものである。そのため、縞パターンがはっきりと映るように、全体を白塗りにした桐のこ人形（図３）を、提案企業に製作していただき、この人形の三次元形状を測定した（図４）。測定は、１０分程度で完了した。

図３　白塗りにした桐のこ人形（猫）

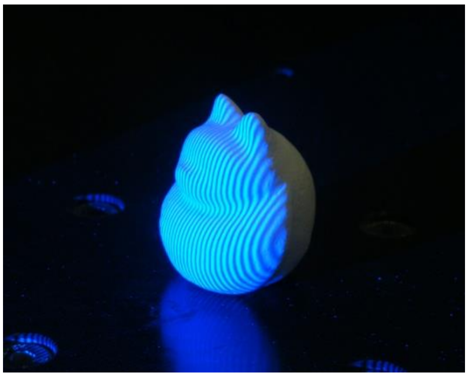


図４　三次元形状測定の様子

２．２．３D-CADデータの構築

３Dスキャナ等で三次元形状測定した場合、形状データは、一般に点群の情報であるＳＴＬデータが得られる。ＳＴＬデータは、そのまま３D-ＣＡＤで編集・使用することはできないため、ＣＡＤデータ構築用ソフトウェア（3Dsystems 社製 Geomagic Design X(R)）を使用して、測定したＳＴＬデータのＣＡＤデータ化を行った。

始めに、ＳＴＬデータに対し、エラーチェックや点群の間引き及び表面形状のスムージング処理を行った後に、自動曲面作成（均等分割ネットワーク）機能を使用して、３D-ＣＡＤで編集可能なサーフェスデータへの変換を行った（図５）。ＳＴＬデータからＣＡＤデータへの変換は、１０分程度で完了した。

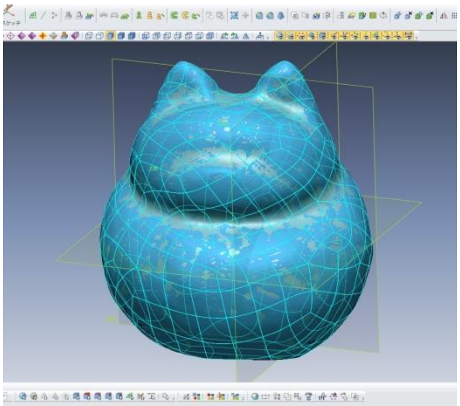


図５　編集画面（サーフェスデータ化）

２．３．成形型の設計

前段にて作成したサーフェスデータを使用して、成形型の設計を行った。設計には、３D-ＣＡＤ（Robert McNeel & Associates 社製 Rhinoceros 5）を使用した。

Rhinoceros には、サーフェスの法線方向と作業平面が作る角度（以下、ドラフト角という。）を表示する機能がある。この機能を使用して、サーフェスデータの抜き勾配解析を行った（図６）。この解析で、ドラフト角が０度になった緑色部をパーティングラインにして、サーフェスモデルの分割を行った（図７）。

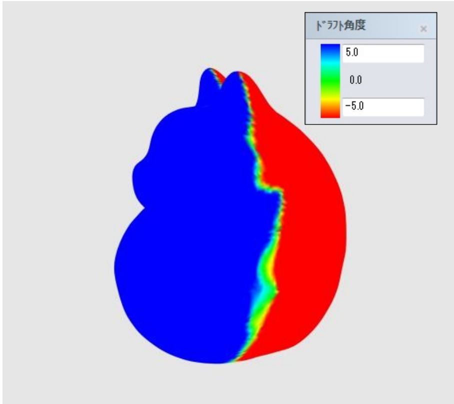


図６　ドラフト角表示画面

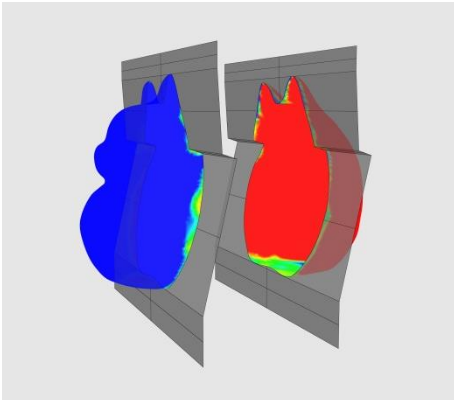


図７　サーフェスモデルの分割

この分割したサーフェスモデルを基に、成形型を設計した（図８）。型の構造は、提案企業で使用している会津天神の木型（図２）を参考にした。型の設計には、１時間程度の時間を要した。

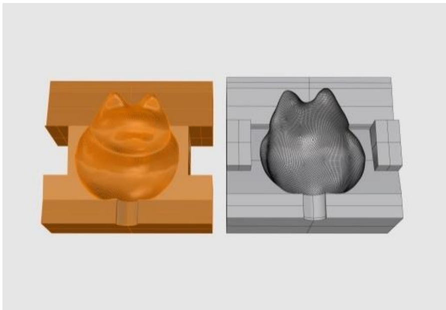


図８　設計した成形型

２．４．３Dプリンタによる成形型の出力

図９に今回使用したＦＤＭ型の３Ｄプリンタ（FLASHFORGE 社製 CreatorPro）の外観を、表１に出力条件を示す。この３Ｄプリンタを使用して、前段で設計した成形型を出力した（図１０）。なお、出力には、５時間程度の時間を要した。

図９　３Ｄプリンタ外観

表１　出力条件

使用フィラメント	ABS
積層ピッチ	0.2mm
サポート材	なし
ノズル温度	230℃
プラットホーム温度	110℃

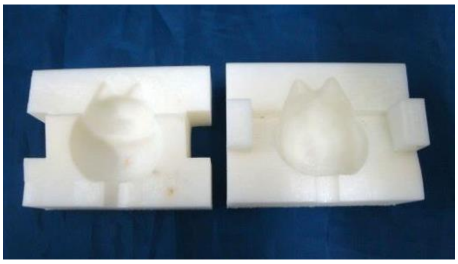


図１０　出力した成形型

２．５．成形実験

３Ｄプリンタで出力した成形型を使用して、提案企業にて成形実験を行った。熟練者の方に、手びねりと成形型でそれぞれ桐のこ人形を成形していただいたものを図１１に示す。

その結果、型を使った成形でも形状の転写および型からの離形には問題がなく、今回製作した成形型は実際の桐のこ人形の製造にも十分使用できることが分かった。離形が上手く行った要因としては、成形型の材料である ABS 樹脂に吸水性がなかったこと、及び３Ｄ-ＣＡＤを用いた抜き勾配解析を行うことにより、パーティングラインを適切に設定できたためと考えられる。

また、３Ｄプリンタで出力した ABS 製の型であっても、強度的に桐のこ人形の成形には耐えうることがわかった。成形時間については、手びねりが２分１０秒だったのに対し、型を使った成形では若干の修正が必要であったが、成形時間を約１分に短縮することができた。

図１１　成形した桐のこ人形（左：型成型　右：手びねり）

２．６．複雑形状の人形への適用

提案企業では、図１２に示すような複雑形状をした桐のこ人形も製造している。

図１２　複雑形状の人形（振向き十二支（辰））

こうした人形の形状を、図２に示した木型のように木片に手彫りすることは困難である。また、木型の製造方法では、パーティングラインを直線にすることしかできないため、離形についても難しいと考えられる。

石膏型はパーティングラインを曲線にして製造することが可能だが、どこで分離するかは製作者が感覚的に決めなければならず、人形の形状が複雑になる程、適切な位置にパーティングラインを設定することが難しくなる。

図１３に、図１２の人形の抜き勾配解析の結果を示す。３D-ＣＡＤを使用したことにより、ドラフト角の０度になるところが視覚的に認識できるようになり、そこにパーティングラインを正確に設定することができた。

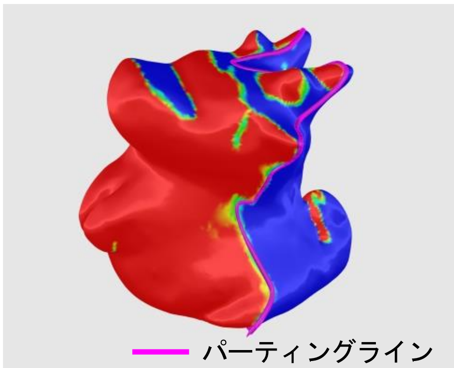


図１３　抜き勾配解析画面（振向き十二支（辰））

図１３に示す曲線が、今回設定したパーティングラインである。このパーティングラインにより、サーフェスモデルの分割を行い、成形型のＣＡＤモデルを設計した（図１４）。

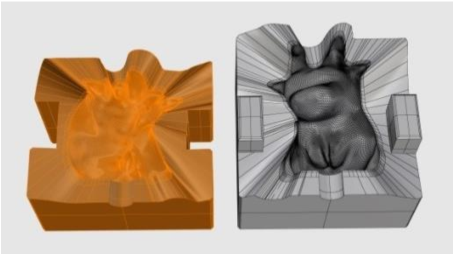


図１４　設計した成形型（振向き十二支（辰））

パーティングラインが複雑な曲線になると、成形型自体も複雑形状になる。このような複雑形状を切削加工で削りだそうとすると、５軸マシニングセンタのような多軸加工機で、複数本の工具を使用して加工しなければならず､加工時間も長時間になる｡これに対し、３Ｄプリンタは造形できる形状の自由度が高いため、図１４の成形型についても、問題なく出力することができた（図１５）。出力には、６時間程度の時間を要した。

図１５　出力した成形型（振向き十二支（辰））

この成形型を使用して、桐のこ人形の成形実験を行った。型を使用した成形品を、図１６に示す。

図１６　型成形品（振向き十二支（辰））

図１３の抜き勾配解析から、パーティングラインを越えて逆テーパが存在することがわかる。通常だと、このような成形型では上手く離形することができないが、桐のこの粘土に弾力があることと、逆テーパを引き抜く際に形状が崩れても、作業者が手びねりの経験から形状の修正を容易に行えるにことにより、複雑形状の人形についても型を使用して成形することができた。

３．結果

３Ｄスキャナ、３Ｄ−ＣＡＤ、３Ｄプリンタを使用して、桐のこ人形の成形型の開発を行った結果、図１に示した猫のような簡単な形状の人形から、図１２に示した辰のような複雑形状の人形にまで対応できる成形型の製造手法を開発することができた。また、型の開発時間を、木型の製作時間３～４日から三次元形状測定１０分、ＣＡＤデータへの変換１０分、型の設計１時間の合計１時間２０分に短縮することができた。なお、３Ｄプリンタを使用した成形型の出力には５～６時間程度必要となるが、その間は操作や作業を必要としないため、開発時間には含めないものとした。

成形実験の結果が良好であったことから、十二支の成形型を試作し、提案企業にて実際の製造でも試験していただいた。その結果、未経験者でも短時間で人形の成形ができるようになった。また、不良率が低減した。そのため、これまで以上に注文に対応できるようになり、平成２８年１１月から翌年１月までの３か月間の桐のこ人形（十二支）の出荷数を、昨年度比で２倍近くまで伸ばすことができたとの報告があった（図１７）。

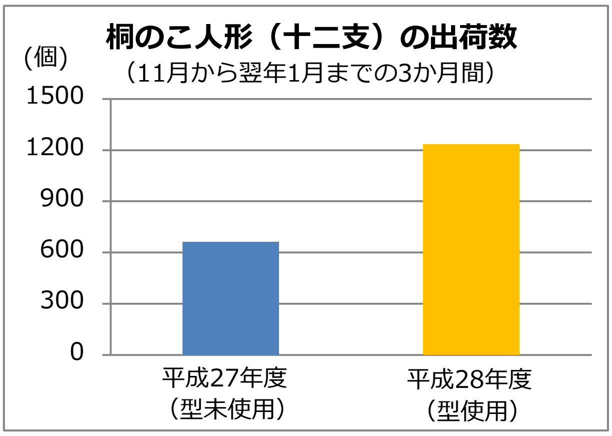


図１７　桐のこ人形（十二支）の出荷数の変化

４．結言

３Ｄスキャナ、３Ｄ−ＣＡＤ、３Ｄプリンタ等のデジタル製造技術を活用して、桐のこ人形の成形型の開発を行った。

その結果、３Ｄ−ＣＡＤ、３Ｄプリンタの特性を活用して、離形性がよく、複雑形状にも対応可能な成形型を短時間で製造可能な手法を開発し、提案企業の桐のこ人形の生産性を大きく向上させることができた。

高精度非接触形状測定のための前処理技術開発

－白色無機材料粉末塗布の自動化による方法－

Preprocessing technology development for highly accurate noncontact shape measurement

- Method by automation of white inorganic material powder spreading -

いわき技術支援センター 機械・材料科　佐藤善久　渡邊孝康
応募企業　　　　　　　　アルプス電気株式会社小名浜工場

レーザスキャナによる非接触測定のための前処理技術を開発するため、無機材料粉末の塗布の自動化について検討した。その結果、６軸多関節ロボットを用いて、塗布を自動化できる無機材料粉末塗布システムを構築した。１パスによって形成される層を重ね合わせて計算することによって、無機材料塗布システムを用いて粉末を約 2μm の厚さで均一に塗布できる前処理の条件を推定した。無機材料粉末塗布システムによる前処理はレーザスキャナで透明な部品の形状測定をする場合に有効と考えられる。

Key words: 前処理、無機材料粉末、自動化、レーザスキャナ

１．緒言

いわき技術支援センターにあるレーザスキャナ（ミツトヨ社製 SurfaceMeasure403）は毎秒 60,000 点の速さで測定できる光プロービングシステムである。しかし、可視光のレーザを使用しているため、反射光が得られない透明な試料においては測定できない等の問題があり、試料の表面に前処理が必要となる。前処理には、処理や除去が容易なことから、製品の表面に白色の無機材料粉末を塗布する方法が多く用いられる。この方法は、エアゾール缶を用いた手作業でも可能だが、塗布した層の厚さやばらつきが測定結果に影響を与えるので､高精度な測定を行うために塗布を自動化することが有効である。

そこで今回は、塗布を自動化するためにロボットを用いた無機材料粉末塗布システムを検討した。塗布する条件を最適化するため、塗布システムによる塗布実験を行い、その結果から最適な塗布の条件を推定した。推定した条件の有効性を実証するため、円筒形状を有する透明な石英部品の直径を求めて、高精度な接触プロービングシステムによる結果と比較した。測定結果を検証するため、レーザスキャナで校正用マスターボールを測定してデータの抽出方向による差を比較した。

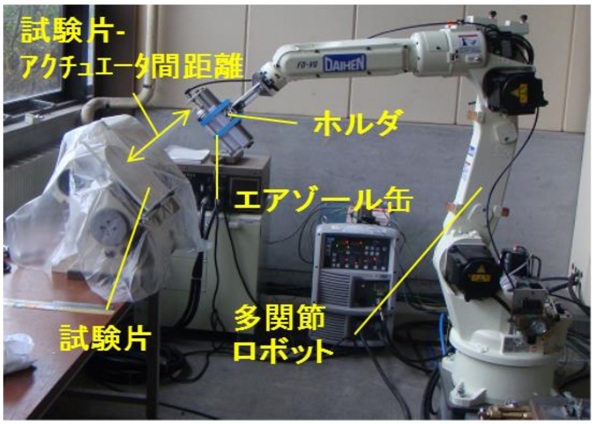
２．実験

２．１．無機材料粉末塗布システム

無機材料粉末には、染色浸透探傷試験用の現像剤として入手できるタセト社製のエアゾール缶を用いた。

塗布システムには､図１に示すようにティーチングプレイバック方式で教示を行う６軸多関節ロボット（ダイヘン溶接メカトロシステム社製 FD-V6）を用いた。ロボットにはエアゾール缶を固定するためのホルダを設けた。ホルダにはエアゾール缶のアクチュエータを押し下げることによって粉末を噴出するため、ロボットの制御装置から入・切ができるエアシリンダを設けた。

図1　無機材料粉末塗布システム



２．２．塗布実験

エアゾール缶を一方向に一度だけ移動させる１パスによって形成される塗布層について、移動方向に対して直角な方向の厚さの分布がわかれば、パス間に一定の距離を設けて繰り返すことで任意の幅に均一な厚さの層を形成できると考えた。そこで、はじめに１パスの塗布実験を行った。実験は、表１に示す条件でエアゾール缶を一方向に移動することで行った。図２に粉末を塗布した試験片を示す。厚さの測定は層の中心から両側に 5mm の間隔で行った。測定方法は非接触粗さ計（ミツトヨ社製 LI-H101）を用いてマスキング部間の層の厚さの平均値を求めた。その結果、１パスによって形成される塗布層は

図３に示すような厚さの分布があることが分かった。

表１　１パスの塗布実験の条件

エアゾール缶の移動速度		200～500mm/sec
試験片ーアクチュエータ間距離		350mm
試験片	寸法	□100mm×150mm
	板厚	3mm
	材質	SUS304

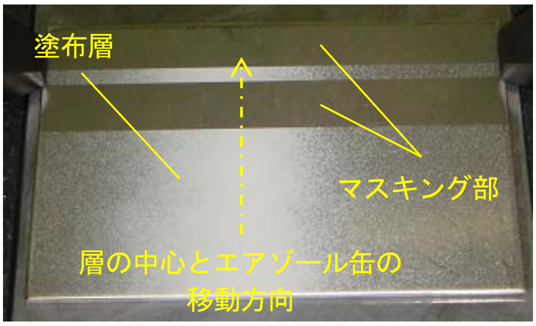


図２　１パスの塗布実験を行った試験片

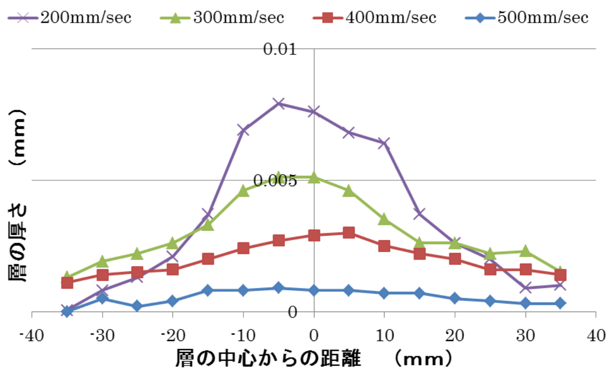


図３　エアゾール缶の移動速度と塗布層の厚さ分布

塗布層の厚さはパスを繰り返すごとに積み重なると考えて適切なパス間の距離を検討した。１パスの塗布実験で得られた層の厚さ分布を重ね合わせて計算したところ、図４に示すようにパス間の距離25mm、パス数を７とした場合に、400mm/sec 又は 500mm/sec の移動速度で、幅が約 100mm の均一な厚さの層が形成できることを示す計算結果が得られた。この結果は、パス数によって任意の幅への対応も期待できることを示している。また、最も薄い層を形成することで測定結果に与える影響を最も小さくできると考えられるので、約 2μm の厚さの層が得られる 500mm/sec を最適な移動速度と推定した。

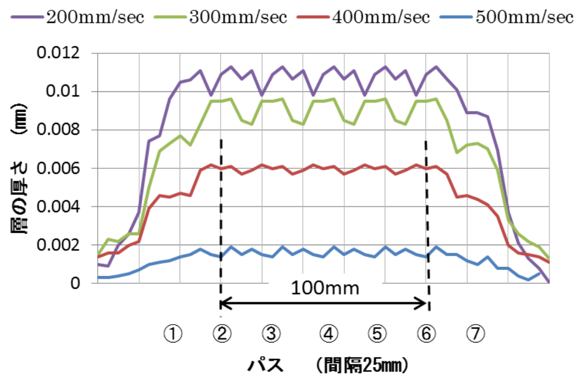


図４　パス間の距離 25mm における層の厚さの計算結果

２．３．石英部品の直径測定

石英部品の測定風景を図５に示す。測定は、エアゾール缶の移動速度 500mm/sec、試験片ーアクチュエータ間距離 350mm 及びパス間の距離 25mm の条件で石英部品に前処理を行った後、円筒の中心軸をＸ軸として中心軸方向にスキャンして行った。その結果は図６に示すように、データの欠落やノイズの無い平滑な状態を示していることが分かった。

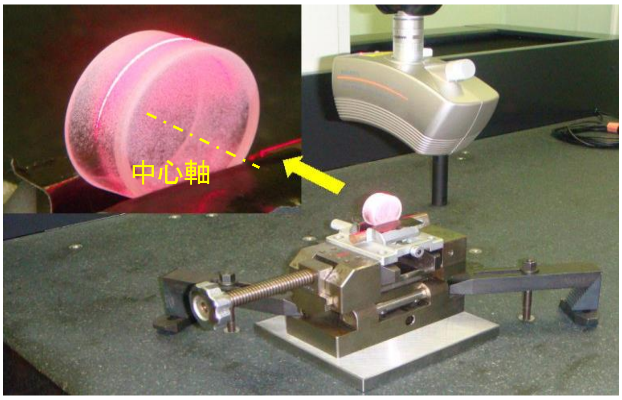


図５　レーザスキャナによる石英部品の測定風景

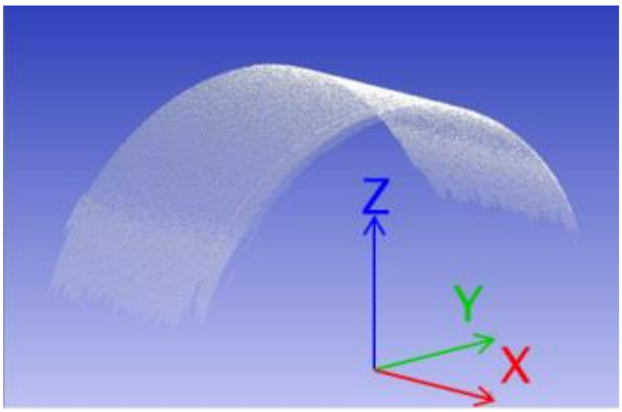


図６　石英部品の測定結果

直径は図７に示すようにＸ軸に垂直な面上で、測

定結果の点群から輪郭を抽出して求めた。

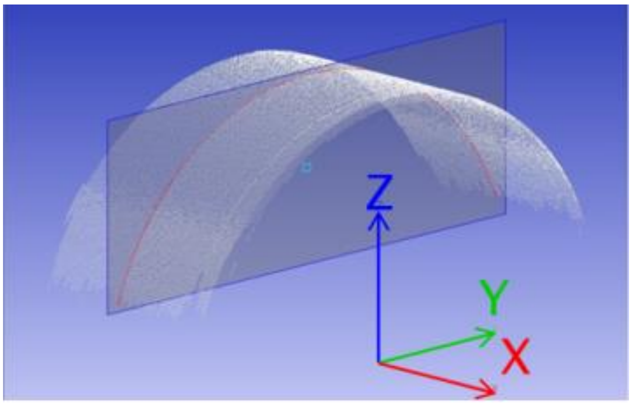


図７　直径の測定

５回の測定結果から直径の平均値、標準偏差及びメーカの仕様として規定されている中心ー座標原点間距離の標準偏差を求めた。また、前処理を除去した後、レーザスキャナによる測定と同じ面を駆動面として接触プロービングシステムによる測定を行った。それらの結果を表２に示す。

表２　直径の測定結果

項目 / プローブ	直径	
	平均値	標準偏差
レーザスキャナ	35.020	0.0060
接触プロービングシステム	35.063	0.00048

項目 / プローブ	中心ー座標原点間距離の標準偏差
レーザスキャナ	0.0019
接触プロービングシステム	0.00026

単位：mm

中心ー座標原点間距離の標準偏差は、仕様として規定されている値を満足していた。また、ばらつきを示す直径の標準偏差も小さなものであった。しかし、測定前にマスターボールを用いた校正を実施したにもかかわらず、平均値は接触プロービングシステムによる結果に対して約 0.04mm 小さい結果となった。

石英部品の測定では、スキャン方向に直交する面で直径を求めた。しかし、校正では測定した全ての点群から球の中心座標と直径の値を求めるので、石英部品の測定の場合のように特定の面において抽出した結果のみを用いることはない。そこで、特定の面で輪郭を抽出することによって形状測定を行う場合、スキャン方向に対する面の角度ごとに精度等の特性に違いがあり、測定結果が異なると考えた。そこで、石英部品の直径測定と同じようにスキャン方向をＸ軸方向として、スキャン方向に直交する面（Ｙ－Ｚ面）及び平行な面（Ｚ－Ｘ面）において抽出したマスターボールの輪郭から直径を求めた。それらの結果を表３に示す。

表３　マスターボールの測定結果

項目 / 測定面	直径	
	平均値	標準偏差
Y-Z(ｽｷｬﾝ方向に直交)	29.954	0.0045
Z-X(ｽｷｬﾝ方向に平行)	29.987	0.0022

項目 / 測定面	中心ー座標原点間距離の標準偏差
Y-Z(ｽｷｬﾝ方向に直交)	0.0034
Z-X(ｽｷｬﾝ方向に平行)	0.0013

マスターボールの直径：29.987　　単位：mm

測定結果から、測定する面ごとに直径の平均値が異なることが分かった。また、それらの差は石英部品の場合と同程度であることから、石英部品の直径を測定した結果は本レーザスキャナが有する本来の性能によるものと考えられることが分かった。

３．結言

レーザスキャナによる非接触測定のための前処理技術を開発するため、無機材料粉末の塗布の自動化について検討して次のような結果を得た。

1）６軸多関節ロボットを用いて、塗布を自動化した無機材料粉末塗布システムを構築した。
2）１パスによって形成される層を重ね合わせて計算することによって、無機材料塗布システムを用いて粉末を約 2μm の厚さで均一に塗布できる前処理の条件を推定した。
3）無機材料粉末塗布システムによる前処理はレーザスキャナで透明な部品の形状測定をする場合に有効と考えられる。

福島県オリジナル酵母の改良

Improvement of Fukushima prefecture original sake yeast

会津若松技術支援センター 醸造・食品科　中島奈津子　菊地伸広　高橋亮　矢吹有唯　鈴木賢二

平成１６年から開発が始まり、平成２０年に頒布が開始された「うつくしま煌酵母」について、従来の高カプロン酸エチル産生能を保持したままで、現在よりも酸の生産力の低い酵母の開発を目指した改良研究を行った。親株に遺伝子変異を誘発して取得した高濃度セルレニン耐性株から、低酸かつ濃糖・低pH耐性を有する菌株を選抜し、最終的に香気特性に優れた低酸性株３株を取得した。

Key words: 清酒酵母、カプロン酸エチル、セルレニン耐性

１．緒言

清酒製造に用いられる酵母は、アルコール生産だけでなく、清酒の特徴となる香気成分、また有機酸やアミノ酸などの味に関与する成分の生産にも関与する重要な微生物である。公的研究機関および酒造メーカー各社では、それぞれに特徴を有した酵母の開発が進められており、独自の香味を有した清酒やバラエティ豊かな清酒の製造を行っている。

福島県では平成３年に「うつくしま夢酵母」[1)]、平成９年に多酸性酵母「52-5S-38」[2)]を開発した。また、平成１６年から新たに高カプロン酸エチル産生株の取得を開始し、この研究によって取得した３種類の酵母[3)]が「うつくしま煌酵母」として平成２０年より県内酒造メーカーに頒布されている(以下､煌酵母と省略)。煌酵母は、香りの高さや発酵力にそれぞれ特徴があるが、他のカプロン酸エチル産生酵母に比べてモロミの酸が高いことが指摘されていた。開発当初は醸造アルコールを使用した吟醸酒で使用されることが多かったが、近年では純米酒や純米吟醸酒の伸びが顕著になるにつれて純米酒製造に煌酵母を用いることが多くなっている。しかし、純米酒製造時におけるモロミの酸が高いという酵母の特徴によって、製成酒のバランスを崩してしまう事例が見られ、近年、醸造現場から酸が低い煌酵母への改良が強く望まれてきた。

このため、本研究では、既存の煌酵母を高カプロン酸エチル産生の特性を有したままで、酸産生の低いものへと改良し、県産酒の多様化と品質向上に寄与することを目的とした。

２．実験方法

２．１．使用菌株

前報[4)]で取得した煌酵母の変異株 3,072 株(「701-g31」576株、「901-A113」1,344株、「701-15」1,152株)を選抜試験に使った。また、対照株として親株のうつくしま煌酵母「701-g31」「901-A113」「701-15」の３株および日本醸造協会の協会1801号(K1801)、701号(K701)、明利酒類(株)の所有株「M310」を使用した。

２．２．培地

酵母の前培養には、YPD培地(2%ポリペプトン、1%酵母エキス、2%グルコース)を用いた。

２．３．低酸性酵母の取得

96well マイクロプレートにメチルオレンジ(MO)培地(0.8%yeast nitrogen base (w/o AA)、1%グルコース、1%MO溶液(50mg/100mL))0.2mLを分注し、これにレプリカした酵母を釣菌して懸濁した。20℃にて静置し、親株と対照株を基準として培地の変色の程度により選抜した。

２．４．濃糖・低pH耐性株の取得

96well マイクロプレートに麹汁培地をグルコースにて Brix30 に調整した選抜培地(pH3.8 および pH4.0)0.2mL を分注し、これにレプリカした酵母を釣菌して懸濁した。15℃にて静置培養し、生育の程度により選抜した。

２．５．アルコール生産能および低酸性の確認

アルコール生産能：高濃度グルコースYPD培地(1%ポリペプトン、1%酵母エキス、10%グルコース)に２．２．の培地で前培養した酵母を接種し、15℃10日間静置培養した上清のアルコール分をアルコメイト(理研計器(株) 社製AL-2)にて測定した。

低酸性の確認：Brix10に調整し、液量の1/3重量のエタノール脱水麹[5)]を添加した麹汁培地に２．２．培地で前培養した酵母を接種し、20℃10日間静置培養した上清の酸度を国税庁所定分析法[6)]に従って測定した。

２．６．小仕込み試験

表１の配合に従って小仕込み試験を行った。添加酵母は２．２．の培地で前培養した酵母を1mL使用した。

また、製成酒は遠心分離にて採取し、火入れ殺菌し

たものを当センター酒造担当職員４名と県農業総合センター職員３名にて官能評価を行った。評点は、1:優、2:普通、3:難ありとして実施した。

表１　小仕込み試験仕込み配合および発酵条件

総米	200g
原料米	麹米：山田錦（精米歩合40%） 掛米：五百万石(精米歩合45%)
乳酸	0.3mL
酵母	1.0mL
汲水歩合	150%
麹歩合	20%
仕込み温度	12℃
醪日数	27日

３．実験結果および考察

３．１．低酸性酵母の取得

２．１.に示したセルレニン耐性株3,072株を２．３．に示した培地にて培養した。培地の液色は調製時には黄褐色であったが、培養後は図１のような色の変化が見られた。酸の生成によりpHが低くなると、培地液色が黄褐色→濃桃色→淡桃色→透明と変化する。培養2日間で液色にほとんど変化の見られなかった菌株を選抜し、「701-g31」47株、「901-A113」28株、「701-15」９６株の計171株を得た。

取得率は「701-g31」8.1%、「901-A113」2.0%、「701-15」8.3%であった。これにより、pH指示薬を用いた培地により色の変化での選抜が可能となり、短時間かつ高効率な低酸性株選抜が行えた。しかし、低酸性株の取得率は予想していたよりも低かった。これは、元々親株の酸生成量が多く、ランダムな変異処理では酸生成の低下まで誘発できなかったためと考える。特に901-A113は３株の中でも酸生成量が高く、最も低い取得率となった。

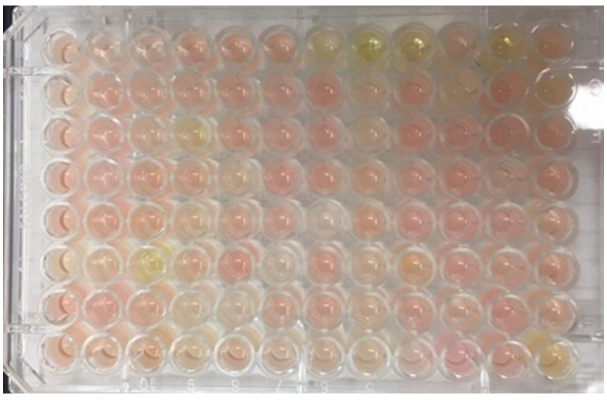


図１　MO培地を用いた低酸性株の取得

３．２．濃糖・低pH耐性株の取得

上記３．１．にて取得した171株を２．４．に示した培地にて培養し、15℃2日間培養下でpH3.8ならびにpH4.0のいずれの培地でも旺盛な生育を確認した「701-g31」2株、「901-A113」4株、「701-15」6株の計12株を選抜した。なお、取得率は「701-g31」4.2%、「901-A113」14.3%、「701-15」6.2%であった。

これまでのカプロン酸エチル系酵母は、一般的に濃糖条件下で生育しにくい性質を有している。そのため、発酵初期で十分に増殖できず、モロミ後半の発酵不良を引き起こすことがあった。

このことから、本試験ではこの弱点を克服した酵母を選抜することを目的とした。すなわち、酒母を想定した濃糖・低pH条件の培養系の環境下で生育できる、濃糖・低pH耐性を有する酵母を選抜した。濃糖条件として、酒母の最高ボーメ16を想定し、これに相当するBrix30の培地を使用した。

本試験で選抜された酵母は、これまでのカプロン酸エチル系酵母に比べ、濃糖条件下で生育しやすい特徴を有していると考えられ、発酵初期の増殖に有利で、モロミ後半の順調な発酵に寄与することが期待される。

３．３．アルコール生産能および低酸性の確認

上記３．２．にて取得した12株を２．５．に示した条件で培養し、菌株ごとのアルコール生産能および低酸性を確認した。

その結果、親株と同程度のアルコールを生成し、かつ親株よりも酸が低い株を中心に901-A113から2株、701-15から4株取得した(表２)。701-g31からは本試験で目的にかなう変異株は取得できなかった。

表２　変異株のアルコール生産能および酸度

		アルコール(%)	酸度
901-A113	親株	6.2	1.8
	変異株②	6.2	1.9
	変異株④	6.2	1.8
701-15	親株	6.2	1.5
	変異株①	5.9	1.5
	変異株③	6.3	1.5
	変異株⑤	6.0	1.4
	変異株⑥	6.3	1.4
対照株	K1801	5.7	1.6
	M310	5.9	1.7
	K701	6.1	1.8

３．４．小仕込み試験

上記３．３．で取得した6株および親株3株、対照株3株(K1801、M310、K701)の計12株について２．６．に示した仕込み配合で小仕込み試験と製成酒の官能評価を行った（表3）。

なお、官能評価には酒類担当職員のほか、消費者を想定して農業総合センター職員を加えた。

901-A113の変異株は、親株の性質である高い発酵力

表３　変異株を用いた小仕込み試験製成酒の成分分析および官能評価

	701-g31	901-A113			701-15					対照株		
	親株	親株	変異株②	変異株④	親株	変異株①	変異株③	変異株⑤	変異株⑥	K1801	M310	K701
香気成分(ppm)												
アセトアルデヒド	12	16	19	18	14	13	13	14	16	14	13	15
n-プロピルアルコール	162	166	199	186	118	122	133	135	135	161	193	189
i-ブチルアルコール	47	60	66	65	51	52	54	51	54	48	42	62
i-アミルアルコール	123	139	158	160	128	117	129	136	118	132	128	147
酢酸エチル	45	57	55	51	41	49	45	40	30	47	45	66
酢酸イソアミル	3.3	3.1	3.3	3.2	2.6	2.4	2.4	2.5	1.5	2.6	2.9	5.3
カプロン酸エチル	8.1	2.9	2.6	2.8	5.2	6.0	5.2	4.9	7.0	4.8	4.7	1.1
日本酒度	-10	+2	+1	+3	-10	-20	-13	-11	-11	-4	-10	+1
アルコール（%）	16.3	17.4	17.6	17.8	16.5	15.5	16.2	16.2	16.1	17.2	16.7	17.6
酸度	2.8	2.8	2.7	2.6	2.9	2.8	2.9	2.9	2.8	2.9	2.8	2.8
アミノ酸度	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1
グルコース（%）	3.0	1.5	1.7	1.5	3.4	3.9	3.6	3.0	3.1	2.9	3.2	1.7
官能評価												
評点(n=7, 3点法平均)	1.6	2.3	2.3	1.9	2.0	1.3	1.9	2.3	1.4	1.6	1.3	2.4
コメント	香り高く まとまり	酸ハル 酵母臭	苦味強い	軽快 キレ良好	渋味 甘酸強い	香り良好 華やか	香りｷﾚｲ 酸ハル	酸臭 個性的	ふくよか 香り華やか	ふくらみ やや苦味	上品 まとまり	酢酸ｲｿｱﾐﾙ 自己消化

を保持しており、アルコール生産能も高かった。吟醸香である酢酸イソアミルとカプロン酸エチルの濃度は親株と変わらなかったものの、n-プロピルアルコール、i-ブチルアルコール、i-アミルアルコールといった高級アルコールの濃度が１割以上増加している。これらは清酒の基調香であり、高濃度に含まれると香りに重厚感がもたらされる。官能評価においても、親株では酵母の自己消化が進み、後味の悪さが目立ったものの、変異株ではそのような欠点は指摘されず、特に変異株④は軽快さが際立ち、親株のようなキレの悪さがなく、評点平均 1.9 と良好な結果となった。

701-15 は、４つの変異株のいずれも親株よりも高い官能評価結果を得た。しかし、変異株③と特に変異株⑤は香味のバランスに難があり、酒としてのまとまりを欠いた。一方、変異株①と変異株⑥はいずれも官能評価の評点が 1.3、1.4 と高い評価を得た。これは、全国新酒鑑評会において使用割合が最も高く、金賞受賞率も高い対照株の M310 とほぼ同評価であった。M310 は、また、市販酒においても高級酒製造に広く用いられ、全国的に高い評価を得ている。

また、高評価であった変異株①と変異株⑥は、いずれも親株よりカプロン酸エチル濃度が高く、華やかな香気であり、高級アルコール濃度が低く、カプロン酸エチルが際立つ印象であった。アルコール分を比較すると、変異株⑥は親株と同程度であり、親株の発酵力を保持したと考えられる。一方変異株①はややアルコールが低く、日本酒度も甘めに仕上がったことから親株よりもモロミ後半の発酵力がやや弱い可能性が考えられる。

酸度については、小仕込みの特性上高くなりやすいため、製成酒の酸度は一般の清酒に比べて２倍程度高くなった。しかし、評価の高かった 901-A113 変異株④、701-15 変異株①や同変異株⑥の３株については､いずれも親株よりも 0.1～0.2 低い酸度となった。製成酒の酸度については、仕込みサイズを拡大して再確認するが、本試験では親株のような「酸ハリ」は見られず、親株で見られていた香味の改善が確認された。

４．結言

平成２０年から頒布が開始された「うつくしま煌酵母」について、酒造現場の新しいニーズへの対応および県産酒の多様化を目的に、酸産生が少なく、香気特性に優れた酵母へと改良を行った。その結果、３種類の煌酵母のうち２種類から、３つの香味バランスに優れた低酸性の変異株を取得した。以下に３種の酵母の特徴を示す。

901-A113 変異株④：親株の持つ強い発酵力を保持し、親株と同程度のアルコール生産が期待される。香気成分については、吟醸香は親株と同程度で、高級アルコールが親株よりも高くなる。味は親株よりも軽快で、キレの良い酒質になると考えられる。

701-15 変異株①：親株よりも発酵力が弱く、やや甘めの低アルコール酒に仕上がる。親株よりもカプロン酸エチルがやや高い。

701-15 変異株⑥：親株とほぼ同程度の発酵力を有する。酢酸イソアミルが低くカプロン酸エチルが高いため、よりカプロン酸エチルの香りを強く感じやすく、香りが大変華やかな印象である。

本研究によって取得した新しい酵母は、県産米との相性や詳細な発酵特性把握といったさらなる解析を進めていく。香気バランスに優れた新たな酵母によって、多様な清酒が醸造され、福島県の産業の活性化や観光等の活力の一助となることを期待したい。

参考文献

1）遠藤浩志　他. 清酒用新酵母の造成６. 福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター試験研

究報告(食品部). 1992, p.63-71.
2）桑田彰　他. 清酒用変異酵母の試験醸造へ向けての選抜試験. 平成９年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 1998, p.129-130.
3）大野正博　他. 福島県産ブランド清酒の開発. 平成１６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2005, p.78-79.
4）中島奈津子　他. 福島県オリジナル酵母の改良. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2017, p.39-41.
5）斎藤久一　他. アルコール脱水麹を用いる培地による優良酵母の分離とその性状. 日本醸造協会誌, 1982, vol.87, no.12, p.915-921.
6）財団法人日本醸造協会注解編集委員会編. 第四回改正 国税庁所定分析法注解. 第四版, 財団法人日本醸造協会, 2006, p.307.

配管内洗浄ロボットの開発

Development of in-pipe washing robot

技術開発部 プロジェクト研究科　安藤久人　柿崎正貴　三浦勝吏　高樋昌

配管内面洗浄の産業ニーズや災害発生時の課題に対応すべく、配管内洗浄ロボットを開発し、配管内面の洗浄及び排水回収までの一連のシステムを開発する。本研究は３か年の計画で、初年度である平成２８年度は主に配管内洗浄機構の開発を行い、本開発の要となる水噴射の反力による動作機構の検証を行った。その結果、水噴射による推進と回転を確認し、模擬汚染物質での配管内洗浄を実現した。

Key words: 災害対応ロボット、配管内洗浄、インフラ点検、噴射反力

１．緒言

東日本大震災において発生した地震や津波による工場等の被災において、人が立ち入れない危険な場所や狭窄部での初動調査、復旧作業を行う災害対応ロボットの必要性が認識された。このような背景から当所では、平成２６年度に大規模災害に係る有害化学物質洗浄技術実用化モデルとして､配管の外周を高圧洗浄し､水を回収するシステム[1)]を開発し、第１９回震災対策技術展等に出展したところ､配管内面の洗浄ニーズや､配管内面の放射性物質等の除染ニーズがあることが分かった。

このため、本研究では配管内の有害化学物質除去等に活用することを目的とし、配管内面の洗浄及び排水回収までを行うロボットシステムを開発する。災害対応のみでは用途が限られるため、平常時にはガス管、下水道管等のインフラメンテナンスや産業用配管内のライニング（防錆、耐腐食処理）の為の事前点検・洗浄等にも対応するシステムとする。図１は災害時におけるロボット活用のイメージである。

本研究は平成２８年度から平成３０年度までの３か年計画であり、初年度は主に配管内洗浄機構の開発を行ったので報告する。

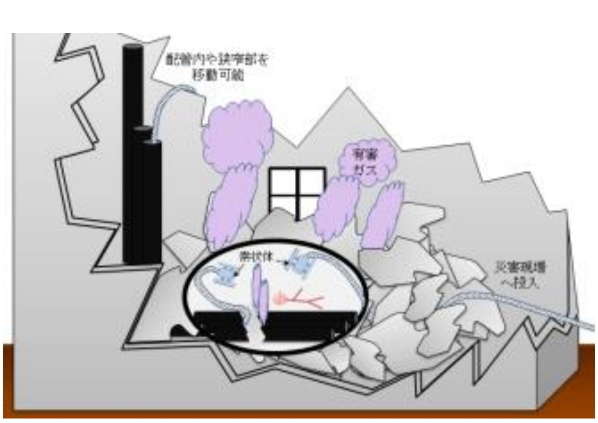


図１　災害時における活用イメージ

２．配管内洗浄機構の開発

２．１．機構の設計

今回開発する配管内洗浄ロボットは、水噴射による反力を動力とする動作機構とした。図２、３に本機構の概念図を示す。これは高圧ポンプからホースを通してロボットへ給水し、先端の噴射ノズルから水を射出することで、水噴射の反力により配管内を移動する推進力と、配管内面洗浄に必要な回転力を生成する機構である。

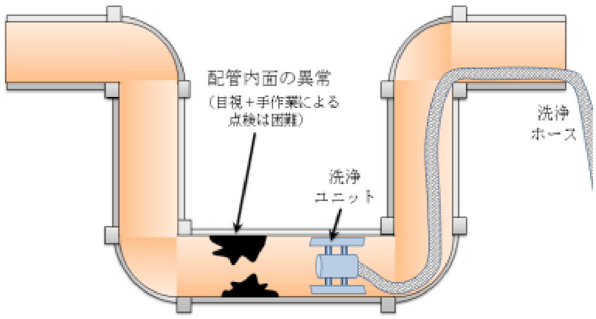


図２　配管内の点検・洗浄概念図

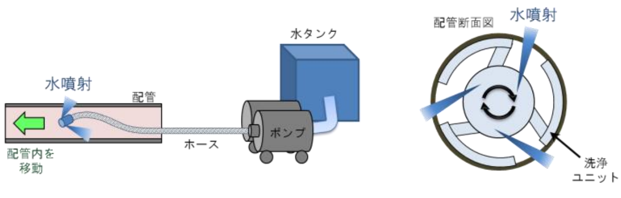


図３　水噴射反力による動作イメージ

この開発コンセプトのもとで、噴射反力による配管内移動機構の検証を行うための実験機を設計した。図４に設計図を示す。ポンプに接続されたホースは機体後方に接続される。ポンプより送られた水は機体内部を通って、先端の噴射ノズルから機体後方へ向けて噴射される（図４左下参照)。噴射された水の反作用により、機体前方へ向けた反力が働く。この噴射反力により、機体は配管内を移動する。また同時に、機体中央

から放射状かつ螺旋状に水を噴射することで、配管内を洗浄するための回転力を生成する（図４右下参照）。

機体周囲には配管内を洗浄するブラシを取り付け、接続部に伸縮可能なリンク機構を設けた（図４右上参照）。これにより、洗浄対象の配管内径が変化した場合にも、常に配管内面にブラシが沿う形で洗浄を行うことが可能である。ターゲットとする配管は、産業用途で広く使用される 100A 規格とし、伸縮機構により 100A、125A、150A の３規格まで洗浄可能である。

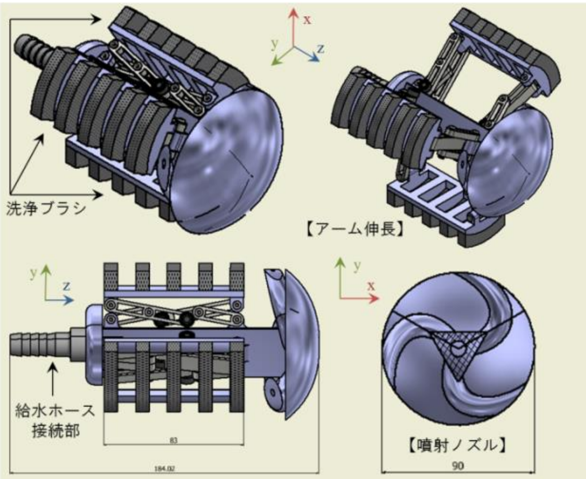


図４　実験機の設計図

また、噴射ノズルの形状を検証すべく、MapleSim[2)] を用いて動作シミュレーションを行った。実験機の設計図をもとに配管内洗浄の力学モデルを作成し、噴射ノズルに対して外力を与えたところ、配管内における洗浄動作が可能であることが確認できた。尚、与えた外力は、基礎実験で得られた噴射反力の実測値を用いた。

２．２．実験機の製作

機体本体は３Dプリンタで造形し、洗浄用ブラシとしてナイロンブラシを取り付け、機体後方に内径 12mm の給水用ホースと、ホースのねじれを防止する回転ジョイントを接続した。図５に製作した実験機の外観を示す。

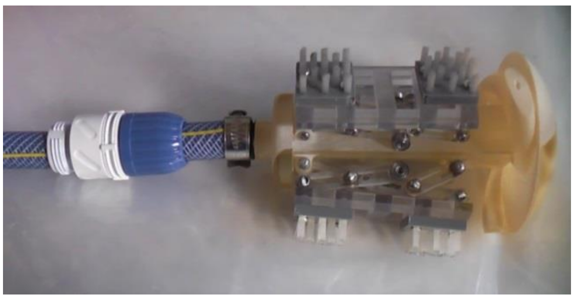


図５　実験機の外観

本機を高圧ポンプに接続し、圧力 0.485[MPa]、流量 25[l/min]で駆動し、配管内での回転動作を確認した。しかし、配管内での推進は見られなかったことから、以下の課題が生じた。

①機体の重量が大きいうえ、回転力重視のノズル形状であるため、機体を動かすだけの推進力がない。

②ホースと配管内面との接触による摩擦抵抗が大きい。

①の課題に対しては、効率的に推進力を生成する様、以下の改良を行った。

・機体の進行方向と反平行に噴射するノズルを増設
・噴射ノズル径の拡張
・肉抜き、パーツ削減による機体の軽量化

図６に改良後の実験機の外観を示す。改良後、改めて配管内での挙動を確認したところ、配管内の推進・回転が確認できたため、図６に示した機体を使用し、配管内洗浄実験を行うこととした。尚、機体重量（回転ジョイント含む）は 223.9[g]であった。

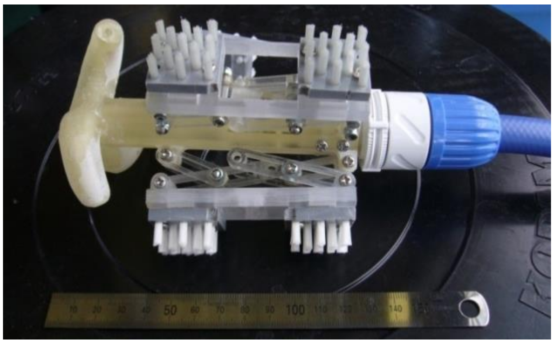


図６　改良した実験機

また、②の課題に対しては、ホースの巻き取り・送り出し機構を有するウィンチの製作を行った。

図７に製作したウィンチの外観を示す。ホースリールの回転軸にモータを接続し、モータ制御により巻き取り・送り出しを行う。モータ制御はモータ付属のドライバと、ドライバに接続したマイコン（mbed, Arduino 等）により行われ、マイコンは無線通信モジュール（Bluetooth）を介し、コントローラから制御指令を受け取るシステム構成とした。

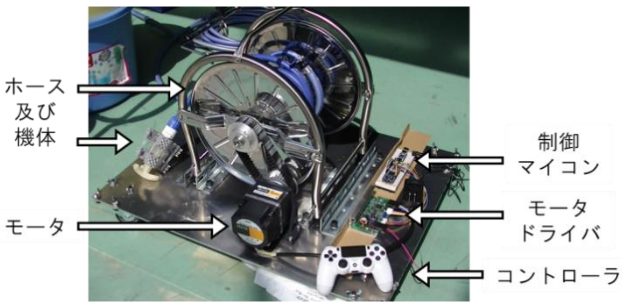


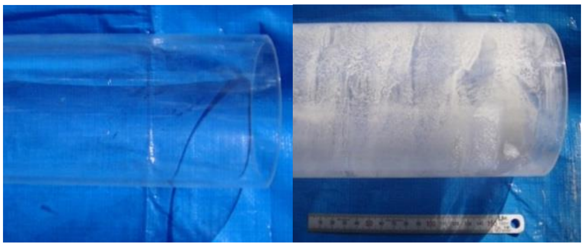
図７　製作したウィンチ

３．配管内洗浄実験

３．１．洗浄実験環境の構築

配管内洗浄実験を行うにあたり、災害発生時の環境を想定した洗浄実験環境の構築を行った。

実験では、配管内の洗浄を観察できる様、アクリル製の透明な直線配管（100A）を使用した。また、本研究が災害発生時の課題解決を目的としていることから、震災により化学プラントが被災した事例をもとに、有害化学物質がプラント内に漏洩した環境を模擬したうえで実験を行うこととした。有害化学物質の代替として、ナノ粒子である酸化チタン（粒径 100～200[nm]）を使用し、これを溶媒であるソルミックス AP1 に 1:10 の割合で分散し、配管内面に刷毛で塗布して乾燥させた。図８に酸化チタンを塗布する前の配管（左図）と、塗布した後に乾燥させた配管（右図）の様子を示す。



(a) 塗布前　　　(b) 塗布後

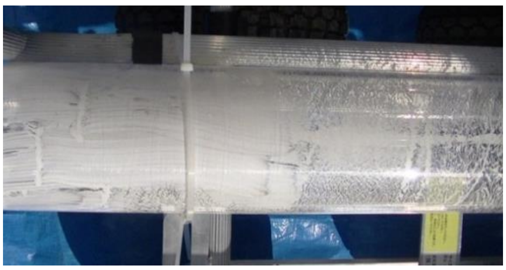
図８　酸化チタンの配管内への塗布

３．２．実験結果

上記の洗浄実験環境で、製作した実験機による配管内洗浄実験を行った。実験条件として、高圧ポンプは圧力 0.653[MPa]、流量 53[l/min]で駆動し、ウィンチにより約 50[mm/s]の速度で配管内を１往復した。

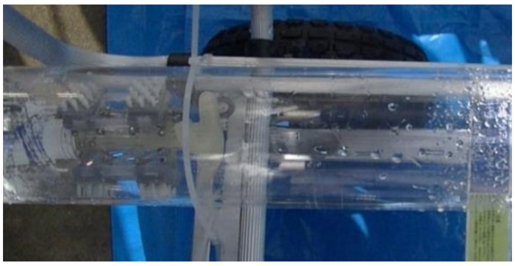
図９は実験機による洗浄前（a）と、洗浄後（b）の配管の様子である。結果を、配管内を目視により確認した。機体の回転数として最大 810[rpm]、推進方向の力として最大約 3[N]（ばねばかりで測定）が得られた。

本実験により、開発した配管内洗浄機構は噴射反力によって動作することが確かめられ、噴射反力がロボットの動力として有効である可能性が示された。また、本機構が配管内を推進・回転することで、配管内面の洗浄が可能であることが確認された。



(a) 洗浄前

図９　配管内洗浄実験



(b) 洗浄後

図９　配管内洗浄実験

３．３．今後の課題

上記の実験において、配管内の洗浄評価は目視による確認であるが、今後は洗浄ブラシの押付力による影響や洗浄面の粗さ等、洗浄能力に関する詳細な評価が必要と考える。また、洗浄評価により最適な洗浄条件を決定したうえで、洗浄機構動作時の回転数や推進力等の最適化設計を行うこととしたい。

４．結言

平成２８年度は主に配管内洗浄機構の開発を行い、水噴射の反力による動作機構の検証を行った。その結果、水噴射による推進と回転を確認し、模擬汚染物質での配管内洗浄を実現した。

今後は、配管内洗浄機構における洗浄能力の評価を行った上で最適な洗浄条件を決定し、洗浄機構の最適化設計を行う。また、配管内移動に関して、走行アシスト機構の付与により、長距離配管洗浄へ向けた駆動力確保や安定性、制御性の向上を図る他、洗浄水の回収機構の開発にも取り組む予定である。

参考文献

1）安藤久人，本田和夫　他．大規模災害に係る有害化学物質の洗浄技術の実用化－配管円筒面の高圧洗浄･回収システムの開発－．平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2014, p.33-36.

2）Maplesoft 社.“ MapleSim - High Performance Physical Modeling and Simulation - Technical Computing Software”. http://www.maplesoft.com/products/maplesim/, (参照 2017-04-20).

電気防獣柵漏電検出・通報装置と自走式電気防獣柵除草ロボットの開発

Development of the electric fence leakage detection and notification device
and the self-propelled weeding robot

技術開発部 プロジェクト研究科　高樋昌　三浦勝吏
農業総合センター 企画経営部　青田聡　木幡栄子　河原田友美

電気防獣柵に雑草が接触して発生する漏電を通報するための漏電検出・通報装置と、漏電予防・対策のために電気防獣柵近傍の雑草を自動で刈り取る自走式除草ロボットのプロトタイプの開発を行っている。２年目となる平成２８年度は、漏電通報装置の改良を行い、実証試験を行った。また、除草ロボットの試作機を製作し除草の評価等を行った。その結果、漏電検出・通報装置に関しては 4000V を下回った場合に通報するタイミングでは遅いことが分かった。自走式除草ロボットに関してはナイロンコードが一番刈り残しなく刈ることができることが確認できた。

Key words: 電気防獣柵、漏電通報、除草ロボット

１． 緒言

福島県の相双地区では、東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響で営農者が遠隔地に避難しており、営農地に頻繁に出入りすることが困難になっている。このため、頻繁な耕作地の管理ができなくなり、イノシシなどによって農作物が荒らされる獣害が多発している[1)]。これに対し、獣害対策の最も有効な手段である電気防獣柵（以下、電気柵）を設置して対策をとっているものの、頻繁な管理ができないために伸びた雑草が電気柵に接触して漏電が発生し、電気柵が機能不全に陥ってしまうことが問題になっている。

一般的に雑草対策はいくつか存在するが、農薬使用を嫌う傾向や、抑草シートでは費用が掛かるなど、それぞれ問題がある[2) 3)]。

そこで、電気柵が機能不全に陥ったことを早急に営農者へ通知すること、漏電通知を受けて電気柵周りを自動で除草することを目的とし、漏電検出・通報装置（以下、漏電通報装置）及び自走式除草ロボット（以下、除草ロボット）を開発中であり、２年目となる平成２８年度は、漏電通報装置の改良を行い農業総合センターで試験を行った。また、除草ロボットの試作機を製作し除草の評価を行った。

２． 漏電検出・通報装置

２． １． 漏電通報装置の改良

漏電通報装置は、既存の電気柵に設置し、遠隔地にいる所有者に漏電を知らせることを想定している。そのため、容易に電気柵に取り付けられる必要がある。

平成２７年度は、検知した電圧が設定電圧以下になった場合に漏電と判断し、メールで関係者に通知するシステムを開発した[4)]。この装置は稼働時間が１日しか持たないという問題があったため、消費電流の少ないマイコン(Smart Projects、Arduino Pro)に変更し、さらに電池の容量を大きいものに変更した。本装置は、計算上、６か月の連続稼働が可能であり、実験では１か月の連続稼働を確認した。変更後の装置の外観を図１に示す。

図１　漏電検出・通報装置

また、通信システムの変更を行った。前回の通信システムは、3G 通信モジュール（タブレイン株式会社、3G shield）の機能の１つであるツイッター機能を用いて漏電したことをツイートするように設計し、登録したアカウントがツイートした場合に、メールで知らせるというツイッター側の機能を用いて遠隔地にいる持ち主に知らせることとした。しかしツイッターに投稿してもメールが送信されないというサービス側の不具合があったため、3G 通信モジュールからサーバーを経由して持ち主にメールを通知するシステムに変更した。この結果、サービス側の影響に左右されず、安定した通知が可能となった。このサーバーは、フリーのウェブサーバー（ネットオウル株式会社、ウェブクロウ）を使用している。さらに、装置の機能の１つとして、電気柵の電圧値をクラウドにアップする機能を追加した。このことによって、漏電していなくても電気柵の状態を PC やスマートフォンで確認することができるようになった。システムの概要を図２に示す。

この装置を用いて、電圧測定の精度を確認する実験及び最適通報電圧を確認する実験を行った。

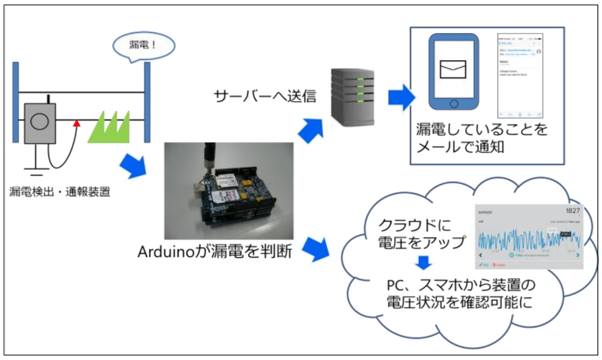


図２　通信システム概要

２．２．実験結果

２．２．１．漏電通報装置による電圧測定

製作した漏電通報装置が正確に電圧値を測定できているか確認するため、この装置を農業総合センターの圃場に設置されている図３の電気柵（末松電子株式会社、ゲッターエース３）に接続し、実験を行った。

図３　　左：漏電通報装置
中央：電気柵本器
右：電気柵線

オシロスコープで測定した電圧値を基準とし、漏電通報装置で測定した電圧値を比較することで装置の精度を確認した。電気柵には、通常 5.0kV～10.0kV の電圧パルスが約１秒間隔で印加されているので、ピーク電圧値を電気柵にかかる電圧値とした。また、今回基準とした電圧値は、オシロスコープで５回測定し、その平均値とした。オシロスコープで測定した電圧波形を図４に示す。電圧のピーク値は 3.8kV を示した。

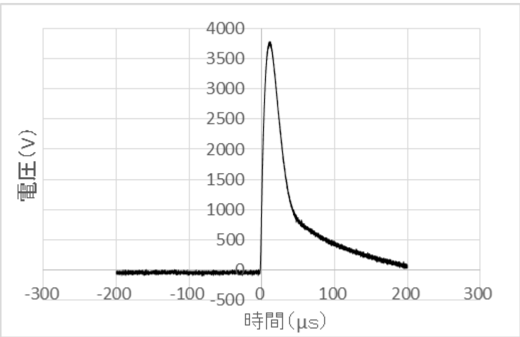


図４　電気柵電圧波形

続いて漏電通報装置を用いて電気柵にかかる電圧値を測定した。漏電通報装置で測定した電圧値は、３秒に１回の間隔で６０回電圧を測定し平均した値とした。値は 3.4kV となり、オシロスコープとの誤差は 9.5%であった。また、市販されている電気柵点検装置で電圧を測ると、電圧値は 4.3kV となり、誤差は 13.7%であった。結果をまとめたものを表１に示す。市販されている測定器よりも精度の良い結果が得られた。

表１　装置の電圧値と誤差

測定機器名	電圧値（kV）	誤差（%）
オシロスコープ	3.8	―
漏電検出通報装置	3.4	10.5
電気さくチェッカー	4.3	13.2

２．２．２．最適通報電圧の検討

一般的に電気柵にかかる電圧が 4.0kV まで低下すると効果がなくなるといわれているが、通報のタイミングとしてどの電圧値で通報する場合が最適か検討した。実験は農業総合センターにおいてビニールハウス内に燕麦の種をまき、電気柵の漏電状況と草の伸長状況について確認した。２０分に１回、電圧値を記録し、草の伸長状況を写真に収めた。実験の結果を図５に示す。また、電圧が 4.0kV まで低下した時の様子を図６に示す。

電圧が 4.0kV まで低下すると完全に電気柵線が草に埋まってしまうことが確認できた。このことから、4.0kV を下回った時に通報を行ったのでは遅いことが分かった。

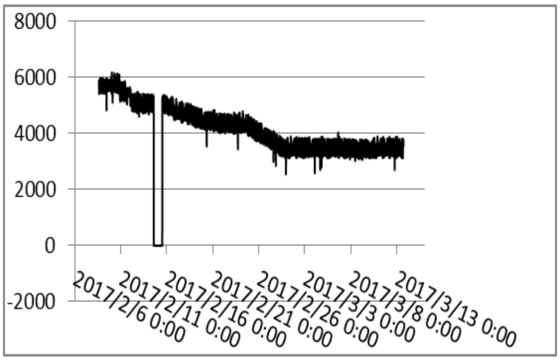


図５　電気柵試験結果

図６　電気柵の状況（電圧 4000V まで低下時）

３．除草ロボット

３．１．試作機の開発

除草ロボットは、畦畔に設置された電気柵周りの除草を想定しているため、走行部は走破性を考慮しクローラ型とした。また、電気柵線を走行目標として利用することが可能であるため、位置センサ(角度センサ)を用いて電気柵の電線との角度を計測しながら電線に沿って走行する構造とした。２つの角度センサをロボットの基準点に取り付け、接触子を用いて直接電線との角度を計測し、ロボットと電線との角度と距離を算出することで電線に沿った走行が可能となる。

平成２７年度には実験装置を用いて走行方法やロボットの大きさ、走行モータのトルクの大きさなど実際に圃場で使用する場合の仕様を検討した。

この結果をもとに新たに除草ロボットを製作した。このロボットは、県内企業であるひさき設計株式会社に委託した。外観の様子を図７、図８に示す。走行用モータにトルクの大きいモータを使用し、４軸駆動にすることで、屋外の不整地で安定した走行が可能となった。主な仕様について表２に示す。このロボットを用いて除草の評価を行った。

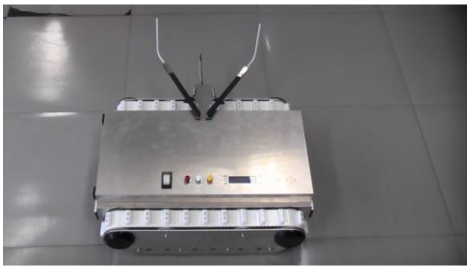


図７　除草ロボット外観（上面）

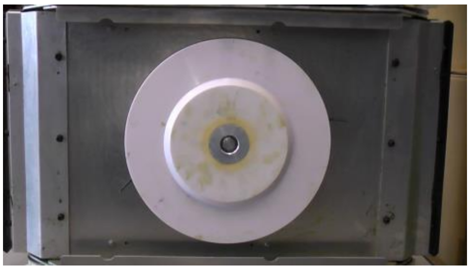


図８　除草ロボット外観（底面）

表２ 除草ロボット仕様

サイズ	L600×W420×H200
重量	20kg
バッテリー	38V6Ah (Li-ion)
走行モータ	DC モータ４軸駆動
除草モータ	日立工機フラットDCモータ
制御マイコンン	RX610
プログラム	TOPPERS/ASP

３．２．除草実験

除草ロボットにおいて重要なことは、草の刈り具合とバッテリーの持ち時間である。電気柵は数百ｍから数 km の長さで設置されているため、草を刈りながら長時間走行する必要がある。

そこで、刈刃の違いによってモータの消費電流値や草の刈り具合が変化するか確認するため除草実験を行った。

実験は、除草ロボットの中心走行速度を 50mm/s、カッターの回転速度を 4500rpm とし、電気柵線に沿わせ約５ｍ走行しながら除草を行った。刈刃はそれぞれ刈幅 230mm のものを使用した。実験の様子を図９に示す。

除草前　　　　除草後

図９　除草実験

実験はナイロンコードとチップソーの刈刃を用いて行った。チップソーについては、３０枚刃、８枚刃、４枚刃の３種類を使用し、計４種類について比較した。除草モータの無負荷時と負荷時の電流値をそれぞれ図１０、図１１に示す。また、無負荷時、負荷時の電流値についてまとめたものを表３に示す。

電流値の平均を見るとどちらもナイロンコードがチップソーよりも消費電流が大きいことが分かる。

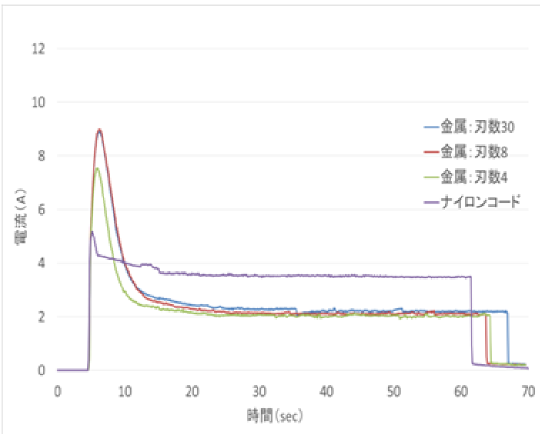


図１０ 無負荷時除草モータ消費電流

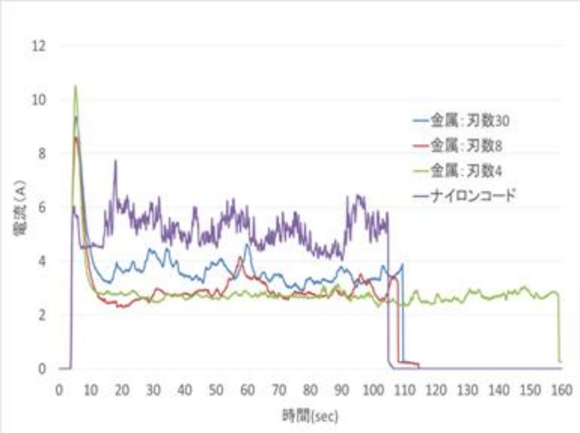


図１１　負荷時除草モータ消費電流

表３　無負荷時及び負荷時の除草モータ消費電流

	金属刃 30 枚刃	金属刃 8 枚刃	金属刃 4 枚刃	ナイロン コード
無負荷 電流(A)	2.3	2.1	2.1	3.5
負荷 電流(A)	3.6	2.9	2.7	5.2

図１２に除草結果を示す。除草走行を始める前に、走行個所の任意の場所に 25cm 角の枠を設定し、その中の草の本数と草の長さを調査する。そして、除草後の刈った草の本数と刈り残った草の本数、刈った後の草の高さを調査した。除草前後の草の本数と長さを比較することで草の刈り具合を評価した。

ナイロンコードで刈った草丈が１番短く、切断本数割合も１番高いことが分かる。チップソーに関しては、刃の枚数が多いほど刈った草丈が短くなり、切断本数割合が高くなっていることが分かる。

消費電流に関しては金属刃の方が小さく、草の刈り具合に関してはナイロンコードの方が良いという結果が得られた。

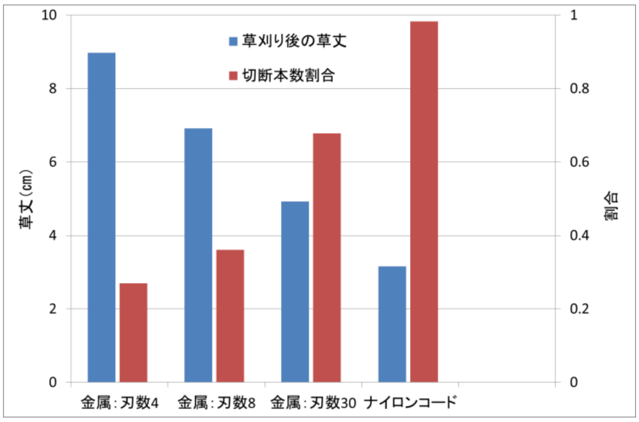


図１２　除草結果

４．結言

４．１．漏電通報装置

電気柵の電圧状況を常時測定し、設定電圧以下になると漏電と認識し、漏電を知らせるメールを自動送信できる漏電通報装置を長時間稼働できるように改良した。この装置の測定精度の検証と通報のタイミングを検討する実験を行い、市販されている測定器よりも高い結果が得られた。通報のタイミングについては、4000V を下回った時に通報を行ったのでは草がのびきってしまい除草が困難なことから、通報する時期としては遅いことが分かった。引き続き、農業総合センターや現地で実証試験を行う。

４．２．除草ロボット

前年度得られたデータを基に除草ロボットの試作機を委託製作した。この試作機を用いてロボットの除草評価を行った。刈刃について計４種類の評価を行ったが、消費電流に関しては金属刃の方が少なく、草の刈り具合に関してはナイロンコードの方が良いという結果が得られた。

今後、実験を重ね、最適な刈刃の選定を行う。また、ロボットの速度を変えて除草実験を行い、最適な走行速度を検討する。最終的には除草実験で得られたデータを基に除草ロボットを改良する。

参考文献

１）福島県営農再開支援事業の検証結果（平成２７年３月），農林水産省生産局農産部農業環境対策課. http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_zyokyo2/h27/h27.html , (参照 2017-04-21).

２）“「野生動物侵入防止用防草通電シート（港屋株式会社)」～第１回～”. 新潟県工業技術総合研究所. http://www.iri.pref.niigata.jp/25new69.html, (参照 2017-04-21).

３）宮原佳彦. 特集,除草のための最新技術動向. 機械化農業. 2016, 5. p.5-11.

４）高樋昌，三浦勝吏 他，電気防獣柵漏電検出･通報装置と自走式電気防獣柵除草ロボットの開発. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書, 2016, p.42-45.

太陽光発電用シリコンウェハの加工技術に関する研究

Studies on manufacturing Technology of a silicon wafer for photo vltaic

技術開発部 生産・加工科　小野裕道　三瓶義之　小林翼　尾形直秀
株式会社横浜石英　大野仁嗣　蛭田亨　坂本俊哉　小林大樹
東成イービー東北株式会社　高島康文　佐々木伸也　鈴木秀　村上友宏　西原啓三　石井裕司
株式会社東北電子　渋川達弘　篠田清郁
学校法人日本大学 工学部 工学研究所　池田正則　目黒翔平　森田寛也
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
高遠秀尚　白澤勝彦　福田哲生　望月敏光　水野英範　棚橋克人　鈴木信隆　木田康博

結晶シリコン太陽電池パネルは、さらなる発電効率の向上と製造工程の簡素化による低コスト化が求められている。この要望に対し、受光面の電極をウェハに貫通した穴を通して裏面に配置するメタルラップスルー (MWT) 型太陽電池セルは有望な技術の一つである[1)]。

本研究では県内製造業者が新規に再生可能エネルギー分野に参入することを支援するため、産総研福島再生可能エネルギー研究所と福島県内の企業・大学４者と共同で、MWT 型太陽電池セルの試作と評価を行った。その結果、MWT 型太陽電池セルの量産化技術の確立に向けた加工技術の知見が得られた。

Key words: 太陽光発電、太陽電池セル、メタルラップスルー (Metal Wrap Through)

１．緒言

東日本大震災後、再生可能エネルギーにより発電された電力の固定価格買取制度が開始され、再生可能エネルギーによる発電への関心は高まっている。特に太陽光発電所は、設備容量から発電量を比較的容易に推定できることから、福島県内においてもメガソーラー発電所が増設されつつある。しかしながら、固定価格買取制度による再生可能エネルギー賦課金は増加し、買取固定価格の見直しがなされるに至った。このため今後の再生可能エネルギーの持続的な導入には、設備のコスト削減と高効率化が強く求められている。

これに対し国立研究開発法人産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所(FREA)では、太陽光発電の主流である単結晶シリコン太陽電池の量産実験設備を導入し、軽量で高い変換効率を得られる廉価な太陽電池の研究開発を行っている。太陽電池セルは、複数の手法で変換効率を向上させる試みがなされており、次々世代の太陽電池セルと期待されるメタルラップスルー(Metal Wrap Through:MWT)型太陽電池セルは、受光面の電極をシリコンウェハの貫通穴を通して裏面に配置することで、受光面積の拡大とモジュール組立工程の簡略化が期待されるものの、微細な貫通穴加工と電極材料の充填が課題となり量産に至っていない。

ハイテクプラザは、県内の企業３社と大学、産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所の５機関とともに、MWT 型太陽電池セルの量産に必要な製造技術の開発に取り組んだ。平成２８年度は変換効率向上のため各工程を改善し良好な結果を得たので報告する。

２．研究課題

２．１．シリコンインゴットの高能率薄切り技術

太陽電池セルはシリコンインゴットをワイヤーソーで薄くスライスしたシリコンウェハから作られる。この工程はコスト低減のため、ウェハ厚を薄くしてより多数枚のウェハを得ることと、スライス加工時間を短縮することの２つの課題がある。このためワイヤーソーは、切削力の強い固定砥粒型が主流になっている。

固定砥粒型ワイヤーソーは、切削力が大きく、薄く変形しやすいシリコンウェハを切断すると、ウェハに小さなクラックが残り、ウェハ割れの原因になると考えられる。そのため新規の工具を開発し、ウェハ強度の向上を試みた。

２．２．垂直電極の形成技術

表面電極を裏面に配置する MWT 型太陽電池セルの模式図を図１に示す。産総研 FREA より提供を受けた薄型シリコンウェハに、ドリル加工やレーザー加工、ドライエッチング加工により小径の貫通穴を開け、不純物

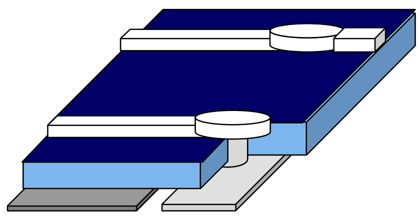


図１　MWT 型太陽電池セルの模式図

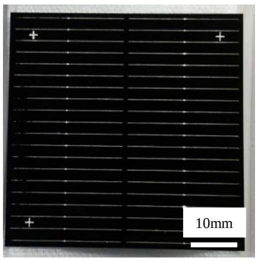


図２ 試作した MWT 型太陽電池セル

を拡散し、パッシベーション膜の成膜、貫通電極を形成し、太陽電池セルを製作した。平成 27 年度に試作したセルの外観を図２に、ソーラーシミュレーターにより測定した *I-V* 特性を図３に示す。市販のアルミ BSF 型セル *Eff*=18%に比べ、*Eff*=11.5%と変換効率が低かった。太陽電池は図４に示す等価回路で表されるが、シャント抵抗（R_{sh}）が低く、シリーズ抵抗（R_s）が高いことがその原因と考えられる。そのため、それぞれの工程を見直し改善を試みた。

３．実験と結果

３．１．高能率薄切り加工技術

シリコンインゴットの薄切りには、加工ダメージを低減するため、凝集したダイヤモンド砥粒がないことが求められる。そこで従来のソーワイヤーに比べ、砥粒の分散を高めたワイヤーを開発した。このワイヤーを改良ワイヤーと呼ぶこととする。

従来ワイヤーおよび改良ワイヤーを使用した電着型のマルチワイヤー・ソーにより、表１に示す加工条件で、結晶方位（100）単結晶のシリコンインゴットから 120μm 厚のウェハ約 800 枚を切り出した。その時の加工時間は従来ワイヤーと改良ワイヤーともに４～５時間であった。

切断後のシリコンウェハを固着ビームから温水で剥離し、アルカリ系洗剤での洗浄および弱アルカリ水溶液（1%KOH）でのエッチングを行った後、オゾン水でのリンス、乾燥を行った。インゴットから切り出されたウェハは、インゴットに対してワイヤーを供給するボビンに近い側を新線側、回収するボビンに近い側を旧線側、中間を中央部とする３グループに分類した。そして新線側と旧線側からそれぞれ数１０枚ずつを抜き取り強度試験に用いた。試験は AUTOGRAPH AGX plus（(株)島津製作所製）を用い、ワイヤーの走査方向（ソーマーク方向）に対して９０度の角度で線荷重を負荷しウェハの破壊応力を求めた[2)]。

図５に従来ワイヤーおよび改良ワイヤーで加工したウェハのうち、強度のばらつきの大きかった新線側で切断したウェハの破壊応力分布を示す。従来ワイヤーで切断したウェハに比べ、改良型ワイヤーで切断したウェハは、破壊応力が高強度側に分布しており、強度向上の効果が示された。

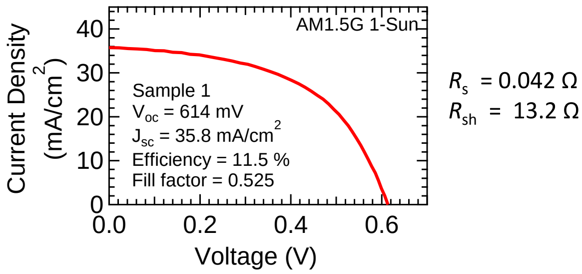


図３ 試作した MWT 型太陽電池セルの *I-V* 特性

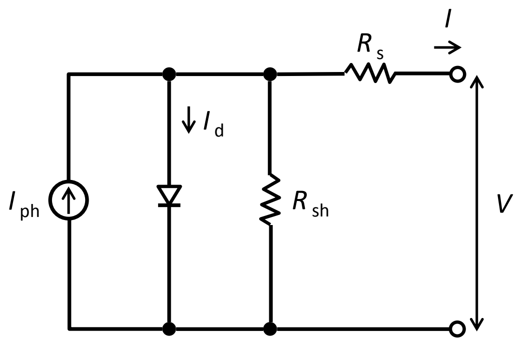


図４ 太陽電池の等価回路

表１ ウェハ加工条件

外寸	156mm×(210～230)mm
ウエハ厚	120μm
ワイヤー芯径	100μm
ダイヤモンド砥粒の平均径	9.8 μm
ワイヤー最高送り速度	1,000m/min

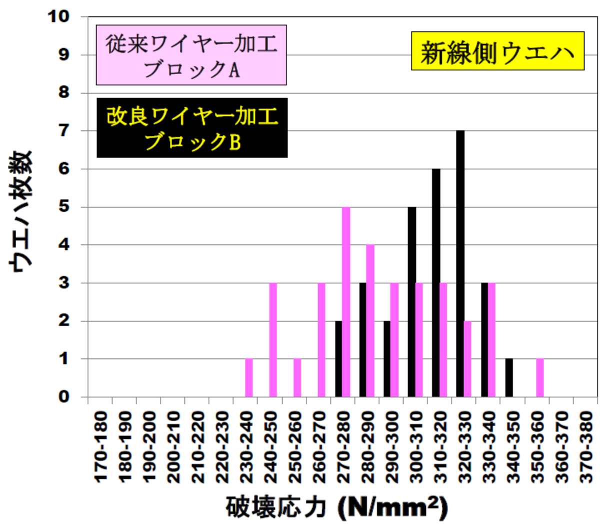


図５ 従来ワイヤーと改良ワイヤーで加工したウェハの破壊応力分布

３．２．貫通穴加工

３．２．１．ドリル加工

貫通穴周辺部の結晶欠陥は、漏れ電流の要因となるため、加工ダメージの低減が課題である。この加工ダメージについてはこれまで得られた知見より工具侵入精度が大きな影響を与えている。

そこで機械駆動のステージに替えて、図６に示す圧電素子駆動ステージを試作した。加工装置や工具、加工条件を表２に示す。工具送りが遅い条件であったが、機械駆動のステージではシリコンウェハの欠けが大きかった電着工具を使用した場合であっても、図７に示す良好な穴を加工できた。

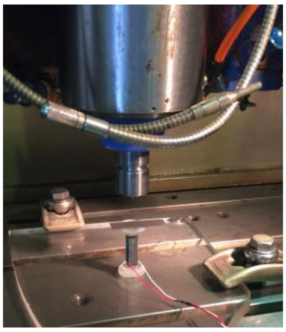
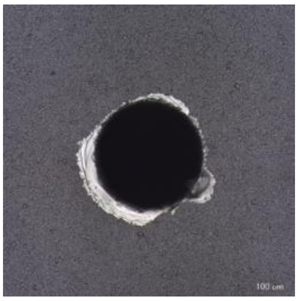


図６ 圧電素子駆動ステージ

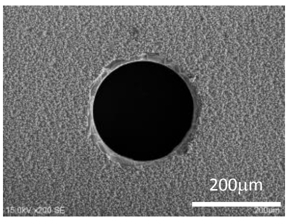
表２ ドリル加工実験条件

加工装置	立形マシニングセンタ 主軸回転数 5,000 rpm
工具	ダイヤ電着工具 直径0.2mm
工作物	単結晶シリコンウェハ 156mm × 156mm × 0.2mm
加工時間	(1) 機械送り 2min / 穴 (2) 圧電素子送り 8min / 穴

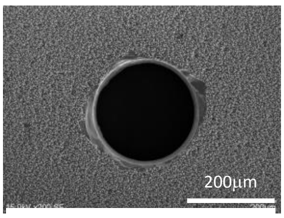


(a) 機械送り 表

(b) 機械送り 裏



(c) 圧電素子送り 表



(d) 圧電素子送り 裏

図７ 送りの違いによる貫通穴の観察

３．２．２．レーザー加工

セルの *I-V* 特性向上のためには、加工ダメージの低減が課題である。超短パルスレーザー加工は加工ダメージの低減が見込まれる加工法である。

これまでレーザー穴加工は加工速度の高速化に取り組んできた。ステージ移動と同等の穴をスキャナー移動でも加工可能な条件の選定ができたため、高速化が可能となった。同じ加工範囲を条件（１）１穴ずつステージ移動する場合と条件（２）１区画内をスキャナーで加工し区画間をステージ移動する場合で、表３に示す条件で加工したところ、条件（１）では536sec/wafer だったが、条件（２）では 248sec/wafer と 54%の加工時間短縮を達成した。

表３ レーザー加工条件

加工装置	ピコ秒レーザ加工機 （東成イービー東北(株)製）
線源	YVO_4, THD
工作物	単結晶シリコンウェハ 156mm × 156mm × 0.2mm
穴径	内径 0.1mm × 342穴/wafer
ステージ	(1) 1穴ずつステージ移動 (2) 区画毎にステージ移動

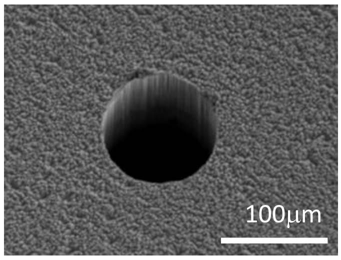


図８ ドライエッチングした貫通穴

３．２．３．ドライエッチング加工

ドライエッチング加工は最も加工ダメージが少ないが[3]、使用した反応性イオンエッチング装置（Deep-RIE）のステージは四角のウェハを固定できない。そこで、156mm×156mm サイズのウェハを直径８インチの円形ウェハに張り合わせて加工した。

８インチウェハを保護するためレジストマスクを作製し、貫通穴加工を行った。加工結果を図８に示す。レジストの塗布条件、張り合わせ条件およびイオンエッチングの条件を検討することで 156mm×156mm サイズのウェハの貫通穴加工を行うことができた。

３．３．テクスチャ処理による加工ダメージ除去

レーザー加工後のウェハを割断し、イオンミリング装置で穴側面と付着物を切断し電子顕微鏡(SEM)で観察したところ、図９のように穴側面に付着物と境界に薄い加工変質層があることが分かった。後工程ではウェハの表裏面と穴側面には拡散深さ1μm以下にリンがドープされるが、これらの付着物は穴側面のリン拡散を阻害すると考えられる。そこで、レーザー加工の後加工であるテクスチャ処理で除去することを試みた。

表４の条件でテクスチャ処理を行った後の穴側面のSEM 観察像を図１０に示す。穴側面の表面には単結晶シリコンの結晶方位に由来する四角錐の構造がみられることから、母材の単結晶シリコンまでエッチングされており､付着物が除去されていることが確認できた。Ｘ線トポグラフにてテクスチャ処理した穴と未処理の穴周辺を撮影した結果を図１１に示す。未処理に比べテクスチャ処理品は穴周辺の影が薄くなっており、テクスチャ処理により加工変質層が除去されたことで、穴周辺のダメージが軽減されたことが確認できた[4]。

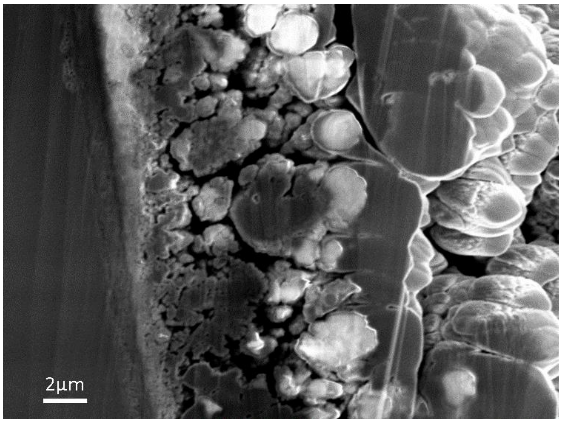


図９ レーザー加工穴の断面観察

表４ テクスチャ処理条件

薬液	処理条件		
	濃度	温度	時間
HF	10%	室温	1min
TEX	―	75℃	12min

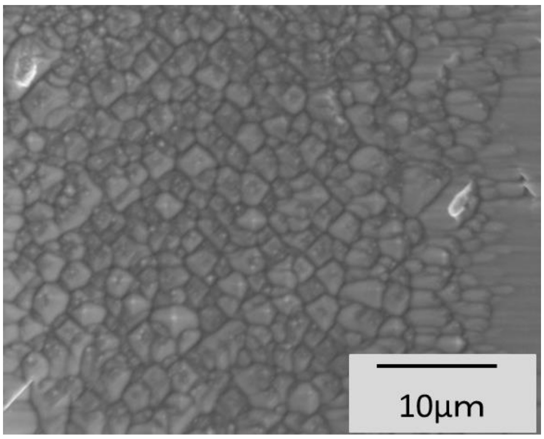
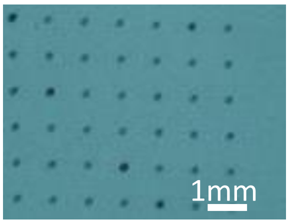


図１０ エッチング後の穴側面の様子

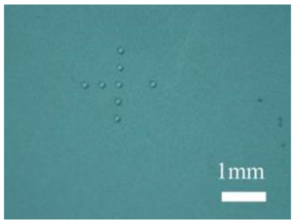
３．４．不純物拡散

ｐ型シリコンウェハにｎ型ドーパントのリンを拡散して形成する空乏層は、太陽光受光により対生成されたキャリアが分離される領域でありリン拡散による表面リン濃度及び不純物拡散深さを制御する必要がある。我々は、一般に行われている $POCl_3$ を用いた気相不純物拡散に加えて、リンを含む液体不純物源を用いた比較的安全で大型設備を必要としない不純物拡散に取り組み、シート抵抗、表面リン濃度、及び拡散深さの評価により拡散の最適条件を求めた。SIMS によりドープされたリンの濃度の深さ方向プロファイルを測定した結果を図１２に示す。

更に、貫通穴構造ウェハについても不純物拡散を行い、貫通穴側面について２次イオン質量分析法による深さ方向のリン濃度プロファイルを取得し、表面濃度は低いものの、十分な深さまでリンが拡散されていることを確認した。



(a) 未処理



(b) テクスチャ処理

図１１ Ｘ線トポグラフ撮影結果

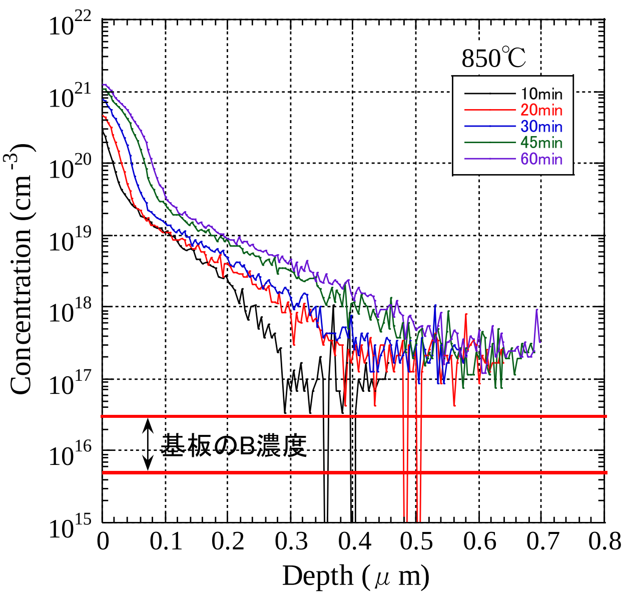


図１２ SIMS 測定によるリン濃度深さ方向プロファイル
（日本大学にて拡散、拡散温度 850℃）

３．５．パッシベーション膜の成膜

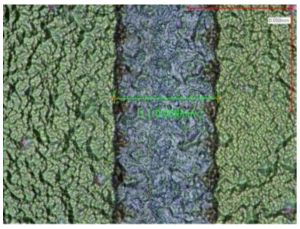
基板のシリコン上に形成される窒化シリコン膜は反射防止膜としての機能を要求される。本実験では、PE-CVD 法を用いて低周波及び高周波プラズマによる窒化シリコン薄膜を形成し、窒化シリコン薄膜の屈折率と成膜レートを調べ、窒化シリコン薄膜成膜の最適条件を求めた。表５に成膜条件を、窒化シリコンの成膜例を図１３に示す。

表５ 窒化シリコン膜の成膜条件

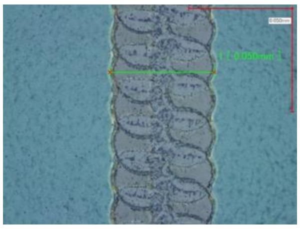
装置	住友精密工業(株)製 PE-CVD装置 MPX-CVD
処理条件	50W, 80Pa
屈折率,膜厚	n = 2.0, d=75nm

		
項目	試料１	試料３
屈折率	1.93	1.97
膜厚	60.5nm	80.9nm
成膜時間	2.75分	2.75分

図１３ 窒化シリコン成膜結果



(a) 裏面



(b) 表面

図１４ パッシベーション膜の除去

３．６．パッシベーション膜の除去加工

太陽電池セルの表面はパッシベーション膜が成膜されるが、このうち表裏面の電極にあたる部分を選択的に除去することで発電効率の向上が期待される。

そこでレーザー加工によるパッシベーション膜の選択的な除去加工について取り組んだ。加工部分をレーザー顕微鏡で観察した結果を図１４に示す。シリコンウェハ表面の酸化物膜が除去されて、レーザー加工部は基板のシリコンが観察され、良好な除去が行われたことを確認した。

３．７．電極印刷技術

３．７．１．電極材の充填

貫通電極の充填不良はシリーズ抵抗（R_s）を増加させ、曲線因子（Fill Factor）*FF* 値の低下を引き起こす。平成２７年度までに、スクリーン印刷とディスペンサーのそれぞれで貫通穴に電極材料を十分に充填できたものの、充填率にばらつきがあることが課題であった。また、スクリーン印刷においてレーザー加工による先細りの穴に対して、充填する方向を変えて充填率の向上を検討したものの、明らかな違いを得られなかった。

そこで東北電子株式会社では、スクリュー式ディスペンサーを導入し高粘度銀インクを用いた充填を試みた。この装置では金属含有率が高く、粘度が非常に高いインクを『心太（ところてん)』のように吐出可能である。その結果、スクリーン印刷に比べて良好な充填が可能となり、サブミクロンフォーカスＸ線検査装置により観察したところ、図１５のような良好な充填が行われていることが確認できた。

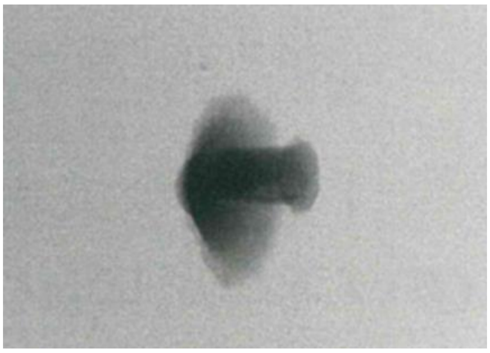


図１５ スクリューディスペンサーにより充填した電極

３．７．２．表面電極の細線印刷

太陽電池受光面の集電用の配線の幅は受光面積を拡大するためにはより細いほうが望ましい。そこで幅が 40μm 以下の細線電極を目指して、ノズル内径 40μm のディスペンサーにより印刷実験を行った。太陽電池電極用の銀インクを印刷したところ、図１６に示すよう電極幅は 77.2μm であった。これはノズル外径とほぼ同じであるため、ノズル先端の液だまりによる影響の可能性が高い。今後は銀インクの仕様を調整することにより、細線化を目指す。

３．８．電極間の絶縁加工

MWT 裏面のｐ電極とｎ電極の導通は、リーク電流となり発電セルの *FF* 値を低下させる。そこで電極外周に絶縁溝を形成するエッジアイソレーション加工により、シリコンウェハ表面のリン拡散層を除去し、電極間の

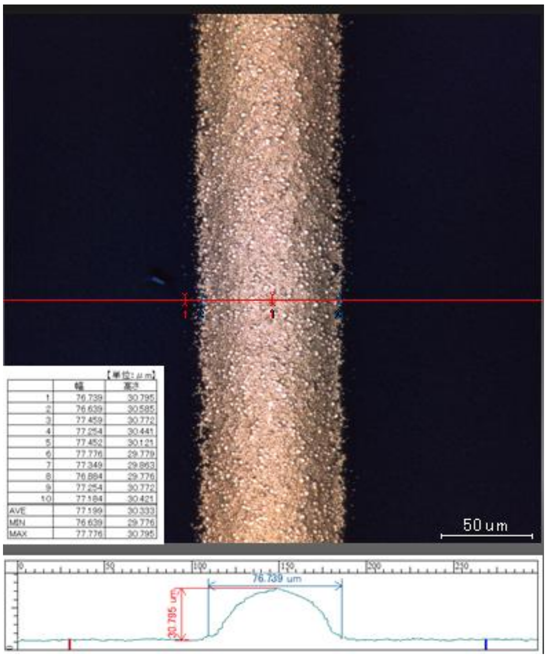


図１６　描画結果（内径 40μm）

表６　加工条件

加工条件			加工結果	
No	周波数	μJ	幅(μm)	深さ(μm)
1	10	20	22	3
2	20		21	5
3	40		22	7
4	80		23	9
5	100		22	11
6	133		22	12
7	200		22	16
8	400		22	18
9	未加工		0	0

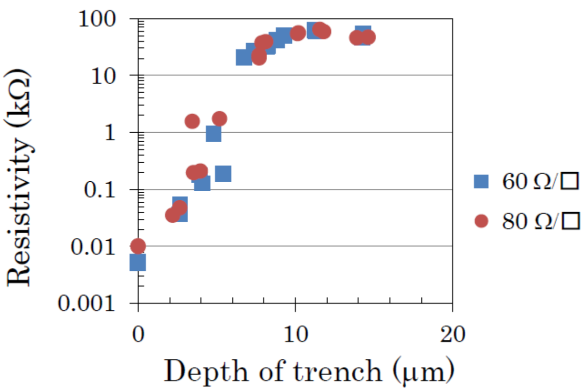


図１７　電極間絶縁抵抗

絶縁を試みた。リン拡散層(n+)の厚さ約 0.3μm に対し、表６に示す条件でレーザーの掘り込み加工量を変えて、電極絶縁評価用の試料を作製した。作製した試料に対し電極間の *I*-*V* 曲線からリーク電流を評価した。

電極間の抵抗を測定した結果を図１７に示す。10μm 以上の深さの溝加工を行えば、電極間の絶縁が十分に得られることを確認した[5)]。

３．９．セルの製作

３．３.テクスチャ処理による加工ダメージ除去の結果から、レーザー穴加工の加工変質層はテクスチャ処理で除去可能であるため、レーザー加工で貫通穴をあけたシリコンウェハから MWT 型セルを試作した。

これまでは貫通電極の充填と電極形成のために 50mm×50mm のセルの表面に位置合わせマークを配置していたため、受光面積が減少していた。このためプロセス中のセルの外形を 50mm×60mm に大きくし位置決めマークは最終評価に除去される受光面の外側に配置した。

レーザー貫通穴加工時の加工ダメージ層と付着物の除去は先述のとおり、希フッ酸とテクスチャ液によるエッチングで行った。その後に不純物の拡散と反射防止膜の成膜、電極を形成し、セルを試作した。

試作したセルの外観を図１８に、ソーラーシミュレーターにより測定した *I*-*V* 特性を図１９に示す。

その結果、試作セルの短絡電流密度（short-circuit current）J_{sc} = 38 mA/cm^2 と解放電圧（open-circuit voltage）V_{oc} = 620 mV を得た。

位置決めマークの改善などで、平成２７年度の試作品と比較し *FF* 値は 0.525 から 0.67 に改善が見られた

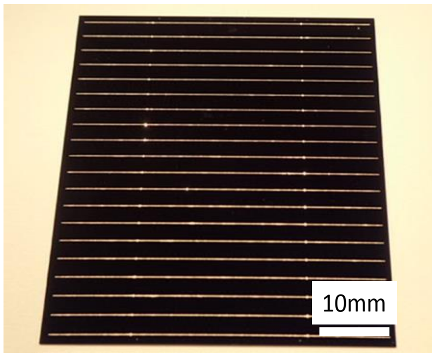
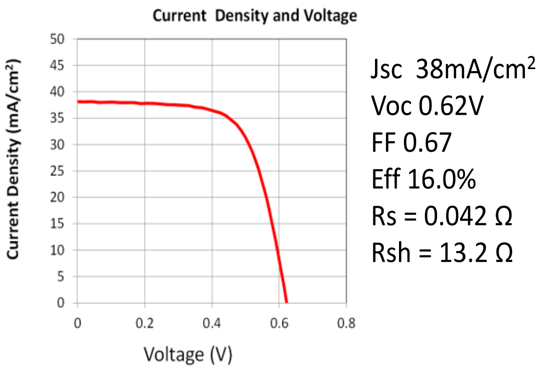


図１８　試作した MWT 型セル



各パラメータの導出は、K. Bouzidi, Sol. En. Mat. Sol. Cells 91 (2007) 1647-1651 による。

図１９　試作した MWT 型セルの *I*-*V* 特性

ものの、変換効率は 16%にとどまった。これは、シャント抵抗が R_{sh} = 13.2Ω と一般的なセルに比べ低いことが原因であると考えられる。この原因は貫通穴電極周辺やレーザー溝加工部での漏れ電流が原因と考えられ、今後この漏れ電流を改善する必要があると考えられる。

４．結言

MWT 型太陽電池セルの量産技術開発のため、単結晶シリコンインゴットの高能率薄切り加工技術と微細貫通電極形成技術の開発に取り組み、次の結果を得た。

・新規に開発されたソーワイヤーによりシリコンインゴットの加工を行い、破断強度が向上した。

・各製造工程の加工条件を再検討し、条件を最適化した。レーザー加工で貫通穴加工した試料で、MWT 型太陽電池セルを試作し、変換効率 16%を達成した。

参考文献

１）F.Clement, B.Thaidigsman et al.: Pilot-Lline Processing of Highly-Efficinet MWT Silicon Solar Cells：25th Europen PV Solar Energy Conference and Exhibition, 6-10 September 2010

２）福田哲生, 白澤勝彦, 高遠秀尚 他. “切断ワイヤの摩耗と単結晶シリコンウェハの破壊強度”. 第７５回応用物理学会春季学術講演会講演論文集, 2015. 12a-A18-5.

３）小野裕道　他. “MWT型セル用単結晶シリコンウェハの穴明け加工”. 第６３回応用物理学会春季学術講演会, 東京都目黒区, 20160320, 公益社団法人応用物理学会, 20a-W611-10.

４）小林翼　他. “MWT型セル用単結晶シリコンウェハのレーザー穴あけ加工”. 第７７回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟県新潟市, 20160916, 公益社団法人応用物理学会, 16p-A24-5.

５）小野裕道　他. “単結晶シリコン太陽電池のレーザアイソレーション加工”. 第７７回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟県新潟市, 20160916, 公益社団法人応用物理学会, 16p-A24-4.

CAEによる電子デバイスの信頼性評価手法の確立

－第３報－

Establishment of reliability evaluation method for electronic devices by simulation

- 3rd report -

技術開発部 工業材料科　矢内誠人　鈴木雅千　工藤弘行

電子基板の信頼性評価試験である温度サイクル試験について、CAE解析を行い、実際の試験と比較した。X線CTを用いてはんだ接合部の形状データを作製することで、CAE解析を実際の試験に近づけることができた。しかし、はんだ接合部に発生する亀裂の状況は一致しなかった。これは、温度サイクル試験中に電子基板の変形挙動が変化し、これによりひずみ値が変化したものと考えられる。

Key words: 電子デバイス、信頼性評価、CAE、はんだ、温度サイクル試験、マルチスケールCAE、DIC

１．緒言

電子部品の高性能化、小型化に伴い、多くの工業製品に電子基板が搭載されるようになった。自動車を例にとると、1990年代初めには１台当たり約30枚の基板が搭載されていたが、現在では100枚を超えると言われている[1)]。自動運転やIoTの技術により、今後さらに搭載数が増えることが予想され、電子基板にはより高い信頼性が求められている。

電子基板の信頼性は、主に環境試験で評価されている。温度サイクル試験は代表的な評価手法の一つであり、試験対象に低温と高温の負荷を繰り返し与える試験である。前述の背景から、工業製品に搭載される電子基板にも高い信頼性が要求されているため、温度サイクル試験が長期化し、企業の負担となっている。そこで、我々は電子基板の温度サイクル試験をCAE解析することにより、試験結果を推測することを試みている。これにより、試験時間の短縮と、CAE解析で最弱点部が予測できるため、試験後の故障解析がスムーズに行えるようになることが期待される。

電子基板、中でも基板と電子部品のはんだ接合部に関するCAE解析は、これまで多くの報告がある[2)]。しかし、解析対象であるはんだ接合部は、CADソフトで描画されたものがほとんどであり、実際の製品とは形状が乖離しているのが現状である。これに対し我々ははんだ接合部の形状に着目し、X線CTの観察結果からCAE解析用の形状モデルを作成し、製品の形状を反映させた条件で解析した。

これまでの研究により、X線CTの観察結果を用い、製品からCAE解析に必要な形状を作成する手法を確立した[3)]。さらに、はんだ接合部に生じるひずみ値と、はんだ接合部に亀裂が生じるまでに必要なサイクル数を示す式（Coffin-Manson則[2)]）について、テスト基板（長方形の基板中央に電子部品１つがはんだ接合されている基板）を用い確認試験を行った[4)]。研究最終年度である本年度は、市販されている製品基板を対象に温度サイクル試験をCAE解析し、得られたひずみ値を用いてはんだ接合部に亀裂が生じるサイクル数を計算した。また、同時に製品基板のはんだ接合部の亀裂を確認した。これらの実験結果について確認するため、製品基板に対し、昨年度実施した繰り返し荷重試験を行った。

２．実験

２．１．温度サイクル試験のCAE解析

製品基板をステンレスの板にネジで固定した形状モデルを作製した（図１）。このモデルに-20℃から80℃の温度変化を与えた際、はんだ接合部に生じるひずみ値をCAE解析により求めた。製品基板とはんだ接合部は解析スケールに大きな差があるため、マルチスケールCAE解析を適用した。はんだ接合部は、CADソフトで描画したモデル（以下CADモデル）と、X線CTの観察結果から作成したモデル（CTモデル）の２種類で解析し、結果を比較した。

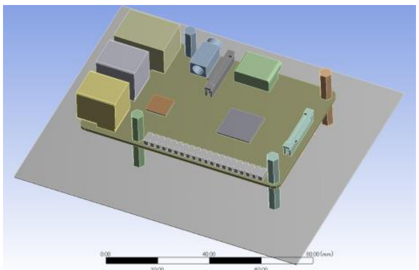


図１　製品基板の解析モデル

２．２．温度サイクル試験

２．１．の解析モデルと同様に、ステンレスの板と製品基板を固定し、試験槽に入れ、-20℃と 80℃の温度

サイクル試験を行った。製品基板を３つ用意し、それぞれ 500、1000、1700 回の温度サイクルを与えた。温度サイクルを与えた製品基板はエポキシ樹脂で包埋し、対象部位を切り出して、断面研磨により観察部を露出させた。この部位を金属顕微鏡により観察し、はんだ接合部の亀裂の状況を確認した。

２．３．繰り返し荷重試験

２．２．と同様の固定方法で製品基板を固定し、荷重試験機を用いて繰り返し荷重を与える試験を行った。試験は毎分 1 mmの速度で行った。直径 10 mmの鋼球で基板中央を押すこととし、鋼球が基板と接触して荷重値が 5N となったところを 0 mmとした。そこから 2 mmの変位を与え、そのまま 5 秒間保持し、同じ速度で変位が 0 mmになるまで逆方向に動作させた。これを 1 サイクルとし、製品基板に 300 回繰り返し荷重を与えた。製品基板の変形挙動は、非接触ひずみシステム（DIC）により観察した。この観察のため、製品基板の観察面を白く塗装し､黒のスプレーで不均一な模様を作製した。

３．結果

３．１．温度サイクル試験の CAE 解析

-20℃から 80℃へ温度が上昇した際に生じる製品基板の変形を CAE 解析により求めた。この結果から、基板に生じるひずみ値が大きい部位に配置されている電子部品を選定し、マルチスケール CAE 解析によりはんだ接合部の最大ひずみ値を求めた。この値を Coffin-Manson 則（式１）に代入し、はんだ接合部に 50μｍ の亀裂が生じるまでの温度サイクル数を計算した。はんだ接合部の最大ひずみ値と、亀裂発生までのサイクル数の計算結果を表１に示した。CAD モデルと CT モデルの計算結果には３倍以上の差がみられた。

$$N_f = 1000 \times \left(\frac{\varepsilon}{0.01}\right)^{-1.24} \qquad （式１）$$

N_f：50μｍの亀裂が生じるまでに必要なサイクル数
ε ：はんだ接合部に生じる最大ひずみ値

表１　CAE 解析結果と亀裂発生までのサイクル数

	はんだ接合部の最大ひずみ値	亀裂発生までのサイクル数
CAD モデル	0.017	533
CT モデル	0.0063	1753

３．２．温度サイクル試験

３．１．より、サイクル数を 500、1000、1700 回とし、温度サイクル試験を実施した。試験終了後、製品基板の対象部位を断面研磨し、顕微鏡で観察した（図２）。500 回後のはんだ接合部には亀裂が確認できず、1000 回、1700 回負荷を与えたはんだ接合部には、ボイド周辺に小さな亀裂が確認された。以上より、CAD モデルの解析結果より CT モデルの解析結果のほうが実際の試験に近いことが分かった。しかし、昨年度の実験[3)]のような良い一致は見られず、軽微な亀裂がボイド周辺に発生したという結果になった。

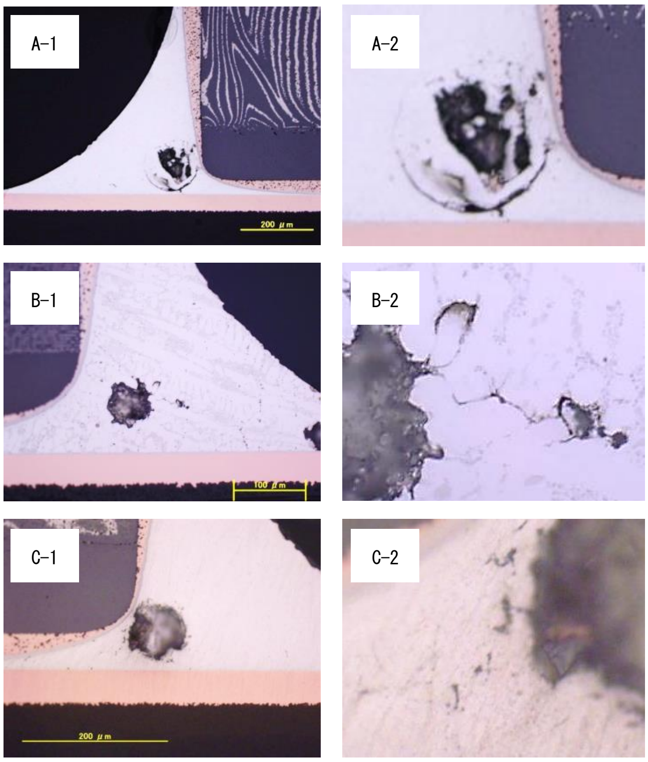


図２　温度サイクル試験後の断面観察
（A-1：500 サイクル、A-2：A-1 の拡大、B-1：1000 サイクル、B-2：B-1 の拡大、C-1：1700 サイクル、C-2：の C-1 拡大）

４．考察

４．１．CAE 解析結果と温度サイクル試験結果の差について

昨年度実施したテスト基板における繰り返し荷重試験においては、CAE 解析結果と繰り返し荷重試験結果がほぼ一致した。これに対し、製品基板の温度サイクル試験の CAE 解析においては、表１に示したように、CAD モデルと CT モデルで大きな差が見られた。実際に温度サイクル試験を行った結果でも、いずれの CAE 解析結果とも一致しなかった。この原因としては、温度変化による製品基板の変形挙動がひずみに大きく影響したものと考えられる。温度サイクル試験中に製品基板の変形挙動を観察するのは困難であるため、製品基板に与える負荷を温度サイクルから繰り返し荷重とし、製品基板の変形挙動を DIC により観察した。

４．２．解析モデルの違いにより生じる差について

温度サイクル試験の CAE 解析において、80℃における解析結果を図３に示した。CAE 解析によるひずみ値の分布をみると、CAD モデルはエッジ部が高くなっているのに対し、CT モデルは広がりを持った分布になっている。CAD モデルは平面を組み合わせてはんだ接合部を描画しているため、エッジ部のひずみ値が高く計算されたものと考えられる。一方で CT モデルは、製品に即した曲面形状が表現できているため、ひずみ値の分布が過度に偏ることがなかったものと考えられる。

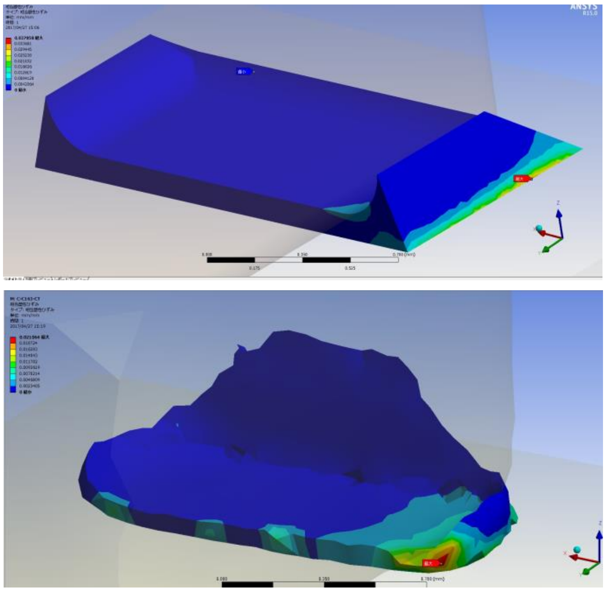


図３　製品基板に温度差を与えた際にはんだ接合部に生じるひずみ値の計算結果（上段：CAD モデル、下段：CT モデル）

温度サイクル試験の CAE 解析において、-20℃から温度を上昇させた際にはんだ接合部に生じる最大ひずみ値の計算結果を図４に示した。これより、温度上昇に伴う最大ひずみ値の変化は、CAD モデルを用いた解析結果の方が大きいことが分かる。ひずみ値を用いてはんだ接合部の亀裂を予測する場合、ひずみ値のわずかな差が試験サイクル数の計算結果に大きく影響する。

この結果より、温度サイクル試験の温度差が大きい場合、CAD モデルを用いて計算するとより大きな誤差を生じる可能性が示唆された。本研究では、CAD モデルよりも CT モデルの方が実際に近い結果が得られることを確認した。

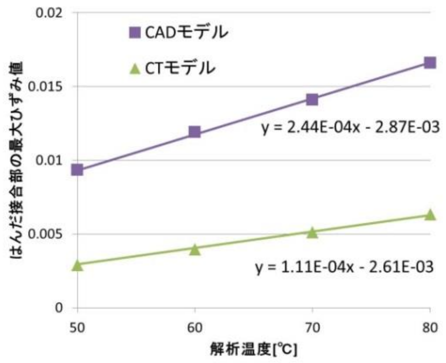


図４　温度上昇に伴うはんだ接合部の最大ひずみ値

４．３．基板の変形挙動について

製品基板に負荷を与えたときの変形挙動を確認するため、繰り返し荷重試験を DIC により観察した（図５）。1 回目の変形挙動と、300 回の繰り返し荷重を与えた後の基板の変形挙動を同じ条件で観察した。DIC による観察では、撮影画面の縦、横、奥行き方向の位置変化が測定できる。製品基板の変形挙動は縦方向が顕著であるため、基板中央に 1 サイクルの変位を与え、その時の製品基板のネジ固定部の中間点 A における位置変化を観察した。その結果を図６に示した。

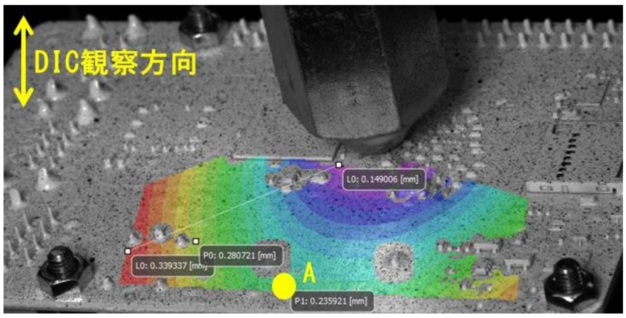


図５　製品基板に 2 ㎜の変位を与えた際の DIC 観察結果
（写真中のグラデーションは初期値からの位置変位量を示す）

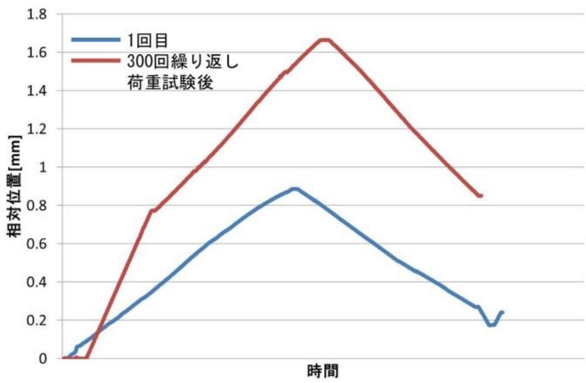


図６　製品基板中央に変位を与えた際の点 A の位置変化

１回目の荷重を与えた時の DIC 観察結果より、点Ａは試験開始から同じ速度で変化していき、２ mm変位で保持した後、同じ速度で戻っていくのが分かる。これに対し、300 回繰り返し荷重を与えた後は、試験の途中で変形の速度が変わっているのが分かる。これは、繰り返し荷重を与えたことで、製品基板の変形挙動が初期と変わっていることを示唆している。これは基板の変形によりはんだ接合部にひずみが生じるためであり、基板の変形挙動が変化すればひずみ値も変化する。

温度サイクル試験の途中にこの変化が生じたため、Coffin-Manson 則の計算結果と温度サイクル試験結果に差異が生じたものと考えられる（図７）。

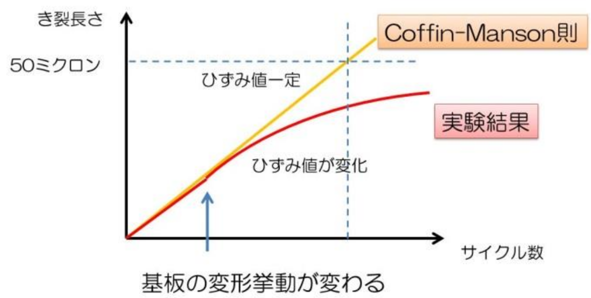


図７　Coffin-Manson 則と実験結果の差異に関する考察

５．結言

製品基板を用い、CAE 解析からはんだ接合部に亀裂が生じるサイクル数を求め、温度サイクル試験を行った。この結果、CT モデルを用いて解析した方が、CAD モデルの解析結果よりも試験結果に近いことが分かった。これは、解析対象の曲面形状をより正確に描画して解析できたためであると考えられる。しかし、計算で求めた温度サイクル数で予想された亀裂は確認できなかった。これは、試験中に製品基板の変形挙動が変化するため、はんだ接合部のひずみ値が変化し、解析結果に差異が生じたものと考えられる。

製品基板に繰り返しかかる負荷からはんだ接合部に生じる亀裂を予測する場合、製品基板の変形挙動がひずみ値に与える影響が大きい。Coffin-Manson 則を用いると、ひずみ値が２倍違うとサイクル数は 100 倍以上違ってしまう。このため、はんだ接合部の CAE 解析におけるひずみ値の計算には高い精度が求められる。

本研究において、解析対象の製品から CAE 解析の形状モデルを作製する手法を確立し、これにより CAE 解析を実際の試験に近づけることができた。

参考文献

１）デンソーカーエレクトロニクス研究会. “図解カーエレクトロニクス（増補版）上”. 日経ＢＰ社. 2014, p286.
２）宮内祐樹, 于強, 澁谷忠弘. “チップ部品の鉛フリーはんだ接合部における疲労寿命のばらつき”. 日本機械学会論文集（Ａ編）. 2009, 75(755), p.815-822.
３）矢内誠人, 鈴木雅千, 工藤弘行. CAE による電子デバイスの評価手法の確立 - 第１報 - . 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2014, p37-39
４）矢内誠人, 鈴木雅千, 工藤弘行. CAE による電子デバイスの評価手法の確立 - 第２報 - . 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2015, p55-58.

微細管の内面仕上げ技術の開発

Development of the inner surface finish polishing technology of the micro tube

技術開発部 生産・加工科　緑川祐二　山口泰寿　小林翼

ワイヤの表面に砥粒を塗布した研磨工具で、内径が 0.5mm の微細管の内面を研磨した。ワイヤと砥粒の組み合わせを検討して実験した結果､内面の表面粗さは研磨前の 10μmRz（最大高さ）から 0.5～1μmRz 程度まで低減することができた。

Key words: 内面研磨、研磨加工、微細管、ワイヤ

1．緒言

分析装置に使用されるカラムや医療機器の内視鏡等には、図１に示す内径が 0.5mm 以下の特殊な微細管を加工した部品が使用されている。近年、これらの精密機器は、高機能・高性能化が進んでおり、微細管内面の表面粗さは、摩擦・摩耗や流体抵抗及び不純物の付着等を低減することを目的として、鏡面に近い表面性状に仕上げることを要求されている。

一般的に、管内面を研磨する方法として、電解研磨や研磨布紙及び砥石による研磨方法等が挙げられる。これらの方法では、電極及び研磨工具を管内面に挿入し研磨しているが、微細管内面に挿入できる大きさの研磨工具は見当たらない。一部の企業では、特殊な研磨技術を利用して、微細管の内面を研磨しているが、この研磨方法については一切公表されていないため、一般の企業では、微細管を研磨することは難しい状況にある。

そこで本研究では、微細管の内面を研磨する方法を確立し、県内中小企業に対して技術移転することを目的とした。更に微細管内面の表面粗さは、研磨前の 10μmRz（最大高さ）を、研磨後は 0.5μmRz に低減することを目指した。

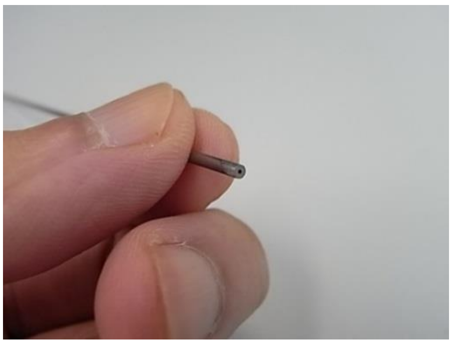


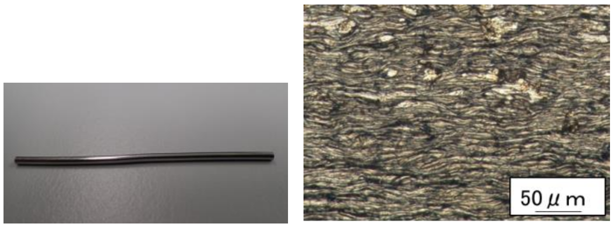
図１　微細管写真（内径：0.5mm）

2．実験方法

2．1．試験片

試験片は、SUS316L（オーステナイト系ステンレス鋼）製の微細管で、図２－(ａ)に外観写真を示す。試験片の寸法は、内径が 0.5mm、外径が 2.0mm、長さが 50mm である。なお、微細な内面の凹形状の観察及び表面粗さの測定は、一般的な光学系金属顕微鏡及び触針式表面粗さ測定機では測定ができないため、走査型レーザ顕微鏡（レーザーテック（株）HYBRID L3）を使用した。

図２－(ｂ)に内面を走査型レーザ顕微鏡で観察した写真（以下顕微鏡写真）を示す。この面の表面粗さは 10μmRz（基準長さ：0.08mm、評価長さ：0.24mm）である。



（ａ）外観写真　　（ｂ）内面の顕微鏡写真

図２　試験片

2．2．研磨方法

2．2．1．研磨方法概略

図３に、研磨方法の概略図を示す。ワイヤの表面に砥粒を塗布して、研磨工具とした。試験片内に研磨工具を通し､試験片を手動で左右に往復移動することで、内面を研磨した。

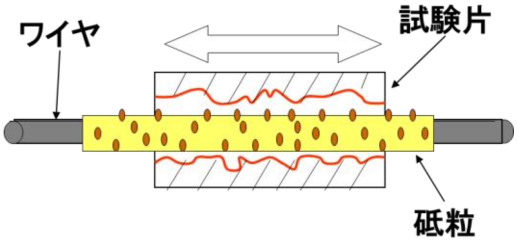


図３　検討した研磨方法

なお、ワイヤへの砥粒の塗布方法は、「接着剤で砥粒を固定する固定砥粒方式」及び「潤滑油で砥粒を塗

布する遊離砥粒方式」の２種類を検討した。

２．２．２．固定砥粒方式の検討

表１に示すワイヤの表面に接着剤（エポキシ系、シリコーン系、ボンド）で、砥粒（＃360 アルミナ）を接着した数種類の研磨工具を試作した。

表１　固定砥粒方式に使用したワイヤ

No.	種類	外径（mm）
1	銅線（単線）	0.2
2	ＳＵＳ線（より線）	0.36

２．２．３．遊離砥粒方式の検討

表２に示す砥粒を潤滑油と混合し、表３に示すワイヤの表面に塗布して実験した。

表２　砥粒の種類

No.	種類	粒度
1	アルミナ	#360,#2000 #8000,#14000
2	ダイヤモンド	#60000
3	ガラスビーズ	#200

表３　遊離砥粒方式に使用したワイヤ

No.	種類	外径（mm）
1	銅線（単線）	0.2
2	ＳＵＳ線（より線）	0.36
3	樹脂チューブ	0.4

３．実験結果及び考察

３．１．固定砥粒方式による実験結果

図４に、＃360 のアルミナの砥粒をエポキシ系接着剤で固定して、試作した研磨工具を示す。接着剤は、ワイヤの表面に均一に塗布することができず、直径はばらつき凸部が発生した。試験片に試作した研磨工具を通した場合、貫通ができずに引っかかり研磨ができなかった。また、弾性体の接着剤であるシリコーン系やボンドで砥粒を固定した場合、同様に凸部が発生し均一な研磨工具を試作することができなかった。試験片にこの研磨工具を通した場合、ワイヤ表面から砥粒と接着剤が剥離してしまった。このため、固定砥粒方式による研磨は行えなかったため、遊離砥粒方式を検討することとした。

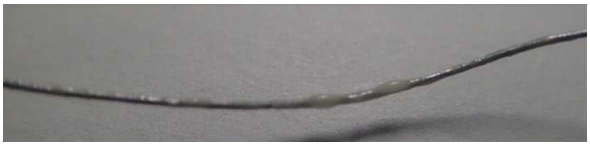
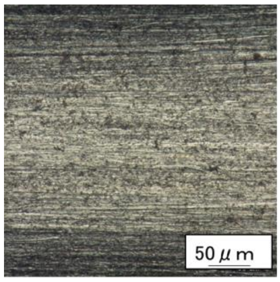


図４　エポキシ系接着剤で試作した研磨工具

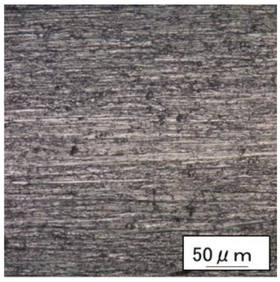
３．２．遊離砥粒方式による実験結果

遊離砥粒方式では、ワイヤに試験片が引っかかることがなく、実験を行うことができた。

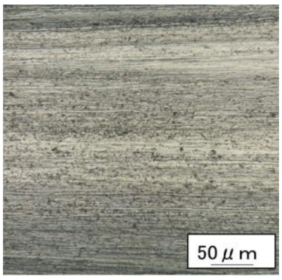
３種類のワイヤ（表３）とアルミナの砥粒を組み合わせて、３工程（＃360 → ＃2000→ ＃8000）で研磨した後の顕微鏡写真を図５、表面粗さ値を表４に示す。図５－（ａ）の銅線で研磨した場合や図５－（ｂ）のＳＵＳ線の場合は、表面が粗いことが分かる。一方図５－（ｃ）の樹脂チューブで研磨した場合、他と比較して表面粗さが小さく、きれいな面が得られた。



（ａ）銅線



（ｂ）ＳＵＳ線



（ｃ）樹脂チューブ

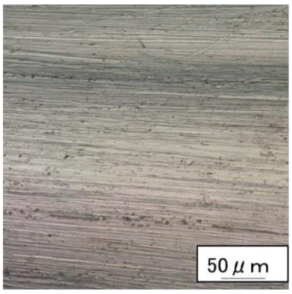
図５　３工程研磨後の顕微鏡写真

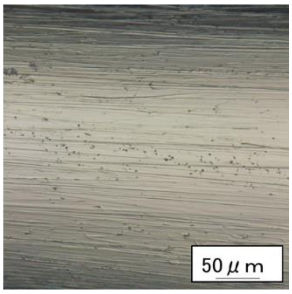
表４　３工程研磨後の表面粗さ
（基準長さ：0.08mm、評価長さ：0.24mm）

No.	種類	表面粗さ（μmRz ）
1	銅線（単線）	5
2	ＳＵＳ線（より線）	7
3	樹脂チューブ	4

このため、樹脂チューブで、更に２工程（＃14000 → ＃60000）の研磨を実施した後の顕微鏡写真を図６に示す。図６－（ａ）の＃14000 で研磨した場合の表面粗さは 3μmRz になり、図６－（ｂ）の＃60000 で研磨した場

合は、目標値の 0.5～1μmRz 程度まで低減し、きれいな研磨面が得られた。しかし、＃60000 まで研磨する場合、５工程（＃360 → ＃2000→ ＃8000 → ＃14000 → ＃60000）の研磨工程数が必要となり、研磨時間が長くなるという問題がある。

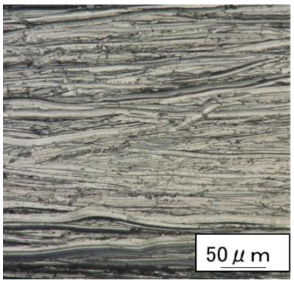


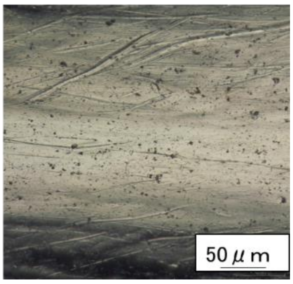


（ａ）#14000 で研磨　　（ｂ）#60000 で研磨

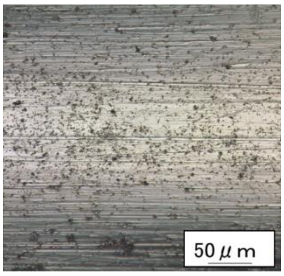
図６　樹脂チューブでの研磨後の顕微鏡写真

このため、工程数を５工程から３工程に削減ができないか検討を行った。初めに、市販品の＃300 の砥粒を固定したソーワイヤで、下地を均一にするための粗研磨を行った。図７－(ａ)に顕微鏡写真を示すが、表面粗さは 9μmRz で均一な粗研磨ができた。次に、「SUS 線（より線）と＃200 のガラスビーズ」の組み合わせによって研磨した。その結果、図７－(ｂ)のとおり、表面粗さは 1.5μmRz に激減した。これは、図８に示す直径が 50～100μm の整った球形状のガラスビーズで研磨したため、表面性状が改善したと思われる。更に、





（ａ）#300 ソーワイヤ　　（ｂ）SUS 線とガラスビーズ



（ｃ）樹脂チューブと#60000 ダイヤ

図７　３工程研磨の各顕微鏡写真

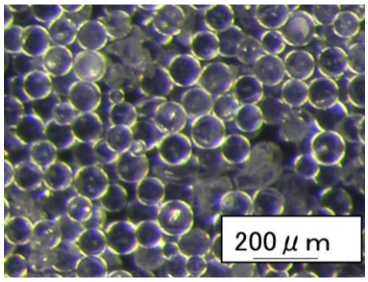


図８　#200 のガラスビーズ

図６－(ｂ)で仕上げ加工をした「樹脂チューブと＃60000 のダイヤモンドの砥粒」の組み合わせで仕上げ加工を行った。その結果、図７－(ｃ)のとおり、砥粒による擦過跡が発生し表面粗さは 1.5μmRz で改善しなかった。

そのため、「＃300 のソーワイヤ」→「SUS 線と＃200 のガラスビーズ」で研磨した後の仕上げ加工について見直した。図７－(ｃ)では「樹脂チューブと＃60000 のダイヤモンド砥粒」を使用したが、今回は「樹脂チューブと＃200 のガラスビーズ」の組み合わせに変更して仕上げ加工を行った。その結果を図９に示すが、表面粗さは 3μmRz と悪化してしまった。これは、樹脂チューブは弾性体であるため、研磨面にガラスビーズによるうねりが発生したためと考えられる。

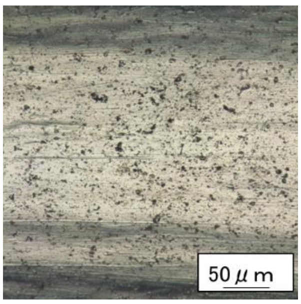


図９　仕上げ研磨後の顕微鏡写真
（樹脂チューブとガラスビーズ）

３．３．考察

ワイヤと砥粒の組み合わせによって研磨した結果を表５に示す。＃300 ソーワイヤで研磨した場合、表面粗さは 9μmRz で、下地を均一にするための粗研磨に適していることが分かった。また、「SUS 線と＃200 のガラスビーズ」で研磨した場合、表面粗さは 1.5μmRz に激減し中研磨に適していた。

一方「樹脂チューブと砥粒（アルミナ又はダイヤモンド）」の組み合わせで、５工程により研磨した場合 0.5～1μmRz 程度に仕上げることができた。

しかし３工程での研磨では、表面粗さを低減することができず課題が残った。

本研究により、今後の研磨加工面の品質の安定化や表面粗さの更なる低減化及び長尺研磨品への実用化について、可能性を確認できた。

表５　ワイヤと砥粒の組み合わせ結果

（〇：良　　△：可　　×：不可）

	固定砥粒 ＃300	ガラスビーズ ＃200	アルミナ ＃360～ ＃14000	ダイヤモンド ＃60000
ソーワイヤ	〇 （粗研磨）	ー	ー	ー
銅線（単線）	ー	×	×	×
SUS線 （より線）	ー	〇 （中研磨）	△	△
樹脂チューブ	ー	△	△	〇 （仕上げ）

４．結言

１）ワイヤの表面に砥粒を塗布した遊離砥粒方式により、微細管の内面を研磨することができた。

２）微細管内面の表面粗さを、0.5～1μmRz 程度に仕上げることができた。

本藍染めによる自動染色システムの試作開発

Trial manufacture and development of the automatic dyeing system with the natural indigo dyeing

福島技術支援センター 繊維・材料科　伊藤哲司
技術開発部 生産・加工科　尾形直秀
福島染工株式会社　桜井　弾

これまで手作業でしか染色できなかった本藍染めを自動化し、量産化に対応する染色システムを構築するため、藍染色液の染色能力の数値化と、昨年度試作した染色装置に脱液機構の組込みを行った。その結果、藍染色液の管理手法と綛染色装置の染色機構について提案を行うことができた。

Key words: 藍、還元菌、染色、自動化

１．緒言

福島県ニット工業組合では、平成２５年度から福島県の地場産業ものづくり強化補助事業を活用し、天然染料を使った製品作りに取り組むことで､｢地域ブランド」の確立を目指している。これまでに、樹木や果皮などを熱水で抽出する染料では量産化の目途が立ち、桃剪定枝(県産品)、柿の皮（県産品)、茜(市販品)を使って染色加工した「だて染め」製品を試作し、展示会へ出品を行う段階に至った。しかし、これらの天然染料には「青」系の色彩が含まれないため、色合いのバリエーションが乏しいという問題点があった。

青を出す天然染料は、藍を使用する藍染めに限られる。藍染めは、藍に含まれるインジゴにより染色を行うが､その手法は､植物に含まれるインジゴを濃縮し、スクモや沈殿藍と呼ばれる染色用の原料を作る。そもそもインジゴは水に不溶性であるため、薬品や還元菌の作用により、水溶性のインジゴに還元させ染色を行う。この染色できる状態にすることを「藍建て」と言う。薬品を使った藍建ては、インジゴを簡単に還元でき、染色も安定的に行うことができるが、pH 調整のために苛性ソーダなどの劇物を使用するため、環境への負荷が大きい。一方、微生物である還元菌により藍建てを行う本藍染めは､pH 調整に消石灰を使用するなど環境への負荷は小さいが、藍建てには長年の経験と技術が必要となり､安定的な染色による量産化は難しい。

また、染料には原料由来の藍の葉や茎などの不純物が多く含まれるため、量産に対応した一般的な染色機は使用できない。

そこで本研究では、本藍染めを安定的に行うための管理システムと試験用の染色装置の検討を行う。

２．研究方法

２．１．藍染色液の管理手法

２．１．１．染色物と測定手法

通常、染色液の状態を把握するため、少量の布や紙などを染色し、その色の濃淡により染色性を判断するが、被染物の色の影響を大きく受けることが知られている。そこで、透明なセルロースフィルム（セロファンフィルム）を染色し、分光光度計を用いて、水溶性インジゴであるロイコ型インジゴの定量的な濃度を測定できるか試験を行った。また、同時に綿布の染色を行い、染色物の色差と、ロイコ型インジゴ濃度との相関について調べた。

２．１．２．藍建て条件

試験用の藍染色液は、沈殿藍を使い総量５L で藍建てを行った。藍建ての条件は、昨年度行った条件[1)]を基に、沈殿藍 1kg（固形物 500g、上澄み液 500g)、溶媒として Na_2CO_3(1.06g/L)、K_2SO_4（3.35g/L）を調液し総量 5L にした。液温 25℃前後にし、糖蜜 7g とアルコール少々を添加し、消石灰で pH10 程度に調整した。

２．１．３．フィルムと綿布の染色条件

セロファンフィルムはセルロースの透析用チューブを 8×5cm に切り取り､蒸留水に 24 時間浸漬後､洗浄、乾燥したものを使用した。染色は、染色液に 2 分間撹拌浸漬した後、2 分間風乾後水洗した。

定量を行うための検量線用フィルムは、和光純薬工業(株)のインジゴを使い、炭酸ナトリウムとハイドロサルファイトで還元させ染色した。検量線の測定は 665nm での吸光度を、(株)島津製作所製の分光光度計 UV-2500PC の定量モードで測定した。

染色用の綿布は、綿糸 43/2 番手を筒編みにし、過酸化水素水により酸化漂白したものを約 50g 使用した。染色時の浴比は 1:100 とし、染色条件は 10 分間浸漬、撹拌し、引き上げ後、10 分間風乾させた後水洗、乾燥させた。染色物の測色は、日本電色工業(株)製 NF-999 を用い、光源は D65、視野を 10°で測色し、$L^*a^*b^*$で示した。染色物の色差については、１回目の染色布を基準とし、人がわずかに色差を感じる数値の上限値であ

る 1.5（ΔE*(ab)）をしきい値とした。色差は、原料藍を追加するタイミングを判断するため、染色布の色が薄くなった時の色差で判断した。

綿布の染色は、セロファンフィルムの吸光度が 0.4〜0.5 で行った。

２．２．染色機システム

手作業で藍染めを行う場合、綛と言う糸を束ねた状態で染色を行う。染色は綛を撹拌する他に、絞り（脱液）も行う。絞りを行うことで、酸化と染色液の浸透性が増し、染色性が向上することが考えられ、染色には重要な工程の一つである。そこで、昨年度試作した小型の自動綛染色機に脱液機構を組込み、染色性の確認を行った。染色した糸は、染色液の管理手法で用いた綿糸 43/2 番手の未精練糸を、100g 綛状にして試験を行った。

３．結果と考察

３．１．藍染色液の管理手法

表１にフィルムと綿布の染色試験結果を示す。表中で濃色側に染色された場合の色差（ΔE*(ab)）は（－）で表記した。図１に染色回数と綿布の色差、ロイコ型インジゴ濃度について示す。染色した綿布の色が薄くなり、色差がしきい値である 1.5 を超えるのは４回目となったが、５回目では染色間隔を空けることにより、インジゴ濃度が増え、色差は 1.5 となった。これはロイコ型インジゴ濃度が少なくなると薄く染色され、色差も大きくなっていることを示している。

また、フィルムの吸光度が 0.4 以上になる染色間隔を見ると、４回目までは３〜４日間かかり、５回目では８日間かかっている。

そこで、染色を毎日行う場合、一浴では染色できるまで３日間かかるので、染色浴を３つ設け、１日一浴を使い染色することで、連続的な染色が可能となる。この場合３回目染色後に原料藍の投入が必要となる。

染色液が一浴の場合、染色回数が５回目以降で原料藍を追加することで安定的な染色が可能となる。

３．２．染色システム

図２に試作した染色機システムとその染色糸を示す。このシステムは前回同様､綛状の糸を染色する装置で、上下、前後方向の２本のシリンダと回転ローラーで構成されている。上下シリンダで綛を染色液に浸漬させ、前後のシリンダで綛を回転しているローラーに押込み、絞り（脱液）と糸の移動を行う。

前回のシステムでは、綛を染色液に浸漬させることしかできなかったが、今回絞り機構を組込むことで、染色液の移動が大きくなり、染色性が向上している。同じ染色液と糸を、手で染色して比較したが、目視では同等の染色性を確認できた。

表１　染色試験結果

回	セロファンフィルムの染色結果		綿布の染色結果				染色間隔(日)
	吸光度	ロイコ型インジゴ濃度(g/L)	L*	a*	b*	ΔE*(ab)	
1	0.81	0.19	31.5	-6.5	-15.1	0.0	―
2	0.56	0.13	27.9	-5.5	-14.3	-3.8	3
3	0.53	0.13	29.0	-5.6	-15.8	-2.7	3
4	0.42	0.10	33.9	-6.3	-17.6	3.5	4
5	0.62	0.15	32.4	-5.8	-16.1	1.5	8
6	0.45	0.11	36.8	-6.7	-17.0	5.6	10
7	0.27	0.06	45.9	-6.8	-9.6	15.4	12
8	0.17	0.04	52.6	-6.2	-5.1	23.3	14

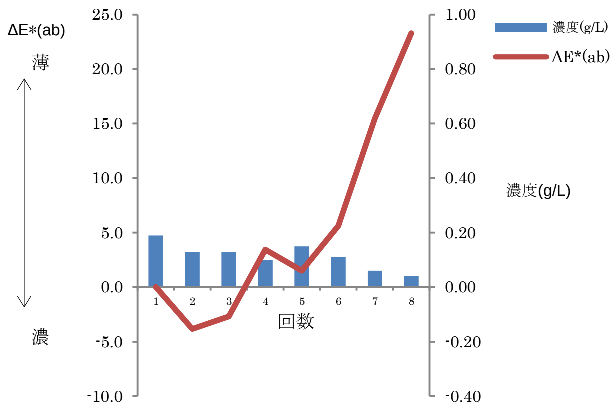


図１　染色回数と色差、ロイコ型インジゴ濃度

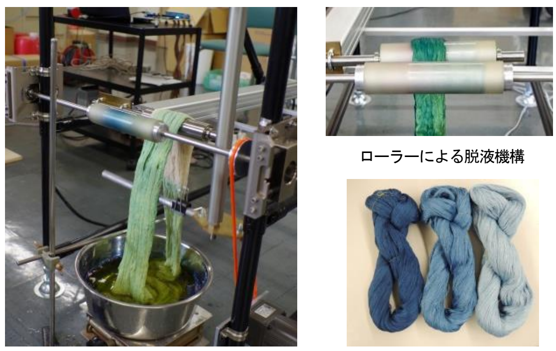


図２　染色装置と染色糸

４．結言

今年度は、藍染色液の管理手法として、セロファンフィルムを染色することによるロイコ型インジゴの濃度の定量と、原料藍の投入時期について提案することができた。また、綛染色機システムに絞り機構を組込

むことで、手で染色するように綛を染色できた。
　藍染は液性がアルカリ性であるため、アルカリ性に耐性のある綿や麻などのセルロース系繊維に向いた染色である。福島県ニット工業組合では、アルカリ性での染色に不向きなウールやシルクといった糸を使った藍染製品の提案を希望している。そこで、次年度では、アルカリ環境下でも糸が痛まず、染色性を向上させる前処理技術の提案と、今年度提案した綛染色機システムで、染色可能な糸量の把握と染色堅牢度試験を実施予定である。

謝辞

　本研究を遂行するにあたり、ご指導を頂きました北の藍工房代表　角寿子氏、武庫川女子大学　牛田智教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

１）尾形直秀, 伊藤哲司. 本藍染めによる自動染色システムテムの試作開発. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2015, p.59.

県産醸造製品の品質向上に向けた高品質製造技術の確立

Establishment of High-grade Processing Technology
for Quality Improvement of Fermented Foods from Fukushima Prefecture

会津若松技術支援センター 醸造・食品科　小野和広　高橋亮　菊地伸広

県産醸造製品の品質向上を目的に、醤油の製造現場における製麹環境を調査するとともに、全国醤油品評会出品醤油および県内工場製の濃口醤油の糖組成を比較した。併せて品評会で入賞した製品と、火入れ等の製成工程が香りに及ぼす影響について評価した。その結果、製麹中の温度分布は、製麹方法によって異なり、回転円盤式製麹機では、製麹機内部での温度差が小さかったのに対し、通気平床式製麹機および蓋麹法では、測定箇所により最大で１０℃以上の差があった。一方、今回分析した糖の総量は、全国醤油品評会上位入賞品の方が県内工場製醤油よりも約３倍多かった。また、入賞品とそれ以外の醤油では、香りの強さや質が異なることが認められた。さらに火入れ温度や時間、添加する糖類の配合の違いにより、風味が変化することが認められた。

Key words: 醤油、製麹、におい識別装置

１．緒言

当県は全国有数の醸造処であり、古くから数多くの酒造業や、醤油、味噌製造業が営まれている。近年、清酒は、業界の取組みや当所の技術支援等により品質が大きく向上し、全国新酒鑑評会において金賞受賞数が４年連続で全国一になる等、大きな話題となっている。そうした中、醤油、味噌製造業においても、酒造業の躍進に刺激を受け、昨年度は全国醤油品評会において農林水産大臣賞を２社受賞する等、入賞数が大幅に増加し、さらなる品質向上への気運が高まっている。このような背景をもとに、本研究では、醸造製品の品質向上を目的に、醤油の製造現場における製麹環境を調査するとともに、全国醤油品評会出品醤油および県内工場製の醤油について、糖組成の比較を行なった。併せて品評会で入賞した製品と、火入れ等の製成工程が香りに及ぼす影響について評価した。

２．実験方法

２．１．供試材料

醤油の糖組成には、全国醤油品評会上位入賞品（濃口醤油）８点および県内の工場が２０１６年度に製造した濃口醤油１０点を供試した。におい識別装置を用いた香り評価には、全国醤油品評会入賞品を含む県内醤油８点および県外醤油６点を供試した。また、火入れ条件が醤油の香りに及ぼす影響の評価には、県内工場から提供された生揚を各温度、時間で火入れ（加熱）後急冷し、供試した。また糖添加試験には、砂糖、ブドウ糖、みりん（本みりんG, MCフードスペシャリティーズ(株)）、砂糖混合ブドウ糖果糖液糖（ニューフラクト R-30, 昭和産業(株)）を用い、これらを添加後、85℃･60 分間の火入れ処理を行なった醤油について同様に供試した。

２．２．醤油の製麹環境の調査

製麹環境の調査は、回転円盤式製麹機、通気平床式製麹機及び蓋麹法で製麹する工場を訪問し、各工場の製麹時の製麹機および麹室内部について、サーモグラフカメラ（i3, FLIR）を用いて表面温度を測定した。

２．３．醤油の糖組成

醤油の糖は、各醤油を２０倍希釈後、0.45μm フィルターでろ過したものを試料とし、リン酸フェニルヒドラジンを用いたポストカラム法(HPLC,（株）日立ハイテクサイエンス）により測定した。分析条件は以下の通り。

分析条件
カラム　：Asahipak NH2P-40 3E 2.3×250mm
溶離液　：(A) $CH_3CN/H_2O/H_3PO_4$ = 90/9.5/0.5
　　　　　(B) $CH_3CN/H_2O/H_3PO_4$ = 75/24.5/0.5
流速　　：0.46mL/min
反応液　：リン酸/酢酸/フェニルヒドラジン
　　　　　= 220mL/180mL/6ml
流速　　：0.18mL/min
検出　　：蛍光検出器（Ex 330 nm, Em 470 nm）
　　　　　カラム温度：40℃

２．４．におい識別装置による醤油の香りの評価

におい識別装置（FF-2A,（株）島津製作所）を用い、全国醤油品評会出品及び県内で２０１６年度に製造された醤油の香りを以下の方法により評価した。

試料の調製は、試料 15μL をサンプルバック（PET 製,（株)島津製作所, 容量 2L）に入れ、袋内を窒素ガスで置換、 密閉後、18℃で 2 時間以上平衡化し行

った。試料の装置への取り込み時間は、18 秒または 60 秒間で、予備測定２回を含む４回の測定を行った。分析結果の解析は、SPSS（SPSS11.0J）による主成分分析により行なった。

３．実験結果及び考察

３．１．醤油工場における製麹環境の調査

回転円盤式製麹機、通気平床式製麹機および蓋麹法で製麹する工場の製麹環境について調査した。図 1 に、回転円盤式製麹機内部の表面温度をサーモグラフカメラで測定した結果を示す。その結果、回転円盤式製麹機では、製麹開始 26 時間後の中心部が 33.7℃、外周部が 32.0℃で、製麹機の部位による温度差は小さかった。

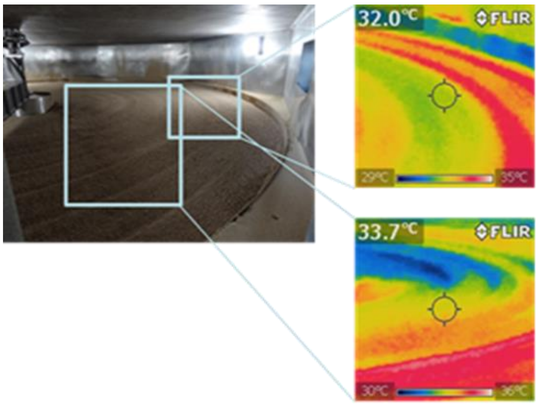


図１　回転円盤式製麹機内部の表面温度

一方、通気平床式製麹機の表面温度を同様に測定したところ、約 40℃で、醤油麹としては高めだった。既報[1]において、県内醤油製造工場で製麹された麹の酵素力価の調査を行なったが、当該工場の麹はグルコアミラーゼ活性が高く、全プロテアーゼ活性はやや低かった。今回の調査結果は、これらを裏付けるものと考えられた。また、部位別に測定したところ、製麹機への送風口付近と、送風口から見て最も奥の付近の温度が 33℃前後と、製麹機中心部に比べ 7℃程度低かった。さらにそれ以外の箇所でも温度分布にばらつきが見られ、最大で約 10℃の差があった。これらの原因として、送風を判断するための温度センサーの位置や、送風方法に課題があると考えられ、今後、改善する余地があると考えられた。さらに、蓋麹法で製麹を行なう工場について同様に調査を行なったところ、麹蓋の積み上がる高さにより、麹の表面温度が異なり、最大で 10℃以上の差があった。すなわち、麹蓋の設置箇所が上段になるほど、麹品温が上昇した。製麹中における品温のばらつきは、出麹時の酵素力価や菌数等の品質のばらつきにつながると考えられ、麹品質の向上には製麹環境の改善（低温箇所の断熱や空調改善等）が必要と考えられる。これらの調査結果を基に、蓋麹法で製麹している工場の環境改善を図ったところ、品温のばらつきが 5℃以下となった。

３．２．醤油の糖組成

表１に、全国醤油品評会上位入賞品８点の糖組成を、また表２に、県内工場製醤油１０点（いずれも濃口醤油）の糖組成を示した。その結果、上位入賞醤油の糖の構成は、グルコースの割合が比較的多かった a（3.66g/100mL）、e（3.74g/100mL）や、スクロースの割合が多かった h（9.20g/100mL）等、各製品様々で、ある一定の法則性は見いだせなかった。

表１　全国醤油品評会上位入賞品の糖組成（g/100mL）

	フルクトース	グルコース	ガラクトース	スクロース	マルトース	5糖の計
a	1.60	1.44	0.36			3.41
b	1.24	3.66	0.40	0.73		6.03
c	0.63	0.34	0.44	1.58		2.98
d	0.51	0.43	0.44			1.38
e	0.97	3.74	0.38	2.90	0.35	8.33
f	1.47	1.25	0.46	1.79		4.96
g	1.07	0.90	0.55	1.14	0.04	3.70
h	0.75	1.01	0.35	9.20	0.53	11.84
平均	1.03	1.59	0.42	2.89	0.30	5.94

表２　県内工場製濃口醤油の糖組成（g/100mL）

	フルクトース	グルコース	ガラクトース	スクロース	マルトース	5糖の計
1		0.35	0.50	0.02		0.87
2		0.38	0.47	0.03		0.87
3	0.98	0.83	0.43	0.96	0.05	3.25
4	0.15	0.97	0.39	0.07		1.58
5		2.42	0.28			2.70
6	1.26	1.20	0.43	1.59		4.48
7	1.22	1.23	0.47	1.59		4.51
8		0.28	0.48			0.76
9		0.49	0.33			0.82
10		0.09	0.36			0.45
平均	0.90	0.82	0.42	0.71	0.05	2.03

一方、県内工場製の醤油は、全国醤油品評会上位入賞品に見受けられたような、特定の糖が特徴的に多く含まれるものは少なく、各糖がバランス良く含まれているものが多かった。また、今回分析した５つの糖の合計値で比較すると、全国醤油品評会上位入賞品の平均値が 5.94g/100mL に対し、県内工場製醤油の平均値は 2.03g/100mL で、全国醤油品評会上位入賞品の方が約３倍多かった。これらの結果から、全国醤油品評会で上位入賞を目指すためには、糖の総量が多い方が有利であることが伺えた。

３．３．におい識別装置による濃口醤油の香りの評価

図２に、全国醤油品評会における農林水産大臣賞受賞品（２点）および県内外醤油工場製（県外５点、県内６点）の濃口醤油について、におい識別装置を用いて香りの評価を行なった結果を示す。主成分分析の結果、農林水産大臣賞品の２点（符号 1、2）は、それ以外の醤油と、香りの強さや質が異なり、他の醤油と区別されることが確認された。なお、第一成分方向（PC1）の差は、においの強度を、第二（PC2）及び第三成分（PC3）は、においの質を反映する[2)]とされるが、本試料においても、同一試料の取り込み時間を 18 秒及び 60 秒間で行なったところ、主に第一成分方向への変位が確認され、においの強度は、主に第一成分方向に反映することが確認された。

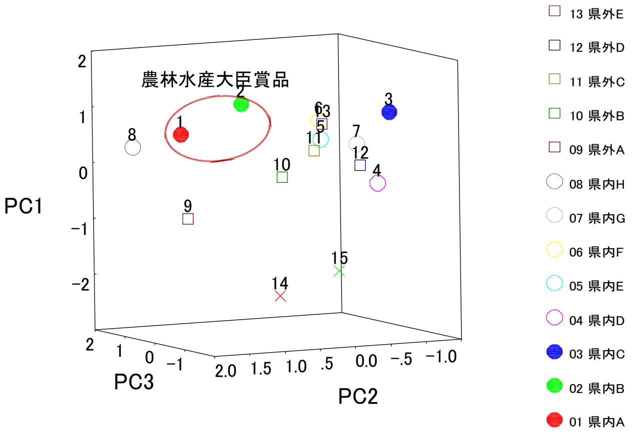


図２　におい識別装置による県内外醤油の香りの評価

図３に、全国醤油品評会における農林水産大臣賞受賞品（２点）および県内工場から提供された生揚を、各温度（80～90℃）、時間（15～120 分間）で火入れした濃口醤油について、におい識別装置を用いて香りの評価を行なった結果を示す。未火入れ品（符号 1）や 80℃・60 分間（符号 2）処理では、農林水産大臣賞受賞品（符号 9、10）から大きく外れたのに対し、85℃・30 分（符号 4）あるいは 60 分間（符号 5）処理したものについては、受賞品に類似していた。

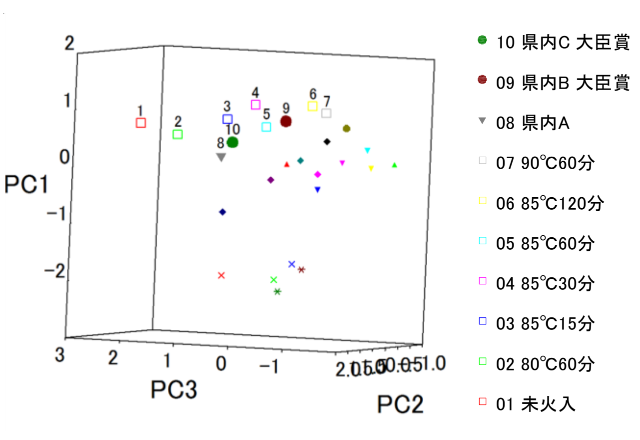


図３　火入れ条件が醤油の香りに及ぼす影響の評価

さらに、結果は示していないが、生揚にいくつかの糖類を添加し、85℃・60 分間処理した醤油について、同様に、におい識別装置にて評価したところ、火入れ条件の違いほど明確な差は無かったが、添加する糖の種類により位置が変化することがわかった。

４．結言

醸造製品の品質向上を目的に、醤油の製造現場における製麹環境を調査するとともに、全国醤油品評会出品醤油および県内工場製の濃口醤油の糖組成を比較した。併せて品評会で入賞した製品の香りと火入れ等の製成工程が、香りに及ぼす影響について評価した。

その結果、製麹中の温度分布は、製麹方法によって異なり、回転円盤式製麹機では、製麹機内部での温度差が小さかったのに対し、通気平床式製麹機および蓋麹法では、測定箇所により最大で 10℃以上の差があった。温度のばらつきは、出麹時の品質のばらつきにつながると考えられ、麹品質の向上には製麹環境の改善（低温箇所の断熱や空調等）が必要と考えられる。これらの調査結果を基に、蓋麹法で製麹している工場の環境改善を図ったところ、温度分布のばらつきの縮小につながった。一方、全国醤油品評会上位入賞品と県内工場製醤油の糖組成を比較したところ、今回分析した糖の総量は、全国醤油品評会上位入賞品の方が県内工場製醤油よりも約３倍多かった。また、におい識別装置にて県内外醤油および全国醤油品評会で上位入賞した製品の香りについて評価したところ、入賞品とそれ以外の醤油では、香りの強さや質が異なることが認められた。

さらに火入れ等の製成工程が香りに及ぼす影響について評価したところ、火入れ温度や時間、添加する糖類の配合の違いにより、風味が変化することが認められた。今後、香り成分については、評価に関与する成分の特定について検討し、官能評価等と比較する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、様々なご協力をいただきました福島県醤油醸造協同組合および県内外の関係者の皆様、また製麹工程の調査にご協力いただきました皆様に感謝申し上げます。

参考文献

１）小野和広，馬淵志奈，高橋亮，菊地伸広．県産醸造製品の品質向上に向けた高品質製造技術の確立．平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告，(2016)，p.62-64.

２）升井洋至，長尾綾子．におい識別装置及び GC/MS による腐敗臭豚腸の簡易判定について．武庫川女子大紀要，60，(2012)，p.35-40.

石英ガラス粉体のゴムフィラーとしての有効活用

Effective utilization of quartz glass powder as a rubber filler

技術開発部 工業材料科　菊地時雄

平成２７年度に実施した技術開発事業において、ゴムの補強材として石英ガラス粉末の可能性を検討した。その結果補強材としての可能性が見えてきたが、いくつかの問題点も明らかになった。今回は、問題点の１つである石英ガラス粉末の洗浄工程について検討し、未洗浄でもゴム物性に大きな影響はないことがわかった。

Key words: シリコーンゴム、石英ガラス切削粉、密度、引き裂き強さ

１．緒言

半導体製造業等で用いられる石英ガラス治具は、ごく一部の製品を除き、使用後は再利用されることなく産業廃棄物として処理されている。また、石英ガラス治具製造過程で排出される研削粉も同様に処理されている。

一方洋上風力発電では、送電線ケーブルを、沿岸部での岩礁との衝突・摩耗から守るため、ゴム製の保護管が用いられており、国産の保護管の開発が急がれている。このゴムの特徴は、波で動きにくい重量（高比重）と摩耗しにくい強靭さを兼ね備えたものとなっている。

そこで、平成２７年度の技術開発事業においてケーブル保護管用ゴムの補強材として、産業廃棄物である石英ガラス粉末の可能性を検討したところ、いくつかの問題点が明らかになったが、補強材としての可能性があることがわかった。

今回は、問題点の１つである石英ガラス粉末の洗浄工程について検討したので報告する。

２．平成２７年度の技術開発事業

２．１．外国製品の分析結果

実際に福島沖の風力発電で用いられている外国製保護管の分析（表１）を行った。

ゴムはウレタン製で、製品比重を上げるため密度4.3g/cm^{3}の硫酸バリウムとシリカ、アルミナなどの他の無機物を混合し、密度3.8 g/cm^{3}のフィラーとして、ウレタンゴム中に 70wt%混練していることがわかった。

２．２．石英ガラス切削粉の評価

石英ガラス粉末は、石英ガラス治具製造工程で排出された研削粉を回収したもの（以下、回収品）を用いた。この回収品は水分 30wt%、有機物 13wt%を含むため、これらを除去するために 600℃で１時間加熱したところ凝集塊となり、粉砕工程が必要となった。

表１　外国製保護管の分析結果

	外国製品
密度[g/cm^3]	2.2
フィラー含有率[%]	70
フィラー密度[g/cm^3]	3.8
検出無機元素	Ba,S,Si,Al

表２　評価結果

	シリコーンゴム＊）	試作品
密度[g/cm^3]	1.1	1.5
石英添加量[wt%]	0	50
硬度（A）	35	53
引き裂き強さ[N/mm]	26	30
＊）東芝ロジステックス社製　TSE-3480 A/D		

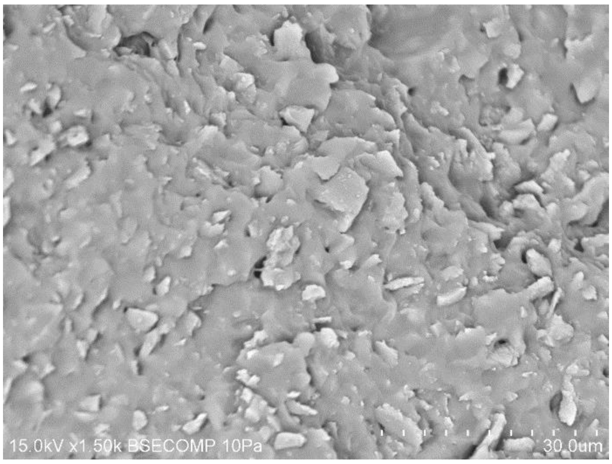


図１　引き裂き試験破断面

凝集塊を粉砕した後、シリコーンゴムに 50wt%添加したサンプルを試作した。摩耗特性と比較的相関関係が高い引き裂き試験で評価（表２）した。なお粉砕品の平均粒径は 4.73μm であった。

密度、硬度は石英ガラス粉末添加により向上したが、引き裂き強さはあまり向上しなかった。

図１は、引き裂き試験後の破断面を SEM 観察したも

のである。石英ガラス粉末はゴム中に埋没しているが、一部エッジが確認できる箇所があり、ゴムとガラス粉末の接着はあまり良くないと考えられる。また、ボイドも数多くみられた。これらの理由により、引き裂き強さが向上しなかったものと考えられる。これは、今後ガラス粉末をシランカップリング剤などによる表面処理と、混合・脱泡方法の改良により、改善できるものと考えられる。

３．実験

３．１．洗浄工程

回収品の、水分と有機物の除去方法について検討した。

回収品を加熱すると、その後に凝集塊を粉砕する工程が必要になり、その費用は0.5～2千円/kgと高価になってしまうため、安価な廃棄物を利用するという目的において、実用的では無い。そこで、回収品の洗浄・ろ過工程による有機物除去を検討した。

容器に回収品を50g投入し、溶媒を100ml注ぎ、１～２分間攪拌し、30～60分静置した後、上澄み液を捨てる操作（デカンテーション）を行った。ここにまた溶媒を注ぎ同様の操作を合計３回繰り返し、沈殿物をろ過、乾燥後試料（以下、洗浄品）を得た。

３．２．引き裂き強さ試験

石英ガラス切削粉に付着している有機物が、ゴム物性に与える影響を調べるために、洗浄品と未洗浄の石英ガラス粉末を混練した石英ガラス粉強化シリコーンゴムを試作し、引き裂き強さを比較した。

液状シリコーンゴムは、東芝ロジスティック社製のTSE-3480 A/D（２液混合型）を用いた。

評価サンプルは、主剤A：20gに対して硬化剤D：2gの割合で混合し、ここに22gの未洗浄石英ガラス粉末を投入し、混合した。減圧脱泡した後、簡易型に流し込み、45℃のオーブンで６時間加熱硬化し厚さ約2mmの試料を作成した。石英ガラス粉末は、３．１．で調整した洗浄品と回収品をそのまま乾燥した未洗浄品を使用した。

この試料からJIS K6252のトラウザ型試験片を作成し、引き裂き試験を行った。

４．結果および考察

洗浄工程では、デカンテーション後の残さのろ過において、粒子が微細（平均粒径4.73μm）であるため吸引ろ過が行えず、自然ろ過をしたが時間がかかり、回収品1kgを処理するのに２日ほど必要となった。

この工程では、ろ過というよりも表面からの蒸発・揮散が多く、作業環境もあまり良くないため、実用的な方法では無いと考えた。

ろ過速度への溶媒の影響を確認するために、蒸留水、エタノール及びイソプロピルアルコールの３種類について試験したが、結果は全く同様で、溶媒による違いはなかった。

図２は未洗浄品フィラーの乾燥後のSEM画像（S-3700N 日立）である。手触り感は、洗浄品と比較して若干粉体がしっとりしている感じであった。

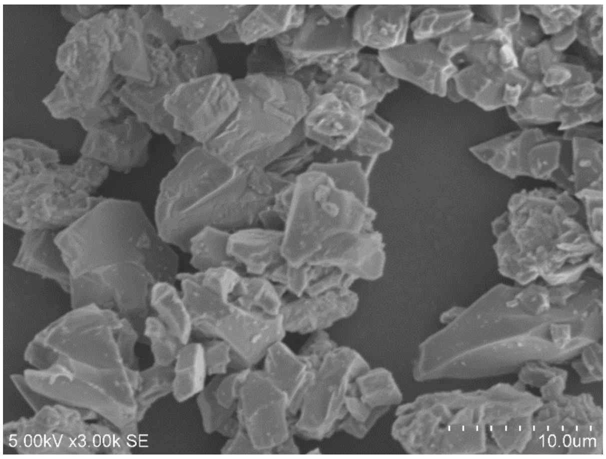


図２　未洗浄品フィラーSEM像

表３　比較結果

	ゴム	洗浄品	未洗浄品
密度[g/cm^3]	1.1	1.5	1.5
石英添加量[wt%]	0	50	50
硬度(A)	35	53	50
引き裂き強さ[N/mm]	26	30	30

表３が洗浄の有無によるシリコーンゴムの物性の比較結果である。硬度にわずかな差がみられるのは、計測器の探針が接触する箇所の、フィラーの局所的な濃度の差に由来するものと考えられ、このことはフィラー含有の材料（複合材料）ではよく観察される現象である。

洗浄品と未洗浄品では引き裂き強さに差はなく、石英ガラス切削粉に付着している有機物が、ゴム物性に与える影響はほとんどないものと考えられる。この理由には次の２つが挙げられる。

１つは、付着した有機物がシリコーンゴムの架橋反応を大きく阻害しなかったことが考えられる。もう１つには以下の理由が挙げられる。高分子化合物は長い鎖状分子部分（占有体積部）と、これらが互いに弱いvan der Waals力で結ばれている部分（自由体積部）から構成[1)]されている。ゴムはこの自由体積部が大きくまた分子間の隙間も大きい[1)]ために、多少の低分子有機物がここに侵入しても、ゴム全体としての物性値は大きく変化しないものと考えられる。また一般にゴ

ムには、硬度調整[2)]、金型からの離型[2)]や添加材の分散促進[2)]等のために“油分”を添加することがあり、少量の有機物であればゴム物性に大きな影響は与えないものと考えられる。

また、石英ガラス粉末の添加だけでは引き裂き強さはあまり向上しなかったので、フィラーの表面処理などが今後必要になってくるものと考えられる。

５．結言

送電線ケーブルの保護管ゴムの補強材として、産業廃棄物である石英ガラス粉末の可能性を平成２７年度の技術開発事業で検討したところ、石英ガラス切削粉に付着している水分、有機物を除去するため、加熱すると凝集する問題があることがわかった。そこで今回は、洗浄工程を取り入れることについて検討し、以下の結論を得た。

洗浄工程では、ろ過に時間がかかり過ぎることと、作業環境が悪化してしまい、実用的ではなかった。

石英ガラス切削粉に付着している有機物を洗浄工程により除去せずにシリコーンゴムのフィラーとして用いても、大きな物性低下は確認できなかった。この理由として、架橋反応を大きく阻害しなかったこととゴム特有の構造に起因するものと考えられる。

追記

石英ガラス粉末は、江信特殊硝子（株）様よりご提供いただきました。

参考文献

１）深堀美英. “高分子鎖の弾性”. 高分子の力学. 技報堂出版, 2000, p.9-10.
２）秋葉光雄. “ゴムの配合と加工”. ゴム･エラストマー材料の基礎と活用技術. 日刊工業新聞社, 2007, p.28, p.77.

地域在来作物の栄養・機能性を活かした加工技術の開発

Development of the food processing technique making use of nutrition
and functional ingredients of regional traditional vegetables

会津若松技術支援センター 醸造・食品科　遠藤敦史　島宗知行
農業総合センター 生産環境部 流通加工科　長澤 梓　関澤春仁

本県の地域在来作物が持つ特徴を活かした加工食品の開発に資するため、会津地方の在来作物について栄養・機能性を調査し、一般の作物と比較した。その結果、在来作物は一般の作物に比べて、抗酸化能を示す H-ORAC 値が概ね同等かやや高かった。その内、アザミゴボウでは一般のゴボウに比べて総ポリフェノールが多いことが、H-ORAC 値の高さに影響していると考えられた。

Key words: 地域在来作物、栄養・機能性、抗酸化能、ORAC

１．緒言

県内の食品企業や６次産業化にとりくむ農産加工業者は、本県独自の素材を用いた特色ある加工食品づくりを指向している。一方、健康に対する関心が高まりつつある中で、消費者は食品に対して「栄養性」、「嗜好性（おいしさ）」だけでなく、「生体調節機能（機能性）」を求めるようになっている。

加工食品の素材となる農産物に着目すると、近年、地域で古くから伝統的に栽培されてきた地域在来作物、いわゆるご当地野菜などを掘り起こし、後世に残すとともに地域振興につなげようとする動きが見られるようになっている[1)]。これらの地域在来作物には栄養・機能性の面で特徴を持つものも存在する[1)]ため、本県の地域在来作物における栄養・機能性についての検討とそれらの成分を活かした加工食品の開発が必要と考えられる。

そこで、本県の地域在来作物の特徴を活かした加工食品の開発に資するため、会津地方の在来作物について栄養・機能性を調査し、一般の作物との比較を行った。

２．実験方法

２．１．供試材料

供試材料は会津地方で栽培された在来作物（赤筋ニンニク、慶徳タマネギ、余蒔キュウリ、会津丸ナス、小菊カボチャ、アザミゴボウ、赤筋ダイコン、会津サトイモ、会津地ネギ、宇津野カブ）とした。また、会津サトイモ、会津地ネギ、宇津野カブを除いて一般に販売されている７品種（品種名不明　以下、一般作物と称する）を対照とした。

なお、ゴボウについては土壌条件による栄養・機能性成分への影響を確認するため、畑を基準とし、隣接した水田転換畑（以下、転換畑と称する）で栽培された試料も供試した。

２．２．方法

供試した作物は可食部を厚さ 5mm 程度に切り、真空凍結乾燥した後、ワンダーブレンダーで微粉砕して測定用試料とした。分析値はいずれも 100g 新鮮重当たりで示した。

作物が持つ抗酸化能は ORAC 法の内、H-ORAC 値を渡辺ら[2)]の方法に従い吸光・蛍光・発光検出マイクロプレートリーダー（Infinite F200 PRO（TECAN 社製））を用いて測定し Trolox 相当量として示した。

なお、ORAC 法は、作物中の親水性抗酸化物質に由来する抗酸化能の指標である H-ORAC と親油性抗酸化物質に由来する抗酸化能の指標である L-ORAC からなるが、野菜類の ORAC 値における親水性抗酸化物質の寄与率が親油性抗酸化物質より高いと報告されている[3)]。そのため、本試験では H-ORAC 値のみ測定することとし、抽出は MWA 液（メタノール：水：酢酸（90：9.5：0.5））により行った。

また、ゴボウについては、試料を 90％メタノールで抽出後、Folin-Ciocalteu 法により総ポリフェノールを測定し、カテキン相当量として表示した。

３．結果と考察

３．１．地域在来作物の抗酸化能

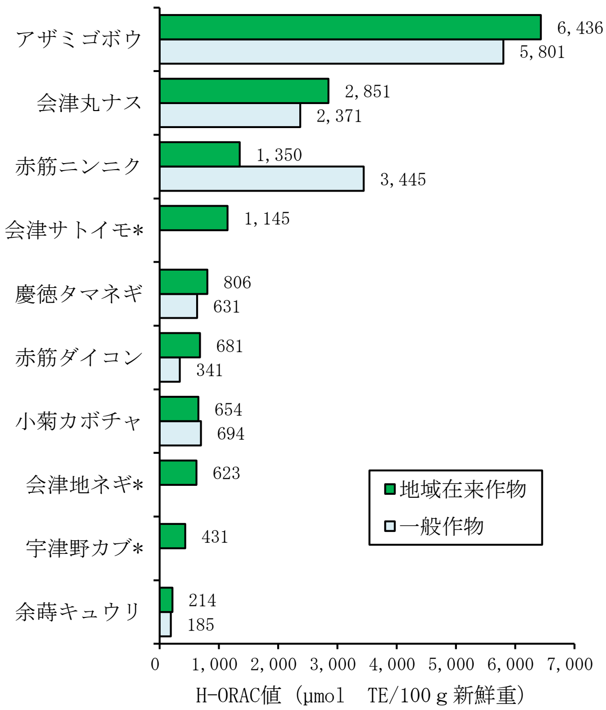
地域在来作物と一般作物の抗酸化能（H-ORAC 値）を図１に示す。供試した作物を全体的に見ると、ゴボウが最も高い値を示し、以下、ナス＞ニンニク＞サトイモ＞タマネギ＞ダイコン＞カボチャ＞ネギ＞カブ＞キュウリという結果であった。また、その中でタマネギ、ダイコン、カボチャ、ネギは同程度であった。

以下、H-ORAC 値について品目ごとに示す。

１）アザミゴボウ

アザミゴボウは会津坂下町の立川地区が主な産地である。アザミゴボウの葉は、鋸葉が一般ゴボウに比べて著しく発達しているのが特徴である（図２）。根の形状は一般ゴボウと明確な差は見られないが、表皮の色は一般ゴボウに比べて茶褐色がやや濃かった(図３)。

アザミゴボウのH－ORAC値は、平成28年産の畑栽培では6,436（μmol TE/100g新鮮重）で一般ゴボウの1.1倍（図１、図４）であった。その他、転換畑では5,771（μmol TE/100g新鮮重）で1.2倍であった。同様に、平成27年産の畑栽培では1.3倍、転換畑栽培では2.0倍であった（図４）。栽培条件や年次変動が見られるものの、一般ゴボウよりもアザミゴボウの抗酸化能が高いと考えられた。



＊　一般作物の比較なし

図１地域在来作物と一般作物のH-ORAC値

図２　アザミゴボウおよび一般ゴボウの葉

左：アザミゴボウ、右：一般ゴボウ

図３　アザミゴボウおよび一般ゴボウの根

左：外観　左から一般ゴボウ（畑）、アザミゴボウ（畑）、
一般ゴボウ（転換畑）、アザミゴボウ（転換畑）
右：切断面　左から一般ゴボウ（転換畑）、アザミゴボウ（転換畑）

２）会津丸ナス

会津丸ナスは、会津地方で生産される直径10cm程度の丸形のナスである。

H-ORAC値は2,851（μmol TE/100g新鮮重）で、一般のナスと比較して1.2倍であった。

３）赤筋ニンニク

赤筋ニンニクは、会津美里町福光地区が主な生産地で、表皮に赤い筋が現れるのが特徴である。

H-ORACは1,350(μmol TE/100g新鮮重)であったが、一般のニンニクの方が2.5倍ほど高かった。

４）会津サトイモ（一般作物の比較なし）

会津若松市を中心に栽培されてきたサトイモである。

H-ORAC値は1,145（μmol TE/100g新鮮重）で、赤筋ニンニクと同程度であった。

５）慶徳タマネギ

喜多方市の慶徳地区が発祥とされ、現在では会津盆地で広く生産されている。

H-ORAC値は806（μmol TE/100g新鮮重）で、一般のタマネギと比較して1.3倍であった。

６）赤筋ダイコン

会津地方で広く生産されているダイコンで、表皮に赤い筋が横方向に入るのが特徴である。

H-ORAC値は681（μmol TE/100g新鮮重）で、一般のダイコンと比較して2.0倍であった。

７）小菊カボチャ

主に会津若松市で栽培されてきた和カボチャで、皮の凹凸が大きく、上から見ると菊の花のように見える。

H-ORAC値は654（μmol TE/100g新鮮重）で、一般のカボチャと同程度であった。

８）会津地ネギ（一般作物の比較なし）

会津地域一円で栽培されている地ネギで、太く、冬期間の長期貯蔵でも品質が低下しにくいとされる。

H-ORAC値は623（μmol TE/100g新鮮重）で赤筋ダイコンや小菊カボチャと同程度であった。

９）宇津野カブ（一般作物の比較なし）

喜多方市熱塩加納町宇津野地区発祥のカブで細長く大根のような形状が特徴である。

H-ORAC値は431（μmol TE/100g新鮮重）で会津地ネギよりやや低かった。

10）余蒔キュウリ

主に会津若松市で栽培されているキュウリで、果皮色の緑色が淡く、柔らかい食感を持っている。

H-ORAC値は214（μmol TE/100g新鮮重）で、一般のキュウリとの比較では1.2倍程度であった。

３．２．アザミゴボウの抗酸化成分

本研究で最も抗酸化能（H-ORAC値）が高かったアザミゴボウについて、ゴボウの抗酸化能に寄与する親水性抗酸化物質と考えられているポリフェノール[1)]を測定した結果を図５に示す。

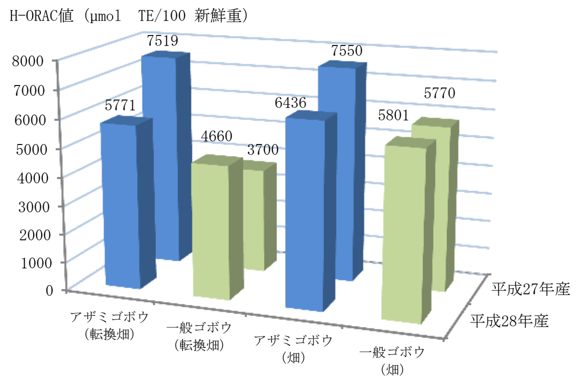


図４　アザミゴボウの栽培条件による抗酸化能

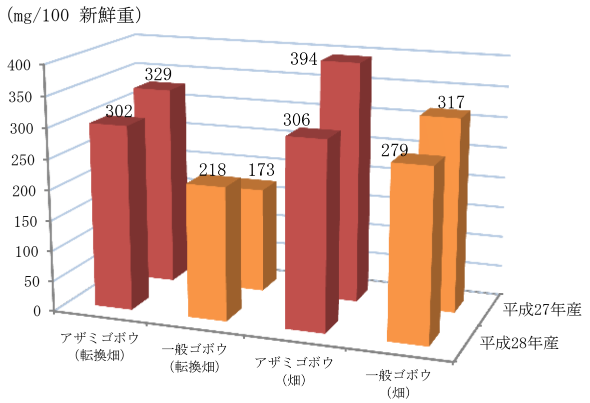


図５　アザミゴボウの栽培条件による総ポリフェノール量

その結果、転換畑、畑ともにアザミゴボウの総ポリフェノール量が多く、H-ORAC 値とほぼ同様の傾向を示した。このことから、本研究においてもポリフェノールがゴボウの抗酸化能に寄与していると考えられた。

ゴボウに含まれるポリフェノールとして茶褐色を呈するクロロゲン酸が知られている[4]根の切断面の色を比較すると、柔組織の色はアザミゴボウと一般のゴボウとで違いは見られないが、皮層ではアザミゴボウの色の方が濃かった。これらのことから、ポリフェノールは着色の濃い皮層に多く蓄積されており、蓄積量の多いアザミゴボウの H-ORAC 値が高かったものと考えられた。

なお、ゴボウ栽培ほ場における土壌の性質を調べた結果を表１、２に示す。畑の方が交換性塩基と塩基飽和度が高く、土壌中の肥料分が多い傾向は見られたが、概ねゴボウの栽培には適した土壌[5]であったと考えられた。また、ゴボウの成分含量との関連は明らかではなかった。

表１　土壌の pH、EC、CEC 及び塩基飽和度

	pH	EC (µS/cm)	CEC (meq/乾土 100g)	塩基飽和度 (%)
アザミ（転換畑）	5.5	55	12.8	65
一　般（転換畑）	4.8	115	11.8	43
アザミ（畑）	5.7	87	18.1	73
一　般（畑）	6.6	90	19.2	84

表２　土壌の交換性塩基含量

	交換性塩基（mg/乾土 100g）		
	CaO	MgO	K_2O
アザミ（転換畑）	169	24	54
一般（転換畑）	93	12	52
アザミ（畑）	289	33	61
一般（畑）	309	50	128

４．結言

本県の地域在来作物が持つ特徴を活かした加工食品の開発に資するため、10 種の作物について抗酸化能を測定し、７種については一般作物と比較した。

その結果、抗酸化能（H-ORAC 値）は供試品目の中ではゴボウが最も高かった。一般作物との比較では、アザミゴボウと一般ゴボウの差が大きいケースで 2.0 倍、小さいケースで 1.1 倍であった。また、赤筋ダイコンが 2.0 倍、会津丸ナス、慶徳タマネギ、余蒔キュウリが 1.2～1.3 倍であった。

アザミゴボウでは総ポリフェノール量が H-ORAC 値と同様の傾向を示しており、ポリフェノールが抗酸化能に寄与していると考えられた。

今後は、供試品目のポリフェノールやビタミン C などの機能性成分及び糖、アミノ酸を測定し、栄養的な特徴をさらに調査するとともに、特徴ある品目について一次加工品を試作する。

参考文献

１）山口智子，原初枝，西本登志，的場輝佳,高村仁知. 大和野菜の一般成分および抗酸化能の評価. 日本調理科学会誌. 2012, vol.45, p.197-203.
２）渡辺純，沖智之，竹林純，山崎光司,津志田藤二郎. 抗酸化能測定法である H-ORAC 法の室間共同試験. 日本食品科学工学会誌. 2010, vol.57, no.12, p.525-531.
３）菊崎泰枝.“食品の抗酸化能統一指標を用いた野菜の抗酸化能の評価と食事管理への活用に関する研究”. 科学研究費助成事業データベース. https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-23300270/,（参照 2016-04-04).
４）王蓉，綾野秀志，古本敏夫，近藤昭，福井宏至. ゴボウ中のクロロゲン酸関連成分含量の品種間差異. 日本食品科学工学会誌，2001, vol.48, no.11,p.857-862.
５）青森県「攻めの農林水業」推進本部.“各作物の土づくり”. 「健康な土づくり」技術マニュアル, 2008, p.112-115.

食品企業の利用を前提とした雪下野菜の特性評価
－味覚センサーを用いた味の評価－
Characterization of vegetables in under snow storage on the premise of using food companies
- Evaluation of taste using taste senser system -

会津若松技術支援センター　醸造・食品科　　島宗知行　遠藤敦史
農業総合センター　生産環境部　流通加工科　関澤春仁
農業総合センター　会津地域研究所　　　　　星佳織

雪下キャベツの味を食味官能評価、糖度（Brix%）、味の強度を数値化できる「味覚センサー」により評価した。その結果、雪下キャベツは「苦味」や「渋味」が少ないため、「甘み」が強く感じられている可能性があることが予想された。しかし、キャベツの品種や栽培条件によっては異なる傾向もみられたため、さらに検討が必要である。

Key words: 雪下野菜、キャベツ、味覚センサー

１．緒言

北海道、北陸地方及び東北地方の積雪量が多い地域では、冬期間の雪を利用して雪下野菜が生産されている。雪下野菜は生産方法によって、雪下栽培と雪むろ貯蔵の２種類に大きく分類できる。

雪下栽培は、野菜を積雪直前に収穫期となるように栽培し、収穫期以降も収穫せず、そのまま雪の中に埋没させておき､出荷の際は雪の中から掘り出す。

雪むろ貯蔵は、雪下栽培と同様に野菜を栽培するが、積雪直前に収穫し、収穫した野菜は雪むろで貯蔵する。

積雪内の気象環境については、村松[1]により積雪深が 20～40cm に達すると温度はほぼ 0℃、湿度がほぼ 100%になること、光の透過率は積雪深が 40～50cm に達すると 0%になることが報告されている。

こうした条件下で生産された雪下野菜は、慣行栽培の野菜に比べて｢雑味や青臭さが少なく甘みが強い｣と言われており､付加価値を付けて生鮮野菜として販売されるだけでなく、ジュースやロールキャベツなどの加工食品の材料や観光資源としても活用されている。

しかし、野菜を雪の中に埋没させることが、野菜の味に及ぼす影響については研究事例が少ない。これまでに、雪むろ貯蔵によって野菜の糖度や生体重が増加するなどの現象[1]が認められているものの、情報は断片的であり、雪下野菜の味の客観的評価や味が向上する要因の解明はなされていない。

そこで、本研究では雪下野菜の味の客観的評価を行うとともに、味が向上する要因を明らかにするため、雪下栽培及び雪むろ貯蔵されたキャベツ（以下、雪下キャベツと称する。）の食味官能評価､糖度(Brix%）の測定、味の強度を数値化できる味覚センサーによる測定を行った。

なお、本年は雪下キャベツの味の傾向を把握することを目的として、猪苗代町の現地圃場にて生産された雪下キャベツをサンプルとして調査した。

２．試験方法

２．１．供試材料

２．１．１．食味官能評価、糖度、味覚センサーの測定による評価

試験には、猪苗代町の農家より提供を受けた雪下栽培した「品種Ａ（サンプリング日：2017 年２月８日）」と雪むろ貯蔵した「品種Ｂ（サンプリング日：2017 年２月 14 日）」と、各々のサンプリングと同一日に購入した「Ｔ県産キャベツ」を用いた（表１）。

なお、食味官能評価と味覚センサーによる測定の対照は、サンプリングと同一日に購入した「Ｔ県産キャベツ」とした。

表１　供試品種

	生産方法	生産地	サンプリング日
品種Ａ	雪下栽培[1)]	猪苗代町	2016 年 11/29, 12/20　2017 年 1/10, 1/25, 2/8, 2/22
品種Ｂ	雪むろ貯蔵[2)]	猪苗代町	2016 年 11/29, 12/20　2017 年 1/10, 1/31, 2/14, 2/28

注１）収穫期をむかえても収穫せず、雪の中に埋没させておく。サンプリング時に雪の下から掘り出す。
２）12 月下旬に収穫後、プラスチック製コンテナに収納し、50cm 程度の深さの雪の中に埋没させておく。
３）現地圃場では 2016 年 12 月４半旬より積雪し始めた。積雪深は 2017 年１月 12 日以降に 45cm 以上となった。これ以降、積雪内では温度 0℃、湿度 100%、光の透過率は 0%になったと予想される[1)]。

２．１．２．雪下栽培、雪むろ貯蔵期間における糖度、味覚センサーによる「苦味」と「渋味」の測定値の推移

試料は「品種Ａ」、「品種Ｂ」とも 2016 年 11 月 29 日から約２～４週間間隔でサンプリングしたものを用いた。

また、味覚センサーによる測定は、サンプリング開始日である 2016 年 11 月 29 日のものを基準(0)として、その後の経時変化を測定した。

２．２．分析方法

２．２．１．食味官能評価

食味官能評価では、千切りにしたキャベツの官能値を判定した。評価項目は、「甘み」、「えぐみ」、「辛味」、「香り」、「硬さ」、「総合評価」とし、対照に対して±3 の評価をつけ、パネラーの平均値を求めた。また、対照はサンプリングと同一日に購入した「Ｔ県産キャベツ」とした。

なお、食味官能評価は農業総合センター会津地域研究所の職員１８～２０名をパネラーとして実施した。

２．２．２．糖度の測定

キャベツは、地上部を外葉と結球部に分割したのち、結球部表層の葉を２～３枚取り除いた。次に、1cm 四方に裁断して均一に混ぜたのち、フードプロセッサーで粉砕し、脱脂綿で絞り、得られた汁液を糖度計（ATAGO 製　PR-201）で測定した。

２．２．３．味覚センサーによる測定

２．２．２．で得られた粉砕試料に重量で３倍量の蒸留水を加え１分間撹拌した後、遠心分離（3000rpm 10min）して得られた上澄みを測定試料とした。測定試料は、(株)インテリジェントセンサーテクノロジー社製の味認識装置（TS-5000Z）を用いて食品評価用の味覚センサーにより、「旨味（先味・後味）」、「塩味（先味）」、「酸味（先味）」、「苦味（先味・後味）」、「渋味（先味・後味）」について測定した。

なお、「先味」とは、食品を口に含んですぐに感じる味のことであり、「後味」とは、食品を飲み込んでからも舌に残る味のことを表す。

３．実験結果および考察

３．１．食味官能評価、糖度、味覚センサーの測定による評価

雪下栽培した「品種Ａ」の食味官能評価では、「Ｔ県産キャベツ（2/8 購入）」に比べて「えぐみ」と「辛味」がやや弱く、「甘み」が強いと評価された（表２）。しかし、糖度はほとんど差がなかった（表３）。また、味覚センサーによる測定では、「苦味（先味）」、「渋味（先味）」が弱く、「旨味（先味）」が強いと評価された（図１）。

表２　食味官能評価結果（品種Ａ）

総合評価	1.05	**	やや良い
甘み	1.55	**	強い
えぐみ	-0.80	**	やや弱い
辛味	-0.70	**	やや弱い
香り	-0.05	n.s.	同じ
硬さ	-0.80	**	やや柔らかい

１）農業総合センター会津地域研究所で実施した調査結果。

２）対照（Ｔ県産キャベツ、20017 年２月８日購入）、比較（品種Ａ（雪下栽培）、20017 年２月８日サンプリング）

３）対照（Ｔ県産キャベツ）に比べて、総合評価については+3（対照より非常に良い）から-3（対照より非常に悪い）、甘み、えぐみ、辛味、香りについては+3（対照より非常に強い）から-3（対照より非常に弱い）、硬さについては+3（対照より非常に硬い）から-3（対照より非常に柔らかい）の範囲で評価。評価値はパネラー数（n=20）による平均値。

４）**：99%信頼区間で有意差有り　n.s.：有意差なし

表３　キャベツの糖度（品種Ａ、Brix%）

	Brix%
品種Ａ（雪下栽培）[1]	7.7
Ｔ県産キャベツ（2/8 購入）[2]	8.1

注１）サンプリング日：2017 年２月８日

２）小売店で購入。品種名不明。購入日：2017 年２月８日

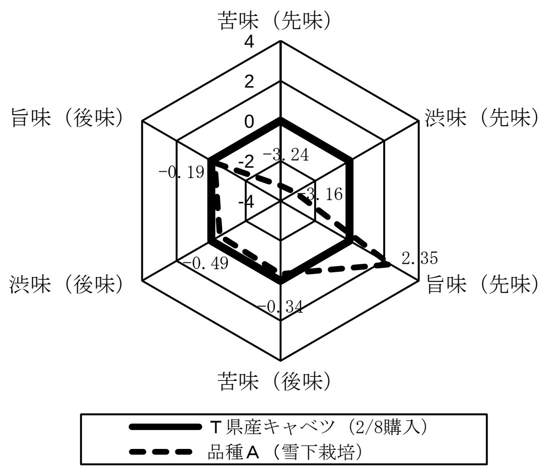


図１　キャベツの味覚センサー測定値（品種Ａ）

注１）Ｔ県産キャベツ（2/8 購入）の味を基準（0）とし、品種Ａ（雪下栽培）の味の強さを数値化した。値が1目盛異なると、一般の人には味の違いが判別できる。

２）Ｔ県産キャベツ：小売店で購入。品種名不明。2017年2月8日購入。品種Ａ（雪下栽培）：2017年2月8日サンプリング。

表４　食味官能評価結果（品種Ｂ）

総合評価	0.11	n.s.	同じ
甘み	0.39	n.s.	同じ
えぐみ	0.06	n.s.	同じ
辛味	-0.28	n.s.	同じ
香り	-0.28	n.s.	同じ
硬さ	0.22	n.s.	同じ

１）農業総合センター会津地域研究所で実施した調査結果。
２）対照（Ｔ県産キャベツ、20017 年２月 14 日購入）、比較（品種Ｂ（雪むろ貯蔵）、20017 年２月 14 日サンプリング）
３）対照（Ｔ県産キャベツ）に比べて、総合評価については+3（対照より非常に良い）から-3（対照より非常に悪い）、甘み、えぐみ、辛味、香りについては+3（対照より非常に強い）から-3（対照より非常に弱い）、硬さについては+3（対照より非常に硬い）から-3（対照より非常に柔らかい）の範囲で評価。評価値はパネラー数（n=18）による平均値。
４）n.s.：有意差なし

一方、雪むろ貯蔵した「品種Ｂ」の食味官能評価は、「Ｔ県産キャベツ（2/14 購入）」と差がないと評価された（表４）。しかし、糖度は「品種Ｂ」の方が「Ｔ県産キャベツ（2/14 購入）」よりも１程度高かった（表５）。味覚センサーによる測定結果では、「苦味（先味）」、「渋味（先味）」及び「旨味（先味）」が強いと評価された（図２）。

表５　キャベツの糖度（品種Ｂ、Brix%）

	Brix%
品種Ｂ（雪むろ貯蔵）[1)]	9.8
Ｔ県産キャベツ（2/14 購入）[2)]	8.5

注 １）サンプリング日：2017 年２月 14 日
　２）小売店で購入。品種名不明。購入日：2017 年２月 14 日

以上のように、糖度が対照と差がなかったにも関わらず、食味官能評価で「甘み」が強いと評価された「品種Ａ」は、味覚センサーによる測定で「苦味（先味）」と「渋味（先味）」が弱いと評価された。

一方、食味官能評価で「甘み」に差がないと評価された「品種Ｂ」は、糖度が対照よりも１程度高く、味覚センサーの測定で「苦味（先味）」と「渋味（先味）」が強いと評価された。ダイコンでは、「苦味」や「渋味」、「辛味」が少ないものは食味官能評価で、「甘み」や「旨味」が強く、総合評価が高い結果が得られたことが報告されており[2)]、雪下キャベツの「甘み」についても、「苦味」と「渋味」の強さが影響していることが予想された。

３．２．雪下栽培、雪むろ貯蔵期間における糖度、味覚センサーによる「苦味」と「渋味」の測定値の推移

３．２．１．糖度の推移

糖度は、調査開始時点において「品種Ａ」が 9.1、「品種Ｂ」で 9.8 であった（図３）。その後、「品種Ａ」の糖度は徐々に低下し、１月２５日には 7.9 となり、以降ほぼ一定で推移した。一方、「品種Ｂ」の糖度は若干の変動がみられるものの、調査期間を通してほぼ一定で推移した。

キャベツは低温期に生育するため、凍結による生育障害を防ぐ必要があり、秋から冬にかけて耐凍性を高めるが、それには糖質の蓄積が関与していることが指摘されている[3)]。また、糖度の上昇と日最低気温 5℃以下の遭遇日数には高い相関がみられることが確認されている[4)]。本研究で供試した雪下キャベツの生産地である猪苗代町において日最低気温が 5℃を下回ったのは、１０月下旬以降であった（気象庁気象データより）。このことから調査を開始した１１月２９日の時点では、糖度はすでに上昇していたと予想された。

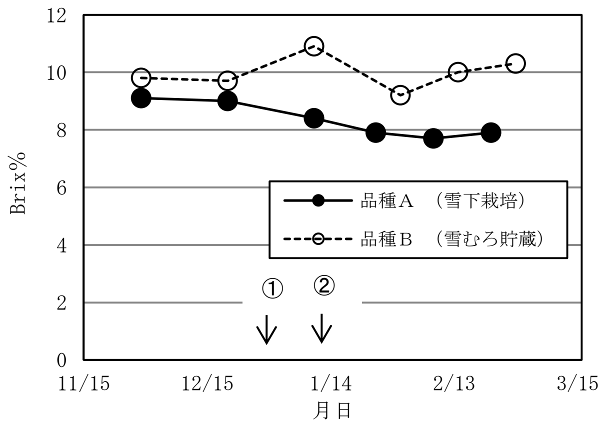


図３　糖度（Brix%）の推移（2016～2017年）

注１）①：品種Ｂ雪むろ貯蔵開始時期（2016年12月下旬）
　２）②：積雪深45cm以上(2017年1月12日～)

３．２．２　味覚センサーによる「苦味」と「渋味」の測定値の推移

味覚センサーによる「苦味（先味・後味）」、「渋味（先味・後味）」の測定結果の推移をみると、「品種Ａ」では、１月中旬以降に「苦味（先味）」、「渋味（先味）」が強くなった（図４）。しかし、「苦味（後味）」、「渋味（後味）」はほぼ一定で推移した。

一方、「品種Ｂ」では、「苦味（先味・後味）」、「渋味（先味・後味）」のいずれも低下し、特に「苦味（先味）」、「渋味（先味）」は著しく低下した（図５）。

味覚センサーで測定した「苦味」と「渋味」を呈する成分としてポリフェノール類やタンニン類等が予想されるが、これらの含有量や変動については、キャベツの品種や栽培条件、気象条件等が影響していることも考えられるため、今後も検討を進める必要がある。

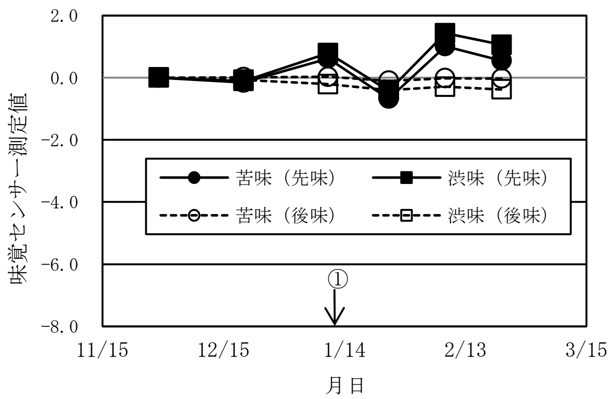


図４　味覚センサー測定値の推移（品種Ａ（雪下栽培））

注１）サンプリング開始日（2016年11月29日）の味を基準(0)とし、味の強さを数値化している。値が1目盛異なると、一般の人には味の違いが判別できる。
２）①：積雪深45cm以上（2017年1月12日～）

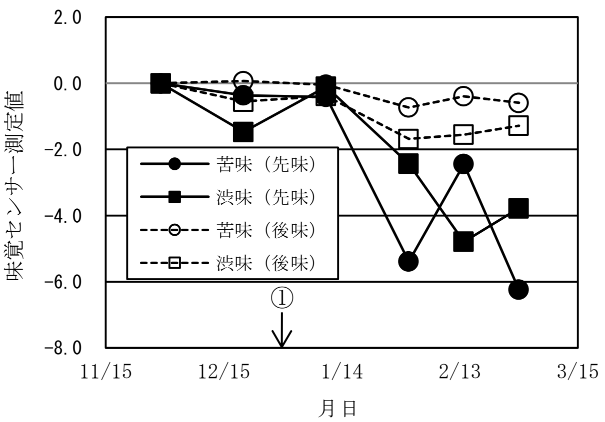


図５ 味覚センサー測定値の推移（品種Ｂ（雪むろ貯蔵））

注１）サンプリング開始日（2016年11月29日）の味を基準(0)とし、味の強さを数値化している。値が1目盛異なると、一般の人には味の違いが判別できる。
２）①：雪むろ貯蔵開始時期（2016年12月下旬）

４．結言

雪下キャベツの味を食味官能評価、糖度(Brix%)、味の強度を数値化できる味覚センサーにより評価した結果、雪下キャベツは品種によって傾向は異なるが、「苦味」、「渋味」が少ないため、「甘み」が強く感じられている可能性があることが予想された。また、雪下キャベツでは雪に埋没している期間中に糖度は上昇しなかったが、味覚センサーの測定において、いわゆる雑味に相当すると考えられる「苦味」や「渋味」は品種によっては低下することが認められた。

参考文献

１）村松謙生．野菜の雪中貯蔵に関する研究．日本雪氷学会誌，1986，vol.48，p.149-157.

２）藤原宏子，鷲尾建紀，岸本直樹，田村尚之．“「蒜山こだわり大根」の味と食感の特徴”．岡山県農林水産総合センター農業研究所 平成２６年度試験研究主要成果，2014，p.41-42.

３）佐々木英和．キャベツの耐凍性獲得および消失に関する研究．野菜茶業研究所研究報告．2003，vol.2，p.213-244.

４）亀田修二，岡崎司馬．“中山間地降霜期結球キャベツの作型と品質評価”．鳥取県農林水産部試験場統括本部 新しい技術第５２集(平成２６年度)．http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/954230/18.pdf,(2016-04-04)

超小型高性能面実装サージアブソーバーの商品化に伴う試作開発と量産設備試作開発

Developments of small high performance surface mount surge absorber and prototype development of mass production equipment

技術開発部 生産・加工科　三瓶義之　尾形直秀　鈴木健司　本田和夫
委託企業　株式会社コンド電機

金属缶形状により表面実装を可能にした放電管型サージアブソーバーの製造工程についてガス封着手法の検討を行った。その結果、工程所要時間が短いというメリットを持つ接着剤を用いた封着手法において、接着剤由来の成分が性能に影響を及ぼさないことを確認した。
また、放電開始電圧の制御のため、電極形状、電極表面材質の形状の検討を行った。その結果、放電開始電圧には電極間の間隔が大きく影響し、電極形状、表面材質の影響は小さいことが確認できた。

Key words: サージアブソーバー、表面実装型、放電

1．緒言

株式会社コンド電機は平成２６年度から２８年度にかけてサポイン事業「超小型高性能面実装サージアブソーバーの商品化に伴う試作開発と量産設備試作開発」に取り組み、金属缶形状により表面実装を可能にした放電管型サージアブソーバーを開発した。

本研究では､株式会社コンド電機からの委託により、その製造工程で用いられる銅製の外装と内部電極およびアルミナ製の絶縁基板の間のガス封着手法の検討を行った。また、放電開始電圧の制御手法として電極形状、表面材質の影響について検討を行った。

平成２６年度は封着手法として鉛フリーはんだによる封着の検討とその評価のためのリークテスト装置の製作を行った。

平成２７年度は接着剤による封着手法を検討し、加熱してのリークテスト、および放電試験後のサージアブソーバーの内部の SEM 観察を行った。

平成２８年度は設計支援のためのシミュレーションツールの応用、また放電開始電圧の低下を目的として電極の形状､および表面コーティングの検討を行った。

これらの内容について報告する。

2．実験

2．1．鉛フリーはんだによる封着の検討

開発したサージアブソーバーはアルミナ基板に放電電極、アウター電極を挿入してそれらを封着、放電電極のガス封入口から放電ガスを封入した後に、そこを封止して完成させる。組立工程について図１に示す。その工程の内、アルミナ基板と放電電極、アウター電極とを封着する手法として鉛フリーはんだによる封着について検討を行った。アルミナ基板は直接はんだが密着しないため、密着膜として適切な金属をコーティングする必要がある。そこで、密着膜の材質について検討した。はんだは低温で溶融する鉛フリーはんだ（千住金属株式会社製 M715（Sn-3.9Ag-0.6Cu））を使用した。アルミナ基板の金属コーティング面に、はんだの小片を置いて、バーナーで溶融してはんだボールを形成し、マイクロシェアテスターを用いて各密着層での密着強度を測定した。測定した密着強度を表１に示す。

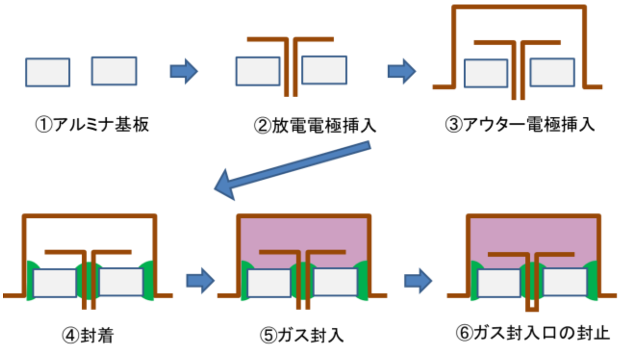


図１　サージアブソーバーの組立工程

表１　M715 はんだボールの密着強度(gf)

膜構成＼測定数	1 (gf)	2 (gf)	3 (gf)	4 (gf)	5 (gf)	平均 (gf)
Pt	51	10	430	7	0	99.6
Cu	14	34	24	25	17	22.8
Cu/NiCr	402	245	18	48	2	143
NiCr	26	133	14	90	49	62.4
NiCr/Cu	48	26	61	6	50	38.2
APC	817	68	49	38	646	323.6

表１において、赤く塗りつぶした部分ははんだが密着層に濡れ広がらなかったことを示す。密着強度測定の結果、APC 合金を密着層として使用したものが濡れ性も密着強度も優れていた。しかし、溶融したはんだにより密着層が消失する、いわゆる膜食われが発生することから、実際の封着に使用するためには問題があ

ることが確認できた。

２．２．接着剤による封着の検討

接着剤は鉛フリーはんだに比べて低温で封着可能であり､工程所要時間が短いという利点がある｡しかし、リフロー炉での実装の際に熱で接着剤が変質し内部のガスがリークする可能性や、長期使用時に接着剤から脱離するガスによりサージアブソーバー内部を汚染する可能性がある。

そこでリークテスト装置を用いて接着剤により封着を行ったサージアブソーバーを加熱し、その際のリークの挙動について観察を行った。リークテスト装置の構造について図２に示す。

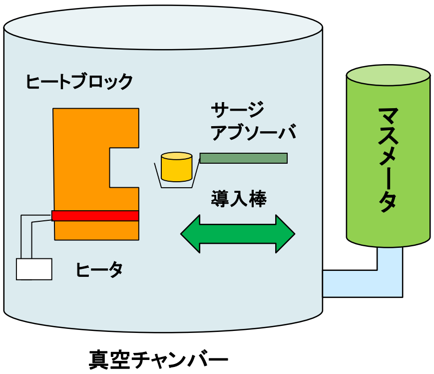


図２　リークテスト装置の構造

封着には（株）スリーボンド製紫外線硬化樹脂 TB3113B を用い、ヒートブロック中にサージアブソーバーを入れた状態で、10℃/min で 350℃まで加熱を行った。

サージアブソーバーにはリーク時の標識ガスとしてアルゴンを封入し、アルゴンの質量数に相当する信号が急増した際にリークが起こったと判断した。測定したサンプルそれぞれのアルゴンを示す信号の変化とリーク温度について図３に示す。

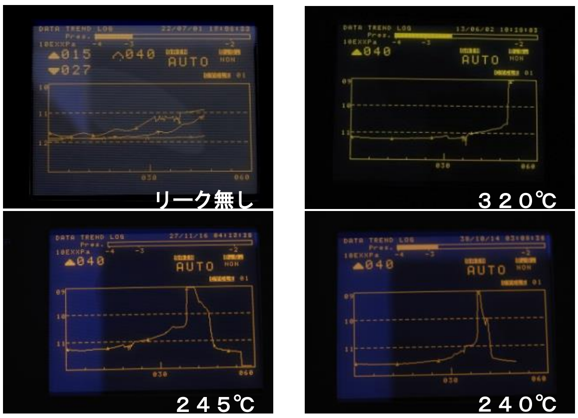


図３　リークテスト試験の結果

図３より、リークの有無およびリーク発生温度は 240～320℃と大きくばらついていることが確認される。このことからリークの発生は接着剤の材質固有に起因するものではなく、接着剤塗布などの工程の改善により解決できるものと判断した。

２．３．接着剤からの脱離ガスの確認

次いで封着に用いた接着剤からの脱離ガスについてその成分と量について確認を行った。まず接着剤からの脱離ガス成分として着目する質量数を決定した。サージアブソーバーを急加熱し短時間に急激に脱離ガスを発生させ、その際のマスメーターの質量数ごとのスペクトルの変化を測定した。急加熱については 350℃に加熱したヒートブロックに常温のサージアブソーバーを挿入することで行った。急加熱前後のマスメーターの分子量ごとのスペクトルについて図４に示す。

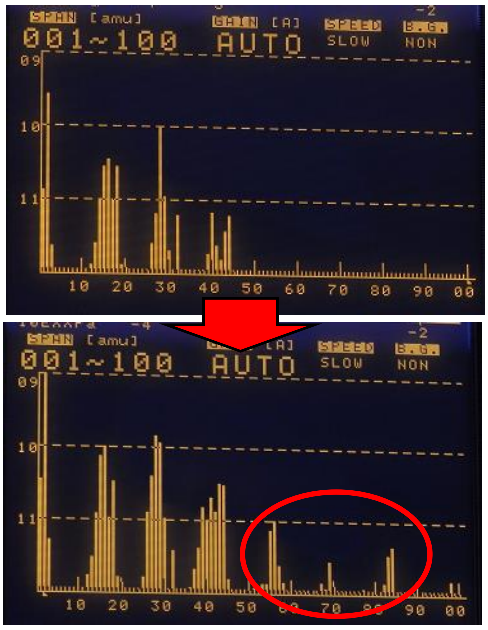


図４　急加熱前後のマスメーターのスペクトル
（上：加熱前，下：急加熱後）

急加熱後のマスメーターのスペクトルでは、加熱前からあるスペクトルの高さが増加したことと、図４下の赤線で囲んだ部分の新しいスペクトルが発生していることが確認できる。これらのうち、質量数が小さい側のスペクトルについてはサージアブソーバー表面への吸着ガス成分の脱離、質量数が大きい側のスペクトルについては接着剤からの脱離ガスと考えられる。そこで、質量数が大きいスペクトルのなかで特に変化量が大きい質量数 69、83、84 および標識ガスとしてのアルゴンに着目し、先に行ったリークテストと同条件で加熱を行い、マスフィルターの信号を測定した。加熱によりリークが起きなかったサンプルの信号変化を図５の上に、リークしたサンプルの信号変化を図５の下に示す。

図５　加熱時の接着剤からの脱ガス量変化
（上：リークなし，下：リークあり）

図５上下より、リークの有無にかかわらず 175℃付近からガスが発生していることが確認できる。また、リークしたサンプルはアルゴンの信号が急増した 314℃の時点でリークしたと考えられる。しかし、そのリークの際の質量数 69、83、84 の信号量およびその増加量はアルゴンのそれに比べて非常に小さい。このことから、サージアブソーバー内部においては接着剤由来で発生するガスの量はもともと封入されている放電ガスに比べて非常に少ないと考えられる。

２．４．サージアブソーバーの内部の観察

接着剤により封着を行ったサージアブソーバーでは、塗布時に内部へ侵入した接着剤に紫外線が届かず未硬化となることや長期使用時に脱離したガスが再凝結すること等が懸念される。従来のガラス管を使用したサージアブソーバーではそれらの問題を目視で確認できたが、開発したサージアブソーバーは、アウター電極素材が金属であるため目視での確認は不可能である。

また、長期使用時にはアウター電極及び放電電極に用いられている銅が酸化して異常放電などの原因となる可能性もある。そこで、未使用および長期使用を模した放電試験後のサージアブソーバーについてアウター電極内面および放電電極の SEM 観察を行った。サージアブソーバーのアウター電極および放電電極には銅素地のものと、スズめっきによる表面処理を行ったものを用いた。放電試験は、2.2ｋV、1mA の条件で 60 秒間、計 2000 回の放電を行い、その前後の試料についてアウター電極内面及び相対する放電電極の SEM 観察を行った。表面処理なしのサージアブソーバーの SEM 観察像について図６に、スズめっきを行ったサージアブソーバーについては図７に示す。

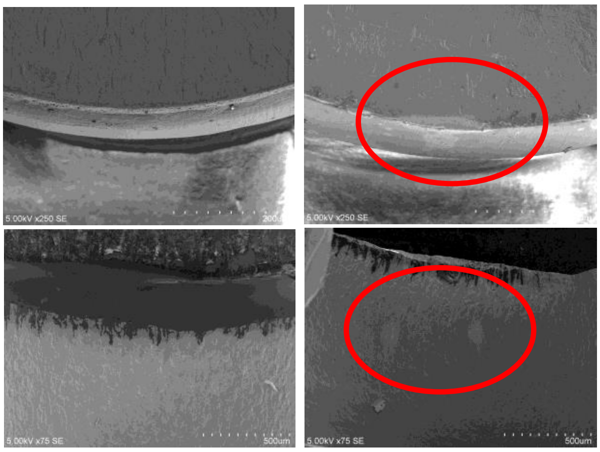


図６　放電試験後のサージアブソーバー内部の SEM 観察像
（表面処理なし　上：放電電極，下：缶内面）

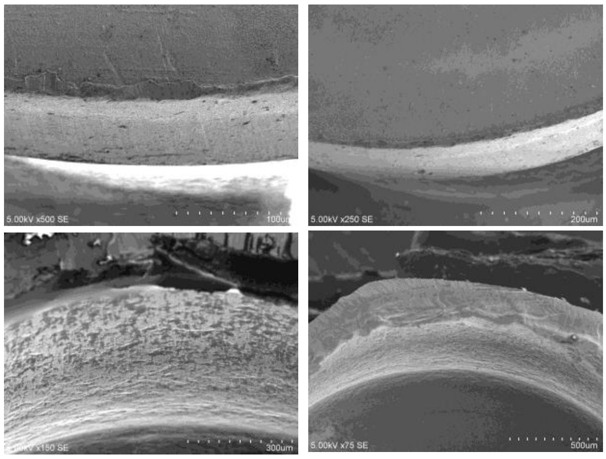


図７　放電試験後のサージアブソーバー内部の SEM 観察像
（スズめっきあり　上：放電電極，下：缶内面）

図６および図７より、未使用および放電試験後のサージアブソーバー共に缶内部への接着剤の侵入及び脱離ガスの凝結などによる内部の汚染は観察することができなかった。また、表面処理なしの銅素地のものでは放電後のアウター電極内面及び放電電極の SEM 観察像に放電痕と思われる箇所がみられたが、スズめっきを行ったものでは観察することができなかった。これらのことから、接着剤を用いたことによって内部が汚染される可能性は低いことが確認された。また、アウター電極及び放電電極にスズめっきを施すことで放電痕の発生を抑えることができることが確認できた。

これらの知見から、このサージアブソーバーには接着剤による封着を採用することとした。

２．５．放電開始電圧の制御

２．５．１．電磁界シミュレーションによる放電開始電圧の制御

放電管型サージアブソーバーにおいて、その放電開始電圧は重要な特性である。しかし、本開発品については通常のガラス管タイプのような単純な構造ではないため計算で求めることが困難であり、経験則や試作品の性能評価からのフィードバックによって設定を行っていた。また、放電開始電圧が 400V 近辺である低放電開始電圧用の放電管に用いるネオンの価格高騰から、それに頼らない放電開始電圧の低下手法にも強い要望があった。そこで、放電開始電圧の理論値の算出を行い、電極設計の変更による放電開始電圧の低下手法について検討を行った。

まず電磁界シミュレーションソフト Ansoft Maxwell を用い、サージアブソーバーの寸法を入力したモデルを作成、実測された放電開始電圧を電極間に印加した際の電界強度をシミュレーションにより求めた。次いで内部電極にアール加工および放電間隔を縮小したモデルを作成し、そのモデル上で、先に求めた放電に要する電界強度が得られる電圧を求めた。シミュレーションにより得られたサージアブソーバー内部の電界強度分布について図８に示す。

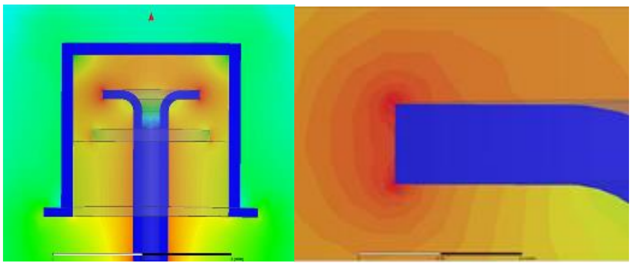


図８　サージアブソーバーの電界強度分布
（左：全体，右：電極先端部拡大）

表２　シミュレーションによる放電開始電圧の変化

	設計値	放電間隔を半分に縮小	電極部にアール加工
放電開始電圧	1730V	750V	3290V

シミュレーションの結果、内部電極をアール加工した場合には放電開始電圧は上昇し、放電間隔を縮小した場合には低下することが確認された。それぞれの場合の放電開始電圧の計算値について表２に示す。

しかし、単純に電極間隔を狭くした場合、放電が停止しない続流現象が発生する可能性がある。そのため、目標である 400V までこの手法で放電開始電圧を低下させることは難しいと考えられる。

２．５．２．電極へのコーティングによる放電開始電圧の制御

放電開始電圧を下げる手法として、部品表面に対してより放電を起こしやすい物質をコーティングする手法について検討を行った。放電のしやすさを示す仕事関数が小さい素材としてタングステンおよびアルミニウムを電極表面にコーティングした。

また、放電現象の呼び水的な役割として、誘電率の高い素材である５酸化２ニオブおよびチタン酸鉛(PZT)をアルミナ基板上にコーティングした。

これらを用いてサージアブソーバーを組み立てて放電開始電圧を測定した。測定された放電開始電圧について表３に示す。

表３　コーティングによる放電開始電圧の変化

1730V（成膜なし、ガス圧力:460torr）		成膜素材および成膜箇所						
		ﾀﾝｸﾞｽﾃﾝ	Al		Nb2O5		PZT	
		缶・電極	缶・電極	基台	缶・電極	基台	缶・電極	基台
ガス圧力(torr)	大気圧	2,359	2,000	1,968	2,640	2,218	2,703	2,000
	700	–	–	953	1,203	1,156	1,218	937
	600	–	–	906	1,125	1,000	1,156	843
	500	–	–	796	1,093	875	1,093	765
	400	–	–	734	1,031	812	1,015	740
	300	–	–	625	921	718	921	553
	200	–	–	562	781	593	706	496
	100	–	–	425	615	448	653	406
	50	462	–	337	587	346	500	331
	30	321	328	331	459	293	368	328
	0	437	443	459	462	446	443	443

表３より、いずれの素材でも放電開始電圧の低下は確認されたが、期待された 400V より低下させることは難しいことが確認された。

３．結言

表面実装型のサージアブソーバーの実用化のため、封着手法の検討および信頼性向上、放電開始電圧の制御に取り組み、以下の結論を得た。

・アルミナ基板上への鉛フリーはんだによる封着は密着層の膜食われに関して課題がある。

・接着剤による封着は、封着条件が適正であればガスリークしないことが確認できた。

・封着に用いた接着剤からの脱離ガスの量は充填されている放電ガスに比べて十分小さく、放電試験後にもアウター電極内面に汚染は観察できなかった

・電磁界シミュレーションより、放電開始電圧の低下には電極間距離の縮小が有効なことが確認できた。

・電極へのコーティングは放電開始電圧の低下に効果はあるが、その効果は限定的であることが確認できた。

これらの知見をもとに、株式会社コンド電機ではこの接着剤封着によるサージアブソーバーおよびサージアブソーバーとバリスタとを組み合わせた複合部品について販売を開始している。また、ネオンに頼らない低放電開始電圧品について引き続き開発している。

ニットとテキスタイルの融合による
オンリーワン・ファッション衣料の開発と販売

−ニットと織物の融合生地の開発とファッション衣料の製品化−

Production of unique fashion textile by harmonizing knit with clothes

−Development and fashion apparel products of knit and woven fabrics of fusion fabrics−

福島技術支援センター　繊維・材料科　長澤浩　東瀬慎　中村和由

委託企業　福島県ファッション協同組合

永山産業株式会社　株式会社大三　菅野繊維株式会社

齋栄織物株式会社　株式会社三恵クレア　株式会社シラカワ

今年度は、織物耳輪作製条件確立と織物加工後の隙間5㎜の確保とニットとの融合化織物の試織開発と編機6～21Gを用いた織物との融合化技術の確立に取り組んだ。その結果、織物耳輪作製条件はほぼ確立し、2㎜の耳輪が完成した。また、織物とニットの融合化技術では、12G自動編機にて融合サンプル生地を作製した。また、製品化した作品は平成２９年３月にニューヨークで開催された展示会に出品し好評を得た。

Key words: 織物、ニット、融合、ゲージ、密度

１．緒言

世界規模でファッションの多様化が進む中、他にはない新規スタイルの衣料が求められている。そこで、県内企業が持つ他産地では出来ない細番手による編織技術とハイテクプラザが有する技術を活用し、平成２６年度から２８年度までの３年間でニットと織物を一体化した新たな衣料製品の共同開発を行った。

織物とニットを組み合わせた製品は従来から存在するが、織物生地からニットを編みだして織物とニットを一体化したテキスタイルはまだ市販されていない。そこで、このスタイルを福島県ハイテクプラザの保有するニットと織物の融合化技術を活用しファッション衣料としての新規開発を行った。これは織物の耳部分を編機の編み針に掛けられるように織り組織を工夫し、織物の耳部から編み組織を編成することで織物と編物の一体化した生地を成形するものである。

今年度は自動編機による製品開発では6G（ゲージ）（以下（ゲージ）を省略する)、12Gの織物とニットの融合による技術開発を目指し、既存の編機を使用しての融合化に取り組んだ。

２．織物の耳輪作製と融合化

２．１．研究概要

平成２８年度は、これまでの成果を踏まえ量産化（自動織機）に対応した研究を行った。以下に研究の取り組み概要を示す。

１）織物の耳輪作製

目的：量産化（自動織機）に対応した織物耳輪作製技術の開発

目標：6G、12G用織物耳輪作製

２）織物とニットの融合化

目的：１)で開発した織物を使用した融合生地の試作

目標：6G、12G用生地サンプル作製

２．２．織物の耳輪作製

織物とニットの融合化の織物耳輪作製として、平成２７年度には同じヨコ糸打ち込み本数でも異なるゲージの耳輪が作製できる技術を開発した。２８年度はこの方法を活用し、6G、12G用の織物耳輪を作製した。

耳輪の大きさは、12G用になると度目が小さくなり、5㎜の耳輪では融合部分の隙間が大きくなるため、この隙間の大きさを調整する必要が生じた。隙間の大きさを検証した結果、12G用の耳輪の大きさは2㎜の耳輪が適することがわかった。この耳輪作製の規格は量産化に向けたソルブロン糸挿入への条件にも適用される。

１）基本設計

12G用耳輪織物の設計規格は下記の通りである。

組織	：平組織	
素材	：タテ糸	シルク21中×2
	ヨコ糸１	シルク21中×6
	ヨコ糸２	シルク21中×2
使用筬	：90羽/鯨寸	
１羽引込本数	：4本	

通し巾　　　　　　：120cm
ヨコ糸打込本数　：37.1本/cm
耳輪部組織図　　：図１参照（地6本、耳2本）
綜絖枚数　　　　：10枚
　　　　　　　　　（地・耳8枚、耳輪作製用2枚）
　　　　　　　　　図２参照
杼替え装置　　　：地6本、耳2本
耳輪大きさ　　　：12Ｇ用2㎜
耳輪作製太糸　　：(21中×6本)×8本

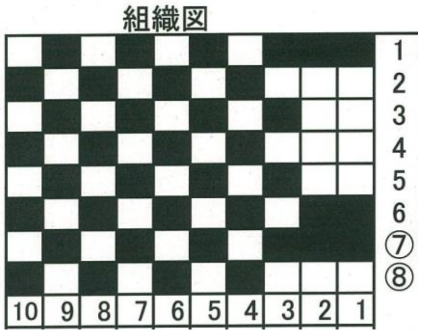


図１　12Ｇ用耳輪織物組織図

２）ニットの各Ｇに対応した織物の耳輪作製

織物と融合するニットのゲージに織物の耳輪を適合させるために、素材、ヨコ密度、織物地用に使用するヨコ糸本数の組み合わせを変えながらデータを取り、ニットの各Ｇに対応した条件を検討した（表１）。

表１　目標とする耳輪作製の編物ゲージと織物の設定条件

ゲージ(G)	ヨコ密度(本/cm)	地ヨコ糸本数(本)	耳ヨコ糸本数(本)	ヨコ糸地素材	ヨコ糸耳輪素材
6	40.0	16	2	生糸21中*2	生糸21中*6
7	38.7	12	2	〃	〃
8	38.7	10	2	〃	〃
10	38.7	8	2	〃	〃
12	37.1	6	2	〃	〃
13	38.7	6	2	〃	〃
16	38.7	4	2	〃	〃

３）ニットの各Ｇに対応した織物の設定条件

例えば、12Ｇの耳輪を作製する場合には、ヨコ糸打ち込み本数を37.1本/cmにして、織物地用ヨコ糸を（生糸21中×2本）6本打ち込んだ後に耳輪作製用糸（生糸21中×6本）を2本打ち込むように各設定条件を決定した。但し、耳輪の大きさは別条件となる。

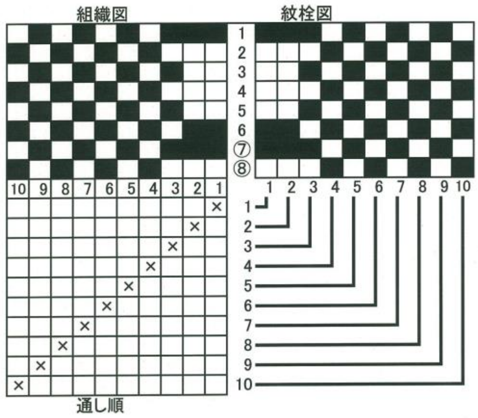


図２　12Ｇ用耳輪織物組織図、紋栓図、通し順

試織条件として、10枚綜絖を使用し、図２の通し順で１、2の綜絖を耳輪作製用とした。杼箱（２丁杼）は左側にありシャトル(杼)は左側から出て左側に戻るのが基本となる。

２丁杼の内訳は ① 地糸用、② 耳輪作製用となり図２紋栓図の ⑦、⑧ に ② の耳輪作製用太糸が入る。これに伴い、組織図番号で 1、6、⑦、⑧ の綜絖が上がり、耳輪を形成する。

耳輪を形成するには ⑦、⑧ の綜絖のみが上がれば良いが、⑧ で戻るときに地糸が絡まないために8を下げる。また、1、6 の紋栓は地糸が耳糸に絡まないように紋栓を上げることにより対応した（図３）。

6Ｇ用の耳輪は初期の予定通り5㎜としたが、12Ｇ用になると織物とニットの融合部分の隙間が大きくなることから、適正な大きさを検証した。その結果、12Ｇ用の耳輪は2㎜であることがわかった。

しかし、実際に2㎜用耳輪作製太糸で試織してみるとどうしても耳輪の大きさが5㎜になってしまう。そこで、織機に掛かっている耳輪の様子を観察した結果、経糸耳輪作製用糸が開口する時に織機の手前から大きく開口するため、耳輪を形成するヨコ糸がタテ糸に引っ張られて5㎜の輪になってしまうことが判明した(図４)。

そこで、タテ糸の開口を小さくするため、ヨコ糸を挿入するシャトル(杼)が邪魔にならない場所にテンプル装置を取り付けて改善を図った。テンプル装置は普段は収縮する織物を織る場合に縮んだ織物を外側に引っ張る装置である。これにより、2㎜の耳輪が作製可能となった（図５、図６）。この耳輪作製織物を使い自動編機による融合化を図った。

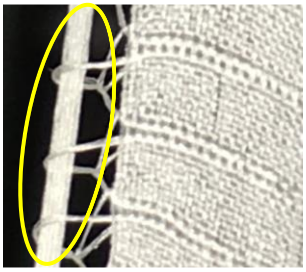


図３　耳輪糸に地糸が絡む

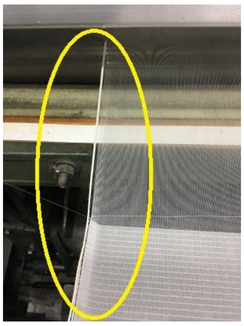


図４　開口が大きく耳輪も大きくなる

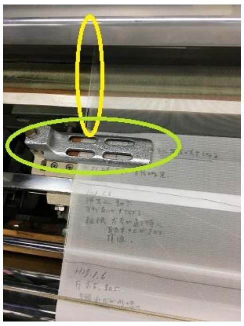


図５　テンプル装置付き（緑丸枠）耳輪は小さい

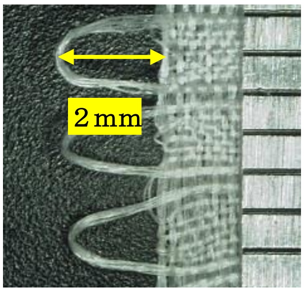


図６　完成した耳輪 2㎜ の織物

２．３．織物とニットの融合化

コンピュータ自動横編機による織物とニットの融合化を図る上で、既存の編機で製品作製が可能であることが条件となる。これは、量産化を考慮した際に自動編機の改造にコストをかけないで企業が既存の編機で製品を作製可能とするためである。そこで既存の自動横編機を用いた織物とニットを検討した。

織物は２．１．で耳輪を2㎜に調整した織物を使用した。検討の結果、織物とニットの融合部は耳輪の間隔、大きさも適切でニットと織物が一体化したサンプル生地が完成した（図７、図８）。

これにより自動横編機による融合化を図ることが出来た。今後の課題としては自動横編機で編針を織物の耳輪へ掛ける際に１本１本手で掛けているが一度にまとめて掛けられる治具を開発する必要がある。

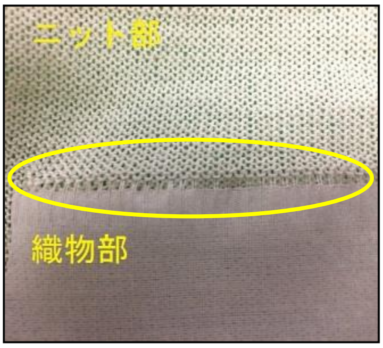


図７　織物とニットの融合生地

（黄丸枠が融合部）

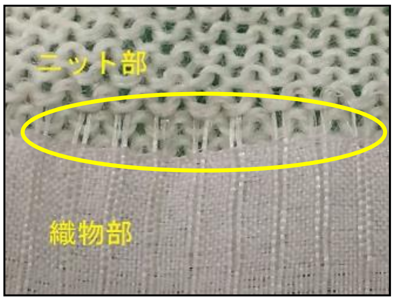


図８　図７の融合部分（黄丸枠）拡大図

２．４．織物とニットの融合化製品作製

２．３．で作製した織物耳輪作製技術を使用して融合化製品を作製した。織物とニットは同一素材（シルク先染糸21中/30中双糸）を使用している。製品のテーマは「フェミニン（女性らしさ）」で織物の感触が活きるようにスカート部分にギャザーを寄せ、上部のニットは凹凸感が出るよう作製してある。ウェストはシェイプになるよう編紐をアクセントに用いてシルエットを出し、スカート裾には織物の耳輪にカギ針で縁編みを施してある。ニューヨークで開催した展示会にこの融合製品（図９、図１０）を出品した。

図９　融合化製品

（黄丸枠が融合部）

図１０　図９の融合部分拡大

３．結言

平成２６年度から進めてきた織物とニットの融合化の織物の耳輪作製では、同一ヨコ密度でも異なるゲージでの耳輪作製が可能となり、融合の効率化を図ることができた。

融合化技術においては、平成２６～２７年度に自動横編機での融合化は編機の構造上、物理的課題があり融合化が困難とされていたが、平成28年度で新しい融合方式を見出して織物の耳部分からニットの編み出しを行うことができた。この方法で6G、12Gのサンプルを作製することができた。今回の融合化技術を使用して作製した作品は、ニューヨークで開催した展示会に出品し高い評価を得ることができた。

ニットとテキスタイルの融合による
オンリーワン・ファッション衣料の開発と販売

－シルクとカシミヤによるニットおよび織物用最新ブレーダー意匠糸の製品化－

Production of unique fashion textile by harmonizing knit with clothes

－Production of the latest fancy lily yarn which is made from silks and cashmeres for knits or textiles－

福島技術支援センター　繊維・材料科　長澤浩　東瀬慎　中村和由
委託企業　福島県ファッション協同組合
永山産業株式会社　株式会社大三　菅野繊維株式会社
齋栄織物株式会社　株式会社三恵クレア　株式会社シラカワ

21G編機用シルクブレーダー糸の品質向上のため、ブレーダー糸加工方法の改良を行った。その結果、従来の方法により加工したブレーダー糸より品質の向上した加工糸ができることを確認した。更に、ローシルクを原料にシルク本来の風合いを活かしたシルクモール糸の試作のため、ブレーダー加工機の改良を行い、ローシルクのシルクモール糸を試作することができた。

Key words: シルク、ブレーダー糸、モール糸

１．緒言

平成２７年度は、加工技術の改良によって、シルクとカシミヤの２種類の繊維を一本の糸に編み込んで作製した新規加工糸（ダブルブレーダー糸）（図１）が、平成２８年２月にイタリヤのミラノで開催した展示会用の製品に使用された[1) 2)]（図２）。

図１　ダブルブレーダー糸

図２　展示会用製品
（委託企業の展示会用パンフレットから引用）

本年度の目標である 21G編機用の細いシルクブレーダー糸の開発をする上で、従来の加工法の場合、撚りと撚り戻しの不均一が課題として残っていたため、ブレーダー糸の品質向上と試作工程の短縮化を目指し、ブレーダー糸加工機の改良を新たに検討した。

また、ミラノの展示会でシルクファー素材が高い評価を受けたことから、シルクを素材にしたモール糸の試作要望が企業から提案されたため、シルクモール糸の試作を新たに検討した。

２．研究

２．１．研究概要

２．１．１．目的と目標

目的：6G～21G用リリヤン加工糸の試作と編成条件を確立すること。

目標：①シルクブレーダー糸（約 170dtex）編成時のループ形状（度目）変動の解消をリリヤン加工機の改良により達成すること。

②シルクモール糸（汎用性と軽量化のため、2㎜以上とした）を試作すること[3)]。

２．１．２．繊維素材

繊維素材として２種類の繊維を使用した（表１）。

表１　繊維素材の仕様

繊維素材	繊度（dtex）	備考
シルク（生糸）	31	ブラジル産６Ａ級
シルク（練糸）	178	５Ａ級シルク２６中を８本合撚し、精練
ポリウレタンカバーリング糸	83	商品名「シェルビーノ」

シルク（練糸）の合撚条件を表２に、精錬条件を表３に示す。

表２　シルクの合撚条件

撚り回数	486 回/m
撚り方向	S

表３　精練条件

シルク重量	0.8 kg
試薬	キヌコン　SA （洛東化成工業株式会社）　7g/L ハイドロサルファイト （和光純薬工業株式会社）　1g/L スコアロール７００ （北広ケミカル株式会社）　0.1g/L
浴比	1：15
精練温度	55℃
精練時間	24 時間
精練率	23%

２．１．３．試験機器

試作装置及び実験に使用した物性試験機器等を表４に示す。

表４　使用機器と使用目的

使用目的	機器名	試作メーカー
ブレーダー糸加工	新ブレーダーマシン	(有)小塚コーポレーション製　K-5
編地作成	丸編み機	小松機械製作所
試料観察	拡大映像システム	(株)キーエンス製 VH-8000
シルクの合撚加工	合撚機	須賀機械(株)製 KF5 型
試料重量測定	精密天秤	(株)ザルトリウス製 R160P
試料強伸度測定	万能抗張力試験機	(株)島津製作所製、 AGS-10kNG
接触冷感測定	衣服環境測定装置	カトーテック(株)製 サーモラボⅡ型

２．１．４．評価試験

１）強伸度試験

恒温恒湿室内（20℃、65%）で、万能抗張力試験機を用いて、強伸度試験を行った。また、繊度については、１m の長さの加工糸を３点取り、精密天秤によりそれぞれの重量を測定し、その平均値から繊度(dtex)を求めた。

２）丸編み編成試験

丸編み機（28G）により、平編み組織を編成し、斜行やループの形状等を目視で確認した。

２．２．シングルブレーダー糸加工装置の改良の検討

２．２．１．改良点

従来のブレーダー糸の加工工程は以下のとおりである。

原糸準備 → ブレーダー糸加工 → 撚り戻し（撚りトルク除去）

今回、加工機の改良により、編地不良を減少させ、さらに撚り戻し工程の省略を目指した。

従来のシングルブレーダー糸加工機は、図３のように周状にベラ針が並んだ構造をしている。ベラ針を保持しているスピンドルが回転すると、装置内に固定されたカムがベラ針上のバットを押し上げて上下運動を繰り返す。丸編機の原理により、紐状のブレーダー糸を試作した。

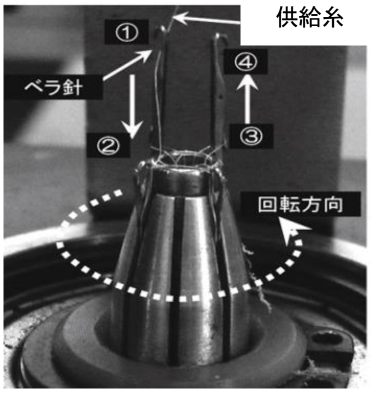


図３　ブレーダー糸加工機

このとき、スピンドルの回転によって、試作したブレーダー糸には撚りトルクが発生し、そのままでは使用できないため、撚りトルクの除去を目的に撚り戻し作業を行った(図４)。

しかし、この方法で加工したブレーダー糸の場合、編地に筋が入り、編地不良となることがあった。

したがって、今回改良した点は、従来のスピンドルを回転させる機構から、スピンドルを固定し、スピンドル

図４　撚り戻し作業

外側のケースを回転させる機構に変更した（図５）。
この変更により、加工糸に残留撚りトルクが発生しにくい機構になると考えられる。

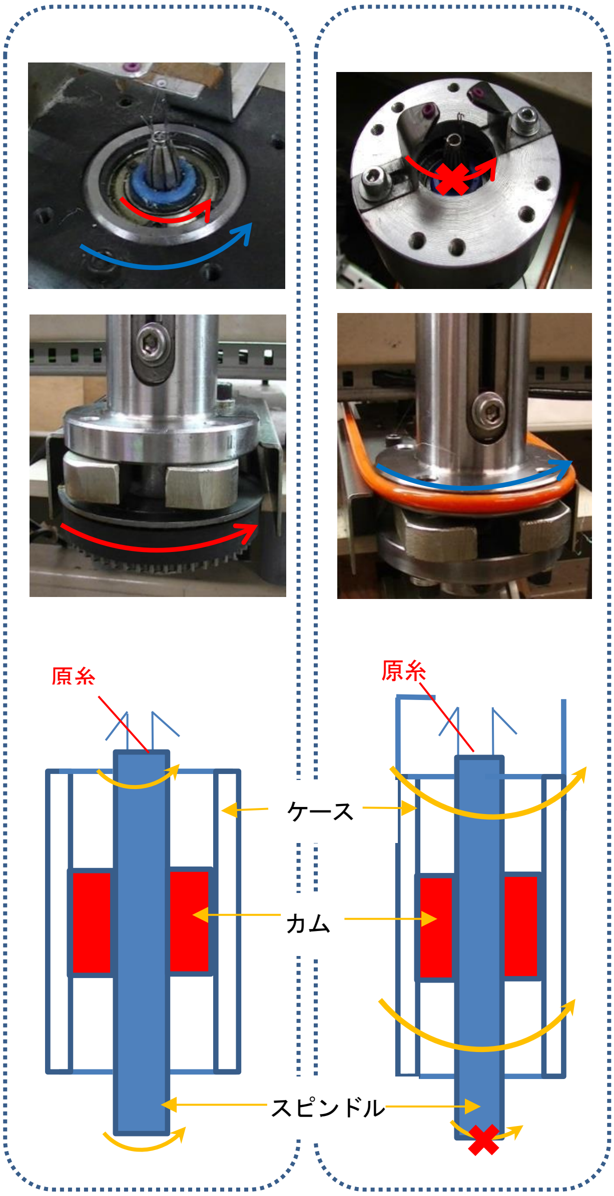


図５　加工機の改良点
（左：スピンドル回転、右：ケース回転）

２．２．２．加工条件

加工条件を表５に示す。加工糸は残留撚りトルクが発生、スナール（ループ状の縮れ）が生じたので、カバリング装置により残留撚りトルクがなくなるように解撚し、さらに表６の条件で酵素精錬を行った。

表５　加工条件

	加工機	回転速度(rpm)	巻取速度(m/min)
加工糸①	改良前（スピンドル回転）	500	2.4
加工糸②	改良後（ケース回転）	500	1.7

原糸：シルク（生糸）、31dtex、 加工機針本数：４本

表６　精練条件

シルク重量	加工糸①7.82ｇ、加工糸②5.95ｇ
試薬	キヌコン　SA（洛東化成工業株式会社）　30g/L ハイドロサルファイト（和光純薬工業株式会社）　2.1g/L スコアロール７００（北広ケミカル株式会社）　0.2g/L
浴比	1：30
精練温度	55℃
精練時間	24 時間
精練率	加工糸①　20%、加工糸②　19%

２．２．３．加工糸評価

１）強伸度評価

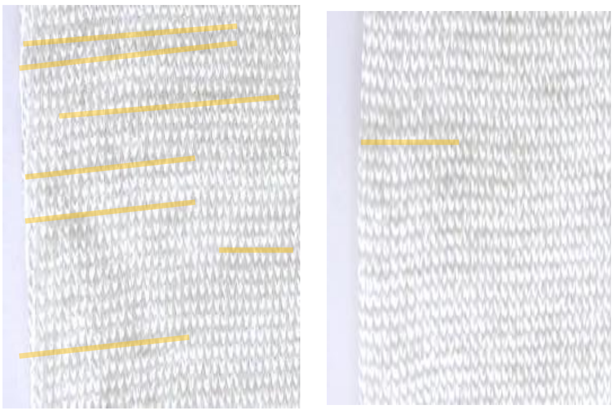
強伸度試験結果を表７に示す。これより、加工方法により、強伸度に大きな違いは見られなかった。

表７　シングルブレーダー糸強伸度試験

加工機	繊度(dtex)	破断強度(N)	伸度(%)
加工糸①	224	5.42	6.13
加工糸②	230	5.00	7.72

２）丸編み編成評価

丸編み編成後の編地を図６に示す。



加工糸①（スピンドル回転）　　加工糸②（ケース回転）
図６　丸編み編成後の編地（ 黄色：ループ形状変化 ）

改良前（スピンドル回転）の装置によって加工した糸は、解撚したあとも一部撚りトルクが残る状態であったが、改良後（ケース回転）は、スナールの発生等のない撚りトルクが安定した加工糸を試作することができた。

丸編み編成試験の結果、スピンドル回転の装置により試作した加工糸の場合は生地の一部に凹凸が見られたが、ケース回転を使用した加工糸の場合には殆ど見られなかった。

両者を比較すると、スピンドル回転の場合、ループ長（度目）が一定でないように見える。これは、加工糸の試作時や撚り戻し時のテンションが一定でないために、ループ形状が不均一になると考えられた（図７）。

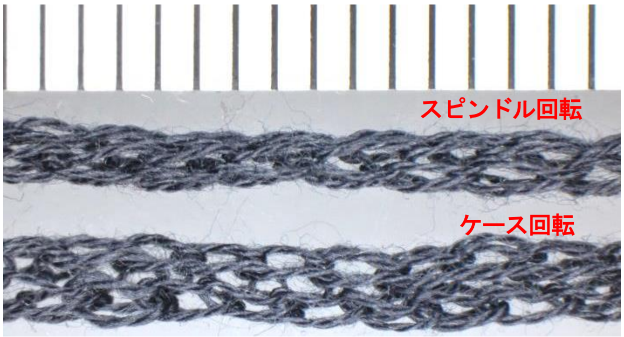


図７　加工糸の側面の違い
（原糸：綿（198dtex)、針本数：４本）

今後、改良した加工機構（ケース回転）を、芯糸挿入糸やダブルブレーダー糸に応用し、加工スピードの向上を図りたいと考えている。

改良前と改良後の違いを表８に示す。

表８　改良前と改良後の特徴

	改良前（ケース回転）	改良後（スピンドル回転）
編地の不良	△	○
ダブルブレーダー糸試作・芯糸挿入	△	×
ブレーダー糸製造スピード	△	○

※○：製造上問題無し、△：製造可能だが問題有、×：製造不可

２．３．ダブルブレーダー糸試作機構を活用した新規シルクモール糸の試作

２．３．１．試作概要

シルク生糸を使用したシルクモール糸試作方法を検討した結果、①連続的に試作できる、②毛足を長くできる、③準備工程が少ないなどの利点があることからリリヤン加工機により試作を検討した。さらに、昨年度開発したダブルブレーダー糸加工機を一部改良することによる試作についても検討した。

２．３．２．試作方法

図８と図９のとおり、糸の給糸口とモール糸のカットの部分を改良し、試作を行った。

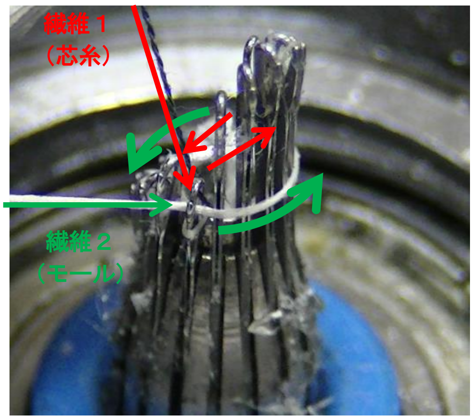


図８　モール糸の試作概側面

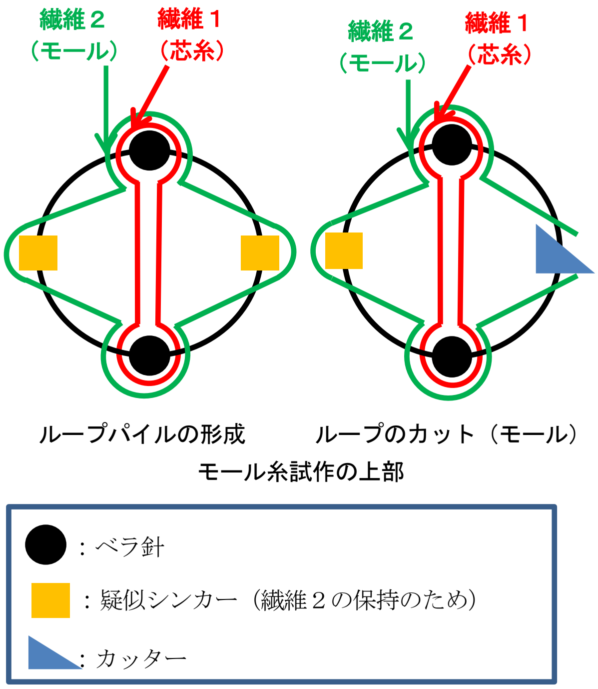


図９　モール糸の試作概略図

加工糸試作の流れ：

①２つの給糸口の高さを変え、芯糸とループパイルを形成。

②形成したループパイルをカットし、モールを形成。

２．３．３．試作条件

試作条件を表９に示す。試作糸は撚りトルクが残留し、スナール（ループ状の縮れ）が発生したので、カバリング装置により残留撚りトルクがなくなるように

解撚を行った。

表９　シルクモール糸試作条件

	原糸	回転速度(rpm)	巻取速度(m/min)
加工糸③	モール：シルク（練糸） 芯糸：ポリウレタンカバーリング糸	450	2.5

ブレーダー試作機針本数：2本

２．３．４．試作糸評価

試作糸の側面観察結果を、図１０に示す。試作糸の毛足の長さは最長で７㎜であり、目標値の２㎜を達成することができた。

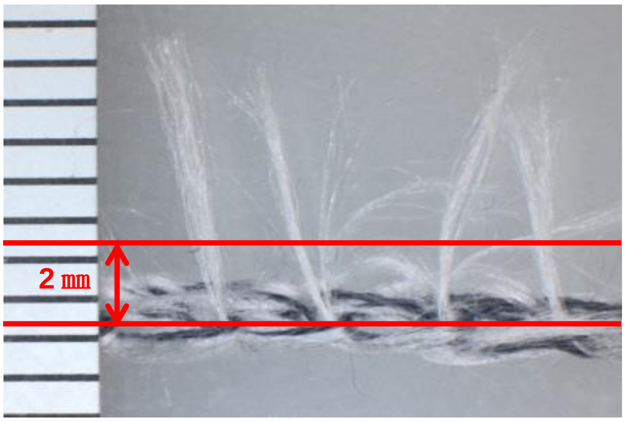


図１０　試作したシルクモール

しかし、試作糸の毛足の長さが、ばらつきが大きいこと及び毛抜けが課題として残った。

また、試作糸を横編機（10G）で編成し、その後、サンドペーパー（60番）で表面を起毛することで編地（図１１）を試作することができた。

図１１　試作編地

３．結言

本年度の成果は以下の２点である。

①加工機の改良（ケース回転）により、編地不良を減少させ、工程を省略することができた。
今後は、本加工によってダブルブレーダー糸製造と芯糸挿入の方法を検討する予定である。

②生糸を使用したシルクモール糸（2㎜以上）を試作することができた。今後、毛足の長さのばらつきや毛抜けの問題の解決のため、さらに改良を行う予定である。

参考文献

1）長澤浩, 東瀬慎, 中村和由, 菅野陽一, 佐々木ふさ子. ニットとテキスタイルの融合によるオンリーワン･ファッション衣料の開発と販売. 平成２６年度福島県ハイテクプラザ試験研究概要集. 2015, p.25.

2）長澤浩, 東瀬慎, 中村和由, 佐々木ふさ子. ニットとテキスタイルの融合によるオンリーワン･ファッション衣料の開発と販売. 平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究概要集. 2016, p.86-95.

3）東瀬慎, 長澤浩, 伊藤哲司, 菅野陽一, 佐々木ふさ子. 絹特殊加工糸を活用したシルク人工毛皮の開発. 平成２２年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2011, p.22-24

強さと軽さを兼ね備えた、機能性次世代漆製品の開発

Development of functional next-generation lacquer product combining strength and lightness

会津若松技術支援センター　産業工芸科　志鎌一江　堀内芳明　原朋弥　須藤靖典
委託企業　鈴善工業株式会社

漆工の技術を活用し、様々な布地へ漆や合成塗料を塗装し、漆器に見られる色味感や質感と、布に見られる手触りと折り曲げ性を付加した新しい布地を開発した。また、その漆の布地を使用した新商品の提案を行った。

Key words: 漆、布、サテン生地、木綿、麻布、キャンバス生地、添加剤、柔軟性

１．諸言

本研究は平成２６年度に行った「布地を応用した漆器製品の開発」（以下、前研究という）をもとに、布地へ漆塗装を行い、布本来の柔らかさを損なわず、質感と機能性を向上させた新素材の開発を目的とする。

漆工の技術を活用し、様々な布地へ漆や合成塗料を塗装し、漆器に見られる色味感や質感と、布に見られる手触りと折り曲げ性を付加した新しい布地の開発を行った。また、その漆の布地を使用した新商品の提案を行った。

前研究では、サテン生地に水性のビニール系コーティング剤を下地として塗布し、その後、添加剤を配合したアクリルウレタン塗料を上塗りした柔軟性のある布地を開発した。しかし、布の折り目に白濁化やごわつきが見られるなどの問題点が残った。

本研究は、前研究で開発した布に見られた問題点を改良するため、漆や下地剤の塗料変性を行い、布に漆を含浸させない工法の開発を行った。

また、本研究は機能性次世代漆製品（布の柔らかさを損なわない漆の布）のための漆と添加剤の配合実験も行った。

さらに開発目標として、バッグや小物等の製品化を検討するため、実験する布の種類もサテンの他に木綿と麻を追加し、それぞれの塗装した布について付着性（密着性）や摩擦堅ろう度を確認した。

２．実験

２．１．添加剤の配合（実験１）

はじめに、本研究は布の柔らかさを損なわない漆を塗布した布の開発をするため、漆と柔軟性のある添加剤の配合実験を行った。この配合実験は、添加剤がどれくらいの割合だと漆が柔らかさを保持しつつ硬化するか検証し、さらに硬化した塗面が漆特有の上品さとその風合いを損なっていないかを目視で確認した。

配合実験は、添加剤を 20%、30%、40%、50%に混合した漆を塗装したテストピースをそれぞれ作製し、恒温恒湿機（漆風呂）で、温度 18℃～22℃・湿度 70～75%の条件（以下、実験１の条件という）で約６時間乾燥させる工程を２回繰り返した。漆は黒漆を使用した。

その結果、全て硬化したが、添加剤の配合を多くすると塗膜に光沢が生じ、合成塗料のような人工的な光沢になったため、漆の上品さを損なわない風合いの配合は、布地の種類にもよるが、20%～30%で十分であると判明し、今回漆に配合する添加剤は 30%という条件（以下、実験１の漆という）で統一することとした。

２．２．コーティング剤（実験２）

前研究では、諸言でも述べたように水性のビニール系コーティング剤をサテン生地に塗布し、布に吸い込み防止と柔軟性を保たせたうえで上塗りをした。本研究においても、天然素材である木綿や麻布に対して前研究のサテン生地と同様に柔軟性のある布地になるかを実験することとした。

実験は、このビニール系コーティング剤を布に塗装し、45℃、30 分乾燥させる工程を３回繰り返し行った。

その結果、天然素材の布はサテン生地よりもビニール系コーティング剤が含浸し、布地が硬くなりごわつきが生じる結果となった。

この結果より、このビニール系コーティング剤では、サテン生地、木綿、麻布ともに柔軟性は得たが、ごわつきなどがみられたため、今回目標としている製品の機能性と風合いには適さないと判断した。

しかし、今後の展開も想定し、さらにこのビニール系コーティング剤と漆の相溶性（漆がコーティング剤や布に含浸するか等）を確認しておくこととした。

このビニール系コーティング剤で処理した布に、実験１の漆を塗布し、布の表面に残った余分な漆を拭き取る「拭漆」工法で行った。実験１の条件で乾燥させて塗膜の密着性と吸い込みを確認した。漆は黒漆と顔

料を混ぜた朱漆の２種を使用した。
　その結果、漆はコーティング剤と布に含浸して硬化したため、このコーティング剤は漆を含浸させない下地剤としては不十分であった（図１）。

図１　含浸した漆（左の布は裏まで漆が浸みている）

２．３．アクリルウレタン塗料（実験３）

　次に、前研究でサテン生地に下地剤としてアクリルウレタン塗料を塗装し柔軟性を得ていた点に着目し、漆を含浸させない下地剤として使用が可能であるかを検証した。前研究では、アクリルウレタン塗料は、主剤と硬化剤の二液性（主剤：硬化剤＝4:1）で、それに柔軟性を持たせるための添加剤を 20%配合していた。このアクリルウレタン塗料の問題点として、折り目に白濁化が見られた。原因として、硬化剤の配合と考えられるため、アクリルウレタン塗料の主剤に対し硬化剤を使用せず、柔軟性添加剤のみで塗膜が硬化するのか実験を行った。
　その結果、主剤と柔軟性添加剤（主剤：添加剤 10：3）のみで、20〜25℃、２４時間乾燥（乾燥条件は使用する合成塗料と季節により異なる）することで柔らかさを保ったまま塗膜が硬化することを確認した。
　この塗料を下地剤として塗布したサテン生地と木綿、麻布それぞれに、実験１の漆を塗装し実験１の条件で硬化させた。
　その結果、サテン生地では漆を塗装後も折り目の白濁化は見られず、前研究の下地剤の結果よりも柔らかさが増した。また黒いサテン生地に実験１の漆を塗装したものは、光沢もあり、漆の上品さを損なわない漆黒の艶を感じさせる風合いが生じた。
　この塗装を行ったサテン生地について、実際に縫製が可能であるかバッグを試作した。その結果、工業用ミシンで縫製した縫い目に問題はなく、塗膜の割れなどは目視で確認されなかった（図２）。

図２　漆塗装されたサテンのバッグ

　続いて、木綿と麻布であるが、これらについては、わずかにごわつきが見られた。よって、今回目標としている製品の機能性と風合いとしては適さないと判断し、天然素材である木綿や麻布に関しては、さらに塗料や配合の条件を変えて実験を行うこととした。

２．４．生地の選定（実験４）

　続いて、強度があり漆を含浸させず、布の柔軟性のある下地として､キャンバス布地(白亜地や炭酸カルシウム、石膏などで下地コーティングした油絵やアクリル画用の画布)にも着目し､これも漆の生地として利用可能かを実験した。すでに目止めの下地処理が施されている麻布に、実験１の漆を塗装し実験１の条件で硬化させた。目止めされたキャンバス生地は吸い込みが全くなく、表面に漆が溜りやすく塗膜が厚膜になるため､薄膜を保つために塗面から余分な漆を拭き取る｢拭漆」工法を行った。漆は透漆と黒漆を使用した。
　その結果、図３のように複数回にわたり塗装を施したが、含浸は見られず、漆特有の光沢が生じた。その後、このキャンバス生地も実際に縫製が可能であるかを確認するため、バッグを試作することとした。

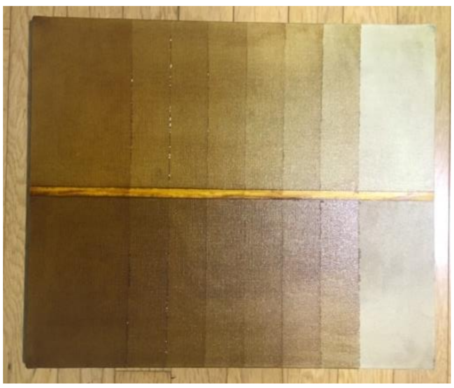


図３　キャンバス地への漆塗装

その結果、工業用ミシンで縫製した縫い目は、塗膜が剥離した。また、織り目やシワがつき、その跡が残るということも確認された。さらに、折り曲げの角度によっては、布の下地と漆の塗膜が剥離する現象も確認された。クロスカット試験(JIS K 5600-5-6)を行うと、下地剤と漆の塗膜が剥離し、密着性がないことから、今回の製品には適さないと判断した。

２．５．天然素材への塗装（実験５）

実験３の木綿や麻布、実験４のキャンバス生地の結果をふまえ、天然素材の布の機能性や風合いを保つためには、含浸を防ぐコーティング剤ではなく、柔らかさを保つ塗料を選択することとし、水性布用インクを使用することとした。

実験方法としては、布に布用インクを塗装し40℃で1時間乾燥を、２回繰り返し塗膜を作製した。これはもともと布用の塗料であるため、折り曲げ部に白濁化は見られず､布との密着性には問題ないと確認できた。

次に漆との相溶性を確認するため、布用インクを塗装し乾燥した布に、実験１の漆を塗装し実験１の条件で塗膜を硬化させた。サテン生地に比べ、木綿や麻布は繊維の毛羽立ちが出るため、布の表面の漆の拭き取りは行わず、塗料の吹付け量を抑えた吹付け塗装による薄膜に仕上がる塗装とした。

その結果、折り曲げの白濁化、漆と下地剤、布との剥離は見られなかったため、この塗料を木綿や麻布の下地剤として使用することとした（図４)。

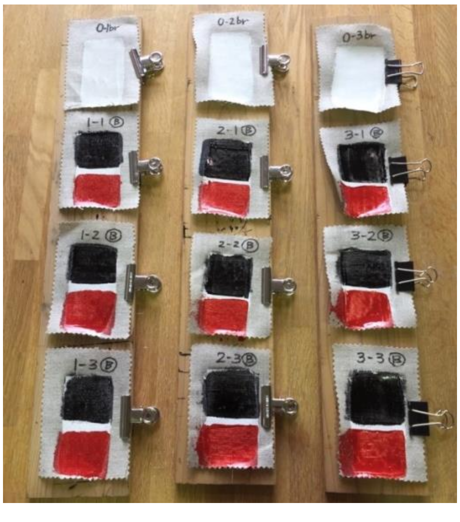


図４　布用インクと漆の付着性の確認

次に、この布が、実際に縫製が可能であるか試作を行った。その結果、工業用ミシンで縫製した場合の縫い目部分の塗膜の割れは、目視では確認されなかった（図１０、１１)。

クロスカット試験では、布と布用インク、布用インクと漆それぞれの各層に剥離は見られなかった。

３．結果

３．１．摩擦堅ろう度試験

本研究で試作した塗装布について、摩擦に対する染色堅ろう度試験(JIS L 0849)を行い検討した。試験は摩擦試験用の白綿布を2Nの荷重で試験片の中央部100㎜の間を100回往復させ摩擦を行った。試料として乾燥白布と湿潤白布それぞれについて試験した。判定は汚染用グレースケールで行い、評価は色落ちの弱い順に５、４-５、４、３-４と進み、１が最も色落ちが強い判定となる（図５、６)。

図５　汚染グレースケールによる検査

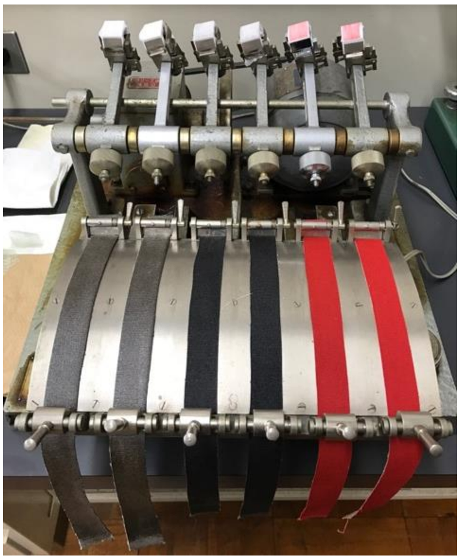


図６　摩擦させた綿の汚染検査

木綿と麻布については無塗装（ブランク）の布も試験し、結果は5，4-5であった。麻自体にわずかに色落ちが見られたものの、麻本来の自然の色味と判断した。また、布の表面が平滑で目の詰まっているサテン生地と表面がコーティングされているキャンバス生地も５、4-5であった。布用インクは、色落ちが目立つものもあったが、半数が4-5以上であった。漆が布に吸い込み、薄膜化した布は、1-2や2などの結果が多かった。毛羽立ちのある天然素材の布の場合、表面の繊維と共に色落ちをしているような試験片も見られた。

３．２．加飾とパッケージデザイン

本研究では、次世代漆製品の開発として、塗装を行った布地への加飾と商品化を想定したパッケージの試作も行った。想定した商品は、折り紙のように折れる布とし、塗装された布に文様を描き「折り布」として、高級感あるパッケージを試作した。

実験３のアクリルウレタン塗料に添加剤を配合して塗装した布に、スクリーン印刷の工法を使い蒔絵を施す実験を行った。図柄は会津にゆかりのある伝統的な絵柄を中心に４種類を制作した（図７）。

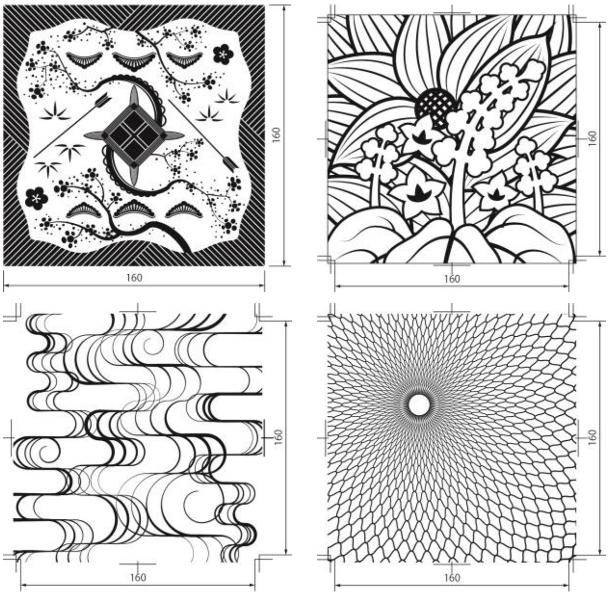


図７　上左から「会津絵」「菊桐」下「波」「網絵」

パッケージデザインは２種類の図柄（波／網絵）を表面に配置し、パッケージを開くと両側に折り布が入っている見開きの設計とした。パッケージには帯がついており、帯を取り外して使用する設計となっている（図８、９）。

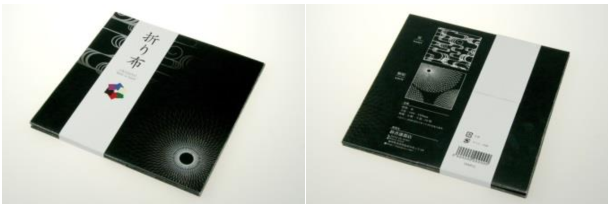


図８　折り布パッケージ

図９　加飾した「折り布」

４．結言

今回の受託研究で、前研究の課題であったサテン生地の白濁化やごわつきは解消された。また、新たに実験を開始した天然素材の布では、柔らかさを保ったまま塗料の含浸を防ぎ、縫製が可能な製品を開発する事ができた。しかし、摩擦による毛羽立ちや色落ちの問題が残り、解決方法を改めて検討する必要がある。

本研究の成果をもとに、試作した布の集大成として、実験３と５の布（サテン・木綿・麻）を使用した、麻のあずま袋(図１０)、木綿の重箱入れ(トートバッグ、図１１)、サテン生地のランチョンマットや風呂敷、バッグ等に縫製した試作品を製作した。その試作品は見本市(２０１７年２月８～１０日：東京ビッグサイト：グルメ・ダイニングショー)で展示され、好評を得た。

図１０　ブースに展示されたあずま袋(左右)

図１１　ブースに展示された木綿の重箱入れ

縦ログパネル工法による耐力壁の品質向上に関する研究

Research on quality increase of bearing wall applying “Tatelog”method

会津若松技術支援センター 産業工芸科　齋藤勇人　橋本春夫
委託企業　　　　　　　　　合同会社良品店

本研究では、縦ログパネル工法の耐震性の向上を目指し、その製作に使用するビス形状の改良に活用するため市販のビスを利用して、ビスの谷径、ピッチがビスの引抜き抵抗に及ぼす影響を考察した。実験で扱ったビスの形状の範囲で引き抜き抵抗を比較した結果、有意水準５％で有意差が認められず、引抜き抵抗に対するビスの谷径とピッチの影響は軽微であった。また、ビスのねじ込みトルクの最大値を本研究で扱ったビスの形状の範囲で比較したところ、ピッチが大きくなるほど、ねじ込みトルクが小さくなる結果となり、有意水準１％で有意差が認められた。これによりピッチを大きくすることで、ビスのねじ込みトルクを低下させて、ビス打込みの施工性が良好になる効果が期待できる。

Key words: 木材、ビス、引抜き抵抗、縦ログパネル工法

１．緒言

縦ログパネル工法は、震災以降に開発された工法で、地元材の大量利用や地元企業が参加できるプレハブ化などの経済システムとして地域への定着などを考慮し、無垢材の杉を合わせたパネル化を目指して開発された工法である。縦ログパネルは「構造材」・「内装材」・「外装材」・「断熱材」の役割を同時に果たす利点、また、製造のプレハブ化の利点があり、従来工法と比較して工期短縮が可能である。また、欧州などで生産されている直交集成板（Cross Laminated Timber；CLT）と比較すると、製作に大規模な工場は必須ではなく、普及が容易であることも利点として挙げられる。

その断熱性能は、縦ログパネルの厚さ寸法が 240 ㎜の壁材と、グラスウール 16K 厚さ 100 ㎜を熱貫流率で比較してほぼ同等であり、一般住宅程度の性能を持つことが分かっている[1)]。また、縦ログパネルは、地震や風などの水平力に抵抗する性能を持つ耐力壁としても優秀であり、断面 105㎜×105㎜ の角材を用いて製作した縦ログパネルの壁耐力試験においては、耐力壁の性能を示す壁倍率は 4.37（合同会社良品店調べ、耐力壁パネルは図１、図２）であった。住宅へ縦ログパネルを適用することで、鉄筋構造に頼らずに耐震性に優れた建造物を造ることができる。

現状の縦ログパネル工法による耐力壁は、４階建て程度までの建造物に適応されているが、それを超える大規模な建造物には適用実績がない。そのため、縦ログパネル工法の耐震性のさらなる向上を図ることができれば、床面積に対して壁量の少ない公共施設等の大規模な建造物にも適用しやすくなるため、木造建築への需要拡大に貢献できる。

図１　耐力壁パネルの壁倍率試験の様子

図２　耐力壁に打ち込むビス

本研究では、縦ログパネル工法の耐震性の向上を目指し、縦ログパネルの製作に使用するビス形状の改良に活用するために、市販のビスの引抜き抵抗の測定を行った。なお、ビスの引き抜き抵抗に関する研究であるが、白惠琇ら[2)]や、小林研治ら[3)]は下穴なしでビスを木材に打ち込んだ場合の引き抜き抵抗と、山径、谷径、ピッチの相関について調べている。また、額田麻子らは、木ねじと下穴径の関係について調べ、木材の圧密が引き抜き抵抗に影響していることを明らかにした[4)]。本研究のテーマである縦ログパネル工法では、木材を長手のビスで締結することから、施工を容易にするために下穴をあける工程が不可欠である。

２．試験

２．１．供試ビス

引抜き抵抗の測定には市販のビスを使用した(図３)。試験用ビスの山径、谷径、ピッチは表１のとおりである。なお、山径は 4.2mm に統一した。

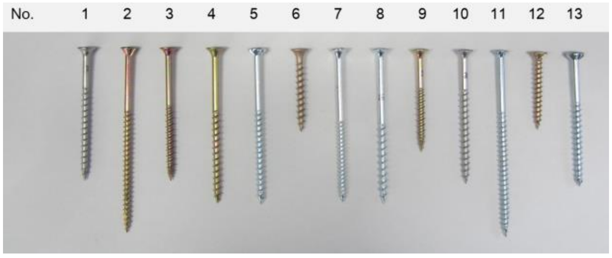


図３　供試ビス

表１　各ビスの形状と選択した下穴径

No.	山径 (mm)	谷径 (mm)	ピッチ (mm)	下穴径 (mm)
1	4.2	2.8	2.8	2.8
2	4.2	2.5	2.4	2.5
3	4.2	2.6	2.8	2.6
4	4.2	2.7	3.0	2.7
5	4.2	2.7	2.7	2.7
6	4.2	2.6	2.9	2.6
7	4.2	2.4	1.9	2.4
8	4.2	2.5	3.2	2.5
9	4.2	2.5	2.8	2.5
10	4.2	2.7	2.8	2.7
11	4.2	2.6	2.3	2.6
12	4.2	2.6	2.3	2.6
13	4.2	2.5	2.6	2.5

２．２．供試木材

供試木材はスギの高温乾燥材である。気乾密度は試験結果に影響を及ぼすため、供試木材の気乾密度を吟味して、0.413g/cm^2 ～0.452 g/cm^2 の範囲となるように調整した。その吟味した供試木材の物性は表２のとおりである。

表２　供試木材の物性値

	平均値	標準偏差
気乾密度（g/cm^2）	0.429	0.008
気乾状態の含水率（%）	11.3	1.7

２．３．試験体の製作

２．２．に示した供試木材を長さ 80mm、幅 60mm、厚さ 15mm に加工した。なお、供試木材は図４のとおりの追い柾目に加工した。その加工した試験体の中央に各ビスの谷径を基準とした下穴を穿穴し、デジタルトルクドライバー（株式会社中村製作所製 DTDK-CN500EXL）にて供試ビスのねじ込みトルクの最大値を記録しながら、ビスをねじ込んだ。そのときのビスが貫通した晩材本数は４～７本で平均５．１本であった。製作した試験体は図５のとおりである。先端部の影響を考慮して、試験体端面から、5mm 以上突出させた。なお、試験体数は各ビスに対して６個とした。

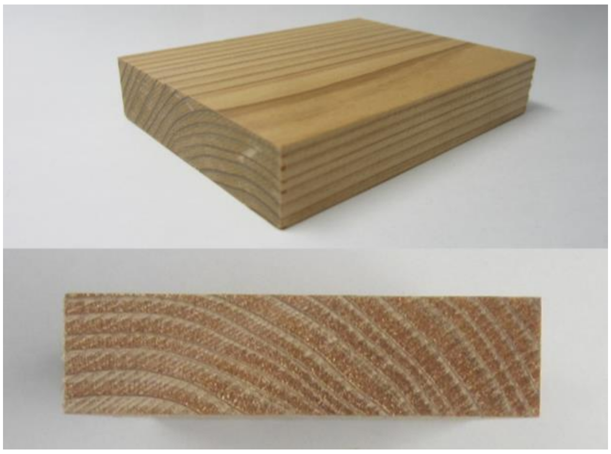


図４　採取した供試木材の一例

図５　製作した試験体

２．４．試験方法

２．３．で製作した試験体を使ってビスの引抜き抵抗を測定した。試験は JIS Z 2101 木材の試験方法 ２４釘の引抜き抵抗の測定に準じて行い、精密万能試験機（㈱島津製作所製 AG-2000E(X/R)）を使用し、クロスヘッドの送り速度 2mm/min で試験を実施した（図６）。試験により得られたビスの引抜きに要した最大荷重 F から、引抜き抵抗 T を次の式によって計算した。

$$T = \frac{F}{t}$$

ただし、

T： ビスの引抜き抵抗(N/mm)

F： ビスの引抜きに要した最大荷重(N)

t： ビスの打ち込まれた長さ(mm)

である。

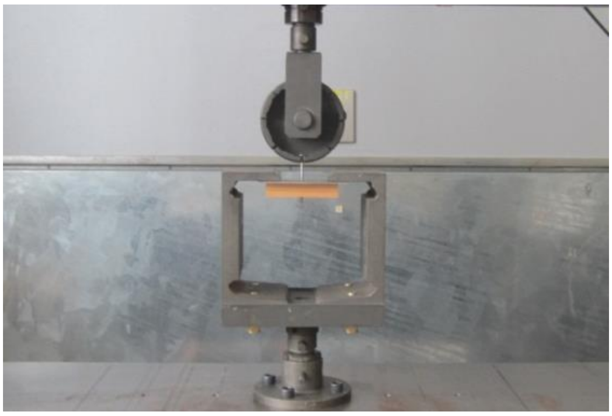


図６ 引抜き抵抗の測定の様子

３．結果と考察

図７、表３にビスの引抜き抵抗の測定結果を示す。なお、結果は試験体６個の平均値である。各ビスの結果を比較したが明確な差は見られなかった。

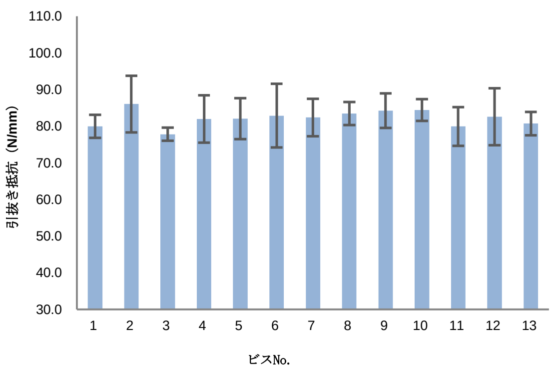


図７ ビスの引抜き抵抗の測定結果

表３ 引抜き抵抗の測定結果

No.	山径 (mm)	谷径 (mm)	ピッチ (mm)	下穴径 (mm)	引抜き抵抗 (N/mm)
1	4.2	2.8	2.8	2.8	79.9
2	4.2	2.5	2.4	2.5	86.0
3	4.2	2.6	2.8	2.6	77.8
4	4.2	2.7	3.0	2.7	81.9
5	4.2	2.7	2.7	2.7	82.0
6	4.2	2.6	2.9	2.6	82.8
7	4.2	2.4	1.9	2.4	82.4
8	4.2	2.5	3.2	2.5	83.4
9	4.2	2.5	2.8	2.5	84.2
10	4.2	2.7	2.8	2.7	84.4
11	4.2	2.6	2.3	2.6	79.9
12	4.2	2.6	2.3	2.6	82.5
13	4.2	2.5	2.6	2.5	80.7

３．１．谷径と引抜き抵抗の関係について

表１のビスの谷径と引抜き抵抗の関係について図８に示す。データ全体の最小二乗法による線形近似はゆるやかに右下がりの傾向を見せているが、これに有意な差（有意水準５％）は認められなかった。これによりビスが同外径のときに、谷径が木ネジの引抜き抵抗におよぼす影響は軽微であると言える。

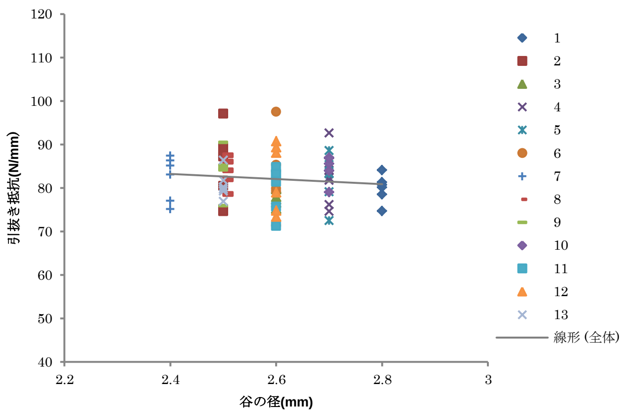


図８ ビスの谷径と引抜き抵抗の関係

３．２．ピッチと引抜き抵抗の関係について

表１のビスのピッチと引抜き抵抗の関係について図９に示す。グラフ上の直線はデータ全体の最小二乗法による線形近似である。ピッチと引抜き抵抗に相関は見られず、これに有意な差（有意水準５％）は認められなかった。これによりビスが同外径のときに、ピッチが木ネジの引抜き抵抗におよぼす影響も、谷径同様に軽微であると言える。

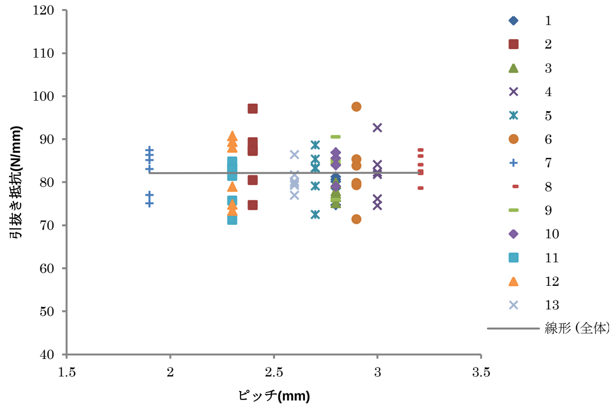


図９　ビスのピッチと引抜き抵抗の関係

３．３．ピッチとねじ込みトルクの関係について

表１のビスのピッチと打ち込み時の最大トルクの関係を図１０に示す。グラフ上の直線はデータ全体の最小二乗法による線形近似である。ビスのピッチが小さいほどねじ込みトルクの値が大きく、逆にピッチが大きいほどねじ込みトルクの値が小さくなる傾向が見られる。なお、この結果には試験体相互間に有意水準１％で有意差が認められた。

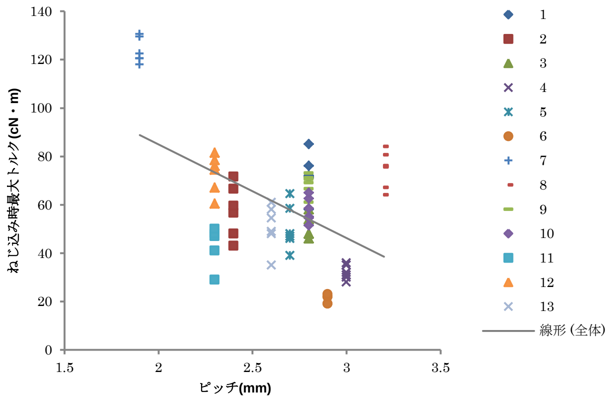


図１０　ビスのピッチとねじ込み時の最大トルクの関係

４．結言

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

①ビスの谷径、ピッチが引抜き抵抗に与える影響について、本研究で実験を行ったビスの形状の範囲（山径 4.2mm、谷径 2.4～2.8mm、ピッチ 1.9mm～3.2mm）に限り、谷径、ピッチに関して有意水準５％で有意差が認められず、その影響は軽微と言えることがわかった。これにより、ビスの形状を変化させることで引き抜き抵抗を向上させるのは難しいと考えられる。一方で、別途検討が必要であるが、谷径を大きくしてビス自体の強度及び剛性を高めることで耐震性を向上させる方針が考えられる。

②ビスのピッチと打ち込み時のトルクの最大値の関係を、本研究で扱ったビスの形状の範囲（山径 4.2、ピッチ 1.9～3.2mm）で比較したところ、ピッチが大きくなるほど、ねじ込みトルクが小さくなる結果となった。この結果に関して有意水準１％で有意差が認められた。これによりピッチを大きくすることでねじ込みトルクを小さくすることができるので、ビスねじ込みの施工性が良好になる効果が期待できる。

参考文献

１）樋口卓史，浦部智義，芳賀沼整，滑田崇志，田中重夫早川真介．針生ほしっぱの家－中山間地域集落拠点づくり－．Architectural Institute of Japan 14023.

２）白惠琇，森田秀樹，飯村豊，今井富士夫．“木ネジ形状が軽軟材の引抜き性能に及ぼす影響”．日本建築学会構造系論文集．第 78 巻．第 686 号，2013 年 4 月，p.817-824.J.Struct.Constr.Eng., AIJ, vol.78, p.817-824, Apr., 2013.

３）小林研治，相馬智明，稲山正弘，安藤直人．枠組壁工法におけるビス接合耐力壁のモデル化と検証．第４回坪井記念研究助成報告書．http://www.2x4assoc.or.jp/builder/act/tsuboi/pdf/tuboi04-1.pdf.

４）額田麻子，澤田豊，藤井義久，奥村正悟．“ねじの引抜き耐力におよぼす下穴径の影響”．日本木材学会広報委員会 ウッディエンス メールマガジン，2013-06-22, No.0 28. http://www.jwrs.org/woodience/mm028.html

漆塗装や蒔絵技術を応用した家電製品の実用化に関する研究

Research of practical realization of consumer electronics products
applying lacquer painting and MAKIE lacquer technique

会津若松技術支援センター　産業工芸科　　原朋弥　堀内芳明　志鎌一江　須藤靖典　出羽重遠
会津若松技術支援センター　醸造・食品科　高橋亮
技術開発部　　　　　　　　工業材料科　　矢内誠人
委託企業　　　　　　　　　パナソニック株式会社　アプライアンス社

工業製品の塗剤として活用を検討している含漆 UV 塗料において、物性及び機能性の研究開発を行った。その結果、塗膜の速乾性、抗菌性、指紋拭き取り性、塗膜の折り曲げ性において有意性のある結果が得られた。

Key words: 含漆 UV 塗料、速乾性、抗菌性、指紋拭き取り性、折り曲げ性

１．緒言

工業製品の分野において付加価値の向上を目指した取り組みが積極的に行われている。従前より漆塗料は「人に優しく」、「衛生的で安全・安心」な塗料であることが知られており、これらの機能を持ち得た自然素材は他に例を見ないことから、家電製品開発に応用できるものではないかと考える。含漆 UV 塗料は工業製品に活用を目指して県で開発した技術である。本研究では、工業製品への塗剤として活用を検討している含漆 UV 塗料の物性及び機能性評価を目的として、速乾性、抗菌性、指紋拭き取り性、塗膜の折り曲げ性の検証を行った。

２．試験と結果

２．１．速乾性評価試験

漆は長い乾燥時間と特殊な乾燥条件（高温・高湿）が必要なため、工業製品に展開する際には生産性において大きな課題となる。含漆 UV 塗料は光重合により秒速硬化（速乾）することから、漆を工業製品に展開する際の生産性を補うことができる。含漆 UV 塗膜の速乾性を評価するため、アクリル板に含漆 UV 塗装したもの、漆を塗装したものをそれぞれ作製した後、エタノールに２４時間浸漬させ、ウルシオールを溶出させた。溶出させたウルシオールの定量には分光光度計（(株)島津製作所製、UV-2500PC）を用いて吸光度を測定し算出した。塗装後経過日数とウルシオール溶出量から含漆 UV 塗膜中の漆成分の速乾性の評価を行った。試験から含漆 UV 塗膜のウルシオール溶出量は UV 照射後３時間から６３日まで一定であるという結果が得られた（図１）。この結果から、含漆 UV 塗膜中の漆成分は UV 照射直後から硬化していることが確認された。

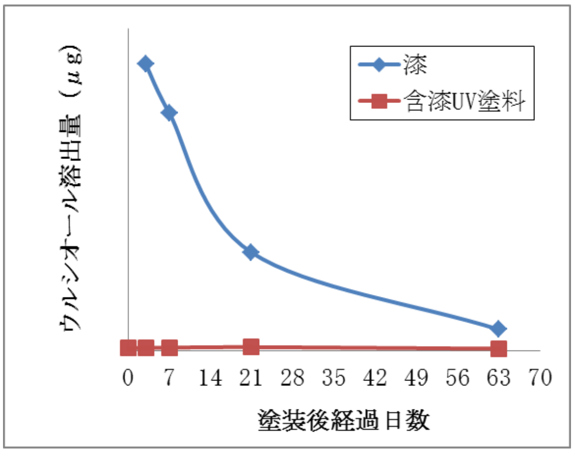


図１　各塗膜の塗装後経過日数とウルシオール溶出量

２．２．抗菌性試験

漆本来の機能性としても認知されている抗菌性に対して、含漆 UV 塗膜においてもその効果が維持されているか検証した。検証方法としては JIS Z 2801:2010 に準じた方法で試験を行った。試験菌種は、大腸菌と黄色ブドウ球菌の２種類を使用しポリエチレンフィルムに対して含漆 UV 塗料を塗装し、抗菌試験片とした。その結果、抗菌活性値としては大腸菌で 4.3、黄色ブドウ球菌では 3.1 であり、いずれの菌に対して抗菌性を有する結果が得られた（図２、図３）。

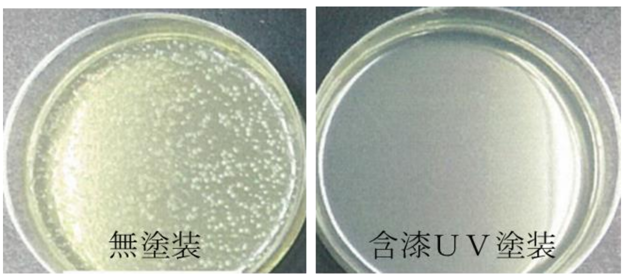


図２　大腸菌に対する抗菌性試験結果

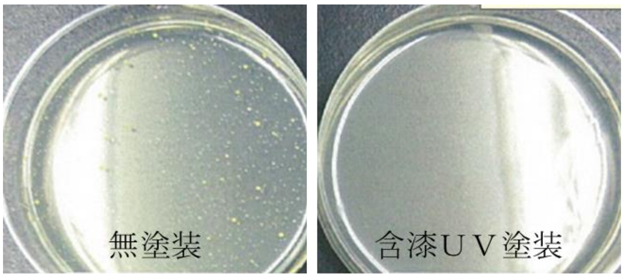


図３　黄色ブドウ球菌に対する抗菌性試験結果

２．３．指紋拭き取り性試験

直接触れる機会が多い家電製品等では指紋跡の拭き取り易さが求められることから、塗料変性を検討した含漆UV塗膜の指紋拭き取り性を評価した。アクリル板に含漆UV塗料、ウレタンを塗装したものとガラス板の評価を行った。試験の手順としては、まず試験板上に指紋を付着させた。その後、500g の重りに固定したワイピンググロスを使用し、１０往復して拭き取った後、微細なアルミ粉末を振りかけ、拭き残しを浮き上がらせる手法を採用した。指紋の拭き残しに付着した微細アルミ粉末は、ウレタン塗膜、ガラスに比べ、含漆UV塗膜の方が少なかった。これより、含漆UV塗膜の方が、指紋拭き取り性に対して優位性があると確認された（図４）。

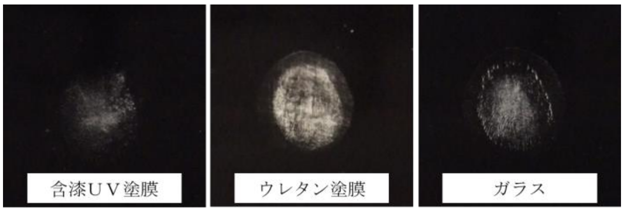


図４　指紋拭き残しに付着したアルミ粉末

２．４．折り曲げ性評価

含漆UV塗料については、組成を変化させ塗料の柔軟性を持たせることで、折り曲げが可能であることが確認されている。この成果を基に含漆UV塗料を塗装した厚さ0.4mmのステンレス板（SUS430）に対して、ベンダー曲げを行った試作品を製作した。塗装及び試作工程は下記の図５のとおりである。

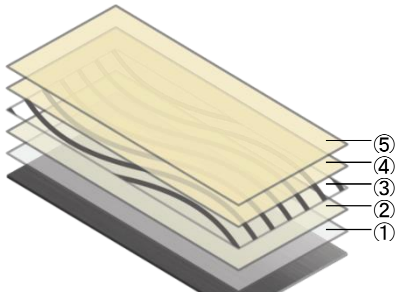


図５　塗装及び試作工程

加飾のデザインは２種類とし、詳細は下記の図６から図９の通りである。

・加飾パターン１「亀甲合わせ」（図６、７）
　大小の六角形を組み合わせて、立体感を表現した。
・加飾パターン２「大波」（図８、９）
　大小の大きさの異なるドットで大きな波を表現した。

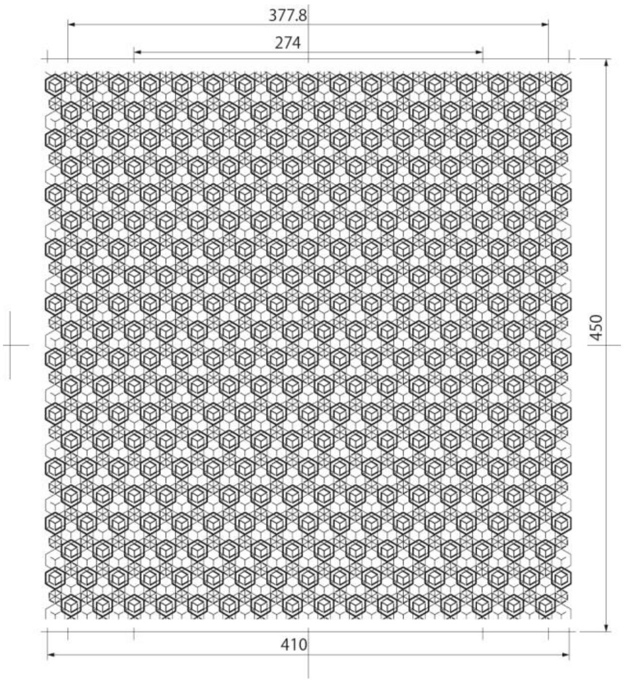


図６　工程③の加飾パターン１（ポジ）

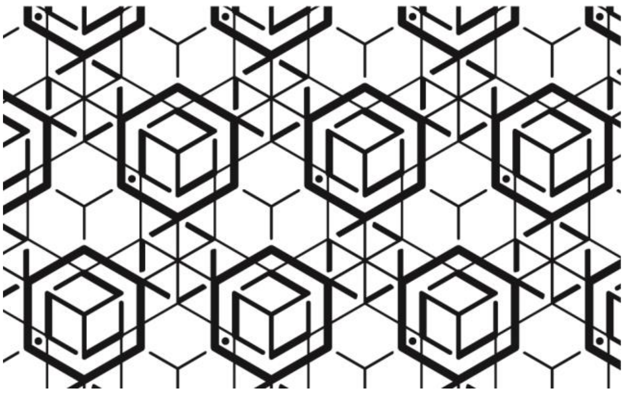


図７　工程③の加飾パターン１詳細（ポジ）

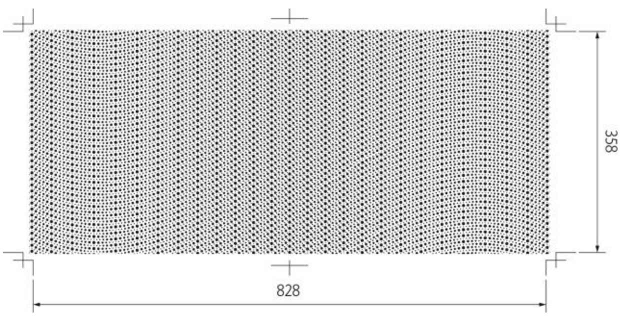


図８　工程③の加飾パターン２（ポジ）

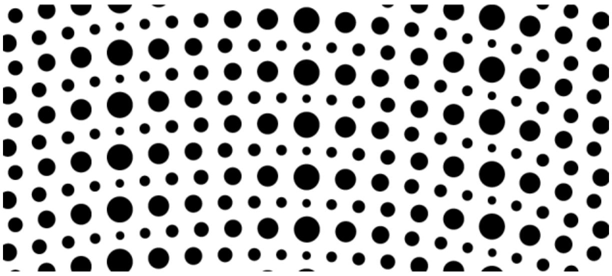


図９　工程③の加飾パターン２詳細(ポジ)

加飾に使用したインクや蒔絵は色別に粉を使い分けながら加飾を行った。

また、工程⑤において使用した含漆 UV 塗料は曲げ専用のオリジナル塗料として、再変性したものを使用し、柔軟性を重視したものである。

今回の試作では平面で加飾、塗装された SUS の平板を立体にし、当センターの研究発表会で展示し、公表した。完成品は図１０～１３の通りである。

今回の試作では曲げ R=5(㎜)、角度 90°までの加工であれば、曲げ加工後の塗膜の「ひび」、「割れ」などは見受けられず、良好な仕上がりが確認された。

図１０　試作品①写真（横から）

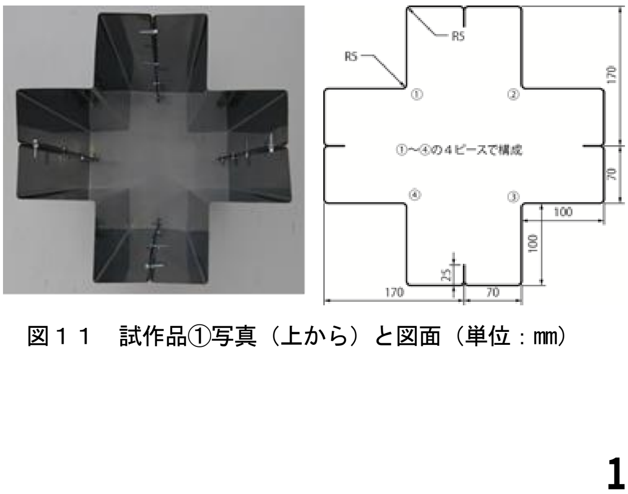


図１１　試作品①写真（上から）と図面（単位：㎜）

図１２　試作品②写真（横から）

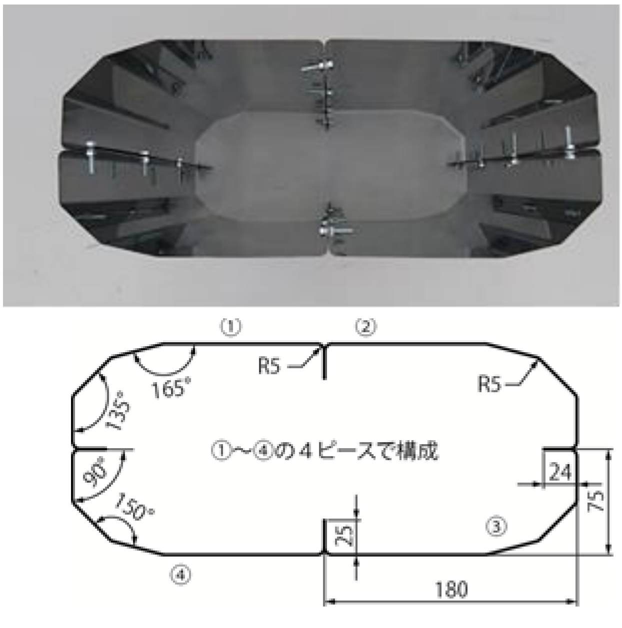


図１３　試作品②写真（上から）と図面（単位：㎜）

３．結言

含漆 UV 塗料の物性及び機能性を評価することで、工業製品に適用する際にネックになっていた速乾性を解消し、漆本来の機能性である抗菌性を有することが確認された。また、直接触れる機会が多い家電製品等を想定し、指紋拭き取り性を評価した結果、含漆 UV 塗料の優位性が確認された。また、ベンダー曲げによる機械加工（曲げ R=5(㎜)、曲げ角度 90°）後に塗膜の「ひび」や「剥離」が見られず、塗装後の折り曲げが可能

であることを確認した。
　平成２９年度においては、これまでの研究によって得られた知見を技術移転することを目標とする。併せて折り曲げ性評価をさらに行い、加工の限界点を明確にする。

漆塗装や蒔絵技術を応用した車載製品の研究開発

Research and development of automotive products
applying lacquer painting and MAKIE lacquer technique

会津若松技術支援センター　産業工芸科　原朋弥　堀内芳明　志鎌一江　須藤靖典　出羽重遠
委託企業　パナソニック株式会社　ＡＶＣネットワークス社

工業製品の塗剤として活用を検討している含漆 UV 塗料において、車載製品を意識したデザインサンプルの製作と耐光性に関する研究開発を行った。その結果、車載製品向けの高級感のあるデザインサンプルの提案と高い耐光性能を有する塗膜構成を確立した。

Key words: 含漆 UV 塗料、梨地子塗、耐光性

１．緒言

工業製品の分野において付加価値の向上を目指した取り組みが積極的に行われている。従前より漆塗料は「人に優しく」、「衛生的で安全・安心」な塗料であることが知られており、これらの機能を持ち得た自然素材は他に例を見ないことから、車載製品に応用が期待されている。

本研究では、工業製品への塗剤として活用を検討している含漆 UV 塗料を車載製品に活用することを目指し、伝統技法である「梨子地塗」を応用した新しい色調で「奥行き感」、「深見感」を表現した、高級感のあるデザインサンプルの試作を行った。また、前述したデザインサンプルに対して車載部品として重要な試験項目である耐光性評価を行った。さらに、「梨子地」以外の伝統技法を応用した新たなデザインサンプルの製作も行った。

２．試験と結果

２．１．デザインサンプル試作

高級車に搭載する製品には高級感が求められている。このため、漆塗装に見られる蒔絵技術を応用した「奥行き感」、「深見感」を表現することで、今までにない高級感を表現したデザインサンプルを製作した。

「奥行き感」、「深見感」を表現する工法を確立する目的から、塗装技術である「梨子地」の応用と「蒔き暈かし（まきぼかし）」工法で試作を行った。塗膜構成は図１の通りである。

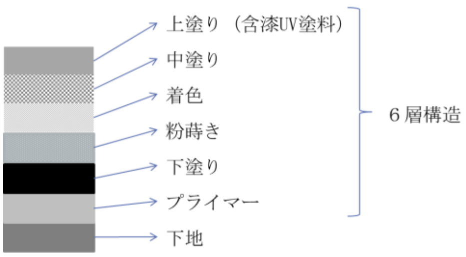


図１　塗膜構成

赤、青、緑の３色のデザインサンプルを製作した。いずれも「奥行き感」・「深見感」を表現した高級感のあるデザインサンプルが完成した。完成品は図２～４の通りである。

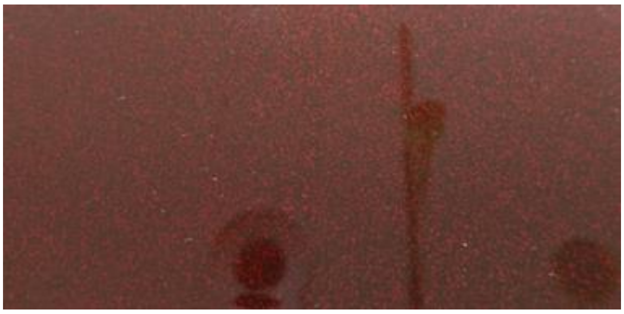


図２　伝統技法「梨子地」応用のデザインサンプル（赤色）

図３　伝統技法「梨子地」応用のデザインサンプル（青色）

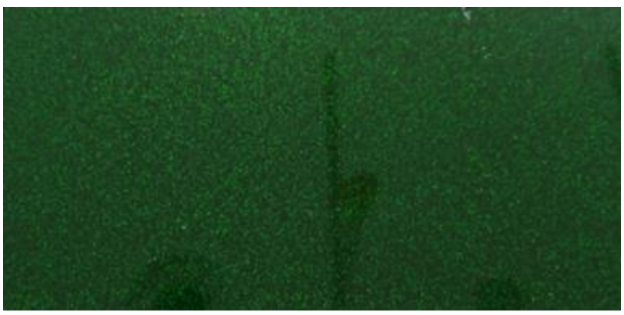


図４　伝統技法「梨子地」応用のデザインサンプル（緑色）

２．２．耐光性試験

一般に漆は耐光性が低いことが知られている。含漆UV 塗料を上塗りとして適用することで、紫外線による塗膜の退色が想定される。物性評価の中でも、耐光性を向上させることを本研究の優先事項とした。耐光性の評価としては色差を用いた。耐光性試験前後の色差の目標値として「色差 3.0 以下」として研究を行った。色差 3.0 以下とは「一般に色の離間比較ではほとんど気付かれないレベルであり、一般には同じ色だと思われているレベル」である。耐光性試験、色差の評価はいずれも委託元企業が実施した。

試験では上塗塗剤である含漆 UV 塗料だけでなく、下塗塗剤、中塗塗剤に使用したウレタン塗料、UV 塗料、顔料の耐光性評価も併せて行った。試験結果は図５～７の通りである。

その結果、対策前後で各色の耐光性を向上させることができた。目標とする色差 3.0 以下を大きく下回る色差1.5以下を達成する塗膜構成を確立した。色差1.5以下とは「色の隣接比較で、わずかに色差が感じられるレベル。一般の測色器機間の誤差を含む許容色差の範囲」である。

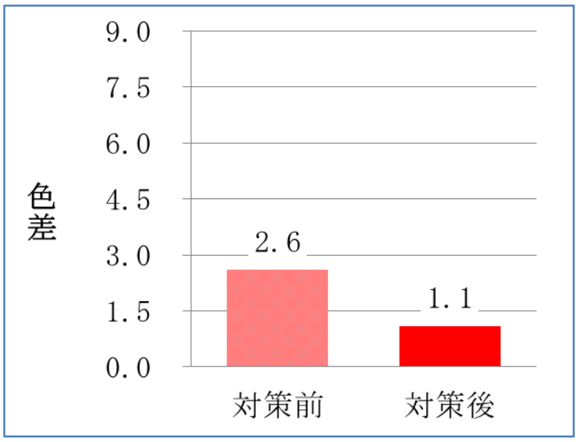


図５　耐光性試験結果（赤色）

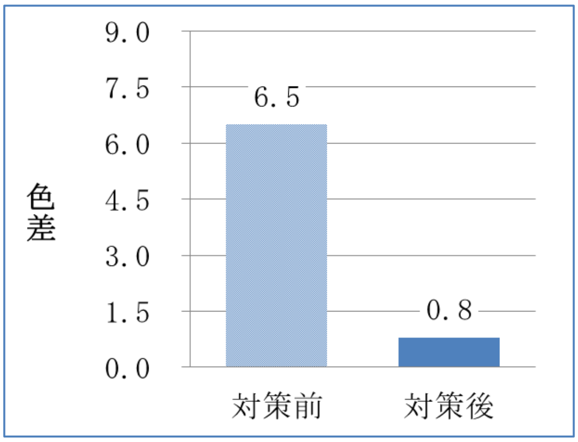


図６　耐光性試験結果（青色）

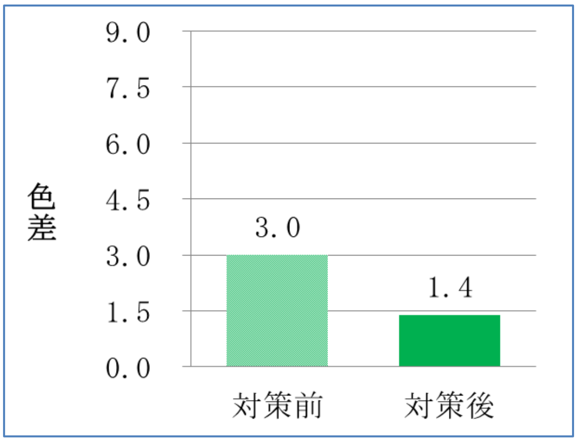


図７　耐光性試験結果（緑色）

２．３．デザインサンプル

伝統技法「梨子地」を応用したデザインサンプルを提案したが、その他の伝統技法を応用して新しいデザインの提案も行った。新しく提案したデザインは図８～１１の通りである。それぞれのデザインサンプルの塗装工程は表１～４の通りである。

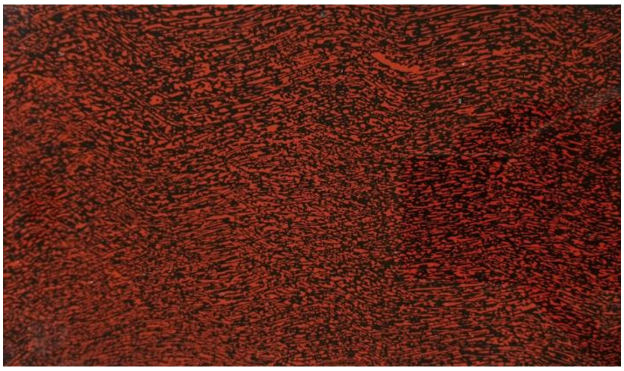


図８　伝統技法「時雨」デザインサンプル

表１　伝統技法「時雨」塗装工程

工程	作業内容
1	アクリルウレタン塗料（赤色）をアクリル板全面に塗装する
2	アクリルウレタン塗料（赤色）が乾かないうちに金ブラシで模様を付けながら凹凸を付ける
3	アクリルウレタン塗料（黒色）をアクリル板全面に塗装する
4	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎし、アクリルウレタン塗料（赤色）を研ぎ出す
5	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
6	ＵＶ塗料（クリヤー）を塗装する
7	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
8	含漆ＵＶ塗料（赤色）を塗装する

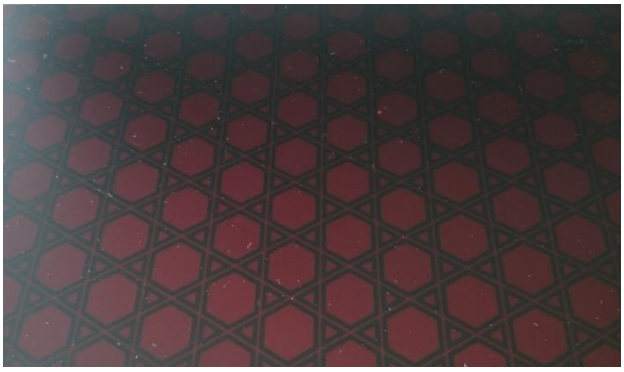


図９　伝統技法「籠目」デザインサンプル

表２　伝統技法「籠目」塗装工程

工程	作業内容
1	シルクスクリーン印刷（黒色）をする
2	アクリルウレタン塗料（赤溜）を塗装する
3	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
4	ＵＶ塗料（クリヤー）を塗装する
5	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
6	含漆ＵＶ塗料（赤色）を塗装する

図１０　伝統技法「叩き」デザインサンプル

表３　伝統技法「叩き」塗装工程

工程	作業内容
1	アクリルウレタン塗料（黄色）をスポンジに付けてアクリル板に叩きながら付ける
2	アクリルウレタン塗料（オレンジ）をアクリルウレタン塗料（黄色）が見えなくなるまで塗装する
3	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎし、アクリルウレタン塗料（黄色）を研ぎ出す
4	ＵＶ塗料（クリヤー）を塗装する
5	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
6	含漆ＵＶ塗料（クリヤー）を塗装する

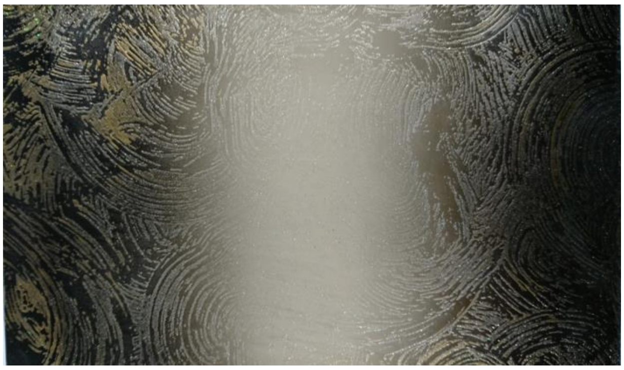


図１１　伝統技法「絞模様」デザインサンプル

表４　伝統技法「絞模様」塗装工程

工程	作業内容
1	アクリル板の上下にグラデーションになるようにアクリルウレタン塗料（黒色）を塗装する
2	シルクスクリーン印刷（クリヤー）をする
3	パール、金、銀粉を蒔く
4	アクリルウレタン塗料（クリヤー）を塗装する
5	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
6	ＵＶ塗料（クリヤー）を塗装する
7	耐水ペーパー＃１０００で水研ぎする
8	含漆ＵＶ塗料（黒色）を塗装する

３．結言

車載製品向けの高級感のあるデザインサンプルの検討を行った。高級感の表現方法としては蒔絵技術である「梨子地」の応用と「蒔き暈かし」工法を用いて「奥行き感」、「深見感」を表現することが達成できた。また、赤、青、緑の３色のカラーバリエーションを持つことで、色の選択性を持たせた。

車載製品に漆を適用する上で、最も懸念される耐光性の評価を行った。その結果、当初懸念された上塗塗剤の含漆 UV 塗料だけでなく、下塗塗剤、中塗塗剤に使用したウレタン塗料、UV 塗料、顔料の改良が必要であることが明らかとなった。

また、耐光性に関しては含漆 UV 塗料だけでなく、ウレタン塗料や UV 塗料､顔料に関しても耐光性を向上させる塗膜構成を確立できた。その結果、耐光性としては色差 1.5 以下の塗装工法を確立することができた。

さらに、車載製品向けの高級感のあるデザインとして、伝統的技法である「時雨」､「籠目」､「叩き」､「絞模様」を応用したデザインも提案した。本研究で得られた耐光性に関する結果を適用することで、これらのデザインに対しても耐光性を向上した塗膜にすることが可能である。

車載製品として適用されるためには今回評価した耐光性以外の耐薬品性や機械強度等の検討事項が残っているが、最も懸念された耐光性を達成できたことで、実用化へ大きく進展したと考える。耐光性以外のスペックに関しても今後も継続して評価を行っていきたいと考える。

<u>福島県ハイテクプラザ試験研究報告</u>

平成２８年度（２０１６年度）

平成２９年９月発行

福島県ハイテクプラザ
〒963-0297 郡山市待池台一丁目１２番地

代　　　　　表	０２４－９５９－１７４１
企画管理科	０２４－９５９－１７３６
産学連携科	０２４－９５９－１７４１
工業材料科	０２４－９５９－１７３７
生産・加工科	０２４－９５９－１７３８
プロジェクト研究科	０２４－９５９－１７３９
Ｆ　　Ａ　　Ｘ	０２４－９５９－１７６１

福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター
〒960-2154　福島市佐倉下字附ノ川１－３

代　　　　　表	０２４－５９３－１１２１
繊維・材料科	０２４－５９３－１１２２
Ｆ　　Ａ　　Ｘ	０２４－５９３－１１２５

福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター
〒965-0006 会津若松市一箕町大字鶴賀字下柳原８８－１

代　　　　　表	０２４２－３９－２１００
醸造・食品科	０２４２－３９－２９７７
産業工芸科	０２４２－３９－２９７８
Ｆ　　Ａ　　Ｘ	０２４２－３９－０３３５

福島県ハイテクプラザいわき技術支援センター
〒972-8312　いわき市常磐下船尾町字杭出作２３－３２

機械・材料科	０２４６－４４－１４７５（代表）
Ｆ　　Ａ　　Ｘ	０２４６－４３－６９５８

編集
福島県ハイテクプラザ　企画管理科
URL http://www.pref.fukushima.lg.jp/w4/hightech/index-pc.html
E-mail hightech-info@pref.fukushima.lg.jp