

ISSN 0919-6676  
CODEN: SFHPFE

# 試験研究報告

平成29年度

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

# 平成29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

#### 新製品・新技術開発促進事業

- 1 めっき寸法変化要因解析……………1  
技術開発部 生産・加工科 三瓶義之  
応募企業 カンタツ株式会社
- 2 反射ミラーの外観自動検査技術の開発……………3  
技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 太田悟 尾形直秀  
応募企業 株式会社吉城光科学
- 3 小径ステンレス管の内面研磨技術の確立……………6  
技術開発部 生産・加工科 緑川祐二 山口泰寿  
応募企業 ジーエルサイエンス株式会社
- 4 ヒト受精卵培養ディッシュの微細構造部分の開発……………9  
技術開発部 生産・加工科 三瓶義之  
応募企業 有限会社乾メディカル
- 5 電気柵の高電圧降下監視装置の改良と評価……………11  
技術開発部 プロジェクト研究科 三浦勝吏  
応募企業 株式会社福島三技協
- 6 ユニバーサルファッション衣料生地の開発……………15  
福島技術支援センター 繊維・材料科 長澤浩  
応募企業 齋栄織物株式会社
- 7 極薄桐材の漂白加工方法の検討……………19  
福島技術支援センター 繊維・材料科 伊藤哲司  
応募企業 株式会社松竹工芸社
- 8 短時間製麹における酒質への影響……………21  
会津若松技術支援センター 醸造・食品科 鈴木賢二 松本大志 猪俣有唯  
中島奈津子 菊地伸広  
応募企業 鶴乃江酒造株式会社
- 9 3D技術を活用した鈴木式ろくろのすり型自動生成プログラム開発……………24  
会津若松技術支援センター 産業工芸科 堀内芳明 齋藤勇人 出羽重遠  
応募企業 工房 石原木工所
- 10 デジタル技術による漆器の立体加飾(蒔絵)の開発……………27  
会津若松技術支援センター 産業工芸科 出羽重遠 堀内芳明  
応募企業 漆工房 佐藤
- 11 桐製壁紙の品質と生産性向上……………30  
会津若松技術支援センター 産業工芸科 出羽重遠 齋藤勇人  
応募企業 株式会社松竹工芸社
- 12 直線及び曲げ溶接部用バックシールド治具の開発……………33  
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 タニコー株式会社 福島小高工場

---

## 福島の未来を担う開発型企業育成支援事業

---

- 1 超硬合金へのめっき密着性向上のための粗化……………36  
技術開発部 生産・加工科 三瓶義之  
応募企業 株式会社エム・ティ・アイ

### ○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(第2報)……………38  
技術開発部 プロジェクト研究科 柿崎正貴 安藤久人 三浦勝吏 菅野雄大
- 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……………42  
技術開発部 プロジェクト研究科 吉田英一 菅野雄大 三浦勝吏 高樋昌  
農業総合センター 企画経営部 木幡栄子 河原田友美 宮和佳子 青田聡

---

#### 産総研福島拠点連携技術開発推進事業

---

- 1 水素社会実現のためのプラント運転管理・点検技術開発……………50  
技術開発部 工業材料科 工藤弘行 市川俊基 夏井憲司  
技術開発部 生産・加工科 塚本遊 太田悟 稲葉勉
- 2 市販サイズのメタルラップスルー型太陽電池の試作……………57  
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  
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  
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  
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 棚橋克人 望月敏光 木田康博

---

#### 福島県オリジナル清酒製造技術の開発

---

- 1 福島県オリジナル清酒製造技術の開発(第1報)……………63
- 2 福島県オリジナル清酒製造技術の開発(第2報)……………67  
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 猪俣有唯  
松本大志 鈴木賢二

---

#### 基盤技術開発支援事業

---

- 1 海水中におけるプラスチックの劣化挙動……………69  
技術開発部 工業材料科 菊地時雄

- 2 微生物発酵による藍染め技術の開発……………72  
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
- 3 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……………75  
会津若松技術支援センター 醸造・食品科 小野和広 松本大志 菊地伸広
- 4 フィールドロボット向け環境試験・信頼性試験技術……………78  
技術開発部 工業材料科 工藤弘行 矢内誠人

## 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……………82  
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・機能性を活かした加工技術の開発……………85  
会津若松技術支援センター 醸造・食品科 遠藤敦史 鈴木英二  
農業総合センター 生産環境部 流通加工科 馬淵志奈 関澤春仁
- 2 食品企業での利用を前提とした雪下野菜の特性評価……………90  
会津若松技術支援センター 醸造・食品科 鈴木英二 遠藤敦史  
農業総合センター 会津地域研究所 星佳織  
農業総合センター 生産環境部 流通加工科 関澤春仁

## 受託研究開発事業

- 1 アルミ合金鋳物の合金組織と金属組織に関するデータベースの構築……………94  
技術開発部 工業材料科 矢内誠人 夏井憲司 西村将志  
委託機関 地方独立行政法人岩手県工業技術センター
- 2 AI技術を用いた業務用インクジェット印刷機の印刷品質の検査技術に関する  
考察……………98  
技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 塚本遊 太田悟 尾形直秀  
委託企業 有限会社品川通信計装サービス
- 3 新規防草シートの開発……………104  
福島技術支援センター 繊維・材料科 東瀬慎 長澤浩 中村和由  
委託企業 アルテクロス株式会社
- 4 新規シルクデニット糸の開発……………108  
福島技術支援センター 繊維・材料科 東瀬慎 長澤浩 中村和由  
委託機関 一般財団法人大日本蚕糸会
- 5 漆塗料や蒔絵技術を応用した家電製品の実用化に関する研究……………112  
会津若松技術支援センター 産業工芸科 原朋弥 堀内芳明 須藤靖典  
出羽重遠  
委託企業 パナソニック株式会社 アプライアンス社

本試験研究報告における研究区分については、次により分類したものとなっております。

○企業支援業務

新製品・新技術開発促進事業（平成29年度から実施）

県内企業が直面している技術的課題をハイテクプラザが代わりに解決し、その成果を技術移転することで製品開発の支援を行うもの。

福島未来を担う開発型企業育成支援事業（平成28年度まで実施）

被災した県内企業等を訪問して情報収集し、企業単独では解決が困難な課題に対して、ハイテクプラザと共同で技術開発を行うもの。

○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

震災からの産業復興のため、次世代の新たな産業分野であるロボット産業の集積を目指し、ハイテクプラザにおいてロボットの要素技術開発を行うもの。

産総研福島拠点連携技術開発推進事業

水素関連分野及び再生可能エネルギー分野に携わる技術開発を行うもの。

福島県オリジナル清酒製造技術の開発

県産原料を用いた県産清酒の多様化と更なる高品質化による県産品振興を図るため、県産酒の差別化を目指した醸造技術の開発を行うもの。

基盤技術開発支援事業

震災からの復興やグローバル化などの課題に直面する地域産業の振興のため、先導的技術や独自技術の開発を行うもの。

産業廃棄物減量化・再資源化技術支援事業

産業廃棄物対策をはじめとした循環型社会の構築のため、産業廃棄物排出事業者へ技術面から支援を行うもの。

科学技術調整会議共同研究事業

福島県の県内7試験研究機関等において、各機関単独では解決困難な課題について共同で研究を行うもの。

受託研究開発事業

企業や団体などからの研究委託を受けて行うもの。

# めっき寸法変化要因解析

## Factor analysis of dimension change for plating of mold

技術開発部 生産・加工科 三瓶義之  
応募企業 カンタツ株式会社

応募企業ではスマートフォン用カメラのレンズ金型の製造を行っており、客先から精度向上および長寿命化が要求されている。しかし、長期の連続成型では金型が設計形状から数十 nm の形状変化をおこし、その原因究明が急務となっている。本研究では試作した金型について種々の熱処理を行い、形状測定、X線回折測定および硬度測定により、熱履歴と金型の形状変化との関連性について評価した。その結果、熱履歴により金型母材に硬度の変化が起こっていることが確認された。形状変化はそれにより起こっていると考えられる。

Key words: 樹脂成型、金型、めっき

### 1. 緒言

スマートフォンカメラ用のレンズは樹脂成型により作製され、カメラの高性能化にともない高い形状精度と低コスト化が求められている。

応募企業においては、レンズ金型は金属母材上に施した無電解ニッケルめっきの厚膜を旋削加工することにより作製しているが、長期間の成型作業後では当初の形状から数十 nm の形状変化が起き、光学性能に問題が出ていることが分かった。

レンズ形状精度の向上と金型寿命を伸ばすためには、この形状変化の原因について究明する必要がある。

この長期使用後の形状変化の原因としては、まず、摩耗によるものが考えられるが、使用前後で金型表面の旋削痕に磨滅が見られず、複数個の金型において変化の傾向に共通点がみられないことから、摩耗が大きな原因であるとは考えづらい。

摩耗以外の要因としては、金型は成型に使用される間中 200[°C]以上の温度にさらされることから、金型表面のめっきあるいは金型母材自体が組織変化を起こし、それによって微小な変形を起こしているということが考えられる。

そこで、本研究では、形状加工後に種々の熱処理を施した金型を作製し、形状の測定、めっき被膜の X 線回折および金型母材の硬度測定を行い、金型素材の組織変化について評価を行った。

### 2. 実験

#### 2. 1. 試料

金型の母材にはマルテンサイト系ステンレス鋼である STAVAX を用いた。

金型のレンズ面となる部分については母材に無電解ニッケルめっきを厚く析出させたものを使用した。

寸法安定性および加工性向上のために行う熱処理として、熱処理なし、120[°C]、12[時間]、300[°C]、5[分]

の 3 条件の処理を行い、その後めっき被膜をレンズ形状に加工したものを試料とした。

#### 2. 2. レンズ形状測定

金型が成型時の熱により形状変化が発生するか確認するため、成型時と同等の温度に過熱し、その前後での形状の変化を測定した。

加工直後に金型の形状を計測し、成型時の加熱を模擬した 150[°C]、24[時間]の熱処理を 3 回行った後に加熱前の形状からの変化量を計測した。

計測はこれまでの金型寸法計測と同一条件で測定するため、カンタツ株式会社内のパナソニック製三次元測定機 UA3P を用いて行った。

それぞれの金型について、加工直後からの形状変化量の平均値について図 1 に示す。

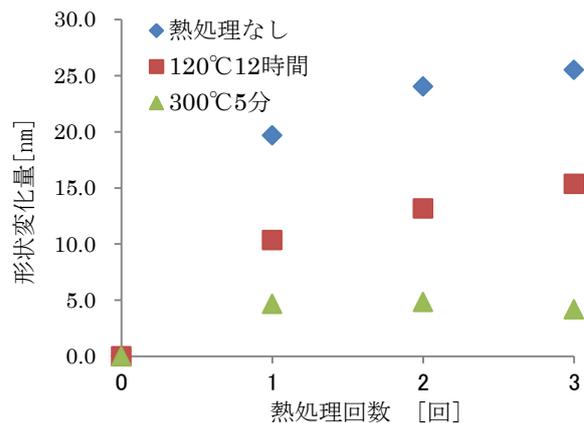


図 1 成型を模擬した加熱での形状変化量

図 1 より、熱処理なしのものでは大きな形状変化が観測されたのに対し、熱処理を施したものでは、それが抑えられていることが観測された。

このことから金型使用中の形状変化抑制には、めっき後に熱処理を行い、その後レンズ形状の加工を行うことが有効であると考えられる。

事業課題名「めっき寸法変化要因解析」

### 2. 3. めっき面の結晶構造解析

金型のレンズ面に使用されている無電解ニッケルめっきは、析出直後はアモルファス状態であり硬度も比較的低いが、熱処理で被膜中にニッケルとリンの化合物を析出させることで大幅に硬度を向上させることができる。しかし、この過程は組織変化を伴うため、高精度な金型においては寸法変化の要因となることも考えられる。

そこで、形状測定に用いられた試料についてX線回折測定を行い、ニッケルめっきの結晶状態に差異がみられないか測定を行った。また、実際にレンズ成型に10万ショット使用した金型および大きな形状変化を示した15万ショット使用した金型についても同様の測定を行った。

X線回折は、ハイテクプラザに設置されているRIGAKU製RINT2000を使用し、絞り径0.1[mm]、管電圧40[kV]、管電流200[mA]の条件で微小部X線回折測定を行った。

測定されたX線回折スペクトルについて図2に示す。

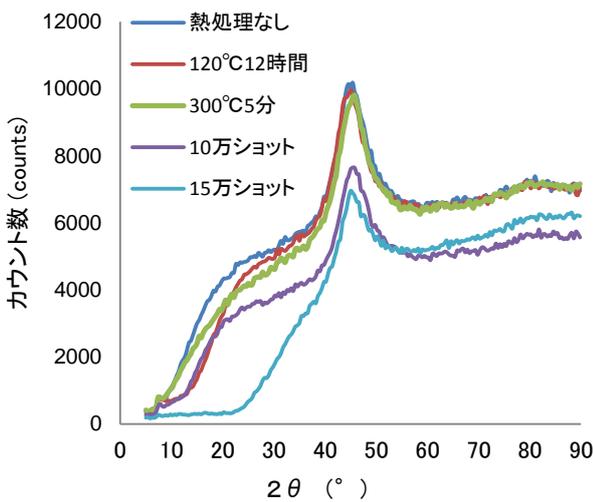


図2 ニッケルめっきのX線回折スペクトル

図2より、測定されたいずれの金型においてもスペクトルの形状に差は見られなかった。このことから、ニッケルめっきは熱処理あるいは長期間の成型にさらされてもアモルファス状態のまま変化しておらず、ニッケルの再結晶やニッケルとリンの化合物の析出は起こっていないことが確認された。

### 2. 4. 金型母材の硬度測定

金型の母材に使用されている STAVAX は高精度の金型材として一般的に使用されている実績のある鋼材である。しかし、熱処理や長期間の成型にさらされた場合には一部に何らかの組織変化が起こり、それに伴って微小な形状変化が起こされる可能性も考えられる。

しかし、数十 nm の寸法変化の原因となるような、わ

ずかな組織の変化は、顕微鏡によるマクロ組織観察やX線回折によって評価することは難しい。

そこで、組織の変化について情報を得るため、金型母材の STAVAX について硬度測定を行った。

X線回折測定を終了した金型を試料とし、島津製作所製マイクロビッカース硬度計 HMV-2ADW を用い無電解ニッケルめっきが施されていない部位について、荷重0.2[mN]の条件で硬度測定を行った。

その結果を表2に示す。

表2 熱処理による金型母材の硬度の違い

	熱処理 なし	120[°C] 12[時間]	300[°C] 5[分]	10万 ショット	15万 ショット
硬度 [HV]	679	690	661	669	626

表2より、熱処理なしの金型に比べて120[°C]、12[時間]の熱処理を加えたものは、わずかに硬度が上昇し、逆に300[°C]、5[分]の熱処理を加えたものでは、わずかに低下していることが確認された。

成型に使用されていた金型については硬度の低下傾向がみられ、特に大きな形状変化が見られた15万ショットの金型では1割ほどの硬度低下が確認された。

このことは、熱履歴により金型材の内部応力の緩和や、わずかな組織の変化などが起き、それにより硬度が変化していることを表していると考えられる。金型のわずかな形状変化はこの組織変化によって引き起こされているものと考えられた。

## 3. 結言

長期間の成型による金型の形状変化の原因を究明するため、種々の熱処理を施した試料を試作し、成型を模擬した熱処理を加えて形状測定を行った。また、実際に成型に長期間使用した金型を試料に加えてX線回折測定および硬度測定を行い、以下の知見を得た。

- ・熱処理後の形状測定結果より、形状加工前に適切な熱処理を行うことで、長期使用でも形状変化を抑えられることができた。

- ・ニッケルめっき表面のX線回折測定の結果より、めっきは組織変化を起こしていないことが確認された。

- ・金型母材の硬度測定結果より、熱履歴によって硬度は変化し、特に大きな形状変化が発生した金型ではそれが大きいことが確認された。

これらのことから、金型の形状変化の原因は形状加工後の熱履歴により、わずかな組織変化が起こったことによるものと考えられた。

# 反射ミラーの外観自動検査技術の開発

Development of automatic inspection technology for appearance of reflection mirror

技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 太田悟 尾形直秀  
応募企業 株式会社吉城光科学

複写機等で使用される反射ミラー表面の外観検査を自動で行うための要素技術として、傷などの有無の判別を容易にする可視光による撮像方法の検討を行った。さらに得られた画像を用いて傷などの長さや面積を同定するための検出アルゴリズムの検討を行い、それらを組合わせて傷などの有無を判別する手法について開発を行った。

Key words: 鏡表面、製品検査、目視検査、自動化

## 1. 緒言

応募企業の株式会社吉城光科学では、複写機等で使用される反射ミラーを製造している。出荷検査においては、不良と判断される傷の線幅は数 $\mu\text{m}$ で、熟練した検査員の目視による検査が行われている。この検査工程にかかる時間を短縮するためには、産業用カメラを用いた画像解析による自動化が有効であるが、ミラー表面のような光沢面の撮影は光の反射により照明方法が難しく、自動化することは困難である。

本技術開発では、目視による検査工程の自動化のための要素技術として、産業用カメラを用いてミラー表面の傷を検出するための適切な照明方法や必要なカメラの解像度について検討を行った。また、上述の検討を行った手法によって得られた画像を使って、傷の長さや面積を同定するために、エッジ検出などを容易に行える OpenCV<sup>1)</sup>を用いた画像処理を行い、傷の検出に有効なアルゴリズムの検証を行った。

本報告では、傷を判別するための適切な撮像条件と、それにより得られる画像を処理して傷の有無を判別する手法について説明する。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 撮像方法の検討

可視光により撮像する方法としては、図1に示すように検査対象のミラー表面に垂直に光をあて、傷そのものの形状をカメラに取り込む手法1と、図2に示すように、傷によって散乱された光を取り込む手法2の2種類の手法が考えられる。

手法1は、反射率の違いを利用したもので、傷の部分は反射率が低くなっているため、正常な部分と比べると暗くなって見える。この手法の優位点としては、反射光がカメラに対して平行光として入射してくるため、傷の大きさを正確にとらえやすいということがあげられる。しかし、より広範囲を見ようとして視野を広げると、低解像度のカメラでは小さな傷を検知でき

なくなってしまう。

手法2は、光の散乱を利用したもので、傷の部分で散乱された光のみをカメラに取り込み、反射光自体は取り込まないものである。したがって、傷の部分では明るく見え、その他の領域については暗く見える。この手法の優位点としては、光源とカメラのみの単純な構成で実現できる点と、取り込む光が散乱光のためカメラに取り込む際に実際の傷よりも大きく見える点である。

本開発では、傷をまず発見すること、そして視野を広げて一度に多くの領域を検査するという点に重点を置き、手法2を採用することとした。

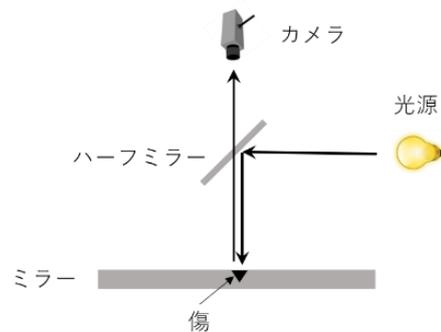


図1 手法1（反射光を取り込む場合）

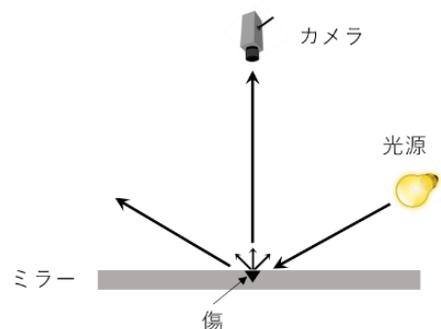


図2 手法2（散乱光を取り込む場合）

事業課題名「反射ミラーの外観自動検査技術の開発」

## 2. 2. 撮像時の装置配置

実験で使用したカメラ、レンズ、照明などの主な機器構成と画像取り込みの方法について示す。図3はカメラと照明装置の配置図である。照明はリング型のもを使い、リング下部より斜め下方向に 360[°] 全方位から中心部に向かって光を照射するものになっている。これにより反射光は直接カメラに入射することなく、傷部分の散乱光のみを捉えることができる。機器配置は図4に示すとおりである。カメラと取り込み用パソコンの接続にはUSB 3.0ケーブルを用い、レンズとリング照明の間には黒い筒状の紙を設置した。これにより、外部からの光を除去し、傷による散乱光のみを取り込むようにした。主な機器の構成は表1に示すとおりである。

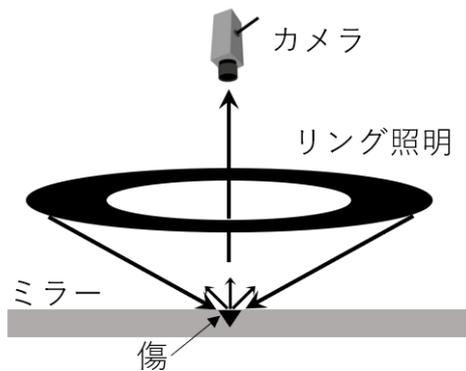


図3 照明装置の配置図

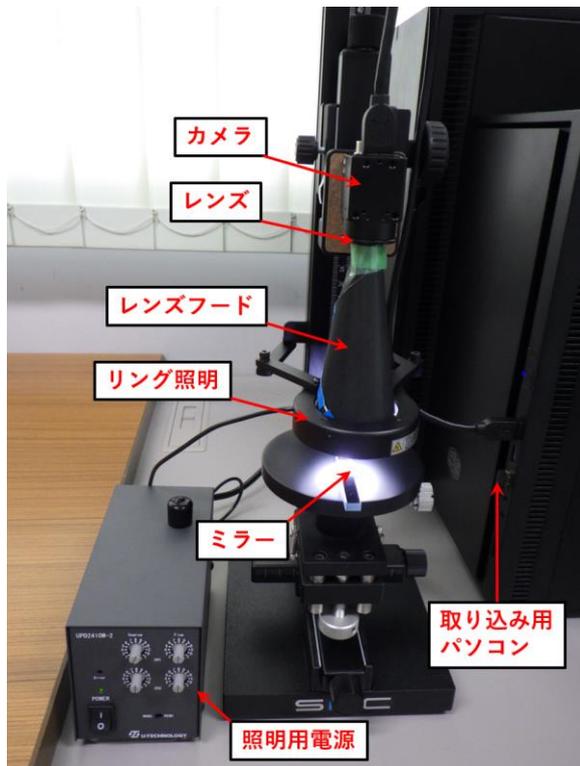


図4 画像取り込み時の機器配置

表1 機器構成

機器名	メーカー / 型番	スペック等
USB3.0カメラ	オムロンセンテック / STC-MCS500U3V	有効画素数 : 2448×2048
マクロレンズ	ヴィ・エス・テクノロジー / VS-MC03-100	倍率 : 0.3 WD(mm) : 105.8
リング照明	ユーテクノロジー / ULR-48W74	発光色 : 白 消費電力 : 24V/5.7W

## 2. 3. 撮像条件

測定条件として最も明確に傷が見える条件を探ったところ、ミラー照明間の距離は 20[mm]程度、照明の明るさは 256 階調のうち 64 程度であった。以上のような機器構成、測定条件で取り込んだ反射ミラー表面の画像を図5に示す。撮像対象のサンプルには、赤い丸印の中に 10[μm]ほどの幅の傷があるものを用いた。取り込んだ画像で傷の幅のピクセル数を数えたところ約 5 ピクセルであった。スケールを置いて縮尺を確認したところ、1ピクセルあたり約 10[μm]であったので、実物で約 10[μm]の傷は、光の散乱で取り込み画像上では約 50[μm]の大きさで見えることがわかった。

仮に 2[μm]の傷を検出することを考えると、2[μm]の傷は約 10[μm]の大きさに見えるので、10[μm]で最低 1ピクセルあれば検出可能ということになる。したがって、必要な解像度は 1[mm]あたり約 100ピクセルということになる。

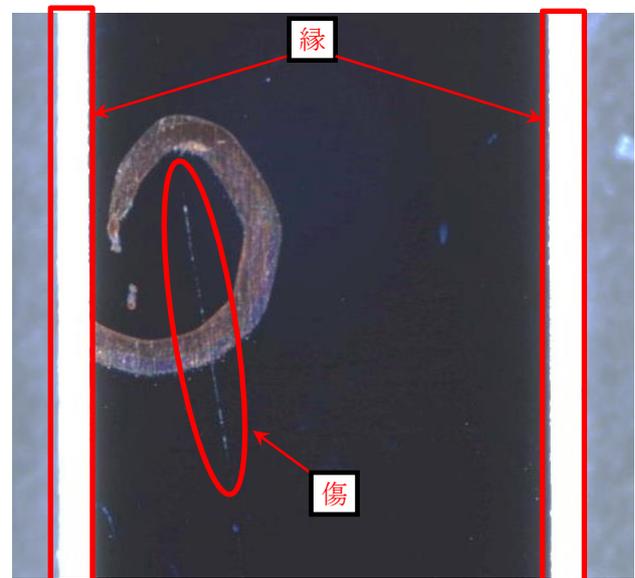


図5 取り込み画像

## 2. 4. 傷検出アルゴリズム

傷検出を行うためには、図5で示したような画像から検査範囲を特定する必要がある。図5からわかるようにミラーの縁部分では光が散乱されほかの部分よりも明るくなっていることがわかる。検査範囲の特定に

は、この明るさの違いを利用するのがよいと考えられる。そこで、色の違いを利用し、その境界を特定するアルゴリズムであるエッジ検出を傷検出の範囲設定に利用することとした。このアルゴリズムは、色が異なっている境界線を、二値化した画像で示すというものである。エッジ検出を実行するにあたっては、OpenCV ライブラリを利用した。

次に、設定された傷検出範囲内において傷を検出する方法を検討した。ミラー表面は正常部分であれば暗くなり、傷など異常があればそこで光が散乱され明るくなるので、検査範囲内にある全画素について閾値処理をし、ある明るさ以上の画素は傷部分として白（値：255）、それ以外を黒（値：0）とする二値化処理をすることで傷を判別できる。二値化処理をする場合は、入力画像はモノクロ画像である必要があるため、3チャンネルのカラー画像をグレースケール化して二値化処理を行った。

### 3. 実験結果及び考察

図6は実際に検出範囲の設定から傷の検出までを実装したプログラムによる傷検出の結果である。プログラミングの開発環境としてはマイクロソフトビジュアルスタジオコミュニティ2015を、プログラミング言語としてはC++を用いた。撮像した画像に重ねて傷として検出された部分を赤色で示すようにしてある。また、二値化処理の画素値の閾値は最大値255のうち25とした。

表面のよごれや傷のマーキングの部分なども傷として検出されてしまっているが、丸印の内部にある傷の部分が赤色で示され、傷として検出されていることが分かる。赤色の画素数を数え上げれば、実寸との対応関係から、傷の長さや面積なども計算が可能であると考えられる。

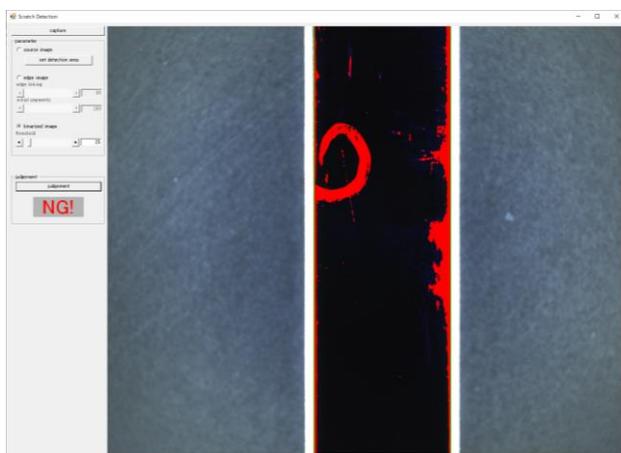


図6 プログラムによる傷の検出

### 3. 結言

本研究では、ミラー表面の撮像に必要な機器とその手法、OpenCVのエッジ検出による検査範囲の設定、そして傷の検出に有効なアルゴリズムについて実験を行った。その結果、今回用いたサンプルは、8[mm]幅のミラーであったが、その幅に対しておよそ800ピクセルの画素数で撮像して、約10[ $\mu$ m]の傷が十分検出できることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) “特徴検出—opencv 2.2 documentation”.OpenCV 2.2 C++ リファレンス.  
[http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/imgproc\\_feature\\_detection.html](http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/imgproc_feature_detection.html), (参照 2018-4-9).

# 小径ステンレス管の内面研磨技術の確立

## Establishment of polishing technology for inner surface of small diameter stainless steel pipe

技術開発部 生産・加工科 緑川祐二 山口泰寿  
応募企業 ジーエルサイエンス株式会社

固定砥粒ワイヤを用いた、内径 1.0[mm]、長さ 150[mm]のカラム内面の研磨方法について検討した。その結果、内面の表面粗さを 30[ $\mu\text{mRz}$ ] (最大高さ)程度から、一工程で 3~6[ $\mu\text{mRz}$ ]まで低減できる研磨技術を確立した。

Key words: 内面研磨、研磨加工、小径管、固定砥粒、ワイヤ

### 1. 緒言

液体や気体を分析するクロマトグラフ装置で使用するカラムは、ガラス、ステンレス製のパイプ形状の部品で、通過する試料の成分の吸着分離を行っている。近年、これらの分析装置は、高機能・高性能化が進んでおり、小径化及びカラム内面の表面粗さの低減が要求されている。

今回の研磨対象のカラムは、図 1 に示す内径が 1.0[mm]、外径が 6.3[mm]、長さが 150[mm]で、SUS316L (オーステナイト系ステンレス鋼) 製である。

一般的に管内面の研磨は、電解研磨や研磨布紙及び砥石による研磨方法等が用いられる。これらの方法では、電極及び研磨工具を管内面に挿入して研磨しているが、内径が 1[mm]のカラム内に挿入できる大きさの研磨工具は見当たらない。現在、この様な小径管の内面研磨を行っている企業はあるが、その研磨方法については一切公表されていないため、新たに事業参入することは難しい状況にある。

平成 28 年度「微細管の内面仕上げ技術の開発」で行った内径が 0.5[mm]の内面を研磨した技術では、研磨加工面の表面粗さの低減化及び長尺研磨品への研磨技術の実用化について可能性を確認できた<sup>1)</sup>。そこで、この研究から得られた知見を応用して、カラム内面を一工程で研磨する技術の確立を図った。

なお、この部品の管内面の表面粗さは、30[ $\mu\text{mRz}$ ] (最大高さ)程度で、研磨後は 10[ $\mu\text{mRz}$ ]以下に低減することを目標とした。



(a) 正面 (b) 端面

図 1 カラム写真

(内径 : 1.0[mm] 外径 : 6.3[mm] 長さ : 150[mm])

### 2. 実験方法

#### 2. 1. 試験片

試験片寸法は、内径が 1.0[mm]、外径が 6.3[mm]、長さが 50[mm]と 150[mm]の 2 種類で、図 2-(a)に長さが 50[mm]の試験片の正面、図 2-(b)に端面の外観写真を示す。50[mm]の試験片で研磨条件を検討した後、150[mm]の試験片で全長にわたり安定した研磨ができるかを確認した。材質は SUS316L 製である。なお、小径内面の凹形状の観察、内径及び表面粗さの測定は、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 3-(a)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、図 3-(b)に円周方向の断面形状を示す。内面は表面粗さが粗く、大きなうねりがあり、正確に内径の測定ができない凹凸形状である。なお、この円周方向の表面粗さは、30[ $\mu\text{mRz}$ ] (基準長さ : 0.08[mm]、評価長さ : 0.16[mm]) 程度である。



(a) 正面 (b) 端面

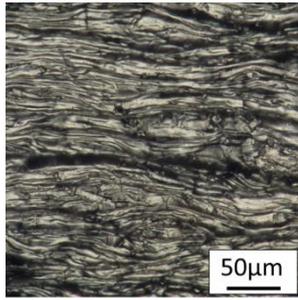
図 2 試験片写真

(内径 : 1.0[mm] 外径 : 6.3[mm] 長さ : 50[mm])

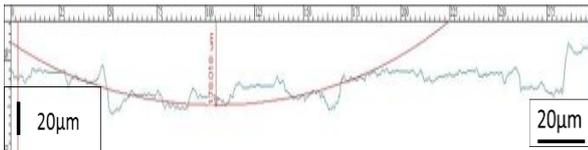
#### 2. 2. 研磨方法

図 4 に、試験片を研磨した方法の概略図を示す。ワイヤの表面に砥粒を塗布し、研磨工具として実験した。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。

平成 28 年度の「微細管の内面仕上げ技術の開発」では、遊離砥粒方式の場合、仕上げまで数回の研磨工程が必要で研磨時間が長くなった反面、表面粗さは 10[ $\mu\text{mRz}$ ]から 0.5~1.0[ $\mu\text{mRz}$ ]に低減しており、仕上げ



(a) 研磨前の顕微鏡写真（縦：円周方向）



(b) 断面形状（横軸長さ：300[μm]）

図3 試験片内面

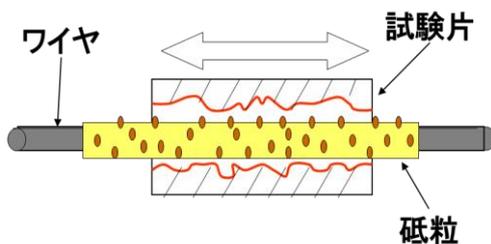


図4 研磨方法

研磨に向いていることがわかった。一方、固定砥粒方式の場合、研磨後の表面粗さは粗いが、一工程で全面を安定して均一に研磨できることが分かった。

そこで、本研究では遊離砥粒方式及び固定砥粒方式の両方について検討することにした。さらに、固定砥粒方式では、研磨効率を向上させる目的で、図5に示すとおり、ワイヤを回転機器に固定し6000[rpm]で回転させて、試験片を研磨する実験を併せて実施した。

今回の実験では、遊離砥粒方式の場合、外径が0.46[mm]のSUS製のより線の表面に、直径が50~100[μm]の整った球形状のガラスビーズを塗布して研磨した。一方、固定砥粒方式の場合、表1に示す3種類のワイヤを使用した。

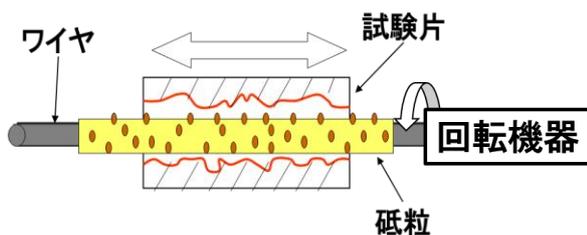


図5 研磨方法（ワイヤ回転）

表1 固定砥粒ワイヤの種類

No.	砥粒	粒度
1	ダイヤモンド	#240
2	ダイヤモンド	#400
3	ダイヤモンド	#600

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1. 遊離砥粒方式

遊離砥粒方式で、50[mm]の試験片を研磨した後の内面の顕微鏡写真を図6に示す。表面粗さは18[μmRz]で若干低減はしているが、ほとんど研磨できていない。これは、遊離砥粒方式は研磨効率が低いため、もとの表面粗さが30[μmRz]程度では研磨が進まなかったと考えられた。

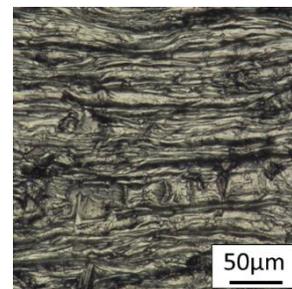
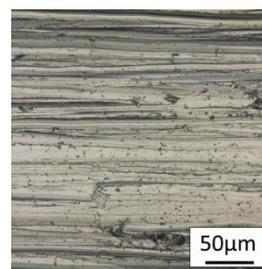


図6 遊離砥粒方式での研磨後の顕微鏡写真

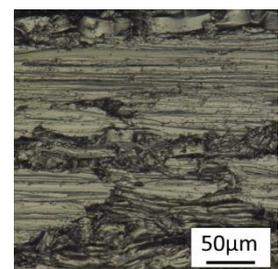
#### 3. 2. 固定砥粒方式

##### 3. 2. 1. ワイヤ無回転方式

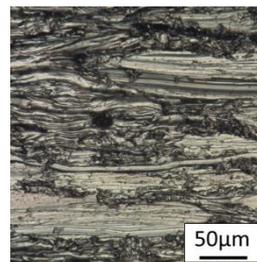
固定砥粒ワイヤ（表1）で研磨した後の顕微鏡写真を図7に示す。図7-(a)の#240で研磨した場合、



(a) #240



(b) #400



(c) #600

図7 固定砥粒方式での研磨後の顕微鏡写真

ほぼ全面の研磨ができていることが分かる。また、図8のとおり、内径は1.100[mm]で、円弧形状に仕上げることができた。さらに、表2に示す表面粗さ値は、6[ $\mu\text{mRz}$ ]と低減できた。一方、#400、#600で研磨した場合、図7-(b)及び図7-(c)に示すとおり、全面を研磨できていない。これは、#240と比較して、研磨効率が低い砥粒では、ボトム点まで十分に研磨ができなかったためと考えられた。

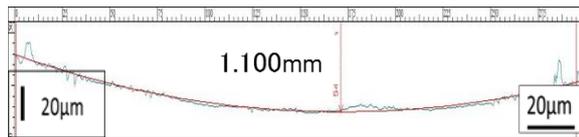


図8 #240での研磨後の断面形状

表2 研磨後の表面粗さ

	粒度	表面粗さ[ $\mu\text{mRz}$ ]
a	#240	6
b	#400	12
c	#600	17

### 3. 2. 2. ワイヤ回転方式

3. 2. 1. で、良好な研磨面が得られた#240のワイヤを使用し、回転方式による実験を行った。図9に研磨後の顕微鏡写真を示す。表面粗さは研磨前と比較した場合8[ $\mu\text{mRz}$ ]と低減しているが、図7-(a)との比較では表面は凹凸があり粗い。これは、ワイヤを回転させたことで、ワイヤが研磨面に均一に当たらず、不安定な研磨になってしまったためと考えられた。

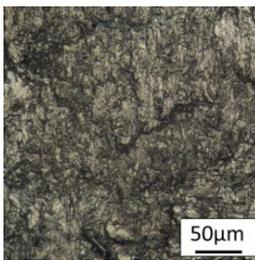


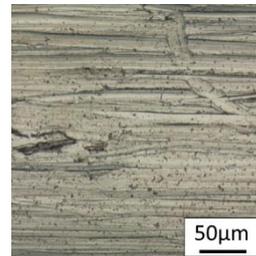
図9 回転方式で研磨した顕微鏡写真

### 3. 3. 150[mm]試験片での研磨確認

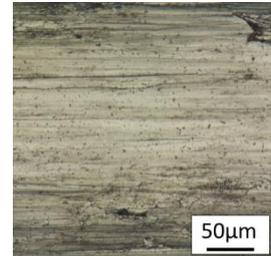
これらの結果から、#240のワイヤ無回転方式で研磨した場合、表面粗さ値は、6[ $\mu\text{mRz}$ ]と低減することができ、目標値を達成できた。次に、カラムと同じ長さの150[mm]の試験片を#240で研磨し、全長にわたり安定した研磨ができるかを確認した。

図10-(a)に端面から10[mm]部分、図10-(b)に端面から75[mm]部分(中央部)、図10-(c)に端面から140[mm]部分(反対面から10[mm])の顕微鏡写

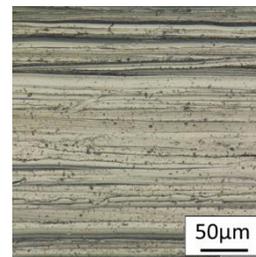
真を、表3に内径及び表面粗さ値を示す。3箇所とも均一に研磨でき、表面粗さが小さく、均一な研磨面が得られた。このことで、150[mm]のカラムでも、同等の品質で研磨ができることが確認できた。



(a) 端面から10[mm]



(b) 端面から75[mm]



(c) 端面から140[mm]

図10 150[mm]の試験片を研磨した顕微鏡写真

表3 150[mm]の試験片の内径、表面粗さ

	位置	内径[mm]	表面粗さ[ $\mu\text{mRz}$ ]
a	10mm	1.040	6
b	75mm	1.124	3
c	140mm	1.056	4

## 4. 結言

- 1) 固定砥粒方式により、内径が1.0[mm]、長さが150[mm]の試験片全長の内面を一工程で研磨できる技術を確認できた。
- 2) 研磨した内面の表面粗さは、3~6[ $\mu\text{mRz}$ ]に仕上げることができ、目標値を達成できた。

## 参考文献

- 1) 緑川祐二, 山口泰寿, 小林翼. 微細管の内面仕上げ技術の開発. 平成28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2016, p.61-64.

# ヒト受精卵培養ディッシュの微細構造部分の開発

## Development of micro structure parts for Microfluidic human embryo culture system

技術開発部 生産・加工科 三瓶義之  
応募企業 有限会社 乾メディカル

ヒト受精卵（胚）の培養では、ディッシュと呼ばれるシャーレ形状の中央部に胚を収める凹みを設けたものが用いられている。応募企業ではディッシュ内に培養液タンクを設け、そこから微細な穴を通して培養液を掛け流す構造の Microfluidic dish の開発を行っているが、その中でハイテクプラザではディッシュ内部の微細穴の加工について取り組んだ。ディッシュに三次元微細レーザー加工装置により微細穴を加工し、そのディッシュを用いて流量を評価することで、望ましい微細穴の径を決定することができた。

Key words: 胚培養、樹脂成型、微細加工、レーザー加工

### 1. 緒言

ヒト受精卵（胚）の培養では、ディッシュと呼ばれる容器が用いられている。このディッシュはシャーレの中央部に胚を収める微細な凹みが設けられた構造となっており、培養はディッシュ全体を培養液で満たして行うこととなる。しかしこの手法では、胚の代謝による栄養成分の消費と代謝物の濃度増加による培養液の劣化が避けられない。そのため、培養環境が生体内の環境とはかけ離れ、胚に悪影響を与えることが懸念されていた。

これを解決するため、応募企業では(株)ナガヨシと共同で Microfluidic dish の開発に取り組んでいる。これはディッシュを培養液タンクと胚培養部、疲労した培養液の廃棄部に分割した構造をとっている。培養の際には、タンクから微細な穴を通して胚培養部に新鮮な液を送り、疲労した液をオーバーフローさせて入れ替え、胚が常に新鮮な培養液に触れられるようになっている。

しかしこの培養液の供給流量は、大きすぎると胚に物理的にストレスを与え、小さすぎると液の入れ替えが不足してしまう。そのため、流量を左右する穴の直径の決定には慎重な検討が必要である。応募企業では流体シミュレーションを外部に依頼し、望ましい穴径を 15[ $\mu\text{m}$ ]と見積もってはいるが、実際にディッシュを試作して評価するために多数の金型を作製することはコスト面や製作期間の点で困難である。

そこで本事業では、評価用のディッシュを作製するために、三次元微細レーザー加工装置を用いてサイズを変えた微細穴を加工することに取り組んだ。また、加工したディッシュを用いて培養液の流量を測定し、シミュレーションで得られた結果との比較を行ったので報告する。

### 2. 実験

#### 2. 1. レーザー加工

試作ディッシュ部品を用いてレーザーによる微細穴加工を行った。ディッシュの素材にはポリスチレンを用い、流量を制御するための微細穴を加工する部分は別部品として成形したものをを用いた。

レーザー加工は波長 532[nm]の固体レーザーを用いた OPT E C 製 WS-FLEX を用いて行った。

レーザーによる貫通穴加工では、穴の外周部にレーザーを照射してくりぬくことが一般的に行われる。しかし、今回はレーザーのスポット径 7[ $\mu\text{m}$ ]に対して目標の加工穴径が近い値であり、加工穴径の値でレーザーの照射パスを設計すると加工後の穴径は大きく広がってしまう。そのため、レーザーのスポットの外周が描く径が加工径である 10, 20, 40, 50[ $\mu\text{m}$ ]となるようにレーザーの照射パスを設計して加工をおこなった。

また、レーザー加工後の加工残渣は撥水性を発現し、流量評価の際に問題となることが考えられる。そのため、S a m c o 製プラズマドライクリーナー PX-250HG を用い、アルゴン：酸素=5:1 の混合ガス、高周波出力 200[W]、プロセス圧力 3[Pa]で 180[秒]の親水化処理を行った。

加工に用いた試作ディッシュおよび微細穴加工部を図 1 に、穴加工部について SEM 観察を行った画像について図 2 に示す。

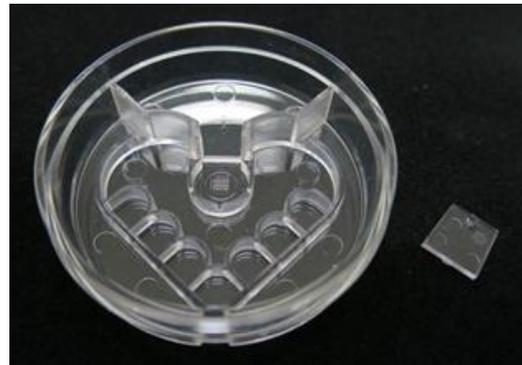


図 1 試作ディッシュおよび微細穴加工部  
(左側：ディッシュ、右側：微細穴加工部)

事業課題名「ヒト受精卵培養ディッシュ（世界初の Microfluidic dish）の微細構造部分の開発」

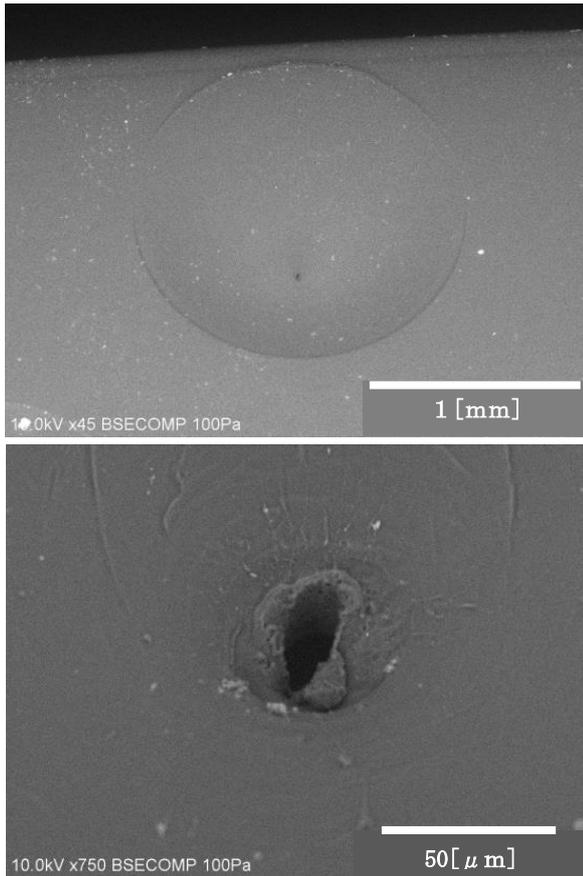


図2 穴加工部のSEM観察像  
(上：穴加工部全体，下：加工部拡大)

## 2. 2. 流量評価

微細穴加工が施された部材について、組立後に培養液の流量の測定を行った。組み立てたディッシュの微細穴加工部分の外観と液流の方向について図3に示す。

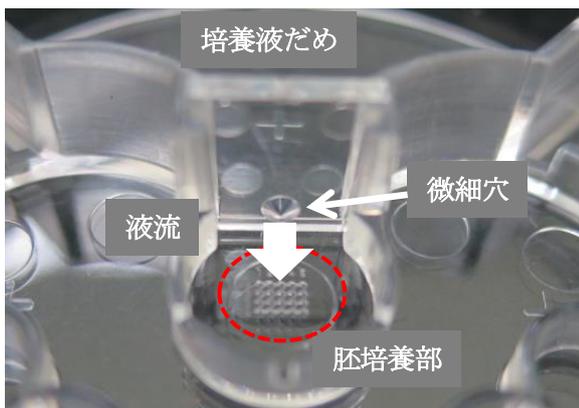


図3 ディッシュの微細穴加工部分

培養の際の試薬、作業手順及び管理などについて実際の使用環境と合わせるため、流量の測定に関しては乾メディカルにおいて評価を行った。

ディッシュに培養液を満ちし、培養液を流し始めてからの経過時間と、その時の通過液量から求めた培養

液流量を求めた。穴径に対する培養液流量および胚にとって望ましい流量の範囲について図4に示す。

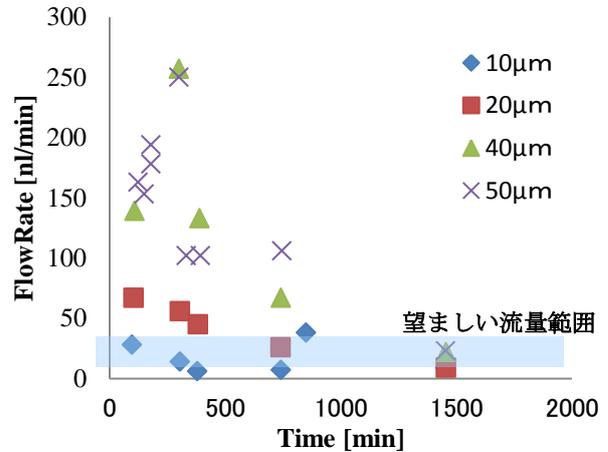


図4 穴径と流量との関係

図4より、今回加工を行った穴径で得られた流量の範囲に比べ、培養中の胚にとって望ましい流量の範囲は非常に狭いことがわかる。また、穴径 10[μm]と20[μm]での流量の数値より、望ましい穴径はシミュレーションの結果通り、15[μm]近辺にあるであろうことも推測される。

## 3. 結言

胚培養を行うための Microfluidic dish において、流量を制御するための微細な貫通穴について三次元微細レーザー加工装置を用いて加工を行った。また、それを用いて培養液の流量を測定し、望ましい流量との比較を行い、以下の知見を得た。

- ・三次元微細レーザー加工装置を用い、適切な条件で加工を行うことで、透明な樹脂素材に対しても径数十μm オーダーの微細な貫通穴を加工することができた。
- ・貫通穴を通じて流れ出る培養液の流量は穴径により大きく左右されることが分かった。また、望ましい流量となる穴径は 10~20[μm] の間にあり、事前に予測された 15[μm] という値と整合することが分かった。

これらのことから、今後のディッシュ開発にあたっては、シミュレーションの結果を利用することが有効であることが分かった。また、貫通穴は設計値に対して高い精度で作製することが必要であり、金型の設計や射出成型の際の条件設定もこれを踏まえなければならないことが分かった。

# 電気柵の高電圧降下監視装置の改良と評価

Improvement and evaluation of high voltage drop monitoring device of electric fence

技術開発部 プロジェクト研究科 三浦勝吏  
応募企業 株式会社福島三技協

提案企業では、電気柵の漏電を監視し、漏電を検知した場合に電子メールで通知する装置の開発を行っている。試作した装置では、ピークホールド回路に使用されている素子の温度特性などの影響で、測定精度が悪いという問題があった。そこで、ハイテクプラザでは、ピークホールド回路を使わない測定手法を検討し、必要なマイコンを選定して動作確認を行った。さらに、農業総合センターの圃場で実証試験を行い、問題なく動作することを確認した。

Key words: 電気柵、漏電監視センサ

## 1. 緒言

応募企業である株式会社福島三技協では、電気柵の漏電監視装置（以下、監視装置）の開発に取り組んでおり、昨年度、ハイテクプラザが行った技術開発事業「電気柵漏電監視センサ回路の開発と通信システムの評価」に関する技術指導を受けて監視装置を試作した。

しかし、この試作機には、ピークホールド回路（以下PH回路）に使われているダイオードやコンデンサの温度特性などの影響のため、測定精度が悪いという課題があった。PH回路を用いずに電圧を測定した場合、回路基板を縮小できるなどの利点もあるため、PH回路を用いずに電気柵の電圧を測定する手法について検討することとした。

電気柵にかかる非常に短い電圧波形のピーク値をPH回路を用いずに電圧を測定するためには、波形を直接AD変換することが必要であり、このため、サンプリング周期が短いマイコンを使用する必要がある。そこで、条件を満たすマイコンを選定して動作確認を行った。

また、試作した監視装置を実際のフィールドで実証試験を行い、電圧測定の状態や通信状態などの評価を行った。

## 2. サンプリング周波数の決定

### 2. 1. 高圧パルスの評価方法

電気柵は高圧のパルス波を発生させており、この電圧値をPH回路を用いずに直接AD変換するためには、適切なサンプリング周波数を選択する必要がある。

波形をサンプリングする場合、サンプリング定理<sup>1)</sup>により、観測対象の最高周波数に対して2倍以上のサンプリング周波数が必要となる。

パルス波の場合は、一番急峻な立ち上がりの部分でサンプリング定理を満たす必要がある。

そこで、必要なサンプリング周波数を算出するために電気柵の電圧波形をオシロスコープで測定し、立ち上がり時間<sup>2)</sup>を求めた。

立ち上がり時間とは、波形のピーク値の10%の値から90%にかかるまでの時間差のことであり、概要を図1に示す。

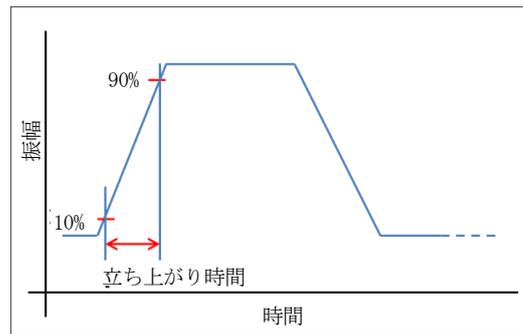


図1 立ち上がり時間概要

### 2. 2. 立ち上がり時間の測定

電気柵の波形をオシロスコープで測定した結果を図2に示す。また、図2の電圧波形の立ち上がり部分を拡大したグラフを図3に示す。この波形から、今回使用した電気柵の立ち上がり時間は $5.32\mu\text{s}$ であった。

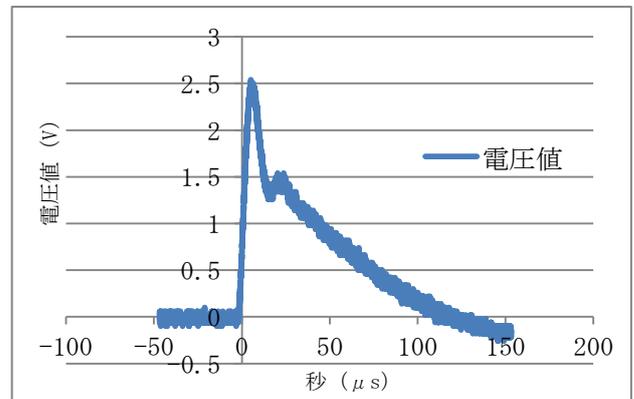


図2 電気柵電圧波形

事業課題名「電気柵の高電圧降下監視装置の改良と評価」

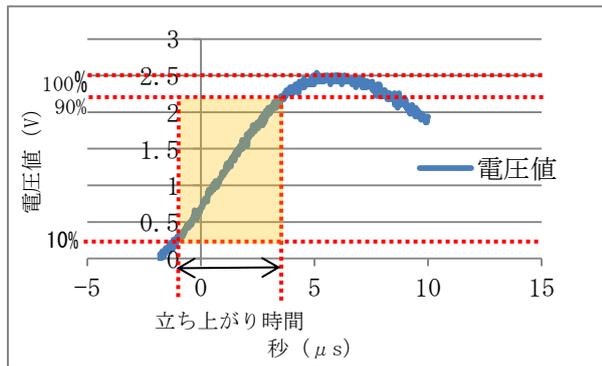


図3 立ち上がり部拡大波形

### 2. 3. サンプル周波数の導出

2. 2. で求めた立ち上がり時間からサンプル周波数を求めた。今回は立ち上がり部分を正弦波の1周期と仮定した。この時、周波数は188kHzとなる。サンプリング定理により、対象の周波数の2倍以上必要となっていることから、サンプル周波数は376kHz以上必要であることが分かった。

また、パルス波をサンプリングする場合は、立ち上がりの部分に4～5個のサンプリングが必要といわれており<sup>3)</sup>、より正確な波形を取得するため立ち上がり時間の間に4回サンプリングを行うとすると、752kHz以上の周波数が必要となった。

## 3. マイコンによる電圧測定の検討

### 3. 1. マイコンの選定

2. 3. から、AD変換のサンプル周波数が最低でも376kHz以上の機能を持つマイコンを選定すればよいことが分かった。

そこで、比較的安価でプログラムが容易なAtmel社のAVRマイコンATMEGA328P<sup>4)</sup>を使用して実験を行った。このマイコンは最高で769kHzでサンプリング可能であり、より正確な波形を取得するために必要な752kHz以上という条件も満たしている。主な仕様を表1に示す。

表1 ATMEGA328P 主な仕様

コア	AVR
データバス幅	8bit
最高クロック周波数	20MHz
プログラムメモリサイズ	32kB
データRAMサイズ	2kB
ADC分解能	10bit
I/O数	23
動作電圧	1.8V-5.5V

### 3. 2. マイコンの設定

AD変換のサンプル周波数は以下の式から求めることができる。この式をもとにマイコンの設定を行った。

$$\text{サンプリング周波数} = \frac{\text{クロック周波数}}{\text{変換にかかるクロック数} \times \text{分周比}} \cdots (1)$$

今回は、752kHz以上のサンプル周波数を得るためにクロック周波数は最大の20MHzに設定した。

このマイコンはAD変換が開始されてから1.5クロック後にサンプルホールドが開始され、電圧値を読み取り、変換が完了すると、結果がデータレジスタに書き込まれる。AD変換を行う際のタイミング図を図4に示す。この図からAD変換を1回行うためには13クロック必要であることが分かった。

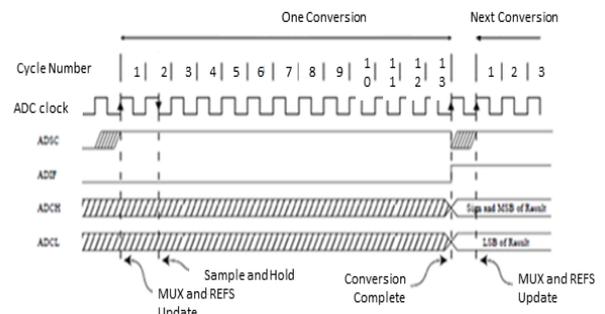


図4 AD変換タイミング図

また、分周比とはクロック周波数などの周波数を1/N倍にするもので、このマイコンの場合、分周比は2分周、4分周、8分周、16分周、32分周、64分周、128分周の中から選択することができる。

(1)式より、サンプル周波数752kHz以上で動作させるためには、2分周にする必要がある。

以上の結果から、サンプル周波数を求めると約769kHzとなり、条件を十分満たすことが分かった。

### 3. 3. ATMEGA328Pによる電圧測定

設定したマイコン(ATMEGA328P)を用いて電気柵の電圧波形を読み取ることができるか確認する実験を行った。電気柵のピーク電圧を10段階に変化させ、それぞれマイコンで電圧値を測定し、オシロスコープでの測定値との誤差を求めた。

AD変換の分周比を2分周に設定してサンプル周波数769kHzで測定したところ、AD変換することができず、電圧を測定できなかった。

このマイコンは、データシートによると、AD変換のサンプル周波数を設定する際には、クロック周波数を高く、分周比を小さくするほど測定精度が低下する。

そこで、クロック周波数を20MHzのままAD変換の分周比を4分周に設定し、376kHz以上という条件を満

たすサンプリング周波数 385kHz で測定したところ平均誤差 6.1%で測定することができた。測定結果を図5及び表2に示す。最初の測定では、クロック周波数を最大に、分周比を最小に設定したため、AD変換ができなかったものと考えられる。

また、この結果は、以前ハイテクプラザで試作した監視装置よりも誤差が小さい<sup>5)</sup>結果であった。監視装置は、電気柵の管理を行うために大まかな電圧低下を把握できればよいことから 6.1%の誤差は十分実用に耐えることができると判断した。

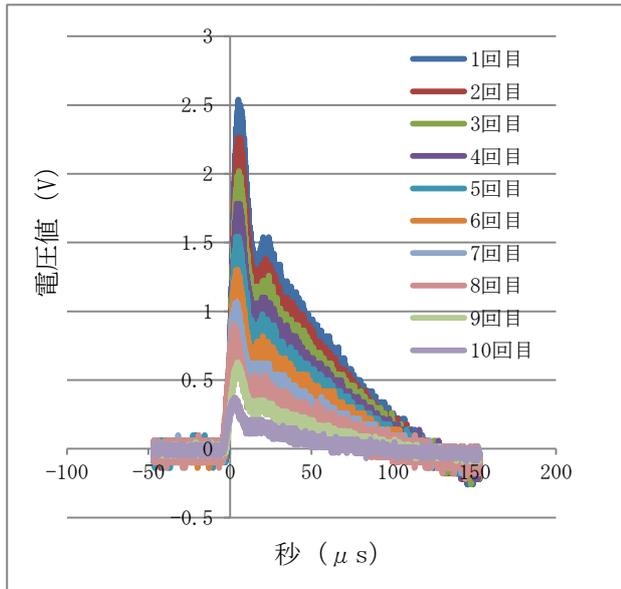


図5 電気柵の電圧波形（オシロスコープ）

表2 電気柵の電圧と計測結果（ATMEGA328P 385kHz の場合）

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
電圧値 (V) (オシロ)	2.54	2.26	2.02	1.78	1.54	1.30	1.06	0.90	0.63	0.37
計測値 (V) (ATMEGA328P)	2.40	2.17	1.92	1.71	1.47	1.24	1.00	0.77	0.56	0.38
誤差(%)	5.5	3.9	4.9	3.9	4.5	4.6	5.6	14.4	11.1	2.7

## 4. 実証試験

### 4. 1. 実験方法

電圧値の測定状況や通信状況を確認するため、実証試験を行った。日時や実験方法等については以下の通り。

- (1) 日時：2月2日（金）12:30 ~  
3月1日（木）19:00  
(28日間)
- (2) 場所：農業総合センター
- (3) 使用電気柵：ファームエイジ社製 AN60  
最大出力 5.8kV  
電気柵長約 5m

### (4) 実験方法

監視装置を試験圃場に取り付け、親機を農業総合センター3階に設置して試験を行った。その様子を図6に示す。

電気柵の電圧を監視装置が30分ごとに測定し、電圧値と受信強度を親機に送る。監視装置と親機間の通信はLPWAのモジュールを使用しており、距離は約580mであった（図7）。



図6 監視装置及び親機設置状況



図7 監視装置及び親機の設置距離

### 4. 2. 実験結果

電気柵の電圧値の測定結果を図8に示す。試験を行った28日の間、連続で電気柵の電圧を測定することができた。試験中、2月19日14時頃に電気柵の電圧が急激に下がる様子を確認した。現場を確認したところ、電気柵本体の電源電圧が低下していたため電池を交換し、電気柵の電圧が回復することを確認した。電気柵本体の不具合を早期に発見して対応することができたことで、監視装置の有効性を示す結果となった。

また、実験中の通信状況を図9に示す。今回使用したLPWAの通信モジュールは数kmの長距離通信を可能としているため<sup>6)</sup>、今回試験した距離では、受信強度は安定していた。

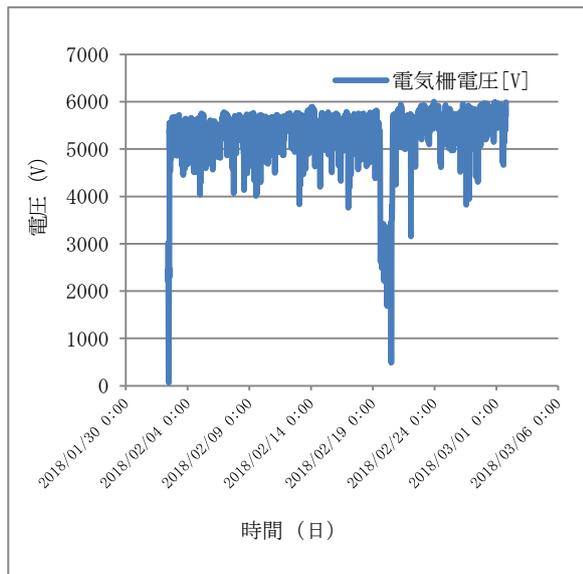


図8 電気柵電圧値測定結果

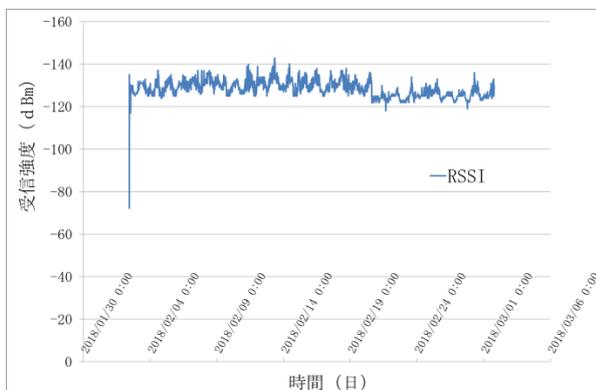


図9 受信強度

## 5. 考察

今回の試験では、電気柵の電圧値を6.1%の平均誤差で読み取ることができた。マイコン1種類のみでの試験ではあったが、適切なマイコンとサンプリング周波数を選択することで、他のマイコンでも測定できると考えられた。

電気柵の監視装置は屋外で使用し、特に夏場では温度変化がかなり激しいため、ダイオードやコンデンサなどの温度特性が測定誤差に大きく影響する。そのため、PH回路を使用せずに電圧値を読み取ることで、温度特性による誤差要因が減少でき、測定精度が改善できたと考えられた。

## 6. 結言

電気柵の電圧波形を観測し、波形を読み取るために必要なサンプリング周波数を算出した。この結果をもとにPH回路を使わずに実験を行ったところ、サンプリング周波数 385kHz で測定した場合、オシロスコープによる電圧測定で得られた電圧値と監視装置による

測定値の平均誤差は6.1%であった。

また、実証試験を行ったところ、約1か月の間に、装置の通信状況、電圧測定状況ともに問題なく動作した。

雑草の伸長による漏電を検出するほか、電気柵本体の電池切れによる電圧降下を検出することができ、新たな監視装置の有効性を示すことができた。

## 参考文献

- 1) 樋口龍雄 他. MATLAB 対応デジタル信号処理, 昭晃堂, 2011, p.227.
- 2) JIS C 60050 16.1, EMC に関する IEV 用語.
- 3) いまさら聞けないオシロスコープ入門. Tektronix 社.
- 4) ATMEGA328 データシート. <https://www.mouser.com/ds/2/268/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48p-1065900.pdf>. (参照 2018-03-02).
- 5) 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28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2016, p.46-49.
- 6) 吉田琢也. すべてわかる 5G/LPWA 大全 2018. 日経BPマーケティング, 2017, p.56-57.

# ユニバーサルファッション衣料生地の開発

## Development of universal fashion clothing fabric using of silk material

福島技術支援センター 繊維・材料科 長澤浩  
応募企業 齋栄織物株式会社

高齢者（65歳以上）人口は、平成28年の統計では27.3%（4人に1人）で女性だけ見ると30%を超えてきている。今後、高齢者に対応したユニバーサルファッション衣料に対する期待がますます高まると考えられ、当産地が得意とするシルク素材を使用した高齢者に対応したファッション衣料生地の開発を行った。その結果、高齢者に優しいストレッチ性、防シワ性等の機能を付与した衣料生地を作製した。今後、開発した生地を国内外の展示会等で提案していく。

Key words: 高齢者、ユニバーサルファッション、シルク素材

### 1. 緒言

日本の高齢者（65歳以上）人口は、平成28年9月現在27.3%（4人に1人）で女性だけ見ると30%を超えてきている（平成28年度総務省統計局報道資料）。

このため、国では寝たきりの高齢者を少なくするために健全な衣生活の重要性を唱えている。このような状況で「ユニバーサルファッション（以下UF）」の重要性もまた増している。これは、高齢や障害で体が不自由になっても元気にお洒落を実践するという概念であり、今後は高齢者に対応したファッション衣料に対する期待がますます高まると考えられる。

そこで、このUF衣料素材に注目し、女性が高齢になってもお洒落を楽しみながら活動しやすい機能を付与した織物開発に取り組んだ。旅行する高齢者女性にターゲットを絞ることで開発するテキスタイルの条件を分かりやすくした。旅行に絞ったのは今後多くの高齢者が国内外を問わずに旅行する需要がますます高まると予想されるためである<sup>1)</sup>。

UF衣料生地の素材として、吸湿性などの機能性に富み高齢の女性には高級繊維の代表とされているシルクを用い、カバリング加工を施した素材を使用した。

織物開発は応募企業である齋栄織物(株)がシルク製織技術を活かした試織を行い、UF衣料生地の開発を目指した。

### 2. 開発内容

#### 2. 1. 素材開発

生地素材の特長として、活動しやすく人体の動きに追従し、かつストレッチ性を有し、シルクの光沢を生かした衣服素材を目指した。

シルクのカバリング加工条件は下記のとおりである。  
ダブルカバリング加工（図1参照）

#### シルク素材によるユニバーサルファッション衣料生地の開発

鞘糸A：生糸28中（下撈900T/m(S)）  
鞘糸B：生糸28中（上撈600T/m(Z)）  
芯糸：①生糸28中（1000T/m(Z)）  
：②生糸28中（2000T/m(Z)）



図1 カバリング加工系概念図

また、ストレッチ性を強調させるためにウレタンを芯糸に使用したシングルカバリング糸①、②を使用した。

芯糸：③シェルビーノ680  
：④シェルビーノ700

#### 2. 2. 織物規格、組織図

##### 2. 2. 1. 織物規格

織物規格は表1のとおりである。

表1 織物規格表

項目	内容
タテ糸	生糸28中
ヨコ糸	表2参照
通し巾	140cm
使用筭	100羽/鯨寸(26.5羽/cm)
1羽引込本数	2本
タテ糸総本数	7420本

従来のシルク織物は、使用筭100羽/鯨寸に対して、タテ糸引込本数は3～4本であるが、タテ密度を粗くしてヨコ収縮率を向上させるために引込本数を2本とした。

## 2. 2. 2. 織物組織図

織物組織図は図2のとおりである。

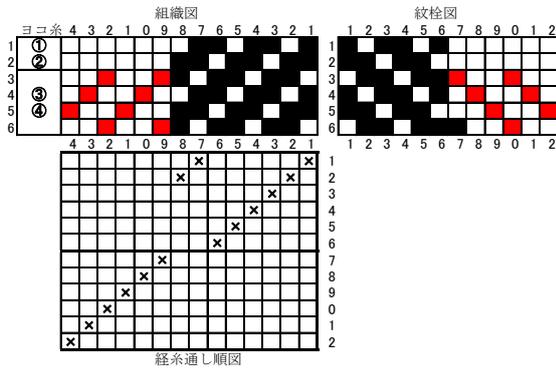


図2 織物組織図 (イ (1:2))

織物組織については、シワになりにくい構造を考えてヒダ状の織物とし、高剛性を表現した組織とした。

織物組織図で1～2番目(タテ方向の数字)にヨコ糸弾性糸(③、④)(表2参照)を挿入し、3～6番目(タテ方向の数字)にヨコ糸カバリング糸(①、②)(表2参照)を挿入する。これにより組織図(赤色部分)9～14番目(ヨコ方向の数字)でヒダが作製される。

## 2. 3. 織物試織条件(ヨコ糸)

ヨコ糸の織物試織条件は表2の通りである。

表2 織物試織条件(サンプル1～12)

順番	ヨコ糸種 I	ヨコ糸種 II	組織	打込本数 (本/cm)
1	②	③	イ (1:2)	54.0
2	②	④	イ (1:2)	54.0
3	①	③	イ (1:2)	54.0
4	①	④	イ (1:2)	54.0
5	②	③	イ (1:2)	47.6
6	②	④	イ (1:2)	47.6
7	①	③	イ (1:2)	47.6
8	①	④	イ (1:2)	47.6
9	②	③	イ (1:2)	32.9
10	②	④	イ (1:2)	32.9
11	①	③	イ (1:2)	32.9
12	①	④	イ (1:2)	32.9

### ヨコ糸種類

ヨコ糸 I カバリング加工糸  
芯糸撚数(T/m)

①	1000
②	2000

ヨコ糸 II 弾性糸

③	シェルビーノ680
④	シェルビーノ700

表2のサンプル1～12は試織するそれぞれのヨコ糸種類、打ち込み本数の条件である。

2. 1. 素材開発で記述したカバリング①、②は鞘糸

の条件は一緒であるが、芯糸の条件を1000T/mと2000T/mの2種類で行った。これは、カバリング糸の収縮効果を目的とした。

弾性糸は、白色(③シェルビーノ680)、生成色(④シェルビーノ700)の2色を使用し、色彩の表現効果を目的とした。

組織の欄で「イ(1:2)」は図2の織物組織図でヨコ糸弾性糸(③、④)とヨコ糸カバリング糸(①、②)が2本と4本の割合で挿入していることから1:2という表現をした。

## 2. 4. 試織開発

図2、表2の条件により図3の織機でサンプル1～12の試織開発を行った

使用織機(齋栄織物(株))

織機:NS ATOM-II型(片2丁杼)

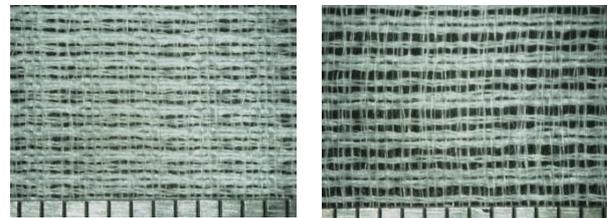
ドビー14枚使用(地部12枚、耳部2枚)



図3 試織開発用織機

ヨコ糸挿入の杼替装置を図2の組織図(弾性糸1:カバリング糸2)になるよう調整した。

試織したサンプルのうち2種類の織物表面を図4に示す。写真下部に1mm単位のものさしが表示されている。



サンプル1

サンプル10

図4 精練前織物表面観察

## 2. 5. 精練加工

試織したサンプルは精練加工が必要であり、精練加工により織物がヨコ方向に収縮してヒダ状の織物ができる。精練加工では、サンプル織物にウレタン弾性繊維が含まれるために、高温精練では弾性繊維にダメージを与えてしまうことから、50～55℃で精練できる酵



る。また、目付けが普通のシャツ地（約10匁）より大きい数値になった理由は、ヨコ糸素材と収縮率の影響で、約70%の仕上縮率のために単位面積当たりの重量が増えたことによる。やはり、重い生地は高齢者の身体に負担をかける事から今後ストレッチ性機能を付与しながら目付けを軽くしていく事を素材と密度の兼ね合いをみながら検討していく予定である。

#### （2）通気度試験

通気度試験は  $93.5\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ （サンプル3）～ $235\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ （サンプル12）と大きな隔りがある。これは、ヨコ糸打込本数の違いによるもので、打込本数が少ないほど通気度が高くなっている。夏物衣料として数値  $50\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}$  以上を求められているがそれより遙かに通気度が良い結果となった。これは、織物の組織でヒダになる部分が粗くなっておりこの隙間が通気度を良くしている結果となっている。今回の織物は高密度にもかかわらず通気度が良い織物を作製することができ、高齢者衣料として必要ファクターとなる通気度という機能性付与の目標を達成することができた。

#### （3）厚さ試験

一般の生地は  $0.2\sim 0.6\text{mm}$  という数値だが、今回のサンプルは  $0.95\sim 1.76\text{mm}$  と厚さが大きい数値になっている。これは、ヒダ組織という構造のためにヒダの部分に厚さが出現している。このヒダは、通気度を良くする他にシワ防止や生地に厚さがあるために高齢者が転倒したりした時の衝撃吸収材としても効果があると考えられる。ヨコ糸打込本数が少ないほど厚さが大きいのは、ヨコ糸間の隙間によるものである。

#### （4）仕上縮率

仕上縮率はサンプル1～12まで全体的にあまり変わらない。これはタテ糸密度が同一によるものでタテ糸間の隙間が同じためにヨコ糸打込本数の違いによる収縮力の大きさに関係なく仕上巾に影響しないことがわかった。今回は通し巾  $140\text{cm}$  での試織だが、仕上巾が  $44\text{cm}$  まで収縮した。服地に使用する場合は、もっと広巾の織機を使用するか、収縮率を考慮した織物設計を検討する必要がある。

これらのデータ、サンプル生地の風合い等からサンプル1とサンプル10の2種類の生地を提案用サンプル生地とした。これは、サンプル1～12は通気度数値  $50\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}$  以上、仕上縮率が60%以上でストレッチ性には問題がないことから、応募企業がそれぞれのサンプルを手にして触感、風合い等を考慮して2種類の提案用サンプルを選択した。サンプル1は目付けが大きい分、生地がしっかりしており、防シワ性や通気性機能もあり高齢者の衣服として適していると考えた。またサンプル10は、今回の試織サンプルの中で目付

が一番小さく、旅行用衣料として軽くシワになりにくく、かさばらない衣服生地として適していると考えた。

## 4. 結言

今後、需要が見込まれる高齢者用UF衣料生地の開発を行った。その結果、12種類のサンプル生地を作製し、物性評価試験を行い、その中から2種類のサンプル生地をUFファッション衣料生地として提案することができた。今後は応募企業が国内外で開催される展示会等で、この2種類のサンプル生地を提案していく。

また、今回の物性評価試験データを元に軽量化、薄地化に向けた生地の改良（組織で弾性糸1：カバリング糸2の割合を弾性糸1：カバリング糸4に変えてみる等）を応募企業と共同研究を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) “ユニバーサルファッション ～だれもが楽しめる装いのデザイン提案～”. 中央法規出版株式会社

# 極薄桐材の漂白加工方法の検討

## Consideration of the bleaching processing method of ultra thin paulownia wood

福島技術支援センター 繊維・材料科 伊藤哲司  
応募企業 株式会社松竹工芸社

壁紙用の桐材を乾燥すると赤く変色するものが発生した。壁紙の見本帳には“生成り色”があるため、酸化漂白を行っているが、漂白後の桐材は“生成り色”よりも白くなりすぎてしまう。そこで、“生成り色”に近くなる漂白方法の検討を行った結果、還元漂白により“生成り色”と同色に漂白することができた。

Key words: 木材、桐、漂白方法

### 1. 緒言

応募企業である(株)松竹工芸社では、薄くスライスした桐板で壁紙を製造し販売している。桐の壁紙は、ブロック状の桐材を極薄くスライスし、色が必要な製品には染色を施した後、様々な形に貼り合わせを行い製造している。(図1、図2)

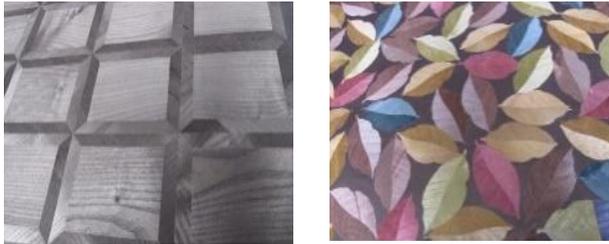
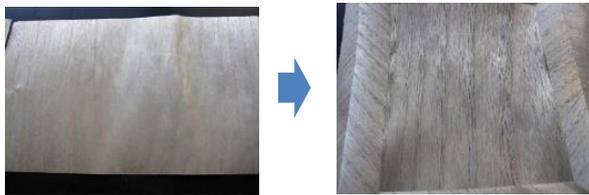


図1 桐材の壁紙製品の一例

最近、スライスした桐材を乾燥すると赤く変色するものが発生している。見本帳のサンプルは、未染色の生成り色(きなりいろ)もあるため、赤く変色したものには過酸化水素を使い漂白加工を行っている。しかし、過酸化水素を使用した酸化漂白では、色が生成りより白くなりすぎてしまい見本帳と合わないため、生成りに近く仕上がる漂白加工方法が必要となった。



薄くスライスした桐材

スライスした桐材を貼り合わせる

図2 壁紙の製造方法の一例

漂白方法には酸化漂白の他に、ヒドロサルファイト等の還元剤を使った還元漂白があるが、漂白効果は酸化漂白に比べ低い。

そこで、還元漂白の漂白効果の低さに着目し、変色

事業課題名「極薄桐材の漂白加工方法の検討」

した桐材に還元漂白を行い、生成りに近い色になるか検討を行った。また、壁紙に使用するため、光に対する変色を耐光試験で再現し、漂白剤を変更することで退色の度合いが異なるか検証した。

### 2. 実験

#### 2. 1. 試料

還元漂白を行う試料は、(株)松竹工芸社から提供された赤く変色した厚さ0.16mmの桐材を使用した。また、漂白効果を検証するための比較試料として、(株)松竹工芸社で酸化漂白した桐材と、正常品として使用されている生成りの桐材を使用した。

#### 2. 2. 加工剤

加工剤は洛東化成工業(株)で製造販売している、汎用特殊還元剤ブライトRX-1を使用した。

#### 2. 3. 加工条件

加工剤の濃度と浴比は、水に加工剤を5g/Lの割合で調整した500mLの溶液に桐材2.5gを入れ加工試験を行った。また、加工温度と時間は、(株)松竹工芸社から木材にダメージを与えないためにも低温(60℃程度)短時間で加工したいとのことであったため、60℃、30分間で処理をした。また乾燥は、漂白加工後室内に24時間放置して自然乾燥を行った。

#### 2. 4. 測色試験

加工品と比較品の測色は、分光色差計NF-999(日本電色工業(株)製)を用い、光源はD65、視野を10°で測色し、L\*a\*b\*表色系を使い比較した。

目視による色の隣接比較では、色差 $\Delta E^*$ (ab)が3.0以下の場合、その違いが判別できず、同じ色の範囲とされるため<sup>1) 2)</sup>同色と見なした。

#### 2. 5. 耐光試験

壁紙として使用した場合の光による退色が酸化漂白品と異なるかを検証するため、耐光試験を行った。試

験は耐候試験機 WEL-75XS (スガ試験機 (株) 製) でキセノン光源 (照射エネルギー390W/m<sup>2</sup> at 300-700nm) を使いBPTが63℃、湿度50%で10、20、40、80時間照射を行った後、測色試験で使用した分光色差計を使用し、正常品を基準とした色差を調べた。また、80時間の照射エネルギーは、屋内蛍光灯下で1年程度使用した場合の放射エネルギーに等しい。(500ルクス (1.46mW/m<sup>2</sup> at 550nm)、16時間点灯した場合)<sup>3) 4)</sup>

### 3. 結果

#### 3. 1. 測色試験結果

還元漂白品の測色は乾燥直後に行い、表1に漂白加工品および変色品の測色結果を示す。また、図3に正常品を基準とした色差を示す。正常品と還元漂白品の色差は1.2で同色となった。

表1 測色結果

試料名	L*	a*	b*	ΔE*(ab)
正常品	83.1	3.3	22.2	0
酸化漂白品	84.9	2.7	18.6	4.1
還元漂白品	82.4	3.1	21.2	1.2
赤変色品	73.0	8.0	19.7	11.4

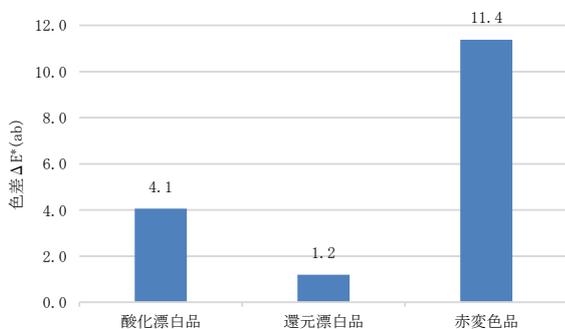


図3 正常品を基準とした色差

#### 3. 2. 耐光試験結果

図4に耐光試験後の正常品を基準とした色差を示す。酸化漂白品、還元漂白品とも色差が3.0以下となり同色となった。

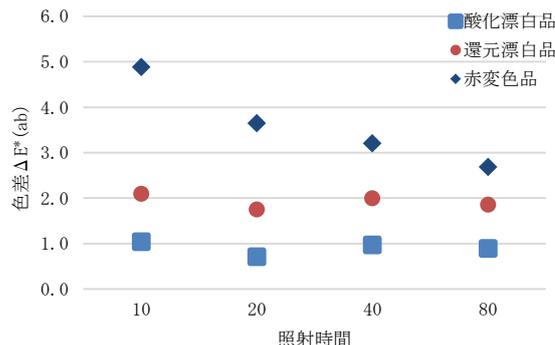


図4 耐光試験後の色差

### 4. 結言

赤く変色した桐材に還元漂白を行うことで、目視では正常品と同色にすることができた。また漂白品を約1年間屋内で使用しても、色差が3.0以下となり同色となることが推定できた。

#### 参考文献

- 1) “色彩計測セミナー”. コニカミノルタジャパン (株) 主催. (開催日 2017-1-12).
- 2) “色と光の知識カラストory(8) 色の許容差の事例”. 日本電色工業株式会社.  
[https://www.nippondenshoku.co.jp/web/japanese/colorstory/08\\_allowance\\_by\\_color.htm](https://www.nippondenshoku.co.jp/web/japanese/colorstory/08_allowance_by_color.htm), (参照 2017-03-13).
- 3) “分析解析事例 G-0017 耐候性試験”. イビデンエンジニアリング株式会社.  
<http://www.ibieng.co.jp/analysis-solution/g0017/>, (参照 2017-03-13).
- 4) “KTRニュース第49回「耐光試験(たいこうしけん)」について2”. 株式会社KTR.  
<https://www.kaji-tr.com/news/news49.htm#news>, (参照 2017-03-13).

# 短時間製麹における酒質への影響

## Influence on short-time Koji production on Sake teste quality

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 鈴木賢二 松本大志 猪俣有唯  
中島奈津子 菊地伸広

従来から製麹については、高精白の高級酒は長めの製麹が望ましいという通説であった。しかし、近年、グルコアミラーゼ高生産性の麹菌が開発され、短時間製麹の方が味わいの的に軽く、香気も強いとの判断からあえて短時間で製麹を行う造り方が登場し、その酒が市場で好評を博している。短時間製麹法は、製造現場にとって省力化が図られ、酒質も良くなるのであれば非常に好ましい。

そこで、製麹時間計 48 時間及び計 52 時間製麹の 2 種類の麹を作製し、酢酸イソアミル系酵母及びカブロン酸エチル系酵母によってどのように酒質に影響を与えるか試験した。その結果、麹のグルコアミラーゼ力価、 $\alpha$  アミラーゼ力価のいずれも製麹時間の長い方が高い結果となり、また、製成酒のグルコース量、香気成分ともに増加した。一方、短時間製麹は味わいが軽くなる傾向にあり、より淡麗な酒質を望むのであれば、短時間製麹法の選択が可能と考えられた。

Key words: 米麹、製麹法、短時間、酒質、省力化

### 1. 緒言

従来の製麹において、高精白の高級酒については、酵素力価が高いという観点から長時間の製麹が望ましいというのが通説であった。通常、麹の酵素力価は製麹時間に比例すると言われており、ほとんどの蔵が高級酒の麹については、50 時間以上の製麹を行っている。しかし近年、グルコアミラーゼ高生産性の麹菌が開発され、短時間製麹の方が味わいが軽く、香気も強いとの判断から、あえて短時間での製麹を行うという手法が登場し、その手法により製造された酒が市場で好評を博している。短時間製麹法は、製造現場にとって省力化といった面からは極めて重要であり、酒質も向上するのであれば非常に好ましい。そこで、実際に短時間で製麹した麹と通常の時間で製麹した麹を作製し、それらを用いて試験醸造を行い、酒質にどのような影響があるかを検討し、短時間製麹の効果を検証した。

### 2. 実験方法

#### 2. 1. 原料米

平成 28 年福島県産「五百万石」を 45%まで精白したものを麹米、掛米共に用いた。

#### 2. 2. 製麹

製麹は蓋麹にて行い、従来通りに製造する対照製麹試験区（以下、対照試験区）、短時間製麹試験区（以下、短時間試験区）の 2 試験区で行った。種もやしについては、“白夜”（株式会社菱六製）を 100kg あたり 20g 振り切りにした。短時間試験区については、包み温度をやや高めの 33.5℃とし、34℃に上昇した時点で切り返し盛りを行った。対照試験区については、32℃で包み、33℃で切り返し盛りを行った。

#### 2. 3. 麹の分析手法

麹のグルコアミラーゼ、 $\alpha$  アミラーゼ、酸性カルボキシペプチターゼは、酵素測定キット（株式会社キッコーマン社製）にて測定した。水分は 75) °C減圧 1 時間にて測定した。耐熱性芽胞菌は麹を生理食塩水に入れ、80°C 10 分間加熱後、標準寒天培地にて 35°C 48 時間培養して菌数を測定した。

#### 2. 4. 醪仕込配合

醪については、総米 2510g の三段仕込みとし、仕込容器は 6 リットル容ステンレスポットとした。初添仕込みの際に、酵母 4mL、リン酸 1 水素カリウム 0.5mg 添加した。仕込配合については、表 1 の通り行った。酵母は酢酸イソアミル系として F7-01 を、カブロン酸エチル系として 701-15 を使用した。試験区は以下の通りとした。

試験区 1 : F7-01+短時間試験区麹

試験区 2 : 701-15+短時間試験区麹

試験区 3 : F7-01+対照試験区麹

試験区 4 : 701-15+対照試験区麹

表 1 仕込配合

	添	仲	留	総量
総米(g)	420	820	1270	2510
麹米(g)	105	165	230	500
掛米(g)	315	655	1040	2010
水(mL)	630	1000	1870	3500

#### 2. 5. 醪管理方法

醪は初添温度 12°C、2 日間踊りを取り、仲添 9°C、留添 6°C となるように仕込み、以降 0.5~1.0°C/日と

事業課題名「短時間製麹における酒質への影響」

なるよう温度を上昇させ、最高温度約 11℃にて推移させた。

醪分析項目としては、Brix 糖度、アルコール（アルコメイト）、直接還元等を測定した。

## 2. 6. 製成酒分析方法

製成酒の分析は、標準分析法<sup>1)</sup>の諸法に基づいて、日本酒度、アルコール、酸度、アミノ酸度、香気成分について行い、最後に官能検査（パネラー8名）を行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1. 製麹結果

図1に製麹の温度経過を、図2、図3に出麹後の外觀を示す。当初の目標とした温度をやや下回り、さらに製麹総米量が各 10kg と少なかった事もあってか温度上昇が予定通りでなく、特に盛りのタイミングが遅れ、結果的に温度上昇が両試験区共に遅れたため、短時間試験区については48時間と、予定した45時間よりも長い製麹時間となった。

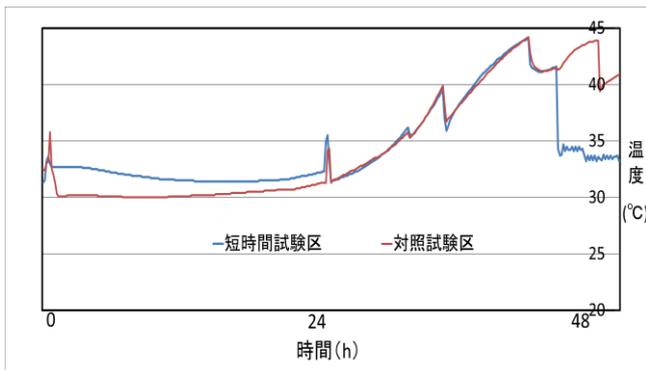


図1 製麹時における温度経過



図2 短時間試験区



図3 対照試験区

### 3. 2. 製麹工程中における麹酵素力価の変化

製麹中の酵素力価の変化を表2に示す。最終的に使用時の短時間試験区の酵素力価は、グルコアミラーゼ力価（以下、GA）で238unit、 $\alpha$ アミラーゼ力価（以下、 $\alpha$ A）で444unit、酸性カルボキシペプチターゼ力価（以下、ACP）で3267unitと吟醸麹としては良好な値を示し、対照試験区についても同様に、GA272unit、 $\alpha$ A510unit、ACP3200unitとすべての酵素活性が増加し、吟醸麹としては申し分のない結果となった。

また、でき上がった麹について、耐熱性芽胞菌数を測定したところ、両試験区から検出は認められなかった。

表2 製麹工程中における麹酵素力価の変化

工程	製麹時間	酵素力価 (unit)					
		グルコアミラーゼ <sup>g</sup>		$\alpha$ アミラーゼ <sup>e</sup>		酸性カルボキシペプチターゼ <sup>h</sup>	
		短時間	対照	短時間	対照	短時間	対照
包み	0h	—	—	—	—	—	—
盛り前	26h	—	—	—	—	—	—
切返し盛後	26.5h	5	10	44	22	66	132
仲仕事時	33h	44	37	170	152	778	525
仕舞仕事時	36.5h	63	62	176	154	995	955
最高品温	44.5h	145	137	266	211	1645	1667
短時間出麹	48h	145	144	317	285	2466	2290
対照出麹	52h	—	214	—	436	—	2929
使用時		238	272	444	510	3267	3200

### 3. 3. 試験醸造結果

#### 3. 3. 1. 醪管理結果

総米 2510g の醪を三段仕込みにて、留め温度を約 6℃で仕込み、その日から約 1℃/日となるように上昇させ、最高温度を約 12℃として、推移させた。最終的に酢酸イソアミル系は 23 日目で上槽、カプロン酸エチル系は 24 日目で上槽となった。

#### 3. 3. 2. 製成酒分析結果

製成酒の一般成分分析結果を表3に、香気成分分析結果を表4に示す。この結果、試験区4だけがやや甘めとなったものの、短時間試験区と対照試験区の差に顕著な違いは認められなかった。また、香気成分については、総じて対照試験区の方が、高くなる傾向が伺え、初期の酵素力価の大小によるブドウ糖量の違いから、このような影響を受けているものと考えられた。

表3 製成酒の一般分析結果

試験区	製麹	使用酵母	日本酒度	アルコール (v/v%)	酸度	アミノ酸度
1	短時間	F7-01	+5	16.4	1.8	0.8
2		701-15	±0	15.6	1.9	1.1
3	対照	F7-01	+5	16.6	1.8	0.8
4		701-15	-5	15.8	1.9	1.1

表4 製成酒の香気分析結果

試験区	製麹	使用酵母	アセトアルデヒド	酢酸エチル	n-プロピルアルコール	i-アミルアルコール	酢酸イソアミル	カプロン酸エチル
1	短時間	F7-01	20.1	51.7	81.6	123.1	2.5	1.2
2		701-15	16.8	24.1	40.2	103.8	1.0	4.0
3	対照	F7-01	20.2	62.7	89.5	126.4	3.1	1.4
4		701-15	19.4	27.3	37.5	95.4	1.3	6.1

#### 3. 3. 3. 製成酒官能評価結果

官能評価の結果を表5に示す。評点から短時間試験区と対照試験区の間には酒質の差は見られなかったが、寸評から短時間試験区は、味わいがキレイで軽快なタイプとなり、対照試験区は、逆に味わいがしっかりし

た芳醇なタイプとなった。評点についても淡麗で軽い味わいを好む方は短時間試験区に良い評価を、芳醇でしっかりした味わいを好む方は対照試験区を評価した傾向にあり、結果的に製麹時間の長短は、目的とする酒質設計に合わせて、その両手法を選択できるものと思われた。

表 5 製成酒の官能評価結果

試験区	製麹	使用酵母	官能評価 平均点 <sup>※</sup>	寸評
1	短時間	F7-01	2.4	酸ウキ、軽快も味薄感、酢酸イソアミル、辛口
2		701-15	2.0	ややジアセチル臭、軽快、酸ハル、
3	対照	F7-01	2.4	酸ハリ、やや味重、酢酸イソアミル良
4		701-15	2.0	甘味キレイ、味わい良、芳醇、少々脂肪酸臭

※ 5点法(1:良-3:普通-5:難あり)

#### 4. 結言

近年、グルコアミラーゼ高生産性の麹菌が開発され、容易に高いグルコアミラーゼ力価が得られる事から、従来より短時間で製麹する手法を採用する蔵が出現した。そこで、従来より短時間で製麹する事の有用性について検証を行った。短時間試験区として 48 時間製麹区と従来型製麹法として 52 時間製麹区（対照試験区）の 2 種を製造したところ、酵素力価については、グルコアミラーゼ力価、 $\alpha$  アミラーゼ力価ともに対照試験区の方が高い結果となった。これらの麹を用いて総米約 2.5kg で小仕込み試験を行った結果、短時間試験区の製成酒は辛口となる傾向となり、味味的に軽い酒質が得られ、それに対して対照試験区の製成酒は芳醇で味わいのある酒質が得られた。官能評価の評点としては差が見られなかった事から、酒質設計の一手段として、この両手法を選択できるものと考えられた。

#### 参考文献

- 1) 酒類総合研究所標準分析法注解. 独立行政法人酒類総合研究所. 2010.

# 3D 技術を活用した鈴木式ろくろのすり型自動生成プログラム開発

Development of Suri tracingwork automatic generation program for Suzuki style lathe using 3D technology

会津若松技術支援センター 産業工芸科 堀内芳明 齋藤勇人 出羽重遠  
応募企業 工房 石原木工所

明治時代に会津地域で開発され、現在もお椀等の丸物木地を製造する職人が使用する鈴木式ろくろに 3D 技術を応用し、同ろくろの基幹部品で、これまで現物合わせで、手作業で製作してきた「すり型」と呼ばれる倣い型の形状を 3D ソフトウェアで自動生成し、生成された形状を元にアクリル製のすり型を試作して、工法の開発及び検証を行った。

Key words: 3D 技術、鈴木式ろくろ、すり型、自動生成

## 1. 緒言

明治時代に開発された、会津発祥の鈴木式ろくろは大量生産に特化したろくろで、現在もお椀等を製造する丸物木地職人が使用している。鈴木式ろくろは、製造する器物の形状に合った、すり型と呼ばれる倣い型に沿って、バイト（鉋）を移動させながら、ろくろ挽きを行う。すり型は、量産する器物のマスターを手挽きで 1 点製作し、ろくろに設置したマスターに沿ってバイトの刃先でなぞることで、すり型のラインを決め、なぞられたラインに沿って、すり型の製作を行う。従来の方法では、すり型を製作する際に必ず一つのマスターを製作し、形状が異なる器物は各々のマスターを製作する必要があり、多くの手間がかかってしまう。この製造方法は開発された明治時代から現代まで変わっていない。

そこで、製造工程の短縮、繰り返し精度の高度化を目指して、3D 技術を活用することで、マスターを製作せずに、器物の外形線から自動的にすり型のラインを生成するプログラムの開発を行った。

## 2. 鈴木式ろくろの計測

### 2. 1. 測定方法

すり型と加工形状を一意に対応させるためには、鈴木式ろくろの全体位置関係を数値化（把握）する必要がある。

鈴木式ろくろは、回転軸の回りに補助器具が複数配置されており、定規やノギス等の測定器を使用時の実測が複雑になるため、本所所有のハンディ 3D スキャナ（ViALUX 社 zSnapper portable）を使用して計測を行った。

また、鈴木式ろくろ全体のサイズが大きいためから測定の際にハンディ 3D スキャナに付属している、シートタイプの測定用ターゲット（以下、ターゲットシールという）をろくろの周辺に数多く配置することで精度の高いスキャンができないかを検証した。実験したところ、スキャンする際の明るさの調整が必要である

が、プリントアウトしたターゲットシールでも問題なくスキャンできることがわかった。

これを踏まえて、鈴木式ろくろが配置されている周辺にまんべんなくターゲットシールを配置するために、実験的にスキャンした鈴木式ろくろ 3D データを活用して、鈴木式ろくろ専用のターゲット板を以下の工程で製作した（図 1）。

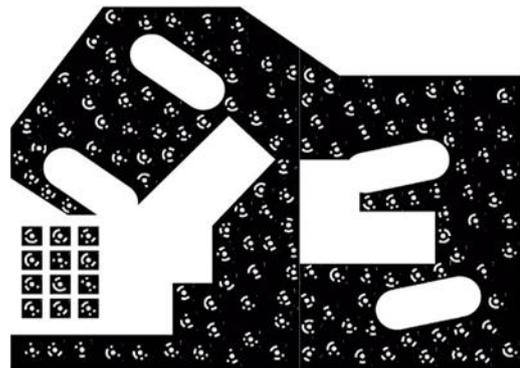


図 1 鈴木式ろくろ専用のターゲット板

- ①データを基に関節や型板台、回転軸の固定具部分を避けるような板の設計を行った。
- ②ターゲットシールは複合機のスキャン機能で全枚数を読み込み、ソフトウェア上で自由に配置できるようにした。複合機のスキャン設定は読み込みカラーをグレースケール（256 段階）、読み込み解像度を 600dpi、出力データを JPEG とした。
- ③Adobe 社 Photoshop を使用してスキャンしたターゲットシールを一枚ずつ個別の JPEG データに切り抜きを行った。
- ④スキャンをしたターゲットシールは Adobe 社 Illustrator を使用して設計した板の上に配置し、大判プリンタでプリントアウトを行った。
- ⑤プリントアウトしたものを厚み 5 mm のスチロール板に貼り付けて、鈴木式ろくろ専用のターゲット板の製作を行った。実験として、角材や段ボール箱などを型板台や関節がある場所に設置し、スキャンを行った（図 2）。

事業課題名「3D 技術を活用した鈴木式ろくろのすり型自動生成プログラム開発」



図2 スキャンの実験

専用のターゲット板はまんべんなくターゲットがあるため、広い範囲でスキャンでき、3D スキャナの設置位置に配慮することなく、様々な角度からスキャンができた。

## 2. 2. ターゲット板を使用したスキャン

製作した鈴木式ろくろ専用のターゲット板を使用して、スキャンを行った(図3)。

ターゲットがまんべんなく配置されていることから、ターゲットの位置もあまり気にせず、影になる部分も角度を変えながらスキャンができた。スキャンが難しい関節の部分も精度良くスキャンをすることができた。



図3 スキャンの様子

## 3. スキャンデータの結合

### 3. 1. スキャンデータ結合ソフトウェア

使用した3D スキャナでは一度にろくろ全体のスキャンを行うことができず、複数回に分けてスキャンを行った。スキャンをしたデータを1つに結合し、ろくろ全体のデータを作成する必要があった。スキャンデータの結合は3D Systems 社 Geomagic Design X を使用した。

### 3. 2. ターゲット板を使用したスキャンデータの結合

全体的にターゲットが配置されているため、自動処理による位置合わせが8割程度行えた。また、一部手動での位置合わせが必要であったが、ターゲットがまんべんなく配置されているので、容易に位置合わせができ、結合することができた(図4)。



図4 スキャンデータの比較

## 4. すり型自動生成プログラムの開発

### 4. 1. プログラムの概要

3DCAD ソフトウェアの Robert McNeel & Associates 社 Rhinoceros 5 を使用してプログラムの開発を行った。鈴木式ろくろのスキャンデータを同ソフトウェア内に取り込み、間接の中心点の測定や形状を設計する際の基準点の設定に活用した。Rhinoceros 5 単体ではプログラムの開発は行えないので、Grasshopper という Rhinoceros 5 上で動作する無料プラグインのモデリング支援ツールを導入し、同プラグイン上でプログラムの開発を行った。Rhinoceros 5 で器物の断面線(外形/内形)の設計を行い、Grasshopper が設計した断面線から自動的にすり型を生成する。

今回はプログラムで既存製品の4寸のスープボウルが再現できるか検証を行った。

### 4. 2. プログラムの基本原則

基本原則は下記の通りである(図5)。

- ①器物の断面線(外形/内径)を任意の点数(最大1,000点)で分割する。
- ②バイトの刃先から爪までの長さで、分割した各々の点を始点とし、間接の中心点を通る直線をそれぞれ描く。
- ③描いた各々の直線の終点を出す。
- ④各々の終点を繋いだ曲線がバイトのなぞり線(すり型の曲線)となる。

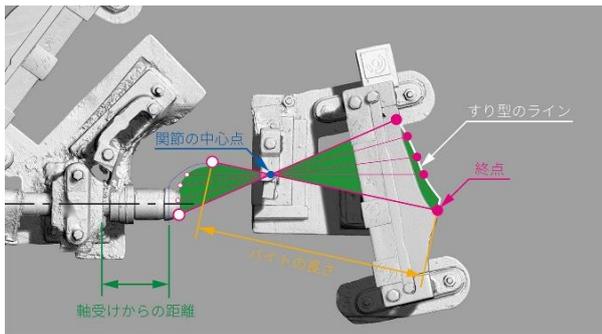


図5 プログラムの基本原理

#### 4. 3. 変数の設定

器物の製作の際に、バイトや荒型を固定する爪の長さ等の調整が必要である。そこで、実際の作業の様子とバイトを観察し、以下の項目を変数とした。

- ①バイトの刃先から爪までの長さ
- ②バイトの刃先のオフセット
- ③回転軸受けから器物を固定する爪までの距離
- ④回転軸を正面から見て、回転軸中心から放射上に刃先がなぞる角度

変数に任意の数値を設定することで、プログラム上に鈴木式ろくろを再現することとした。

#### 5. すり型の試作

すり型自動生成プログラムより算出されたバイトのなぞり線を基に、すり型の形状を設計した。すり型は5 mm 厚の亚克力板をレーザー加工機 (Universal Laser Systems 社 WIN-LASER M30) を使用して、試作した (図6)。

更にバイトで木地を挽く際に、挽き終わりが分かるようにそれぞれ矢印を付けた。

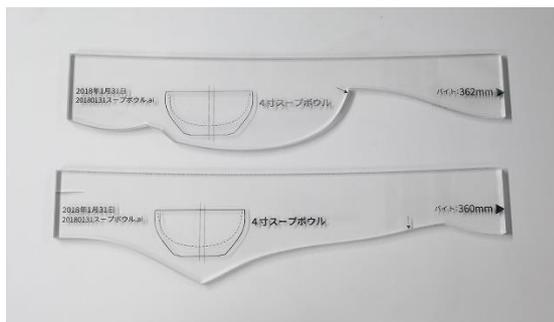


図6 試作したすり型

#### 6. スープボウルの試作

試作したすり型を使用して、4寸のスープボウルが再現できるか、普段、鈴木式ろくろを使用する丸物木地職人に試作いただいた。この時のバイトや軸受けの長さの設定は、実製品を製作する際と同じ設定とした。その結果、試作は可能であったが、亚克力板が透明

ということもあり、製作の際にどこまでバイトを移動させているか分かりにくいという意見をいただいた。これについては、透明の亚克力板を塗装するか、色つきの亚克力板を使用することで解決が可能である。

#### 7. スープボウルの試作

島津マイクロフォーカスX線透視装置 (株式会社島津製作所 SMX-1000 Plus) により、既存製品と試作品のX線透視画像を撮影し、形状の比較を行った (図7)。

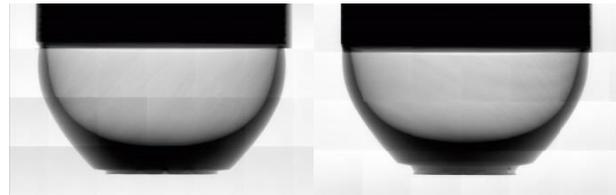


図7 X線透視画像 (左: 既存製品 / 右: 試作品)

試作品は既存の製品と比べ、全高が5 mm 低く、内側の深さが3 mm 浅かった。また、外形に関して、口回りのすばまり具合が少なかった。口の直径は1.5 mm 程度に収まっていた。X線透視画像による断面線の形状を比較すると、見た目でもわかるが、外観の膨らみが少ないことが分かった (図8)。

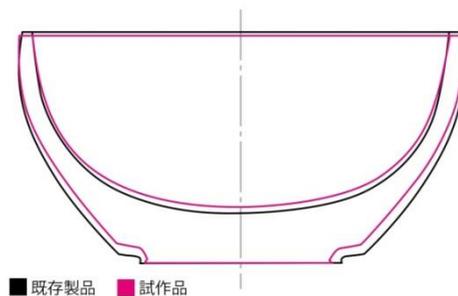


図8 断面図比較

高さが低かった理由としては、試作したすり型のスープボウルの底面部を挽く箇所形状に問題があった。この問題については、断面線の描き方を調整することで修正できるものと考えられる。

#### 8. 結言

試作品は、既存の製品と比べ大きな寸法のずれがなく、大きな課題が出る形状ではなかった。そのため、すり型自動生成プログラムの細かな修正を行うことで、実際の製造現場に用いることが可能となると考えられた。今後、すり型から器物の形状を算出するプログラムの開発ができれば、すり型と器物のデジタルアーカイブ化も可能であることから、会津漆器業界で活用されるよう、今後も改良を行っていきたい。

# デジタル技術による漆器の立体加飾（蒔絵）の開発

Development of three-dimensional decoration on lacquer ware(MAKIE) by digital technology

会津若松技術支援センター 産業工芸科 出羽重遠 堀内芳明  
応募企業 漆工房佐藤

厚みのある高蒔絵を量産するには、まず漆手板等に手描きの厚盛り素地を製作し、石膏で型取りを行う。次に漆錆による脱乾漆素地をつくり、漆器表面に貼り付けて蒔絵製作を行う。この手描きによるマスターを製作せずに、これまで以上に厚みがあり、漆器の3D曲面に合致した3D加飾（蒔絵）技術の確立を目標とした。目標達成のための主たる技術要素として、デジタル技術による3D模様データ製作方法、平面における3D模様現物製作方法、曲面（2次、3次）における3D模様現物製作方法等があるが、今回は、3Dプリンターによる型で平面・曲面3D模様現物を製作、3Dプリンターで直接に平面・曲面3D模様現物を製作、3Dプリンターで製作した平面3D模様現物を曲面に合わせて変形加工する方法等を行い、従来にない新しい漆器加飾技術を確立することができた。

Key words: 立体加飾、高蒔絵、立体模様、3D-CAD、3Dプリンター

## 1. 緒言

本事業の提案企業である漆工房佐藤では、盃等に高蒔絵による家紋模様を施す製造を長年行っている。依頼の多い模様については、実際に筆で何層にも重ねられた錆下地を石膏で型取した石膏型を使用し、厚みのある錆下地を製作し、高蒔絵を施している（図1）。

しかし、新しい複数の模様や多量の受注があった場合などの対応に苦慮している。

そこで、デジタル技術を導入し、新しい模様であっても短時間で立体（3D）模様を製作し、漆器商品等に活用できる製作方法について検討を行った。



図1 高蒔絵盃

## 2. 事業内容

### 2. 1. 3D模様製作方法の検討

任意の模様の3D加飾を製作する方法として以下の3項目を検討し、3D加飾技術の確立をめざした。

- ① 3D模様製作方法の検討
- ② 平面における3D模様製作方法の検討
- ③ 曲面（2次、3次）における3D模様製作方法の検討

漆器における加飾模様には、自然の草花木、幾何学模様、和洋の伝統模様など、単純なものから複雑で繊細なものまで様々な模様があるが、単純でワンポイント的なデザイン模様以外は、短時間で3D模様を製作することは非常に困難である。

ここでは、3D-CADと画像処理による3D模様製作方法について検討を行った。

### 2. 1. 1. 3D-CADによる3D模様データ製作

直線、曲線、幅が広い、狭いがある複雑な模様を直接3D化するのは、大変難しい作業である。しかし、単純な模様であれば、3D-CADを活用することで、3D化は比較的容易である。図2に示す「ユリ紋章」を例に3D-CAD（McNeel社 Rhinoceros（ライノセラ））で製作したモデルが図3である。

このモデルは、垂直方向から見た平面形状を、2Dデザインソフト（Adobe社 Illustrator（イラストレーター））で輪郭を正確に取り、輪郭データを3D-CADに取り込み、膨らみが付くようにサーフェスを加工して製作をした。

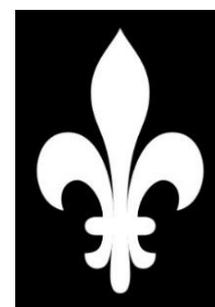


図2 ユリ紋章

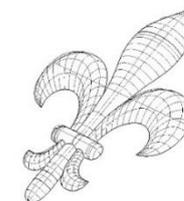


図3 3Dユリ紋章  
作図

### 2. 1. 2. 2D画像から3D模様データ製作

3D化が困難である複雑な模様の2D画像から3D模様を製作するデジタル画像処理について検討を行った。この画像処理は、画像をグレイスケール画像に変換し、モノクロ階調の明暗（白-黒）を3Dにおける縦方向の高低差に置き換え、3D形状を製作する方法である。現在、インターネット上には数種の処理ソフト等が存在し、用途に応じて使うことができる。今回の処理には、画像から3D製作ソフト（Photo To Mesh）を使用し、RGBグレイスケール画像の3D化（STL、DXF）処理を行った。これを用いることによって図4に示す複雑模様（唐草模様）から図5に示す3D形状が



図4 唐草模様（グレイスケール）

事業課題名「デジタル技術による漆器の立体加飾（蒔絵）の開発」

得られる。このようにして得られた3D形状はそのまま3Dプリンターで3D製作することができるが、3D-CADで編集するには、メッシュからサーフェスモデル等に加工し、IGES等の中間ファイルで書き出す必要がある。



図5 3D唐草模様(STL)

## 2. 2. 3D模様現物製作方法検討

### 2. 2. 1. 平面における3D模様現物製作

#### 2. 2. 1. 1. 型による3D模様現物製作

3D模様データから型加工用データを製作し3Dプリンター(FLASH FORGE社 CREATOR PRO)で積層幅を0.08mmに設定して型作成を行った。図6は3Dユリ紋章用型で、図7は3D唐草模様型である。



図6 3Dユリ紋章型

図7 3D唐草模様型

型に漆器の加飾素材として利用可能な充填剤(石粉粘土、小麦粘土、米粘土、エポキシパテ等)による成形を試してみたが、積層荒さを差し引いても、3D模様の複雑なところで欠け、割れなどが生じ、再現できなかったり、模様部分以外(バリ)の処理等が解決できず、型による3D平面模様製作は、達成できなかった(図8、図9)。



図8 型による3Dユリ紋章

図9 型による3D唐草模様

#### 2. 2. 1. 2. 3Dプリンターによる3D平面模様現物製作

直接3D平面模様を3Dプリンターで製作し、漆器に使用する検討を行った。模様は、ユリ紋章、唐草模様、花唐草模様、網絵模様等を用い、素材は、ABS樹脂、PLA樹脂を、積層幅は0.08mmの設定のもと3Dプリンターで製作を行



図10 3Dプリンターによる3Dユリ紋章



図11 3Dプリンターによる3D唐草模様



図12 3D花唐草模様

った(図10、図11、図12、図13)。

薄く細い模様を熱融解積層型3Dプリンターで製作するには、温度、プラットフォーム(造形テーブル)とホットエンドとの間隔や積層幅等の条件設定が良くないと良好な製作はできずできたとしても精度が高いものは困難である。

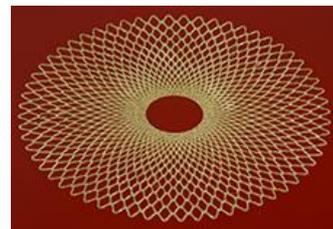


図13 3D網絵模様

### 2. 2. 2. 曲面における3D模様現物製作

#### 2. 2. 2. 1. 型による3D曲面模様現物製作

曲面についても型を作り、各種充填剤で3D曲面模様の再現を試みたが、平面と同様の結果で、実用に使えるものは製作できなかった(図14、図15)。



図14 3D曲面唐草模様型



図15 型による3D曲面模様

#### 2. 2. 2. 2. 3Dプリンターによる3D曲面模様現物製作

直接3Dプリンターで薄く、細く、複雑な3D曲面模様を模様だけ製作すること自体非常に困難であり、良好な結果は得られなかった(図16、図17)。



図16 3Dプリンターによる2次曲面模様



図17 3Dプリンターによる3次曲面模様

#### 2. 2. 2. 3. 3D平面現物模様から3D曲面模様現物製作

2. 2. 2. 2までの検討により、3Dプリンターによる3D曲面模様現物については、満足な結果は得られなかったことを受け、3D平面模様現物から2次曲面模様現物、3次曲面模様現物の加工について検討を行った。3D平面模様の種類にもよるが、線が細く厚み

が薄いものは、素材がABS樹脂、PLA樹脂に関わらず変形加工が可能である。目的の曲面加工用の内外型を製作し、3D平面模様現物を挟み込み、クランプで圧定し、約8



図18 平面3D模様から2次曲面模様へ変形

0℃～90℃、30分程度で変形が完了する。図18は重箱等の角曲面を想定し、2次曲面変形加工を行ったものであり、図19は吸物碗の蓋等を想定し、3次曲面変形加工を行ったものである。



図19 平面3D模様から3次曲面模様へ変形

### 2. 3. 3Dプリンターを使用した各種試作品

対象とする器物の加飾が3D平面模様の場合、直接製作するため、多様な模様が可能で、厚みなどを自由に設定できる。3D曲面模様の場合、3D平面模様を変形させて2次、3次曲面模様を製作するので、曲面に変形しやすい模様を選択する必要がある。また、本格的な高蒔絵を行うためには、熱融解積層型3Dプリンターの特性として積層幅による木目のような段差が生じるので、表面をなだらかにする処理に十分な時間をかけて作業を行う必要がある。

図20は3Dプリンターによるユリ紋章を使い、本格的な高蒔絵を施した重箱である。図21、図22は3Dプリンターによる網絵模様と花唐草模様で加飾を



図20 重箱蓋3Dユリ紋章(高蒔絵)



図21 角盆3D網絵模様



図22 角盆3D花唐草模様



図23 重箱3D唐草模様



図24 碗蓋3D唐草模様

行った角盆である。図23は3Dプリンターによる唐草模様を重箱の丸角(2次曲面)に合わせて変形後、加飾を行った重箱である。図24は3Dプリンターによる唐草模様を碗蓋の曲面(3次曲面)に合わせて変形後、加飾を行った碗蓋の試作品である。

### 3. 結言

デジタル技術を用いて3D加飾(高蒔絵)に提供できる3D模様の開発手法を確立すべく、試作検討を行った。

デジタル技術により、2D模様から3D模様データを製作することについては、繊細で複雑な模様が比較的容易に質の高い3D模様が再現できた。

また、3Dプリンターで製作した鋳型による成形に関しては、製作物の欠け、割れ、バリの処理が問題となり、実用に供することはできないと判断した。さらに、3Dプリンターで直接3D曲面模様を製作したが、こちらも実用に供することはできないと判断した。

そこで、3Dプリンターで直接3D平面模様を製作した後、対象物の2次、3次曲面に合わせた変形型を3Dプリンターで製作し、3D平面模様を変形型で変形させたことで、器物に合った3D模様の製作が可能であり、実用に供することができる結果となった。

提案企業から、本研究で示された成果について高い評価が得られており、さらに、3Dプリンターによる3D模様表面の処理方法などの技術の精度を上げていくことによって漆器のみならず、各種器物やパッケージなど多方面での活用が見込めると考えられた。

# 桐製壁紙の品質と生産性向上

## Consideration on improving quality and productivity of paulownia wallpaper

会津若松技術支援センター 産業工芸科 出羽重遠 齋藤勇人  
応募企業 株式会社 松竹工芸社 小針悦也

現在生産している桐製壁紙において、定番商品の一つになっている「ウッドリーフ」は、葉を数多くランダムに並べたようなデザインで、薄くスライス加工した突き板を木目の角度が約45°になるように右半分、左半分に打ち抜いたものを手作業で1枚ずつ左右の位置を見ながら貼り合わせる作業を数多く行うことによって製造している。生産性を上げるには、この突き板葉をいかに速く、大量に製造できるかにかかっている。

そこで、品質を含め、生産性向上が大きく見込める製造工程として、突き板葉の左右に応じた木目の角度を約45°に集成した桐ブロックを用いて、手で合わせていた部分をNCルータ切削加工で行い、ブロックの状態でも左右を接着し、スライス加工を行い、葉の形に打ち抜く製造工程の実現に向けた加工技術の検討・確認を行い、大きな効果を得ることができた。

Key words: 突き板、NCルータ

### 1. 緒言

本事業の提案企業である株式会社 松竹工芸社では、当初、コルクシートによる各種商品製造販売を行っていた。現在は、このシート製造技術を活かし、桐製壁紙の製造販売を行っている。今回の提案内容は、主力商品である「ウッドリーフ」の品質・生産性向上である。図1に示すとおり葉をランダムに並べたようなデザインで、薄くスライスした桐突き板から木目の角度が約45°になるように右半分、左半分に打ち抜いたものを手作業で、図2のように1枚ずつ左右の位置を見ながら貼り合わせる作業を数多く行うことによって製造している。このような製造工程では、部分的に工程を見直しても生産性はさほど上がらない。



図1 桐製壁紙「ウッドリーフ」



図2 突き板葉の左右貼り合わせ

そこで、根本的な製造工程の見直しを行うことによって品質・生産性向上が図れるものと考え、提案企業と十分な検討を行いながら事業を行った。

### 2. 事業内容

#### 2. 1. 製造工程の検討

生産性を向上させるためには、手作業の工程を機械化、自動化をすれば良いと考えるが、突き板葉の左右を貼り合わせる工程を機械化することは、新たな専用機の導入が必要であるなどの困難がある。

応募企業と十分な検討を行った中では、他の商品に活用または共有する様々な装置・機器を導入しているが、その一つに木目に対して斜めに木取りを行う装置があり、斜め木目のブロックを容易に製作でき、ウッドリーの葉製作に活用できるものである。そこで、桐材のブロックを製作し、左右の葉の合わせ目を高い精度で切削加工し、先に葉の左右の貼り合わせ（接着）をブロック状態で行う製造工程を検討することになった。

#### 2. 2. NCルータ切削

##### 2. 2. 1. 加工方向の検討

新しい製造工程の機軸になるのがNCルータによる切削加工である。この工程の良否が製造工程全体の良否につながるなど、極めて重要である。

木材を加工する場合、木目に対する切削方向が重要で、NCルータビットの回転方向は常に右回りであることから、通常逆目が起きづらいダウンカット（図3）を採用する機会が多いが、逆目が起きづらい木目が並んでいる方向の切削であれば、アップカット（図4）をした方が仕上がりは良好である。今回の切削加工は、木目が斜めに並んだブロックを対象に行うので、ならい目しか起きない状況を作り、アップカットで切削する方法で行った（図5）。



図3 ダウンカット

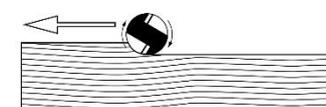


図4 アップカット

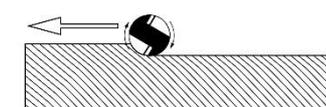


図5 桐ブロック切削

##### 2. 2. 2. 突き板葉の合わせ目におけるNC切削の検討

事業課題名「桐製壁紙の品質・生産性向上の研究」

図6のAの赤線に示すとおり葉を3枚縦に並べた状態で赤線の接着位置に沿って切削を行うよう切削条件設定を行った。葉の左側は、図6の

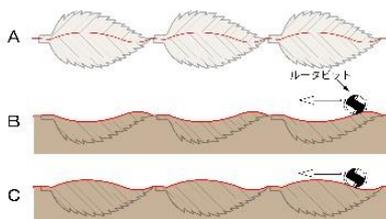


図6 葉の合わせ目の切削条件

Bに示すとおり、

ならい目優先のアップカットで切削を行うので、左右方向に裏返して葉先から切削を行う設定とした。葉の右側は、図6のCに示すとおり、そのまま葉先から切削をする設定とした。試験切削に用いたNCルータは、SHINX 社小型NCルータで、NC制御部はFANUC21i-Mである(図7)。ルータビットは、葉の合わせ目形状の精度を考慮すれば、ビット径が細いほど良いと考えるが、提案企業の、桐ブロックの厚みを50mmにしたいとの意向から、1回の切削量は12~13mmであっても最終的に50mm以上の刃長が必要であり、ビットの強度を考慮して、直径12mmの市販ストレートビットを使用した。NCプログラムは、眞柄賢一氏著作のNCVCを使用し、切削条件の設定は、前述の小型NCルータに合わせて製作を行った。



図7 小型NCルータ

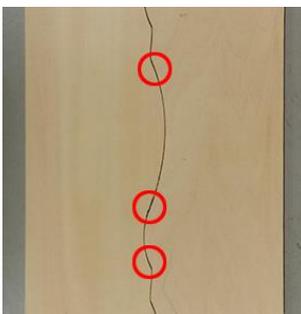


図8 葉の合わせ目確

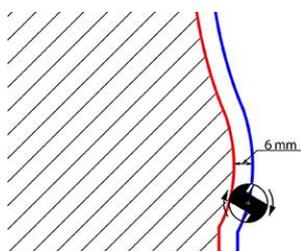


図9 6mmオフセット

始めに、葉の合わせ目形

状そのもので切削プログラムを製作し、左右それぞれ試験切削をし、図8に示すとおり接着面の確認を行い、赤丸で示した隙間ができることが確認できた。切削形状の曲率が大きいところで、上下方向で切削誤差が出て、左右合わせるとその誤差が2倍になり、隙間が生じる。そこで、図9に示すとおり赤線上で切削していたプログラムをビット径の2分の1である6mm外側にオフセットし、青線上をプログラムすれば切削位置が葉の合わせ目位置になり、隙間は解消できると考え、再度切削した。この状態を図10



図10 6mmオフセットによる切削結果

に示す。実際に、桐材の木目を斜めに接着したブロック材の切削加工を行い、葉の左右を接着し、さらに2列に接着加工したブロックをスライサーでスライス加工をして突き板状態になったのが、図11である。接着後の後処理に対しても接着箇所の不具合が出ることはなく高評価であった。



図11 2列6枚分の突き板状態

### 2. 2. 3. 5列並び加工の検討

図11のとおり1列接着を2本並べても、間にある空間は無駄である。そこで、葉の斜め木目を崩さないこと、接着可能な板幅が380mmであることを前提として検討した結果、葉の方向を交互に反転させ、各列の凸部凹部と合わせるように5列を配置することが、無駄な空間を最小化することが分かった(図12)。この加工には、桐ブロックが6本必要で、緑色の加工が2本、黄色の加工が2本、ピンク色の加工と青色の加工が1本ずつである。図13は、切削作業が終了し、組合せを並べ確認を行っているところで、図14は、接着作業を行っているところである。図15は、スライサーで薄くスライスしているところで、図16は、できあがった突き板である。この突き板を図17の抜き型で切り抜いた状態が、図18の突き板葉である。

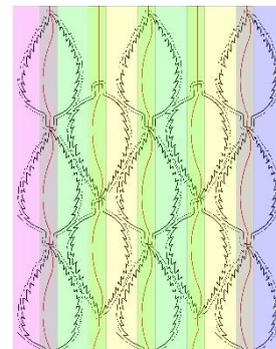


図12 5列加工の組み合わせ



図13 5列切削状態



図14 接着作業

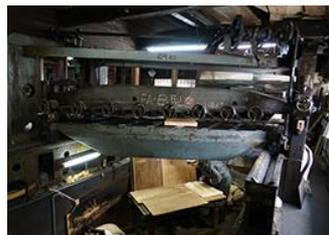


図15 スライサーによる突き板加工



図16 5列13枚分の突き板



図 17 葉 1 枚分の抜き型



図 18 突き板葉の完成

### 3. 結言

本事業では、これまで行っていた製造工程を大幅に見直し、品質と生産性を上げることを目標に行った。

品質については、接着を行ってから突き板を作り、型抜きを行うので、作業途中での欠けや割れは起きにくく、高品質の製品に反映できた。

生産性については、1ロール2.2m製造するのに、図19の部分シートを図20のとおり37行、2列の配置で74枚必要であり、表1に示すとおり約7倍の生産性向上が期待できた。



図 19 部分シート

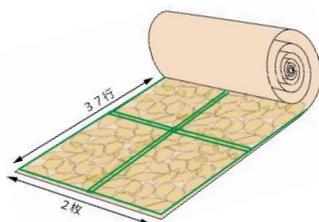


図 20 部分シートの配置

表 1 生産性比較(1人あたり)

生産量比較	生産量数	生産日数
これまでの工程 (図 19、20)	10-ル=74シート(37行×2列) 74シート×35枚(突き板葉)=2,590枚	7日
研究成果の工程	17-ル=230シート(5列突き板) 230シート×13枚(突き板葉)=2,990枚	1日

# 直線及び曲げ溶接部用バックシールド治具の開発

## Development of back shielding jig for straight and bending parts of welding

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 タニコー株式会社 福島小高工場

多関節ロボットを用いてバックシールドを行うことで多品種少量生産に対応できる溶接技術を確立するため、直線部と曲げ部を有する製品に用いるTIG溶接用のバックシールド治具を試作した。試作したバックシールド治具の効果を確認するため、直線部と曲げ部でスポット溶接実験を行った。実験の結果、直線部の実験では15[L/min]のシールドガスを流すことで、熔融金属が凝固した中央部に金属光沢が得られた。曲げ部の実験では20[L/min]のシールドガスを流すことで、熔融金属が凝固した中央部に金属光沢が得られた。

Key words: バックシールド、治具、直線部、曲げ部

### 1. 緒言

TIG溶接法で完全溶け込み溶接を行う場合、Ar等の不活性ガスを用いて裏側をシールドするバックシールドを行うことがある。特にステンレス鋼板の突き合わせ溶接継手では、外観不良や溶け込み不足等の欠陥を防止するために不可欠である。

シールドは、最も温度が高く活性化している溶融池を中心に行う。溶融池はアークと共に移動するため、アークを発生させる表側はアークの近傍から溶融池に向けてガスを噴出することでシールドできる。しかし、裏側は溶融池の移動に合わせて表側とは別にシールドが必要なので、直線部と曲率を有する曲げ部が混在するステンレス製品のバックシールドは多品種少量生産における課題であった。

そこで今回は、多関節ロボットを用いてバックシールドを行うことで多品種少量生産に対応できる溶接技術を確立するため、直線部と曲げ部を有する製品に用いるTIG溶接用のバックシールド治具を試作した。試作したバックシールド治具の効果を確認するため、スポット溶接実験を行ったので報告する。

### 2. 治具の試作とバックシールドの効果

#### 2. 1. バックシールド治具

今回は、ステンレス鋼板を用いた突き合わせ溶接継手について検討した。溶接線は製品に合わせて、図1に示すように直線部と半径50[mm]の曲げ部を有するものとした。溶接は表側からステンレス鋼板にアークを発生させて行い、バックシールドは裏側から行う。また、溶接は直線部から始めて、曲げ部、直線部の順に中断なく連続して行うものとした。

今回のような溶接線に対しては、裏側を封止してからArガスと置換することでバックシールドを行う方法が一般的である。しかし、この方法は、封止の作業とガスの置換のための時間を要するため、生産の効率

化ができない。同様に、全ての溶接線を同時にバックシールドするための専用の治具を用いる方法もあるが、直線部の長さごとに治具を準備する必要があるため、治具の製作や段取り替えのために多くの工数が必要になる。

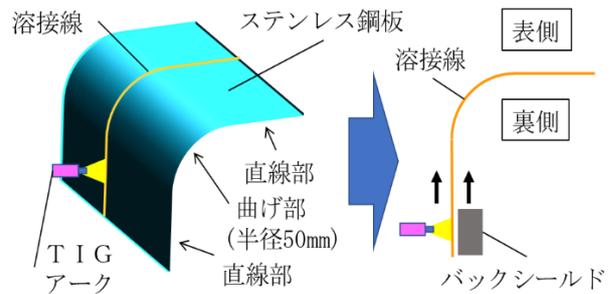


図1 バックシールド治具を検討した溶接線

これらの課題を解決するため、図2に示すTIG溶接用バックシールド治具（以下、「シールド治具」と呼ぶ）を試作した。

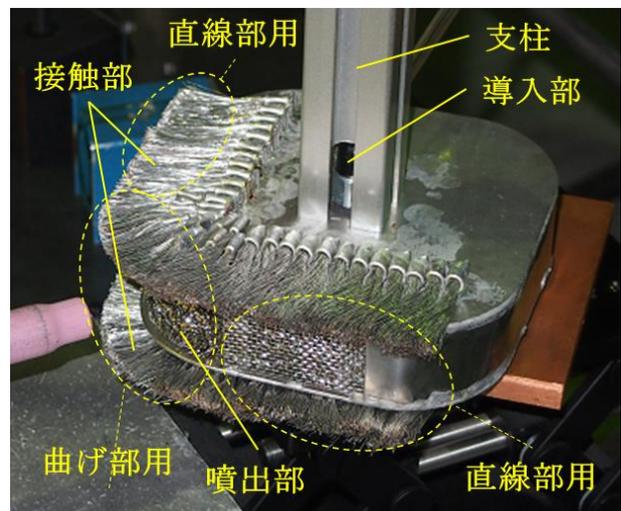


図2 試作したTIG溶接用バックシールド治具

事業課題名「曲率対応バックシールド治具の開発」

シールド治具は、多関節ロボットに搭載するための支柱、シールドガスを導入するための導入部、シールドガスを噴出する噴出部、そして、ステンレス鋼板と接触する接触部で構成されている。接触部には、直線部の溶接時に使用する直線部用及び曲げ部の溶接に使用するため、曲げ部と同じ 50mm の半径を有する曲げ部用の部分を設けた。また、接触部は、高いシールド効果を得るため、シールドガスの漏出や大気の混入を招くステンレス鋼板とシールド治具との隙間を低減するようにになっている。更に、磁気吹き等の発生を低減するため、接触部をグランドに接続することでグランドの強化もできる。

シールド治具を用いたバックシールドは、図3に示すように、溶融池に合わせて移動することで行う。シールド治具は、直線的な移動のみで直線部及び曲げ部のバックシールドができるため、多関節ロボットのティーチングの作業性を著しく向上させることもできる。

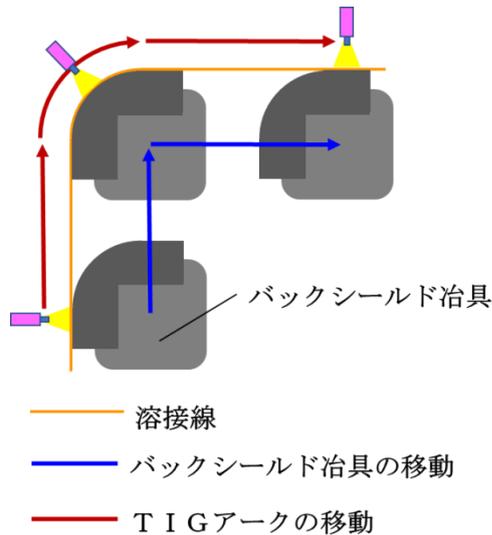


図3 試作した治具を用いた溶接のイメージ

## 2. 2. 直線部でのバックシールドの効果

シールド治具を用いて、直線部でのシールド効果を確認するためにスポット溶接実験を行った後、裏側の溶接部を観察した。表1に実験の主な条件を示す。図4に実験の風景を示す。

表1 スポット溶接実験の主な条件

溶接電流 [A]	80
溶接時間 [sec]	3
アーク長 [mm]	5
バックシールドガス	Ar
ガスの流量 [L/min]	0~30



図4 スポット溶接実験の風景（直線部用）

実験の結果を図5に示す。バックシールドガスの流量が 10[L/min] の場合、0[L/min] の場合と比較してシールドの効果は見られるが、凝固した熔融金属の中央部にはほとんど金属光沢は見られなかった。しかし、15[L/min] にすることで、中央部に金属光沢が現れることがわかった。また、30[L/min] にすることで更に高いシールド効果が現れ、中央部をはじめ、酸化している部分が著しく少なくなった。

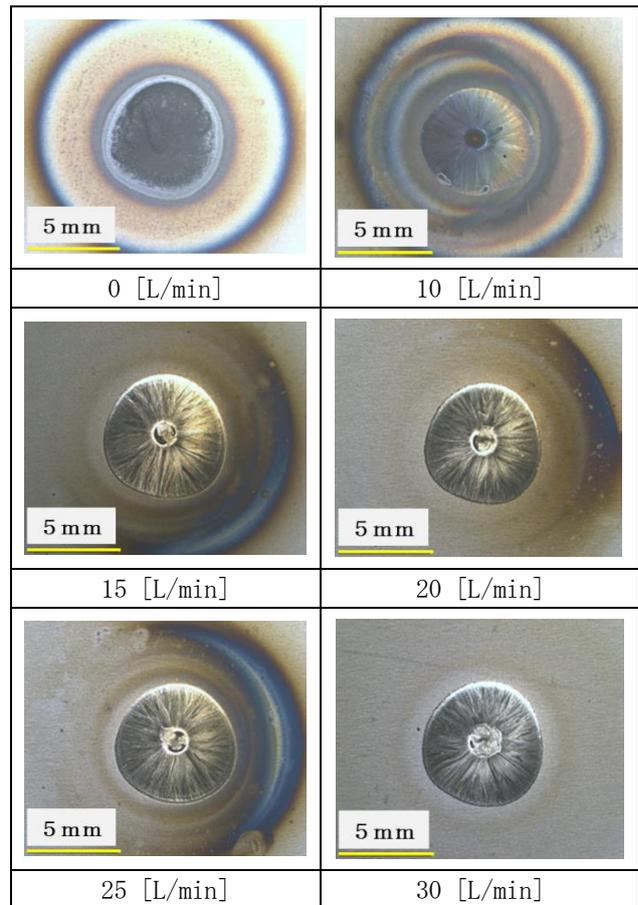


図5 ガスの流量と溶接部の外観（直線部）

### 2. 3. 曲げ部でのバックシールドの効果

曲げ部でのシールド効果を確認するため、シールド治具を用いて図6に示すようなスポット溶接実験を行った。実験の条件は直線部の実験と同じとした。

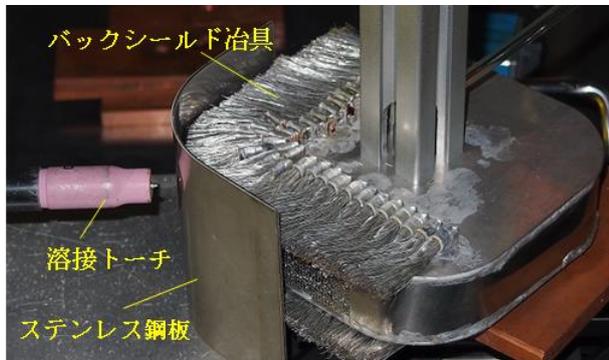


図6 スポット溶接実験の風景（曲げ部用）

実験の結果を図7に示す。バックシールドガスの流量を20[L/min]にすることで、凝固した熔融金属の中央部に金属光沢が見られるようになった。また、25[L/min]以上ではシールドの効果が高まり、中央部をはじめ、酸化している部分が著しく少なくなった。

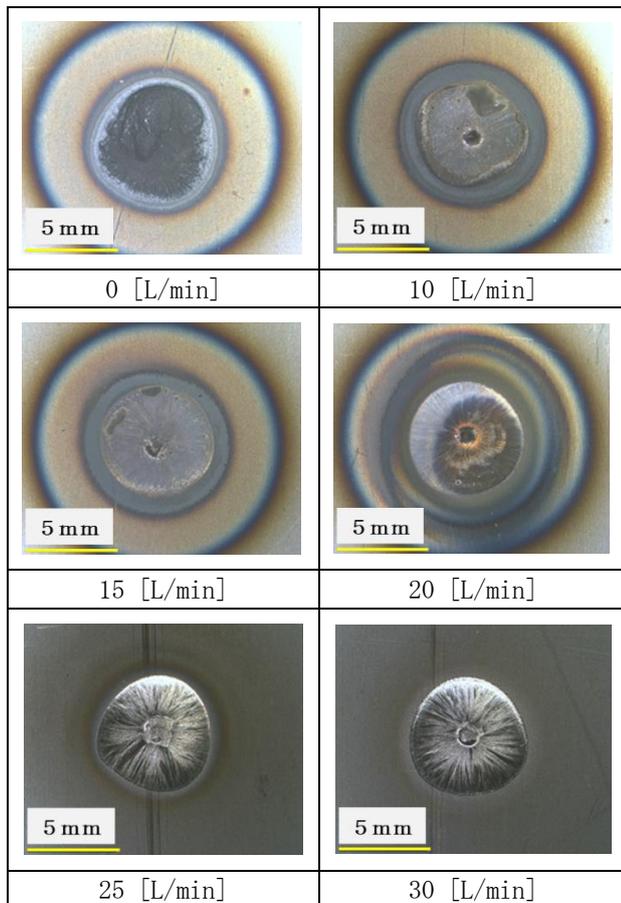


図7 ガスの流量と溶接部の外観（曲げ部）

直線部と曲げ部共にバックシールドガスの流量を30[L/min]にすることでシールド効果が高まり、酸化している部分をほとんど無くすることができた。しかし、それより少ない流量では、直線部と曲げ部でのシールドの効果に差が見られることがわかった。これは、シールド治具の内部構造によるものと考えられる。すなわち、ガスは導入部から導入された後に噴出部からシールドガスとして噴出するため、導入部からの距離によって噴出されるガスの量に差が生じる。そのため、最も距離が大きい曲げ部から噴出されるガスの量が直線部よりも少なくなり、接触部とステンレス鋼板との間に生じるわずかな隙間からの大気への侵入を防ぐことができなくなるためと考えられる。

### 3. 結言

多関節ロボットを用いてバックシールドを行うことで多品種少量生産に対応できる溶接技術確立するため、直線部と曲げ部を有する製品に用いるTIG溶接用のバックシールド治具を試作した。試作したバックシールド治具の効果を確認するため、直線部と曲げ部でスポット溶接実験を行った。実験の結果、直線部の実験では15[L/min]のシールドガスを流すことで、凝固した熔融金属の中央部に金属光沢が得られた。曲げ部の実験では20[L/min]のシールドガスを流すことで、凝固した熔融金属の中央部に金属光沢が得られた。

# 超硬合金へのめっき密着性向上のための粗化

## —超硬合金へのめっきを行う際の密着力向上手法の開発—

### Development of roughening method for improving plating adhesion to super hard alloy

- Development of method for improving adhesion when plating to super hard alloy -

技術開発部 生産・加工科 三瓶 義之

応募企業 株式会社エム・ティ・アイ

バインダレス超硬合金は硬度・剛性・耐薬品性に優れており、金型に適した特性を持った素材である。しかし、その特性ゆえにめっきの密着性を向上させるための表面粗化を行うことが非常に難しい。本研究では超硬素材の表面粗化手法として、従来のバインダー相のコバルトエッチングに代わって、ドライエッチングにより超硬粒子自体を粗化する手法を試みた。その結果、ICP イオンエッチング装置を用いた酸素プラズマ照射によって超硬粒子自体を粗化することができた。

Key words: めっき、超硬合金、密着性向上、ドライエッチング

## 1. 緒言

応募企業ではハイテクプラザより技術移転された微細めっき金型作製技術により、金型製作を受注している。また、作製した微細めっきパターンを超硬合金のドライエッチング加工時のエッチングマスクとして適用することにも取り組んでいる。

このめっきパターンを作製する際には、めっきの密着性を向上させるために表面を粗化させる必要がある。しかし、超硬合金の主成分である炭化タングステン（以下 WC）の粒子は高い硬度と耐薬品性をもっており、機械的・化学的に粗化させることは難しい。そこでバインダー成分であるコバルトをフッ酸系の薬品を用いてウェットエッチングすることで粗化を行っていた。

このような中で、発注企業からは近年金型用途などで使用が増えているバインダレス超硬合金に対してもこの技術を適用したいという要望が出てきている。このバインダレス超硬合金にはコバルトがほとんど含まれていないために、ウェットエッチングによる粗化を行うことができない。

そこで、ウェットエッチングに代わる密着性向上手法として、ドライエッチングによる WC 粒子自体の表面粗化について検討を行った。

具体的には、イオンミリングでのアルゴンプラズマ照射および ICP イオンエッチング装置による酸素プラズマ照射を行い、表面の状態について SEM 観察により観察し評価を行った。

## 2. 実験

### 2. 1. 素材

使用する超硬合金素材としてはバインダレス超硬が最終目標だが、試験用にサンプルを入手することが困

難である。

そこで、代用として株式会社タンガロイ製の超硬合金 TH10 をサンプルとして用いた。その機械特性については表 1、公称組成については表 2 のとおりである。

表 1 TH10 の機械特性

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	硬度 (HRA)	抗折力 (GPa)	圧縮強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)
14.7	92	2.4	6.1	620

表 2 TH10 の公称組成

成分	組成 (wt%)
WC	92
Co	6
TiC+TaC	2

### 2. 2. 実験

イオンミリングによる処理では、試料をフラットミリング用の試料台に固定し、加速電圧 6[kV]、入射角 60[°] で 5[分] のアルゴンプラズマの照射を行った。

ICP イオンエッチングによる処理では、プロセス圧力 0.3[Pa]、高周波出力 300[W]、ステージバイアス電圧 50[V] の条件で 20[分] の酸素プラズマ処理を行った。

未処理の試料および処理後の試料について SEM 観察を行った結果について図 1 から図 3 に示す。

図 1 および図 2 より、未処理の試料と比較しイオンミリングでアルゴンプラズマ照射を行った試料では、WC 粒子間のバインダー成分のコバルトが除去されている様子が観察される。しかし、WC 粒子自体は平滑なままであり、イオンミリングでは WC 粒子を粗化できないことが確認できた。

図 3 の ICP イオンエッチングを行った試料では、バ

事業課題名「超硬へのめっき密着性向上のための粗化」

インダー成分のコバルトが除去されていることに加え、WC 粒子自体に線状の凹凸が多数できていることが確認できた。

この凹凸は複数の WC 粒子をまたいで存在していることから、試料製造中の加工の際に WC 粒子に発生した加工変質層がイオンエッチングの際に優先的に除去されたものと考えられる。

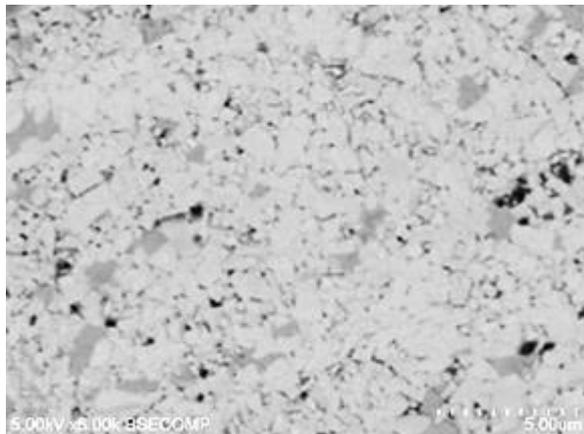


図1 未処理の試料表面

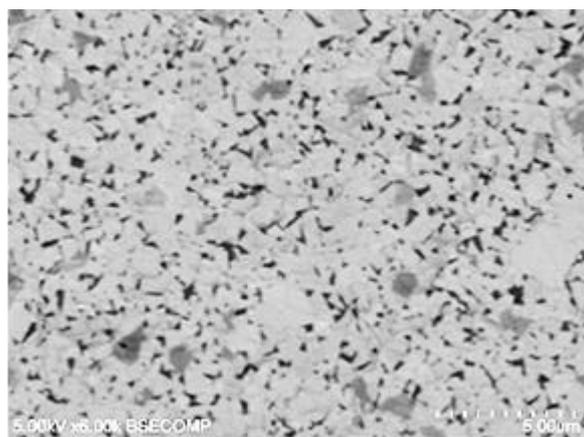


図2 イオンミリング処理後の試料表面

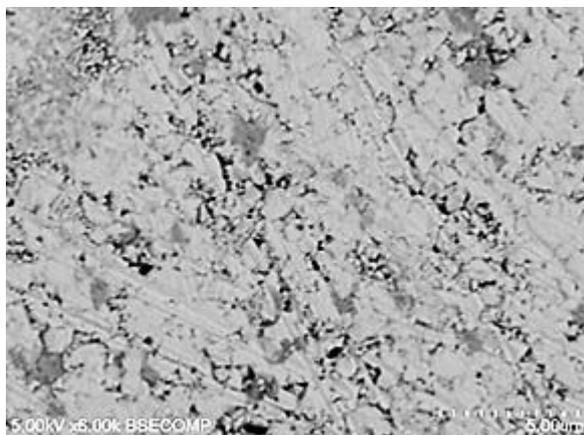


図3 ICP イオンエッチング処理後の試料表面

金型用のバインダレスの超硬合金においては、その表面仕上げ性を活かして表面を高度な鏡面に研磨することが多い。そのため、加工変質層を優先して除去して粒子自体に凹凸を発生させるといふこの手法は有効であると考えられる。

### 3. 結言

バインダレス超硬合金への適用を目標に、超硬合金を構成する WC 粒子自体の粗化手法として、イオンミリングによるアルゴンプラズマ照射および ICP イオンエッチング装置による酸素プラズマ照射を行った。

加工された試料を SEM により観察することで表面の WC 粒子の状態を評価し、以下の知見が得られた。

- ・イオンミリングによるアルゴンプラズマ照射では、超硬合金のバインダー成分について優先的に除去できていることが確認できた。これにより、ある程度バインダー成分を含む超硬合金については表面の粗化が可能であるが、バインダレス超硬合金表面の粗化の可能性は得られなかった。

- ・ICP イオンエッチング装置による酸素プラズマ処理においては、バインダー成分の除去に加えて WC 粒子自体の粗化が可能であることが確認された。これによりバインダー成分を含まないバインダレス超硬合金についても表面を粗化できる可能性が示された。

本研究では、試料の入手性の問題からバインダレス超硬合金において、これらの知見が適用できるかについての確認を行うことができなかった。サンプル入手次第、バインダレス超硬合金において同様の実験を行い、その処理結果および有効性についても確認する必要があると考えられる。

# 配管内洗浄ロボットの開発（第2報）

## Development of in-pipe washing robot ( 2nd report )

技術開発部 プロジェクト研究科 柿崎正貴 安藤久人 三浦勝吏 菅野雄大

本事業では、平時にはインフラのメンテナンスや下水管の洗浄等の産業用途、災害等の有事には有害物質除去、消火支援等の復旧作業に活用することを目的とした、排水回収機能を持つ配管内洗浄ロボットを開発している。平成29年度は、配管内を自走するための駆動機構を設計・試作し動作試験を行い、内径 105 mm の直管（水平設置及び垂直設置）、90° エルボ（ロング）（内径約 100 mm）の管内走行と、配管内部の映像取得が可能となった。

Key words: 災害対応ロボット、管内洗浄、管内点検、インフラ点検

### 1. 緒言

本事業では、平時にはインフラのメンテナンス、下水管の洗浄等の産業用途、災害等の有事には有害物質除去、消火支援等、復旧作業に活用できる配管内洗浄ロボット及び配管内面の洗浄及び排水回収システムを開発している（図1、図2参照）。

事業期間は、平成28年度から平成30年度までの3年である。昨年度は、高圧水の噴射反力のみを動力とする洗浄機構を設計・試作し、内径 105 mm の配管内洗浄を可能とした<sup>1)</sup>。しかし、噴射反力のみでは配管内を約 2m しか進むことができず、長距離の配管洗浄を行うには推進力が不足していた。

そこで今年度は、モータにより配管内を自走する駆動機構の開発を行った。また、インフラ点検や配管ライニング前の事前点検等のニーズに対応するため、カメラによる配管内の検査機構の開発を行った。

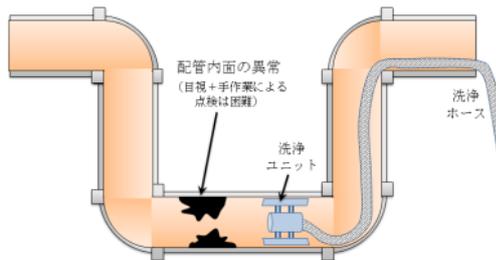


図1 配管内の点検・洗浄概念図



図2 災害時における活用イメージ

### 2. 駆動機構の設計

#### 2. 1. 駆動方法の検討

今年度、開発するモータ駆動の配管内洗浄ロボット概念図を図3に示す。本ロボットは配管の端部から管内に投入し、管内を自走するとともに管内洗浄を行う。ロボットには配管内を高圧洗浄するための洗浄機構を先端に配置するため、モータを使用する駆動機構は配線等の都合上、洗浄機構の後方に連結する構造とする。

なお、配管内を自走するロボットの形状はこれまで多数提案されている。参考として図4に Se-gon Roh らによる配管内を自走するロボットの形状分類の一例<sup>2)</sup>を示す。本事業で開発する駆動機構の形状は図4 (b) と (d) の組み合わせとする。また、駆動機構はモジュール単位で製作したうえで、複数のモジュールを柔軟なチューブ等で連結する構造とする。これにより、曲率を有する配管内を走行する際、本機構が管の曲率に適應する形状へ変化し、曲管内の走行が可能となる。

また、図5に本ロボットの管内点検用途として使用する際の概念図を示す。洗浄機構の代わりとしてカメラ等の画像センサをロボット先端部に配置し、その後方に駆動機構を連結することで、配管内を自走するとともに、管内の状態を検査することが可能な構造とする。

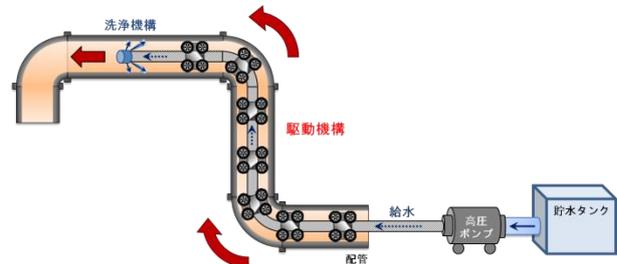


図3 モータ駆動の配管内洗浄ロボット概念図

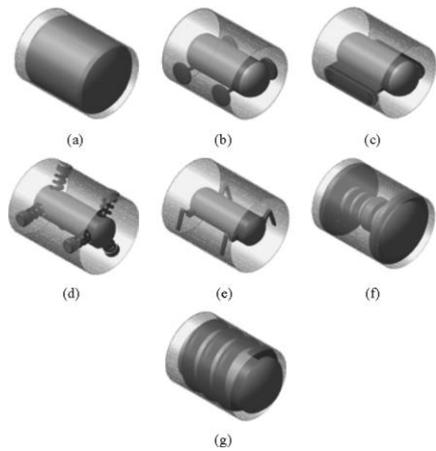


図4 Classification of in-pipe robots.

(a) Pig type. (b) Wheel type. (c) Caterpillar type. (d) Wall-press type. (e) Walking type. (f) Inchworm type. (g) Screw type.<sup>2)</sup>

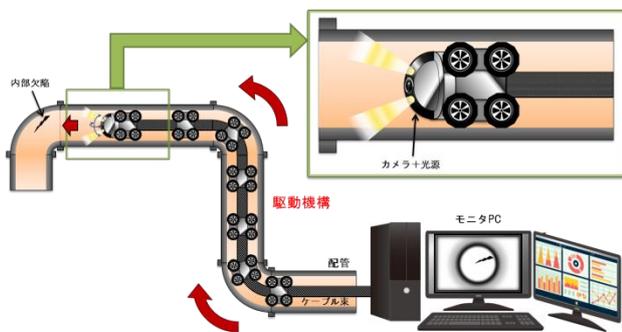


図5 モーター駆動の配管内点検ロボット概念図

## 2. 2. 具体的な目標タスク

本事業で使用する配管は、プラント配管や上下水道管として広く使用されている JIS G 3452 呼び径 100A 相当 (内径 105 mm) とした。具体的には、以下の目標タスクを実用化可能性の指標として設定した。

- 内径 105 mm の配管について、JIS B 2311 90° エルボ (ロング) 呼び径 100A 相当の管継手を 2 つ以上含む、距離 10m 以上の管内走行

## 2. 3. 設計要件

駆動機構の設計にあたり、本機構に必要な機能要件を以下に示す。

- ① モーターの動力を用いて車輪を回転させ、配管内を自走する機構
- ② 先端に洗浄機構を連結することを想定し、本機構が高圧水を輸送するためのホースに干渉することのない設計
- ③ 内径 105 mm の配管内に投入可能なサイズ
- ④ 内径 105 mm の直管内の走行が可能な機構
- ⑤ 90° エルボ (ロング) 内の走行が可能な機構 (エルボ管の曲率に順応可能)

## 2. 4. 駆動機構の設計

上記で示した機能要件を考慮し設計した駆動機構の 3 次元モデルを図 6 に示す。2 つのモーターを配置し、モーターの出力軸に締結された駆動輪の回転により配管内を走行する機構とした (2. 3. の要件①に該当)。2 つのモーターは走行時の中心軸に対して対称に配置し、駆動輪が配管内面に押し付けられる構造とした。これらの駆動輪がモーターにより回転することで、配管内を走行するための推進力が発生する。また、側面には複数の従輪を配置することで、モーターと配管内面との接触を防止し、管内に若干の起伏がある場合でも走行可能なロバスト性のある設計とした。さらに、中央には高圧水輸送用のホースを通すための 28.0 mm 径の空洞を設け (2. 3. の要件②に該当)、本機構のサイズは幅 72.0 mm、長さ 79.0 mm、高さ 92.0 mm まで小型化を行った (2. 3. の要件③、④に該当)。

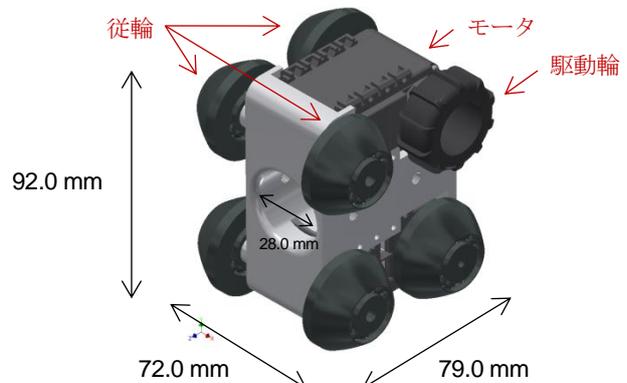


図6 駆動機構の3次元モデル

図 6 に示したモデルを 1 モジュールとしてモジュール単位で製作し、複数のモジュールを連結する構造とした。図 7 にモジュールを複数連結した際の 3 次元モデルを示す。機構中央には柔軟性のあるチューブを配置し、これによりモジュール間の連結を行うことで、90° エルボ (ロング) 等の曲率を有する配管内を走行する際に機構の走行姿勢が変化した場合でも、配管形状に適應する形で管内の走行が可能となる (2. 3. の要件④に該当)。また、本機構では連結するモジュール数やモジュールの姿勢を変更することで、管内走行の推進力を最適化することが可能となり、本機構の使用条件 (管内洗浄用途として使用、検査用途として使用等) や使用環境 (長距離配管、内面が汚染された配管内の走行等) に見合った設計変更が容易な構造とした。



図7 駆動機構の連結

## 2. 5. 駆動系システム設計

図8に駆動機構各部の接続ブロック図を示す。駆動機構のモータには ROBOTIS 社製 Dynamixel AX-12A<sup>3)</sup>を使用した。このモータを使用した理由は主に以下の2点である。

- ① モータ自体が小型、軽量かつ配線数が少なく、機構全体を小型化することが可能
- ② 機構を制御するためのフィードバック情報(回転速度、回転位置等)を取得可能

モータ同士は有線のデジチェーン接続とし、末端のモータへ電源(+12V, GND)と信号線を接続する構造とした。信号線は制御PCへ接続し、このPCから制御指令を各モータへ伝送する構成とした。各モータには固有のIDが割り当てられており、個別制御が可能である。

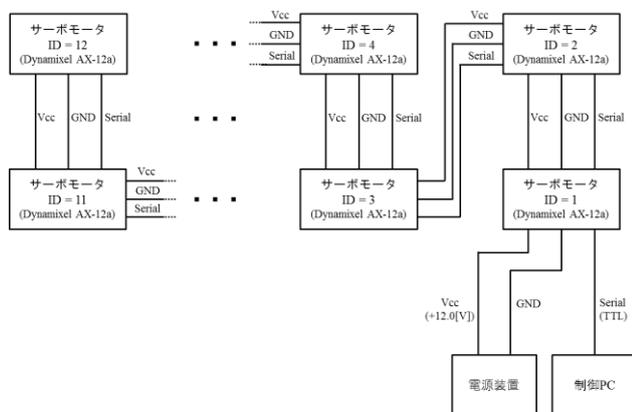


図8 駆動機構各部の接続ブロック図

## 3. 試作機製作

これまでに述べた設計を基に、駆動機構の試作を行った。図9に試作機の外観を示す。本機構の中央部にコルゲートチューブ(外径 27 mm)を配置し、それを連結部材として6機のモジュールを連結した。コルゲートチューブとは配線保護等の目的で使用される樹脂製のチューブであり、適度な剛性と柔軟性を有するため採用した。なお、図9に示した試作機には、先端部に小型カメラを取り付けることで、図5に示した管内点検用ロボットの機能を付与した。



図9 試作機外観

## 4. 動作試験

製作した試作機について、配管内の走破性を確認するための動作試験を行った。以下に動作試験に使用した配管の形状、仕様等を示す。なお、図10に示すように、下記の①と③の直管は②の90°エルボ(ロング)を継手として接続した。また、直管については、試作機が管内を走行する際の挙動が目視できるように、透明なアクリル管を使用した。

- ① 直管(水平設置)
  - 材質: アクリル(透明)
  - 内径: 105 mm
  - 長さ: 2 m
- ② 90°エルボ(ロング)
  - 材質: 塩化ビニル
  - 呼び径: 100A (JIS K6739)
- ③ 直管(垂直設置)
  - 材質: アクリル(透明)
  - 内径: 105 mm
  - 長さ: 1 m

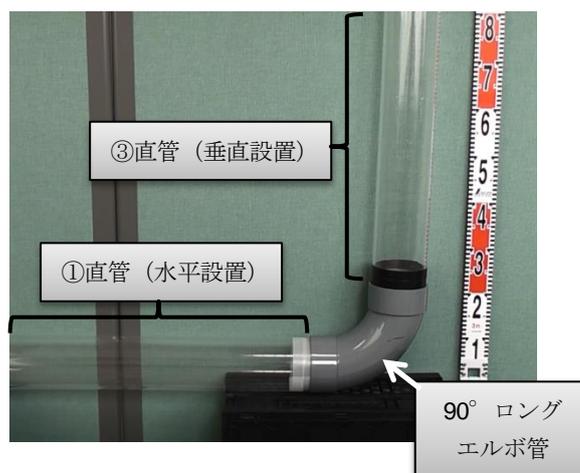


図10 動作試験用配管設備

図10に示した配管設備内に試作機を投入し、管内を走行させた際の様子を図11に示す。モータはすべて 48rpm(無負荷時)で駆動し、管内の平均走行速度

は約 56 mm/s であった。動作試験により、以下の結果が得られた。

- 内径 105 mm の直管（水平に設置）、90° エルボ（ロング）（内径約 100 mm）及び直管（垂直に設置）について、管内の走行が可能（図 1 1 参照）
- 試作機先端のカメラにより、直管及び 90° エルボ（ロング）内の映像取得が可能（図 1 2 参照）
- 試作機及びコルゲートチューブ（長さ約 3m）を管内で移動させるために十分な推進力が得られていることを確認

なお、管内走行時に従輪やコルゲートチューブ表面の凹凸が配管の継手部分に引っ掛かる現象が発生するが、その際も他のモジュールの推進力により走行が可能であった。また、今回搭載したカメラは固定された状態のため、進行方向の映像のみの取得であったが、今後はカメラにパンチルト機能等を付与し、任意方向の配管内面の映像を取得できる構造とする予定である。

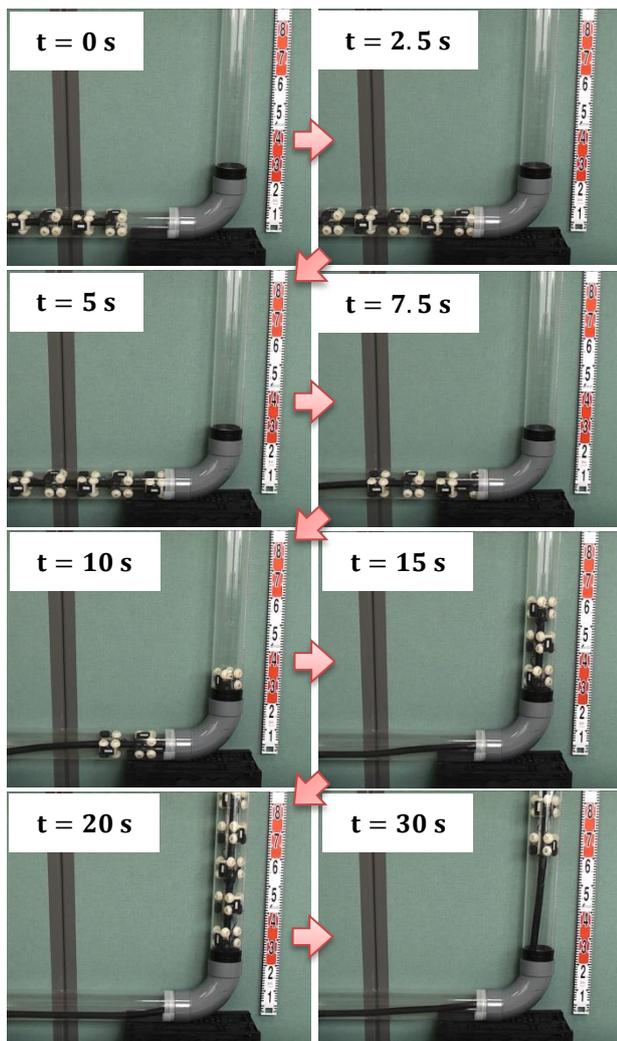


図 1 1 試作機の動作試験

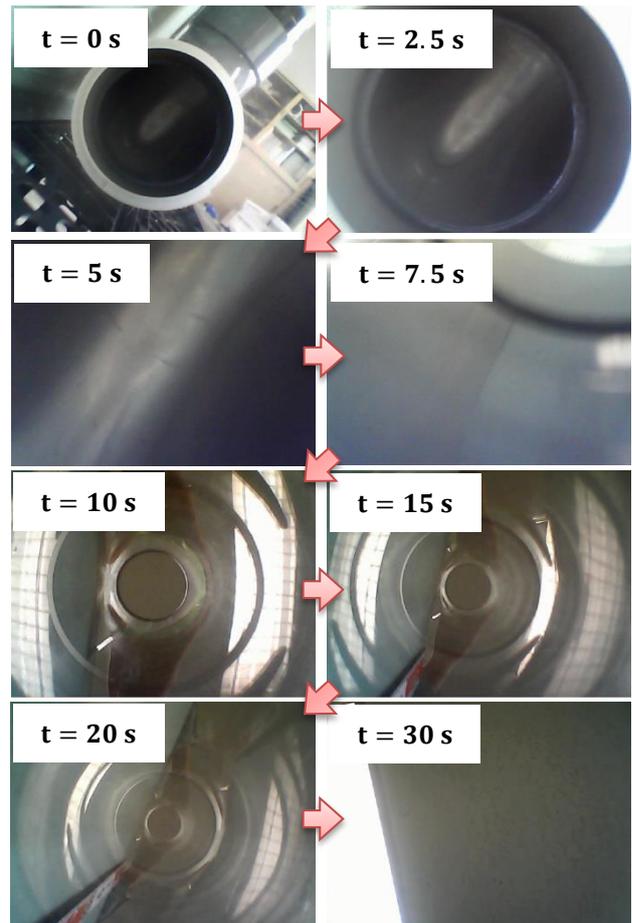


図 1 2 管内走行中のカメラ映像

## 5. 結言

本事業で開発する配管内洗浄ロボットについて、平成 29 年度は配管内を移動するための駆動機構の設計・試作・動作試験を行い、内径 105 mm の直管（水平設置及び垂直設置）、90° エルボ（ロング）の管内走行と、配管内面の映像取得が可能となった。

今後は、洗浄後の排水を回収する機構を開発し、洗浄機構、回収機構及び駆動機構を統合したうえで、配管内洗浄ロボット実験機を製作し性能評価を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 安藤久人, 柿崎正貴 他. 配管内洗浄ロボットの開発. 平成 28 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2016, p.43-45.
- 2) Se-gon Roh, Hyouk Ryeol Choi. "Differential-Drive In-Pipe Robot for Moving Inside Urban Gas Pipelines". IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS. 2005, VOL.21, NO.1.
- 3) "ROBOTIS". ROBOTIS. [http://jp.robotis.com/index/product.php?cate\\_code=101010](http://jp.robotis.com/index/product.php?cate_code=101010), (参照 2018-04-17).

# 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 leakage detection and notification device  
and autonomous weeding robot for electric fence against invading animals

技術開発部 プロジェクト研究科 吉田英一 菅野雄大 三浦勝吏 高樋昌\*1  
技術開発部 生産・加工科 稲葉 勉 太田 悟 尾形直秀  
農業総合センター 企画経営部 木幡栄子 河原田友美 宮和佳子 青田聡\*2

昨年度の検討結果を踏まえ、平成29年度は漏電通報装置及び除草ロボットの改良を行った。さらに、除草ロボットの自律走行に利用する目的で、ディープラーニングによる画像認識技術を使った電気柵の柵線や支柱の認識について検証した。

その結果、漏電通報装置は、実環境において45日間の長期試験でも問題なく動作することが確認できた。また圃場で電気柵に沿った走行と電気柵下の除草が可能な除草ロボットを開発することができた。さらにディープラーニングによる画像認識技術で支柱や柵線を検出させた結果、約75~90%の正解率を達成し、除草ロボットへの適用可能性が示された。

**Key words:** 除草、電気柵、漏電通報、除草ロボット、刈刃、ディープラーニング、Chainer、AlexNet、画像認識

## 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いるため、定常的な耕作地の管理ができなくなり、イノシシなどにより農作物が荒らされる獣害が多発している。これに対して獣害対策の主要な手段である電気防獣柵（以下、電気柵）を設置して対策しているものの、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。

電気柵下の草刈は、刈払機を用いて人手で行われているのが現状であるが、人手不足や高齢化が進む営農者にとって大きな負担となっており、ロボットを活用した除草のニーズが高まっている。

そこで、本研究では電気柵の管理の負担を軽減することを目的に、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ための漏電検出・通報装置（以下、漏電通報装置）と、漏電通知を受けて電気柵下を除草する自走式電気防獣柵除草ロボット（以下、除草ロボット）を開発してきた。

昨年度、漏電通報装置は、より消費電流の少ないマイコンを使用した装置を開発し、実証試験を行った。除草ロボットは、畦畔で使用する場合を想定してクローラー型を採用し、接触子（角度センサ）を用いて柵線との角度を計測しながら柵線に沿って走行する1号機を製作し、走行実験や除草評価を行った<sup>1) 2)</sup>。

本研究の最終年度となる平成29年度は、漏電通報装置のメール通報間隔や通報電圧を検討・改良し、圃場で長期運用試験を行った。除草ロボットは、1号機の課題を対策した2号機を試作し、ロボットの走行方法や、刈刃と走行速度の最適条件の検討及び除草性能

の評価と圃場での実証試験を行った。

また、除草ロボットの自律走行に利用する目的で、ディープラーニングによる画像認識技術を使い、柵線や支柱が認識可能か検証した<sup>3)</sup>。

## 2. 漏電検出・通報装置

### 2. 1. 漏電検出・通報装置の改良

開発した漏電通報装置は、30分ごとに電圧を測定してクラウドに記録する。その際、電気柵の電圧が、漏電通報装置に設定した通報電圧よりも低かった場合は、登録したメールアドレスにメールを送信するため、一度電圧が低下すると30分毎にメールで通知される。漏電が発生してから営農地に行くには時間がかかることもあり、煩わしさを解消するため、徐々に送信頻度を減らしていく機能を加えた。最初の通知から連続して3回漏電と判断されてメールが送信されると、次回からは3回通報ごとに通報間隔を1時間、2時間、4時間と空けてメールを送信することとした。

### 2. 2. 実証試験

#### 2. 2. 1. 長期試験

実際に圃場で使用する形で装置を設置して一定の期間稼働させて長期試験を行った。その間、稼働時間や防水性などの問題が起きないかを確認した。日時、実験方法等は以下の通り。

(1) 日時：10月4日（水）～11月17日（金）  
(45日間)

(2) 場所：郡山市石筵地区圃場

(3) 使用電気柵

末松電子社製ゲッターエース

## 事業課題名

「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」  
「除草ロボットの自律走行を目的とするディープラーニング画像認識の検討」

\*1 現ハイテクプラザいわき技術支援センター

\*2 現県南農林事務所

最大出力：9.8kV  
電気柵長：約800m

(4) 実験方法

30分に1回電気柵の電圧を測定し、xivelyというクラウドに電圧をアップロードし、電圧を記録した。また、4.0kVを下回った場合には、持ち主にメールで通知した。更に、1日の気温、降水量を記録した。

実験の結果、電気柵が撤去される11月17日までの45日の間、連続で稼働することを確認した。結果を図1、図2に示す。試験を行った圃場では、多くの場所で雑草が電気柵にかかっていたため、実験開始時から4.0kVを下回っていた。しかし、この実験では連続稼働による通信の状態や防水性を把握することを目的としているため、漏電している状態から試験を開始しても問題ないとした。試験の間に台風が接近して大雨に見舞われたが、問題なく稼働していることを確認した。

2. 2. 2. 通報電圧の検討

電気柵の電圧と草丈の関係について確認したところ、電気柵の長さが短い場合、4.0kVまで電圧が低下した時の草は、電気柵が埋もれるほど伸びていた。これは、電気柵の長さにより草が柵線に触れる量が変わってくるため、同じ草丈でも電気柵の長いほど漏電の度合いが大きいためである。

除草ロボットは、草が伸びきる前に除草することを想定し作られているため、草が大幅に伸びてしまうと除草することができなくなってしまう。このため、電気柵の長さにより通報する電圧を変更できる機能が必要であることが分かった。

そこで、電気柵の長さを変えて電圧を測定し、適切な通報のタイミングを検討した。実験方法は以下の通り。

- (1) 場所：農業総合センター圃場
- (2) 使用電気柵

末松電子社製ゲッターエース3  
最大出力：9.8kV

(3) 実験方法

- (ア) 電気柵下の草の長さ（自然長）を測定し、平均の長さを求める。
- (イ) 測定した平均草丈の長さを基準に、柵線の高さを4cmずつ変えていき（図3）、その時の電気柵の電圧を測定する。
- (ウ) 電気柵の長さを5m、25m、50m、100mと変更し方法（イ）を繰り返す。

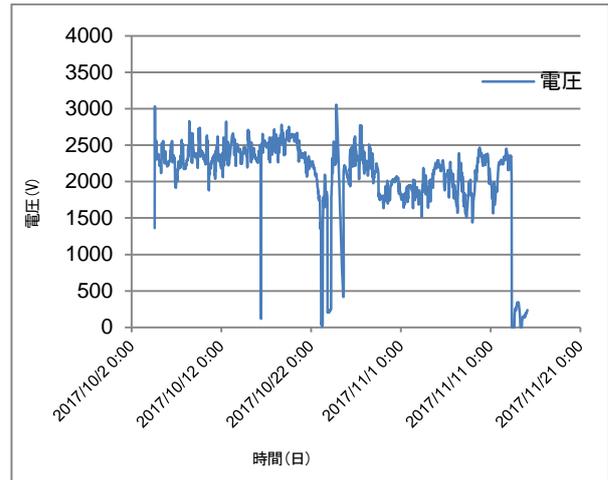


図1 長期試験結果（電圧）

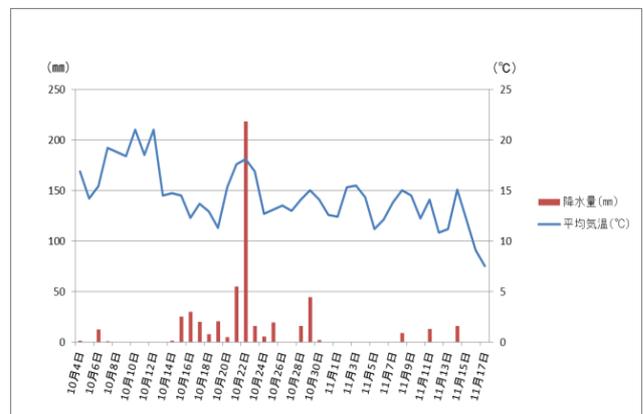


図2 長期試験結果（気温、降水量）

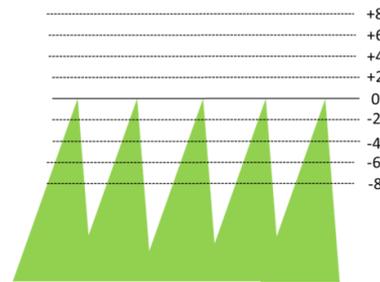


図3 実験方法

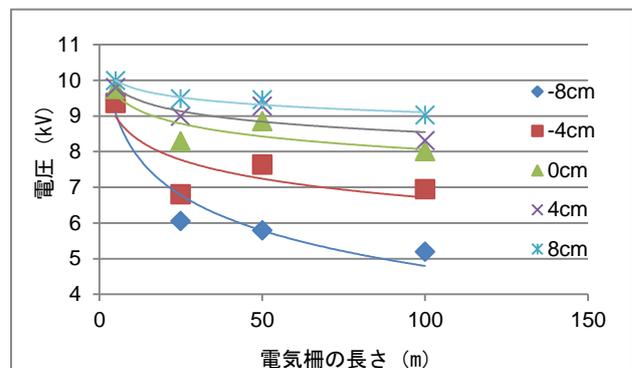


図4 電気柵の長さとう電圧の関係

結果を図4に示す。

除草ロボットが雑草を刈ることができる最大草高を雑草が柵よりも4cm伸びた時とし、電気柵の長さ(1)を図4より導出した。

$$y = -0.763 \ln(x) + 10.227 \quad (1)$$

y: 電圧(kV)

x: 電気柵の長さ(m)

この式(1)より、通報電圧を電気柵の長さが200m以下のときは6.0kV、200~800mのときは5.5kV、800~1500mのときは5.0kV、1500m以上のときは4.5kVとし、スイッチにより設定電圧を切り替えることができるように変更した。

### 3. 除草ロボット

昨年度は、1号機を使用して除草走行実験を行い、刈刃の違いによる除草性能や消費電力について検証した。また実験では、カッター部の草だまりによる除草性能の低下や、凹凸のある地面でのロボット下部接触による走行不能といった課題が明らかになった。

平成29年度は、この課題への対策として、草だまりを防ぐためカッターの位置をロボット本体の前方位置に配置し、凹凸のある地面でも走行が可能となるように、カッター部は上下に移動するバネ式機構を設けた仕様として2号機を委託製作した(図5)。2号機の仕様を表1に示す。2号機を使用し圃場にて、ロボットの速度を変えた除草実験を行い、最適な走行速度を検討した。

また、実畦畔で除草走行実験を行い、電気柵に沿った除草走行が可能であるか確認した。

なお、次項で述べる走行動作については2号機で検証し、除草性能及び消費電力の検証については、昨年度と同様の試験条件とするため1号機で検証した。

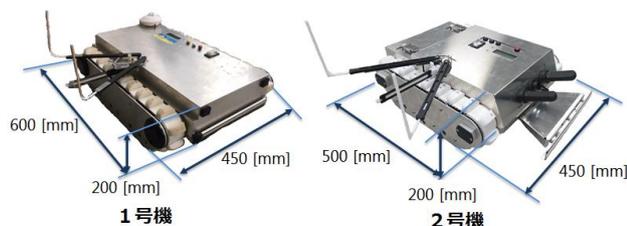


図5 除草ロボットの外観

表1 除草ロボット(2号機)の仕様

サイズ	W450×D500×H200	
バッテリー	36V6Ah(Li-ion)	
走行モータ	DCモータ4輪駆動 最大消費電力 8.55 [W]×4個	
除草モータ	日立工機フラットDCモータ 最大消費電力200 [W]	
制御マイコン	ルネサス製RX610	
RTOS	TOPPERS/ASP	
除草部	草高20 [cm]の雑草の除草が可能(刈幅50 [cm])	
	使用可能なカッター: ナイロンコード、金属刃 カッターサイズ : φ250	
	除草カッター部のばね式上下動機構	
走行部	センサ	角度センサ
		バンパースイッチ
		支柱検知センサ
	MAX傾斜15°の坂の登坂可能	
除草開始地点に戻る走行制御		
共通部	最大1時間除草走行可(バッテリー1個フル充電時)	
	緊急停止機能(接触子が柵線から外れた時)	
	リモコンで制御可	

#### 3. 1. 走行動作

ここでは、電気柵に沿った除草ロボットの走行方法について述べる。

##### 3. 1. 1. 除草区間の設定

除草終了の条件は、あらかじめ設定した支柱数に到達した時またはバッテリーの容量が減り除草ができなくなった時とした。バッテリー容量の閾値については、除草ができなくなるまで連続除草走行させた際の除草走行時間とバッテリー電圧値の関係を調べて決定した。

結果を図6に示す。試験開始から1時間経過後、バッテリー電圧が30Vを下回ったところから急激に電圧が低下し、除草モータの回転が弱まり、草が刈れなくなった。したがって、除草終了の条件として30Vを閾値とした。なお、除草モータの消費電力に比べて走行モータの消費電力は小さいため、30Vを下回っても途中で止まることなく1時間以上の走行が可能である。

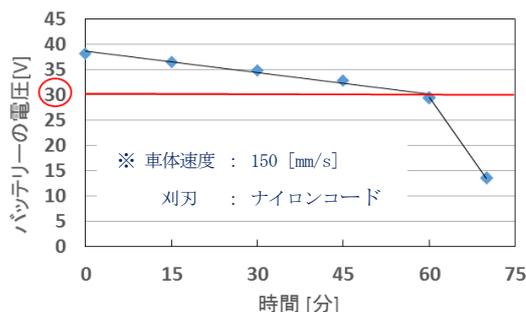


図6 バッテリー電圧値と除草走行時間の関係

### 3. 1. 2. 走行方法

除草ロボットの走行方法を図7に示す。図のように除草ロボットは柵線に沿って走行して、ロボット前方にあるバンパースイッチが支柱に接触するとバック走行に移る(図7①)。このような走行方法を採用したのは、ロボットが走行する際に草をロボットが倒してしまい刈残しが出る場合、そこをバック走行することによって一度寝てしまった草を起こして刈るためである。

バック走行後、ロボット後方にあるバンパースイッチが支柱に接触すると、柵線の左側、前方に向かって走行する(図7②)。柵線から離れることで前方にある支柱を回避する。前方の支柱横まで到達すると、ロボットの支柱検知センサに支柱が当たることでロボットが支柱を検知し、再度内側に入り柵線下の除草を行う(図7③)。これを繰り返す(図7①～③)。

除草が終了したら除草カッターの回転を止め、柵線の左側をバック走行し、除草開始地点に戻る(図7④)。除草開始地点には終了用の支柱を立て、そこにバンパースイッチが接触すると走行終了となる(図7⑤)。除草走行の終了を営農者に伝えるため、ブザー音を鳴らす。

また、前述した走行動作のように、柵線真下の除草と柵線左側の除草を行うため、ロボットと柵線のオフセット(ロボット中心から柵線までの距離)をそれぞれ設定し、後方のバンパースイッチ(図7②)及び支柱検知センサ(図7③)で支柱を検知したタイミングでオフセットの設定を切り替えるようにした。

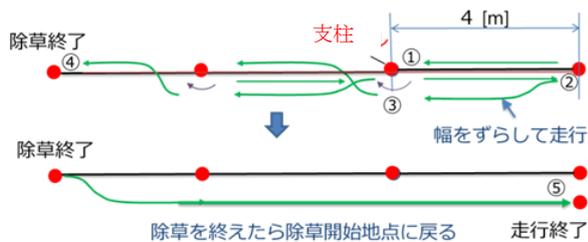


図7 除草ロボットの走行方法

### 3. 2. 除草性能及び消費電力の検証

実際の草地で除草ロボットの走行・除草を行い、刈刃の種類や走行速度の違いによる除草性能(除草後の草高)及びモータの消費電力への影響について評価した。

#### 3. 2. 1. 除草性能の検証

除草ロボットで除草を行う際、刈刃と走行速度を変えることで、除草性能にどのような影響があるか試験を行った。

#### 3. 2. 1. 1. 試験方法

試験は、草地に走行距離10mの試験区を設定し、除草ロボットを走行させて試験した。調査は試験区内に25cm角の枠を3カ所設置し(図8)、走行前後にその枠内でランダムに20本(イネ科雑草10本、その他雑草10本)の草高を測定した。

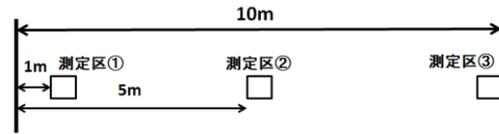


図8 試験区概要

試験はナイロンコードと金属刃(8、40、60枚刃)の刈刃を用いて行った。走行速度は50mm/s、100mm/s、150mm/sとした。

#### 3. 2. 1. 2. 試験結果

結果を表2に示す。ナイロンコードでは走行速度の違いによる除草性能の大きな差は見られず、刈残しも少なかった。金属刃では、走行速度を上げることで除草性能が上昇する傾向が見られたが、除草後を目視すると刈り残された雑草が多く見られ、多くは20cm以上であった。

表2 走行速度、刈刃の比較による除草性能

刈刃	走行速度 (mm/s)	草高平均値(cm)	
		除草前	除草後
ナイロンコード	50	16.4	4.4
	100	16.5	5.3
	150	17.8	5.2
金属刃:8枚	50	17.9	6.0
	100	14.8	6.3
	150	16.8	8.9
金属刃:40枚	50	16.2	9.3
	100	16.0	7.4
	150	14.5	6.8
金属刃:60枚	50	18.9	9.4
	100	20.4	7.7
	150	14.1	4.9

#### 3. 2. 2. 消費電力の検証

除草ロボットの異なる走行速度における消費電力について検討した。

##### 3. 2. 2. 1. 試験方法

試験では、除草モータの回転数が安定するまで10秒間待った後、50cmの助走区間をもうけ、刈幅25cmで1mの走行を行った。走行前後の草高、走行時間、消費電流、電圧を記録した。草高の測定は10cmごとに10回行った。ナイロンコードで設定走行速度50mm/s、100mm/s、150mm/s、金属刃で150mm/sの走行を行い、

各条件で3回ずつ走行した。

### 3. 2. 2. 2. 試験結果

ナイロンコードでは、走行速度を上げることで処理面積あたりの消費電力量が小さくなった(表3)。走行速度、刈刃の比較試験から、ナイロンコードを装着した場合には、走行速度が除草性能に大きな影響をもたらさないことから、ナイロンコードを装着した除草ロボットで除草を行う場合、制御に影響しない範囲で走行速度を上げた方がより広い面積を除草できると考えられる。

金属刃はナイロンコードより除草性能は劣るものの、処理面積あたりの消費電力量は小さい結果となった。

表3 消費電力量(処理面積 25cm×100cm)

刈刃	設定走行速度 [mm/s]	消費電力 [W]	刈取り時間(実測) [s]	処理面積あたりの消費電力量 [J]
ナイロンコード	50	156.5	30.9	4835.9
	100	182.5	16.8	3066.0
	150	189.9	11.4	2164.9
金属刃 40枚	150	144.8	11.6	1679.7

図9のように同じ条件(刈刃の種類、走行速度)であっても、除草前の草高により除草性能に大きな差が見られた。草高25cm以上で除草性能が大きく低下する傾向が見られた。

これは、除草ロボットが機体の下に刈り刃が装着されている構造上、草高が高すぎると機体が雑草をなぎ倒してしまい、除草性能が落ちることが考えられる。そのため、この対策として、効率良く除草できる草高に合わせた除草ロボットの走行時期やロボットの刈刃の位置について検討する必要がある。

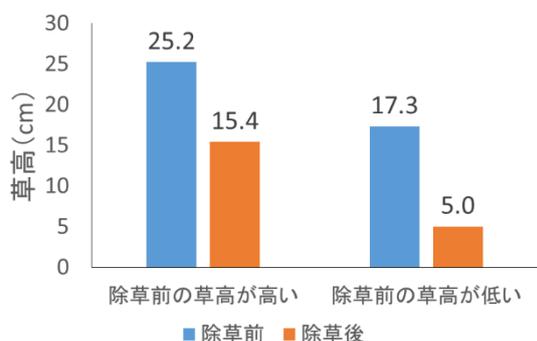


図9 ナイロンコード 100mm/s での除草前後の草高の一例

## 3. 3. 実畦畔での除草走行実験

### 3. 3. 1. 実験内容

電気柵を張った実畦畔で除草ロボットの除草走行を確認するため、図10のように石筵圃場で除草走行試験を行った。全周800mの電気柵のうちロボットが除草走行可能で比較的平坦な20.9mの区間で実施した。

<試験条件>

日時:平成29年12月1日

場所:郡山市石筵地区圃場

車体速度:150mm/s

刈刃:ナイロンコード

(カッター回転数:約5,000 rpm)

試験範囲:20.9m(支柱6本)

柵線高さ:約25cm



図10 石筵圃場での除草走行実験の様子

### 3. 3. 2. 実験結果及び考察

石筵圃場の試験区間において図7の除草走行方法で実験した結果、柵線に沿った走行と除草が可能であることを確認した。1号機ではカッター部分がつかえて走行できなかった凹凸のある畦畔も、2号機ではカッター部にバネ式上下機構を設けたことで走行することが可能となった。

## 4. 除草ロボットの自律走行を目的とするディープラーニング画像認識の検討

ディープラーニング<sup>4)</sup>による画像認識を利用して、除草ロボットに装着したビデオカメラの映像を認識し、自走するための入力情報とするための検討を行った。

### 4. 1. ディープラーニングによる画像認識

#### 4. 1. 1. 前提条件

画像認識における前提条件を以下のように設定した。全体の概要を図11に示す。

- ・認識対象は、支柱（以下、ポール）と電気柵線のみとする。
- ・カメラは、除草ロボット上部に2台（前向き、右向き）に設置する。

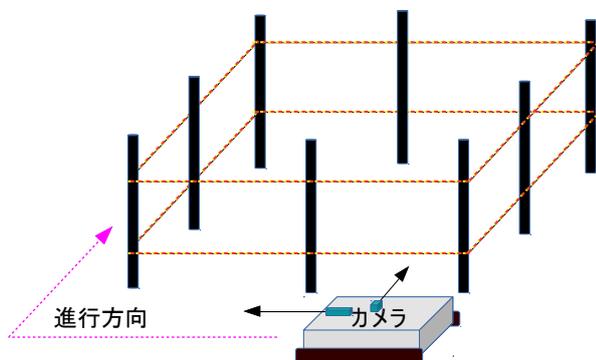


図 1 1 除草ロボットの前提条件

#### 4. 1. 2. データセットの選定

##### 4. 1. 2. 1. ポール及び電気柵線

表4の1～7は、除草ロボットの認識対象であるポールと電気柵線の画像である。ポール画像は、画面上の位置を考慮し、中央・左・右の3通りに分類した。電気柵線画像は、ポールとの位置関係が重要であることから、4～7のように4タイプに分類した。

画像背景の特徴に強く反応して誤認識する影響を排除するため、1～7の画像は、意図的に背景を変えて撮影した。データセットに用いた画像例を図12に示す。



図 1 2 データセットのサンプル

##### 4. 1. 2. 2. その他の画像

データセットの分類数が多い程、画像認識の精度も

向上することから、ポールや電気柵線の画像以外に、Caltech101<sup>5)</sup>が提供する102個の分類によるデータセットを加えることとした。この結果、学習に用いたデータセットは表4に示す通り、109カテゴリ、合計14,870枚の画像データによる構成とした。

表 4 学習に用いたデータセット

番号	分類	枚数	
1	ポール(中央)	927	
2	ポール(左)	778	
3	ポール(右)	678	
4	電気柵線のみ	1,134	
5	ポール(中央)+電気柵線	492	
6	ポール(左)+電気柵線	882	
7	ポール(右)+電気柵線	876	
8	accordion	CSLAIERの データセットより	
9	airplanes		
10	anchor		
11	ant		
:	:		
108	Faces		
109	Motorbikes		
合計			14,870

#### 4. 1. 3. ネットワークモデル

##### 4. 1. 3. 1. ネットワークの選定

ディープラーニングによる画像認識には、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)が利用される。代表的なCNNにはGoogLeNet<sup>6)</sup>、AlexNet<sup>7)</sup>、NiN(Network-In-Network)<sup>8)</sup>等がある。表5に示す予備実験の結果、正解率が最も高く損失が最も少ないのはAlexNetを用いた時であったことから、本データセットを用いた学習にはAlexNetを用いるのが最適であると判断し、本実験ではAlexNetをベースとして実験を行った。なお、ディープラーニングフレームワークには、国産のChainer<sup>9)</sup>1.23.0を利用した。

表 5 CNN ネットワーク毎の性能

CNNネットワーク	最大正解率(評価時)%	最大損失(評価時)
NiN	69.2	3.442
GoogLeNet	70.6	5.587
AlexNet	73.8	2.031

##### 4. 1. 3. 2. ネットワークのチューニング

AlexNetをベースとして、最適化関数、初期化関数、学習時のバッチサイズを変更し、正解率や損失に与える影響を評価した。

損失を最小化することを最適化といい、この処理を行う最適化関数が複数<sup>10)</sup>開発されている。AlexNetに8つの最適化関数を適用し、本データセットを評価した結果を表6に示す。この結果、最大正解率74.5%を達したRMSpropGravesを、以後の実験における最適化関数として採用した。

初期化関数が学習に与える影響の評価結果を表7に

示す。初期化関数は、ニューラルネットワークで学習される重み値  $W$  やバイアス値  $B$  を初期化する。実験の結果、HeNormal を用いた時に最大正解率 74.5% を達したことから、以後の実験の初期化関数には HeNormal を採用した。

表 6 最適化関数による影響

最適化関数	正解率%	最大正解率% (epoch)	損失	損失傾向
Adam	66.7	67.2 (36)	3.33	やや↑
AdaGrad	73.4	74.1 (69)	1.66	→
Adadelta	63.1	64.6 (57)	3.80	→
MomentumSGD	0.2	0.2 (-)	NaN	NaN
NesterovAG	0.2	0.2 (-)	NaN	NaN
RMSpropGraves	72.8	74.5 (84)	2.34	やや↑
RMSprop	8.5	8.5 (-)	3.92	→
SGD	33.3	60.2 (98)	2.97	→

表 7 初期化関数による影響

初期化関数	正解率%	最大正解率% (epoch)	損失	損失傾向
HeNormal	72.8	74.5(84)	2.34	やや↑
l.Normal(0.03)	70.4	72.2(93)	2.56	やや↑
l.Normal(0.05)	62.6	72.1(25)	3.11	やや↑
l.Normal(0.07)	56.0	58.3(98)	3.01	NaN

次に学習時のバッチサイズが学習結果に与える影響を評価した。バッチサイズとは、1回の学習 ( $W$  や  $B$  の更新) を何個の訓練画像で実施するかを決める値である。表 8 の結果より、バッチサイズの違いによる正解率への影響は少ないが、一方でバッチサイズが大きい方が損失は少なくなることが分かった。しかし、バッチサイズを大きくすると、学習時にメモリを大量に消費し、学習時間も多く要した。

以上の結果から、本データセットを用いた CNN の学習では、最適化関数: RMSpropGraves、初期化関数: HeNormal、バッチサイズ: 192 の AlexNet が最適であると判断し、この条件で学習モデルを作成した。本条件での学習過程の推移を図 1 3、図 1 4 に示す。20epoch 過ぎた辺りから正解率は収束しはじめ、損失は微増する。20epoch 近辺で生成された学習モデルを用いるのが最適である。

表 8 バッチサイズによる影響

バッチサイズ	正解率	最大正解率 (epoch)	最大損失	損失傾向
16	69.6	71.2(77)	6.33(99)	↑
32	71.7	71.8(90)	6.50(96)	↑
64	71.6	73.4(70)	3.86(91)	やや↑
100	72.8	74.5(84)	3.36(81)	やや↑
128	71.5	73.3(86)	2.97(100)	やや↑
192	71.3	74.7(92)	2.75(85)	→
256	72.6	73.1(90)	2.70(98)	→

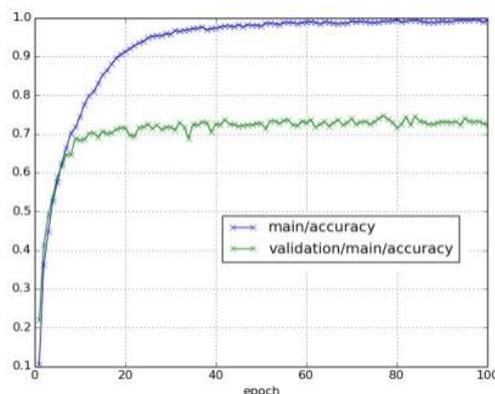


図 1 3 AlexNet 最適条件における学習過程 (正解率)

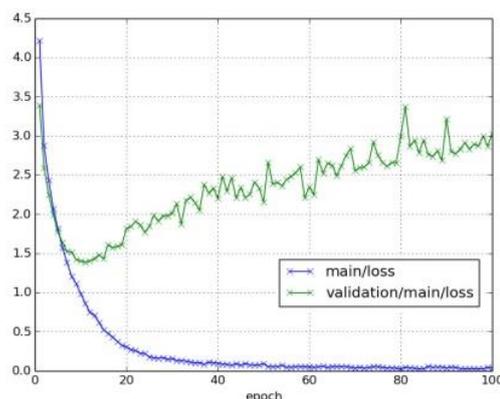


図 1 4 AlexNet 最適条件における学習過程 (損失)

#### 4. 2. 評価実験と考察

除草ロボットに搭載したビデオカメラで撮影した写真を用いて、作成した学習モデルを評価した。撮影は、除草ロボットを福島県農業総合センターの圃場にある電気柵線の周囲を走行させて行った。評価は、大量に撮影した写真から無作為に抽出して実施した。評価写真の一部を図 1 5 に、評価結果のサマリを表 9 に示す。なお、表 9 中で“風景”とした分類は、電気柵線もポールも写っていない風景のみの写真を指し、ポールや電気柵線以外のものと判定した結果を正解とした。

電気柵線は、赤黄/青白の色の違いによらず認識でき、また、多少のピントずれにも対応できたことから、その認識率は約 90% に達した。一方、画面上端や下端に写った電気柵線を認識できない (図 1 5 (a))、遠方に写るポールに強く反応する (図 1 5 (b)) などによる誤認識が見られた。学習データに、上下両端に写る電気柵線を加える、遠方のポールと電気柵線の組み合わせを“電気柵線”と分類して加えるなどの対応が必要と考えられる。

ポールの認識率は約 75% と比較的高い結果が得られた。不正解例としては、ポールが明確に写っているにも関わらず、一緒に写る電気柵線だけに強く反応して、“電気柵線のみ”と判断したもの (図 1 5 (c)) が 5 件存在した。比較的左右に寄ったポールと電気柵線の

組合せの写真に誤認識が多かったことから、ポールと電気柵線の組合せ写真も、画面上複数の場所に存在するようデータセットを作成することで改善の余地があるものと考えられる。また、写真のブレに対応できない(図15(d))ほか、背景との組合せにより euphonium (ユーフォニアム: 金管楽器) など別物と判断される(図15(e))という誤認識もみられた。

“風景”として分類した写真は、ポールや電気柵線と誤認識する頻度が高くみられた。特に画面下部が草地で上部が空である(図15(f))のような写真は、電気柵線のみと誤認識される回数が24回に達した。さらに、フェンスを電気柵線と誤認識(図15(g))、丈の高い雑草をポールと誤認識(図15(h))する例も見られた。これらの結果から、一般的な背景やフェンス、雑草なども明示的にデータセットに加える対応が必要である。



図15 誤認識された評価用写真

表9 実圃場写真に基づく学習モデルの検証結果

分類	枚数	正解数	正解率(%)
電気柵線	48	43	89.5
ポール	55	41	74.5
風景	54	22	40.7

## 5. 結言

漏電通報装置においては、メール通報間隔を改良し、電気柵の長さに応じて通報の設定電圧の切り替えができるように変更した。また、実環境における45日間

の長期試験でも問題なく動作することが確認できた。

除草ロボットにおいては、平成28年度の課題であった凹凸地面での走行や草だまりへの対策を施し、2号機を開発した。刈刃の試験により、除草ロボットにはナイロンコードを装着することで十分な除草性能が得られることが分かった。また、石筵圃場で除草走行実験を行い、電気柵に沿った走行制御及び電気柵下の除草が可能であることを確認した。

ディープラーニングによる画像認識においては、ポール及び電気柵線を約75~90%の正解率で認識できることを確認し、除草ロボットへの適用可能性を示すことができた。一方で、実用化に向けた課題も明らかになった。今後、本画像認識技術を実用化するには、データセットの再構築、圃場での写真を用いた評価実験を複数回繰返し、画像認識の精度を高めていく作業が必要である。

## 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書, 2017, p.46-49.
- 3) 吉田英一, 菅野雄大 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. チャレンジふくしま「ロボット産業革命の地」創出事業研究報告書. [http://www4.pref.fukushima.jp/hightech/publicity/uploads/H27-29\\_boujyuusaku.pdf](http://www4.pref.fukushima.jp/hightech/publicity/uploads/H27-29_boujyuusaku.pdf).
- 4) 岡谷貴之(2014). 「Technical Survey ディープラーニング」, 映像情報メディア学会誌. Vol.68, No.6, p. 46-47.
- 5) "Caltech 101 Web サイト", [https://www.vision.caltech.edu/Image\\_Datasets/Caltech101/](https://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/Caltech101/), (参照 2017-02-09).
- 6) A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G.E.Hinton. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. In Proc. of NIPS, 2012.
- 7) C. Szegedy, et.al., Going deeper with convolutions. In Proc. of CVPR, 2015.
- 8) M. Lin, Q. Chen, and S. Yan. Network in network. InProc.of ICLR, 2014.
- 9) "Chainer 公式サイト", <https://chainer.org/>, (参照 2017-02-09).
- 10) 斎藤康毅(2016), 「ゼロから作る Deep Learning」, オイラー・ジャパン.

# 水素社会実現のためのプラント運転管理・点検技術開発

## －「スマートO&M（運転管理・メンテナンス）の提案－

Development of plant operation & maintenance technology for realizing hydrogen society

- A proposal of smart O & M technology -

技術開発部 工業材料科 工藤弘行 市川俊基 夏井憲司

技術開発部 生産・加工科 塚本遊 太田悟 稲葉勉

水素プラント設備に適した運転管理、点検技術を開発するため、水素ステーションを模擬した液体水素用バルブ実験モデルを作製し、液体窒素（沸点-196℃）による冷却により温度勾配を把握するための伝熱挙動試験を実施した。併せて実施したサーモカメラ測定とCAE解析により、バルブ上端部付近の温度分布は液体水素（沸点-253℃）による冷却と大きな相違が無く点検技術実証のための模擬試験として妥当であることを示した。

Key words: IoT、予知保全、デジタルツイン、CAE、デジタル画像関連法

### 1. 緒言

福島県では、福島新エネ社会構想の一環として、再生可能エネルギーで発電した電気を使って水を電気分解して水素を得るCO<sub>2</sub>フリー水素製造実証研究や、世界最大級の水素製造工場の建設など、水素エネルギー製造、活用に関する様々な取組みが進められている。平成30年3月には、国立研究開発法人産業総合研究所（産総研）福島再生可能エネルギー研究所（FREA）で製造したCO<sub>2</sub>フリー水素を商用利用する水素ステーションが開所するなど、福島県全体が水素社会活用の実証拠点となりつつある。

水素の利用に当たっては、ガス漏洩や水素脆化に対する懸念があり、構想実現のためには高い安全性や長期信頼性の確保が急務となっている。また、水素関連施設の普及のためには、建設費のみならず、管理保守費の低減も必要であり、安全性と経済性を両立する技術が望まれる。

そこで当所では、IoTやAI、ビッグデータ解析を活用した新しい点検技術が広まりつつある点に着目した。図1は、故障現象の発生頻度と影響度から点検手法の特徴を整理した図である。図1①の左上の領域は故障発生頻度が多いが影響度が小さい領域である。ここでは従来の定期検査では完全には故障を防げないことや過剰交換が課題であった。近年、IoT技術により製品の状態をセンシングすることが容易になり、今後は各々の製品の状態を基準に交換時期を決定する「状態基準保全(CBM)」が有望視されている。一方、図1①の右下の領域は影響度が大きいものの発生頻度が少ない領域である。この領域では、従来は検証や製品設計へのフィードバックが不十分であったが、近年のデータサイエンス技術の発展を背景に、様々な場所に点在する同一装置の情報を集約してビッグデータ化した上で、AI等データ解析により故障や異常が生じる前に予兆

を検知する「予知保全(PM)」が有望視されている。これらIoT、データサイエンス技術は今後も継続的な発展が続くと見られるため、図1②近未来に示すように製造業が担うべき領域は大きく広がり、データのフィードバックによる単なる設計変更にとどまらず、その利用を前提とした製品づくりや、メーカー自身がIoTを活用したサービスを提供する「製造業のサービス化」など、大きなパラダイムシフトが生じると予測されている。

このような背景から、本事業では水素プラント設備に適した運転管理・点検手法の技術や仕組みを県内企業や各機関と連携して構築することを目指し、研究開発に着手した。初年度は、水素ステーションで使用される液体水素用バルブを例に点検手法を立案して検証するため、実験モデルを県内企業へ委託製作し、液体窒素による冷却により伝熱挙動試験を実施した。

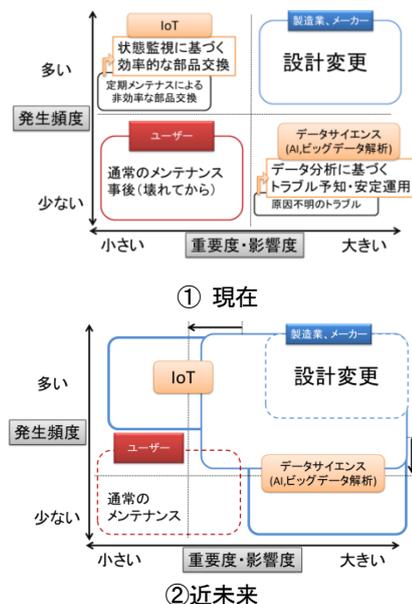


図1 点検手法のマトリックスの変化

事業課題名「水素社会実現に向けたスマートO&M（運転管理・メンテナンス）技術の開発」

## 2. 実験ならびにCAE解析

### 2. 1. スマートO&Mシステムの全体構成の立案

IoT を利用した運転管理、点検技術は、まだ活用が始まったばかりで、あまり内容が知られていないと思われるため、図2にシステムの構成例を示し、大まかな流れや重要なポイントを解説する。

IoT センサデバイスとは、センサ機能と通信機能を備えた装置である。水素ステーションなどのプラント設備にIoT センサデバイスを取り付けることで、温度や振動などのセンサデータを測定し、インターネット通信を介して監視作業者がいる場所に情報を送信することができる。これにより、広大なプラントの遠く離れた場所まで巡回して目視点検を行うなどの作業の必要性が少なくなり、監視作業の省力化が期待できる。同様のことは予め監視システムが整備されたプラントでも可能だが、近年IoTをとりまく環境が急速に整備されたため、従来に比べ安価で迅速にIoT活用の試用（IoTプロトタイプングと呼ばれる）が可能となり、老朽化したプラントの管理や、新規設計時には技術的、費用的判断によりセンサ設置が見送られた部位に後付けで導入が検討される例も増えている。

さらに、IoTセンサで集約されたデータはAI、機械学習などのデータ分析によって、異常の予兆を検知し、運転管理者に警報を通知することで致命的な事故を回避できる。また、事故や異常が無い平常時の運転においても、運転管理の省力化や効率的な点検を貢献すると期待されている。

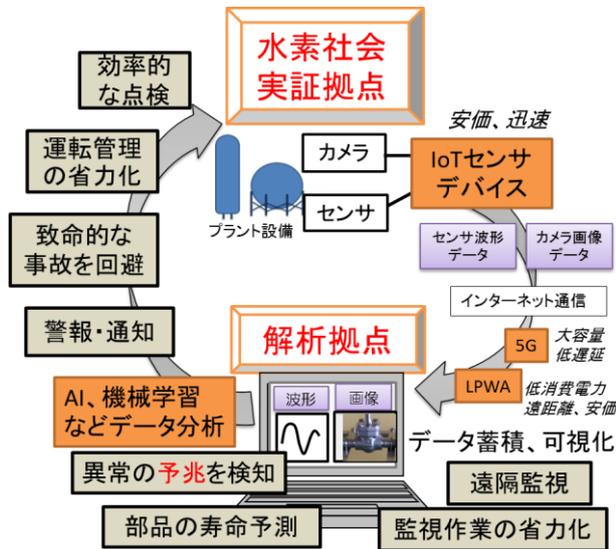


図2 スマートO&M手法の全体像

### 2. 2. バルブ実験モデルによる伝熱実験

液体水素の沸点は $-253^{\circ}\text{C}$ であり、大気温度との温度差は $270^{\circ}\text{C}$ 前後と非常に大きい。従って、液体水素向けの配管部品は、大きな温度差に晒されることが特徴であり、低温による動作不良や熱収縮をきつかけ

とする熱応力による損傷などが点検すべき事象となる。なお、配管材料自体の低温における強度信頼性は、適切な材料を選択することにより担保される。

本研究では、図3に示すように液体水素用バルブ実験モデルを製作し、伝熱挙動測定試験を行った。この実験モデルは液体水素貯蔵型水素ステーションの液体水素貯槽底部の払い出し配管を模したものである。沸点 $-196^{\circ}\text{C}$ の液体窒素を、漏斗を介して注入口から断続的に流入することで、実験モデルを冷却し、その冷却過程をサーモカメラ（シナノケンシ(株)製 PLEXLOGGER PL-3）で撮影した。撮影速度は60フレーム/秒、解像度は横320画素×縦240画素である。撮影時間は13分程度とし、一連の冷却過程に対し複数回の撮影を繰り返した。

実験モデルに使用したバルブは、液体水素プラント設備で実用されている製品である。通常のバルブに比べて、ハンドルと筐体をつなぐ部品（通称、首下と呼ばれる）の長さが、 $200[\text{mm}]$ 以上と非常に長いことが特徴である。これは、単一バルブ製品の中で大きな温度差を緩やかに傾斜分布させるのが目的と見られる。

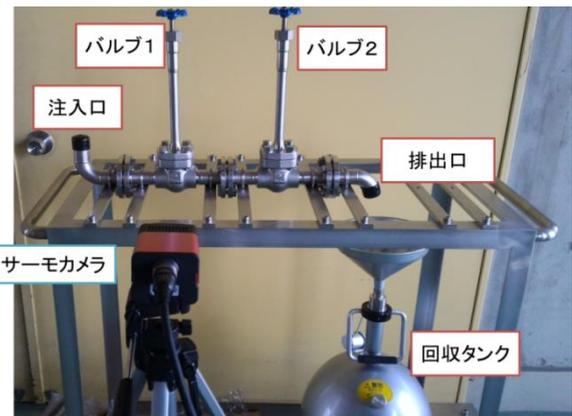


図3 液体水素用バルブ実験モデル

### 2. 3. バルブ実験モデルのCAE解析

実験モデルの伝熱挙動に理論的な検討を加えるため、CAE解析ソフト ANSYS Mechanical Enterprise を用いて定常伝熱解析を行った。図4に解析モデルを示す。対称性を考慮し2分の1モデルとした。解析時間短縮のため、解析モデルの形状寸法は簡略化しており、実験モデルとは若干異なる。配管部品は全て SUS316 とした。図5に示すように配管内部の流路となる面（図中紫色）と、外表面で外気に触れる面全てに伝熱条件を与えた。伝熱条件は雰囲気温度と熱伝達係数の2パラメータを設定するものである。本解析では配管内部の雰囲気温度は液体水素と液体窒素を仮定し $-253^{\circ}\text{C}$ と $-196^{\circ}\text{C}$ の2条件を与えた場合を計算した。熱伝達係数は、固体表面の清浄度や外気の流れなど実現象の状況によって決まるパラメータであるため、複数の入力条件で計算を行い実験結果に合致する条件入力パラメータを同定する逆解析手法を用いて解析を実施した。

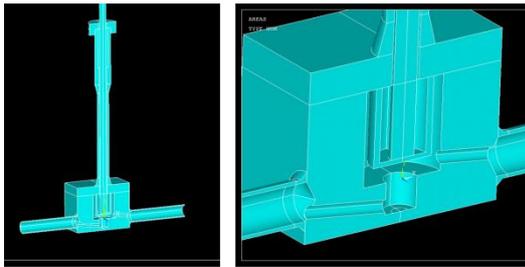


図4 CAE解析モデル  
(左:全体図、右:拡大図)

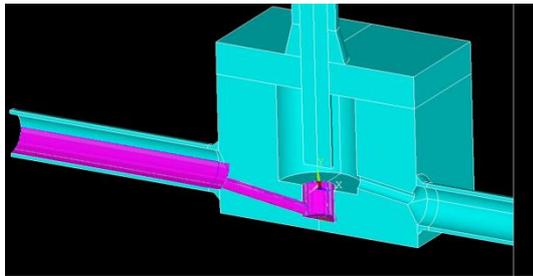


図5 境界条件

## 2. 4. デジタル画像相関法の点検技術への応用

ハイテクプラザでは、これまでデジタル画像相関法（以下DIC）によるひずみ測定を用いて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<sup>1) 2)</sup>。本研究ではDIC画像解析の点検技術への応用を検討するが、配管部品で良く見られる円筒曲面についてはこれまで測定実績が少なく、精度検証が不足している。そこで、本研究では精度検証のための基礎試験として円弧試験片を対象に2台のカメラによる3次元解析を行ない、DICひずみ測定の妥当性を検証した。

図6（左）に測定に用いた円弧試験片を示す。試験片は、板幅約35[mm]、板厚は約4.5[mm]、曲率半径は約50[mm]である。材質はポリ塩化ビニルで、撮影面に画像処理用の白黒のランダムパターンを付与した。図6（右）に示すような向きで荷重を与え、カメラで画像撮影を行った。また、精度検証用にカメラ撮影面にひずみゲージを貼付し、ひずみ測定を行った。

ひずみ測定試験は、精密万能試験（株）島津製作所製AG-10kNE）を用いて、ステップ状に変位を与え、非接触ひずみ測定システム（Correlated Solutions社製VIC-3D）を用いて測定間隔0.5秒で撮影した。各ステップの変位量は、ひずみゲージ測定値を基準として与えた。各ステップでは10秒程度を停止した。

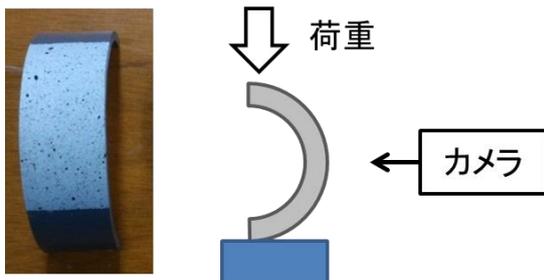


図6（左）円弧試験片（右）荷重方向、撮影方向

## 3. 実験結果ならびにCAE解析結果

### 3. 1. バルブ実験モデルによる伝熱実験結果

本報告では、外気温12[°C]、無風状態の条件で液体窒素を合計15[l]投入した場合の試験結果を示す。

試験は、はじめに2つのバルブとも全開とした状態で液体窒素を注入して予冷した後、約7分後にバルブ1を完全に閉め、以降は、注入口とバルブ1の間が液体窒素で満たされるように、断続的に液体窒素を注入した。図7に試験開始から40分程度経過した時点の実験モデルの外観写真を示す。冷却が進むと製品表面に霜が発生・成長するが、測定中は霜を除去せずに試験を実施した。

図8に試験中のサーモカメラ本体の画面表示写真を示す。本装置では、温度分布の表示だけでなく、任意の地点の温度を数値表示することができるため、試験体の状況を良く確認しながら適切に試験を実施することが可能であった。



図7 試験中の実験モデルの状況



図8 サーモカメラ本体の画面表示

サーモカメラ測定結果の詳細解析は、カメラ本体とは別のパソコンに測定データを移行し、付属ソフトPLEXLOGplus IIを用いて実施した。本ソフトでは、本体と同様の機能に加えて、各地点の経時変化をグラフとして表示することが可能である。

図9にサーモカメラ画像結果例として、液体窒素注入開始時、バルブ1閉止時（開始から7分経過）、1回目の撮影終了時（開始から11分経過）の結果を示す。なお、下限表示温度は-72[°C]であり、それ以下の温度は黒で表示した。図10にバルブ1底部とバルブ2底部の温度-時間グラフを示す。グラフ中に図9に示した各時刻を点線で図示した。

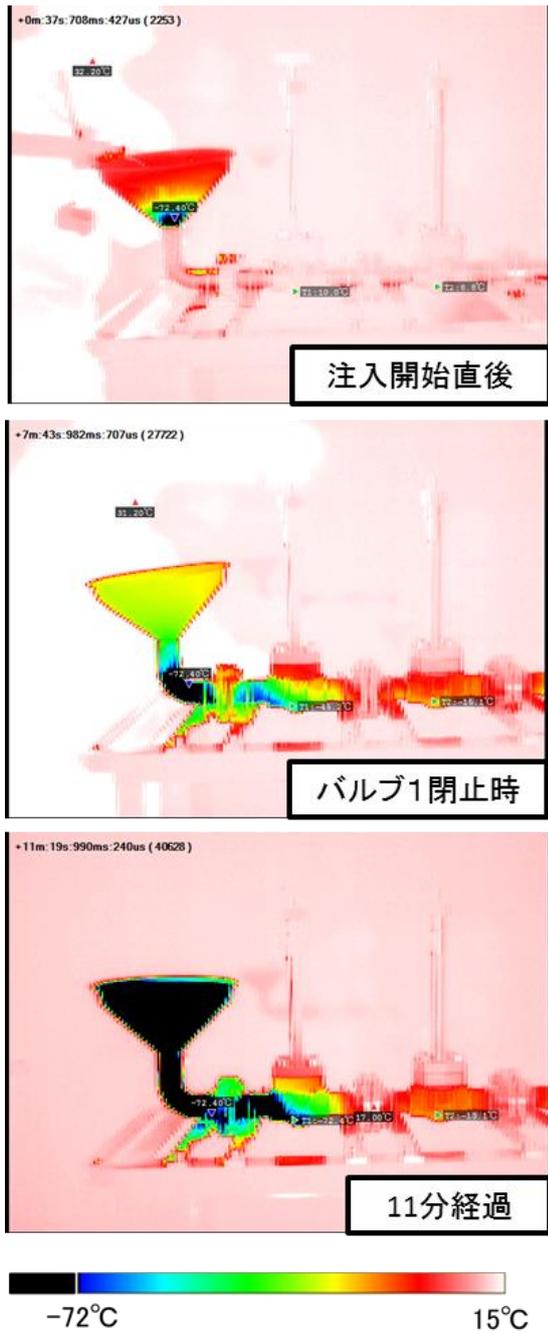


図9 サーモカメラ撮影画像例

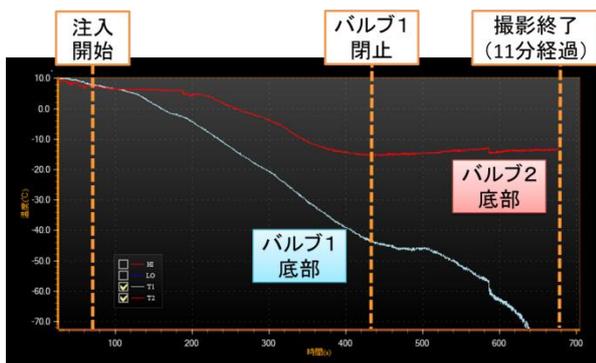


図10 サーモカメラ測定による温度 - 時間グラフ

図11に約30分経過時、図12に約45分経過時の測定結果を示す。ほぼすべての測定点で単調な温度変化を示した。単調な変化は、バルブ - 液体窒素間およびバルブ - 大気間の伝熱条件が安定していることを意味すると考えられる。また、各点の温度の高低や温度変化の勾配はバルブ中の流路から距離を反映していることが確認できた。

温度分布画像からは、フランジ部の上下で比較的大きな温度差 (25[°C]程度) が生じることが分かった。これはフランジ間にシール部品が存在し、フランジ同士の接触がボルト部に限定されるためと考えられる。

最終的に、温度変化が10分あたり1[°C]以下となった120分後に試験を終了し、本試験における定常状態と判断した。この時、表面温度計で測定したバルブ管体の表面温度は-170[°C]程度であった。

図13に試験中の首下部品品の温度変化の過程を示す。サーモカメラ測定は温度変化、温度勾配が生じる製品の伝熱挙動の把握に有用である。

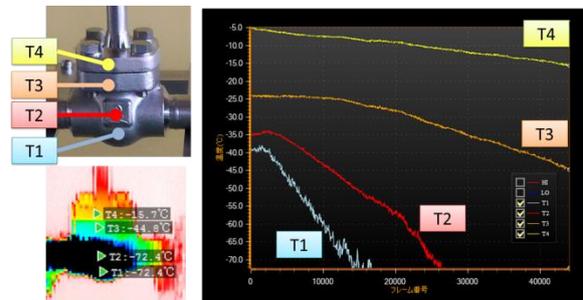


図11 サーモカメラ測定結果 (約30分経過)

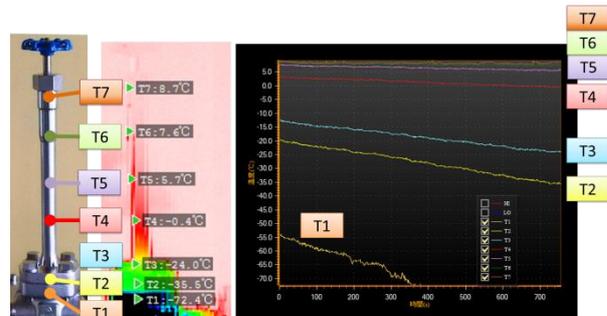


図12 サーモカメラ測定結果 (約45分経過)

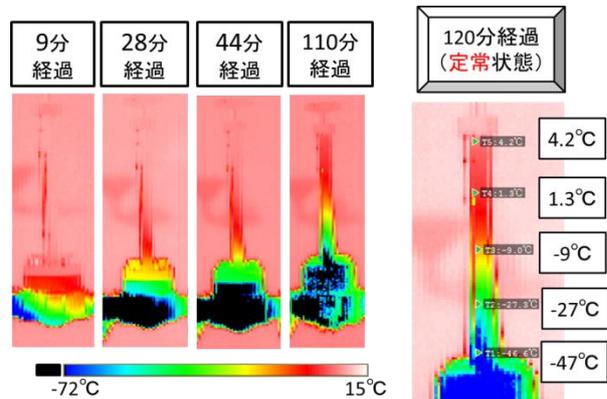


図13 試験終了時までのサーモカメラ測定結果

### 3. 2. バルブ実験モデルの CAE 解析結果

CAE 解析の入力条件である熱伝達係数は材料固有の物性値ではなく、流体の種類や流れなど外部条件により変動する。特に、液体と固体との熱伝達現象は、蒸気膜が形成される場合など大きく変動することがある。配管内の液体窒素、液体水素の挙動については不明な点が多いが、実験モデルの定常状態のように十分冷却された状態では、全ての流路面に一律な熱伝達係数を与えることが妥当と判断した。本解析では、理想的な冷却を模擬するため、全ての流路面に十分に大きな熱伝達係数を設定した。

一方、バルブ製品外表面には、平滑な切削加工面だけでなく、鍛造、溶接により多少の凹凸がある部位があることや、投入した液体窒素が気化して注入口から放出されることによる気流の影響があることから、本来は部位により異なる熱伝達係数を与えるべきだが、計算を簡略化するため、全て一定の値とした。

外気面の熱伝達係数を変化させた複数条件で計算した後に、伝熱試験における定常状態の温度分布結果と照らし合わせ、熱伝達係数を逆同定した。同定された熱伝達係数による解析結果をサーモカメラ結果と併せて図 1 4 に示す。製品形状と CAE 解析モデルの形状の違いにより若干の違いはあるものの、CAE により定常状態の温度分布を概ね再現できることを確認した。

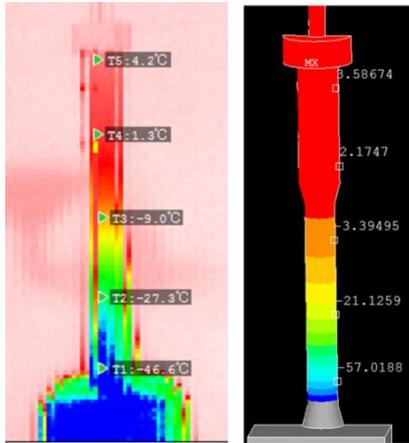


図 1 4 定常状態の温度分布の比較  
(サーモカメラ測定 (左) と CAE 解析 (右))

配管内部の流路の雰囲気温度を液体水素の沸点温度  $-253[^\circ\text{C}]$  とすることで、実験モデルを液体水素で冷却したと仮定した場合の CAE 解析結果を図 1 5 に示す。液体窒素による冷却と液体水素による冷却の温度分布は酷似しており、流路から十分離れた首下部品の上では温度の違いも僅かである。実験モデルを液体窒素で冷却する試験方法は、点検技術実証のための模擬試験として十分な妥当性があると考えられる。

首下長さが適切かどうか検討するため、図 1 5 には首下部品の長さを  $100[\text{mm}]$  短縮したと仮定した場合の解析結果も併せて示した。首下長を短縮した場合は上

端部の温度が約  $-19[^\circ\text{C}]$  であり、霜の発生やシール部品の性能低下の懸念など長期使用する上で適切とは言えない。これに対し、現行品を用いた実験モデルの解析結果は上端部の温度が約  $1[^\circ\text{C}]$  であり、霜の発生など低温によるリスクを十分低減しており、首下部品の設計は概ね適切なものと考えられる。

以上のように、CAE 解析は製品設計に使用するだけでなく、実験結果と上手く連携することで製品試験結果への理解を深めるとともに、製品の形状や伝熱条件が異なる場合の温度分布を推定するのに役立つ。

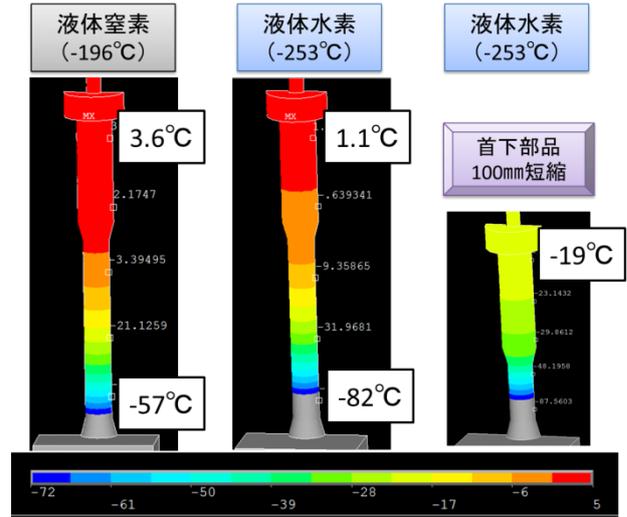


図 1 5 条件変更した場合の温度分布の比較

本研究では、今後、IoT センシングにより継続的に温度測定を行う予定だが、図 1 6 に示すように、IoT センサ、サーモカメラで測定できるのは基本的に製品表面に限定されるのに対して、極低温に晒されることで特異的な現象が生じる危険性のあるシール部品や流路は製品内部にあるため、直接測定することはできない。そこで、本研究では IoT センサ、サーモカメラで得られた断片的な情報を基に CAE 解析により製品内部の情報を補完し、仮想的な測定とする「CAE バーチャルセンサ」技術を提案する。現時点の課題は解析精度であるが、より高精度な推定を可能とすれば、点検においては測定と同じ価値を持つと考えている。

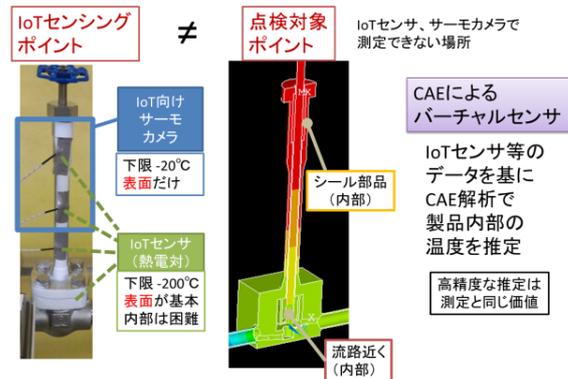


図 1 6 CAE バーチャルセンサ概念図

### 3. 3. デジタル画像相関法の点検技術への応用

2台のカメラ画像に対する DIC 3次元解析はステレオカメラ法により物体表面の3次元座標を求めた後に、製品表面各点の変位やひずみの算出を行うもので、2次元表示、3次元表示が可能である。

図17に2次元表示の例として、ひずみゲージ基準で1000[ $\mu\epsilon$ ]の変形を与えた時のDIC解析結果を示す。2次元表示では、通常のカメラ画像に画像解析結果を重ねて表示するため、直感的に分かりやすい。なお、参考のため、治具、試験片、ひずみゲージを図示した。今回の解析では、ひずみゲージの被覆線の凹凸の影響で解析できなかった領域が生じている。

図18に3次元表示の例を示す。なお、結果は2次元解析と全く同一フレームのものである。3次元解析では、解析ソフト内で製品表面の3次元CADデータを合成し、ひずみ等の解析結果を表示する。自由な角度、拡大率で解析結果を可視化できるが、表示されるのが解析対象領域だけなので、領域外の部品との関係性が分かりづらい場合がある。

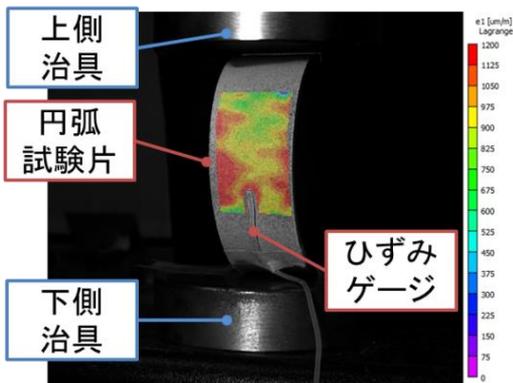


図17 2次元解析結果例(円弧試験片)

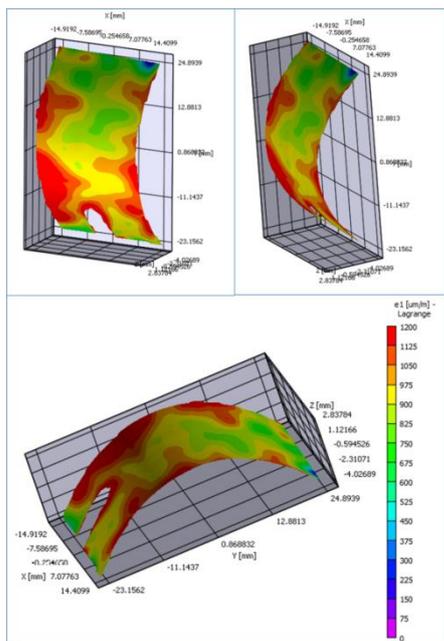


図18 3次元解析結果例(円弧試験片)

DIC ひずみ精度検証のため、ひずみゲージ基準で0、500、1000[ $\mu\epsilon$ ]とステップ状に変形を与えた場合の解析結果を2次元表示で図19に示す。なお、鉄鋼材料における1000[ $\mu\epsilon$ ]ひずみは応力換算すると約200[MPa]であり、点検用途で想定されるレベルである。

図19(上)はひずみゲージ測定値1000[ $\mu\epsilon$ ]の時のひずみ分布である。図中白線で囲んだ横25[mm]×縦20[mm]の領域を算出領域として平均値を求めた。広い範囲の平均値として算出したのは、図19(下)赤線で囲んだひずみゲージ貼付領域の周辺は被覆線の凹凸や貼付時の接着剤の影響により測定誤差が大きいと見込まれるためである。

図20はDICひずみ(図中赤点)の経時変化グラフを、ひずみゲージ測定値(図中緑線)と併せて示したものである。各ステップの10秒平均値も併せて図示した。このように、円筒曲面に対する1000[ $\mu\epsilon$ ]ひずみレベルのDICひずみ測定でも、ひずみゲージとほぼ同等の結果が得られることを確認した。

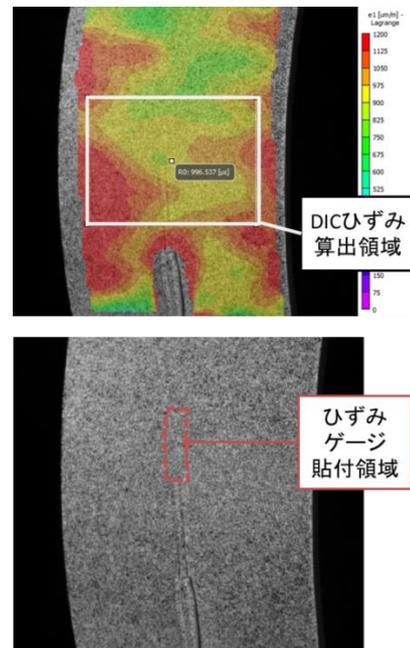


図19 ひずみ分布図(上)と参照画像(下)

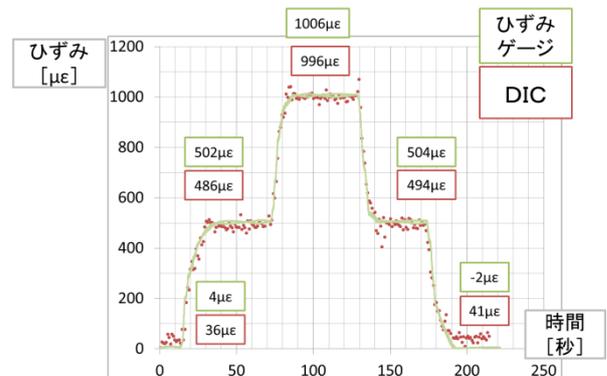


図20 ひずみ測定の経時変化グラフ  
(緑：ひずみゲージ、赤：DIC)

DIC 解析では製品表面のひずみだけでなく変位を求めることが可能である。前述したひずみゲージ基準 1000[ $\mu\epsilon$ ]までのステップ状変形に対する面外方向変位（3軸直交座標 z 軸方向、カメラ方向を正とする）の経時変化グラフをひずみゲージ測定値とともに図 2 1 に示す。また、ひずみゲージ測定値 1000[ $\mu\epsilon$ ]の時の DIC 変位分布図を図 2 2 に示す。

今回の測定例では z 方向変位は最大 0.73[mm]であり、ひずみ測定に比べてノイズが少ない良好な測定が可能であった。点検分野への応用としては、ひずみ測定だけでなく変位測定の活用も検討すべきと考えられる。

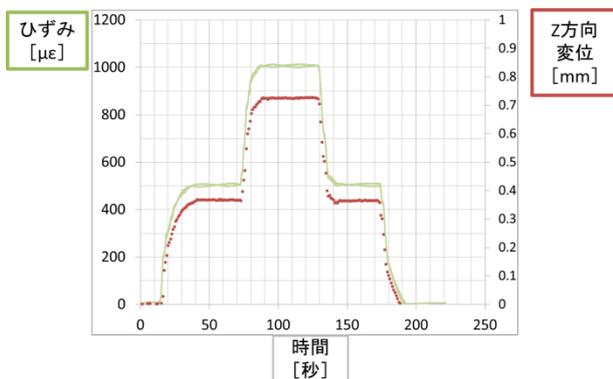


図 2 1 DIC 変位測定の経時変化グラフ

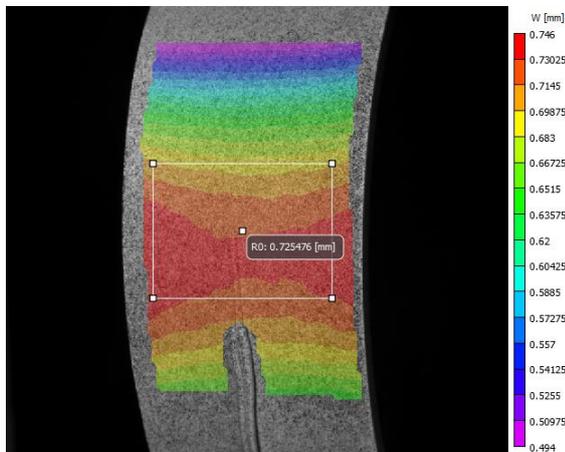


図 2 2 DIC 変位分布結果 (z 方向変位分布)

### 3. 結言

水素プラント点検技術開発のため、水素ステーションで設備を模擬したバルブ実験モデルを液体窒素により冷却し、伝熱挙動解析ならび CAE 解析を実施した。また、円筒曲面を持つ試験片を対象に DIC 画像処理による測定試験を実施し、以下の知見を得た。

- ① 液体窒素による冷却でバルブ実験モデルをほぼ定常状態まで冷却できること、その時の筐体表面温度が $-170^{\circ}\text{C}$ であることを確認した。

- ② サーモカメラ測定により、冷却中のバルブ製品の各部位の温度変化は単調な温度変化を示すことを確認した。
- ③ サーモカメラ測定により、定常状態におけるバルブ上端部の温度は約  $4^{\circ}\text{C}$ であることを確認した。
- ④ 逆解析手法により伝熱試験中の実験モデルと周囲大気との伝熱パラメータを同定し、CAE 解析により実験モデルの温度分布を再現することができた。
- ⑤ CAE 解析により、バルブ上端部付近の温度分布は液体窒素(沸点 $-196^{\circ}\text{C}$ )による冷却と液体水素(沸点 $-253^{\circ}\text{C}$ )による冷却で大きな相違が無く、本研究の伝熱実験が模擬試験として妥当であることを示した。
- ⑥ 円筒曲面を対象とした DIC ひずみ測定により、1000[ $\mu\epsilon$ ]程度（鉄鋼材料で約 200[MPa]）のひずみに対して、ひずみゲージと同等の測定結果が得られることを確認した。
- ⑦ 円筒曲面に対する DIC 変位測定により、0.73[mm]程度の面外方向変位の測定が可能であることを確認した。

### 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 7 名. 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.

# 市販サイズのメタルラップスルー型太陽電池の試作

## Trial production of commercial size metal wrap through solar cells

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  
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  
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  
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 棚橋克人 望月敏光 木田康博

結晶シリコン太陽電池パネルは、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。これに対し、受光面のフィガー電極で集電した電力をウェハに貫通させた穴で裏面から引き出すメタルラップスルー (Metal Wrap Through 以下 MWT) 型太陽電池セルは有望な技術の一つである<sup>1)</sup>。これまで MWT 型太陽電池セルの製造技術を開発してきたが、試作セルの大きさは 50[mm]×50[mm]と小型であった。本研究では、156[mm]×156[mm]の市販サイズの MWT 型太陽電池セルを試作した。その結果、良好な発電特性が得られたので報告する。

**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、安定した発電収入が見込まれることから、福島県内においてもメガソーラー発電所が増設されている。しかしながら、再生可能エネルギーの調達価格は低下し続けており、今後の太陽光発電設備の持続的な導入には、コスト削減と発電の高効率化が強く求められている。

このような状況の中、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(以下 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、変換効率を向上させる種々の試みがなされているが、その中で次々世代の太陽電池セルと期待される 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構造となっており、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貫通穴への充填が課題となり量産に至っていない。

当所は、県内企業の再生可能エネルギー関連産業への参入を目指し、県内の企業と大学、FREA の 5 機関と共に、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できた。その結果、市販サイズの太陽電池セルを試作し、良好な特性を得ることができたので報告する。

## 2. 研究課題

### 2. 1. 小型 MWT 太陽電池セルの製造技術

MWT 型太陽電池セルは、受光面のフィガー電極で集電した電力をウェハの貫通穴で裏面から引き出す構造である。この模式図を図 1 に示す。製造は FREA より提供を受けた薄型シリコンウェハに、レーザー加工により小径の貫通穴を開け、不純物を拡散し、反射防止膜を成膜した後、貫通電極を形成するという手順で行われる。この MWT 型太陽電池セルの量産には、貫通穴の加工技術や貫通穴への充填技術、貫通穴周辺の加工ダメージの除去技術が必要である。平成 28 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 (Back Surface Field) 型セルの変換効率 18[%]に比べ、この試作品は変換効率 16[%]と低かった。太陽電池の等価回路は図 4 に示す回路で表され、変換効率の向上には、並列抵抗  $R_{sh}$  が高く、直列抵抗  $R_s$  が低いことが求められる。変換効率の向上のため、各工程の加工手法を見直し、寸法が 50[mm]×50[mm]の小型 MWT 太陽電池セル(以下小型 MWT 太陽電池セル)を試作した。

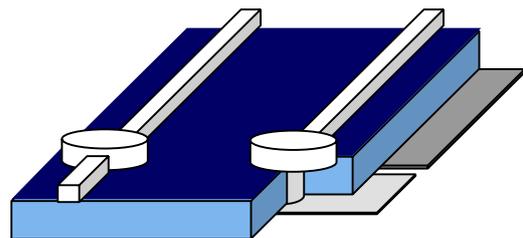


図 1 MWT 型太陽電池セルの模式図

事業課題名「メタルラップスルー型太陽電池の加工技術の開発」

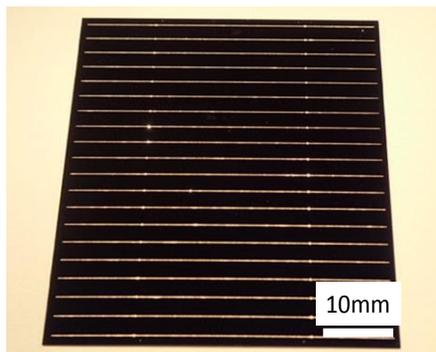
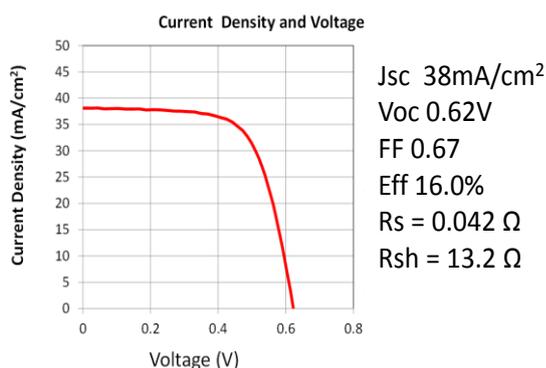


図2 試作したMWT型セル



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3 試作したMWT型セルのI-V特性

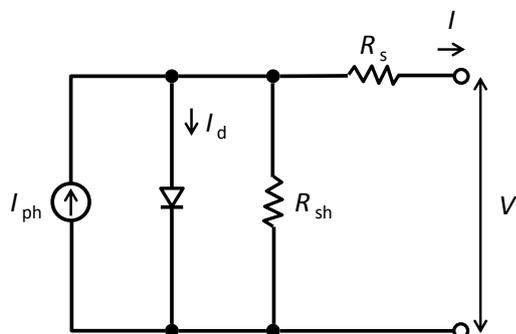
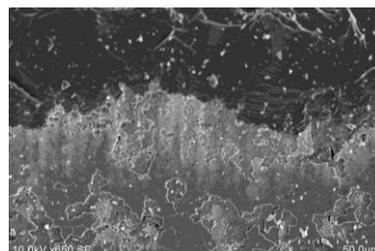


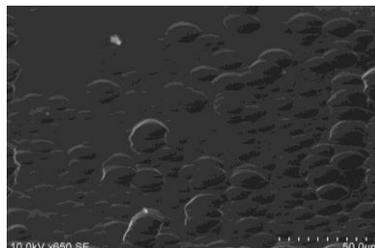
図4 太陽電池の等価回路

## 2. 2. 市販サイズMWT太陽電池セルの製造技術

単結晶シリコン太陽電池セルの市販品の多くは、外径 8[inch]の単結晶シリコンインゴットから 156[mm]×156[mm]の寸法のシリコンウェハを切り出し作製される。平成28年度までの試作と評価は小型MWT太陽電池セルを用いて行ってきたが、開発した技術を広く市場に流通するためには、寸法が 156[mm]×156[mm]の太陽電池セルを試作し評価する必要がある。このため、平成29年度は、寸法が 156[mm]×156[mm]の市販サイズMWT太陽電池セル（以下市販サイズMWT太陽電池セル）の試作に取り組んだ。



(a) 処理前



(b) エッチング後

図5 貫通穴側面

## 3. 実験と結果

### 3. 1. 小型MWT太陽電池セルの製造技術の開発

変換効率の向上を目指し、貫通穴側面の加工変質層の除去と拡散条件の最適化を行った。加えて裏面拡散層のレーザー溝加工と裏面拡散層のエッチングによる除去の工程を開発した。

#### 3. 1. 1. 加工変質層除去

MWT太陽電池セルの貫通穴周辺には、レーザー加工の熱により、加工変質層が形成される。この加工変質層はリンの拡散を阻害するためn型層の形成不良を生じる。n型層形成不良部は、pn接合間のリーク電流の経路となり、太陽電池セルの並列抵抗  $R_{sh}$  を低下させて変換効率低下の要因となる。このことから、変換効率を向上させるためには加工変質層の除去が必要であるため、この貫通穴側面の加工変質層の除去について評価を行った。

厚さ 0.2[mm]の単結晶シリコンウェハに対し、直径 0.1[mm]の貫通穴をレーザーにより加工した。この加工変質層を、フッ酸-硝酸系エッチング液で 20[秒]エッチングにより除去を試みた。エッチング処理前の貫通穴側面を図5(a)に、エッチング後を図5(b)に示す。エッチング後はシリコン単結晶の結晶方位による平滑な面が観察され、加工変質層は除去されたことが分かる。

#### 3. 1. 2. 拡散層の評価

加工変質層を除去した試料に対し、テクスチャエッチング処理により微小な表面構造を形成した後、リンの拡散層を形成した<sup>2)</sup>。試験用に貫通長穴側面に対して二次イオン質量分析法（以下SIMS）により表層から

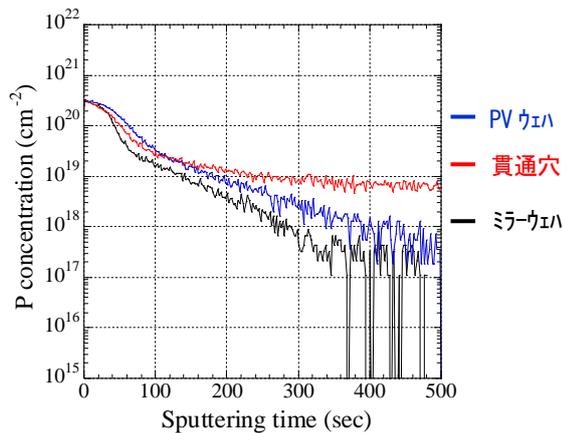


図6 貫通穴側面のSIMS分析結果

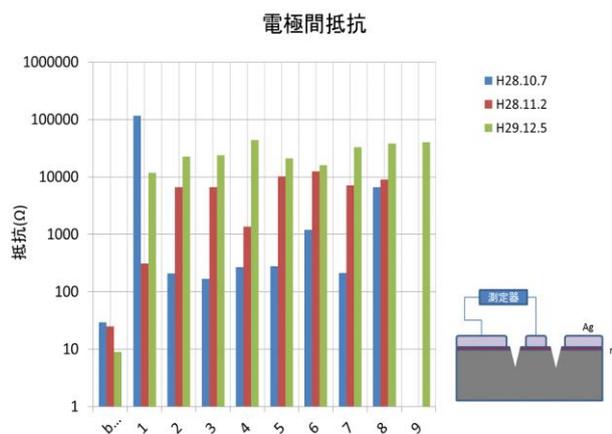


図7 電極間抵抗

深さ方向のリン濃度の分析を行った結果を図6に示す。セル受光面と貫通穴側面のいずれもリンの拡散層が同程度の不純物濃度で形成されていることから、MWT型セルの貫通穴側面から電流がリークしていないものと推察された。

### 3. 1. 3. レーザー溝による絶縁加工

MWT型太陽電池のp電極とn電極の導通は、リーク電流となり発電セルの曲線因子( $FF$ )を低下させる。電極間の絶縁のため、電極外周に溝を加工しリン拡散層を除去する。リン拡散したシリコンウェハに形成した二重円形状の電極の間にレーザー溝を加工し、電極間の抵抗を測定した。結果を図7に示す。平成28年度に比べ<sup>3)</sup>、抵抗値の増加がみられ良好なレーザー溝を加工できた。

上記の加工条件により、小型MWT太陽電池セルを試作した。試作したセルの外観を図8に、ソーラーシミュレーターにより得た $I-V$ 曲線を図9に示す。開放電圧は0.59[V]と低かったが変換効率15.3[%]を得た。



図8 レーザー溝加工による試作セル

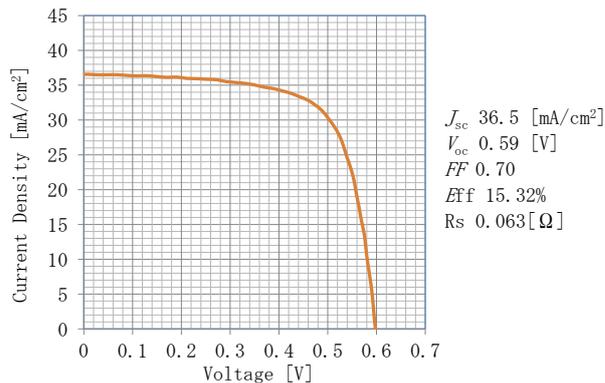


図9 レーザー溝加工による試作セルのI-V特性



図10 裏面エッチング加工による試作セル

### 3. 1. 4. エッチングによる裏面拡散層の除去

レーザー溝加工で試作したセルは、市販品に比べ並列抵抗が低い傾向が見られた。並列抵抗を大きくするため、裏面拡散層をエッチングにより除去する工程を開発した。シリコンウェハ表面の窒化シリコン膜をエッチングマスクとし、裏面の拡散層をアルカリエッチングにより除去した<sup>4)</sup>。

裏面の電極間の絶縁を得られたことを実験で確認し小型MWT太陽電池セルを試作した。試作したセルの外観を図10に、ソーラーシミュレーターにより得た $I-V$ 曲線を図11に示す。曲線因子( $FF$ )が0.73と低かったものの、変換効率は市販流通品と同程度の17.9[%]を得た。

### 3. 2. 市販サイズMWT太陽電池セルの製造技術

小型MWT太陽電池セルの試作により各工程の処理条

件を改善できたため、市販サイズの太陽電池セルを試作した。レーザー穴開け加工技術、貫通穴への電極材料充填技術と電極印刷技術について、市販サイズ太陽電池セルの処理ができるよう技術開発を行った。

### 3. 2. 1. レーザー穴あけ加工技術

設計した市販サイズ MWT 太陽電池セルは貫通穴を 200 個ほど加工する必要がある。市販ウェハの貫通穴加工時間の短縮には、ガルバノミラーと  $f\theta$  レンズを使ったスキャナ加工が有効である。これまで小型 MWT 太陽電池セルのレーザー穴加工は、ウェハに垂直な貫通穴をあけるため、レーザー光軸が垂直に照射されるテレセントリック光学系を採用してきた<sup>5)</sup>。しかし、東成イービー東北株式会社が保有する光学系は、レーザー照射範囲の直径が 80[mm]程度と小さかったため、直径 8[inch] (=200[mm]) の市販ウェハは加工できない。テレセントリック光学系の導入は高額になるため、量産機械に廉価に導入可能な一般的な  $f\theta$  レンズによる代用を試みた。この光学系の導入によりウェハ 1 枚の加工時間は 240[秒]から 46[秒]へ短縮が期待される。

しかしながら、テレセントリック光学系を採用しなかったため、加工域の周辺部では図 1 2 に示すようレーザー入射角が傾斜している。貫通穴の傾斜は電極材料の充填不足の要因となるが、テーパ穴にすることで対策を行った。

### 3. 2. 2. 貫通穴への電極材料充填技術

シリコンウェハの貫通穴にディスペンサで電極材料を充填するため、装置の開発を行った。ディスペンサの吐出条件はノズルとウェハの距離により充填状態が変わるため 0.05[mm]の位置決め精度が求められる。そこでノズルの位置決め精度を測定したところ、156[mm]の移動範囲において、位置決め誤差は 0.3[mm]程度であった。この位置決め誤差をプログラムにより補正した。また、貫通穴に銀ペーストを充填する際、裏側は空間になっている必要があるため、固定治具を作製した。

貫通穴を加工したシリコンウェハに電極材料の充填実験を行い、図 1 3 に示すよう貫通穴へ充填されていることが表裏面からも観察できた。市販サイズの穴あきシリコンウェハに対し充填加工を実施したところ、図 1 4 に示すようにウェハ全域にわたり、ウェハを破損することなく充填することができた。

### 3. 2. 3. 電極印刷技術

太陽電池の表裏面に集電と電力引出のため電極を印刷した。小型 MWT 太陽電池セルでは版内に位置決めマークを配置していたが、市販サイズ MWT 太陽電池セルでは電極パターンにより位置決めを行った。

ディスペンサにより集電用細線電極の印刷実験を行

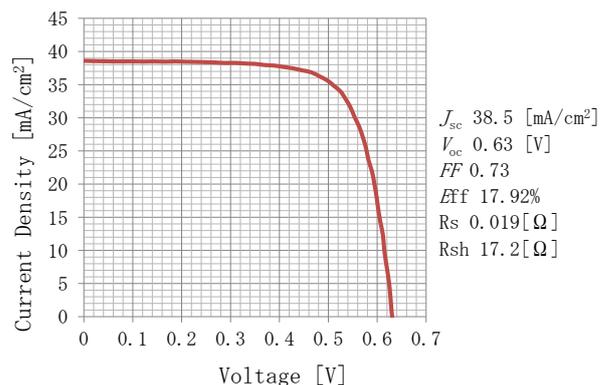
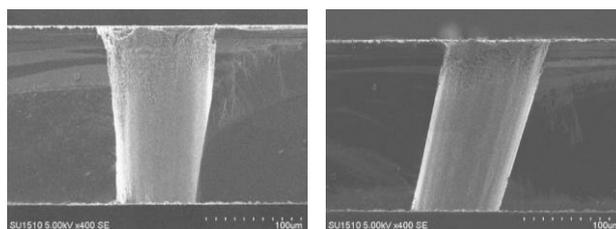
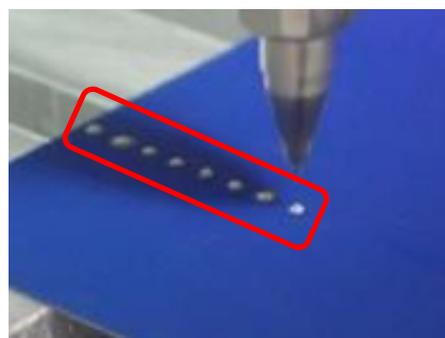


図 1 1 裏面エッチング加工による試作セルの I-V 特性



(a) 中央部 (b) 周辺部

図 1 2 貫通穴断面



(a) 受光面



(b) 裏面

図 1 3 電極材料の充填結果

った。集電細線電極用の銀ペーストを内径 0.1[mm]のノズルからディスペンサにより吐出させ、クリーンペーパーに細線を印刷した。銀ペーストはディスペンサ

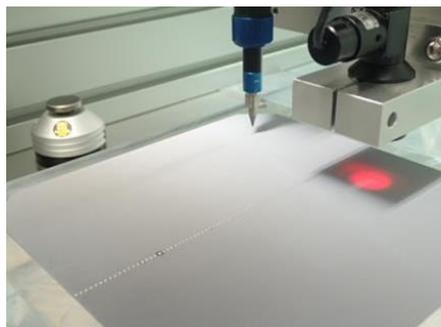


図 1 4 貫通穴の電極材充填結果



図 1 5 細線印刷実験結果（終端部）

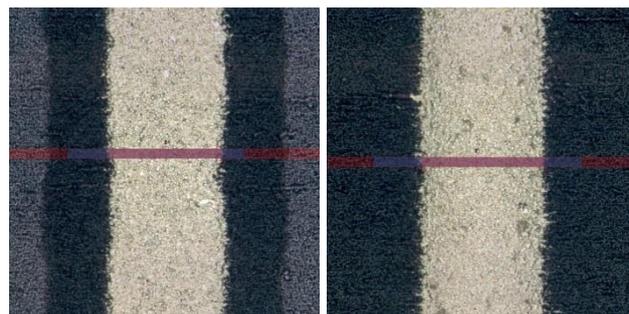
の吐出指令に対する吐出応答が遅れる傾向があった。このため図 1 5 に示すように、印刷終端部において送液を停止しても、ノズル内の残圧によりしばらく吐出が続いたが、プログラムにより位置決め誤差や吐出遅れを修正し、156[mm]のウェハ全幅に対してウェハを破損することなく細線を印刷することに成功した。

印刷された細線を 150[°C]のホットプレートで加熱して乾燥させた後に、電極線の印刷開始点付近と中央点、終了点をレーザー顕微鏡で観察した。細線の観察画像とその赤線部分の断面形状を図 1 6 に示す。電極線幅はノズル径の 0.1[mm]と一致したが、線高さは吐出の安定した中央点と終了点は 22[μm]であるのに対し、開始点では 5[μm]であった。電極線の断面積は、中央点が 1680[μm<sup>2</sup>]に対して、開始点は 366[μm<sup>2</sup>]であり、吐出開始部で吐出量が減少していた。このことから、ディスペンサの吐出動作に対し、銀ペーストの吐出量は開始も終了も遅れる傾向があり、プログラムにより補正する必要があることが示された。

### 3. 2. 4. 市販サイズ MWT 太陽電池セルの製作

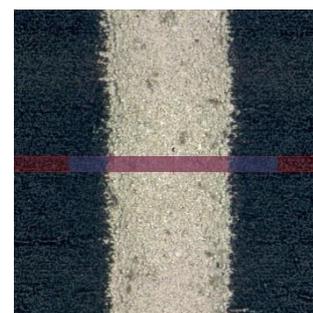
裏面の拡散層をアルカリエッチングにより除去する工程を用いて、市販サイズ MWT 太陽電池セルを試作した。工程を図 1 7 に、実験条件を表 1 に示す。

試作したセルを図 1 8 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 1 9 に示す。変換効率は 17.5[%]であった。

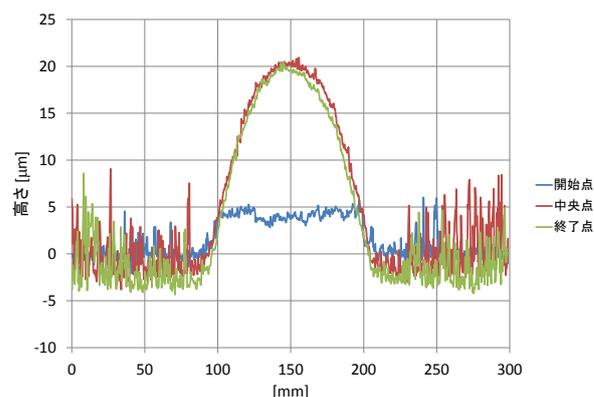


(a) 開始点

(b) 中央点



(c) 終了点



(d) 断面形状

図 1 6 集電電極の断面形状

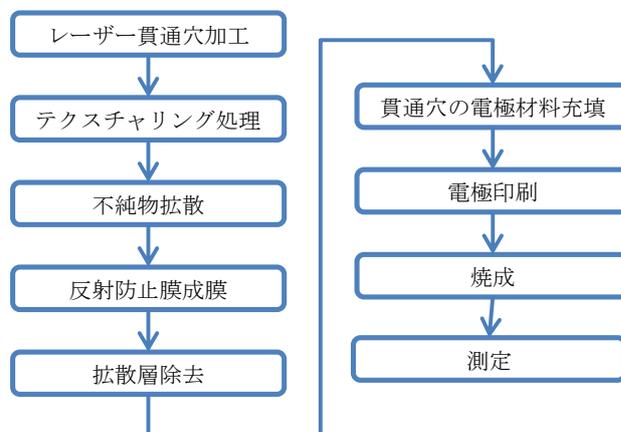


図 1 7 市販サイズセルの工程

表 1 市販サイズ MWT 太陽電池セルの実験条件

ウェハ	単結晶p型シリコンウェハ 156mm×156mm×0.2mm
穴加工	パルスレーザー穴あけ加工 (ピコ秒レーザー加工装置) 穴径 100 μm 約150穴/枚
テクスチャ処理	貫通穴加工後にテクスチャ処理
不純物拡散	リンをドーブ
反射防止膜成膜	SiN膜を成膜
裏面エッチング	HF5% / KOH 65°C5min



図 1 8 市販サイズ MWT 太陽電池セル

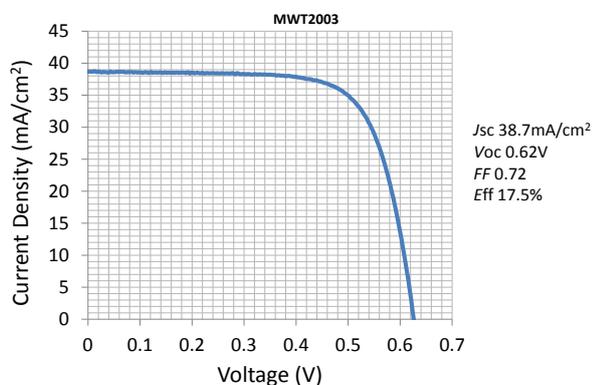


図 1 9 市販サイズ MWT 太陽電池セルの I-V特性

#### 4. 結言

市販サイズ MWT 太陽電池セルの製造技術の研究開発を行い、次の成果を得た。

- ・貫通穴周辺の加工変質層の除去工程を開発した。穴側面を SIMS により分析したところ、不純物が正常に拡散し、n 型層が形成されていることを確認した。
- ・裏面の拡散層をエッチングにより除去し、電極間絶縁の向上を図った。小型 MWT 太陽電池セルを試作し、変換効率 17.9[%]を達成した。
- ・これらの新たな製造工程にて、市販サイズ MWT 太陽電池セルを試作し、変換効率 17.5[%]を達成した。

これらにより、開発したレーザー穴加工、電極材料の充填加工の有効性を確認した。

#### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省のナノテクノロジープラットフォームの支援を受けて東北大学ナノテク融合技術支援センター、西澤潤一記念研究センター及びマイクロ・ナノマシニング研究センターで行いました。関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) F.Clement, B.Thaidigsman et al.: Pilot-Line Processing of Highly-Efficient MWT Silicon Solar Cells : 25th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 6-10 September 2010
- 2) 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.
- 3) 小野裕道 他. “単結晶シリコン太陽電池のレーザー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.
- 4) 小野裕道 他. “メタルラップスルー型太陽電池のアイソレーション加工”. 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 東京都新宿区, 20180317, 公益社団法人応用物理学会, 17a-D101-2
- 5) 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.

# 福島県オリジナル清酒製造技術の開発（第1報）

## ー福島県産市販酒の調査報告ー

### Development of original sake brewing technology in Fukushima prefecture (1<sup>st</sup> report)

- Survey report on commercial sake produced in Fukushima prefecture -

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 猪俣有唯 松本大志 鈴木賢二

当所では、平成29年度から平成31年度まで福島県オリジナル清酒酵母と県産酒造好適米を使用した品質の高い県オリジナル清酒製造を安定的に行うための技術開発に取り組んでいる。本年は、県産市販酒の現状を把握する目的で、49点の県産市販酒の調査と成分分析を実施した。本報では、県オリジナル酵母や県産酒造好適米の使用状況等について調査報告する。また、成分分析値から見出された官能評価結果と成分値の関係、県酵母による香気特性の差異についても併せて報告する。

Key words: 県オリジナル酵母、県産酒造好適米、県産市販酒

## 1. 緒言

福島県産酒は、全国新酒鑑評会をはじめとする各種鑑評会やコンテスト等で、これまで数多くの優秀な成績を収めており、県産酒への注目がますます高まっている。県産酒の課税移出数量は平成23年の東日本大震災以降、微減傾向が続いている中、特定名称酒の課税移出数量は増加傾向にあり、特に純米酒や純米吟醸酒が顕著に伸びている。県酒造組合のまとめによると、平成29年度課税移出数量における特定名称酒比率は平成22年度の約40%から66%にまで増加している。また、県が実施する酵母頒布事業においても、県内酒造場への酵母頒布本数がこの10年で2倍以上に増えている。特に、県オリジナル酵母であるうつくしま夢酵母(F7-01)<sup>1)</sup>、うつくしま煌酵母<sup>2) 3)</sup>を中心とした県酵母の頒布本数は全体数の8割以上を占め、純米酒や純米吟醸酒を中心に広く活用されている。

このような中、福島県オリジナル酵母と県産酒造好適米を使用した県オリジナル清酒に対する期待が高まっており、その品質向上と安定化が求められている。

本研究では、平成29年度から平成31年度にわたり、県酵母の発酵特性試験と香味特性の分析、県産酒造好適米の特性分析、酵母と原料米の相性に関する発酵特性試験と分析、また、清酒中のオフフレーバー軽減に関する試験研究を実施している。それらの結果を県内酒造場に広く情報提供し、県産酒の多様化、高品質化、安定化の実現を目指している。

本年は、酵母の糖発酵性予備試験、および県酒造組合の協力をいただき、県産市販酒の調査及び官能評価、成分分析を実施した。

市販酒分析の結果、県酵母による香気特性の差異、また、良好な官能評価結果を得る清酒の特性について

知見を得たので報告する。なお、酵母の糖発酵性予備試験の結果については、別報にて報告する。

## 2. 研究方法

### 2. 1. 県産市販酒の調査

福島県酒造組合主催の県市販酒審査会(平成29年10月27日開催)に出品された市販酒49点(普通酒5点、本醸造酒3点、純米酒30点、純米吟醸11点)について、出品申込票への記述により、以下の項目の調査を実施した。

なお、本審査会は県産酒の品質向上を目的として開催され、出品酒は各蔵元がこれから力を入れて販売したいと考えている市販清酒とし、酵母や米といった原料の指定は特に行っていない。

調査項目：原料米、精米歩合、使用酵母、火入れの有無、酒母製造方法

### 2. 2. 県産市販酒の分析

上記2.1.に示した市販酒について、以下の項目の分析を実施した。

分析項目：日本酒度、アルコール分、酸度、アミノ酸度、グルコース濃度、香気成分(カブロン酸エチル、酢酸イソamil、酢酸エチル、アセトアルデヒド、n-プロピルアルコール、i-ブチルアルコール、i-amilアルコール)

官能評価：審査員13名。1:良好~5:難点ありの5段階による評点方式。アンバーグラスにより暗番にて実施した。

事業課題名「福島県オリジナル清酒製造技術の開発」

日本酒度およびアルコール分はSD式迅速アルコール測定システム（京都電子工業(株)）、酸度およびアミノ酸度は総酸・アミノ酸滴定システム（京都電子工業(株)）を用い、国税庁所定分析法<sup>4)</sup>に準拠して測定した。グルコース濃度は、グルコースC-IIテストワコー（和光純薬工業(株)）を用い、添付のマニュアルに従って測定した。香気成分は、ガスクロマトグラフを用い、内部標準法にて測定した。

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1. 県産市販酒の調査

##### (1) 出品酒の酒母製造方法および火入れの有無

酒母製造方法は、速醸37点(76%)、酵母仕込み8点(16%)、山麩・生酏2点(4%)、その他2点(4%)であった。また、火入れ処理を行っていない清酒は1点のみであった。

ほとんどで普通速醸酒母が用いられているが、一部では酵母仕込みによって作業の省力化が図られている。また、山麩・生酏や白麹使用酒母など個性を重視した製造方法が用いられることで、酒質の多様化や差別化が図られている。

##### (2) 県産酒使用原料米の内訳

純米系市販酒に使用されている原料米を表1、精米歩合の分布を図1に示した。

表1 純米系市販酒の使用原料米

	純米	純米吟醸
山田錦	1	2
夢の香	10	4
五百万石	11	5
美山錦	3	0
その他	5	0
計	30	11

(点)

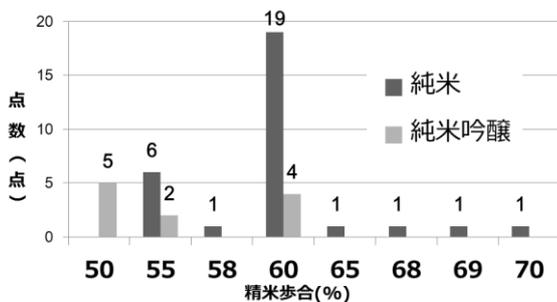


図1 純米系市販酒の精米歩合の分布

鑑評会用の出品酒の原料米は現在山田錦が大半であるが、市販酒で広く使用されている原料米は夢の香(県

オリジナル酒造好適米)と五百万石が中心であることが分かる。これらの原料米は、いずれも県内で広く作付けが可能で、また比較的安定供給されている品種といえる。

また、図1より、純米系市販酒の精米歩合は55～60%が中心であることがわかる。次年以降、酵母と米の相性に関する発酵試験を実施する予定であるが、試験区の精米歩合はこの結果を参考に実施するのがよいと考える。

原料米に関しては、夢の香と五百万石は、特に溶けやすさや味わいに違いがみられることが経験的にも知られており、各蔵元によって求める酒質に合わせた使い分けが行われているものと考えられる。今後、米の特性についてより詳細に情報提供を行うことによって、これまで使用していなかった原料米への挑戦による酒質の多様化が見込まれる。また、長年使用してきた原料米についても、より深い知識を持った製造への取り組みが期待される。

##### (3) 純米系市販酒の使用酵母内訳

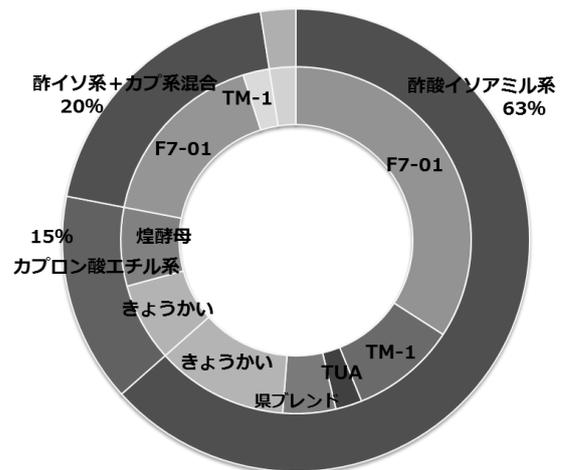


図2 純米系市販酒の使用酵母内訳

純米系市販酒41点(純米酒30点、純米吟醸酒11点)の使用酵母の内訳を図2に示した。41点のうち26点(63%)が酢酸イソアミル系、6点(15%)がカブロン酸エチル系、また8点(20%)がそれぞれの香気特性をもつ酵母のブレンドであった。酢酸イソアミル系純米酒の半数でうつくしま夢酵母F7-01が使用され、酢酸イソアミル系では80%以上が県酵母(F7-01、TM-1、TUA、県酵母ブレンド)が使用されている。また、カブロン酸エチル系純米酒では、県オリジナルの燐酵母ときょうかい酵母が同数であった。

また、酵母ブレンドによる製造も近年県内で進んでいる取組みのひとつである。ベースとなるのは酢酸イソアミル系酵母で、そこに酵母添加時期や使用比率を検討したうえでカブロンエチル系酵母をブレンドする方法である。今回調査に使用した市販酒では、8点す

べてでベースとなる酢酸イソアミル系酵母に県オリジナル酵母が使用されていることがわかった。

### 3. 2. 県産市販酒の分析

#### (1) 酵母による香気成分特性

酵母による香気特性を把握するため、酢酸イソアミル系の県オリジナル酵母を使用した純米系市販酒 26 点の香気成分分析を行った (図 3)。

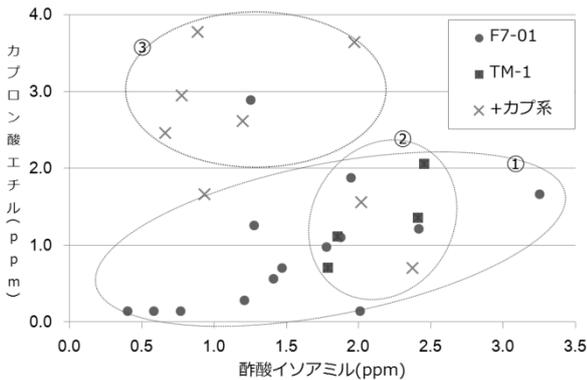


図 3 酵母による香気特性の違い

うつくしま夢酵母 F7-01 は、酢酸イソアミルの幅が 0.4~3.3ppm と広く、一部ではカプロン酸エチルが約 3ppm 生成されたものが見られた (図 3 ①)。一方、TM-1 は酢酸イソアミルが 1.8~2.5ppm と F7-01 に比べてその幅が狭いことがわかる (図 3 ②)。

また、酢酸イソアミル系酵母にカプロン酸エチル系酵母をブレンドした清酒では、全体的にカプロン酸エチル濃度が高くなり、官能的にも香りに厚みをもたらされた (図 3 ③)。添加時期や使用比率を変えることによって、多様な商品展開が可能になることが予想される。

#### (2) 一般成分分析

市販酒分析の成分分析の平均値を表 2 に示した (日本酒度は非表示)。なお、純米および純米吟醸は、官能評価における審査員の平均点が 2.0 未満のものを上位、3.0 以上のものを下位とし、各々の平均値を示した。

この結果、純米ではアミノ酸度が低く、酢酸イソアミルが高いもの (表 2 ①)、また、純米吟醸ではアミノ酸度が低く、グルコースの高いもの (表 2 ②) で評価が高くなる傾向が見られた。

アミノ酸度は、原料米由来のものは味わいや旨味につながるが、長期もろみによるストレスで酵母が死滅した際にもろみ中に放出されるアミノ酸は苦味やエグみに影響する。この結果、呈味性が劣りやすくなることがわかっており、本県では早期上槽ならびに低アルコールでの上槽を推奨している。

### 4. 結言

平成 29 年度から平成 31 年度まで、県オリジナル酵母と県産酒造好適米を使用した県オリジナル清酒の高品質化と安定化を目指し、市販酒の品質向上に関する研究に取り組んでいる。初年度である本年は、県酒造組合主催の市販酒審査の出品酒の調査と成分分析を実施した。その結果、官能評価結果と成分分析値の比較から、純米は低アミノ酸、高香気、また、純米吟醸は低アミノ酸、十分な甘味、高香気であることが高品質化のポイントであることが明らかになった。今後は、低アミノ酸化と高香気化のために必要な酒質設計、酵母の選択、もろみ管理方法などの提案が必要となると考えられた。

また、使用酵母の調査結果から、純米系市販酒の中心となるのは酢酸イソアミル系酵母であることがわかった。さらに、41 点のうち 32 点で県オリジナル酵母が使用されていることがわかった。しかし、調査を進める中で、同じ酵母であっても地域によりわずかに

表 2 県産市販酒の成分分析の平均値

	Alc. (%)	酸度 (mL)	アミノ 酸度 (mL)	グルコー ス (%)	カプロン酸 エチル (ppm)	酢酸イソ アミル (ppm)	アセト アルデヒド (ppm)	酢酸 エチル (ppm)	n-プロピル アルコール (ppm)	i-ブチル アルコール (ppm)	i-アミル アルコール (ppm)
普通酒(n=5)	15.11	1.08	1.38	2.59	0.15	0.55	13	23	63	43	99
本醸造(n=3)	17.03	1.31	1.18	1.73	2.19	1.16	14	36	76	39	113
純米											
全体(n=30)	16.19	1.45	1.45	1.93	1.32	1.62	18	51	99	51	141
上位(n=8)	16.16	1.37	1.21 <sup>①</sup>	2.09	1.40	2.14 <sup>①</sup>	17	62	96	51	144
下位(n=6)	16.34	1.57	1.66	2.08	1.47	1.39	22	50	107	51	146
純米吟醸											
全体(n=11)	15.95	1.35	1.40	1.97	1.81	1.45	19	53	87	49	120
上位(n=3)	15.66	1.40	1.27 <sup>②</sup>	2.03 <sup>②</sup>	1.25	1.75	20	63	98	59	117
下位(n=3)	15.79	1.31	1.69	1.78	2.29	1.33	20	43	75	43	117

発酵特性が異なるという事例や、香りの出方に差がある可能性が指摘された。

香氣成分は、もろみ中のグルコース濃度に影響されやすいことから、香氣成分の多寡については最終製品の分析値だけでなく、もろみ経過と併せて評価する必要があると考えられた。

市販酒の安定的な醸造の実現のため、業界からは発酵特性、香氣特性に関する詳細な情報提供が求められている。福島県は東西に広がる地形で、醸造場所在地によって、気候はもとより原料水の硬度が異なるのがひとつの特徴である。今後は、醸造場所在地の水の硬度との関係についても調査を進め、酵母の発酵特性に関する詳細な検討を重ねていきたい。

本調査の結果、県産市販酒の大半で県産酒造好適米と県オリジナル酵母が使用されており、県産資源の活用が各蔵元で広がっていることがわかった。今後は、県産資源のさらなる活用に向け、小仕込み試験等を実施し、県産酒造好適米と県酵母の相性を把握することを予定している。

#### 謝辞

県産酒の動向に関する資料と市販酒審査会の検体酒を提供して下さった福島県酒造組合様に感謝します。

#### 参考文献

- 1) 遠藤浩志ほか. “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) 大野正弘ほか. “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.
- 3) 中島奈津子ほか. “福島県オリジナル酵母の改良”. 平成28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2017, p.39-42.
- 4) 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.

# 福島県オリジナル清酒製造技術の開発（第2報）

## — 清酒酵母の糖発酵性に関する試験 —

### Development of original sake brewing technology in Fukushima prefecture (2<sup>nd</sup> report)

- Test on sugar fermentability of 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 猪俣有唯 松本大志 鈴木賢二

当所では、平成29年度から平成31年度まで福島県オリジナル清酒酵母と県産酒造好適米を使用した品質の高い県オリジナル清酒製造を安定的に行うための技術開発に取り組んでいる。本報では、酵母の発酵特性把握を目的とした予備試験の結果を報告する。

酵母の糖発酵性予備試験により、香り特性が似ていても、酵母によって発酵に利用できる糖に違いがある可能性が示唆された。さらなる詳細な研究を重ねることにより、多様な清酒製造ならびに安定醸造に向けた酒質設計や発酵管理への活用が期待された。

Key words: 県オリジナル酵母、糖発酵性

## 1. 緒言

福島県産酒は、全国新酒鑑評会をはじめとする各種鑑評会やコンテスト等でこれまで数多くの優秀な成績を収めており、県産酒への注目がますます高まっている。県産酒の課税移出数量は平成23年の東日本大震災以降、微減傾向が続いている中、特定名称酒の課税移出数量は増加傾向にあり、特に純米酒や純米吟醸酒が顕著に伸びている。県酒造組合のまとめによると、平成29年度課税移出数量における特定名称酒比率は平成22年度の約40%から66%にまで増加している。また、県が実施する酵母頒布事業においても、県内酒造場への酵母頒布本数がこの10年で2倍以上に増えている。特に、県オリジナル酵母であるうつくしま夢酵母(F7-01)<sup>1)</sup>、うつくしま煌酵母<sup>2) 3)</sup>を中心とした県酵母の頒布本数は全体数の8割以上を占め、純米酒や純米吟醸酒を中心に広く活用されている。

このような中、福島県オリジナル酵母と県産酒造好適米を使用した県オリジナル清酒に対する期待が高まっており、その品質向上と安定化が求められている。

本研究では、平成29年度から平成31年度にわたり、県酵母の発酵特性試験と香味特性の分析、県産酒造好適米の特性分析、酵母と原料米の相性に関する発酵特性試験と分析、また、清酒中のオフフレーバー軽減に関する試験研究を実施している。それらの結果を県内酒造場に広く情報提供し、県産酒の多様化、高品質化、安定化の実現を目指している。

本年は、酵母の糖発酵性予備試験、および県酒造組合の協力をいただき、県産市販酒の調査及び官能評価、成分分析を実施した。

この結果、清酒酵母の種類によって発酵に利用できる糖の種類が異なることが示唆されたので報告する。

なお、県産市販酒の調査結果および一般分析結果については別報にて報告する。

## 2. 研究方法

### 2. 1. 酵母の糖発酵性予備試験

#### (1) 菌株

本県で開発されたオリジナル酵母ならびに当所のデンプンフリーザーにて試験研究用に保管している下記の酵母を使用した。

- ・福島県オリジナル清酒酵母7種  
うつくしま夢酵母(F7-01)、  
TM-1、TUA、  
うつくしま煌酵母(701-g31、901-A113、701-15)、  
多酸酵母52-5S-38
- ・きょうかい酵母9種  
(K-7、701、K-9、901、1001、1401、1501、1601、  
1801)
- ・その他2種  
(アルプス酵母、明利酵母)

#### (2) 培地

寒天培地：YPD 寒天培地 (2%グルコース、1%酵母エキス、2%ポリペプトン、2%寒天)

前培養培地：YPD 培地 (2%グルコース、1%酵母エキス、2%ポリペプトン)

発酵性試験培地 (pH6.0)：1%炭素源、0.2%ポリペプトン、0.5%塩化ナトリウム、0.03%リン酸一水素カリウム、0.003%プロモクレゾールパープル

炭素源：グルコース、マルトース、マルトトリオース、ガラクトース、グリセロール、エリスリトール

事業課題名「福島県オリジナル清酒製造技術の開発」

### (3) 方法

寒天培地にてコロニー形成させ、コロニー植菌耳を前培養培地 5mL にて 30°C、2 日間静置培養した。培養液 0.1mL を発酵性試験培地 5mL に添加し、滅菌済みの流動パラフィン 0.5mL を上層し嫌気条件としたものを、20°C で 48 時間培養した。

プロモクレゾールパープルの pH による変色領域(紫 6.8~黄 5.2)を利用し、発酵による炭酸ガス生成によって培地の色が黄変したものを発酵性ありと判断した。なお、培養液を添加しないものを Blank とした。

## 3. 結果及び考察

### 3. 1. 酵母の糖発酵性予備試験

発酵性試験培地の培養後の培地の色の変化を図 1 に示した。右端の Blank と比較すると、グルコースを炭素源とした場合、いずれの菌株も培地が黄変したことが認められ、発酵性ありと判断できる。

県酵母のうち、カプロン酸エチル系の燐酵母を比較すると、マルトトリオースの発酵性について、701-g31、901-A113 は発酵に利用できるが、701-15 はできず、また、701-g31 はガラクトース以外すべての炭素源を使用できることが示唆された。

また、酢酸イソアミル系の F7-01、TM-1、TUA を比較すると、F7-01 と TM-1 はマルトースを利用できないが、TUA は利用できることが示唆された。

## 4. 結言

県内酒造場が利用している酵母を含む 18 種類の清酒用酵母の糖発酵性把握を目的に、発酵に利用できる糖の違いに関する予備試験を実施した。

その結果、酢酸イソアミル系の県酵母では、マルトース発酵性において、TUA が大変強く、うつくしま夢酵母 F7-01 と TM-1 は弱いという特徴がある可能性が示

唆された。また、燐酵母についても、多様な糖を利用できることがわかり、燐酵母が他のカプロン酸エチル系酵母に比べて強い発酵性を持つ理由のひとつが、もろみ中のあらゆる糖の発酵性を有することである可能性が示唆された。今後は、この予備試験の結果をふまえ、炭酸ガス生成の有無を含めた本試験を実施する。

清酒製造において、糖化酵素力価が極端に低い麴を使用したとき、もろみ中ではマルトースまでで分解が終了してしまい、グルコースが生成されにくい。もろみで発酵が止まった場合、マルトースをアルコール発酵に利用できない酵母(培地の色が変わらないもの)を用いている場合には、このような現象が起こることが予想され、十分なアルコール生成が期待できない。十分な力価を備えた麴を作ることはもちろんだが、使用する酵母の発酵特性を知ることが順調な発酵管理の実現や多様な酒質設計に役立つと考えられた。

なお、現在、一部の県オリジナル酵母の全ゲノム解析を実施している。マッピングデータから、県酵母のオリジナリティ・優位性についての特性解析を進めていく。

### 参考文献

- 1) 遠藤浩志ほか. “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) 大野正弘ほか. “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.
- 3) 中島奈津子ほか. “福島県オリジナル酵母の改良”. 平成 28 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2017, p.39-42.

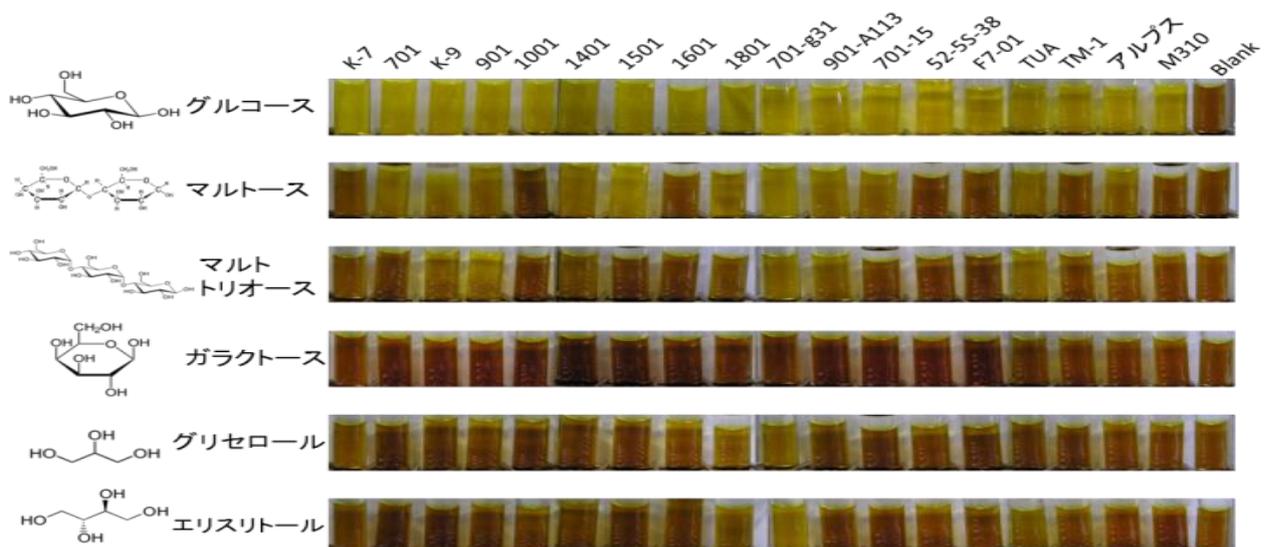


図 1 酵母による糖発酵性予備試験結果

# 海中におけるプラスチックの劣化挙動

## Degradation behavior of plastics in seawater

技術開発部 工業材料科 菊地時雄

福島洋上風力発電に採用された電力線ケーブルのフロートの長期にわたる耐久性を検証するために、疑似海水での促進暴露試験を3年間行った。その結果、破壊にいたるような大きな物性低下は確認されなかった。また、フロートの実使用環境は地上に比べ、劣化原因の3大要素である日光・酸素・温度の影響も極めて小さいと予想されることから、長期使用に十分耐えるものとの結論にいたった。

Key words: 海水、プラスチック、ABS、酸化、劣化

### 1. 緒言

遠浅の海や湖沼における着底式風力発電は、20年以上前から欧州を中心に実施され、商業ベースの大規模開発が行われている。一方、深い海洋等では風力発電のタワーを海底に固定するのが困難であるため、洋上に浮かべる浮体式洋上風力発電が考案され、数年前からノルウェーやポルトガルで実証実験が始まった。

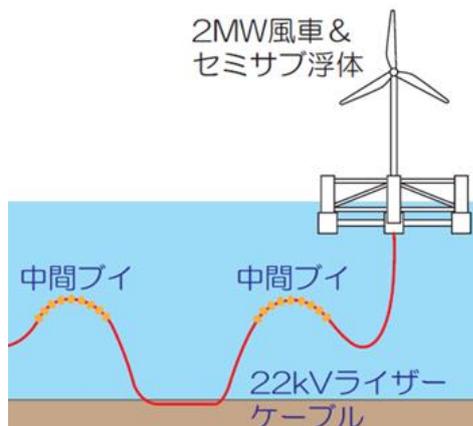


図1 ケーブルとフロートの敷設例

東日本大震災以降に、福島県沖で実証実験<sup>1)</sup>が始まった浮体式洋上風力発電では、発電した電力を送電するケーブルを数十年の長期にわたり安定的に海面下100~200[m]中に敷設するためにプラスチック製フロート(中間ブイ)を用いる(図1参照)。宇部樹脂加工(株)とハイテックプラザで共同開発したフロートは、潮流によりケーブルの振れを防ぐために摺動部を持つことが大きな特徴<sup>2)</sup>となっている。フロートは、ケーブルを固定する外径300[mm]長さ200[mm]のHDPE製のパイプ状部品と、これを収納するABS製の部品および浮力を持たせる直径約300[mm]の中空のABS製部品(8個の球)から構成されている(図2参照)。このHDPE製の部品とABS製の収納ケースが摺動することで、ケーブルの振れを防止する構造になっている。

事業課題名「海中におけるプラスチックの劣化挙動」

フロートの開発において、要求スペックである摩擦

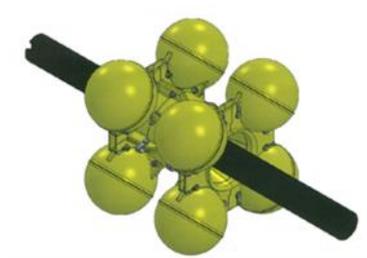


図2 開発したフロートの模式図

摩耗特性、流体抵抗特性、強度試験、耐圧試験、FEM解析結果などをすべてクリア<sup>3)</sup>し、5年間洋上で使用されたABS製フロートの劣化解析結果<sup>4)</sup>を考慮した結果、二期工事の7MW(図3、図4)および5MWの洋上風力発電に採用された。

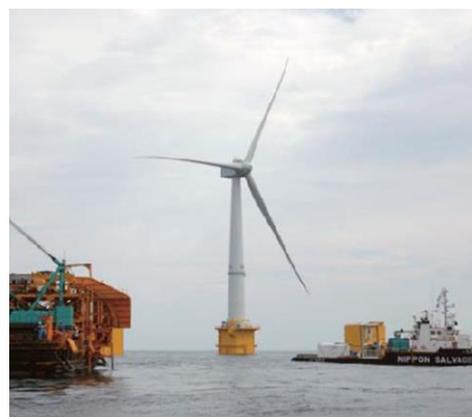


図3 7MWの浮体式養生風力発電

しかし、実際に数十年間の海水の影響によるプラスチック製フロートの劣化についての検討例は少なく、長期にわたる評価も必要と考えたため、疑似海水による浸漬温度を変えたABSの促進暴露試験を行い、ロックウェル硬度と摩擦摩耗試験結果の浸漬時間依存性を検討した。

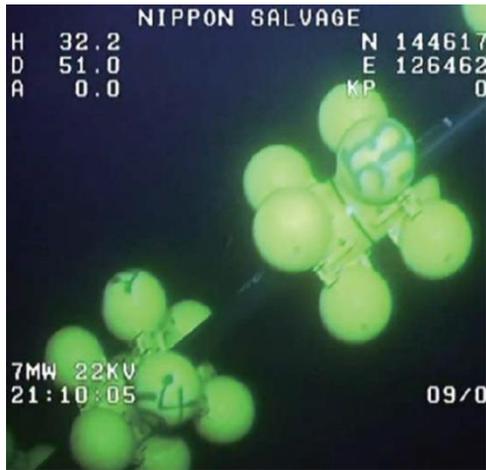


図4 海中に敷設されたケーブルとフロート

## 2. 実験

### 2. 1. 浸漬条件

実験に用いた疑似海水は、和光純薬（株）の塩化ナトリウム（特級）を用いて調整した。海水と同じ塩分濃度 3.4[wt%]とし、濃度の条件は固定した。水道水中の塩素がEPDMを劣化させるという報告<sup>5)</sup>があるが、水道水による劣化は、カルキ中に含まれる次亜塩素酸イオンが原因であり、塩素イオンそのものではないと考えられる<sup>3)</sup>。海水中の塩素イオンは海水温度であれば、樹脂を劣化させるとは考えにくく<sup>4)</sup>、塩分濃度を海水と同様とし、これについての条件は1水準とした。

つぎに温度条件であるが、フロートの実使用温度は5~10[°C]であるので、冷蔵庫の5[°C]、精密測定室の20[°C]、オーブンの45[°C]の3水準とした。実使用温度より高温で暴露させることで、劣化を促進させるわけであるが、ABSのガラス転移温度 $T_g$ は85[°C]であるため、なるべく低い温度設定<sup>3)</sup>とした。

この3水準の温度条件に長さ80[mm]×幅30[mm]×厚さ3[mm]の試験片をそれぞれ浸漬させ、約半年ごとに取り出し、試験を行った。

### 2. 2. ロックウェル硬さ

硬さは、摩耗特性と相関があるため、ロックウェル試験を行った。ロックウェル硬さは、(株)明石製作所製 ATK-F2000 を用い、Lスケール (JIS K7020) で測定した。

### 2. 3. 摩擦摩耗試験

摩擦摩耗試験は、福島大学理工学類小沢研究室所有のドラムオンピン型の装置 (図5) を用いて行った。

周速1.5[m/s]でドラムを回転させ、上部に0.1[MPa]に加圧した試験片を乗せ、約14[km]走行させた後の変位量から比摩耗量 $W_s$ を式1より求めた。ABSの摩耗量(変位)は、最少目盛1[μm]のダイヤルゲージ用いて測定した。

$$W_s = V/WL \quad \text{式1}$$

ここで $V$  [mm<sup>3</sup>] は摩耗体積、 $W$  [N] は摺動部にかかる荷重、 $L$  [mm]は試験時の走行距離をそれぞれ示す。また回転トルクの変化から動摩擦係数を求めた。

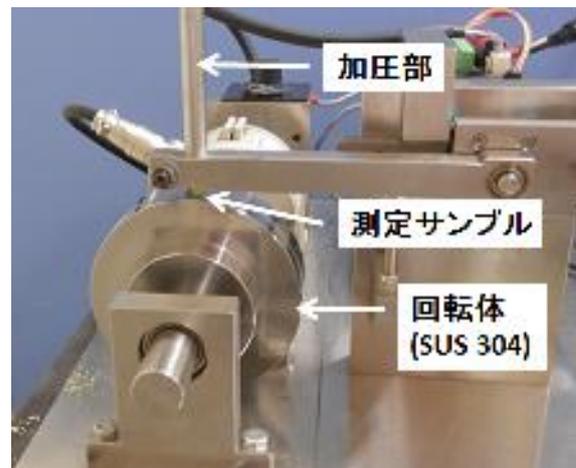


図5 ドラムオンピン型摩擦摩耗試験機

## 3. 結果および考察

### 3. 1. ABSのロックウェル硬さ HRL

試験結果を図6に示した。試験時の吸水率は0.9~1.0[wt%]であり、ほぼ飽和状態であった。浸漬温度5[°C]、20[°C]、45[°C]において、ばらつきは大きいですが、浸漬温度の違いで測定結果に明確な差は生じなかった。また3年間の浸漬時間においても、ばらつきは大きいですが、明確な時間依存性は認められなかった。

プラスチックの射出成形品のロックウェル硬さ試験において、試験片のごくわずかなヒケやソリのために、試験結果が±3~5程度のばらつきは生じてしまう。今回の試験結果のばらつきも、試験片の形状によるものが大きかったものと考えられる。

飽和吸水率が0.9~1.0%[wt%]と低く、樹脂内部まで水分の拡散はしていないものと考えられ、水分の影響は表面に限られるために、試験結果が浸漬温度・浸漬時間に依存しなかったものと考えられる。

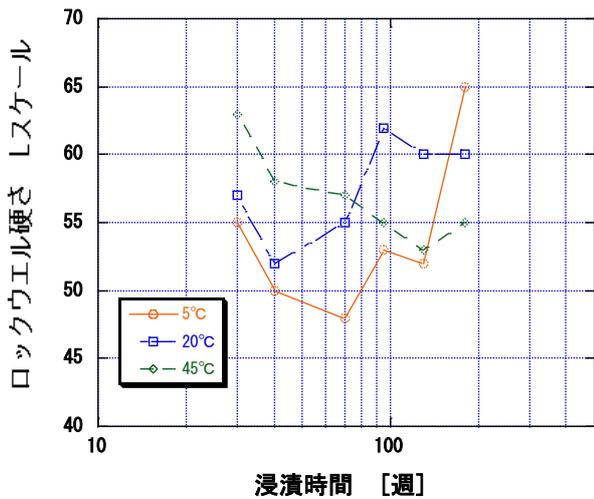


図6 ABSのHRL 硬さの浸漬温度・浸漬時間依存性

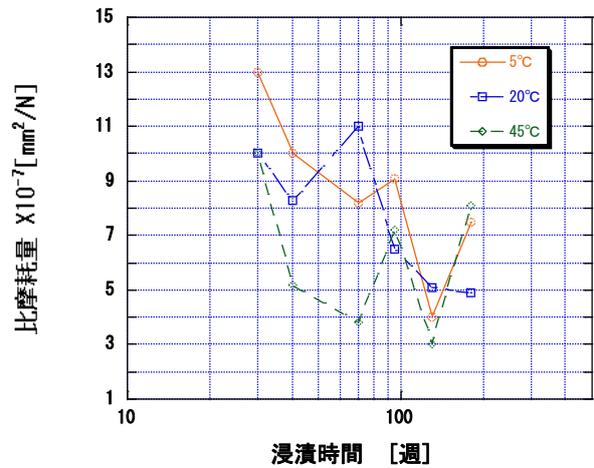


図8 ABSの比摩耗量の浸漬温度・浸漬時間依存性

### 3. 2. ABSの摩擦摩耗試験

図7に動摩擦係数の測定結果を、図8に比摩耗量の測定結果をそれぞれ示した。

動摩擦係数はほぼ0.2~0.3であり、浸漬温度・浸漬時間の明確な差は認められなかった。

比摩耗量は、1桁くらいの範囲で大きくばらついているが、明確な浸漬温度・浸漬時間依存性は見られなかった。

これらの結果も硬さ試験と同様に、飽和吸水率が低く、水分が表面のみにとどまるため、内部に大きな影響を与えず、試験結果に温度・時間依存性が見られなかったものと考えられる。

## 4. 結言

開発した電力線ケーブルの海水中における長期の耐久性について検討するために、疑似海水中に浸漬させた後のロックウェル硬さと摩擦摩耗特性を測定した。浸漬温度を5[°C]、20[°C]、45[°C]とし、3年間のロックウェル硬さ、動摩擦係数および比摩耗量を測定した結果、大きな浸漬温度・浸漬時間依存性は確認されなかった。

酸化反応には温度・光エネルギー・酸素が必要であり、海水中の溶存酸素は6~8 [ppm] と大気中の約  $0.5 \times 10^{-4}$  倍と極めて少ない。またフロートが使用される環境では、光も届かず、温度も5[°C]前後と低いため、プラスチックの強度低下につながるような酸化反応は起こりにくいものと考えられた。

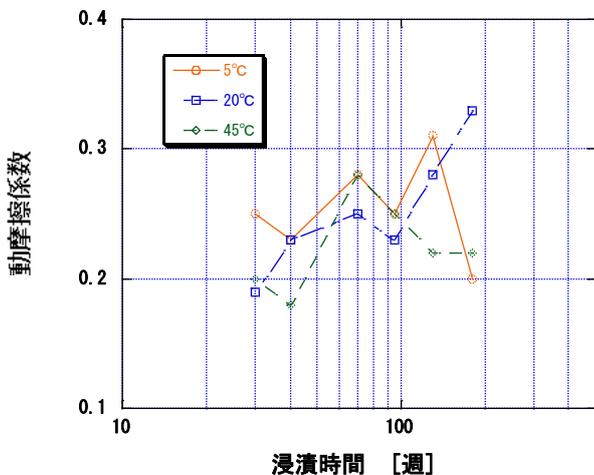


図7 ABSの動摩擦係数の浸漬温度・浸漬時間依存性

### 参考文献

- 1) “福島洋上風力コンソーシアム”. <http://www.fukushima-forward.jp/>, (参照 2017-09-08).
- 2) 特許第 5810208 号, 宇部樹脂加工(株), 古川電気工業(株), ケーブル用フロート, (登録 2015-09-18).
- 3) 菊地時雄, 工藤弘行 他. 平成 26 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2015, p.72-76.
- 4) 菊地時雄. 成形加工. 2017, Vol.29, (11), p.410.
- 5) 大竹義人. ゴムプラスチック材料のトラブルと対策. 日刊工業新聞社, 2012, p.197.

# 微生物発酵による藍染め技術の開発

## Development of indigo dyeing technology by microbial fermentation

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

本藍染めの染料は、微生物の発酵により生成されるため、発酵条件により色の濃淡が変わってしまう。また、染色は手作業で行うため、同一染料で染色してもわずかに色の濃淡が異なってしまう、量産化するには色の再現性が課題となる。本研究では、染料の生産管理を行い、効率良く安定的に同じ色の染料を生成する微生物の発酵条件の確立と、染色の工程管理を行い、量産化に対応した染色プロセスの確立を目指し、染色品の色の再現性を高める手法について取り組んだ。

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み、「地域ブランド」の確立を目指している。これまでに、樹木や果皮など天然素材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」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課題があった。

青を出す天然染料は、植物のタデ藍やインド藍等に含まれるインジゴに限られる。植物由来の藍染めは、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用いて行う。しかし、インジゴが水に不溶性であるため、薬品や原料に含まれる還元菌の作用により、水溶性のロイコ型インジゴに還元して染色を行う。このロイコ型インジゴを生成し、染色が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、インジゴを簡単にロイコ型へ還元でき、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、発酵条件により色の濃淡が変わってしまうため、安定的に同色に染色することができない。また、染色は手作業で行うため、同一染料で染色してもわずかに色の濃淡が異なってしまうため量産化は難しい。

そこで本研究では、本藍染めにおいて効率良く安定的に同じ色の染料を生成する発酵条件の確立と量産化に対応した染色プロセスの確立を目指した。

## 2. 研究方法

### 2. 1. 染料の生産管理

染料は微生物の発酵により生成されるため、発酵環境によって色の濃淡が変わる。そこで、発酵雰囲気により藍建てが変化するか、セロファンフィルムを染色し試験を行った。

#### 2. 1. 1. 藍建てにおける発酵雰囲気

発酵雰囲気を変化させ、大気中で送風定温乾燥機を使い30℃で藍建てを行った。

#### 2. 1. 2. 藍建て条件

藍建ては、スクモ 50g、溶媒として炭酸ナトリウム（特級 和光純薬工業(株)製）1.06g/L、硫酸カリウム（特級 和光純薬工業(株)製）3.35g/L を水酸化カリウム（特級 和光純薬工業(株)製）1mol/LでpHを11に調整した液を使用し、日本酒（純米酒 宝酒造(株)製）10mlとふすま（藍熊染料(株)製）3gを熱水処理した水溶液を入れ総量2Lにした。溶液のpHは水酸化カルシウム（和光純薬工業(株)）を使い11程度に調整した。

#### 2. 1. 3. フィルムの染色と吸光度の測定

水溶性インジゴの生成量はセロファンフィルム（単色セロファン（透明）（(株)トーヨー製）を染色し、その吸光度を測定した<sup>1)</sup>。染色は48時間毎に行い、その時に染色液の攪拌とpH調整を行った。pHは水酸化カルシウムを用いて11程度に調整した。

セロファンフィルムの染色は、フィルムを40mm×35mmに裁断し、プラスチックマウント（35mm判、富士フィルムイメージングシステムズ(株)）に固定した状態で染色液に5分間吊るした。その後5分間、室内で風乾し、水洗、乾燥を行った。染色したフィルムの吸光度は、分光光度計（UV-2500PC(株)島津製作所製）を使い、660nmの吸光度を測定した。

## 2. 2. 染色の工程管理

藍染は、染色液の pH が 10 から 11 とアルカリ環境下で染色されるため、毛糸などのタンパク質系繊維は強度が低下してしまい、製織や編成で糸切れの原因となってしまう。そこで、アルカリ環境下でも糸の強度が低下しない保護加工法の検討を行った。また、昨年度に試作した染色装置の絞りと攪拌時間を変え、染色ムラのない装置設定について検討を行った。

### 2. 2. 1. 糸の保護加工方法

保護加工する原糸は、毛糸 (2/48 番手) 2g を使用した。保護加工剤として、カチオン化剤 (DANSHADE185 (ニッポーメディカル(株)製))、タンニン酸 (工業用、富士化学工業(株)製)、硫酸アルミニウム 14-18 水 (一級 和光純薬工業(株)製) を使用した。

また、保護加工した糸の染色は、インジゴピュア (藍熊染料(株)製)、炭酸ナトリウム (特級 和光純薬工業(株)製)、ナトリウム (特級 和光純薬工業(株)製)、非イオン界面活性剤 (スコアロール 700 北広ケミカル(株)製) を使用した。加工手順は、原糸を非イオン界面活性剤でソーピング (80℃、0.5 時間) し、表 1 の条件で保護加工を行った。

表 1 保護加工条件

	加工剤	温度 (°C)	時間 (hr)	濃度 (%o. w. f)	浴比
1	カチオン化剤	80	0.5	10, 20	1:50, 1:100
2	タンニン酸	60	2.0	10, 20	1:50, 1:100
3	タンニン酸 (前処理)	60	2.0	10, 20	1:50, 1:100
	硫酸アルミニウム 14-18 水 (後処理)	50	1.0	1.0	1:50, 1:100

### 2. 2. 2. 保護加工糸の評価方法

染色した糸の切断強度は、精密万能試験機 AGS-10KNG ((株)島津製作所製) を使用し、「JIS L1095 9.5.1 一般紡績糸試験法」単糸引張強さ及び伸び率に準拠し、つかみ間隔 200mm、引張速度 200mm/min で行った。また測色は、分光色差計 (NF-999 日本電色工業(株)製) を使用し、光源を D65、視野を 10° で、L\*a\*b\* で表色系を使用した。

### 2. 2. 3. 染色装置の条件設定と評価方法

昨年度に試作した染色装置<sup>1)</sup> (図 1) は、縋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。上下シリンダで縋を染色液に浸漬させ、前後のシリンダで縋を回転しているローラーに押し込み、絞り (脱液) と糸の移動を行う。そこで、染色装置 1 サイクル当たりの絞り時間と

上下運動の回数を変え染色した。

染色した糸の評価は、染色ムラが少なく分光色差計で測定できないため、目視で評価を行った。

染色条件は、染色糸を綿糸 43/2 番手を約 20g、染料をインジゴピュア 2g/L、アルカリ調整剤として炭酸ナトリウム 10g/L、還元剤にヒドロサルファイトナトリウム 4g/L 使用し、室温で 15 分間、染色装置を使い染色した。



図 1 試作した染色装置

## 3. 結果と考察

### 3. 1. 染料の生産管理

図 2 に発酵雰囲気の違いによる染色フィルムの染色結果を示す。発酵雰囲気を変えることで効率良く安定的に染料を生成することがわかった。

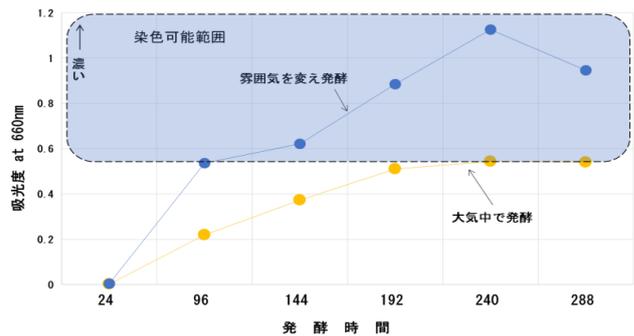


図 2 発酵時間とフィルムの吸光度変化

### 3. 2. 染色の工程管理

#### 3. 2. 1. 糸の保護加工方法

表 2 と図 3 に保護加工した糸の最大強度と色差を示す。保護加工を行った糸の切断強度は、未加工の染色糸に比べ向上した。

未加工糸を染色した糸と保護加工した染色糸に色差は、浴比が 1:50 の糸は 1:100 に比べ色差が大きくなっている。量産化する場合、浴比にも注意を払う必要があることが分かった。

#### 3. 2. 2. 染色装置の条件設定

表 3 に染色装置 1 サイクル当たりの条件設定と評価結果を示す。浴比が大きく上下運動の回数と絞り時間が長い設定の方が、染色ムラのない結果となった。

表2 保護加工系の最大強度と染色後の色差

	試料名	加工剤濃度 (%o. w. f)、浴比	最大強度 (cN)	ΔE*(ab)
1	カチオン化剤 10_100	10, 100	287.9	0.8
	カチオン化剤 10_50	10, 50	292.5	1.2
	カチオン化剤 20_100	20, 100	295.8	1.1
	カチオン化剤 20_50	20, 50	292.4	2.9
2	タンニン酸 10_100	10, 100	284.4	2.2
	タンニン酸 10_50	10, 50	287.6	2.6
	タンニン酸 20_100	20, 100	283.2	1.7
	タンニン酸 20_50	20, 50	297.1	3.5
3	タンニン酸 10+アルミ _100	10, 100	290.8	1.9
	タンニン酸 10+アルミ _50	10, 50	271.2	3.4
	タンニン酸 20+アルミ _100	20, 100	308.4	1.5
	タンニン酸 20+アルミ _50	20, 50	283.8	1.9
比較	原糸		306.4	0.0
	ソーピング		296.8	0.0
	未加工糸染色		262.8	0.0

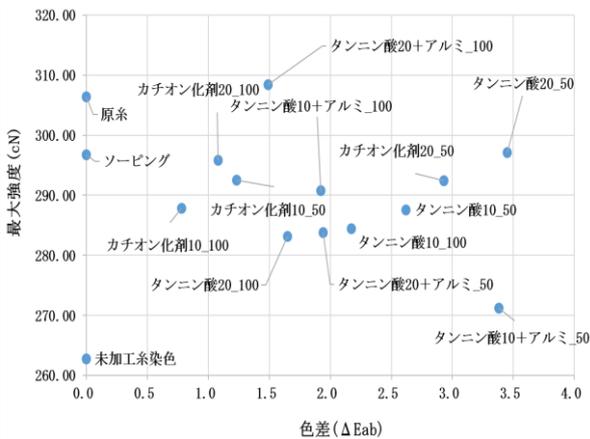


図3 糸の保護加工による切断強度と染色後の色差

表3 1サイクル当たりの条件設定と評価結果

	上下(回)	絞り(秒)	浴比	染色ムラ
1	6	5	1:50	×
2	6	5	1:100	×
3	12	15	1:50	△
4	12	15	1:100	○

#### 4. 結言

本藍染めの製品を量産化する際に課題となる色の再現性を解決するため、染料の生産管理を行い、タンパク質系繊維の染色による強度低下を防ぐ保護加工方法を開発するとともに、試作した染色装置の条件設定を行い、量産化に対応した染色プロセスを確立することができた。

今後はこの研究成果を、ニット製品のみならず、藍染めを使った製品の商品開発に繋げていく。

#### 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28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2017, p.65.

# 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 quality producing technology for quality improvement of fermented foods in fukushima prefecture

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 小野和広 松本大志 菊地伸広

県産醸造製品の品質向上を目的に、味噌について、種麴の違いが、調製した麴の特性や、その麴で仕込んだ味噌の品質に及ぼす影響について評価した。製造元の異なる種麴を用いて製麴を行ったところ、麴の酵素力価は、グルコアミラーゼが 247~789 units/g、中性プロテアーゼが 29~80 units/g となり、同じ原料及び製麴方法でも、調製した各麴は、種麴の違いにより特徴的な酵素活性を示した。続いて、これらの麴を用いて味噌を仕込み、成分分析及び官能評価を行ったところ、麴の酵素力価と味噌の成分との間に明確な関連性は見られなかったが、味噌の直接還元糖が多い方が、官能評価が比較的高い傾向があった。

Key words: 種麴、製麴、味噌、官能評価

### 1. 緒言

本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5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、全国醤油品評会において農林水産大臣賞を2年連続で受賞する等、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。このような背景を下に、本研究では、醸造製品の品質向上を目的に、今年度は、味噌について、種麴の違いが、調製した麴の特性やその麴で仕込んだ味噌の品質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

種麴は、種麴メーカーから米味噌用種麴として市販されている5社、6種類を供試した(a~f)。原料は、製麴用の米は、2016年に福島県会津地方で栽培された「ひとめぼれ」を、また味噌の仕込み用の大豆は、2016年に北海道で栽培された「トヨマサリ」を供試した。大豆麴は、(株)秋田今野商店製、食塩は(株)日本海水製並塩、微生物は耐塩性酵母(*Zygosaccharomyces rouxii*)及び耐塩性乳酸菌(*Tetragenococcus halophilus*)((株)ビオック)を供試した。

#### 2. 2. 製麴方法

10℃で16時間浸漬吸水させた白米を、無圧で掛け掛け法により50分間蒸きょうした。製麴は、麴蓋法により45時間行った。

#### 2. 3. 味噌の仕込みと熟成方法

異なる種麴により調製した麴を用い、仕込んだ味噌の仕込み配合を表1に示した。仕込み配合は、仕込総量、麴歩合、目標水分、目標塩分を同一にし、8試験区(大豆麴、乳酸菌添加の有無を含む。)で行った。

表1 味噌の仕込み配合

試験区	A	A-2	B	C	D	D-2	E	F
仕込総量(kg)	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67
麴歩合(歩)	10	10	10	10	10	10	10	10
種麴	a	a	b	c	d	d	e	f
目標水分(%)	47.8	47.8	47.8	47.8	47.8	47.8	47.8	47.8
目標塩分(%)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
対水食塩濃度	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
大豆麴(%)	2.5		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
酵母	○	○	○	○	○	○	○	○
乳酸菌	○	○	○	○	○		○	○

大豆は20℃で3時間浸漬し、加圧煮法により処理した。冷却後、8つの試験区分で各原料を混合し、味噌の仕込みを行った。乳酸菌及び酵母を添加した試験区では、仕込み開始時に酵母(終濃度 $2.0 \times 10^5$ /g)及び乳酸菌(終濃度 $1.0 \times 10^6$ /g)を添加し、30℃で80日間熟成させた。

#### 2. 4. 麴の酵素活性

麴の酵素力価は、中性プロテアーゼは、基準みそ分析法<sup>1)</sup>により測定した。またグルコアミラーゼ及び $\alpha$ -アミラーゼは、糖化力分別定量キット及び $\alpha$ -アミラーゼ定量キット(キッコーマンバイオケミファ(株))を用いて測定した。

#### 2. 5. 一般成分の分析方法

味噌の一般成分は、基準みそ分析法<sup>1)</sup>により分析

事業課題名「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」

した。色調は色差計（日本電色工業，ZE2000）により測定した。アミノ酸は、高速アミノ酸分析計（（株）日立ハイテクサイエンス，L-8900）により測定した。

## 2. 6. 官能評価

官能評価は、試醸した味噌について、当所の職員9名（男性8名、女性1名）により、色、香り、味、組成、総合の5項目について、3段階評価（1(良い)～3点(悪い)）し、平均評点を求めた。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1. 麴の酵素力価

いくつかの製造元の異なる種麴を用い、同一の原料米及び製麴方法にて麴を調製し、それらの酵素力価を測定した結果を表2に示した。各麴の酵素力価は、グルコアミラーゼが247～789 units/g、中性プロテアーゼが29～80 units/gとなり、糖化酵素（グルコアミラーゼ、 $\alpha$ -アミラーゼ）はc、dが高く、プロテアーゼはc、eが高かった。cは、グルコアミラーゼ、 $\alpha$ -アミラーゼ、中性プロテアーゼのいずれも、今回の麴の中で最も高かった。同一の原料及び製麴方法でも、調製した各麴は、種麴の違いにより特徴的な酵素活性を示した。

表2 種麴の種類が異なる麴の酵素力価 (units/g)

	グルコアミラーゼ	$\alpha$ -アミラーゼ	プロテアーゼ
			中性 (pH6)
a	247	2128	55
b	248	1894	29
c	789	2534	80
d	509	2183	62
e	302	2245	75
f	390	1770	47
平均	414	2126	58

### 3. 2. 官能評価

表3に、特性の異なる各麴で仕込んだ味噌の官能評価の結果を示した。総合評価は、麴dを用いた試験区

表3 特性の異なる麴により試醸した味噌の官能評価

試験区	色	香り	味	組成	総合
A	1.72	1.67	1.72	1.83	1.72
A-2	1.72	2.06	2.33	2.06	2.22
B	2.22	1.72	1.94	1.83	2.00
C	1.89	1.94	2.06	1.83	2.06
D	1.89	1.89	1.89	2.17	1.89
D-2	1.89	1.78	1.67	1.72	1.44
E	1.39	1.33	1.78	1.78	1.56
F	1.67	1.67	1.67	1.89	1.72

D-2が、最も評価が高く、次いで、試験区Eの評価が高かった。大豆麴を添加していない試験区A-2や、調製した麴の中性プロテアーゼが最も低かった試験区Bは、いずれも味、総合の評価が低かった。また、色の評価は、試験区Bが最も低かった。麴の酵素力価と官能評価との間に、明確な関連性は認められなかったが、中性プロテアーゼが過度に低い場合、マイナスの影響を及ぼす可能性が伺えた。

### 3. 3. 試醸した味噌の遊離アミノ酸組成

表4に試醸した味噌の遊離アミノ酸組成を示した。旨味に関与するグルタミン酸及びアスパラギン酸は、麴の中性プロテアーゼの力価が高かった試験区C、Eが多かった。また総アミノ酸も同様に、試験区C、Eが多かった(\*1)。一方、大豆麴を添加していない試験区A-2や、麴の中性プロテアーゼが最も低かった試験区Bは、グルタミン酸及び総アミノ酸が少なかった(\*2)。また甘味を有するアミノ酸であるセリン、グリシン、アラニン、プロリンも同様に少なかった。試験区Cを除き、総アミノ酸の多かった味噌は、官能評価も高い傾向があった。一方、試験区Cは、麴の酵素力価が、グルコアミラーゼ、 $\alpha$ -アミラーゼ、中性プロテアーゼのいずれも、今回調製した麴の中で最も高かったが、官能評価の味、総合の評価は低かった。それらの要因については今後検討する。

表4 試醸した味噌の遊離アミノ酸組成 (mg/100g)

アミノ酸	試験区							
	A	A-2	B	C	D	D-2	E	F
Asp	400	298	390	464	437	435	443	436
Thr	122	104	127	144	143	140	141	140
Ser	187	164	193	220	214	212	213	215
Glu	419	338	418	490	469	466	476	468
Gln	62	70	70	77	73	74	79	73
Gly	99	84	93	110	105	105	106	105
Ala	195	162	187	213	208	207	211	207
Val	210	164	193	206	203	200	206	202
Cys	46	32	32	33	33	30	35	33
Met	72	51	56	67	64	61	68	67
Ile	204	145	176	216	207	195	214	208
Leu	313	255	290	335	325	314	339	329
Tyr	219	131	165	228	205	177	216	201
Phe	236	183	204	251	237	212	242	236
Trp	16	15	17	13	16	16	17	17
Lys	218	202	212	246	239	235	261	235
His	32	32	34	38	39	39	42	39
Arg	287	271	285	315	311	306	316	308
Pro	127	108	126	177	150	147	148	149
Total	3464	2808	3267	3844	3679	3570	3772	3667

### 3. 4. 試醸した味噌の色調と一般成分

表5-1、表5-2に試醸した味噌の色調と一般成分

値を示した。色調は、Y 値が 10.95~18.53、x 値が 0.46~0.49、y 値が 0.42~0.43 だった。黄色味の指標となる y 値はほとんど差がなかった。また、明るさの指標となる Y 値 (\*1) と、麴の酵素力価 (表 2) や官能評価 (表 3) との間に、明確な関係性は認められなかった。また、Y 値が同じ場合、冴えや赤みを反映する x 値が高い方が官能評価は高いとされるが<sup>2)</sup>、試験区 A-2 以外、大差なく (\*2)、麴の酵素力価 (表 2) や官能評価 (表 3) との間に、明確な関連性は認められなかった。

一方、直接還元糖が比較的多かった試験区 D-2、E (\*3) は、官能評価の味、組成、総合の評価が高い傾向があった。

表 5-1 試醸した味噌の色調と一般成分

	水分 (%)	食塩 (%)	対水食塩濃度 (%)	直接還元糖 (%)	アルコール (%)	色調		
						Y	x	y
A	47.8	11.8	19.8	14.9	1.62	10.95 <sup>*1</sup>	0.49 <sup>*2</sup>	0.43
A-2	47.9	11.8	19.8	14.7	1.66	18.53	0.46	0.42
B	48.9	11.8	19.5	14.5	1.74	12.86	0.48	0.42
C	48.3	11.8	19.6	15.3	1.47	11.73	0.49	0.42
D	49.3	12.1	19.6	14.1	1.70	12.80	0.49	0.43
D-2	49.6	12.1	19.6	15.1 <sup>*3</sup>	1.75	12.03	0.49	0.43
E	48.8	12.1	19.9	15.0	1.49	12.93	0.49	0.43
F	49.3	11.9	19.5	14.9	1.62	11.09	0.49	0.42
平均	48.7	11.9	19.7	14.8	1.63	12.87	0.48	0.42

タンパク質系の成分では、大豆麴を添加していない試験区 A-2 は、水溶性窒素、ホルモール窒素、タンパク溶解率、タンパク分解率のいずれも低く、官能評価 (表 3) も低かった。また、麴の中性プロテアーゼが最も低かった試験区 B も、同様に、タンパク溶解率、タンパク分解率が低く、官能評価も低かった。これら

表 5-2 試醸した味噌の一般成分

	TN (%)	水溶性N (%)	ホルモールN (%)	タンパク溶解率 (%)	タンパク分解率 (%)	グルタミン酸 (mg/100g)
	A	1.80	1.17	0.43	64.8	24.1
A-2	1.78	1.05	0.39	58.9	21.9	338
B	1.81	1.14	0.40	63.0	22.3	418
C	1.79	1.16	0.46	65.0	25.8	490
D	1.82	1.18	0.45	64.8	24.5	469
D-2	1.81	1.15	0.44	63.6	24.2	466
E	1.83	1.18	0.45	64.6	24.4	476
F	1.81	1.17	0.43	64.5	23.7	468
平均	1.81	1.15	0.43	63.6	23.9	443

の結果より、麴の中性プロテアーゼが過度に低い場合、官能評価にマイナスの影響を及ぼす可能性が伺えた。ただし、試験区 C のように、麴の酵素力価が最も

高く、水溶性窒素、ホルモール窒素、タンパク溶解率、タンパク分解率のいずれも高かったが、必ずしも味噌の官能評価につながらない場合もあった。

#### 4. 結言

醸造製品の品質向上を目的に、味噌について、種麴の違いが、製麴した麴の特性や、その麴で仕込んだ味噌の品質に及ぼす影響について評価した。その結果、製造元の異なる種麴を用いて製麴を行ったところ、麴の酵素力価は、グルコアミラーゼが 247~789 units/g、中性プロテアーゼが 29~80 units/g となり、同じ原料及び製麴方法でも、種麴の違いにより、調製した麴の特徴は大きく異なった。続いて、これらの麴を用いて味噌を仕込み、成分分析及び官能評価を行ったところ、麴の酵素力価と味噌の成分との間に明確な関連性は見られなかったが、麴の中性プロテアーゼが過度に低い場合、官能評価に負の影響を及ぼす可能性が伺えた。また、味噌の直接還元糖が多い方が、官能評価が比較的高い傾向があることが分かった。

今後、味噌の品質向上に向け、原料や加工方法、微生物等による影響について検討し、より高品質な製造技術の確立につなげていく予定である。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご助言を賜りました一般社団法人中央味噌研究所、ならびに福島県味噌醤油工業協同組合に深謝申し上げます。また試料の提供等にご協力いただきました県内外の関係者の皆様に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) “基準みそ分析法”. 全国味噌技術会. 1995, p.310-320.
- 2) “みそ技術ハンドブック”. 全国味噌技術会. 1995, p.69-70.

# フィールドロボット向け環境試験・信頼性試験技術

## —実環境負荷データを再現した迅速耐久試験—

### Environmental test technology for field robots

#### - Rapid durability test reproducing actual environmental load data -

技術開発部 工業材料科 工藤弘行 矢内誠人

フィールドロボットは過酷な環境で利用されるため、ロボットに搭載される電子デバイスの信頼性を確保するには環境試験が必要であるが、まだ歴史が浅い分野であるため、試験規格が定まっていない。本研究ではフィールドロボットの実環境負荷データを測定し、それを振動試験機などの台上試験で再現することにより、短時間で耐久性評価を行う技術を開発する。初年度は、加速度測定手法の妥当性の検証や、ドローン機体の片支持落下衝撃試験を実施し、着陸時の負荷を定量的に評価する手法を検討した。

Keywords: 信頼性評価、振動試験、衝撃試験

## 1. 緒言

近年、屋外使用を前提としたフィールドロボットの産業利用が期待されている。フィールドロボットは、室内ロボットに比べて過酷な環境で利用されることや、用途によって環境負荷に大きな差異があることが特徴である。

ロボットは、センサ、カメラ、アクチュエータ、バッテリー、通信機など多数の電子部品を搭載した電子機器であるため、このような過酷環境での利用を想定した場合、電子機器としての耐久性、信頼性に関する検討が特に重要となる。しかし、フィールドロボットの産業利用は歴史が浅いため、現時点では適切な信頼性試験方法が定着していない。例えば自動車産業など長い歴史を持つ分野では、JISなどの試験規格が整備され、多くの企業が信頼性試験の考え方を共有している。これにより他社が実施した試験を自社の信頼性評価と一体化することが一般的になっている。現在では、自動車メーカーが車体の全ての部品を製造することは稀であり、特定のユニット、あるいは、特定の部品のみを製造する多くの企業群が分業して、「自動車産業」として自動車を完成させるだけでなく、併せて信頼性を確保する仕組みができあがっている。将来のフィールドロボット産業の成立ならびに県内ロボット産業集積のためには、自動車産業のように適切な環境試験、信頼性試験の手法を確立することが必須になると思われる。

現在、最も産業利用が進んだフィールドロボットは、ドローンである。当初は、空撮用途に限定されていたが、太陽光パネルの点検、橋梁などのインフラ点検、土木工事の検査、災害調査、農業への応用など幅広い分野での利用が期待されている。一方で、ドローンの利活用については、落下事故など、安全性に関する懸念がある。事故に関する正確な統計は無いものの、保

険会社の試算によると、事故率は2割程度<sup>1)</sup>と予想されており、今後、事故率の低減が必要である。ドローンは通常飛行の前後に離陸、着陸動作があり、ロータの回転数が大きく変化する特徴がある。オペレータの手動飛行では安全な離着陸が可能であるが、自律飛行では通常飛行と別の離着陸制御が必要である<sup>1)</sup>。特に着陸時において、地表面の気流の乱れの影響を受けるため、制御手法の良否によって、着陸時にドローン機体を受ける機械的負荷は大きく変動すると見られる。

以上により、本研究ではフィールドロボットの実環境負荷データを測定し、それを振動試験機などの台上試験で再現することにより短時間で耐久性評価を行う技術の開発を行うこととした。フィールドロボットへの過酷負荷の代表例として、ドローンの着陸時の負荷を評価対象とした。なお、一度の着陸で機体が損傷するような場合ではなく、通常使用の範囲で繰り返される複数回の着陸に対して、ドローンに搭載される各種電子デバイスの信頼性を評価対象とする。

## 2. 実験

### 2. 1. 振動試験（加速度測定手法の検討）

一般的な加速度測定では、ケーブル接続タイプの加速度センサとアンプ、レコーダなどを用いる。広い範囲を移動するロボットや回転運動するロボットでは、ケーブル接続が物理的に困難であることや、ケーブルの揺れによりノイズが発生することなど課題が多い。測定対象が自動車や大きなロボットであればアンプ等を内部に設置して測定することが可能であるが、ドローンではアンプ等を設置するのに十分なスペースがない。そこで、本研究ではフィールドロボット筐体やロボットに搭載された電子デバイスが実環境で受ける振動・衝撃を測定するために、様々な加速度測定手法の検討を行うこととした。

加速度測定手法として、(a)ケーブル接続型センサ、(b)ケーブルレス型センサ、(c)ハイスピードカメラと画像処理による手法の3手法を検討した。

ケーブル接続型の加速度センサは、振動試験機付属のエミック(株)製710-Cを用いた。このセンサは小型軽量型であり、電子機器の測定に適している。

ケーブルレス型センサユニットは、神栄テストマシナリー(株)製AccStickを用いた。センサユニットは、幅32.4[mm]、奥行き21[mm]、高さ10.5[mm]のアルミケース筐体の中に、3軸MEMS加速度センサ素子、容量4MBのメモリなどを搭載している。試験前後のみケーブルを接続し、測定条件の設定や測定データの吸出しを行い、測定中はケーブルを取外し、ユニット内のメモリに測定データを記録する仕組みである。図1にケーブル接続型の加速度センサとケーブルレス型センサユニットの外観写真を示す。

ハイスピードカメラと画像処理による手法では、シナノケンシ(株)製PLEXLOGGER PL-3によりカメラ撮影を行った後、カメラ本体とは別のPCに測定データを移行し、付属ソフトPLEXLOGplus IIにより画像解析を行った。また、Correlated Solutions社製VIC-3Dを用いて、デジタル画像相関法(以下、DIC)による解析も行った。

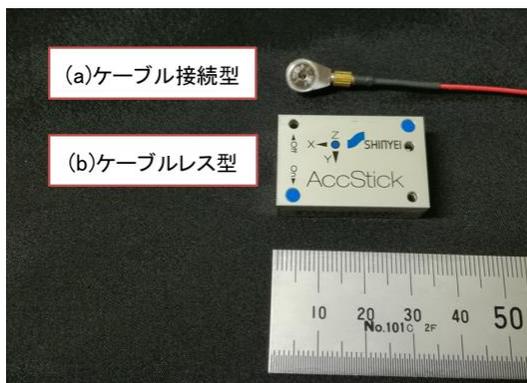


図1 加速度センサ(ユニット)

振動試験機を用いて、ケーブル接続型振動センサ、ケーブルレス型の加速度測定ユニットに正弦波振動を与え加速度測定試験を行った。図2、図3に試験状況ならびに試験サンプル、センサ取付状況を示す。振動によって大きな変形が生じることが無いように、十分な剛性を持つアルミブロック治具を試験サンプルとした。ブロック治具の寸法は幅100[mm]、奥行き100[mm]、高さ50[mm]である。ブロック天面に2種のセンサを取り付けた。振動条件は、周波数10、30、100[Hz]、加速度10、50、100、150 [ $m/s^2$ ]とした。

また、ハイスピードカメラによる手法の検証のため、周波数50[Hz]、振動振幅0.1、1 [ $mm^{P-P}$ ]の条件で振動試験を実施した。撮影速度は500フレーム/秒、撮影解像度は、横1280画素×縦992画素とした。測定サン

プルとカメラの距離は約1.2[m]とした。なお、測定サンプルであるアルミブロックの側面の観察面に画像処理用の白黒ランダムパターンを形成した。



図2 振動試験状況

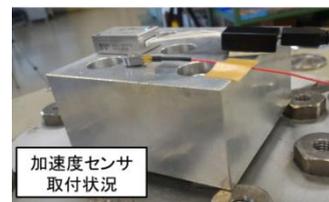


図3 試験サンプル、センサ取付状況

## 2. 2. ドローン機体を用いた実環境データ測定試験

ドローンが使用中に受ける機械的な振動、衝撃として、空気抵抗に起因する負荷、通常飛行時のモータの振動、着陸時の衝撃などが考えられる。本研究では、最も大きな負荷が想定される着陸時の衝撃を対象とする。繰り返し試験を行うため、機体が損傷することのない衝撃の小さい着陸を模擬する試験方法として、片支持落下試験を選定した。片支持落下試験は、梱包貨物や電子部品の衝撃試験の方式の一つとして実績のある試験である。試験サンプル底面の一方の端部を支点として、反対側の端部をある高さから落下させることにより、サンプル底面と地面が衝突することで衝撃負荷を与える試験である。落下高さや回数により試験条件の厳しさを規定することができる。図4に横風を受けるなどして傾いた状態で着陸した際と、片支持落下試験の際のドローン機体の動きの模式図を示す。両者の違いは、機体が地面に接した瞬間の速度、加速度の違いのみと考えることができる。例えば、片支持落下

試験は、全ての速度成分がゼロ、加速度は重力加速度のみである。

片支持落下試験用のドローン機体として、DJI 社製 SPARK を用いた。機体の前部、中央、後部の3か所にケーブル接続型加速度センサを取り付け、落下試験時の衝撃加速度を測定した。また、ハイスピードカメラ撮影を行い、落下試験時の各部品の挙動を観察した。図5に落下試験に用いたドローン機体ならびに加速度センサ取付状況を示す。この機体は前方にカメラ、後方にバッテリーが搭載されている。

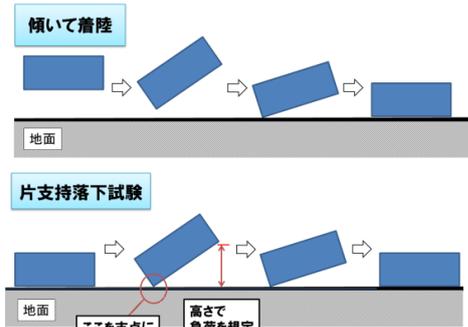


図4 着陸時と片支持落下試験の模式図



図5 落下試験に用いたドローン機体

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1. 振動試験（加速度測定手法の検討）

ケーブル接続型振動センサは十分な信頼性があると広く認知されており、振動試験機の制御にも使用されている。本報告では、振動試験機の制御の加速度を基準として、他の2手法について結果を記載する。

図6に、アルミブロック治具に周波数30[Hz]、加速度50[m/s<sup>2</sup>]の振動負荷を与えた場合のケーブルレス型加速度測定ユニットの測定結果を示す。なお、単位換算や重力加速度の補正をした結果を図示している。5周期分の波形から平均値として正弦波の最大加速度と周波数を求めた結果、ピーク加速度は49.5[m/s<sup>2</sup>]、周波数は29.0[Hz]であった。振動試験機の校正証明において、加速度の許容幅は±10%、周波数の許容幅は±1[Hz]とされるため、ケーブルレス型の加速度測定ユニットは十分な測定精度を持っていると言える。他の全ての測定条件においても同様に十分な測定精度を持つことを確認した。

図7に、アルミブロック治具に周波数50[Hz]、変位1.0[mm<sup>P-P</sup>]の振動負荷を与えた場合のハイスピードカメラ画像と動画解析結果を示す。変位振幅は1.0[mm<sup>P-P</sup>]と試験条件どおりの結果であったが、この撮影条件では1画素当たりの長さが約0.17[mm/画素]で分解能が不十分であり、波形は階段状であった。

次に、図7と同じ画像に対してDIC画像解析を行った結果を図8(上)に示す。変位は0.97[mm<sup>P-P</sup>]であり、分解能の高い滑らかな波形を得られた。さらに、1/10の変位である周波数50[Hz]、変位0.1[mm<sup>P-P</sup>]の場合のDIC解析結果を図8(下)に示す。大きなうねり成分を除外した振幅は0.101[mm<sup>P-P</sup>]であった。以上のように1画素以下の解析精度を持つDIC解析の有効性を確認した。なお、うねりの理由は、振動試験機が板ばねで支持された加振部に対して電磁力を介して加速度制御を行う仕組みに起因すると見られる。

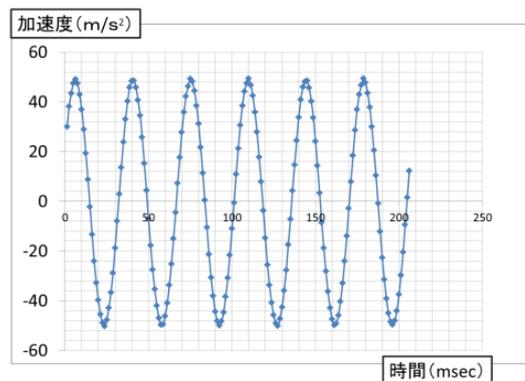


図6 ケーブルレス型加速度測定ユニット測定結果 (30[Hz]、50[m/s<sup>2</sup>]の場合)

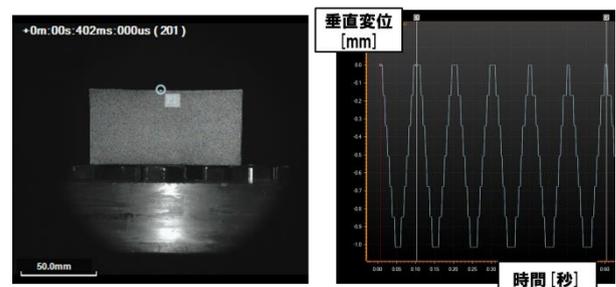


図7 ハイスピードカメラ測定結果 (50[Hz]、1[mm<sup>P-P</sup>]の場合)

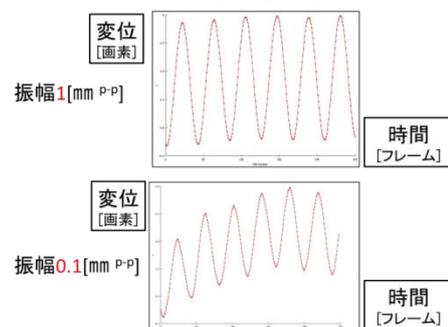


図8 ハイスピードカメラ画像に対するDIC解析結果 (上：振幅1[mm<sup>P-P</sup>]の場合、下：振幅0.1[mm<sup>P-P</sup>]の場合)

### 3. 2. ドローン機体を用いた実環境データ測定試験

図9にドローン機体の前部を高さ40mmから落下させた場合の衝撃加速度データ結果を示す。衝撃加速度は、概ね落下距離に対して単調増加する傾向が見られ、カメラユニットがある前部が最大であった。ピーク加速度は $840[m/s^2]$ 、作用時間は $1.90[msec]$ であった。今回の落下挙動を再現として、カメラユニット単体の台上試験を行うには、前部センサで測定されたピーク加速度 $840[m/s^2]$ 、作用時間 $1.90[msec]$ で衝撃試験を行うのが妥当と考えられる。

図10にハイスピードカメラ画像と動画解析により得られたカメラヘッドの変位-時間グラフを示す。グラフは等加速度運動を意味する放物線挙動を示した後、着地に伴う大きな衝撃を受けたことにより、カメラヘッドが大きく上下動することが確認できる。このように、ハイスピードカメラで各部品の挙動解析をすることで、台上試験の再現性を高めることが期待できる。

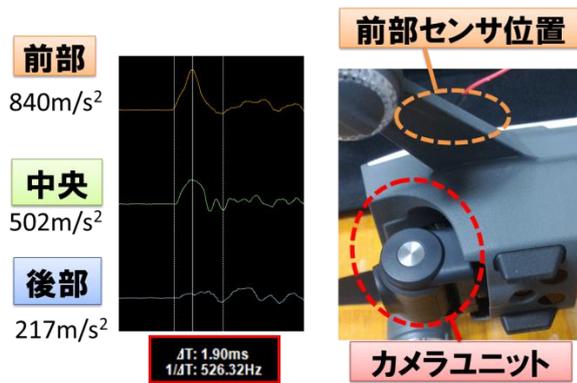


図9 片支持落下試験に衝撃加速度波形

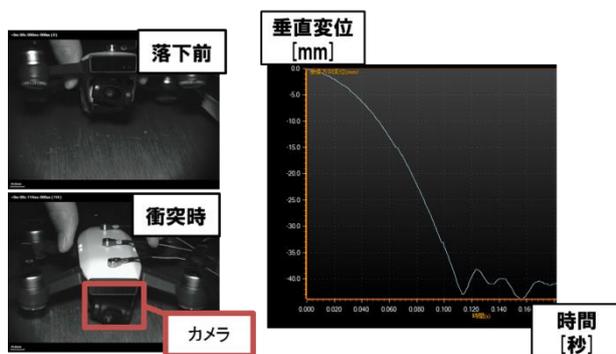


図10 ハイスピード画像と動画解析結果

本研究では、今後、ドローン機体の実環境負荷データ測定を行う計画であるが、図11に示すように、プロペラとの干渉を避けるため、ケーブルレス型加速度測定ユニットの取付位置は中央部に限定される。図9に示したように中央部のピーク加速度は $502[m/s^2]$ であるため、カメラユニットの試験条件とすべき $840[m/s^2]$ と大きくかい離する。結果は示さないが、傾きが無い場合の3点の衝撃波形はほぼ同程度のピーク加速度であり、中央部と端部のかい離の程度は、

着陸時の傾き（片支持落下試験において落下高さ）と相関が高いと推定される。従って、様々な姿勢角度で予め中央部と前後位置の加速度を測定して相関性を調べておけば、以降は中央部の加速度と各地点の比率で、妥当な加速度推定ができると見込まれる。

以上の検討より、本研究では今後、着陸時の加速度測定だけでなく姿勢のデータと組み合わせることで測定点の違いを補正し、ドローン機体の実挙動データを把握する手法を検討、提案していく。



図11 ドローン機体へのケーブルレス型加速度センサユニットの取付状況

## 4. 結言

本研究では、フィールドロボット向け信頼性評価技術の確立のため、加速度測定手法の検討やドローン機体の片支持落下試験を実施し、以下の知見を得た。

次年度は、ドローンの実着陸挙動測定や、耐久試験方法の検討を行う予定である。

- ① ケーブルレス型加速度センサユニットは、一般的なケーブル型センサと同等の測定ができる。
- ② ハイスピードカメラ画像に対してDIC解析を行うことで、1画素あたり長さを下回る変位分解能で解析することが可能である。
- ③ 片支持落下試験でドローン機体に与えられる衝撃加速度はセンサ測定点により異なるが、落下距離に高さに対して単調増加する。
- ④ ハイスピードカメラ観察や動作解析は、実挙動と台上試験との再現性を確認するには有用である。

## 参考文献

- 1) “飛躍するドローン”. NTS(株), 2016.

# 石英ガラス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

産業廃棄物として処理されている石英ガラス研削粉を、ゴムの補強充てん材として利用できないかを検討した。ゴムとの接着強度を上げるため、石英ガラス粉末の表面処理をメルカプト基をもつシランカップリング剤を用いて行い、引き裂き強さを比較したが、未処理品と比べて差はなかった。トラウザ型の試験片は切欠きの応力集中に敏感であるため、評価方法の妥当性も含め変更の必要性があることがわかった。

**Key words:** シリコンゴム、石英ガラス研削粉、表面処理、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、浮体式洋上風力発電では、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）と摩耗しにくい強靱さを兼ね備えたものとなっている。

そこで平成27年度から、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研削粉の利用可能性を検討してきた。今回はこれまでの検討結果<sup>1)</sup>を踏まえ、有機物の除去は行わずに未洗浄のままシランカップリング処理を行い、ゴムとの接着強度を向上させることを検討したので報告する。

## 2. 実験

### 2. 1. 表面処理

使用したシランカップリング剤は、信越化学工業(株)社製のメルカプト（チオール）基を持つ、3メルカプトプロピルメチルジメトキシシラン（KBM-802）と3メルカプトプロピルメチルトリメトキシシラン（KBM-803）の2種類である。化学式を図1に示す。

未洗浄品を乾燥させた石英ガラス研削粉（以下、フィラーと略す）50[g]に、蒸留水150[ml]を加えて攪拌し、スラリー状にした。ここに酢酸を数滴加えpHを4～5に調整した。にフィラー重量に対して1、2、5[wt%]のシランカップリング剤を投入し、1時間攪拌した。1晩放置した後、上澄みを除去し、沈殿したスラリーを布袋に投入し、圧搾した後自然乾燥させて表面処理したフィラーを得た。

### 2. 2. サンプル作製

評価サンプルは、表面処理したフィラーを液状シリコンゴムに混練し作製した。使用した液状シリコンゴムは、東芝シリコン（株）製のTSE-3480 A/D（2液混合型）である。

評価サンプルは、主剤A:20[g]に対して硬化剤D:2[g]の割合で混合し、ここに22[g]の表面処理したフィラーを混練した。減圧脱泡した後、簡易型に流し込み、45[°C]のオーブンで6時間加熱硬化し、厚さ約2[mm]の試料を作製した。

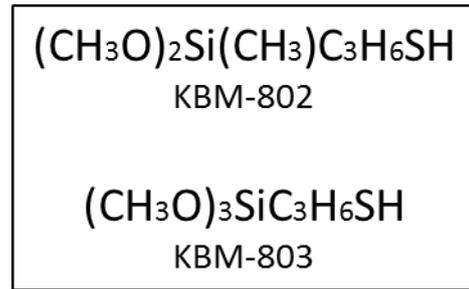


図1 カップリング剤の化学式

### 2. 3. 評価

前述の試料からJIS K6252のトラウザ型試験片を作製し、引き裂き試験とデュロメータ硬さ試験を行った。

ケーブル保護管では、摩耗量が少ないという必要不可欠な特性が必要となる。摩擦・摩耗試験の摩耗量については、以下のように考えられる。

摩擦時のせん断力により微小き裂が生じ、このき裂が進展することにより材料が脱落し、摩耗粉となる。つまり、き裂進展のエネルギーの大小で、摩耗量を簡易的に評価することができる。そこで、簡易的な評価方法として、引き裂き試験を行った。

フィラーとゴムとの接着力が向上すると、フィラーの拘束力が大きくなり、系全体の硬さが増大するため、簡易的な評価として、硬さ試験を行った。

### 3. 結果および考察

試験結果を表1に示す。比較のため洗浄品フィラーと未洗浄品フィラーをそれぞれ 50[wt%]添加したサンプルの試験結果も示した。

表1 引き裂き試験とデュロメータ硬さ試験結果

回収石英の処理方法	引き裂き強さ [N/mm]	硬さ(A)
洗浄品	30	53
未洗浄品	30	50
KBM-802/1wt%	29	51
2wt%	29	50
5wt%	31	51
KBM-803/1wt%	30	49
2wt%	28	50
5wt%	29	50

表1のとおり、2種類のカップリング剤で表面処理したフィラーについて、摩擦・摩耗試験の代わりに引き裂き試験をおこない、き裂が進展するときのエネルギーの大小（タフネス）を簡易的に評価したが、効果は全く見られなかった。硬さ試験結果も同様であった。

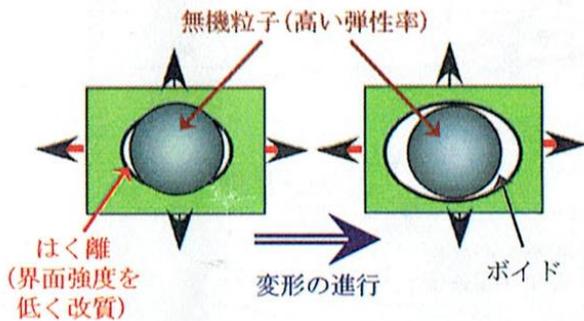


図2 無機微粒子によるタフニングの機構

無機微粒子のブレンドによるタフニングのメカニズムは、図2のように考えられる<sup>2)</sup>。フィラー/マトリックスという系に、小さな負荷がかかり、ポイドが形成されることにより、歪の拘束が解放され、タフネスが改善される。ここで大切なのは、フィラーとマトリックスの界面強度を低く設計した表面改質方法の選定が必要になることである。

洗浄品と未洗浄品に大きな差がないことと、未洗浄品へのカップリング剤処理の効果が全く現れなかったことを考えると、多少の表面状態に起因する接着強度の差よりも、引き裂き強さを低下させる大きな要因が他にあるものと考えられる。

効果が現れなかった原因にフィラーの形状（図3）があげられる。フィラーの角は鋭くなっているため、マトリックスとの界面の応力集中によりクラックが発

生しやすくなり、カップリング剤の効果が現れなかったものと考えられる。また、ゴムの補強には粒径が1[ $\mu\text{m}$ ]以下の微粒子を用いるのが普通で、多く用いられるカーボンブラックの粒径は3~500[nm]、乾式シリカ微粒子のそれは10~40[nm]である。今回用いているフィラーの平均粒径は4.73[ $\mu\text{m}$ ]とかなり大きい。以上より、粒子のエッジ形状とその粒径が要因と考えられる。大きなフィラーでの補強例は、タイヤのプライコードによる補強は別として、フィブリル化しやすいアラミド繊維による補強例<sup>3)</sup>がある。これは混練中に投入されたアラミド繊維がマイクロフィブリル化し、三次元に絡み合い、ゴムを補強するというものである。今後はこのような手法の検討も必要になるものと考えられる。

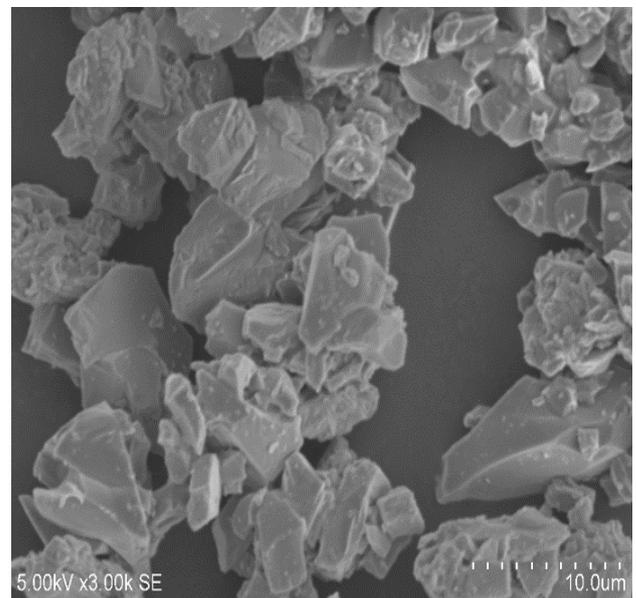


図3 石英ガラス研削粉のSEM観察像

また、フィラー上に付着している有機物が、カップリング剤の付着に悪い影響を与えているとも考えられるため、カップリング剤の付着状況についても、今後検証する必要がある。

さらに、摩耗特性をトラウザ型試験片の引き裂き強さで簡易評価しているが、この試験方法はかなりシビアで、導入したき裂により応力集中を受けやすく、大きな特性変化がないと数値には現れにくい。そのため通常はトラウザ型ではなく、クレセント型やアングル型を用いている。今後は評価方法の妥当性も含め、変更の必要性もあることがわかった。

### 4. 結言

送電線ケーブルの保護管ゴムの補強充てん材として、産業廃棄物である石英ガラス研削粉の可能性を検討し

た。

今回は、フィラーに付着している有機物の除去は行わずに、未洗浄のままシランカップリング処理を行い、ゴムとの接着強度を向上させることを検討し、以下の結論を得た。

2種類のカップリング剤で表面処理したフィラーについて、摩擦・摩耗試験の代わりに引き裂き試験を行い、き裂が進展するときのエネルギーの大小を簡易的に評価したが、効果は全く見られなかった。この理由としてフィラー粒子のエッジ形状とその粒径と、付着物が要因であると考えられる。

今後、接着強度の向上を検討していくが、安価な産業廃棄物を利用するという目的から、過大な費用と時間を費やす有機物の除去はせず、フィラーの粒径も形状も現状のままで、また特殊なフィラーも多量に用いることなく、最適なプロセスと最適な保護管の開発をしていきたいと考える。

#### 参考文献

- 1) 菊地時雄. 平成28年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2017, p.71-73.
- 2) 網野直也. 成形加工. 2018, 30(4), p.150.
- 3) 谷垣輝之, 山口幸一 他. 高分子論文集. 1989, 46, p.389.

# 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 food processing technology making use of nutrition and functionality by regional traditional vegetables

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 遠藤敦史 鈴木英二  
農業総合センター 生産環境部 流通加工科 馬淵志奈 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13品目について栄養・機能性を調査した。地域在来作物の抗酸化能はアザミゴボウが最も高く、宇津野カブの葉や茎立菜など葉物類で高い傾向を示した。また、抗酸化能と総ポリフェノール含量は高い正の相関を持つことが分かった。更に、アザミゴボウ及び小菊カボチャの粉末化前処理としての乾燥方法の違いは、抗酸化能に影響しなかった。

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きている。

また、加工食品の素材として、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、いわゆる伝統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きている<sup>1)</sup>。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<sup>1)</sup>が、本県の地域在来作物における栄養・機能性についての科学的知見とそれらの成分を活かした加工食品を開発した事例は見られない。

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・機能性を調査するとともにそれらの損失が少ない加工方法の検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 供試材料

2016～2017年に会津地方で栽培された在来作物13品目（荒久田茎立、ちりめん茎立、赤筋ニンニク、慶徳タマネギ、余蒔キュウリ、真渡ウリ、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）を供試した。

### 2. 2. 方法

#### 2. 2. 1. 抗酸化能（H-ORAC）の評価

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、粉砕機（ワンダーブレンダー）で微粉砕して測定用試料とした。分析値はいずれも生重量100g当たりで示した（乾燥前後重量から水分を求めて

換算）。

作物が持つ抗酸化能を示すH-ORAC値は、渡辺らの方法<sup>2)</sup>に従い蛍光測定が可能な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、H-ORAC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り、野菜類のORAC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<sup>3)</sup>。そのため、本試験ではH-ORACのみ測定することとした。合わせて、同試料を用いH-ORACに寄与すると考えられる成分として総ポリフェノール及び還元型ビタミンCの含量をそれぞれFolin-Ciocalteu法及びHPLCにより測定した。

以下、抗酸化能はH-ORACによるものとして記述する。

#### 2. 2. 2. 機能性成分の分析

供試作物の中から3品目の機能性成分に着目し分析を行った。①アザミゴボウでは太さ（太：平均直径約3.3cm、細：平均直径約1.4cm）の違いによるクロロゲン酸含量、②慶徳タマネギでは一般的な市販のタマネギ（平均重約320g）を対照とするとともに、慶徳タマネギを大小（大：平均重約300g、小：平均重約26g）に区分したケルセチン含量、③小菊カボチャでは一般的な市販の西洋カボチャを対象としてカロテノイド（ $\alpha$ -カロテン、 $\beta$ -カロテン及びルテイン）含量をそれぞれHPLCにより測定した。いずれも各区3個体を供試した。

#### 2. 2. 3. 貯蔵による小菊カボチャの抗酸化能変化

小菊カボチャを室温下で貯蔵（90日間及び140日間）し、貯蔵前（収穫期）からの抗酸化能の変化を調査した。各区3個体を供試した。

#### 2. 2. 4. 乾燥方法の違いによる粉末の抗酸化能

アザミゴボウ及び小菊カボチャについて、どちらも

事業課題名「地域在来作物の栄養・機能性を活かした加工技術の開発」

真空凍結乾燥（48 時間）、低温除湿乾燥（40℃、24 時間）、通風乾燥（70℃、8 時間）の 3 通りの方法で乾燥した後に粉末化した抗酸化能を比較した。各区 3 個体を供試した。

### 2. 2. 5. 小菊カボチャペーストの抗酸化能

小菊カボチャ（皮は褐色）を蒸煮した後、皮付きと皮除去の 2 つに区分し、フードプロセッサーでペースト化して抗酸化能を比較した。併せて一般的に市販されている西洋カボチャ（皮は緑色）を同様に処理して抗酸化能を比較した。

### 2. 2. 6. 試作加工品の抗酸化能

①余蒔キュウリのピクルス及び糠漬け、②真渡ウリのコンポート（シロップ漬け、甘酒漬け）、③アザミゴボウの調味ドライスティック（10cm 程度に長さを揃え、出汁、醤油、砂糖で調味して凍結乾燥したもの）を試作し、加工前後の抗酸化能を比較した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1. 地域在来作物の抗酸化能と機能性成分

地域在来作物 13 品目 14 点（宇津野カブについては「葉」と「根（胚軸）」に分けたため 2 点）の抗酸化能を図 1 に示す。その結果、アザミゴボウが最も高い値を示し、宇津野カブ（葉）や荒久田茎立、ちりめん茎立の葉物野菜が続いた。以下高い順に、会津丸ナス>赤筋ニンニク>会津サトイモ>慶徳タマネギ>赤筋ダイコン>小菊カボチャ>会津地ネギ>宇津野カブ（根）>真渡ウリ>余蒔キュウリという結果であった。

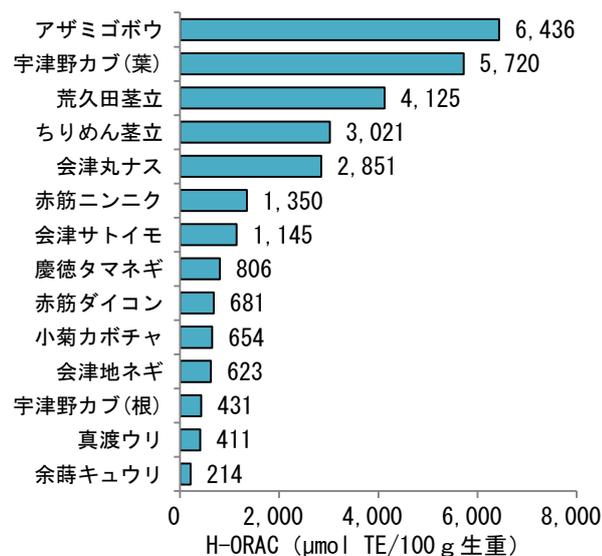


図 1 地域在来作物の抗酸化能

このことに関連して、総ポリフェノール及び還元型

ビタミンCの含量を測定した結果を図 2、図 3 に示す。その結果、抗酸化能と総ポリフェノール含量は高い正の相関を持つことが分かった。また、宇津野カブ（葉）、荒久田茎立、ちりめん茎立などの葉物類は還元型ビタミンCが多く含まれ、抗酸化能を高めていると考えられる。

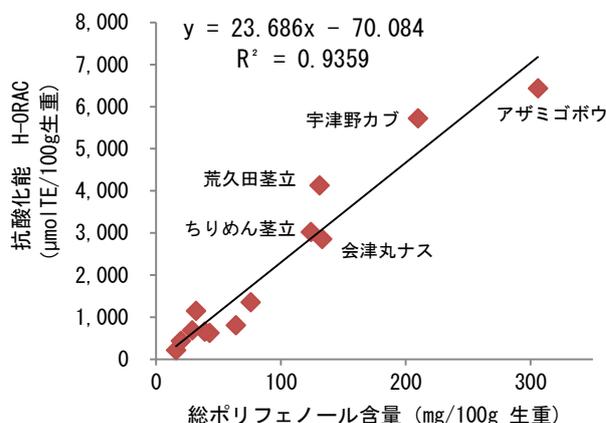


図 2 抗酸化能とポリフェノールの相関

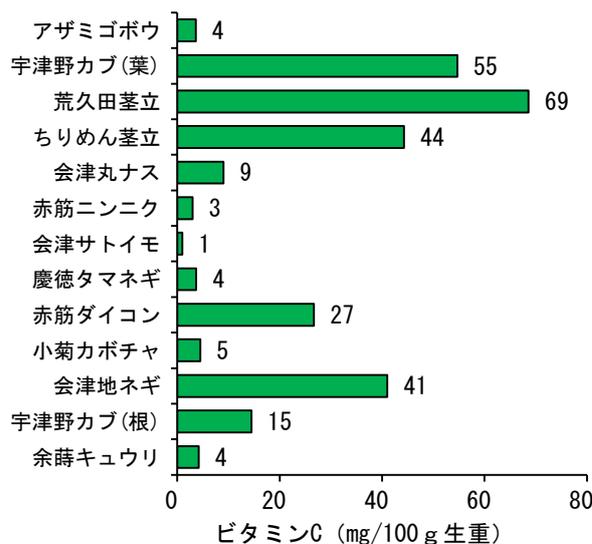


図 3 地域在来作物のビタミンC含量  
※真渡ウリを除く

### 3. 2. 機能性成分の分析

#### 3. 2. 1. アザミゴボウのクロロゲン酸

アザミゴボウを太さで区分し測定したクロロゲン酸含量を図 4 に示す。その結果アザミゴボウ（細）の単位生重量当たりのクロロゲン酸含量がアザミゴボウ（太）と比較してやや高かったが、乾燥粉末の単位重量当たりのクロロゲン酸含量はほぼ同じであり、生重量におけるクロロゲン酸含量の違いは水分の違いによるものと考えられる。したがって、得られるアザミゴボウ乾燥粉末のクロロゲン酸含量は太さの違いに依存しないと推測される。

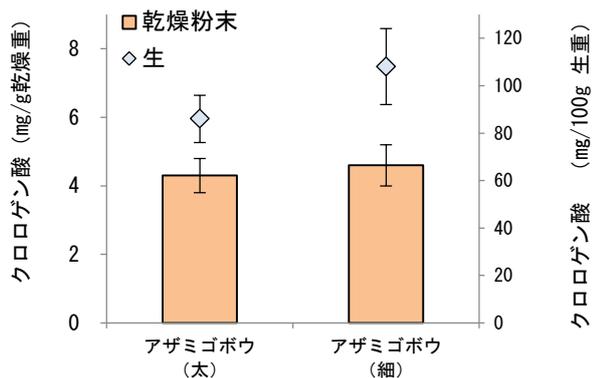


図4 アザミゴボウのクロロゲン酸含量  
エラーバーは標準誤差を示す

### 3. 2. 2. 慶徳タマネギのケルセチン

生の慶徳タマネギのケルセチン含量を図5に示す。一般タマネギと比較すると慶徳タマネギで高い傾向があり、慶徳タマネギ（小）で顕著であった。この傾向は乾燥粉末（図6）でも同様であった。

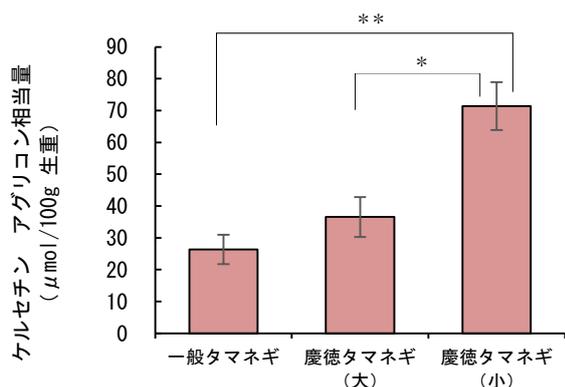


図5 慶徳タマネギ（生）のケルセチン含量

\*\*は1%水準、\*は5%水準で有意差あり  
エラーバーは標準誤差を示す  
(n=3)

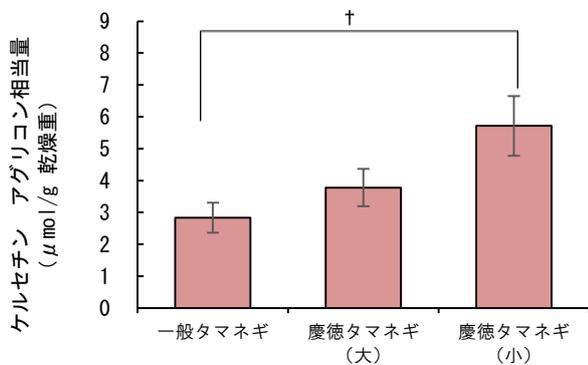


図6 慶徳タマネギ（粉末）のケルセチン含量

†は10%水準で有意差あり  
エラーバーは標準誤差を示す。  
(n=3)

### 3. 2. 3. 小菊カボチャのカロテノイド

小菊カボチャのカロテノイド含量を表1に、さらに詳細なカロテン成分別含量を表2に示す。対照として一般的に市販されている西洋カボチャと比較した。その結果、α-カロテンは小菊カボチャで有意に高かった。一方、β-カロテンとルテインは一般カボチャの含量が有意に多かった。以上より、カボチャの品種によってカロテノイドの組成が異なることが明らかとなった。また、小菊カボチャは果肉の着色にばらつきがあり、したがってカロテノイド含量の個体差が大きいと考えられる。

表1 小菊カボチャのカロテノイド含量 (μg/100g 生重)

	ルテイン	カロテン
小菊カボチャ	2,345±1,137	2,221±980
一般カボチャ	9,817±628	1,790±103
有意差	**	n. s.

有意差：\*\*は1%水準で有意差あり

表2 小菊カボチャのカロテン成分別含量 (μg/100g 生重)

	α-カロテン	β-カロテン
小菊カボチャ	1074±840	840±251
一般カボチャ	70±25	1565±54
有意差	†	*

有意差：†は10%、\*は5%水準で有意差あり

### 3. 3. 貯蔵による小菊カボチャの抗酸化能変化

小菊カボチャを室温下で貯蔵し、抗酸化能の変化を調べた結果を図7に示す。140日間貯蔵した時点でやや高かったものの、90日間貯蔵時点では低く、また、ばらつきが大きく有意差はなかった。このため、小菊カボチャの抗酸化能は収穫期の品質に左右され、貯蔵後は大きく変化しないと考えられる。

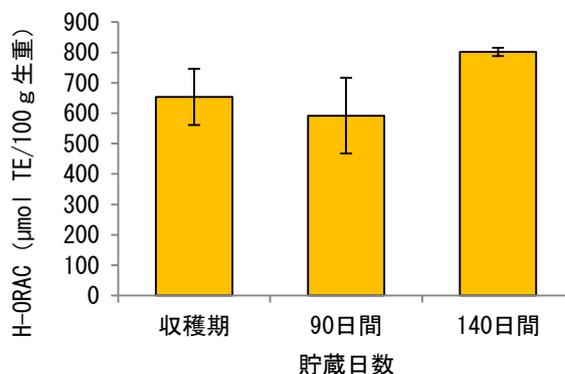


図7 小菊カボチャの貯蔵と抗酸化能の変化

貯蔵は室温下  
エラーバーは標準誤差を示す  
(n=3)

### 3. 4. 異なる乾燥方法で作製した粉末の抗酸化能

アザミゴボウ及び小菊カボチャを3通りの方法で乾燥した後、微粉碎した粉末の抗酸化能を図8、図9に示す。アザミゴボウでは乾燥条件による抗酸化能の有意差はなかった。また、小菊カボチャも同様に乾燥条件による抗酸化能の差異はほぼなかった。このことから、これらの品目では乾燥時間の短い高温通風乾燥を利用して粉末化した場合でも、抗酸化能への影響は少ないと考えられる。

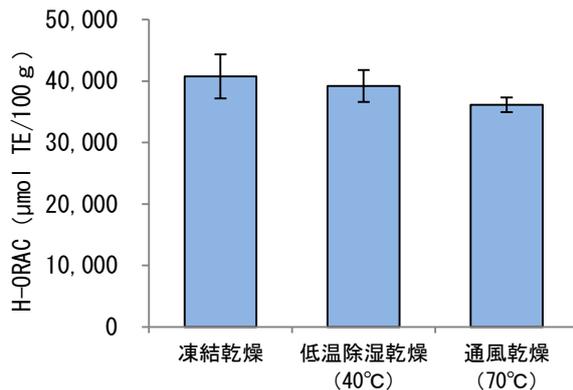


図8 乾燥方法とアザミゴボウ粉末の抗酸化能  
エラーバーは標準誤差を示す  
(n=3)

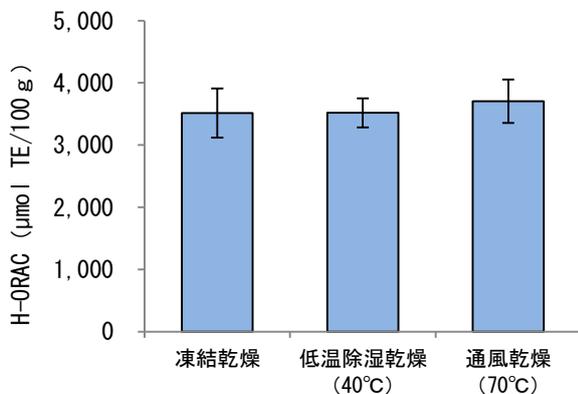


図9 乾燥方法と小菊カボチャ粉末の抗酸化能  
エラーバーは標準誤差を示す  
(n=3)

### 3. 5. 小菊カボチャペーストの抗酸化能

小菊カボチャペーストの抗酸化能を表3に示す。皮付き、皮除去で処理したペーストの抗酸化能には差異がなかったが、一般カボチャについては皮を除去すると抗酸化能がやや低下した。このことから、一般カボチャでは皮に抗酸化成分が多く含まれているのに対し、小菊カボチャでは身にも多く含まれている可能性が示された。

表3 カボチャペーストの抗酸化能

		H-ORAC (μmol TE/100g)
小菊カボチャ	(皮付き)	588
小菊カボチャ	(皮除去)	588
一般カボチャ	(皮付き)	507
一般カボチャ	(皮除去)	380

※ペーストの水分を試料の平均値に統一してH-ORACを換算した。

### 3. 6. 試作加工品の抗酸化能

#### 3. 6. 1. 余蔘キュウリのピクルス及び糠漬け

余蔘キュウリをピクルスにした場合は生の約1.6倍、糠漬けにした場合は生の約6.6倍の抗酸化能であった(表4)。図10に糠漬けの写真を示す。

糠漬けにおいては、米糠に含まれる抗酸化成分及び米糠の発酵により生じた抗酸化成分<sup>4)</sup>の移行が加工品の抗酸化能を高めた可能性が推察される。

表4 余蔘キュウリ漬物の抗酸化能

	H-ORAC (μmol TE/100g)	生との比較 (生を1として)
生(未加工)	162	1
ピクルス	253	1.6
糠漬け	1,077	6.6



図10 余蔘キュウリの糠漬け

#### 3. 6. 2. 真渡ウリのコンポート

真渡ウリをシロップコンポートにした場合の抗酸化能は生の約1.1倍でほとんど差異はなかったが、甘酒コンポートにした場合は約3.3倍であった(表5)。図11に甘酒コンポートの写真を示す。

甘酒コンポートでは、米麴による抗酸化能の向上が推察される。

表5 真渡ウリ コンポートの抗酸化能

	H-ORAC ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ )	生との比較 (生を1として)
生(未加工)	123	1
シロップコンポート	140	1.1
甘酒コンポート	409	3.3



図11 真渡ウリの甘酒コンポート

### 3. 6. 3. アザミゴボウの調味ドライスティック

アザミゴボウに味を付けドライスティックにした場合の抗酸化能は生の約2.8倍であった(表6)。図12に調味ドライスティックの写真を示す。

この場合の抗酸化能の高まりは、乾燥することで加工後の全重量に対する抗酸化物質の割合が高まったことによるものと考えられる。

表6 アザミゴボウ調味ドライスティックの抗酸化能

	H-ORAC ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ )	生との比較 (生を1として)
生(未加工)	8,361	1
ドライスティック	23,327	2.8



図12 アザミゴボウの調味ドライスティック

## 4. 結言

供試した地域在来作物13品目(14点)の抗酸化能はアザミゴボウが最も高く、宇津野カブの葉や茎立菜など葉物野菜で高い傾向を示した。また、抗酸化能と総ポリフェノール含量は高い正の相関があり、葉物野菜では還元型ビタミンCが抗酸化能を高めていることが推察された。

供試した13品目のうちアザミゴボウ、慶徳タマネギ、小菊カボチャの3品目についてそれぞれ特徴的な機能性成分を調べたところ、①アザミゴボウ乾燥粉末のクロロゲン酸含量は原料の太さの違いに依存しないこと、②慶徳タマネギのケルセチン含量は一般のタマネギより高い傾向があり、小玉で顕著であること、③小菊カボチャのカロテノイド組成は、 $\alpha$ -カロテン含量は一般カボチャより高く、 $\beta$ -カロテン及びビルテイン含量は一般カボチャよりも低いことが明らかとなった。

また、小菊カボチャの抗酸化能は収穫期の品質に左右され、貯蔵後は大きく変化しないことが明らかとなった。

アザミゴボウ及び小菊カボチャにおいて乾燥方法の違いによる粉末の抗酸化能に差はなく、これらの品目の粉末化では乾燥時間の短い高温通風乾燥でも抗酸化能が概ね保持されることが明らかとなった。

更に、小菊カボチャのペースト加工においては、皮の有無について抗酸化能を比較した。その結果、皮の有無は抗酸化能には影響せず、小菊カボチャをペースト化する際には皮を除去する一般的な製造法が食感の面から優れていると考えられた。

加えて、試作した加工品の抗酸化能は生の原料と比較して、余蔘キュウリの糠漬けで約6.6倍、真渡ウリの甘酒コンポートで約3.3倍、アザミゴボウの調味ドライスティックで約2.8倍ほどであった。

## 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力の評価. 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. “食品の抗酸化力統一指標を用いた野菜の抗酸化力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) 宮本陽子, 野田博行, 大矢博昭, 鎌田仁. 米糠発酵物の抗酸化能. 日本食品科学工学会誌. 2000, vol.47, No.3, p.214-219.

# 食品企業の利用を前提とした雪下野菜の特性評価

## Characterization of snow covered vegetables as premise on using food companies

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 鈴木英二 遠藤敦史  
農業総合センター 会津地域研究所 星 佳織  
農業総合センター 生産環境部流通加工科 関澤春仁

雪下キャベツの味を、味の強度を数値化する「味覚センサー」を用いて味覚評価した。雪下キャベツにおいて、雪中にて甘味である糖の蓄積を保持し、また「渋味」や「苦味」の味覚が減少していた。その結果「甘み」が強く強調され、甘味や旨味がより強くきざら感じられることが予想された。

**Key words:** 雪下キャベツ、味覚センサー、硝酸態窒素

### 1. 緒言

福島県内の会津地方など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。雪下野菜は雪中にて栽培・貯蔵することで、慣行栽培に比べて野菜の甘みが増し、味が向上するといわれている。

本研究では、雪下野菜の中でも特に雪下キャベツについて雪下栽培および貯蔵を行い、キャベツの味覚が向上する要因を明らかにするために試験を行った。

雪下キャベツは、生産地域で付加価値を付けて生鮮野菜として販売され、また観光資源としても活用されている。加工原料としてもロールキャベツなどの加工食品として一部利用されている。

雪下キャベツの生産方法は、雪下栽培と雪室（ゆきむろ）貯蔵に分類される。

雪下栽培は、キャベツを積雪前の収穫となるように栽培し、未収穫のまま1～2ヶ月雪の中に埋没させておき、雪下キャベツ出荷時に雪の中から掘り出し出荷する。

雪室貯蔵は、キャベツを積雪前に栽培・収穫し、収穫したキャベツをコンテナなどに集積し雪で覆い雪室という形で1～2ヶ月貯蔵する。

雪下内の気象環境は、積雪深が20～40cm以上になると温度はほぼ0℃と安定し、湿度は積雪深に関わらずほぼ100%に達する。光の透過率は積雪深が40～50cm以上になると0%に達すること<sup>1)</sup>が報告されている。このような雪下条件下で生産された雪下キャベツは、慣行栽培のキャベツに比べて「青臭さや雑味、辛味が少なく甘みが強い」と言われている。冬キャベツにおいては、5℃以下の低温環境にさらされることにより糖質を蓄積し、凍結を防ぐ耐凍性を獲得する低温順化<sup>2)</sup>がおきると言われる。

本試験では実際の雪下キャベツの味の変化を把握するために、積雪量が多く雪下キャベツの生産地である猪苗代町のほ場（図1）および会津坂下町のほ場にて試験栽培を行った。また雪下キャベツの味の客観的評価を行うために、味の強度を数値化できる味覚センサ

ーを用いて、味覚の経時変化を数値化した。同時にこのキャベツの食味官能評価、糖度（Brix%）、硝酸態窒素濃度の測定も行った。



図1 猪苗代町での雪下キャベツ栽培・試験ほ場

### 2. 試験方法

#### 2. 1. 試験試料

農業総合センター会津地域研究所ほ場にて定植時期が異なるキャベツ品種「ふゆみつ」を試験栽培しこれを試料とした。また猪苗代町生産農家のほ場でキャベツ品種「ふゆみつ」、「彩音」、「彩峰」、「よしき」を栽培したものを試験試料とした。及び農業総合センター郡山本部ほ場で「ふゆみつ」を寒締め栽培したものを試験試料とした（表1）。

#### 2. 2. 分析方法

##### 2. 2. 1. 食味官能試験

生のキャベツでの食味試験を行い、評価項目として「外観」、「甘み」、「えぐみ」、「辛味」、「硬さ」、「総合評価」の食味官能値を判定した。対照（寒締めふゆみつ及び雪下ふゆみつ）に対して±3の数値評価を行い、パネラーの平均値を求め食味の評価とした。ここでは農業総合センター会津地域研究所の職員12または14名をパネラーとして食味官能試験を行った。

事業課題名「食品企業の利用を前提とした雪下野菜の特性評価」

表 1 農業総合センター・郡山ほ場・会津地域研究所ほ場と猪苗代町生産農家ほ場での試験栽培

栽培地	品種	生産方法	定植日	採取日
農業総合センター 会津地域研究所ほ場 (会津坂下町)	ふゆみつ	雪下栽培	上旬区(8/4)	2017年10/12, 11/1, 11/14, 11/29, 2018年1/15
			中旬区(8/14)	2017年10/17, 11/1, 11/14, 11/29, 2018年1/15
			下旬区(8/24)	2017年11/1, 11/14, 11/29, 12/14, 2018年1/15
農業総合センター 郡山本部ほ場	ふゆみつ	寒締め		2018年1/15
耶麻郡猪苗代町ほ場	ふゆみつ	雪下栽培		2017年10/17, 11/7, 11/28, 12/26, 2018年1/16
			彩音	2017年11/28, 12/26, 2018年1/16
	彩峰	雪下栽培	2017年11/28, 12/26	
	よしき	雪下栽培	2017年11/28, 12/26, 2018年1/16	

雪下栽培：11月に収穫期を迎えたキャベツをそのまま雪中に埋没しておく。  
会津地域研究所ほ場(12/12冠雪)、猪苗代ほ場(12/1冠雪)  
雪室：12月に収穫したキャベツをコンテナに集積し深さ20cm以上の雪中に埋没しておく。  
寒締め：雪が冠雪しないほ場でキャベツを栽培したものを。

## 2. 2. 2. 糖度・各糖濃度の測定

試料キャベツは、地上部を採取後、外葉を取り除き結球部を得て、この結球部を1/2分割し、その一部をフードプロセッサーで粉砕した。粉砕した試料を脱脂綿でろ過し、得られたろ液を糖度計（PR-101α（株）ATAGO）にて糖度を測定した。またグルコース、果糖、ショ糖の遊離糖濃度をHPLCにて測定した。

## 2. 2. 3. 硝酸態窒素濃度の測定

試料キャベツは、同様に結球部を1/2分割し、フードプロセッサーで粉砕後脱脂綿でろ過したろ液を硝酸イオンメータ（B-74X（株）堀場製作所）にて硝酸態窒素濃度（硝酸イオン濃度）を測定した。

## 2. 2. 4. 味覚センサーによる味覚値測定

試料キャベツは、同様に結球部を1/2分割しその一部をフードプロセッサーで粉砕した。得られた粉砕試料に重量で3倍量の蒸留水を添加、攪拌した後、遠心分離（3500rpm, 10min）し、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、「苦味（先味・後味）」、「渋味（先味・後味）」、「旨味（先味・後味コク）」について測定を行った。

## 2. 2. 5. 雪下前後における雪下キャベツの抗酸化能ORAC値の測定

食品の機能性成分の一つである、抗酸化能を示すORAC値の測定を行った。ORAC値の測定において、作物中の親水性抗酸化物質に由来するH-ORACと親油性

抗酸化物質に由来するL-ORACからなるが、キャベツのORAC値においては親水性抗酸化物質の寄与率が高いため、H-ORAC値の測定を行った。

測定方法として、キャベツ可食部を裁断して真空凍結乾燥した後、微粉碎して測定試料とした。これをMWA液（メタノール：水：酢酸=90：9.5：0.5）により抽出を行い、H-ORAC値を沖らの方法<sup>3)</sup>により蛍光検出マイクロプレートリーダーを用いて100g新鮮重当たりのTrolox相当量として測定を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1. 「ふゆみつ」の雪下前後・雪室における食味官能試験・味覚センサーによる評価

寒締めふゆみつを標準に、雪下「ふゆみつ」・雪室「ふゆみつ」を評価した食味官能試験の結果を表2に示す。標準の寒締めふゆみつは2018年1月15日に採取しており、低温順化により甘味が増したため、雪下及び雪室と変わらない食味となったと推測された。

また「ふゆみつ」の雪下前後及び雪室の味覚差を味覚センサーを用い評価した。雪下前「ふゆみつ」（2017年11月29日採取）の味を基準0に、2018年1月15日に採取した雪下「ふゆみつ」・雪室「ふゆみつ」の味覚の強弱を数値化したものを図2に示す。雪下前「ふゆみつ」と比較すると、雪下後「ふゆみつ」及び雪室「ふゆみつ」は渋味（先味）が少なく、旨味（先味）がやや増した味覚評価となった。

ふゆみつの雪下前・雪下後・雪室の含水率、糖度、硝酸態窒素濃度を図3に示す。雪下後及び雪室では甘味である糖度はほぼ維持され、雪下後では苦味・渋味に影響する硝酸態窒素濃度（硝酸イオン濃度）は減少していた。

表 2 寒締めふゆみつを標準に雪下ふゆみつ・雪室

寒締めふゆみつを標準に雪下ふゆみつ、雪室を評価した栽培比較

評価項目	評価値	
	雪下	雪室
総合評価	0	0
外観	0.25	1.5**
甘み	0.42	-0.17
えぐみ	0.42	-0.08
辛味	0.25	0.42
硬さ	-0.08	-0.25

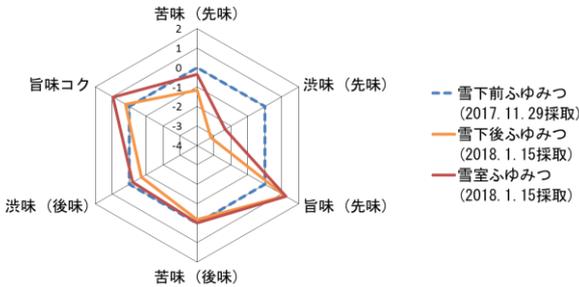
1)寒締めキャベツに比べて、総合評価と外観は+3(対照より非常に良い)から-3(対照より非常に悪い)、甘み、えぐみ、辛味は+3(対照より非常に強い)から-3(対照より非常に弱い)、硬さは+3(対照より非常に柔らかい)から-3(対照より非常に硬い)の範囲で評価。評価値はパネリスト(n=12)による平均値。  
2)t検定(p<0.01)により有意差があった値にアスタリスク(\*\*)を付した。

### ふゆみつを評価した食味官能試験

### 3. 2. 雪下「ふゆみつ」、雪下「彩音」、雪下「よしき」における食味官能試験・味覚センサーによる品種間評価

雪下「ふゆみつ」を標準に、雪下「彩音」、雪下「よしき」を評価した食味官能試験の結果を表3に示す。雪下キャベツにおいて品種間の食味差はあまり見られなかった。また、雪下キャベツの品種間の味覚差を味

覚センサーを用い評価した。寒締めふゆみつ(冠雪なし2018年1月15日採取)の味を基準0に、2018年1月16日に採取した雪下「ふゆみつ」、雪下「彩音」、雪下「よしき」の味覚の強弱を数値化したものを図4に示す。寒締めふゆみつと比較すると、雪下キャベツは苦味や旨味が少ないが、味覚センサーによる評価でも品種間の味覚差はあまり見られなかった。



※雪下前ふゆみつの味を基準(0)として、雪下ふゆみつ、雪室ふゆみつの味覚の強弱を数値化(一般的に値が1目盛の差で味の相違が判別できる)

図2 雪下前ふゆみつを基準にした雪下後ふゆみつ・雪室ふゆみつの味覚センサーによる評価

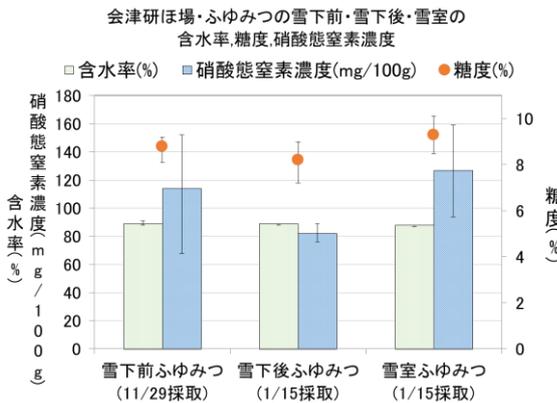


図3 キャベツ「ふゆみつ」の雪下前・雪下後・雪室の含水率、糖度、硝酸態窒素濃度

表3 雪下「ふゆみつ」を標準に雪下「彩音」、雪下「よしき」を評価した食味官能試験

雪下ふゆみつを標準に雪下彩音、雪下よしきを評価した品種比較

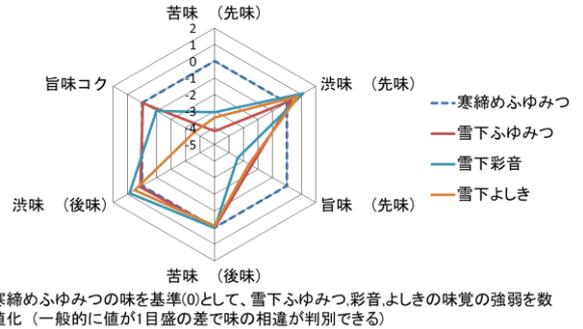
評価項目	評価値	
	彩音	よしき
総合評価	0.5	0
外観	0.93**	-0.1
甘み	0.36	0.2
えぐみ	-0.50	-0.1
辛味	-0.43	-0.7
硬さ	-0.14	0.5

1)「ふゆみつ」に比べて、総合評価と外観は+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)、硬さは+3(対照より非常に柔らかい)から-3(対照より非常に硬い)の範囲で評価。評価値はパネリスト(n=14)による平均値。  
2) t検定(p<0.01)により有意差があった値にアスタリスク(\*\*)を付した。

### 3.3 「よしき」の雪下前後における味覚センサーによる評価

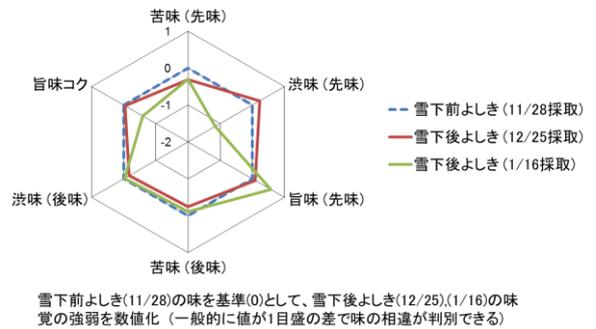
キャベツ「よしき」の雪下前後において味覚センサーによる味覚評価を行った。2017年11月28日採取した雪下前「よしき」の味を基準0に、2017年12月25日と2018年1月16日に採取した雪下後「よしき」の

味覚の強弱を数値化したものを図5に示す。雪下になり一定期間経過した1月16日のキャベツにおいては、苦味や渋味が減少していた。



寒締めふゆみつの味を基準(0)として、雪下ふゆみつ、彩音、よしきの味覚の強弱を数値化(一般的に値が1目盛の差で味の相違が判別できる)

図4 寒締め「ふゆみつ」を基準にした雪下「ふゆみつ」、雪下「彩音」、雪下「よしき」の味覚センサーによる評価



雪下前よしき(11/28)の味を基準(0)として、雪下後よしき(12/25)(1/16)の味覚の強弱を数値化(一般的に値が1目盛の差で味の相違が判別できる)

図5 雪下前「よしき」を基準にした雪下後「よしき」(12/25採取, 1/16採取)の味覚センサーによる評価

### 3.4 雪下キャベツ「ふゆみつ」における糖度・硝酸態窒素濃度の推移

会津地域研究所ほ場にて栽培した雪下キャベツ「ふゆみつ」の糖度・硝酸態窒素濃度の推移を図6に、各糖濃度の推移を図7に示す。10月ではキャベツ結球がまだ小さく、糖度が低く硝酸態窒素濃度は高い濃度であった。糖度は冠雪前に8.8%となり雪下後にはほぼ変化せず保持していた。硝酸態窒素濃度は冠雪前は114[mg/100g]であったが、雪下後には62[mg/100g]と減少していた。雪下後には甘味である糖度は維持され、苦味・渋味に影響する硝酸態窒素濃度(硝酸イオン濃度)は減少していた。野田らは、コマツナおよびホウレンソウの硝酸イオンは苦味・雑味など不味いと評価される呈味に対しては正の効果を及ぼし、野菜のおいしさ評価を硝酸イオン含量から推定できる<sup>4)</sup>ことを示している。また各糖濃度の推移においても雪下の糖の蓄積に関わる3種類の糖の合計は11月の冠雪前に5.6%となり、雪下後にもほぼ変化せず蓄積保持されていた。雪下キャベツの雪中で栽培・貯蔵する効果・利点として、甘味を示す糖の蓄積保持と、硝酸態窒素の減少による味覚中の苦味・渋味の低減効果があると考えられた。

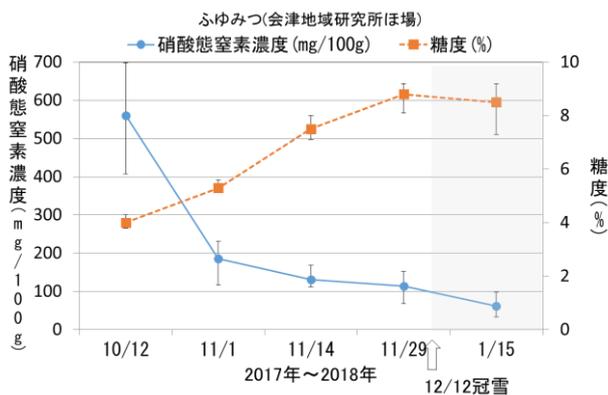


図6 キャベツ「ふゆみつ」における糖度・硝酸態窒素濃度の経時変化

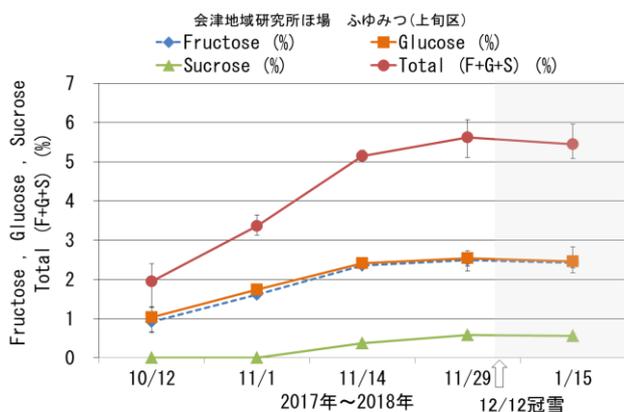


図7 キャベツ「ふゆみつ」における各糖濃度の経時変化

### 3. 5. 雪下前後における雪下キャベツの抗酸化能ORACの推移

雪下キャベツの雪下前と雪下後（冠雪前後）の抗酸化能 H-ORAC 値の推移を測定した。ふゆみつにおいて、雪下前後と寒締めふゆみつの H-ORAC 値の変化を測定した（図8）。含水率は 88~91%で変化せず推移しており、雪下前後ではキャベツの抗酸化能はあまり変化は見られず保持されていた。

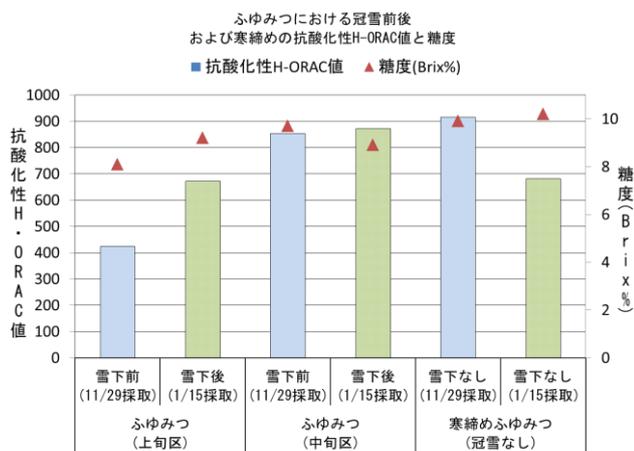


図8 キャベツ「ふゆみつ」の雪下前後および寒締めの抗酸化能 H-ORAC 値と糖度

### 3. 6. 雪下キャベツを用いた試作

雪下キャベツを使用し試作品を作成した。雪下キャベツを真空凍結乾燥し食塩を添加した「雪下キャベツ・チップス」、また真空凍結乾燥した雪下キャベツを粉碎し、食塩・りんご果皮・塩昆布等を添加した「雪下キャベツ・ふりかけ」を試作した（図9）。



図9 「雪下キャベツ・チップス」と「雪下キャベツ・ふりかけ」

## 4. 結言

雪下キャベツは雪中で貯蔵すると甘味が増すとされているが、本年の試験結果から、雪下キャベツでは雪中貯蔵期間には糖度はあまり増加せず保持されていることが確認された。11月ほ場の気象環境では、外気温の最低気温は5℃を下回っていた。11月のキャベツにおいて冠雪前に凍結による生育障害を防ぐために糖の蓄積を促す低温順化が始まり、すでに糖度が上昇し耐凍性を獲得していたと推測された。また栽培後期では渋味・苦味に影響される硝酸態窒素（硝酸イオン）は減少しており、その結果、甘みが強調され甘味・旨味がより強く感じられたと推測された。この硝酸態窒素の減少が雪室や雪下キャベツの美味しさの向上に寄与していると考えられた。

雪下キャベツは一般的に「雪の下で甘みや旨みを蓄え雑味がないのでおいしい」と言われている。雪下前後での食味試験や味覚センサーを用いた本試験結果でも「苦味・渋味が抑えられ甘味がきわだち旨味がある」と同様に言える結果となった。

## 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, 48, 1986, p.149-157.
- 2) 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, 2, 2003, p.213-244.
- 3) 沖智之 他. ORAC 法. 食品機能性評価マニュアル集第II集. 食品機能性評価支援センター技術普及資料等検討委員会編集, 2008, p.79-86.
- 4) 野田博行, 幕田武広. 味覚センサーで測定したコマツナおよびホウレンソウの味覚値に及ぼす硝酸イオン含量の影響. 科学・技術研究 第4巻2号, 2015, p.117-181.

# アルミ合金鋳物の合金組成と金属組織に関するデータベースの構築

## Construction of database on alloy composition and metal structure of aluminum alloy casting

技術開発部 工業材料科 矢内誠人 夏井憲司 西村将志  
委託機関 地方独立行政法人岩手県工業技術センター

鋳物製品の品質管理に使用している合金組成の分析結果から金属組織を推測する手法を検討するため、カントバック試験結果と、カントバック試料の金属組織の観察結果について調査した。その結果、品質管理に活用できるデータベースを構築することができた。

Key words: アルミニウム鋳物、組織観察、画像処理、多変量解析

### 1. 緒言

自動車におけるアルミニウムの使用率は年々増加しており、今後もこの傾向が続くと見られている。これは自動車の軽量化を目的とするもので、他にもマグネシウム合金、CFRP、GFRP など、比強度の高い素材が採用されている。自動車に使用されるアルミニウム部材は、コストの観点から鋳物が使用されることが多い。鋳物はその製法の特徴上、内部に欠陥が発生する。鋳物の欠陥は物性に影響を与えることがあるため、合金組成による調整や鋳型の変更、鋳造方法などにより、製品に影響が出ないよう欠陥を制御しているが、それでも不良となることがある。鋳造業者にとって合金組成による調整方法は非常に有効な手段であるが、組成が複雑なため容易ではない。鋳造業者は製品を保証するために合金の組成分析を常に行っており、この分析結果から鋳造欠陥を予測できれば、欠陥を制御する有効な手法となる。

このような背景から、「平成27年度 自動車軽量化に資するものづくり基盤技術データベース構築事業加工データ集」<sup>1)</sup>で、アルミニウム合金鋳物の組成と金属組織の関係について調査した結果を報告した。鋳造業者が溶湯管理に使用しているカントバック試験（スパーク発光分光分析）の分析試料を組織観察し、溶湯成分と金属組織の関係についてデータベース化したものである。カントバック試験片は製造業者によらず同じような形状をしており、製造方法も等しいため、データベースの試料として最適である。

本報告は、前報告に続いてデータベースを構築したものである。アルミニウム合金鋳物の中には、金属組織が観察しにくい種類がある。この場合、エッチング処理により金属組織を現出させるが、合金の種類や現出させたい金属組織によってエッチング条件が異なる。このエッチング条件について検討した。また、現出した金属組織より、特性値であるデンドライトアームスペーシング (DAS) について、画像処理により求める手法を検討した。さらに、溶湯成分の管理方法として、

カントバック試験結果の多変量解析を行った。

### 2. 実験試料

福島県内のアルミニウム鋳造業者より、製造の際に使用したカントバック試料と分析結果を提供してもらい、実験に使用した（図1）。カントバック試料の組織は、分析のために広く円盤状になっている部分の上端から10mm上の部分を検鏡面とし、観察した（図2）。



図1 カントバック試験片

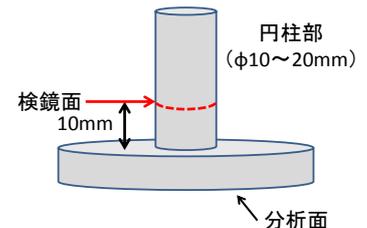


図2 検鏡面位置

### 3. 実験結果

#### 3. 1. アルミ合金鋳物の研磨とエッチング条件

研磨は、自動研磨機（エコメット300/オートメット300：ITW ジャパン（株）製）を用いて行った。研磨の条件を表1に示す。この条件で研磨した試料のうち、製造業者の異なる3つのAC4CH合金の顕微鏡写真を図3に示す。いずれもJISに規定されている濃度基準を満たし、ほぼ等しい冷却速度で凝固した組織であるが、その範囲内においてもマイクロ組織の性状が異なることが分かる。

また、図4に示すようにポロシティが確認される試料もあった。検鏡面は冷却速度が比較的遅く、中心引け巣が発生しにくい箇所を選択しているため、ポロシティは溶湯中に溶け込んだガスが凝固過程で現れたガス欠陥であると推測される。このように溶湯の性状によって発生するポロシティは、溶湯成分のみからでは予想が難しい。溶湯成分と金属組織を関連づけて整理することは、製品欠陥を予測する上で非常に有用な情

表1 アルミニウム合金鋳物の研磨条件<sup>2)</sup>

工程	研磨パフ	砥粒サイズ	伸展液	荷重	回転数 (ヘッド/ベース)	時間
面だし		Grit320 (US 規格)	水道水	3 ポンド	60/180 rpm	1~2分
中間研磨	トライデント <sup>※1</sup>	単結晶ダイヤモンド 9 μm	メタダイ液 <sup>※1</sup>	6 ポンド	60/150 rpm	5分
	ベルトテックス <sup>※1</sup>	単結晶ダイヤモンド 6 μm	メタダイ液 <sup>※1</sup>	6 ポンド	60/150 rpm	4分
仕上げ	マスターテックス <sup>※1</sup>	マスターメット	水道水	6 ポンド	60/150 rpm	2分

※1 ITW ジャパン(株)製

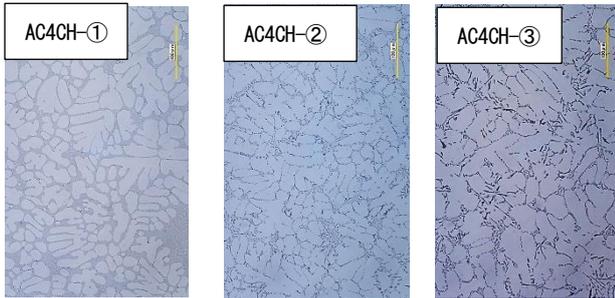


図3 AC4CHのマイクロ組織



図4 ADC6のマイクロ組織

表2 腐食条件

腐食条件	腐食条件 A	腐食条件 B
液組成	1%ふっ酸 水溶液	濃塩酸 45g ふっ酸 15g 濃硝酸 15g 水 25g
時間	30 秒 浸漬	10~15 秒 液をしみ込ませた 脱脂綿で擦る

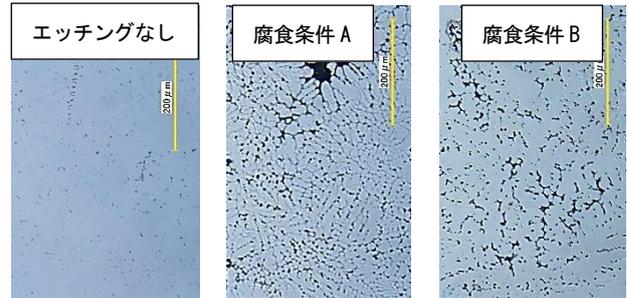


図5 AC7Aのマイクロ組織

報になると考えられる。

研磨終了時の光学顕微鏡観察により、デンドライト組織が出現している場合はその特徴量を求めることができるが、AC7Aのようなデンドライト組織が確認しにくい合金系においては、エッチングを行ってから特徴量を求めることが望ましい。

エッチングに用いる腐食液は、観察する対象によって様々な種類がある。また、腐食時間も合金の種類によって異なるため、エッチングの条件選択には技術的な蓄積が必要とされる。本報告で検討した腐食液<sup>3)</sup>と腐食時間を表2に示す。

上記条件でエッチングした AC7A 合金の顕微鏡写真を図5に示す。AC7A 合金は、エッチングにより組織現出を行うことでデンドライト組織が確認しやすくなった。

### 3. 2. 画像処理による組織解析

前報告では、画像処理に有償のソフトウェア Winroof Ver. 5.7 を使用したが、本報告では無償で利用できるオープンソースの画像処理ライブラリである OpenCV を用いて、DAS の測定を行った。

また、金属組織の観察には金属顕微鏡を用いることが一般的だが、本報告では画像処理の工程を考慮し、画面全体で輝度むらの少ない画像を撮影することができる走査型レーザー顕微鏡 (OPTELCIS HYBRID L3: レーザーテック(株)製) を金属組織の観察に用いた。

DAS の測定方法は、軽金属学会鋳造・凝固部会により2次枝法及び交線法が提案されている<sup>4)</sup>。本報告では、このうち交線法による測定を、OpenCV を用いた画像処理によって行った。測定の手順を表3に、画像処理の例を図6に示す。

表3 DASの算出手順

手順	方法
①グレースケール化	カラー画像をモノクロ化する。
②トリミング	周縁部に輝度ムラが発生していると2値化の妨げとなるため、あらかじめ周縁部をトリミングしておく。
③2値化	輝度値のヒストグラムから閾値を定め、白と黒の2値画像にする。
④オープニング処理	共晶組織(黒)中の小さなノイズを取り除く。
⑤クロージング処理	デンドライト組織(白)中の小さな穴をふさぐ。
⑥マスク画像の作成	トリミングした画像と同じサイズの黒の背景に、白の直線を引いたマスク画像を作成する。
⑦マスク処理	⑤と⑥の論理積を計算する。
⑧ラベリング処理	マスク処理した画像内に存在する一連の繋がった要素ごとに番号をつけて識別する。
⑨DASの計算	ラベリングした要素群ごとに幅と高さを求めて、DASを計算する。ノイズの影響を低減するため、5~60 $\mu\text{m}$ の範囲に含まれないものについては計算結果から除外する。

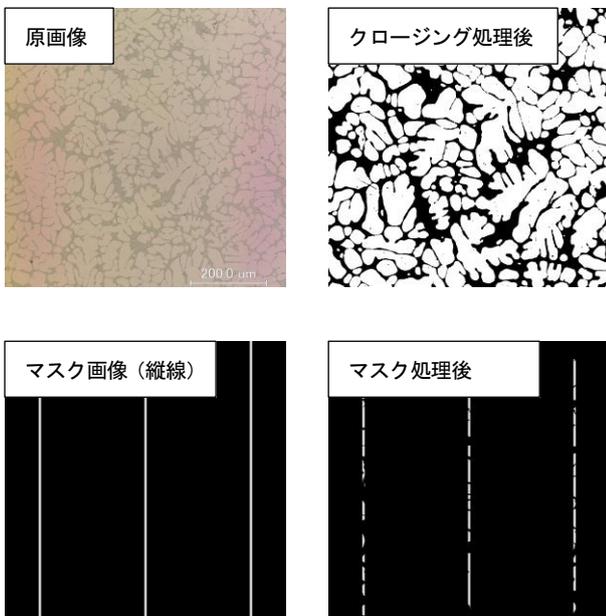


図6 DASを求めするための画像処理の例

画像処理により測定したDASと、手作業で測定した2次枝法により測定したDASの相関を図7に示す。多少のばらつきがあるが、これらは比較的良好な相関を示して

いる。図7において、近似直線上の点(ア)と直線から離れた点(イ)の測定に使用した観察画像を図8に示す。点(ア)の画像は全体的に粒径がそろっているのに対し、点(イ)の画像は粒径の異なる結晶粒が混在している。2次枝法では、デンドライトの2次アームが発達し、アームが整列している箇所でDASの測定を行う。これに対し、今回の画像処理では2次アームの発達に関わらず、画像全体が測定の対象となるため、粒径の異なる結晶粒の存在する点(イ)において、ばらつきが発生したものと考えられる。画像処理を用いてDASを測定する場合は、トリミングなどの手法により粒径が揃っている画像を対象とすると2次枝法と関連のよい値が得られる。

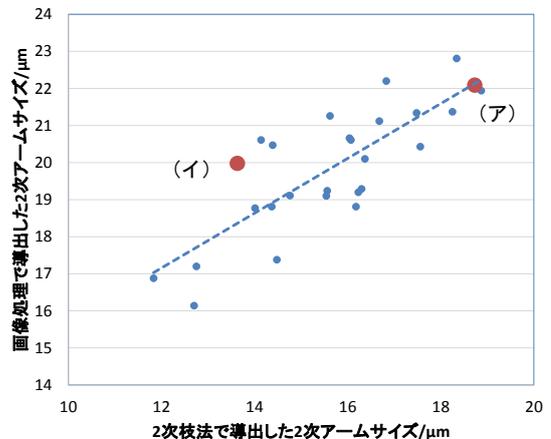


図7 画像処理と2次枝法によるDAS測定結果の相関

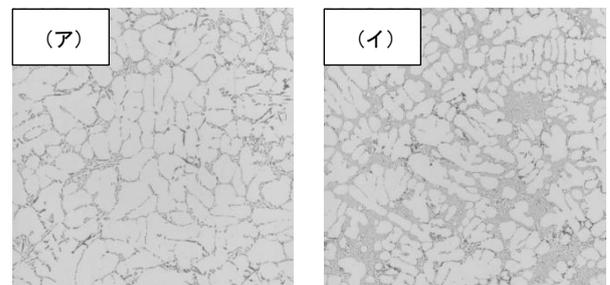


図8 DAS測定に使用した観察画像

### 3. 3. 多変量解析による溶湯管理手法の提案

油圧や水圧がかかる部品においては、鑄巣が連続してしまうと、気密不良となってしまう。この不良は、鑄造後の検査で発見されることがあり、その発生率はロットに依存する。このことから、溶湯成分と鑄巣量に何らかの関係があるものと推測されるが、未だ明確な関係性は得られていない。

鑄巣の検査にはX線が用いられる。特にX線CTを用いると、鑄物内部の鑄巣を3次元的にとらえることができ、その体積を求めることができる。そこで、X線CTによる鑄巣の観察と溶湯成分の関係について調

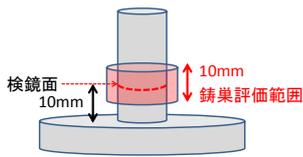


図9 X線CTによる鑄巣の観察部位

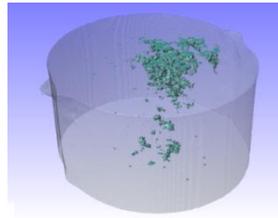


図10 鑄巣体積率の算出(水色が鑄巣)

査した。X線CTによる観察は、カントバック試料の検鏡面を境に上下5mm、合計10mmの範囲を鑄巣の評価範囲とした(図9)。得られたX線CT画像から空気とアルミニウムの領域を指定し、それぞれの体積を算出した。それら比率を鑄巣体積率とした。X線CTによる観察結果から求めた鑄巣の様子を図10に示す。この鑄巣体積率とカントバック試験結果の関係性を重回帰分析により評価した。

カントバック試験で分析している元素は多岐にわたるため、JISで規定されている元素(11種)、JISで規定されていない元素(9元素)に分けて解析した。この結果から、元素比と鑄巣体積率に相関が認められた元素がいくつか得られた。その係数の符号と影響度を整理し、表4にまとめた。

表4 重回帰分析による鑄巣体積率への影響度

	体積率増加	体積率減少
JIS 規定	Fe, Ti > Si, Mg	—
JIS 規定外	V, Bi	Sb > B, Sr

JISで規定される元素では、鉄、チタンの含有率が上昇すると鑄巣体積率が増加する傾向が見られた。またJISで規定されていない元素では、アンチモン、ホウ素、ストロンチウムが鑄巣体積率を減少させる効果が期待されることが分かった。ただし、鑄巣は溶湯中のガス成分、型の材質、冷却速度など様々な影響を受けるため、これらの影響も考慮しなければならない。

#### 4. 結言

本報告では、前報告に引き続き、アルミニウム合金鑄物のデータベース構築を目的として実験を行った。このデータベースは、アルミニウム鑄造業者で一般的に使用されるカントバック試験体を対象としている。これは、鑄造条件が比較的共通しており、かつ溶湯成分の影響を受けやすいためであり、さらに鑄造業者間の情報を共有しやすい特徴がある。

初めに、アルミニウム合金の研磨、エッチング条件を検討した。また、エッチングによって現出する組織を例示することで、条件を選びやすくすることができた。エッチング条件は合金組成によって異なるため、

このようなデータがあることが重要である。

次に、鑄物の特徴を示すDASの測定を画像処理によって行う手法を提案した。同一の組織内においてもDASはばらつきがあり、このばらつきを解消するために測定数を増やす必要があるが、解析者の負担になる。これに対し、本報告では画像処理のプログラムを導入することで、DAS解析に必要な測定数を十分に確保し、さらに主観によらないDASを測定する手法を構築することができた。これを活用するためには、組織がはつきり現出した試料が必要となるため、上記エッチングを適宜行う必要がある。

最後に、鑄造業者が製品管理に使用しているカントバック試験結果を、多変量解析により管理手法を検討した。X線CTによる観察結果から求めた鑄巣体積率とカントバック試験結果の重回帰分析により、鑄巣体積率に影響を与える元素が示唆された。このようなデータ解析が、アルミニウム鑄造製品の品質向上に寄与することを期待する。

#### 謝辞

本研究は「東北経済産業局 平成29年度自動車軽量化に資するものづくり基盤技術データベース構築事業に関する業務」で行いました。詳細につきましては東北経済産業局より公開される資料を参照してください。

#### 参考文献

- 1) 光井啓 他. 平成27年度自動車軽量化に資するものづくり基盤技術データベース構築事業 加工データ集. 東北経済産業局. 2016, p.48-59.
- 2) IWTジャパン株式会社編. 2017 試料作製のためのガイドブック. 2017, p.92.
- 3) 軽金属学会編. アルミニウムの組織と性質. 1991, p.572.
- 4) 軽金属学会 鑄造・凝固部会, “デンドライトライトアームスペーシングの測定手順”, 軽金属, Vol. 38(1), 1988, p.54-60.

# AI 技術を用いた業務用インクジェット印刷機の 印刷品質の検査技術に関する考察

Consideration on inspection technology of print quality for commercial inkjet printing machine using AI technology

技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 塚本遊 太田悟 尾形直秀  
委託企業 有限会社品川通信計装サービス

AI 技術であるディープラーニングを用いた、業務用インクジェット印刷機の印刷品質の自動判定について考察した。学習モデルにはネットワークインネットワークモデルを用い、ノズル抜けと色ずれを疑似的に起こした不良画像を学習データとする学習を行い、認識の正解率について評価を行った。さらに、疑似不良画像の学習により得られたデータを用いて、実際の不良サンプルに対する認識の正解率の評価を行った。疑似不良画像の認識では良好な結果が得られた。実際の不良サンプルでは正解率が低かったが、正解率を向上させるための課題が明らかになった。これらにより AI 技術を印刷品質検査へ応用できることを確認した。

Key words: 人工知能、ディープラーニング、製品検査

## 1. 緒言

応募企業の有限会社品川通信計装サービスでは、段ボール用ワンパスインクジェット式フルカラー印刷機の実用化を目指しており、その中で、印刷不良を検知すると自動で印刷ヘッドのノズル清掃を行う移動式清掃ロボットの開発を行っている。しかし、印刷不良の種類は、色むらや色ずれなど多様であり、従来のパターンマッチングなどの手法では、それらすべての印刷不良に対応することは困難で、現状では検査員の目視による官能検査も併せて行わなければならない現状である。

一方、近年では、ニューラルネットに関する技術革新や計算機の発達、ネットワーク環境の向上によるデータの大容量化などを背景に、ディープラーニングと呼ばれる学習手法を主とした人工知能 (AI) 技術に関する研究が多く行われている。ディープラーニングの特徴は、パターンマッチングなどの手法で行われている手動による特徴設定の必要がなく、大量のデータを学習させることで自動的に特徴抽出が行われるという点にある。最近では、製品の中身やシステム開発、サービス事業、データ解析など様々な分野において実用化に向けた開発が急速に進められており、既にこれらの技術を用いた製品やシステム運用の事例もある<sup>1)</sup><sup>2)</sup>。

そこで本研究では、ディープラーニングを用いた印刷不良検知の可能性について評価を行った。

## 2. 学習手法

### 2. 1. 学習サンプルの作成

本研究で不良検知の対象としている段ボール用ワンパスインクジェット式フルカラー印刷機の概略図を図

1 に示す。固定された各色のインクジェットヘッドの下を段ボールが通過し、その際インクが吹き付けられることによって段ボール上面に印刷される仕組みである。印刷物の不良には、ノズルの詰まりによりインクが線状に吐出されない部分がでるノズル抜けや、インク吐出タイミングのずれや搬送速度の不定により特定の色がずれて印刷される色ずれがある。

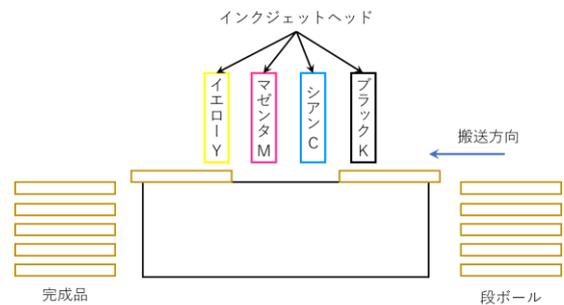


図 1 1Pass インクジェット式フルカラー印刷機の概略図

これらの印刷不良を学習するために、“Caltech 101”<sup>3)</sup> に収録されている “BACKGROUND\_Google” カテゴリの画像をランダムに抽出し、故意に不具合を発生させた 256×256 ピクセルサイズの疑似不良画像を作成した。不良の種類は、シアン (C)、ブラック (K)、マゼンタ (M)、イエロー (Y) の各色がノズル抜け又は色ずれを起こしたものとし、各不良の画像を 1000 枚ずつ、8000 枚の疑似不良画像を作成した。実際の学習時には、不良のない正常な画像も 1000 枚加え、合計 9000 枚を学習用の入力データとした。図 2 及び図 3 にノズル抜けを、図 4 及び図 5 に色ずれの画像例をそれぞれ示す。

事業課題名 「IJH-CL ロボットを搭載したライン型フルカラーデジタルオンデマンド印刷システム」



図2 ノズル抜けの疑似不良画像例  
(C抜け：左図、K抜け：右図)



図3 ノズル抜けの疑似不良画像例  
(M抜け：左図、Y抜け：右図)



図4 色ずれの疑似不良画像例  
(Cずれ：左図、Kずれ：右図)



図5 色ずれの疑似不良画像例  
(Mずれ：左図、Yずれ：右図)

## 2. 2. 学習モデルと実行環境

学習モデルには、ネットワークインネットワーク(以下、NIN)<sup>4)</sup>を用いた。NINは、画像分類などによく用いられる畳み込みニューラルネットワークの一種である。各疑似不良画像にはラベルを付し、不良の種類を分類する学習とした。表1は、今回の不良の種類とそのラベルの対応表である。

また、学習及び認識の実行環境には、表2に示す計算機を用いた。また、学習を高速化するために、エヌビディア社製のGPUを搭載し、Compute Unified Device Architectureにより並列処理をし、学習を行った。学習のフレームワークにchainerを用いた。

表1 疑似不良画像のラベル一覧

ラベル	不良の種類
nozzle_clogging_C	シアン (C) のノズル抜け
nozzle_clogging_K	ブラック (K) のノズル抜け
nozzle_clogging_M	マゼンタ (M) のノズル抜け
nozzle_clogging_Y	イエロー (Y) のノズル抜け
color_shift_C	シアン (C) の色ずれ
color_shift_K	ブラック (K) の色ずれ
color_shift_M	マゼンタ (M) の色ずれ
color_shift_Y	イエロー (Y) の色ずれ
no_error	不良がない正常な画像

表2 実行環境

OS	Ubuntu 16.04 LTS 64bit
CPU	Intel Core i7-7700K (定格クロック周波数: 4.20 [GHz])
メモリ	16GB (DDR4 non-ecc)
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080 (コア数: 2560 メモリ: 8[GB])
CUDA ドライバ	375.66
CUDA Toolkit	9.0
cuDNN	7.0
フレームワーク	chainer 3.3.0

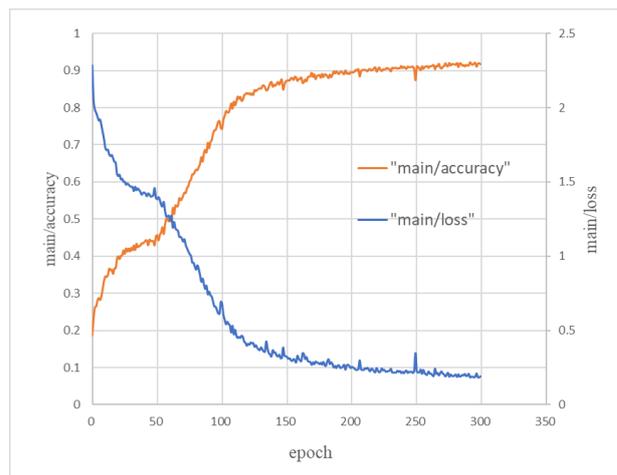


図6 疑似不良画像による学習結果

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1. 疑似不良画像による学習結果と認識結果

NIN による不良画像の分類学習の結果を図6に示す。ここで epoch は学習の繰り返しの単位、loss は認識の誤差、accuracy は認識の正解率をそれぞれ表している。epoch=300 で、認識の正解率は0.92でほぼ一定となり、反対に認識の誤差は小さくなっていることが分かる。

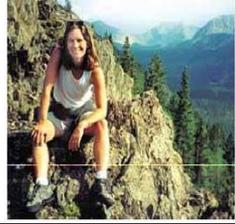
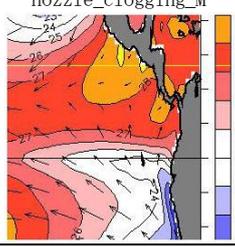
次に、疑似不良画像の分類学習により得られた学習済みデータを用いて、学習に使用されていない疑似不良画像の認識を行った。表3は、未学習のデータから各不良の1画像を無作為に選び出し、それらを認識させた結果である。認識結果は、学習済みデータ内の各ラベルと入力画像との一致率の順に表示される。一致率とは、学習した各不良の特徴と入力した不良画像の特徴の一致の割合である。

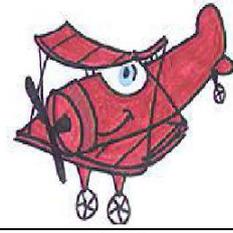
入力画像が表3の2番目のブラック (K) のノズル抜け (nozzle\_clogging\_K) や表3の8番目のイエロー (Y) の色ずれ (color\_shift\_Y) の時などは一致率が100%となっており、学習した各不良の特徴と認識対象の特徴が完全に一致し、よく認識できていることを示している。

一方、表3の6番目のブラック (K) の色ずれ (color\_shift\_K) や表3の9番目の正常画像 (no\_error) の場合は、正解はしているが一致率が50~60%台となっており、学習した各不良の特徴と入力した不良画像の特徴があまり一致しなかった。また、表3の4番目のイエロー (Y) のノズル抜け (nozzle\_clogging\_Y) や表3の5番目のシアン (C) の色ずれ (color\_shift\_C) のように、正解していない場合もあった。

このことは、今回の学習済みデータがすべての不良の特徴をとらえておらず、さらなる正解率の向上のためには、学習データを見直すなど改善が必要であることを示している。

表3 未学習疑似不良画像の認識結果

No.	入力画像	認識結果
1	入力画像: nozzle_clogging_C 	#1 nozzle_clogging_C   83.1% #2 color_shift_C   11.9% #3 nozzle_clogging_M   2.0% #4 nozzle_clogging_K   1.5% #5 no_error   1.1% #6 color_shift_K   0.2%  認識結果 → 正解
2	入力画像: nozzle_clogging_K 	#1 nozzle_clogging_K   100%  認識結果 → 正解
3	入力画像: nozzle_clogging_M 	#1 nozzle_clogging_M   100%  認識結果 → 正解
4	入力画像: nozzle_clogging_Y 	#1 color_shift_C   39.9% #2 color_shift_K   29.3% #3 no_error   18.4% #4 nozzle_clogging_Y   4.2% #5 color_shift_Y   3.1% #6 nozzle_clogging_K   2.1%  認識結果 → 不正解

5	入力画像: color_shift_C 	#1 nozzle_clogging_M   34.0% #2 color_shift_M   22.0% #3 nozzle_clogging_C   22.0% #4 color_shift_Y   9.8% #5 color_shift_C   4.2% #6 no_error   3.4%  認識結果 → 不正解
6	入力画像: color_shift_K 	#1 color_shift_K   67.6% #2 color_shift_M   31.0% #3 color_shift_Y   0.8% #4 color_shift_C   0.5% #5 nozzle_clogging_M   0.1%  認識結果 → 正解
7	入力画像: color_shift_M 	#1 color_shift_M   99.7% #2 color_shift_Y   0.3%  認識結果 → 正解
8	入力画像: color_shift_Y 	#1 color_shift_Y   100%  認識結果 → 正解
9	入力画像: no_error 	#1 no_error   51.2% #2 color_shift_K   23.3% #3 color_shift_Y   9.8% #4 color_shift_C   9.4% #5 nozzle_clogging_C   2.8% #6 nozzle_clogging_K   1.2%  認識結果 → 正解

ル抜けと思われる不良が確認できる。また、図9では、中段の襟元付近で色ずれがはっきりとわかる。画像切り出し後は、学習済みモデルで認識させるために256×256ピクセルの大きさにリサイズした。



図7 ノズル抜けや色ずれを起こした実際の不良画像



図8 ノズル抜けとした画像

### 3. 2. 実際の不良サンプルの認識

疑似不良画像の分類学習により得られた学習済みモデルを使い、実際の不良サンプルの画像をカメラで取り込み認識を行った。取り込んだ画像を図7に示す。この画像は実際の印刷機で印刷されたもので、ノズル抜けや色ずれを起こしている。

この画像をもとに、ノズル抜けと色ずれの特徴がそれぞれ強く出ていると思われる箇所を切り出し、認識させる画像とした。切り取った画像を図8及び図9に示す。図8では、真ん中やや下部分にマゼンタのノズ



図9 色ずれとした画像

このようにして準備した実際の不良画像を、学習済みモデルで認識させた結果を表4に示す。まず、図8のノズル抜け画像の認識結果については、シアンの色ずれ (color\_shift\_C) の一致率が最も高くなり、ノズル抜けを認識できなかった。この画像は色ずれも起こしている画像であり、色ずれの特徴のほうがノズル抜けよりも強く認識されてしまったと考えられる。各色のノズル抜けの認識の一致率を合計すると約 1%となっており、ノズル抜けはほとんど認識されていない結果となった。

一方、図9の色ずれ画像の認識結果は、シアンの色ずれが最有力候補として挙げられたが、その一致率は約 33%と低い。しかし、シアン以外の色も含めた色ずれの一致率の合計は約 69%となっており、色ずれを認識することができたと考えられる。

表4 実際の不良サンプルの認識結果

ノズル抜け画像の認識結果		色ずれ画像の認識結果	
#1 color_shift_C	62.5%	#1 color_shift_C	33.3%
#2 color_shift_K	29.9%	#2 no_error	29.7%
#3 no_error	6.1%	#3 color_shift_M	17.4%
#4 nozzle_clogging_K	0.7%	#4 color_shift_Y	13.1%
#5 color_shift_M	0.3%	#5 color_shift_K	4.7%
#6 nozzle_clogging_Y	0.2%	#6 nozzle_clogging_K	1.1%
#7 color_shift_Y	0.1%	#7 nozzle_clogging_C	0.4%
#8 nozzle_clogging_C	0.1%	#8 nozzle_clogging_Y	0.1%
#9 nozzle_clogging_M	0.0%	#9 nozzle_clogging_M	0.1%

以上のように、今回作成した疑似不良画像のデータにより学習させたモデルを使った場合は、期待した認識結果を得ることができなかった。その原因としては、今回認識させた実際の不良画像が色ずれとノズル抜けの複数の要因を含んでいることが考えられる。ノズル抜けの部分として切り出した画像については、人間の目にはノズル抜けの特徴がはっきりとしているが、その他の領域には、色ずれとしての特徴も含まれており、ピクセル単位で近傍の相互関係を学習している今回のモデルでは、そちらの特徴に引っ張られて色ずれの画像としての認識が強くなってしまった可能性がある。また、色ずれしか含まないように切り出した画像についても、注意して見るとイエローだけでなくマゼンタ、そしてシアンかブラックが段階的にずれているように見え、複数色の色ずれが同時に起こっており、各色の色ずれとしての特徴が出てきて、一致率が分散したと思われる。

また、今回の学習において、色ずれとノズル抜けを一緒にして学習したことも認識結果が期待どおりではなかった一因と考えられる。つまり、学習に使った個々の疑似不良データは、不良の個所が一か所であり、単一の不良しか含まれていない。今回使用した実際の不良画像のように複数の不良個所を含むような場合には、特徴が分散してしまい、認識がうまくできない可能性がある。それを検証するためには、例えば不良項目ごとにカテゴリを限定して学習モデルを構築してみることがよいと考える。今回の例で言えば、正常データとノズル抜けデータのみで学習をさせた学習モデル1と正常データと色ずれデータで学習させた学習モデル2をそれぞれ個別に学習するという手法である。そうすれば、学習モデル1で認識させ色ずれの有無を判断し、その後、学習モデル2で認識させてノズル抜けの有無を判断するということが可能となる。それぞれの学習モデルは各学習対象の不良以外は認識できないので、より敏感に対象の不良を認識することが可能と考えられる。

### 3. 結言

本研究では、印刷不良認識について疑似不良データによる学習を行い、学習済みデータでは約 90%の正解率となった。また、未学習の疑似不良画像を用いた認識では、約 80%の正解率で正しく認識することができた。

一方、実際の不良画像の認識については、複数の不良箇所があるなど、疑似不良データによる学習では想定していなかった部分もあり、正しく認識できていない、あるいは一致率が低い結果となった。認識の向上のためには、学習モデルを不良項目ごとに分割する、より多くの不良サンプルを使った学習を行うなど、工夫が必要である。

実用化するにはまだ課題があるが、今回の検証結果から A I 技術の印刷品質検査への応用は十分可能だと考えられた。

#### 参考文献

- 1) “DeepLearning 外観検査“MINESPECT” | SERENDIPITY”. SERENDIPITY 株式会社.  
<http://www.serendpty.com/portfolio-single-slider-2.html>, (参照 2018-4-9).
- 2) “ソロモン社 SOLOMON ユニバーサルロボット用スマート 3D スキャナー | カンタムエレクトロニクス”. カンタムエレクトロニクス株式会社.  
<http://www.kantum.co.jp/product/ur-accessories/camera-and-3d-scanner-for-universalrobots/3d-scanner.html>, (参照 2018-4-9).
- 3) “Caltech101”. California Institute of Technology.  
[http://www.vision.caltech.edu/Image\\_Datasets/Caltech101/](http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/Caltech101/), (参照 2018-4-9).
- 4) Min Lin; Qiang Chen; Shuicheng Yan. Network In Network. arXiv:1312.4400. 2013.

# 新規防草シートの開発

Development of new anti-weed geotextile for photovoltaic module etc

福島技術支援センター 繊維・材料科 東瀬慎 長澤浩 中村和由  
委託企業 アルテクロス株式会社

防草性（遮光性、透水性、耐貫通性）と景観性に優れた新規防草シートの開発を行った。その結果、設定した目標値を満足し、さらに実証試験中の防草シートと同等以上の防草性を持つ防草シートを開発することができた。

key words: 防草シート<sup>注1)</sup>、コーティング繊維<sup>注2)</sup>、透水性<sup>注3)</sup>

## 1. 緒言

福島県内では、2011年に発生した東京電力第一原子力発電所事故後、メガソーラー等の太陽光発電パネルの架台下、除染作業後の平斜面、帰還困難地域等の耕作放棄地の雑草抑制が社会問題となっており、その雑草対策として防草シートの利活用が注目されている。

特に大熊町大河原地区に設置された図1に示す「大熊町ふるさと再興発電所メガソーラー」施設内では、発電効率の妨げとなる雑草繁茂の抑制等を目的に、複数社の市販防草シートを2016年12月より試験施工し、継続的に防草性能の評価を行っている。



図1 市販防草シート(6種類)実証試験全景  
(大熊町ふるさと再興メガソーラー発電所)  
出典：福島発電株式会社パンフレット

また、周辺の帰宅困難地域等では除染作業後の雑草の繁茂が深刻で、人手による除草作業やその管理運営が重荷となり、現在ローコストでメンテナンスフリーな防草シートが広く切望されている。

既存除草シートの課題として、透水性の低い防草シートの場合、周辺の樹木が枯死したり、シート表面に溜まった雨水と砂塵から、新たな雑草が繁茂する等の問題が発生している。これは、遮光性を向上させると透水性が低下し、透水性を上げると遮光率が低下するトレードオフの関係が防草シートを設計する上で解決

すべき技術課題となっていると考えられる。

さらに、チガヤ(単子葉植物イネ科チガヤ属)やスギナ(シダ植物門トクサ綱トクサ目トクサ科トクサ属)等の、貫通性の高い植物から防草シートの突き抜けを防止するには、遮光性、透水性に加えて、耐貫通性を具備する必要がある。

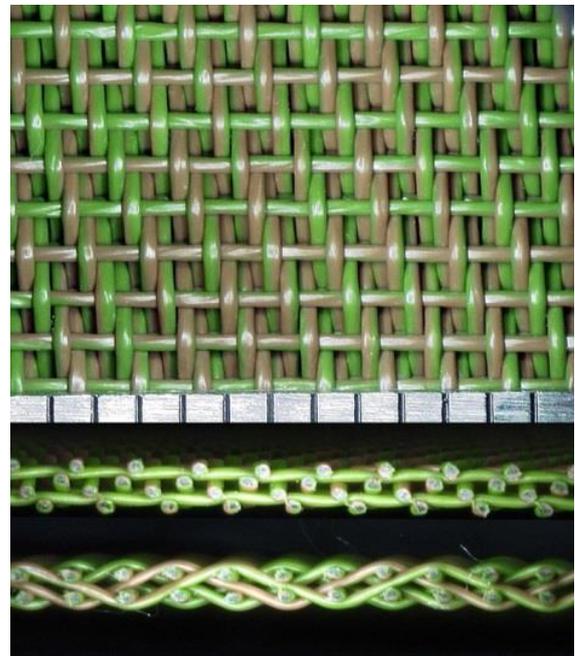


図2 防草シート用織物(緯二重組織)  
上:平面、中:緯断面、下:経断面

本研究では委託企業が保有する、押出成形技術と産業用広幅織物の製織技術を活用し、PET(ポリエチレンテレフタレート)を芯材、高耐侯PVC(ポリ塩化ビニル)を被覆材とした樹脂コーティング繊維から織物を製織することで、新規防草シートの試作開発を進めた。

本研究の新規性、独創性は、樹脂コーティング繊維織物に特有の立体空隙「たわみ空隙」を制御することで、従来の不織布タイプの防草シートでは達成できなかった遮光性と透水性及び耐貫通性が両立できる点にある。

今後、委託企業が保有する二色押出機による、防草

事業課題名「太陽光発電モジュール等用新規防草シートの開発」

シート表面の多彩なカラーバリエーションが可能となれば、防草性(遮光性、透水性、耐貫通性)と景観性を兼ね備えた新しいタイプの防草シートの提供が期待される。なお、樹脂コーティング繊維に使用する耐候性 PVC については、別途、委託企業と樹脂メーカーが性能向上を目的とした研究開発を進めている。

## 2. 研究概要

### 2. 1. 目的と目標値

本研究では、防草性(遮光性、透水性、耐貫通性)と景観性に優れた新規防草シートの開発を目的とする。(遮光性 $\geq 95\%$ 、透水性 $\geq 1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 、耐貫通性 $\geq 10\text{N}$ )表1に示す目標値については、先行技術<sup>1)</sup>を参考に数値目標を設定した。

表1 本研究の目標と役割分担

	研究課題	数値目標	役割分担
目標 A	軽量化と機能性向上	目付約 350g/m <sup>2</sup>	委託企業
目標 B	熱処理条件の検討	160~230℃	両者
目標 C	織物シミュレーションと機能性評価	遮光性 $\geq 95\%$ 透水性 $\geq 1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 耐貫通性 $\geq 10\text{N}$	ハイテクプラザ

\* 通気度 3.3cc/cm<sup>2</sup>・sec は透水性 1.0 $\times 10^{-3}$ cm/sec に相当

### 2. 2. 樹脂コーティング繊維の作製条件

コーティング繊維の仕様は表2のとおり。

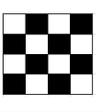
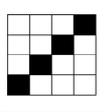
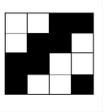
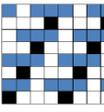
表2 樹脂コーティング繊維の作製条件

	素材	製造メーカー
芯材	PET(織度: 250dtex、 フィラメント数: 48)	NANJA
シーズ材	ポリ塩化ビニル(重合度: 700) 仕上り外径 $\phi 0.3\text{mm}$	信越ポリマー(株)

### 2. 3. 樹脂コーティング繊維織物の設計

表3に示す緯糸密度を5段階に変えた計20種類の樹脂コーティング織物の製織を行った。

表3 樹脂コーティング繊維織物の設計

経糸密度(本/cm)	28.0			
緯糸密度(本/cm)	平組織	一重綾組織		緯二重綾組織
	6~10	1/3	2/2	15~19
		8.5~12.5	8~12	
				
直径(mm)	0.30 $\pm$ 0.015			
織機仕様	レピア織機 (SULZER 社製 G6500)			
製織速度(rpm)	180			

## 2. 4. 織物熱処理条件

織物の熱処理条件を表4に示す。

表4 熱処理条件

	設定値
プレス温度(℃)	180
プレス圧力(kPa)	78
熱処理装置	NST-10/15(直本工業(株)製)

## 2. 5. 機能性評価方法

機能性評価方法を表5に示す。なお透水性のみ外部試験機関に委託を行った。

表5 機能性評価方法

	JIS 準拠規格	備考
通気度	JIS L 1096	フラジール A 法
遮光性	JIS L 1055	A 法(2000lx)
耐貫通性	ASTM D 4833	試験速度 300mm/min
透水性	JIS A 1218	定水位透水試験

## 3. 実験結果

### 3. 1. 第一試作の評価結果

第一試作として平織の製織を行った結果を表6に示す。表1の目標値は達成しているものの、実証試験中の市販防草シートに比べて基本性能が低く、後発製品としての市場優位性に欠ける。実証試験品群は汎用防草シートの目標値を大きく超え、極めて高い性能を持つ。

表6 第一試作の評価結果

	第一試作	目標値	実証試験品
織物組織	平織		
緯糸密度(本/cm)	6		
熱処理時間(sec)	30		
遮光性(%)	98	$\geq 95$	99.9~100
通気度(cc/cm <sup>2</sup> ・sec)	41	$\geq 3.3$	5.4~110
耐貫通性(N)	329	$\geq 10$	367~1041
目付(g/m <sup>2</sup> )	365	$\leq 350$	179~648



図3 濾過、排水能力に劣る市販防草シート

ただし、今回実施した図3に示す現地調査結果(福島発電株式会社)から、通気度(透水性)の低い市販防草シートは濾過、排水能力に劣るため、シート表面のコケの発生や砂塵が堆積する二次的な雑草発生の要因となることが分かった。

### 3. 2. 第二試作の評価結果

#### 3. 2. 1. 綾組織評価結果

第二試作として綾織(1/3、2/2)の製織を行った結果を表7に示す。平織に比べ経糸と緯糸の交差が減少することで通気度が大きく向上している。特に2/2綾織は、遮光性を担保しつつ、市販防草シートが持つ通気度の最大値(110cc/cm<sup>2</sup>/sec)を超える性能を持つ。

表7 第二試作の評価結果

	第二試作		目標値	実証試験品
	綾織(1/3)	綾織(2/2)		
織物組織	綾織(1/3)	綾織(2/2)		
緯糸密度(本/cm)	12.5	12.0		
熱処理時間(sec)	10	10		
遮光性(%)	98.2	97.4	≧95	99.9~100
通気度(cc/cm <sup>2</sup> ・sec)	64.6	120.8	≧3.3	5.4~110
耐貫通性(N)	581	585	≧10	367~10141
目付(g/m <sup>2</sup> )	450	444	≦350	179~648
交差点(経方向)	6	6		
交差点(緯方向)	6	6		
繊維充填率(%)	40.4~44.2	43.2~48.0		

一方、同じ綾組織でありながら、1/3と2/2は組織の違いで通気度が約二倍異なる結果を示した。両者は経糸と緯糸が交差する交差点の数と、単位体積当たりの繊維充填率には大きな差異がない。従来の織物設計(表3)では、厚み方向(Z軸)の立体構造を確認することができないため、織物シミュレーションによる検証を行った。

#### 3. 2. 2. 3Dモデルを活用した立体構造の検証

1/3綾織、2/2綾織の織物シミュレーション結果を図4に示す。

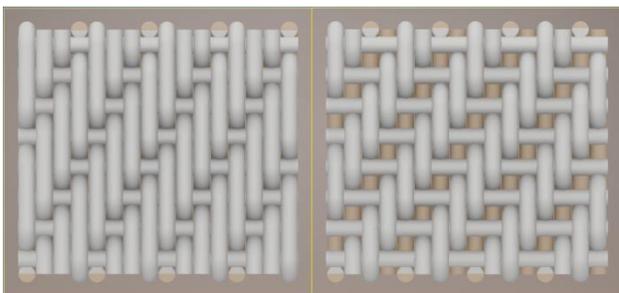


図4 1/3綾織(左図)、2/2綾織(右図)の織物シミュレーション結果

織物の厚み方向(Z軸)中心におけるX-Y断面を図5に示す。1/3綾織は背面の経糸に空隙が塞がれているのに対し、2/2綾織は織物の厚み方向に明らかな空隙が確認できた。

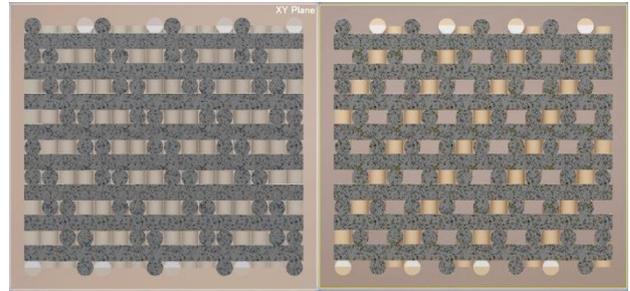


図5 1/3綾織、2/2綾織断面(Z軸中心)の織物シミュレーション結果

これは2/2綾織の経糸が表裏均一に出現し、隣接する経糸に対して $\pi/2$ 周期でズレることで、交差点付近に大きなたわみ空隙を形成している(図6)。一方、1/3綾織は経糸が表裏均一に出現せず偏在することで、経糸同士が引き揃う結果、交差点の空隙が塞がれている(図5)。よってこの二種類の立体構造の違いが通気性を大きく変えた原因と考えられる。

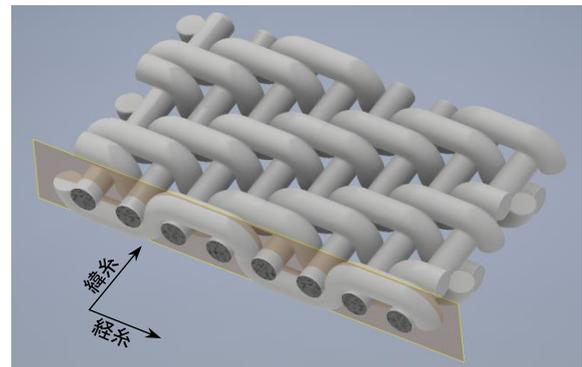


図6 2/2綾織断面のシミュレーション結果

### 3. 3. 緯二重綾組織評価結果

1/3緯二重綾織の評価結果を表8に示す。

上記二種類の綾組織を検証した結果、緯糸を中心とした表裏の経糸が周期的、かつ均一に分布する新たな二層構造(図7、8、9)の組織(1/3緯二重綾織)を提案した。

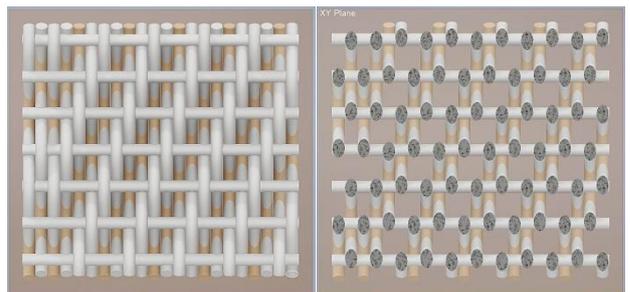


図7 1/3緯二重綾織の織物シミュレーション結果

1/3 緯二重綾織の織物シミュレーション結果を図7(左図)に、織物の厚み方向(Z軸)中心におけるX-Y断面を図7(右図)に示す。

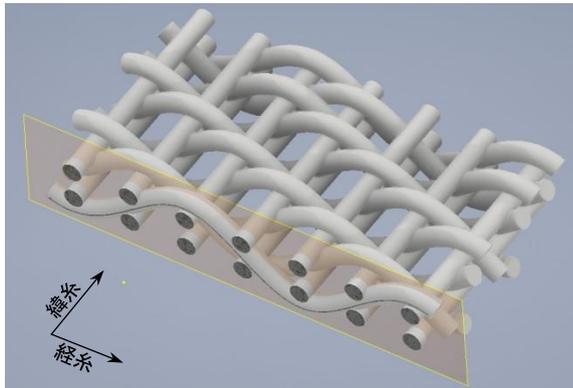


図8 1/3 緯二重綾織のシミュレーション結果

表8の結果から、二層構造(1/3 緯二重綾織)とすることで遮光率を担保し、耐貫通性と通気性が向上することが分かった。

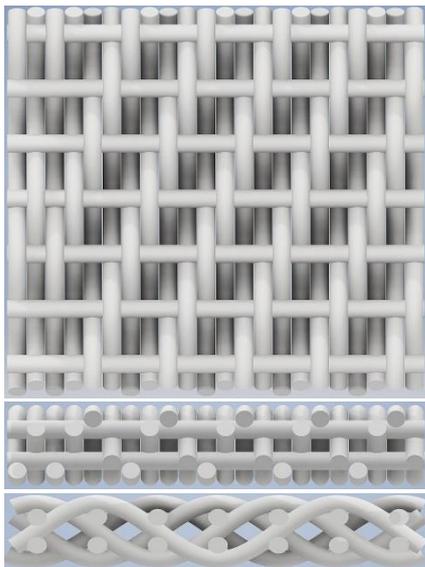


図9 1/3 緯二重綾織の織物シミュレーション結果上：平面、中：緯断面、下：経断面

表8 第三試作の評価結果

	第三試作	目標値	実証試験品
織物組織	緯二重綾織(1/3)		
緯糸密度(本/cm)	19.0		
熱処理時間(sec)	10		
遮光性(%)	96.7	≥95	99.9~100
通気度(cc/cm <sup>2</sup> ・sec)	245.0	≥3.3	5.4~110
耐貫通性(N)	778	≥10	367~1041
目付(g/m <sup>2</sup> )	519	≤350	179~648
繊維充填率(%)	30.2~33.4		

通気性は、2/2 綾織に対して約2倍、1/3 綾織に対して約3.8倍、平織に対して約6倍、実証試験中の市販防草シートの最高値に対しては約2倍を超える性能を有する。

また、耐貫通性は、1/3、2/2 綾織に対して約1.3倍、平織に対して約2.3倍、実証試験中の市販防草シートの最高値に対しては約0.7倍の強度を有する。

一方で、目付は1/3、2/2 綾織に対して約1.1倍、平織に対して約1.4倍、実証試験中の市販防草シートの最高値に対しては約0.8倍の軽量性を有する結果となった。

#### 4. 結言

本研究において、透水性と耐貫通性及び景観性を兼ね備えた新しいタイプの防草シートの開発を行った。

- 1) 平組織によって「耐貫通性、通気性(透水性)、遮光性」の各目標値を達成した。目付については、目標値(≤350g/m<sup>2</sup>)に対して365g/m<sup>2</sup>となった。
- 2) 2/2 綾織は、実証試験中の市販防草シートの通気性(透水性)性能を超え、さらに多重織物にすることによって、約二倍の高透水性防草シートを開発することができた。
- 3) 今回、開発したコーティング繊維織物は防草シート分野に限らず、土木分野等で開発が望まれている盛土等の地盤補強材(高透水性ジオテキスタイル)<sup>2)</sup>として応用できる可能性があった。

#### 参考文献

- 1) 高耐候防草シート(特開 2016-54726)
- 2) 久楽勝行. ジオテキスタイルの土構造物への利用技術の開発.土木学会論文集第4 2 4号, 1990.

#### 用語解説

注1) 防草シート

雑草の繁殖を抑制するための地被シートのこと。

注2) コーティング繊維

芯材の外周部を樹脂で被覆した補強繊維のこと。

注3) 透水性

シート表面から裏面に透過する単位時間当たりの水分量のこと。

# 新規シルクデニット糸の開発

## Research and development of new knit de-knit yarn with silk

福島技術支援センター繊維・材料科 東瀬慎 中村和由 長澤浩

近年の気候温暖化や住宅の高気密化、ライフスタイルの変化等により、アパレル衣料は軽量化、薄地化へ変化してきている。そこでこの動向に着目し、従来開発してきたシルク素材をより軽量化、薄地化できる新しい糸加工技術の確立(新規シルクデニット糸の開発)を進めた結果、伸縮性と嵩高性を満たす製造条件の選定と、酸精練技術の有効性について認を行った。

Key words: デニット糸<sup>注1)</sup>

### 1. 緒言

従来、絹糸に伸縮性、嵩高性を付与する加工方法<sup>1)</sup>(仮撚、樹脂、化学処理等)は様々提案されているが、個々に課題があり、新たなシルク加工糸が市場から広く要望されている。

図1に示す従来技術のニットデニット法<sup>2) 3) 4)</sup>(以下、解編糸)では、仮撚加工糸(ウーリー糸)よりもクリンプが大きく、屈曲性に優れる。また解編糸に内在する残留トルク(撚り癖)がゼロであるためニット(編地)、布帛(織物)にした際にソフトな風合いが期待できる。



従来技術



新技術

図1 ニットデニット法(従来技術と新技術イメージ)

しかし、解編糸を作製する際のテンションでクリンプが完全に伸び切り、その結果、繊細な絹素材では素材特性が十分発揮されないため、市場にはシルクデニット糸が普及しなかった。そこでクリンプの伸び切りを防止するため、ループ状の結節を解編糸の内部に残す新技術を開発した。(特許申請済み)

図2に示す新規シルクデニット糸の特長は、ニット(編地)、布帛(織物)にした際、シルク特有の極めてソフトな素材感を発揮できる点にある。今後、市場ニーズに合致したシルク素材が本研究により提案できれば、国内外に福島ブランドとして市場競争力の高いシルク繊維製品の提供が可能であると考えられる。



図2 新規シルクデニット糸(右:解編前、左:解編後)

### 2. 研究目的・目標

本研究では、国産シルクを活用した新規シルクデニット糸の製造技術の確立を進め、併せて福島ブランド向け蚕品種の選定及び素材評価を目的とする。

本年度は表1に示す新規シルクデニット糸製造に関する基盤技術を確立するため、伸縮性と嵩高性の数値目標を満たす製造条件(織度、針本数、交絡数)の選定を行った。

また、従来のアルカリ精練の欠点(白度低下及び強伸度低下)を補う酸精練技術の有効性について、蚕糸科学研究所の技術協力により導入を行った。さらに次年度へ向けた予備調査として、福島由来の国産蚕品種の選定を蚕業技術研究所の技術協力により併せて行った。

表1 研究目標

H29年度目標	目標①	伸縮性(E) $\geq 3$ 及び 嵩高性(V) $\geq 4$ の達成
	目標②	酸精練技術の導入
	目標③	福島ブランド向け 国産蚕品種の選定(予備調査)

### 3. 試料調整と試験条件

事業課題名「国産シルクを活用した新シルクデニット糸に関する研究開発」

### 3. 1. 試料作製条件

試料作製及び試験条件を表2～6に示す。

表2 原糸及び燃数条件

原糸	中国産生糸 21 中 3 片				
燃数 (t/m)	無燃	300	600	1600	2800
燃方向	Z 方向				

表3 リリヤーン製造条件

装置名	新プレーダーマシン ((株)小塚コーポレーション製 KT-8)	
加工条件	スピンドル (Hz)	800
	巻取 (Hz)	1.5～5.0
	針本数 (本)	2, 4, 8, 16

表4 精練条件

	試薬	界面活性剤	浴比	精練温度	精練時間
酸精練	炭酸ナトリウム (和光純薬工業株式会社)50%owf	スコアロール 700(北広ケミカル株式会社)	1 : 60	80～90℃	0.5H
アルカリ精練	クエン酸(和光純薬工業株式会社)80%owf	0.1g/L		90～95℃	1.0H

表5 デニット(解編条件)

解編本数(本)	3, 5, 7
解編装置	六つ穴ガイド(ヤーンテンション装置)
判別センサー	レーザー判別変位センサー (キーエンス製透過型デジタルレーザーセンサー IG-010)
巻取速度(m/H)	100～400

表6 酸精練の試験条件

	測定機器	測定条件
色差試験	日本電色工業(株)製 NF-999	光源:ハロゲンランプ 照明条件: D65, n=4
強伸度試験	(株)島津製作所製 万能抗張力試験機 AGS-10kNG	掴み間隔 200mm、 引張速度 100mm/min、n=3

次に無荷重糸長 L と 1g 荷重を掛けた際の糸長 L' から伸縮性(E)を下記のように定義し、平均 (n=3) を測定した。

$$\text{伸縮性}(E) = 1g \text{ 荷重長}(L') / \text{無荷重長}(L)$$

また、デニット糸の断面径 (μm) と織度(D) (9000mあたりの重量 g) から嵩高性(V)を下記のように定義し、平均 (n=3) を測定した。

$$\text{嵩高性}(V) = \text{断面径}(\mu\text{m}) / \text{織度}(D) \times \text{補正值}(0.25)$$

### 4. 新規シルクデニット糸作製手順

デニット糸の試作手順は図3に示す。

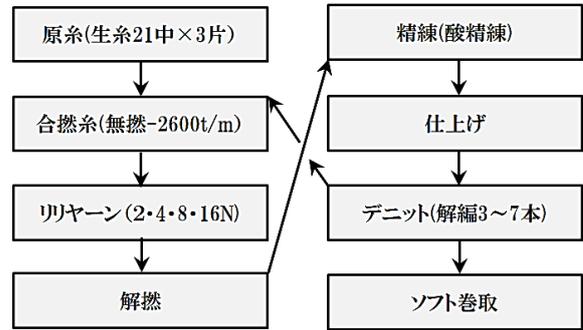


図3 新規シルクデニット糸試作手順

### 5. 試験結果と考察

#### 5. 1. 解編本数に対する巻取速度の検討

試作したデニット糸の評価結果を表7に示す。

解編性を示す巻取り速度を比較した場合、解編本数3本が解編性に優れることが分かった。これは解編本数が増えると、解編糸内のループ結節の絡み合いがきつくなる結果、糸の巻取速度が低くなると考えられた。

表7 解編本数と速度の関係

(○:良好、△:一部不良、×:不良)

	解編本数(本)	巻取速度(m/h)	解編性
解編条件	3	300～400	○
	5	≤150	△
	7	≤50	×

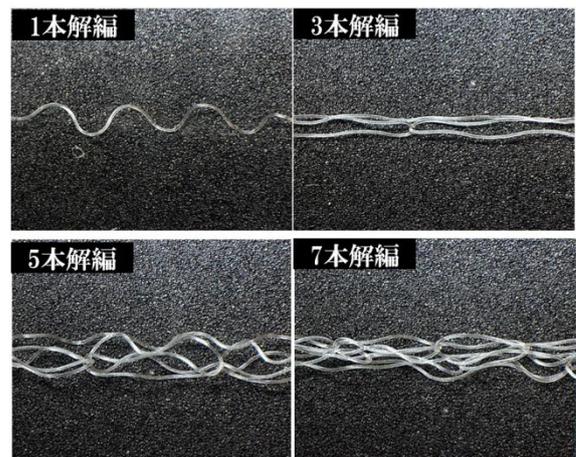


図4 解編本数(側面図イメージ)

この結果から、解編糸の解編本数は3本とし、表1の目標①を満たす条件の選定を行った。

#### 5. 2. 伸縮性、嵩高性に対する燃糸回数検討

試作した新規シルクデニット糸(図5)の評価結果を本報最終ページ表8に示す。燃糸回数が増加すると解

編糸の嵩高性が低下傾向になり、また伸縮性は1600t/mをピークに低下傾向することが分かった。これは撚糸により加工糸の収束性が強くなり、伸縮性と嵩高性が制限されると考えられた。

### 5. 3. 伸縮性、嵩高性に対する針本数の検討

試作した新規シルクデニット糸(図5)の評価結果を本報最終ページ表8に示す。リリヤーンの針本数が増えるほど、ループ間の距離が短くなるため伸縮性、嵩高性が向上するものの、ループ間距離が1mm(針本数16本)以下では、一部を除き嵩高性が低下傾向にある。

以上の結果から、数値目標(伸縮性 $\geq 3$ 、嵩高性 $\geq 4$ )を満たすデニット糸の加工条件を表9に選定した。

表9 選定した作製条件

	撚糸回数(t/m)	針本数(本)	解編本数(本)
作製条件	1600	8	3

### 5. 4. アルカリ精練に対する酸精練の検討

酸精練とアルカリ精練の比較結果を表10に示す。酸精練はアルカリ、酵素精練に対し白度に差は無いものの、強伸度に優位性があることが分かった。しかし精練時間が約2倍長く、今後、処理時間の短縮化が課題となった。

表10 酸精練導入とアルカリ精練の比較結果

	酸精練		アルカリ精練	
色差試験	L=73.8, a=-1.1, b=1.9		L=75.1, a=-1.5, b=1.5	
強伸度試験	破断強度	-4%	破断強度	-11%
	破断伸度	-18%	破断伸度	-27%

### 5. 5. 福島由来の国産蚕品種選定の検討

福島にゆかりのある農林省蚕糸試験場の中里延氏が昭和24年に福島で開発した日122号×支122号をベースに×青熟、×小石丸(一代交雑種)及び対照区(春嶺×鐘月)の国産蚕品種を選定した(表11)。

表11 ふくしまゆかりの蚕品種選定

	日本種	中国種	対照区
比較品種①	日122号	×支122号	春嶺×鐘月
比較品種②	青熟		
比較品種③	小石丸		

### 5. 6. 新規シルクデニット糸による試作品の求評出品

今回開発した新規シルクデニット糸を活用し図6に示す試作品を作製し、求評出品を行った。

展示会名: Japan Textile Contest2017

審査会: 平成29年10月19日(木)・20日(金)

試編条件: 自動横編機 First184s 12G

加工糸: 白(新規シルクデニット糸)

黒(リリヤーン)

編成組織: 二色ゴムジャガード



図6 試作した新規シルクデニット糸編地

## 6. 結言

新規シルクデニット糸について、伸縮性と嵩高性を満たす製造条件の選定と、酸精練技術の有効性、及びふくしまゆかりの国産蚕品種の選定を行った。今後、本技術により市場ニーズに合致したシルク素材が提案できれば、国内外に福島ブランドとして市場競争力の高いシルク繊維製品の提供が可能であると考えられた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、一般財団法人大日本蚕糸会蚕糸科学研究所長の清水重人氏、同じく蚕業技術研究所長の新保博氏にご助言と技術協力を頂きましたことに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

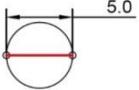
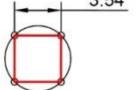
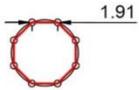
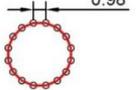
- 1) 嵩高加工糸およびその製造方法(特開2005-336653)
- 2) ニットデニット糸の製造方法(特開2001-098433)
- 3) 捲縮糸の製造法(特開昭52-148250)
- 4) 異色空調ニットデニット糸の製造方法(特開昭49-132349)

## 用語解説

注1) デニット糸

編地を編成した後、逆工程で編み解いた糸のこと。

表8 新規シルクデニット系の評価結果

リリヤーン針本数		2N		4N		8N		16N	
原糸 (21中×3片) 針間隔(mm)									
試作系	燃糸条件	伸縮性	かさ高性	伸縮性	かさ高性	伸縮性	かさ高性	伸縮性	かさ高性
A	無燃	1.9	<u>6.4</u>	<u>3.4</u>	<u>4.8</u>	<u>4.5</u>	<u>4.3</u>	<u>4.3</u>	3.4
	評価	8.3		8.2		8.8		7.7	
B	中燃(300t/m)	1.9	2.7	<u>3.5</u>	<u>4.5</u>	<u>4.4</u>	<u>4.1</u>	<u>4.6</u>	<u>4.1</u>
	評価	4.6		8.0		8.5		8.7	
C	中燃(600t/m)	2.0	<u>6.3</u>	<u>3.7</u>	<u>4.2</u>	<u>4.1</u>	<u>4.6</u>	<u>5.0</u>	3.7
	評価	8.3		7.9		8.7		8.7	
D	強燃(1600t/m)	2.4	<u>5.4</u>	<u>3.8</u>	<u>4.0</u>	<u>5.3</u>	<u>4.2</u>	<u>4.9</u>	3.8
	評価	7.8		7.8		9.5		8.7	
E	強燃(2800t/m)	2.1	1.9	<u>3.4</u>	2.4	<u>3.8</u>	2.2	<u>4.4</u>	2.5
	評価	4		5.8		6		6.9	

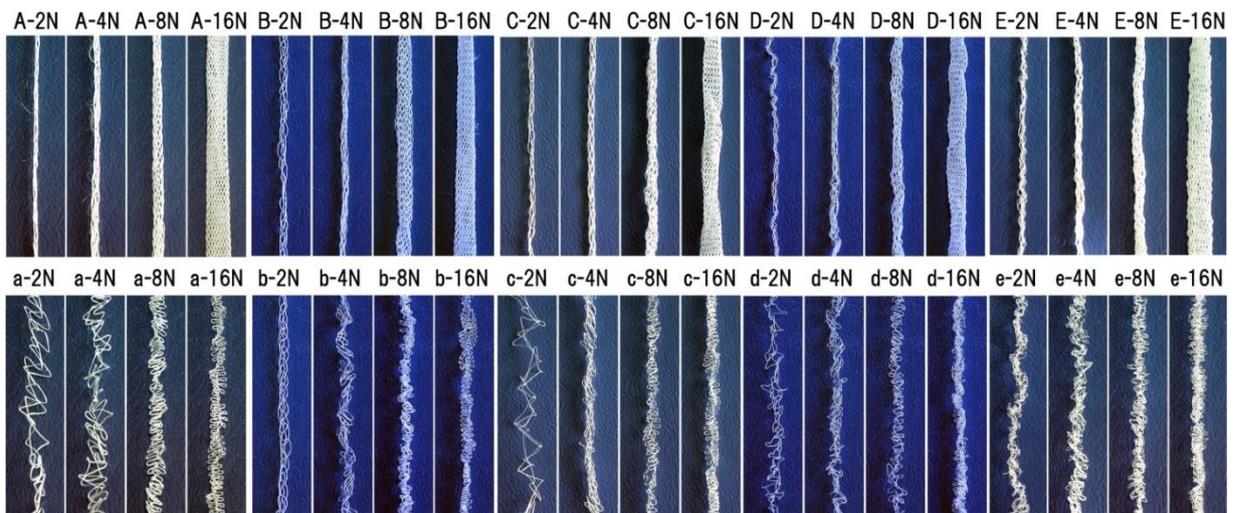


図5 新規シルクデニット系の側面写真  
(上段：デニット前、下段：デニット後)

# 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

## Study on 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 須藤靖典 出羽重遠  
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塗料を用いて、パナソニック株式会社が開発する Sake Cooler の試作品を塗装した。前向きに進めることとなり、IFA への展示や福島県知事へ表敬を行うに至った。また、これを機会に新しい加飾工法としてレーザー加工機を活用した彫漆を提案することができた。

Key words: 含漆UV塗料、Sake Cooler、IFA、彫漆

### 1. 緒言

平成25年から28年度の研究では、含漆UV塗料の「衛生的機能性」として、黄色ブドウ球菌と大腸菌に対し抗菌性を有することが分かった。「物的機能性」としては、速乾性評価試験により塗膜中の漆成分が紫外線照射直後から硬化していることが分かった。また、指紋拭き取り性の向上効果、表面硬度向上による耐摩耗性効果も得られた。折り曲げ性に特化した塗膜では、ベンダー曲げによるR=5、90°までの加工に対し、塗膜のひびや剥離は確認されなかった。これらの結果から、含漆UV塗料が家電製品の塗料として十分な機能性を有するという評価を得た。

平成29年度は、これまでの研究成果を公開して含漆UV塗料を使った塗装品の試作を行った。その中で、アプライアンス社で開発を行っている「Sake Cooler」(図1)の外装塗装を行い、ヨーロッパ最大の家電見本市と位置付けられているIFA(国際コンシューマ・エレクトロニクス展・ドイツ・ベルリン)に展示されるに至った(図2)。また、これまでの研究成果と「Sake Cooler」のIFAへの展示の報告のため福島県知事へ表敬を行った。更に今年度は、漆の技法である「彫漆」を表現する新しい方法としてレーザー加工機を用いて試作を行い、塗装膜2層における工法を確立した。

### 2. 結果

#### 2. 1. Sake Cooler

Sake Coolerとはパナソニック株式会社が開発する、日本酒を想定したボトルクーラーである。ボトルの冷却機能を有し、ボトルをセットすることで正面に配置されたディスプレイに商品情報や蔵元の情報等を表示する仕組みを想定している。

(<http://gccatapult.panasonic.com/sakecooler/>)

IFAでの展示の様子は図2の通りである。今回のブ

ースは白を基調としたデザインであることから、Sake Coolerも白を基調としたデザインとし、塗装加工を施した。



図1 Sake Cooler①



図2 IFA展示の様子

事業課題名「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」

福島県知事への表敬の際は Sake Cooler①と Sake Cooler②（図 3）を持参した。Sake Cooler②は伝統工芸を意識したデザインで塗装を施してある。Sake Cooler①と Sake Cooler②のいずれもトップコートとして含漆UVを塗布し、深み感のある仕上がりとなっている。



図 3 Sake Cooler 塗装品②

## 2. 2. デジタル機器を活用した「彫漆」

新しい加飾工法として、デジタルファブリケーション<sup>注1)</sup>機器を活用した彫漆の表現を行った。彫漆とは、漆の伝統技法であり、何層にも重ねた漆の層を彫刻することで文様を作る技法である。

デザイン図は Adobe Illustrator を用いて作成した（図 4）。レーザーの出力は K (CMYK) が 100% (=黒) の時に出力 100% であり、K が 0% (白) の時は出力が 0% になる。レーザーの出力差とヘッドの送り速度を調整することで任意の深さを彫刻することができる。

レーザー加工を行う塗装板は下地にステンレス板を用い、ステンレス板上に 2 層の塗装膜を形成させた。ここで、2 層の塗装膜はそれぞれ異なる色で着色した。その後、レーザー加工機（ユニバーサルシステムズ M30）を用いて図 4 のデザイン図を基に彫刻を行い、トップコートには含漆UV塗料を塗布し、彫漆パネルを得た（図 5）。

ステンレス板の金属色と着色した 2 層の塗装膜により、想定した文様を作ることができた。その結果、レーザー加工機による「彫漆」において塗装膜 2 層の表現が確立できた。

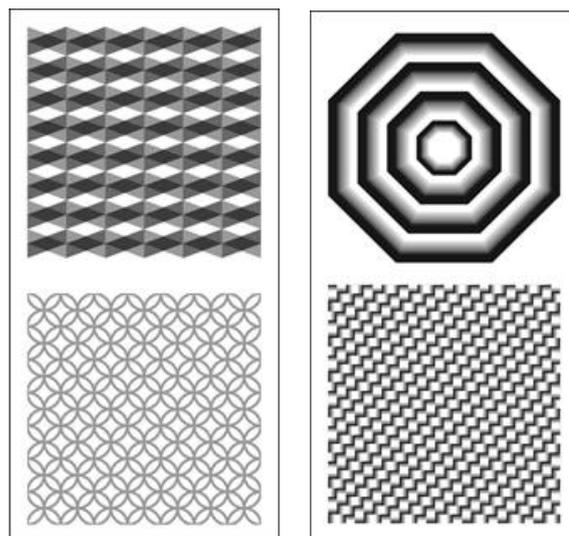


図 4 デザイン図



図 5 彫漆パネル

## 3. 結言

今年度は、含漆UV塗料を用いて数多くの塗装を行い、研究成果の積極的な公開に努めた。その中でも Sake Cooler を塗装したことを契機として、IFA における展示や福島県知事表敬を始め、県内外・国内外問わず、含漆UV塗料を用いた塗装品を展示し、広く評価を求めることができた。

新しい挑戦であったレーザー加工機による「彫漆」は、今回、スプレーガンによる塗装だったため、塗装膜厚のバラつきを考慮し塗装膜 2 層のみの表現にとどまったが、フローコーターを用いることで塗膜の厚さを一定にし、何層も塗膜を重ねることで、より複雑な文様を正確に彫ることも可能であるため、工業的な量産も期待できることが分かった。

また、昨年度の折り曲げ性に特化した含漆UV塗料

と併用することで、より複雑な表現も可能である。

今年度の研究成果とこれまでの研究成果を活かした製品が発売されることを期待したい。

#### **用語解説**

注1) デジタルファブリケーション

デジタルデータをもとに創造物を製作する技術。

# **福島県ハイテクプラザ試験研究報告**

平成29年度（2017年度）

平成30年8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				
織	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](mailto:hightech-info@pref.fukushima.lg.jp)