

研 究 報 告

第 21 号

平成 31 年 2 月



Journal of
Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute

Vol.21

地方独立行政法人
岩手県工業技術センター



地方独立行政法人 岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

TEL: 019-635-1115

FAX: 019-635-0311

ホームページ URL: <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

e-mail: CD0002@pref.iwate.jp

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

第 21 号

目 次

◆ 電子情報技術部

- 1 ロボット技術を活用した農作業の自動化・効率化システムの開発
(研究事業名：平成 28 年度及び平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ))
箱崎 義英、堀田 昌宏、園田 哲也、千田 麗誉、高橋 強・・・・・・・・・・ 2

◆ 素形材技術部

- 2 形彫り放電加工を利用したデジタルシボ製作の検討
(研究事業名：平成 28 年度及び 29 年度 ものづくり革新推進業務 (共同研究))
和合 健、千田 征樹・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
- 3 樹脂 3D プリンタによる加工物の 2D 面寸法補正に関する考察
(研究事業名：平成 28 年度及び平成 29 年度 産業技術総合研究所地域連携戦略
予算プロジェクト)
和合 健、長嶋 宏之、菊池 貴、黒須 信吾・・・・・・・・・・・・・・・・ 11

◆ デザイン部

- 4 コンブウッドシステムを活用する曲木の生活用品への応用
(研究事業名：平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業 (発展ステージ))
内藤 廉二、有賀 康弘・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

◆ 醸造技術部

- 5 清酒醸造に利用可能な乳酸菌の選抜
(研究事業名：平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ))
佐藤 稔英、米倉 裕一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22

ロボット技術を活用した農作業の自動化・効率化システムの開発*

箱崎 義英**、堀田 昌宏****、園田 哲也***、千田 麗誉**、高橋 強**

生産年齢人口の減少に伴う担い手不足解消のためにロボット技術や IoT による生産性の改善が様々な分野で求められている。農林水産省ではスマート農業を提言し、農機具メーカーはロボット農機に関する技術開発を推進している。また、岩手県では農業振興策としてタマネギの育苗技術開発・大規模化・高収益化への取り組みが進められている。本研究では、ハウス内での育苗工程にスポットを当て、タマネギの増産に向けてロボット技術を活用した装置の開発を行った。

キーワード：ロボット技術、播種、育苗、タマネギ

High-efficiency automation system for agriculture using robot technology

**YOSHIHIDE Hakozaki, MASAHIRO Hotta, TETSUYA Sonoda,
YOSHITAKA Chida, and KYO Takahashi**

To solve the problem of labor shortage due to the decreasing production-age population in Japan, productivity improvement using robot technology and the Internet of Things has been gaining great demand in various fields. Accordingly, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan has proposed development of smart agriculture, and agricultural machinery manufacturers have been developing robot technology for agricultural machinery. Furthermore, in Iwate Prefecture, as part of the agriculture promotion plan, the scale and profit of onion cultivation are being increased by developing the seedling raising technology. In this study, the authors focus on the seedling raising process adopted in house and further develop a robot-technology-based device that can increase the scale of onion production.

key words : Robot technology, Seedling, Raising seedlings, Onion

1 はじめに

岩手県は広い県土と変化にとんだ気象を活かし、さまざまな農産物を生産している。その生産量は全国上位にランクされ、全国有数の食料供給基地としての役割を担っている。しかし、岩手県のみならず全国でも少子高齢化や生産年齢人口の減少などによる一次産業衰退の課題をかかえ、国・県はスマート農業を提唱し、ロボット技術や ICT (Information and Communication Technology) による生産性の向上や省力化、自動化、効率化を進めている¹⁾。

財務相の諮問機関である財政制度等審議会では、農業の生産性向上策として、生産が消費を上回る米から収益性の高い野菜に転換するよう提言している。また、国立研究法人農業・食品産業技術総合研究機構（通称：農研機構）では、国産加工・業務用タマネギの7～8月の端境期出荷を可能にする春まき栽培技術の確立を目指して、「東北・北陸地域における新作物型開発によるタマネギの

端境期生産体系の確立」の研究を行い、収益増加に向けた新たな経営品目の導入を推進している²⁾。

本研究では、タマネギの生産における播種から育苗の工程にスポットを当て、ロボット技術を活用した農作業の自動化、効率化のため装置を開発した。

2 自動播種ロボットの技術開発

2-1 播種ロボットの概要

作物の高品質化による収益性向上のためには、丈夫で均一な品質の苗を育てることが重要であり、セルトレイを用いた専用ハウスでの育苗が行われている。セルトレイへの播種作業は、重労働・長時間労働であるために専用自動播種機を使用している。しかし、既存の自動播種機は、耕地面積が5ha以上の大規模経営向けの大型装置であり、複数名の作業員を要し、かつ高価である。このため1,2名で作業する中小規模経営農家において購入は困難であり導入されていない。

* 平成 28 年度、平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業（プロジェクトステージ）

** 電子情報技術部

*** 機能表面技術部

**** 素形材技術部

従来の自動播種機は、機械装置で扱いやすいようにするために、図1に示すような不定形なタマネギの種子を丸粒状に成形したコート種子を利用する必要がある。コート種子は裸種子に比べ寿命が短く、高価である。また、セルトレイには農水省規格もあるが専用のセルトレイを利用しなければならず、生産コストの低減に課題がある。

均一な苗を育てるためには培土の量も均一にする必要があるが、培土をセルトレイ上方から落下供給するため培土の量は不均一である。

そこで本研究では、安価な裸種子や農水省規格の汎用セルトレイを利用し、培土の定量供給を可能とする播種ロボットを試作開発した。



裸種子 コート種子
図1 種子 (タマネギ) のタイプ

2-2 播種機能

種子ピックアップ用の板をスライドさせ不整形種子や扁平種子など裸種子を搬送しながら必要な個数を個別に取り出す手法である。図2に示すように、ピックアッ

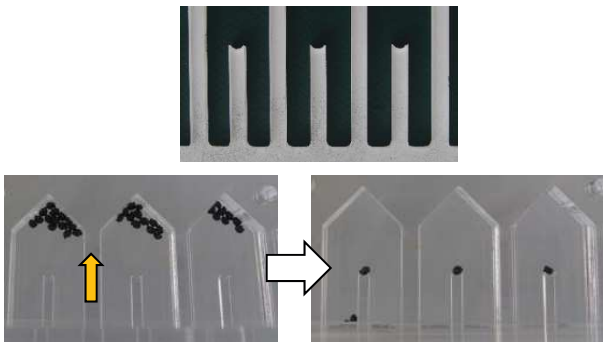


図2 裸種子のピックアップ原理

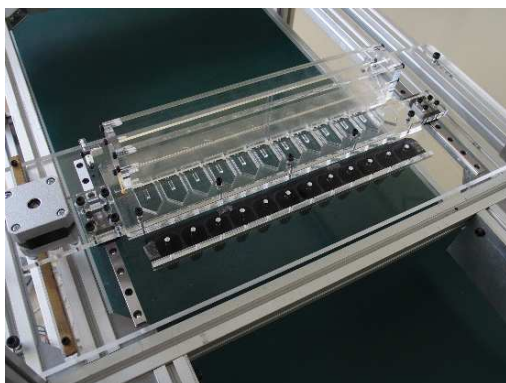


図3 播種機能試作機

プ用の板は種子を保持するための窪みを設けた特徴ある形状をしており、種子を保持し、必要個数分のみ取り出すことが可能である。図3に試作した播種機能試作機を示す。

2-3 培土供給機能

培土の定量供給のため、図4に示すように汎用セルトレイのセルサイズに対応するプレス治具を用いる。培土供給は、培土供給ホッパーよりプレス治具に培土が供給され、培土はプレス治具により圧縮し型締めされピストンが上下することでセルトレイに鎮圧されながら供給される。プレスによる型締めからピストンによる供給の流れを図5に示す。

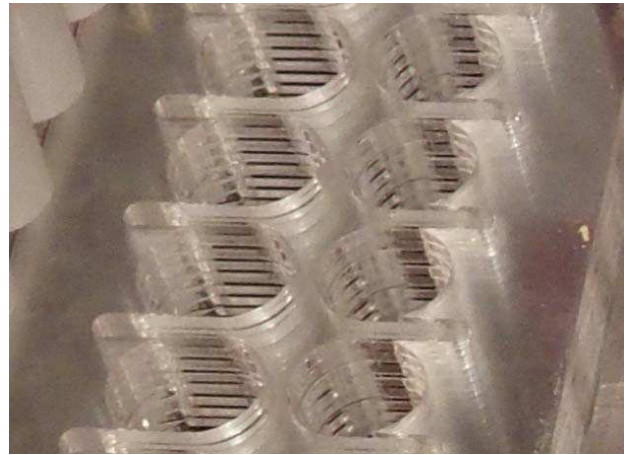


図4 培土プレス治具

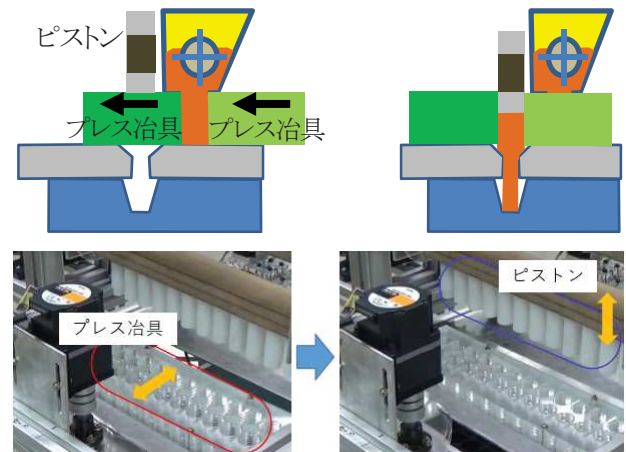


図5 培土供給方法

2-4 灌水機能

セルトレイへの播種後の灌水では、流水による種子のセル外への排出を防ぐため噴霧により行う。図6に灌水装置試作機を示す。



図6 灌水装置試作機

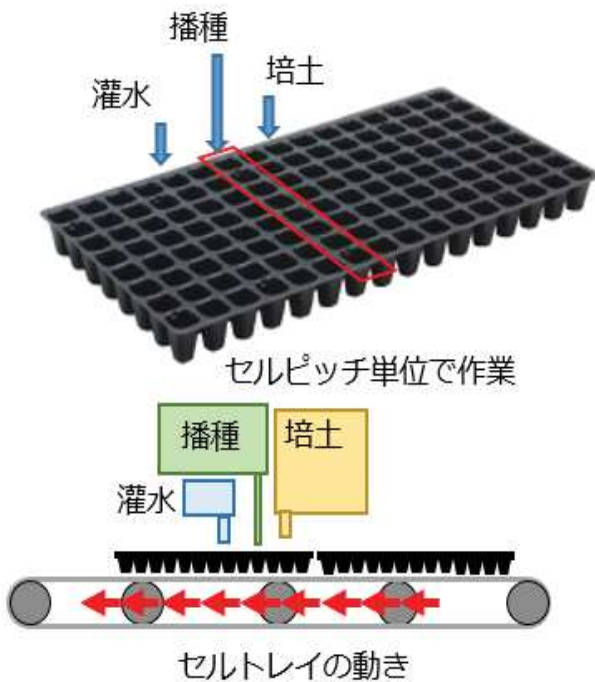


図7 各工程の作業単位

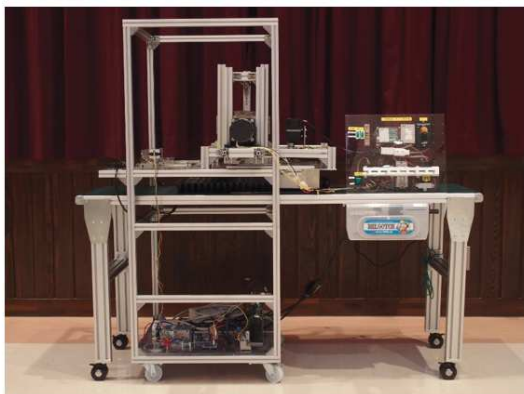
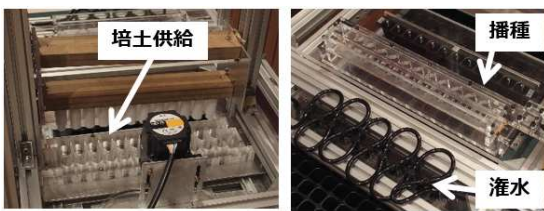


図8 自動播種ロボット試作機

2-5 試作した播種ロボット

従来の自動播種機は、コンベア上のセルトレイを停止させることなく流しながら培土供給、播種、灌水の工程を行っている。各作業がトレイ単位で行っているため、装置全体としてのサイズが大きくなっている。そこで、図7に示すようにセルトレイをセルピッチ単位で間欠動作させ各工程の作業をコンベアの停止時に行うことで装置全体のサイズを小型化することとした。本研究で試作した自動播種ロボットを図8に示す。

3 自動走行ロボットの技術開発

2-1 走行ロボットの概要

農作物の栽培で最も重要とされる育苗工程において、生産性向上の為に自動化と安定した品質の育苗の為に気温・湿度・日照量等の管理にIoTを活用することが望まれている。また、遠隔地において生育状況を確認する方法としてカメラを用いた定点観測もあるが広角画像となるため苗の直近の状況を確認することは困難である。画像による苗の状況確認を的確に行うには、苗の近傍での撮影が必要となる。そのため、遠隔操作により走行ロボットを任意の場所に移動させる必要がある。

そこで、本研究では、育苗工程での巡回型走行ロボットの基本動作に必要な、走行制御、障害物検知、自己位置推定、環境センシングの基本機能を実現するライブラリの構築を行った。

2-2 基本動作ライブラリ

本研究では、図9に示すオカテック株式会社製の走行ロボット MECROBOT により動作確認することとした。走行ロボットは、左右二輪が独立して駆動するものであり両輪の中心を軸にその場で旋回する超信地旋回が可能である。そのため、狭い場所での方向転換が可能で、育苗ハウス内の走行には有効なロボットである。図10にハードウェアの構成を示す。

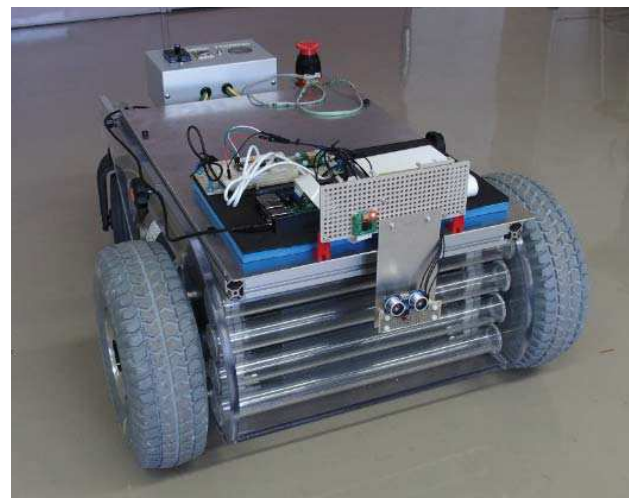


図9 走行ロボット

ロボットにはシングルボードコンピュータの Raspberry Pi 3 を搭載し、走行制御、センサ入出力の指令に利用した。Raspberry Pi と各種センサは I2C (Inter-Integrated Circuit) や SPI (Serial Peripheral Interface) のシリアル通信により入出力が行われており、通信部分をライブラリ化することで各種センサのデータ取り込みを容易にすることが可能となる。

また、無線 LAN を中継器として Wi-Fi により Raspberry Pi とパソコン間の通信を行い遠隔操作やセンサデータの集積を行うこととした。Wi-Fi 通信部分をライブラリ化することでパソコンからの走行指令やセンサデータのパソコンへの取り込みを容易に可能とした。

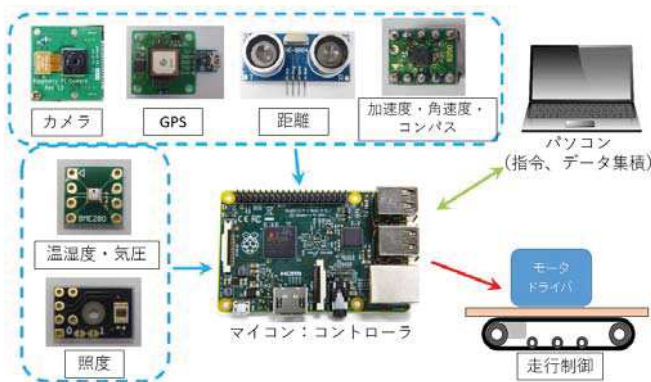


図 10 ハードウェア構成

2-3 障害物検知

走行ロボットの障害物検知では光学式の Lidar (light detection and ranging) をメインに超音波センサ等を併用して行われる。Lidar は、レーザー光を広範囲に照射し高精度に検出可能であるため、不特定多数の人が行き交う場所では有効であるが、超音波センサに比べ非常に高価である。

本研究では、作業も限定される育苗ハウス内を想定していることより対象物の材質や色の影響を受けない安価な超音波センサをメインに検知を行った。超音波センサは送信機により超音波を対象物に発信し、反射波を受信機で受信することにより対象物の有無や、距離を検出するものである。

対象物として農作業で使用する直径 1.5mm の針金から直径 20mm の丸棒の検知の可否について実験を行ったところ、感度調整可能なセンサを用いることで幅 5mm 以上の柱状物体の検知が可能であることが分かった。反射波を利用するため平板等がセンサに対して斜方向に存在する場合には検出が不可能な場合がある。この点については、センサを首振り動作させて検出することにした。また、超音波センサから発信する超音波には広がりがあるため物体同士の隙間の検出が困難である。隙間の検出はロボットの障害物間の通過の可否の判断に必要なことよ

りレーザー距離計を併用することにした。

2-4 超音波センサを用いた自己位置推定

自己位置推定は、GPS やタイヤの回転量を取得するエンコーダ等を併用して行われている。GPS は木の陰や建物の陰では位置情報が取得できない場合もある。そこで、本研究では超音波センサを利用したランドマーク手法による推定を行った。この方法は、超音波送信機をランドマークとして複数設置し、自己位置推定が必要なロボットには超音波受信機を搭載する。

図 11 にランドマーク設置例を示す。ランドマークは推定が必要な範囲内に超音波が送信されるように設置する。ランドマークの位置座標が固定されているので受信機を 360° 回転させることにより、1 回転におけるランドマークの方向が角度として取得でき、座標計算により自己位置が推定することが可能となる。今回、範囲を 10m × 10m として基礎実験を行ったところ 10cm 以内での推定が可能であることが分かった。



図 11 ランドマーク設置例

4 おわりに

本研究では、ロボット技術を活用した農作業の自動化・効率化システムの開発として、自動播種ロボット及び自動走行ロボットの技術開発を行った。自動播種ロボットの開発では、裸種子が利用可能な播種、培土供給、灌水機能を有する自動播種ロボットを試作した。自動走行ロボットの開発では、安定走行、安全対策、環境センシングの基本機能を実現するライブラリの構築を行った。

今後、播種ロボットは企業との共同研究で商品化を目指し、走行ロボットはこれまでの成果を基に新たにナビゲーション技術について研究開発を進めていく。

文 献

- 1) 農林水産省: スマート農業の実現に向けた取組と今後の展開方向について、(2016)
- 2) 農研機構: 東北・北陸地域におけるタマネギの春まき栽培技術 技術解説編、(2016)

形彫り放電加工を利用したデジタルシボ製作の検討*

和合 健**、千田 征樹***

形彫り放電加工によるデジタルシボ製作の適用性を検証するために、シボ模様を凹凸（シボビット）の大小で分類し、特にシボビットが小さい時の梨地面の影響を調べた。形彫り放電加工に適用できる電極のシボビットの高さ（PV 値）は梨地面に埋没しないように、ある程度の高さが必要である。ここでは、その閾値は 54.5 μm 以上との結論を得た。

キーワード: デジタルシボ、形彫り放電加工、梨地面、シボビット高さ

Digital Shibo Manufacturing using Sinker Electric-discharge Machining

TAKESHI Wago and SEIKI Chida

To investigate the applicability of sinker electric-discharge machining to digital shibo machining (i.e., digital surface texturing), shibo (i.e., texture) patterns are classified by the size of the shibo bit (i.e., texture element). In particular, the effect of pear skin (satin-like surface) of steel is examined for an extremely small shibo bit. In order for the shibo bit to not sink into the pear skin surface, a certain height of the shibo bit (PV value) must be maintained on the electrode of the sinker electric-discharge machine. Finally, the threshold size of the shibo bit is found to be at least 54.5 μm .

key words: Digital shibo manufacturing, Sinker electric-discharge machining, Pear skin, Shibo-bit height

1 緒言

シボ性状の加工は意匠デザインを工業製品に付与するために有効な手法である。現在はエッチング法と呼ばれる有機溶剤を利用した方法により製作されている。エッチング法は専用設備が必要になる制限があるため、専用業者でしか取り扱うことができない特殊な製造方法になっている。

エッチング法に代わるシボ性状の製造方法としてデジタルシボが注目されている。デジタルシボは、ソフトウェアと金型製造企業が保有する NC 工作機械を使用してシボ性状が加工できる。このため、県内の金型企業など多くの業種の製造業者が独自にシボ性状の加工が行える。

デジタルシボを実現するためにはマシニングセンタによるミーリング加工が一般的と思われる。マシニングセンタは金型製造企業が保有する汎用的な NC 工作機械であるが、ミーリング加工は被削部を切

削除去する加工法であるため工具摩耗が生じ、工具が欠ける恐れもある。

これに対し、形彫り放電加工は予め形状加工を施した電極を使用し、放電現象を利用して鋼材に転写加工するため工具摩耗や工具の欠けにより生じる不良リスクが低いため、デジタルシボの加工に適している。しかし、放電現象特有の梨地面が形成されるため、微細凹凸のシボ模様の場合では梨地面に埋もれてしまうことも予想される。

ここでは、形彫り放電加工を利用してデジタルシボ製造を行う場合の要点について調べた結果を報告する。この加工法の要点を把握することでデジタルシボを実製造に展開するための選択肢の一つに成り得ると思われる。

2 実験方法

2-1 加工装置

* 平成 28 年度、平成 29 年度 ものづくり革新推進業務（共同研究）

** 素形材技術部

*** 株式会社北上精密

形彫り放電加工機（型式：EDSAN8E、メーカー：三菱電機）の主な仕様を表1、全景を図1に示す。この装置はX、Y、Z軸をボールネジ駆動方式で可動し、各軸に設置されたリニアスケールを利用した目盛取得によりフィードバック制御方式で0.1 μ m単位での正確な位置決めが可能である。放電加工電源はコンデンサ電源とトランジスタ電源の両方を備え、加工面粗さの最小値は0.3 μ mRyである。

表1 形彫り放電加工機の主な仕様

項目	仕様
XYZストローク	300×250×250 mm
XYZ軸制御方式	リニアスケールフィードバック
XYZ軸駆動方式	0.1 μ m
特殊機能	WEDG(ワイヤ放電研削法)
	μ SF電源
	創成放電CAM
加工面粗さ	0.3 μ mRy
加工面真直度	1.0 μ m以下



図1 形彫り放電加工機的全景

一方、表2と図2は、銅電極へのシボ形状のミールリング加工で使用したマシニングセンタ（型式：HSC55 Linear、メーカー：DMG/MORI）の主な仕様と全景である。このマシニングセンタはリニアガイド・リニア駆動であるため精密で速い切削送りが可能であり、高精度加工に適している。

表2 マシニングセンタの主な仕様

項目	仕様	
NC装置	-	Heidenhain iTNC 530
駆動ガイド方式	-	リニアガイド・駆動
作業範囲	X軸 mm	450
	Y軸 mm	600
	Z軸 mm	400
回転軸	A軸 deg	+10/-110
回転軸	C軸 deg	360
最大回転数	min ⁻¹	28,000
最大送り速度	mm/min	80,000
ツールシャンク	-	HSK-A63



図2 マシニングセンタの全景

2-2 加工手順

まず、マシニングセンタを利用して銅電極に切削加工でシボ模様を形成する。シボ模様が付与された銅電極を使用して形彫り放電加工により金型材にシボ模様を転写加工する。この時、銅電極と金型材のシボ模様は反転した形状となる。最終的に樹脂射出成形により樹脂成形製品を製造するが、そのシボ模様は銅電極と同等の形状になる。ここで銅電極はタフピッチ銅、金型材はNAK55（大同特殊鋼）を使用した。

2-2 シボ模様とシボビット

形彫り放電加工によるシボ模様製作の適用性を評価するため、表3に示した8種類のシボ模様を選定した。ここでは放電特有の梨地面とシボ模様の関係を調査するため、特にシボビットに注目した。シボビットとは、シボ模様においてシボを構成する小さい凹凸のことである。図3、4、5に放電加工後の金型を示すが、それぞれシボビット大、シボビット中、シボビット小について、様々なシボ模様を示している。

2-3 シボビットの形状検査方法

形彫り放電加工は非接触加工法であるため、僅かな放電ギャップ分の隙間があり、その隙間で電氣的、機械的及び化学的な作用で除去加工が行われる¹⁾。例えばプレス加工と比較すると、金型と加工物が接触

表3 シボ模様の特性一覧

No.	シボ模様	エッジ	ビット	派性	形状分類
1	玉	dull	大	自然	ランダム
2	ガラス	dull	大	工芸	ランダム
3	パターン	sharp	小	意匠	幾何学
4	タイル	sharp	小	意匠	幾何学
5	にたり大小島津	sharp	中	工芸	幾何学
6	花	sharp	中	自然	ランダム
7	布	dull	中	工芸	ランダム
8	パン	dull	大	自然	ランダム

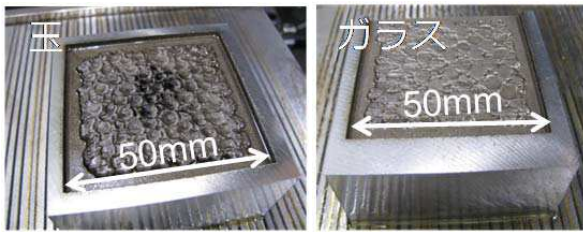


図3 放電加工後のシボ模様「玉」と「ガラス」の金型（シボビット大）

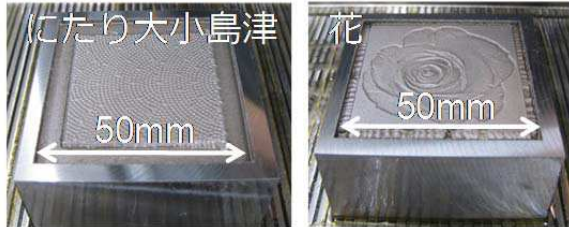


図4 放電加工後のシボ模様「にたり大小島津」と「花」の金型（シボビット中）

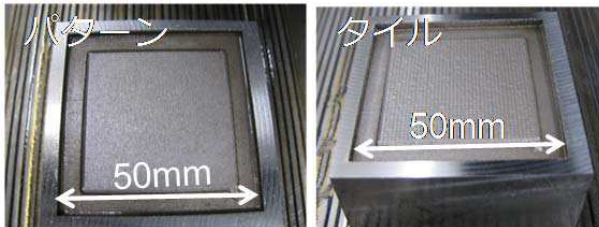


図5 放電加工後のシボ模様「パターン」と「タイル」の金型（シボビット小）

表4 三角測量式形状測定顕微鏡の主な仕様

メーカー	キーエンス
型式	VR-3200
測定範囲	10mm(±5mm)
表示分解能	0.1μm
繰返し精度σ	1μm
XYストローク	184×88mm
Zストローク	90mm



図6 三角測量式形状測定顕微鏡の全景

するため直接的な転写加工が行えるが、形彫り放電加工では電極に与えた微細な凹凸模様は加工分解能の影響から無視され、加工物に微細凹凸が生成されない可能性がある。ここでは、シボビット小に分類

されたシボ性状の微細な凹凸模様が形彫り放電加工によって金型へ転写性されているかの可否について形状検査を行った。形状検査に使用した三角測量式形状測定顕微鏡（以下、TM：Triangulation method contour measuring machine）の主な仕様を表4、全景を図6に示す。TMは三角測量法で高さ方向を測定する方式であり、高さ方向の表示分解能は0.1μmである。

2-4 表面粗さ測定方法

表面粗さの測定は、JIS規格に即した測定方法である接触式表面粗さ測定機（型式：DSF600S_PU-FK1、メーカー：小坂研究所）を利用し、電極と金型について測定した。電極は形彫り放電加工後の表面についてである。この測定機の測定原理は、先端角60°かつチップ径R2μmの粗さ測定用スタイラスで測定物表面を走査し、そのスタイラスの挙動を差動電圧器で増幅して表面粗さを測定する方式である。この装置の分解能は7.5nm、その時のZ方向測定範囲は5mmである。表面粗さ測定では、検査長さ7mm、カットオフ値は0.8mm、評価長さはカットオフ値の5倍、フィルターは粗さ用ガウシアンフィルター、粗さパラメータはRa、Rz、Rt、Rp、Rvの5種類とした。ここで、Raは算術平均粗さ、Rzは最大高さ粗さ、Rtは粗さ曲線の最大断面高さ、Rpは粗さ曲線の最大山高さ、Rvは粗さ曲線の最大谷深さであり、これらにはRz=Rp+Rvの関係がある。

3 結果及び考察

3-1 シボビットの形状検査結果

TMで形状測定した場合のシボビット小のシボ模様「パターン」のカラーマップを図7、断面曲線を図8、同様にシボビット小のシボ模様「タイル」のカラーマップを図9、断面曲線を図10に示す。カラーマップから「パターン」の場合、電極ではシボ模様が表れているが、金型では転写されずに不規則な凹凸のみになっていた。「パターン」の断面曲線から求めたPV値(Peak to Valley; 山谷高さ)は、電極で16.4μm、金型で26.7μmであった。元々の電極のシボ模様の凹凸高さが16.4μmであったものが、形彫り放電加工

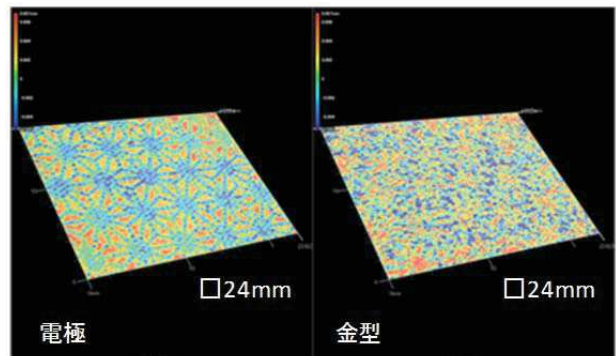


図7 シボ模様：「パターン」のカラーマップ

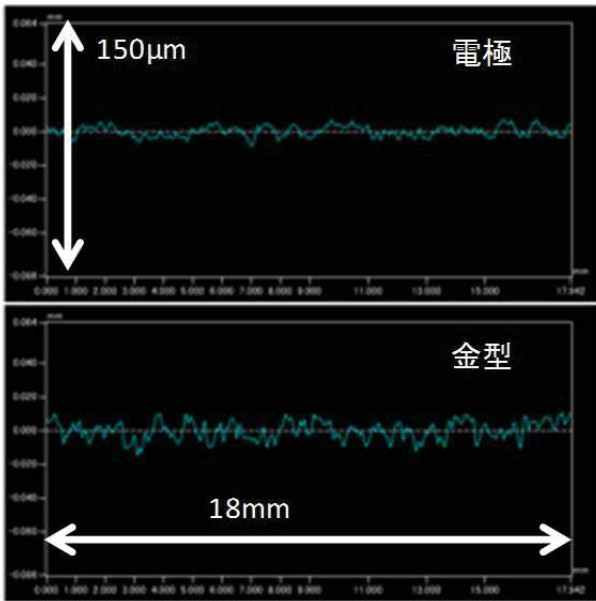


図8 シボ模様：「パターン」の断面曲線

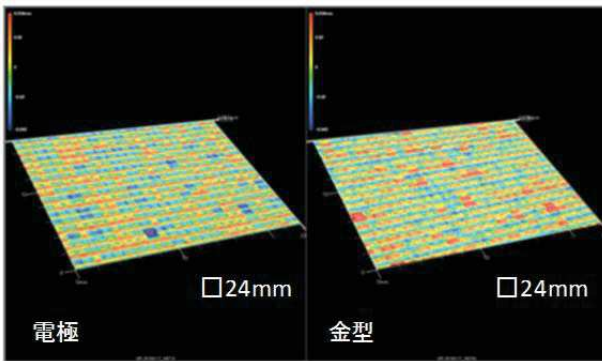


図9 シボ模様：「タイル」のカラーマップ

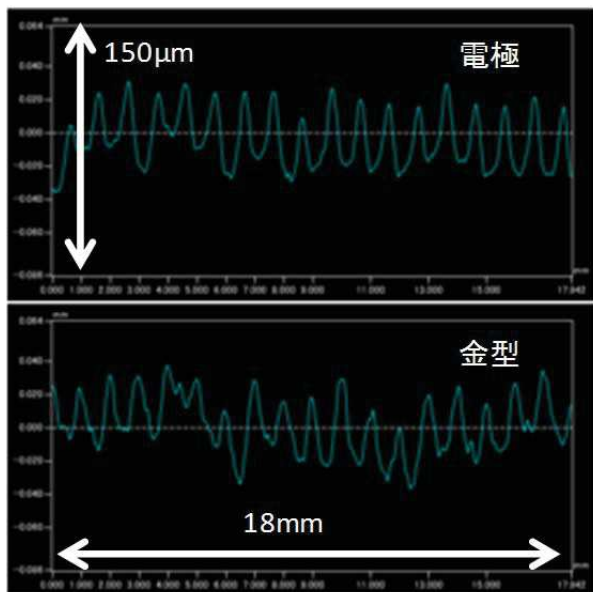


図10 シボ模様：「タイル」の断面曲線

加工され、その結果PV値は大きくなっている。

シボ模様が「タイル」の場合では、タイルを模した幾何学模様が電極と金型で確認できた。さらに、形彫り放電加工では、電極を金型に転写した加工となるため電極と金型は凹凸が反転するが、電極で青色の箇所が、金型では赤色に変わり、正常に形状転写がなされていることが確認できた。ここで赤色は設計値から外側にはみ出した箇所、青色は設計値から内部側に入り込んだ箇所となる。

シボ模様の凹凸は、PV値で電極が54.5µm、金型が47.2µmとなり、ほぼ同等に転写している。一方、シボ模様「パターン」では、PV値で電極が16.4µm、金型が26.7µmとなり、金型のPV値が増加していた。このことからシボビット小では放電加工特有の梨地の影響が表れていることが判る。

3-2 表面粗さ測定結果

シボビット小のシボ模様の形状測定の結果を受けて、表面粗さとの関係性を求めた。図11に「パターン」、図12に「タイル」の表面粗さを示す。「パターン」では電極でRt18.5µm、金型でRt29.8µm、「タイル」の電極でRt25.8µm、金型でRt32.5µmであった。次に図13、14に「パターン」と「タイル」の表面粗さRtと形状PV値を比較した図を示す。「タイル」では金型のRtがPV値より小さく妥当な結果であるが、「パターン」では金型のRtがPV値より大きく、シボ模様が表面粗さに埋没していた。形状測定の結果から、「タイル」の電極のPV値が54.5µmでありこの程度のPV値では形彫り放電加工での梨地面に埋もれない。一方、「パターン」の電極のPV値は16.4µmでありこの程度のシボ模様では、形彫り放電加工で金型にシボ模様を転写した場合、金型の表面粗さが29.8µmとなり梨地面にシボ模様が埋没した。このことから形彫り放電加工でデジタルシボを適用する場合、シボ模様のPV値は電極側で54.5µm以上必要であることが分かった。

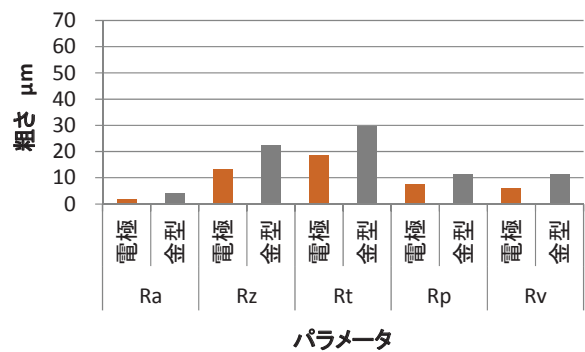


図11 シボ模様：「パターン」の表面粗さ

では金型に転写されず、単なる梨地に荒らした面に

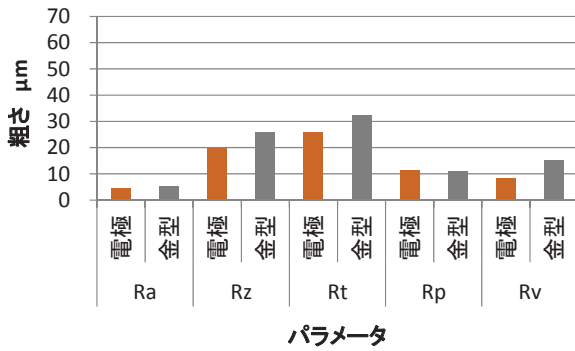


図 12 シボ模様：「タイル」の表面粗さ

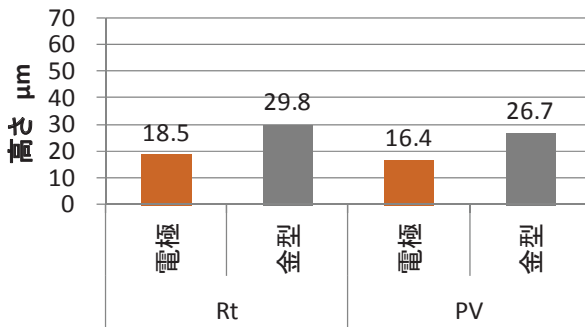


図 13 シボ模様：「パターン」の Rt と PV 値の比較

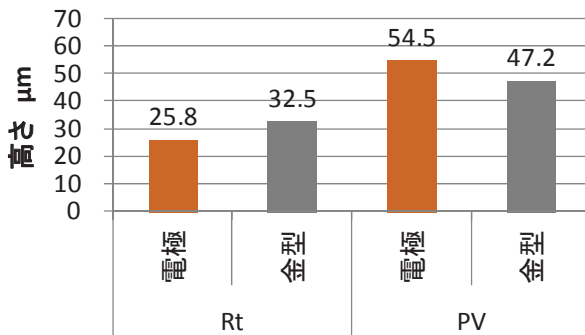


図 14 シボ模様：「タイル」の Rt と PV 値の比較

4 結 言

形彫り放電加工によるデジタルシボ製作の適用性を検証するため、シボビットの大きさをシボ模様を分類し、特にシボビットが小さいシボ模様（以下、シボビット小という）の加工特性を調べた。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) シボビット小のシボ模様を対象にして電極のシボ高さ（PV 値）による型金への転写限界を調べた。電極の PV 値はシボ模様「タイル」で 54.5 μm 、「パターン」で 16.4 μm であった。この電極を使用して型金へ形彫り放電加工をした結果、シボ模様「パターン」ではシボ模様の凹凸が転写されなかった。
- (2) シボ模様「パターン」の場合について電極のシボ模様が型金へ転写出来なかった理由を調べた。形彫り放電加工後の型金の PV 値と表面粗さの関係は、シボ模様「タイル」では PV 値（47.2 μm ）が表面粗さ（Rt32.5 μm ）を上回り、シボ模様が識別できたが、一方、シボ模様「パターン」では型金の PV 値（26.7 μm ）が表面粗さ（Rt29.8 μm ）を下回り、シボ模様が表面粗さに埋没した。
- (3) 形彫り放電加工に適用できる電極のシボ模様の高さは梨地面への埋没を避けるためにある程度のシボビット高さが必要である。その閾値は 54.5 μm 以上であるとの結論を得た。

文 献

- 1) 斎藤長男：図解放電加工のしくみと 100%活用法、技術評論社（1979）pp17-18.

樹脂 3D プリンタによる加工物の 2D 面寸法補正に関する考察*

和合 健**、長嶋 宏之***、菊池 貴****、黒須 信吾**

画像式座標測定機を利用して樹脂 3D プリンタで造形したホールプレートの座標測定を行い、得られた結果を用いて 2D 方向の寸法補正を行った。寸法補正は、設計値と造形後の測定値の比率による変形率から逆算して補正量を求める方式とした。得られた変形率の平均値は、熱溶解積層法で 99.84%、光造形法で 99.60%であった。この変形率を利用した補正值により再造形した結果、位置誤差が熱溶解積層法で平均値 8.52 μm 、光造形法で平均値 27.89 μm となり、位置誤差が初回造形時と比較して 1/5 に低減し、補正の効果を確認できた。

キーワード：樹脂 3D プリンタ、寸法補正、位置誤差、ホールプレート、2D 加工物

Size correction on X–Y plane for work -pieces made with resin 3D printer

TAKESHI Wago, HIROYUKI Nagashima, TAKASHI Kikuchi
and SHINGO Kurosu

The coordinates of hole-plates prepared with a resin 3D printer are measured by a coordinate measuring machine using image processing. Two-dimensional correction of the measured coordinates of the hole plates performed on the X-Y plane of the hole plate. For this purpose, the correction amount is back-calculated from the deformation ratios of the measured coordinates after the first printing of the hole plate by using the design value of the resin 3D printer. The average deformation ratio is 99.84% in fused deposition modeling (FDM) and 99.60% in laser beam lithography (LBL). Next, after the second printing of the hole plate by using the deformation ratios, the average position error becomes 8.52 μm in FDM and 27.89 μm in LBL. The position errors are thus reduced to one-fifth of those in the first printing and the effect of dimension correction method is confirmed.

key words: Resin 3D printer, Size correction, Position error, Hole plate, 2D work piece

1 緒 言

従来の合成樹脂製品製造は、金型を利用した射出成形法により行われていた。射出成形法では、金型離型後に合成樹脂製品寸法が収縮することから、高精度の製品を得るために、収縮分を考慮した金型設計及び成形条件決定などが必要になる。

一方、金型を使用しないで直接的に合成樹脂製品を製造できる 3D プリンタが、現在注目を集めている。さらに 3D スキャナと連携を図るクローズドループエンジニアリングを適用することで、製造物の形状誤差を収束低減化させ、合成樹脂製品を高精度・高能率に製造するこ

とも期待されている。しかしながら、3D プリンタにより製造した合成樹脂製品においても、製造時の寸法精度や紫外線、温度及び湿度などによる経年劣化など、製造技術に関する多くの固有技術がまだ十分に蓄積されていない。そこで、国立研究開発法人産業技術総合研究所を中心に、これらクローズドループエンジニアリングの固有技術を蓄積することを目的としたプロジェクトが進められている。当センターもこれに参加し、共同研究を実施しているが、本報告では、プロジェクトの事務局が示した手順書¹⁾に従って樹脂 3D プリンタで造形器物を製作し、その 2D 方向における寸法補正に取り組んだ結果を

* 平成 28 年度、平成 29 年度 産総研地域連携戦略予算プロジェクト

** 素形材技術部

*** デザイン部

**** 電子情報技術部

示す。

2 実験方法

2-1 造形装置及び製造器物

樹脂 3D プリンタには、熱溶解積層法 (Fused deposition modeling、以下、Fdm と記す) と光造形法 (Laser beam lithography、以下、Lbl と記す) の2種を使用した。主な仕様を表1に示す。

表1 造形で使用した 3D プリンタの主な仕様

Equipment	FORTUS 360mc S	NRM-6000
Manufacturer	Stratasys Ltd.	CMET Ltd.
Method	Fused deposition modeling	Laser beam lithography
Plastics	Thermoplastic resin (filler)	Photocurable resin (liquid)
Vertical pitch	0.127 mm / 0.178 mm	0.05 mm / 0.1 mm / 0.15 mm (select)
Maximum modeling range	W 355 × D 254 × H 254 mm	W 610 × D 610 × H 500 mm

それぞれの装置は造形原理が異なり、Lbl は液体状の光硬化性樹脂をスポット径の小さいレーザービームを照射して固化させる方式である。そのため精細ピッチの造形が行えるが、使用する樹脂が限定される。一方、Fdm は繊維状の樹脂を溶解しノズルから吐出して積層させるため、造形能率は低いが ABS 樹脂など汎用樹脂による造形が可能である。ここでの造形時の積層ピッチは Fdm で 0.127mm、Lbl で 0.1mm とした。

造形器物の形状は、X、Y 両方向の 2D の寸法補正を対象にしたため、平板状の製品形状とした。各造形方式で 3 個ずつ製作した器物を図1に示す。また図2に、造形した器物の設計値を示す。外形寸法は 100×100×5mm であり、X 方向及び Y 方向に 15mm ピッチで φ2mm の貫通穴を全 25 個配置している。

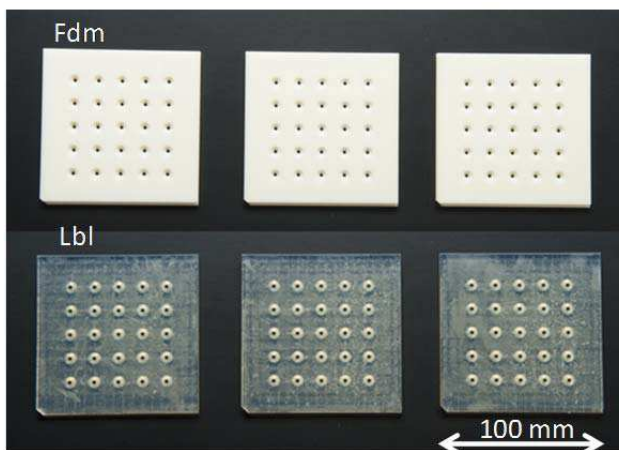


図1 各 3D プリンタで造形した器物

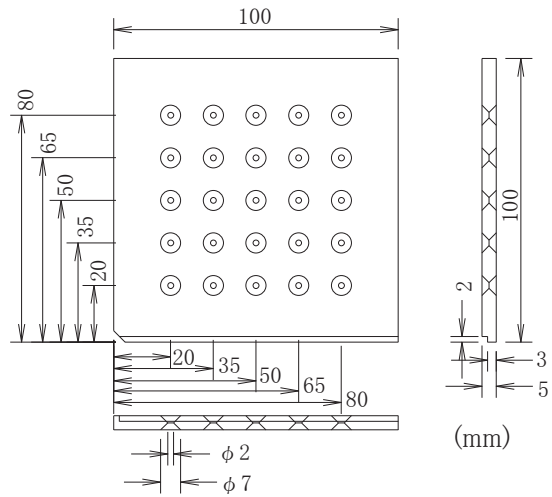


図2 造形した器物の設計値

2-2 座標測定

造形した器物の穴位置は、画像式座標測定機 (型式: HQV404Pro、メーカー: ミットヨ) を用いて測定した。画像式座標測定機の主な仕様を表2に示す。また測定物座標系は図3のとおりであり、図中の番号は穴の位置を示している。

表2 画像式座標測定機の主な仕様

Measurement range	X,Y,Z=400, 400, 250mm
Indicated error (U1)	X,Y axis $(0.8+2L/1000) \mu\text{m}$, Z axis $(3+2L/1000) \mu\text{m}$, (L:length mm)
Indicated error (U2)	X,Y axis $(1.4+3L/1000) \mu\text{m}$
Working distance	34mm
Resolution	2.5 μm (objective lens $\times 1$)
Measurement area	H6.27 \times V4.7mm (objective lens $\times 1$)
Total magnification	$\times 32$ (objective lens $\times 1$)

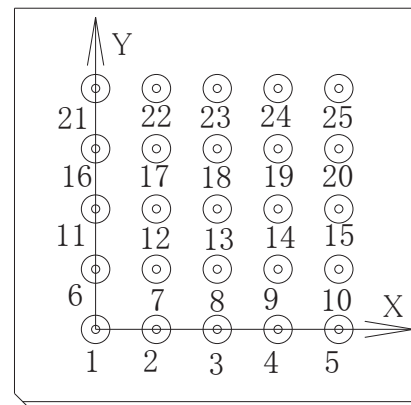


図3 造形した器物の座標系と穴番号

平板面上に (X, Y) 座標を置き、それに対する法線方向に Z 座標を置いて 2D 空間で平面測定を行い、穴1と穴5を通る直線を回転軸として回転角を与えた。したがって、X 軸と Y 軸のそれぞれのゼロ点は穴1の中心座標であり、Z 軸のゼロ点は平板の中心面、すなわち平板上端の面から -2.5mm の位置に置いている。

穴位置の測定方法は、座標測定器にある円測定コマンドの自動エッジ検出機能を利用し、全周 177 点で最少二乗法での円近似により求めた。また測定誤差を除くために反転法を使用し D0、DX、DY、DZ の 4 姿勢で CNC 自動測定をそれぞれ 1 姿勢あたり 5 回繰り返し、1 器物あたり 20 回測定した。

反転法の 4 姿勢とは、X-Y 軸で形成する直交座標系の第一象限に測定物を置いた姿勢を D0 とし、これを X 軸に対して 180° 回転した姿勢を DX、Y 軸に対して 180° 回転した姿勢を DY、さらに DX を Y 軸に対して 180° 回転した姿勢を DZ とするものである。

3 結果及び考察

3-1 設計値からの誤差

まず、Fdm と Lbl で造形した器物を画像式座標測定機で測定し、それぞれの器物の穴の円中心座標を得る。ここで器物の個体番号を添え字 1、2、3 で表し、Fdm₁、Fdm₂、Fdm₃ 及び Lbl₁、Lbl₂、Lbl₃ とする。

最終的に造形器物 1 個あたり X 軸で 25 個、Y 軸で 25 個の穴の円中心座標値を取得し、誤差倍率を加えた座標値 $g(x, y)$ (mm) を式(1)で算出した。x、y はそれぞれ X 軸および Y 軸上の座標値である。

$$g(x, y) = nom(x, y) + s(x, y) \quad \dots (1)$$

ここで、 $nom(x, y)$ は穴位置の設計値 (mm) であり、また $s(x, y)$ (mm) は穴の誤差を 100 倍した値であり、(2)式で与えられる。

$$s(x, y) = \{meas(x, y) - nom(x, y)\} \times 100 \quad \dots (2)$$

$meas(x, y)$ は穴の位置の測定値 (mm) である。

設計値からの誤差を表 3、穴位置を誤差倍率 100 倍でプロットした結果を図 4、5 に示す。図中の黒点で示した 1st_Mea は初回造形での穴位置の測定値で、Nom は穴位置の設計値である。図 4、5 から Fdm と Lbl の双方とも

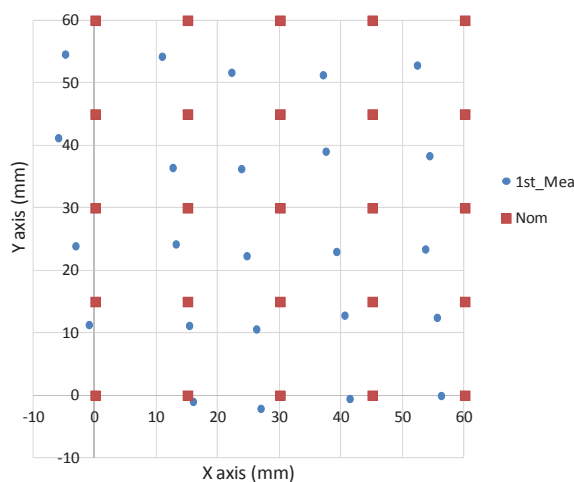


図 4 初回造形の穴位置 (Fdm)

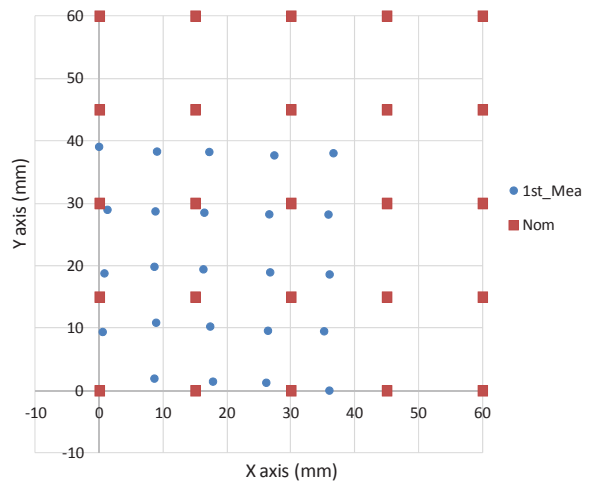


図 5 初回造形の穴位置 (Lbl)

収縮傾向が見られ、収縮の大きさは Lbl の方が大きいことが判る。

表 3 に示した設計値からの差は、造形方法毎に 3 個ずつ製作したものの平均値である。平均値の算出は正/負の符号で誤差値が相殺されないように絶対値を取って求めた。設計値からの誤差は Fdm の方が Lbl より小さく、そのため標準偏差 σ も小さく算出された。

表 3 初回造形時の位置誤差

	μ m	
	X	Y
Fdm1,2,3 (average, n=75)	42.79	56.70
σ (n=150)	27.03	
Lbl1,2,3 (average, n=75)	126.12	113.92
σ (n=150)	84.30	

3-2 補正座標値の算出

3-1 項で得られた設計値からの誤差を用いて造形時の膨張収縮分を見込んだ補正を行うことで、設計値からの誤差を小さくする方策を検討した。その結果、以下の方法で補正できることを見いだした。

まず、初回の造形で穴位置を測定し、その穴位置から設計値に対する変形率を求める。次に、その変形率を利用して再造形を行うと、再造形時に変形率には変形率に従った膨張収縮が生じて設計値に収束する。このことを用いて穴の位置誤差を縮小させる方法。ここで変形率 def (%) は、ある座標 (x, y) での測定値及び設計値を $L_{mea}(x, y)$ 及び $L_{nom}(x, y)$ とすると式(3)、(4)で求められる。

$$L_{mea}(x, y), L_{nom}(x, y) > 0 \text{ の場合} \quad \dots (3)$$

$$def = \frac{L_{mea}(x, y)}{L_{nom}(x, y)} \times 100$$

$$L_{mea}(x, y), L_{nom}(x, y) \leq 0 \text{ の場合} \quad \dots (4)$$

$$def = \frac{\{L_{mea}(x, y) + 1\}}{\{L_{nom}(x, y) + 1\}} \times 100$$

ここで式(4)は、設計値が 0 の場合は計算できないため、0 から 1 の偏りを与えて計算する。

次に補正座標値は、 $L_{comp}(x, y)$ を最終的に求める補正座標(x, y)とすると式(5)、(6)より求められる。

$$L_{mea}(x, y), L_{nom}(x, y) > 0 \text{ の場合} \quad \dots (5)$$

$$def : 100 = L_{mea}(x, y) : L_{comp} \text{ より}$$

$$L_{comp} = \frac{100 \times L_{mea}(x, y)}{def}$$

$$L_{mea}(x, y), L_{nom}(x, y) \leq 0 \text{ の場合} \quad \dots (6)$$

$$L_{comp} = -1 \times L_{mea}(x, y)$$

式 (5) は比例の計算式により 100%時の座標値を求めるものである。設計値が 0 の場合の対策として、式(6)により 0 を起点に反転する方法としている。

表 4 に、式(3)、(4)により算出した変形率を示す。得られた変形率の平均値は、Fdm で 99.84%、Lbl で 99.60% となった。変形率のばらつきを標準偏差 σ で表した結果、Fdm で 0.972 %、Lbl で 0.447 % となった。Lbl は Fdm より変形率は大きい、ばらつきが小さく、補正精度は高くなると予想される。

表 4 式(3)、(4)より算出した変形率

	%		
	X	Y	
Fdm1,2,3 (average, n=75)	99.88	99.79	
Average (n=150)	99.84		p
σ (n=150)	0.972		
Lbl1,2,3 (average, n=75)	99.58	99.63	
Average (n=150)	99.60		
σ (n=150)	0.447		q
q/p × 100	99.77		

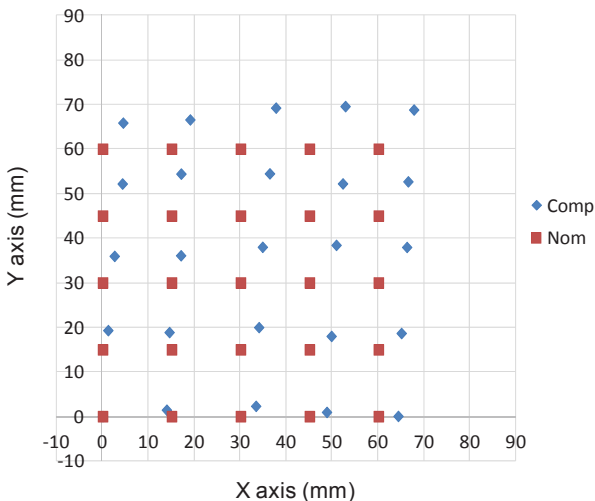


図 6 式(5)、(6)により算出した補正値 (Fdm)

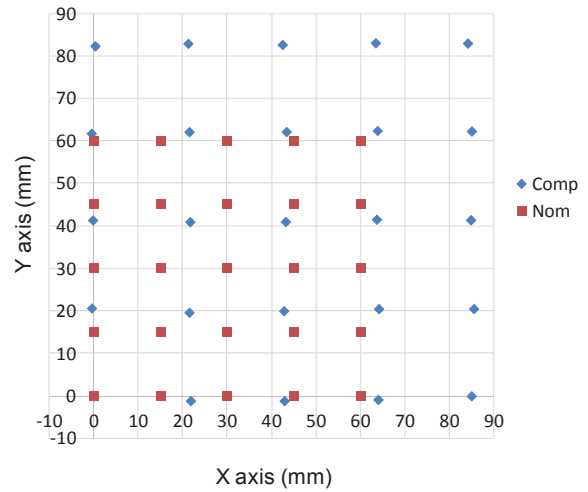


図 7 式(5)、(6)により算出した補正値 (Lbl)

補正値の座標プロットを図6、図7に示す。図中のComp は再造形で使用する補正した穴位置、Nom は穴位置の設計値である。適正な補正が実施されれば、図中の補正した穴位置が造形後に設計値へ収束することが見込まれる。

3-3 再造形の結果

式(3)~(6)で得られた変形率を利用して補正した座標値で 1 個ずつ再造形した結果を図 8、9 に示す。図中の 1st_Mea は初回造形時の穴位置の測定値、2nd_Mea は再造形時の穴位置の測定値、Nom は穴位置の設計値である。造形条件は初回造形時と同様としている。その結果、図 8、9 のとおり補正が良く機能し、初回の造形時に比較して再造形時で位置誤差が小さくなっている。

表 5 に位置誤差を示す。位置誤差は Fdm の平均値 8.52 μ m、標準偏差 σ 9.62 μ m、Lbl の平均値 27.89 μ m、標準偏差 σ 15.68 μ m になった。これは、初回造形時の位置誤差と比較して、再造形時の位置誤差が Fdm では 0.17、Lbl では 0.21 になり、位置誤差はほぼ 1/5 に縮小した。

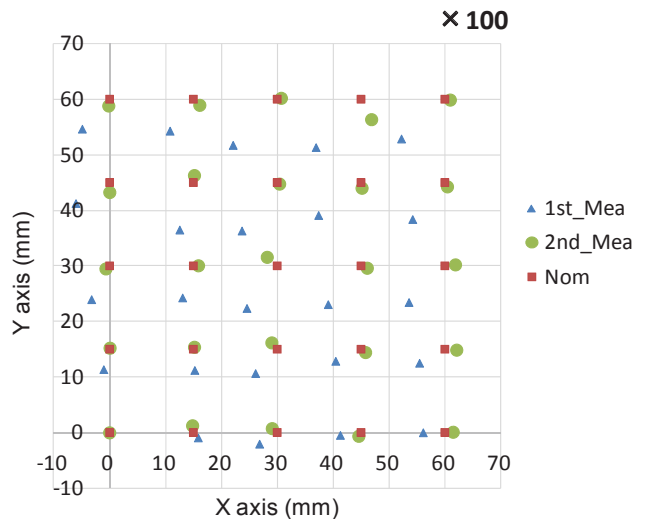


図 8 再造形の穴位置 (Fdm)

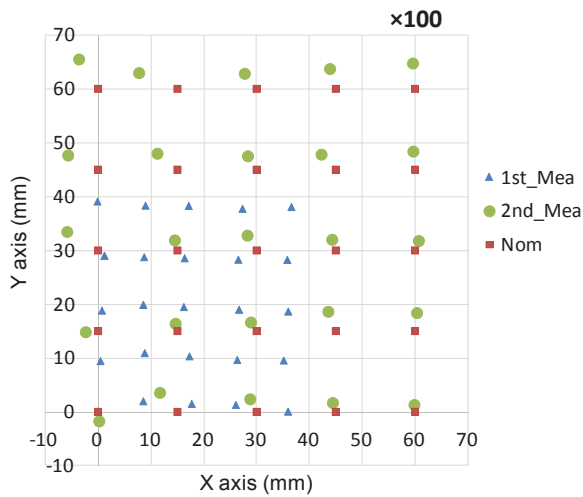


図 9 再造形の穴位置 (Lb1)

表 5 再造形後の位置誤差

	μm	
	X	Y
Fdm1,2 (average, n=50)	8.12	8.52
σ (n=100)	8.39	
Lbl1,2 (average, n=50)	21.55	27.89
σ (n=100)	13.80	

4 結 言

以上の測定結果と考察、および再造形の結果から、次

のような結論を得た

- (1) 熱溶解積層法と光造形法の二種類の樹脂 3D プリンタにより造形した器物の穴位置を比較したところ、設計値からの誤差は熱溶解積層法で $56.70\mu\text{m}$ 、標準偏差 $\sigma 28.70\mu\text{m}$ 、光造形法は $126.12\mu\text{m}$ 、標準偏差 $\sigma 83.39\mu\text{m}$ となり、双方とも収縮方向に変形していた。
- (2) 造形した器物の穴位置を設計値に近づけるため、初回造形時に設計値からの変形率を求め、その変形率から逆算して補正量を求める補正式を導いた。ここでの変形率は熱溶解積層法で 99.84% 、光造形法で 99.60% と算出された。この方法では基準座標が 0 の場合は計算できないので、その場合はゼロ点を起点に符号を反転させる簡易な方法をとった。
- (3) 補正を行い再造形した結果、位置誤差は熱溶解積層法では平均値 $8.52\mu\text{m}$ 、標準偏差 $\sigma 9.62\mu\text{m}$ 、光造形法では平均値 $27.89\mu\text{m}$ 、標準偏差 $\sigma 15.68\mu\text{m}$ となり、初回造形時の位置誤差と比較すると再造形時の位置誤差は約 $1/5$ に縮小された。

謝 辞

この研究は、産総研地域連携戦略予算プロジェクト「3D 計測エボリューション」(3D プロジェクト)で実施した。本共同研究に携わったすべての研究者に感謝する。

文 献

- 1) 3D3 プロジェクト運営協議会：実施ガイドライン地域課題 2 (2016)

コンプウッドシステムを活用する曲木の生活用品への応用*

有賀 康弘**、内藤 廉二

筆者らは、コンプウッド処理を施した木材は、施さない木材に比べ弾性が大きくなる（弾性係数が小さい）こと、圧縮保持時間を長くした処理材はさらに弾性が大きくなり、曲げ加工時における最小曲げ半径を小さくできることを明らかにしてきた。

本報告では、これらの知見を基に、曲げ木を利用した木製品の設計やデザイン上の制約を減らすことを目的に、木製家具などの具体的なプロトタイプを試作し提案するとともに、展示会においてユーザーの評価を得たこと述べる。

キーワード:コンプウッドシステム、曲木、木材加工

Application of bending wood compressed by Compwood system to home products

YASUHIRO Aruga and YASUJI Naitou

We have already found that compared with unprocessed wood, woods that is compressed by the Compwood system has a low elastic modulus and the compression-holding time is made longer, the bendable radius becomes smaller. On the basis of these findings, several wooden products such as furnitures have been proposed and made as a trial to reduce the constraints in designing of bent-wood products. Furthermore, these products have been evaluated by visitors at trade -exhibitions.

key words : Compwood-system, Bent wood, Wood processing

1 緒 言

コンプウッドシステムによる曲木技術は、一般的な蒸煮法による曲木では困難な木製品の製作が可能で、従来の工法（家具製法、指物製作技法）では成し得なかった造形も可能である。これは、企業にとって製品開発や新しいデザイン展開の機会が増えるものであり、他産地との差別化や新たな木工ブランドの創出にもつながる。また、減少してきている広葉樹資源の活用にも有効である。

これまで岩手県工業技術センターでは、保有するコンプウッドシステム（圧縮処理木材による曲木技術）による曲木技術に関する試験研究、技術支援等に取り組み、県内で主に使用されている広葉樹についてコンプウッドシステムによる処理適性、保存性、曲げ加工性等を把握し、新しい曲げ木技術の導入を促進するための活用ノウハウの蓄積を行ってきた。その中でコンプウッドシステムで圧縮処理（コンプウッド処理）した後、乾燥させた木材は、弾性係数が小さくなり、圧縮保持時間を 10 分から 360 分とすることでさらに小さくできることを明らか

かにした¹⁾。また、ブナ、カエデ、ケヤキ、センについてコンプウッド処理時の圧縮保持時間を 360 分としたものは、圧縮保持時間 10 分のものと比較し、最小曲げ加工半径が小さくなり、同じ曲げ半径の場合では最小曲げ加工の成功率が高くなることも確かめられた²⁾。

これらの知見を基に、本研究ではコンプウッドシステムで処理した木材を従来の木工技術と効果的に組み合わせることで製品設計やデザインの制約を低減し、新たな製品開発やデザイン展開の可能性を探ることとした。コンプウッドシステムの木製家具等生活用品への活用提案として具体的な製品プロトタイプを試作するとともに、それを展示会に出展して来場者からの評価を収集した。以下にそれらの結果を報告する。

2 実施方法

本研究では、コンプウッドシステムの活用を目指し、以下の方法で製品や木製品のプロトタイプを試作し、実用可能性を調べた。

(1) 「丸形抽斗筆筒」への応用

* 平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業（発展ステージ）

** デザイン部 現 主任専門研究員

丸形の抽斗を備える収納家具（製品名：堂円箆筥、どうまるたんす）を開発したいという県内の和家具メーカーからの相談に対し、コンブウッド処理時の圧縮保持時間を360分としたケヤキを用いて木口断面寸法36×95mmの一本の無垢材を目切れすること無く内径270mmの円形に曲木加工することを試みた。

(2) プロトタイプの試作

広葉樹の木製家具及び小木工品等について提案するとともに、実用可能な製品プロトタイプを試作した。試作には、木材の弾性（しなり）を大きくする性能付加や、常温下での3次元曲木加工を効果的に応用するため、圧縮保持時間を24時間でコンブウッド処理した広葉樹（ケヤキ、ブナ、イタヤカエデ）を用いた。

(3) プロトタイプの評価

試作したプロトタイプを展示会「WOOD コレクション（モクコレ）2017」（主催：東京都、会場：東京国際展示場、会期：2018年1月30日、31日）に出展してデモンストレーション（実際の機能を示す）を行った。また、来場者に使っていただきながら問題点、提案の実現可能性等について聞き取り調査を行った。

3 結果と考察

上述の試作とその実用性評価から、以下の知見を得た。

(1) 「丸形抽斗箆筥」への応用

これまで、圧縮処理時間10分としたコンブウッド処理では曲げ加工時に裂けなどが発生して実用化できなかった。そのため半円形状に曲げ加工した部品を2個組み合わせ合わせて円形の抽斗を擬似的に製作した。この方法の欠点は、木目の連続性が無いことや、材料の無駄が多いことなどである。そこで、図1のように一本の無垢材を円形に曲げる加工を試みた。

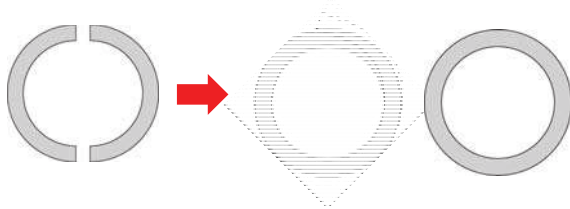


図1 目切れの無い円形曲木の加工法

圧縮保持時間360分でコンブウッド処理したケヤキを用いて、抽斗部材と同寸法の木口断面寸法36×95mmのケヤキを内径270mmの円形に曲げる曲木加工試験を行った。加工には帯鉄を併用して、これまで加工困難だった曲木加工を可能にした。

従来の蒸煮法による曲木加工では、オートクレーブから取り出した木材の温度が高いうちに加工を終えなければならない。通常、その加工時間は10分程度と思われ、素早い加工作業に習熟していることが求められる。それに対して、コンブウッド処理したケヤキは室温で曲

木加工ができるため、加工終了まで30分程度の時間をかけることが可能であった。このことから加工時間に余裕ができ、作業習熟者でなくとも断面の大きな木材の曲げ加工の作業を落ち着いて進めることができた。写真1、写真2は実際の曲げ木加工の様子を示したものである。

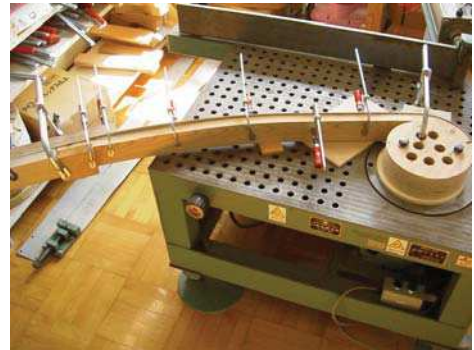


写真1 常温下での曲げ木加工の様子

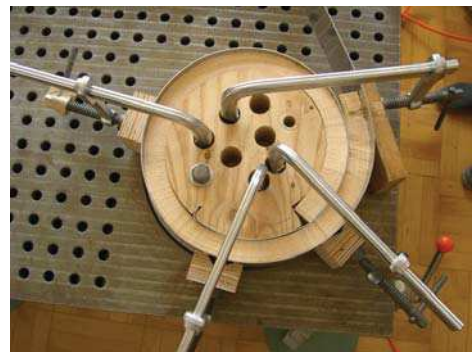


写真2 曲げ木加工終了時の様子

(2) プロトタイプの試作

コンブウッド処理材を効果的に応用する生活用品として、アームチェア、ツール、靴べらの提案を行い、その具体的な製品のプロトタイプを試作した。プロトタイプを作製する目的^{3) 4) 5)}は以下のとおりである。

- 製品機能を実際に試して完成品に盛り込む要件を明らかにできる。
- 問題点の理解が具体的にでき、予測可能な問題と予期せぬ問題の両方に対し対策ができる。
- 試作することでうまくいかない方法を早期に排除し、成功する方法に絞り込むことで製品化にあたっての失敗のリスクを回避できる。
- 設計に関して正しい判断を行うことができる。

上記目的のため、コンブウッド処理材を用いる以下の木製品を提案し、プロトタイプを試作した。

① アームチェア

コンブウッド処理材の曲木加工がしやすくなること、弾性が大きくなる（しなりやすい）ことを活用し、クッション性のある木の座面を持つアームチェアを提案するためプロトタイプの試作を行った。コンブウッド処理材の特徴を、背もたれ、肘掛け、座面に活かして全体的に

柔らかさを感じるものとした。プロトタイプ試作前のアイデアスケッチ（一部）を図2に示す。



図2 アームチェア（アイデアスケッチ）

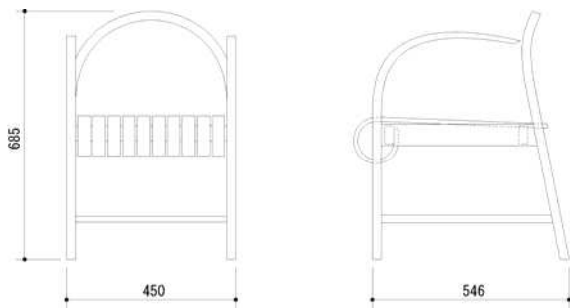


図3 アームチェア外形図

プロトタイプ的设计、デザインにおいては、コンプウッド処理材を活用する曲木を多用することで得られる特徴を以下の方法で具体化した。

- I 腰掛けたときの座面にかかる体圧を分散できるように、座面にコンプウッド処理材の曲げ木部品をすのこ状に配してそれぞれの部品が独立してしなるようにした。座面は、前台輪部に固定してそこから円を描いて後方へ伸び、後台輪上部で支持される様にし、後端を固定しない構造とすることで、座面のクッション効果を持たせた。また、膝裏の当たりの柔らかさも考慮した。
- II 背もたれと後脚を一つの曲木部品で構成し、体のフィット感を良くするために背もたれは3次元曲線を描くようにした。背もたれと脚の部品は、複雑な曲線を木目の通った一木で表現する曲木の特徴がよく示されるものとなった。
- III 前脚と肘掛けも曲木部品で一体とし、さらに肘掛け後端を固定しない片持ち構造とした。これによってしなりやすく、肘を乗せた時の感触を柔らかくした。
- IV 材料は、コンプウッド処理したケヤキを用いた。

完成したプロトタイプのアームチェア外観を図3、写真3～5に示した。また、アームチェア（プロトタイプ）の試作過程を写真6～8に示す。



写真3 アームチェア（正面および側面）



写真4 アームチェア外観



写真5 アームチェア外観



写真6 座部品の曲げ加工の様子と治具



写真7 背もたれの3次元曲げ加工

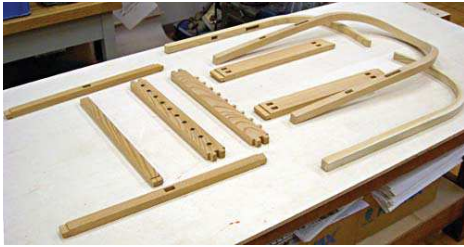


写真8 アームチェア部品（座部品を除く）

② ツール

コンウッド処理材の弾性が大きくなることを活かすため、あえて曲げ木加工せずに特徴的な“しなる”機能をそのまま座面のクッションとし、これをできるだけシンプルな表現でツールにデザインした。本体にスギを、座板に弾性が大きくなった広葉樹（ブナ）を組み合わせた。スギを使うことで重さ2.2Kgの軽量椅子となった。

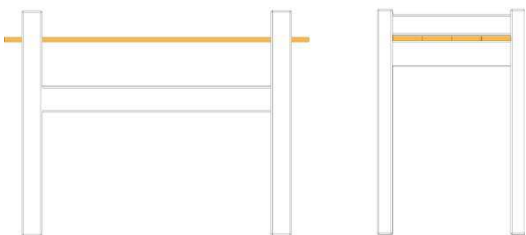


図4 ツール外観

完成したプロトタイプのスツール外観を図4、写真9に示した。座板がそのままクッションとして機能する様子を写真10に示した。



写真9 ツール外観



写真10 座板のしなる様子

③ 靴ベラ

無垢材から削りだして成形する方法ではなく、薄板の3次元曲げ加工によってかかとに沿う曲面を成形する。これにより材料の歩留まりを大幅に向上できる（写真11）。



写真11 靴ベラの木取り

併せて“しなる”機能の付加によって靴に差し込む際の使いやすさ、使いごちの向上も狙っている。材料にはイタヤカエデを用いた。曲げ加工による成形を写真12に、完成したプロトタイプの靴べら外観を写真13に示す。

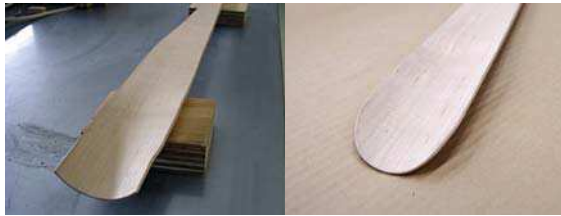


写真12 靴べらの曲げ加工と成形



写真13 靴べら外観

(3) プロトタイプの評価

試作したプロトタイプを「WOOD コレクション (モクコレ) 2017」(主催:東京都、会場:東京国際展示場、会期:2018年1月30日、31日)に出展し(写真14)、来場者に使用していただきながら評価を聞き取り調査した。結果はつぎのとおりである。

① アームチェア (回答者数 34)

座の弾力が興味深い、クッションいらずなど、木の弾力を良いと感じる人は44%、落ち着かない、不安感を覚えるという人は12%だった。アームのしなりから不安感や弱々しさを指摘する意見が24%あった。全体の印象として格好が良いとする人がいたものの、背もたれのあたり具合、椅子の寸法に対して検討が必要という指摘もあった。

② スツール (回答者数 27)

座板がたわむことに対して、やわらかく支えてくれる、心地良いなど、良とする人は37%あった。一方で、想像以上にたわみすぎて怖いという人が48%あった。これには、座板がしなると同時に支持部品とこすれあってギシギシと音が出たことも、不安感

を煽った一因と思われた。全体の印象として座板のたわむ量が大いことに驚く人が多かった。シンプルな形状から子供用椅子に向いているという意見や、このスツールに背もたれ(座板と同様の材料)を付けた椅子を提案する人もいた。

提案した製品は、製品の部品寸法や構造の検証を重ねながら適切なデザインをさらに検討する必要がある。今回は、それに対処する手法として製品プロトタイプを製作することが有効であることも確認できた。例えば、スツールのプロトタイプに発生した不快な音の発生については、座板とそれを支持する部品との接触部分を改良することで防止できると予想される。



写真14 「WOOD コレクション 2017」会場

4 まとめ

以上からコンプウッド処理した木製品について、以下のような知見を得た。

- (1) 広葉樹の曲木加工は、熟練者でなくても時間的余裕を持って加工ができ、加工の自由度が高い曲木は、材料の歩留まり向上に寄与することを確認できた。
- (2) 広葉樹を用いて、生活用品の製品プロトタイプを試作し、椅子の座面に用いた場合には、着座時に座面が体重によってたわむことから従来のクッション材を用いない木製椅子の印象とは異なる座り心地が得られることを確認した。また、一般に硬い印象がある全木製の椅子でも座面や背もたれに“弾性(しなり)”を利用したクッション性を付

与できることを確認した。

- (3) 木製椅子の座板のしなりは、従来の広葉樹の感触と異なることから使用者に不安感、不快感を与える場合があることがわかった。椅子の座面などにコンブウッド処理した木材の弾性を活かす場合は、発現する弾性が利用目的に合致するようコントロールする必要がある。

今後、蓄積してきたコンブウッドシステム利用に関する成果、活用ノウハウを本県の木製品製造業に技術移転していく予定である。

文 献

- 1) 内藤廉二, 有賀康弘, 浪崎安治: コンブウッド処理木材の曲げ加工性の向上, 岩手県工業技術セン

ター研究報告, 19, p51-53 (2016)

- 2) 内藤廉二, 有賀康弘, 浪崎安治: コンブウッドシステムによる木材の弾性変化の確認, 岩手県工業技術センター研究報告, 20, (2017)
- 3) 日本ナショナルインスツルメンツ株式会社: プロトタイプを作成する6つのメリット, ホワイトペーパー, (2014)
- 4) 日本ナショナルインスツルメンツ株式会社: プロトタイプ作成における8つのルール, Instrumentation Newsletter, (2009)
- 5) 高木広之介: システム開発におけるプロトタイプ・モデルのメリットと注意点, スパイスファクトリー株式会社, ALLSPICE, (2016)

清酒醸造に利用可能な乳酸菌の選抜*

佐藤 稔英**、米倉 裕一**

仕込時に市販の乳酸を添加する速醸系酒母の代わりに、酒造現場で製造される米麴から選抜分離し培養した乳酸菌を用いる酸基醴（あまざけ）醴を酒母とすることを試み、清酒の小仕込み試験を行った。その結果、選抜した乳酸菌を添加する酸基醴醴を用いても速醸系と同等の日数で酒母の製造が可能であることが確かめられた。
キーワード: 醸造用乳酸菌、速醸、酸基醴醴

Suitability of lactic acid bacteria isolated from koji (rice malt) for producing sake starter

NARUHIDE Sato and YUICHI Yonekura

In Sokujo brewing of sake, commercial lactic acid is added to the starter (shubo). In this study, we show that lactic acid bacteria screened from factory-derived malted rice (kome-koji) can be added to the starter of Sanki-amazake sake brewing. We perform a pilot-scale brewing using this method. Furthermore, it is confirmed that the number of production days for brewing the starter is the same as that by using the Sokujo method.

key words: Lactic acid bacteria, Shubo, Sokujo, Sanki-amazake

1 緒言

清酒醸造の現場では、モロミ初期の雑菌や野生酵母の汚染を防止する目的で酒母が製造される。一般的に酒母の条件として ①優良な清酒酵母を高密度に含むこと、②多量の乳酸を含むことが挙げられる。酒母の製造法は乳酸の取得方法により大きく二つに区分される。蒸米と米麴を水に仕込み、乳酸菌により乳酸を生成させる伝統的製法である生醴系酒母と、仕込み時に市販の乳酸と酵母を同時に添加する現在主流の速醸系酒母である。

近年、個性的な純米酒造りを目指して昔ながらの生醴系酒母の取り組みへの要望が酒造メーカーから挙がっている。そのため、微生物の遷移を不確定な自然の増殖の制御によらず、人為的に乳酸菌を添加することにより、生醴系酒母製造を安定化させようとする試みがなされてきた¹⁻⁴⁾。しかし、伝統的な生醴系酒母の製造方法は時間と手間がかかり、安定した製造には多くの経験を要することには変わりがない。

筆者らは実際の酒造現場で製造された米麴から乳酸菌を探索、分離し、それらを培養して添加する「酸基醴醴」⁵⁾に着目した。すなわち、生醴系酒母製造における、低温仕込みや硝酸還元菌の増殖を省略し、乳酸菌の増殖により酒母製造を行うものである。添加する乳酸菌に求められる特性としては、以下のことが挙げられる。

(1) 乳酸発酵が旺盛で速醸酒母で添加される乳酸量

を超える乳酸生産能を有すること

- (2) 火落ち性が無いこと
- (3) 濃糖環境で生育可能なこと
- (4) アルコール感受性があること

以上の条件を満たす乳酸菌株を分離・選抜し、酒母作製試験および清酒小仕込み試験を行った。

2 実験方法

2-1 乳酸菌の分離

2-1-1 分離試料

岩手県内10製造場で製造された米麴76点を用いた。

2-1-2 使用培地と分離

細菌酸度測定培地 (YAS培地) 10mLに米麴1gを添加し、30°Cで48時間培養した。培養後、培養液のpHを測定し、対照 (米麴無添加) よりもpHが2.0以上酸性側にシフトした試料を生酸菌が存在しているものとして選抜した。

それらをMRS寒天培地に塗布し、30°Cで48時間嫌気培養を行い、発育良好なコロニーを各シャーレから10株ずつ選抜した。

選抜した株を再度YAS培地で生酸性を確認し、キャピラリー電気泳動により乳酸量を測定して、生産量が4000ppm以上のものを候補株として選抜した。候補株を火落ち菌検出培地 (SI培地) を用いた培養試験、およびグルコース濃度を25%としたBrix20%麴汁培地を用いた濃糖

* 平成 29 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ)

** 醸造技術部

表1 小仕込み試験仕込配合

酸基醴酏	酒母	酒母2段	添	仲	留	計
総米(g)	20	40	150	300	490	1000
麴(g)	20		40	60	80	200
蒸米(g)		40	110	240	410	800
水(mL)	80		200	400	670	1350
乳酸菌(mL)	10					

中温速醸

	酒母		添	仲	留	計
総米(g)	60		150	300	490	1000
麴(g)	20		40	60	80	200
蒸米(g)	40		110	240	410	800
水(mL)	80		200	400	670	1350
乳酸(mL)	0.48					

耐性試験に供し、火落ち性が無く、濃糖耐性を持つ株をさらに選抜した。その後、アルコール感受性の試験を行った。エタノール8%を含むBrix5%麴汁培地10mLに供試菌のMRS培養液を10 μ L添加して30°Cで48時間培養し、増殖の見られない菌株を優良株として選抜した。

2-2 小仕込み試験

分離した乳酸菌を用い、麴40g、汲水80mLで乳酸醱酵試験を行った。米麴に汲水を添加して55°Cで6時間糖化

して30°Cまで品温を下げた。ここに、麴汁培地(Brix5.0%、pH5.0)で48時間培養した乳酸菌を10mL添加して、30°Cで48時間、培養した。培養後、遠心分離(5000rpm、50分)し、上清を官能評価した。

官能評価で優良と判断された乳酸菌を用い、表1の仕込み配合で小仕込み試験を行った。乳酸菌はMRS培地5mLで培養した後、100mL麴汁培地(Brix5.0%、pH5.0)に添加して30°Cで48時間培養したものを10mL添加した。対照として速醸系酒母である中温速醸酏の小仕込み試験を行った。酵母は、岩手県酵母FOX-Iw201号を使用した。成分分析は、遠心分離(5000rpm、50分)後の上清を試料とし、国税庁所定分析法注解⁶⁾に従って分析した。

3 実験結果

3-1 乳酸菌の分離

YAS培地で培養を行った結果、供試した76点の米麴のうち36点で、対照(米麴無添加)よりもpHが2.0以上酸性側にシフトし、それらには生酸菌が生息するものとして選抜した。それらの培養液をMRS寒天培地に塗布し、発育良好なコロニーを各シャーレから10株ずつ選抜した。得られた選抜株360株を、再度YAS培地で培養し、生酸性を検討した結果、288株が生酸菌として選抜され、そのうち

表2 酸基醴酏(使用菌株*Lactobacillus*)の経過

日数	操作	品温(°C)	ポーメ	Brix(%)	酸度(ml)	アルコール(%)
1	糖化開始	57.8				
	糖化停止	53.2				
	乳酸菌添加	34.1				
2		31.2	15.7	29.2	0.8	
3	酵母添加・2段掛	25.5	15.7	29.4	4.6	
4		18.9	13.6	27.1	6.8	
5		18.9	12.2	26.1	8.2	4.75
6		19.1	10.6	24.0	8.6	7.15
7		19.2	9.3	22.6	8.9	8.35
8		18.9	8.4	21.6	8.9	8.80
9	分け	19.2	7.1	20.5	9.8	10.05

表3 酸基醴酏(使用菌株*Leuconostoc*)の経過

日数	操作	品温(°C)	ポーメ	Brix(%)	酸度(ml)	アルコール(%)
1	糖化開始	56.9				
	糖化停止	52.2				
	乳酸菌添加	35.1				
2		31.8	15.3	28.4	3.3	
3	酵母添加・2段掛	25.3	15.8	29.4	8.4	
4		21.0	14.0	28.4	9.8	
5		20.4	12.6	27.0	10.5	5.10
6		19.6	10.2	23.7	10.5	6.40
7		19.2	9.0	22.7	10.5	8.35
8		19.1	8.0	21.4	10.5	9.80
9	分け	19.2	7.4	20.6	10.4	10.10

表4 中温速醸酏の経過

日数	操作	品温(°C)	ポーメ	Brix(%)	酸度(ml)	アルコール(%)
1	水麴・仕込	25.2				
2		21.2				
3		18.9	16.7	27.3		
4		18.9				
5		19.1	10.1		5.6	8.2
6		19.2				
7	下げ	18.9	7.2		6.1	11.5
8		4.6				
9	分け	4.6	6.0		6.6	12.2

表5 製成酒成分

	菌株	属	モロミ日数	アルコール	日本酒度	酸度
酸基醱	A123	LB	18	16.8	+ 3.3	3.1
	H125	LB	20	16.5	+ 4.0	2.8
	I155	LB	18	17.9	+ 6.0	2.9
	I161	LB	18	18.6	+ 2.6	2.8
	LB122	LB	18	18.4	+ 2.4	2.6
	LB146	LB	19	18.3	- 2.0	3.0
	LB61	LB	19	18.5	+ 1.2	2.7
	LB68	LB	21	19.6	+ 5.0	2.8
	Leu58	Leu	18	17.8	+ 1.4	3.4
	W133	LB	18	16.8	+ 7.7	2.9
中温速醸	—	—	18	18.2	+ 1.3	2.6

*属のLBはLactobacillus属、LeuはLeuconostoc属

155株で乳酸生産量が4000ppmを超えた。速醸酒母での乳酸添加量は汲水100L当たり400mL～600mLであることから、これらの株は酒母で必要とされる乳酸量を超える生産能をもつと言える。しかし、155株のうち、12株で酢酸の生産量が700ppm以上になることが確認されたため、これらを除く143株を候補株として選抜した。

候補株をSI培地にて培養した結果、火落ち性は確認されなかったものの、濃糖耐性試験において31株が生育遅延を示した。酒母は濃糖環境であり、グルコース濃度が高いときには20%程度になるとされている。そのため、グルコース25%で生育可能な供試株は全て酒母製造中に生育可能と考えられる。上記31株を除いた112株のアルコール感受性を評価した結果、84株で生育が見られなかった。エタノール8%で生育しない乳酸菌株は、清酒醸造の火落菌、腐造性乳酸菌となり得ないと期待されるため、これらを優良株として選抜した。

以上の結果、酒母の製造に利用可能性のある乳酸菌として84株を選抜した。

3-2 小仕込み試験結果

前項で選抜された乳酸菌84株のうち、実製造での利用を希望した6社の全48株を用いて小仕込み試験を実施した。乳酸発酵試験では全ての優良株で滴定酸度3.0～4.8mLとなり乳酸発酵は良好に進んだ。官能評価により、ヨーグルト臭やチーズ様といった乳酸醱酵特有の指摘があった株を排除し、全10株を選抜した。選抜された菌株をブルカー・ダルトニクス社製MALDI-TOF MS（同定解析ソフトウェアMALDI バイオタイパーVer4.1.80）で微生物同定を行ったところ、9株がLactobacillus属、1株がLeuconostoc属と推定された。

酸基醱および中温速醸醱の小仕込み試験の温度経過と成分値の代表例を表2～4に示す。使用したすべての乳酸菌株と同様の経過をたどり、酸基醱の分け時のpHが5.7～7.6、アルコール10.0～11.4%、滴定酸度は8.9～10.4mLとなった。中温速醸醱に比べ酸度が4.0mL程度高かった。また、今回選抜したLeuconostoc属を使用した場合、同様に選抜されたLactobacillus属を使用した場合に比べて酸度が0.6～1.8mL程度、高くなった。酒母製造日数は酸基醱で9日であり、一般的に30日程度かかる

生醱系酒母の日数と比較してもかなり短く、速醸系酒母並の日数で製造可能な方法であるといえる。

小仕込み試験を行った結果を表5に示す。モロミ日数は酸基醱・中温速醸醱ともに18～19日で差はなかった。製成酒の成分は酸基醱の方が、酸度が高めの傾向が見られた。日本酒度およびアルコールについては使用菌株によりバラツキが確認された。また、今回選抜したLeuconostoc属を使用した場合、同様に選抜されたLactobacillus属を使用した場合に比べて酸度がやや高くなった。

4 結 言

速醸系酒母製造における乳酸添加の代わりに利用可能な乳酸菌を、製造場由来の米麹から分離・選抜と、それらを用いて小仕込み試験を行った。酒母製造の要件として、①速醸酒母で添加される乳酸量を超える乳酸生産能、②火落ち性が無い、③濃糖環境で生育可能、④アルコール感受性、以上の特性を有する乳酸菌を選抜した。

選抜した乳酸菌を増殖させた後に酵母を添加する酸基醱に利用した結果、速醸系酒母製造方法と同等の日数で酒母の製造が可能であった。

文 献

- 1) 芦沢長；山廃酒母における微生物学的研究（第3報）乳酸菌添加の影響について、醸協、58(6)、pp543-548（1963）
- 2) 芦沢長；山廃酒母における微生物学的研究（第6報）育成日数の短縮について、醸協、59(3)、pp265-267（1964）
- 3) 鈴木賢二、高橋幹雄、根本彩、佐藤寿昭、根本秀夫、佐藤正；福島県産ブランド清酒の開発—山廃酒母用微生物の検索と山廃醱および純米大吟醸酒の試験醸造、福島県ハイテクプラザ試験研究報告、平成15年度、pp63-66（2003）
- 4) 西尾昭、茂一孝；乳酸菌と硝酸還元菌の添加による生もと系酒母製造の安定化、鳥取県産業技術センター研究報告(11)、pp55-58（2009）
- 5) 江田鎌治郎；乳酸訓養 最新清酒連醸法（1912）
- 6) 第四回改正国税庁所定分析法注解(1993)

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告
平成 31 年 2 月 第 21 号

Journal of Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute
2019 February Vol.21

発行 平成 31 年 2 月 5 日

地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

TEL: 019-635-1115

FAX: 019-635-0311

ホームページ URL: <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

E-mail: CD0002@pref.iwate.jp