# 山形県工業技術センター報告

REPORTS OF YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No. 55 (2023)

## 山形県工業技術センター

YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

## 目 次

## 論文

1	生産性向上のための IoT 工程測定システムの構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
4	扇洩電磁波の分析手法確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
10	図音波噴霧解析と MEMS 精密電鋳技術によるマイクロミスト発生用 金属メッシュの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
14	オニオンライクカーボンを固体潤滑材として用いたしゅう動材の研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
20	高視野角・高解像度浮遊映像を実現するマイクロレンズアレイの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
26	刃削加工におけるびびり振動抑制と加工能率改善・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
30	習短パルスレーザーを用いた無酸素銅表面へのLIPSS生成条件の調査・・・・・・・・・・・・・佐藤貴仁
34	議付き酵母の醸造特性の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	山形県産早生樹の有効利用技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

中小企業イノベーションにおける思考の明示化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • • • • • • •	• • • • • • • • •	42
	三井俊明	古川柳蔵	
ものづくり中小企業経営者の思考の明示化と地域性 一米沢地域を事例として―・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			17
小が地域をずりこして		古川柳蔵	7/
抄 绿			53

## CONTENTS

## Papers

Development of system to measure processes using internet of things for improving productivity · · · Shinsuke NAKAMURA Takahumi OKUYAMA	1
Establishment of analysis method for leaked electromagnetic waves·····  Hiroki MURAYAMA Naoyuki KON	4
Development of metal mesh for micro mist generation using ultrasonic spray analysis and MEMS precision electroforming  Yoshiyuki WATANABE Mutsuto KATO Toru YAHAGI Hiroki MURAYAMA Naoya YAMADA Kazunori SUZUKI Junichi SAITOU Takao MISAWA Petrus Yasaya Samori Toshinori SUZUKI Tameo NAKANISHI	10
Research on tribomaterials using onion-like carbon as a solid lubricant······  Hitoshi GOTO Takayuki SAKURAI Yugo SASAKI Naoki KIMURA Takeshi YAMAGUCHI	14
Development of Micro-Lens Array to obtain Wide-Viewing Angle and High-Resolution Floating Display  Hiroshi SAITO Yugo SASAKI Tsuneyuki KOBAYASHI Naoki KIMURA Kazumi SAWAMURA Shinya KATAKURA Akihiro OHMORI Taina ENDO	20
Chattering Vibration Suppression in Cutting and Improvement of Machining Efficiency  Yugo SASAKI Hiroshi SAITO Naoki KIMURA	26
Research of LIPSS formation conditions on oxygen-free cupper surface using ultrashort-pulsed laser	30
Evaluation of brewing characteristics of yeast derived from sake breweries	34

Development of technology for effective use of fast-growing tree species harvested in Yamagata	
Prefecture · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	37
Kenichi EBE Toshio TAKIGUCHI Shunsuke KONNO Takanobu NITO	
Thinking Model for Japanese Small and Medium-sized Enterprises Innovation Explicated by OntoIS·····	42
Toshiaki MITSUI Ryuzo FURUKAWA	
Explicating the Thinking Processes of Managers in Small and Medium-sized Manufacturing Enterprises Using Action Decomposition Trees and Their Regional Characteristics: A case study of	
Yonezawa Region·····	47
Toshiaki MITSUI Ryuzo FURUKAWA	
Abstracts · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	53

## 生産性向上のための IoT 工程測定システムの構築

中村信介 奥山隆史

Development of system to measure processes using internet of things for improving productivity

#### Shinsuke NAKAMURA Takahumi OKUYAMA

#### 1 緒 言

近年、製造業では生産性向上のため IoT や AI を用いた現状把握や改善、維持管理が主流となっている。しかし、県内中小企業では費用や専門知識の習得が問題となり、IoT を用いた現状把握や AI を用いた維持管理を進めることが難しく、生産性向上に結び付けることができていない。また同種のシステムも多数市販されていない。また同種のシステムも多数市販されているが高額になることがほとんどで、自社工程との相性や効果を見積もれない企業では導入に至っておらず生産性向上まで進められていない。

そのため、本研究では低コストかつ分野外の方でも扱える汎用 IoT システムの雛形を構築し、これを企業毎や目的に応じてカスタマイズすることで、自社工程との相性や効果見積もりの一助、内製のベースや専門知識の習得教材などとし、県内企業の現状把握の支援を行うことを目的とする。さらに、工程の維持管理を考慮し AI を用いて、工程の正常・異常状態を判断する機能も実現する。

#### 2 IoTシステムの雛形構築

#### 2.1 システム概要

一般的な IoT システムと同様のエッジデバイスとサーバーからなる図1の構成とした。また,通信方式は普及している Wi-Fi2.4GHz 帯を用いることで,ルータや後述のエッジデバイスを安価かつ扱いやすいものにし,スマートフォンやタブレット, PC といった収集情報端末で手軽に参照できるものとした。構築例として図2に本研究の活動で使用したデモンストレーション機(雛形のカスタマイズ品)を示す。



図1 IoT システム構成



図2 デモ機

#### 2.2 エッジデバイス

エッジデバイスのハードウェアはESP32系列 を採用した。これは下記の特徴を持つ。

- 1) Wi-Fi や Bluetooth といった通信方式を内蔵 しながら安価
- 2) 接続可能なセンサ自体が多種多様かつ安価
- 3) 外装や画面を付与した派生モデル (M5Stack, M5Stick 系列) がある

#### 4) 入手性が良い

ESP32系列と開発した図3のファームウェアやソフトウェアと組み合わせることで、プログラミングをすることなくグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)の操作のみで、Wi-FiやデバイスID、サンプリング周期や送信先サーバー等を設定できる汎用性の高いエッジデバイスを実現し、市販部品を揃えるだけでプログラミングやハンダ付け、ケース作成といった作業

#### を省略した。(図4)

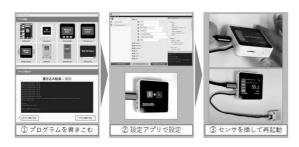


図3 エッジデバイスの書込&設定



図4 エッジデバイス接続例(温湿度計)

#### 2.3 サーバー

IoT サーバーには MQTT やデータ処理, データベース, グラフ表示(図 5)の機能を付与するため, 各種オープンソースソフトウェアをインストールした。管理ツールとして仮想環境のソフトウェアを用いることでインストールの簡易化とサーバーPC 選択の自由度を高めた。

結果、ハードウェアとしてラズベリーパイや ミニPC、デスクトップPCはもちろんのこと、 NASといった環境にも展開が可能で、企業は費 用と機能を考慮して選択できる。



図5 表示画面例

#### 2.4 タイムサーバーと正常異常判断機能

その他の機能として、タイムサーバーと AI を用いた正常異常判断機能を実装した。

タイムサーバーは社内ネットワークからインターネット上のタイムサーバーに繋げない場合の代わりとして機能する。

AIを用いた正常異常判断では、SonyのNeural Network Console (NNC)を用いて正常異常のパターンを機械学習させたモデルを作成し(図 6)、Open Neural Network Exchange 形式経由で学習済みネットワークの読み込みや動作をさせる形で実装し、画面やメール、LINEを通じて通知する機能を実現した(図 7)。ただし、AIでは目的や精度に応じて学習の知識や組み込み用のプログラム知識が必要である。

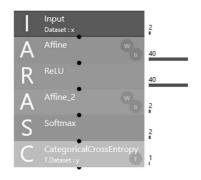


図6 NNCによる学習モデル作成例

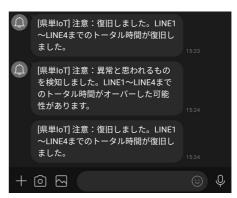


図7 LINEでの異常通知例

#### 3 企業支援結果

本研究では、共同研究 9 件、ORT 研修 3 件、 外部制度を用いた支援 2 件の合計 12 社 14 件の 支援を行った。そのうちの 3 件を例示する。

#### 3.1 加工機械の稼働率測定

電流センサと足踏みスイッチを用いて**図8**の加工機の稼働率を測定した。稼働率が明確になり、稼働率を上げるために工場内のレイアウト変更に着手し、生産性の向上に繋げている。

#### 3.2 防油提の監視

タンクからの漏液を監視する目的で**図9**のように pH や水位を計測した。今後,注意喚起の連絡や正常時の排水の自動化に繋げ,巡回の

労力の削減を段階的に進めている。

#### 3.3 醸造過程の温度監視

麹造りや仕込みの醸造過程の温度を**図 10** のように防水温度センサで計測した。醸造過程を連続的に計測することで温度管理の適正・妥当性を確認している。



図8 加工機械の稼働率測定



図9 防油堤の監視



図10 醸造過程の温度監視

#### 4 つながる工場テストベッド事業

本研究を通して、令和4年度から6年度の期間に産業技術総合研究所(産総研)のつながる工場テストベッド事業へ参画することになった。

#### 5 結 言

本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- 1) 低コストかつ分野外の方でも扱える汎用的 な IoT 測定システムの雛形を構築した。
- 2) 雛形システムを用いて企業支援をすることで、12社14件の支援を実施した。これらにより、県内企業の品質管理や生産性向上、省力化に寄与することができた。
- 3) 産総研のつながる工場テストベッド事業への参画ができ、今後も研究成果物を用いて県内企業の IoT 化の継続支援が可能となった。

## 漏洩電磁波の分析手法確立

村山裕紀 近尚之

Establishment of analysis method for leaked electromagnetic waves

Hiroki MURAYAMA Naoyuki KON

#### 1 緒 言

身の回りの電気・電子機器は年々増加してお り、それに伴って電子機器から漏洩する電磁波 (以下,電磁ノイズとする)による問題も増加 している。電磁ノイズは、空間や配線を伝搬し て周辺に存在する電子機器に誤動作などの悪影 響を与える可能性があるため, 国際的な規格に より規制されている。日本国内では、VCCI協会 が定める規格により規制されており、電子機器 で発生する電磁ノイズが規格値以下となるよう 対策を実施しなければならない。電磁ノイズは, 視認することができず, また回路基板・部品特 性・製品動作・筐体設計など複数の要因が関連 して発生するため一般化された対策がない。そ のため、これまでは技術者の勘と経験に頼る対 策方法となることが多く,技術の蓄積や技術者 の育成が困難であった。電磁ノイズの対策には 図 1 に示すようにノイズ発生源と伝搬/放射箇 所を特定する必要がある。そこで本研究では, 製品から漏洩する電磁ノイズの分析・対策フロ ーを具体的な対策事例とともに体系化した。

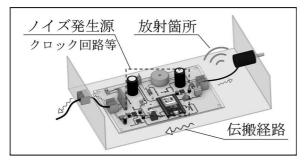


図 1 ノイズ分析のイメージ

## 2 電磁ノイズの分析手法 2.1 構築した分析手法

電磁ノイズの分析・対策フローを**図2**に示す。 **図2**のフローは、実測評価やシミュレーション を用いて、電磁ノイズの発生要因分析から対策

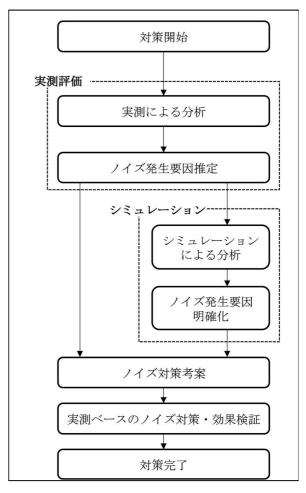


図2電磁ノイズ分析・対策フロー

方法を考案するまでの一連のプロセスを体系化したものである。電磁ノイズの分析は、主に簡易的にノイズの発生と漏洩原因を検証できる実測評価手法と、ノイズの発生から漏洩までを可視化し設計にフィードバック可能なシミュレーション手法の2つの手法から構成されている。実測及びシミュレーションによって電磁ノイズの発生要因を明確化することで、技術者の経験によらず効果的な対策を考案することができる。また、その対策方法を技術として蓄積すること

ができる。

#### 2.2 実測評価手法

簡易的にノイズの評価が可能な実測評価手法として図3〜図8の6種類の手法を選定した。各手法は、文献やセミナー等で調査した手法から、当センターで実施可能かつ効果的に分析が可能な手法として選定した。電磁ノイズは、周波数によって伝導ノイズと放射ノイズに区分されており、後半の図6〜図8は放射ノイズ専用の分析手法となっている。電磁ノイズの発生要因と伝搬経路を特定するため、手法を選択して分析を実施する必要がある。

#### 2.2.1 動作モードによる分析

図3のように、電子機器に搭載されている回路には様々な機能を持つ回路が搭載されている。電磁ノイズは、それらの回路のいずれかが発生源となっているため、動作する回路を切り替えながら測定することでノイズ源を特定できる。

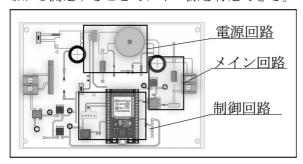


図3動作モードによる分析

#### 2.2.2 部品位置変更による分析

電磁ノイズの経路となっている部品や配線の位置を変更すると、測定される電磁ノイズの特性が変化するため、電磁ノイズの伝搬経路を特定もしくは切り分けることができる。電磁ノイズが回路から筐体に対して流れている場合、図4の例のように筐体に取り付けられた部品の位置を変更することで電磁ノイズが大きく減少するため経路を絞り込むことが可能である。

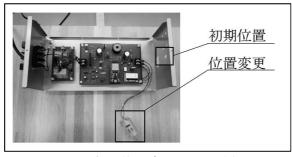


図4 部品位置変更による分析

#### 2.2.3 ノイズ電流測定による分析

電磁ノイズは、回路や筐体中を電流という形で流れる。図5のように電磁界プローブを用いてノイズ電流を直接測定することで詳細に伝搬経路を分析することが可能である。

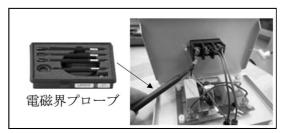


図5 ノイズ電流測定による分析

#### 2.2.4 電磁波の偏波による分析(放射)

放射ノイズは、アンテナの切り替えにより水平方向偏波と垂直方向偏波の2種類を測定する。 それらの偏波を比較することで、製品のどの部分から放射されているかを推定することができる。図6の例では、水平偏波のノイズレベルが高いことから、水平方向の配線から放射されているノイズであることがわかる。

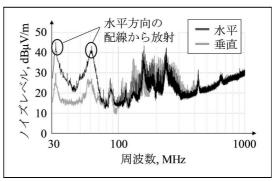


図6 電磁波の偏波による分析

#### 2.2.5 放射パターンによる分析(放射)

放射ノイズはターンテーブルを回して 360° の放射パターンを測定する。放射パターンが既

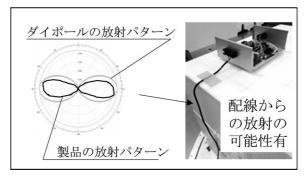


図7 放射パターンによる分析

存のアンテナと似通った特性を示す場合、そのノイズの放射箇所は、放射パターンが似ている既存アンテナと同等のメカニズムでノイズを放射していることが知られている。図7の例では、ノイズの放射パターンがダイポールアンテナと同じ放射パターンとなっていることが分かる。そのため、製品でダイポールアンテナと似た形状となっている電源配線から放射されている可能性が高いと推測できる。

#### 2.2.6 インパルスフィルタによる分析(放射)

VCCI 規格では、静電気のような発生頻度の低いノイズは対策が不要である。しかし、測定結果には表れてしまうため、対策すべきノイズか否かを見極める必要がある。インパルスフィルタを使用し、発生頻度の低いノイズを除去することで、図8のように対策をすべき箇所の迅速な切り分けが可能である。

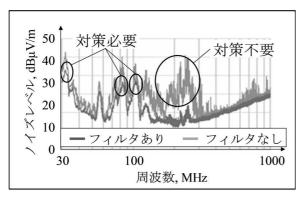


図8インパルスフィルタによる分析

#### 2.3 シミュレーション手法

実測評価手法を用いれば、迅速にノイズ源及び伝搬経路の推定が可能であるが、具体的な対策方法の検討や対策部品の選定は技術者の技量にゆだねられる。シミュレーションを用いることで技術者の技量に影響を受けない対策を実施することが可能となる。伝導ノイズ、放射ノイズそれぞれについてシミュレーション手法を調査・選定した1<sup>>~3</sup>。

#### 2.3.1 伝導ノイズシミュレーション手法

伝導ノイズは周波数が9k~30MHzまであり、波長と比較して基板サイズが十分に小さいため、シミュレーションは電気回路シミュレーションで実施されることが多い。図9にシミュレーションモデルの一例と解析結果を示す。解析モデルは、30MHzまでのインピーダンス特性を再現した部品および測定回路の等価回路モデルを組

み合わせて作成する。1)測定回路の電圧の解析結果を FFT (高速フーリエ変換: Fast Fourier Transform) することで電磁ノイズの測定結果と相関がある結果を得ることができる。本シミュレーション上で対策部品の等価回路モデルを挿入することで,実際の対策効果の見積もりや最適化が可能となる。

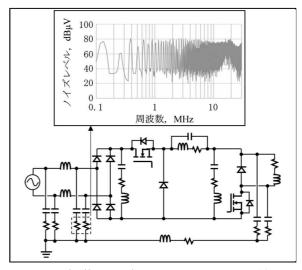


図9 伝導ノイズシミュレーション手法

#### 2.3.2 放射ノイズシミュレーション手法

放射ノイズは 30MHz 以上の周波数であるため, 基板サイズに対して波長が無視できない場合がある。そのため, 放射ノイズのシミュレーションは, ほとんどの場合電磁界シミュレーションで実施される。図 10 に放射ノイズシミュレーションの一例を示す。本シミュレーションでは, 周波数ごとに電磁ノイズが放射されやす

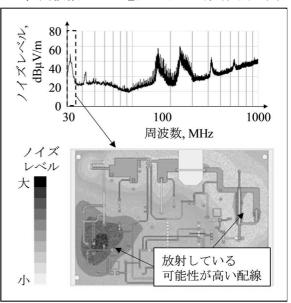


図 10 放射ノイズシミュレーション手法

い配線位置を可視化することができる。現状の 設計で放射源になっている配線の明確化と,設 計変更の妥当性を可視化することが可能となる。

### 3 電磁ノイズの発生要因分析と対策方法 立案事例

本章では、図2に示すフローを用いた電磁ノイズの伝導ノイズ分析事例を示す。図11に分析を実施する回路を示す。図11は、DCモーターの駆動基板であり、VCCI規格に沿った伝導ノイズ測定で得られた結果が図12である。図12の測定時は、フィルタ回路は未接続の状態とした。図12より、伝導ノイズはノイズレベルがVCCI規格の限度値を大幅に超過しており、対策が必要であることが分かる。本章では、伝導ノイズの分析手法を適用し、ノイズ源および伝搬経路の明確化、具体的な対策考案、対策の効果検証までの流れを示す。

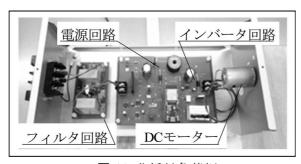


図 11 分析対象基板

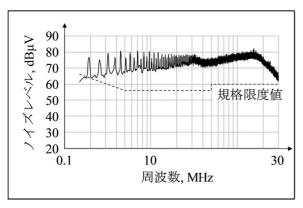


図 12 対策前のノイズレベル

## 3.1 実測評価手法を用いた電磁ノイズ発生 要因分析

電磁ノイズの発生要因を簡易的に推定するために,動作モードによる分析,部品位置による分析,ノイズ電流測定による分析を実施した。動作モードを変更した場合の伝導ノイズの実測

結果を図 13 に示す。図 13 より、基板に搭載されているインバータ回路を停止させることにより、ノイズレベルは大きく低下することが分かった。このことから、本分析対象基板のノイズ源はインバータ回路であると推定できる。続いて、部品位置の分析結果を図 14 に示す。図 14 では金属筐体にねじ止めされていた DC モーターを取り外し、筐体の外に移動してノイズレベルを測定した。

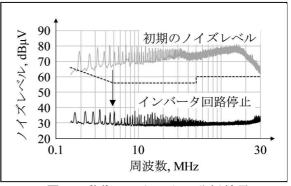


図 13 動作モードによる分析結果

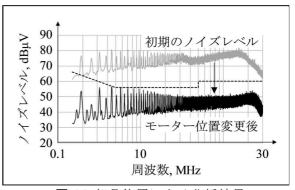


図 14 部品位置による分析結果

図 14 より、モーター位置を変更することで ノイズレベルが規格限度値以下まで大幅に低下 することが分かった。このことから, 今回対策 が必要なノイズは DC モーターを経由して金属 筐体に対して流入している可能性が高いことが 推定できる。最後に、電磁界プローブを用いて 各種配線に流れる電流の周波数特性を測定した。 図 15 にその結果を示す。アース線, DC モータ ーと基板を接続するモーター配線, AC の電源 線の3か所で、図12の伝導ノイズと同じ周波 数特性を持つノイズ電流が測定されることが分 かった。図 13~図 15 の結果を基板の回路図に 記載すると図 16 のようになる。ノイズ源で発 生した電流は,回路や筐体中を流れて再びノイ ズ源に戻る性質がある(キルヒホッフの第一法 則)。そのため、ノイズが流れていると推定され

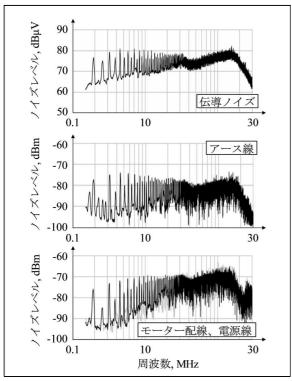


図15 ノイズ電流測定による分析結果

る箇所とノイズ源を、ループを描くように結ぶこととそれがノイズの伝搬経路であると推測できる。本基板では、図 16 の破線経路がノイズの伝搬経路と考えられる。この伝搬経路中にノイズを測定する回路である LISN (疑似電源回路網)が含まれているため、ノイズレベルが高く測定されていると考えられる。実際のノイズ対策の場合は、現段階で対策の考案・効果検証を実施することが可能であるが、本研究ではさらに踏み込んで図 16 の原因推定が妥当であるかを伝導ノイズシミュレーションで確認する。

## 3.2 シミュレーション手法を用いた電磁ノイズ発生要因分析

図 17 に伝導ノイズのシミュレーションモデルを示す。本モデルは、回路部品や筐体、測定

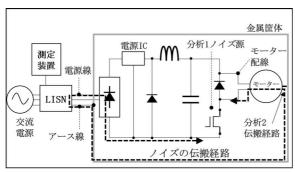


図 16 ノイズの発生原因推定

回路の等価回路を組み合わせて作成されている。 等価回路は、部品のインピーダンスの周波数特性を1点ずつインピーダンスアナライザにて測定し、その特性を再現可能なモデルを作成した。 コイルのほかにも、モーターや筐体部分も等価 回路モデルとして作成した。ノイズ測定に用いる LISN は、国際規格(CISPR16-1-1)に掲載されている回路をそのまま使用した。

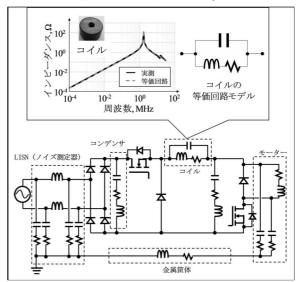


図 17 伝導ノイズシミュレーションモデル

本シミュレーションモデルを用いて,図16で推定したノイズの伝搬経路の妥当性を検証した。モーター配線,アース線,電源線に流れるノイズ電流を抽出した結果を図18に示す。図18から,各配線を同一タイミングで流れているノイズ電流が完全に一致することが分かった。このことから,図16で推定したノイズの伝搬経路

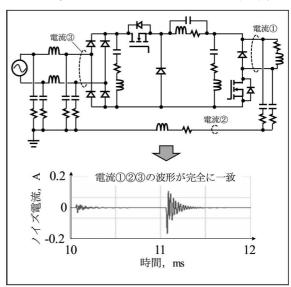


図 18 ノイズ電流比較

が妥当であることが分かった。

#### 3.3 電磁ノイズ対策事例

図16のノイズの発生原因と図17の伝導ノイズシミュレーションを用いて、電磁ノイズ対策を考案した。一般的な電磁ノイズの対策は、ノイズ源で抑制方法か、もしくは伝搬経路上で抑制方法のどちらかを選択することになる。今回は、ノイズ伝搬経路の一部であるAC電源ラインに対してノイズ対策回路を追加した効果をシミュレーションで見積もり、実際の対策効果を評価した。図19にノイズフィルタ回路を追加したシミュレーションモデル、図20にフィルタ回路の有無による伝導ノイズのシミュレーション結果を示す。図20より、ノイズフィルタ回路を挿入したことで、30dB程度ノイズレベルが低下する可能性があることが分かった。

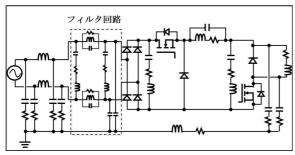


図19フィルタ回路を搭載した解析モデル

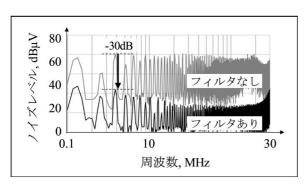


図 20 フィルタ回路有無でのノイズ比較 (シミュレーション結果)

続いて、図 11 の回路にてフィルタ回路を接続 状態にして伝導ノイズの測定を実施した。測定 結果を図 21 に示す。図 21 より、フィルタ回路 を接続することにより、30dB 程度のノイズ抑制 効果があることが分かった。この抑制量は図 20 のシミュレーション結果と同等の結果であり、 伝導ノイズシミュレーションにより事前に効果 の検証が可能であることが確認できた。

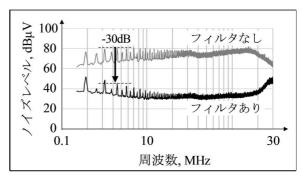


図21 フィルタ回路有無によるノイズ比較 (実測結果)

#### 4 結 言

電磁ノイズの分析手法について研究を行い,以下の知見が得られた。

- 1) 実測評価手法により,ノイズの発生源および 漏洩箇所を特定することが可能である。
- 2) シミュレーションを併用することで,実測で 特定したメカニズムの理論検証が可能であ る。
- 3) 実測とシミュレーションを併用した一連の 分析フローについて、当センターの標準手法 としてまとめた。

#### 文 献

- 白木康博,佐々木雄一:等価回路による車載機器の伝導ノイズシミュレーション,エレクトロニクス実装学会誌 Vol.18 No.5(2015)
- 2) 北川 亘, 前川 佐理:電力変換装置における 伝導ノイズシミュレーションとモデリング 技術,電力変換装置における実用的な EMC 対策技術 P56(2022).
- 3) 高橋丈博, 渋谷昇: 放射ノイズシミュレーション, 回路実装学会誌 Vol.12 No.5(1997)

## 超音波噴霧解析と MEMS 精密電鋳技術による マイクロミスト発生用金属メッシュの開発

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村山裕紀 山田直也 鈴木一徳\* 齋藤潤一\* 三澤孝夫\* ペトルス・ヤサヤ・サモリ\* 鈴木寿徳\* 中西為雄\*\*

Development of metal mesh for micro mist generation using ultrasonic spray analysis and MEMS precision electroforming

Yoshiyuki WATANABE Mutsuto KATO Toru YAHAGI Hiroki MURAYAMA Naoya YAMADA Kazunori SUZUKI\* Junichi SAITOU\* Takao MISAWA\* Petrus Yasaya Samori\* Toshinori SUZUKI\* and Tameo NAKANISHI\*\*

#### 1 緒 言

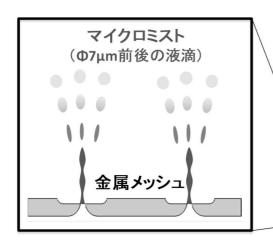
ネブライザは、呼吸器疾患患者の気道内の加湿や薬液投与により、症状の緩和、治療を行う医療機器である。薬剤をマイクロミストにし気管支や肺胞に送り込むドラッグデリバリー装置で、小児ぜんそく、気管支喘息、慢性閉塞性肺疾患(COPD)などの治療に使われている。

マイクロミスト発生用金属メッシュが搭載される超音波駆動メッシュ式ネブライザ(図 1)は、携帯可能であることから、職場や学校、外出先、在宅治療での活用が増えており、年 100億円の市場規模で、2018年のJEITA予測によれば年 10%以上の成長分野である。

メッシュ式ネブライザを用いた治療は、病気の種類や病状、年齢、体格などによって、最適

な噴霧条件が選択されるが、薬液の種類・液性 (表面張力・粘度)の違いから、ぜん息発作治療薬 (アレベール、ベネトリン/ビソルボン混合液など)や COPD 治療薬 (ビソルボン、ムコフィリンなど)の薬液は噴霧が困難であるという課題がある。

そこで本研究では、キーパーツである金属メッシュについて薬液噴霧の超音波噴霧解析(流体解析)による最適構造設計、ムービングフォーカス露光法・波長選択性露光法による3次元形状フォトレジスト形成(電鋳型)、精密電鋳技術を検討し、微細かつ均一な粒径の噴霧、マイクロミスト化が困難な薬液の噴霧を実現したので報告する。



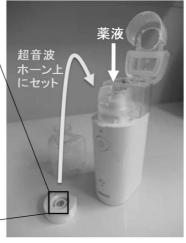




図1 ネブライザ

【令和元年~3年度 経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業】

\*スズキハイテック株式会社 \*\*山形大学 大学院理工学研究科

#### 渡部 加藤 矢作 村山 山田 鈴木 齋藤 三澤 ペトルス 鈴木 中西: 超音波噴霧解析と MEMS 精密電鋳技術によるマイクロミスト発生用金属メッシュの開発

#### 2 超音波噴霧解析(流体解析)

ネブライザの課題解決のため、流体解析ソフト OpenFOAM を用いて最適噴霧を実現する金属メッシュ設計ツールを構築した 1),2)。これにより、メッシュ作製コストの削減、噴霧性能の向上(噴霧量増、均一粒径分布)、噴霧の多機能化(粒径選択)を実現することができた。構築した設計ツールにより、粘性、表面張力が異なる3分類の液性の薬液について、噴霧が可能であること、噴霧量の増大、微細液滴の噴霧が可能なメッシュ設計技術を確立した(図 2)。

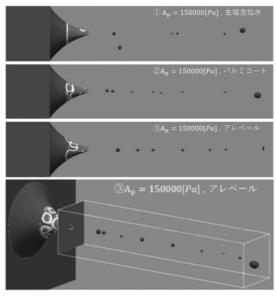


図2 OpenFOAM を用いた超音波解析

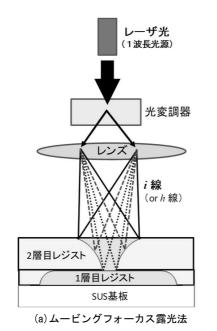
#### 3 3次元形状多段レジスト電鋳型

噴霧液滴の粒径及び噴霧量の均一化を目的に, 流体解析をもとに金属メッシュ形状(穴径,プ ロファイル,配置密度)を実現するための3次 元形状多段レジスト作製技術を検討した。フォ トレジストは精密電鋳の型となるもので、逆テ ーパ形状の微細な3次元形状を有する2層レジ ストとした。この形状を実現する方法として, 深さ方向に焦点位置を変えながら露光するムー ビングフォーカス露光法,及びレジストの種類, 積層構造により波長を選択して露光する波長選 択露光法を検討した(図3)。フォトレジストの 塗布膜厚, 現像, 露光の面内ばらつきの課題を 克服し、直径8インチ基板におけるレジスト形 状均一性 10%以下の目標を達成した。また、超 音波噴霧解析をもとに、金属メッシュの形状を 変えた5種類の3次元構造をもつフォトレジス ト電鋳型を作製した。

#### 4 精密電鋳技術

精密電鋳めっきシステムを設計,製作し,微細構造を有する金属メッシュを均一に作製する技術を開発した。精密電鋳めっきシステムは,電磁界シミュレーション(ANSYS Maxwell)により,めっき槽,基板,固定治具,電界遮蔽板,めっき液の配置をもとに設計,作製した。電鋳めっきは,基板の前処理法,めっき液の調製,

ーザ光



(2波長光源)

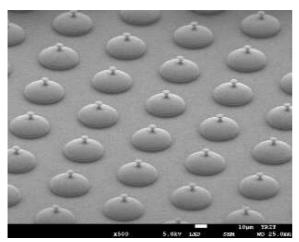
h 線

i 線

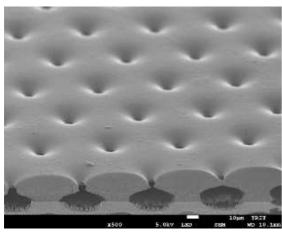
(b) 波長選択露光法

図3 3次元形状フォトレジストの形成法

電界めっき条件(電流印加方法等)を検討の上、マルチ噴流電極アクティブ電鋳法と連続給電ウェハ回転機構を考案し、大型基板(直径8インチ)面内でのめっき膜厚の均一化(目標基準膜厚 25±5μm 以内)、メッシュ穴径の均一化(目標基準穴径 φ 3.4±0.5μm 以内)を達成した。このシステムを用い、2層フォトレジスト型にNi電鋳を行い、マイクロミスト発生用金属メッシュを作製した(図4)。これにより、マイクロミスト発生用金属メッシュを作製した(図4)。これにより、マイクロミスト発生用金属メッシュの作製歩留りを既存製造法の60%から90%に向上させた。また、8インチウェハ1枚当たりの1メッシュ取り数の増大、レジスト形成時間の短縮、生産性向上により50%のコスト削減を実現した。



(a)2層フォトレジスト



(b) 精密電鋳(金属メッシュ)

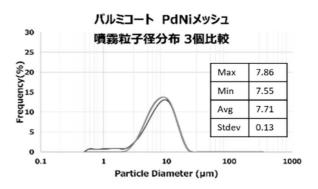
図4 レジスト型から精密電鋳により作製した 金属メッシュ

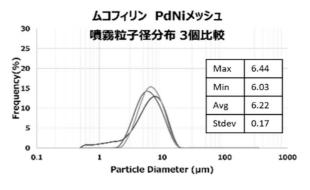
#### 5 特性評価

作製したメッシュについて、粘度及び表面張力の異なる実薬液の噴霧特性から最適形状を同定した。試作、評価により、薬液毎に最適噴霧(噴霧粒径、噴霧量、分布)の設計からのズレを明らかにして、流体設計とレジスト形成にフィードバックして最適化を行った。

メッシュの最適設計により、マイクロミストの平均粒径  $3\sim4\mu m$ 、平均粒径  $5\sim6\mu m$ 、平均粒径  $7\sim8\mu m$  を実現するメッシュを作製し高品質な超音波噴霧を達成した。

また、噴霧が困難なパルミコートや粘度が高 いムコフィリン、表面張力が低く気泡が発生し やすいアレベールにおいても高品位に噴霧可能 であることを確認した(図 5)。





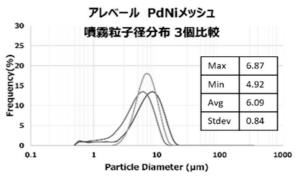


図5 実薬液の超音波噴霧特性 (パルミコート, ムコフィリン, アレベール)

渡部 加藤 矢作 村山 山田 鈴木 齋藤 三澤 ペトルス 鈴木 中西: 超音波噴霧解析と MEMS 精密電鋳技術によるマイクロミスト発生用金属メッシュの開発

#### 6 結 言

流体解析をもとに3次元形状レジスト型を形成し,精密電鋳により金属メッシュを作製した。作製したメッシュは,これまで噴霧が困難であった液性の薬液を噴霧することができ,噴霧する平均粒径の均一化,噴霧量の増大を実現した。また,メッシュの最適設計により,噴霧液滴の粒径を制御することが可能であることを確認した。

#### 謝 辞

本研究は,経済産業省戦略的基盤技術高度化 支援事業にて実施したものである。ここに記し 関係各位に謝意を表する。

#### 文 献

- 1) 加藤俊哉, 中西為雄, 小金澤尚良, 齋藤潤一, 三澤孝夫, ペトルス・ヤサヤ・サモリ, 加藤 睦人, 渡部善幸:「正弦波圧力振動による平 行円板間流れに関する研究」, 日本機械学会 第98 期流体工学部門講演会, R2.11.13
- 2) 中西為雄, 小坂勘太, 齋藤潤一, 三澤孝夫, ペトルス・ヤサヤ・サモリ, 加藤睦人, 渡部 善幸: 「超音波噴霧における複数メッシュ 穴からの液滴形成過程の数値シミュレーション」, 日本機械学会第 98 期流体工学部門 講演会, R2.11.13

## オニオンライクカーボンを固体潤滑材として用いたしゅう動材の研究

後藤仁 櫻井孝之 佐々木雄悟 木村直樹 山口健\*

Research on tribomaterials using onion-like carbon as a solid lubricant

Hitoshi GOTO Takayuki SAKURAI Yugo SASAKI Naoki KIMURA Takeshi YAMAGUCHI\*

#### 1 緒 言

摩擦・摩耗を低減するために利用される固体 潤滑剤としては、二硫化モリブデンやポリテト ラフルオロエチレン (PTFE)、黒鉛等が良く知 られている。中でも、黒鉛は古くから潤滑剤と して利用されており、しゅう動用すべり軸受で は銅合金タイプ、焼結タイプでも広く利用され ている。一方、オニオンライクカーボン (OLC) は固体潤滑剤として期待されているものの、量 産化され 20 年以上経過しているが、広く利用 されるまでには至っていない。現在のところ、 潤滑油添加剤としての利用がほとんどである。

本研究では、黒鉛に代わる固体潤滑材として注目される OLC について、通電焼結により銅粉体との複合体を作製した。 さらに、 銅複合体のしゅう動部材としての性能を調査した。

#### 2 実験方法

#### 2.1 試験片の作製

OLC は市販で購入できる粉末 (神港精機 (株) 製),グラファイトは市販で購入できしゅう動用 部材でも実績のある人造黒鉛の粉末 (日本黒鉛 工業 (株) 製) を用いた。

混錬については、遊星ミルや超音波ホモジナイザーでの混錬も試みたが、遊星ミルでは発熱と分散不良、超音波ホモジナイザーでは乾燥時に凝集する問題があったため、最終的には市販の電解銅粉に規定量(1,5,10wt%)のグラファイト又はOLCを添加しヘキサンを加え乳鉢にて湿式混合した。SPS(エス・エス・アロイ(株)CSP-V-601201)を用いて通電焼結しディスク試験片を作製した。焼成条件については、電解銅粉単体で焼成実験を行い、条件出しを行った。各配合の試験片についても、同条件で焼成を行った。焼結後の試験片サイズはおおよそ直径

30mm, 厚さ 4mm であった。焼結後, しゅう動 試験面はダイヤモンド懸濁液 (平均粒径 3μm) と 3μm 用琢磨板を使用し琢磨仕上げとした。

#### 2.2 しゅう動試験

試験条件を表 1 に示す。一般的なすべり軸受使用条件のおおよその中間速度,しゅう速5m/minとし,試験荷重は使用した摩擦摩耗試験機の下限荷重100gfとした。しゅう動距離は,予備試験を行いなじみが完全に終了する500m(油潤滑条件下では1000 m)とした。相手材は,直径6mmのSUJ2球(HRC61)とした。

表 1 試験条件

		A		
Lubrication condition		Maximum Hertzian contact	,	sliding distance
	(N)	pressure (GPa)	(m/min)	(m)
dry	0.98	528	5	500
oil	0.98	328	,	1000

#### 2.2.1 大気中無潤滑条件下

試験当初,図1に示す新東科学(株)製ボールオンディスク型摩擦摩耗試験機(TYPE:14T)を用いて試験を行った。しかし,スティックースリップ音が発生し明らかに振動が見られた。要因としては,試験装置の構造的な要因と思われる。そこで,図2に示す東北大学の堀切川・山口研究室(当時)が所有する新東科学(株)製ボールオンディスク型摩擦摩耗試験機(TYPE:20)を借用し試験を実施した。

#### 2.2.2 油潤滑条件下

油潤滑条件下では、スティックースリップが 見られないため、センター所有の新東科学(株) 製ボールオンディスク型摩擦摩耗試験機 (TYPE:14T) にて試験を行った。潤滑状態とし ては、図3に示すように油を適量入れた槽の中 にディスク試験片を固定し油潤滑状態とした。 潤滑油として、添加物が配合されていない基油 (化学合成油 PAO、Mobil 製 SpectraSyn4、動粘 度  $(100^{\circ}C)$  4cst) を使用した。しゅう動距離に ついては、摩耗が少ないことが予想されたため 1000m とした。

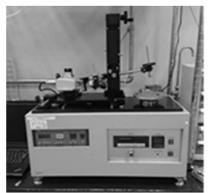


図 1 摩擦摩耗試験機 (TYPE:14T)



図 2 摩擦摩耗試験機 (TYPE:20)

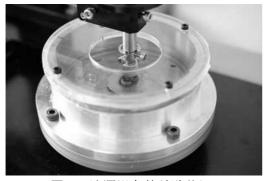


図3 油潤滑条件試験状況

#### 3 実験結果および考察

#### 3.1 試験片の断面組織及び硬度

図 4, 図 5 にディスク試験片の断面組織を示す。金属顕微鏡の観察では、グラファイト, OLC とも多少の粒径のバラつきや凝集が見られるものの、おおよそ均一に分散させることができた。

図6に硬度測定結果を示す。グラファイト配合試験片では、配合量の増加とともに硬度が低

下し、10wt%配合品では硬度測定が不可能なほど低硬度であった。一方、OLC配合品は1wt%、5wt%配合品では硬度低下がみられなかった。断面組織ではほぼ OLC しか見えない10wt%配合品についても、銅単体の7割程度の硬さを有した。

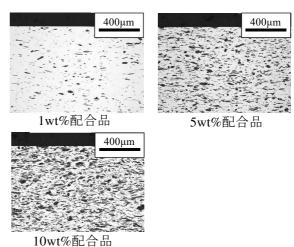
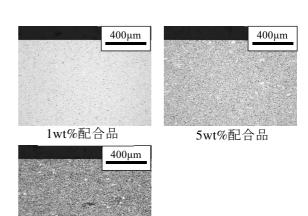
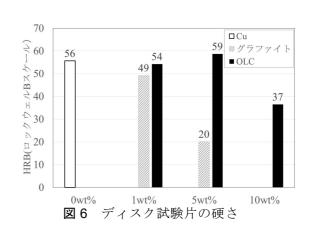


図4 グラファイト配合品の断面組織



10wt%配合品 図 5 OLC 配合品の断面組織



-15-

### 3.2 大気中無潤滑条件下における摩擦・摩耗 特性

図7に、無潤滑条件下でのディスク試験片の 比摩耗量を示す。銅単体でも試験を実施したが、 試験開始後から摩擦係数が上昇し50m程でμ=1 以上となったため、試験を中止した。 1wt%配合品ではOLCの方が、摩耗が大きかったものの 5wt%配合以上ではいずれも配合量増加ととも に、比摩耗量は減少傾向を示し、ほぼ同程度の 耐摩耗性を示した。

図8にボール試験片の比摩耗量を示す。グラファイト配合品は、配合量による差はあまり見られなかった。OLC配合品は、配合量 1wt%では $2.0\times10^{-9}mm^2/N$ と摩耗が多かったが、5wt%以上では摩耗が大幅に低減され、ディスク試験片と同じ傾向を示した。

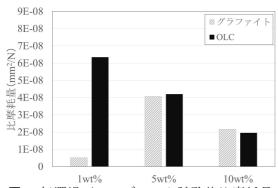


図7 無潤滑下でのディスク試験片比摩耗量

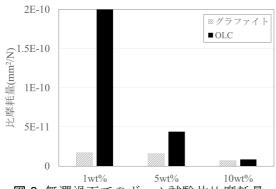


図8 無潤滑下でのボール試験片比摩耗量

図 9, 10 に無潤滑条件下での平均摩擦係数の推移を示す。無潤滑条件下では、摩擦係数の変動が大きかったため、移動平均法を使い 100 プロット毎の平均値を使用しグラフ化した。グラファイト、OLC とも 1wt%配合品は、摩擦係数は安定せずディスク試験片、ボール試験片とも凝着の痕跡が見られた。(図 11, 図 12 参照)

グラファイト配合品は、配合量 5wt%では

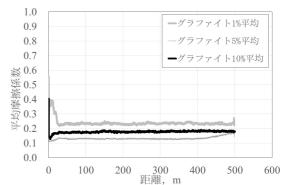


図9無潤滑下での平均摩擦係数の推移 (グラファイト)

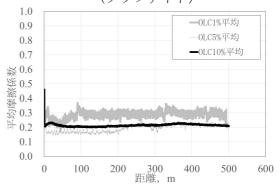


図 10 無潤滑下での平均摩擦係数の推移

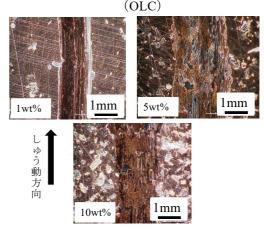
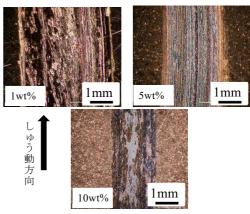


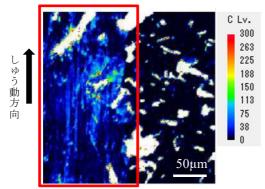
図 11 グラファイト配合品 ディスク試験片しゅう動面



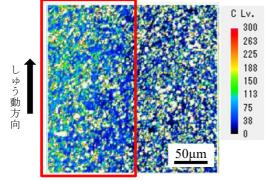
**図 12** OLC 配合品ディスク試験片 しゅう動面

450m 以降で摩擦係数に上昇傾向が見られるものの,配合量 5wt%以上では比較的安定した挙動を示した。OLC配合品の摩擦係数は,配合量を増やしても 0.2 を下回ることはなかった。しかし,配合量 10wt%では摩擦係数は安定した挙動を示した。

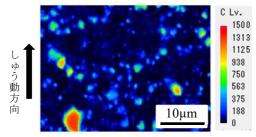
電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) を用いてそれぞれ 10wt%配合品のしゅう動面の炭素の分布を面分析した結果を、図 13, 14 に示す。図中の赤枠はしゅう動部を示す。グラファイト配合品では良く知られているグラファイトの潤滑膜 "が生成されていた。OLC 配合品は、粒状の OLC からなる膜が形成されていた。図



**図 13** グラファイト 10wt%配合品の EPMA デジタルマッピング結果 (炭素)



**図 14** OLC10wt%配合品の EPMA デジタルマッピング結果 (炭素)



**図 15** OLC10wt%配合品の高倍率 EPMA デジタルマッピング結果 (炭素)

**15** に**図 14** より更に高倍率で分析した結果を示す。

グラファイトでは層状であったが、OLCでは 粒状に膜を形成していることが分かった。これ らの形成されたグラファイト配合品における 潤滑膜が摩擦係数及び摩耗の低減に関与した と思われる。

#### 3.3 油潤滑条件下における摩擦・摩耗特性

図 16 に、油潤滑条件下でのディスク試験片の比摩耗量を示す。大気中無潤滑条件下とは大きく異なり、グラファイト配合品は配合量が増加するとともに比摩耗量が大きく増加する傾向を示した。OLC配合品は、配合量 5wt%では僅かに増加したものの、配合量が増加しても比摩耗量に大きな増加は見られなかった。

図 17 にボール試験片の比摩耗量を示す。こちらも大気中無潤滑下とは異なり、ディスク試験片の比摩耗量と同様な傾向を示した。

図 18, 19 に油潤滑下での摩擦係数の推移を示す。グラファイト配合品の摩擦係数は,配合量 1wt%以外では 0.2 以上の摩擦係数を示した。

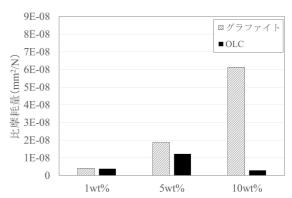


図 16 油潤滑下でのディスク試験片比摩耗量

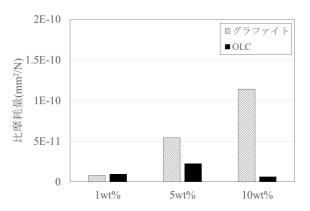


図 17 油潤滑下でのボール試験片比摩耗量

摩擦係数の推移をみると、配合量の増加に従いなじみ距離が必要になっているように思われる。一方 OLC 配合品については、配合量 5wt%における摩擦係数は 0.2 以上となったもののそれ以外ではおよそ 0.1 と非常に低い摩擦係数を示した。摩擦係数の推移を見ると、OLC 配合品では配合量が多い程なじみ距離が短くなっていると考えられる。5wt%配合品については、200m程で一旦なじんだものの、しゅう動面の状況変化を繰り返していると考えられる。

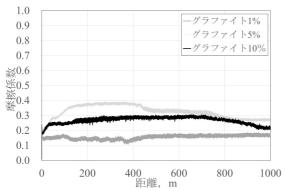


図 18 油潤滑下での摩擦係数の推移 (グラファイト)

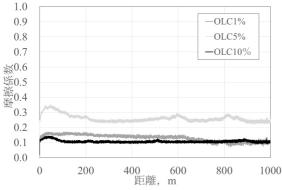
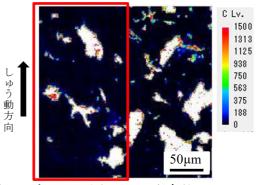


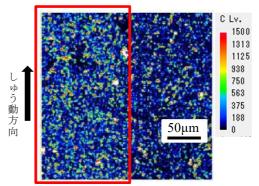
図 19 油潤滑下での摩擦係数の推移 (OLC)

EPMA にて各々10wt%配合品のしゅう動面の 炭素元素の分布について面分析した結果を図 20,図 21 に示す。グラファイト配合品では, いずれの配合量でも潤滑膜はほぼ見られなかっ た。この要因としては,油によってディスク試 験片の摩耗粉が接触面外に排出されたことや, 油によりグラファイトの移着が阻害されたこと などが考えられる。

一方, OLC 配合品では 5wt%, 10wt%配合品では大気中無潤滑下と同様に OLC からなる潤滑膜が見られた。これは、摩擦によって OLC が母材に埋め込まれ、徐々に膜状の物質を生成し



**図 20** グラファイト 10wt%配合品の EPMA デジタルマッピング結果 (炭素)



**図 21** OLC10wt%配合品の EPMA デジタルマッピング結果(炭素)

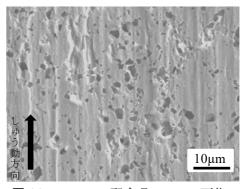


図 22 OLC5wt%配合品の SEM 画像

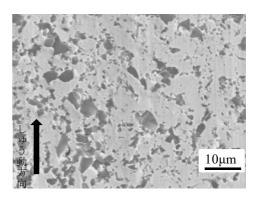


図 23 OLC10wt%配合品の SEM 画像

たと考えられる。試験後のしゅう動面を SEM にて観察を行った(図 22,図 23)。5wt%では OLC が脱落した形跡が多数見られた。母材の摩耗進行に伴い,生成された潤滑膜の状況が変化しているものと思われる。10wt%配合品では,OLC が折り重なるようになり,突起状に突出している状況が確認できた。これらの突起に油が入り込むこと,また OLC はフラーレンと良く似た構造をしているため,蛙の卵のような構造体を形成し<sup>2)</sup>油を強く保持することにより低摩擦,低摩耗になったと考えられる。

#### 4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) OLC は、大気中無潤滑下では摩擦係数はグラファイトには劣るものの耐摩耗性はほぼ同等の性能を示した。
- 2) OLC は、油潤滑下ではグラファイト配合品 よりも低摩擦、優れた耐摩耗性を示した。

#### 謝 辞

本研究において,摩擦摩耗試験に御協力いただいた東北大学名誉教授 堀切川一男先生,山口研究室の皆様に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) 赤岡純 : 日本機械学会誌(1968), 第 590 号, 第 71 巻
- 2) 香野大輔: 化学と工業(2021), vol74-6 June

## 高視野角・高解像度浮遊映像を実現するマイクロレンズアレイの開発

齊藤寛史 佐々木雄悟 小林庸幸 木村直樹 澤村一実\* 片倉真也\* 大森昭広\*\* 遠藤大奈\*\*

Development of Micro-Lens Array to obtain Wide-Viewing Angle and High-Resolution Floating Display

Hiroshi SAITO Yugo SASAKI Tsuneyuki KOBAYASHI Naoki KIMURA Kazumi SAWAMURA\* Shinya KATAKURA\* Akihiro OHMORI\*\* Taina ENDO\*\*

#### 1 緒 言

空間に結像させた映像を裸眼のまま見ること ができる浮遊映像デバイスは、指先の位置セン サと組み合わせることにより, 浮遊映像に触れ て機器類を操作するインターフェースとして利 用できる。現状の浮遊映像デバイスは、斜めか ら浮遊映像が見える範囲を意味する視野角が狭 いことや, 浮遊映像の核となるマイクロレンズ アレイの量産技術において解決すべき課題が残 されている。本事業では、マイクロレンズアレ イ方式の高視野角・高解像度浮遊映像デバイス を実現するため, 光学的諸特性の高度化, マイ クロレンズアレイ金型加工技術並びに射出成形 技術を開発した。本報告では、マイクロレンズ アレイ金型加工における形状誤差低減を目的に, 加工機の違いによる基礎実験を行ったので報告 する。

#### 2 浮遊映像デバイスの構成

浮遊映像デバイスの構成を図1に示す。ディスプレイなど空間に浮遊させたい物体の前にマイクロレンズアレイを配置すると、マイクロレンズアレイを通過した光線が実像として結像し、特殊な眼鏡等を使用せずに肉眼で浮遊映像を見ることができる。マイクロレンズアレイは両面の同位置に凸レンズが配列されており、2枚1組にして使用する。マイクロレンズアレイは射

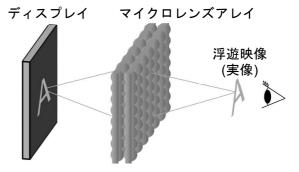


図1 浮遊映像デバイスの構成

表1 代表的なサブテーマと目標値の達成状況

開発項目	サブテーマの管理項目	目標値の達成状況(達成率)
光学的諸特性の高度化	視野角	45°以上(100%)
	解像度 MTF** (at 1 cycle/mm)	0.5 以上(設計値)(100%)
マイクロレンズアレイ射出成形	金型の表面粗さ PV 値	0.2 μm 以下(100%)
金型加工技術の開発	設計値に対する金型形状誤差	1.38 µm (72%)
マイクロレンズアレイの射出成	MTF の工程能力指数 Cpk	C <sub>pk</sub> 1.33 以上(100%)
形技術・検査技術の確立	検査装置の開発	検査装置開発完了(100%)

**※**MTF : Modulation Transfer Function

【令和2年度~令和4年度 技術開発・改善事業 (戦略的基盤技術高度化支援事業) 高視野角・高解像度 マイクロレンズアレイの研究開発】

<sup>\*</sup>株式会社 IMUZAK \*\*三光化成株式会社

出成形により製造されるため低コストに量産することができ、輝度が高い浮遊映像が得られる 等のメリットがある。

#### 3 全体開発計画

全体の開発項目と代表的なサブテーマを表 1 に示す。全体で10個のサブテーマを設定し、事 業期間中に8テーマの目標を達成した。光学的 諸特性の高度化はプロジェクトリーダーの株式 会社 IMUZAK が担当した。本研究タイトルにも ある通り, 視野角の拡大と解像度の向上を実現 する光学設計手法の確立を目指し、それぞれ視 野角 45°以上, MTF (Modulation Transfer Function) 0.5 以上 at 1 cycle/mm を目標値とし た。マイクロレンズアレイ射出成形金型加工技 術の開発はサブリーダーの山形県工業技術セン ターが担当し、単結晶ダイヤモンド工具による 切削加工でマイクロレンズアレイ金型を加工す る技術開発を担当した。金型の表面粗さ PV 値 (Peak to valley) 0.2 µm 以下, 設計値に対する 形状誤差 1 μm 以下を目標値としたが、形状誤 差は1.38 μm と目標値が未達であった。本報で は, 目標達成に向けて継続検討した内容を踏ま えて報告する。マイクロレンズアレイの射出成 形技術・検査技術の確立は、三光化成株式会社 と株式会社 IMUZAK がそれぞれ担当した。射出 成形条件を検討し安定してマイクロレンズアレ イを成形する技術の確立を目指し、解像度 MTF の工程能力指数 Cpk 1.33 以上を目標値とした。 検査装置の開発では、成形したマイクロレンズ アレイを貼り合わせる装置と MTF を検査する 装置を開発した。

#### 4 金型加工実験

#### 4.1 実験方法

マイクロレンズアレイ金型の形状誤差低減を 目的に、2 台の加工機による形状誤差及び工具 摩耗の比較,加工機の動作の違いを検証した。 ボールエンドミルを使用し2~4 µm の仕上げ代 を残した荒加工を行った後,表2に示す条件で 仕上げ加工を行った。単結晶ダイヤモンド工具 を使用するため、金型鋼に施した無電解ニッケ ルリンめっきを金型材として使用した 1)。加工 機としてファナック製超精密複合マイクロ加工 機(以下、ロボナノ)とニデックマシンツール 製 5 軸加工機 μV1-5X (以下, 5 軸加工機) を使 用し、レンズ半径と同じノーズ半径の単結晶ダ イヤモンド工具を突き当てるパス(ここでは突 き加工と呼ぶ)で加工した。回転中心は切削速 度がゼロとなる点であり,加工痕が残りやすい。 この部分を加工面に残さないため、本実験では 工具回転軸をマイクロレンズから外れる位置ま で傾斜させて加工を行った。傾斜角度は両加工 機で同じ角度に設定した。また、5 軸加工機の 実験では, 予備実験にて回転数が低いほど工具 摩耗が小さい傾向が示唆されたため, 工具回転 数をロボナノの 23000 min<sup>-1</sup> に対し 12000 min<sup>-1</sup> に下げて実験した。実験後は、設計値に対する 形状誤差を三鷹光器製非接触三次元測定装置 NH-3SP で測定した。図 2 に加工方法の概略図 と断面形状測定方向を示す。工具の傾斜方向の 断面を X 方向, それと直行する方向を Y 方向と 定義し、それぞれの断面形状を測定した後、形 状誤差を解析した。

表2 仕上げ加工条件

加工機	ファナック製超精密複合マイクロ	ニデックマシンツール製 5 軸加工機
	加工機 ロボナノ UiA	μV1-5X
工具	単結晶タ	イヤモンド工具
被削材	無電解二	ッケルリンめっき
加工パス	回転する工具を直	I線動作で切込む突き加工
回転数	23000 min <sup>-1</sup>	12000 min <sup>-1</sup>
送り速度	20 mm/min	12 mm/min
仕上げ代		2~4 μm
レンズ数	約 34000 個	約 15000 個
実験回数	4 回	2 回
加工液	放電加工油	水溶性加工液

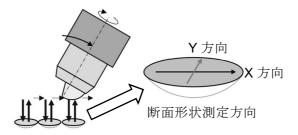


図2 加工方法概略図と断面形状の定義

#### 4.2 加工機の動作測定

突き加工では、各レンズを加工する際に切込み方向から逃げ方向に 180° 反転する動作となるが、加工機の加速・減速の性能や制御のパラメータにより反転に要する時間が異なる。レンズ底部で停滞すると、回転工具のゼロカット、すなわち工具の逃げ面が被削材を擦過する状態となるため、工具摩耗の促進につながることが懸念される。ロボナノと 5 軸加工機の動作を比較するため、図 3 に示す通りキーエンス製レーザー変位計 LK-010 を主軸側にマグネットスタンドで取り付け、NC プログラムと同じ切込み/逃げの動作を行った際の距離を測定し、工具摩耗との関係について考察した。

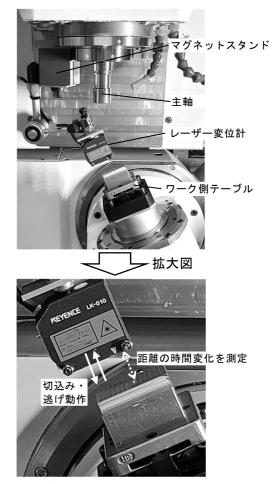


図3 レーザー変位計による加工機の動作測定(5軸加工機における測定の様子)

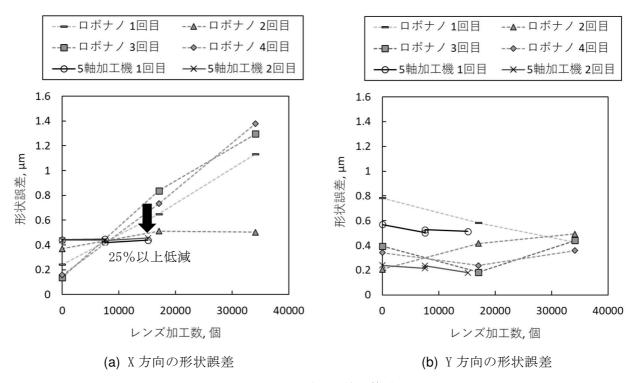


図4 形状誤差の推移

### 5 実験結果および考察

#### 5.1 形状誤差の推移

レンズ加工数と設計値に対する形状誤差の推

移を図4に示す。図4(a)は X 方向, (b)は Y 方 向の結果である。ロボナノによる加工実験では, 1回目,3回目,4回目の場合は X 方向の形状誤

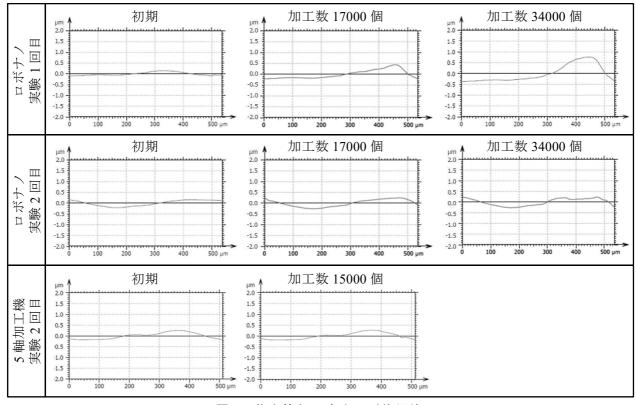


図5 代表的な X 方向の形状誤差

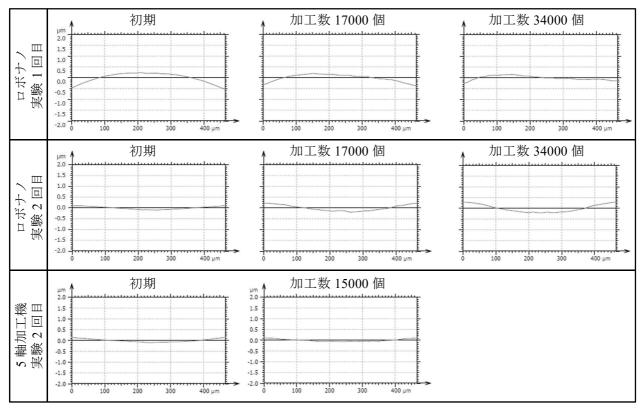


図6 代表的な Y 方向の形状誤差

差が加工数と共に直線的に増加する傾向で,最大で 1.38 μm の形状誤差となったが,2 回目の形状誤差は 0.52 μm 以下を維持した。計4回の実験は,新品または再研磨した工具をそれぞれ使用し同一条件で行ったため,2 回目の実験の形状誤差が小さくなった原因は今のところ明らかになっていない。5 軸加工機における X 方向の形状誤差は,2 回とも 0.5 μm 以下を維持し,ロボナノでの同等加工数時点で比較すると 25%以上小さい結果となった。

図 4(b)の Y 方向の形状誤差を見ると, X 方向 とは異なりロボナノの場合でも明らかな増加傾 向は見られない。逆に、ロボナノ1回目の結果 は、加工数が増加するに従って形状誤差が減少 している。これは、切れ刃の摩耗位置が関係し ていると考えられる。図5に示すロボナノ1回 目の X 方向の断面を見ると, 中心から右側の付 近で形状誤差が上に凸となっている。X方向の 断面は工具の輪郭形状が転写される位置であり, 金型の形状誤差が上に凸となった原因は, 切れ 刃が摩耗により後退したためと考えられる。本 事業でマイクロレンズアレイ加工実験を複数回 行ってきた結果, 切れ刃の摩耗部位には同様な 傾向が見られた。特定の部位が顕著に摩耗する 原因は、斜軸で回転させた際に、切れ刃上の各 ポイントが切削する距離の違いや、単結晶ダイ ヤモンド工具の結晶方位の影響が考えられる 2)。 図7は、回転工具の切れ刃の軌跡を3D-CADで 描画した図である。 ハッチングされた部分は、 摩耗が顕著な切れ刃で切削する領域を示す。Y

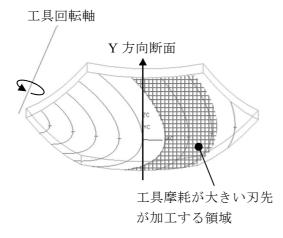


図7 回転工具の軌跡と工具摩耗の影響が 大きい領域

方向の断面について考えると、断面曲線の両端 に行くほど摩耗が顕著な切れ刃にあたるため, 工具が摩耗するに従って断面曲線の両端が上方 向に変化する, すなわち下に凸の形状に変化す ると予想される。図6のロボナノ1回目の形状 誤差では,工具の振れ等の影響により初期から 上に凸の形状をしており,加工が進むにつれて 形状誤差をキャンセルする方向に変化したため, 図 4(b)で形状誤差が減少する結果となった。図 6 のロボナノ 2 回目の形状誤差は、初期がほぼ フラットな形状誤差をしており, 加工が進むに つれて下に凸の形状に変化し図 4(b)で増加傾向 となった。以上のことから、Y方向の形状誤差 は、初期の形状誤差の形状によって、工具摩耗 により形状誤差が減少する場合もあることが分 かった。

5 軸加工機の Y 方向の形状誤差は, X 方向の 形状誤差の変化量が小さいことと同様に, 初期 値を維持する結果となった。

#### 5.2 加工機の動作測定結果

図8はレーザー変位計で測定した加工機の動作測定結果である。ロボナノの場合は、切込み動作の後に 0.2 秒以上(NC によるドゥエルは 0.01 秒)停止してから逃げ動作が始まったのに対し、5 軸加工機では停止時間がロボナノの半分程度である。切込み状態で停止すると、回転工具とワークが接触を繰り返すこととなり、工具摩耗促進の要因になると考えられる。

工具摩耗に係るその他の要因として,回転数 の違いによる切削速度の違いや加工液の違いも 無視できない要因であり,今後更なる比較実験 が必要である。

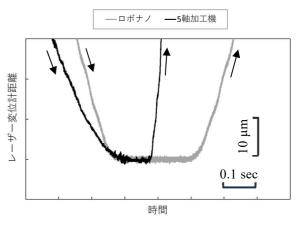


図8 加工機の動作測定結果

#### 6 結 言

単結晶ダイヤモンド工具によるマイクロレンズアレイ金型加工における加工機の違いと形状誤差の関係について検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 5 軸加工機によるマイクロレンズアレイ金型を加工した場合,レンズ数約 15000 個の範囲で形状誤差 0.5 μm 以下を維持し,ロボナノでの結果に対し 25%以上形状誤差が小さい結果が得られた。
- 2) 単結晶ダイヤモンド工具は、摩耗が進行しやすい切れ刃位置があり、本実験ではマイクロレンズの中心を通過する部分よりも回転軸から離れた付近の切れ刃の摩耗が顕著であった。
- 3) 加工機の動作をレーザー変位計で測定した 結果, 切込み動作から逃げ動作までの間に停 止時間があり, 加工機の特性により停止時間 が異なることが分かった。停止時間が長いロ ボナノでは, 工具摩耗を促進する要因になっ たと考えられる。

#### 謝辞

本研究は,経済産業省「戦略的基盤技術高度 化支援事業」の補助により行われた。ここに記 し,関係各位に深謝する。

#### 文 献

- 1) 山形豊:超精密切削加工とそのアプリケーション,精密工学会誌,74(2008)pp.1278-1281.
- 2) Eileen Wilks, John Wilks: Properties and Applications of Diamond, Butterworth-Heinemann, (1991)pp.236-239.

## 切削加工におけるびびり振動抑制と加工能率改善

佐々木雄悟 齊藤寛史 木村直樹

Chattering Vibration Suppression in Cutting and Improvement of Machining Efficiency

Yugo SASAKI Hiroshi SAITO Naoki KIMURA

#### 1 緒 言

金型や部品加工に欠かせない切削加工におけるびびり振動は、加工能率や工具寿命の低下を招く。びびり振動は、工具や被削材の振動特性を解析することにより、加工条件を低下させることなく抑制できることが知られている「が、十分に活用されておらず、加工能率を低下(工具の負荷を低減)させてびびり振動を抑制することが多い。びびり振動の抑制により、加工能率と表面品位の両立が実現できるため、びびり振動回転数を推定する技術が求められている。従来では、加速度ピックアップとインパルスハンマーでびびり振動を予測する方法が一般的である。こしかし、機材が高価であり、手軽に評価できる手法とは言えない。

本研究では、加工現場でも気軽に活用できる 安価で且つ簡易的にびびり振動回転数を予測す る手法として、マイクと音響解析ソフトウェア を用いた簡易手法の検討を行う。

#### 2 実験方法

#### 2.1 従来手法の有効性確認

#### 2.1.1 ハンマリング試験と安定限界線図

切削加工におけるびびり振動を抑制するため、切削工具の振動解析を行う。図 1 にハンマリング試験の概略図を示す。ホルダーに取り付けたエンドミル (ユニオンツール (株)、MHR230-6-60)を加工機 (ニデックマシンツール (株)、 $\mu$ V1-5X)に取り付け、エンドミル側面に一軸加速度ピックアップ ((株)小野測器、NP-3211)を貼付する。インパルスハンマー ((株)小野測器、GK-3100)でエンドミル先端を加振し、振動データを振動解析ソフトウェア (日本キスラー (株)、CUTPROver14.0.531.1) に取り込み、解

析することで、びびり振動が発生しづらい領域を示す安定限界線図を作成する。作成した安定限界線図から、びびり振動が発生しづらく、且つ高能率で加工可能な安定ポケット近傍の加工条件を選定する。作成した安定限界線図を図2に示す。

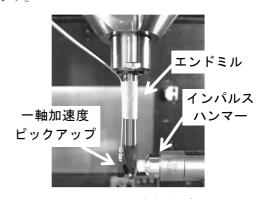


図1 ハンマリング試験の概略図

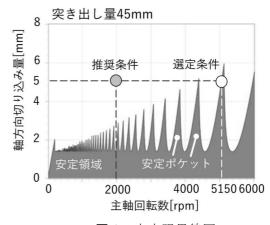


図2 安定限界線図

#### 2.1.2 側面加工実験による表面粗さの評価

従来手法であるハンマリング試験から作成した安定限界線図の有効性を確認するため,切削工具の推奨条件と安定ポケット近傍の選定条件

【令和2年度 JKA補助事業 令和3年~4年度 自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

で側面加工実験を行う。

加工条件を表 1 に示す。びびり振動抑制による加工能率の改善効果を確認する観点から,安定ポケット近傍の選定条件は,切削工具の推奨条件よりも,単位時間あたりの除去率が 1.2 倍高い条件を選定する。

切削距離 10m 毎に加工面の表面粗さ Ra を測定し、切削距離 50m までの表面粗さ推移を比較する。表面粗さ Ra は、触針式表面粗さ測定機 ((株)ミツトヨ, FTA-W8D4000-D)で測定する。

		推奨条件	選定条件
主軸回転数[rpm]		2000	5150
送り速度[mm/min]		220	265
切り込み量	軸方向	5	
[mm]	径方向	0.05	
除去率[mm^3/min]		0.55	0.66
被削材		金型用鋼CENA-V	

表 1 加工条件

## 2.2 マイクを用いた簡易手法の検討

### 2.2.1 ハンマリング音による 1 次固有振動数 の推定

本研究で検討する簡易手法では、従来手法のハンマリング試験で使用する加速度ピックアップ、インパルスハンマー、振動解析ソフトウェアの代わりに、単一指向性マイク(AZNABLE、LavarierMic)、プラスチックハンマー、音響解析ソフトウェア(フリーソフト、Audacity3.2.3)を使用する。安価な機器類で構成されているため、導入が容易である。図3に簡易手法の概略図を示す。

簡易手法では、ハンマリング試験と同様にプラスチックハンマーで切削工具の先端を加振する。加振時のハンマリング音を単一指向性マイクで取得し、音響解析ソフトウェアで解析することで、切削工具の1次固有振動数を推定する。ハンマリング音を取得する際は、加工機内の動作音など周辺のノイズ音が混ざった音データが取得される。そのため、事前に周辺のノイズ音を取得し、ハンマリング音とノイズ音が混ざった音データからノイズ音を除去することで、ハンマリング音のみを抽出した音データで解析を行う。ノイズ音の除去は、音響解析ソフトウェア内のノイズ除去機能を使用する。

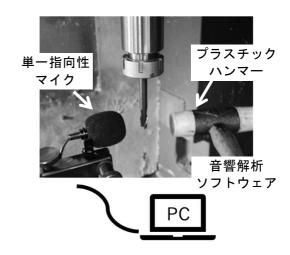


図3 簡易手法の概略図

## 2.2.2 1 次固有振動数を活用したびびり振動 抑制加工条件の推定

びびり振動が発生しづらく,且つ高能率に加工可能な安定ポケットの回転数は,固有振動数/(刃数×整数)の近傍だと知られている<sup>3)</sup>。図4に,固有振動数と回転数の関係式を示す。(1)式は,安定ポケット近傍の回転数を示す。(1)式より,固有振動数の整数分の1近傍に安定ポケットの回転数があることがわかる。つまり,ハンマリング音から推定した1次固有振動数と(1)式の関係により,びびり振動が発生しづらい回転数を推定できる。

$$n = \frac{60f_c}{kN} \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

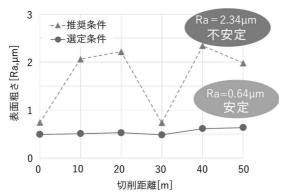
n:回転数 fc:固有振動数 k:山数(整数) N:刃数 k=1,2,3···

図4 固有振動数と回転数の関係式

#### 3 実験結果および考察

#### 3.1 側面加工における表面粗さ推移

図5に、切削距離50mまでの表面粗さ推移を示す。図5より、安定限界線図から選定した加工条件は、推奨条件よりも表面粗さRaが1/4程度に減少した。また、切削距離10m毎の推移においても、推奨条件よりも安定していた。このことから、ハンマリング試験による従来手法がびびり振動の抑制と加工効率の改善に有効であることが確認された。



側面加工における表面粗さの推移

#### 3.2 簡易手法の有効性の検討

#### 3.2.1 従来手法との比較

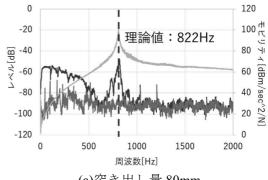
図6に工具の突き出し量をパラメータにした 従来手法と簡易手法の周波数特性を示す。従来 手法と簡易手法の周波数特性を比較すると,1 次固有振動数のピーク周波数が概ね一致するこ とが確認できた。このことから, 簡易手法にお いても切削工具の1固有振動数を推定できるこ とが確認された。しかし、工具の突き出し量が 20mm と短い条件では、ピーク周波数が明確に 確認できず, ハンマリング音のベースラインに 埋もれてしまう可能性がある。そのため、簡易 手法は,工具の突き出し量が長く,びびり振動 が発生しやすい条件で有効な手法であると考え る。

#### 3.2.2 理論値との比較

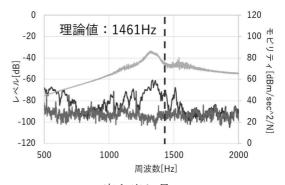
本研究で使用した切削工具は, ストレートシ ャンクのラジアスエンドミルであるため、切れ 刃以外は円柱形状になっている。切れ刃もシャ ンクと同径であるため、切れ刃形状を無視する とエンドミルは単純な丸棒と考えることができ る。そこで、丸棒片持ち梁の理論式から導出し た丸棒の固有振動数と図6に示した周波数特性 の結果を比較した。丸棒片持ち梁の理論式を, 以下に示す。

$$f_n = \frac{\lambda^2}{8\pi} \frac{D}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \cdot \quad \cdot \quad (2)$$

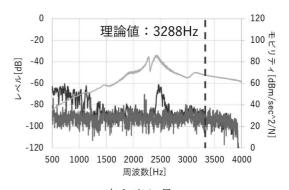
λ=1.875(1次固有振動の係数) E=ヤング率 D=円柱の直径  $\rho =$ 密度 L=片持ち梁の全長



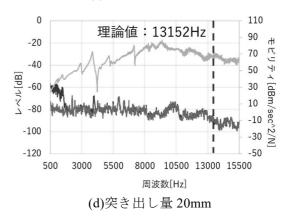
(a)突き出し量 80mm

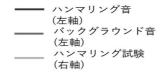


(b)突き出し量 60mm



(c)突き出し量 40mm





従来手法と簡易手法の周波数特性

突き出し量80mmにおいては、丸棒片持ち梁 の理論値と概ね一致している。しかし、突き出 し量を短くしていくと, 理論値とのずれが大き くなり, 従来手法と簡易手法のピーク周波数が 理論値よりも低周波側に位置していることがわ かる。この結果は、突き出し量が短いことで、 工具の固有振動数だけではなく, 工具を把持す るホルダーや主軸など,機構全体の剛性が固有 振動数に影響していることが要因だと考えられ る。突き出し量が短いことで、突き出し量に対 する刃長の割合が大きくなり, 丸棒形状とみな せなくなったため、理論値とのずれが大きくな った可能性も考えられる。しかし、この場合は、 丸棒形状よりもエンドミル形状の方が軽量とな るため、理論値よりも実際のピーク周波数は高 周波側に位置するはずである。このことから, 突き出し量を短くした際の理論値とのずれは, エンドミル形状の影響ではなく, 工具を把持す る機構全体の剛性が固有振動数に影響している と推測する。

また、丸棒片持ち梁の理論値は、従来手法および簡易手法の実際のピーク周波数とずれが生じることから、理論式からの導出には限界があり、従来手法および簡易手法にて、1次固有振動数を推定する必要性が示された。

### 3.2.3 びびり振動が発生しづらい切削条件 の推定

簡易手法で推定した工具の1次固有振動数と 図4の(1)式を用いて,びびり振動が発生しづらい回転数を導出した。図7に従来手法で作成した安定限界線図と簡易手法,関係式から導出した結果を比較した図を示す。図7より,導出した回転数と安定ポケットの回転数が一致していることがわかる。つまり,簡易手法で推定した工具の1次固有振動数と,図4の(1)式を用いることで,びびり振動が発生しづらい切削条件を推定できた。

#### 4 結 言

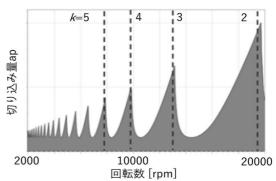
びびり振動を抑制する手法としてハンマリン グ試験による従来手法と切削工具のハンマリン グ音を活用した簡易手法について研究を行った 結果,以下の知見が得られた。

1) ハンマリング試験で作成した安定限界線図 から、安定ポケット近傍の条件で加工を行う

- ことで,加工能率が改善し,表面品位も向上した。
- 2) 切削工具のハンマリング音から 1 次固有振動数を推定した。
- 3) 切削工具の1次固有振動数と関係式から,びびり振動が発生しづらい安定ポケットの回転数を導出した。

突き出し量:60mm 1 次固有振動数:1302Hz

刃数:2枚



回転数の比較[rpm]

整数 (山数)	推定值	安定限界 線図
2	19530	19705
3	13020	13065
4	9765	9805
5	7812	7850

図7 簡易手法からの導出結果

#### 文 献

- J. Munoa, X. Beudaert, Z. Dombovari,
   Y. Altintas, E. Budak, C. Brecher, G.
   Stepan: Chatter suppression techniques in metal cutting, CIRP Annals Manufacturing
   Technology, 65-2, (2016) pp785-808.
- 小澤陸:びびり振動を抑制する「MetalMAX」の活用事例,型技術 第38巻第1号50-51頁
- 3) 社本英二:切削加工におけるびびり振動の発生機構と抑制,大同特殊鋼技報 82 (2),143-155 頁,2011

## 超短パルスレーザーを用いた無酸素銅表面への LIPSS 生成条件の調査

#### 佐藤貴仁

Research of LIPSS formation conditions on oxygen-free cupper surface using ultrashort-pulsed laser

#### Takahiro SATO

#### 1 緒 言

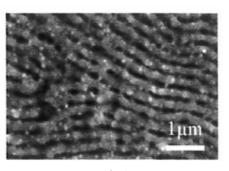
物体の表面に数十 μm から数百 μm オーダー のディンプルや溝、ピラミッドなどの微細な構 造を周期的に設けることで, 超親水や超撥水, 凝着の防止等の新たな機能を付与することが可 能であり、付加価値を高める技術として広く研 究されている。しかしながら、微細構造を加工 する手法としては、MEMS や超精密加工機によ る加工が主流であり、クリーンルームや恒温室 など高価な設備が必要になる。一方, 照射時間 がピコ秒からフェムト秒である超短パルスレー ザーが近年普及してきており、 超短パルスレー ザーを金属表面に照射することで生成されるレ ーザー誘起表面微細周期構造 (Laser Induced Periodic Surface Structure, LIPSS) が、微細構造 を生成する新たな手法として注目を集めている。 東北大学にて学んだ本研修では、LIPSS 生成条 件が未知である無酸素銅への LIPSS 生成を通し て、超短パルスレーザーを用いた LIPSS 生成方 法及び,生成条件の調査方法について習得した。

#### 2 実験方法

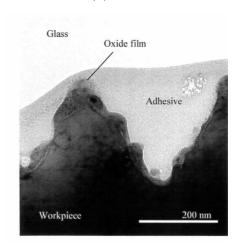
#### 2.1 LIPSS について

LIPSS は、金属表面に超短パルスレーザーを 照射すると生じる微細な周期構造である。図 1 に SUS304 への生成例を示す。図 1(a)は俯瞰図 を、図 2(b)は断面図を示す。この周期構造は、 レーザーの偏光方向に対して垂直に山谷が形成 され、その周期はレーザーの波長と同程度とい う特徴を持つ。LIPSS の生成にはクリーンルー ム等は必要なく、レーザーの照射のみで数百 nm オーダーの周期構造が作製可能なため、新たな 微細構造生成方法として注目を集めている。

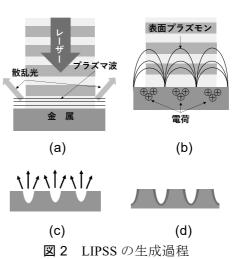
図2に生成過程を示す<sup>2)</sup>。(a)金属表面に入射 したレーザーは散乱光とプラズマ波に分かれる。



(a)俯瞰図



(b)断面図 図 1 SUS304 への LIPSS 生成 <sup>1)</sup>



【令和4年度高度技術者育成支援事業】

(b)入射光とプラズマ波が干渉し表面プラズモンが誘起され、表面に電荷の偏りが形成される。 (c)電子が密になった部分がクーロン爆発により除去される。(d)熱影響によりアブレーションが生じ、微細構造が生成される。上述の生成過程は仮定のものであり、原理については不明な点も多く、現在研究がなされている。

微細構造の形成については、レーザーのエネルギーが熱となって拡散するよりも早くクーロン爆発を生じさせる必要があるため、極めて短時間にエネルギーを照射することが求められる。必要な照射時間は材質によって差異はあるが、概ね数十ピコ秒以下であり、超短パルスレーザー以外では LIPSS の生成は難しいとされる。

#### 2.2 LIPSS の生成条件

LIPSS の生成は、材質とレーザーのパルス幅、 波長、照射エネルギー密度、照射回数に依存す る。

レーザーが照射されてから熱となって拡散するまでの時間は、材料の物性値によって決まるため、材料によっては数十ピコ秒で LIPSS が生成されるが、フェムト秒でないと生成が難しい場合もある。また、材料によって吸収する光の波長帯が異なるため、LIPSS の生成やレーザー加工を行う場合、吸収率が高い波長のレーザーを用いる必要がある。

照射エネルギーの密度と照射回数については、 照射エネルギーと照射回数が少ないと何も形成 されず、多すぎると図 2(d)に示すアブレーショ ンの影響が大きくなり、微細構造が溶融してし まう。そのため、LIPSS が生成されるエネルギー密度と照射回数については一定の範囲がある。 本研修では、材質を無酸素銅、波長を 1064nm

本研修では、材質を無酸素銅、波長を 1064nm に固定し、エネルギー密度と照射回数についての調査を行った。

#### 2.3 実験装置

図3に実験装置の概略を示す。図中の黄色の矢印がレーザーの光路を示す。レーザー光源から照射されたレーザーは反射板で作られた光路を通過し、まず減衰器を通過する。この減衰器を操作することにより、エネルギー密度の制御を行う。その後対物レンズでレーザーは収束され、加工ステージに照射される構造となっている。

本研修ではレーザー光源として EKSPLA 製

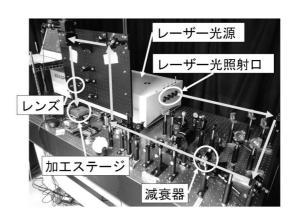


図3 装置概略図

ピコ秒パルスレーザー発振器 PL-2250-50-P20 を 用いた。照射周波数 50Hz, パルス幅 20ps となっており, また 1064, 532, 355, 266nm の 4 波 長を使用可能である。加工テーブルは水平 2 軸 NC 制御となっており, 一定速度でステージを 送っての加工等が可能となっている。

レーザーの照射エネルギーは、レーザー1パルス当たりのエネルギーを照射面積で除して求める。そのため、照射面積の測定に Ophir-Spiricon 社製ビームプロファイラ SP503Uを、レーザー1パルス当たりのエネルギー測定に COHERENT 社製レーザーパワーメーター FieldMax ii をそれぞれ使用し、レーザーのエネルギー密度を求めた。

# 2.4 実験方法

上述したように、LIPSS の生成条件は材質とレーザーのパルス幅、波長、照射エネルギー密度、照射回数に依存する。本研修では材質を無酸素銅、パルス幅を 20ps、レーザー波長を LIPSS が生成しやすいとされる 1064nm に固定し、エネルギー密度と照射回数を変数として調査を行った。表 1 に実験条件を示す。

試験片は 12mm 角, 厚さ 1.2mm の無酸素銅板 を使用した。表面はノーズ半径 5mm の単結晶 ダイヤモンドバイトで鏡面加工を行った。

表 1 実験条件

材質	無酸素銅
パルス幅	20ps
レーザー波長	1064nm
照射エネルギー密度	字段云钿木
照射回数	実験で調査

比較のため、生成条件が既知であるチタン合金について LIPSS の生成実験を行い、構造を比較した。

#### 3 実験結果

#### 3.1 チタン合金への LIPSS 生成

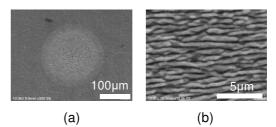
先行研究  $^{3}$ よりエネルギー密度を  $^{6}$ 0.05 から  $^{6}$ 0.25 $J/m^{2}$ まで  $^{6}$ 0.05 刻み,照射回数を  $^{6}$ 10 から  $^{6}$ 300 回まで  $^{6}$ 10 刻みの  $^{6}$ 50 水準で照射を行った。その結果,  $^{6}$ 0.05 $J/m^{2}$ では LIPSS は生成されず,  $^{6}$ 0.10 $J/m^{2}$ では照射回数  $^{6}$ 110 回以上,  $^{6}$ 0.15 $J/m^{2}$ 以上ではすべての条件で LIPSS が生成され,先行研究と一致する結果が得られた。図  $^{6}$ 4(a)に生成された LIPSS の全体像を,図  $^{6}$ 90に詳細を示す。

#### 3.2 無酸素銅への LIPSS 生成

まずチタン合金への LIPSS 生成条件を参照し、同条件であるエネルギー密度 0.05 から 0.25J/m² まで 0.05 刻み, 照射回数を 10 から 1000 まで 10回刻みの 500 水準で実験を行った。図 5 にエネルギー密度 0.25J/m², 照射回数 1000 回時の観察結果を示す。表面に LIPSS や加工痕は見られなかった。

次にエネルギー密度を 0.38, 0.51, 0.64, 0.76, 0.89, 1.02, 1.15, 1.27, 1.40, 1.53J/m², 照射回数を 10, 50回の 20水準で実験を行った。その結果を図 6 に示す。エネルギー密度 0.76J/m², 照射回数 50回の条件での照射結果(図 6(a))を見ると, レーザーにより表面が溶融した照射痕が生じている。またエネルギー密度 0.64J/m², 照射回数 50回での照射結果(図 6(b))では,微小な加工痕が生じた。この結果より,エネルギー密度が 0.64 から 0.76J/m²の間に LIPSS 生成範囲があると推測される。

上述の結果からエネルギー密度を 0.38, 0.51, 0.64, 0.76J/m², 照射回数を 10 から 300 回まで 10 回刻みの 120 水準で実験を行った。結果を図 7 に示す。図 7(a), (b)にそれぞれエネルギー密度 0.38, 0.51J/m², 照射回数 300 回の結果を示す。図に示すように表面に変化は見られなかった。一方,図 7(c)に示す 0.64J/m², 120 回,図 7(d)に示す 0.76J/m², 100 回では表面に照射痕が生成された。しかし、図 8 に示すように、照射痕の生成が照射回数に対して相関性が無く、その大きさも不安定な結果となった。また図 9 に示すように、照射痕には同心円状に表面が変化していない領域が生じ、(a)部詳細のようにそ



**図4** チタン合金への LIPSS 生成

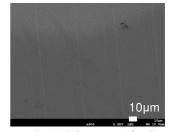


図5 無酸素銅への照射結果1

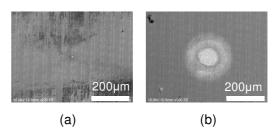


図6 無酸素銅への照射結果2

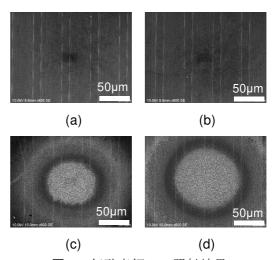


図7 無酸素銅への照射結果3

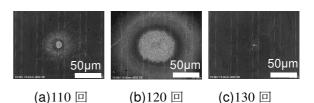


図 8 エネルギー密度 0.64J/m<sup>2</sup>時の照射結果

の周辺に LIPSS のような周期的な構造が生成された。また、周囲の同心円状領域はレーザーの 照射範囲の外側であった。これは既存の研究で

は確認されていない現象であり、現象の解明の ためには今後の調査が必要である。

# 4 結 言

本研修では以下の知見が得られた。

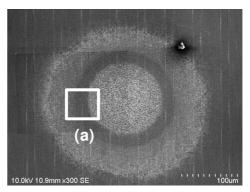
- 1) 超短パルスレーザーを用いた LIPSS 生成条件の調査方法について習得することができた。
- 2) 無酸素銅表面にレーザーを照射したところ, 照射回数に相関のない不規則,かつ未知形状 の照射痕が生じた。

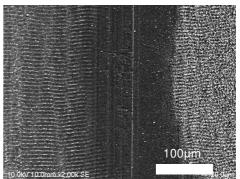
# 謝 辞

研修を受け入れていただきました東北大学グ リーン未来創造機構 水谷正義教授,水谷研究 室の皆様に深謝いたします。

# 文 献

- 1) Shuhei Kodama et al.:Int. J. of Automation Technology, Vol. 10 No. 4, 2016, pp639-646.
- 2) Shuhei Kodama et al.:Int. J. of Automation Technology Vol.12 No.6, 2018, pp1-8.
- 3) Liwei Chen et al.: Precision Engineering, No.72, 2021, pp556-567.





(a)部詳細

**図9** エネルギー密度 0.76J/m<sup>2</sup>, 照射回数 300 回時の照射結果

# 蔵付き酵母の醸造特性の評価

下川浩太 長谷川悠太 工藤晋平 奥山隆史 中村信介 大比良信孝\* 神理\*\*

Evaluation of brewing characteristics of yeast derived from sake breweries

Kota SHIMOKAWA Yuta HASEGAWA Shimpei KUDO Takashi OKUYAMA Shinsuke NAKAMURA Nobukaka OHIRA\* Masashi JIN\*\*

# 1 緒 言

清酒製造において、酵母 Saccharomyces cerevisiae はアルコール発酵を担う重要な微生物である。現在は、(公財)日本醸造協会から販売されているきょうかい酵母や各県で開発された酵母を使用するのが主流だが、全国で開発されている様々な酒米と同様に、地元に由来するオリジナル酵母を使用したいというニーズが高まっている。そのため当センターでは、蔵元の要望に応じ、蔵内の醸造環境より複数の微生物サンプルを採取し、酵母の分離を行ってきた。令和3年2月、酒造会社2社より採取を行い、MALDI Biotyper (Bruker 社製)を用いて菌種の簡易判別を行ったところ、複数株のS.cerevisiaeを取得することができた。採取箇所を表1に示す。

本研究では、酒蔵より分離した酵母の醸造特性の評価を行い、商品開発に有用と思われる蔵付き酵母として選抜したので報告する。また、IoT活用のテストケースとして、ネットワークに接続した温度センサーによるリアルタイムのモニタリングを試みた。

表1 蔵付き酵母の採取箇所

No.	採取場所	判定結果
		(MALDI Biotyper)
TK3	醪タンク外側	Saccharomyces cerevisiae
TK4	醪場 櫂棒	Candida valida
TK5	発酵タンク外側	Saccharomyces cerevisiae
TK7	発酵場 甕	Saccharomyces cerevisiae
AH5	マロラクティック	Saccharomyces cerevisiae
	発酵タンク	

(TK3~7:㈱小嶋総本店, AH5:東の麓酒造制)

# 2 実験方法

# 2.1 総米 1 kg の小仕込み試験

本実験では、蔵付き酵母の候補として、(株) 小嶋総本店より分離した TK3、TK7 の 2 株、東 の麓酒造(有)より分離した AH5 を使用した。 TK3 及び AH5 はもろみタンク、TK7 は発酵場 の甕に由来する。いずれも S. cerevisiae である が、従来使用していた酵母と比較し、相同性が 低いことを IR-Biotyper (Bruker 社製)により確 認している。

初めに、総米  $1 \, \mathrm{kg}$  の仕込み試験を行い、アルコール発酵能を確認した。仕込配合を $\mathbf{a}$   $\mathbf{a}$   $\mathbf{b}$   $\mathbf{c}$   $\mathbf{c}$ 

得られた清酒について,一般成分分析,香気成分分析(HSGC, Agilent 社製 7890A),有機酸分析 (HPLC, Waters 社製 e2695)及び官能評価を行った。官能評価は5点法(1:優~5:難)で実施し,評価者は食品醸造技術部醸造 Gr.の職員4名とした。

表2 仕込み配合(総米1kg)

	添	仲	留	合計
総米, g	200	300	500	1000
蒸米, g	0	300	500	800
麹米, g	200	0	0	200
汲水, mL	200	400	800	1400
乳酸, mL	1	0	0	1

【令和4年度 トライアル共同研究事業 研究課題】

\*株式会社小嶋総本店 \*\*東の麓酒造有限会社

# 2.2 総米3kgの小仕込み試験

再現性を確認するとともに、実際の製造に近 い特徴を調べるため、総米3kg 小仕込み試験を 行った。試験には総米1kg 仕込みと同じ原料を 使用し,11L容ステンレス容器を用いた(表3)。 目標温度は,添 12℃,踊 13℃,仲 9℃,留 6℃ とし、留後は1日に0.5℃ずつ上げ、最高温度 12.5℃で発酵させた。酵母は総米1kg 試験で使 用した3株に加え、対照区としてきょうかい9 号(K9), リンゴ酸高生産性山形酵母 YK2408 を使用した。上槽後の清酒は、総米1kg 試験と 同様に分析及び官能評価に供した。なお、セン ターで行った仕込み試験の温度変化を蔵元でも 確認できるように,温度センサーを無線でネッ トワークに接続し、15分おきに温度をアップロ ードする設定とした。

表3 仕込み配合(総米 3 kg)

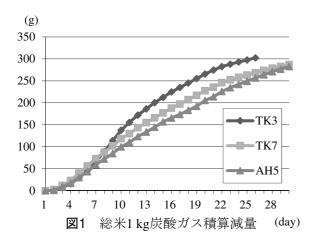
	添	仲	留	合計
総米, g	500	1050	1450	3000
蒸米, g	360	840	1200	2400
麹米, g	150	210	240	600
汲水, mL	600	1200	2400	4200
乳酸, mL	3	0	0	3

# 3 実験結果および考察

# 3.1 総米 1 kg の小仕込み試験

図 1 に総米 1 kg 仕込み試験の炭酸ガス積算 減量,表4に上槽酒の一般成分分析の結果,表 5に香気成分分析の結果,表6に有機酸分析の 結果を示す。

試験の結果,30日の発酵期間中にアルコール 16%台に達したのは TK3 のみであった。 TK7, AH5 はやや発酵が緩慢であり、発酵力には課題



が残った。香気成分分析の結果では、TK3 がや や高いカプロン酸エチル生産を示した。TK3は 吟醸香成分を高生産することから, 特定名称酒 などの高価格帯商品の製造で有望と考えられ た。一方, AH5 はやや高い酢酸イソアミル生産 を示し,製成酒はバナナ様のフルーティな香り を有した。次に有機酸分析の結果では、AH5は 他2株に比べ約1.5倍のリンゴ酸生産を示した。 そのため、総米3kgの仕込みではリンゴ酸高生 産性山形酵母である YK2408 を対照として使用 することとした。

表 4 総米 1 kg 一般成分分析結果

酵母	日本	アルコ	酸度	アミノ
	酒度	ール,%		酸度
TK3	0.7	16.6	1.9	1.0
TK7	2.7	16.0	2.5	0.7
AH5	-9.6	14.9	2.3	0.8

表 5 総米 1 kg 香気成分分析結果(GC), ppm

			\ //11
酵母	酢酸	酢酸	カプロン酸
	エチル	イソアミル	エチル
TK3	55.6	2.3	3.5
TK7	66.6	2.1	0.7
AH5	58.4	4.7	1.1

表 6 総米 1 kg 有機酸分析結果(LC), ppm

酵母	クエン酸	リンゴ酸	コハク酸	酢酸
TK3	55.8	216.9	548.2	39.9
TK7	55.9	229.6	509.8	425.1
AH5	53.5	337.5	363.5	314.5

# 3.2 総米 3 kg の小仕込み試験

図 2 に総米 3 kg 仕込み試験の炭酸ガス積算 減量,表7に上槽酒の一般成分分析の結果,表 8 に香気成分分析の結果を示す。TK3 は総米 1 kg での試験と同様に序盤は発酵が緩やかであ るものの中期から旺盛な発酵力を示し、最も早 く上槽となった。TK7,AH5 についても、対象で ある K9,YK2408 と遜色のない発酵力を示し, 実 用的な発酵力を有することが確認された。香気 成分分析の結果,総米 1kg 試験と同様に TK3 の カプロン酸エチル高生産性及び AH5 の酢酸イ ソアミル高生産性が確認できた。

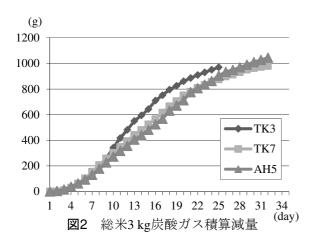


表 7 総米 3 kg 一般成分分析結果

酵母	日本	アルコ	酸度	アミノ
	酒度	ール,%		酸度
TK3	-4.87	15.95	2.28	1.07
TK7	-1.74	15.94	2.44	0.97
К9	-0.59	15.68	2.46	1.06
AH5	-3.67	15.75	2.54	1.01
YK2408	-11.54	14.51	3.29	1.19

表 8 総米 3 kg 香気成分分析結果(GC), ppm

			` // 11
酵母	酢酸	酢酸	カプロン酸
	エチル	イソアミル	エチル
TK3	39.2	1.6	3.7
TK7	35.6	1.4	1.0
К9	25.1	1.8	1.0
AH5	36.8	2.7	1.3
YK2408	23.4	1.3	2.4

次に有機酸分析結果を**表**9に示す。AH5はリンゴ酸高生産酵母である YK2408 には及ばないものの, リンゴ酸生産がやや高くなった。リンゴ酸は爽やかな酸味を持つ呈味成分であり, 特徴的な酸味を持つ酒質が期待できる。

表 9 総米 3 kg 有機酸分析結果(LC), ppm

2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				
酵母	クエン酸	リンゴ酸	コハク酸	酢酸
TK3	62.2	216.4	533.1	33.1
TK7	66.0	255.3	483.4	327.2
K9	72.0	195.5	537.9	324.0
AH5	57.0	430.5	384.6	277.3
YK2408	71.9	622.4	666.8	225.2

官能評価の結果を表 10 に示す。平均評点は TK3 が最も低く良好であり、吟醸香について評価するコメントが複数あった。TK7 と AH5 も 平均評点 3 点以下であり、特に目立った欠点は 挙げられなかった。

以上の結果より、TK3、AH5 を有望な醸造特性を持つ清酒酵母株として選抜し、今後採取元メーカーでの商品開発への利用を検討していくこととした。

表 10 官能評価結果

酵母	平均評点	コメント
TK3	1.4	香り穏やか, 吟醸香, 柔らか い, ふくらみ, うま味
TK7	2.9	酸臭,香り良,香り複雑,酸, 酸味良,キレ,渋
AH5	2.4	イソアミル系, やわらかい, ボディ感, 酸, 甘, 苦

(1:優~5:難)

なお、温度の遠隔モニタリングは順調に作動し、各蔵の製造担当者にも好評であった。従来もろみ温度の管理は蔵人がタンクの設置箇所へ行き目視で計測を行っており、人的労力がかかることから1日に複数回測定することは困難であった。この計測システムを用いることで、労力の軽減及び一日の温度変化の詳細な把握が可能になると考えられ、今後導入を進める予定とした。

# 4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 蔵付き酵母 3 株のアルコール発酵能を確認し、醸造特性を評価した。
- 2) 商品開発に活用可能な蔵付き酵母 2 株を選抜した。
- 3) **IoT** を活用し、ネットワークを介した遠隔で のもろみ温度モニタリングにより有用なデータが得られた。

# 山形県産早生樹の有効利用技術の開発

江部憲一 滝口寿郎 今野俊介 仁藤敬喜\*

Development of technology for effective use of fast-growing tree species harvested in Yamagata Prefecture

Kenichi EBE Toshio TAKIGUCHI Shunsuke KONNO Takanobu NITO\*

#### 1 緒 言

家具等に用いられるナラやブナ等の広葉樹 材は、従来は外国からの輸入材が主であったが、 近年は国産材の利用が見直されつつある。特に, 広葉樹の中でもより短期間で丸太として収穫 できる早生樹が注目されている10。一方,山形 県内においては, ハリエンジュ(ニセアカシア) とハンノキが代表的な早生樹種である。この内 ハリエンジュは、資源量は豊富であるが、家 具・内装材に利用されることなく燃料に供され る場合が多い。過去にハリエンジュを家具や食 器に利用するための研究開発に取り組んだ例2) ~3) が見られるが、塗装や接着、試作家具の強 度評価に至る一連の家具への利用技術を網羅 的に研究した例は見られない。またハンノキに ついても, 家具・内装材としての利用実績は比 較的乏しいのが現状である。

そこで本研究では、ハリエンジュとハンノキを家具・内装材として利用するための基盤技術の開発を目指して、乾燥試験、三点曲げ試験、内装塗装試験、アセチル化試験、接着強さ試験に取り組んだ。そして、この結果を踏まえいすを試作し、製品強度についても検証した。

# 2 実験方法

# 2.1 乾燥試験

ハリエンジュ,ハンノキの丸太から製材した 未乾燥無欠点板目材(幅  $100\text{mm} \times$  長さ 200mm $\times$  厚さ 20mm)を 105  $\mathbb{C}$  の恒温器で乾燥した。 その際の割れの発生,狂い,乾燥時間から,簡 易決定法 $^4$  により乾燥スケジュールを作成した。

# 2.2 三点曲げ試験

ハリエンジュ,ハンノキ,スギ,ブナについて,三点曲げ試験により,見かけの曲げ弾性率

および曲げ強さを求めた。

# 2.3 内装塗装試験

「素地調整→素地着色(顔料系着色剤)→下塗り(ウレタンウッドシーラー)→塗膜着色(ウレタンウッドシーラー+顔料系着色剤)→下塗り(ウレタンウッドシーラー)→中塗り(ウレタンサンディングシーラー)×3回→研磨→上塗り(ウレタンフラット)」の塗装工程の内,素地着色4水準×塗膜着色4水準=16水準の塗装試験片を,ハリエンジュとハンノキについて作製した。これら試験片表面の画像データを,色調補正したスキャナーで取得し,着色の程度を面全体の平均明度(L\*),木目の明瞭性を面全体の平均エッジにより評価した。

# 2.4 アセチル化試験

ハリエンジュ, ハンノキ, スギの二方柾材から 25mm (T) ×25mm (R) ×5mm (L) の試験片を, 各樹種 24 枚ずつ作製した。その内 12 枚ずつについて, 8 時間・120℃の気相アセチル化処理を行った。残り 12 枚ずつについては, 8 時間・120℃の液相アセチル化処理を行った。アセチル化の程度は, 抗膨潤能(ASE: antiswelling efficiency) $^{5)}$  により評価した。

#### 2.5 接着強さ試験

ハリエンジュ,ハンノキ,スギ,ブナについて,圧縮せん断接着強さ試験(JIS K 6852) 60 を実施した。接着剤には,酢酸ビニル樹脂,変性酢酸ビニル樹脂,水性高分子-イソシアネート(API)を用いた。

# 2.6 いすの試作および強度試験

乾燥試験,三点曲げ試験,内装塗装試験,接着強さ試験の結果を基に,ハリエンジュ製いすを試作した。JIS S 1203の試験区分 4<sup>7)</sup> に準拠した座面の静的強度試験,背もたれの静的強度試

#### 【令和2~4年度 技術開発・改善】

験,ひじ部の静的水平力試験·静的垂直力試験, 座面および背もたれの耐久性試験を実施した。

# 3 実験結果および考察

# 3.1 乾燥試験

ハリエンジュ板材およびハンノキ板材の人工 乾燥スケジュールを表1に示す。ハリエンジュ の場合, 含水率が 30~25%とかなり低下した段 階でも乾湿球温度差が 9℃と小さいままであり、 比較的高い湿度を維持し続けなければならない ことがわかる。一方, ハンノキの場合は, 含水 率が 30~25%時点における乾湿球温度差が 28℃であり、ハリエンジュに比べ低い湿度での 乾燥でも支障はないということになる。推定日 数に関しては、ハリエンジュの場合は11.5日と かなり長い日数を要する一方で、ハンノキの場 合は 6.3 目と、ハリエンジュよりかなり短い。 このことから、ハリエンジュはハンノキよりも 乾燥により割れが生じやすいため、ハンノキよ りかなり緩やかな条件で、長い時間をかけて乾 燥しなければならないことが明らかとなった。

表 1 簡易決定法により作成したハリエンジュ板材およびハンノキ板材の人工乾燥スケジュール

#### ハリエンジュ

含水率範囲(%)	温度(℃)	乾湿球温度差(℃)
64~40	50	2.5
40~35	50	3.5
35 <b>~</b> 30	55	5.5
30~25	60	9
25~20	65	18.5
20~15	80	28
15以下	80	28

乾燥推定日数:11.5日

# ハンノキ

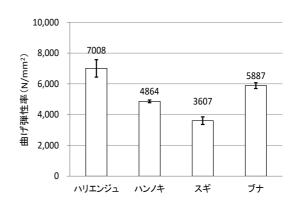
含水率範囲(%)	温度(℃)	乾湿球温度差(℃)				
104~60	50	3.5				
60 <b>~</b> 50	50	5				
50~40	50	7				
40~35	50	12.5				
35 <b>~</b> 30	55	21.5				
30~25	60	28				
25~20	65	28				
20~15	75	28				
15以下	75	28				

乾燥推定日数:6.3日

#### 3.2 三点曲げ試験

ハリエンジュ板材およびハンノキ板材の三点 曲げ試験の結果を図1に示す。なお、図1には 比較のため、建築柱材や内装材として主に使用 されるスギ、家具に多く利用されるブナの結果 も示す。見かけの曲げ弾性率については、ハリ エンジュの値が最も大きく、ブナがそれに続い た。ハンノキは、スギよりは大きい値ではある ものの、ハリエンジュとブナより小さい値を示 した。また、曲げ強さについても、曲げ弾性率 と同様の大小関係を示した。

以上の試験結果から、ハリエンジュは家具として使用実績のあるブナと同等の力学性能を有するため、いす等の脚物家具向きの材料であることが示された。一方のハンノキは若干力学的性能が劣るため、力学的負荷の小さいフローリングや、脚物家具でも脚部ではなくテーブルの天板に向いている材料であることが示された。ただし、ハンノキはハリエンジュに比べ表面硬度が若干劣ると考えられるため、フローリングや天板に使用する際は、塗装等の対策が必要となることが予想される。



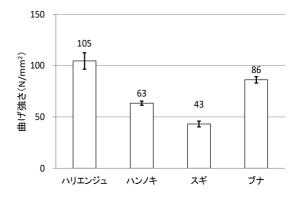


図1 三点曲げ試験結果

上段:曲げ弾性率,下段:曲げ強さ

#### 3.3 内装塗装試験

ハリエンジュの塗装試験の結果の一例を図2 に示す。なお、素地着色濃度は、素地着色剤原 液を木材表面にハケ塗りした後ワイピングする 工程が1回の場合を「濃度1倍」,シンナーで素 地着色剤を 1/3 に希釈した場合を「濃度 1/3 倍」, 素地着色剤原液を木材表面にハケ塗りした後ワ イピングする工程を2回繰り返した場合を「濃 度2倍」と定義した。塗膜着色濃度は、ウッド シーラー+シンナー中の着色剤の濃度である。 図2を見ると、素地着色濃度 1/3 倍の場合より も,素地着色濃度1倍の方が木目,特に導管部 分が明瞭になっている。つまり, ハリエンジュ は環孔材であるため、素地着色により導管を際 立たせやすく,色調を濃く仕上げることにより, チーク等の高級材に近い仕上りとすることがで きることを明らかにできた。

次に, ハリエンジュの塗装仕上りの品質につ いて, 画像解析による定量評価の可能性を検討 した。塗装面全体の平均明度 L\*の結果から,素 地着色剤を希釈することにより色調を淡くでき るものの, 逆に素地着色を2回行っても色調を 濃くはできないことが定量的に示された。一方 塗装面全体の平均エッジは,素地着色量が多い ほど値が大きくなった。このことから、素地着 色量が多いほど導管が選択的に着色され、明瞭 な仕上がりになることが示された。ただし、素 地着色なし・途膜着色なしのエッジが各途装試 験片よりも大きな値を示している。これは、塗 装なしの試験片は早材, 晩材の色調が複雑な模 様を呈しているのに対し、各塗装試験片は、晩 材周辺の導管部が強調される一方で、早材部は 平均的に濃色に着色されるため, 面全体のエッ ジとしては塗装無しの試験片よりも小さくなっ てしまったためであると思われる。

以上より、明度  $L^*$ とエッジが塗装仕上げの品質管理にある程度活用できる可能性が示された。

なお、ハンノキの場合は、素地着色を施すと 面全体に色ムラが生じた。これは、ハンノキが 散孔材であるため、径の小さい導管が面全体に 散在しており、これらに着色剤が絡んでしまい ムラが生じるものと考えられる。この対策とし て、素地着色は行わず塗膜着色のみの仕上げと することで、色ムラが改善されることを確認し た。



素地着色なし 塗膜着色なし 明度 L\* 34.6 エッジ 11.6



素地着色 濃度 1/3 倍 塗膜着色 濃度 1.5% 明度 L\* 42.8 エッジ 9.0



素地着色 濃度 1 倍 塗膜着色 濃度 1.5% 明度 L\* 35.7 エッジ 10.2



素地着色 濃度 2 倍 塗膜着色 濃度 1.5% 明度 L\* 34.0 エッジ 10.9

図2 ハリエンジュのウレタン着色仕上げ

## 3.4 アセチル化試験

アセチル化によって各木材に付与された ASE の値を図 3 に示す。図 3 には比較のため, スギの結果も示す。なお, ASE の値が 100%に近付くほど, その木材に付与された寸法安定性能が高いことを意味する。

ハンノキには気相法,液相法ともに,約70%の ASE を付与できた。これは,密度が低くアセチル化により比較的高い寸法安定性を付与しやすいスギの場合に匹敵する値である。一方のハリエンジュは,気相処理では45%という低い値に留まり,より注入性の良い液相法においてすらも61.5%にとどまった。以上の結果から,内装材として使用する際の寸法安定性能向上,外構材として使用する際の耐朽性向上を狙ったアセチル化ではあったが,特にハリエンジュには

効果が低いことが明らかとなった。

ハリエンジュの ASE が低い原因にはいくつか考えられるが、ハンノキの気乾密度が0.49g/cm³であるのに対しハリエンジュの気乾密度は 0.73g/cm³と大きいため、材料中において無水酢酸が拡散、浸透しにくかった可能性が高いと思われる。

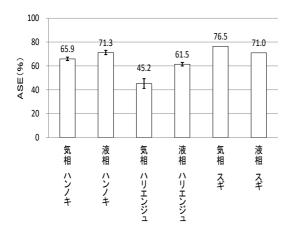


図3 アセチル化によって付与された ASE

# 3.5 接着強さ試験

ハリエンジュおよびハンノキ板材の圧縮せん 断接着強さ、木部破断率の結果を**図 4** に示す。 なお、**図 4** には比較のため、スギおよびブナの 結果も示す。

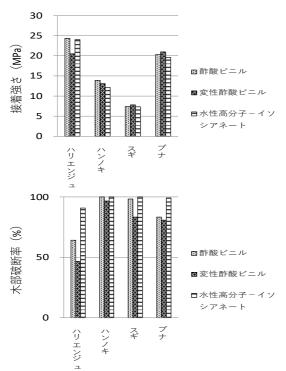


図4 圧縮せん断接着強さ試験結果 上段:接着強さ,下段:木部破断率

ハリエンジュについては、いずれの接着剤の場合も 20MPa 以上の接着強さを示し、家具に多く利用されるブナと同等程度の性能を示した。一方ハンノキの接着強さはスギよりは大きいものの、ハリエンジュやブナよりは小さい値を示した。これは三点曲げ試験の場合と同様、ハンノキの気乾密度がハリエンジュやブナよりも小さいためと考えられる。一方、木部破断率に関しては、逆にハリエンジュが最も小さな値となった。これは、他の三樹種に比べハリエンジュの材質が極めて固いため、接着強さが十分に大きくとも材料破壊するには至らず、界面破壊が生じてしまったためと考えられる。

以上より、ハリエンジュの場合は、脚物家具の脚部等、力学的負荷の大きな部材同士の接合にも十分耐えうる接着性能を有することを確認できた。一方のハンノキは、接着強さが若干低いため、力学的負荷の小さい製品に使用する方が望ましいことがわかった。

# 3.6 いすの試作および強度試験

試作したハリエンジュ製いす(図 5)について、JIS S 1203の試験区分4に準拠した各種試験を実施した。なお、通常の木製いすの強度評価の場合は、より力学的負荷の小さい試験区分3の条件で試験するのが一般的であるが、今回は三点曲げ試験と接着強さ試験の結果を踏まえ、敢えて試験区分4の条件を採用した。

試験の結果,ひじ部の静的水平力試験で接合部に若干の隙間が見られただけで,他の試験では破損,変形,緩み,外れは全く見られなかった。以上より,ハリエンジュでいすを製作した場合,使用上全く問題ない強度,耐久性を実現できることを確認した。



図5 強度試験用ハリエンジュ製いす

# 4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) ハリエンジュ,ハンノキについて,人工乾燥, 塗装,接着の各基礎的条件を確立できた。
- 2) ハリエンジュ製いすを試作し、家具として十分な強度性能を有することを確認した。

# 謝 辞

アセチル化に関して,国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所の松永正弘様に御指導いただいた。ハリエンジュ製いすの試作は,(株)朝日相扶製作所様に御協力いただいた。いすの強度・耐久性試験は岐阜県生活技術研究所の山口穂高様,村田明宏様,長谷川良一様に御協力いただいた。ここに記し関係各位に謝意を表する。

# 文 献

- 1) 村田明宏, 長谷川良一, 河合真樹: 岐阜県 生活技術研究所研究報告, No.22(2020)50.
- 2) 吉田孝久, 橋爪丈夫, 馬渡栄達: 長野県林業 総合センター業務報告, (1995.3)82.
- 3) 草野浩幸, 花田好正: 鳥取県産業技術センター研究報告, No.16(2013)1.
- 4) 寺澤眞: 木材乾燥のすべて [改訂増補版], 海青社,2004,394 頁.
- 5) 鈴木正治, 徳田迪夫, 作野友康 編: 木材 科学講座 8 木質資源材料 改訂増補, 海青 社, 1999, 20 頁.
- 6) JIS K 6852:接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法(1994).
- 7) JIS S 1203: 家具-いす及びスツール-強度 と耐久性の試験方法(1998).

# 中小企業イノベーションにおける思考の明示化

三井俊明 古川柳蔵\*

Thinking Model for Japanese Small and Medium-sized Enterprises Innovation Explicated by OntoIS

Toshiaki MITSUI Ryuzo FURUKAWA\*

#### Abstract

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).

## 1 はじめに

18 世紀半ばの産業革命以降の工業化と人口の急増により肥大化した人間の活動が,気候変動や生物多様性の喪失など深刻な環境問題を引き起こしているり。その解決手法の一つとして,未来のあるべき姿を考えてそこから逆に現在を見つめ,発生する課題を明確にしてその解決法を探るバックキャストがここ数年頻繁に提案されている。しかし,描いた未来が現在を基準に積み重ねたフォーキャストであったり,解決手法が地下資源に依存した技術であったり,実際には課題が多い2)。

石田らはバックキャストの本来の意味をより 厳密に定義するため、バックキャスト思考 (Backcast Way of Thinking: BWT)という思考法を 提案している<sup>2)</sup>。BWT では最初に、例えば化石 燃料の制限や食料の不足などの未来の環境制約 を技術で取り除くのではなく、土台として受け

入れた上でありたい姿を描く(図1)。そしてそこから 現在を見つめ,ありたい姿 に向かうためのライフスタ イルをデザインし,そのた めに必要となる製品やサー ビスによるイノベーション を考える。この手法は一部 の大企業では導入検討も始 まっている³)。

# 2 研究目的

日本における中小企業の割合は企業数の99.7%,従業員数の約7割を占めるが,環境問題への意識は大企業と比較して一般に低いと考えられる。特に地域の中小企業では長期的な「環境制約」よりも,取引関係にある大企業からの要求や人材,設備,交通の便など,事業環境における短期的な「制約」が強い。しかし,それらの「制約」が強い中小企業であるからこそ,その「制約」を受け入れたうえで新しい価値を生み出している可能性がある。

そこで本研究では、中小企業イノベーションの思考モデルを明示化する手法を開発し、そこに「環境制約」ではない一般の「制約」から「新しい価値」を生み出すバックキャスト思考と類似した思考法 (Backcast-like Way of Thinking: BLWT)が存在するかを確認することを目的とした。



(3) ありたい姿に向かうライフスタイルをデザインし、必要な製品やサービスを開発する。それらは「新しい価値」となる。

(1) 環境制約を取り除くのではなく, 受け入れた上で,心の豊かさを持った 幸福な未来のありたい姿を描く。

図1 バックキャスト思考の3つのステップ

【令和3~4年度 環境・エネルギー関連技術研究開発事業 オントロジー工学を応用した中小企業イノベ

ーションの解析手法の開発】

<sup>\*</sup>東京都市大学大学院環境情報学研究科



**図 2** 木製カードケース mokuhen ((有)佐藤工芸, 開発支援:デザイン Gr)

# 3 研究方法

工業技術センターのイノベーション事例集である「製品化事例集」を主に活用し、掲載された製品の開発過程について地域中小企業の担当者や支援したセンター職員に詳細なインタビューを8件実施した。

実施した製品の一例として天童市に所在する有限会社佐藤工芸で開発された木製カードケース mokuhen を図2に示す。このカードケースは非常に薄くシンプルな形状であり、滑らかに開閉するスライド構造を有している。材料にはウォールナット、ブナ、メイプルなど様々な樹種がラインアップされている。同社は家具の部材を加工する際にどうしても発生してしまう端材を有効に利用したい強い気持ちから、山形県工業技術センターに製品開発の相談があった。その後、同センターのデザイン担当職員と協力し、十数回にわたる打ち合わせと試作を重ねて独自の製品を複数開発し、販売を行っている。

それぞれのインタビューの内容についてオントロジー工学の一手法である行為分解木を使ってイノベーション事例の概念構造を記述し、その方法の検討を重ねた。オントロジーとはもともと哲学用語で「存在に関する体系的な理論(存在論)」を意味し、人工知能・知識工学においては「対象とする世界の情報処理的モデルを構築する人が、その世界をどのように『眺めたか』、言い換えるとその世界には『何が存在している』と見なしてモデルを構築したかを(共有を指向して)明示的にしたものであり、その結果得られた基本概念や概念間の関係を土台にしてモデルを記述することができるようなもの」かと定義されている。行為分解木の試作には、人工物

の機能的知識体系化の枠組みをオントロジーにより構築するために開発されたソフトウェア Onto Gear 5)をライフスタイル設計の社会実装版に拡張した Onto Gear SIR-1.2.0 を用いた 6)。

# 4 結果と考察

#### 4.1 行為分解木の試作

OntoGear による人工物の機能モデリングでは、あるデバイスが何を達成するかを表す「機能」とどのように達成するかを表す「方式」を各々個別に概念化しながら全体機能から部分機能へと機能分解していくことで機能分解木を記述し、人工物の機能構造を明示化している。本研究では人工物の「機能」と人間の「行為」の類似性に着目し、同様の記述を行った。ゴールや中間ゴールの行為概念を表す楕円形の行為、クードと、ゴールを達成するための方式概念を表す四角の方式ノードを用いて、開発中に行われた行為を全体からより部分の行為に順次分解して行為分解木を試作した。

一例として図2に示した木製カードケース mokuhen の開発プロセスについての行為分解木 の一部を図3に示す。インタビューや同社ホー ムページに記載されている内容からゴールを 「廃棄される木材に価値を与える」とし、その 下には「製品化方式」を連ねた。「製品化方式」 は「新製品を開発する」行為へ、さらにその行 為を達成するため「カードケース方式」とそれ に連なる行為群へとより部分を表す概念に分解 していく。また、イノベーション事例における 正の結果である「新価値」や「アイディア」は 副作用ノードとして,また「制約」や「不具合」 などの負の影響は不具合ノードとしてそれが発 生した行為・方式ノードに矢印で関連付けて明 示した。詳細を記述する必要がある不具合につ いては不具合プロセスとして別の分解木で記述 してその関係を示すこととした(図3(b))。特に 制約があるからこそ生まれた「新価値」「アイデ ィア」についてはその関係性について番号を付 与して対応を示すこととした。

# 4.2 OntoISのマニュアル化

行為分解木の試作を繰り返すことでこの手法をマニュアル化し、Ontology Engineering Method for Innovation Strategy (OntoIS) として以下の 8 つのプロセスにまとめた。

(3) シンプルなかたち

- (1) イノベーション(新しい製 品や生産の方法を成功裏に導 入し、社会的価値を生むこと) 事例について,企業の開発担当 者や公的機関の支援者などよ りその経緯について詳細にイ ンタビューを行う。特に開発の きっかけ,動機,開発前に存在 した制約,開発中に発生した問 題,不具合など負の影響,新価 値やアイディアなどの有益な 結果、それらの間の関係性に着 目する。また、社是や経営理念、 環境への取り組みなどもエビ デンスとして利用する。
- (2) イノベーションのプロセ スについて, ゴールの行為とそ れを実現するための方式と下 位の行為とに分解し,行為分解 木に記述する。行為ノードは薄 い青の楕円形で表し, 方式ノー ドは濃い青の正方形で表す。ゴ ールとしての行為を単純に「○ ○を製品化する」とするのでは なく,経営理念なども考慮し,

その上位に位置する行為, 例えば「端材を有効 利用する」、「地域資源を活用する」などとなる。 ゴールは最上位に位置し、その下にゴールを達 成するための方式群と行為群を記述していく。 この分解の過程では3つの関係を考慮しなけれ ばならない。まず, 下位の方式は上位の方式に 対して,「下位方式であれば上位方式である」こ とを示す is-a 関係を有している (例:「二輪車」 is-a「乗り物」、「二輪車」は「乗り物」である)。 また, 下位の行為は上位の行為に対して「下位 行為は上位行為の一部分である」ことを示す part-of 関係を有している(例:「車輪」part-of 「自転車」、「車輪」は「自転車」の一部分であ る)。さらに、下位の行為を左から右に「下位行 為 1+下位行為 2+・・・・」のように順に実行 した結果、「上位行為」が達成されるように分解 する。その他の関連する情報は行為分解木の関 連個所に線でつないだ「関連情報ノード」によ って記述する。

(3) 行為から生まれた有益な結果は、その行為

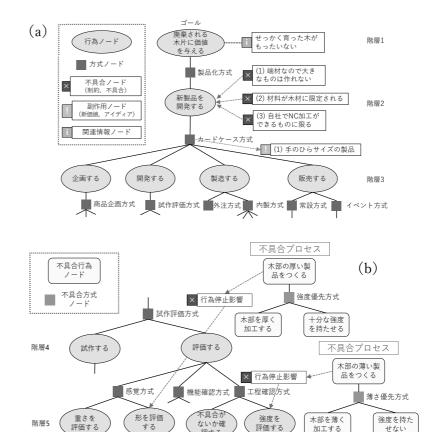


図3 木製カードケース mokuhen の行為分解木 (a:ゴール下部分, b:「開発する」下部分)

認する

から伸びる矢印と副作用ノードを用いて新価値 またはアイディアとして記述する。有益な結果 が方式から生まれる場合も同様に記述する。

強度を持た

加工する

- (4) 負の影響についてはイノベーションプロ セスに及ぼした程度を評価する。それによりイ ノベーションの手順が停止したかどうかを評価 するのが重要である。
- (5) 目的としているイノベーションプロセス が滞った負の影響については不具合として取り 扱う。イノベーション達成の前の不具合プロセ スとして「不具合行為ノード」と「不具合方式 ノード」によって達成される。前者は黄色の角 を丸めた長方形ノードで表し、後者は灰色の正 方形ノードで表す。
- (6) 不具合プロセスにより行為が停止するイ ノベーションプロセスを考慮し,不具合ノード と停止する行為ノードへ向かう矢印で記述する。 (7) イノベーションの行為停止には至らない が負の影響を与えたものについては「制約」と して捉え,不具合ノードを用いて「制約」と,

その「制約」が発生する行為に向かう矢印で関係性を記述する。

(8) 不具合ノードと副作用ノードの関連性に 着目し、「制約」もしくは「不具合プロセス」が 主要因となり、結果として「新価値」や「アイ ディア」を含む「新しい行為」が生まれた場合、 原因と結果の関係を示すため対応する番号を明 示する。

# 4.3 BLWT の検討

8 つの中小企業イノベーション事例を評価するために、イノベーション事例の概念構造を明示化する行為分解木を分析した。それぞれの行為分解木で分解された方式ノード、行為ノード、不具合ノード、副作用ノードの数を表1に示す。各行為分解木中で分解したノードの数を集計するとそれぞれ行為ノードで数十~百程度であった。また、各行為分解木中の方式ノードの数はその半数程度であった。それぞれの製品化プロセスでは3~8個の不具合が起こり、また、新たな価値、アイディアは2~6個生まれていた。

本研究におけるこれらの不具合は、ほとんどの場合、環境制約から発生したものではない。しかし、研究目的で述べたように、中小企業はその経営において環境制約よりもより多くの制約を受けているため、彼らはこれらの制約を受け入れた上で新たな価値を生み出す BLWT を用いている可能性がある。そこで行為分解木において同じ番号を付与した有益な結果と負の影響の関係を詳細に検討した。

例えば木製カードケース mokuhen の例では

「(1) 端材なので大きなものは作れない」という制約が「(1) 手のひらサイズの製品」をつくるという価値に繋がっている。このとき、この制約を例えば「接着により大きなものをつくる」など、技術や改良で取り除こうとはしておらず、受け入れたうえで新しい価値を生み出している。この思考の過程は環境制約に対するバックキャスト思考の過程と同じと捉えてよい。この製品の開発において生み出された3つの新価値、アイディアは表2に示すようにすべてこの思考法BLWTで生み出されたと捉えることができる。

本研究で分析した8つのイノベーション事例 については、A 社や C 社は BLWT を多く用いて おり、一方E社やF社はBLWTを全く用いてい なかった。平均すると新価値、アイディアの約 3 割はバックキャスト思考と類似の思考法を用 いて生み出されていたと判断した。残りの7割 は制約や不具合を,工程の改良,製造条件の見 直し、設計上の工夫などこれまで培ってきた技 術で取り除くことで有益な結果が生み出されて おり、中小企業の思考はその混合であるとみら れる。BLWT を用いた企業はこの思考法を認識 してはいなかったが、設備の不足、限定された 材料など技術では解決できない問題を受け入れ て新たな価値を生み出していた。なお、 BLWT を使った場合と使わなかった場合で生み出され た価値の内容の良し悪しの比較を行うことで, BLWT の有効性をより評価することができると 考えられる。

本研究で明示化した8つの製品開発について

表1 各行為分解木における各ノードの数と BLWT の数

企業	産業分類	行為	方式	制約,不具合	新価値, アイディア	BLWT	BLWT / 新価値, アイディア
А	家具・装備品製造業	92	43	6	3	3	1
В	木材・木製品製造業	106	54	8	3	1	0.3
С	なめし革・同製品・毛皮製造業	37	18	6	4	3	0.8
D	繊維工業	53	27	4	6	1	0.2
Е	繊維工業	45	14	3	2	0	0
F	食料品製造業	54	30	4	6	0	0
G	食料品製造業	96	49	5	3	1	0.3
H	飲料・たばこ・飼料製造業	57	19	3	2	0	0
平均		67.5	31.8	4.9	3.6	1.1	0.3

表 2 OntoIS で明らかとなった制約,不具合プロセスと新価値, アイディアの関係(木製カードケース mokuhen の行為分解木)

制約,不具合プロセス	新価値,アイディア	BLWT
(1) 端材なので大きなものは作 れない	(1) 手のひらサイズの製品	0
(2) 材料が木材に限定される	(2) 木のぬくもりで名刺交換時 に温かみを	0
(3) 自社で NC 加工できるもの に限る	(3) シンプルな形	0

すべての事例で工業技術センターが開発に関わっており、そのうち5つは共同研究を行ったものである。BLWTで生み出された新価値、アイディア9つのうち8つはこの共同研究のなかで生まれており、連携を深めた案件の方が新価値、アイディアが生まれやすい結果となった。

これらの結果は、暗黙の知識を明示化できる オントロジー工学を用いたイノベーション思考 モデルフレームワークである OntoIS により明 らかにすることができた。どのような要因が BLWT の使用割合に影響しているかは今後の課 題である。また、今回の8つのイノベーション 事例における環境制約は1つしかなく、環境制 約をより多く含んだ事例取集が望まれる。環境 制約の表出が少なかった理由としては, 今回の インタビューで抽出した情報の中では,環境制 約は中小企業経営者の思考の中で重要度が低い ことが要因の一つと考えられる。また、インタ ビューにおいて環境の視点での質問をしなかっ たことも要因の一つである。一方で,本研究で は未利用物(廃棄物、余剰資源)の活用が多く のイノベーション事例で見られた。将来的には インタビュー時に環境の視点をより強調し, ま た, 行為分解木中の各行為や各機能について環 境負荷のデータを入手・記述して考察できれば, イノベーションの行為分解木をより一層役立つ ものとすることができるであろう。

# 5 まとめ

山形県内の中小企業で開発された8つのイノベーション事例を対象に、オントロジー工学の行為分解木を応用し、イノベーションプロセスとイノベーションの主体者の思考を描写する方法を検討した。彼らの思考を明示化するための

方法を、インタビューの内容を記述する作業を行いながら繰り返し評価し、新たに Ontols と呼ぶイノベーションプロセスを記述する方法を開発した。そして8つのステップからなるOntols の描写マニュアルを作成した。

イノベーションの行為 分解木では, 負の影響であ

る制約や不具合と有益な結果である新たな価値とアイディアをそれぞれ不具合ノードと副作用ノードに記述することとした。そして、それらの関係性を記述した。OntoISによりイノベーターの思考を明示化することで、イノベーションプロセスの構造を明らかにすることが可能となった。

そして、中小企業における何人かのイノベーターは、既に BLWT を利用していることが明らかとなった。彼らは環境制約に対しての BWT を用いてはいないが、同様の思考である BLWT を用いていることから、意識的に BWT を用いる可能性を有している。

#### 謝 辞

インタビューに御協力いただいた有限会社佐藤工芸高橋裕子代表取締役,その他企業の担当者,山形県工業技術センターの担当者に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- E. H. Ishida and R. Furukawa: Nature Technology, Springer, 2013.
- 2) 石田秀輝, 古川柳蔵: バックキャスト思考, ワニ・プラス, 2018.
- 3) 石田秀輝ら: 2030 年のライフスタイルが教 えてくれる「心豊かな」ビジネス, 日刊工業 新聞社, 2013.
- 4) 溝口理一郎: オントロジー工学, オーム社, 2011.
- 5) 高橋淳ら : 人口知能学会論文誌,23 (2008)424.
- 6) 岸上祐子ら:環境科学会誌,31(2018)89.

# 

三井俊明 古川柳蔵\*

Explicating the Thinking Processes of Managers in Small and Medium-sized Manufacturing Enterprises Using Action Decomposition Trees and Their Regional Characteristics: A case study of Yonezawa Region

Toshiaki MITSUI Ryuzo FURUKAWA\*

#### Abstract

We tried to explicate the implicit thinking processes of managers in local manufacturing small and medium-sized enterprises (SMEs) by using the action decomposition tree method, an ontology engineering technique. We interviewed managers in three innovative enterprises located in Yonezawa City, Yamagata Prefecture, and described their structures of thinking by action decomposition trees. We extracted upper and lower concepts from the trees and created questions. The questionnaire survey revealed that their ways of thinking and structures of thinking also exist in the other managers in the Yonezawa region. In addition, the relationship between the history and culture unique to the region and the extracted thinking was also investigated.

# 1 はじめに

地球環境問題を本質的に解決するには, 中 小企業を含めた多くの製造業は地下資源に頼っ たものづくりから持続可能なものづくりへと産 業構造を変革していかなければならない。その ためには、ものづくり関連企業経営者の思考と その構造を明示化して、そこから抽出した概念 を持続可能性の観点から評価, 利用していくこ とや, 環境制約を土台としてそこから価値を生 み出す持続可能なものづくりへと繋げていくこ とが求められている。本研究では、その手始め としてものづくり中小企業経営者の暗黙の思考 構造を明示化することを試みた。研究の対象に ついては、いわゆる「環境制約」が要因ではな いが、地域の主たる産業が繊維工業から電気機 械器具製造業へと数十年のうちに大きく変化し た歴史をもつ山形県米沢地域を選び、地域性に ついても検討した。

# 2 研究目的

前報では、新たに開発した行為分解木のフレームワーク手法 Ontology Engineering Method for Innovation Strategy (OntoIS) <sup>1)</sup>により製品開発時の開発者の思考を明示化し、「制約」から

「新しい価値」を生み出すバックキャスト思考<sup>2)</sup>と類似した思考法(Backcast-like Way of Thinking: BLWT)が、いくつかのものづくり中小企業に存在することを明らかにした。本研究では、この OntoIS が企業経営者の暗黙の思考の明示化にも可能であるかを確認することを最初の目的とした。また、製品開発時と同様に、明示化した思考のなかに BLWT が存在するかの検討を併せて行った。

分析の対象は、山形県米沢地域に所在する 新事業開発に意欲的なものづくり中小企業の経 営者である。地域を限定することで、経営者の 思考とその構造が、例えば交通の便、人材や教 育研究機関など地理的、社会的な制約が共通で ある地域の他の経営者にも存在するかを確認す ることを目的とした。また、地域に独自の歴史、 文化からの影響があるかについても併せて確認 を行った。

# 3 研究方法

2022年1月から4月にかけて表1に示す中小 企業3社について、それぞれの代表取締役社長 へのインタビューを行った。いずれの経営者も

【令和3~4年度 環境・エネルギー関連技術研究開発事業 オントロジー工学を応用した中小企業イノベーションの解析手法の開発】

<sup>\*</sup>東京都市大学大学院環境情報学研究科

表1 インタビューを行った企業と経営者

企業	A 社	B社	C 社
業種	生産用機械 器具製造業	情報通信機械 器具製造業	繊維工業
従業員数	10	140	13
創業年	1995 (H7)	1980 (S55)	1905 (M38)
何代目か	初代	3代	4代

これまでは大企業の下請型の業務を中心としていたが、近年になって自社独自製品の開発を行っている。インタビューの内容を元に OntoIS の手順で OntoGearSIR-1.2.0<sup>3)</sup>を用いた記述を行った。企業経営プロセスで行われた行為を全体からより部分の行為に分解して行為分解木を試作し、各インタビュイーに確認を依頼して完成とした。

次に、各行為分解木のゴールにある上位概念と下層に分解された下位概念をいくつか抽出した。下位概念にはインタビューのなかで強調していた概念や複数名で類似していた概念を選んだ。

抽出した概念についての 13 個の質問に、米沢地域に独自の歴史、文化に関して上杉鷹山 40, 米沢織 50, 草木塔 60について 3 個の質問を加えた計 16 間について、それらが地域のものづくり経営者にもあてはまるかどうかを順序尺度によるアンケートで調査した。アンケート対象は米沢繊維協議会 56 社、置賜試験場工業技術振興会 41 社、その他 10 社の計 107 社とし(表2)、郵送による無記名方式で行った。アンケートを送付した 107 社はほとんどが中小企業であるが、大企業が 3 社含まれている。この 3 社の起源は米沢市で創業された中小企業であることから、

あえて除かなかった。全体の回答数は 69社で回答率は64%であった。

アンケート結果は各回答の割合について検討し、各質問間の重回帰分析や 相関の確認を行った。

各経営者に行ったインタビューの結

# 4 結果と考察

# 4.1 行為分解木の試作

果からそれぞれの行為分解木を試作した。一例として、A社代表取締役社長の会社経営プロセスの概念構造を記述した例についてその一部を図1に示す。経営の中で行われた行為を、下層に行くほど全体からより部分の行為となるように、楕円形の行為ノードと四角の方式ノードを用いて分解した。

行為分解木の試作では、まず最上位に位置する行為(ゴール)を考察した(図 1 (a))。インタビューの内容から会社勤め後に自ら起業したA社経営者のゴールは「生きがいを得る」とし、その下には「労働方式」を連ねた。「労働方式」は「働く」、「満足する」行為に分解され、各行為はさらに細かな方式に分解される。行為分解木を作成する際には、下位階層の方式が上位階層の方式に含まれる「is-a」関係をもち、下位階層の行為を左から右に行うことによって上位階層の行為が達成される「part-of」関係であることに注意しながら記述を進めたり。

正の結果である「新価値」や「アイディア」を記述するため、副作用ノードを用いて、それが発生した行為または方式から外向きの矢印で明示した。また、負の影響である「制約」や「不具合」は不具合ノードでそれが影響する行為に向かう矢印で示した。制約があるからこそ生まれた「新価値」「アイディア」については

表2 アンケート対象団体

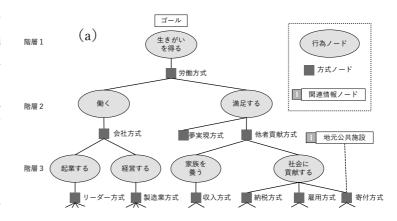
団体名	米沢繊維協議会	置賜試験場 工業技術振興会	その他 米沢地域企業	計
主な業種	繊維工業	電機・電子工業 機械工業	-	_
送付数	56	41	10	107
回答数	36	25	8	69
回答率	64%	61%	80%	64%

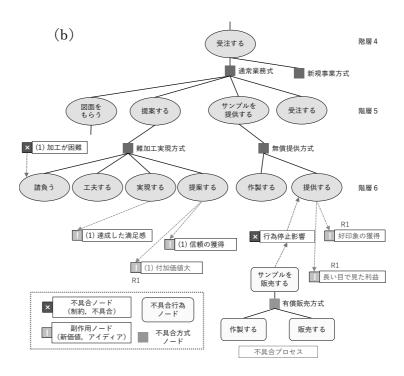
その関係性について同じ番号を付与して明示した。例えば部品の機械加工を受注する際の「(1)加工が困難」という制約に着目すると、それを工夫により実現し発注企業へ提案することで、「(1)信頼の獲得」など新たな価値が生まれていると理解することができる。

本研究の会社経営プロセスの行 為分解木ではイノベーションプロ セスの例にならい、経営の途中で 問題となった内容はより詳細に記 載するため「不具合プロセス」と して経営プロセスとは別の行為分 解木に記述することとした。例え ば、A 社では部品を受注する際に はサンプルを無償で試作して提供 している。このときサンプルを有 償で販売することも当然あり得る が、そうすることにより無償提供 で得られる「好印象の獲得」や 「長い目で見た利益」という新価 値が失われてしまうことになる。 行為停止には至らない負の影響に ついては, 前述のように直接影響 する行為に不具合ノードと矢印で 記述することとした。その他の情 報については関連情報ノードで付 け加えた。試作した会社経営の行 為分解木は各インタビュイーに確

認を依頼した。確認後の修正および追記は赤字で記載することとし、「R1 (Revision 1)」を付記した。

A社経営者の行為分解木中では、「(1)加工が困難」という制約に関連して、「(1)信頼の獲得」、「(1)達成した満足感」の有益な結果が得られている。困難であることを受け入れてそこから生まれた価値としてこれらは経営におけるBLWTと考えて良い。また、B社経営者の行為分解木では、「(1)競争相手がグローバル化」という制約に関連して「(1)世界に技術をアピール」という思考が生まれており、これもBLWTと捉えることができる。一方、C社経営者の行為分解木にはBLWTは確認できなかった。行





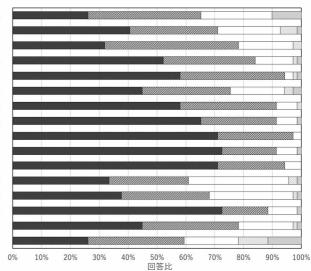
**図1** 木製カードケース mokuhen の行為分解木 (a:ゴール下部分,b:「開発する」下部分)

為分解木手法で記述することにより、イノベーティブなものづくり中小企業の経営者の思考中に BLWT が存在することを確認することができた。

## 4.2 上位概念,下位概念の抽出

3人の会社経営に関する行為分解木から上位に現れた概念と下位に現れた概念を抽出し、アンケートの質問に用いた。各行為分解木はそれぞれ80個程度の行為ノードと30個程度の方式ノード、およびその他のノードから構成されているが、上位概念との重回帰分析を行うための数やアンケート全体の質問数を考慮し、個々の行為分解木からは3または4個の下位概念を抽出することとした。

1上杉鷹山公の精神に影響を受けていると感じる。 2米沢織は地域のものづくりの礎(いしずえ)であり、重要だと思う。 3 草木塔に代表されるような自然に感謝する心を大事にしている。 4働くことで生きがいを得ている。 5人柄、知識、実力を備えたリーダーでありたい。 6 多様なメーカーと取引することで経験を積んでいる。 7いつも、より良い方法を考え、工夫を行っている。 8 自社の産業で地域に貢献したい。 9 自社の強みを見つけ、それを活かすことを大事にしている。 10 従業員には力を尽くして直剣に働いてもらいたい。 11 従業員には自分の意思を用いて、働きがいを持ってほしい。 12 地域の資源を考え、それを活かすようにしている。 13 地域の産業を継承し地域に尽くしたい。 14 従業員には技術を身に付け、長く働いてもらいたい。 15 発注元、発注先と一体となって課題解決にあたっている。 16 地域の企業で分担してものづくりを行っている。



■5 あてはまる ◎4 ややあてはまる □3 どちらともいえない □2 ややあてはまらない □1 あてはまらない

# 図2 アンケート結果(回答比)

例えばA社経営者のゴールにあたる上位概念は図 1 (a) に示したように「生きがいを得る」でそれをどのように達成するかは「労働方式」であった。この概念から質問文を作ると「働くことで生きがいを得ている」となる。同様に下位概念を抽出して質問文をつくり、3 人の経緯者の行為分解木より合わせて 13 間を設定した。

# 4.3 アンケート結果

集計で得られた各質問に対する回答比を図2に示す。いずれの質問でも5:あてはまると4:ややあてはまるを合わせた肯定的な回答が半数を超えていた。特に、「9自社の強みを見つけ、それを活かすことを大事にしている。」は95%を超えて最も高く、「5人柄、知識、実力を備えたリーダーでありたい。」と「11従業員には自分の意思を用いて、働きがいを持ってほしい。」がそれに続いている。一方、比較的数値が低かったのは「16地域の企業で分担してものづくりを行っている。」、「12地域の資源を考え、それを活かすようにしている。」で60%前後であった。

次に、各経営者の行為分解木から抽出した 上位概念と下位概念の思考の構造が他の経営者 にも存在するかを調べるため、アンケートの回 答について重回帰分析を行った。上位概念を被 説明変数とし、3、4個の下位概念を説明変数 として用いて分析を行った(表 3~5)。

その結果, A 社経営者の上位概念は 3 個の下 位概念のすべてと有意な関係を有しており, ま

表3 「4働くことで生きがいを得ている。」 を被説明変数とした重回帰分析結果 (A社経営者)

説明変数	標準化係数	P値
5 人柄、知識、実力を備えたリー ダーでありたい。	0.213*	0.043
多様なメーカーと取引すること で経験を積んでいる。	0.299**	0.006
7 いつも、より良い方法を考え、 工夫を行っている。	0.354**	0.001

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

表 4 「8 自社の産業で地域に貢献したい。」を 被説明変数とした重回帰分析結果(B 社経営者)

説明変数	標準化係数	P値
9 自社の強みを見つけ、それを活 かすことを大事にしている。	0.119	0.387
10 従業員には力を尽くして真剣に 働いてもらいたい。	-0.006	0.961
11 従業員には自分の意思を用いて、働きがいを持ってほしい。	0.378**	0.008
12 地域の資源を考え、それを活か すようにしている。	0.285**	0.009

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

表5 「13 地域の産業を継承し地域に尽く したい。」を被説明変数とした重回帰 分析結果(C社経営者)

説明変数	標準化係数	P値
14 従業員には技術を身に付け、長く働いてもらいたい。	0.348**	0.003
15 発注元、発注先と一体となって 課題解決にあたっている。	-0.009	0.935
16 地域の企業で分担してものづく りを行っている。	0.285*	0.013

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

たB社およびC社経営者の上位概念はそれぞれ 2 個の下位概念と有意な関係があった。抽出した下位概念の半数以上については上位概念と関係があることが示された。このことから、行為分解木手法で明示した経営者の暗黙の思考の構造については、他の米沢地域経営者にもおよそ類似した構造が存在していることが分かった。

次にすべてのデータについて各質問間の相 関表を表 6(a)に示す。米沢地域に独自の質問 1~3 とそれ以外の質問の相関係数に着目すると、 いくつかの質問と 0.3~0.5 の弱い相関はあった が 0.5 以上の相関はなかった。ここで、事前に t 検定によっていくつかの質問で有意差が確認 された2つのグループ、米沢繊維協議会会員企 業 36 社, 置賜試験場工業技術振興会会員企業 とその他の企業の計 33 社に分けた場合の相関 を同様に確認した(表 6 (b), (c))。すると 「2米沢織は地域のものづくりの礎(いしずえ) であり、重要だと思う。」といくつかの質問に ついて係数 0.5 以上の相関が確認された。米沢 繊維協議会会員企業のグループでは、「7 いつ も,より良い方法を考え,工夫を行っている。」 「9 自社の強みを見つけ、それを活かすことを 大事にしている。」「10 従業員には自分の意思 を用いて,働きがいを持ってほしい。」と正の 相関があり、米沢織のものづくり精神が、新し い価値の創造に前向きに取り組み、そこにやり がいを見いだす姿勢と関係があるとみられる。 また、 置賜試験場工業技術振興会とその他の企 業からなるグループでは「8 自社の産業で地域 に貢献したい。」に相関係数 0.5 以上の相関が 見られた。米沢繊維協議会の企業と比べると創 業から歴史が比較的浅く, また県外から進出し た企業も含まれてはいるが、米沢織を地域のも のづくりの礎だと考える思考と, 現在の経営者 の思考との相関が示された。

# 5 まとめ

本研究では山形県米沢市に所在する新製品開発に意欲的なものづくり中小企業3社の経営者へのインタビューを実施し、オントロジー工学の手法である行為分解木を用いて、それぞれの経営の中で行われた行為について記述を試みた。経営のゴールとなる行為を、下層に行くほど全体からより部分の行為となるように行為ノード

と方式ノードを用いて分解していくことで、企業経営者の思考とその構造を明示化しいくつかの BLWT の存在を確認できた。そして、得られた行為分解木から上位概念と下位概念を抽出してそこから質問文を組み立て、米沢地域企業へのアンケート調査を行い、これらの思考が他の経営者にも存在していること、また、上位概念と下位概念の構造についてもおよそ類似した構造が存在することを明らかにした。

また、地域における独自の文化、歴史との関係を分析したところ、「米沢織の重要性」に関しては、産業分野を分けた各グループにおいて行為分解木から抽出した質問との相関が確認された。一方、「上杉鷹山公の精神」「草木塔に代表される自然への感謝」に関しては、今回の研究で抽出した質問との明らかな相関はなく、学校教育などで地域の歴史、文化としては受け継がれているものの、ものづくり中小企業の思考への影響は現在では限定的であるとみられる。

持続可能な生産消費形態の達成に向けて, ものづくり中小企業の変革を進めるための取組 みとして,行為分解木手法を用いて経営者の暗 黙の思考を明示化するこの手法の利用が今後期 待される。

#### 謝 辞

インタビューに御協力いただいた米沢地域の3社の企業経営者の方々、アンケートに御協力をいただいた企業経営者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) T. Mitsui and R. Furukawa: Proceedings of EcoDesign 2021, 2021, pp466-473.
- 2) 石田秀輝, 古川柳蔵: バックキャスト思考, ワニ・プラス, 2018.
- 3) 岸上祐子ら:環境科学会誌,31(2018)89.
- 4) 横山昭男:上杉鷹山,吉川弘文館,1968.
- 5) 米沢市史編纂委員会:米沢市史 現代編, 1996.
- 6) やまがた草木塔ネットワーク事務局:いの ちをいただく 草や木の命をいとおしむ「草 木塔」のこころを求めて、山形大学出版会、 2007.
- 7) 來村徳信ら:人工知能学会誌,17(2002)73.

# 山形県工業技術センター報告 No.55 (2023)

表 6 各質問の相関係数表 (a: 全体, b: 米沢繊維協議会, c: 置賜試験場工業技術振興会, その他)

# (a)

	質問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	上杉鷹山公の精神に影響を受けていると 感じる。															
2	米沢織は地域のものづくりの礎(いしず え)であり、重要だと思う。	0.475**														
3	草木塔に代表されるような自然に感謝す る心を大事にしている。	0.310**	0.425**													
4	働くことで生きがいを得ている。	0.181	0.176	0.159												
5	人柄、知識、実力を備えたリーダーであ りたい。	-0.124	-0.038	0.015	0.480**											
6	多様なメーカーと取引することで経験を 積んでいる。	0.104	0.172	0.100	0.547**	0.426**										
7	いつも、より良い方法を考え、工夫を 行っている。	0.028	0.296*	0.282*	0.571**	0.394**	0.442**									
8	自社の産業で地域に貢献したい。	0.062	0.348**	0.204	0.318**	0.288*	0.437**	0.397**								
9	自社の強みを見つけ、それを活かすこと を大事にしている。	0.015	0.185	0.197	0.322**	0.349**	0.291*	0.538**	0.433**							
10	従業員には力を尽くして真剣に働いても らいたい。	0.037	0.094	-0.050	0.443**	0.539**	0.119	0.333**	0.296*	0.459**						
	いを持つてはしい。	0.001	0.142	0.023	0.336**	0.278*	0.341**	0.374**	0.489**	0.630**	0.518**					
12	地域の資源を考え、それを活かすように している。	0.297*	0.431**	0.378**	0.345**	0.318**	0.393**	0.258*	0.368**	0.273*	0.180	0.135				
13	地域の産業を継承し地域に尽くしたい。	0.289*	0.347**	0.238*	0.359**	0.344**	0.406**	0.260*	0.467**	0.308**	0.302*	0.357**	0.641**			
14	従業員には技術を身に付け、長く働いて もらいたい。	0.009	-0.003	-0.044	0.369**	0.534**	0.172	0.129	0.136	0.272*	0.756**	0.469**	0.166	0.347**		
15	発注元、発注先と一体となって課題解決 にあたっている。	0.011	0.043	-0.082	0.395**	0.212	0.464**	0.183	0.087	0.222	0.133	0.209	0.179	0.085	0.154	
16	地域の企業で分担してものづくりを行っ ている。	0.043	0.135	0.006	0.124	0.220	0.233	0.077	0.159	0.074	0.091	0.010	0.342**	0.285*	0.002	0.141

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

# (b)

	質問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	上杉鷹山公の精神に影響を受けていると 感じる。															
2	米沢織は地域のものづくりの礎(いしず え)であり、重要だと思う。	0.416*														
3	草木塔に代表されるような自然に感謝す る心を大事にしている。	0.322	0.388*													
4	働くことで生きがいを得ている。	0.169	0.301	0.145												
5	人柄、知識、実力を備えたリーダーであ りたい。	-0.182	0.198	0.097	0.285											
6	多様なメーカーと取引することで経験を 積んでいる。	0.286	0.219	0.021	0.564**	0.259										
7	いつも、より良い方法を考え、工夫を 行っている。	0.050	0.566**	0.256	0.529**	0.384*	0.351*									
8	自社の産業で地域に貢献したい。	0.099	0.415*	0.143	0.324	0.391*	0.403*	0.490**								
9	自社の強みを見つけ、それを活かすこと を大事にしている。	0.252	0.519**	0.270	0.339*	0.396*	0.226	0.556**	0.453**							
10	従業員には力を尽くして真剣に働いても らいたい。	0.181	0.507**	0.127	0.475**	0.420*	0.319	0.612**	0.591**	0.804**						
11	いを持ってほしい。	0.073	0.396*	0.090	0.471**	0.480**	0.298	0.679**	0.444**	0.823**	0.908**					
12	地域の資源を考え、それを活かすように している。	0.240	0.243	0.401*	0.316	0.355*	0.465**	0.304	0.432**	0.459**	0.351*	0.327				
13	地域の産業を継承し地域に尽くしたい。	0.280	0.450**	0.188	0.408*	0.389*	0.646**	0.332*	0.499**	0.558**	0.487**	0.469**	0.645**			
14	従業員には技術を身に付け、長く働いて もらいたい。	0.109	0.401*	0.204	0.358*	0.417*	0.306	0.416*	0.207	0.482**	0.701**	0.654**	0.256	0.520**		
15	発注元、発注先と一体となって課題解決 にあたっている。	0.219	-0.039	-0.214	0.436**	0.167	0.529**	0.097	0.002	0.091	0.123	0.224	0.170	0.284	0.122	
16	地域の企業で分担してものづくりを行っ ている。	-0.204	-0.229	-0.309	-0.009	0.155	0.244	0.030	0.156	0.190	0.134	0.208	-0.019	0.141	-0.030	0.235

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

# (c)

	質問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	上杉鷹山公の精神に影響を受けていると 感じる。															
2	米沢織は地域のものづくりの礎(いしず え)であり、重要だと思う。	0.325														
3	草木塔に代表されるような自然に感謝す る心を大事にしている。	0.201	0.381*													
4	働くことで生きがいを得ている。	0.238	0.131	0.190												
5	人柄、知識、実力を備えたリーダーであ りたい。	-0.078	-0.129	-0.019	0.665**											
6	多様なメーカーと取引することで経験を 積んでいる。	-0.017	0.251	0.212	0.528**	0.555**										
7	いつも、より良い方法を考え、工夫を 行っている。	0.050	0.223	0.337	0.625**	0.407*	0.527**									
8	自社の産業で地域に貢献したい。	0.107	0.522**	0.343	0.310	0.237	0.485**	0.295								
9	自社の強みを見つけ、それを活かすこと を大事にしている。	-0.140	0.124	0.221	0.307	0.369*	0.391*	0.559**	0.371*							
10	従業員には力を尽くして真剣に働いても らいたい。	-0.058	-0.149	-0.193	0.419*	0.614**	-0.068	0.110	-0.042	0.042						
11	いを持ってほしい。	0.065	0.136	0.021	0.127	0.141	0.396*	0.010	0.553**	0.195	0.083					
12	地域の資源を考え、それを活かすように している。	0.204	0.428*	0.295	0.422*	0.346*	0.400*	0.269	0.409*	0.237	0.084	0.051				
13	地域の産業を継承し地域に尽くしたい。	0.262	0.264	0.251	0.331	0.337	0.223	0.220	0.493**	0.099	0.179	0.315	0.636**			
14	従業員には技術を身に付け、長く働いて もらいたい。	0.000	-0.201	-0.227	0.388*	0.610**	0.036	-0.113	0.037	-0.029	0.801**	0.243	0.166	0.246		
15	発注元、発注先と一体となって課題解決 にあたっている。	-0.102	0.328	0.143	0.344	0.258	0.377*	0.270	0.194	0.399*	0.140	0.127	0.310	-0.073	0.164	
16	地域の企業で分担してものづくりを行っ ている。	0.034	0.136	0.205	0.338	0.340	0.306	0.176	0.275	0.092	0.089	-0.134	0.565**	0.389*	0.115	0.174

注:\*p<0.05, \*\*p<0.01

# 抄 録 / 論 文 発 表

# 行為分解木手法によるものづくり中小 企業経営者の思考の明示化と地域性 一米沢地域を事例として—

三井俊明 古川柳蔵\* 研究 技術 計画 (2023)

ものづくり中小企業経営者の暗黙の思考構造がどのようなものであるかを、オントロジー工学の手法を使って明示化することを試みた。山形県米沢市に所在する、新事業開発に意欲的な3社の経営者に経営に関するインタビューを実施し、その内容を行為分解木手法で記述した。それぞれの行為分解木から経営の二ルに関する上位の概念と、分解された下層にある下位概念を抽出し、それらの思考および思考構造が、米沢地域の他の経営者にも存在することをアンケート調査で明らかにした。行為分解木手法は経営者の暗黙の思考構造の明示化に有効であることが分かった。また、地域の歴史や文化が現在のものづくり経営者の思考に影響している可能性が示された。

\*東京都市大学

# 樹脂・金属複合構造中における金属構造 の形状が熱伝導率に与える影響

佐藤貴仁 村岡潤一

2023 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2023.3.14)

レジンボンド砥石は良好な面粗さが得られる 一方,結合剤の耐熱性が低いため加工熱により 砥石の摩耗が促進されるという課題がある。そ こで筆者らは耐熱性の向上を目的として,結合 剤中に連続した金属構造を埋め込んだ複合構造 を持つ砥石を提案している。本研究では,シミ ュレーションを用いて樹脂中の金属構造の形状 が熱伝導率に与える影響について調査し,作製 した複合構造の熱伝導率の測定結果と比較,評 価を行った。その結果,金属構造を微細に分散さ せることで熱伝導率が向上するシミュレーション結果が得られ,実験においても同様の結果が 得られた。

# 多孔質金属を複合したレジンボンド砥 石によるチタン合金の研削加工

村岡潤一 佐藤貴仁 櫻井孝之 2023 年度精密工学会春季大会学術講演会 (2023.3.14)

チタン合金は低い熱伝導率や高い化学的活性により、工具が激しく摩耗する難削材として知られている。特にレジンボンド砥石は、耐熱性が低く摩耗が著しい。本研究では、耐熱性の向上を目的として、多孔質金属に樹脂を含侵させた構造のレジンボンド砥石を試作した。加工試験の結果、従来のレジンボンド砥石と比較して、開発砥石は約2倍の研削比が得られた、

# 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\*

Electrical Engineering in Japan (John Wiley and Sons Inc.), 2022;215:e23408. (2022.12)

We have developed a MEMS Rogowski coil current sensor with spiral return coil. The Rogowski coil is formed on a silicon substrate clockwise and counterclockwise from the edges, for current detection and external magnetic noise compensation (device size  $10 \times 10 \times 0.3~\text{mm}^3$ , spiral coil 135 turns, via diameter  $100~\mu\text{m}$ ). When the slew rate (di/dt) was kept constant at  $10~\text{A/\mu s}$ , and the current was changed by 5 A up to 40 A, MEMS Rogowski coil could detect current linearly. When the slew rate was changed by  $10~\text{A/\mu s}$  up to  $100~\text{A/\mu s}$ , it was found that the MEMS Rogowski coil could detect current almost linearly following the reference sensor. Hence, external noise compensation by the return coil has been confirmed.

\*Shindengen Electric Manufacturing Co., Ltd. (新電元工業株式会社)

# セルロースナノファイバの化学修飾お よびセンサ応用に関する研究

加藤睦人 矢作徹 山田直也 吉田一樹 渡部 善幸 田中秀治\*

電子機器 2023 トータルソリューション展 (一社) エレクトロニクス実装学会アカデミックプラザ (2023.6.1)

セルロースナノファイバ (CNF) は、木材をはじめとする植物繊維を微細な繊維までほぐす (解繊) ことで得られる材料である。我々は、CNF の持つ比表面積の大きさと官能基に着目し、CNFを化学物質に対して応答性を有する感応膜としての応用を試みている。今回、CNFの湿度応答性を評価した結果、CNF は湿度変化に対して大きなインピーダンス変化を示すことが分かった。

\* 東北大学大学院工学研究科

# 微細多段フィン構造成形品の構造色特 性の解析と評価

矢作徹 山田直也 村山裕紀 渡部善幸 江目 宏樹\* 峯田貴\*

(一社)表面技術協会第148回講演大会(2023.9.4) 近年、樹脂成形品の表面に、生物由来の微細構造を形成することで、光学特性、撥水性など様々な機能を付与するバイオミメティクスへのニーズが高まっている。我々はこれまでスパッタリング、ドライエッチング、ウエットエッチング等のMEMS技術を用いて、筋(リッジ)構造と微細多段フィン構造を形成し、樹脂への構造転写を行ってきた。本研究では、微細多段フィン構造成形品の光学反射特性(青色発色)について電磁界シミュレーション解析を行い、構造パラメータと反射率特性について評価した。さらに実際に作製した成形品の光学特性と比較した。

\*山形大学

# 陽極酸化タンタル被膜の拡散バリア性

加藤睦人 山田直也 吉田一樹 田中秀治\* (一社)表面技術協会第 148 回講演大会 (2023.9.4) センサや半導体デバイスなどの電子デバイス を作製するうえで,配線金属薄膜と下地基板と の間で高い界面密着性を維持できる密着層の選択が重要である。本発表では、密着層として実績のある Ta(タンタル)被膜の Au(金)拡散バリア性を評価した。その結果、400℃24hr に曝露すると、Ta を通して若干の Au の拡散が認められたが、界面密着性の低下は観られなかった。また、陽極酸化 Ta 被膜は、単体 Ta を上回る拡散バリア性を有することが分かった。

\* 東北大学大学院工学研究科

# MEMS 技術を用いた高アスペクト比微 細構造 Si 金型の作製と樹脂への形状転 写

矢作徹 山田直也 ペトルス・ヤサヤ・サモリ\* 石井大佑\*\* 齋藤潤一\* 三澤孝夫\* 中西為 雄\*\*\*

(公社)高分子学会第72回高分子討論会(2023.9.26) 近年,樹脂成形品の表面に生物由来の微細構造を形成することで,表面濡れ性など様々な機能を付与するバイオミメティクスへの指向が高まっている。我々は石井ら名古屋工業大学,スズキハイテック株式会社,山形大学と産学官連携の共同研究開発を実施しており,フナムシ模倣構造による指向性,および瞬時の液滴拡散機能を有する無動力液体制御システムの実用化を目指している。本研究では、MEMS技術で作製したシリコン金型を用いて、離型性を考慮したテーパ形状を有する微細流路構造成形品を作製し、樹脂への形状転写性、液滴輸送機能について評価した。

\*スズキハイテック株式会社 \*\*名古屋工業大学 \*\*\*山形大学

# セルロースナノファイバを感応膜に用いた湿度センサの開発

加藤睦人 矢作徹 山田直也 吉田一樹 渡部 善幸 田中秀治\*

第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 (2023. 9.22)

我々はセルロースナノファイバ(CNF)の比表面積の大きさと、分子鎖に多く存在する水酸基に着目し、様々な気体検出への活用を試みている。CNFを感応膜とした MEMS 型センサを

作製し特性を評価した結果,交流インピーダンスは低湿度雰囲気では高く,逆に高湿度雰囲気では低くなることが分かった。相対湿度 23%~85%の範囲で 1000 倍以上のインピーダンス変化が得られたことから, CNF 感湿膜は湿度センサとしての十分な性能を有することが確認された。

\* 東北大学大学院工学研究科

# 山形県庄内産原料を使用した熟成生ハム開発と商品化

菅原哲也 杉本昌弘\* 帯谷伸一\*\* 食品と容器, Vol.64, No.2, 72-77(2023)

熟成生ハムは、豚の骨付きモモ肉を塩漬し、 乾燥、熟成工程を経て製造される。近年、日本 でも熟成生ハムが製造されるようになっている が、熟成生ハム各部位や熟成期間中の呈味性や 呈味成分変化について、詳細な検討は行われて いない。今回、我々は、最新の分析装置を用い た代謝物分析や呈味性解析により、熟成生ハム 各部位の呈味特性を明らかにするとともに、熟 成生ハム製造における最適な熟成期間について 考察した。さらに、官能評価により、試作開発 した熟成生ハムの嗜好性について、国内外の市 販されている主要な熟成生ハムと比較、検討し、 山形県庄内産原料を使用した高品質な熟成生ハムを商品化することができた。

\*慶應義塾大学先端生命科学研究所 \*\*株式会社 東北ハム

# 研究成果広報委員

飛塚幸喜鈴木剛

金 田 亮 叶 内 剛 広

後藤喜一工藤晋平

大津加 慎 教 佐 竹 康 史

山形県工業技術センター報告 No. 55(2023) 2024年(令和6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