

山形県工業技術センター報告

REPORTS OF YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No. 54 (2022)

山形県工業技術センター

YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 次

論 文

| | |
|---|----|
| 形状評価及び外観検査機能を有するプラスチックペレット品質検査システム開発…………… | 1 |
| 今野俊介 高野秀昭 加藤博志 南葉あゆみ | |
| 旋回戻りコイル構造 MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ…………… | 4 |
| 渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 吉田賢一 前原謙一 福田祐介 指田和之 池田克弥 池田康亮 竹森俊之 | |
| ドローンを利用した樹木の 3 次元計測の検討…………… | 12 |
| 中村信介 | |
| 「雪女神」を使用した純米大吟醸酒の高品位化…………… | 15 |
| 工藤晋平 下川浩太 長谷川悠太 村岡義之 石垣浩佳 | |
| 追熟型果実の加工適熟判定と加工技術開発…………… | 20 |
| 後藤猛仁 村岡義之 飛塚幸喜 | |
| 家庭洗濯可能な環境に優しい植物系再生繊維の製品の確立…………… | 24 |
| 相田秀美 尾崎満 数馬杏子 泉妻孝迪 平田充弘 佐竹康史 | |
| 保水体を有する液域限定電解加工の加工特性の調査…………… | 28 |
| 五十嵐裕基 遠部多聞 夏恒 | |
| 5 軸加工機を用いた工程集約能力の検証…………… | 32 |
| 松田丈 五十嵐渉 | |
| 楯円振動切削による大面積意匠性金型加工に向けた金型鋼材の検討…………… | 35 |
| 木村直樹 齊藤寛史 阿部雄一 | |
| 抄 録 …………… | 39 |

CONTENTS

Papers

| | |
|--|----|
| Development of Plastic Pellet Quality Inspection System with shape's evaluation and visual inspection ··· | 1 |
| Shunsuke KONNO Hideaki TAKANO Hiroshi KATO Ayumi NANBA | |
| MEMS Rogowski Coil Current Sensor with Spiral Return Coil·········· | 4 |
| Yoshiyuki WATANABE Mutsuto KATO Toru YAHAGI Hiroki MURAYAMA Naoya YAMADA Kenichi YOSHIDA Kenichi MAEHARA Yusuke FUKUDA Kazuyuki SASHIDA Katsuya IKEDA Kosuke IKEDA Toshiyuki TAKEMORI | |
| Examination of 3D measurement of trees using drones·········· | 12 |
| Shinsuke NAKAMURA | |
| Improve the quality of Junmai Daiginjo sake using “Yukimegami”·········· | 15 |
| Shinpei KUDO Kouta SHIMOKAWA Yuta HASEGAWA Yoshiyuki MURAOKA Hiroyoshi ISHIGAKI | |
| Processing Time Decision and Processing Technology Development of Ripening-fruit·········· | 20 |
| Takehito GOTO Yoshiyuki MURAOKA Koki TOBITSUKA | |
| Development of Washable Textile Using Eco-Friendly Recycled Cellulose Fiber·········· | 24 |
| Hidemi AITA Mitsuru OZAKI Kyoko KAZUMA Takamichi IZUNOME Mitsuhiro HIRATA Yasufumi SATAKE | |
| Investigation of machining characteristics of electrochemical machining that limits area of electrolyte with water holder ··· | 28 |
| Yuki IGARASHI Tamon OBE Wataru NATSU | |
| Verification of process integration capability with 5-axis machining center·········· | 32 |
| Takeshi MATSUDA Wataru IGARASHI | |
| Study of Mold Steel Types for Design Mold Machining of Large Area by Using Elliptical Vibration Cutting ··· | 35 |
| Naoki KIMURA Hiroshi SAITO Yuichi ABE | |
| Abstracts ··········· | 39 |

形状評価及び外観検査機能を有する プラスチックペレット品質検査システム開発

今野俊介 高野秀昭 加藤博志* 南葉あゆみ*

Development of Plastic Pellet Quality Inspection System with shape's evaluation and visual inspection

Shunsuke KONNO Hideaki TAKANO Hiroshi KATO* Ayumi NANBA*

1 緒 言

近年、電子部品の市場構造が大きく変化し、パーソナル電子デバイスの主流がパーソナルコンピュータからスマートフォン、タブレットに変わったことで超小型の表面実装コネクタやスイッチへのニーズが高まっている。こうしたデバイス用に、高速高充填性、低バリ性、耐熱性、難燃性などの要求からエンジニアリングプラスチック（通称エンプラ）が非常に注目されており、中でも特に優れた物性から LCP (Liquid Crystal Polymer : 液晶ポリマー) と呼ばれる新しい樹脂素材が注目され、その素材市場が急速に拡大している。また、自動車を含む産業向け、民生向けともに一般的な成形製品の高品質化に伴い、成形機の高性能化と連動して材料品質への要求は高まっており、成形メーカーからコンパウンドメーカーに寄せられる樹脂ペレットへの要求品質も年々厳しくなっている。主なものとしては、ペレット形状の安定性や寸法管理、樹脂ヤケ品の排除、厳密な色調管理などに関する品質要求である。そこで、高速画像処理技術を応用した全数検査型の外観検査対応選別システムを開発した。

2 研究開発内容

2.1 ペレット整列型フィーダーの開発

ペレット整列型フィーダーについては、二段トラフと先端にシュートを組み合わせる事で実現した。その結果、側面側は従来方式より薄く流す事ができ、正面側は重なりが少ない状態で時間あたり 500kg を流すことができた。

2.2 コントラストの高い撮像系の構築

ペレット整列型フィーダーを組み込み、背景板と照明を工夫して、影が発生しない撮像環境を構築した。黒点や茶スジなどの外観の色味不良

についての検査を実現するために外観異常ペレット用撮像環境の調整を行った。背景はコントラストが取りやすい青色を採用し照明撮像部を構築した撮像部にて影が発生したため照明の構造や反射など照明部を見直して影が発生しにくい撮像系に改良した。また、良品ペレットの画像のみから統計解析により、色彩不良を検出できるようにするために多次反射を抑えた撮像系を構築した。

2.3 外観検査用知的画像処理技術の開発

高解像度画像を並列処理で実現できる高速 AI 画像処理アルゴリズムを開発した。図 1 に示したフィルタ処理の効率化と GPU (Graphic Processing Unit: NVIDIA 社製 GeForce RTX3080) のハードウェアアーキテクチャに適した実装方法を考案し、解像度 4096x1024x3 の画像（ペレット約 300 個の良否分類）に対して、判別能力 99.3%、処理時間 10ms を実現した（リアルタイム性能の目標：60ms）。取り組んだ実装方式と効果を表 1 に示す。AI の固定のパラメータを GPU のキャッシュメモリに配置して、データ読み込みの処理時間を短縮した。また、AI のフィルタ処理に相当する繰返し処理をループ展開という手法で最適化した。さらに、GPU の処理と CPU (Central Processing Unit: Intel 社製 Core-i7) の処理を並列実行することで、高速化を実現した。その結果、4096x1024 画素の画像を約 10ms で処理できる高速 AI 画像処理技術を実現できた。

2.4 データの見える化 IoT システムの開発

生産工程改善のための IoT システムの機能を実現した。図 2 に示した構成で、データ収集用のサーバーを構築し、画像処理で解析した長径、短径、面積を統計解析した品質データを収集可能なシステムを開発した。

【令和元年～3 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業】

* テクマン工業株式会社 マスプロ事業部

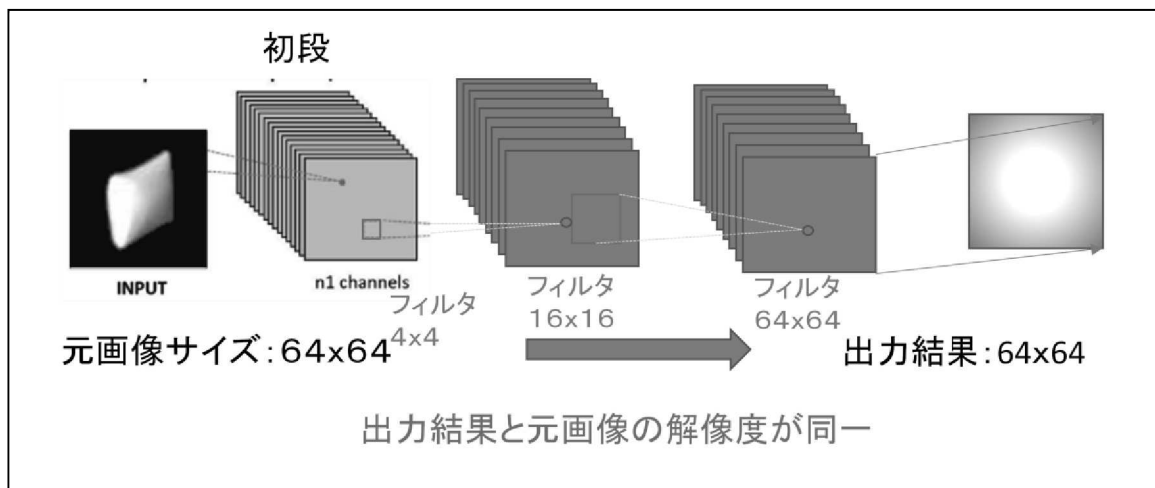


図 1 高速 AI 画像処理アルゴリズム

表 1 高速 AI 画像処理アルゴリズムの実装方法

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ | ⑬ | ⑭ | ⑮ | 改善時間[ms] |
|--------------|--------|------------------|--------|--------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------|
| GPU | | Core(TM) i7-3770 | | | | Core(TM) i7-11700 | | | | | | | | | | 129.44 |
| GPU | | GeForce 1060 | | | | GeForce RTX 3080 | | | | | | | | | | |
| ラベリング簡易化 | | | ○ | | | | | | | | ○ | | | | | 428.51 |
| 並列化 | | | | ○ | | | | | | | | | | | | -79.07 |
| 整数化 | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 0.21 |
| ピンメモリ | | | | | | | | | | | ○ | | | | | 1.8 |
| シェアードメモリ | | | | | | ○ | | | | | | | | | | -5.81 |
| リードオンリーキャッシュ | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 0.37 |
| コンスタントメモリ | | | | | | | | | | | | ○ | | | | 1.91 |
| 非同期並列化 | | | | | | | | | | | | | ○ | | | 5.28 |
| ブロック数 | | 32x32 | | | | 32x32 | | | | 16x8 | | 16x16 | | | 3.69 | |
| OpenMP | | | | | | | | | | | | | ○ | | | -0.71 |
| ループ展開 | | | | | | | | | | | | | | ○ | | 6.22 |
| 変数定数化 | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 0.62 |
| 処理時間[ms] | 507.61 | 79.1 | 158.17 | 146.69 | 28.73 | 28.52 | 26.72 | 32.53 | 26.35 | 24.81 | 19.53 | 15.84 | 16.55 | 10.33 | 9.71 | 147.86 |

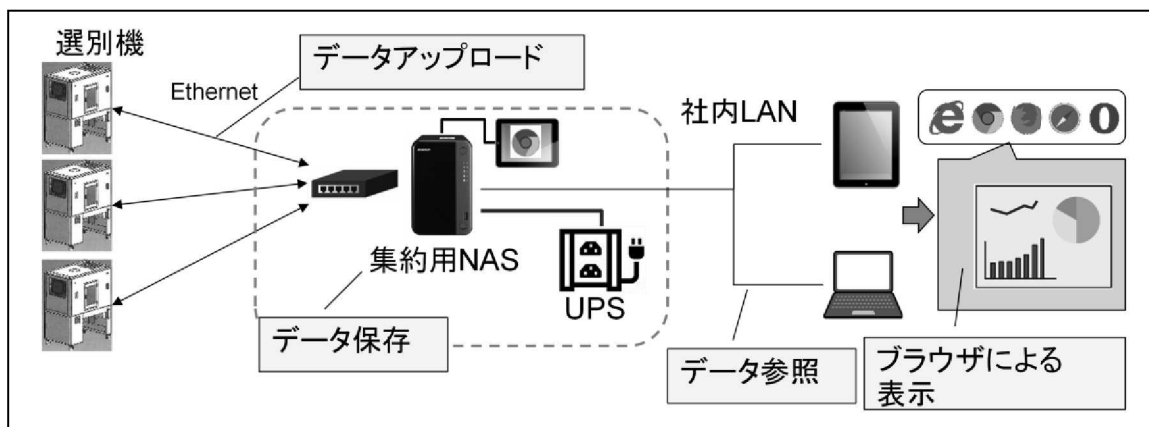


図 2 高速 IoT 機能の構成

3 結 言

3.1 研究開発成果のまとめ

- (1) 通常良品長さが 3.5~4mm に対して形状異常の 6~50mm のオーバーサイズおよび連結ペレットを混入させたテストに於いて形状異常の選別できることを確認した。
- (2) ヤケや茶スジなどの外観異常も上記同様

に選別できることを確認した。

- (3) アドバイザーである川下企業に選別結果を確認いただき高い評価をいただいた。

3.2 開発研究後の課題

- (1) AI を用いた形状検査の歩留り改善
処理量が増えると重なりが発生しやすくなりこれを誤検知してしまうため、重なりを認識さ

せ誤検知を防ぎ歩留りを改善させる。

(2) 高速 AI 外観検査による生産性向上

独自に開発したペレット用の高速 AI 画像検査アルゴリズムにより従来の抜き取り検査以上の数量と精度で、ペレットの外観不良の統計情報を解析し、生産性を向上させるシステムを検討する。

3.3 事業化展開について

- (1) 2022 年度内に製品化に向けて具体的な仕様の作成を進めている。
- (2) 検査要求の高い LCP で実用化できれば、スーパーエンブラ、エンブラ、汎用プラスチックへ応用することが可能であり、多くの販売先へ営業活動を広げる。

旋回戻りコイル構造 MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 吉田賢一* 前原謙一*
 福田祐介* 指田和之* 池田克弥* 池田康亮* 竹森俊之*

MEMS Rogowski Coil Current Sensor with Spiral Return Coil

Yoshiyuki WATANABE Mutsuto KATO Toru YAHAGI Hiroki MURAYAMA
 Naoya YAMADA Kenichi YOSHIDA* Kenichi MAEHARA* Yusuke FUKUDA*
 Kazuyuki SASHIDA* Katsuya IKEDA* Kosuke IKEDA* Toshiyuki TAKEMORI*

1 緒 言

電気自動車や電化製品などの民生分野，太陽光発電などの産業分野等，多くの分野でパワーコンディショナが用いられている。パワーコンディショナにはインバータ，コンバータなどのパワー半導体（パワー系 Si-MOSFET, Si-IGBT, ダイオードなど）が使われている。これらは世界各国の様々な温度，湿度，塩害雰囲気など過酷な環境で使われており，長期間安定動作が求められる。なんらかの原因でパワーデバイスやその他システムに過電流が通電されると，漏電，感電，火災等の事故，エネルギーロスが想定されるため，早急に過電流を検知しシステムを保護する必要がある。

過電流はシステムによって異なるが， μs オーダーの短時間で 100A またはそれ以上に到達する電流が想定される。既存の電流センサの特徴

を Table 1 に示す^{1)~11)}。この中で，大電流までリニアに測定可能であり，温度変動が少なく，MEMS，半導体プロセスとの適合性の点で本研究ではロゴスキーコイル型を選択した。

われわれのグループでは，パワーデバイスの過電流検知を目的とした，TSV (Through Silicon Via) 構造の MEMS ロゴスキーコイル型電流センサの開発に取り組んでいる^{12)~16)}。これまでの研究で，通電電流に対してほぼ線形的に電流検出が可能であることを報告してきたが，外部磁界をキャンセルする戻りコイルは形成していなかった。通常，ロゴスキーコイル型電流センサは外部磁界の影響を抑制するため，デバイス上部から見て時計回りにコイルを形成後に終端から反時計回りに形成した戻りコイルを形成する。この戻りコイルは，簡易的には固定する基板などデバイス外に形成することもできるが，

Table 1 Features of current sensor.

| | Large current | Linearity (Large current) | Band | Power consumption | Temperature deviation | MEMS fabrication | Cost |
|---------------------|---------------|---------------------------|-------|-------------------|-----------------------|------------------|------|
| Rogowski Coil | ◎ | ◎ | AC | ○ | ◎ | ○ | ○ |
| Current Transformer | ○ | ○ | AC | ○ | ○ | × | △ |
| Hall Sensor | △ | △ | AC/DC | △ | × | ◎ | △ |
| Flux Gate | ○ | △ | AC/DC | △ | × | × | △ |
| Shunt Resistance | × | ◎ | AC/DC | × | △ | ◎ | ◎ |

【令和 2~3 年度 ものづくり共同研究事業】

* 新電元工業株式会社

立体的に見た場合厚さ方向で1ターンのコイルを形成することになるため3次元的な磁界補償はできない。このため、市販のログスキーコイルでは電流検出コイルの終端からコイル断面の中心を通って始点まで形成する戻りコイルが形成されるが、シリコンベースのTSV構造ではコイル断面に戻りコイルを形成することが困難であることに加え、電流検出コイルと戻りコイルの電氣的結合による電流検出信号への影響が懸念される。

本報告では、シリコン基板の断面内で旋回するコイルを基板上から見て時計回りに形成し、終端から時計回りのコイルの間に反時計回りに戻りコイルを形成することで、電流検出と3次元的な外部磁界補償を行う構造とした。

2 センサの構造と電流検出原理

デバイスの概略図を Fig.1 に示す。図中央部に上下方向に電流 i を流す電流経路があり、これを取り囲むように有効半径 r の位置に電流検出用の旋回コイルを形成する。センスパッド+から電流経路の周囲を反時計回りに旋回しながらコイルを形成し、終端から時計回りに戻りコイルを形成してセンスパッド-に接続する。電流経路に時間変化する電流が流れると、旋回コイルに式(1)で示される誘導起電力 V が発生する^{4),5)}。

$$V = N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt} NS = \mu_{Si} \frac{NS}{2\pi r} \frac{di}{dt} \quad (1)$$

ただし、

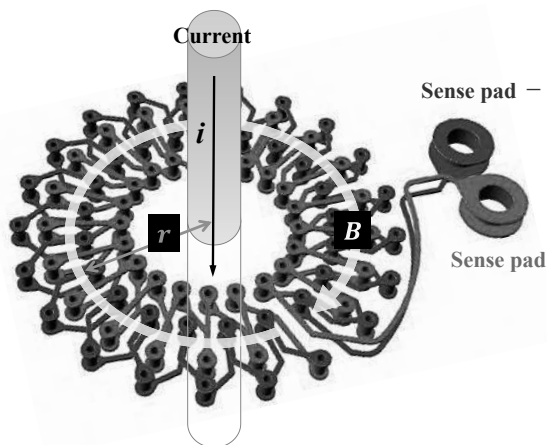


Fig.1 Conceptual diagram of current

- N : コイルの巻数
- Φ : コイルを貫く磁束
- B : コイルを貫く磁束密度
- S : コイルの断面積
- μ_{Si} : シリコンの透磁率 ($\approx 4\pi \times 10^{-7}$ (H/m))
- i : デバイス中央部の電流経路を流れる電流
- r : 電流経路中心からコイルまでの有効半径

検出回路は、誘導起電力の時間積分 V_{out} として以下の出力を得る。

$$V_{out} = \int V dt = \mu_{Si} \frac{NS}{2\pi r} \int dt \frac{di}{dt} = \mu_{Si} \frac{NS}{2\pi r} \int di \quad (2)$$

図の上下方向に外部磁界が印加されても、時計回りのコイルと反時計回りの戻りコイルで誘導起電力をキャンセルできるため、外部磁界の影響を受けない構造とした。

作製した電流センサの詳細構造を Fig.2 に示す。図の上下方向に通電するため、デバイス中央部に $\square 4\text{mm}$ の貫通孔を形成した。センスパッド+からデバイスのエッジに沿って反時計方向に基板の断面で旋回しながらコイルを形成し、終端から時計回りに戻りコイルを形成してセンスパッド-に接続した。コイルの四隅にチェックパッドを形成し、一辺ごとに導通状態や起電力をチェックできるようにした。TSVは直径が $100\mu\text{m}$ 、深さがシリコン基板の厚さと同じ $300\mu\text{m}$ で、コイルは合計135巻形成した。電流

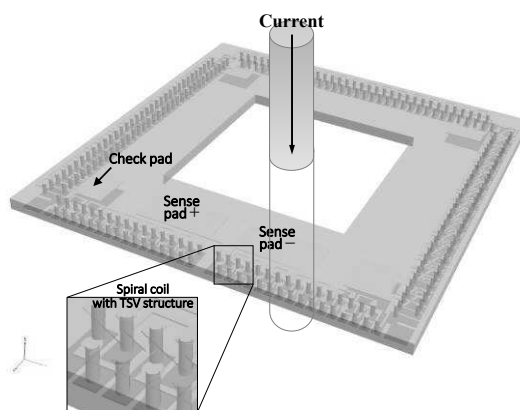


Fig.2 Structure of fabricated current

経路に通電されると旋回コイルに誘導起電力が発生し、センスパッド+と-間に生じる誘導起電力を積分し式(2)に示される出力により通電電流を検出することができる。上下方向の外部磁界は、時計回りのコイルと反時計回りの戻りコイルでキャンセルできる構造とした。

3 センサの作製プロセス

デバイスの作製プロセスを Fig.3 に示す。

1. シリコン (n 型 3.8Ωcm, 300μm 厚) を DRIE (反応性イオンエッチング) で貫通するためのエッチングマスクとしてシリコン酸化膜 1μm 厚を形成する。
2. シリコン酸化膜をマスクとし、DRIE により厚さ 300μm のシリコンを貫通エッチングし、

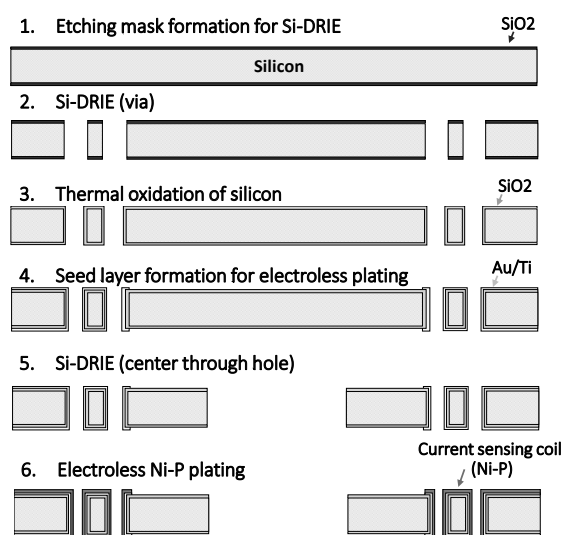


Fig.3 Fabrication process.

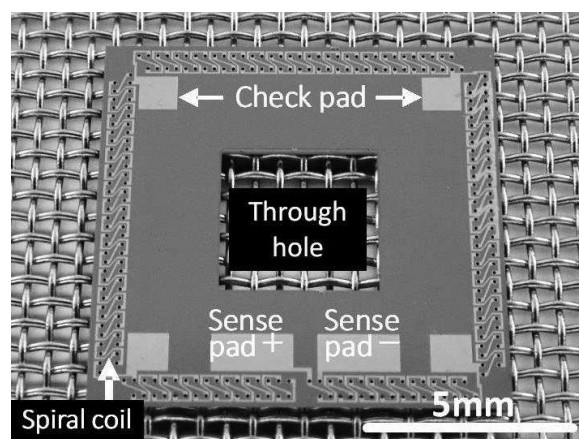


Fig.4 Fabricated MEMS Rogowski coil.

TSV の via を形成する。

3. O₂ アッシングによるフッ素系有機膜の除去, RCA 洗浄後に熱酸化を行い, シリコン基板表面および貫通 via 側壁表面にシリコン酸化膜 1μm 厚を形成する。
4. 無電解ニッケルめっき用のシード層として, Au/Ti をスパッタ形成し, フォトリソ, ウェットエッチングによりコイル形状にパターンニングする。
5. 上下方向の通電経路を確保するため, デバイス中央部の Si を DRIE により貫通する。
6. Au 表面にパラジウム触媒付与を行う。塩化ニッケルベースの無電解 Ni-P めっき液により, コイル形状の Au 表面にのみ選択的に無電解 Ni-P めっきを形成する。

作製したセンサを Fig.4 に示す。デバイス中央部に□4mm の貫通孔をあけ, その周囲に 135 巻の旋回コイル (Ni-P めっき厚 5μm) を形成した。チップサイズは 10×10×0.3mm³ とした。

4 インピーダンス特性

作製した Rogowski コイルのインピーダンス特性を Fig.5 に示す。インピーダンスは低周波から 100kHz までほぼフラットで, 以降は容量性リアクタンスによるインピーダンス低下および位相の変化を示し, 200MHz 付近にインピーダンスの最小ピークを有する特性であった。等価回路を Fig.6 に示す。デバイス中央の導線に di/dt が通電されると Rogowski コイルに相互誘導起電力が発生するが, 時計回りのコイルと反時計回りの戻りコイルが隣接して形成されているためコイルとコイル間に容量 C_{cc} が形成される。また, コイルとシリコン基板 (n 型 3.8Ωcm) はシリコン酸化膜を介して容量 C_{SiO2} で結合されていると考えられる。Fig.5 の結果は上記の容量結合により 100kHz 以上でインピーダンスが低下したものと考えられる。

本デバイスは現状のパワーデバイスのスイッチング周波数での電流検出を目的にしており, 100kHz まで特性に大きな違いがないため電流検出に影響はないと考えられる。将来, スwitching の高速化の際に, インピーダンスの周波数特性が問題になる場合は容量の低減が必要になる。

5 特性評価

作製した戻りコイルを有するログスキーコイルと、比較のための戻りコイルのないログスキーコイル（コイル巻数、コイル断面積がほぼ同様）について、デバイス中央部に配置した導線に上下方向の電流を印加したときの電流検出基本特性を調べた（Type-A（Fig.7(a)））。また、コイルの外部ノイズ影響に関する報告^{9),17)}を参考に評価した。Type-B（Fig.7(b)）は、導線をデバイス中心から距離 6.5mm の位置に配置して上下方向に通電することで、導線を中心としてデバイスに平面方向の磁界が印加された場合であり、デバイス構造に起因する水平磁界影響評価を目的としたものである。

Type-C（Fig.7(c)）は、導線をデバイス表面から距離 1.5mm 上部に配置してデバイスに平行に通電することで、導線を中心としてデバイス

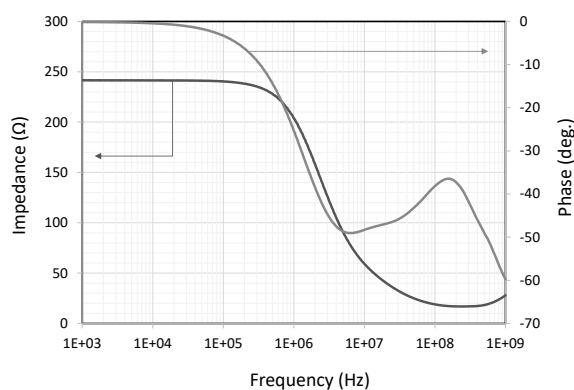


Fig.5 Impedance characteristics of the sensor.

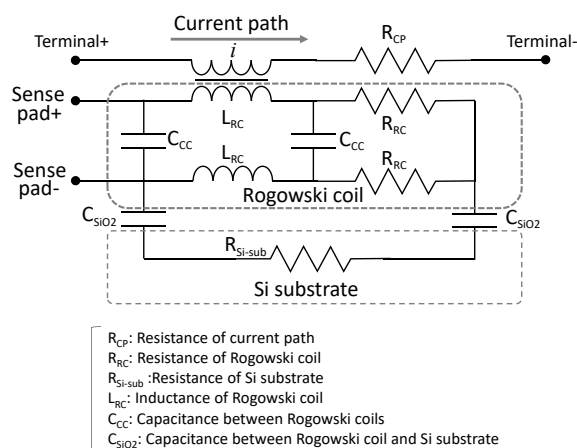


Fig.6 Equivalent circuit of Rogowski coil.

に平面方向と垂直方向の3次元磁界が印加された場合であり、戻りコイルによる垂直磁界キャンセル効果の検証とデバイス構造に起因する水平磁界の複合した影響評価を目的としたものである。

Type-D（Fig.7(d)）は、導線をデバイス端部から横方向に 1.5mm、縦方向に 1.5mm の距離に配置してデバイスに平行に通電することで、導線を中心としてデバイスに主に垂直方向の磁界が印加された場合の影響評価を目的としたものであり、戻りコイルによる垂直磁界キャンセル効果の検証を目的としたものである。

測定系を Fig.8 に示す。パルスジェネレータからリセット信号を出力し、高速負荷通電装置により Fig.7(a)から(d)に示す電流経路に μs オーダーのパルス電流を通電した。リセット信号

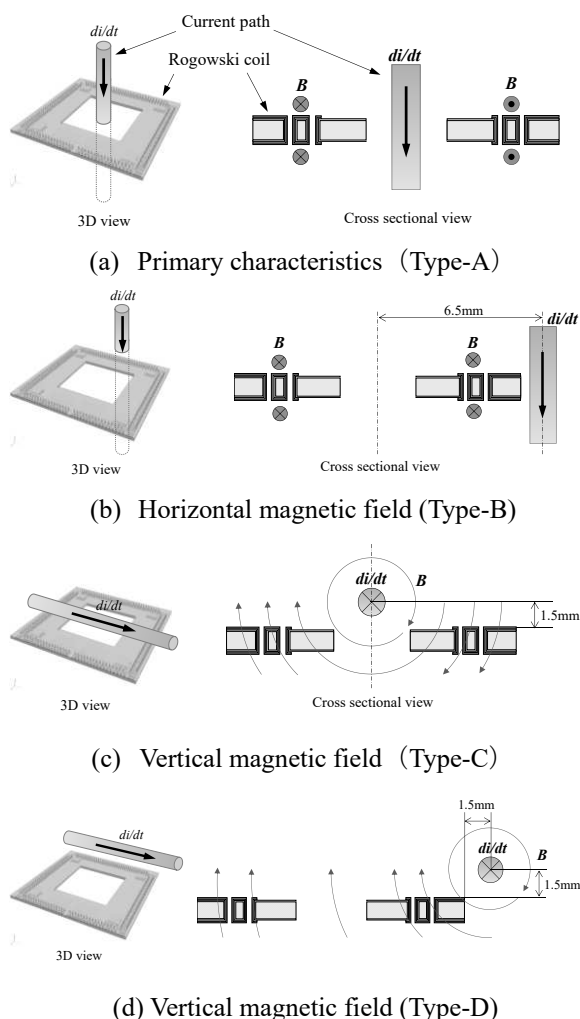


Fig.7 Schematics of external magnetic field evaluation.

と同期して検出回路（増幅および積分回路）を動作させログスキーコイルによる電流検出を行った。なお、通電電流は市販の電流センサをリファレンスとしてモニタしながら電流検出した。

はじめに、電流のスルーレート (di/dt) を $10A/\mu s$ から $100A/\mu s$ まで $10A/\mu s$ ステップで変化させた場合の検出特性を調べた。その結果を Fig.9(a)に示す。戻りコイルのないセンサは、電流検出基本特性 (Type-A) が良好な比例関係であった。一方、垂直磁界を印加した Type-D の結果はこれよりも大きな出力となり、デバイス上部から見た口の字の 1 ターンコイルで大きな起電力を生じる結果であった。また、デバイスに水平方向に磁界が印加される Type-B では出力が低く抑えられているが、Type-C では基本特性 Type-A とほぼ同様の出力であった。

これに対して、戻りコイルを形成したものは、電流検出基本特性が良好な比例関係であるとともに、垂直磁界を印加した Type-D の起電力が $1/7$ まで低減されており戻りコイルの有効性が確認できるが、その出力は基本特性と同等の出力であった。また、Type-B では出力が低く抑えられているが、Type-C では基本特性 Type-A とほぼ同様の出力であった。

次に、スルーレートを $10A/\mu s$ 一定とし、ピーク電流を $40A$ まで $5A$ ステップで変化させたときの検出特性を調べた。その結果を Fig.9(b)に示す。戻りコイルのないセンサは、電流検出基本特性 (Type-A) が良好な比例関係であったが、Type-D の出力が最も大きく、Type-B は低いが、Type-C は Type-A とほぼ同等であった。

これに対して、戻りコイルを形成したものは、電流検出基本特性が良好な比例関係であり、Type-D の出力が大きく抑制される結果であった。また、戻りコイルのないセンサ同様、Type-B では出力が低く抑えられているが、Type-C では基本特性 Type-A とほぼ同様の出力であった。この結果を考察するため、戻りコイルを有するデバイスと有しないデバイスについて、デバイスチップのみを考慮した場合と、デバイスに加えて検出回路までの引出し線を考慮した場合について電磁界シミュレーション (ANSYS Maxwell®) を行った。Fig.10(a)から(d)にシミュレーションに用いた解析モデルを示す。十分に長い電流経路に、スルーレート $20A/\mu s$ 一定で、

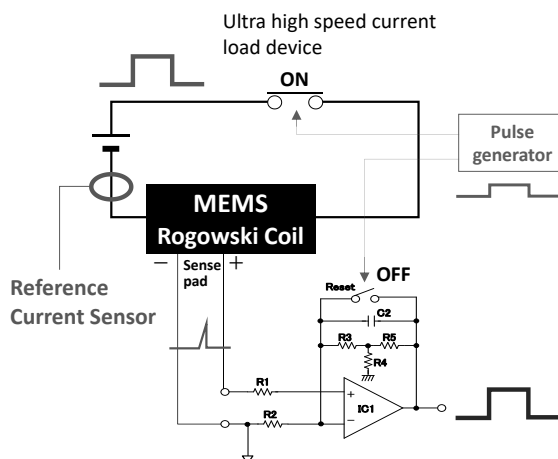
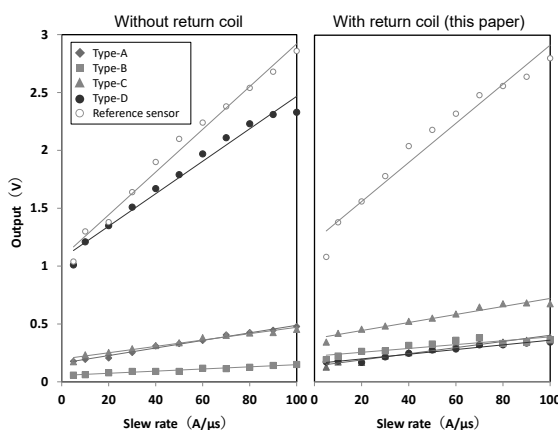
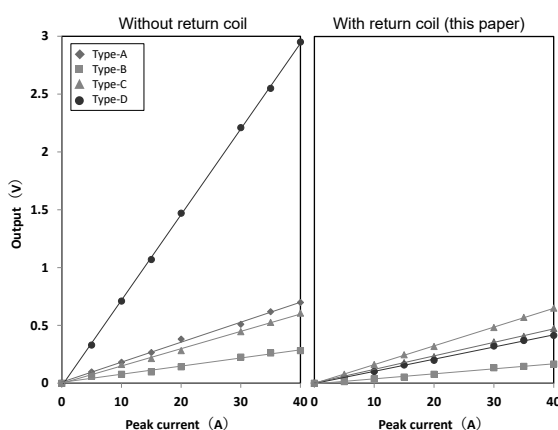


Fig.8 Schematics of current detection system.



(a) Dependency of output on slew rate (di/dt : max $100A/\mu s$, $10A/\mu s$ step)



(b) Dependency of output on peak current (di/dt : $10A/\mu s$ constant, Peak current: max $40A$, $5A$ step)

Fig.9 Current detection characteristics.

振幅が最大 40A まで 5A 刻みで変化させた矩形波を与え、ログスキーコイル電極に誘起される起電力を解析した。解析結果を Fig.10(e)に示す。戻りコイルの有無に関わらず、電流検出基本特性 Type-A は比例関係であり、チップのみで解析した場合は Type-B,C による出力はほぼゼロである。一方検出回路までの引出し線を考慮した解析では、Type-C の出力はゼロにはならず Type-A と同等のレベルとなっており、実験結果と傾向が一致している。これは Type-C の場合引出し線で囲まれた部分がコイルとなり誘導起電力を誘起したものと考えられる。Type-B の場合はチップのみでも、引出し線を考慮しても出力はほぼゼロとなる解析結果であり、測定結果と一致しない。これは、解析では考慮していないチップ電極から接続子でプリント基板に接続する部分がコイルとなり Type-C 同様誘導起電力を生じているためと考えられる。

デバイスに垂直磁界を印加する Type-D では、戻りコイル形成により外部磁界キャンセル効果が大きい解析結果であり、測定結果と一致する。また、戻りコイルを形成したものに注目すると、チップのみでは出力はほぼゼロであるが、引出し線を考慮すると基本特性 Type-A の 60%程度の出力が見られた。この結果は Fig.9 の測定結果とよく一致していることから、引出し線による不要出力が課題であることがわかった。

現在、リードフレームを使った実装を検討している (Fig.11)。今後、外部ノイズに対するログスキーコイルチップ以外の箇所の電磁気シールド対策を施したパッケージングに取り組む予定である。

6 結 言

外部磁界キャンセルを目的とした旋回しながら戻りコイルを形成するログスキーコイル型電流センサを作製した。センサのデバイスサイズは $10 \times 10 \times 0.3 \text{mm}^3$ で、直径 $100 \mu\text{m}$ 、深さ $300 \mu\text{m}$ の TSV を用いて基板の断面内で旋回するコイルを形成した。基板上に時計回りのコイルと、終端から反時計回りの戻りコイルを形成することで外部磁界キャンセル機能をもたせた。作製したセンサおよび、比較のため戻りコイルを有しないセンサについて電流検出特性を評価した結果、通電電流の大きさ、およびスルーレート

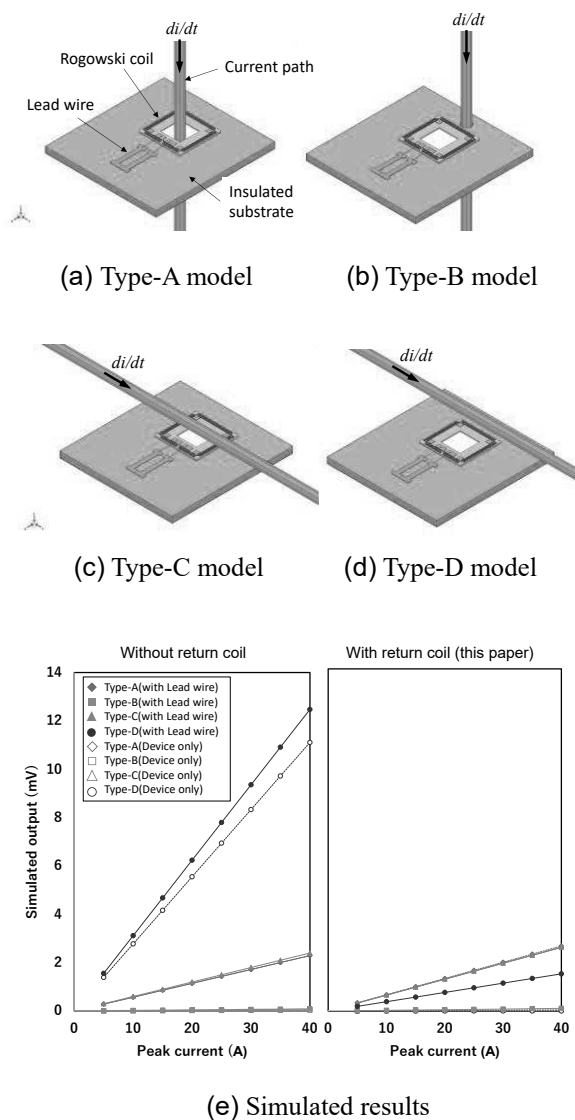


Fig.10 Electromagnetic simulation (ANSYS Maxwell®) .

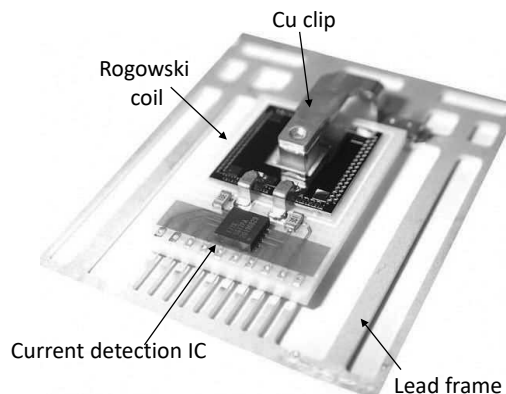


Fig.11 Surface mounting of Rogowski coil and detection circuit on the lead frame.

(di/dt) に対してほぼ線形に電流検出可能であった。また、デバイスに垂直方向、水平方向に外部磁界を印加して外部ノイズ依存性を調べた。その結果、戻りコイルの形成により、垂直磁界キャンセル効果が高いことを確認した。そのほか、チップ単体とチップと検出回路までの引出し線を考慮した電磁界シミュレーションを行い測定結果と比較したところ、引出し線の影響が大きいことがわかった。今後、引出し線を含めたセンサチップ以外の電磁気対策を行い外部磁界の影響低減を図る予定である。

文 献

- 1) 柴崎一郎：「薄膜ホール素子の開発とセンサ応用」, 電気学会論文誌 E, Vol.119, No.8/9, pp.405-410 (1999)
- 2) 柴崎一郎：「ホールセンサとその応用」, 電気学会論文誌 E, Vol.134, No.7, pp.186-192 (2014)
- 3) 山岸君彦, 池田健太, 中沢宏紀：「磁気センサによる非接触高精度電流検出技術」, 電気学会論文誌 E, Vol.137, No.8, pp.223-238 (2017)
- 4) S. Nakagawa, K. Yabusaki, G. Kinoshita, “Magnetic configuration of current sensor using inductive magnetic detector”, T. IEE Japan, vol.121-E, No.6, pp.302-307(2001)
- 5) S. Nakagawa, K. Yabusaki, G. Kinoshita, “Development of a current sensor by using an inductive magnetic detector”, T. IEE Japan, vol.121-E, No.1, pp.39-44(2001)
- 6) Yadong Liu, Xiaolei Xie, Yue Hu, Yong Qian, Gehao Sheng and Xiuchen Jiang, “A Novel Transient Fault Current Sensor Based on the PCB Rogowski Coil for Overhead Transmission Lines”, Sensors 2016, 16, 742.
- 7) E. S. Leland, P. K. Wright and R. M. White, “A MEMS AC current sensor for residential and commercial electricity end-use monitoring”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Volume 19, Number 9.
- 8) Hao Bian, Chao Shan, Keyin Liu, Feng Chen, Qing Yang, Jiale Yong and Xun Hou, “A miniaturized Rogowski current transducer with wide bandwidth and fast response”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Volume 26, Number 11.
- 9) 古賀仁大, 中島健太, 大村一郎, 附田正則：「IGBT モジュール用超小型電流センサの開発：高精度センサ構造の提案と専用設計環境の構築」, 電気学会研究会資料 EDD-15-095 (2015)
- 10) 下村直行, 長田正義, 秋山秀典：「自己積分型ロゴスキーコイルの共振特性」, 電気学会論文誌 B, Vol.114, No.1, pp.33-37 (1994).
- 11) J. P. Gambino, et al., “An overview of through-silicon-via technology and manufacturing challenges”, Microelectronic Engineering 135 (2015) 73-106.
- 12) 渡部善幸, 矢作徹, 阿部泰, 村山裕紀, 九里伸治, 吉田賢一, 指田和之, 新井大輔, 池田克弥, 「過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」, 2018 年第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-233-5, p.12-005, 2018.9.18.
- 13) 渡部善幸, 矢作徹, 阿部泰, 村山裕紀, 九里伸治, 吉田賢一, 指田和之, 新井大輔, 池田克弥, 「パワーデバイスにおける過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」, 第 35 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, PS-33(2018)
- 14) 渡部善幸, 加藤睦人, 矢作徹, 村山裕紀, 九里伸治, 吉田賢一, 指田和之, 新井大輔, 池田克弥, 池田康亮, 竹森俊之, 「TSV 構造配線の MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ」, エレクトロニクス実装学会第 34 回春期講演大会, 3C2-01(2020)
- 15) 渡部善幸, 矢作徹, 阿部泰, 村山裕紀, 九里伸治, 吉田賢一, 指田和之, 新井大輔, 池田克弥：「パワーデバイスにおける過電流検知用 TSV 構造 MEMS ロゴスキーコイル」, 電気学会論文誌 E, Vol.139, No.8, pp.238-243 (2019)
- 16) 渡部善幸, 加藤睦人, 矢作徹, 村山裕紀, 吉田賢一, 指田和之, 池田克弥, 池田康亮, 竹森俊之：「TSV 構造配線 MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.24, No.1, pp.101-106(2021)
- 17) 古賀仁大, 中島健太, 大村一郎, 附田正則：

渡部 加藤 矢作 村山 山田 吉田 前原 福田 指田 池田(克) 池田(康) 竹森 :
旋回戻りコイル構造 MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ

「パワーモジュール用 PCB 超小型電流センサ：専用設計ツールの開発とセンサ試作実証」, 電気学会半導体電力変換研究会資料 (電気学会研究会資料), SPC-16 号 (2016)

ドローンを利用した樹木の3次元計測の検討

中村信介

Examination of 3D measurement of trees using drones

Shinsuke NAKAMURA

1 緒言

山形県はさくらんぼやぶどうといった果樹の栽培が盛んであり、適正な栽培には、水はけが良く日当たりの良いことが重要である。しかし、栽培地が扇状地の扇央となり急傾斜になることも多いことから、作業効率の低さ・作業負荷の高さが生産者にとって問題になっている。このため山形県では、省力・軽労的な生産方式の導入やスマート農業技術といった革新的な新技術の導入推進¹⁾などにより労働生産性の改善を進める必要性を挙げている。

また、栽培品質や収量の向上のために剪定が行われているが、効果の検証は作業者の経験と主観に依存しており不明瞭である。その理由は下記の3つが挙げられる。

- 1) 年数回と数少ない把握機会
- 2) 樹木の下からの葉の日当たりを想像
- 3) 効果検証は樹木が成長した1~2カ月後

これらの課題解決のため従来から剪定講習会等の技術指導が行われている。しかし、経験的なアドバイスが多く、事実に基づいた生育状況把握と分析が必要である。客観的なデータ把握には過去の事例の振り返り、分析にはシミュレーションが有効であり、その実現には樹木の3次元形状計測・復元手法が必要である。

本研修では、これらの課題解決をモデルとして、ドローンを用いた上空の画像情報から3次元形状復元を行う手法を習得したので報告する。

2 3次元復元の試験方法

2.1 計測対象

シミュレーションには”剪定前の枝のみの状態”と”葉のある状態”が必要である。そのため、撮影対象として、枝や幹が露出した樹木(図1)と多数の葉を持つ植込み(図2)を選定した。

2.2 手法の検討

3次元計測では単眼カメラを用いた Structure from Motion (SfM) が広く使われている。鉢植え植物では一般的なデジタルカメラを用いて低コストで実装した研究²⁾が行われている。また距離画像センサや LiDAR (Light Detection And Ranging: 光による検知, 距離把握)を用いて樹木を復元する研究³⁾や SLAM (Simultaneous Localization and Mapping: 自己位置推定と環境地図作成の同時実行)を用いて環境自体をマッピングする研究⁴⁾で樹木を再現した例もある。

本研究では、山形県の一般的な農業従事者が使うことを想定し、入手しやすく安価なハードウェア構成とした。画像所得は、ドローン搭載の単眼カメラを用いた SfM, 距離画像センサを用いた SLAM の2種類の手法で復元を行った。

2.3 測定用ハードウェア

ドローンは DJI 製 Mavic 2 Pro を使用した。搭載カメラは、解像度 3840x2160 pixel, 焦点距離 28mm (35mm 換算), センササイズは1インチである。また、距離画像センサは RealSense D455 を使用した。こちらは解像度 1280x800 pixel, 焦点距離 27mm (35mm 換算) である。



図1 測定対象の樹木 図2 測定対象の植込

2.4 手法概略と使用ソフトウェア

樹木は SfM と SLAM, 植込には SfM を用いて復元を行った。

2.4.1 SfMの概略とソフトウェア

SfMは画像の特徴点を抽出し異なる視点の画像を用いてステレオカメラの要領で3次元形状を計測・復元する手法(図3)である。本研究では、Regard3DとFieldReconstの2つのソフトウェアにて計測・復元を行った。

2.4.2 SLAMの概略とソフトウェア

計測した点群のマッチングから移動量を把握し自己位置の推定と地図構築を行う手法である(図4)。距離画像センサRealSense D455で測定した点群からソフトウェアRMapTabを用いて計測・復元を行った。

3 検証及び考察

3.1 樹木に対する復元

検証対象としてFARO3D(大型・高精度なLiDAR, ソフトウェア)を用いた樹木の外形を図5に示す。

3.1.1 Regard3Dによる復元

Regard3Dにて復元した樹木の外形を図6に

示す。上方にある幹・枝は目視可能なものも復元できなかった(樹木下方は上空から見えず復元不可)。外形は図5と似ているが、高さや幅は1/10と大きな乖離がある。

今回、復元されなかった幹や枝を復元するためには、特徴点を強調する画像編集が必要である。

3.1.2 FieldReconstによる復元

葉を含めた外形を復元することができなかった。本ソフトウェアは直上画像からの復元に特化しているため、高度不足で必要な直上画像が得られなかったためと思われる。

3.1.3 RMapTabによる復元

RMapTabの一部を用いて復元した樹木の外形を図7に示す。点群には幹や枝だけでなく周辺部分にも余計な点が生成され、樹木の外形が不明瞭であった。ただし、高さや幅は図5に近い値を示した。

今後は余計な計測点を削減するカービングの手法による改善⁹⁾を検討する予定である。

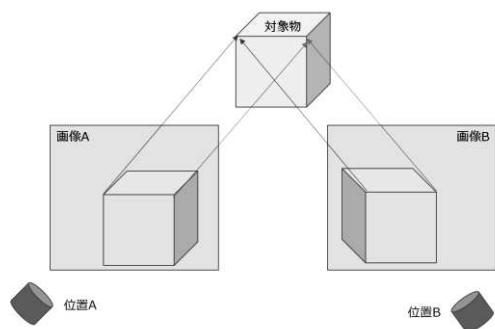


図3 SfM概略

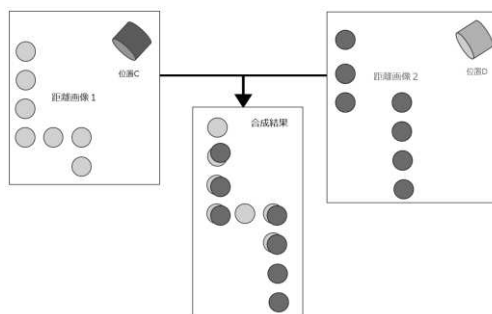


図4 SLAM概略



図5 リファレンス



図6 Regard3D 樹木



図7 RMapTab 樹木

3.2 植え込みの復元

3.2.1 Regard3D による復元

Regard3D による植込の復元を図 8 に示す。FieldReconst に比べて点密度が低く、高さの数値が実際は約 1m に対して 65m と大きな乖離が発生した。

3.2.2 FieldReconst による復元

FieldReconst による植込の復元を図 9 に示す。Regard3D に比べて密度も高く外形の把握が可能であった。高さは、実際は約 1m に対して 0.78m と近い数値を示した。

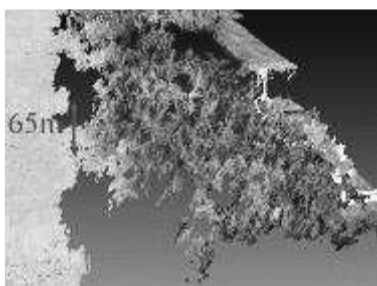


図 8 Regard3D の植込

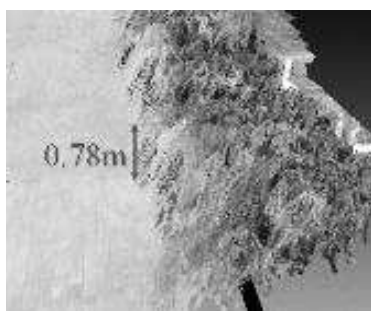


図 9 FieldReconst の植込

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) ドローンから得られる画像から SfM と SLAM の手法を用いて三次元形状の復元を行った。
- 2) SfM では幹や枝の復元は困難であり、特徴点を強調する画像編集が必要である。
- 3) 距離画像による SLAM では、幹や枝の復元においてあるはずのない計測点が発生するなど外形が不明瞭であった。余計な計測点を削減するカービングの手法が必要と考えられる。
- 4) 樹木の葉や植え込みなどの特徴点を抽出しやすいものは SfM にて外形の復元が可能であり、今後に向けて詳細な定量評価を行う必要がある。

謝 辞

本研究は、令和 3 年度高度技術者育成支援事業の一環として東北大学 情報科学研究科 田所研究室にて行われたものです。受け入れ、ご指導いただいた田所諭教授、大野和則准教授、研究室のスタッフの方々に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 山形県, 山形県果樹農業振興計画 (令和 3 年 3 月), 2021
- 2) Alexander Feldman, Haozhou Wang, Yuya Fukano, Yoichiro Kato, Seishi Ninomiya, Wei Guo “EasyDCP: An affordable, high-throughput tool to measure plant phenotypic traits in 3D”, *Methods in Ecology and Evolution* 2021
- 3) 齋藤 和人, 増田 宏, 平岡 裕一郎, 松下通也, 高橋 誠, “三次元大規模点群に基づく樹木の形状再構成”, *JSPE* 2015
- 4) 原口 強, “SLAM 技術とその計測事例”, *Fabrica*. 30 2022
- 5) Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro, “Dense 3D Map Building based on LRF data and Color Image Fusion”, *IEEE International Workshop on IROS* 2005

「雪女神」を使用した純米大吟醸酒の高品位化

工藤晋平 下川浩太 長谷川悠太 村岡義之 石垣浩佳

Improve the quality of Junmai Daiginjo sake using “Yukimegami”

Shinpei KUDO Kouta SHIMOKAWA Yuta HASEGAWA

Yoshiyuki MURAOKA Hiroyoshi ISHIGAKI

1 緒言

平成 29 年に県オリジナル酒造好適米「雪女神」がデビューし、令和 4 年には、県と酒造組合が共同開発した純米大吟醸酒「山形讃香」の原料米が、出羽燦々から雪女神に変更された。また、全国新酒鑑評会では、原料米に雪女神を使用する蔵元が年々増加し、入賞数、金賞数ともに増えている状況である。工業技術センターでは、これまでも雪女神（精米歩合 40%）での試験醸造を行ってきたが、業界からは、より高精白の雪女神を用いた最高級の商品開発に向けた製造技術指導や、新たな試験データの提示などが求められていた。

本研究では、出羽燦々による純米大吟醸酒並の高品質を目指し、これまでの研究において雪女神用に開発した県酵母に適する麹菌の選定、無効精米歩合の少ない精米プログラムの開発（精米歩合 35%）、様々な条件下での試験醸造から最適な仕込み配合、温度経過の作成を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 製麹試験

協力企業である（株）秋田今野商店（秋田県大仙市）で保有している 8 種類の麹菌（北斗、氷上、吟香、吟味、ツキハゼ、月光、N54G、グルコ S）について製麹試験を行った。試験は蓋麹法で行い、包み上げは 32°C、包み上げから約 22 時間後に盛り、29 時間後に仲仕事、35 時間後に仕舞仕事とし、総製麹時間は 50 時間とした。製麹試験終了後、キッコーマンバイオケミファ（株）製の酵素力測定キットを用い、各種糖化酵素、タンパク質分解酵素の酵素力価を測定した。

2.2 精米試験

精米は、当センターの縦型精米機（新中野工業（株）製 NF-26）で精米歩合 35%まで行った。これまでの研究¹⁾で作成したプログラムを基に、初期回転数、最終回転数等の違いによる碎米発生率の変化を検証した。初発の回転数は 520~540rpm、精米歩合の減少に応じて回転数を変化させ、最終回転数は 350~400rpm とした。

2.3 小仕込み試験

雪女神に適した麹菌の選定を行うため、精米歩合 35%の雪女神を用いた総米 1kg の小仕込み試験を実施した。試験は、酒母省略の酵母仕込みとし、また、添仕込みは麹米のみの変則 2 段仕込みで行った。酵母は、山形酵母 YK009 を用い、発酵温度は、添 12°C、踊 13°C、仲 9°C、留 8°Cで行い、留後 0.5°C/日ずつ温度を上げ 11.5°C を最高温度とした。発酵経過は、炭酸ガスの発生による重量変化で管理し、アルコール度数が 16%を越えた時点で終了とした。終了後に遠心分離を行い、得られた生成酒は、一般成分分析、HSGC 分析、及び官能評価に供した。

2.4 試験醸造

試験醸造は、予備試験として総米 120kg、さらに、実現場での製造規模と同等の総米 600kg で実施した（表 1,2）。目標温度は、添 12°C、踊 13°C、仲 9°C、留 6°Cとし、最高温度 12°Cで発酵させた。アルコール度数が 12~13%に達した後、徐々に温度降下を図り、16.5%で上槽した。得られた生成酒は、一般成分分析、官能評価に供した。

3 実験結果および考察

3.1 製麹試験

作業時間を一定とした製麹試験を行った結果、高グルコアミラーゼ活性麹菌の N54G、グルコ

表 1 仕込み配合 (総米 120kg)

| | 酒母 | 添 | 添 | 留 | 合計 |
|--------|----|----|----|----|-----|
| 総米, kg | 8 | 20 | 36 | 56 | 120 |
| 蒸米, kg | 5 | 14 | 29 | 47 | 95 |
| 麴米, kg | 3 | 6 | 7 | 9 | 25 |
| 汲水, L | 9 | 20 | 46 | 93 | 168 |

表 2 仕込み配合 (総米 600kg)

| | 酒母 | 添 | 仲 | 留 | 合計 |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|
| 総米, kg | 36 | 100 | 184 | 280 | 600 |
| 蒸米, kg | 24 | 70 | 146 | 235 | 475 |
| 麴米, kg | 12 | 30 | 38 | 45 | 125 |
| 汲水, L | 43 | 100 | 230 | 467 | 840 |

S は温度の上昇が遅く、菌糸の生育も緩慢であった。その他の麴菌については、盛りまでの温度上昇も早く、菌糸の生育も十分であった。各麴の酵素力価は、N54G、グルコ S はグルコアマラーゼ活性が他の 1.5~2 倍と高くなり、高グルコアマラーゼ活性麴菌の特徴を示した (表 3)。また、月光とツキハゼは、酸性カルボキシペプチターゼ活性が低く、 α -グルコシターゼ活性はやや高い傾向であった。これらのことから、月光とツキハゼはアミノ酸が少なく、オリゴ糖による味のふくらみが出やすいものと推測された。

表 3 各麴菌株の酵素力価 (U/g)

| | α -グルコシターゼ | グルコアマラーゼ | 酸性カルボキシペプチターゼ |
|-------|-------------------|----------|---------------|
| 北斗 | 0.14 | 104 | 5304 |
| 氷上 | 0.11 | 70 | 4708 |
| 吟味 | 0.12 | 85 | 4810 |
| 吟香 | 0.14 | 103 | 5123 |
| 月光 | 0.22 | 91 | 4589 |
| グルコ S | 0.46 | 191 | 5191 |
| ツキハゼ | 0.24 | 99 | 4602 |
| N54G | 0.40 | 166 | 5505 |

3.2 精米試験

これまでの研究結果から、雪女神の無効精米歩合を抑制するには、初期回転数を高く設定し、早期に回転数を降下させるプログラムが有効であることが判明している。今回の試験では、これまでに作成したプログラム (C1) を基に、新たに 2 つのプログラム (P1, P2) を作成し試験

を行った (図 1)。その結果、無効精米歩合は、C1, P1, P2 がそれぞれ 5.7, 6.5, 4.2% となり、初発回転数を 540rpm と高くし、その後回転数を速やかに下げた P2 が有効であることが判った。また、最終回転数は、380rpm と 350rpm では結果に差が見られなかった。精米後半は、回転数より米の流量の影響が大きいことから、精米時間を長く保ち、品温の上昇を防ぐ方が、より抑制効果が高いと推察された。

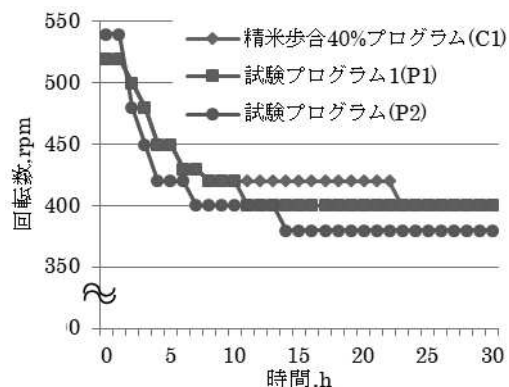


図 1 精米プログラム

3.3 小仕込み試験

製麴試験で作成した麴を使用した総米 1 kg の発酵試験を行った。留後 6 日目に最高温度 11.5°C とし、15 日目から徐々に温度を下げ、27 日目に上槽を行った。13 日目のアルコール生成量は、N54G だけが 8% 台とやや発酵が遅れていたが、その後各試験区ともに、順調な発酵経過を示し、アルコール生成速度に差は見られなかった (表 4)。上槽後の一般成分分析、香气成分分析でも大きな差は見られなかったが、官能評価で高評価であったツキハゼと N54G を、試験醸造用の麴菌として選抜した。

表 4 小仕込み発酵中 (13 日目) のアルコール度数 (%)

| 北斗 | 氷上 | 吟味 | 吟香 |
|-----|-------|------|------|
| 9.1 | 9.4 | 9.9 | 9.9 |
| 月光 | グルコ S | ツキハゼ | N54G |
| 9.8 | 9.6 | 9.8 | 8.9 |

3.4 試験醸造

3.4.1 令和元年度

精米歩合 35% の雪女神を使用した総米 120kg の試験醸造を行った。生成酒のグルコース濃度

2%台を目標とし、種麴はツキハゼと N54G を 4:1 の比率でブレンドして使用した。留後 9 日目に最高温度とし、アルコール度数が 13% に達した後に温度降下を図り、27 日目に上槽した。発酵初期のグルコース濃度は 4% 台と低く、10 日目には 1% 台まで低下した。そのため、上槽時のグルコース濃度は 0.3% となり、目的とする濃度には至らなかった。生成酒の官能評価でも、「きれいさはあるが苦味が目立つ」という評価であったため、総米 600 kg の試験醸造では、N54G の使用比率を変えて試験を行うこととした。

初年度の総米 600 kg の試験醸造は、2 種類の仕込み方法で実施した。仕込み A の麴は、ツキハゼと N54G のブレンド比率を 1:1 で製麴し、仕込み B は酒母、留麴に N54G を、添、仲麴にツキハゼをそれぞれ単独で使用し試験を行った。各麴のグルコアミラーゼの酵素力価は、ブレンド製麴で 60~80U/g、ツキハゼ単独は 40~60U/g、N54G 単独は 100~130U/g となった (表 5)。

表 5 各麴の酵素力価 (U/g)

| | 区分 | α-アミラーゼ | グルコアミラーゼ | 種麴 |
|---|----|---------|----------|------|
| | 酒母 | 199 | 129 | N54G |
| A | 添 | 243 | 65 | ブレンド |
| | 仲 | 303 | 72 | ブレンド |
| | 留 | 224 | 82 | ブレンド |
| B | 添 | 288 | 44 | ツキハゼ |
| | 仲 | 285 | 60 | ツキハゼ |
| | 留 | 164 | 106 | N54G |

試験醸造は 6.3°C で留後、12 日目に最高温度とし、アルコール度数が 13% になった後に温度降下を図り、それぞれ 31、33 日目に上槽を行った。発酵初期のグルコース濃度は、仕込み A で 6% 台、仕込み B で 7% 台となり改善が見られた。しかし、仕込み A は、グルコースの減少が早く、15 日目には 1.6% まで低下した。一方仕込み B は、26 日目まではグルコース濃度が 2% 前後で推移しており、減少は緩やかであった。上槽時のグルコース濃度はそれぞれ 1.4、1.9% となり、複数の麴菌をブレンドで使用するより、留麴などに高グルコアミラーゼ活性麴菌を単独で使った方が、グルコースを維持しやすいと思われた (表 6)。しかし、生成酒の官能評価では、いずれも「渋い、苦い」との評価が多く、生成酒

の甘味はまだ不足している結果になった。

表 6 試験醸造 (R1) の一般成分分析結果

| 仕込区分 | 日本酒度 | アルコール (%) | 酸度 (mL) | グルコース (%) |
|------|------|-----------|---------|-----------|
| A | -2 | 16.8 | 1.5 | 3.3 |
| B | -5 | 16.6 | 1.3 | 2.8 |

3.4.2 令和 2 年度

令和元年度の結果を基に、グルコース生成量を増やす目的で、使用する種麴の再検討を行った。これまで使用した N54G と、新たな高グルコアミラーゼ活性麴菌として、よりグルコアミラーゼ活性の高い「白夜」((株)菱六製)を、ブレンド用の麴菌には、本県の大吟醸酒製造に最も使用されている「黒判」((株)ピオック製)を用い製麴試験を行った。また、製麴温度を高めを設定し、高グルコアミラーゼ活性麴菌がより生育しやすい温度経過とした (図 2)。さらに、麴菌のブレンド比率は、高グルコアミラーゼ活性麴菌の使用量が多くなるよう配合し試験を行った。

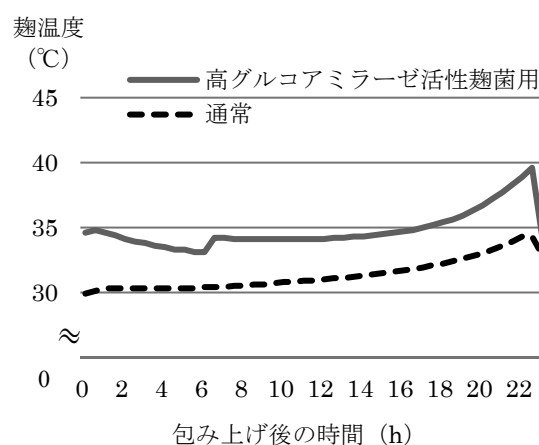


図 2 製麴温度経過
(包み上げから盛りまで)

まず、N54G 単独のグルコアミラーゼ活性が 200U/g 以上まで高まり、製麴温度を高くした効果はあることがわかった。またブレンド比率は、高グルコアミラーゼ活性麴菌の比率を高めてもほぼ変化はなく、いずれの比率でも一定の値を示した。ブレンド製麴では白夜ブレンドのグルコアミラーゼ活性は、N54G ブレンドの約 1.5 倍となり、さらに、N54G 単独よりも高い値を示した (表 7)。

表 7 種麴のブレンド比と酵素力価 (U/g)

| 種麴 | α-アミラーゼ | グルコアミラーゼ |
|-------------|---------|----------|
| N54G | 833 | 211 |
| N54G:黒判 4:1 | 504 | 171 |
| N54G:黒判 3:1 | 567 | 175 |
| N54G:黒判 2:1 | 523 | 186 |
| 白夜 :黒判 2:1 | 698 | 282 |
| 白夜 :黒判 4:1 | 628 | 285 |

以上の結果より、総米 600 kg の試験醸造では、麴菌は白夜と黒判をそれぞれ単独で使用し、製麴量 (麴歩合) でグルコアミラーゼ活性を調整することとした。目標とするグルコアミラーゼ活性値は、平均 250U/g とし、添麴を黒判、その他の麴を白夜で製麴することで、全麴の 3/4 を白夜とする配合とした。もろみの温度経過はこれまで同様で行ったところ、グルコース濃度は 5 日目まで 11.5% となり、その後緩やかに減少したが、上槽直前は 3.3% 付近で推移した。上槽後の官能評価では、「甘味、酸味共に重く不調和」という評価であった。このことから再度グルコース濃度を検討し、グルコース濃度は約 2.5%、酸度は 1.3 程度に抑える必要があると考えられた。

3.4.3 令和 3 年度

目標とするグルコース濃度 (2.5%) に必要なグルコアミラーゼ活性の適正值を解明するため、総米 3 kg の小仕込み試験を行った。小仕込み試験は 2 種類で行い、一つは添麴に白夜を、もう一つは留麴に白夜を使用する配合とした。その結果、添麴に白夜を使用した方は、最高グルコース濃度が 10% 以上になったものの、その後は順調に減少し、目標とするグルコース濃度 2.5% 程度で上槽することができた。一方、留麴に白夜を使用した方は、前回の試験醸造と同様に、上槽直前までグルコース濃度 3% 以上を維持する結果となった。この結果より、適切なグルコアミラーゼ活性の平均値を 180~200U/g と定め、以後の試験醸造を行うこととした。3 kg の小仕込み試験は、酒母省略のため、添麴の割合が一般的な三段仕込みの比率より多くなっている。そこで、総米 600 kg の試験醸造では、酒母麴は白夜と黒判のブレンド、添麴は白夜、留麴は黒判を使用し試験醸造を行った。また、生成

酒の酸度を抑えるために、酒母の割合をこれまでの 6% から 5.5% に減少し試験を行った。試験醸造は、6.6°C で留後やや前急型で推移させ、7 日目に最高温度とし、アルコール度数が 13% に達した後に温度降下を図り、30 日目に上槽を行った。グルコース濃度は最高で 7% 台と低くなったが、その後は緩やかに減少し、上槽直前は 2.8% となった (表 8)。

表 8 試験醸造 (R2,R3) の一般成分分析結果

| 年度 | 日本酒度 | アルコール (%) | 酸度 (mL) | グルコース (%) |
|----|------|-----------|---------|-----------|
| R2 | -2 | 16.8 | 1.5 | 3.3 |
| R3 | -5 | 16.6 | 1.3 | 2.8 |

今回の試験醸造では、グルコアミラーゼ活性の平均値は約 150U/g と目標を下回ったが、グルコースは想定より多く生成される結果となった。この原因として、令和 2 年度 (R2) までの原料米は登熟期の高温の影響で、やや溶けにくくなっていたが、令和 3 年度 (R3) は登熟期の気温経過も良く、溶けやすい品質となっていたためと思われた。このことから、グルコアミラーゼ活性が低くても、グルコースが生成しやすい状況になったと推測される。生成酒の官能評価では、やや甘味が重く感じられたものの、「甘味と酸味のバランスが良い」との高評価が得られた。また、山形県新酒鑑評会での評価では 298 点中 68 位と、上位 1/4 以内の成績を収めることができた (表 9)。

表 9 グルコース濃度と官能評価

| 年度 | グルコース (%) | 評点 (5 点法*) |
|----|-----------|------------|
| R1 | 1.4 | 2.8 |
| R2 | 3.3 | 2.5 |
| R3 | 2.8 | 2.3 |

(*: 1 が優良, 5 が難あり)

次に、飲用適性を把握するため、3 年間の試験醸造酒の簡単なアンケート調査を行った。被験者は、センター関係者を中心とした日本酒愛好家とした。アンケート結果では、いずれの試験醸造酒も 8 割以上の方からおいしいとの評価をいただいた。他方、飲み飽きの有無の項目では、初年度に試験醸したグルコース 1.4% のものが飲

み飽きしない、最終年度に試醸したグルコース 2.8%のものは飲み飽きすると回答した人が最も多い結果となった(表 10)。以上のことから、飲用適性の高い酒質と鑑評会で高評価を得る酒質には差があり、それぞれ造り分けを行う必要があると思われた。

表 10 アンケート調査結果

| 年度 | 飲み飽きする | 飲み飽きしない |
|----|-----------|------------|
| R1 | 5 人 (14%) | 30 人 (86%) |
| R2 | 6 人 (21%) | 22 人 (79%) |
| R3 | 9 人 (37%) | 15 人 (63%) |

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 「雪女神」に適した麹菌の選定を行い、その麹菌を使用しグルコアミラーゼ活性を約 150U/g とする製造方法を確立した。
- 2) 「雪女神」に適した高精白用の精米プログラムを作成した。
- 3) アンケート調査結果からグルコース濃度の適正値を把握し、市販酒用、鑑評会用で造り分ける必要性があることがわかった。

文 献

- 1) 工藤晋平, 長俊広, 村岡義之, 石垣浩佳:
山形県工業技術センター報告, No.48
(2016) 78

追熟型果実の加工適熟判定と加工技術開発

後藤猛仁 村岡義之 飛塚幸喜

Processing Time Decision and Processing Technology Development of Ripening-fruit

Takehito GOTO Yoshiyuki MURAOKA Koki TOBITSUKA

1 緒 言

本県特産の果実であるおぼこ梅、庄内柿、ラ・フランスは樹上で完熟する前に収穫され、追熟や脱渋を経て加工に供されるが、追熟後の果実の外観、風味、食感等は収穫時とは大きく異なったものとなる。このためこれらの果実は追熟型果実と呼ばれ、これらを原料とした加工品の開発には、加工に最適な熟度の判定が重要な課題となる。

果実の熟度判定技術は古くから研究されており、全品検査と価値保全の両立という観点から、非侵襲での評価が望ましいとされている。しかし、現在の主流である非侵襲の熟度評価法（主に赤外線糖度計）では、追熟による糖度変化がない果実には適用できない上に、果実ごとに個別の設定が必要であり、機器の導入によるコスト増大が懸念される。他方で、機器を使用しない目視評価では定量的な判定ができず、熟練するまでに時間がかかるなどの問題がある。

そこで、本研究では山形県産の追熟型果実の、非侵襲かつ簡便で低コストな熟度判定技術と、通年流通可能な果実加工品の開発技術について検証したので報告する。

2 実験方法

2.1 供試原料

実験および試作に使用した追熟型果実はすべて山形県産であり、連携企業から提供されたもの、または県内量販店で購入したものを使用した。おぼこ梅とは、酒田市松山地区で栽培される在来品種である¹⁾。庄内柿は現在主要な経済品種である平核無²⁾を使用した。ラ・フランスは庄内地域で市販されているものを使用した。果実の追熟は、ステンレスバット、または樹脂製コンテナ中に蓋をせずに静置し、室温で行った。また、加工までの果実の保管には、一般的な業務用冷凍庫を想定し、 -20°C で保管した。

2.2 色彩測定

果実の色彩は分光測色（コニカミノルタ株式会社 CM-2500d、連携企業では Datacolor 社 ColorReader）を用いて計測し、 $L^*a^*b^*$ 表色系を用いて評価した。測定は、果実の側面を4点、へたと反対の底面を1点測定し平均した。CM-2500dを使用した場合の測定条件はJIS Z8722に準じて行った。

2.3 果実香気成分の分析

ラ・フランス果実1果をそのままチャック付きアルミ製バック（容量1.9L）に入れ、常温で3時間静置したのち、北川式検知管（光明理化学工業株式会社 ガス採取器 AP-20、酢酸ブチルガス検知管 138U）を用いて測定した。

2.4 果実物性評価

果実の破断強度をレオメータ（不動工業株式会社 NRM-2010J-CW）を用いて評価した。試験には直径3mmの円筒形プランジャーを使用し、試験速度は5cm/minとした。測定に用いた果実は1cm角にカットし、果皮のない部位を用いた。

2.5 クロロフィルおよび β -カロテンの定量

おぼこ梅果実から種を除き、ホモジナイザーで均一化した。抽出溶媒として、おぼこ梅重量の10倍量の80%アセトンを加えて磨砕抽出し、No.5Cのろ紙を使用したろ液を測定試料検体とした。

試料溶液の吸光度（クロロフィル a は663nm、クロロフィル b は645nm、 β -カロテンは453nm）を測定し、永田らの色素濃度計算法³⁾を用いて濃度を算出した。算出したクロロフィル a 、 b 濃度の和をクロロフィル濃度とした。また、測定試料は -20°C で保管し、蛍光3次元スペクトル測定にも使用した。

2.6 蛍光3次元スペクトル測定

分光蛍光光度計（株式会社島津製作所 RF-6000）を使用した。測定条件は励起光、蛍光波長ともに250~800nm、波長間隔は5nmとして

3次元スペクトルを取得した。

2.7 水溶性タンニンの定量

皮を剥き、4分の1に切り分けた庄内柿を蒸留水 100ml 中で2時間加熱した(70, 80, 90°C)。その後、試料の 10 倍量の蒸留水と共にミキサーでホモジナイズし、No.5C のろ紙を使用したろ液を測定試料とした。その後、バニリン-塩酸塩法により定量した。

2.8 加工試作品の呈味評価

試作した加工品の味は、試料に 5 倍量の蒸留水を加えてホモジナイズし、No.5A のろ紙を使用したろ液を試料液とし、味覚センサー(株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー SA402B)を用いて評価した。評価項目は、旨味、旨味コク(旨味の後味)、塩味、酸味、苦味、苦味雑味(苦味の後味)、渋味、渋味刺激(渋味の後味)とした。

3 実験結果および考察

3.1 各果実の追熟指標の検討

一般的に追熟型果実は追熟と共に果実硬度が低下することが知られている⁴⁾。そこで、おばこ梅、庄内柿の色彩測定を行い、追熟に伴う果実の軟化と対応しているかを評価し、追熟指標となるパラメータを検討した。

おばこ梅(4果)の追熟に伴う a*値, b*値の変化を図 1 に示す。追熟に伴い a*値は増加したが、

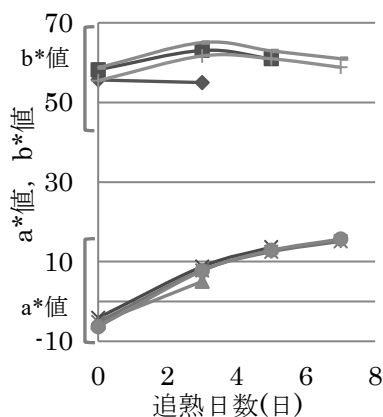


図 1 おばこ梅の追熟と色彩

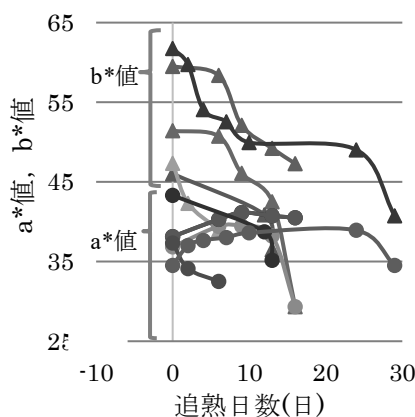


図 2 庄内柿の追熟と色彩

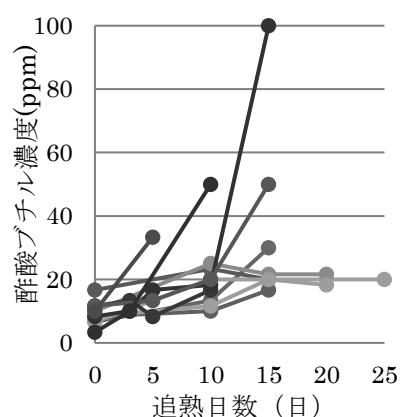


図 3 ラ・フランスの追熟と酢酸ブチル濃度

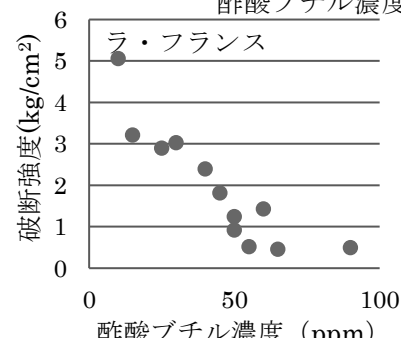
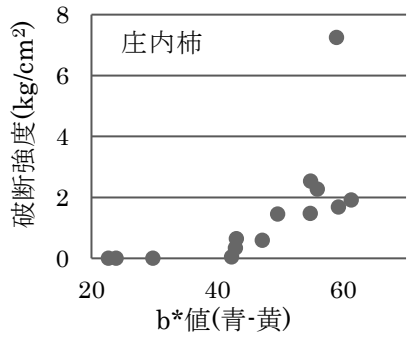
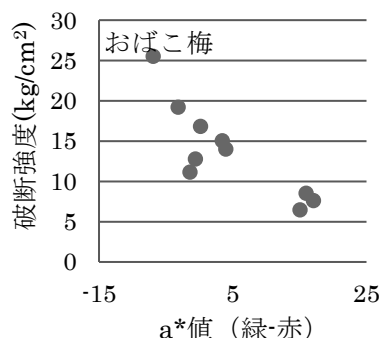


図 4 各追熟指標と果実硬度の関係

b*値はほぼ一定であり、a*値の増加に伴い果実硬度が低下することを確認した(図 4)。

庄内柿(5果)の追熟に伴う a*値, b*値の変化を図 2 に示す。a*値は追熟に伴う明確な傾向を示さなかったが、b*値は常に低下した。また、b*値の低下に伴い果実硬度が低下することを確認した(図 4)。

ラ・フランスは追熟による果皮色の変化がほとんどないため、色彩からの熟度判定が困難であるとされている⁵⁾。そこで本研究では、ラ・フランスの主要な香り成分である酢酸ブチル濃度を測定し、熟度判定の指標となるか検討した。図 3 にラ・フランス(11果)の追熟による酢酸ブチル濃度の変化を示す。その結果、追熟に伴い酢酸ブチル濃度が増加し、果実硬度の低下とも傾向が一致した(図 4)。

3.2 おばこ梅の追熟に関与する色素分析

おばこ梅の追熟による a*値の変化は、緑色色素のクロロフィルと黄色色素であるカロテンが影響していると考えられたため検証した。a*値を指標におばこ梅を青梅, 半熟, 完熟に分別し、クロロフィルと β-カロテン濃度を測定した(図 5)。青梅のクロロフィルは半熟, 完熟より高く、追熟が進み a*値が増加すると低下することを確認した(図 6)。また、β-カロテンは追熟が進むにつれ高くなることを確認した(図 5)。

蛍光3次元による測定においても、蛍光波長670nmにクロロフィルの蛍光を確認し(図7)、おぼこ梅抽出液のクロロフィル濃度と高い相関を示した(図8)。

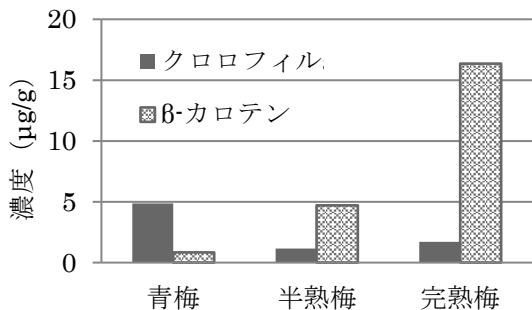


図5 おぼこ梅の各熟度における色素濃度

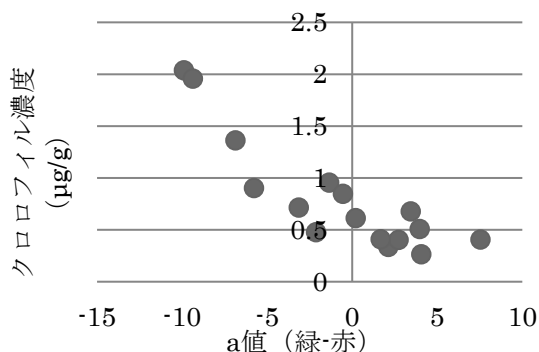


図6 おぼこ梅のa*値とクロロフィル濃度

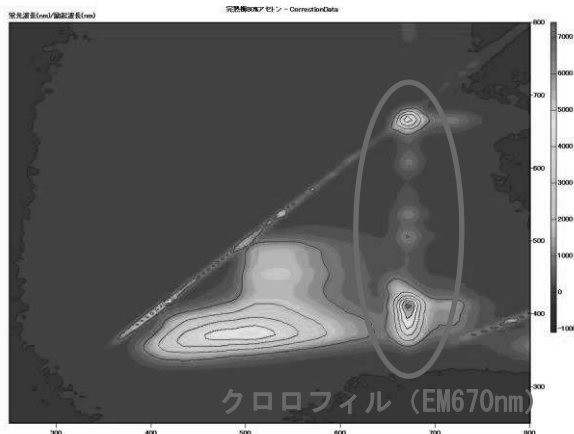


図7 おぼこ梅(青梅)の蛍光3次元スペクトル

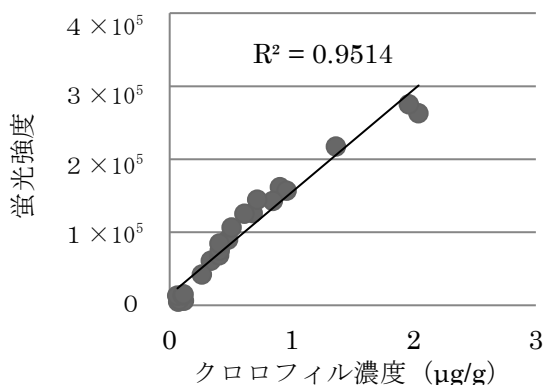


図8 クロロフィル濃度と蛍光の関係 (EX410nm / EM670nm)

3.3 加工品試作(おぼこ梅の退色防止)

熟度の異なるおぼこ梅を用いてシラップ漬を作製し、原料からの色彩の変化、味覚センサーによる呈味性の確認を行った。その結果、完熟したおぼこ梅を使用した場合が最も加工による退色が少なく、酸味が抑えられ、加工品に適していることを見出した(図9, 図10)。

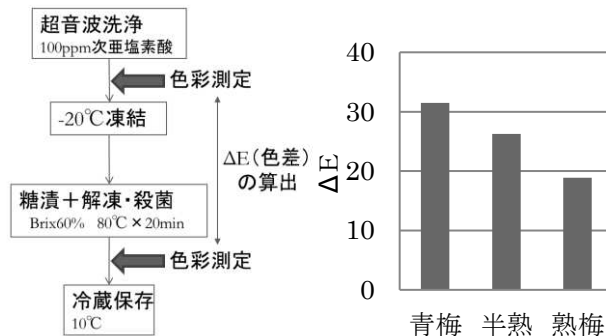


図9 シラップ漬製造フローと熟度毎の加工による色差

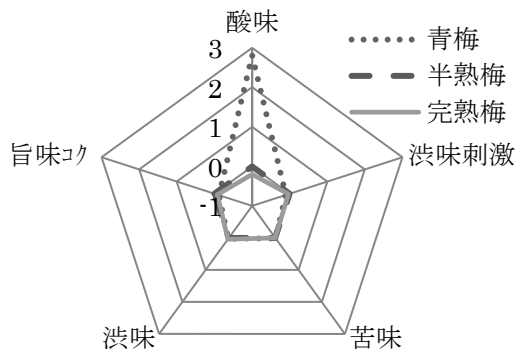


図10 味覚センサーによる比較

3.4 加工品試作(庄内柿の渋戻り防止)

庄内柿のような渋柿は、渋抜きを行っても加工時に加熱されると渋戻りが起き、製品の品質を損なってしまうことが知られている。そこで、熟度の異なる庄内柿を用いて、加工品にした際の糖度、渋戻りの評価(水溶性タンニンの定量)を実施し、渋戻りの発生する条件を検証した。その結果、糖度は未熟なうちは増加を示すが、熟度が一定まで達すると減少していくことが分かった(図11)。また、水溶性タンニン濃度はより熟度の高いものほど低い傾向が見られた(図12)。

これらの結果から、庄内柿の糖度は完熟する手前で最も高くなるが、加工時(加熱時)に渋戻りを起こす恐れがあるため、加工品作製には完熟した原料が適していることを見出した。

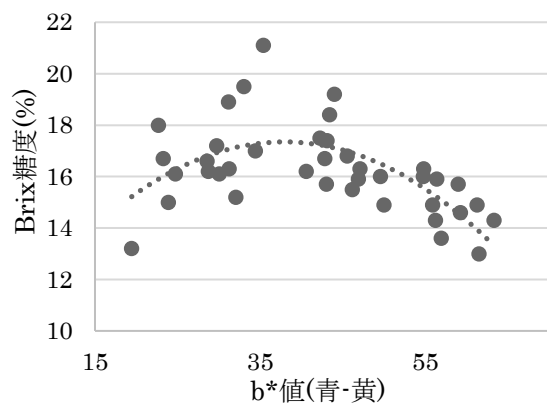


図 11 庄内柿の熟度による糖度の変化

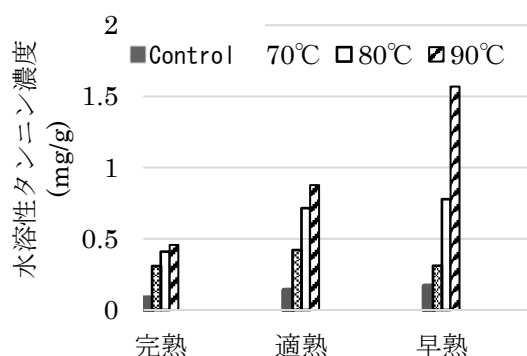


図 12 各熟度と加熱温度による水溶性タンニン濃度への影響

3.5 製品化事例

本研究の成果から県内の漬物、農産加工品製造企業において、おぼこ梅シラップ漬と庄内柿加工品を製品化するに至った（図 13, 14）。



図 13 製品化したおぼこ梅加工品



図 14 製品化した庄内柿加工品

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) おぼこ梅の熟度指標として $L^*a^*b^*$ 表色系 a^* 値が適していることを見出した。
- 2) 庄内柿の熟度指標として $L^*a^*b^*$ 表色系 b^* 値が適していることを見出した。
- 3) ラ・フランスの熟度指標として酢酸ブチル濃度が適していることを見出した。
- 4) 加工品作製には完熟した原料を使用することで、おぼこ梅の退色および庄内柿の渋戻りの危険性が低いことが判明した。
- 5) 本研究事業によって連携企業 2 社からおぼこ梅、庄内柿加工品を製品化するに至った。

謝 辞

本研究は、株式会社本長、就労継続支援 A 型事業所 fe ふぁーむ、櫛引農村工業農業協同組合連合会らの協力の下に実施した。ここに記し関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 山形大学農学部果樹園芸学研究室編:やまがたの在来梅のはなし, 杉葉堂印刷, 2014
- 2) 平智, 大川久美子, 池田香織:山形大学紀要(農学), 第 14 巻第 2 号, 21-28, 2003
- 3) 永田雅靖:日本食品工業学会, Vol39,, No.10, 925-928, 1992
- 4) 緒方邦安:日本食品工業学会誌, 第 10 巻, 第 11 号, 1963
- 5) 飛塚幸喜:食品と開発, VOL58, NO.11, 2017

家庭洗濯可能な環境に優しい植物系再生繊維の製品の確立

相田秀美* 尾崎満* 数馬杏子 泉妻孝迪 平田充弘 佐竹康史

Development of Washable Textile Using Eco-Friendly Recycled Cellulose Fiber

Hidemi AITA* Mitsuru OZAKI* Kyoko KAZUMA Takamichi IZUNOME
Mitsuhiro HIRATA Yasufumi SATAKE

1 緒言

植物系再生繊維は、植物体の中に含まれる繊維素（セルロース）を取り出して、化学薬品で一旦溶解したのち繊維状に再生したもので、銅アンモニアレーヨン（キュプラ繊維）、ビスコースレーヨン（レーヨン繊維）、精製セルロース（リヨセル繊維）に分類される¹⁾。キュプラ繊維は綿の種子毛（リンター）を原料とし、紡糸された繊維断面は円形であり、菊形のレーヨン繊維と異なる。このキュプラ繊維は、1857年、ドイツの E. Schweizer が開発した。現在、キュプラ（商品名ベンベルグ[®]）を製造しているのは、旭化成のみである。キュプラ繊維の特徴には、上述の円断面や高重合度セルロースを由来とするシルクライクの光沢感やドレープ性が挙げられる。一方、湿潤膨潤による型崩れやしわなど外観不良の発生が長年の課題とされており、これまでは裏地などの利用に限られていた。

こうした中、相田らは、セルロースナノファイバー（CNF）を植物系再生繊維に付着させることで、湿潤時の膨潤抑制に効果があることを提示した²⁾。今回、キュプラ繊維製品の家庭での洗濯可を目指して、CNF加工をバッチ式の浸漬処理と半連続式のパディング処理で行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 供試材

CNFは、日本製紙製セレンピア TC-01A(1wt%水分散品)を用いた。キュプラ織物は、平織組織（経糸緯糸 75 D, 密度 32 本/cm）および三飛五枚たて朱子織組織（経糸 45D/24F, 密度 94 本/cm, 緯糸 45D/24F, 密度 56 本/cm）を使用した。

2.2 CNF 加工方法

CNF 溶液の調製は CNF を 10wt%に水で希釈し、攪拌脱泡機はシンキー製練太郎 ARE-310 を用い、容量 100 mL で 30 秒 (2,000 rpm) 攪拌後に 30 秒 (2,200 rpm) 脱泡を行った。高速分散機は、IKA 社製ホモジナイザー ULTRA-TURRAX T50 digital を用い 10 L を 10 分 (590 rpm) 攪拌した。浸染処理は、200 mL ステンレスビーカーに織物 10 g および CNF 調整液を 200 mL 加えて Mathis 社製染色機 LABOMAT BFA-8 に設置し、130°C で 30 分間 (25 rpm) 遠心したものを取り出し後に水洗、風乾して行った。パディング処理は、ステンレスバッドで CNF 調整液 500 mL に、織物 10 g を 30 分間浸漬後、大栄科学製作所製サンプルパッダー機 PM-400E で脱液して 100°C で 3 分間熱処理した後、さらに 130°C で 3 分間熱処理し、水洗、風乾することで行った。

2.3 評価方法

CNF 加工液の分散性は、大塚電子製ゼータ電位・粒径測定システム ELS-Z2 を用い、平均粒径は CUMULANT 法で、粒度分布は MARQUARDT 法で算出した。引裂強さは、JIS L 1096 D 法（ペンジュラム法）に準拠し、島津製作所製エレメンドルフ型引裂き試験機を用いて行った。摩耗試験は、JIS L 1096 E 法に準拠し、James Heal 社製マーチンデール摩耗試験機 1609 型を使用し、荷重 12 kPa にて、湿潤試験は水に十分に浸漬させた標準摩擦布と織フェルトを用いて行った。湿潤摩耗試験後の生地を観察は、FEI 製低真空走査電子顕微鏡 Quanta400 を用い、蒸着処理なしで行った。フィラメントの側面観察は、フィルジェン製オスミウム・プラズマコーターを用いて膜厚 10 nm で蒸着した後、

【令和 2 年度 ものづくり共同研究事業（受託研究）】

* 東北整練株式会社

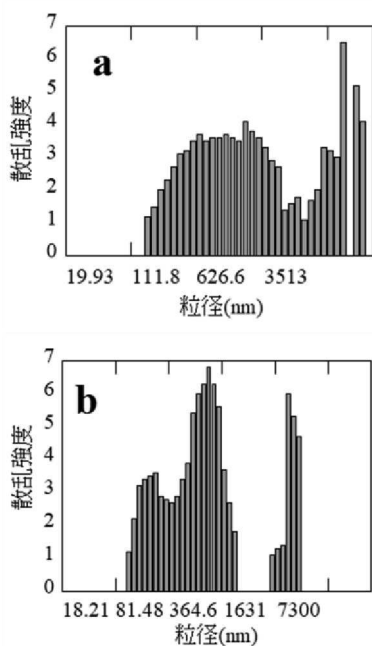


図 1 攪拌方法による平均粒径・粒度分布の比較；a 攪拌脱泡機，b 高速分散機

日本電子製超高分解能走査型電子顕微鏡 JSM-7900F を使用し、観察距離を 3 mm、電圧は 0.50 から 0.80 kV で観察した。膨潤率は、ニコン製偏光顕微鏡 ECLIPSE LV100N PCL を使用し、湿潤前後の繊維直径を求めて算出した。フィラメントの引張試験は、Textechno 社製繊維引張試験機 FAVIGRAPH を用い、初荷重 100 mg、つかみ間隔 10 mm、引張速度 10 mm/min で行った。

3 実験結果および考察

3.1 CNF 加工液の分散性

CNF を繊維に付着させるには、後加工処理の点から水に希釈して分散させる必要がある。今回、攪拌脱泡機と高速分散機で、10wt% にセレンピア TC-01A を希釈し、粒度分布から分散性を比較した。攪拌脱泡機で分散した CNF 溶液は 1,100 および 14,000 nm に、高速分散機で分散した CNF 水溶液は 570 および 5,400 nm に共に二峰性の極大を示した (図 1)。攪拌脱泡機で分散した CNF 水溶液の CUMULANT 法で算出した平均粒径は 910 nm、MARQUARDT 法で算出した多分散指数は 0.36 であった。一方、高速分散機で攪拌した CNF 水溶液は、粒径 10,000 nm 以上の散乱は認められず、粒径が数百 nm の散乱が増加し平均粒径は 430 nm、多分散指数は 0.22 となり、高速分散機による分散性が高いことが

表 1 織組織と CNF 加工方法による特性変化

| 組織 | 加工方法 | 濃度 | 引裂き強さ (N) ^a | | 湿潤摩耗強さ (回) ^b |
|-----|---------|---------|------------------------|-----|-------------------------|
| | | | 乾燥 | 湿潤 | |
| 平織 | 未加工 | — | 9.3 | 5.9 | 810 |
| | 浸漸処理 | 20%owf | 11 | 4.9 | 900 |
| | | 30%owf | 10 | 5.4 | 820 |
| | | 40%owf | 8.3 | 4.9 | 800 |
| | パディング処理 | 0.5 g/L | 11 | 5.4 | 950 |
| | | 1.0 g/L | 10 | 6.4 | 950 |
| 朱子織 | 未加工 | — | 8.8 | 3.9 | 760 |
| | 浸漸処理 | 20%owf | 11 | 3.9 | 700 |
| | | 30%owf | 11 | 3.9 | 670 |
| | | 40%owf | 9.8 | 3.9 | 720 |
| | パディング処理 | 0.5 g/L | 11 | 5.4 | 910 |
| | | 1.0 g/L | 10 | 3.9 | 1100 |
| | | 1.5 g/L | 9.8 | 4.9 | 900 |

^a JIS L 1096 D 法 (ベンジュラム法)

^b JIS L 1096 E 法 (マーチンデール法) 荷重 12 kPa

認められた。

3.2 2種の織組織による CNF 加工の検討

CNF 加工は、平織または綾織のキュプラ織物に浸漸処理またはパディング処理にて CNF 濃度を 3 段階に変えて行った (表 1)。エレメンドルフ形引裂試験機による加工した平織キュプラ織物の乾燥状態での引裂き強さは、いずれの濃度でも未加工に対し向上した。しかしながら、浸漸処理した生地での湿潤状態での引裂き強さは、未加工に対し低下する傾向にあった。グリオキザール系樹脂による後加工では、金属触媒によってセルロースが酸化され重合度が減少することが知られているが³⁾、これに類似した状況が生じたことが考えられる。一方、パディング処理を行ったものは、湿潤状態での引裂き強さは、浸染処理に比べて低下しなかった。

マーチンデール摩耗試験による摩耗強さは、織物に糸切れが生じるまでの摩擦回数を積算することで行うが、今回用いたキュプラ織物は、乾燥状態では糸切れが生じるまで数万回を超えたため、湿潤状態で試験を行った。湿潤摩耗強さは、引裂試験機による湿潤引裂き強さと同様の傾向を示し、浸染処理に比べパディング処理した生地が向上した。湿潤摩耗試験後の

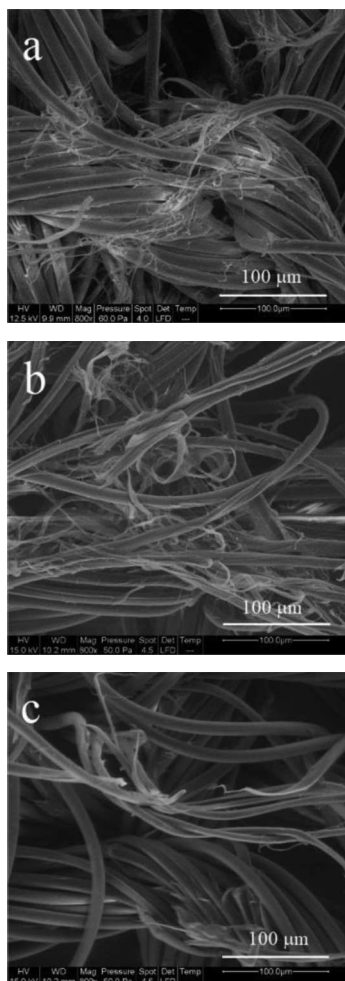


図2 湿潤摩耗試験後の電子顕微鏡写真
; a 未処理, b 浸染処理, c パディング処理

キュプラ織物を電子顕微鏡で観察すると、未処理の織物には、フィラメントが分繊化し、生じたフィブリルが絡み合っていることが確認できる(図2a)。これに対し、浸染処理を行うと、フィブリル化は起きているが、絡み合いは生じていない(図2b)。また、パディング処理を行うと、フィブリル化も大きく低減していることがわかる(図2c)。このことから、生地の摩耗強さは、CNFが付着してフィブリル化が防がれることで向上したのではないかと考えられる。朱子織物の加工後の特性は、組織が疎になっているためか、平織物より加工による差が明瞭となった。

3.3 CNF加工フィラメントの特性評価

平織のキュプラ生地に浸染処理、パディング処理の組合せを変えて加工を行い、組織分解して得た緯糸を解捻してフィラメントの特性を調

表2 CNF加工処理の組合せとフィラメントの特性

| 浸染処理 | パディング処理 | 膨潤率 (%) ^a | 強力 (cN/dtex) ^b |
|-----------|---------|----------------------|---------------------------|
| — | — | 18 | 2.1 |
| 40%o.w.f. | — | 17 | 1.9 |
| 40%o.w.f. | 1.5 g/L | 11 | 2.3 |
| — | 1.5 g/L | 16 | 1.9 |

^a 膨潤率 = (湿潤直径 - 乾燥直径) / 乾燥直径 × 100

^b JIS L 1013 引張速度 10 mm/min, つかみ間隔 10 mm

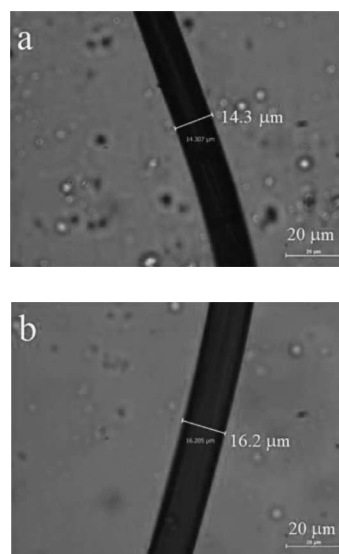


図3 キュプラ繊維の偏光顕微鏡写真
; a 乾燥状態, b 湿潤状態

べた(表2)。フィラメントの膨潤率は、偏光顕微鏡観察で乾燥状態と湿潤状態の直径を測定することで求めた(図3)。浸染処理、パディング処理単独では、未処理に対し膨潤率は殆ど低減しなかった。しかしながら、浸染処理とパディング処理を併用すると、5%以上低減できた。

フィラメントの引張強力は、未処理に対し、浸染処理、パディング処理単独では低下したが、浸染処理とパディング処理を併用すると向上した。浸染処理したフィラメントの強伸度曲線は、未処理のフィラメントの強伸度曲線と類似しているが、相対的に強度が低下している傾向にある(図4)。一方、浸染及びパディング処理したフィラメントの強伸度曲線は、引張初期から破断時まで殆ど降伏点が認められず、CNFが被覆され機械的特性が変化したと考えられた。

未処理のフィラメント側面の電子顕微鏡写真には、紡糸段階の凝固で生じた表面の起伏が見

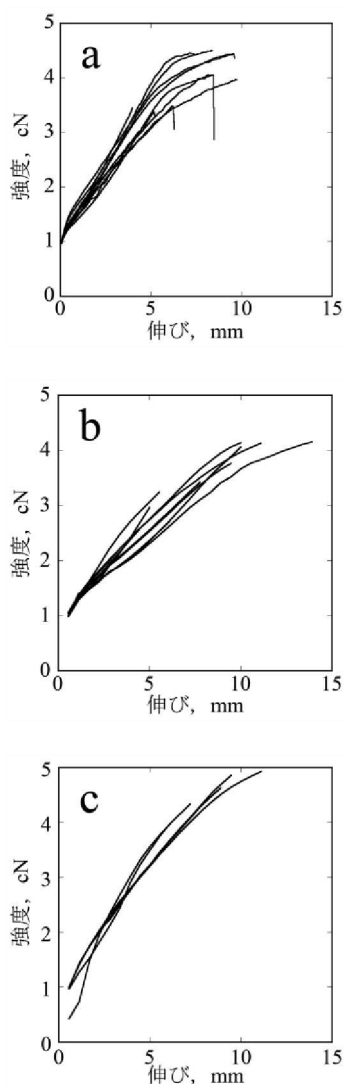


図4 キュプラ繊維の強伸度曲線；a 未処理，b 浸漸処理，c 浸漸処理及びパディング処理

受けられる（図5）。浸染処理のフィラメント側面は、未処理のフィラメントの側面に比べて、若干、起伏が大きくなっているようにもみえる。パディング処理したフィラメントの側面は、より起伏が大きくなっており、CNFの被覆量が増加していると考えられた。

4 結 言

キュプラ繊維製品の CNF 加工について研究を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) キュプラ織物への CNF 後加工は、パディング処理を行うと、湿潤摩耗強さが最大 1.4 倍向上する。

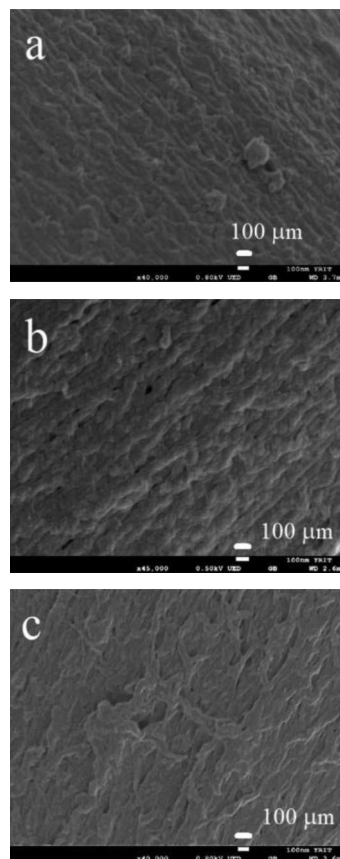


図5 CNF加工したキュプラ繊維の電子顕微鏡写真；a 未処理，b 浸染処理，c 浸漸処理及びパディング処理

- 2) CNF 後加工したキュプラ織物は、繊維側面を CNF が被覆しており、フィラメントの膨潤率が 11%に低下し、強力が 2.3 cN/dtex に向上する。

謝 辞

本研究は、東北整練株式会社が地域総合整備財団からふるさとのづくり支援事業補助金の交付を受けて取り組んだ成果の一部である。ここに記し関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 中島史恵：繊維製品消費科学，58(2017)171.
- 2) 相田秀美：公開特許公報，特開 2021-116490.
- 3) 野村元昭：繊維工学，32(1979)146.

保水体を有する液域限定電解加工の加工特性の調査

五十嵐裕基 遠部多聞* 夏恒*

Investigation of machining characteristics of electrochemical machining that limits area of electrolyte with water holder

Yuki IGARASHI Tamon OBE* Wataru NATSU*

1 はじめに

電解加工(electrochemical machining)とは、電解液中で電極を陰極、被加工物を陽極として通電することで、陽極を溶出させる加工方法である¹⁾。工具電極が消耗しない、材料の硬さに影響されない、加工速度が速いなどの利点があるが、電解液を通じて加工電流が意図せず工具電極の直下以外の領域にも流れるため、**図1**のように被加工物の角にダレが発生するなど、加工精度が悪いという欠点がある。電解液の存在領域を制限しながら電解加工を行う方法として液域限定電解加工が提案されている²⁾が、加工特性や挙動、および加工条件の影響などについては明らかになっていない点が多い。そこで、本研究でこれらを調査したので報告する。

2 実験方法

図2に工具電極の概略図を示す。円形シート状の保水体(ポリエステル製フェルト、直径82mm、厚さ1mm)の両側を円形の電極板(SUS304、直径80mm、厚さ3mm)で挟んで中心にシャフトを通し、ストッパで締結して工具電極を作成した。**図3**に実験装置の概略図を示す。工具電極の下部を電解液(10wt% NaNO₃水溶液)に浸してシャフトに接続したモータで工具電極を回転させ、電源装置(株中央製作所 PowerMaster)で被加工物(SUS304)を陽極、電極を陰極として Pulse 電流を付与し、被加工物と電極板との極間距離を 0.5 mm として、工具電極の上部で被加工物の下部に電解加工を行った。被加工物を静止させ、加工条件(電流値、Pulse ON/OFF 時間、加工時間、電極回転速度)を変えて加工した場合と、被加工物を NC 装置で3方向に走査させ、一定の加工条件で加工した場合について検討を行った。加工後に、形状

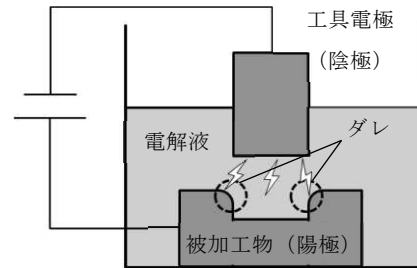


図1 電解加工の欠点

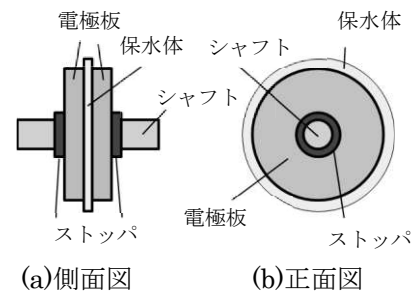


図2 工具電極の概略図

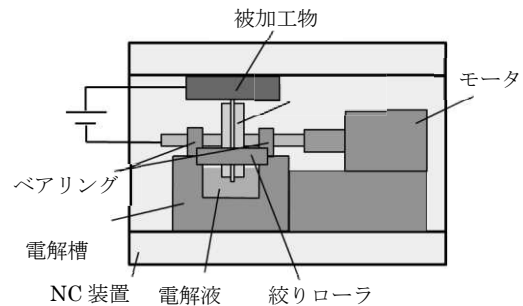


図3 実験装置の概略図

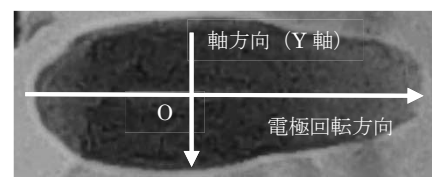


図4 加工形状の測定位置

【令和3年度 高度技術者育成支援事業】

* 東京農工大学工学部

測定機（株式会社ミットヨ CV-3000）で加工形状を測定し、加工特性や加工条件の影響を評価した。測定箇所は図4のように、Y軸方向は加工形状の幅が最も広い位置、電極回転方向は加工形状の中央部とした。

3 実験結果および考察

3.1 加工形状の特徴

被加工物を静止した状態で、電流値 10 A, Pulse ON時間 50 ms, OFF時間 100 ms,加工時間 10 s,電極回転速度 120 rpm で加工した場合について、図5にY軸方向、図6に電極回転方向の加工形状を示す。

3.1.1 Y軸方向の加工形状

図5について、加工形状の中央をY軸方向の原点にとると、加工中は ± 0.5 mmの領域の直下に保水体が存在し、 -3.5 mm \sim -0.5 mmおよび 0.5 mm \sim 3.5 mmの領域の直下には電極板が存在すると推定できる。加工形状の特徴として、保水体直上よりも電極板直上の除去量が大きいため、加工形状の形成には電極板が強く影響していると考えられる。また、加工形状の幅が工具電極の幅より広いことから、加工中の電解液は図7のように、工具電極の幅より広がって存在していたと言える。

3.1.2 電極回転方向の加工形状

図6について、電極回転方向の加工形状には2つの傾斜があり、右側の傾斜が急峻になっていた。工具電極を回転させると図8のように、工具電極によって汲み上げられた電解液が加工点（保水体と被加工物が最接近する点）の右側に多く存在し、加工点の左側にも少量存在している状態が目視で確認された。この電解液溜まりでも加工が行われることで、電解液の存在領域の大きさの違いにより、左右非対称な傾斜が形成されたと考えられる。

なお図5より、加工深さが最大となる位置は保水体の直上にはないため、測定位置によって加工深さの最大値が異なる。加工深さが最大となる位置は電極板の直上に存在しており、Y軸方向の加工形状のほうが加工条件の影響がより強く反映されていると考えられるため、加工特性の評価にはY軸方向の加工形状を用いることとする。

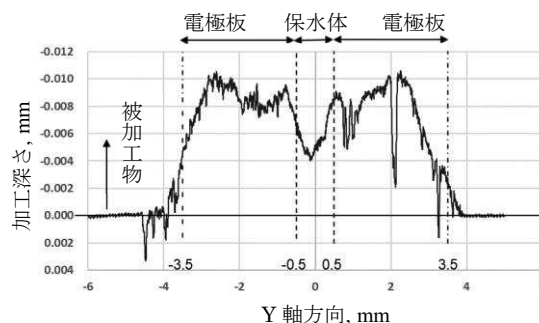


図5 Y軸方向の加工形状

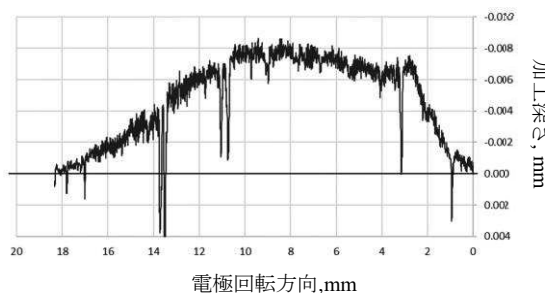


図6 電極回転方向の加工形状

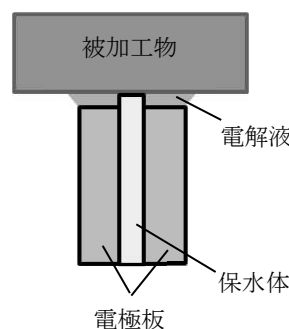


図7 Y軸方向の電解液の存在領域

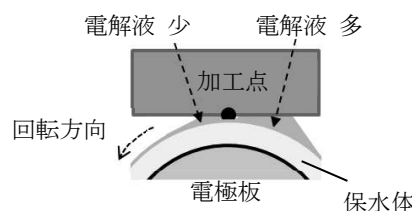


図8 Y軸方向の電解液の存在領域

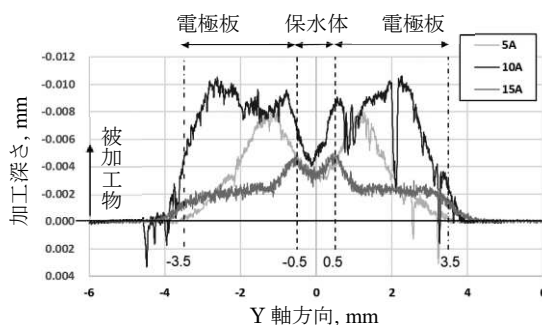


図9 電流値変更時の加工形状

3.2 加工条件の影響

3.2.1 電流値の影響

Pulse ON 時間 50 ms, OFF 時間 100 ms, 加工時間 10 s, 回転速度 120 rpm で, 電流を 5 A, 10 A, 15 A の 3 水準とした加工形状を 図 9 に示す。5 A から 10 A とすると除去量は増加したが, 15 A では減少した。図 10 に 10 A および 15 A の加工中の電流波形を示す。10 A では加工開始後 10 s まで正常にパルスが発生したが, 15 A では加工開始直後から電源装置の動作が不安定となり, 加工開始後約 3.1 s に電力の供給が停止した。また, 加工面にはピンホール状の異常放電痕が見られた。これらの点から, 15 A の加工では, 電流密度が過大となったため, 加工プロセスが不安定になり, 電源装置が自動停止したために加工が進まなくなったと考えられる。

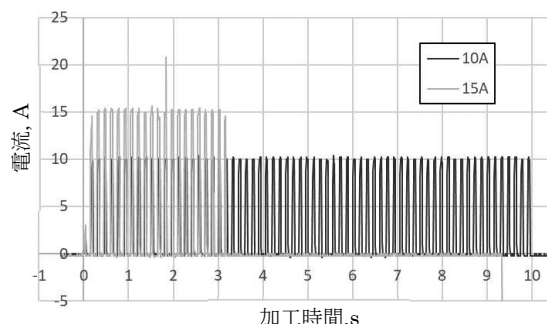


図 10 10A および 15A の加工中の電流波形

3.2.2 ON 時間/OFF 時間の影響

電流 10 A, 加工時間 10 秒, 回転速度 120 rpm で, Pulse ON/OFF 時間を 20 ms/ 40 ms, 50 ms/ 100 ms, 100 ms/ 200 ms の 3 水準とした加工形状を 図 11 に示す。Pulse 電流の ON 時間と OFF 時間を変更しても, 加工形状には有意な差が見られなかった。これは Pulse 電流の Duty 比 (Pulse ON/OFF 時間の比率) が全条件で一定であることから, 単位時間内に供給される電力量が条件によらず一定であったため, 加工形状に大きな変化が見られなかったと考えられる。

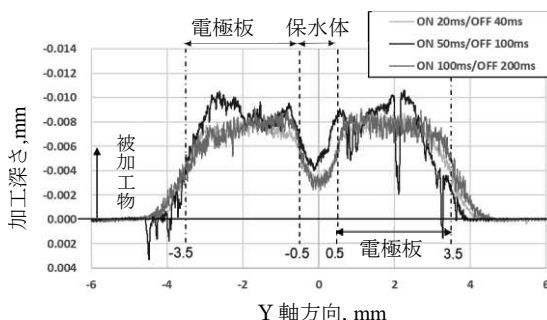


図 11 Pulse ON/OFF 時間変更時の加工形状

3.2.3 加工時間の影響

電流 10 A, Pulse ON 時間 50 ms, OFF 時間 100 ms, 回転速度 120 rpm で, 加工時間を 5 s, 10 s, 20 s の 3 水準とした加工形状を 図 12 に示す。保水体上部と電極板上部の加工深さの差は 5 s で約 0.001 mm であったが 20 s で約 0.005 mm となり, 時間経過とともに差が大きくなった。また, 5 s の場合, 電極板の外端部に加工された部分に荒れが見られたが, 20 s の場合は荒れが見られなくなり, 電極板で加工された領域はより平坦になった。

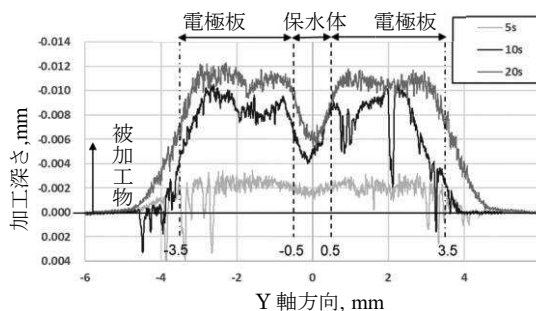


図 12 加工時間変更時の加工形状

3.2.4 電極回転速度の影響

電流 10 A, Pulse ON 時間 50 ms, OFF 時間 100 ms, 加工時間 5 s とし, 電極回転速度を 120 rpm, 180 rpm, 240 rpm の 3 水準とした加工形状を 図 13 に示す。加工形状の幅は 120

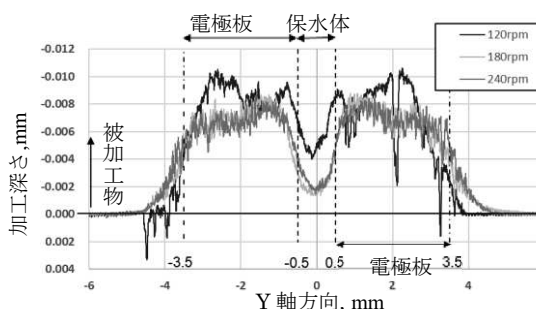


図 13 電極回転速度変更時の加工形状

rpm では 7.8 mm であったが, 180 rpm および 240 rpm では 9.3 mm となった。電極回転速度を上げることで電解液の供給量が増加し, 電解液の存在領域が大きくなったため, 加工形状の幅が大きくなったと考えられる。しかし 180 rpm 以上では, 電解液の存在領域が最大まで成長したか, または電流が電極板の外側にそれ以上到達できないため, 加工形状の幅が広がらな

かったと考えられる。

3.3 走査加工の加工特性

電流値 10 A, Pulse ON 時間 50 ms, OFF 時間 100 ms, 加工時間 60 s, 電極回転速度 120 rpm で一定とし, 60 mm/min で被加工物を走査させ, 走査加工の加工特性を検討した。走査方向は図 14 のように, 工具電極の回転に対して①回転方向, ②回転と逆方向, ③回転軸方向の 3 方向とした。

3.3.1 走査方向①および②の加工特性

走査方向①および②の加工形状を図 15 に示す。接線方向に走査した①は, 被加工物を静止させて加工した場合と同様の加工形状が得られたが, 接線と逆方向に走査した②は加工深さが①より小さくなり, 電極板の影響が強い位置が不明瞭な加工形状となった。これについて, 加工中の模式図を図 16 に示す。被加工物の未加工部の任意の点 A, B に着目すると, 前述のとおり加工点の左右にも電解液は存在するが, その量は異なるため, 点 A は加工点に到達する前に電解液が多い領域を, 点 B は電解液が少ない領域を通過していると言える。そのため, 加工点に供給されている電解液の量が走査方向によって異なっており, 加工形状に差異が生じたと考えられる。

3.3.2 走査方向③の加工特性

走査方向③の加工形状を図 17 に示す。電極の回転軸方向に走査加工を行うことで, 静止加工時に保水体上部の加工形状で見られた V 溝が見られなくなり, 全体的に均一な加工形状が得られた。また, 加工形状の長さは 55.6 mm となり, 走査距離より短くなった。これは, 加工開始直後と加工終了直前の位置は工具電極から電解作用を受ける時間が短いため, 加工が十分に行われていなかったと考えられる。

4 まとめ

本研修事業では電解加工の基礎および装置の取り扱いを学び, 液域限定電解加工における, 加工特性や加工時の挙動, および電流値, Pulse ON/OFF 時間, 加工時間, 電極回転速度, 被加工物の走査方向の各加工条件の影響を確認した。

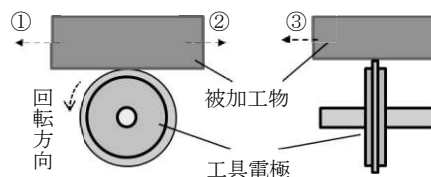


図 14 走査加工の加工方向

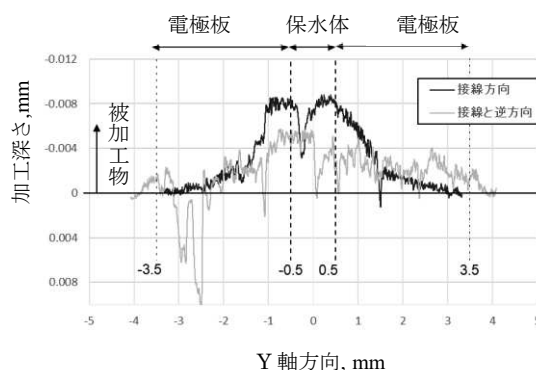


図 15 走査方向①,②の Y 軸方向の加工形状

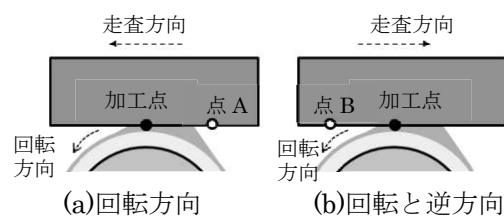


図 16 走査方向①,②の加工中の模式図

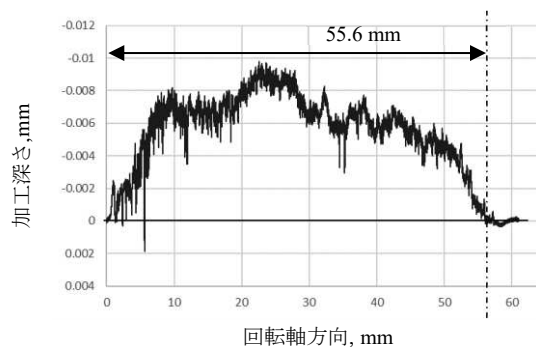


図 17 走査方向③の軸方向の加工形状

謝 辞

本事業を受け入れてくださった東京農工大学 夏研究室の皆様に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 佐藤敏一: 電解加工と化学加工, 朝倉書店, 1970.
- 2) W.Natsu, J.He, Y.Iwanaga: Experimental Study on Electrochemical Machining with Electrolyte Confined by Absorption Material, Procedia CIRP, 87, pp.263-267, 2020.

5 軸加工機を用いた工程集約能力の検証

松田 丈* 五十嵐 渉

Verification of process integration capability with 5-axis machining center

Takeshi MATSUDA* Wataru IGARASHI

1 緒 言

本県の多くの企業において労働力不足、生産性の向上が大きな課題となっており、特に製造業は深刻な状況となっている。機械加工業界においては、工程集約能力を期待して 5 軸加工機を導入する企業も増えているが、未導入の企業には 5 軸加工機の特徴が十分に認知されていない。

そこで本研究では、5 軸加工機の特徴が活かされる割出し加工（回転・傾斜軸を任意の角度で固定し、直動 3 軸で加工）が必要なモデルを県内企業からの聞き取りにより設定し、複数工程が必要な 3 軸加工と割出し加工でのリードタイム（工具長測定時間、位置決め時間、被削材脱着時間、加工パス作成時間、実加工時間）および加工精度に関する工程集約能力を定量的に比較・検証した。

また、機械加工後に多くの時間と集中力を必要とする手磨き工程は熟練者への依存が大きく、また、高齢化・技能継承者不足といった問題も顕在化している。そこで、昨今各工具メーカーから発売されている PCD（Poly Crystalline Diamond: 多結晶焼結ダイヤモンド）工具を活用した磨きレス切削加工技術についても取り組み、

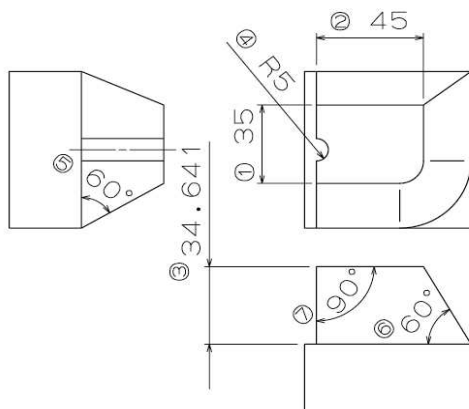


図 1 設定した加工モデル

手磨き工程をマシニング工程に集約できる可能性について検討した。

2 実験方法

2.1 リードタイムと加工精度の検証

加工機は 5 軸加工機（日本電産マシンツール株式会社 μ V1-5X）を、加工パス作成 CAM は OPEN MIND hyper MILL を使用した。加工モデルは県内企業からの聞き取りにより溝や立壁、斜面のある形状（図 1）とした。作業者が加工面の方向に応じて被削材の脱着を行う 3 軸加工と、加工機の回転軸と傾斜軸を使用するために被削材の脱着が不要な割出し加工の 2 通りで同一モデルの加工実験を行い、工具長測定時間、位置決め時間、被削材脱着時間、加工パス作成時間、実加工時間をそれぞれ計測することでリードタイムを比較した。被削材はアルミニウム合金 A5052 とし、加工条件は工具メーカーの推奨条件を採用した。加工精度の測定には超高精度 3 次元測定機（株式会社ミットヨ LEGEX776）を用い、図 1 中の①～⑦を測定した。

2.2 磨きレス切削加工

PCD 工具（図 2）の活用で熟練者の手磨き仕上げ面に匹敵する表面粗さが得られるか、手磨き工程の標準化に資するかの観点で実験した。金型用鋼 NAK80（硬さ 39HRC）に対しては平



図 2 手磨き工程標準化

【令和 2～3 年度 自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

* 山形県産業労働部産業技術イノベーション課

面加工 (50×10mm) を, ELMAX (硬さ 21HRC) に対してはリフレクター形状加工 (15×15×1mm) を実施した。超硬ボールエンドミルで仕上げ加工した後 PCD ボールエンドミル (日進工具株式会社 PCBRB, 先端 R1mm) で最終仕上げ加工を実施した。加工条件は回転数 40,000rpm (切削速度 251m/min), 送り速度 500mm/min, 軸および径方向切込み量 0.003mm とした。また, 平面加工の際は切削速度が 0 になる工具中心での加工を回避するため, 被削材を 30°傾斜させて加工した。加工中に主軸の伸びによる工具長の微小変化が見込まれるため, 加工前に 30 分間空転させ主軸の暖機運転を行った後, 当該加工機に搭載された回転中の工具長を測定できる機上工具測長システムで測定した値を工具長として用いた。加工後の表面粗さは 3 次元表面構造解析顕微鏡 (Zygo NewView7300) で測定した。手磨き仕上面との比較のため県内企業様の協力を得て, NAK80 平面加工の手磨き仕上げを実施した。

3 実験結果および考察

3.1 リードタイムと加工精度の検証

図 3 に 3 軸加工, 割出し加工における作業ごとの所要時間を示す。工具長測定時間については, 3 軸加工と割出し加工ともに同じ本数の工具を使用し加工前にあらかじめ機上工具測長システムで計測したため変わらない。位置決め, 脱着, 加工パス作成時間については 3 軸加工では CAM 上で 13 のジョブ (工程) 作成が必要であったが, 3 回の脱着に加え次工程での削り代を考慮した位置決め, 加工パス作成, シミュレートが必要になるため煩雑さが増し多くの時間を要した。それに対し割出し加工の場合は 16 のジョブ作成だったが, 1 回の脱着と位置決めで

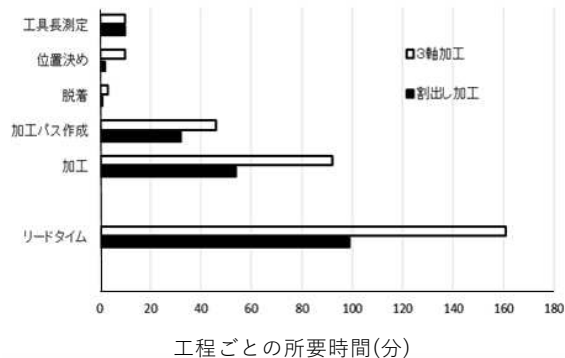


図 3 リードタイム比較

済むため短縮につながった。加工時間については特に斜面部の加工で顕著な違いが確認された。3 軸加工による斜面部の加工ではボールエンドミルを使用しなければならないのに対して, 割出し加工では所定の傾斜角に固定することによりスクエアエンドミル底刃で加工が可能になるため (図 4), 大幅な加工時間短縮につながった。以上をまとめると, 今回設定した 3 回の脱着が必要な加工モデルにおいて, 合計 160 分から 100 分へと約 38% のリードタイム短縮につながった。形状にも依存するが, 脱着回数が増えるほど大きな効果が得られると考えられる。また, 割出し加工では一度加工開始してしまえば作業員は他の作業に従事することができるといった手離れも良いため, 生産性向上にも資することがわかった。

表 1 に 3 次元測定機にて測定した 7 箇所設計値からの誤差量を示す。3 軸加工では位置決めが 3 回あったため, その累積誤差により加工精度が悪化したものと考えられる。また, 割出し加工では工具突出し量も短くて済むこと, 制御軸が増えたことによる影響も無いことから機械精度同等の加工精度 0.002~0.004mm が得られた。

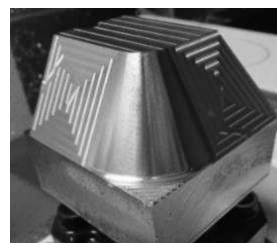


図 4 割出し加工による加工物

表 1 測定箇所の設計値からの誤差量

| | 設計値 | 3 軸加工 | 割出し加工 |
|---|----------|----------|----------|
| ① | 35.000mm | -0.025mm | 0.004mm |
| ② | 45.000mm | 0.010mm | -0.002mm |
| ③ | 34.641mm | 0.025mm | 0.004mm |
| ④ | R5.000mm | -0.022mm | -0.002mm |
| ⑤ | 60.000° | -0.003° | 0.002° |
| ⑥ | 60.000° | 0.011° | 0.003° |
| ⑦ | 90.000° | 0.046° | -0.002° |

3.2 磨きレス切削加工

図5にPCD工具で平面加工したNAK80を、図6にリフレクター形状加工したELMAXの画像および電子顕微鏡像をそれぞれ示す。NAK80の超硬ボールエンドミル仕上げ面の表面粗さは $Ra0.255\mu\text{m}$ だったが、PCD工具で最終仕上げ加工を実施することで $Ra0.020\mu\text{m}$ と手磨き面($Ra0.028\mu\text{m}$)よりも小さい表面粗さを得ることができた。一方で加工時間では、手磨き歴20年以上の熟練者が作業に約2時間要した面積に対し、PCD工具による最終仕上げ加工は、径方向切込み量が 0.003mm と小さいため、加工パスが約3333回必要になり、2倍の4時間を要した。ただし、加工中は手離れできることや作業者に依存しないため表面粗さのバラつきも小さいと考えられる。

また、ELMAXの表面粗さは $Ra0.312\mu\text{m}$ から $Ra0.106\mu\text{m}$ へ改善した。2つの結果から、加工時間では手磨きの作業時間に及ばないものの、PCD工具の活用により作業者の技術・技能に依らない手磨き工程の標準化・短縮化が図られ、高齢化している熟練者の継承者不足にも対応できるものと考えられる。

図7に加工前後のPCD工具の電子顕微鏡像を示す。目詰まりは見られなかったが、鏡面を維持できる工具寿命の調査が今後の課題である。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 3回の位置決めが必要なモデルを3軸加工と割出し加工の2通りで加工し、リードタイム約38%削減、 $0.002\sim 0.004\text{mm}$ の精度で加工することができ、5軸加工機の優位性を確認することができた。
- 2) 超硬工具による仕上げ加工後にPCD工具で最終仕上げ加工を実施することで、NAK80に対し $Ra0.020\mu\text{m}$ の表面粗さを得ることができた。加工時間は熟練者による手磨きに対し2倍を要したが、手磨き面以上の表面粗さを得ることができた。

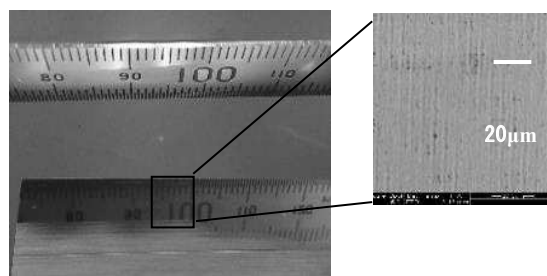


図5 NAK80平面加工

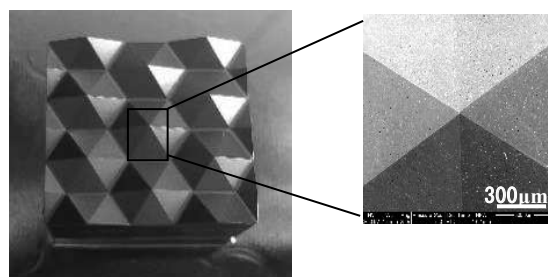
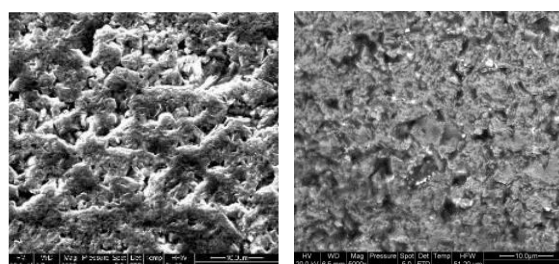


図6 ELMAXリフレクター加工



加工前 加工後

図7 加工前後のPCD工具

楕円振動切削による大面積意匠性金型加工に向けた金型鋼材の検討

木村直樹 齊藤寛史 阿部雄一*

Study of Mold Steel Types for Design Mold Machining of Large Area
by Using Elliptical Vibration Cutting

Naoki KIMURA Hiroshi SAITO Yuichi ABE*

1 緒言

楕円振動切削加工は、工具に数 μm の楕円振動を付加させて切削加工を行う技術である¹⁾。加工時に工具が楕円軌跡を描き、切り屑の流出を促すことで切削抵抗を低減させ、また間欠切削となることで工具の熱化学的な反応を抑制させることができる。これにより、工具摩耗の大幅な低減を可能とし、従来技術では困難とされていたダイヤモンド切削工具による鉄系材料への超精密加工も可能となる²⁾。しかし、近年では金型鋼の大面積微細鏡面加工へのニーズが高まっており、さらなる工具摩耗の抑制が課題となっている。

本実験では3種類の射出成形用金型鋼を被削材として楕円振動を用いた鏡面切削加工実験を行い、被削材の表面粗さや工具の摩耗量を比較することで大面積加工に適した鋼材を検討する。

2 実験方法

2.1 楕円振動切削実験

本実験では加工機に多賀電気(株)製楕円振動切削装置 EL-50 Σ を取り付け、約 40 kHz、振幅 4 μm_{p-p} の円振動を付加することで楕円振動切削加工を行った。使用した工具は先端角 90° の単結晶ダイヤモンド切削工具である。実験の概略図を図 1 に示す。実験は各鋼材(長さ 1000 mm、幅 20 mm、厚み 10 mm) に対して、1000 \times 18 mm の範囲に 50 μm 間隔で複数回の切込みを与えて V 溝加工を行った。ただし 2 回目以降の切り込みの際、前回の切り込みを 3 本ずつ残すことで、観察用の加工面を確保した。

使用した加工機は、(株)ナガセインテグレックス製 N2C-53US4N4 (以下ナノセンタ) とファナック(株)製 ROBO nano-UiA (以下ロボ

ナノ) の 2 機種である。上記 2 種は剛性(軸受け方式)や最大切削速度が異なるため、楕円振動切削による適性を評価するため、実験に供した。各実験条件を表 1 に示す。加工後は FEI 製環境制御型電子顕微鏡 Quanta400 および Zygo 製 3 次元表面構造解析顕微鏡 NewView7300 で、工具の摩耗状態の観察、摩耗量の測定、および被削材の表面粗さの測定を行った。

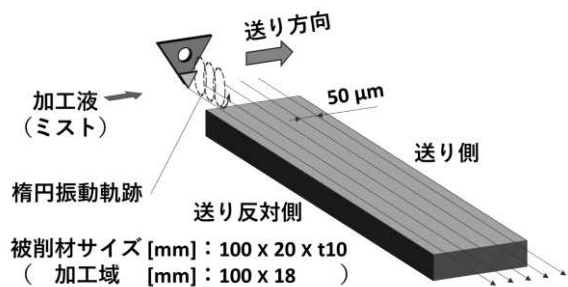


図 1 実験概略図

表 1 実験条件

| 加工機 | 超精密非球面研削盤 (ナノセンタ) | 超精密複合マイクロ加工機 (ロボナノ) | |
|------|--|---|---------------------|
| メーカー | (株)ナガセインテグレックス | ファナック(株) | |
| 型式 | N2C-53US4N4 | ROBO nanoUiA | |
| 軸受方式 | 油静圧 | 空気静圧 | |
| 実験条件 | 切削速度 | 1000 mm/min | 200 mm/min(最大値) |
| | 被削材 | NAK55, NAK80, STAVAX | NAK80 |
| | 加工域 | 100 mm \times 18 mm | 42 mm \times 8 mm |
| | 切込回数 | 5回 | 8回 |
| 切込み量 | 8(8), 7(15), 5(20), 5(25), 2(27) μm | 5(5), 5(10), 5(15), 5(20), 5(25), 3(28), 3(31), 3(34) μm | |

2.2 実験に使用した被削材

実験には被削材として大同特殊鋼(株)製 NAK55、および NAK80、アッサブジャパン(株)製 STAVAX の 3 種類の射出成形用金型鋼を用いた。ただし STAVAX については、硬さの違いによる工具摩耗への影響を検討するため硬さ違いで被削材を用意し、STAVAX_1、

【令和 3 年度 ものづくり共同研究事業】

*株式会社 IBUKI

表 2 各鋼材の合金元素(wt%)
およびロックウェル硬さ(HRC)

| 加工機 | NAK55 | NAK80 | STAVAX 1 | STAVAX 2 |
|----------|--------|-------------|----------|----------|
| | ナノセンタ | ナノセンタ, ロボナノ | ナノセンタ | ナノセンタ |
| C | (0.15) | (非公開) | (0.38) | |
| Si | 0.17 | 0.16 | 0.47 | |
| Mn | 1.41 | 1.53 | 0.56 | |
| P | - | 0.01 | - | |
| S | 0.049 | - | - | |
| Cr | 0.32 | 0.27 | 14.04 | |
| Ni | 3.15 | 3.02 | 0.26 | |
| Mo | 0.26 | 0.26 | 0.12 | |
| Cu | 0.91 | 0.61 | 0.07 | |
| V | - | - | 0.34 | |
| Al | 0.63 | 0.61 | - | |
| W | - | - | - | |
| 硬さ (HRC) | 40.5 | 41.3 | 31.2 | 45.8 |

STAVAX_2と区別した。以上、計4条件で実験を行った。表2に蛍光X線分析による各鋼材の合金元素を示す。ただし炭素については蛍光X線分析では測定不可のため、各メーカーの公表値を記載している。また各鋼材の金属組織についてオリンパス光学工業(株)製倒立型顕微鏡PMG614Uで観察を行った。

3 実験結果および考察

3.1 加工面表面粗さ

図2に実験後の各鋼材における送り反対側V溝斜面の表面粗さ測定結果および測定部位の模式図を示す。NAK55およびNAK80では、切削方向に線状の明度差が生じていることから、加工面に溝状の凹凸が形成されていることが分かる。一方でSTAVAXでは硬さの違いによらず、面全体がおおよそ同程度の明度となっており、凹凸が少ない状態であると判断できる。

これらの加工面について、切削方向に対し直行する断面の表面粗さPV値の測定を行い、加工距離に対する表面粗さの推移を算出したグラフを図3に示す。STAVAXの加工面は硬さの違いによらず、加工開始直後から実験終了時(加工距離にして140m)までPV 0.1 μm未達の表面粗さを維持している。一方でNAK55は加工開始直後から、NAK80では加工距離70m付近から表面粗さが増大し、加工終了時でNAK55はPV 0.407 μm、NAK80はPV 0.282 μmの表面粗さを示した。NAK80をロボナノで加工した場合は、加工距離10m付近から表面粗さの増加が顕著になり、加工距離が僅か27mでPV 0.5 μmを超えている。



図 2 各鋼材の加工面および観察面模式図

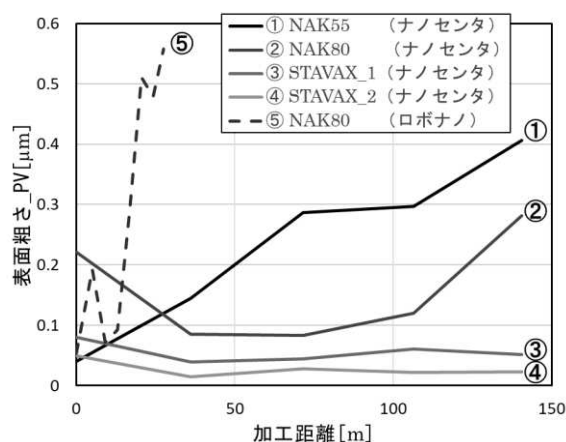


図 3 各鋼材の表面粗さの推移

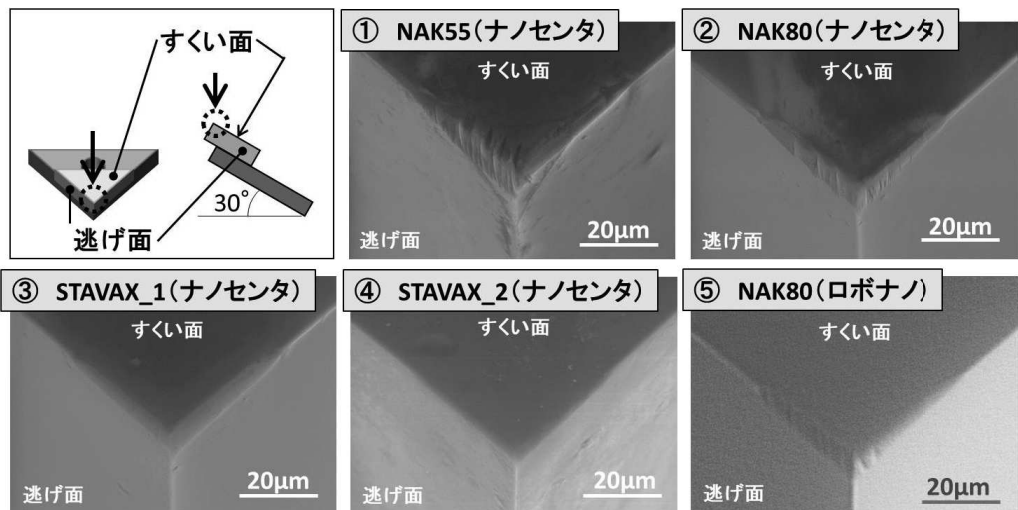


図4 各鋼材加工後の工具先端のSEM画像 (tilt:30°, x3000)

3.2 工具摩耗量

加工面の表面粗さに差が生じる原因を明確にするために、加工後の工具先端の摩耗状態の観察を行った。工具すくい面を水平から 30°傾け、倍率 3000 倍ですくい面および逃げ面を撮影した。図4に観察結果を示す。

工具摩耗の形態は大きく2つに分類できる。ナノセンタで NAK55 および NAK80 を加工した工具の摩耗部には筋状の凹凸が確認でき、特に NAK55 で顕著に現れている。またロボナノで NAK80 を加工した場合においても、同様に筋状の摩耗が確認できる。一方で、STAVAX を加工した工具は、硬さの違いによらず凹凸形状は確認できず、平滑に摩耗が進行している様子が確認できた。

これらの摩耗の状態を定量的に評価するために、逃げ面摩耗部の断面形状を図5に示す。横軸は工具先端位置を0とする切れ刃平行方向座標で、縦軸は送り反対側の逃げ面における加工未使用部からの摩耗量の大きさを示している。

ナノセンタで STAVAX_1 と STAVAX_2 を加工した工具は、共に工具先端での摩耗量はおよそ 1 µm 程度であり、硬さの違いによる摩耗量への影響は小さいと判断できる。また逃げ面にはゆるやかな傾斜を描くように摩耗が形成され、傾斜上に見られる凹凸は小さく、数も少ない。一方で NAK55 および NAK80 を加工した工具は、工具先端の摩耗量は NAK55 が上回っているがどちらも STAVAX_1, STAVAX_2 と比較すると明らかに大きい。また逃げ面摩耗部の傾斜も STAVAX を加工した工具と比較して急

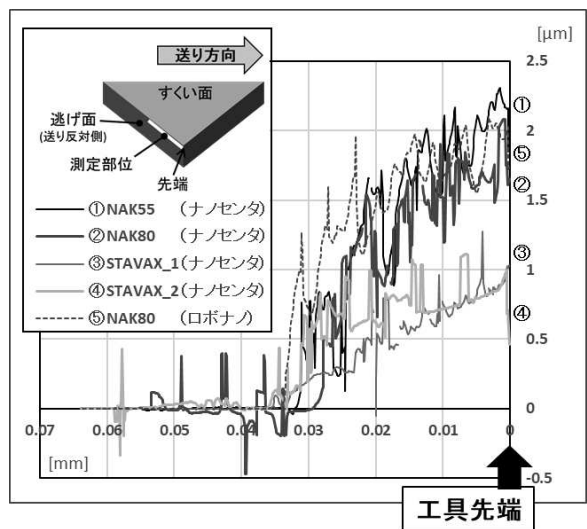


図5 各鋼材加工後の工具における送り反対側逃げ面の摩耗量

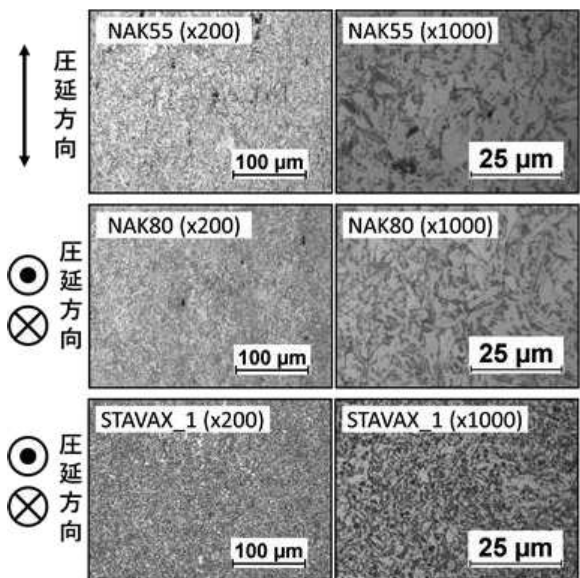


図6 各鋼材の金属組織観察像

であり、傾斜上には大きな凹凸が連続して形成されていることが確認できる。

ロボナノで NAK80 を加工した工具は、工具先端での摩耗量においてナノセンタで NAK80 を加工した工具より僅かに下回っている。ただし、ナノセンタで使用した工具の各数値は加工距離 約 140 m での摩耗量であるのに対し、ロボナノの場合はナノセンタの 1/5 の加工距離 約 28 m での摩耗量である。また逃げ面に見られる凹凸形状についても、起伏が激しい様子が確認でき、ロボナノでの楕円振動切削は、ナノセンタと比較して、激しい摩耗が伴うと考えられる。この原因は各加工機における切削速度の違いによるものと推測できる。楕円振動切削においては、工具先端は円軌跡で振動しながら切削を行っている。そのため見かけ上の加工距離と工具先端が実際に切削する距離は異なる。加えて、楕円振動切削装置は振動周波数を可変できないため、見かけ上で同じ距離を加工する場合でも切削速度が遅いほど工具と被削材の接触回数が増え、工具先端が切削する距離も大きくなる。本実験においてロボナノの切削速度はナノセンタの 1/5 であるため、見かけ上で同じ距離の加工でも実際にはナノセンタの 5 倍の長さを工具先端が切削していることとなる。これは前述した結果とも一致し、楕円振動切削においてはナノセンタでの切削速度 1000 mm/min の方が摩耗抑制において優位である。

これらの結果は 3.1 の加工面の表面粗さとも相関が見られ、ナノセンタでの加工においては、加工面の表面粗さ、工具先端摩耗量ともに NAK55>NAK80>STAVAX となっている。これは工具摩耗部の凹凸が切削時に加工面へ転写されるため、摩耗の際に凹凸が激しく生じるほど加工面の表面粗さが増大すると考えられる。また NAK80 の結果をロボナノとナノセンタで比較すると、ロボナノでは、工具先端の摩耗量 (図 5) はナノセンタの場合より下回るが、工具逃げ面の凹凸形状は本実験において最も激しく、最終的な表面粗さも最も大きくなっている。

3.3 鋼材の組織観察

前項 3.2 の結果より、工具摩耗部における凹凸の起伏の大きさが、加工面の表面粗さを増大させていることが示唆された。工具摩耗に凹凸が生じる要因を明確にするため、各鋼材の金属

組織について顕微鏡で観察を行った。図 6 に 200 倍と 1000 倍の金属組織観察像を示す。組織観察により、金属組織の大きさが鋼材ごとに異なり、NAK55>NAK80>STAVAX となっている。これは工具先端の摩耗量、および摩耗部凹凸の起伏の大きさとも一致している。このことから金属組織が小さいほど工具摩耗への影響が小さいと考えられる。

また組織観察により金属の圧延方向に対する本実験の切削方向が各被削材で一致していないことが確認された。すなわち、NAK55 の圧延方向は、切削方向と送り方向で規定される平面内であるのに対し、NAK80 と STAVAX は同平面に対し直交方向となっている。今後、圧延方向の工具摩耗への影響、合金元素における硫化物・炭化物の有無と工具摩耗との関係を調査することで、工具摩耗メカニズムの解明と更なる工具摩耗抑制が期待できる。

4 結 言

楕円振動切削に対する金型鋼材の適性について研究を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 3 種類の鋼材について、加工距離 約 140 m における加工面の表面粗さ PV 値を比較した結果、NAK55 は 0.40 μm 、NAK80 は 0.28 μm に対し STAVAX が最も小さく 0.06 μm であった。
- 2) 工具先端の摩耗量は NAK55 と NAK80 の場合が約 2 μm 、STAVAX の場合が約 1 μm であった。
- 3) STAVAX の硬さの違いによる加工面表面粗さ、工具摩耗への影響は小さい。
- 4) STAVAX の金属組織は、NAK55、NAK80 よりも小さく、金属組織が小さいほど工具摩耗への影響も小さいことが示唆された。

文 献

- 1) 社本英二, 森本祥之, 森脇俊道: 楕円振動切削加工法 (第 1 報) — 加工原理と基本特性 —, 精密工学会誌, 62, 8 (1996) pp.1127-1131.
- 2) 社本英二, 鈴木教和, 森脇俊道, 直井嘉: 楕円振動切削加工法 (第 4 報) — 工具振動制御システムの開発と超精密切削への適用 —, 精密工学会誌, 67, 11 (2001) pp.1871-1877.

抄 録 / 論 文 発 表

旋回戻りコイル構造 MEMS ロゴスキー コイル型電流センサ

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 吉田賢一* 前原謙一* 福田祐介* 指田和之* 池田克弥* 池田康亮* 竹森俊之*

電気学会論文誌 E (Vol.142 No.8, 2022)

基板上に時計回りのコイルと、終端から反時計回りの戻りコイルを形成することで電流検出と外部磁界キャンセル機能を有するロゴスキーコイル型電流センサを作製した。作製したセンサおよび、比較のため戻りコイルを有しないセンサの電流検出特性を評価した結果、通電電流の大きさ、およびスルーレート (di/dt) に対してほぼ線形に電流検出可能であった。また、デバイスに垂直方向、水平方向に外部磁界を印加して外部ノイズ依存性を調べた結果、戻りコイルの形成により、垂直磁界キャンセル効果が高いことを確認した。

*新電元工業株式会社

Effect of 3D-printed sand molds on the soundness of pure copper castings in the vicinity of as-cast surfaces

Ikuzo GOTO*, Kengo KUROSAWA**, Toshiro MATSUKI

Journal of Manufacturing Processes 77 (2022) 329–338.

Although the use of three-dimensional (3D)-printed sand molds enables both the formation of near-net shapes and the manufacture of ultra-high-mix and ultra-low-volume pure copper castings, detailed clarification is required regarding the correspondence between the use of such molds and the generation of casting defects. In this study, the effects of 3D-printed molds on the soundness of pure copper castings in the vicinity of as-cast surfaces were investigated.

Experimental results showed that the adequate deoxidization of the melt and the rapid formation of a solidified shell after pouring are effective in enabling the utilization of 3D-printed molds and that

combining granular sand that is non-reactive to molten copper with an inorganic binder produces ideal molds for pure copper castings.

* Department of Materials Science, Graduate School of Engineering Science, Akita University,

** Akita Industrial Technology Center.

山形地域食品機能性素材の発掘と商品 開発 (紅さやか)

菅原哲也

月刊食品工場長, Vol. 1, No.297, pp. 29 (2022).

山形県が開発し、アントシアニン色素を多量に含有する特徴をもつオウトウ栽培品種「紅さやか」果実に含まれる主要なアントシアニン、フラボノイドを同定、定量し、他の栽培品種と比較した。「紅さやか」に含まれる主要なアントシアニンの生体吸収性、2型糖尿病や脂質代謝への効果を動物実験にて解析した。「紅さやか」を活用し企業との共同研究によりアントシアニンを高含有する混濁果汁や果実パウダーを開発した。これら素材を利用し、オウトウのアントシアニン色素を含有する菓子や化粧品が開発された。

抄 録 / 口 頭 発 表

旋回戻りコイル構造 MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 吉田賢一* 前原謙一* 福田祐介* 指田和之* 池田克弥* 池田康亮* 竹森俊之*

第 38 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (2021.11.10 オンライン)

内容は論文抄録と同様。

*新電元工業株式会社

バイオミメティクスを指向した MEMS 多段フィン構造の形成と Ni 電鍍マイクロ金型および樹脂への形状転写手法の開発

矢作徹 山田直也 加藤睦人 渡部善幸 峯田貴*

第 38 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (2021.11.10 オンライン)

本研究では、MEMS 技術で作製した微細多段フィン構造を Ni 電鍍品に転写し、Ni 電鍍金型を用いて、種々の熱可塑性樹脂 (ポリメチルメタクリレート、シクロオレフィンポリマ、ポリエチレン) への多段フィン形状転写について検討した。その結果、2 μm ピッチのリッジ (筋) 構造、および 0.2 μm ピッチの斜め多段フィン構造を樹脂に転写することができた。一方、樹脂が金型に取り残されている部分もあり、より適切な成形条件の検討が必要である。

*山形大学

TSV 構造配線の MEMS ロゴスキーコイル型電流センサ

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 吉田賢一* 前原謙一* 指田和之* 池田克弥* 池田康亮* 竹森俊之*

第 10 回磁性材料の高周波特性活用技術調査専門委員会、電気学会基礎・材料・共通 (A) 部門マグネティックス技術委員会 (2022.8.18 オンライン)

TSV (Through Silicon Via) を配線として形成

したコイルを用いたロゴスキーコイル型電流センサを開発した (チップサイズ 10 \times 10 \times 0.3mm³)。Si 基板の比抵抗 0.001~1000 Ωcm で作製したロゴスキーコイルは電流検知信号が不安定で、比抵抗 > 10,000 Ωcm で作製したロゴスキーコイルは電流検知信号が安定であった。マルチ TSV 電流端子へ通電し電流検知特性を調べた。di/dt = μs 一定でピーク電流を 50A まで変えた評価、およびピーク電流 20A 一定で di/dt を 100A/ μs まで変えた評価のいずれにおいても、ほぼ線形的に電流検知可能であった。

*新電元工業株式会社

バイオミメティクスを指向した MEMS 型微細多段フィン構造金型作製と樹脂への形状転写

矢作徹 山田直也 加藤睦人 渡部善幸

(一社)プラスチック成形加工学会第 33 回年次大会 (2022.6.15)

本研究では、MEMS プロセスを用いて Si 基板上に 2 μm ピッチのリッジ (筋) 構造、および 0.25 μm ピッチの斜め多段フィン構造を作製した。作製した基板を型に用いた熱インプリントにより、ポリメチルメタクリレート (PMMA) 樹脂への形状転写について検討した。その結果 0.25 μm ピッチの極細構造が PMMA に転写されることを確認した。さらに光学特性評価を行ったところ、400~600 nm の波長領域で強い反射特性を示した。しかしながら、樹脂の転写性が不十分で成形品のフィンの幅が 50 nm 程度と小さかったため、反射強度は 1%未満であった。今後はシミュレーションによる成形性も含めた最適な構造設計の検討を行う。

プリンタブル湿度センサを応用した IoT ペットシートの実用化検討

奥山隆史

(一社)エレクトロニクス実装学会 2021 ワークショップ (2021.10.15)

プリンタブル湿度センサを応用して IoT ペットシートの実用化検討を行った。試作したシステムでは、マイコンがプリンタブル湿度センサから湿度に相当する測定値の読み取り、サーバ

側で可視化処理を行う構成とした。検証ではプリンタブル湿度センサの上にペットシートを敷き、水を少量ずつ滴下することでペットの排泄を模擬した。検証の結果、ペットシートに水を垂らすごとにブラウザの表示画面上でセンサの出力が増加していく様子が視覚的に表され、排尿量や回数を一目で確認することができた。また、センサを十分に乾かすことで再利用可能であることも確認できた。

ファインバブルクーラントを用いた平面研削の反り抑制の研究

渡辺剛* 高田亮* 毛利茂樹* 牛島一樹*
平木講儒** 松田丈 佐々木雄悟
精密工学会春季大会学術講演会 (2022.3.15)

ファインバブルは、平面研削加工における研削抵抗の低減、反りの抑制に期待できる。本研究では、平均気孔径 $0.5\mu\text{m}$ の超微細孔なファインバブル生成器を用いて、一般砥石で S45C を研削加工する際の効果を検証した。ファインバブルクーラントの適用により、研削抵抗が 10% 低減することを確認した。反りは、切込み量 ($3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$) で傾向が異なり、切込み量 $5\mu\text{m}$ では反りが大きくなったが、切込み量 $3\mu\text{m}$ で反り抑制の効果を確認した。

*日本タングステン株式会社, **九州工業大学

Thinking model for Japanese small and medium-sized enterprises innovation explicated by OntoIS

Toshiaki MITSUI, Ryuzo FURUKAWA*
EcoDesign 2021 (2021.12.1)

Under environmental constraints, transformation to sustainable manufacturing is indispensable. The backcast way of thinking (BWT) promotes creation of new values based on the environmental constraints. To introduce the BWT widely to small and medium-sized enterprises (SMEs), we explicated implicit knowledge of SME innovators who might use similar thinking process to create new products. The developed thinking model framework is Ontology Engineering Method for Innovation

Strategy (OntoIS).

*Tokyo City University

球状黒鉛鑄鉄の基地組織のフェライト化に及ぼす黒鉛粒数及び冷却速度の影響

松木俊朗 後藤仁 齊藤寛史 五十嵐渉 高橋俊祐

日本鑄造工学会第 102 回鑄造技術部会 (2022.2.22)

球状黒鉛鑄鉄 (FCD) の基地組織のフェライト化に及ぼす黒鉛粒数及び冷却速度の影響を調べた。FCD の基地組織は、同等の冷却速度において黒鉛粒数が多いほどパーライト面積率が小さく、フェライト化しやすい。また、パーライト面積率と冷却速度の平方根との間に直線関係が成立し、その直線の傾きや切片は黒鉛粒数により変化することから、黒鉛粒数は基地組織を決定する因子の一つであると考えられる。

クジラ肉の成分特性と加工技術評価

菅原哲也,*安藤裕之,*秋葉善則

(公社)日本食品科学工学会東北支部令和 3 年度大会 (2021.11.6)

日本は、国際捕鯨委員会 (IWC) からの脱退を受け、2019 年 7 月から商業捕鯨が再開されている。これまで、国内で販売されるクジラ肉は、流通量が限定されおり、クジラの種類や部位ごとの詳細な成分特性、加工特性に関して、ほとんど報告されていない。本研究では、新鮮なミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ肉各部位に含まれる栄養成分やミネラル、脂肪酸組成等の特徴を明らかにすることを目的とした。また、クジラ肉畝須に着目し、最新の加工設備を使用し、クジラ肉の風味や特徴的な成分を損なうことなく加工する技術の評価・検討した。

*株式会社山形丸魚

イカ肝エキスの特徴と加工利用

菅原哲也,長俊広,城祥子,*五十嵐七朗,*杵鞭誠

(公財)日本食品科学工学会第 69 回大会

(2022.8.26)

スルメイカ (*Todarodes pacificus*) は山形県で水揚げされる主要な海産物であり、船上で凍結処理され鮮度を保持した高品質な船凍イカが加工に利用されている。船凍イカからイカ切身等の加工品を製造する際に多量に排出される新鮮なイカ肝の有効活用技術として、イカ肝本来の風味を保持したイカ肝エキスを開発している。本研究では、イカ肝エキスの有用成分や加工特性を明らかにするとともに、調味料等の新規な加工品開発を行った。

*株式会社山形飛鳥

を同様に電気泳動した結果、酒粕で認められた 30, 22, 16, 13 kDa 付近のバンドが確認されたが、酵素液浸漬後の原料米ではこれらのバンド全てが消失した。以上のことから、酒粕で見出された 16, 13 kDa 付近のタンパク質は原料米とは異なる酒粕特有のタンパク質である可能性が示唆された。

山形県産ブドウのメタボローム解析と加熱処理による代謝物変動

菅原哲也, *若山正隆

第 16 回メタボロームシンポジウム(2022.9.15)

ブドウ (*Vitis* spp.) はブドウ科ブドウ属の蔓性植物であり、果皮の色で紫色種、赤色種、緑色種に大別される。山形県はブドウの生産規模が全国第 3 位であり、特にデラウェアは国内で最大の出荷額を誇り、国内流通量の約 35%を占めている。本研究では、本県で栽培される、主要なブドウ栽培品種の代謝物を網羅的に解析し、加熱加工による成分変動を解析した。ブドウ果実を搾汁前に加熱処理することにより、GABA を高含有するブドウ果汁を調製することが可能になると推察された。

*慶應義塾大学先端生命科学研究所

山形県産酒粕からのレジスタントプロテインの検出と解析

長俊広 城祥子 野内義之 菅原哲也

日本農芸化学会 2022 年度大会 (2022.3.16)
山形県酒造会社が製造した酒粕 20 点についてレジスタントプロテイン分析を試みた。電気泳動によるタンパク質分析を行ったところ、30, 22, 16, 13 kDa 付近にバンドが確認されたが、酒粕の種類によってバンドの出現に大きな差はみられなかった。次に、酵素液浸漬後の酒粕について同様に電気泳動を行ったところ、30, 22 kDa 付近のバンドが消失し、16, 13 kDa 付近のバンドのみが確認された。一方、酒粕の原料米

研究成果広報委員

高橋 俊 広 橋 本 智 明

高橋 裕 和 大 沼 広 昭

江 部 憲 一 菅 原 哲 也

大津加 慎 教 佐 竹 康 史

山形県工業技術センター報告 No. 54(2022)

2023年(令和5年)3月

発 行 山形県工業技術センター
〒990-2473
山形市松栄二丁目2番1号
Tel. (023)644-3222

印 刷 株式会社大風印刷
