ISSN 1349-2608
No. 20 (2023)

栃木県元気ニコニコ室長
とちまるくん

令和４（2022）年度

研　究　報　告

Reports of Industrial Technology Center of Tochigi Prefecture

― 発信します　明日を拓く　確かな技術 ―

栃木県産業技術センター

目　　次

Ⅰ　重点共同研究（実施：３テーマ）

- 加速度センサを用いたインプロセス工具摩耗監視システムの開発(航空宇宙分野）・・・・　1
- 海洋生分解性バイオマスプラスチック/天然鉱物複合材料の開発
  （環境・新素材、自動車分野）・・・・・・・・・・・　10
- 夢ささらを用いた低アルコール清酒の製造方法の確立(フードバレーとちぎ）・・・・・・　16

Ⅱ　共同研究（実施：４テーマ）

- 県産イチゴの加工条件による味・香り成分等の把握と見える化 ・・・・・・・・・・・・・　19

非公開：３テーマ

Ⅲ　受託研究（実施：14 テーマ）

- トウガラシの焙煎条件の検討および旨味成分把握 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　25
- 高濃度セルロース繊維複合樹脂の射出成形における成形条件が外観、物性に
  及ぼす影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　29

非公開：12 テーマ

Ⅳ　重点研究（実施：１テーマ）

- 製造業における MR（複合現実）の有効性検証アプリケーションの開発 ・・・・・・・・・・　37

Ⅴ　経常研究（実施：12 テーマ）

- 固定砥粒加工における目づまり抑制技術の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
- AE センサを用いた工具摩耗状態の監視 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
- 研削加工における加工機の電力変化による加工負荷の観察 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
- 樹脂 3D プリンタ造形物の機械的性質と造形限度に関する調査 ・・・・・・・・・・・・・ 58
- 三次元座標測定機を用いた曲面形状測定に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
- BI ツール・RPA ツール等を活用したデータ収集・可視化及び定型作業自動化の検討 ・・・ 67
- ポリプロピレン樹脂の結晶化度制御による接着性向上 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
- インクジェットプリンタによるテキスタイル製品の生産効率化 ・・・・・・・・・・・・・ 75
- 広幅の解し織における仮織の自動化に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79
- ドリル加工におけるばり抑制手法の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
- 手つむぎ糸の生産に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
- 県内産原料を用いた耐熱土及び耐熱釉薬の試作開発（第１報） ・・・・・・・・・・・・・ 92

本研究報告における研究区分については、次により分類したものとなっています。

Ⅰ　重点共同研究：戦略３産業（自動車、航空宇宙、医療福祉機器産業）、未来３技術（AI・IoT・ロボット、光学、環境・新素材技術）及びフードバレーとちぎプロジェクトの食品産業分野において、企業、大学などと課題を分担して重点的に行うもの。

Ⅱ　共 同 研 究 ：企業、大学などと課題を分担して行うもの。

Ⅲ　受 託 研 究 ：企業や団体などからの委託を受けて行うもの。

Ⅳ　重 点 研 究 ：県内産業の振興のため県が単独で特に重点的に行うもの。

Ⅴ　経 常 研 究 ：上記以外にて実施したもの。

また、知的財産権の保護等の観点から、非公開となっている研究テーマがございますので、御了承ください。

Contents

Ⅰ Selected Cooperative Research

- Development of in-Process Tool Wear Monitoring System by using Accelerometer ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- Development of Biobased Seawater-Degradable Plastic / Natural Mineral Composites ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
- Establishment of Low-alcohol Sake Production Method using “Yumesasara” ・ 16

Ⅱ Cooperative Research

- Analysis and Visualization of Taste and Flavor Components Depending on the Processing Conditions of Strawberries from Tochigi Prefecture ・・・ 19

Ⅲ Contract Research

- Examination of Roasting Conditions of *Capsicum Annum* and Analysis of Umami Components ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 25
- Influence of Injection Molding Conditions on Appearance and Mechanical Properties of Cellulose Fiber／Polypropylene Composites ・・・・・ 29

Ⅳ Selected Research

- Development of MixedReality Effectiveness Verification Application in Manufacturing ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37

Ⅴ Ordinary Research

- Development of Technology to Prevent Loading in Fixed Abrasive Machining Process ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
- Monitoring of Tool Wear with Acoustic Emission Sensor ・・・・・・・・・ 45
- Observation of Machining Load by Electric Power of the Machine in Grinding ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
- Investigation on Mechanical Properties and Modeling Limits of Resin 3Dprinter Models ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 58
- Research on Measurement of Curved Surface using Coordinate Measuring Machine ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
- Data Collection and Visualization using BI and RPA tools and Study of Automation of Routine Tasks ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 67
- Improvement of Adhesive Properties by controlling crystallinity of polypropylene ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
- Research on Production Efficiency of Textile Products using Inkjet Printer ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75
- A Study on Automation of Temporary Weaving in Wide Width HOGUSHI-ORI ・ 79
- Development of Method for Burr Suppression in Drilling ・・・・・・・・ 83
- Research on the Production of Hand Spun Yarns for Yuki-Tsumugi ・・・ 87
- Development of Clay and Glaze for Heat-resistant Pottery using Raw Materials from Tochigi Prefecture (1st Report) ・・・・・・・・・・ 92

Ⅰ　重点共同研究

Selected Cooperative Research

重点共同研究（航空宇宙分野）

加速度センサを用いたインプロセス工具摩耗監視システムの開発

近藤　弘康*　　小池　宏侑*　　棚原　貴登*
松本　義則**　　松本　アサイ**　　松本　知之**

Development of in-Process Tool Wear Monitoring System by using Accelerometer

KONDO Hiroyasu, KOIKE Hiroyuki, TANAHARA Takato,
MATSUMOTO Yoshinori, MATSUMOTO Asai and MATSUMOTO Tomoyuki

本研究では，エンドミルを用いた２軸加工におけるインプロセス工具摩耗監視を実現するため，２軸加工における加速度と切削力の関係を実験的に明らかにし，データ処理プロセスを検討することで，システムの開発を行った。その結果，加工機の構造等の影響で，被削材固定位置が変わると加速度と切削力の関係が変化することや切削条件と被削材固定位置が同じ場合，工具摩耗に伴う切削力変動を加速度で推定可能であることが明らかになった。そして，開発システムを用いて，２か所に固定した被削材に対して，製品を模擬したモデルを加工した結果，加速度の基準比と切削力に比例関係が得られ，２軸加工におけるインプロセス工具摩耗の監視を実現した。

Key words:　エンドミル，切削力，加速度センサ，インプロセス，工具摩耗監視

１　はじめに

ボーイング 787，エアバス 350 等の新型航空機では，機体の軽量化等を目的とした CFRP の利用増に伴い，熱膨張率や電蝕の問題から CFRP と接する金属部材にチタン合金が多用されている。

チタン合金は熱伝導率が小さく，切削加工の際は刃先温度が高温になる等の要因のため，工具寿命が著しく短く，部品製造コストにおける工具費の割合が高くなっており，工具コスト低減が求められている。

工具コスト低減のため，工具は可能な限り長時間使用することが望ましいが，工具の個体差や突発的な損傷（欠け等）などから，同じ条件の加工においても工具寿命の正確な予測が困難なため，リスク回避の観点から十分な余裕をもって工具交換を行っている。

そのため，工具の摩耗状態を見える化し，工具交換のタイミングを把握できる手法が求められている。

切削工具においては，摩耗の進行とともに切削力も増大することが知られている [1)2)]。これより，切削力の推移により摩耗状態を把握することは可能である。しかしながら，切削力を測定する動力計は非常に高価であり，また被加工物の形状に制限を受けるため，生産現場で活用することは困難である。

そこで，令和２年度の研究において，AE センサと加速度センサを有するデータ取得ユニットを開発し，ユニットを加工した際の振動を各センサで測定することにより，安価なセンサでも工具の摩耗状態を把握可能であることが分かった [3)]。

しかし，生産現場への適用範囲をより広げるためには，製品加工中の摩耗状態をユニット加工無し，つまりインプロセスで把握することが望ましい。

そこで本研究では，センサ位置が加工点から離れても工具摩耗状態の推定が可能な加速度センサ [4)] に着目し，エンドミルを用いた 2 軸加工における加速度と切削力の関係を実験的に明らかにし，データ処理プロセスを検討することで，インプロセス工具摩耗監視システムの開発を行った。

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部
＊＊　株式会社マツモトセイコー

２　研究の方法

２．１　１軸加工における加速度と切削力の関係

本研究では，工具が被削材に切り込む際に発生する主軸の振動（以下，加工時の振動）を加速度センサで取得・解析することで，２軸加工時の工具摩耗状態の推定を目指している。

一方，加工時の振動方向は切削方向に応じて変化するため，２軸加工の加工パスによって，１方向の加速度の取得のみでは工具摩耗状態の推定が困難な場合（振動方向が加速度センサの検知方向と直交する場合等）があると予測される。

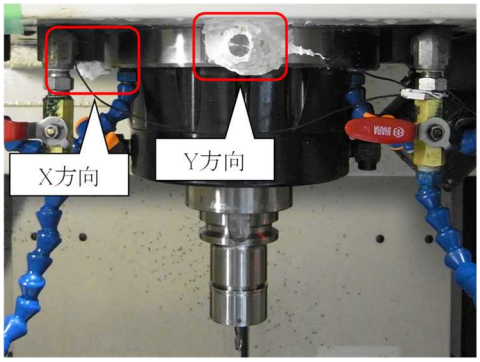


図１　加速度センサ取り付け状況

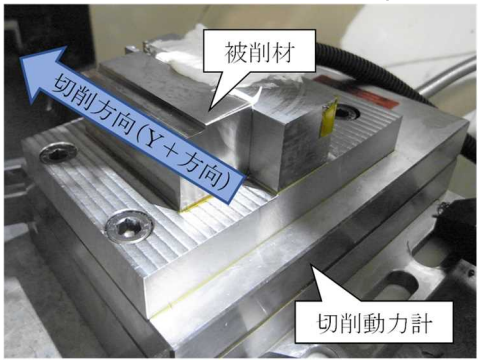


図２　１軸加工における切削動力計と被削材

表１　工具・切削条件

工具	径	6mm
	形状	スクエアエンドミル
	コーティング	AlCrSiN
	母材	超硬
	刃数	１枚刃 ※4枚刃のうち，３枚をグラインダで刃落とし
切削条件	切削速度	50,70,75,100,150,200mm/min
	１刃送り	0.1mm/tooth
	軸方向切込み	2.0mm
	半径方向切込み	0.1,0.2,0.4,0.6mm

そこで，3軸マシニングセンタ（安田工業 YBM-640V3）の主軸のX・Y方向に電荷出力型１軸加速度センサ（小野測器 NP-2120）を取り付け（図１），切削動力計（日本キスラー 9265B）に固定した64チタン被削材（図２）に対して，エンドミルを用いたY＋方向の１軸側面切削を行うことで，X・Y方向それぞれの加速度と切削力の関係を評価した。

なお，加速度は工具が被削材に接触する頻度の周波数に対し，7.5倍の周波数でローパスフィルタ処理を行い得られた波形の１切込み毎の絶対値の最大値平均を用い，切削力は各方向の１切込み毎の絶対値の最大値平均を用いた。また，工具・切削条件は表１のとおりとし，水溶性切削液を用いて切削試験を行った。

２．２　円加工における加速度と切削力の関係

切削方向が変わる際の加速度と切削力の関係を明らかにするため，3軸マシニングセンタを用いて，切削動力計（日本キスラー 9257B）に固定した円筒形状の64チタン被削材（図３）に対し円加工を行い，加速度と切削力の関係を評価した。

工具・切削条件は表１のとおりとし，水溶性切削液を用いて切削試験を行った。

２．３　被削材固定位置変更時の加速度と切削力の関係

加工現場では，加工機テーブルの様々な場所に被削材を固定して加工を行っている。そこで，被削材固定位置を変えた際の加速度と切削力の関係を明らかにするため，２．２で用いた切削動力計に固定した円筒形状の64チタン被削材を3軸マシニングセンタのテーブル6か所に固定し（図４），円加工を行うことで，加速度と切削力の関係を評価した。

工具条件は表１のとおりとし，切削条件は，切削速度は 50,70,75,100,150,200m/min の 6 条件，1 刃送りは 0.1mm/tooth，軸方向切込みは 2.0mm，半径方向切込みは 0.1mm とし，水溶性切削液を用いて切削試験を行った。

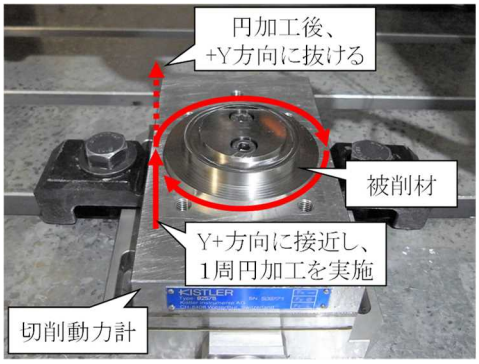


図３　円加工における切削動力計と被削材

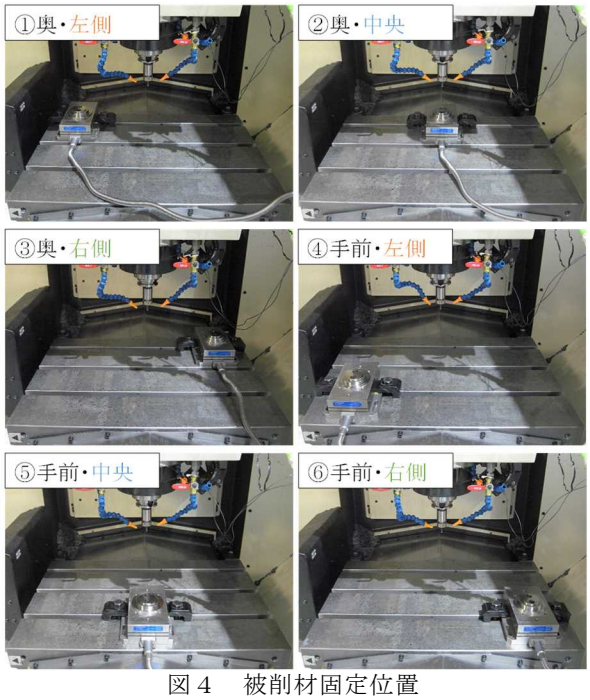


図４　被削材固定位置

２．４　円加工摩耗試験における加速度と切削力の関係

切削方向が変化する２軸加工においても，工具摩耗の進展とともに切削力が増加し，加速度も比例して増加することを確認するため，3 軸マシニングセンタを用いて，２．２，２．３で用いた切削動力計に固定した円筒形状の 64 チタン被削材を用いて，円加工摩耗試験を実施した。段取りを図５に示す。

工具は表１のとおりとし，切削条件は，切削速度は 200m/min，１刃送りは 0.1mm/tooth，軸方向切込みは 2.0mm，半径方向切込みは 0.1mm とし，水溶性切削液を用いて切削試験を行った。

加工パスは，φ65.6mm の被削材に対して 104 パスの円加工を４段，合計 416 パスとし，所定の切削距離ごとに USB カメラによる工具観察を行った。なお，加速度，切削力ともに，１パス毎に１切込み毎の絶対値の最大値平均を算出し，評価した。

２．５　インプロセス工具摩耗監視システムの開発

２．１～２．４の結果を踏まえ，２軸加工における工具摩耗に伴う切削力の変動を加速度で推定可能なデータ処理プロセスを検討するとともに，加速度信号のリアルタイム処理が可能な構成の検討，及びデータ処理ソフトウェアを独自開発することで，インプロセス工具摩耗監視システムの開発を行った。

２．６　実証試験

開発したシステムの実証のため，２台の３軸マシニングセンタ（安田工業 YBM-640V3，森精機 NV5000α1A/40）を用いて，製品を模擬したモデルを複数個切削し，加速度と切削力の関係を評価した。

試験に用いる加工モデルを図６に示す。様々な切削方向を有する加工パスにおいても開発システムが機能するか確認するため，６山の花形形状を加工対象とした。

加工パスは図７のとおり，輪郭加工のオフセットを 21 回行い，側面切削の中仕上げ加工を繰り返し行うパスを用いた。なお，同被削材に対して，軸方向切込み 1.9mm の加工を最大４段行い，各段の加工を製品加工１回と捉え，４個の被削材に対して計 14 回加工を行った。

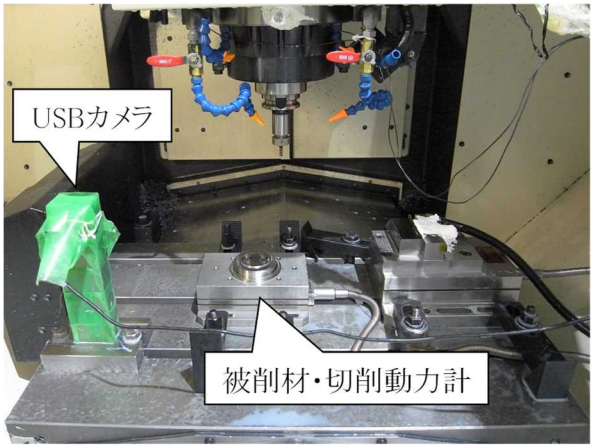


図５　円加工摩耗試験段取り

被削材は 64 チタンとし，バイスと治具を用いて２か所に固定し，交互に１回ずつ加工を実施した（図８・９）。

工具は表１のとおりとし，切削条件は，切削速度は 100m/min，１刃送りは 0.1mm/tooth，軸方向切込みは 1.9mm，半径方向切込みは 0.4mm とし，水溶性切削液を用いて切削試験を行った。

加速度は，開発システムから得られる加工モデル１段加工時の基準比の全平均を用いた。なお，基準加速度デ

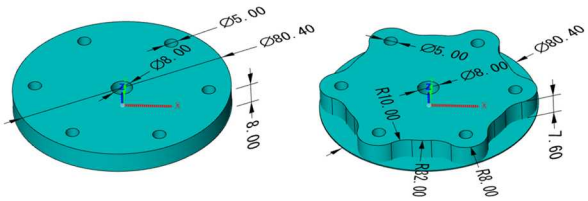


図６　実証試験に用いる加工モデル
（左：被削材，右：加工モデル）

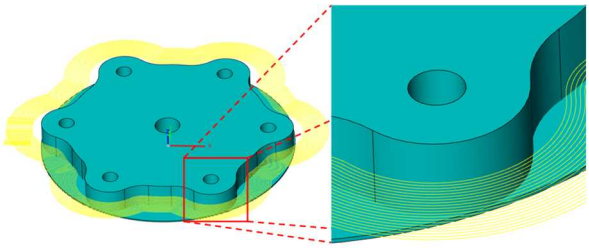


図７　加工パス（輪郭加工 21 回オフセット）

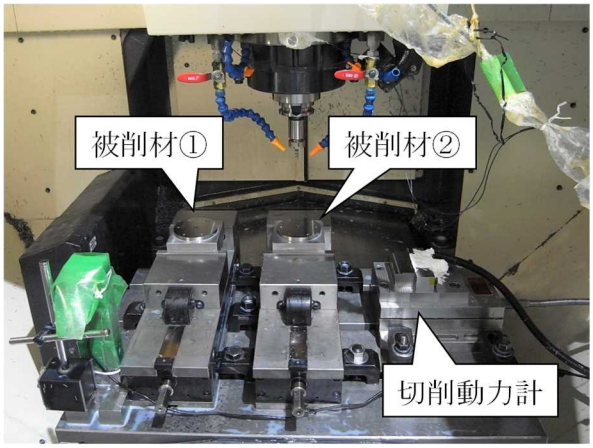


図８　実証試験段取り

図９　被削材（上：加工前，下：各４段加工後）

ータは，工具の個体差や試験毎の摩耗進行のばらつきの影響を抑えるため，同試験の各固定位置の 2 回目の加速度を用いた。

切削力は，加工モデルを 1 段加工した後，切削動力計（日本キスラー　9265B）に固定した 64 チタン被削材に対して Y＋方向の 1 軸側面切削を行い，X 方向の 1 切込み毎の絶対値の最大値平均を用いた。

3　結果及び考察

3．1　1軸加工における加速度と切削力の関係

1 軸加工における X 方向・Y 方向の加速度と切削力の関係を図 10～13 に示す。

切削速度毎に加速度と切削力を比較すると，X・Y 方向ともに，Vc50～100 では加速度と切削力に比例関係が見られる一方，Vc150・200 では切削力が大きくなるにつれて比例関係が崩れ，切削力に対して加速度は小さい値を示していることが分かる。

また，切削力に対する加速度の傾きは Y 方向に対して X 方向は小さい。これは，3 軸マシニングセンタは門型の構造であるため，Y 方向に比べて X 方向の主軸剛性が高いことが要因の 1 つと考えられる。

以上から，X・Y 方向の 2 方向の加速度を取得・解析する場合，以下の点に留意する必要がある。

○切削速度が変わると，加速度と切削力の関係が変化すること

○加工機の構造等の影響で，X・Y 方向それぞれの切削力に対する加速度の傾きが変化すること

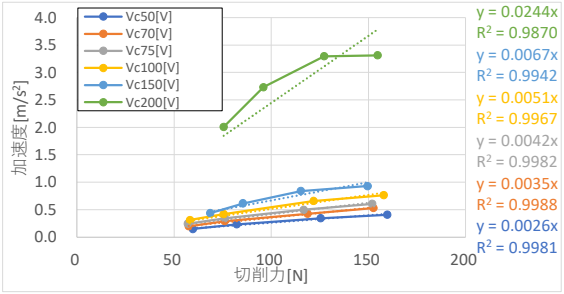


図 10　X 方向の加速度と切削力の関係（全体）

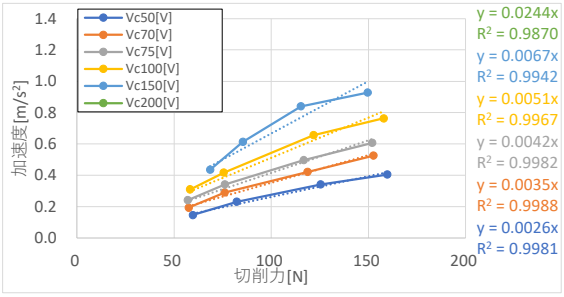


図 11　X 方向の加速度と切削力の関係（拡大）

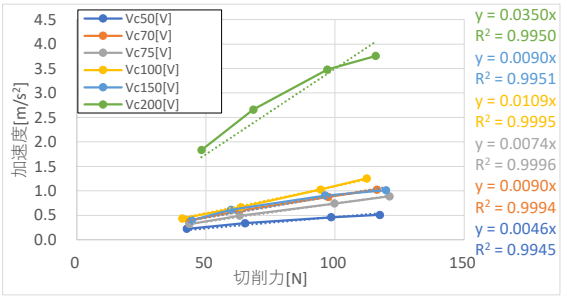


図 12　Y 方向の加速度と切削力の関係（全体）

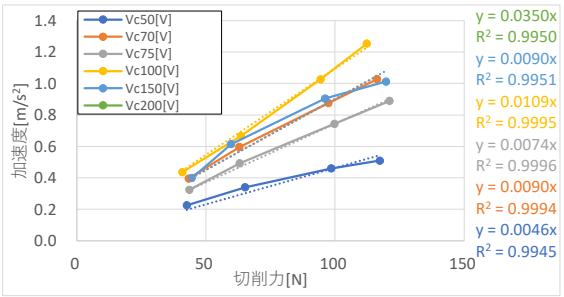


図 13　Y 方向の加速度と切削力の関係（拡大）

3．2　円加工における加速度と切削力の関係

半径方向切込み 0.1mm において切削速度を変更した際の加速度と切削力の関係を図 14～19 に示す。なお，各図における切削方向は，加工開始点を 0deg，加工終了点を 360deg とした。

その結果，Y 方向はすべての切削速度において加速度は切削力と同様の傾向を示した。一方，X 方向は Vc150・200 では加速度は切削力と同様の傾向を示したものの，

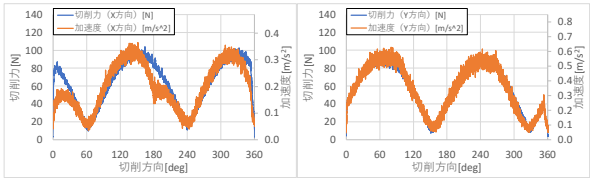


図 14　円加工における加速度と切削力の関係
【Vc50・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

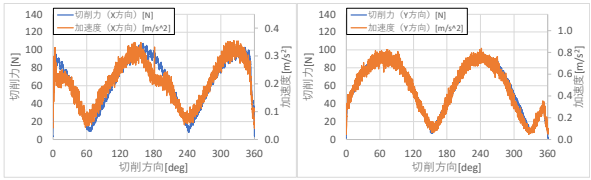


図 15　円加工における加速度と切削力の関係
【Vc70・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

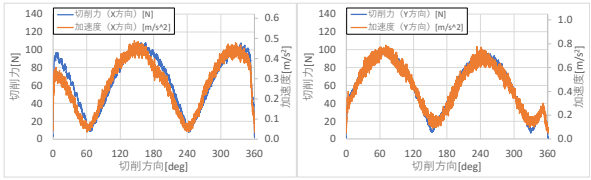


図 16　円加工における加速度と切削力の関係
【Vc75・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

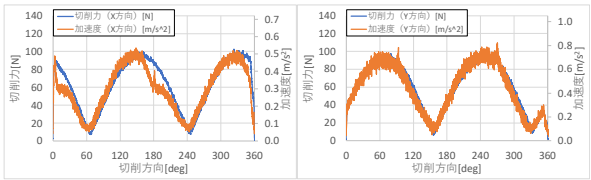


図 17　円加工における加速度と切削力の関係
【Vc100・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

Vc50～100 では加工の中央（180deg）付近と両端（0・360deg）付近に加速度が小さい箇所が見られた。

切削速度 100m/min において半径方向切込みを変更した際の加速度と切削力の関係を図 20～23 に示す。

その結果，半径方向切込みが大きくなるにつれて，加速度・切削力ともに大きくなるが，値の傾向は大きく変わらない結果になった。

以上から，切削方向が変わる際に加速度と切削力を比較する場合，以下の点に留意する必要がある。

○切削速度が変わると，特定の切削方向において加速度と切削力の関係が変化すること

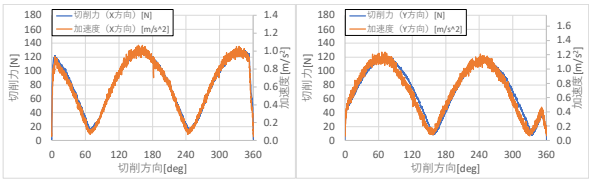


図 18　円加工における加速度と切削力の関係【Vc150・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

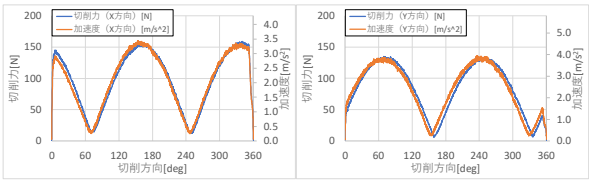


図 19　円加工における加速度と切削力の関係【Vc200・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

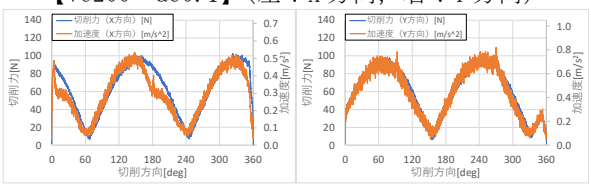


図 20　円加工における加速度と切削力の関係【Vc100・ae0.1】（左：X 方向，右：Y 方向）

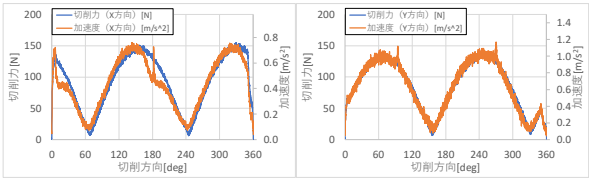


図 21　円加工における加速度と切削力の関係【Vc100・ae0.2】（左：X 方向，右：Y 方向）

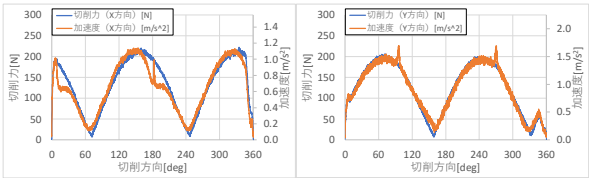


図 22　円加工における加速度と切削力の関係【Vc100・ae0.4】（左：X 方向，右：Y 方向）

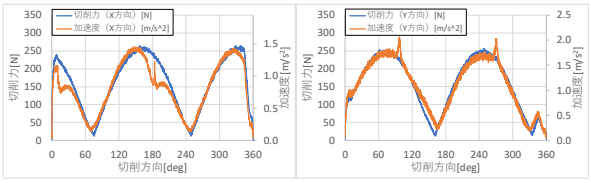


図 23　円加工における加速度と切削力の関係【Vc100・ae0.6】（左：X 方向，右：Y 方向）

○同じ切削速度において，半径方向切込みを変えても加速度と切削力の関係は大きく変化しないこと

３．３　被削材固定位置変更時の加速度と切削力の関係

切削速度 100m/min において被削材固定位置を変更した際の加速度と切削力の関係を図 24～29 に示す。

左右方向の固定位置が変わると，X・Y 方向ともに加速度と切削力の関係が変化することが分かる。一方，奥行方向の固定位置が変わっても，加速度と切削力の関係は同様の傾向を示した。これは，当マシニングセンタの Y 軸方向の駆動は，テーブル駆動のため，主軸の振動特性に与える影響が小さいものと考えられる。

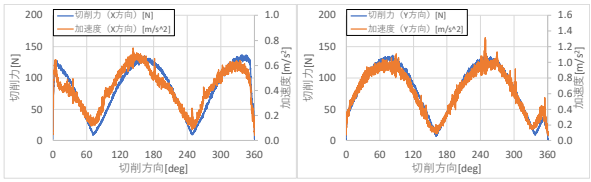


図 24　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【①奥・左側】（左：X 方向，右：Y 方向）

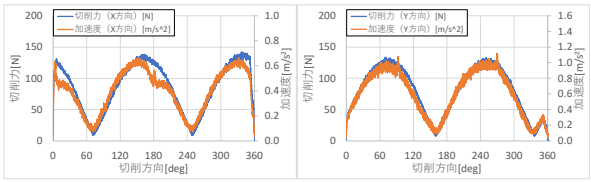


図 25　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【②奥・中央】（左：X 方向，右：Y 方向）

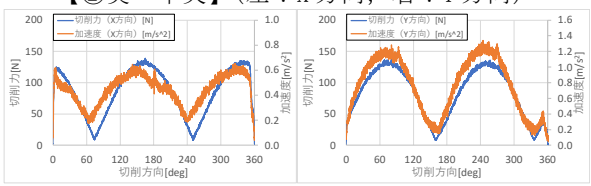


図 26　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【③奥・右側】（左：X 方向，右：Y 方向）

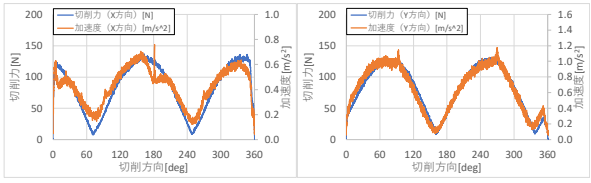


図 27　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【④手前・左側】（左：X 方向，右：Y 方向）

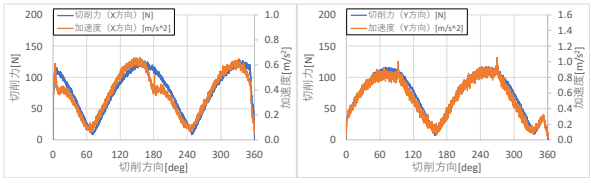


図 28　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【⑤手前・中央】（左：X 方向，右：Y 方向）

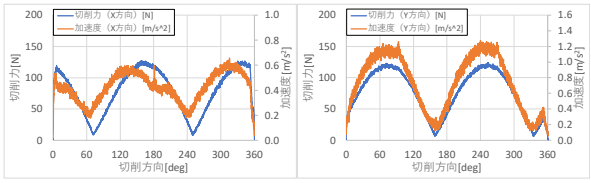


図 29　固定位置変更時の加速度と切削力の関係【⑥手前・右側】（左：X 方向，右：Y 方向）

以上から，被削材固定位置を変更した際に加速度と切削力を比較する場合，以下の点に留意する必要がある。

○加工機の構造等の影響で，被削材固定位置が変わると加速度と切削力の関係が変化すること

３．４　円加工摩耗試験における加速度と切削力の関係

円加工摩耗試験におけるパス数に対する加速度と切削力の変化を図 30・31 に，加速度と切削力の関係を図 32・33 にそれぞれ示す。

X・Y 方向ともに 350 パスまで加速度と切削力は同様の傾向を示し，351 パス以降加速度が切削力に対して小さい値を示した。

351 パスで加速度，切削力ともに大きく低下したため，

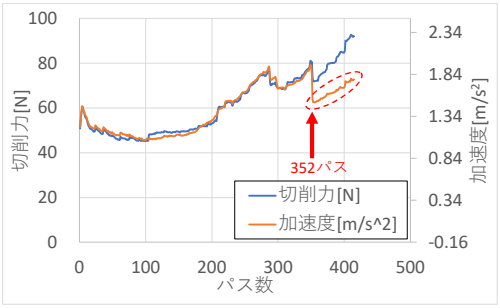


図 30　パス数に対する加速度と切削力の変化（X 方向）

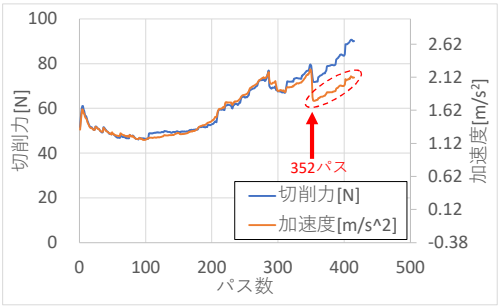


図 31　パス数に対する加速度と切削力の変化（Y 方向）

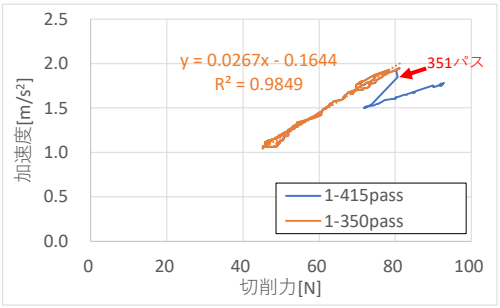


図 32　加速度と切削力の関係（X 方向）

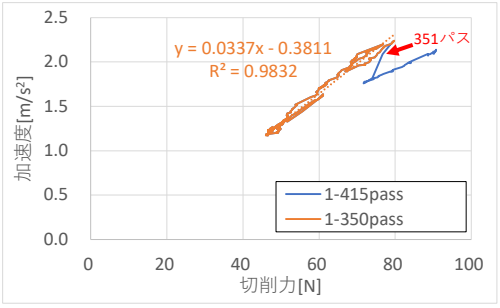


図 33　加速度と切削力の関係（Y 方向）

351 パスの Y 方向の切削力を確認すると，図 34 のとおり加工途中で大きく低下している。また，347 パスと 360 パスの刃先画像を比較すると，図 35 のとおり大きく欠けが発生していることから，351 パスの途中で工具切れ刃に欠けが発生し切削状態が変化し，加速度と切削力の関係が変化したものと推察される。

以上から，同じ被削材固定位置における 2 軸加工の加速度と切削力を比較する場合，以下の点に留意する必要がある。

○切削条件と被削材固定位置が同じ場合，工具摩耗に伴う切削力の変動を加速度で推定可能であること

○一方，工具切れ刃の欠け等の影響で，加速度と切削力の関係は変化する可能性があること

３．５　インプロセス工具摩耗監視システムの開発

３．４の結果から切削条件と被削材固定位置が同じ場合，2 軸加工においても工具摩耗に伴う切削力の変動を加速度で推定可能である。一方，加工現場では，加工機テーブルの複数の箇所に被削材を固定（以下，多数個取り）し，連続加工を行うため，加速度と切削力の関係が変化し，切削力の推定が困難と考えられる。

そこで，固定位置毎に基準データを取得し，同固定位置の基準データと評価データの比を算出することで，多数個取り加工における切削力の変動，つまり工具摩耗状態を数値化するソフトウェアを独自開発した。

固定位置毎，言い換えると 1 つの製品の加工パス毎に基準データとの比較を行うことで，X 方向加速度で見られた「切削方向による加速度と切削力の関係の変化」についても，影響を抑えることが可能と考えられる。

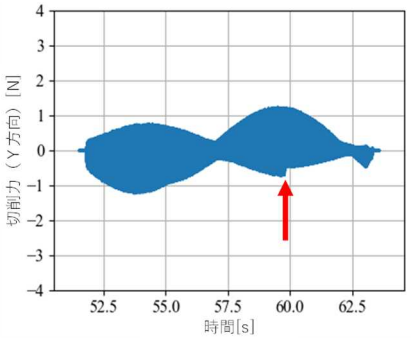


図 34　351 パスの切削力（Y 方向）

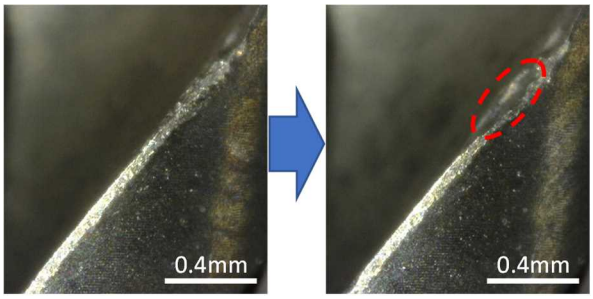


図 35　刃先画像【先端から z=+1mm】
（左：347 パス，右：360 パス）

加えて，インプロセスの工具摩耗監視を行うためには，加速度信号のリアルタイム処理が必要であることから，入力信号を PC にリアルタイム出力できるデータロガーを採用し，インプロセス工具摩耗監視システムを開発した。システムの構成を図 36 に示す。

当システムは，加工機の主軸の X・Y 方向に電荷出力型 1 軸加速度センサ（小野測器 NP-2120）を取り付け，プリチャージアンプ（エミック　504-E-4-PS）を用いて電荷出力を電圧に変換し，データロガー（横河計測 DL950）を介して，電圧値を直接開発ソフトウェアに取り込むことが可能である。そのため，得られる加速度信号を CSV 等のファイルに変換せずに，リアルタイムのデータ解析を実現している。

データ処理プロセスは，図 37 のとおり，あらかじめ基準加速度データを取り込み，0 点補正，ローパスフィルタ処理，1 切込み毎の絶対値最大値を算出した上で，4 秒間毎に閾値を超えた 1 切込み毎の絶対値最大値の平均値を取得し，基準データを作成してデータベースに格納を行う。そして，リアルタイムに取得する評価加速度データについては，同様に 4 秒間毎に閾値を超えた平均値を取得し，基準データに対する比を算出した上で，一定区間の移動平均および加工開始から現時点までの全平均を算出し，結果を出力する。

開発ソフトウェアは，開発環境は Visual Studio 2019（Microsoft）を用いて，プログラム言語は C++で windows フォームアプリケーションを作成した。本ソフトウェアにおける解析結果画面の例を図 38 に示す。ソフトウェアは前述のデータ処理プロセスに加えて，以下の動作が可能である。

・基準及び評価データの 1 切込み毎の絶対値最大値を 4 秒毎にグラフ表示
・評価結果の「移動平均値」「加工開始から現時点までの全平均値」の時系列推移をグラフ表示
・「注意（caution）」「警告（warning）」を区別する閾値の設定及び摩耗状態表示

開発ソフトウェアの想定使用方法は，以下のとおり。

①摩耗状態監視を希望するワークに対し，新品工具を用いて工具交換が必要になるまで複数個の加工を行い，工具摩耗の初期段階（各被削材固定位置の 1 個目または 2 個目）の加速度を基準加速度データとして収集・処理し，データベースに格納する。

②工具の外観，切削音，製品のキズ等の要因から判断する工具交換タイミングを踏まえて，「注意（caution）」「警告（warning）」を区別する閾値を設定する。

③製品加工を開始し適宜ソフトウェアの摩耗状態表示を確認する。

図 36　インプロセス工具摩耗監視システムの構成

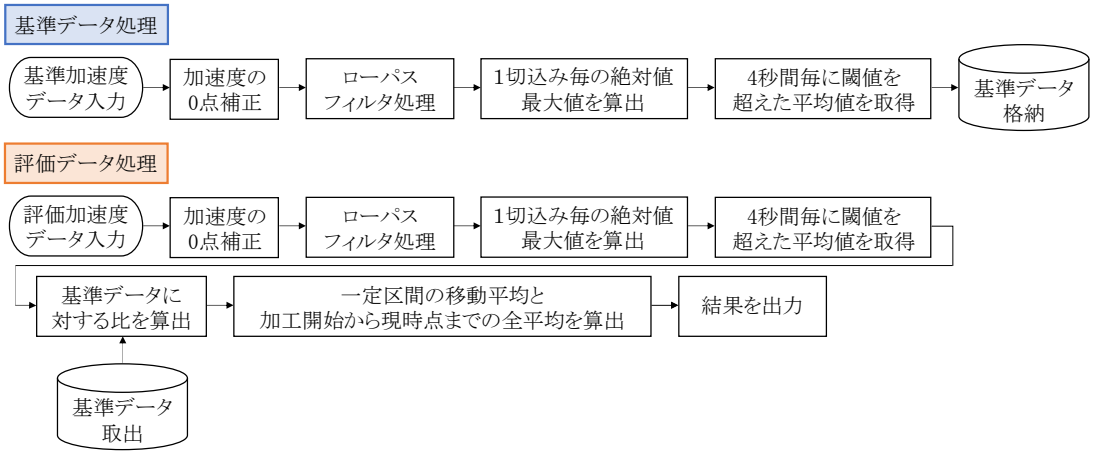


図 37　データ処理プロセス

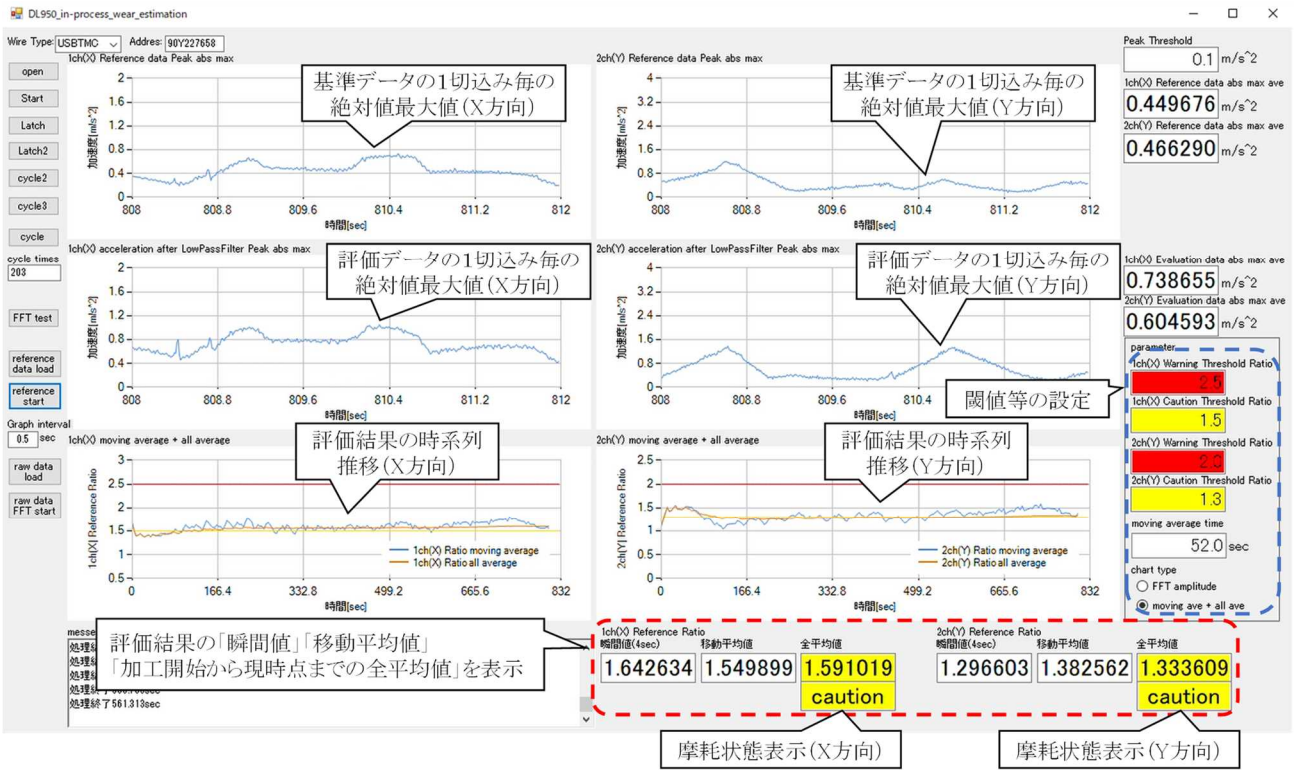


図 38　開発ソフトウェア外観

あらかじめ，データベースの構築と閾値設定が必要になるが，加工現場では新たな製品の加工を行う際や，加工条件を変える際等において，日常的にテスト加工と工具交換タイミングの設定が行われているため，ソフトウェアの操作以外に追加の加工や作業は必要とせずに，インプロセス工具摩耗の監視を実現出来ると考えている。

３．６　実証試験

加工回数に対する加速度と切削力の変化を図 39・40，加速度と切削力の関係を図 41 に示す。

センター・共同研究者ともに工具摩耗の進展に伴い，切削力が増加し，加速度の基準比についても同様に増加することが分かる。加工回数によって，加速度の基準比がばらつく所も見られるが，加速度と切削力の決定係数 R^2 値が 1 に近い値を示している（図 41）ことから，加速度の基準比と切削力は比例関係があると言え，開発システムは 2 軸加工におけるインプロセス工具摩耗の監視を実現できたと考えられる。

なお，加速度の基準比がばらつく要因としては，以下が考えられる。

・現在のデータ処理プロセスでは，加工機の駆動に伴う早送り等の非切削時の振動と切削に伴う振動を区別していないこと

・加速度は加工モデル 1 段加工時の基準比の全平均を用いているが，切削力は加工モデル 1 段加工後に取得した値を用いていること

そのため，当システムを用いて更なるデータ収集を進

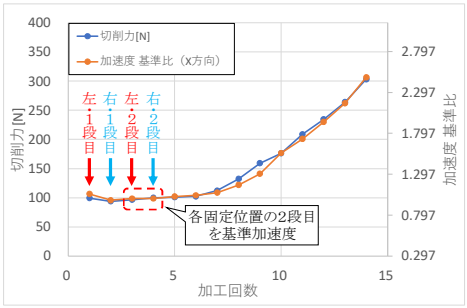


図 39　加工回数に対する加速度と切削力の変化（安田工業 YBM-640V3・X 方向）

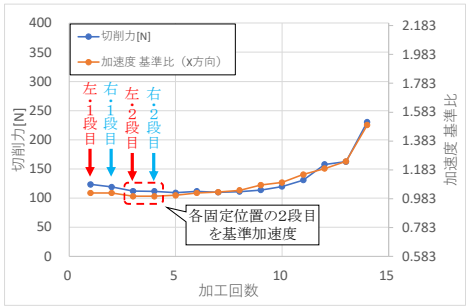


図 40　加工回数に対する加速度と切削力の変化（森精機 NV5000 α 1A/40・X 方向）

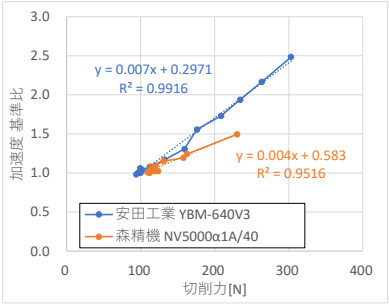


図 41　加速度と切削力の関係

め，値がばらつく要因を排除すれば，より高精度な工具摩耗監視を実現出来ると考えられる。

4　おわりに

本研究では，エンドミルを用いた2軸加工における加速度と切削力の関係を実験的に明らかにし，データ処理プロセスを検討するとともに，インプロセス工具摩耗監視システムの開発を行うことで，以下の知見を得た。

（1）加工機の構造等の影響で，被削材固定位置が変わると加速度と切削力の関係が変化する。

（2）切削条件と被削材固定位置が同じ場合，工具摩耗に伴う切削力変動を加速度で推定可能である。

（3）被削材の固定位置毎に基準データを取得し，同固定位置の基準データと評価データの比を算出することで，多数個取り加工における工具摩耗に伴う切削力変動を加速度で推定可能である。

（4）開発システムを用いて，2か所に固定した被削材に対して製品を模擬したモデルを加工した結果，加速度の基準比と切削力に比例関係が得られ，2軸加工におけるインプロセス工具摩耗の監視を実現した。

参考文献

1）頼 光哲ほか：″精密機械″，50(7),1117-1122,(1984)

2）樫村 幸辰：″精密機械″，51(11)，2115-2121,(1985)

3）稲澤 勝史ほか:″栃木県産業技術センター研究報告″，18,1-5,(2021)

4）阿部 雅ほか:″栃木県産業技術センター研究報告″，19,39-44,(2022)

重点共同研究（環境・新素材、自動車分野）

海洋生分解性バイオマスプラスチック／天然鉱物複合材料の開発

大森　和宏*　男澤　嶺*　益子　朱音*　渡辺　克人**　八丁　佳功**　池添　亮***
太田　好和***　小橋川　浩***　谷越　健太***　高橋　慶多****　髙松　健司****

Development of Biobased Seawater-Degradable Plastic / Natural Mineral Composites

OMORI Kazuhiro, OTOKOZAWA Ryo, MASHIKO Akane, WATANABE Katsuto, HATCHO Yoshinaru, IKEZOE Makoto
OTA Yoshikazu, KOBASHIKAWA Hiroshi, KOSHITANI Kenta, TAKAHASHI Keita and TAKAMATSU Kenji

海洋生分解性バイオマスプラスチックであるセルロースアセテート樹脂のフィラー複合化による強度向上を目的に，天然フィラーの選定を行い，複合材料の物性を評価した。セルロースアセテート樹脂／無機フィラー複合材料のクライオ破断面観察の結果，疎水性の焼成カオリンは表面が樹脂で覆われていて界面の親和性が高いことが伺えたが，セルロースアセテート樹脂／セルロースファイバー複合材料は，表面処理をしない方が，シランカップリング剤による表面処理した場合より曲げ強さや弾性率の物性値が高くなった。セルロースアセテート樹脂／焼成カオリン及びセルロースファイバー複合材料は両者とも，フィラー濃度が高くなるにつれ曲げ弾性率は向上したが，前者は曲げ強さの向上はほとんどなかった。セルロースアセテート樹脂／セルロースファイバー複合材料の物性は射出速度依存性があり，適正な条件設定により曲げ強さ及び弾性率を向上できた。

Key words:　セルロースアセテート樹脂，カオリン，セルロースファイバー

1　はじめに

海洋プラスチックごみ問題や気候変動問題等，環境問題とプラスチックの関連が指摘されており，国際的な課題となっている。これら環境問題から，経産省では「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」を，環境省等では「バイオプラスチック導入ロードマップ」を策定した[1)2)]。今後，県内プラスチック製品製造企業においては，環境問題対応のため，環境負荷低減プラスチック材料を利用した製品開発や成形の機会が増えることが予想される。

近年，海洋生分解性を有するバイオマス由来のプラスチックである海洋生分解性バイオマスプラスチックが上市され，注目を集めており，県内中小企業では，セルロースアセテート樹脂が比較的容易に入手可能な材料となっている。当該樹脂は，汎用樹脂であるABS相当の物性を有するため，ABS 代替として自動車内装部品等様々な製品への利用が提案されている。しかし，ABSは多様な用途に対応するために様々なグレードが開発されているが，セルロースアセテート樹脂はグレードが少なく，特にガラス繊維強化ABSのような高い弾性率の材料が利用されている部品への利用は困難であった。

樹脂材料の弾性率を高める一つの方法として，無機フィラーとの複合化があるが，複合化した際の樹脂/無機フィラーの界面強度が低いと，材料強度が低下することがある。十分な樹脂/無機フィラー界面強度を得るためには，樹脂との親和性が高い適切なフィラーの選定や，無機フィラーの表面処理等を行う必要がある。

そこで本研究では，セルロースアセテート樹脂の高弾性率化・高強度化を目的として，物性向上に寄与する無機フィラーの選択，界面強度向上手法，最適混合率を検討し，高弾性率が要求される家電部品等に利用可能な複合材料を開発する。

2　研究の方法

2．1　材料

セルロースアセテート樹脂は，NEC プラットフォームズ(株)の NeCycle（以下，NC）を用いた。フィラーは，焼成カオリン（BASF SatintoneW，以下，W），含水カオリン（BASF ASP900，以下，ASP），タルク（日本タルク(株) SG-2000，以下，SG）及び粉末セルロース（日本製紙(株) W-100GK，以下，KC）を用いた。それぞれの平均粒子径（カタログ値）は，Wが1.4μm，ASPが1.5μm，

*　栃木県産業技術センター　材料技術部
**　県南技術支援センター
***　株式会社サカエ工業
****　株式会社星プラスチック

SGが1μm，KCは37μmである。また，シランカップリング剤は，東京化成工業（株）の3-Aminopropyl triethoxysilane（以下，APTES）及びTriethoxy-n-octylsilane（以下，オクチルシラン）を用いた。

２．２　NC/フィラー複合シートの作製

２．２．１　KCのシランカップリング処理

100mlナスフラスコにKC1g及び溶媒15mlを加え，スターラーで攪拌しながらシランカップリング剤を0.01g添加し，10分間攪拌した。フィラーを濾過により回収後，110℃で1時間加熱した。溶媒は，APTESには水を，オクチルシランにはエタノールと水を9：1の割合で混合した溶液を用いた。

２．２．２　NCとフィラーの溶液中混合

300mlナスフラスコにNC約3g及びアセトン50mlを加え，NCが溶解するまでスターラーで攪拌した。次いで，各種フィラーを任意の濃度で添加し，超音波により分散させた後，攪拌しながら流動性がなくなるまでアセトンを揮発させた。試料をシャーレに採取し，60℃でアセトンを除去し乾燥させた後，熱プレス機を用いて200℃で5分間加熱圧縮し，シートとした。

２．３　NC/フィラーの二軸混練

２．３．１　KCのシランカップリング処理

KC1.5kgをスーパーミキサー(STJ-20)に投入し，APTES又はオクチルシランをそれぞれ水又はエタノール／水混合溶媒で5倍希釈した溶液を攪拌しながらゆっくり添加し，10分間攪拌後，110℃で1時間加熱した。以下，APTES処理したKCを「KC-APTES」，オクチルシラン処理したKCを「KC-Oc」，シランカップリング処理なしのKCを「KC-Ut」と表記する。

なお，未処理のKCについても，条件を揃えるため，110℃で1時間乾燥させた後に混練を行った。

２．３．２　NC/フィラーの二軸混練

NCを80℃で5時間以上乾燥させた後，NC及びフィラー（W又はKC）を，スーパーミキサー又はタンブラーを用いてドライブレンドし，二軸押出機（東芝機械㈱TEM-26SX)を用いて，表1の条件で混練した。なお，NC/KCの混練には，分散性を高めるため，ワックス（アルフローH-50TF)を，樹脂・フィラー質量に対し1wt%添加した。押し出されたストランドは，水冷後，ペレタイザによりペレット化した。

２．４　NC/フィラーの射出成形

２．４．１　ダンベル試験片の成形

NC及びNC/フィラー複合材料を80 ℃で5時間以上乾燥させ，射出成形機（日精樹脂工業㈱NEX 80Ⅳ-9EG）を用い，表2の条件によりダンベル試験片を射出成形した。金型温度は固定側のミラープレートに設置した熱電対により計測し，全ての成形で65℃とした。

２．４．２　スパイラルフロー金型を用いた流動性評価

スパイラルフロー金型を用い，NC及びNC/KC-Oc（20wt%）の流動性を評価した。射出成形条件は，表2の条件とした。

２．４．３　一般成形品の成形

株式会社サカエ工業製品「スマイルオープナーどこで

表1　二軸混練条件

フィラー	濃度 (wt%)	シリンダ温度 (℃)	回転数 (rpm)
W	30	220	200
W	40	220	350
W	50	220	400
KC-Ut	20，30	200	200
KC-Oc	20	200	200

表2　射出成形条件

フィラー種	濃度（wt%）	シリンダ温度（℃）	射出速度（mm/s）	保圧（MPa）
Neat（なし）	0	230	10	90
		215	20	95
W	10	230	10	90
	20	230	10	90
	30	230	10	80
	40	230	10	40
	50	230	10	40
KC-Ut	10	215	20	90
	20	215	5，20，30，50	90
KC-Oc	10	215	20	90

も」を，射出成形機（東洋機械金属㈱SI230-6s）を用いて成形した。材料は 80℃で 5 時間以上乾燥した。成形条件は，シリンダ温度 185℃～230℃，射出速度は 5mm/s とした。

２．５　評価

走査型電子顕微鏡は日本電子㈱JSM-7400F を用い，金蒸着後試料の観察を行った。引張試験及び曲げ試験は，㈱島津製作所 AG-M1 又は AG-50KNI M2 を用い，試験速度はそれぞれ 10mm/min 及び 2mm/min で測定した。

３　結果及び考察

３．１　NC/フィラーの界面強度評価

樹脂/フィラー界面の親和性は複合材料の強度に大きく影響することが知られており，強度向上のためには適切なフィラーの選択や表面処理が必要になる。そこで，NC/無機フィラー界面強度の評価のため，疎水性の焼成カオリン（W），親水性の含水カオリン（ASP）及び親水性面と疎水性面を有するタルク（SG）をフィラーとして添加した複合材料シートのクライオ破断面をSEMにより観察した。NC/W の破断面（図１(a)）ではフィラーが樹脂で覆われているのに対し,NC/ASP(図１(b))及び NC/SG（図１(c)）の破断面では，露出したフィラー及びフィラーが脱離した跡が観察された。親水面を有する含水カオリンやタルクよりも,疎水性の焼成カオリンの方が NC との界面親和性が高いことが明らかになった。

以上の実験から，親水性のセルロースである KC も同様に，NC との界面の親和性が低いことが予想される。そこで,NC のアセチル基とアミノ基による酸－塩基相互作用や疎水性相互作用が期待できるAPTES及びオクチルシランを用いて KC の表面処理を行い，界面親和性の評価をクライオ破断面の SEM 観察にて行ったが，NC/KC-Ut，NC/KC-APTES，NC/KC-Oc 全ての破断面でフィラーの露出や脱離及びフィラーの破断が観察され，明確な差が見られなかった。そこで，各サンプルのシートから小型の引張試験片を打ち抜き，引張試験を行った。結果を図２に示す。NC/KC-Ut が最も引張強さが高く，シランカップリング処理した KC を添加した材料では引張強さが低くなった。また，NC/KC-Oc が最も呼びひずみが大きくなる結果となった。本実験では差が小さかったが，無機フィラーとセルロースで NC との界面状態が異なることが示唆される結果となった。このことについては，後述の「３．３　NC/フィラーの物性」にて考察する。

３．２　NC/フィラーの成形

３．２．１　NC/フィラーの二軸混練

NC の推奨射出成形条件は,シリンダ温度 210℃～240℃である。無機フィラーと混練するには，シリンダ温度を

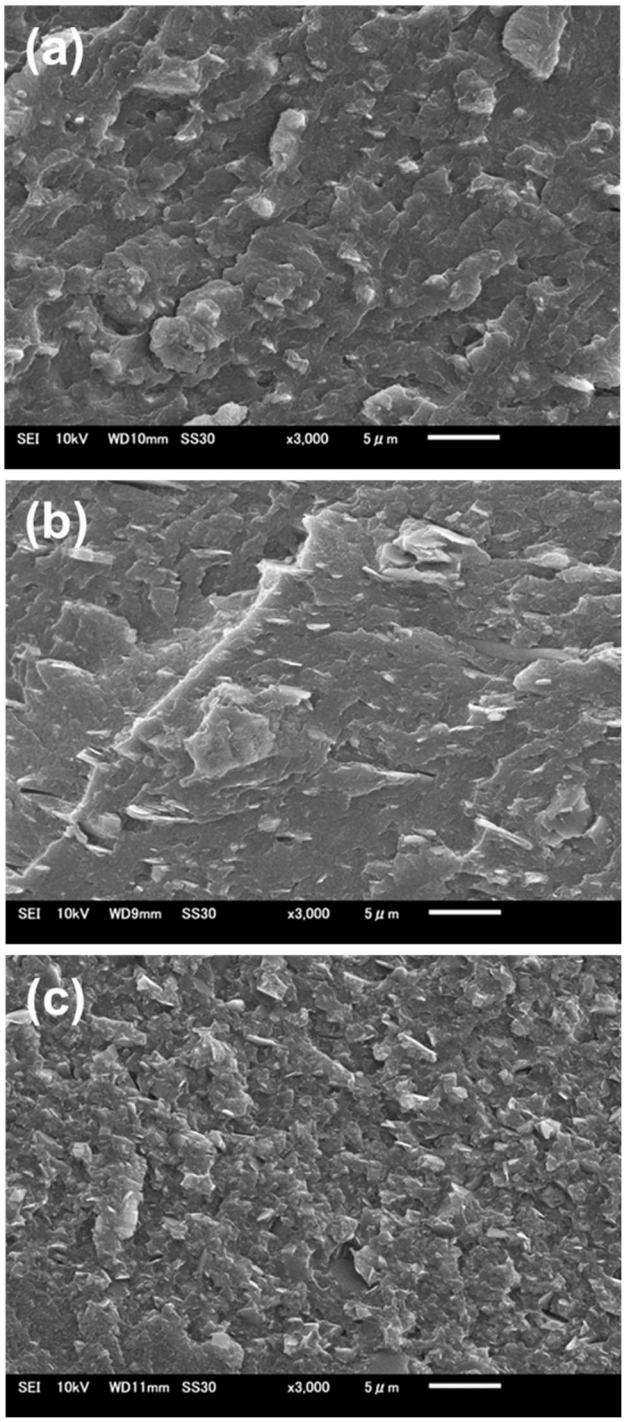


図１　NC/フィラー複合材料のクライオ破断面の SEM 像;(a)NC/W，(b)NC/ASP，(c)NC/SG

この範囲に設定することが可能であるが，セルロースと混練するには，熱分解により劣化する可能性があることから，一般的に 200℃以下で成形することが望ましいとされている。そこで，シリンダ温度を 170℃から 10℃単位で上げていき，成形可能な最低温度について検討した。シリンダ温度 170℃～180℃では，スクリューを回転させた時点でトルクが急上昇し，押出できなかった。190℃では，NC 単独であれば押し出せたものの，KC を加えると押し出すことができなかった。シリンダ温度

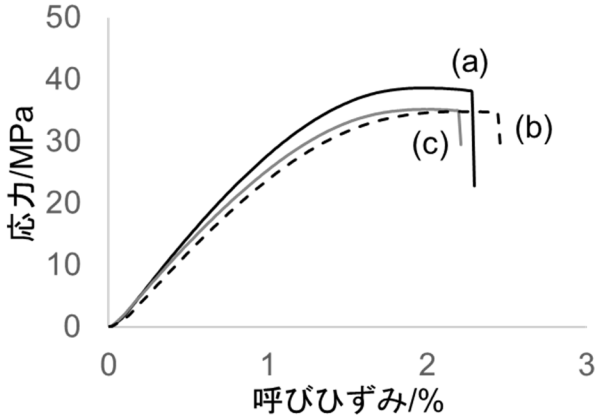


図２　NC/KC 複合材料の引張試験結果；
(a)NC/KC-Ut，(b)NC/KC-Oc，(c)NC/KC-APTES

200℃とすると，NC/KC を押し出すことが可能であり，この時の樹脂温度は 195℃であった。以上より，NC/KC の押出の際は，シリンダ温度を 200℃とした。

３．２．２　NC/フィラーの射出成形

二軸押出成形の場合と同様に,NC/W の射出成形は推奨温度であれば可能であるが，NC/KC はシリンダ温度を下げて成形する必要がある。そこで，JIS K7139 のダンベル試験片の金型を用いて，射出成形可能な最低シリンダ温度について検討した。シリンダ温度 210℃では，吐出した樹脂が，粒状樹脂が繋がった様な形状となっており，十分に溶融していないことが伺えたが，215℃まで上げるとダンベル試験片を成形することができた。以上の結果より，以降の NC/KC の射出成形はシリンダ温度 215℃とした。

NC/KC は，上述のとおり低温のシリンダ温度条件で射出成形する必要がある。ダンベル試験片は成形が可能であったが，この金型は JIS K7139 のダンベル試験片成形用であり，ゲートが厚さ 3mm，幅 20mm のフィルムゲートで，一般的な成形品で採用されているピンゲート等と比較し樹脂が流れやすいゲートとなっている。そこで，NC/KC の流動性を確認するため，スパイラルフロー金型及び一般成形品の射出成形を試みた。

まず，スパイラルフロー金型を用いて，シリンダ温度 215℃で NC 及び NC/KC-Oc の流動性の比較を行った。この際の最大射出圧力は 170MPa とし，これに達した場合は 170MPa を維持できる射出速度に制御される設定となっている。その結果，NC と比較し，NC/KC-Oc の方が，流動長が短くなることが明らかになった（図３）。また，流動長さは射出速度に影響し，射出速度が速いほど流動長が長くなることが明らかになった。KC を添加することで流動性が低下するが，射出条件の調整により，樹脂充填が可能となることが示唆される。

次いで，株式会社サカエ工業の製品である「スマイルオープナーどこでも」を,NC を用いて低温成形を試みた。シリンダ温度 205℃以下ではショートショットとなったが，215℃では充填が可能であった（図４）。このことより，シリンダ温度を 215℃以上とすることで，一般的な成形品が射出成形できることが明らかになった。

３．３　NC/フィラーの物性

NC/フィラー複合材料のフィラー濃度に対する曲げ強さ，弾性率，最大応力までのひずみの関係を図５～７に示す。まず，NC Neat の曲げ強さ及び弾性率は，シリン

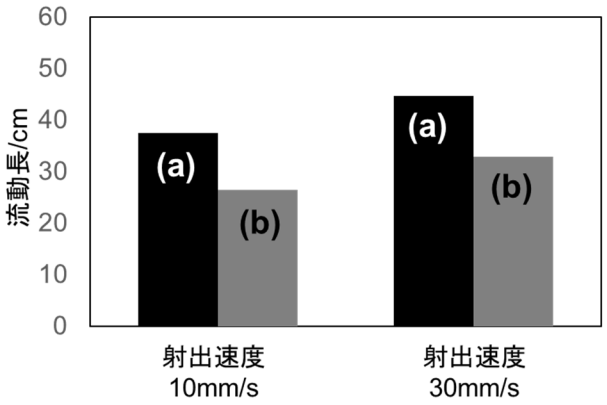


図３　射出速度とスパイラルフロー流動長の関係；
(a)NC Neat，(b)NC/KC-Oc（20wt%）

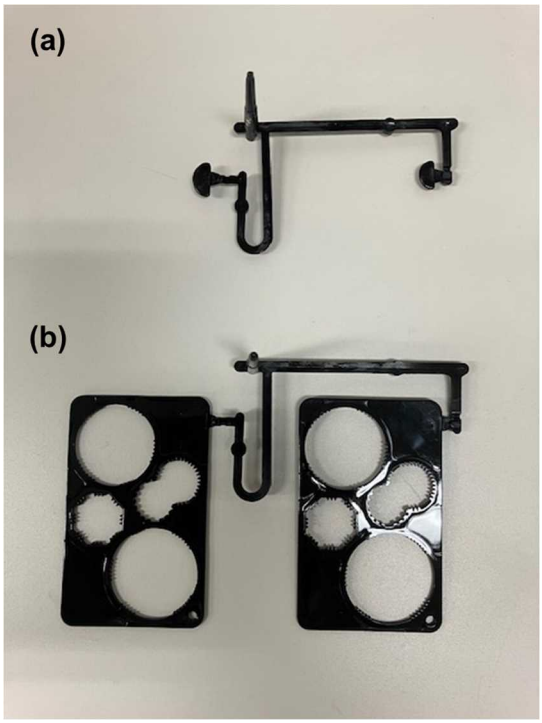


図４　「スマイルオープナーどこでも」の写真；
シリンダ温度(a)205℃，(b)215℃.

ダ温度が低い方が若干高くなった（図５，６）。結果は示していないが，引張試験の S-S 曲線を比較すると，シリンダ温度 230℃で成形した試験片では，降伏点を迎えた後，応力が低下し，その後応力が再び上昇し破断したのに対し，シリンダ温度 215℃で成形した試験片では降伏点後の応力低下が見られなかった。シリンダ温度が低い条件では，高せん断流れによる分子配向が誘起されて

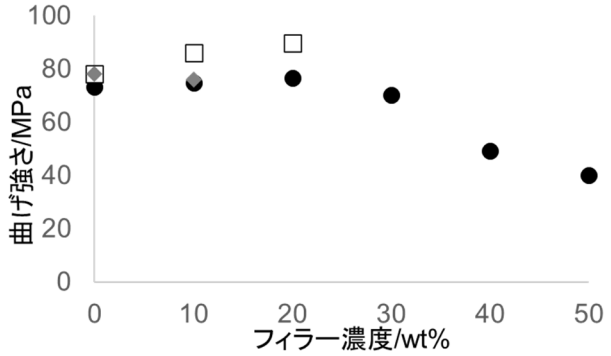


図５　NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と曲げ強さの関係；●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-Oc

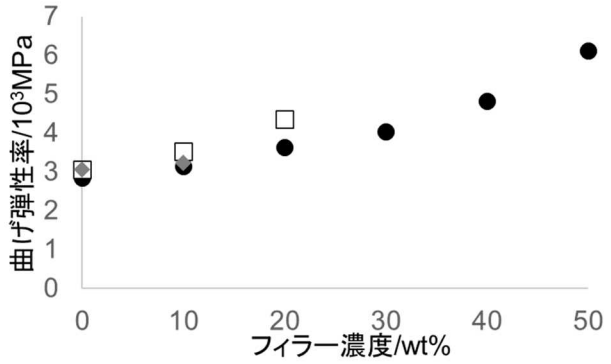


図６　NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と曲げ弾性率の関係；●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-Oc

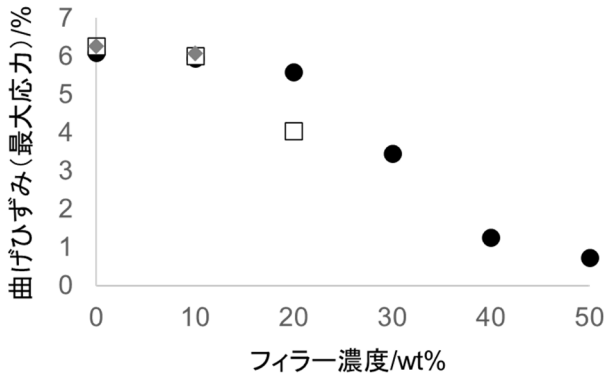


図７　NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と最大応力までの曲げひずみの関係；
●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-Oc

物性値が高くなる現象がポリプロピレンで起こることが報告されているが[3]，NC においても同様の現象が起こったものと考えられる。

NC/W の曲げ強さは，フィラー濃度が 20wt%以下では，フィラー濃度の増加に伴って若干上昇したが，30wt%以上では大きく低下した（図５）。NC/W の最大応力までの曲げひずみは，W の濃度が 0～20wt%では若干低下し，20wt%以上では大きく低下する結果となった（図７）。また，曲げ弾性率は，フィラー濃度が高くなるにしたがって上昇した（図６）。このことは，W 濃度が増加するにつれて，NC/W は硬く，脆くなっていることを示している。ここで，クライオ破断面の SEM 観察ではフィラーの露出は見られなかったが（図１(a)），曲げ試験後の破断面を SEM 観察するとフィラーが露出している様子が確認された（図８）。このことは，曲げ試験で試験片の変形量が大きくなることで樹脂/フィラー界面で破壊が起こったことを示している。これにより，W の添加は曲げ強さの向上に寄与せず，W 濃度が高くなるにつれて樹脂/フィラー界面が増加し，脆化したと推察される。

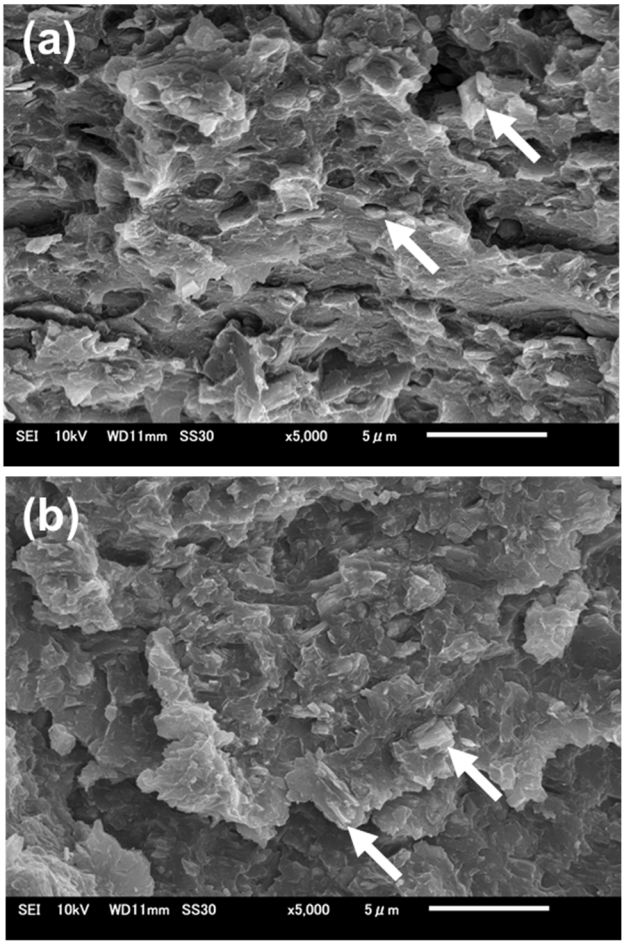


図８　NC/W の曲げ破断面の SEM 像；
(a)NC/W 20wt%，(b)NC/W 40wt%.
図中の矢印は露出した W を示す.

NC/KC の曲げ強さは，NC/KC-Ut と NC/KC-Oc を比較すると，前者の方が高い結果であった。特に Neat と 10wt%の曲げ強さを比較すると,NC/KC-Ut では大きく向上したのに対し，NC/KC-Oc では低下した。この原因の究明にはさらなる調査が必要だが，セルロースアセテート樹脂である NC の OH 基とセルロースである KC の OH 基との水素結合の方が，NC のアセチル基と KC-オクチルのオクチル基との疎水性相互作用より優位に働いたのではないかと考えている。

また，NC/KC の物性は射出速度依存性があることが明らかになった（図９）。射出速度が 20mm/s で曲げ強さ，曲げ弾性率は最大となり，これより低速の 5mm/s 及び高速の 30mm/s，50mm/s では低下する結果となった。20mm/s で物性が高くなった理由は，射出成形の流れによる KC の配向が原因と考えられる。一方，低速の場合ではせん断速度が低く，高速の場合では溶融樹脂の粘度の低下によりせん断応力が低下し,KC の配向度が低くなったのではないかと考えている。以上より，NC/KC の物性は，射出条件により変化し，最適な射出成形条件で成形することで高い曲げ強さ，曲げ弾性率の成形品を成形できることが明らかになった。

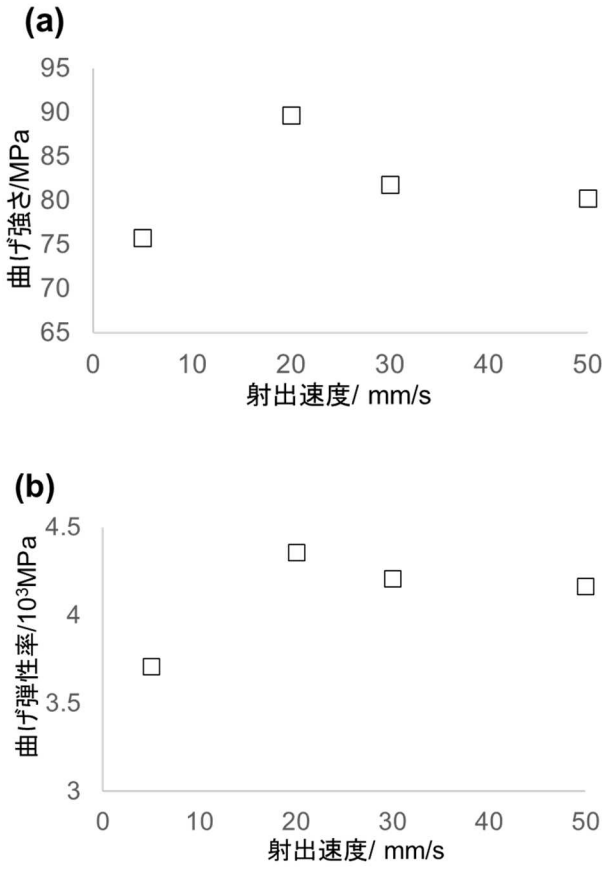


図９　NC/KC-Ut 20wt%の射出速度と(a)曲げ強さ，及び(b)曲げ弾性率の関係

４　おわりに

海洋生分解性バイオマスプラスチックであるセルロースアセテート樹脂のフィラー複合化による強度向上を目的に，適した天然フィラーの選定を行い，複合材料の物性を評価し，以下の知見を得た。

(1) NC/無機フィラー複合材料では親水性フィラーである ASP，SG よりも，疎水性フィラーの W の方が，界面強度が高いことが示された。

(2) NC/KC 複合材料では，表面処理なしの方が引張強さは高くなり，オクチルシラン処理した方が破断ひずみが大きくなった。

(3) NC は，シリンダ温度 200℃以上で二軸押出が可能であった。また，シリンダ温度 215℃以上で射出成形が可能であった。

(4) NC/W は，W 濃度 0～20wt%では，濃度の増加に伴い曲げ強さは若干上昇し，20wt%以上では大きく低下した。曲げ弾性率は，W 濃度の上昇に伴って上昇した。

(5) NC/KC-Ut は，曲げ特性に射出速度依存性があり，20mm/s で射出した場合に曲げ強さ及び曲げ弾性率が最大となった。

参考文献

1) 経産省：″海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ″https://www.meti.go.jp/press/2019/05/20190507002/20190507002-1.pdf

2) 環境省：″バイオプラスチック導入ロードマップ″ https://www.env.go.jp/content/900534511.pdf

3) 大森和宏，男澤嶺，益子朱音，渡辺克人，八丁佳功，池添亮，太田好和，小橋川浩，谷越健太：″栃木県産業技術センター研究報告″，19，6-10，(2022)

重点共同研究（フードバレーとちぎ）

夢ささらを用いた低アルコール清酒の製造方法の確立

筒井　達也*　　岡本　竹己*　　郡司　崇浩*　　阿久津　信**　　石井　浩**

Establishment of Low-alcohol Sake Production Method using “Yumesasara”

TSUTSUI Tatsuya, OKAMOTO Takemi, GUNJI Yasuhiro, AKUTSU Makoto and ISHII Hirosi

栃木県が独自に開発した酒造好適米「夢ささら」を原材料とし，低アルコール清酒の製造方法を検討した。加水によりアルコール分8%に落とした清酒に有機酸及びグルコースを添加することで，低アルコール清酒特有の味の薄さが低減された。また，有機酸の種類ではクエン酸の評価が特に高かった。酸味と甘味を付与するため，クエン酸を多く生産する白麹を用いた四段掛けを試みたところ，四段における白麹歩合を高めることでバランスの良い酒質となった。総米150kg（夢ささら　精米歩合55%）の実地醸造試験においては，甘味と酸味が調和したキレの良いアルコール分9.0%の低アルコール純米酒に仕上げることができた。

Key words:　夢ささら，低アルコール，白麹，実地醸造試験

1　はじめに

「夢ささら」は本県オリジナルの酒造好適米として令和4(2022)年2月に品種登録された。これを用いた清酒は，全国新酒鑑評会での金賞やインターナショナルワインチャレンジ SAKE 部門でメダルを獲得するなど国内外のコンテストで高い評価を受け，今後の需要拡大が期待される品種である。また，「夢ささら」は高精白から低精白まで幅広い商品に使用が可能であり，高品質な酒質になることから，今後は多種多様な清酒への使用が期待されている[1)]。

一方で，消費者嗜好の多様化から，様々なタイプの低アルコール清酒が上市されている。市販されている低アルコール清酒の大部分は，口当たりがソフトで飲酒後の身体への負担が軽いため近年注目されている。しかし，アルコール分が低いため香味のバランスが優れない商品もある。また，アルコール分13%前後の清酒商品は多いものの，よりアルコール分が低い商品は，全国的に見ても少ない。

そこで本研究では，「夢ささら」による香味バランスの優れた低アルコール清酒の製造方法の検討を行った。従来の造りでは，酵母を培養した酒母に添･仲･留と蒸米や麹を三段に分けて仕込んだ後，清酒の甘味を補う方法として，四段掛けが知られている（図１）。通常の四段掛けは蒸米を原料とし糖化酵素あるいは米麹（黄麹）を使用するが，本研究では麹にクエン酸を多く生産する白麹を用いることで酸味と甘味を付与する手法を用い，酸味や甘味を付与する，低アルコール清酒の開発を行ったので報告する。

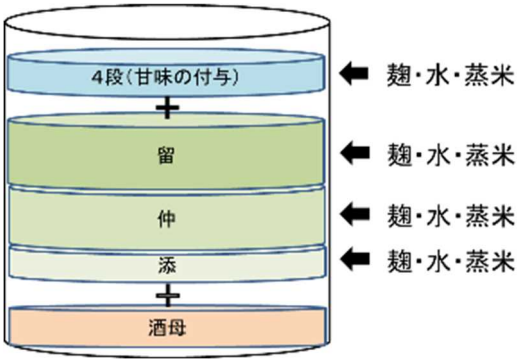


図１　四段掛け

2　研究の方法

２．１　加水清酒への有機酸及びグルコース添加試験

夢ささら精米歩合55%原酒（アルコール16%，日本酒度＋１，酸度1.7）を加水によりアルコール8%に調製し，クエン酸，リンゴ酸及び乳酸をそれぞれ酸度0.5相当量添加し，官能評価を行った。併せてグルコース 2%分を添加し補糖効果も検証した。官能評価は５名（産業技術センター職員３名，菊の里酒造株式会社２名）で３点法（1：優れる⇔3：劣る）により実施した。

２．２　白麹の製麹試験

精米歩合60%の夢ささらを用いて総米3kgで製麹をした。白麹菌は爽明（㈱秋田今野商店）を白米100kg当たり100g

＊　栃木県産業技術センター　食品技術部
＊＊　菊の里酒造株式会社

の使用量とし振り切りとした。吸水歩合は130%，甑で60分蒸煮した後，麹室に引き込んだ。清酒用黄麹菌と同等の品温経過で製麹した。すなわち，34℃で種を切り24時間後に盛り作業，仲仕事は省略し38℃で仕舞い仕事をし46時間で出麹とした。最高品温は42℃とした。麹のグルコアミラーゼ活性及び α-アミラーゼ活性は，キッコーマンバイオケミファ㈱製の糖化力測定キット及び α-アミラーゼ測定キットを用いて測定した。

２．３　白麹の糖化試験

白麹の糖化試験は米，白麹，水を原料とし，総米200gで行った（原料米は精米歩合60%夢ささら）。白麹歩合を30%から70%まで10%ずつ増加させ,汲み水150%の条件で60℃にて18時間糖化した。糖化後は糖化液を遠心分離（8,000 rpm,20分）し，上清のボーメ，酸度，アミノ酸度及びBrixを分析した。

２．４　清酒への白麹四段掛け添加試験

２．１と同じ夢ささら原酒に，２．３の条件で調製した白麹歩合30～70%の糖化液を添加した（四段掛けを想定）。清酒への糖化液の添加量は10%及び20%とした（清酒に対する四段総米比）。加水してアルコール分8%に調製，遠心分離（8,000 rpm,20分）し，上清の一般成分分析及び官能評価を行った。官能評価は5名（産業技術センター職員3名，菊の里酒造株式会社2名）で5点法（1：優れる⇔5：劣る）により実施した。

２．５　実地醸造試験

菊の里酒造株式会社の製造場にて総米150kgでの実地醸造試験を行った（原料米は精米歩合55%夢ささら）。仕込配合を表１に示す。仕込みの規模が小さいので仲仕込みを省略し，四段仕込みは総米合計の27%を使用した。酵母は栃木県酵母 T-ND を使用し，酒母省略のアンプル仕込みとした。白麹は種麹に爽明（㈱秋田今野商店）を白米100kg当たり100g使用し振り切りで製麹した。四段掛けの白麹歩合は62.5%,汲水歩合は150%として55℃で一晩糖化させた後，四段掛けを行い上槽した。

表１　実地醸造試験の仕込配合

	水麹	添	留	四段	合計
総米(kg)	8	30	72	40	150
掛米(kg)	0	20	46	15	81
麹米(kg)	8	10	26	25	69
汲水(L)	32	45	105	60	400

３　結果及び考察

３．１　有機酸及びグルコース添加試験

表２に加水清酒の官能評価結果を示す（アルコール 8%に調製）。いずれの試験区でも有機酸や糖を添加することにより無添加の区分と比べて評価が高く，有機酸や糖の添加は酒質の向上に有効であることが分かった。官能評価より，クエン酸は柑橘系で先味に感じやすいシャープな酸，リンゴ酸はコクのあるやや渋く後味に残る酸，乳酸はやや渋く後味に残る酸，と表現されたように有機酸の種類により特徴が異なることが分かった。No.3の有機酸の種類はクエン酸で補糖ありの条件が最も評価が高かった。この結果を受け，クエン酸を多く生産する白麹菌を用いた糖化試験による酸味と甘味の付与の検討に移った。

表２　加水清酒の官能評価

No.	酸の添加	糖の添加	点数	官能評価
1	補酸なし	補糖なし	2.8	水っぽい、味うすい、ボヤケル
2	補酸なし	補糖あり	2.2	うす甘い、香り少ない
3	クエン酸	補糖なし	2.7	酸味ウク、柑橘系の酸、先味の酸
4	クエン酸	補糖あり	1.3	酸味シャープ、まとまる、バランス良、キレ
5	リンゴ酸	補糖なし	2.3	渋、収斂味、後味悪い
6	リンゴ酸	補糖あり	2.0	コク、苦渋、後味重い
7	乳酸	補糖なし	2.2	やや渋、苦、酸味残る
8	乳酸	補糖あり	1.5	バランス良、苦残る

３．２　白麹の製麹及び糖化試験

白麹菌の製麹は黄麹菌と比べるとやや温度上昇が遅く緩やかであったものの，総ハゼ型の爽やかな酸味を持つ麹となった。α－アミラーゼ活性は535（Unit/g麹），グルコアミラーゼ活性は346(Unit/g 麹)，G/A 比は 0.61 となった。

製麹した白麹を用いた総米 200g の糖化試験の結果を表３に示す。白麹歩合が高いほどボーメが上昇したことから糖化が進み，いずれも十分な糖化の目安となるボーメ15以上を達成した。また，白麹歩合に比例して酸度，アミノ酸度，Brixともに高まる結果となり，官能的にも甘味や酸味が強くなった。30～60%までは官能評価で良好であったが，70%以上では粕臭が感じられた。

３．３　清酒への白麹四段掛け添加試験

清酒への添加試験結果を表４に示す。白麹歩合 50%以下で添加量10%の試験区では酸度が1.0～1.2と低く，官能評価でもウスイと指摘された。清酒への添加量が20%では日本酒度が-25 以上となり，甘重くキレが悪い酒質となった。白麹歩合70%の試験区では酸ウク，粕臭などの指摘が見られ

表３　白麹四段糖化試験

白麹歩合(%)	30	40	50	60	70
ボーメ	15.1	15.3	15.8	16.4	16.6
酸度(mL)	4.5	5.9	6.9	8.2	9.5
アミノ酸度(mL)	3.9	4.7	5.1	5.3	5.5
Brix(%)	28.4	28.8	29.7	30.4	31.2
官能評価	ソフト、キレイ	甘い、酸味	酸味強い	はちみつ	濃い、粕臭

表４　清酒への白麹四段糖化液添加試験

白麹歩合（%）	添加量（%）	日本酒度	酸度(mL)	アミノ酸度(mL)	点数	官能評価
30	10	-11.6	1.0	1.0	4.6	ウスイ、もの足りない
30	20	-26.8	1.4	1.2	3.8	甘味ウク、キレ悪い
40	10	-14.1	1.1	1.0	3.4	ウスイ、もの足りない
40	20	-25.9	1.6	1.3	3.6	甘重い、キレ悪い
50	10	-14.0	1.2	1.1	2.8	ウスイ
50	20	-28.8	1.8	1.5	3.8	甘重い、キレ悪い
60	10	-14.9	1.4	1.2	1.2	バランス良い
60	20	-28.7	2.0	1.5	4.0	酸ウク、粕臭、甘重い、キレ悪い
70	10	-16.0	1.6	1.2	2.6	酸ウク、粕臭
70	20	-30.0	2.3	1.6	4.6	酸ウク、粕臭、甘重い、キレ悪い

表５　実地醸造試験成分値と官能評価

酸度(mL)	ｱﾐﾉ酸度(mL)	日本酒度	ｱﾙｺｰﾙ(%)	酢酸ｲｿｱﾐﾙ(ppm)	ｶﾌﾟﾛﾝ酸ｴﾁﾙ(ppm)	官能評価
2.6	1.7	-23	9	4.9	2.3	甘味と酸味のﾊﾞﾗﾝｽ良い，後味爽やかでｷﾚあり

たことから，麹歩合 60%，清酒への添加量 10%の条件が適切であると判断し，次項目の実地醸造試験に繋げた。

３．４　実地醸造試験

実地醸造試験の成分値及び官能評価の結果を表５に示す。四段歩合は総米の 27%（３．３の結果より添加量（10%）及び清酒の仕込配合から換算）とした。本試験では純米酒規格とするため，四段掛け後に上槽した。最高品温は 13.1℃（5 日目），もろみ日数は 15 日とした。香味のバランスを取るため，四段掛け後のアルコール分は 9.0%，酸度 2.6 mL，アミノ酸度 1.7 mL とした。官能評価では香気成分について欠点は見受けられず，甘味や酸味のバランスが良く後味にキレのある良好な酒質となった。

４　おわりに

「夢ささら」を用いた低アルコール清酒の製造条件を検討した結果を得た。

(1) アルコール分 8%に調製した加水清酒において，クエン酸及びグルコースを添加することで官能評価が良くなることから，酸味や甘味の付与が有効であることが分かった。

(2) クエン酸及び甘味を付与すべく白麹を用いた四段掛けの条件を検討したところ，白麹四段の麹歩合は 60%，添加量は 10%がバランスの良い酒質となった。

(3) 総米 150kg の実地醸造試験では，甘味と酸味のバランスが良好でキレの良い酒質となった。

本研究では，「夢ささら」による白麹を利用した新しい低アルコール清酒の製造条件を確立した。

参考文献

1) 筒井達也ら：″令和３（2022）年度栃木県産業技術センター研究報告″，19，11-14，（2022）

2) 注解編集委員会編：″第４回改正国税庁所定分析法注解″，日本醸造協会（1993）

Ⅱ 共同研究

Cooperative Research

共同研究

県産イチゴの加工条件による味・香り成分等の把握と見える化

阿久津　知宏*　　伊藤　和子*　　梶田　尚子**　　福田　里南**　　須谷　潤**

Analysis and Visualization of Taste and Flavor Components Depending on the Processing Conditions of Strawberries from Tochigi Prefecture

AKUTSU Tomohiro, ITO Kazuko, KAJITA Naoko, FUKUDA Rina and SUTANI Jun

特徴を持った栃木県育成品種が次々と作出されているが，イチゴ各品種の加工条件による味・香り成分等の変化は明らかとなっていない。本研究では品種の特徴を持つ加工商品開発のため加工条件による味・香り成分等の変化を把握した。加熱加工品の果肉状態は果肉を潰した方が香りの損失は少ないが，酸味の傾向は変わらないことがわかった。また，糖度が高い方が香りの損失が少なく，明度が低いことがわかった。ペクチン及びクエン酸の添加により加熱時間の短縮を行ったところ，香り，果肉，色等品種の特徴が官能評価でも現れた。

Key words: イチゴ，ジャム，ピューレ，味，香り

1　はじめに

栃木県はイチゴの生産量が 54 年連続全国 1 位であり，作付面積，産出額とも日本一を誇る。また，近年，とちあいか，ミルキーベリー等特徴を持った栃木県育成品種が次々と作出されており，これら品種は，年々生産量が増加している。

さらに，ジャムや菓子等のイチゴ加工品の需要も拡大しており，これまで「とちおとめ」を利用した商品がメインであったが，新品種による商品も開発・販売されており，今後需要の拡大が予想される。

しかし，イチゴ各品種の特徴を活かした商品を製造するためにはそれぞれに適した加工条件を検討する必要があるが，イチゴ各品種の加工条件による味・香り成分等の変化は明らかとなっていない状況である。

本研究では，県産イチゴ各品種について，品種特徴を持つ加工商品開発のため，果肉状態（ホール，ミキサー）及び糖度（Brix20%，Brix45%）を変化させた加熱加工品を調製し，加工条件による味・香り成分等の変化を把握した。また，得られたデータを活用し品種の特徴を持つ加工商品を検討した。

2　研究の方法

2．1　イチゴ原料

栃木県農業試験場いちご研究所にて令和 3 年度に収穫されたイチゴを使用した。品種は「とちおとめ」「とちあいか」「スカイベリー」「ミルキーベリー」とした。加工品の調製には収穫後冷凍したものを供した。生果の香り，色，物性分析については収穫後速やかに供試し，味については収穫後冷凍したものを用いた。

2．2　イチゴ加熱加工品の調製

イチゴ加熱加工品の加工条件を表 1 に示す。

解凍したイチゴ原料 550g に対してグラニュー糖 400g 及び水 100g を加え，92℃で 30 分間加熱後 Brix45%に調整し，包装後 10 分間加熱殺菌した。この時の加工品のうち，果肉を残したものを「加工条件 1」，果肉を潰し 2mm の網で裏ごししたものを「加工条件 2」とした。

解凍，粉砕し 2mm の網で裏ごししたイチゴ原料 900g にグラニュー糖 100g を加え，92℃達温まで加熱後 Brix20%に調整し，包装後 10 分間加熱殺菌した。この時の加工品を「加工条件 3」とした。

以下，「加工条件 1～3」で加工したイチゴ加工品をそれぞれ「加工品 1～3」とした。

表 1　イチゴ加工品の加工条件

加工条件 No.	イチゴ品種	加熱温度	加熱時間	目標Brix%	果肉状態
1	とちおとめ，スカイベリー，とちあいか，ミルキーベリー	92℃	30分	Brix45%	ホール
2	とちおとめ，とちあいか	92℃	30分	Brix45%	ミキサー
3	とちおとめ，ミルキーベリー，とちあいか	92℃	達温まで	Brix20%	ミキサー

＊　栃木県産業技術センター　食品技術部
＊＊　タカ食品工業株式会社　関東支社

２．３　イチゴ加工品の分析

２．３．１　香気成分分析

生果及び加工品 1 はフードプロセッサーにより均一にした後，0.1g採取し，内部標準として0.05%(v/v)1-プロパノール水溶液を10μL加え測定試料とした。

加工品 2 は，そのまま 0.1g 採取し，同様に内部標準を加え測定試料とした。

各試料は DHS-GC/MS 法により測定し，吸着剤は Carbopack B&X 及び Tenax TA を用いた。前処理として，試料を N_2 パージし，各吸着管へ吸着後，30℃流速50mL/分でドライパージを行い，加熱脱着装置（Gerstel 社製　TDU2）付 DHS-GC/MS（Agilent Technologies 社製　5977B）に供した。分析は表２のとおりに実施し，得られたガスクロマトグラムのピークから，Aroma Office 2D（Gerstel 社製）によりにおいを有する化合物のみを抽出した。ピーク面積値を香りのキャラクターごとに積算して比較した。

２．３．２　色の測定

分光測色計（コニカミノルタジャパン㈱製　CM-5）により測定し，L*a*b*表色系を用いて評価した。生果及び加工品 1 の果肉部分は表面色（反射），加工品 1 の液体部分は透過色（透過測定），加工品 3 はシャーレにより表面色（反射）測定した。

２．３．３　果肉物性及び粘度

生果及び加工品 1 の果肉についてテクスチャーアナライザー（Stable Micro Systems 社製　TA.XT plus100c）により表３の条件で試験を実施した。

加工品 3 について B 型粘度計（東機産業㈱　BH-Ⅱ）により，温度 20℃，回転数 10rpm，スピンドル No.3 の条件で粘度測定を行った。

表２　香気成分分析条件

TDU条件	30℃（0.3min）→720℃/min→300℃（3min）
CIS条件	50℃（0.5min）→720℃/min→210℃（20min）
カラム	DB-WAX（30m，0.25mm，0.25μm）
オーブン温度	40℃（5min）→10℃/min→240℃（10min）
キャリアガス	He 1.768mL/min
トランスファーライン温度	240℃
イオン源温度	230℃
イオン化モード	EI
イオン化電圧	70eV

表３　テクスチャーアナライザー(果肉物性）試験条件

	プローブ	圧縮速度	圧縮距離（率）
生果	2mm円柱	1mm/s	20mm
加工品1	20mm円柱	1mm/s	90%

２．３．４　味覚センサーによる味の測定

生果は冷凍イチゴ 150g を量り取り，同量の蒸留水を加え半解凍後，フードプロセッサーで 1 分間粉砕した。遠心分離（10,000rpm，10 分間）により上清を回収し，旨味以外の測定試料とした。なお，旨味は硝酸イオンの影響を考慮し，調製液 50mL に炭酸緩衝液を加えて pH6～7 に調整し，1/3 倍濃度の味覚センサー用基準液を用いて希釈し（45 倍希釈）測定試料とした。

加工品 1 及び加工品 2 は 100g を量り取り，同量の蒸留水を加え 1 分間粉砕後，遠心分離（3,000rpm，10 分間）により上清を回収し，測定試料とした。

加工品 3 は 100g を量り取り，3 倍量の蒸留水を加え，同様の操作により測定溶液を得た。

調製した溶液を用い，味覚センサー（㈱インテリジェントセンサーテクノロジー　TS-5000Z）により酸味，苦味雑味，渋味刺激，旨味，塩味，苦味，旨味コクを評価した。

２．３．５　有機酸含量の分析

粉砕した冷凍イチゴあるいは加工品を 5g 量り取り，3%スルホサリチル酸を 5mL 加え，室温で 10 分間放置後，1.5%スルホサリチル酸 10mL をさらに加え 3000rpm5 分間遠心分離した。得られた上清を 50mL メスフラスコに移し，残渣に 1.5%スルホサリチル酸 15mL を加えて同様に操作し，上清を 1.5%スルホサリチル酸で 50mL 定容とした。次いで，メンブランフィルター（孔径0.45μm）でろ過し，ろ液を試験溶液とした。分析は HPLC（日本分光㈱製　EXTREMA）により，表４の条件で実施した。

表４　有機酸分析条件

カラム		Shodex Rspak KC-811 （8.0mm×300mm 6μm 昭和電工㈱製） 2本直列接続
移動相		3mM過塩素酸
反応液		0.2mMブロモチモールブルー（BTB）
流速	移動相	1.0mL/min
	反応液	1.5mL/min
カラム温度		70℃
注入量		50μL
検出器		フォトダイオードアレイ，UV（445nm）
検出法		BTBによるポストカラム誘導体化法

２．４　イチゴジャムの試作

２．４．１　ホールジャム（Brix45%）の試作

冷凍イチゴにグラニュー糖をまぶし一晩冷蔵庫で解凍後，ペクチン（原料比 0.9%）及び水を加え 92℃で 10 分間加熱，さらにクエン酸（原料比 0.3%）を加え，容

器包装後 10 分間加熱殺菌した。この試作品をジャム（Brix45%，ホール）とした。

２．４．２　パルパージャム（Brix45%）の試作

解凍したミルキーベリーを 1 分間フードプロセッサーで粉砕し，2mm の網で裏ごしした後，ペクチン（0.9%）及び水または牛乳を加え，92℃で 10 分間加熱した。さらにクエン酸（0.3%）を加え，容器包装後 10 分間加熱殺菌し，ミルキーベリージャム（Brix45%，パルパー）試作品とした。

２．５　官能評価

試作したイチゴジャムは-3～+3 の 7 段階評点法により産業技術センター食品技術部職員 6 名で官能評価を実施した。評価項目は香り(イチゴ，花，酸），外観(鮮やかさ，明るさ，白さ)，食感(粘度，果肉の歯ごたえ)とし，対照はとちおとめジャム（Brix45%，ホール）とした。ただし「白さ」の項目はミルキーベリージャム（Brix45%，パルパー）を対照とした。

３　結果及び考察

３．１　イチゴ加工品の分析

図１に各条件で加工したイチゴ加工品の外観を示す。加工品 1 は果肉の表面色及び物性を調査するために調製し，加工品 2 は果肉状態の違いによる味・香り等への影響，加工品 3 は糖度の違いによる味・香り等へ影響を把握するため調製した。

３．１．１　香気成分

生果及び加工品 1 の香気成分分析結果をそれぞれ図２，図３に示す。いずれにおいてもイチゴの香り（Mesifuran，Furaneol 等），果実の香り（Methyl Acetate，Ethyl Acetate 等），グリーンな香り（Hexanal，Myrcene 等），酸の香り（Acetate，2-Methylbutyric acid 等），発酵の香り（Diacetyl，Acetoin 等），花の香り（Linalool，Nerolidol 等），ミルキーな香り（4-Decanolide，4-Dodecanolide 等）等の成分が検出されたが香気成分量は加熱加工により生果の 10 分の 1 以下に減少していた。品種では，とちおとめ及びとちあいかは加工前後で香り成分の割合に大きな変化はみられなかったが，スカイベリー及びミルキーベリーは加工によりイチゴの香りの割合が高くなった。

とちおとめ及びとちあいかについて加工条件による香気成分量の結果をそれぞれ図４，図５に示す。いずれの品種も加工品 3 より加工品 2 の香気成分量が多かった。

この結果より，糖が高濃度の方が香気成分は保持されやすいと考えられる。また，果肉状態で香気成分量を比較すると，加工品 1 よりも加工品 2 の方が多く残った。これは，果肉を潰すことで香気成分が糖液中に溶け出し，糖により保持されたためと考えられる[1)]。

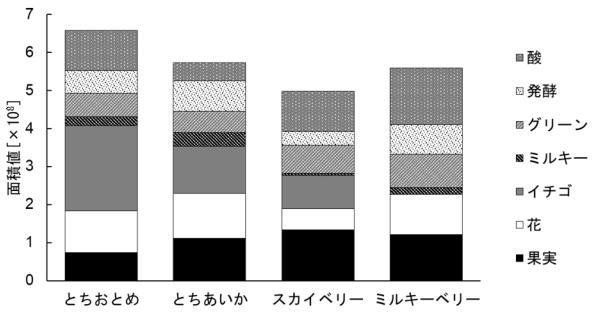


図２　生果の香気成分分析結果

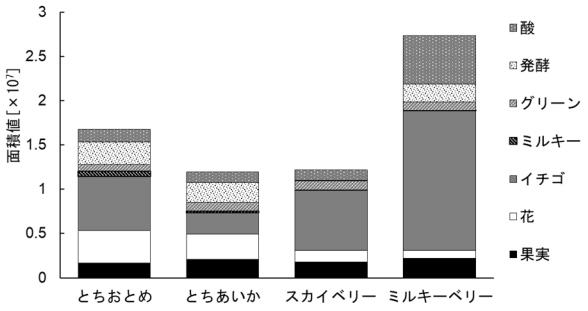


図３　加工品１の香気成分分析結果

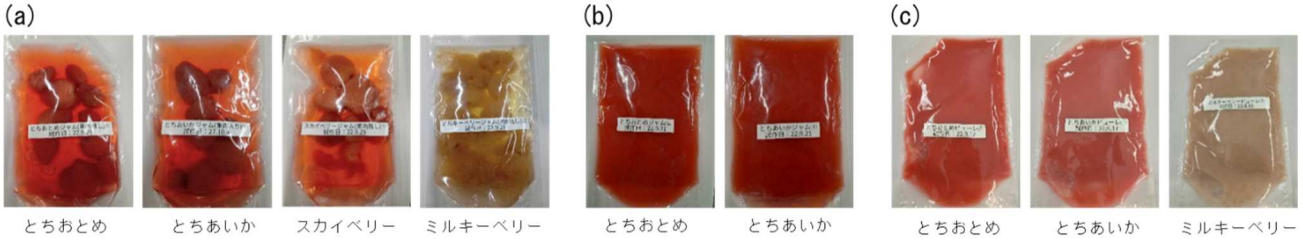


図１　各条件で加工したイチゴ加工品の外観

(a) 加工品 1，(b) 加工品 2，(c) 加工品 3

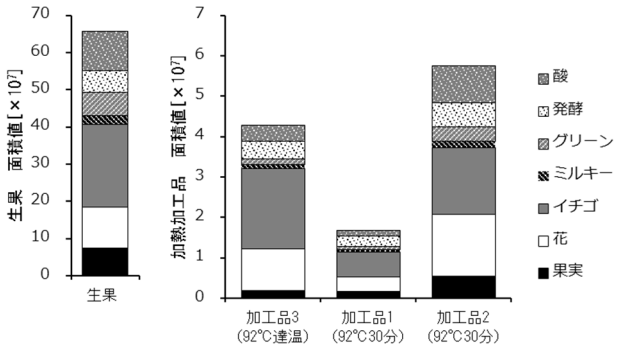


図４　とちおとめの加工条件による香気成分量

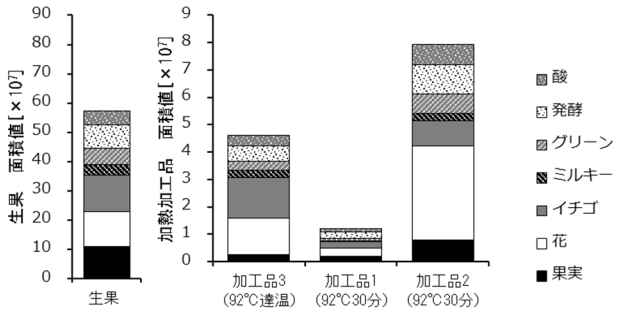


図５　とちあいかの加工条件による香気成分量

３．１．２　色

生果及び加工品１の果肉の表面色測定結果を図６に示す。生果のL*a*b*値は赤色３品種（とちおとめ，とちあいか，スカイベリー）間ではほとんど違いは見られなかった。加工品 1 の果肉はいずれの品種も生果と比べL*a*b*値の減少がみられたが，スカイベリーは他の赤色 2 品種と比べ L*値（明度）の減少が小さく，異なる色相であった。

加工品１の液体部分の透過測定結果を図７に示す。赤色３品種の色相は同じであり，a*値（赤方向）はとちおとめが最も高かった。4 品種についてa*，b*値（黄方向）から彩度を算出した結果，彩度はとちおとめが最も高く，L*値はミルキーベリーが最も高かった。

果肉を潰した加工品 2 と 3 の色（L*a*b*）分析結果（平均値）を表５に示す。加工条件間で比較すると，a*，b*値は違いが見られず，糖度の影響が見られなかったが，L*値は糖度が高い方（Brix45%）が低かった。

ミルキーベリーの加工品 3 はペースト状の生果に比べ L*値（明度）が減少（ΔL*=-10.1）し，暗い色調になることがわかった。

表５　加工品の色（L*a*b*）分析結果

品種	加工条件	L*	a*	b*
とちおとめ	加工品2	23.5	25.1	15.4
とちおとめ	加工品3	34.9	27.2	16.2
とちあいか	加工品2	23.5	25.1	15.4
とちあいか	加工品3	34.9	27.2	16.2

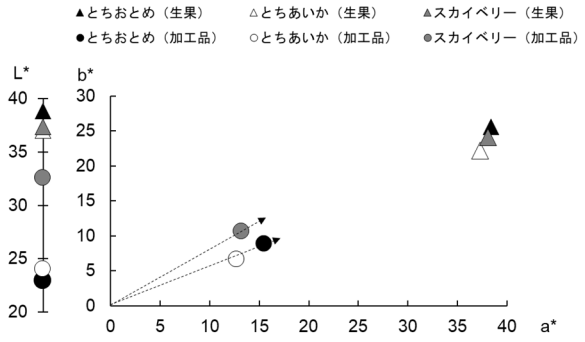


図６　生果及び加工品１の果肉部の色（L*a*b*）

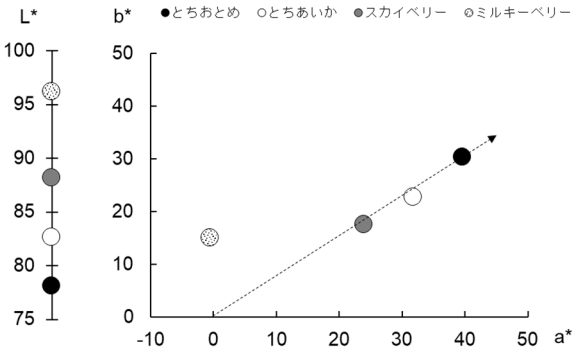


図７　加工品１液体部分の色（L*a*b*）

３．１．３　果肉物性及び粘度

生果の圧縮試験の結果を図８に示す。最大荷重はとちあいかが最も大きく，ミルキーベリーが最も小さかった。加工品 1 の圧縮試験結果及び加工品 3 の粘度測定結果を図９に示す。加工品 1 について荷重 - ひずみ曲線から面積値を算出すると，とちあいかが最も大きく，ミルキーベリーが最も小さかった。

粘度はミルキーベリーが最も高く，果肉が潰れやすいほど粘度が高い傾向がみられた。

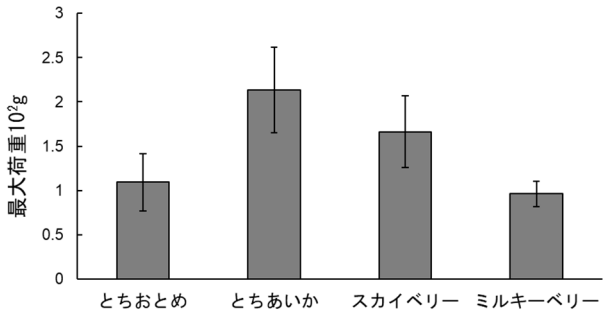


図８　生果の圧縮試験結果

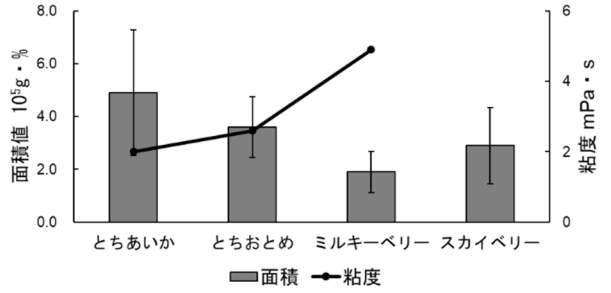


図９　加工品１果肉部の圧縮試験結果及び加工品３の粘度

３．１．４　味

生果及び加工品 1 の味覚センサー測定結果をそれぞれ図 10，図 11 に示す。とちあいかが最も酸味が低く，他の 3 品種との間に違いが見られた。これは他の処理区でも同様の傾向であった。

HPLC による有機酸含量分析結果を表６に示す。味覚センサーの傾向とは異なり，味覚センサーにおける酸味は，有機酸含量だけなく糖含量等他の成分も影響している可能性があると考えられる[2)]。

３．１．５　味・香り成分等の品種や加工条件による特徴

前述の味・香り成分等の分析結果より，加工品各品種の特徴はとちおとめはイチゴ及び花の香りの割合が高く，彩度，酸味が高かった。とちあいかはイチゴ及び花の香りの割合が高く，彩度が高く，酸味が低かった。また，果肉が潰れにくかった。スカイベリーはイチゴの香りの割合が高く，L*値，酸味が高かった。ミルキーベリーはイチゴ及び酸の香りの割合が高く，L*値が高く彩度が低かった。また，粘度が高かった。加工条件の違いによる味等の特徴について，果肉状態は果肉を潰した方が香りの損失が少ないが，酸味の傾向は変わらなかった。糖度は高い方が香りの損失が少なく，明度は低かった。また，酸味の傾向は変わらなかった。

３．２　試作ジャムの官能評価

より商品に近い形の加工品においても品種特徴が現れるかを確認するため，ホールジャムを試作した。30 分間の加熱では香りの損失が大きかったため，ペクチン及び酸を添加することにより加熱時間を短縮させ，香り損失の低減を図った。また，ミルキーベリーについては粘度の特徴を活かすためにパルパージャムも試作した。試作したイチゴジャムの官能評価結果を図 12，図 13 に示す。とちおとめ，とちあいかジャム

表 6-1　生果の有機酸分析結果

品種	有機酸含量 mg/g		
	クエン酸	リンゴ酸	合計
とちおとめ	7.5	2.1	9.6
とちあいか	5.6	1.8	7.4
スカイベリー	5.4	1.8	7.2
ミルキーベリー	6.1	0.9	7

表 6-2　加工品１の有機酸分析結果

品種	有機酸含量 mg/g		
	クエン酸	リンゴ酸	合計
とちおとめ	3.8	0.9	4.7
とちあいか	2.9	0.8	3.7
スカイベリー	3.5	1.0	4.5
ミルキーベリー	3.9	0.6	4.5

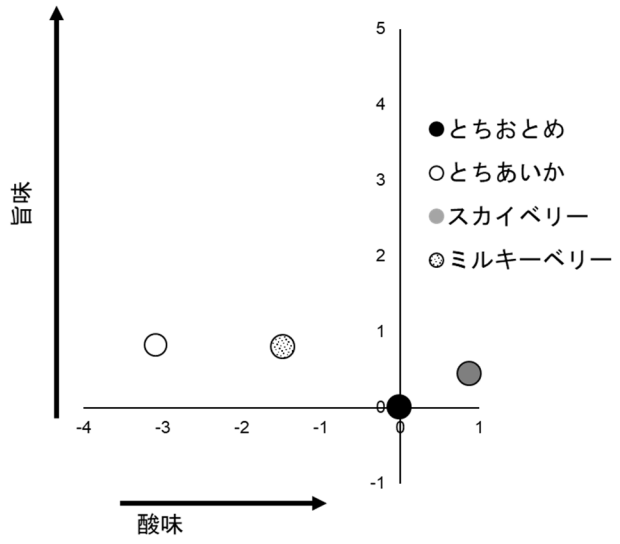


図 10　生果の味覚センサー測定結果

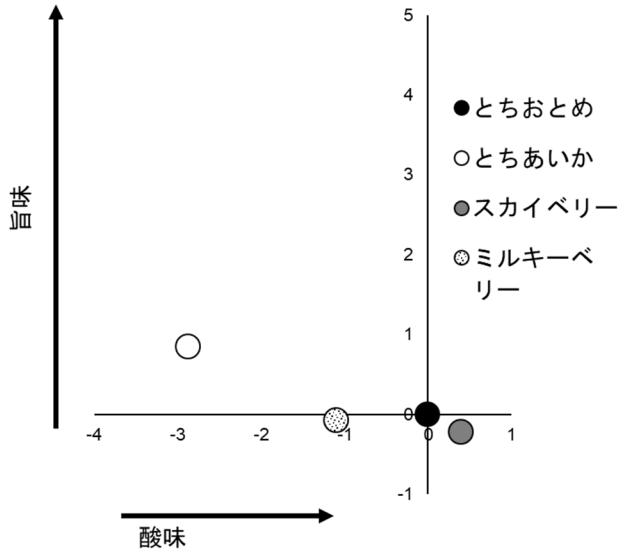


図 11　加工品１の味覚センサー測定結果

（Brix45%，ホール）はいずれも色（鮮やかさ，明るさ）や歯ごたえ（果肉の崩れやすさ）等分析での品種特徴が官能評価にも現れていた。一方，糖度調整やゲル化のためにグラニュー糖やクエン酸を添加していることから，酸味や甘味については品種による差が見られなかった。味の特徴をより明確にするには，糖と酸の配合量をさらに検討する必要がある。

ミルキーベリージャム（Brix45%，パルパー）は色が暗くなる欠点を補うためミルクの添加を検討したところ，香りや粘度はあまり変わらずに，明るい色の加工品ができた。

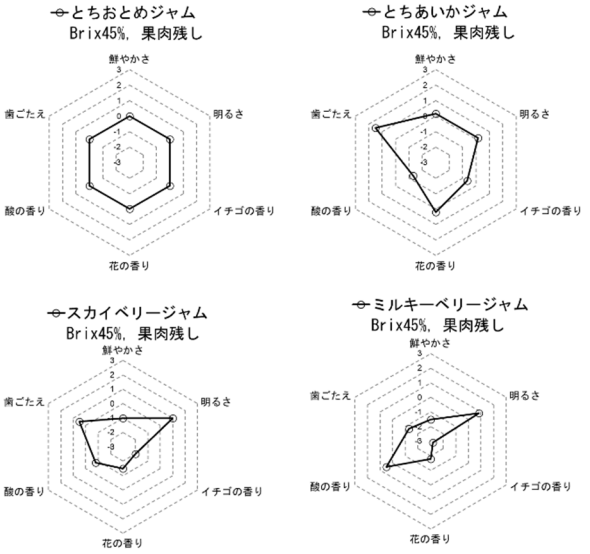


図 12　ホールジャム（Brix45%）の官能評価結果

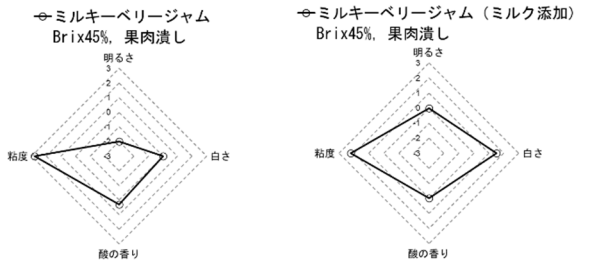


図 13　パルパージャム（Brix45%）の官能評価結果

4　おわりに

本研究により加工条件による味・香り成分等の変化について，以下の知見を得た。

（1）Brix45%の加工品を果肉状態（ホール，ミキサー）の違いで比較すると，ホールの方が香りの損失が少ないが，酸味の傾向は変わらなかった。

（2）果肉を潰した加工品を糖度（Brix20%，Brix 45%）の違いで比較すると，糖度が高い方が香りの損失が少なく，明度は低かった。また，酸味の傾向は変わらなかった。

（3）ペクチン及びクエン酸の添加により加熱時間の短縮を行ったところ，花の香り，果肉の潰れにくさ，色の鮮やかさ等品種の特徴が官能評価でも現れることがわかった。

（4）ミルキーベリージャムの色が暗くなる欠点を補うためミルクの添加を検討したところ，香りや粘度をあまり変えずに，明るい色の加工品ができた。

今後は商品に近い形の加工品においても，味の特徴が現れる加工条件を検討していきたい。

謝　辞

本研究実施にあたりイチゴ原料の提供を頂いた栃木県農業試験場いちご研究所に感謝する。

参考文献

1）杉沢 博，小林 伸行，坂上 昭男：″日本食品工業学会誌″，20(8)，364-368，(1973)

2）福井 裕，石田 丈博，西村 敏英，松田 秀喜：″日本調理科学会誌″，39 (1)，49-56，(2006)

Ⅲ 受託研究

Contract Research

受託研究

トウガラシの焙煎条件の検討および旨味成分把握

伊藤　和子*　　阿久津　智美*

Examination of Roasting Conditions of *Capsicum Annum* and Analysis of Umami Components

ITOH Kazuko and AKUTSU Satomi

国産トウガラシの最適な焙煎条件の確立を目的に，従来法での違いを把握するため，国産トウガラシの75℃焙煎粉末と中国産トウガラシの90℃焙煎粉末を用いて味・香りを測定して比較したところ，国産トウガラシは旨味が強いことが明らかになった。さらに，国産トウガラシの焙煎温度による味・香りの変化を検討した結果，大型品種（益都・望都・山房）はロースト臭が増加しない75℃焙煎が最適であり，小型品種（栃木三鷹・新三鷹）は甘い香り・花の香りや旨味が加熱で増加することから，90℃が最適であると考えられた。

また，中国産・国産トウガラシのアミノ酸成分について調査したところ，国産トウガラシは中国産と比較して旨味を持つグルタミン酸・アスパラギン酸の含有量が高く，旨味センサーの数値が高いことを裏付けるデータとなった。なお，小型品種では旨味センサーの数値とアミノ酸成分含有量が比較的よく関連していたが，大型品種では関連が低く，他の成分が関与している可能性が考えられた。

Key Words : **トウガラシ，味覚センサー，香気分析，旨味成分**

1　はじめに

栃木県大田原市はトウガラシ収穫量日本一であり，市内の生産者・加工業者および飲食店等により「大田原とうがらしの郷づくり推進協議会」を立ち上げ，町おこしの一環としてトウガラシの普及，新商品開発等に取り組んでいる。

国産トウガラシは，外国産に比べて旨味が強い・甘い香りが強い等の特徴があると言われているが，こうした特徴を裏付ける十分なデータがないことから安価な外国産との差が曖昧になり，国産品の市場拡大のネックになっている。このため，外国産とのおいしさ（味・香り）の違いや優位性を明らかにする必要がある。そこで，令和3年度に実施した受託研究では，国産トウガラシ（未焙煎）は中国産トウガラシ（未焙煎）と比較して苦味雑味・旨味および旨味コクが高いこと，香り成分の特徴としては甘い香りやグリーンな香りが強いことを明らかにした[1)]。

しかし，トウガラシは焙煎後に提供されるのが一般的であり，焙煎条件による味・香りの変化についての知見が少ない。また，国産トウガラシの特徴である高い旨味に寄与する成分も明らかでない。

そこで，本研究では味覚センサーおよびダイナミックヘッドスペースーガスクロマトグラフ質量分析(DHS-GC/MS)法を用いて，焙煎温度による味・香りの変化を調査した。さらに，旨味に寄与するアミノ酸成分についても検討したので報告する。

＊　栃木県産業技術センター　食品技術部

2　研究の方法

2．1　トウガラシ粉末

トウガラシは吉岡食品工業(株)にて 75℃および 90℃で焙煎したものを用いた。粉末化後すぐに密閉し，速やかに DHS-GC/MS による香気成分分析を実施した。また,味覚センサー測定には粉末を冷蔵保存し供した。

なお，試料の天津三鷹は中国産であり，大型品種（益都・望都・山房）と小型品種（信鷹・栃木三鷹・新三鷹）の6品種は，栃木県内の農家にて栽培したものを用いた。

2．2　味の測定

2．2．1　試料の前処理

令和3年度に確立した方法[1)]で前処理を行った。すなわち，トウガラシ粉末 3g を量りとり，50℃に調整した蒸留水 97g を加え，50℃に 10 分間保持しつつ 1 分ごとに撹拌し抽出した。水冷後ろ過し，ろ液を測定用サンプル液とした。なお，旨味先味については，3 倍に希釈した味覚センサー用基準液を用いて測定用サンプルを 18 倍希釈したものを用いた。

２．２．２　機器測定

２．２．１で調製した測定用サンプル液を用い，味覚センサー（㈱インテリジェントセンサーテクノロジー製 TS-5000Z）で酸味・苦味雑味・渋味刺激・塩味・苦味（後味）・渋味（後味）・旨味コク（後味）を測定した。なお，旨味先味については，上述したとおり，希釈したものを用いて別途測定した。

２．３　香りの測定

香気成分測定は，トウガラシ粉末 0.2g に蒸留水 0.1mL，内部標準として 0.05%(v/v) 1-プロパノール水溶液を 10uL 加えたものを測定試料とし(N=3)，DHS-GC/MS 法により行い，吸着材は Carbopack B&X および Tenax TA を用いた。試験前処理として，各測定試料を N_2 パージして香気成分の各吸着管への吸着を行い，さらにその吸着管を 30℃下で 50mL/分の流速で所定時間ドライパージを行い，加熱脱着装置（Gerstel 社製 TDU2）付 DHS-GC/MS（Agilent Technologies 社製 5977B）に供した。

加熱脱着装置の温度条件は，TDU:初期温度 30℃(0.3min 保持)-昇温速度 720℃/min-到達温度 300℃(3min)とし，CIS:-50℃(0.5min)-720℃/min 昇温-210℃(20min 保持)とした。測定装置条件は，カラム:DB-WAX(30m,0.25mm,0.25um)，オーブン温度:40℃(5min 保持)-昇温速度 10℃/min-到達温度 240℃(10min 保持)，キャリアガス:He 1.6768mL/min，トランスファーライン温度：240℃，イオン源温度：230℃，イオン化モード:EI，イオン化電圧：70eV で測定を行った。得られたガスクロマトグラムのピークから，Aroma Office 2D（Gerstel 社製）によりにおいを有する化合物のみを抽出してピーク面積値の平均値を算出し，内部標準の面積値で除した。その値を香りのキャラクターごとに積算して比較した。

２．４　アミノ酸の測定

アミノ酸含有量は，高速アミノ酸分析計（JLC-500V：日本電子㈱製）を用いて測定した。

３　結果及び考察

３．１　従来の焙煎条件による国産・中国産トウガラシ成分の把握

２．１で記述した品種について従来法（中国産：90℃，国産：75℃）により焙煎した粉末の味・香りを分析し，その結果を比較した。

３．１．１　味の比較

中国産の天津三鷹と比較して国産は旨味・苦味雑味が高く，旨味コクも栃木三鷹・新三鷹以外は高い傾向であり（図１），苦味は低い傾向であった。また，塩味と渋味は信鷹が高く，渋味刺激は信鷹以外が低い傾向であった（表１）。酸味は検出されなかった。

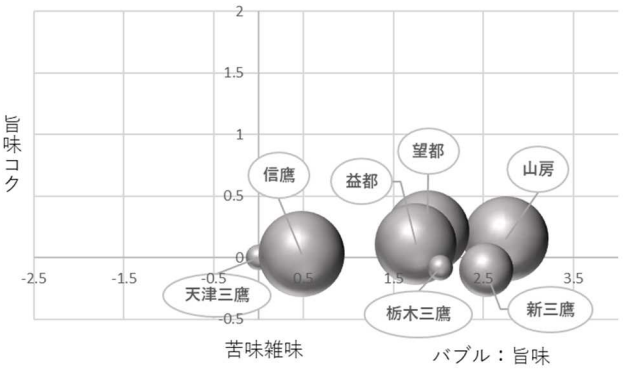


図１　従来焙煎法（中国産 90℃，国産 75℃）での味（苦味雑味・旨味・旨味コク）の比較

表１　従来焙煎法（中国産 90℃，国産 75℃）での味（渋味刺激・塩味・苦味・渋味）の比較

	渋味刺激	塩味	苦味	渋味
天津三鷹	0	0	0	0
益都	-0.18	-0.42	-0.3	-0.21
望都	-0.41	-1.02	-0.57	-0.24
山房	-0.63	-1.24	-0.51	-0.27
信鷹	0.57	0.87	-0.15	0.05
栃木三鷹	-0.14	-1.01	-0.19	-0.05
新三鷹	-0.4	-0.83	-0.26	-0.13

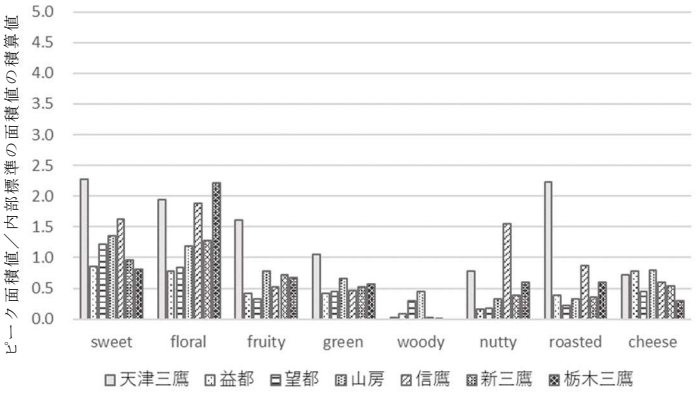


図２　従来焙煎法（中国産 90℃，国産 75℃）での香りの比較

３．１．２　香りの比較

中国産の天津三鷹は sweet，floral，fruity，green，roasted の香りが国産のものと比較して高かった。栃木三鷹は floral の香りが高く，信鷹は nutty の香りが高かった（図２）。

３．２　国産一味トウガラシの最適な焙煎条件の検討

中国産の天津三鷹（90℃焙煎）と国産トウガラシ

（90℃焙煎）の味・香りを分析し，その結果を比較した。さらに，従来法（75℃焙煎）の結果と比較し，品種ごとに最適な焙煎条件を検討した。

３．２．１　味の検討

中国産の天津三鷹と国産の 90℃焙煎粉末を比較すると，国産は旨味・旨味コクが高く，苦味雑味は品種により傾向が異なった（図３）。渋味刺激・塩味・苦味も品種により傾向が異なり，渋味は低い傾向であった（表２）。酸味は検出されなかった。

75℃から 90℃に焙煎温度を上昇させることにより，次のような変化が起こることがわかった(図１,図３)。苦味雑味：全品種で減少，渋味刺激：品種により傾向が異なる（栃木三鷹・益都・山房：増加，新三鷹・望都・信鷹：減少），旨味コク・塩味：全品種で増加，苦味：増加傾向，渋味：変化なし（表１，表２），旨味：品種により傾向が異なる（望都・山房：減少，栃木三鷹・新三鷹：増加，益都・信鷹：変化なし）。

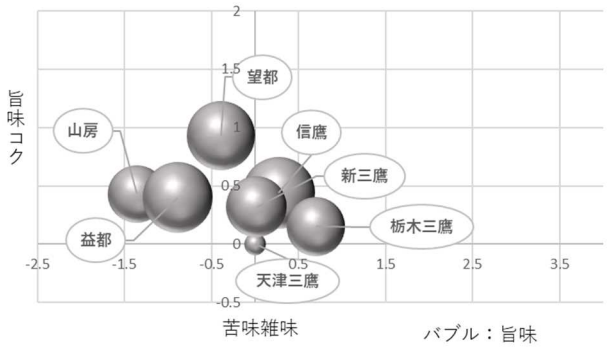


図３　90℃焙煎での味（苦味雑味・旨味・旨味コク）の比較

表２　90℃焙煎での味（渋味刺激・塩味・苦味・渋味）の比較

	渋味刺激	塩味	苦味	渋味
天津三鷹	0	0	0	0
益都	0.07	0.62	-0.34	-0.2
望都	-0.57	-0.36	-0.3	-0.23
山房	-0.45	0.01	-0.44	-0.26
信鷹	0.27	1.39	0.14	0
栃木三鷹	1.17	1.13	-0.19	-0.01
新三鷹	-0.77	0.09	-0.16	-0.12

３．２．２　香りの検討

中国産の天津三鷹と国産の 90℃焙煎粉末を比較した（図４）。sweet，fruity の香りは益都と山房を除き国産品種が高かった。floral，nutty の香りは大型品種が中国産より低く小型品種は高いが，逆に woody の香りは大型品種が高く小型品種は低かった。green の香りは，望都・山房・信鷹が高く，益都・栃木三鷹・新三鷹は低かった。また，roasted の香りは中国産と比べてすべての品種で低く，cheese の香りはすべての品種で高かった。

75℃から 90℃に焙煎温度を上昇させることによる国産トウガラシの香りの変化を図５に示す。全体的に香りが高くなる傾向であり，特に，栃木三鷹・新三鷹では sweet，floral の香りが高くなった。また，大型品種では，小型品種と比較して roasted の香り（ロースト臭）の増加率が高かった（表３）。

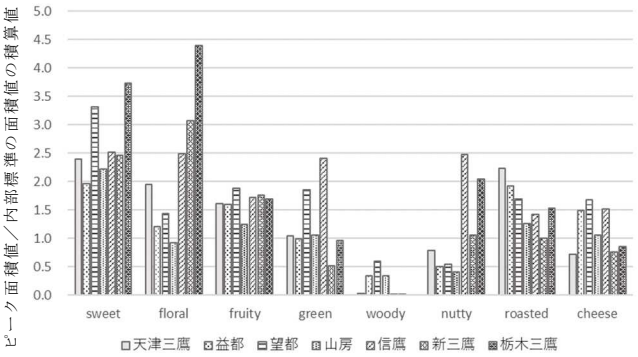


図４　90℃焙煎での香りの比較

表３　各品種のロースト臭増加率

種類	品種	ロースト臭増加率(倍)
大型	益都	４．９
	望都	７．６
	山房	３．９
小型	信鷹	１．６
	新三鷹	２．８
	栃木三鷹	２．５

以上の検討から，最適な焙煎条件は次のように考えられた。大型品種は，焙煎温度上昇により旨味が減少する品種があり，roasted の香りが増加することから，75℃焙煎が最適である。小型品種は，焙煎温度上昇により旨味が強くなり，sweet，floral の香りが増加することから，90℃焙煎が最適である。

３．３　旨味成分（アミノ酸）の把握

２．１で記述した品種について，アミノ酸分析計により旨味に関与していると考えられるグルタミン酸とアスパラギン酸を測定した結果を，それぞれ図６，図７に示す。

中国産の天津三鷹と比較して，国産トウガラシは両成分値ともに高く，旨味センサーによる違いを裏付け

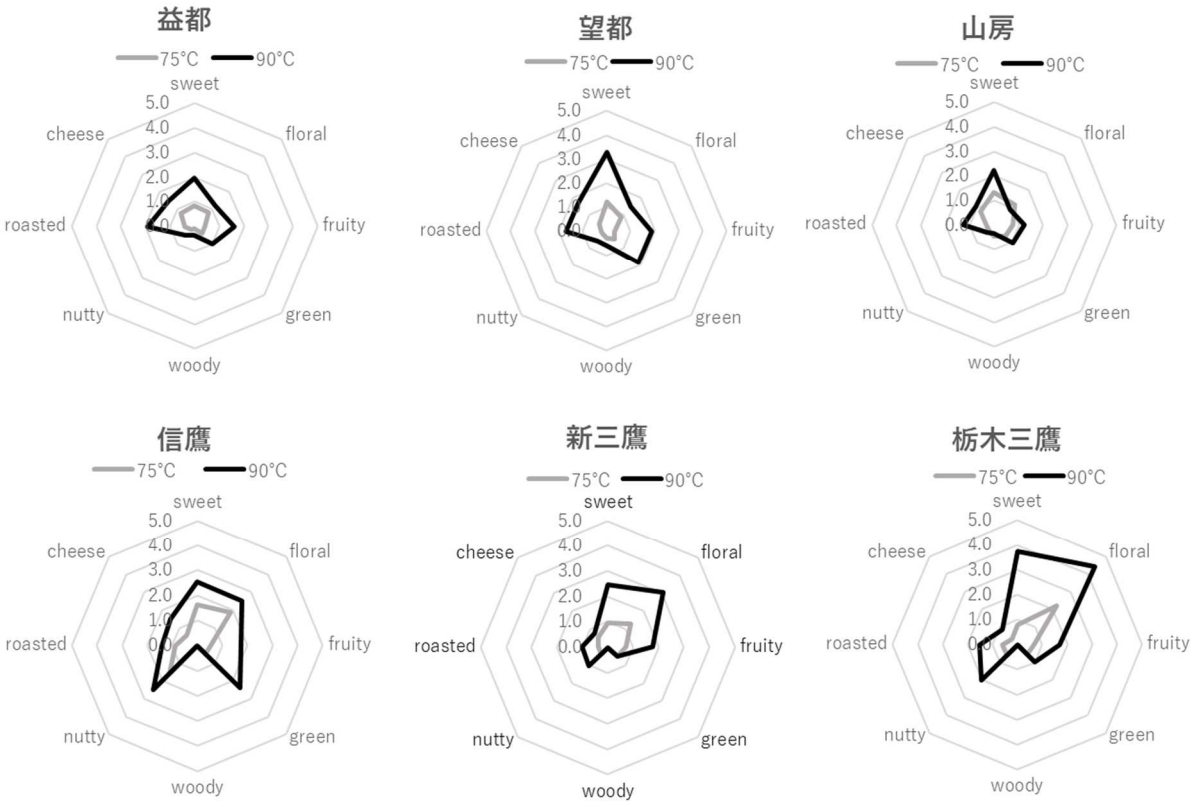


図５　焙煎温度による香りの変化

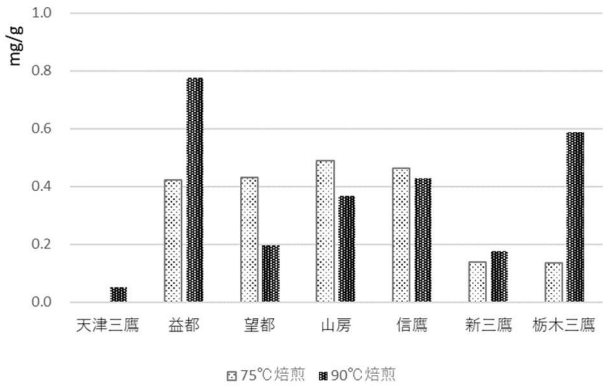


図６　グルタミン酸含有量

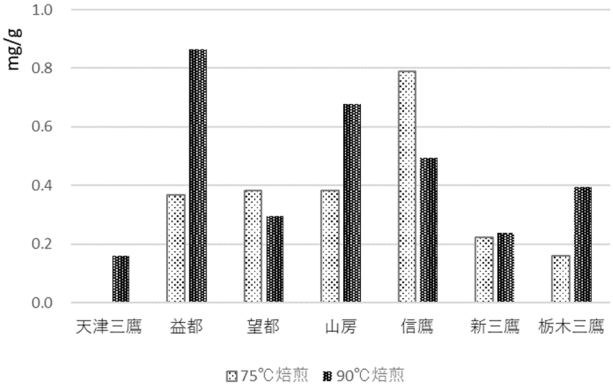


図７　アスパラギン酸含有量

るデータとなった。また，75℃から 90℃に焙煎温度を上昇させることにより，益都・栃木三鷹・新三鷹は両成分値ともに増加し，望都・信鷹は両成分値ともに減少，山房はグルタミン酸が減少しアスパラギン酸が増加した。また，小型品種の分析値は旨味センサーの値と比較的よく関連していたが，大型品種の分析値はあまり関連せず，他の成分が関与している可能性が考えられた。

４　おわりに

国産一味トウガラシの味・香りに最適な焙煎条件を確立するとともに，旨味に寄与するアミノ酸成分について明らかにした。

大型品種か小型品種かにより最適な焙煎条件が異なることが明らかとなり，旨味については，小型品種では旨味を呈するアミノ酸含有量と相関を示した。大型品種の旨味には，アミノ酸以外の成分が関与している可能性が考えられた。

参考文献

1）伊藤和子ら:″栃木県産業技術センター研究報告″，19，19-23，(2022)

受託研究

高濃度セルロース繊維複合樹脂の射出成形における成形条件が外観，物性に及ぼす影響

小林　愛雲*　　渡辺　克人*

Influence of Injection Molding Conditions on Appearance and Mechanical Properties of Cellulose Fiber／Polypropylene Composites

KOBAYASHI Azumi and WATANABE Katsuto

委託者である日本コークス工業(株)がロール機を用いて作製した50 wt% セルロース繊維（CeF）/ポリプロピレン（PP）ペレット（以下CeF/PPペレット）を，射出成形した。CeF/PP成形品は，射出速度が遅いとショートショットとなり，成形できなかった。CeF/PP成形品は全体的に黄変しており，シリンダー温度が高くなると黄褐色化した。また，CeF/PP成形品にはCeF凝集物とみられる白色部が点在しており，この白色部は射出速度が速いほど少なかった。CeF/PP成形品の引張強さ，曲げ強さ，弾性率は，同条件で成形したニートPPよりも高かった。またCeF/PP成形品の引張強さ，曲げ強さは，成形時の射出速度が速く，シリンダー温度が低いほうが，高い傾向があった。

Key words:　セルロース，複合樹脂，射出成形，変色，物性

1　はじめに

プラスチック関連企業では，近年 SDGs を背景に環境に配慮したフィラーの配合等によるプラスチック使用量の削減が求められており，高濃度のフィラーを配合したペレットが注目されている。委託者である日本コークス工業(株)では，植物由来のセルロース繊維（CeF）（幅：数 μm～数十 μm）を高濃度に樹脂に混練したいという問い合わせが増えていることから，二軸オープンロール機「ニーデックス」（以下ロール機）を用いて，CeF を 50 wt%以上配合したポリプロピレン（PP）ペレットを作製した。しかし作製したペレットには，流動性不足によるショートショットや，CeF から発生するガスによると考えられるヤケ等の成形不良や成形品の変色，強度低下が発生する等の課題がある。そこで本研究では，委託者が材料（PP のグレード，相溶化剤の種類等）とロール機による混練条件を検討して作製した高濃度 CeF 複合樹脂ペレットについて，射出成形条件と，成形品の外観，物性の関係を明らかにする。これにより射出成形可能な高濃度 CeF 複合樹脂ペレットの作製を目指す。

2　研究の方法

2．1　高濃度 CeF 複合樹脂ペレットの流れ試験

委託者がロール機を用いて作製した 4 種類の 50 wt% CeF/PP ペレット（以下 CeF/PP ペレット）（原料：CeF，PP（PP1（押出成形グレード），PP2（射出成形一般グレード），PP3（射出成形耐衝撃グレード），PP4（射出成形耐衝撃グレード）），相溶化剤）のメルトマスフローレイト（MFR）は，メルトインデクサ（宝工業(株)製 L-207）を用いて，試験温度 190℃，公称荷重 2.16 kg で測定した（JIS K7210：1999　A 法参考）。

2．2　高濃度 CeF 複合樹脂ペレットの射出成形

CeF/PP ペレットを箱形乾燥機（(株)松井製作所製 PO-50SH-J）で 80 ℃，6 h 予備乾燥した後，射出成形機（日精樹脂工業(株)製 NEX　80Ⅳ-9EG）を用いてシリンダー温度 180，195℃，射出速度（v）1，3，5，10，100 mm/s，金型温度 48℃(固定側ミラープレートの熱電対により計測し調整）で成形した。CeF を含まない PP（以下ニート PP）ペレットについても同様に射出成形した。なお物性評価用試験片（v=10，100 mm/s）成形時の保圧は次のとおりとした。

PP2，CeF/PP2：27 MPa（シリンダー温度 180℃）
　　24 MPa（シリンダー温度 195℃）
PP3，CeF/PP3：37 MPa（180℃），30 MPa（195℃）
PP4，CeF/PP4：43 MPa（180℃），36 MPa（195℃）

2．3　成形品の外観評価

成形品の成形不良の有無を目視により確認した。また CeF/PP 成形品の分光反射率は，分光測色計（コニカミノ

＊　栃木県産業技術センター　県南技術支援センター

ルタセンシング(株)製 CM-2600d）を用いて光源 D65，視野 10°，測定径 8 mm，正反射光除去（SCE）方式で測定した。

２．４　成形品の物性評価

射出成形により得られた成形品をゲートカットして JIS K7139：2009 のダンベル形引張試験片タイプ A1 を作製した。またダンベル形引張試験片の一部を樹脂試験片ノッチ加工機（(株)安田精機製作所製 No.189-PNCA）を用いて加工し，短冊形試験片を作製した。

作製したダンベル形引張試験片の引張強さ，弾性率は，JIS K 7161-1：2014 により万能材料試験機（50 kN）（(株)島津製作所製 AG-50kN-XV（特型））を用いて，試験速度 v_1=0.5 mm/min，v_2=5 mm/min（速度切替位置：ひずみ 0.3%）で測定した。引張弾性率の測定には接触式伸び計（(株)島津製作所製 SSG50-10SH，標線間距離 50 mm）を用いた。短冊形試験片の曲げ強さ，弾性率は JIS K 7171：2016 により万能材料試験機（50 kN）を用いて，支点間距離 64 mm，試験速度 2 mm/min で測定した。曲げ弾性率の測定にはたわみ測定装置（(株)島津製作所製 3 点曲げ試験用たわみ測定装置）を用いた。

２．５　成形品の走査型電子顕微鏡観察

成形品の表面，引張破断面を金（Au）蒸着後，走査型電子顕微鏡：SEM（日本電子(株)製 JSM-IT200LA）を用いて加速電圧 5 kV で観察した。

３　結果及び考察

３．１　高濃度 CeF 複合樹脂ペレットの流れ試験

JIS K6921-2：2018 では PP の MFR は試験温度 230℃，公称荷重 2.16 kg で求めると記載されている。しかし，セルロースの熱分解反応は 200℃以下でも進行することが知られており[1]，また成形温度付近における MFR を求めるため，今回は試験温度を 190℃とした。ニート PP，CeF/PP ペレットの MFR を表１に示す。一般的に MFR≧1 であれば射出成形可能とされるが，同様の CeF/PP ペレットで MFR=0.6 のペレットを成形した経験があることから，今回は MFR≧0.6 の CeF/PP2，CeF/PP3，CeF/PP4 ペレットと各ニート PP ペレットについて，射出成形を行った。

３．２　高濃度 CeF 複合樹脂成形品の外観評価

ニート PP，CeF/PP ペレット（PP2，PP3，PP4）をそれぞれシリンダー温度と，射出速度（v [mm/s]）を変えて射出成形し，ペレットの成形可否と成形品の外観を評価した。

CeF/PP2 ペレットと成形品（シリンダー温度 195℃）の外観を図１に，各ペレットの成形可否を表２に示す。ニート PP は，すべて低射出速度でボイドやシワ等の外観不良が見られたが，今回検討したすべての条件において成形可能であった。一方，すべての CeF/PP は射出速度が遅いと，ショートショットとなり成形できなかった。これは CeF/PP の MFR がニート PP よりも小さいためと考えられる。また CeF/PP4 においては，シリンダー温度 195℃の時は v=3 mm/s で成形できたが，シリンダー温度 180℃の時は成形できなかった。これは，シリンダ

表１　ニート PP，CeF/PP ペレットの MFR（試験温度 190℃，公称荷重 2.16 kg）

名称	MFR [g/10min]	
	ニートPP	CeF/PP
PP1	0.2	0.04 *)
PP2	8.3	4.7
PP3	34.1	1.3
PP4	49.4	0.6

*) 切取り片の秤量の最大値と最小値の差が平均の15%超

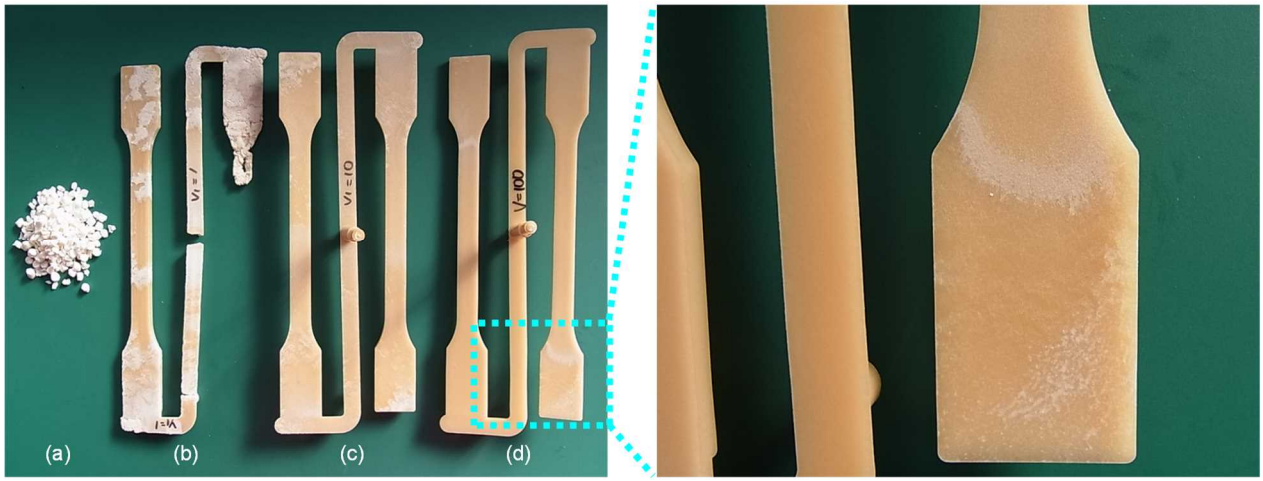


図１　CeF/PP2 ペレットと成形品（シリンダー温度 195℃）の外観
(a)ペレット，(b)v=1 mm/s，(c)v=10 mm/s，(d)v=100 mm/s

表２　ニート PP，CeF/PP ペレットの成形条件と成形可否

	シリンダー温度 [℃]	射出速度:v [mm/s]				
		1	3	5	10	100
ニートPP2	180	ボイド	○	○	○	○
	195	ボイド	○	○	○	○
CeF/PP2	180	—	×	○	○	○
	195	×	—	○	○	○
ニートPP3	180	—	シワ	シワ	○	○
	195	シワ	○	○	○	○
CeF/PP3	180	—	×	○	○	○
	195	×	—	○	○	○
ニートPP4	180	—	シワ	○	○	○
	195	シワ	○	○	○	○
CeF/PP4	180	—	×	○	○	○
	195	×	○	○	○	○

○:成形不良なし　×:成形不可（ショートショット）

一温度が低いほど樹脂の温度が低く，粘度が高いためと考えられる。

なお，図は示していないが，検討したすべての条件において，ニート PP 成形品はペレット同様白色であるのに対し，CeF/PP 成形品は黄変した。しかし，CeF/PP 成形品は一様に黄変せず，一部白色部が点在しており，この白色部は射出速度が速いほど少ない傾向があった。さらに v=100 mm/s の成形品において，白色部は，平行部からタブに樹脂が流れる部分と，流動末端に見られる傾向があった（図１(d)）。この 2 点について，以下詳細に調査した。

３．２．１　CeF/PP 成形品の黄変

図２にシリンダー温度 180，195℃，v=10，100 mm/s で成形した CeF/PP 成形品の分光反射率を示す。なお，目視に近い評価をするため，測定は SCE 方式で行った。シリンダー温度が高いほど，a^*値（値が正に大きいほど赤色が強い）及び b^*値（値が正に大きいほど黄色が強い）は上昇する傾向があり，成形品がより黄褐色化していることが分かった。また CeF/PP3 と CeF/PP4 は射出速度が速いほど明暗を示す L^*値が低下しており，暗色化していることが分かった。これは射出速度が速いほど，CeF/PP にかかるせん断熱が大きくなったためと考えられる。

CeF/PP の黄変原因を探るため，CeF/PP4 ペレット，CeF，ニート PP4 ペレット，相溶化剤 4 mg をそれぞれ示差熱分析装置（(株)日立ハイテクサイエンス製 TG/DTA7200）を用いて乾燥空気雰囲気中 195℃，30 min 加熱した（温度プログラム：初期温度 35℃，到達温度 195℃，30 min 保持（昇温速度 100℃/min））。その結果，CeF/PP4 ペレットと CeF は黄変したのに対し，ニート PP4 ペレットと相溶化剤は，明らかな変色は見られなかった（図３）。また図は示していないが，窒素雰囲気中同条件で加熱した際にも同様の傾向が見られた。このことから，CeF/PP 成形品の黄変は，熱による CeF の変色が原因と考えられる。なお，セルロースは無彩色だが，加熱により変性し共役二重結合が生成すると変色することが報告されている[2)]。また，CeF を加熱すると CeF の表面は黄変するが，内部は元の色（白色）に近いことから，内部は空気により断熱され，変色しにくいと考えられる。

３．２．２　CeF/PP 成形品の白色部

CeF/PP2 成形品（シリンダー温度 180℃，v=10 mm/s）表面の SEM 像を図４に示す。白色部は配向していない繊維が多数見られることから，CeF 凝集物と考えられる。なお CeF 凝集物は空気を含むため，成形時の熱で変色しにくく，白く見えていると考えられる。また図は示していないが CeF/PP ペレットを 180℃，195℃で圧縮成形して得られた板には，同様の白色部（CeF 凝集物）は見られなかった。このことから，射出成形の計量時（スクリュー回転時）に CeF が凝集したと推測される。また，射出速度が速いと，白色部分が少なくなったことから，せん断力によって CeF が再分散したと推察される。なお，今回検討した射出成形条件において，PP は溶融するが，CeF は溶融しないため流動性がなく，CeF/PP ペレットを射出成形すると，CeF は PP の流れに乗って，金型内に充填される。CeF/PP は射出速度が遅いと，ショートショットとなり成形できなかったことから（表２），CeF は PP の流れがある速度以上でないと，流れに乗れないと考え

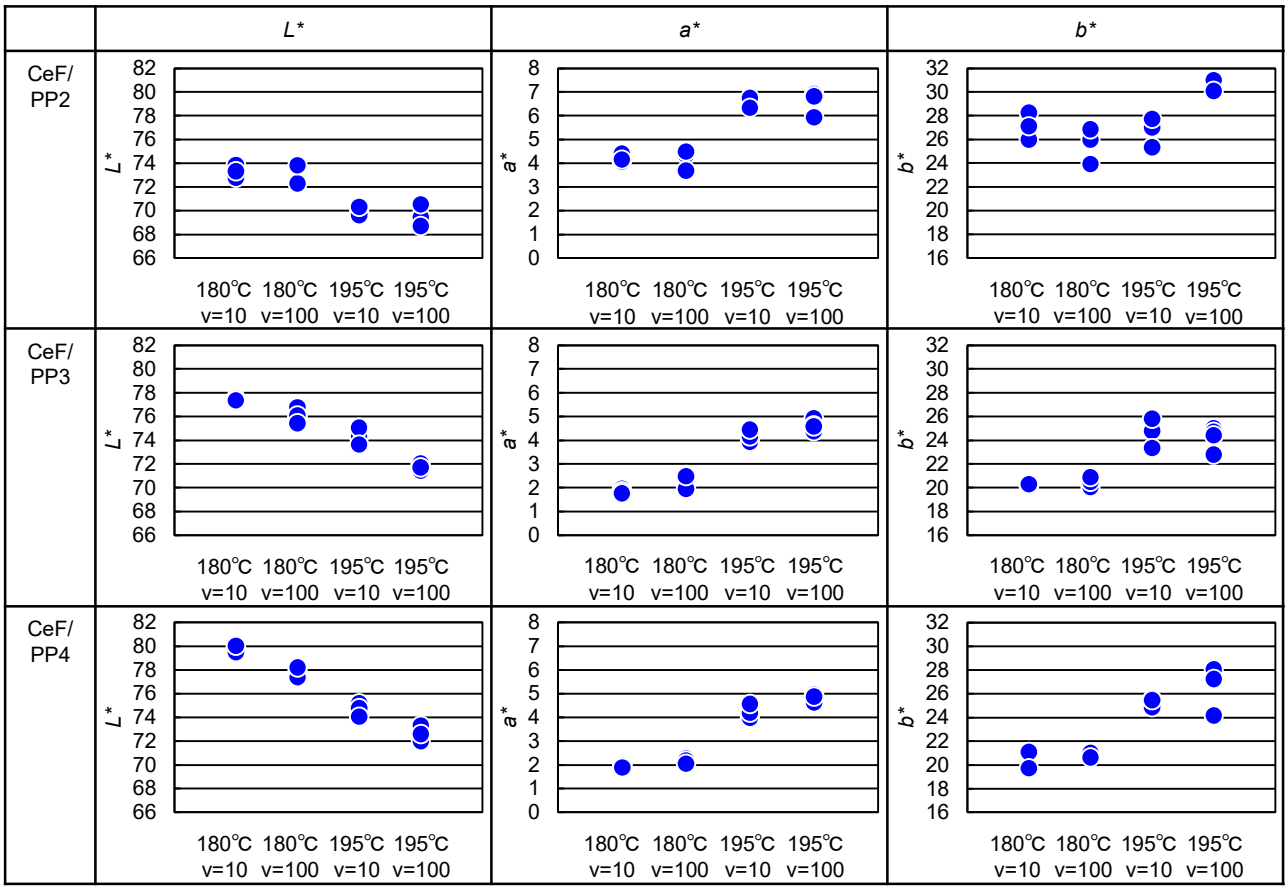


図２　CeF/PP 成形品の分光反射率（SCE）

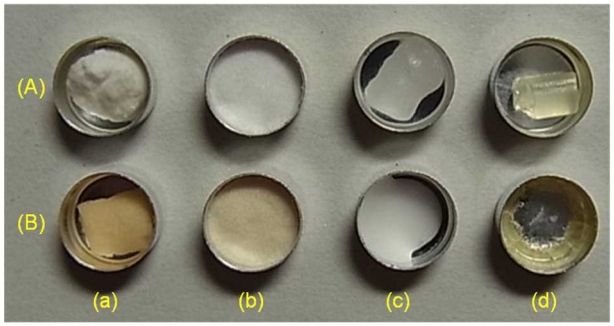


図３　加熱前後の CeF/PP4 ペレットとその原料
(A)未加熱，(B)195℃，30 min 加熱（乾燥空気），(a)CeF/PP4 ペレット，(b)CeF，(c)ニート PP4 ペレット，(d)相溶化剤

られる。v=100 mm/s において，CeF 凝集物が，平行部からタブに樹脂が流れた部分と流動末端に見られるのは（図１(d)），これらの部分で PP の流れが相対的に遅くなり，流れに乗れなくなった CeF が詰まりやすくなるためと考えられる。

３．３　高濃度 CeF 複合樹脂成形品の物性評価

ニート PP ペレットと CeF/PP ペレット（PP2，PP3，PP4）をそれぞれシリンダー温度 180，195℃，v=10，100 mm/s で射出成形して得られた成形品の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率を測定した。なおニート PP ペレットと CeF/PP ペレットでは，最適な保圧は異なると考えられるが，今回は比較のため，ニート PP2 と CeF/PP2，ニート PP3 と CeF/PP3，ニート PP4 と CeF/PP4 はそれぞれ同じ条件で成形している。

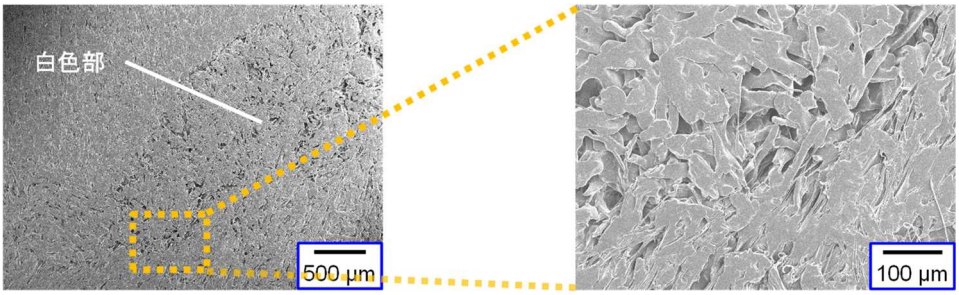
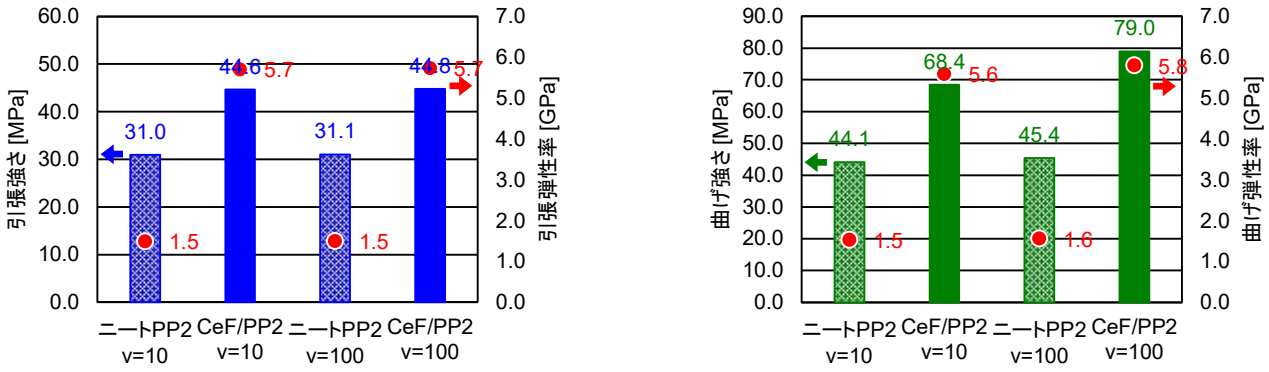
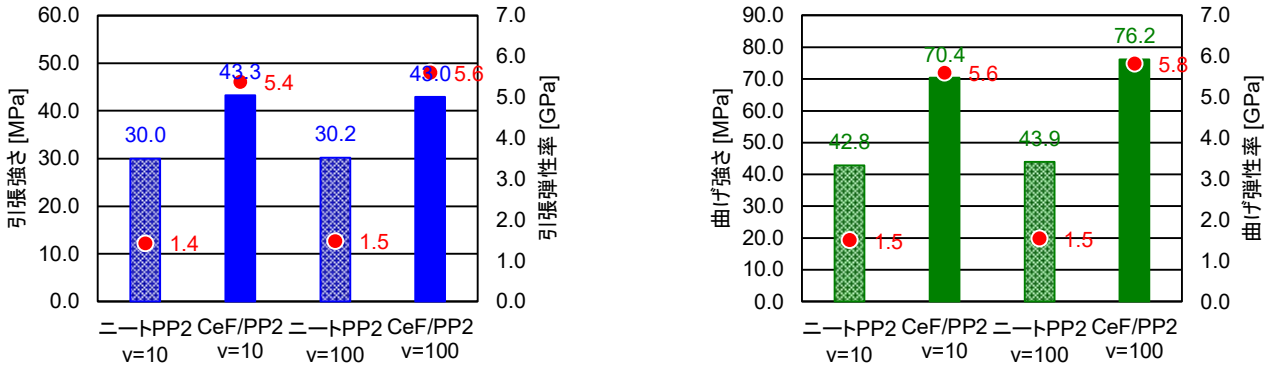


図４　CeF/PP2 成形品（シリンダー温度 180℃，v=10 mm/s）表面の SEM 像



（a）シリンダー温度 180℃



（b）シリンダー温度 195℃

図５　CeF/PP2 成形品の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率

３．３．１　CeF/PP2 成形品の物性評価

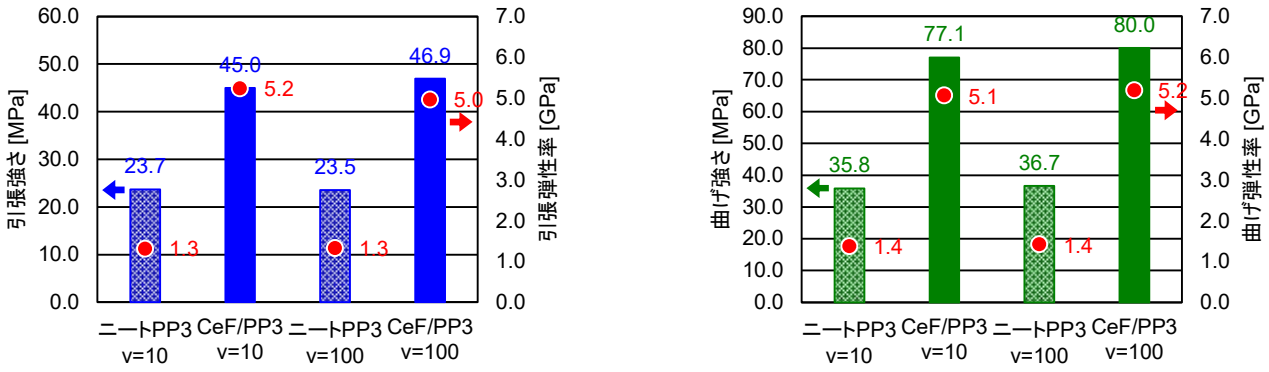
シリンダー温度 180℃で成形したニート PP2，CeF/PP2 成形品の引張試験，曲げ試験結果を図５(a)に，シリンダー温度 195℃で成形した成形品の結果を図５(b)に示す。シリンダー温度 180℃で成形した CeF/PP2 の引張強さは，射出速度を変えても変わらなかった。一方，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。また 180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは，同条件で成形したニート PP2 の曲げ強さの平均値の 1.71～1.78 倍であり，v=10 mm/s の 1.47～1.63 倍より高かった。これは，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 は，v=10 mm/s と比較して，表面の CeF が配向しているためと推察される。

シリンダー温度 195℃で成形した CeF/PP2 の引張強さは，180℃の時と同様，射出速度を変えても変わらなかった。また 180℃の時と同様，195℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。

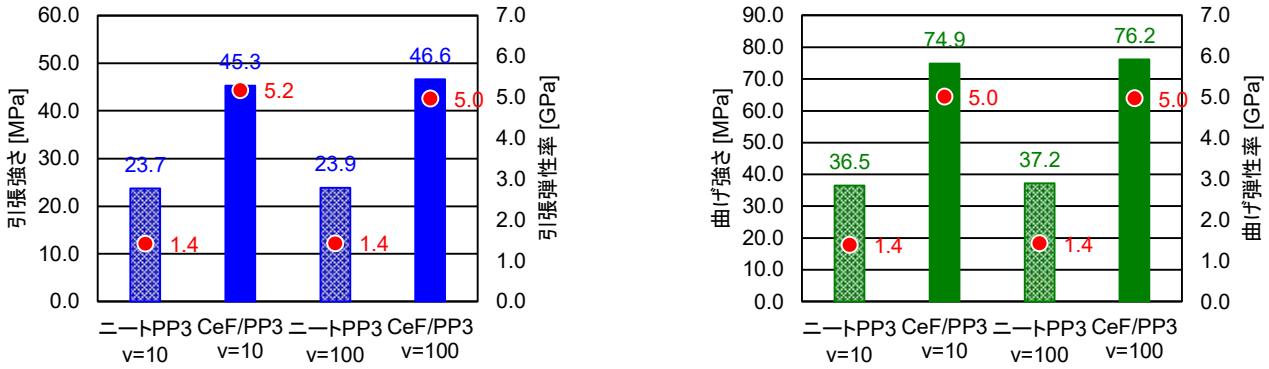
シリンダー温度の違いに着目すると，180℃，v=10 mm/s で成形した CeF/PP2 の引張強さは，195℃，v=10 mm/s で成形したものよりも高く，v=100 mm/s で成形したものについても同様であった。しかし，180℃，v=10 mm/s，100 mm/s で成形した CeF/PP2 の引張強さは，それぞれ同条件で成形したニート PP2 の 1.4 倍であり，195℃で成形した時と変わらなかった。このことから，シリンダー温度が低い時に CeF/PP2 の引張強さが高いのは，CeF の配向が原因ではないと考えられる。また，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは，195℃，v=100 mm/s で成形したものよりも高い。しかし，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは，同条件で成形したニート PP2 の 1.7 倍であり，195℃，v=100 mm/s で成形した時と変わらなかった。なお，今回検討したすべての条件において，CeF/PP2 の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率はニート PP2 より高くなった。

３．３．２　CeF/PP3 成形品の物性評価

シリンダー温度 180℃で成形したニート PP3，CeF/PP3 成形品の引張試験，曲げ試験結果を図６(a)に，シリンダー温度 195℃で成形した成形品の結果を図６(b)に示す。シリンダー温度 180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の引張強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。また，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の引張強さは，同条件で成形したニート PP3 の 1.97～2.03 倍であり，v=10 mm/s の 1.87～1.93 倍より高かった。これは，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 は，v=10 mm/s と比較して，CeF が配向しているためと推察される。また 180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。しかし 180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強



（a）シリンダー温度 180℃



（b）シリンダー温度 195℃

図 6　CeF/PP3 成形品の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率

さは，同条件で成形したニート PP3 の 2.2 倍であり，v=10 mm/s で成形した時と変わらなかった。以上のことから，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 は，v=10 mm/s と比較して，CeF が配向しているものの，表面の CeF の配向については v=100 mm/s 成形品と v=10 mm/s 成形品で大差ないと考えられる。

シリンダー温度 195℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の引張強さは，180℃の時と同様，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。一方，195℃で成形した CeF/PP3 の曲げ強さは，射出速度を変えても変わらなかった。

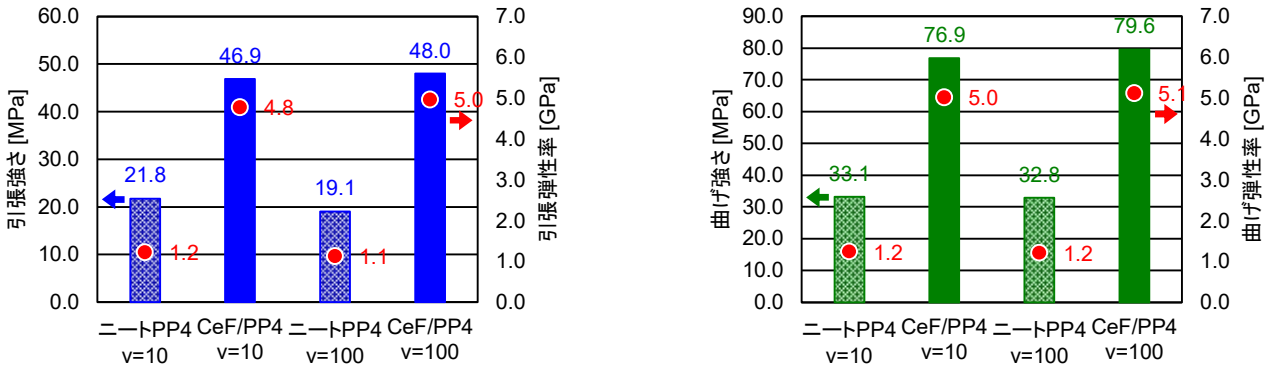
シリンダー温度の違いに着目すると，CeF/PP3 の引張強さは温度を変えても変わらなかった。一方，180℃，v=10 mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強さは，195℃，v=10 mm/s で成形したものよりも高く，v=100 mm/s で成形したものについても同様であった。また，180℃，v=10 mm/s，100 mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強さは，それぞれ同条件で成形したニート PP3 の 2.13～2.20 倍であり，195℃の 2.00～2.11 倍より高かった。このことから，180℃で成形した CeF/PP3 は，195℃と比較して，表面の CeF が配向していると推察される。なお，今回検討したすべての条件において，CeF/PP3 の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率はニート PP3 より高くなった。

3．3．3　CeF/PP4 成形品の物性評価

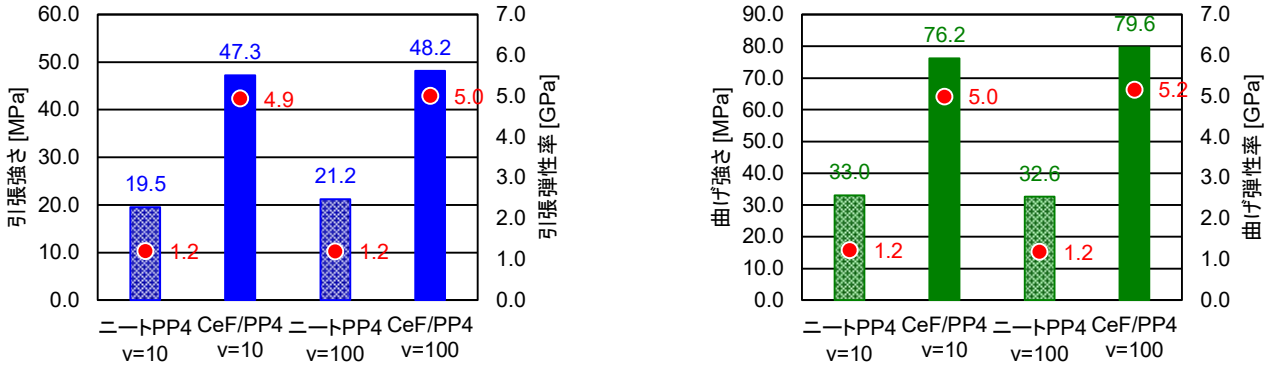
シリンダー温度 180℃で成形したニート PP4，CeF/PP4 成形品の引張試験，曲げ試験結果を図 7（a）に，シリンダー温度 195℃で成形した成形品の結果を図 7（b）に示す。シリンダー温度 180℃で成形した CeF/PP4 の引張強さは，射出速度を変えても変わらなかった。一方，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 の曲げ強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。また v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 の曲げ強さは，同条件で成形したニート PP4 の 2.42～2.43 倍であり，v=10 mm/s の 2.28～2.34 倍より高かった。これは，180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 は，v=10 mm/s と比較して，表面の CeF が配向しているためと推察される。

シリンダー温度 195℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 の引張強さ，曲げ強さは，v=10 mm/s で成形したものよりも高かった。また 195℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 の曲げ強さは，同条件で成形したニート PP4 の 2.44～2.45 倍であり，v=10 mm/s の 2.22～2.35 倍より高かった。このことから，180℃の時と同様，195℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 は，v=10 mm/s と比較して，表面の CeF が配向していると考えられる。

なお，CeF/PP4 の引張強さ，曲げ強さは，シリンダー温度を変えても変わらなかった。また PP2，PP3 と同様，今回検討したすべての条件において，CeF/PP4 の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率はニート PP4 より高くなった。



（a） シリンダー温度 180℃



（b） シリンダー温度 195℃

図 7　CeF/PP4 成形品の引張強さ，引張弾性率，曲げ強さ，曲げ弾性率

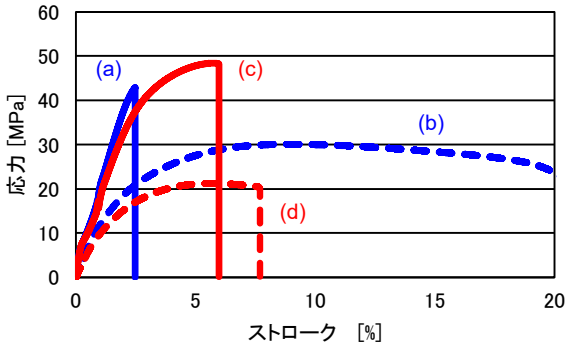


図 8　ニート PP，CeF/PP 成形品（シリンダー温度 195℃，v=100 mm/s）の応力－ひずみ曲線
(a)CeF/PP2（b） ニート PP2，(c)CeF/PP4，(d)ニート PP4

以上のことから，PP2，PP3，PP4 のいずれにおいても，射出速度が速いほど，またシリンダー温度が低いほど，CeF/PP の引張強さ，曲げ強さは高くなる傾向があるといえる。

ここで CeF/PP2 成形品と CeF/PP4 成形品（引張強さ：CeF/PP2＜CeF/PP4）の引張挙動を比較するため，シリンダー温度 195℃，v=100 mm/s で成形したニート PP2，CeF/PP2，ニート PP4，CeF/PP4 成形品の代表的な応力－ひずみ曲線を図 8 に示す。CeF/PP2 成形品は，ニート PP2 成形品と比べて著しく伸びが低下しており，また降伏せずに破断している。一方，CeF/PP4 成形品は降伏後に破断しており，また CeF/PP2 成形品よりも伸びていることが分かる。前述と同条件で成形した CeF/PP2 成形品の引張破断面の SEM 像を図 9 (a)に，CeF/PP4 成形品の引張

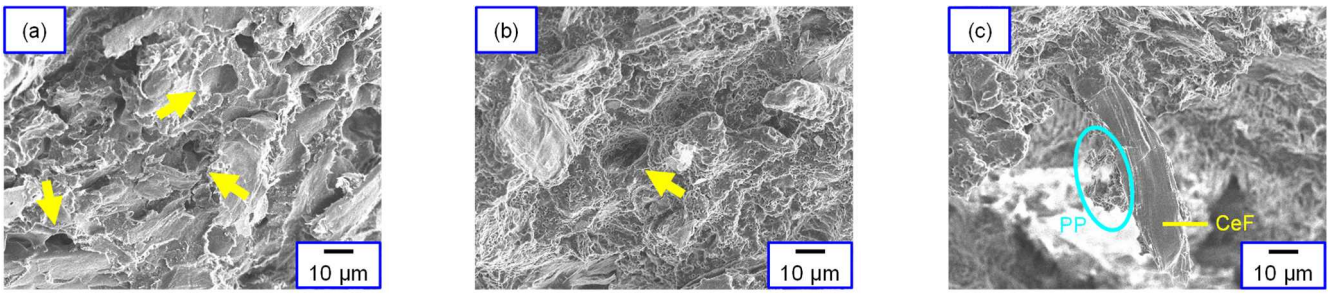


図 9　CeF/PP 成形品（シリンダー温度 195℃，v=100 mm/s）の引張破断面の SEM 像
(a)CeF/PP2，(b)，（c） CeF/PP4

破断面の SEM 像を図９(b)，(c)に示す。CeF/PP2 成形品と CeF/PP4 成形品のいずれにおいても，引張破断面には CeF が抜けてできたとみられる孔（図９(a)，(b)の矢印部）が観察された。また抜けた CeF の一部に PP が付着している様子が見られ（図９(c)），特に CeF/PP4 成形品で多く見られた。さらに，CeF/PP4 成形品の引張破断面には，直径１ μm 程度の孔が多数見られた。図は示していないが，同様の孔はニート PP4 成形品の引張破断面にも見られ，また PP4 はエチレンを 6 wt%含むことから，この孔は PP4 に海島構造のように含まれるポリエチレン（PE）相（島構造）が PP 相（海構造）とともに引き伸ばされ，抜けてできたものと考えられる（PP2 のエチレン含有率は 0 wt%）。以上のことから，成形品を引っ張ると，CeF/PP2 では CeF の引き抜けが瞬間的に起こるのに対し，CeF/PP4 では PE が粘り，CeF の引き抜けが段階的に起こると考えられる。なお，図は示していないが，CeF/PP4 同様，CeF/PP3 は降伏後に破断しており（伸び（引張破断呼びひずみ）:CeF/PP2＜CeF/PP3≦CeF/PP4），またその引張破断面には CeF が抜けてできたとみられる孔と直径１ μm 程度の孔が観察された。

４　おわりに

委託者である日本コークス工業(株)がロール機を用いて作製した 4 種類の 50 wt% CeF/PP ペレット（以下 CeF/PP ペレット）（PP1，PP2，PP3，PP4）について，MFR を測定した。MFR が 0.6 以上の CeF/PP2,CeF/PP3,CeF/PP4 と各ニート PP について射出成形を行い，外観，物性を評価し，次の知見を得た。

(1) CeF/PP 成形品（PP2，PP3，PP4）は，射出速度が遅いとショートショットとなり，成形できなかった。CeF/PP 成形品は全体的に黄変しており，シリンダー温度が高くなると黄褐色化した。また,CeF/PP 成形品には CeF 凝集物とみられる白色部が点在しており，この白色部は射出速度が速いほど少なかった。

(2) CeF/PP 成形品（PP2，PP3，PP4）の引張強さ，曲げ強さ，弾性率は，同条件で成形したニート PP よりも高かった。

(3) CeF/PP 成形品（PP2，PP3，PP4）の引張強さ，曲げ強さは，成形時の射出速度が速く（v=100 mm/s），シリンダー温度が低い（180℃）ほうが，高い傾向があった。

(4) CeF による PP の補強効果は，PP4 が最も高く，シリンダー温度 180℃，v=100 mm/s で成形した CeF/PP4 の引張強さは同条件で成形したニート PP4 の 2.5 倍，曲げ強さは 2.4 倍であった。

謝　辞

本事業で用いた測定機の一部は公益財団法人 JKA の補助事業によるものであり，競輪マークを記して謝意を表する。

参考文献

1) 河本春雄：″木材学会誌″，61（1），1-24，(2015)
2) 哈斯，井上晴洋，木村照夫：″繊維学会誌″，70（5），89-95，(2014)

KEIRIN

本研究は,公益財団法人 JKA 補助事業により整備した機器を活用して実施しました。

Ⅳ 重点研究

Selected Research

重点研究

製造業における MR（複合現実）の有効性検証アプリケーションの開発

松本　健司*　　島田　智*

Development of MixedReality Effectiveness Verification Application in Manufacturing

Matsumoto Kenji and SHIMADA Satoshi

5 軸マシニングセンタによる切削加工作業を対象に，作業工程指示や作業記録等の機能を持った MR アプリケーションを開発した。作業工程指示では，着用者の手による直感的な操作や空間情報，設計時の 3D モデル活用など MR の特徴を活かした機能を開発し，経験の浅い作業者でも一連の作業が完了できることを確認した。作業記録では，作業者視点の記録や進捗管理の機能を開発し，作業改善に有用と考えられるデータを取得することが出来た。

Key words:　XR，DX，作業支援，スマートグラス，　ウェアラブルデバイス

１ はじめに

DX（デジタルトランスフォーメーション）推進に活用できるデバイスとしてスマートグラスが注目されており，それに関連して MR（複合現実）機能を有する MR グラス端末が多くの分野で導入を検討されている。MR とは現実とデジタルデータが混ざり合った領域を指す概念である [1]。MR 活用により，DX 推進の選択肢が増え，製造業の抱える各種課題の解決が期待されている。しかし,MR は新しい技術分野であるため対応デバイスの流通が少なく，人材も不足しているため，特に中小企業では有益性の判断が難しい。

当センターでは令和3年度にスマートグラスを活用した作業支援に関する研究 [2]を実施しているが，現場利用においては操作性に課題を感じており，より直感的な操作が可能な技術の必要性を感じている。

そこで本研究では，製造業の機械加工業務を想定した MR グラスのアプリケーションの開発に取り組む。アプリケーション開発に取り組むことで,MR 対応デバイスに標準で準備されているアプリケーション等の紹介のみならず，各企業課題解決に向け，活用シーンに合わせた支援も可能になると考える。

２ 研究の方法

２．１ 使用機器（MR デバイス）

本研究では，Microsoft 製 HoloLens2[3]（図１，図２）を使用した。当機種はヘッドマウントディスプレー型であり，ディスプレイ越しに視界が確保されるシースルータイプである。音声コマンド認識，ハンドトラッキング機能，アイトラッキング機能，空間マッピング機能を有し，広い視野角が確認されている。デジタルコンテンツ（以下，ホログラム）を空間上に配置し，直感的なユーザインタフェイスを構成できる。配置されたホログラムはハンドトラッキング機能により，自然な感覚で触る，掴む，動かすことが可能である（図３）。

図１　HoloLens2

図２　HoloLense2 着用時

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

図３　着用者視点イメージ

２．２ 開発内容

２．２．１ 想定対象

本研究では，５軸マシニングセンタ（図４）による部品加工での利用を想定した。また，アプリケーション開発に専念するため，既に手順及び加工関連のデータが確立している部品の加工（図５）をテストに用いて開発を進めた。

本研究の開発アプリケーションは，従来，紙で出力していた作業指示をホログラムに置き換えることを主目的とし，併せて作業記録の機能も有する（図６）。

図４　DMG 森精機　DMF180

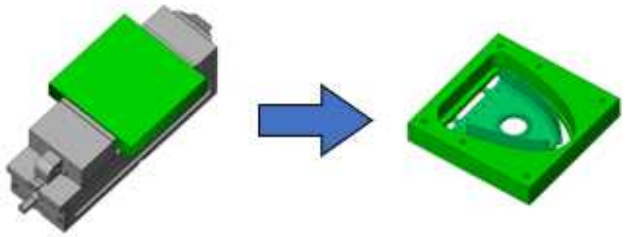


図５　加工概要

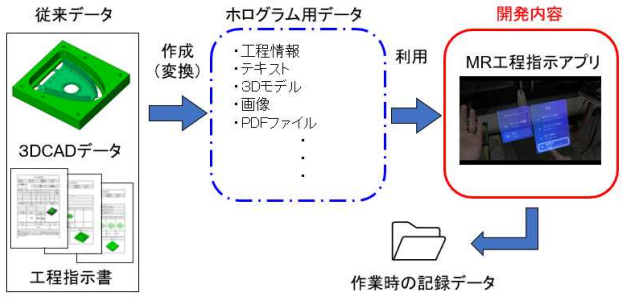


図６　想定作業向けアプリ開発概要

２．２．２ 設計

ホログラムによる作業指示及び作業時のデータ記録の機能を有するアプリケーションを設計した（図７）。

開発ツールには，Microsoft 社が主導するオープンソースプロジェクトである MRTK3[4]（図８）を用いた。MRTK3 では空間操作機能やユーザインタフェイス構成部品が提供されており，適切に利用することで MR アプリケーションを構築することができる。なお，本開発ツールは本研究の実施年度においてパブリックプレビュー版のみ提供されている。

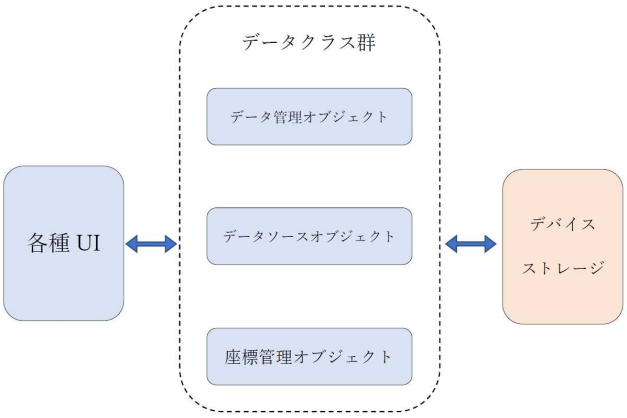


図７　アプリケーション設計概要

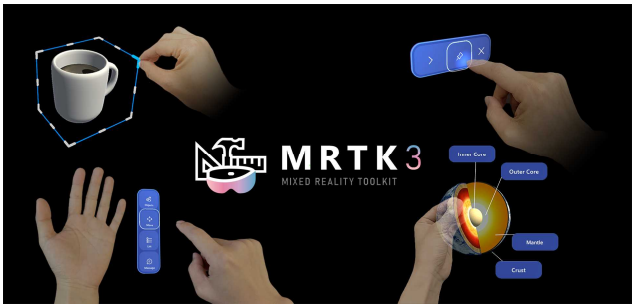


図８　MRTK3

３ 結果及び考察

３．１ ホログラムによる作業指示

３．１．１　事前準備が必要なデータ

本アプリケーションでは，作業指示に関して，最低でも２種類のデータを必要と定めた。ひとつは作業者に

割り振られた作業(オーダー)情報が記載されている CSV ファイル，もうひとつは作業指示内容（マニュアル）を構造化した JSON ファイルである。

CSV ファイルには，グラス着用者が現在取り組むべき作業を列挙する（表１）。JSON ファイルには，作業毎に事前に定めた作業指示事項を記載する（表２）。

本アプリケーションは，これらのファイルより取得した情報を基に，作業指示ホログラムを構築する。

表１　オーダーCSV ファイル詳細

ヘッダ	ID	NAME	Manual
詳細	管理番号	作業名	参照先フォルダパス

表２　マニュアル JSON ファイル詳細

大項目	中項目	小項目	詳細
Name			マニュアル名
Pdf			PDFファイル情報
Complete			加工完了
Data[ ]	Title		作業概要
	Landmark		表示空間情報
	Text		作業説明
	Image		説明用画像情報
	Video		説明用動画情報
	Obj		３Dモデル情報
	Request Confirm	Photo	撮影記録指示
		CheckList[ ]	チェックリスト

３．１．２ ユーザインタフェイス

ホログラムは，ウィンドウなどのインタフェイス構成部品を用いて表現され，現実空間上に重ねて表示される。HoloLens2 は着用者の手などの認識が可能なため，空間上のボタンを指で押すなど，直感的な操作が可能である。本アプリケーションは，表示内容に応じてレイアウトを自動調整し，空間上に表示する（図９）。

図９　作業指示ホログラム表示

３．１．３ 設計時の 3D モデル活用

HoloLens2 では,設計ソフトから出力した 3D モデルをホログラムとして表示することも出来る（図 10）。なお，3D モデルは中間ファイルから GLB 形式ファイルに変換している。本研究では，オープンソースソフトウェアの Blender[5]を用いて，3D モデルを変換した。

治具，加工対象ワーク，加工エリア，工具突入位置などを 3D モデルで視覚化することにより，効率よく干渉チェックや工具軌跡確認を実施できることが確認できた。

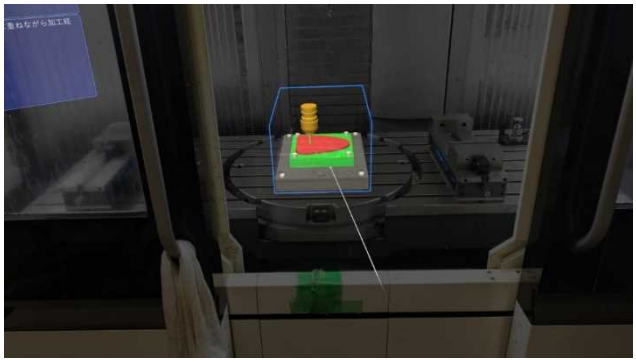


図 10　3D モデルの活用

３．１．４ 移動を伴う作業のナビゲーション

各作業に作業エリアを設定することができ，事前に登録した座標情報を基にナビゲーションが表示される（図 11）。ナビゲーションには，矢印アニメーションを作成し，使用した。座標情報は実空間上で作成する。本アプリケーションでは座標登録機能も実装した（図 12）。

図 11　作業エリアへのナビゲーション

図 12　座標登録機能

３．２ アプリケーションによる作業記録

３．２．１ 記録されるデータ

本アプリケーションでは，大きく分けて 2 種類のデータを保存する。ひとつは作業毎に作成される作業記録データ，もうひとつは作業日毎に作成されるアプリケーション動作状況のログデータである。

作業記録データには，マニュアル JSON ファイル詳細（表 2)に完了フラグを追加した JSON ファイル及び作業時に撮影した画像データが含まれる。

３．２．２ 作業者視点写真による記録

マニュアル JSON ファイルは作成時に，作業毎に撮影を求めるよう設定することができる。撮影を求める設定をした作業については，撮影を行わないと次の作業に進めないようになっている（図 13）。撮影では，着用者視点画像が保存され，保存された画像データは即時手元で確認できる。本研究においては，加工品の取付け状況や，加工終了後の加工品確認などで撮影を要する設定とし，記録画像を基に作業が適切に実施されたか確認することができた。

図 13　撮影を要する作業時の着用者視点

３．２．３ 時系列ログデータ

作業日毎に作成されるログには，作業毎の開始・終了時刻，作業工程進捗，システムメッセージなどが記録される（表３）。本ログデータを解析することで，着用者の作業状況を知ることができる。

本アプリケーションを使用し，加工経験がある職員と経験がない職員のそれぞれが同じ段取り作業を実施した。ログデータは CSV 形式であるため，容易にグラフにすることが出来る（図 14）。

表３　日別ログデータ詳細

項目名	time	type	order	manual	step	info
詳細	時刻情報	ログの種類	作業名	使用ﾏﾆｭｱﾙ	進捗	ログ詳細

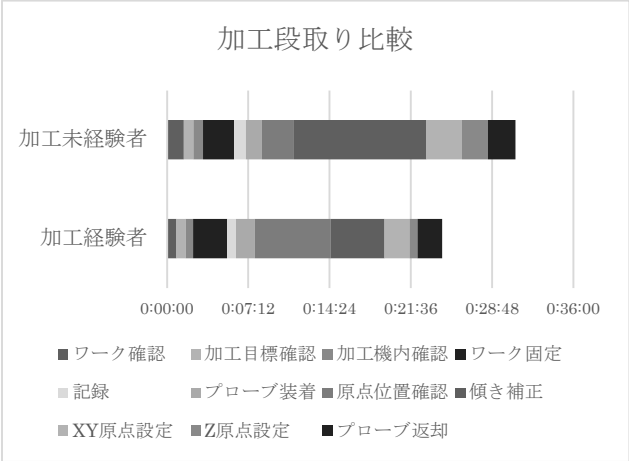


図 14　ログデータを基にした作業時間比較

４ おわりに

開発したアプリケーションを利用し，作業未経験者でも問題なく加工を実施することができた。また，作業ログを残すことで，報告書作成の自動化の他，作業指示が適切であったか，作業者のスキルは十分であったか等の指標になり得るデータを得ることができ，作業改善につなげられることが確認できた。

今後は，開発したアプリケーションの改良を行いながら，県内企業へ利用事例として情報発信していき，利活用に関する相談に活用していく。

参考文献

1) Milgram.P. and Fumio.K,
″A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displayes″, IEICE Trans. Inf. & Sys., D 77 (12), 1321-1329, 1994

2) 松本 健司:″スマートグラスを用いた作業支援検証に関する研究″, 栃木県産業技術センター研究報告, pp.57-61,(2022)

3) ″HoloLens2″, https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens

4) ″MRTK3″,https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk3-overview/

5) ″Blender″, https://www.blender.org/

V 経常研究

Ordinary Research

経常研究

固定砥粒加工における目づまり抑制技術の開発

小池　宏侑*　　近藤　弘康*　　山下　健介*

Development of Technology to Prevent Loading
in Fixed Abrasive Machining Process

KOIKE Hiroyuki, KONDO Hiroyasu and YAMASHITA Kensuke

近年，ファインバブル（以下，FB）を用いた研削加工が注目されており，ステンレスの研削加工においてFBが目づまり抑制に寄与することが報告されている。そこで本研究では，光学レンズ加工における目づまり抑制を目的とし，FBを含有させた研削液を用いて平面研磨加工を行い，FBが目づまりに及ぼす影響の検討を行った。その結果，吸気量3L/minのFB研削液には目づまりを抑制する効果がある可能性があることがわかった。

Key words:　光学レンズ加工，ファインバブル，目づまり，平面研磨加工，吸気量

1　はじめに

光学ガラスレンズの加工は，粗加工・粗研磨・精研磨・仕上げ研磨といった工程を経て，段階的に高い形状精度と表面粗さを達成していく[1)2)]。このうち，最終の仕上げ研磨では，遊離砥粒として酸化セリウムを使用する研磨加工が施される。酸化セリウムによる研磨加工は，機械的除去だけでなく化学的スムージング効果も相乗的に作用することにより，極めて高品位かつ平坦な面が得られる。しかし，加工レートが低く，また非常に多段なプロセスを要することからタクトタイムの短縮化が課題となっている。酸化セリウム工程の短縮には，粗研磨・仕上げ研磨工程でより高番手（微細砥粒）の“砥石”と呼ばれる固定砥粒工具を用いる必要があるが，高番手の砥石を用いた場合には，切りくずが工具に凝着・堆積する「目づまり」が生じやすく，切れ味の復活のためには加工を中断して「目立て」を行う必要があり，連続的な加工ができず自動化の妨げとなっている。

レーザやウォータージェットを用いることで，目づまりをインプロセスで除去する研究も進められているが，コスト及び利便性の観点から実用化が困難と考えられる。一方で，これまでにガラスレンズ加工に電極レスELID研削を援用することで，砥石の目づまりが抑制され，除去効率が向上することが明らかにされている[3)]。電極レスELID研削では，電気分解した研削液を加工点に供給することで電気化学的な作用により砥石のドレッシングを行うものであるが，電気分解により発生した微細な気泡（FB：Fine bubble）も効果的に作用していると考えられる。加えて，ステンレスの研削加工においては，FBが砥石の目づまり抑制に寄与することも報告されている[4)]。ノズルタイプのFB発生装置であれば比較的安価に手に入り，加工機への設置も容易なことから，中小企業への普及しやすいものと考えられる。

そこで本研究では，固定砥粒を用いたガラスレンズ加工における目づまり抑制技術の開発に向けて，FBが目づまりに及ぼす影響の検討を行ったので報告する。

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

2　研究の方法

2．1　FB生成方法

図1に示す装置を用い研削液にFBを発生させてFBを含有した研削液（以下，FB研削液）を作製した。研削液は水道水にて50倍希釈した弱導電性研削液（東洋工学㈱，CG-7）（以下，通常研削液）を用いた。本研究で用いたFB発生器（大生工業㈱，TH-03）は，吸気量の調整

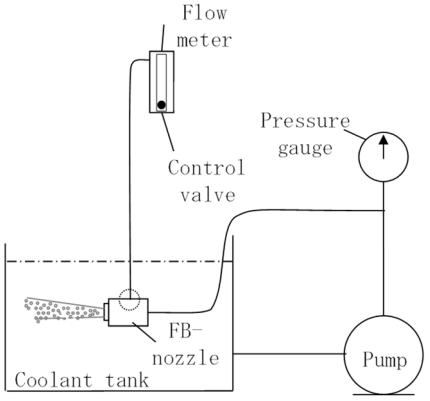


図1　FB循環装置の構成

が可能であり，図１中の吸気部の先端にフローメータを設置し，その間に吸気量を調整するための絞りを設けることで，大気の吸気量の調整を行った。

２．２　平面研磨試験

供試材として，光学ガラスレンズに広く利用されている BK-7（φ38.1mm）を用いた。これを図２に示す平面研磨機（Buehler Ltd.，ECOMET3）の専用ホルダーに３個取り付け，研磨盤に研削液を供給しながら平面研磨を行った。この研磨機は，ワークホルダおよび研磨盤がそれぞれ回転し，一定荷重で被加工物を研磨盤に押し付けて加工を行うものである。ペレットはメタルレジンボンドダイヤモンドペレット＃1200 を用いた。研磨条件を表１のとおりとし，加工後のペレットの目づまり状況をデジタル顕微鏡（㈱ハイロックス，KH-8700）により評価を行った。

なお，研削液は，意図的に目づまりを発生させるため，予備実験で使用し，目づまりが発生する程度に切りくずが滞留していると思われる研削液を用いて，通常研削液，吸気量 1L/min の FB 研削液，吸気量 3L/min の FB 研削液の順で同研削液を用いて加工実験を行った（N=3）。また，FB 研削液については，120 分間タンク内で FB を生成して作製し，加工中も FB を生成しながら加工を行った。

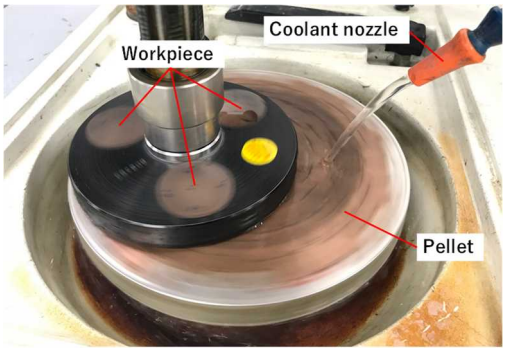


図２　平面研磨中の様子

表１　平面研磨条件

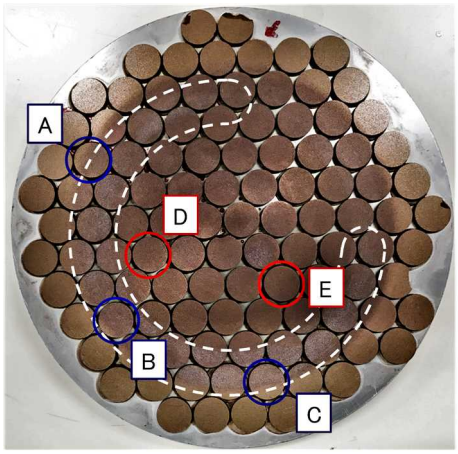
使用ペレット	メタルレジンボンドダイヤモンドペレット#1200
研磨盤回転数	170 rpm
荷重	201 N
加工時間	60 min

３　結果及び考察

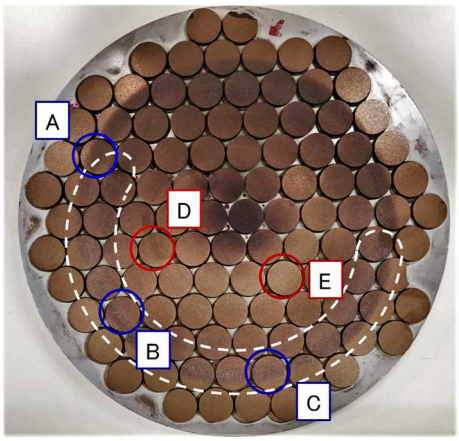
３．１　FB が目づまりに及ぼす影響

図３に通常研削液及び吸気量 3L/min の FB 研削液を用いた加工後の研磨盤作業面を示す。研磨盤作業面の白い点線で囲まれた領域に，切りくず（白い付着物）が残留しており，目づまりが発生していた。

加工実験後の研磨盤のペレット（A～E，図３参照）の中央部観察画像を図４に示す。



a)　通常研削液



b)　吸気量 3L/min の FB 研削液

図３　加工実験後の研磨盤作業面

外側のペレット（A～C）において，吸気量 1L/min の FB 研削液は通常研削液に比べてペレットの目づまりの状況に変化はないが，吸気量 3L/min の FB 研削液は通常研削液に比べて目づまりがわずかに減少しているように見える。また，内側のペレット（D 及び E）においては，吸気量 3L/min の FB 研削液は通常研削液及び吸気量 1L/min の FB 研削液に比べて目づまりがほぼ見られなくなった。

そこで，内側のペレットに比べて目づまりが多く見られる外側のペレットにおける目づまりを定量的に評価するため，外側のペレットの画像に対し，フリーウェアの画像処理ソフトウェア ImageJ[5]を用いて，加工実験３回の目づまりの平均面積率を算出した。

なお，目づまりの平均面積率の算出にあたっては，図５に示すように２値化を行ったのち，元画像においてレ

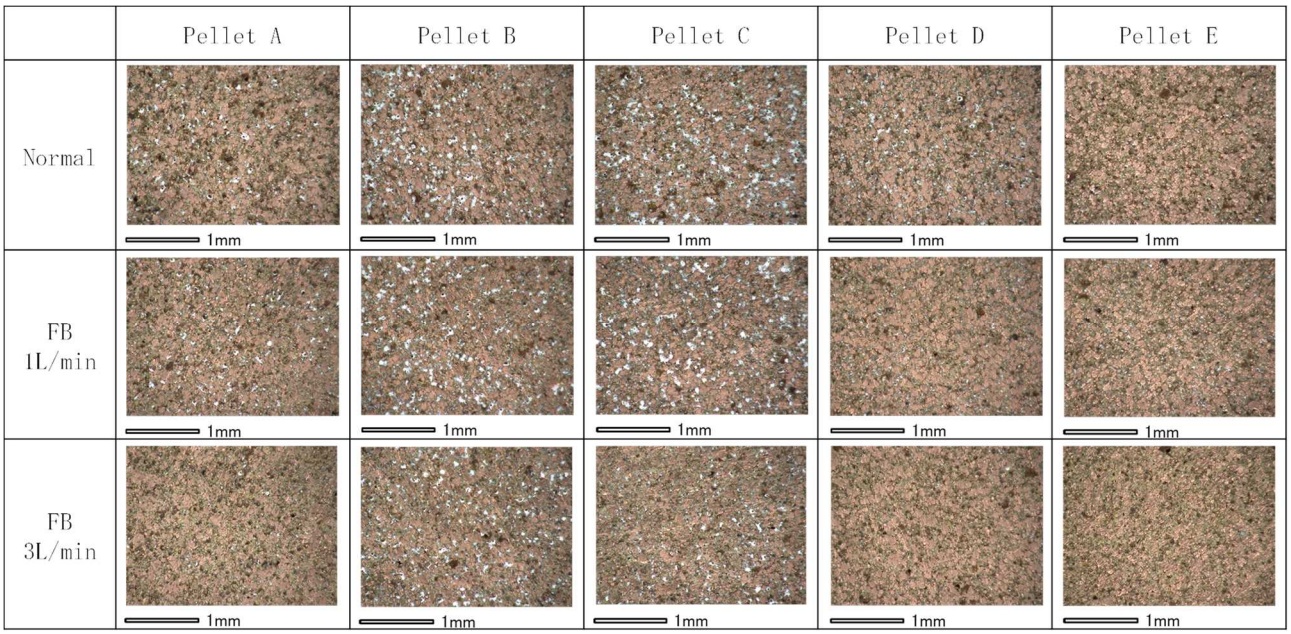
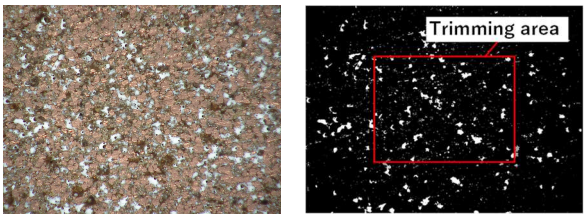


図４　加工実験後のペレットの中央部観察画像

ンズ収差と思われる歪みが画像の外周に見られたことから，画像（1600×1200pixels）の上下 400pixels，左右 300pixels ずつトリミングを行った画像を用いた。

目づまりの平均面積率を図６に示す。通常研削液に比べて，吸気量 3L/min の FB 研削液の方が目づまりの面積率は減少したが，標準誤差を含めると有意差は見られなかった。

目づまりは研削液中に含まれる切りくずによって発生することから，加工実験を繰り返すことで，研削液中に含まれる切りくずが増加し，目づまりが多く発生すると考えられる。通常研削液，吸気量 1L/min の FB 研削液，吸気量 3L/min の FB 研削液の順に加工実験を行ったにもかかわらず，吸気量 3L/min の FB 研削液において，外側のペレットでは目づまりが通常研削液，吸気量 1L/min の FB 研削液に比べて横ばいであり，内側のペレットでは減少したことから，吸気量 3L/min の FB 研削液には目づまりを抑制する効果がある可能性があると考えられる。



a）　元画像　　b）２値化画像

図５　目づまり面積率の算出

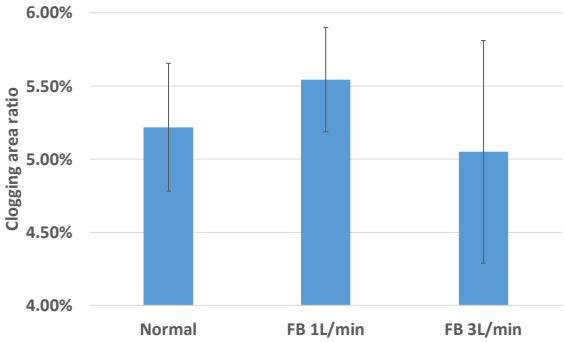


図６　外側のペレット（A～C）における目づまり面積率

４　おわりに

本研究では，光学ガラスレンズに対し，FB を含有した研削液を用いた平面研磨試験を行い，以下の知見を得た。

（1）外側のペレットにおいて，通常研削液と吸気量 1L/min の FB 研削液を比べると，目づまり状況に差がなかったが，吸気量 3L/min の FB 研削液では目づまりがわずかに減少していた。

（2）内側のペレットにおいて，通常研削液と吸気量 1L/min の FB 研削液に比べて，吸気量 3L/min の FB を含んだ研削液では目づまりがほぼ見られなくなった。

(3) 目づまりが多く見られる外側のペレットについて，画像解析で目づまり面積率を算出した所，有意差は見られなかったものの，加工実験を繰り返すことで，目づまりが多く発生すると推察されることから，3L/min の FB 研削液には目づまりを抑制する効果を有する可能性がある。

参考文献

1) M.Saeki, et al.: J. Jpn. Soc. Abra. Tech., 41(3), 90,(1997)
2) H.Takino :J. Jpn. Soc. Precis. Eng. 70(5), 619,(2004)
3) 江面篤志ら：″栃木県産業技術センター研究報告″, 13,1-4,(2016)
4) 稲澤勝史ら：″栃木県産業技術センター研究報告″, 15,21-24,(2018)
5) C.A. Schneider, et al.: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis, Nature Methods, 9, (2012) 671

経常研究

AEセンサを用いた工具摩耗状態の監視

棚原　貴登*　　近藤　弘康*　　松本　健司*

Monitoring of Tool Wear with Acoustic Emission Sensor

TANAHARA Takato, KONDO Hiroyasu and MATSUMOTO Kenji

金属等の材料が破壊される際に発生する弾性波を検出可能なAEセンサを用いて，切削加工における工具摩耗・欠損等の工具状態を推定することを目的とし，工具摩耗状態及び欠損状態がAEに及ぼす影響を調査し，工具欠損状態推定手法の開発を行った。その結果，取得したAE波形に対してFFT解析を用いることで，AEセンサで取得した値と切削力に比例関係があることが分かり，摩耗状態を推定できる可能性を示した。また，欠損の位置及び大きさによってAE波形が変化することが分かり，開発した工具欠損状態推定手法において，切削動力計では判断できない30μm程度の微細な欠損を検知できた。

Key words:　工具摩耗，工具欠損，切削力，AEセンサ，機械学習

1　はじめに

近年，航空業界では部品価格の低下に伴う部品製造コストの削減が大きな課題となっている。特に難削材の加工においては，製造コスト全体の中でも工具コストの占める割合が大きく，工具コストの削減が重要視されている。また，製品不具合が発生した場合，再製作にかかるコストが余分に発生してしまうため，不具合リスクの低減も加工現場では常に意識されている。

一方，航空機部品の加工現場では加工時間や加工ロットで工具を管理し，工具交換が行われているため，まだ使用できる工具を早期に交換しているという課題がある。

加えて，製品不具合の1つとして，仕上げ工程において微細な欠損が生じたことに気づかず，加工を継続することで欠損が大きくなり，結果として製品仕上げ面にスジが残ってしまい，後工程にて手作業による磨きが必要となるケースがある。

このため，切削加工現場では工具コストの削減，欠けの早期発見を目的として，工具の摩耗・欠損を監視する手法が求められている。

令和2年度の研究において，AEセンサを用いることで工具が定常摩耗から終期摩耗に移行する様子が確認できた[1)]が，このとき用いたAEセンサ（エヌエフ回路設計ブロック　AE-901S）は70kHz共振型であったため，数百 kHz 以上の帯域での反応は十分に確認できていなかった。

そこで本研究では，広帯域型のAEセンサ（エヌエフ回路設計ブロック　AE-900S-WB）及び最大200MS/sまで取得可能なデータロガー（横河計測　DL950）を用いることで，数十kHz～数MHzの広い範囲で工具摩耗及び工具欠損がAEに及ぼす影響を調査した。

その結果から，工具切れ刃の微細な変化を検出することが可能なAEセンサ[2)]を用いて工具欠損状態を監視する手法を開発したので報告する。

2　研究の方法

2．1　工具摩耗状態がAEに及ぼす影響

図1に示す段取りで，エンドミルを用いて初期摩耗から終期摩耗に至るまで切削試験（以下，摩耗試験）を複数回行い，切削動力計や刃先画像から得られた工具摩耗状態とAEとの関係性を評価した。なお，工具摩耗の進展に伴って切削力が上昇することは一般的に知られているため，切削力とAEとの相関関係を示すことで工具摩耗状態を推定することを目指した。

加工機は3軸マシニングセンタ（安田工業　YBM640VⅢ）を用いた。また，被削材は64チタン（ASTM B348 Gr.5）とし，加工工具は工具の振れによって半径方向切込み深さが変化しないよう，新品の2枚刃スクエアエンドミル（MOLDINO HES2060）をグラインダで1枚刃に刃落としして使用した。

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

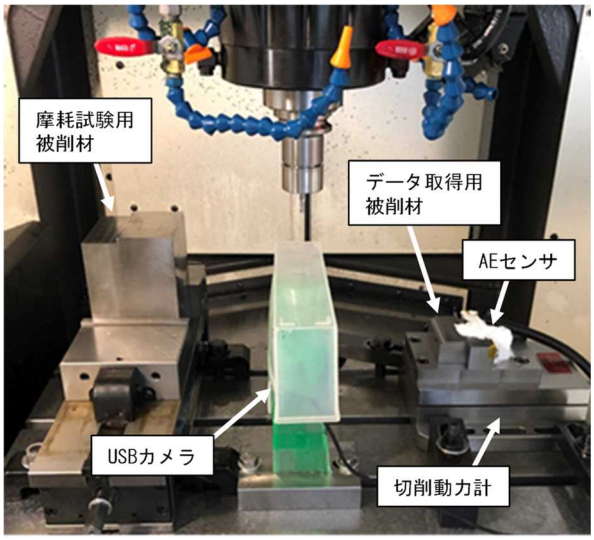


図１　摩耗試験段取り

表１　工具・切削条件

工具	径	6mm
	形状	スクエアエンドミル （アタリ付き）
	コーティング	なし
	母材	超硬
	刃数	2 枚刃→1 枚刃 （グラインダで刃落とし）
切削条件	切削速度	200mm/min
	1 刃切込み	0.1mm/tooth
	軸方向切込み	3.0mm
	半径方向切込み	0.1mm
	切削油	WET

切削条件は表１のとおりとし，片削りの摩耗試験を刃先が大きく欠けるまで実施した。

また，切削力と AE のデータ取得方法は，切削動力計（日本キスラー　9265B）に 64 チタン被削材を固定した治具を取り付け，被削材に広帯域型 AE センサ（エヌエフ回路設計ブロック　AE-900S-WB）を設置し，切削動力計と AE センサから得られるデータを切削長 10m 毎に取得した。なお，AE はサンプルレート 10MS/s でデータ取得を行った。また AE センサは防水対策のためシリコーン（信越化学工業　KE-45-W）を表面に塗布した。

２．２　工具欠損状態が AE に及ぼす影響

機械加工によって所定の位置を任意の大きさで欠損させた工具を用いた切削試験（以下，欠損試験）を行い，工具欠損状態が AE に及ぼす影響を調査した。

試験工具は，摩耗試験と同様の新品 6mm スクエアエンドミルをグラインダで１枚刃に刃落としした工具を５本用意し，その内 4 本にワイヤ放電加工機（ソディック VL600Q）を用いて，欠損を模した傷を付けた。各工具の傷の位置と大きさを表２に示す。また，デジタルマイクロスコープ（ハイロックス　KH-8700）で撮影した試験工具の顕微鏡写真を図２，図３に示す。

表２　試験工具の傷の位置と大きさ

工具 No	刃先先端からの位置 ［mm］	傷の大きさ ［μm］
1	なし	なし
2	1	10
3	1	20
4	1	30
5	2	30

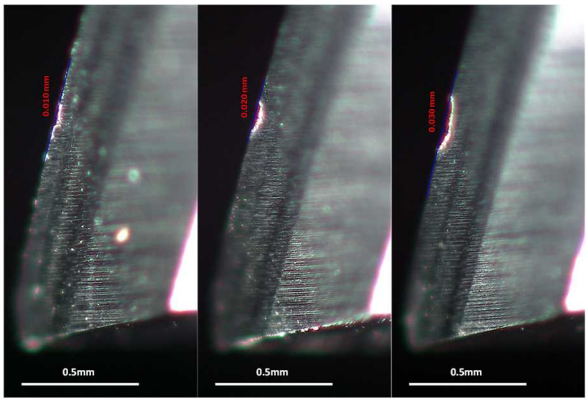


図２　試験工具の顕微鏡写真（傷の大きさ）
左から：No.2（10μm），No.3（20μm），No.4（30μm）

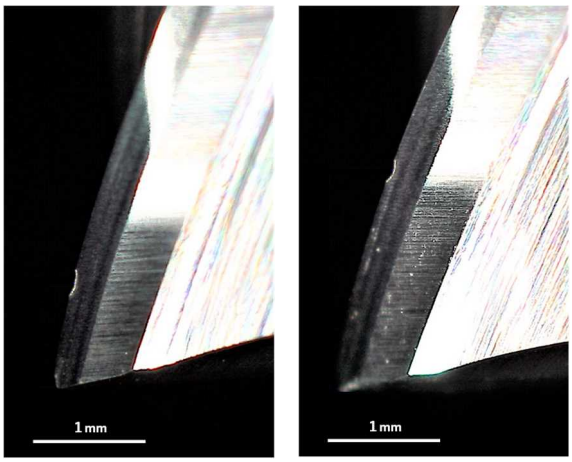


図３　試験工具の顕微鏡写真（刃先先端からの位置）
左：No.4（1mm），右：No.5（2mm）

試験段取り及び切削条件については，２．１の摩耗試験と同様とし，データ取得用被削材のみを切削して試験工具毎の切削力及び AE 波形を取得した。

次に，工具の傷の大きさが加工面に与える影響を調

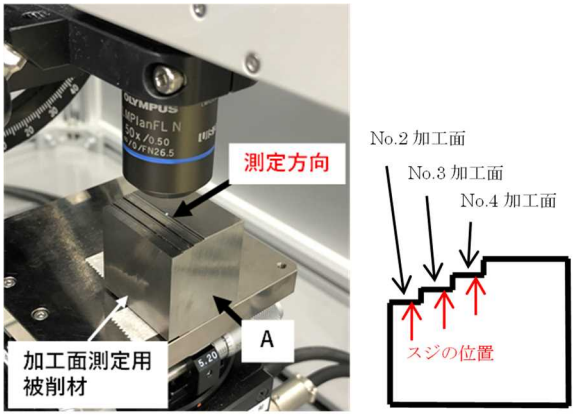


図４　左:測定方向，右:A の方向から見た参考図

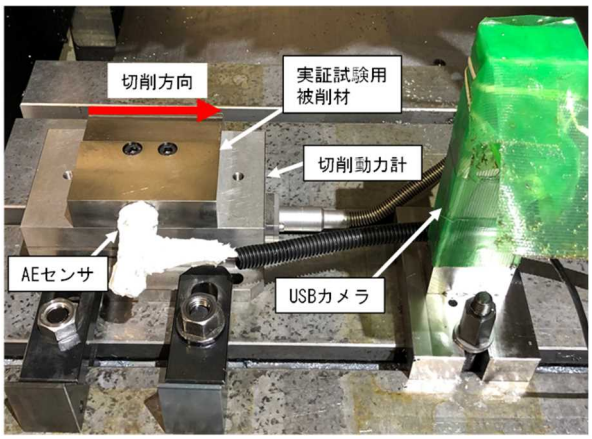


図５　実証試験段取り

査するため，非接触輪郭形状測定機（三鷹光器 MLP-3SP）を用いて試験工具毎の加工面の状態を観察し，工具傷による加工面のスジ高さを測定した。

なお，加工面測定用被削材は 64 チタン材を別に用意し，図１の摩耗試験用被削材を取り外したバイスで固定した。欠損試験後に工具 No.2～4 を用いて欠損試験と同条件で加工面測定用被削材に側面切削を行った後，加工面を図４の測定方向で，削り始め，中心付近，抜け際の３か所を測定した。

２．３　工具欠損状態推定手法の開発

２．１及び２．２の結果を踏まえ，工具摩耗及び欠損状態を監視可能なデータ処理プロセスを検討するとともに,AE センサから取得したデータを入力すれば工具状態を自動判定するシステムの開発を行った。

２．４　実証試験

開発したシステムの実証のため，切削試験中すべての加工時のデータを取得する実証試験を行った。なお，実証試験の加工機，被削材材質，工具，切削条件は２．１と同様とし，切削動力計は被削材の都合上，日本キスラー　9257B を用いた。AE のサンプルレートについては，長時間のデータ収集が必要であること，また今後実加工現場への適応を想定し，データ容量が少ない必要があることを考慮して，これまでの 10MHz から 1MHz に変更した。実証試験の段取りを図５に示す。

３　結果及び考察

３．１　工具摩耗状態が AE に及ぼす影響

３．１．１　FFT 解析による結果

全部で３回行った摩耗試験の中で，１回目の摩耗試験から得られた AE 波形に FFT 解析を行った結果を図６に示す。切削の進行に伴って 14kHz 付近に波形が見られたため，14kHz 付近の振動が工具摩耗に起因していると予想した。

そこで，切削力は主分力のピーク平均値，AE は 12～16kHz 間の最大振幅値を用いて，切削長毎にプロットしたグラフを図７に示す。その結果，AE は切削力と同様に右肩上がりでグラフが推移し，摩耗の進展とともに上昇傾向であることが観察できる。

また，再現性を確認するため同一条件の試験を再度行った２回目の摩耗試験の結果について，切削長に対する切削力と AE の変化を図８に示す。AE のスケールが異なるものの，図７と同様に切削力との比例関係が確認できる。AE のスケールが異なる理由は，被削材の切削量によって切削位置と AE センサとの距離が変化するため，距離の差が AE の値にも影響した可能性等が考えられる。

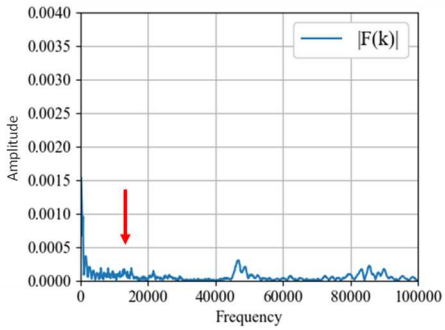
次に，１回目と２回目の切削力と AE の関係を図９に示す。１回目と２回目の試験で切削力と AE の傾きが異なる結果となったが，どちらも線形性が見られるため，摩耗状態の推定ができる可能性を示せたと考えられる。

なお，３回目に行った摩耗試験では，１回目２回目と比較して，早い段階で工具に欠損が発生したため，工具摩耗状態の評価としてデータを扱うには適していないと判断し，欠損発生の時点で試験を終了した。

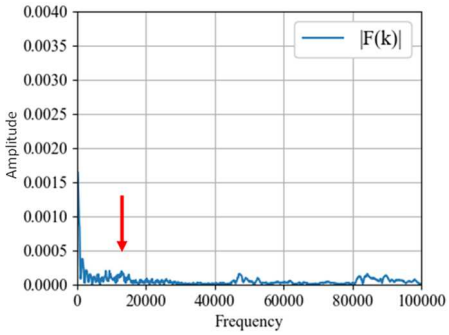
以上の結果から,AE センサで取得した値と切削力に比例関係が確認できたため,AE センサを用いることで工具摩耗状態を推定できる可能性があることが分かった。

一方，今回の結果は同一の加工条件下であっても切削力に対する AE の傾きが異なる場合があることから，加工現場への適用のためには更なる検討が必要と考えられる。

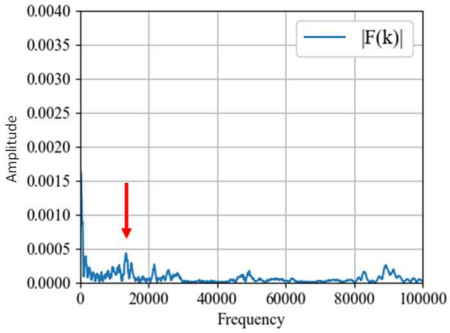
(a) 切削長 0m



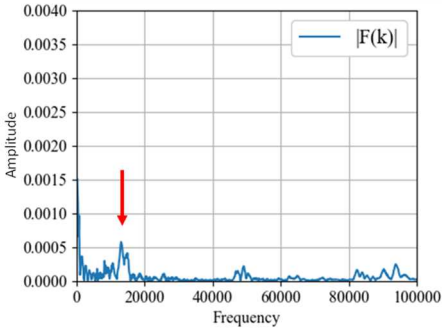
(b) 切削長 50m



(c) 切削長 100m



(d) 切削長 150m



(e) 切削長 200m

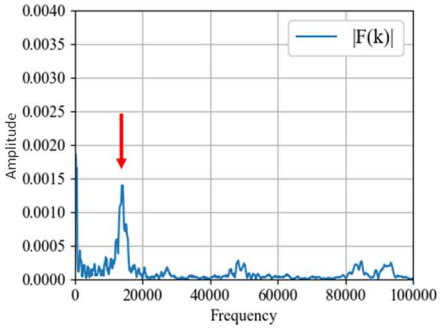


図６　AE FFT 解析結果

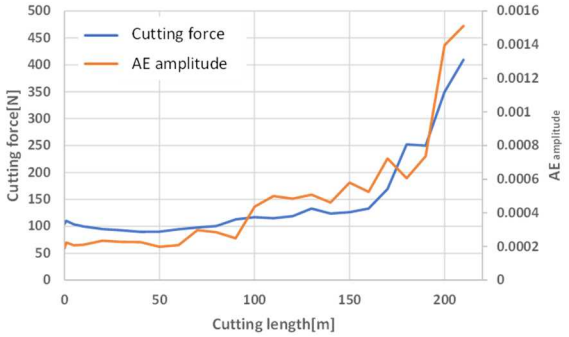


図７　切削長に対する切削力と AE の変化（１回目）

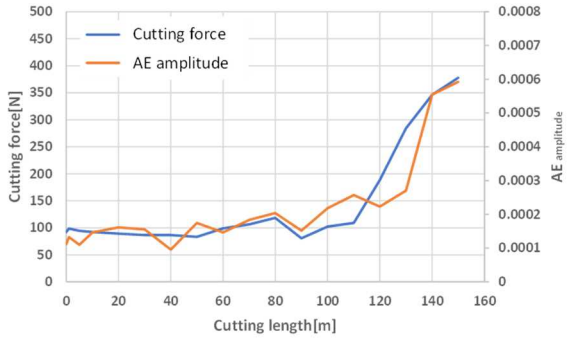


図８　切削長に対する切削力と AE の変化（２回目）

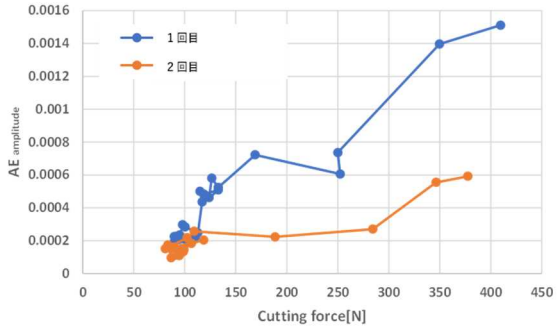


図９　切削力と AE の関係

３．１．２　機械学習による結果

今年度は切削試験に使用できる工具に限りがあり，機械学習に十分なデータが揃わなかったため，今年度の条件に近い令和２年度の研究[1)]の４回分の摩耗試験データから，３回分を学習用データ，１回分をテストデータとして使用し，工具摩耗状態と AE の関係を調査した。

なお，調査に用いた４回の摩耗試験はすべて同様の試験条件で行っており，試験工具は超硬母材のノンコーティング２枚刃 φ６ mm のスクエアエンドミル（不二越 2CE6）を表１の試験工具と同様にグラインダで１枚刃に刃落としして使用した。また，AE センサは共振型の AE

センサ（エヌエフ回路設計ブロック　AE-901S）を使用してサンプルレート 1MHz でデータ取得を行っており，切削液を使用せずにドライ加工で試験を行った。その他の試験条件は２．１と同様である。

取得した AE 波形から時系列データとしての特徴量を算出し，切削力との相関がある特徴量を選定したところ，AE 波形から切削力を予測させて摩耗状態を推定できる可能性が伺えた。このとき，切削力の評価は XY 方向の合成成分の実効値を用いた。図 10 に切削動力計から取得した切削力（横軸）と，AE 波形から機械学習を用いて予測した切削力（縦軸）をプロットしたところ，予測した切削力に多少ばらつきはあるものの，比例関係が見られ，AE 波形から予測した切削力は切削動力計から取得した切削力と近い値と言える。

ただ，本手法については過去のデータでのみ検証しており，試験条件が異なる今回のデータへの有効性は確認できていない。

今後データを蓄積し，本手法で工具摩耗状態を推定できるか検証を進める。

３．２　工具欠損状態が AE に及ぼす影響

欠損試験のデータ取得における約 4 秒間の試験切削中の AE 波形は，削り始め及び抜け際は波形が不安定であり，中心付近はセンサ設置位置に近づくにつれて波形が大きくなる傾向があった。そのため，削り始めを 0 秒として，比較的波形が安定している 0.5～1.25 秒間，2.75～3.5 秒間の中から，1.0～1.1 秒の 0.1 秒間の波形を抽出し，その中で 1 刃切削毎の 18 波形を平均化した平均波形を作成した。なお，本研究では実験的に波形安定区間を選択して波形を抽出しているため，今後実用化に向けて，波形抽出について更なる検討が必要である。作成した平均波形の RMS の移動平均を取得した結果，試験工具の欠損の大きさによって波形に変化が見られた（図 11～15）。

また，工具のねじれ角及び切削条件から，被削材への 1 刃接触時間及び傷の接触時間を計算したところ，RMS 値に反応が現れている部分と傷の接触時間が概ね一致する結果となった。傷の接触時間は図 12～15 の網掛部分で示す。

一方，傷の位置による AE 波形の変化を確認したところ，図 15 に示すように RMS 値に反応が現れている部分が，他の試験工具と比較すると右にスライドしており，刃先から 2mm　の位置にある幅約 0.1mm の傷が被削材に接触する時間である，約 3.44ms～3.80ms 間（図 15 網掛部）と概ね一致した。

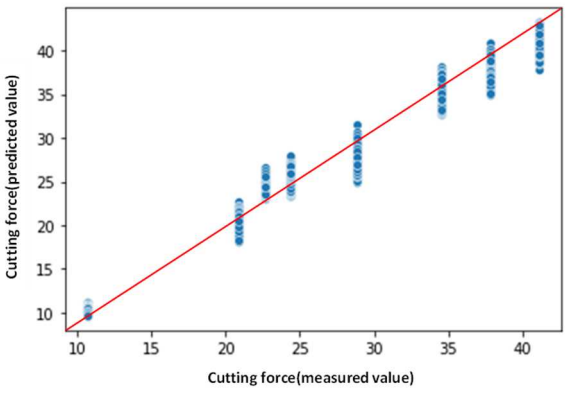


図 10　切削力実測値と予測値の関係

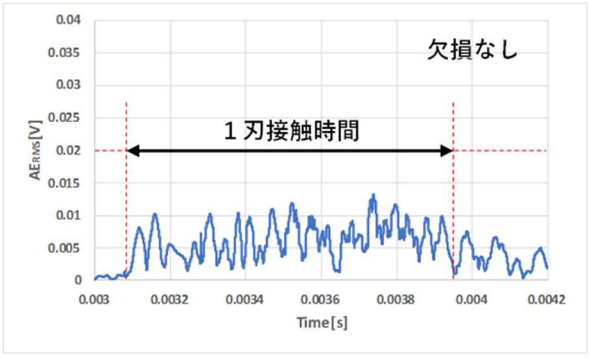


図 11　AE の RMS 波形　No.1（欠損なし）

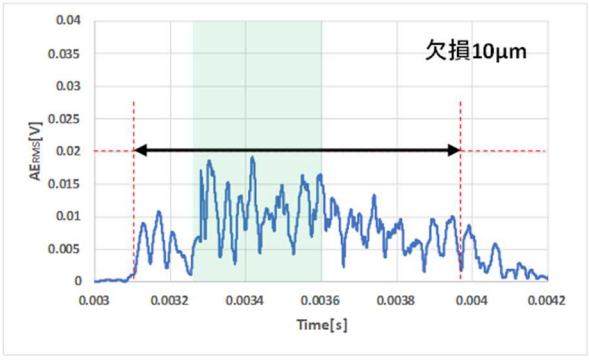


図 12　AE の RMS 波形（網掛部：傷の接触時間）
No.2（欠損 10μm）

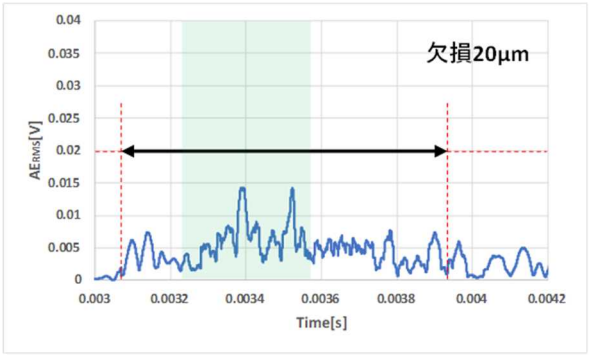


図 13　AE の RMS 波形（網掛部：傷の接触時間）
No.3（欠損 20μm）

また，切削力は主分力のピーク平均値，AE は RMS の最大値を用いて，試験工具毎にプロットしたグラフを図 16 に示す。試験工具毎の切削力を比較すると，傷の有無，大きさに関わらず，大きな変化は見られない。そのため，30μm までの工具欠損は切削力に影響を与えないと考えられる。

一方，試験工具毎の AE の RMS 最大値を比較すると，工具 No.1～3 まではほぼ一定だが，No.4 及び No.5 では高い値を示した。

以上の結果から，AE を用いることで切削力では捉えられない 30μm 程度の欠損に伴う変動を検知できる可能性が伺える。

次に，工具 No.2～4 でそれぞれ加工した加工面のスジの高さを測定した結果から，加工面中心付近のスジの位置を拡大表示したものを図 17～19 に示す。その結果，30μm の工具欠損では 10μm 程度の高さのスジとなった。なお，削り始め，抜け際についても同様の結果となった。

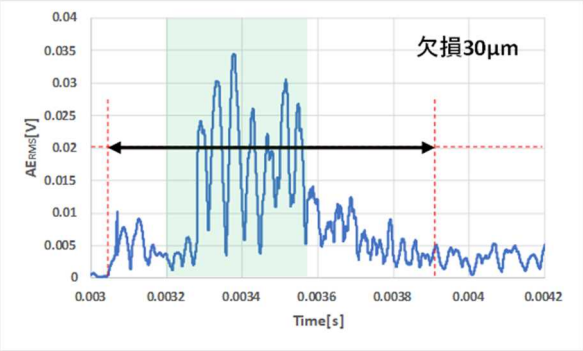


図 14　AE の RMS 波形（網掛部：傷の接触時間）
No.4（欠損 30μm）

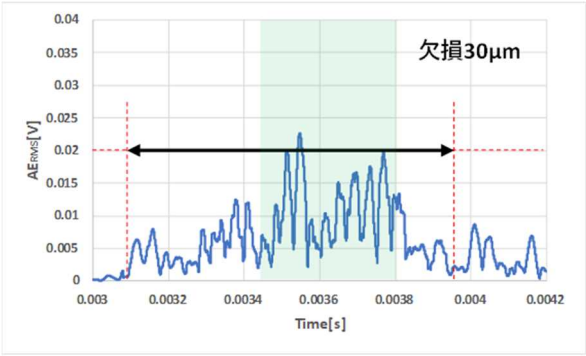


図 15　AE の RMS 波形（網掛部：傷の接触時間）
No.5（欠損 30μm，欠損位置刃先から 2mm）

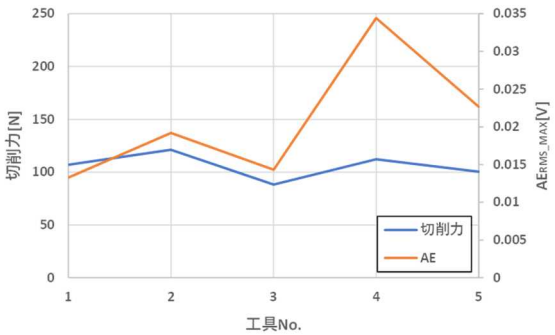


図 16　試験工具毎の切削力と AE の変化

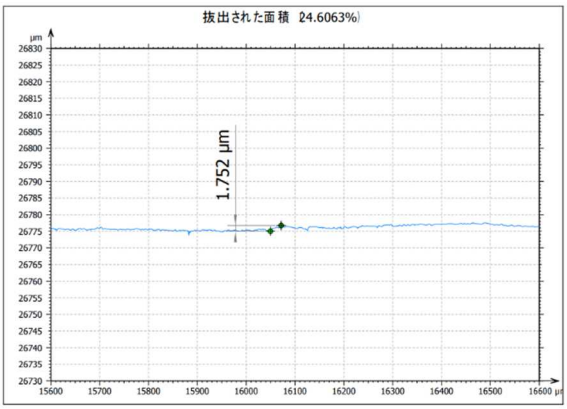


図 17　加工面測定結果
No.2（欠損 10μm）

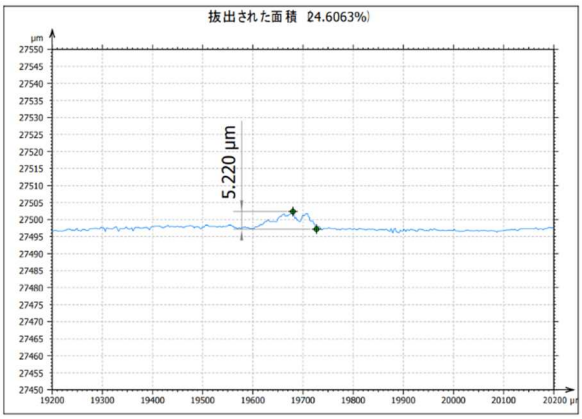


図 18　加工面測定結果
No.3（欠損 20μm）

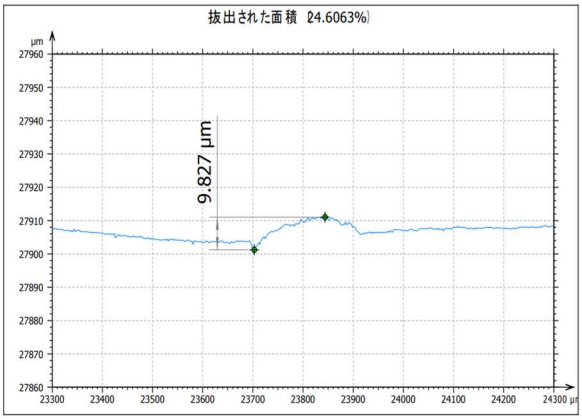


図 19　加工面測定結果
No.4（欠損 30μm）

３．３　工具欠損状態推定手法の開発

これまでの結果から，３．１で評価を行った工具摩耗状態の推定については加工現場への適用のためには更なる検討が必要である。一方，３．２で評価を行った工具欠損状態の推定については，切削力では捉えられない微細な欠損を AE センサで検知できることから，今回は３．２の結果を基に工具の欠損検知を行う手法の開発を目指した。

３．３．１　しきい値判定による欠損検知

今年度行った複数の切削試験から，欠損が発生した際の AE 波形のしきい値を決定し，しきい値による自動判定での実装とした。なお，AE 波形の処理方法は３．２と同様の RMS 処理を行った。

切削長 1m 毎に欠損判定を行った結果，図 20 に示すとおり切削長 14m で波形がしきい値を超え，欠損検知を意味する NG 判定を出した。このときの刃先画像を確認すると，図 21 に示すとおり，NG 判定が出た切削長 14m で，約 25μm の欠損が発生していることが確認できた。

以上の結果から，加工条件が同一の場合にのみ適用できるという条件付きではあるものの，しきい値判定によって約 25μm の欠損が発生した際に欠損検知の判定を出すことに成功したと言える。なお，現状の判定処理は変更可能な実装となっているため，判定精度向上を目指して，今後も判定基準の検討を進める。

次に，欠損約 30μm となった切削長 15m 時点の加工面のスジについて，非接触輪郭形状測定機を用いて測定した結果を図 22 に示す。

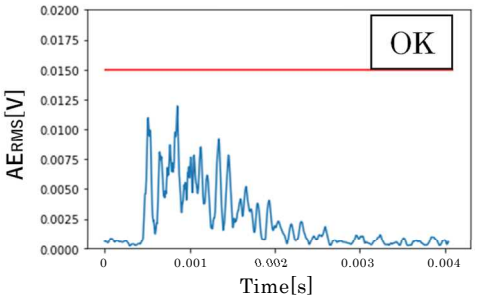
結果は，切り始め，中心付近，抜け際の 3 か所を測定し，スジの大きさは 4.0～5.5μm 程度であった。図 22 に中心付近の測定結果を示す。３．２と比較して小さい値となった原因は，人工的な傷と違い工具に広い範囲で摩耗及び微細な欠損が生じているため，値がならされたこと等が考えられる。

３．３．２　機械学習による欠損検知

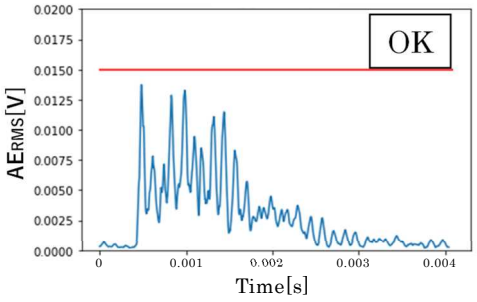
図 14 から欠損を有する工具による切削では，急峻な変化を含む波形であることが予想される。そこで，AE センサ出力波形をウェーブレット解析し，取得した周波数に関するデータを比較することで，工具欠損の有無を推定することが出来ると考えた。

今年度行った切削試験の内，２．１で行った 3 回の摩耗試験を学習用データ，２．４で行った実証試験をテストデータとし，工具欠損有無の推定モデル作成を検討した。当該学習用データの特徴量を主成分分析し，テストデータを同次元に埋め込んだプロットを図 23 に示す。学習用データは，想定通り欠損の有無が反映された分布を形成しているが，テストデータは大きく外れた分布を

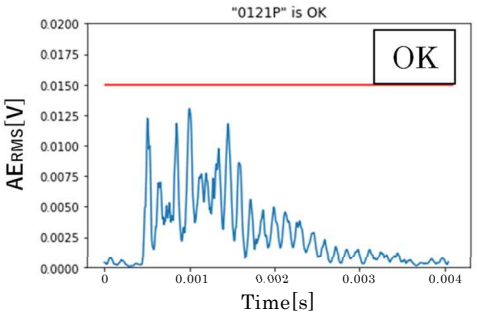
(a) 切削長 8m



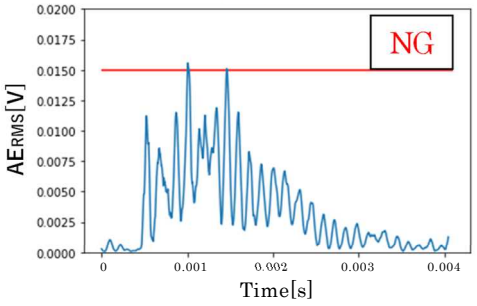
(b) 切削長 10m



(c) 切削長 12m



(d) 切削長 14m



(e) 切削長 15m

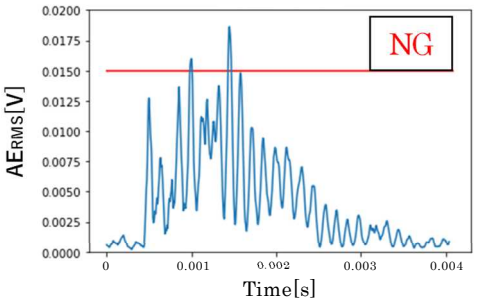


図 20　欠損検知判定結果

形成している。

このことから，学習は良好に実施できることが予想できるが，作成したモデルはテストデータには適応が難しいと判断した。テストデータにおいて分布が大きく外れた原因は，実証試験ではサンプルレートをこれまでの 10MHz から 1MHz に変更したことが影響したと考えられる。

次に，サンプルレート 10MHz で試験を行った 3 回の摩耗試験の内，最もデータ数の少ない 3 回目の摩耗試験をテストデータ，1 回目及び 2 回目を学習用データとし，同モデルに推定させた推定結果を図 24 に示す。図 25 に示した刃先画像と比較すると，切削長 20m の欠損発生に伴いモデル出力が異常を示すようになっており，良好な推定結果を得られたことが分かる。当該学習用データの特徴量を主成分分析し，テストデータを同次元に埋め込んだプロットを図 26 に示す。テストデータは学習データ分布内に位置しており，2 次元プロットでは欠損の有無の境界線が分かりづらいが，3 次元プロット及び図

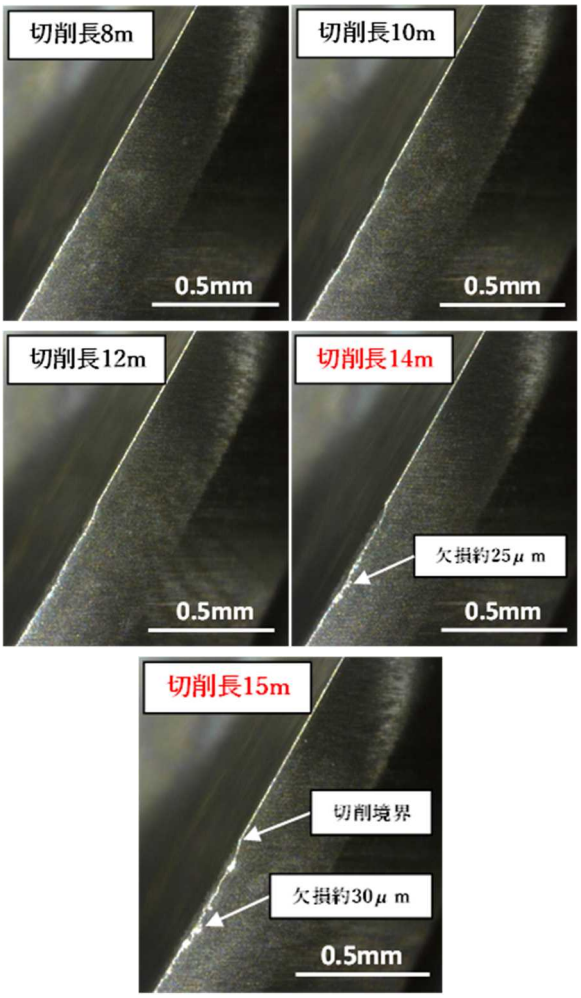


図 21　実証試験刃先画像

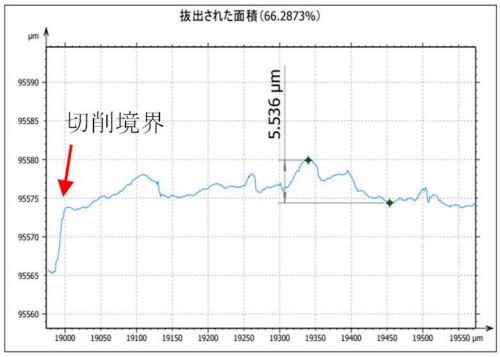


図 22　加工面測定結果　切削長 15m

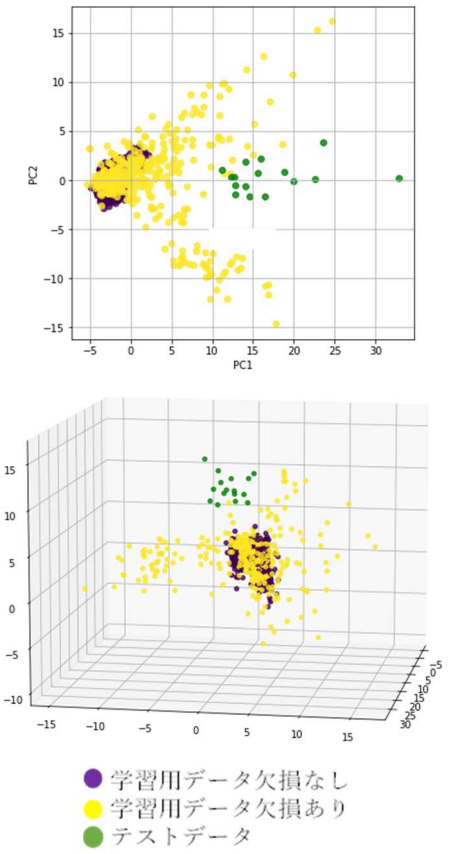


図 23　機械学習による主成分分析プロット
（上：2 次元，下：3 次元）

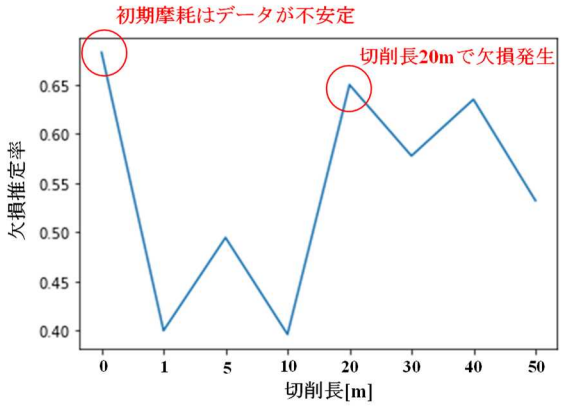


図 24　機械学習による工具欠損推定結果

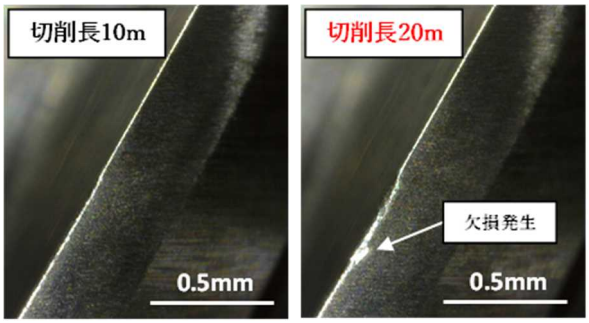


図 25　2 回目の摩耗試験の工具刃先画像

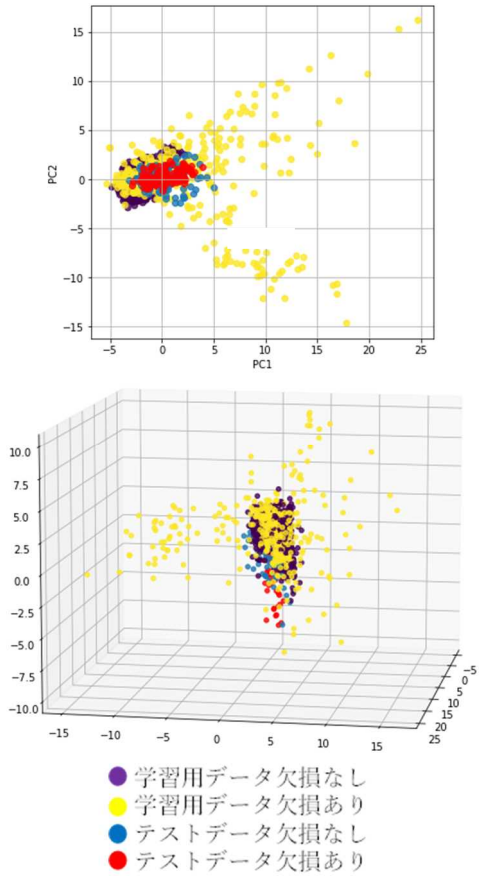


図 26　機械学習による主成分分析プロット
（上：2 次元，下：3 次元）

24 の結果からも分布に違いが出ていることが分かる。

以上の結果より，同一試験条件でのみ適用可能ではあるものの，機械学習を用いることで，工具欠損状態を推定できる可能性がある。

4　おわりに

本研究では，AE センサを用いた摩耗や欠損等の工具状態推定を目的として，工具摩耗及び工具欠損が AE に及ぼす影響を調査し，工具欠損状態推定手法を検討することで，以下の知見を得た。

（1）工具摩耗の進展に伴い 14kHz 付近の周波数帯に反応が見られ，切削力の主分力のピーク平均値と AE の 12～16kHz の最大振幅値に比例関係が確認できる。

（2）工具欠損の大きさ及び位置により，AE 波形に変化が現れ，切削力では判断できない 30μm 程度の微細な工具欠損を検知できる。

（3）開発した工具欠損状態推定手法において，しきい値判定または機械学習を用いることで，自動で工具欠損状態が推定できる可能性がある。

参考文献

1）稲澤勝史ほか:″栃木県産業技術センター研究報告″, 18, 1-5, (2021)

2）古賀 俊彦ほか：″トライボロジスト″, 63(7), 487-498, (2018)

経常研究

研削加工における加工機の電力変化による加工負荷の観察

山下　健介*　　小池　宏侑*　　曽田　将来*

Observation of Machining Load by Electric Power of the Machine in Grinding

YAMASHITA Kensuke, KOIKE Hiroyuki and SOTA Masaki

研削加工において目立てのタイミングや加工条件は作業者の熟練度によるところが大きく，技能レス化や不良品低減のため，比較的安価な電力計（電流計）を用いた研削加工状態の見える化が求められている。本研究では，加工機の電力（電流）変化と加工負荷の関係を明らかにし，不安定加工における電力（電流）への影響を検討することにより，不安定加工状態の推定を行った。その結果，加工時の主軸電流を測定することにより，接線抵抗の推定が可能であること，研削焼けと目づまり割合の推定が可能であることが分かった。また，高い周波数を有するびびりは，主軸電流から検知が難しい事が分かった。

Key words: 平面研削，電流，加工負荷，目づまり，びびり

1　はじめに

研削加工では加工中に切りくずなどが砥石表面に凝着・堆積し切れ味が低下する目づまりや砥粒先端が摩滅する目つぶれなどが起こる。そのため砥石の表面を削り，切れ味を復活させる目立て作業を行う必要がある。

目立てのタイミングや加工条件が不適切な場合，加工時に砥石の目づまりやびびりなどが生じて加工負荷が増加又は変動する。これにより研削面の形状精度や粗さの低下，研削焼けなどが起こり，製品不良に繋がる。一方で，目立てのタイミングや加工条件の設定は作業者の熟練度によるところが大きく，熟練度によるばらつきの発生や判断が定量的ではないことから OJT における技術伝承の課題になっている。そのため技能レス化や不良品低減のため研削加工状態の見える化が求められている。なお加工状態は動力計を用いれば一定の水準で推定可能だが[1)]，動力計は高価なため，より低コストな見える化が求められている。

そこで本研究では，比較的安価な電力計（電流計）に着目し，これを用いて加工機の電力変化と加工負荷の関係を明らかにし，不安定加工における電力への影響を検討することにより，不安定加工状態の推定を目指した。

2　研究の方法

2．1　加工負荷と電力（電流）の測定方法

加工機は平面研削盤（㈱岡本工作機械　PSG-63DXNC）を用い，図１に示すとおり被削材を切削動力計（日本キスラー(合) 9265B）の上に固定治具ごと固定し加工を行った。

なお研削砥石は#220 の平型砥石(㈱ノリタケカンパニーリミテド　WA220K7V35R），研削液は水道水にて 50 倍希釈した弱導電性研削液（東洋工学㈱　CG-7）を用い、切削動力計の出力値はデータロガー（横河計測㈱ DL950）で測定した。

加工機の電力測定は，予備実験により図２に示すとおり電力と電流の傾向は一致したため，電流のみを測定することとし，図３に示すとおり，加工機配電盤の主軸モータ配線の三相交流ブレーカーと Y 軸サーボモータ配線に電流クランププローブ（横河計測㈱　720930，720931）を取り付け，切削動力計と同様にデータロガー（横河計測㈱ DL950）で測定した。

加工負荷及び電流の評価方法は，加工時間中心の６割を評価領域とした。加工負荷は接線抵抗 Ft，法線抵抗 Fn の各平均値を算出し，電流値は空転時の電流をゼロとして補正後，主軸は R 相，S 相，T 相の合計平均値，Y 軸サーボモータは平均値を算出した。

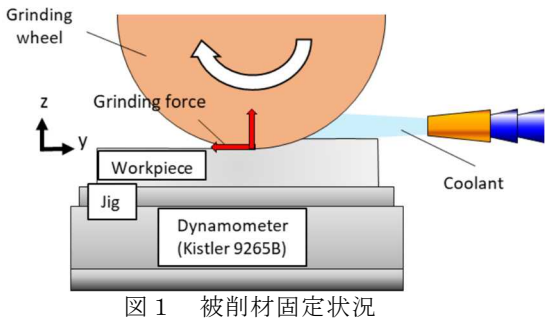


図１　被削材固定状況

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

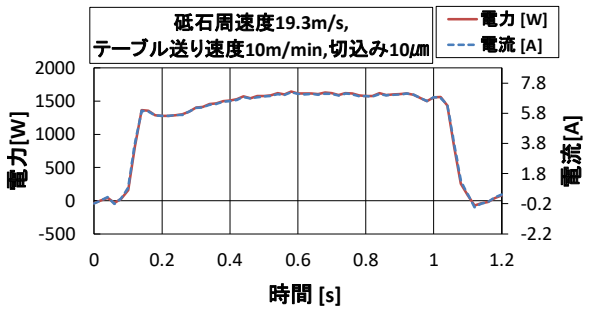


図２　電力と電流の関係

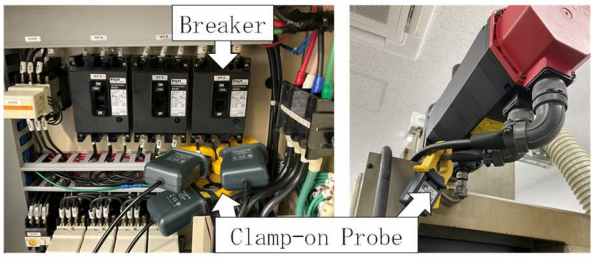


図３　電流測定方法
（左：主軸モータ，右：Y 軸サーボモータ）

表１　研削条件

	パターン１	パターン２	パターン３
砥石周速度 [m/s]	12.9 19.3 25.8	19.3	19.3
テーブル送り速度 [m/min]	10	5 10 15	10
切込み [μm]	10	10	5 10 15

２．２　加工機の電流変化と加工負荷の関係

研削条件における電流変化と加工負荷の関係を明らかにするため，被削材を SS400 （W15×L150×H15mm）とし，砥石周速度 19.3m/s，テーブル送り速度 10m/min，切込み 10 μmを基準加工条件と設定し，砥石周速度を変更したものをパターン 1，テーブル送り速度を変更したものをパターン 2，切込みを変更したものをパターン 3 とし，合計 7 条件で加工を行った。表 1 に研削条件を示す。なお各条件の加工パス数は，合計切込み量が 150 μm になるまでとした。

２．３　不安定加工状態の推定

不安定加工状態として目づまり状態の推定を行うために目づまりを起こしやすいステンレス　SUS304（W20×L81×H24mm）を被削材とし，砥石周速度 25.8m/s，テーブル送り速度 10m/min，切込み 5 μmで加工を行った。

また，砥石の目づまり割合を定量化するため，加工後の砥石表面を高速度ビデオカメラ（㈱フォトロン FASTCAM SA3 model60K）で撮影した。今回用いた砥石は白色であり黒色部が目づまりと考えられるため，撮影した動画から画像を抽出し画像処理ソフトウェア ImageJ Fiji[2)]を用いて二値化後，画像全体の画素数から黒色部画素数の割合を算出した。なお加工を停止すると Y 軸の位置が変化するため，ドレッシング後，規定の加工パスまで加工を行い，砥石表面を観察した。

加工後の被削材の評価は，表面画像をデジタルカメラで撮影し，表面粗さ（Ra，Rku）を接触式表面粗さ測定機（アメテック㈱ PGI840）で長さ方向 15mm，40mm，65mm の位置を計測し平均値で評価した。

３　結果及び考察

３．１　加工機の電流変化と加工負荷の関係

各パターンにおける主軸電流と接線抵抗 Ft の関係を図４～６に示す。

砥石周速度を変えた場合（パターン 1）は，周速度が大きくなるほど，接線抵抗 Ft に対する電流値の傾きが大きくなることが分かる（図４）。これは砥石周速度（回転数）が大きくなると回転に必要な電流が多くなる事と一致している。

テーブル送り速度を変えた場合（パターン 2）及び，切込みを変えた場合（パターン 3）は，接線抵抗 Ft に対する主軸電流の傾きは大きく変化しないことが分かる（図５，６）。送りや切込みの大小によって接線抵抗 Ft は増減するが主軸電流と接線抵抗 Ft の関係は変化しないと考えられる。なおパターン 2 のテーブル送り速度 5m/min の条件は加工初期にびびりが発生した。

全ての条件において主軸電流と接線抵抗 Ft の決定係数 R^2 値が 1 に近い線形性が見られるため，加工時の主軸電流を測定することにより，接線抵抗の推定が可能であることが分かる。

次に砥石周速度 19.3m/s，テーブル送り速度 10m/min，切込み 5 μmにて加工した時の Y 軸サーボモータ電流と法線抵抗 Fn の関係を図７に示す。結果として線形性はなく Y 軸サーボモータ電流から法線抵抗 Fn を推定するの

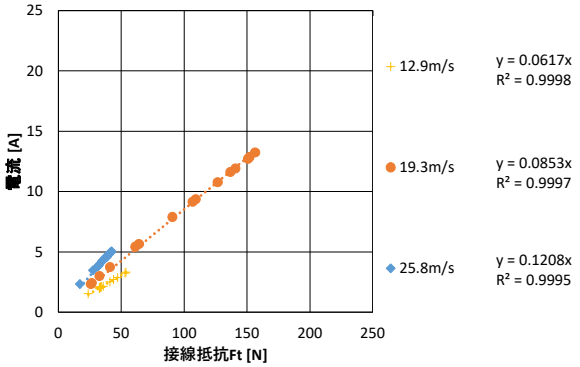


図４　主軸電流と接線抵抗の関係
（パターン１：砥石周速度）

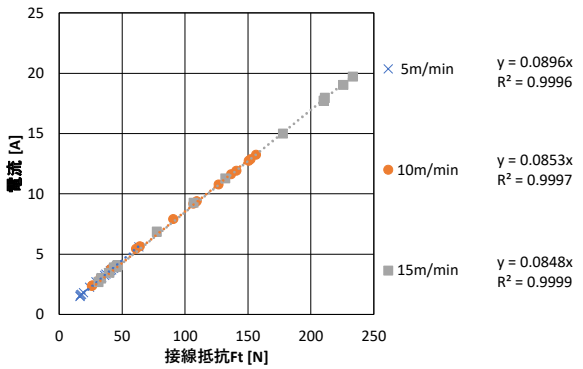


図５　主軸電流と接線抵抗の関係
（パターン２：テーブル送り速度）

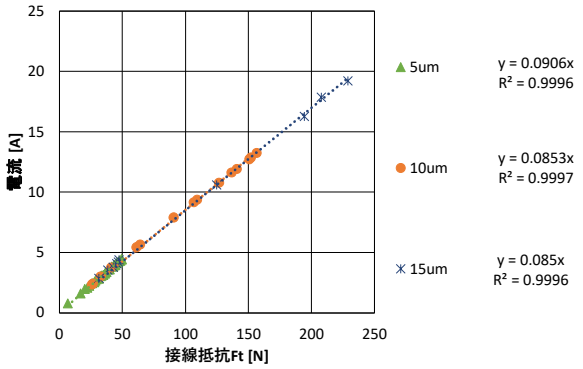


図６　主軸電流と接線抵抗の関係
（パターン３：切込み）

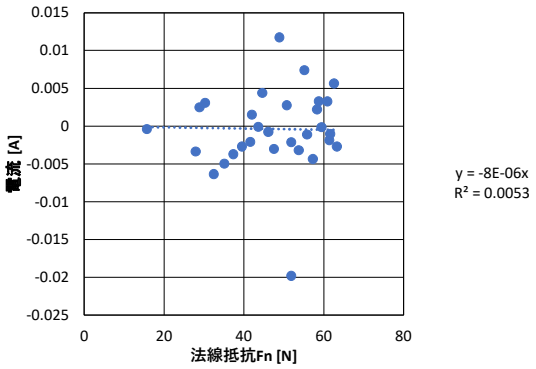


図７　Y 軸サーボモータ電流と法線抵抗の関係

は難しいことが分かる。加工機 Y 軸は加工中にロックするためモータ自体に直接負荷が掛からなかったことが原因として考えられる。

３．２　不安定加工状態の推定

３．２．１　目づまり状態の推定

表２に加工パスごとの目づまり割合，主軸電流，被削材表面粗さの結果を示す。Ra は 3～15 パスでは大きく変わらないが，25 パスでは大きくなった。Ra が増加した理由としてはドレッシング直後の微細粉砕状態から，砥石の自生作用によって砥粒の切れ刃が大きくなったことが考えられる。Rku は 5 パスまでは 5 以上である一方，それ以降のパスは 4 前後と小さい。これはドレッシング直後の微細粉砕状態により鋭い凹凸が多く，その後，目づまりや自生作用により鋭い凹凸が少なくなったためと考えられる。

次に加工後の被削材表面画像を図８，砥石表面画像を図９に示す。被削材表面は 6 パスに変色が起こり研削焼け発生の可能性があり，25 パスには解消されていることが分かる。また砥石表面については 5 パスにドレッシングの軌跡に沿って目づまりが進行しており，6 パス目以降はドレッシングの軌跡以外にも目づまりが進行していることが分かる。このことから，6 パス以降が目づまりによる不安定加工と推定することが出来る。

次に目づまり割合と主軸電流の関係を図 10 に示す。目づまり割合と主軸電流は一定の線形性が見られる。

以上の結果から 5 パス時点の目づまり割合 4%前後が研削焼けの閾値として使える可能性があり，主軸電流から研削焼けと目づまり割合をある程度の精度で推定出来ることが分かる。

表２　目づまり割合，主軸電流，表面粗さの結果

加工パス数（合計切込み量）	目づまり割合[%]	電流[A]	Ra[μm]	Rku
3　(15 μm)	1.37	1.74	0.669	6.327
5　(25 μm)	3.94	8.58	0.762	5.107
6　(30 μm)	6.07	11.54	0.889	3.881
7　(35 μm)	8.77	13.92	0.810	3.231
10　(50 μm)	7.95	12.81	0.912	4.104
15　(75 μm)	8.25	11.82	1.005	3.614
25 (125 μm)	3.24	6.03	1.720	3.733

図８　被削材表面画像
（砥石進行方向は画像右方向）

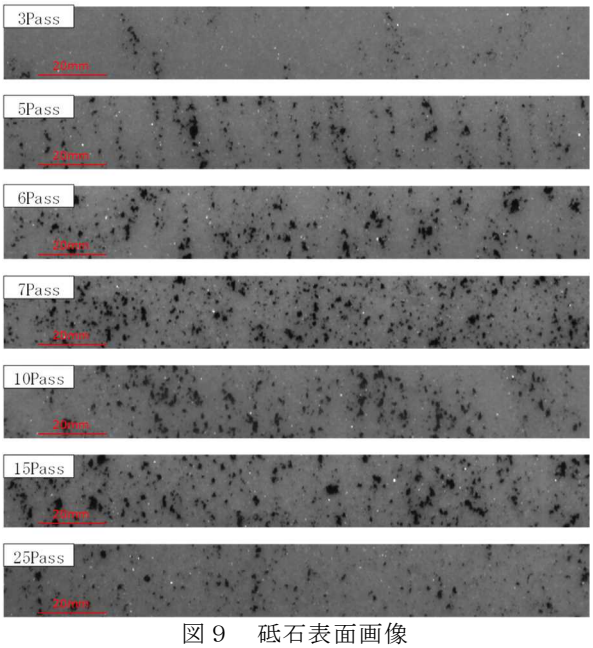


図９　砥石表面画像
（砥石回転方向は画像上方向）

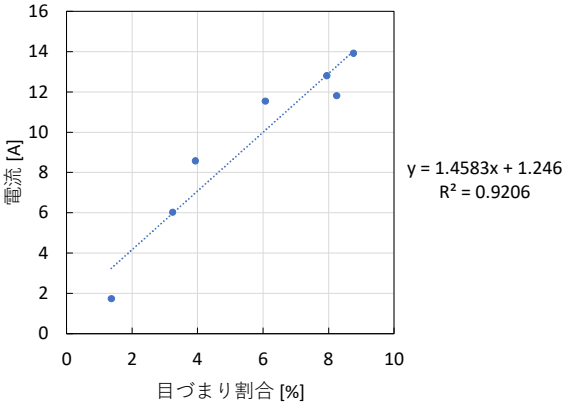


図 10　目づまり割合と主軸電流の関係

３．２．２　びびり状態の推定

２．２の実験においてパターン 2 の砥石周速度 19.3m/s，テーブル送り速度 5m/min，切込み 10 μmでは加工初期（3 パスまで）にびびりが発生した。図 11 にびびり発生時，図 12 に同加工条件で定常時（15 パス）の加工負荷と主軸電流を示す。びびり発生時は加工負荷が約 0.03 s 周期で変動している。これは主軸回転数である 1800rpm（30Hz）とほぼ一致し，加工初期に発生した事を考えると，ドレッシング時の砥石の形状不良によって主軸回転数に同期したびびりが発生した事が考えられる[3)]。一方，主軸電流を見ると，びびりに同期した小さな変動があるが加工開始前の空転時にも変動があり，びびりに伴う変動か判断が難しい。今回は主軸モータ配線の三相交流ブレーカーの電流変化を測定していることから，電源周波数 50Hz 毎に電流値が変動しているため，観察できる周波数は 50Hz の数分の一の周波数と考えられる。びびりの周期は発生要因によって異なるため，電

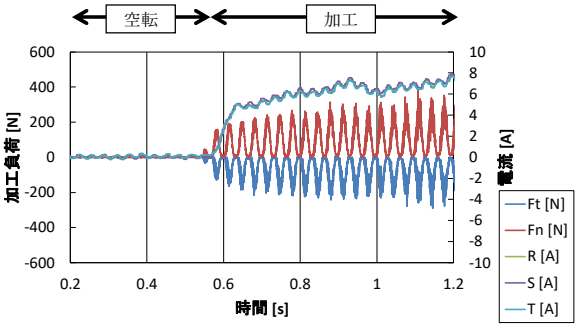


図 11　びびり発生時（1 パス）の加工負荷と主軸電流

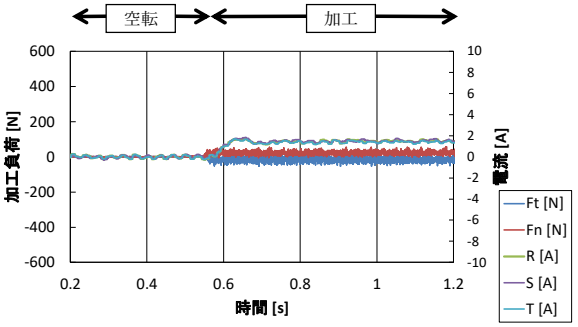


図 12　定常時（15 パス）の加工負荷と主軸電流

源周波数で観察出来る周期のびびりについては判別出来る可能性があるものの，今回発生したような高い周波数を有するびびりについては，主軸電流から検知することは難しいと考えられる。

４　おわりに

本研究では，研削加工における加工機の電流変化と加工負荷の関係の調査及び不安定加工状態の推定を行った結果，以下の知見が得られた。

（1）加工時の主軸電流を測定することにより，接線抵抗の推定が可能であることが分かった。

（2）加工機の主軸電流から研削焼けと目づまり割合をある程度の精度で推定出来ることが分かった。

（3）高い周波数を有するびびりについては，主軸電流から検知することは難しいことが分かった。

参考文献

1）奥山：″砥粒加工学会誌″，59，6(2015)，pp.355-358

2）Schindelin，J.；Arganda-Carreras，I. & Frise，E. et al.（2012），″Fiji：an open-source platform for biological-image analysis″，Nature methods 9(7)：676-682，PMID：22743772″

3）稲崎ら：″精密機械″，35，1(1969)，pp.47-53.

経常研究

樹脂 3D プリンタ造形物の機械的性質と造形限度に関する調査

髙岩　徳寿*　　石川　信幸*

Investigation on Mechanical Properties and Modeling Limits of Resin 3Dprinter Models

TAKAIWA Norihisa and ISHIKAWA Nobuyuki

本研究では，栃木県産業技術センターに導入した熱溶解積層と光造形の 2 種類の樹脂 3D プリンタについて，造形物の機械的性質や造形限度，品位について調査した。その結果，熱溶解積層の材料 4 種，光造形の材料 4 種について，機械的性質は熱溶解積層では積層方向による異方性が大きく影響し，光造形については異方性が比較的小さいことがわかった。また樹脂 3D プリンタが一般的に苦手とする形状を造形し，それぞれの形状での造形限度，品位について知見を得ることができた。

Key words: 3D プリンタ，積層造形，機械的性質，造形限度，品位

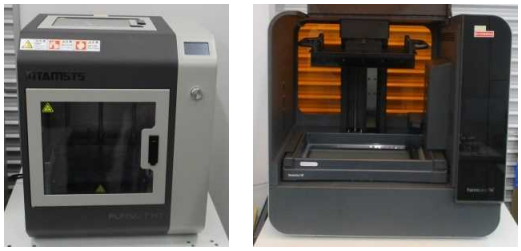
1　はじめに

近年，樹脂 3D プリンタは，幅広い産業分野において試作開発サイクルの短縮やコスト削減のために盛んに活用されている。樹脂 3D プリンタ造形物は，積層方向によって機械的性質に異方性があることが知られている[1)2)]。また，複雑形状の造形を得意としているが，形状によってはそのままでは造形できず，サポートの付与や設計変更が必要となる[3)]。樹脂 3D プリンタを効果的に活用するためには，造形物の機械的性質や造形限度，品位を的確に把握することが必要となる。そこで本研究は，栃木県産業技術センターに導入した樹脂 3D プリンタ（図１）について，造形物の機械的性質や造形限度等を調査し，それぞれの装置で使用可能な樹脂毎の特性を評価した。

2　研究の方法

2．1　機械的性質等の調査

図１に研究に用いた熱溶解積層（INTAMSYS　FUNMAT HT Enhanced）と光造形（Formlabs　Form 3L）の樹脂 3D プリンタを示す。



（a）熱溶解積層　　（b）光造形

図１　樹脂 3D プリンタ

表１に使用する材料を示す。熱溶解積層の材料は，PLA は Polymaker 社の PolyLitePLA，ABS は Polymaker 社の PolyLite ABS，PC は Polymaker 社の PolyLite PC，PEEK は INTAMSYS 社の PEEK を使用した。光造形の材料は，全て Formlabs 社の材料を使用した。造形条件はそれぞれの材料に対応した，3D プリンタメーカーの標準条件を使用した。

表１　造形方式毎の調査対象材料

熱溶解積層	PLA，ABS，PC，PEEK
光造形	Clear，Tough2000， Rigid10k，Flexible80A

表２に実施項目及び準拠した JIS 番号と試験片形状，試験回数を示す。Flexible80A は軟質材料であるので，曲げ試験及びシャルピー衝撃試験は実施しなかった。引張試験と曲げ試験は，万能材料試験機（島津製作所 AG-50kN-XV）を用いて実施した。引張試験の試験速度は 20mm/min，曲げ試験の試験速度は 2mm/min とした。シャルピー衝撃試験は，ノッチ加工機（安田精機製作所 No.189-PNCA）でノッチ先端半径が 0.25mm，ノッチ後残り幅が 8mm となるように加工し，ハンマー容量は 2.0J として衝撃試験機（東洋精機製作所 IT）を用いて実施した。硬さ試験は，Flexible80A 以外はロックウェル硬さ試験機（フューチュアテック LC-200R）を用いて R スケールで，Flexible80A はデュロメータ硬さ計（テクロック　GS-719G）を用いて実施した。粗さ試験は，表面粗さ測定機（テーラーホブソン PGI840）を用

*栃木県産業技術センター　機械電子技術部

いて，引張試験片の平行部を評価した。寸法測定は，マイクロメータ（Mitutoyo　MDE-25MX）を用いて，引張試験片の平行部を 1 材料につき 5 本，1 本につき 5 回ずつ実施した。

表２　実施項目及び試験方法

項目	JIS	試験片	回数
引張試験	K7161-1 K6251 （Flexible80A）	1A形 3号形	5
曲げ試験	K7171	短冊形	5
シャルピー衝撃試験	K7111	短冊形	10
硬さ試験	K7202-2 K6253-3 （Flexible80A）	50×50 ×10mm	10
粗さ測定	B0601	引張試験片	3
寸法測定		引張試験片	5

各試験片の造形方向について図２に示す。また熱溶解積層の斜め方向の造形物の写真を図３に示す。図２のとおり，水平方向，斜め方向，垂直方向の 3 方向で造形し，それぞれの方向で各試験結果の異方性を評価した。また，斜め方向については各装置のスライスソフトにおいて自動でサポートを生成し，造形後にニッパー等で除去した状態で試験を実施した。図３に示すとおり，熱溶解積層では造形物の反りによる剥がれを抑制するためにラフトを作製し，造形後にニッパー等で除去した。

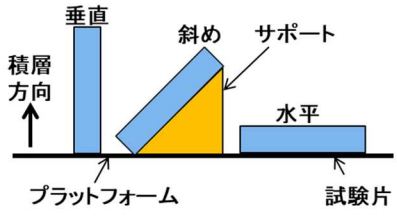


図２　造形姿勢の模式図

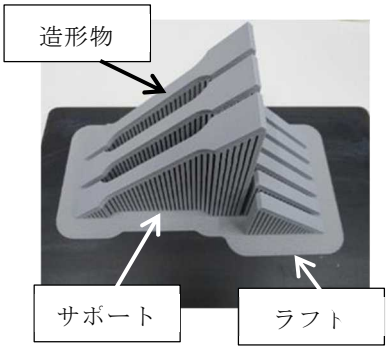


図３　熱溶解積層における斜め方向の造形物

２．２　造形限度，品位の調査

それぞれの造形方式における造形限度や造形物の品位を確認するために，表３に示す形状を造形した。熱溶解積層の材料は，Polymaker 社の PolyLiteABS を使用した。光造形の材料は，Formlabs 社の Tough2000 を使用した。穴については垂直方向と水平方向で調査した。熱溶解積層では使用する材料の消費を抑える目的で，造形物の内部の充填率をスライスソフトで設定できるのが一般的である。設定した充填率で造形した後，造形物の 3D 形状を X 線 CT 三次元測定機（ニコン　MCT225）で取得し，内部の体積から設定値に対する実際の充填率を調査した。

表３　造形限度，品位の調査項目

項目	内容
傾斜	水平から 15，30，45，75，90°
球	直径 0.5，1，3，5，10mm
ピン	直径 0.1～1(0.1 毎)，3，5，10mm
穴	直径 0.1～1(0.1 毎)，3，5，10mm
ブリッジ	1，3，5，7，10，15，20，30，40，50mm
充填率	20，40，60，80，100%（熱溶解積層のみ）

３　結果及び考察

３．１　機械的性質等の調査

表４に各材料の引張強さの平均値を示す。熱溶解積層の造形物は水平，斜め，垂直の順に引張強さが小さくなる傾向があり，造形方向による影響を受けることが分かった。熱溶解積層は材料によって異方性の強さが異なるが，これは材料毎の層と層の密着性の違いが現れており，層間の密着性が高い材料は異方性が小さく，密着性が低い物は異方性が強く表れていると考えられる。一方，光造形の造形物は造形方向による引張強さの低下はあまり見られなかった。光造形の一部の材料で引張強さが低下しているものがあるが，薄板形状では洗浄，二次硬化によって試験片が反ってしまう場合があり，造形方向の影響よりも形状変化の影響で強度が低下していると思われる。

表４　引張強さの平均値

材料	方向	引張強さ（MPa）
PLA	水平	37.59
	斜め	34.00
	垂直	32.06
ABS	水平	27.75
	斜め	20.56
	垂直	17.86
PC	水平	64.62
	斜め	39.24
	垂直	25.04
PEEK	水平	79.49
	斜め	12.05
	垂直	7.163

材料	方向	引張強さ（MPa）
Clear	水平	61.48
	斜め	62.67
	垂直	65.58
Tough 2000	水平	42.81
	斜め	42.07
	垂直	44.15
Rigid 10K	水平	48.71
	斜め	62.49
	垂直	66.63
Flexible 80A	水平	4.587
	斜め	4.392
	垂直	4.350

表５に各材料の曲げ強さの平均値を示す。熱溶解積層の造形物は水平，垂直，斜めの順に曲げ強さが小さくなる傾向があり，造形方向の影響を受けることが分かった。曲げによる変形でせん断方向の応力が強くなり，斜め方向の曲げ強さが低下していることが推測される。材料間の異方性の強度の違いは，引張強さと同様の理由と考えられる。光造形の造形物は造形方向による曲げ強さの差はあまり見られない。

表５　曲げ強さの平均値

材料	方向	曲げ強さ（MPa）
PLA	水平	53.09
	斜め	49.39
	垂直	54.74
ABS	水平	48.96
	斜め	34.38
	垂直	41.93
PC	水平	94.43
	斜め	55.78
	垂直	64.38
PEEK	水平	133.67
	斜め	36.13
	垂直	30.94

材料	方向	曲げ強さ（MPa）
Clear	水平	78.24
	斜め	74.85
	垂直	79.45
Tough 2000	水平	45.22
	斜め	44.39
	垂直	55.33
Rigid 10K	水平	106.79
	斜め	98.24
	垂直	105.34

表６に各材料のシャルピー衝撃値の平均値を示す。熱溶解積層の造形物は水平，斜め，垂直の順に衝撃値が小さくなっている。光造形の造形物は引張強さや曲げ強さの傾向とは異なり，水平方向が最も強くなり，斜め，垂直方向は同程度に小さくなっていることが分かった。衝撃試験では，引張試験や曲げ試験のように荷重のかかり方が緩やかではなく，ハンマーによって瞬間的に力が加えられ積層面が剝がれるように破壊されるため，光造形においても造形方向の影響が表れていると推測される。

表６　シャルピー衝撃値の平均値

材料	方向	衝撃値（kJ/m²）
PLA	水平	3.725
	斜め	2.782
	垂直	1.157
ABS	水平	11.234
	斜め	5.425
	垂直	2.322
PC	水平	2.629
	斜め	1.274
	垂直	1.152
PEEK	水平	10.524
	斜め	2.967
	垂直	1.211

材料	方向	衝撃値（kJ/m²）
Clear	水平	2.388
	斜め	1.577
	垂直	1.530
Tough 2000	水平	3.306
	斜め	2.456
	垂直	2.757
Rigid 10K	水平	1.639
	斜め	0.949
	垂直	0.968

表７に各材料の硬さの平均値を示す。熱溶解積層の造形物は，垂直方向が一番小さくなるものが多いが材料によって傾向が異なっている。光造形の造形物は造形方向による硬さの大きな変化は見られなかった。

表７　硬さの平均値

材料	方向	硬さ HRR
PLA	水平	73.46
	斜め	84.87
	垂直	66.41
ABS	水平	66.63
	斜め	46.19
	垂直	40.30
PC	水平	109.98
	斜め	90.88
	垂直	80.34
PEEK	水平	109.01
	斜め	94.86
	垂直	102.72

材料	方向	硬さ HRR
Clear	水平	117.57
	斜め	114.93
	垂直	118.77
Tough 2000	水平	100.81
	斜め	98.29
	垂直	101.66
Rigid 10K	水平	118.92
	斜め	103.33
	垂直	118.69

材料	方向	デュロメータ硬さ
Flexible 80A	水平	84.65
	斜め	80.75
	垂直	82.20

表８に各材料の表面粗さの平均値を示す。水平方向と斜め方向はアップスキン（斜め方向の造形時にサポートが付く面と反対の面）を表，ダウンスキン（斜め方向の造形時にサポートが付く面）を裏と定義して評価した。また表８の※はサポートを付与し造形されて

いる面で，造形後にサポートを除去して表面粗さを評価した。熱溶解積層では，水平方向裏面の表面粗さが一番悪く，次に斜め方向の粗さが悪い傾向があった。PEEK では斜め方向裏面の表面粗さが悪く，水平方向裏面の表面粗さがあまり悪くないが，これはサポートが造形物との密着性が良く剥がしにくいのに対して，ラフトと造形物は密着性が低く，ラフトから造形物を剥がしやすいことが影響していると考えられる。PLA，ABS，PC においてはラフトとサポートのどちらも造形物との密着性が良く，造形物から剥がしにくく水平方向裏面ではラフトは造形物全体についてしまう影響で裏面全体の粗さが悪化し，斜め方向裏面ではサポートが付く箇所と付かない箇所があるため，水平方向裏面よりは粗さが良くなっていると考えられる。また斜め方向表面では，緩斜面となっている影響で垂直方向よりも積層段差が目立ちやすく，粗さも悪くなることが分かった。光造形では，緩斜面の影響で斜め方向の粗さが若干悪くなる傾向があるが，全体的には良好な表面粗さとなっている。

表８　表面粗さの平均値

材料	方向	Ra(μm)	Rz(μm)
PLA	水平-表	7.05	43.58
	水平-裏	42.21	254.43
	斜め-表	25.84	149.97
	斜め-裏※	25.72	170.58
	垂直	16.39	95.16
ABS	水平-表	24.57	171.23
	水平-裏	49.34	324.51
	斜め-表	25.95	130.33
	斜め-裏※	22.76	145.11
	垂直	16.97	107.38
PC	水平-表	11.46	55.70
	水平-裏	38.15	241.87
	斜め-表	21.93	143.74
	斜め-裏※	24.38	169.27
	垂直	15.81	91.49
PEEK	水平-表	3.97	27.13
	水平-裏	6.31	42.80
	斜め-表	25.10	126.31
	斜め-裏※	29.06	177.12
	垂直	12.34	65.12

材料	方向	Ra(μm)	Rz(μm)
Clear	水平-表	0.82	4.88
	水平-裏	2.96	16.18
	斜め-表	6.01	27.51
	斜め-裏※	2.67	17.91
	垂直	1.18	6.04
Tough 2000	水平-表	0.96	5.86
	水平-裏	4.02	23.32
	斜め-表	4.25	21.54
	斜め-裏※	2.02	11.55
	垂直	2.14	11.62
Rigid 10k	水平-表	0.56	4.78
	水平-裏	3.61	19.53
	斜め-表	8.14	45.72
	斜め-裏※	3.23	21.94
	垂直	2.49	19.73
Flexible 80A	水平-表	0.86	7.39
	水平-裏	3.14	17.66
	斜め-表	2.54	19.78
	斜め-裏※	1.84	12.16
	垂直※	2.18	13.63

表９に各材料の引張試験片の平行部の幅（Flexible80A は 5mm 狙い。その他は 10mm 狙い）の寸法測定の平均値を示す。溶解積層の造形物は，狙いの寸法より大きめにできる傾向のものが多く，誤差は 0.2mm 程度であった。光造形の造形物はおおむね狙い通りの寸法であり，誤差は 0.1mm 以下であった。

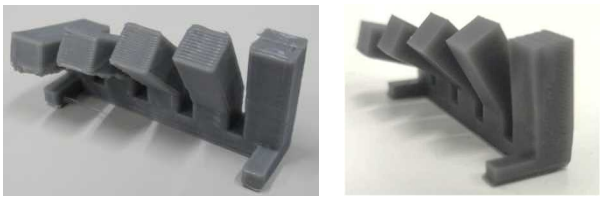
表９　寸法測定の平均値

材料	方向	寸法
PLA	水平	10.11
	斜め	10.20
	垂直	10.18
ABS	水平	10.05
	斜め	10.18
	垂直	10.20
PC	水平	10.15
	斜め	10.25
	垂直	10.27
PEEK	水平	10.04
	斜め	10.11
	垂直	10.08

材料	方向	寸法
Clear	水平	10.04
	斜め	10.06
	垂直	10.04
Tough 2000	水平	9.89
	斜め	9.93
	垂直	9.95
Rigid 10K	水平	10.01
	斜め	10.05
	垂直	10.09
Flexible 80A	水平	4.82
	斜め	5.01
	垂直	5.03

３．２　造形限度，品位の調査

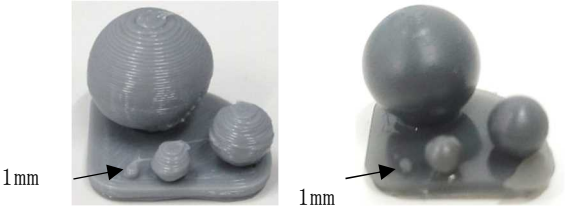
図４に傾斜の造形物を示す。すべて造形可能であったが，熱溶解積層ではダウンスキンの品位が大きく低下することが分かった。



（a）ABS　　（b）Tough2000

図４　傾斜の造形物

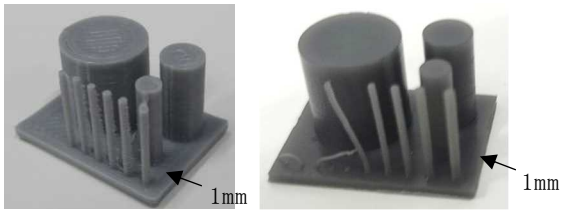
図５に球の造形物を示す。熱溶解積層は 1mm 以上で造形可能，光造形はすべて造形可能であった。どちらもダウンスキンの品位や形状は良くないことが分かった。



（a）ABS　　（b）Tough2000

図５　球の造形物

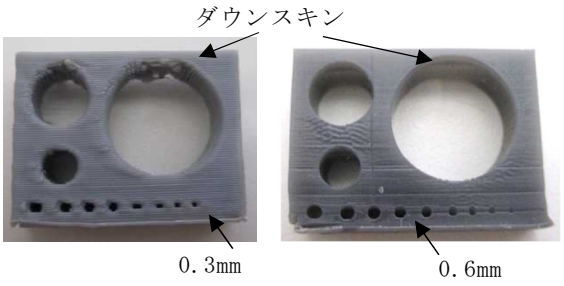
図６にピンの造形物を示す。熱溶解積層は 0.5mm，光造形は 0.6mm 以上で造形可能であった。どちらも 1mm 以下では傾きや倒れが発生することが分かった。



（a）ABS　　（b）Tough2000

図６　ピンの造形物

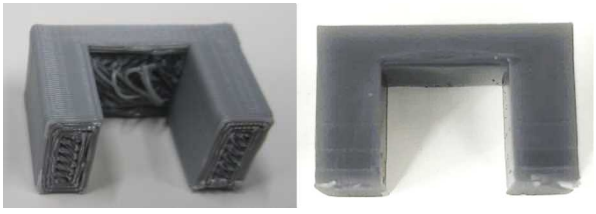
図７に穴の造形物を示す。熱溶解積層の垂直方向は0.3mm以上，水平方向は3mm以上で，光造形の垂直方向は0.6mm以上，水平方向は0.8mm以上で貫通穴が造形可能であった。どちらも垂直方向ではダウンスキンで品位が低下していることが分かった。



（a）ABS　　（b）Tough2000

図７　穴の造形物（垂直方向）

図８にブリッジの造形物を示す。熱溶解積層は40mmまで，光造形は30mmまで造形可能であることが分かった。どちらも10mm以上からダウンスキンの品位が低下することが分かった。



（a）ABS　　（b）Tough2000

図８　ブリッジ（10mm）の造形物

表10に各充填率での設定値と，造形物のCTデータから実測した充填率を示す。図９に充填率20%の造形物のCT画像を示す。60%までは設定値より実測値の方が小さいが，80%では設定値より実測値の方が大きくなる傾向があった。

表10　各充填率の設定値と実測値

設定値(%)	実測値(%)
20	17.80
40	31.58
60	56.56
80	93.47
100	99.87

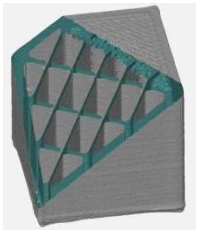


図９　充填率20%の造形物のCT画像

４　おわりに

樹脂3Dプリンタ造形物の機械的性質や造形限度等を調査し，各樹脂材料の特性を把握し，次の結論が得られた。

（1）熱溶解積層の造形物は、引張強さ、曲げ強さ、シャルピー衝撃値、表面粗さ等で異方性があることが分かった。

（2）光造形の造形物では、異方性はあまりないことが分かった。ただし、試験片のような薄板形状では反りが発生する場合があり、強度に悪影響を及ぼす可能性があることが分かった。

（3）それぞれの造形方式での、造形限度や品位を把握することができた。造形可能であっても、ダウンスキンの粗さや形状が大きく悪化する場合があることが分かった。

参考文献

1）太田崇文，岡田耕治，齊藤梓，吉田一也，村澤剛，川上勝，古川英光：″日本機械学会論文集″，vol.83 No.850，1-11，(2017)

2）佐藤一志，角田圭佑，石川信幸：″仙台高等専門学校名取キャンパス研究紀要″,第51号,7-10,(2015)

3）安齋正博 ：″日本ゴム協会誌″，第87巻 第9号，20-25，(2014)

経常研究

三次元座標測定機を用いた曲面形状測定に関する研究

片岡　智史*　　渡部　篤彦*　　石川　信幸*

Research on Measurement of Curved Surface using Coordinate Measuring Machine

KATAOKA Satoshi, WATANABE Atsuhiko and ISHIKAWA Nobuyuki

三次元座標測定機の測定子の接触方向による滑りの影響を調査するため，ブロックゲージや曲面形状を有するワークで検証を行った。100㎜のブロックゲージを点測定し，接触角度を変化させたときの2点間の距離を求めた。接触角度が大きくなると，2点間の空間距離は測定子の滑りの影響を受けるが，ブロックゲージの長さ方向の距離は滑りの影響を受けないことがわかった。曲面形状を有するワークを作製し，測定子を法線方向から接触させた場合と，垂直方向から接触させた場合の点の座標値を比較し，垂直方向接触の場合の滑り量を求めた。結果として，斜面の角度が大きくなるほど測定子の滑り量は大きくなり，斜面角度70°では，約250μmの滑りが発生することが明らかになった。

Key words:　精密測定，三次元座標測定機，タッチ測定，曲面形状，誤差

1　はじめに

近年，航空機部品や金型部品において曲面形状を有する部品が増加し，部品製造を行う加工メーカにおいても曲面形状の精度検証の要求が増加している[1)]。

当センターでは，このような要求を受けた企業に対して，非接触三次元デジタイザやX線CTなど非接触の装置で測定支援を行っている。曲面形状を非接触で測定するメリットとしては，曲面形状全体の点群データが得られることがあげられる[2)]。一方で，非接触の装置の測定精度は最小で約10μmと高精度な測定はできないことがデメリットであった。非接触の測定機よりも高い精度で測定したいという要求から，三次元座標測定機を用いて曲面形状を測定するケースが増加している。三次元座標測定機は測定点が離散点となるので，非接触の測定機のように曲面形状全体の点群データを取得することは難しいが，非接触の測定機よりも高い精度で測定が可能である。三次元座標測定機で曲面形状を測定する場合の課題として，測定子が測定面に対して法線方向以外から接触した場合に，測定子の滑りが測定結果に影響を及ぼすことが考えられる[3)]。

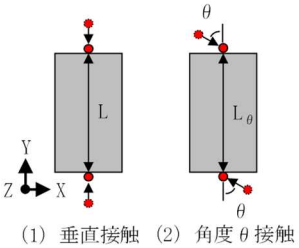
そこで本研究ではブロックゲージや曲面形状を有するワークを測定し，測定子の接触方向による滑りの影響について調査を行った。

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

2　研究の方法

2．1　ブロックゲージを用いた滑り検証

ブロックゲージの測定において，測定子の接触角度θが，測定値にどのような影響を及ぼすか検証した。測定の模式図を図1に，測定セットアップを図2に示す。三次元座標測定機はミツトヨ製LEGEX9106を使用した。ブロックゲージを三次元座標測定機のYスケールに沿って配置し，ブロックゲージの2面を点測定した。測定した2点間の距離からブロックゲージの長さを求めた。接触角度0°は，測定子は図1（1）のように測定面に対して垂直に接触する。接触角度θは，図1（2）に示す角度θ方向から接触する。ブロックゲージはミツトヨ製の長さ100㎜のものを使用した。使用したブロックゲージの仕様を表1に示す。測定条件を表2に示す。測定子は直径2㎜のものを使用した。接触角度θは0,15,30,45,60,75°の6条件で測定を行った。ブロックゲージの長さを算出する際は，測定面と接触子の接触位置による誤差を取り除くために，半径補正なしでデータを出力した。



（1）垂直接触　（2）角度θ接触

図1　測定模式図

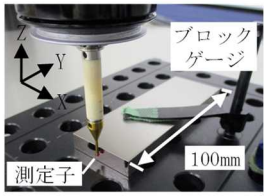


図2　測定セットアップ

表１　ブロックゲージ仕様

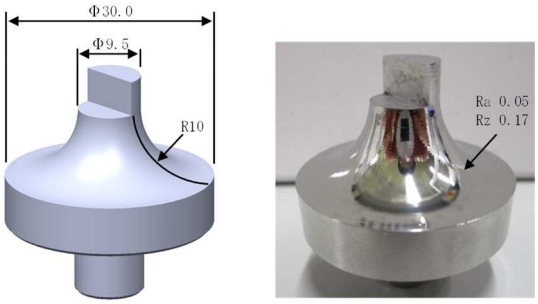
メーカ	株式会社ミツトヨ
製造番号	No.184655
ブロックゲージ等級	K 級
呼び寸法	100mm
中央寸法の寸法差	+0.097μm
校正年月日	2022 年 10 月

表２　測定条件

測定子	直径２mm，鉛直方向
接触角度	0, 15, 30, 45, 60, 75°
半径補正	なし

２．２　曲面形状ワークを用いた滑り検証

曲面形状を有するワークを点測定するときの測定子の滑りの影響について検証した。まず測定に用いるワークの設計･加工を行った。製作したワークを図３に示す。φ30mm の丸棒を旋盤で加工し，R10 の曲面形状を生成した。測定の際の表面粗さの影響を小さくするために，旋盤加工後に金属磨きで研磨を行い，表面粗さ Ra0.05μm，Rz0.17μm とした。測定の模式図を図４に，測定条件を表３に示す。接触位置 X に対して（1）法線方向から接触する場合と，(2) 垂直方向から接触する場合でそれぞれ点測定を行い，法線方向接触の座標値から垂直方向接触の座標値を減算することで，垂直方向接触の場合の滑り量を求めた。接触位置 X は，X=5.5～14.5 の範囲で，1mm ピッチで測定を行った。ブロックゲージの測定と同様に，測定面と接触子の接触位置による誤差を取り除くために，半径補正なしでデータを出力した。測定セットアップを図５に示す。図５（a）は三次元座標測定機の機械座標系を示している。測定時のプローブ駆動面による影響を調査するため，測定する断面を機械座標系の ZX 平面に一致させた場合（図５（b））と，XY 平面に一致させた場合（図５（c））の２パターンで測定を行った。



（a）ワーク３Ｄモデル　　（b）ワーク写真

図３　曲面形状ワーク

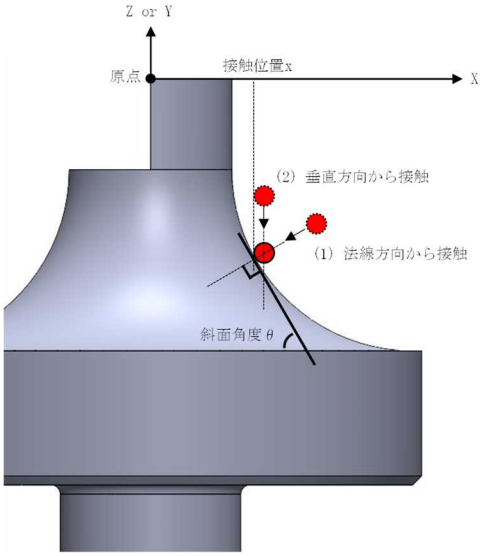
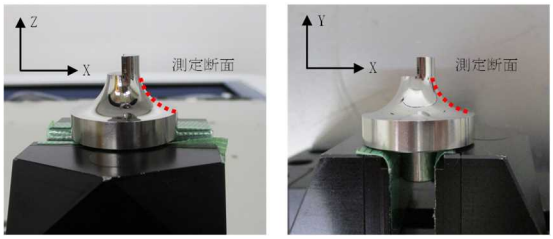


図４　ワーク測定模式図

表３　測定条件

測定子	直径 2mm，鉛直方向
接触位置	X=5.5～14.5 の範囲で 1mm ピッチ
接触方向	測定面の法線方向，垂直方向
半径補正	なし

（a）三次元座標測定機の機械座標系



（b）ZX 平面での測定　　（c）XY 平面での測定

図５　測定セットアップ

3　結果及び考察

3．1　ブロックゲージを用いた滑り検証の結果

図 6 に測定子の接触角度に対するブロックゲージの測定値をプロットしたグラフを示す。2 点間の空間距離は，接触角度 30°までは，垂直に接触する場合と比較してほぼ同じ値であったが，接触角度 45°を超えると増大した。これは図 7 に示すように，測定面接触時に測定子が滑り，ブロックゲージの長さを斜めに測定していることが原因と考えられる。一方で Y 方向の 2 点間距離については，2 点間の空間距離で確認された滑りの影響はなく，接触角度が大きくなっても一定であった。すなわちブロックゲージのような直方体の長さを測定する場合，2 点間の空間距離は滑りの影響を受けてしまうが，2 点間の測定方向に対する距離（この測定では Y 方向）を算出すれば，滑りの影響のない測定結果を得ることができる。

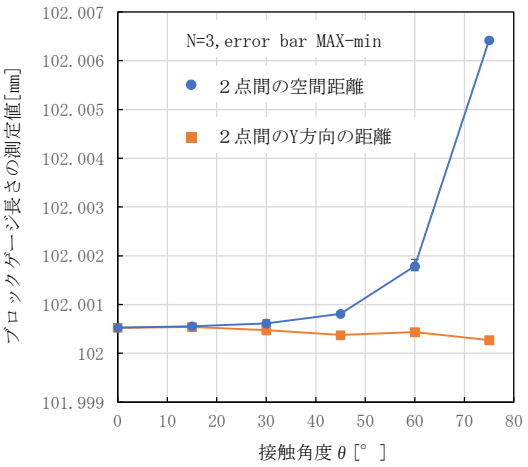


図 6　ブロックゲージ測定結果

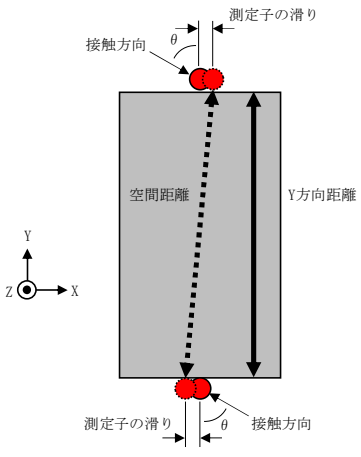
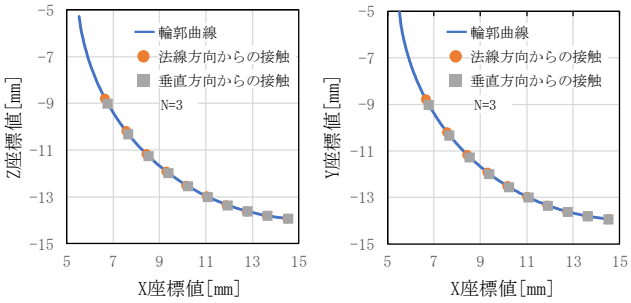


図 7　測定結果の考察

3．2　曲面形状ワークを用いた滑り検証の結果

点測定した座標値をプロットしたグラフを図 8 に示す。図 8 の曲線は倣い測定で取得した測定断面の輪郭曲線を示している。図 8（a），（b）のいずれの場合においても，測定点の座標値は輪郭曲線上に存在するが，接触する面が急角度であるほど，法線方向接触の場合と垂直方向接触の差が大きくなり，垂直方向から接触した点は法線方向から接触した点と比較して測定子が接触方向に進みすぎていることが読み取れる。これは垂直接触において測定子の滑りが発生したことが原因と考えられ，接触する面が急角度であるほど滑り量は大きくなる。図 9 に横軸に測定面の斜面角度を，縦軸に滑り量をプロットしたグラフを示す。図 9 から斜面角度約 70°の斜面では滑り量が約 250 μ m になることが明らかになった。また，斜面角度が 3°の面に接触した場合でも 10～20μm ほどの滑りが発生していることがわかった。以上から，三次元座標測定機を用いて曲面形状の点測定を行う場合，測定子の接触方向が測定面の法線方向からわずかでもずれると，誤差の要因になると考えられる。



（a）ZX 平面測定結果　　（b）XY 平面測定結果

図 8　曲面形状ワーク測定結果

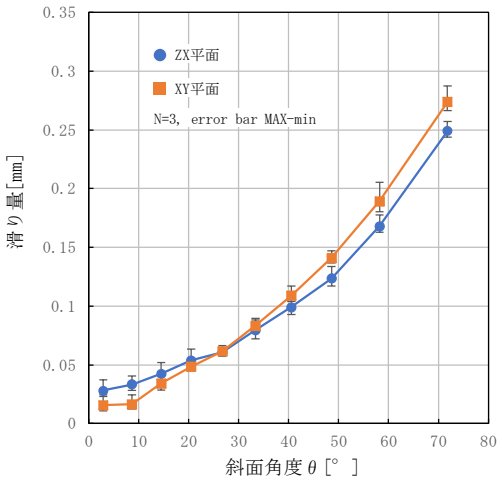


図 9　斜面角度に対する滑り量の変化

4　おわりに

ブロックゲージや曲面形状を有するワークを測定し，測定子の接触方向による滑りの影響について以下の知見を得た。

(1) ブロックゲージの長さ測定において，接触角度が大きくなると，2 点間の空間距離は測定子の滑りの影響を受ける。一方で，ブロックゲージの長さ方向の 2 点間距離は滑りの影響を受けない。

(2) 曲面形状を点測定する場合，測定面に対して測定子を垂直方向から接触させた場合では，法線方向から接触させた場合と比較して，測定子の滑りによって座標値に誤差が生じる。約 70° の斜面では約 250μm の誤差が生じ，3° の斜面でも 10～20μm の誤差が生じる。

(3) 三次元座標測定機を用いて曲面形状の点測定を行う場合，測定子の接触方向が測定面の法線方向に対してわずかでもずれると，測定誤差の要因になる。

参考文献

1) 渡邉真莉：″計測と制御″，61 巻，10 号，762-769，(2022)

2) 赤羽孝彦：″精密工学会″，85 巻，5 号，396-400，(2019)

3) 岸浪建史，中村久，斎藤勝政，亀井明敏:″精密工学会誌″，52 巻，８号，1420-1425，(1986)

経常研究

BI ツール・RPA ツール等を活用したデータ収集・可視化及び定型作業自動化の検討

八木澤　秀人*　　島田　智*

Data Collection and Visualization using BI and RPA tools and Study of Automation of Routine Tasks

YAGISAWA Hideto and SHIMADA Satoshi

近年，活用が進んでいる BI ツール，RPA ツール等を用いて，ローコードベースでデータ収集と可視化を実現する仕組みを構築した。本システムでは，センサデバイスをサーバ化し，RPA ツールからアクセスすることでデータを収集し，そのデータを csv ファイル形式で保存することで直接データを参照できる形とした。また，そのファイルに対して BI ツール等を用いてデータの結合・整形を自動化することで複数のセンサデータの可視化を実現した。

さらに，これらのツール群を活用した産業技術センター業務の自動化にも取り組み，定型作業の自動化が可能かについても検証を行った。

Keywords: BI ツール，RPA ツール，IoT，可視化，センシング

1　はじめに

県内ものづくり企業が IoT 要素技術や AI 技術を活用し，自社の生産性向上や競争力強化を図ることを支援するため，産業技術センターでは IoT・AI 関連の研究を実施しノウハウを蓄積するとともに，スマートものづくり研究会等を通じ，県内ものづくり企業における身の丈 IoT 活動を支援している。研究会活動を機に，自社の IoT 化に取り組み始めた企業も出てきている一方で取組が停滞している企業もあり，こうした企業に聞き取りした結果では，Python[1]等のテキストベースのプログラミング言語や，データの蓄積で使われる MySQL[2]等の RDB（Relational Database），データベース操作のための SQL（Structured Query Language）などに馴染みがなくハードルが高いと感じていることが要因として挙げられている。

一方，デジタル技術の進展に伴い，データ可視化や定型作業自動化のための各種ソフトウェアも市販されてきており，こうしたサービスを自社の業務改善に活かす企業も徐々に増えてきている。特に，RPA（Robotic Process Automation）ツールについては，定型業務の自動化を目的とし，プログラミングに不慣れな人でも扱えるようなユーザインターフェースを備えていることから，プログラミング言語やエンジニア向けツール・ソフトに比べて扱う上でのハードルは低いと考えられる。

そこで本研究では，プログラミングの経験がなくても比較的扱いやすい RPA ツールを用いてデータ収集を行い，BI（Business Intelligence）ツールや一般的なオフィスソフトと連携・可視化を実現することにより，ローコード・ノーコードベースでデータの収集・可視化を行える仕組みを検討した。加えて，蓄積データに対して RPA ツールや BI ツールを用いて，日次，週次等のデータ集計処理の自動作成を行うことにより，定型作業の自動化が可能かについて検証を行った。

＊　栃木県産業技術センター　機械電子技術部

2　研究の方法

2．1　データ収集・可視化システム

2．1．1　システム要件検討

システムを構築するにあたり，以下 3 つの課題を抽出し，それぞれの対応策を検討した（図 1）。

2．1．2　ツール選定・システム構成検討

次に，2．1．1で検討した要件を満たすためのツールの選定及びシステム構成の検討を行った。

今回使用するツールは，

- 企業が保有する PC 環境でも導入が容易なこと
- 企業保有の PC の OS として，Windows OS のシェアが高いこと

を考慮し，RPA ツールには Microsoft 社の Power

Automate Desktop[3]，BI ツールには同じく Microsoft 社の Power BI Desktop[4]を採用した。また，最近の Microsoft Excel[5]では，Power BI Desktop と同様に，ETL(Extract-Transform-Load)機能を持つ Power Query[6]が備わっており，データ整形処理の自動化が可能なことから Power BI Desktop，Microsoft Excel 双方で可視化を実現することとした。

システム構成としては，図２に示すとおり，Power Automate Desktop を用いてセンサデバイスからデータ取集を行い，デバイスごとのデータを単一ファイルで保存する。その後，保存したファイルに対して Power BI Desktop，Microsoft Excel 上の ETL 機能を活用することでデータの整形・可視化処理を自動化する。

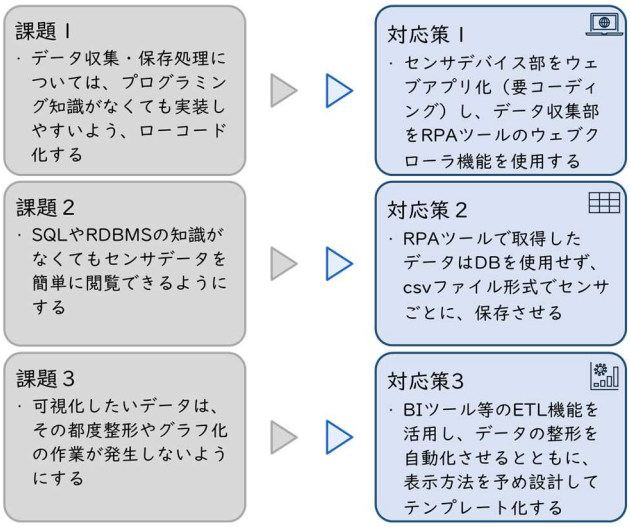


図１　システム要件

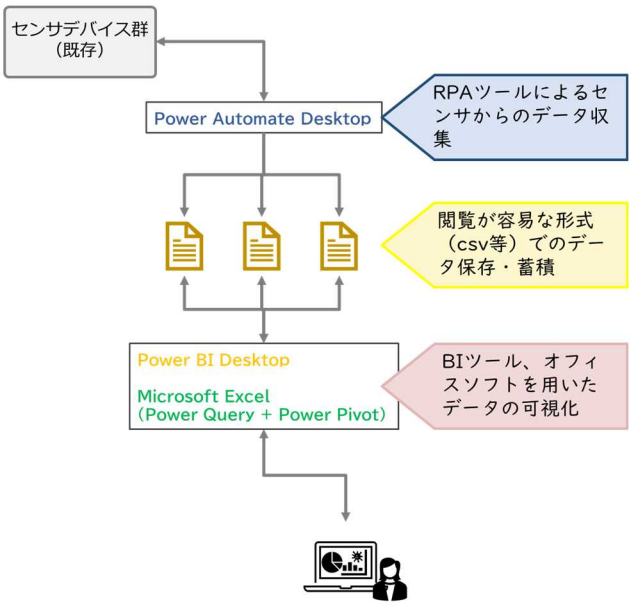


図２　システム構成

２．２　定型作業自動化

２．２．１　対象業務の選定

自動化の検証を行う業務の選定にあたって，以下の点を考慮した。

・決まった手順に沿って実行するルールベースの業務
・定期的に発生する業務
・手作業の場合にヒューマンエラーが発生する可能性のある業務

上記３点を考慮し，以下の２つの業務を選定した。

①月次報告の集計作業
②HP 更新作業

２．２．２　対象業務の現状把握

次に，選定した２つの業務についてそれぞれの業務の現状把握を行った。

①月次報告の集計作業

月次報告の集計作業業務では，情報システム上から必要なデータをダウンロードし，ダウンロードした csv 形式のデータを基に，データの集計作業を行い，最終的に報告用ファイルへの入力を行っている（図３）。

②HP 更新作業

HP 更新作業では，当センターHP で定期的に更新を行う必要があるコンテンツに対して，アップロード用ファイルの元データに適宜入力を行い，定期的にそのファイルを pdf 形式ファイルに変換後，センターHP の管理者用ページからデータをアップロードし，一般閲覧用ページから更新の確認を行うフローとなっている（図４）。

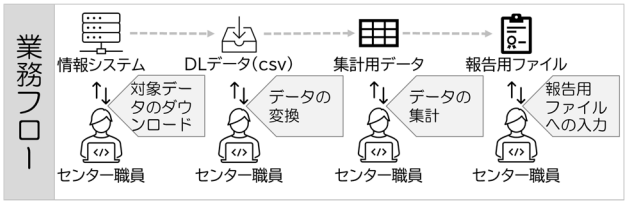


図３　現状の業務フロー（月次報告集計作業）

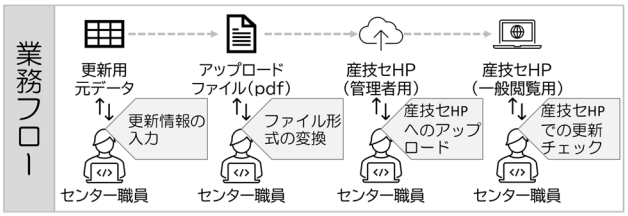


図４　現状の業務フロー（HP 更新作業）

２．２．３　自動化処理の検討

選定した２つの対象業務について，それぞれ自動化を適用する箇所の検討を行った。

①月次報告の集計作業

この業務においては，以下の部分について自動化処理が可能であると考えられる。

・対象データダウンロードの自動化：RPA ツールを用いて情報システム上から必要なデータを自動的にダウンロードする。

・データ集計の自動化：ダウンロードしたデータに ETL ツールを適用して自動的に変換・集計する。

ただし，情報システム上からのデータの自動ダウンロードについては，システム環境の制約から実施が難しいため対応を見送り，データ変換の自動化についてのみ Microsoft Excel を用いて検証を行うこととした。

②HP 更新作業

この業務においては，以下の部分について自動化処理が可能であると考えられる。

・ファイル変換の自動化:アップロード用のファイルを自動的に pdf 形式ファイルに変換することで，手動での変換作業を不要とする。

・ファイルアップロードの自動化:自動的にデータをアップロードすることで，手動でのアップロード作業が不要となる。

こちらについては，RPA ツールを用いて検証を行うこととした。

３　結果及び考察

３．１　データ収集・可視化システム

３．１．１　データ収集

センサデバイス部については，M5Stack[7]や Raspberry Pi[8]を使用し，プログラムについても過去の研究[9]で開発したものを大部分活用することで開発効率の向上を図った。

RPA ツールでデータ取得を行えるようにするため，RPA を動かす PC をクライアント側，センサデバイスをサーバ側とし，PC 側から HTTP リクエストを行うことでセンサデバイスにアクセスし，最新のセンサデータをレスポンスで返してもらう形とした。レスポンス時のデータ形式については，RPA ツールでパース（構文解析）しやすいように JSON 形式とした（図５）。その後，RPA ツールを用いて，センサから取得した１回分の JSON 形式のデータをテーブル形式の１レコードの形に変換し，csv ファイルの末尾に挿入するシナリオを作成した（図６）。これら一連のプロセスをシナリオ化し，１か月程度動作させ，問題なく複数センサからデータが収集・保存できることを確認した。なお，収集したセンサデータについては，期間の関係上，環境データ（温湿度）２か所と稼働データ（クランプ電流）１か所分に限定した。

３．１．２　データ可視化

３．１．１に示したとおり，RPA ツールを使用することで，温湿度センサやクランプセンサごとに csv 形式でファイルが保存されるため，そのデータを直接参照することでデータの確認は可能となる。

一方で，全体を通してデータを確認したい場合には個別ファイルのままでは不向きのため,BI ツール等を用いてデータの結合・整形・可視化を行った。

各センサデータの結合処理については，Power BI Desktop 及び Microsoft Excel に備わる Power Query を活用し，下図に示すように，各センサの横持ち形式のデータを縦持ち形式に変換し，一つのテーブルにまとめる処理を作成した（図７）。

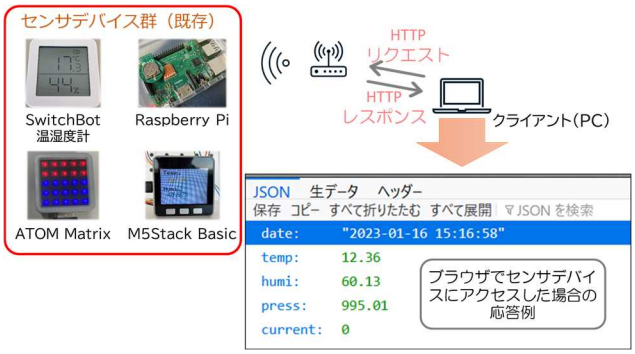


図５　ブラウザでアクセスした場合の応答例

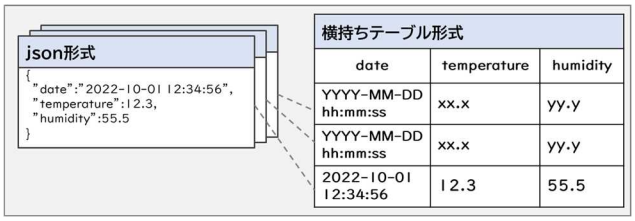


図６　センサデータの格納イメージ

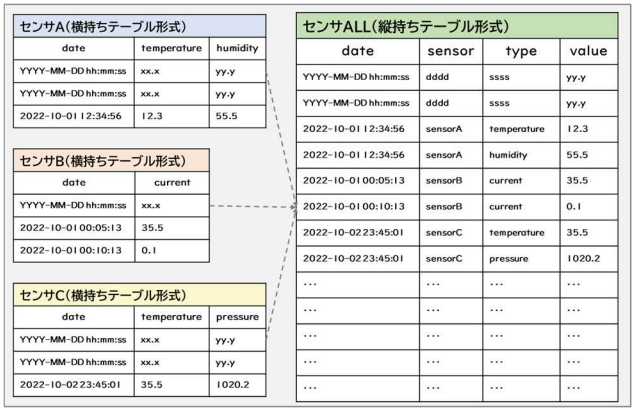


図７　各センサデータの結合イメージ

次に，結合したデータを読み込み，Power BI Desktop と Microsoft Excel それぞれで可視化用のダッシュボードを作成した。ダッシュボード化することで，センサデータがテーブルに追加された後も，改めてデータを読み込むことでグラフ部分が更新されることを確認した。

なお，開発を進める上で，これらダッシュボードはウェブアプリと比較し，時系列データの期間範囲の大幅な変更（日時表示→月次表示）に追従することが難しいことが判明したが，複数シート（日次表示用，月次表示用など）に分けてダッシュボードを作成することで対策は可能であると考えられる。

３．２　定型作業自動化

３．２．１　月報集計作業

職員が集計用に情報システムからダウンロードしたデータについて,Microsoft Excel の Power Query,Power Pivot 機能を活用し，集計に必要なデータ整形・結合処理の自動化を図った。なお，集計作業において，定型処理が行えない，手動での作業が必要な箇所が一部あったため，その部分についてはセンター職員が補完する形とした（図８）。

３．２．２　HP 更新作業

職員が入力を行ったアップロード用ファイルに対して，Power Automate Desktop を用いて，ファイルの変換処理,HP 用管理ページへのアップロード処理を行うシナリオを作成し，自動化を図った（図９）。作業の自動化が行えることを確認した一方で，シナリオがエラー停止する場面もあった。これは，画面遷移の処理において，ある画面から別の画面に切り替わる場合のタイミング依存で発生していると考えられる。今後，処理が遷移する際の待機条件を再検討することで改善を図る。

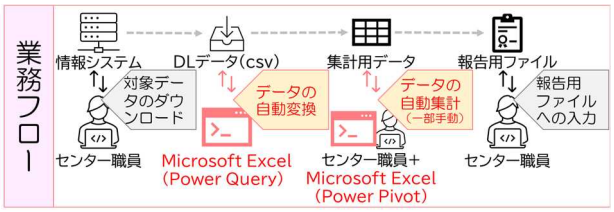


図８　対応後の業務フロー（月次報告集計作業）

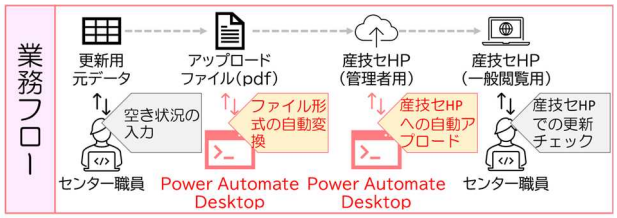


図９　対応後の業務フロー（HP 更新作業）

４　おわりに

今回の研究で，以下のことに取り組み，ローコードツールによるデータ収集・蓄積・可視化の仕組みを構築し，実際に動作することを確認した。

（1）既存のセンサデバイスから RPA ツールを使用してセンサデータの取得,csv ファイルへの保存を行うシナリオを作成し，問題なく動作することを確認した。

（2）csv データの読込み・整形・可視化までを自動化させるダッシュボードを作成した。

また，これらのツールを活用することでセンター定型業務の自動化についても一部実現できる可能性があることを検証できた。

参考文献

1）Python：″https://www.python.org/″
2）MySQL：″https://www.mysql.com/jp/″
3）Power Automate Desktop：″https://powerautomate.microsoft.com/ja-jp/robotic-process-automation/″，Microsoft 社
4）Power BI Desktop：″https://powerbi.microsoft.com/ja-jp/desktop/″，Microsoft 社
5）Microsoft Excel：″https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/excel″，Microsoft 社
6）Power Query：″https://learn.microsoft.com/ja-jp/power-query/″，Microsoft 社
7）M5Stack：″https://m5stack.com/″，M5Stack 社
8）Raspberry Pi：″https://www.raspberrypi.org/″，ラズベリーパイ財団
9）島田智,八木澤秀人：″栃木県産業技術センター研究報告″，No.19，51-56，（2022）

経常研究

ポリプロピレン樹脂の結晶化度制御による接着性向上

益子　朱音*　　男澤　嶺*　　大森　和宏*

Improvement of Adhesive Properties by controlling crystallinity of polypropylene

MASHIKO Akane, OTOKOZAWA Ryo and OMORI Kazuhiro

様々な熱プレス成形条件で作製した結晶化度が異なるPP成形板に対し，UV処理の後，SUS304との接着強さの評価を行い，結晶化度と接着強さの関係を調査した。結晶化度は冷却温度40℃で最も低く，徐冷で最も高くなり，プレス温度よりも冷却温度の影響が大きいことが確認された。PP成形板の水に対する接触角はUV照射20分で最も低下した。PPとSUS304の接着強さはUV照射3分又は20分で最大となり，UV照射60分では低下した。また，結晶化度が高い方が接着強さは大きくなる傾向が見られた。

Key words:　結晶化度，接着強さ，UV処理

1　はじめに

自動車産業では，大型のバッテリー搭載等による車重の増加が課題となっており，燃費向上に向けた軽量化への要求は従来にも増して高まっている。このため，適材適所に材料を使用するマルチマテリアル化が進んでおり，様々な異種材料を接合するための接着技術の重要性が高まっている。

近年，自動車の重量に占める樹脂の構成比率は増加しており，現在は約1割に達すると推定され，その中で，ポリプロピレン（PP）は全樹脂の約50%を占める。PPは軽量かつ成形性に優れることから，インパネ，ドアトリム，ピラー等の内外装で多く使用されている一方，表面張力が小さく難接着性という欠点があり，PPを接着するためには表面処理が必要となる。樹脂の表面処理方法として，化学処理，火炎処理，プラズマ処理があるが，環境負荷や熱変形，基材表面が荒れる等の問題がある。一方，紫外線（UV）処理は試料にUVを照射することで表面に極性基を導入し濡れ性を向上させるため，環境負荷や基材表面へのダメージが少ないという利点がある。

他方，結晶性高分子において，酸化等の反応は非晶領域で起きることが知られており[1)]，UV処理による表面改質効果は結晶化度等の表面構造の影響を受けると推察される。しかし，結晶化度とUV処理効果及び接着強度を結びつけた報告は少ない。

そこで本研究では，樹脂成形品の結晶化度の違いが，UV処理による改質効果や樹脂と金属の接着強度に及ぼす影響を検討したので報告する。

＊　栃木県産業技術センター　材料技術部

2　研究の方法

2．1　材料

PPはペレット（J106MG，プライムポリマー㈱）を使用し，SUS304はテストピース（150mm×70mm×t0.8mm，TP技研㈱）を使用した。接着剤はエポキシ樹脂（ボンドEセット、コニシ㈱）を使用した。

2．2　PP板の成形

PPのペレットをプラスチックカッティングミル（PLC-2M，大阪ケミカル㈱）を用いて粉砕した。粉砕材をミニテストプレス（MP-WNL,㈱東洋精機製作所）を用いて，プレス温度180℃又は230℃で5分間，20MPaで熱プレス成形し，100mm×100mm×t0.5mmのPP成形板を作製した。PPの結晶化度を変化させるため，プレス後の冷却温度は40℃冷却，120℃冷却，徐冷の3通りとし，40℃冷却及び120℃冷却は5分間冷却し，徐冷は冷却速度約1℃/minで70℃以下になるまで冷却した。続けて，PP成形板を140℃の定温乾燥器内で30分，3時間，6時間保持し，熱処理PP成形板を作製した。

2．3　UV処理と接着

UVランプ（UV253MINI,フィルジェン㈱）を用いて各PP成形板に対して，波長185nm及び253nmのUVを3，10，20，30，60分間照射した。なお，UVランプと試料間の距離は3mmとした。その後，速やかに接触角計（DMs-400，協和界面科学㈱）を用いてUV処理したPP成形板の水に対する濡れ性を接触角で評価した。測定には蒸留水を用い，滴下量は2μLとした。

次に，PP成形板を10mm×40mmの大きさに切り出し，UVランプを用いて10×10mm^{2}の範囲にUVを1，3，20，60分間照射した後，速やかにUVを照射した範囲に接着

剤を厚さ 0.3mm で塗布した。その後，10mm×70mm の大きさに切り出した SUS304 を張り合わせ接着した。なお，接着層の厚みは0.3mmのステンレスワイヤーを挟んで調節した。接着剤が硬化した後，PP 成形板の接着面の逆側に別途 SUS304 を張り付けて補強し 23℃，45%RH で 3 日養生したものを接着試験片とした。

２．４　評価

PP 成形板の結晶化度は，当該試料を約 5mg 切り出してアルミパンに詰め，示差熱量計（DSC7020,㈱日立ハイテクサイエンス）を用いて 10℃/min の速度で 200℃まで昇温し，融解熱⊿H を測定し，以下の式（1）より算出した。

結晶化度（%）＝（⊿H／⊿Hc）×100　（1）

ここで，⊿Hc は PP 完全結晶体の融解熱であり，⊿Hc＝207J/g[2)]の値を用いた。

PP 成形板の結晶構造は，X 線回折装置（RINT2100H,理学電機工業㈱）を用いて解析した。

PP と SUS304 の接着強さは,万能材料試験機(AG-50KNIM2，㈱島津製作所）を用いて試験速度 1mm/min，つかみ具間距離 50mm で引張せん断接着強さ試験を行い評価した。

接着試験片の破壊形態は，引張せん断接着強さ試験を行った PP 側の接着破壊面を走査型電子顕微鏡（JSM-6010PLUS/LA,日本電子㈱）を用いて観察し評価した。また，破壊後の SUS304 側に付着した接着剤をフーリエ変換赤外分光光度計(FT/IR-4600,日本分光㈱)及び熱分解ガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2010Ultra，㈱島津製作所）を用いて分析した。

３　結果及び考察

３．１　PP 成形板の結晶化度および構造

プレス温度と冷却温度が異なる 6 種類の PP 成形板を作製し，成形条件が結晶化度に与える影響について検討した。表１に各成形条件における PP 成形板の結晶化度を示す。PP 成形板の結晶化度は，プレス温度 180℃及び 230℃において冷却温度 40℃で最も低く，徐冷で最も高くなった。また，プレス温度 180℃及び 230℃の条件で作製した PP 成形板の結晶化度を比較すると，すべての冷却温度条件においてプレス温度による差は見られなかった。このことから，プレス温度が結晶化度に与える影響は少なく，冷却温度による影響が大きいことが確認された。このため，以降の実験ではプレス温度は 180℃一定とした。また以降は，180℃でプレスした後 40℃で冷却し作製した PP 成形板を 180℃→40℃（結晶化度 43.5%）と表記することとし，同様に 180℃でプレスした後 120℃で冷却し作製した PP 成形板を 180℃→120℃（結晶化度 47.8%），180℃でプレスした後徐冷し作製した PP 成形板を 180℃→徐冷（結晶化度 51.4%）とした。

表１　各成形条件における PP 成形板の結晶化度

No	プレス温度（℃）	冷却温度（℃）	結晶化度（%）
1	180	40	43.5
2	230	40	42.8
3	180	120	47.8
4	230	120	47.7
5	180	徐冷	51.4
6	230	徐冷	51.1

続いて,冷却温度が異なる 3 種類の PP 成形板を 140℃で所定の時間熱処理を行い，熱処理が結晶化度に与える影響について検討した。図１に各成形条件における熱処理 PP 成形板の結晶化度を示す。成形条件に関係なく，すべての PP 成形板で 140℃の熱処理により結晶化度が増加することが確認された。加熱保持中に結晶が成長したため，結晶化度が増加したものと考えられる。また，成形条件と結晶化度の増加量との間に明確な関係性は見られなかった。

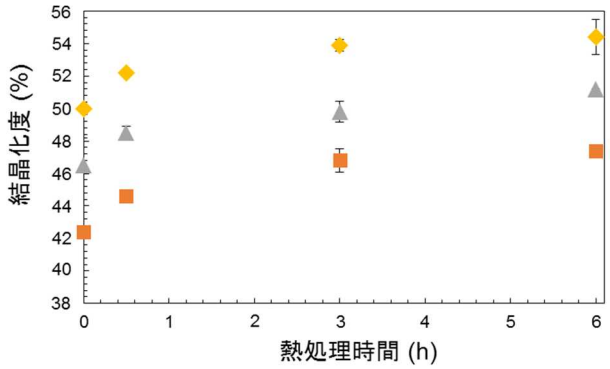


図１　各成形条件における熱処理PP成形板の結晶化度;
■180℃→40℃（結晶化度 43.5%），
▲180℃→120℃（結晶化度 47.8%），
◆180℃→徐冷（結晶化度 51.4%）.

次に，各 PP 成形板の結晶構造について X 線回折装置を用いて解析した。図２のとおりすべての PP 成形板で同一の回折ピークが観測されたことから，成形条件に関係なく同一の結晶構造を有することが確認された。

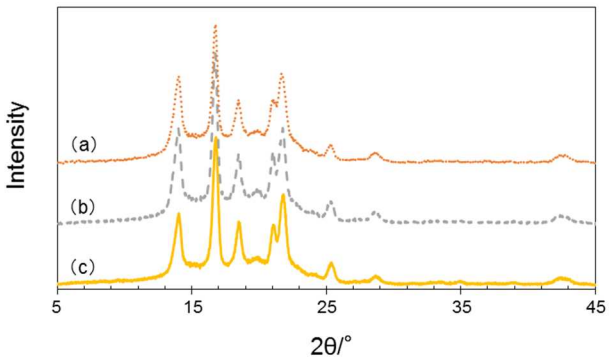


図２　各 PP 成形板の X 線回折パターン；
（a）180℃→40℃（結晶化度 43.5%），
（b）180℃→120℃（結晶化度 47.8%），
（c）180℃→徐冷（結晶化度 51.4%）．

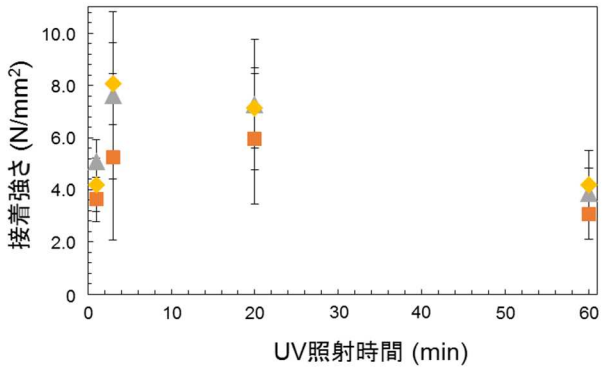


図４　UV 処理による PP と SUS304 の接着強さ；
■180℃→40℃（結晶化度 43.5%），
▲180℃→120℃（結晶化度 47.8%），
◆180℃→徐冷（結晶化度 51.4%）．

３．２　PP の UV 処理と接触角

図３に各 PP 成形板への UV 照射時間が接触角に及ぼす影響を示す。すべての PP 成形板で UV 照射時間が 10 分までの間に接触角は急激に下がり，UV 照射 20 分で最も接触角が低くなり，それ以降では接触角が上がった。UV 処理により樹脂表面に親水基が生成したことで接触角が下がったと推察される。結晶性高分子は非晶領域で酸化等の反応が起きることが知られており，結晶化度が低いほど短時間で接触角が低下する又は接触角がより低下すると予想したが，本研究で検討した結晶化度の範囲においては結晶化度の違いによる明確な差は見られなかった。

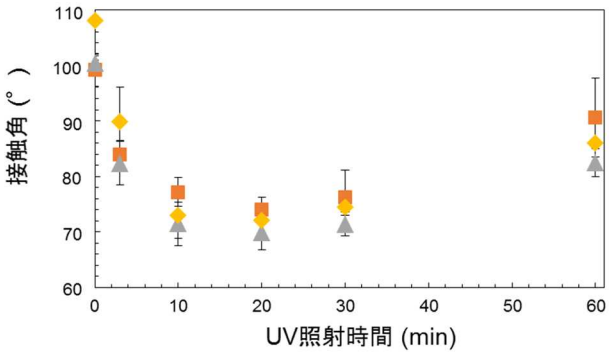


図３　各 PP 成形板における UV 照射時間による接触角測定結果；
■180℃→40℃（結晶化度 43.5%），
▲180℃→120℃（結晶化度 47.8%），
◆180℃→徐冷（結晶化度 51.4%）．

３．３　接着強さ

図４に PP 成形板の UV 処理時間と SUS304 との接着強さの関係を示す。接着強さはすべての PP 成形板において UV 照射 3 分又は 20 分で最大となり，UV 照射 60 分では低下した。

引張せん断接着強さ試験における破壊形態は，UV 照射 1 分及び 60 分では PP 成形板と接着剤の界面での破壊であり，UV 照射 3 分及び 20 分では PP 成形板と接着剤の界面での破壊又は PP 成形板の材料破壊であった。UV 照射 1 分では，UV 処理による改質が不十分であったため PP 成形板と接着剤の界面で剥離したと考えられる。一方，UV 照射 60 分で接着強さが低下したことについて考察するため，引張せん断試験を行った PP 成形板の接着破壊面を走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した。図５に PP 表面の SEM 画像を示す。引張方向に対して垂直に線状の跡が生じており，一部塑性変形し PP 表面が剥がれたと思われる様子が観察された。

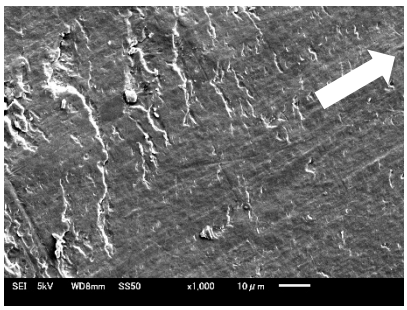


図５　PP 接着破壊面の SEM 画像；
矢印は引張方向を示す．

また，フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）及び熱分解ガスクロマトグラフ質量分析計（熱分解 GC-MS）を用いて PP 成形板と接していた側の接着剤の分析を行ったところ，FT-IR で 1,378cm^{-1}に PP 由来と思われる成分が検出され，熱分解 GC-MS ではリテンションタイム 5.5 分に PP の熱分解生成物である 2,4－ジメチル－1－ヘプテンと思われるピークが検出された。以上より UV を 60 分

間照射したPP成形板はPP表面で破壊したことが明らかになった。UV処理を過剰に行うと極性基が導入され濡れ性は向上するが，同時に表面の分子鎖は切断され低分子量化することが知られている[3)]。UV照射60分で接着強さが低下したのは，低分子量化により生成した脆弱層によるものと考えられる。

また，UV処理したPP成形板の水に対する接触角（図３）と接着強さ（図４）を比較すると，180℃→120℃（結晶化度47.8%）及び180℃→徐冷（結晶化度51.4%）はUV照射3分で接着強さが最大となり，接触角が最も低下した条件で接着強さが最大となるわけではないことが明らかになった。このことは，UV照射によるPP表面の改質は非晶領域における極性官能基の導入による濡れ性向上の効果よりも脆弱層の形成による強度低下の影響の方が大きかったためと推察される。

また，接着強さはPP成形板の結晶化度が高い方が大きくなる傾向が見られた。結晶性樹脂は結晶化度が高くなると弾性率が高くなることが知られており[4)-5)]，結晶化度が高くなることにより，表面の剛性が高くなったことが一つの要因と考えられる。

４　おわりに

様々な成形条件で熱プレス成形によりPP成形板を作製し，成形条件による結晶化度の影響を確認した。また，結晶化度の違いがUV処理による改質効果や樹脂と金属の接着強度に及ぼす影響について評価し，以下の知見を得た。

(1) 結晶化度に関係なく，PP成形板でUV照射時間が10分までの間に接触角は急激に下がり，UV照射20分で最も接触角が低くなり，それ以降では接触角が上がった。

(2) PPとSUS304の接着強さは，UV照射3分又は20分で最大となり，UV照射60分では低下した。また，結晶化度が高い方が接着強さは大きくなる傾向が見られた。

(3) UVを60分間照射した後SUS304と接着強さ試験を行ったPP成形板は，表面に形成された脆弱層で破壊したことが分かった。

参考文献

1) 角岡正弘：″日本ゴム″，68（5），274，（1995）

2) Roger L.Blaine：THERMAL APPLICATIONS NOTE Polymer Heats of Fusion，Table１－Polymer Heats of Fusion

3) 小川俊夫：″プラスチックの表面処理と接着″，共立出版，95，(2016)

4) 刈茅孝一，高橋清久：″日本複合材料″，21（1），8，(1995)

5) 植松市太郎，植松淑子：″高分子″，10（3），285，（1961）

6) 杉村博之：″成形加工″,30（3）,107，(2018)

7) 北尾幸一，鶴田秀和：″高分子論文集″，52（8），497，(1995)

8) 佐藤千明：″表面技術″，67（12），644，(2016)

経常研究

インクジェットプリンタによるテキスタイル製品の生産効率化

吉葉　光雄*　　飯沼　友英*

Research on Production Efficiency of Textile Products using Inkjet Printer

YOSHIBA Mitsuo and IINUMA Tomohide

柄の自由度が高く多品種少量生産に適しているテキスタイルインクジェットプリンタの特徴を活用し，テキスタイル製品の生産効率化を目指すため，型紙データと柄データの一体化を検討するとともに，試作による検証を行った。その結果，柄のつながりや審美性を考慮したデザインの作成・調整を行う一連の手順を確立した。

Key words:　テキスタイルインクジェットプリンタ，型紙，デザイン

1　はじめに

近年ものづくりの現場では，デジタルトランスフォーメーション（DX）に代表されるようにデジタルツールを利用した情報の連携が進んでおり，繊維産業でもデジタル化が徐々に浸透してきている。また，SDGs の概念が広まるにつれ，生産時の環境負荷が注目を集めるようになっている。繊維製品については，製品になるまでに必要となるエネルギーや水の消費量が多く，生産現場での対応が求められる。

こうした情勢を受けて注目されつつあるのが，インクジェットプリンタによるテキスタイルの捺染である。テキスタイルインクジェットプリンタによる捺染は,20 年以上前から普及が始まっており，当初はフラットベッドタイプのものが主流であったが，現在では紙用の大判プリンタと同様の形状をしたタイプも広く普及している（図１）。プリンタ本体の性能向上とともに，制御 PC やソフトウェアも進化しており，またデジタルとの親和性が高く，捺染時のエネルギー消費が少ない。このような特徴から，従来からのメーカーに加え，大手プリンタメーカーも参入している。

図１　テキスタイルインクジェットプリンタ

＊ 栃木県産業技術センター繊維技術支援センター

また，テキスタイルインクジェットプリンタは柄の自由度が高く，納期短縮，多品種少量生産に適していることから，製品の差別化や生産の効率化につながる手法が期待される。本研究では，これらの特性を活用し，縫製した際の柄あわせを考慮した柄配置について検討を行い，型紙と柄データを一体化してプリントする手法を確立することを目標とした。

2　研究の方法

2．1　型紙・図案のデザイン検討・作成

型紙のデータについては，製品の企画を想定して，センターで所有する 9A（成人女性の標準体型）の人台から立体裁断で採寸を行った。一般的には採寸した型紙はデジタイザーやスキャナで取り込み，アパレル CAD のデータとするが，本研究では簡便な方法としてデジタルカメラで撮影，画像化し，CAD データにする方法を試みた。また，図案はセンター所有のデザイン資料データを活用し，加工して用いることとした。

2．2　型紙と図案一体データの調整

２．１で準備した型紙と図案のデータについて，縫製の際の審美性を念頭に合成を行い，併せて位置合わせ精度を評価するためのパターンも配置した。その後制御 PC にデータを取り込み，制御ソフトによりインクジェット捺染の生地幅に合わせて配置した。

2．3　試作（プリント～縫製）

２．２で作成した画像データをテキスタイルインクジェットプリンタ（㈱ミマキエンジニアリング製　Tx2-1600）で捺染し，スチーム処理，ソーピング処理等の後縫製を行い，マネキンに試着して，型紙の整合性や図案の位置合わせ精度等の確認を行った。

３　結果及び考察

３．１　型紙データ作成と図案の検討

パターンメーキングの様子を図２に示す。綿のシーチング生地を使用し，虫ピンで人台に固定しながら形作った。今回使用したパーツは前身頃，後身頃，前スカート，後スカートの４点であり，中心線やバストライン，ウエストライン等を参照しながら固定やダーツの作成等を行い，合わせ目部分を鉛筆等でトレースした。

図２　パターンメーキング

描画が完了した布は，人台から取り外し，40 センチ間隔で縦横にマーカーを配置したボードに装着後，三脚を用いてデジタルカメラで撮影した。なお，そのままではフォーカスが合いにくいため，十字型のマーカーを貼付して撮影することにより，シャープな映像を取り込むことができた（図３）。

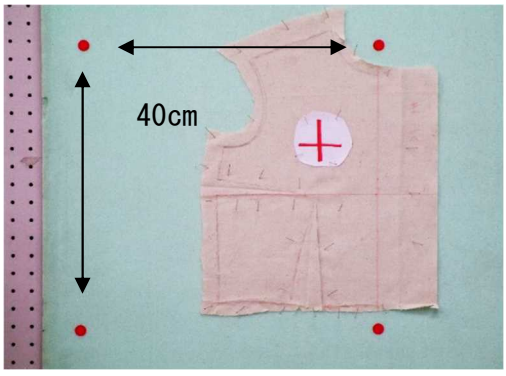


図３　作成したパターンの取込み

撮影した画像は，マーカーを参照して歪み補正を行った後，Adobe Illustrator®で輪郭部分を描画し直した。次に，人体の動きを考慮してゆるみ入れを行い，最終的な型紙データとした（図４）。

A:画像をもとに線を描画
B:体を動かすのに必要となるゆるみ入れ
C:作成した型紙データ

図４　型紙データの編集

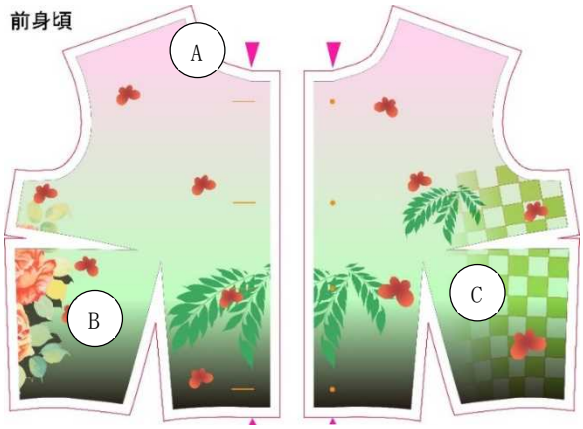
型紙データと合わせて用いる図案データについて，もととなるデザイン資料のデータは，手書の絵をスキャンしたものである。これをデザインに使用できるように，モチーフの抽出・色まとめ・輪郭修正など一連の図案調整を Adobe Photoshop Elements®を使用して実施した（図５）。

図５　図案の調整

３．２　型紙と図案一体データの調整

３．１で作成した型紙データと図案データの合成には，引き続き Adobe Illustrator®を使用した（図６）。型紙には体形にフィットさせるためにダーツが入っており，また前後で型紙が別々となっており，これを縫製した際に柄を合わせるには位置の確認が重要となる。今回位置合わせを確認するために，図６に示すように試作

する衣服の縫い合わせやダーツが複合する位置に大柄を配置したほか，左半身（向かって右側）には5cm間隔で作図した市松模様をデザイン中に配置し，位置の精度を確認することとした。また，縫い代だけでなくボタンホールの位置等も併せて作図することで，効率化を図った。

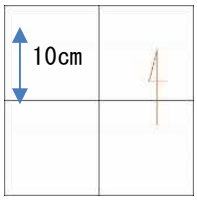


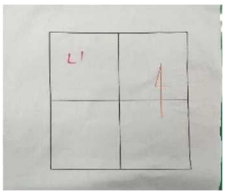
A:裁断ラインやボタン位置を付与
B:ダーツや後ろ身頃にまたがる部分に柄を配置
C:位置決めの精度を確認するための市松模様を配置

図６　型紙とデザインの一体化

３．３　試作（プリント～縫製）

作成した画像データをテキスタイルインクジェットプリンタでプリントした場合，熱処理やソーピングで寸法が変化する恐れがある。そこで，JIS L1096の手法に準じて図７に示した画像データをプリント後スチーム処理，ソーピング等を行い，寸法の変化を確認した。





画像データ　　プリントサンプル

図７　寸法変化率の測定

寸法変化率の測定結果は表１のとおりであった。プリントはほぼ設計どおりの寸法であったが，処理後はたて方向で2.0%，よこ方向で0.8%収縮した。また中央と左右ではほぼ同様の結果であった。このことから，安全マージンとして２%を追加し，ソフトウェアによりたて方向４%，よこ方向３%拡大してプリントを行った。なお，印刷に際しては，ソフトウェア上で生地が無駄にならないようデータの配置を行った。

表１　寸法変化測定結果

	左	中央	右	平均
たて方向	-1.8	-2.0	-2.3	-2.0
よこ方向	-0.9	-0.9	-0.6	-0.8

（単位：%）

プリントした生地は，寸法変化測定時と同様にスチーム処理，ソーピング等を行った後，アイロンがけ，仮縫いを経て縫製し，完成とした（図８）。

図８　試作したワンピース

デザインの位置精度を確認するために入れた市松模様分を拡大したのが図９である。縫製による緩和もあるものの，ずれの大きさは最大１mmに収まった。その他の部分についても，想定した位置でデザインが自然につながった。

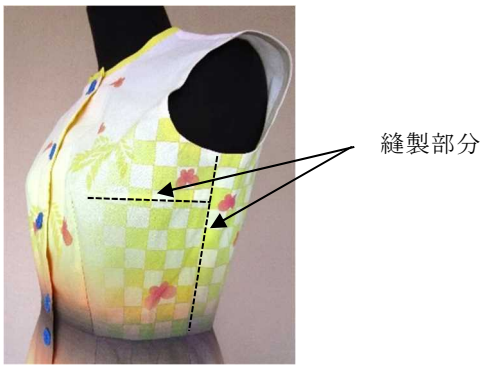


図９　市松模様部分の縫製状況

また，今回作図時に型紙のラインに合わせて図案の切り抜き等を行ったが，縫製時に柄のつなぎをより自然に出すため，画像を切り抜くラインを 1～2㎜ 外側へ拡幅し，重複部分をつくる必要があることも確認できた（図10）。また，作業のしやすさを念頭に縫製ラインをやや濃色で設定したが，審美性向上のためには服の色と近似した単色が望ましい。

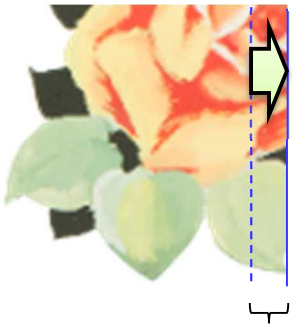


図 10　画像の位置調整の改良案（イメージ）

以上により，テキスタイルインクジェットプリンタを使用した型紙データと画像の一体化は，製品開発に有効であることが示唆された。加えてソフトウェアにより簡単に小サイズの見本も作成可能であり，試作開発の期間短縮やコスト低減に寄与できる。

4　おわりに

テキスタイルインクジェットプリンタを活用し，型紙データと柄データの一体化による柄のつながりや審美性を考慮したデザインの作成・調整を行う一連の手法を確立した。これにより地域内でテキスタイルインクジェットプリント技術を用いた差別化された独自製品の開発が進めば，製品の競争力強化やブランド化が期待できる。

なお，デザイン開発に当たっては，繊維技術支援センター保有のデザイン資料の活用も可能である。

テキスタイルインクジェットプリンタは普及が進みつつあり，今後捺染方法の一つとして定着するものと予想される。一方従来の捺染技術は大量生産に適しており，今後用途に応じて棲み分けされるものと考えらえる。DX が繊維業界にも広がってゆく今後，県内産地での企画開発力強化の一助となれば幸いである。

参考文献

1）大野順之助：″ＡＦ立体裁断研究書１　パターンメーキングの原理″，株式会社アミコ　ファッションズ（1985）

2）小池千枝：″文化ファッション講座　新・立体裁断″文化出版局(1984)

3）中川信行：″速攻図解 Illustrator CS″,㈱毎日コミュニケーションズ

4）佐瀬文彦ら：″栃木県産業技術センター研究報告″，No.18，43-46，(2021)

経常研究

広幅の解し織における仮織の自動化に関する研究

井田　恵司*　　堀江　昭次*

A Study on Automation of Temporary Weaving in Wide Width HOGUSHI-ORI

IDA Keiji and HORIE Shouji

繊維技術支援センターで開発した試製仮織織機の巻取部，開口部，飛杼部について電動化等を行い，実際に製織試験を行った。さらに，マイコンボードを活用し巻取部，開口部，飛杼部の連携を図ることで，仮織の自動化に向けたモデルの構築に取り組んだ。その結果，千巻の電動巻取り機構，開口を確認する開口部機構，電動で緯糸を挿入する飛杼機構を製作し，試製仮織織機に組み込んだ。また，実際に仮織を行い，概ね１本/1.0ｃｍ以上であれば任意の緯密度で緯糸の挿入が可能であることを確認した。さらに，仮織の自動化モデルとして，試製仮織織機に組み込んだ各種センサ等からの情報をマイコンボードに集約するプログラムを開発し，作業者が開口するためのペダルを踏むだけで，緯糸の挿入までの工程を自動化させることに成功した。

Key words:　仮織，解し織，織機，自動化

１　はじめに

大正から昭和初期にかけて流行した銘仙（着物）は，足利地域でも主に解し織の技法により，第二次世界大戦頃まで盛んに生産されていたが，洋装の普及に伴い生産量が減少した。さらに，企業数の減少や技術者の高齢化等が追い打ちになり，地域内で安定的に解し織を一貫生産することは困難になっている。

一方で，銘仙の特徴の一つである絣模様が与えるレトロモダンな印象は，国内外を問わず高い評価を得ており，地域の繊維関連企業群では，洋装に対応するための銘仙（生地）の広幅化への取組や，これを含む繊維関連製品のブランド化に向けたPR活動を行い，最近では「足利銘仙」が地域団体商標登録に至っている。

このような背景のもと，当センターでは，解し織に関して洋装に対応するための広幅化や，捺染業を中心とした一貫生産による短納期化及びコストダウンを図る効率的生産体制の確立を目指して，企業支援や共同研究などに取り組んできた。

しかし，試作開発や製品化が進み，将来にわたる安定的な生産体制の確立が必要となる中で，解し織独自の工程である仮織について，広幅化への対応は担い手や規格が限られており，生産への対応が課題となっている。

平成 30 年度に実施した広幅の解し織における仮織の内製化を目指した共同研究[1)]では，試製織機の開発及び試織は達成し，解し織に使用できることは確認したものの，手動であったため実用性の示唆については十分とは言えず，実用的な仮織織機の例を示し，企業における実製機の導入促進を図る必要があった。

そこで本研究では，以前の研究成果である試製仮織織機について，電動化を含む自動化に向けた検討を行い，実用的な仮織モデルの構築を図った。

２　研究の方法

２．１　織機の動作・駆動方法の検討及び設計

本研究では，経糸を千巻に巻き取る「巻取部」，緯糸を挿入するために経糸を上下に分ける「開口部」，緯糸の挿入に使用する杼を経糸の幅の分だけ往復させる「飛杼部」に着目し，電動化・自動化について検討を行った。試製仮織織機及び電動化を検討した各部分を図１に示す。

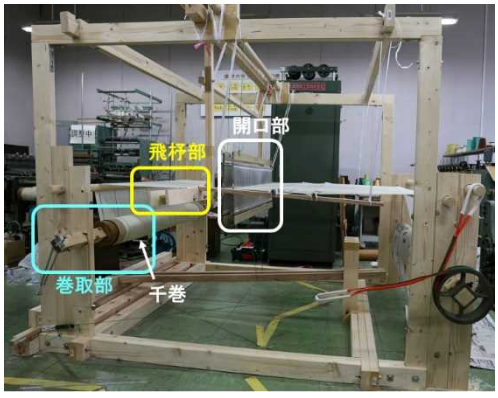


図１　試製仮織織機の電動化検討部分

＊　栃木県産業技術センター繊維技術支援センター

各部については，動作を検証した上で，センサ等を用いて糸や操作部分の動きを監視することの必要性や各駆動部分の電動化の必要性を検討した。仮織に従事する技術者の高齢化に伴い，作業者のスキルや経験によらない仮織を実現するため，できる限り手動・目視から電動・センサ監視を積極的に取り入れるとともに，安価で容易に入手できる部材のみを用いるよう設計した。

２．２　織機の改造と製織試験

２．１で示した検討結果を踏まえ，各部ごとにセンサやモータをはじめとした電動化部材等を試製仮織織機に組み込み，動作確認を行った。

各部は，センサ等からの信号を受け取り，作業者に各部の稼働状況を必要な情報としてまとめて提供するため，データの表示や警報の発出が可能なマイコンボードとしてM5 GO，M5 BASIC（M5Stack社製）を接続した。

巻取部，開口部，飛杼部全ての部分の改造後，製織試験を実施した。製織試験で使用した経糸の規格は既報[2)]と同じとした。仮織で挿入した緯糸は，経糸と同糸（絹紡糸，繊度2/120〔約150ｄ〕）を用いた。さらに，試織時の緯糸を挿入する間隔（緯密度）は，１本/1.0cm程度を最密とし，１本/5.0㎝程度まで，密度を変えながら制御の可否を検討した。

２．３　自動化に向けた検討

仮織作業者のスキルや経験によらず，安定的に仮織を行うことができる実用的な仮織織機のモデルを示すため，２．２で試製仮織織機に取り付けたセンサ等から得られた情報を活用し，マイコンボード上で巻取部，開口部，飛杼部を連携させることにより，連続的に仮織工程を行う手法の開発を行った。

３　結果及び考察

３．１　織機の動作・駆動方法の検討及び設計

３．１．１　巻取部

巻取部は，定速で千巻を回転し，経糸を巻き取る動作を行う部分である。実際の巻取り作業工程では，経糸をあらかじめ任意に指定した長さだけ巻き取り，完了を作業者に知らせる必要があることから，経糸の巻取り量を計測する機構を試製仮織織機に組み込むこととした。経糸の巻取り量を計測する機構については，以下に示す２つの機構を選定した。

(1) 試製仮織織機にスイッチを取り付け，千巻の逆回転を防ぐラチェットの歯車がスイッチを押した回数を計測する「スイッチ式」

(2) 試製仮織織機にロータリーエンコーダを千巻と接するように取り付け，千巻の回転量を計測する「エンコーダ式」

３．１．２　開口部

開口部は，２枚の綜絖を上下させることで，経糸を上下に動かし，緯糸を挿入するための杼口を作る動作を行う部分である。実際に綜絖を上下させる動作は，改造前の機構をそのまま利用し，足踏み式のペダルで行うこととした。作業者は，緯糸を挿入する際，杼口が開いている状態か，杼口が閉じている状態かを確認する必要があることから，センサを使用し，綜絖が上下した状態すなわち，杼口が開いた状態を検知する機構を加えた。

３．１．３　飛杼部

飛杼部は，緯糸を収めた杼を，左右に往復させる動作を行う部分である。改造前は，手で杼を左右に動かしていたが，慣れないと時間を要する工程であることから，ソレノイドを用いて，電動で経糸の幅の分だけ杼を飛ばす機構を選定した。

３．２　織機の改造と製織試験

３．２．１　巻取部の改造

モータによる駆動で千巻を回転させ，経糸を巻き取る駆動部分を製作し試製仮織織機に組み込んだ。製作した駆動部分を図２に示す。

図２　巻取部駆動部分

駆動部分の巻取速度は，モータ制御用コントローラで可変式となっており，経糸の切れやすさや作業者の熟練度に応じて，適切な速度に調節することが可能である。

また，巻取量を計測するため，「スイッチ式」及び「エンコーダ式」の計測機構を試製仮織織機に取り付けた。それぞれの機構を試製仮織織機へ取り付けた状態とマイコンボードへ計測値を表示した例を図３及び図４に示す。

図３　スイッチ式巻取量計測機構
（左：スイッチ部　右：マイコンボード表示）

各方式で巻取量の計測を行った結果，１本/5.0ｃｍ程度の緯密度であれば，どちらの方式でも経糸の巻取量を

図４　エンコーダ式巻取量計測機構
（左：エンコーダ部　右：マイコンボード表示）

計測することが可能であることを確認した。スイッチ式は，歯車の歯でスイッチを押す設計になっていることから，歯の枚数に合わせて千巻が 6° 回転した時点でカウント可能となっている。カウントするたびにマイコンボードから警報音を出すように設定し，目視のみならず，聴覚でも巻取量を確認できるようにした。

一方，エンコーダ式は，常に細かく回転を把握することができた。（スイッチ式の約 10 倍の精度でカウント可能。）ただし，図４左図に示すとおり，回転部分とエンコーダの接点としてゴムを使用しており，この部分がスリップすると正確な回転量を把握できなくなる。作業者が，接点が千巻の回転と同調していることを確認しながら使用する必要がある点については，改善の余地があると考えられる。

それぞれの方式を用いて様々な緯密度となるよう巻取量を変更して製織したところ，実用的に計測可能な緯密度は，スイッチ式で１本/1.5ｃｍ以上，エンコーダ式で１本/1.0ｃｍ以上であった。

このことから，仮織の際に力糸を密に挿入する場合等，より詳細に緯密度を制御する必要がある場合は「エンコーダ式」で巻取り量を計測することが望ましいと考えられる。

３．２．２　開口部の改造

試製仮織織機の足踏みペダル部分に，磁気ホールセンサを取り付け，マイコンボード上で杼口の開閉状態を作業者に知らせる開口部機構を追加した。

図５に足踏みペダル部分に取り付けたセンサと杼口の状態をマイコンボードに表示する開口部機構を示す。

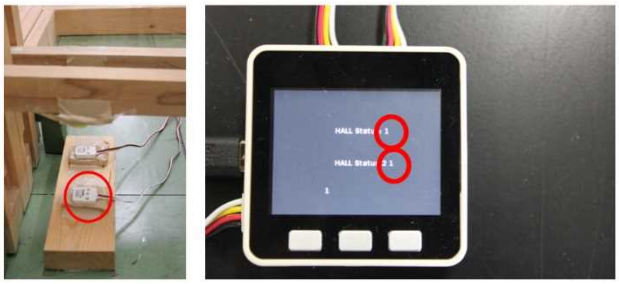


図５　開口部機構
（左：磁気ホールセンサ部　右：マイコンボード表示）

足踏みペダルは左右にあり，製織の際は，作業者が左右交互に踏む。そのため，センサも左右のペダルに取り付け，マイコンボード上でどちらのペダルが踏まれている状態かを認識できるようにした。

磁気ホールセンサは，踏み込んだペダルの固定場所で固定された際に検知するよう設置したため，作業者が踏み込む際にはセンサが反応せず，杼口が完全に開いた時点で作業者に知らせることが可能である。

３．２．３　飛杼部の改造

緯糸を電動で挿入するため，ソレノイドで緯糸を収めた杼を飛ばす飛杼機構を作製し，試製仮織織機の筬部分の左右に取り付けた。図６に作製した飛杼機構を示す。

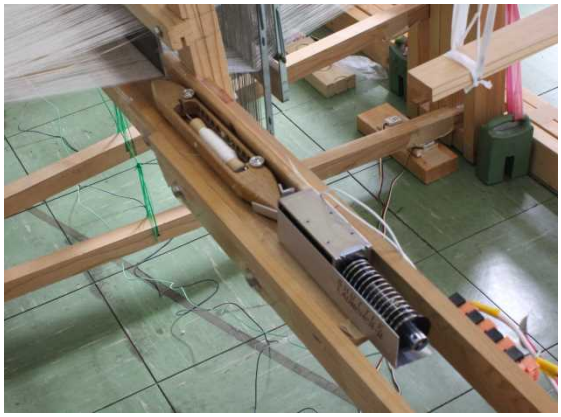


図６　飛杼機構

図６は，３．２．２で示した開口部機構で開いた杼口に向かって，杼を飛ばす直前を撮影したものである。杼を飛ばすタイミングは，リレーを介してマイコンボードから制御できることから，作業者が任意に決定することができる。

３．２．４　製織試験

３．２．１～３．２．３で各部を改造した試製仮織織機を使用し，実際の仮織を想定した緯密度で製織試験を行った。図７に製織した仮織生地の例を示す。

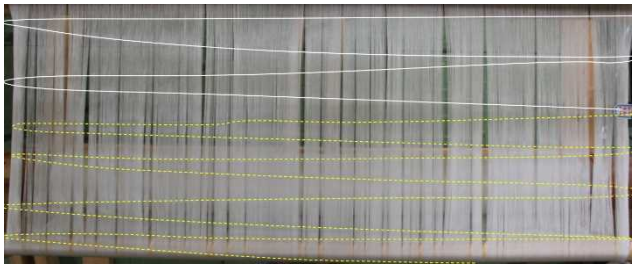


図７　製織試験で仮織を行った生地

エンコーダ式で巻取り量を監視した場合，エンコーダカウンタで約 50 カウントした時点で緯糸を挿入すると緯密度が１本/4.8ｃｍとなった。（図７実線）

一方，カウンタで約 40 カウントの時点で緯糸を挿入すると，緯密度は１本/3.6ｃｍとなり（図７破線），カウンタで約 10 カウントの時点で緯糸を挿入すると，緯密度は１本/約 1.0ｃｍ（写真掲載なし）となった。

以上のことから，今回構築したシステムを用いると，緯密度1.0ｃｍ以上については，任意に緯密度を設定でき，実際の仮織にも対応できることが明らかとなった。

３．３　自動化に向けた検討

３．２で試製仮織織機に取り付けた各機構から得られたセンサ情報や電動化機構等を活用し，巻取部，開口部，飛杼部を連携させることで，試製仮織織機を自動化し，仮織工程において作業者が手動で操作する工程を減らすモデルの構築に関する検討を行った。

図８に構築した自動化モデルの構成を示す。

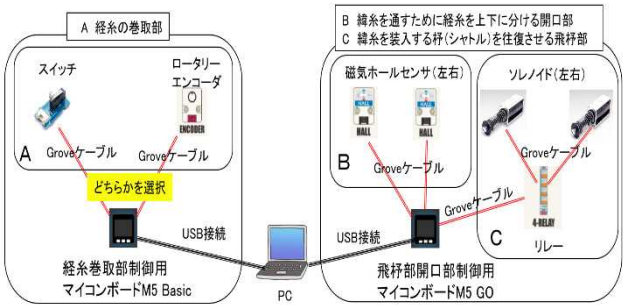


図８　試製仮織用織機の自動化モデル構成

図８において「A　経糸の巻取部」は，３．１．１で示した２つの巻取量計測機構から片方を選択し，マイコンボードと接続したものである。また，図８において「B 緯糸を通すために経糸を上下に分ける開口部」は、足踏みペダルの状態を検知する磁気ホールセンサとマイコンボードを接続したもの，「C　緯糸を挿入する杼を往復させる飛杼部」は，杼を押し出すソレノイドとマイコンボードを接続したものである。

図８の「B　緯糸を通すために経糸を上下に分ける開口部」，「C　緯糸を挿入する杼を往復させる飛杼部」に関しては，磁気ホールセンサから得られた開口部情報を開口部・飛杼部制御用マイコンボードが認識した後，リレーを介してソレノイドに信号を送り，任意のタイミングでソレノイドが杼を飛ばす工程を自動で行う「開口部・飛杼部連携プログラム」を開発した。

このプログラムは，Webベースのプログラミングツール「UIFlow[3)]」を用いて作製した。

これにより，作業者は開口するための足踏み式のペダルを踏むだけで，緯糸の挿入までの工程を自動で行うことが可能となった。実際にプログラムを作動させたところ，作業者の慣れに応じて待機時間を自由に設定できることから，仮織作業の初心者から熟練者まで，作業者のペースにあわせて自動で緯糸挿入が可能であることを確認した。

一方，図８に示した「A 経糸の巻取部」に関しても，同様のプログラミングツールを用い，スイッチ又はロータリーエンコーダから千巻の回転情報を経糸巻取部制御用マイコンボードに送るプログラム「巻取部制御プログラム」を作製した。制御マイコンボードに巻取り量を表示するとともに，一定数カウントするごとに警報音を出すようにし，作業者が画面を見なくても，回転状況を把握し，駆動部分を制御することが可能となった。

今後，マイコンボードにおけるコネクタの増設，ポートの割振り等を検討することで，両プログラムを連携させれば，さらなる自動化を進めることができると考えられる。

４　おわりに

本研究では，試製仮織織機の巻取部，開口部，飛杼部について，電動化に関する検討を行った。また，電動化等を行った各部分を作動させながら，製織試験を実施した。さらに，マイコンボードを活用して巻取部，開口部，飛杼部の連携を図ることで，試製仮織用織機の自動化に向けたモデルの構築に取り組んだ。その結果，以下の結果が得られた。

（1）試製仮織織機の巻取部となる千巻の電動巻取り機構，綜絖の状態を監視し，開口を確認する機構，電動で緯糸を挿入する機構の設計を行い，それらを試製仮織織機に組み込んだ。

（2）電動化機構等を組み込んだ試製仮織織機で，実際に仮織を行い，概ね1.0ｃｍ以上であれば任意の緯密度で緯糸の挿入が可能であることを確認した。

（3）仮織工程における自動化のモデルとして，試製仮織織機に組み込んだ各種センサ等からの情報をマイコンボードに集約し，作業者が開口するためのペダルを踏むと，自動で緯糸を挿入するまでの工程を自動で行うプログラムを作製し，動作することを確認した。

参考文献

1）佐瀬文彦ら：″栃木県産業技術センター研究報告″，No.16，41-44，（2019）

2）佐瀬文彦ら：″栃木県産業技術センター研究報告″，No.18，43-46，（2021）

3）M5Stack ″UIFlow″
https://m5stack.github.io/UIFlow_doc/ja/

経常研究

ドリル加工におけるばり抑制手法の開発

岡村　弘太*　　西宮　紹*

Development of Method for Burr Suppression in Drilling

OKAMURA Kota and NISHIMIYA Sho

ドリル加工において穴の出口に発生したばりは，部品の機能や品質の悪化につながるため除去作業を行っている。ばりを抑制し除去作業の短縮化を図るため，ステンレス鋼のドリル加工において，加工条件を変え，発生したばりの高さと硬さを測定し，ばりを抑制する加工条件を検討した。

その結果，HV450 以上の硬いばりのほとんどが 0.3mm 以下の小さなばりであることがわかった。さらに，より材料内部まで硬化している方がばりが小さくなった。ばり抑制の加工条件として，切削速度と 1 刃送りを抑えて加工することで，硬く小さなばりが生成された。また，表面付近があまり硬化していない材料に関しては，フェイスミルを用いて面をより硬化させた後ドリル加工を行うと，ばり抑制の効果が期待できる結果となった。

Key Words：ドリル，ばり，切削加工，ビッカース硬さ

1　はじめに

金属の部品加工では，ほとんどの場合穴あけ加工が行われ，その中でもドリル工具を用いて穴あけをするドリル加工法が大きな割合を占めている。ドリル加工では，被削材から切り粉として分断せずに残った残留部が塑性変形することで，穴の出口にばりが発生する。ばりは，部品の機能や品質の悪化につながるため，製造現場ではばりの除去作業工程が必要となり，その工程が加工時間や加工コストの増大を招き，加工の高能率性が阻害されている。そのため，ばりの抑制は企業の長年の課題となっており，製造現場で対応できる，加工時におけるばり抑制の手法が求められている。

ばりの発生要因は，工具形状や摩耗，被削材の材質，加工条件等が複雑に影響している。穴の出口にばりが発生しやすいステンレス鋼は，切削加工で加工硬化が起きやすい材料である。加工硬化とは，金属材料に力を加えると材料が硬くなる現象のことである。そこで，加工条件により加工硬化を起こすことで，残留部が塑性変形しにくくなり，ドリルで削り取られることでばりが抑制できるのではないかと考えた。

既往研究としてドリル外周コーナを面取りした特殊形状ドリルの使用に関する報告[1)]や，ばりの高さと加工条件の関係に着目した報告[2)3)]があるものの，加工条件変化による加工硬化とばりの関係を明らかにした報告は見当たらない。

そこで本研究では，穴の出口ばりを抑制し除去作業の短縮化を図るため，加工条件による加工硬化とばりの関係を明らかにし，加工硬化の観点から，ばりを抑制する加工条件を検討した。

* 栃木県産業技術センター 県南技術支援センター

2　研究の方法

2．1　ドリル加工

加工条件を変えてドリル加工を行った。加工機はマシニングセンタ(オークマ(株)製 MB-56VA)を用い，工具は直径 6 mm 2 枚刃超硬ドリル((株)不二越製 AQDEXR0600)を使用した。ドリルの先端角は 135° である。被削材はステンレス鋼 SUS304 を使用した。試験片形状は縦 140mm，横 20mm，厚さ 5mm の短冊状である。

加工条件を表 1 に示す。切削速度と 1 刃送りの 2 因子を 3 水準に振って組み合わせた 9 条件(条件 1～9)と追加の 3 条件(条件 10～12)を加えた計 12 条件を設定した。

2．2　ばりの測定

ドリル加工であけた穴を精密切断機で半分に切断し，穴の断面が観察できるよう樹脂埋め，鏡面研磨を行った。

ばりの高さの評価には，金属顕微鏡(オリンパス(株)製 GX71)を用いて，1 穴に対して 2 つのばりの高さを測定した。測定の様子を図 1 に示す。

表１　加工条件

加工条件	切削速度 [m/min]	１刃送り [mm/刃]
1	15	0.025
2	15	0.05
3	15	0.1
4	30	0.025
5	30	0.05
6	30	0.1
7	45	0.025
8	45	0.05
9	45	0.1
10	45	0.2
11	60	0.025
12	60	0.1

図１　金属顕微鏡で観察したばりの一例

ばりの硬さの評価には，ワイドレンジビッカース硬さ試験機((株)フューチュアテック製 FLV-10ARS-F)を用いて測定を行った。試験荷重は 0.9807N で，１つのばりに対して根元，中間，先端の３か所のビッカース硬さの測定を行った。なお，使用した SUS304 の母材硬さは HV200 程度であった。

３　結果及び考察

３．１　ばりの高さの測定

ばりの高さと加工条件の関係を図２に示す。なお，ばりの高さは各条件の平均値で表している。切削速度が大きくなるとばりの高さが緩やかに小さくなり，１刃送りが大きくなるとばりの高さが大きくなっていくことから，ばりの高さは１刃送りの影響が大きいことがわかった。このことから，１刃送りを抑えて切削速度を大きくすることで，送り速度を保ったままばりを抑える加工が可能であることがわかった。

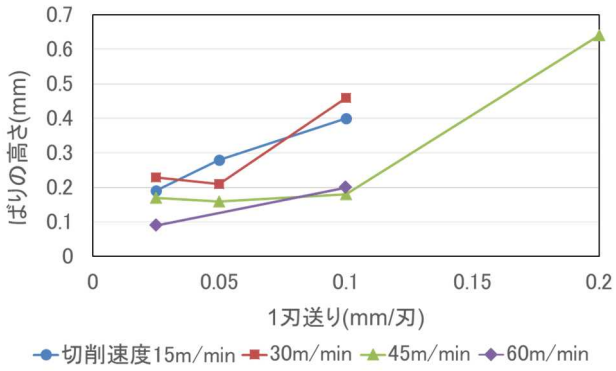


図２　ばりの高さと加工条件の関係

３．２　ばりの硬さの測定

得られたばりの硬さと加工条件の関係を図３に示す。なお，ばりの硬さは各条件の平均値で表している。切削速度，１刃送りが小さくなるとばりの硬さが硬くなることがわかった。

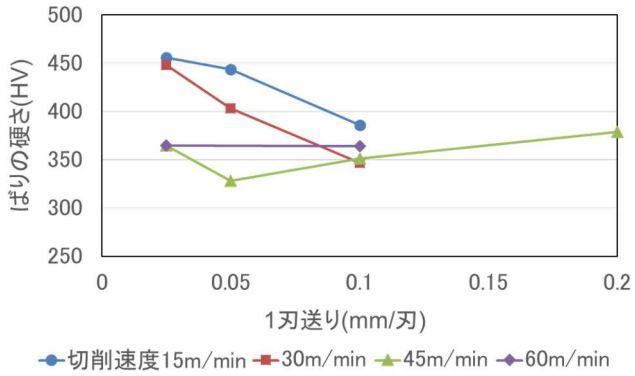


図３　ばりの硬さと加工条件の関係

３．３　ばりの高さと硬さの関係

ばりの高さと硬さの関係を図４に示す。HV300 台前半の柔らかいばりは，どの高さにも存在している。一方で，HV450 以上ある硬いばりに関しては，ほと

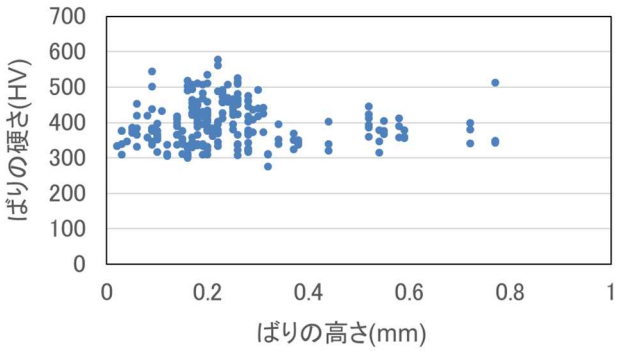


図４　ばりの高さと硬さの関係

んどが 0.3mm 以下の小さなばりであることがわかった。

図３，４から得られた結果より，ばりの抑制条件として，切削速度と１刃送りを抑えてドリル加工することで，硬く小さなばりが生成されることがわかった。

３．４ 前加工による加工硬化の影響

硬いばりは高さが小さい傾向にあるという結果から，ばりが生成される面を事前に加工硬化によって硬化させたのちドリル加工を行えば，さらに硬く小さなばりが得られるのではないかと考え，追加実験を行った。

ドリル加工前の被削材に対して，ばりが生成される面をフェイスミルを用いて切削加工し，加工硬化を発生させた。この切削加工を行った被削材の表面のビッカース硬さを測定したところ，HV450 以上の硬さとなった。また，被削材を切断し，断面について硬さを測定したところ，表面から 0.075mm 程度内部まで硬化が確認された（図５）。

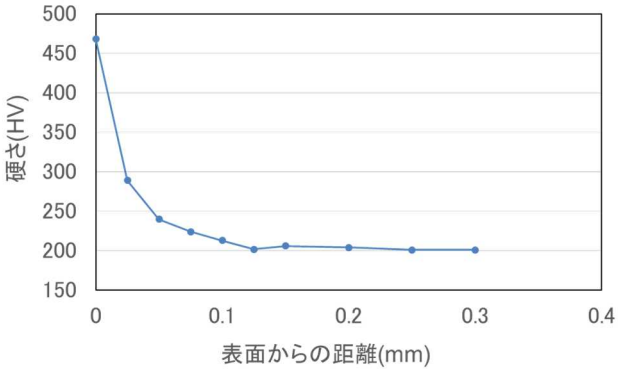


図５　前加工による硬化の深さ

ドリル加工の加工条件として，比較的大きなばりが出た条件 3（切削速度 15m/min，1 刃送り 0.1mm/刃）を用い，フェイスミルによる前加工の有無で生成されたばりの高さと硬さの平均を比較した。実験結果を表２に示す。

表２　前加工の有無によるばりの比較

	ばりの高さ [mm]	ばりの硬さ [HV]
前加工なし	0.42	399
前加工あり	0.53	406

ばりの硬さに関しては前加工の有無でほとんど違いはなかったが，ばりの高さに関しては，前加工なしと比較して前加工ありの方がばりが 0.11mm 高いという結果となった。そこで，前加工なしの被削材の表面と内部の硬さを測定したところ，前加工なしの被削材の方が表面からより深くまで硬化していたことが確認できた（図６）。つまり，用いた被削材（被削材 A）は表面が硬化していたため，元から硬かった表面部分が前加工によって削り取られ，表面付近が相対的に柔らかくなってしまったため，ばりが大きくなったと考えられる。

そこで，表面があまり硬化していない SUS304（被削材 B）についてフェイスミルによる前加工とドリル加工を行った。前加工の有無による材料内部の硬化の深さを図７に，ドリル加工の結果を表３に示す。材料内部の硬さについて，前加工ありの方が表面が硬く，より材料内部まで硬化していることが確認された。

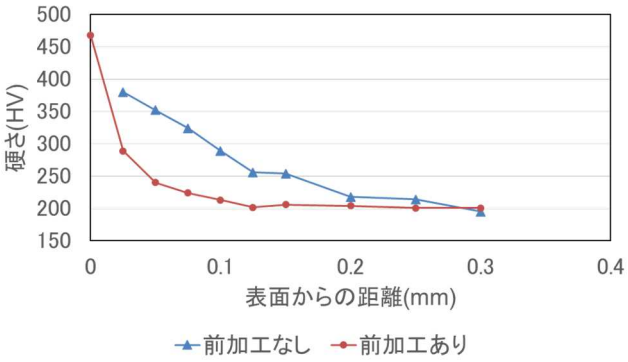


図６　材料内部の硬化の深さ（被削材 A）

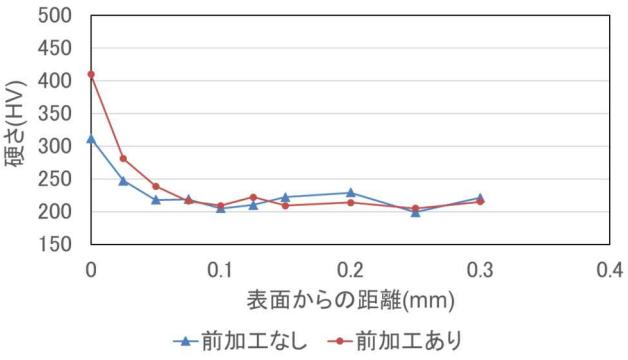


図７　材料内部の硬化の深さ（被削材 B）

表３　前加工の有無によるばりの比較（被削材 B）

	ばりの高さ [mm]	ばりの硬さ [HV]
前加工なし	0.50	413
前加工あり	0.46	427

そしてドリル加工で発生したばりについて，前加工ありの方がばりの硬さが HV14 硬くなり，高さが 0.04mm 小さくなった。

この追加実験から，より材料内部まで硬化している方がドリル加工において発生するばりは小さくなるということがわかった。また，表面付近があまり硬化していない材料に対して，フェイスミルによる前加工の有効性が期待できる結果となった。

4　おわりに

SUS304 のドリル加工において，加工条件による加工硬化とばりの関係及び，ばりを抑制する加工条件について検討した結果，以下の知見を得た。

（1）HV450 以上の硬いばりに関しては，ほとんどのばりが 0.3mm 以下である。

（2）より材料内部まで硬化している方がばりは小さくなる。

（3）切削速度，1 刃送りを抑えて加工することで，硬く小さなばりが生成される。

（4）表面付近があまり硬化していない材料に関しては，フェイスミルを用いて面をより硬化させた後ドリル加工を行うと，ばり抑制の効果が期待できる。

参考文献

1）和田 浩明，吉田 薫：″金属のドリル加工におけるバリ無し化″，(2000)

2）三宅 輝明，山本 章裕，北嶋 弘一，田中 行雄，高沢 孝哉：″ドリル加工におけるバリ生成に関する研究″，(1991)

3）安木 誠一，藤原 久一：″ドリル出口バリの生成過程とその抑制″，(2014)

経常研究

手つむぎ糸の生産に関する研究

金子　優*　　太田　仁美*

Research on the Production of Hand Spun Yarns for Yuki-Tsumugi

KANEKO Masaru and OTA Hitomi

結城紬に使用される手つむぎ糸は，原料の真綿を手で適切な太さに引き出し，唾液を付けることによって糸にまとめられている。唾液の利用は伝統的な方法であるが，衛生面や唾液の質に個人差があることなどが課題となっている。そこで，安全で質の高い手つむぎ糸の生産を行うため，唾液の代替材料を検討し，試作した手つむぎ糸と布の評価を行った。その結果，唾液の代替材料として濃度1%程度のPVA系糊が適することが分かった。

Key words:　結城紬，手つむぎ糸，唾液，代替材料，PVA系糊

1　はじめに

結城紬は，真綿から手でつむいだ糸を原料とし，絣の模様を付けるときは手括りで行い，地機で製織することを特徴とする伝統的な絹織物である。国の重要無形文化財，伝統的工芸品に指定され，ユネスコ無形文化遺産に登録されている[1)2)]。

原材料となる手つむぎ糸は，真綿から手でつむぎ唾液をつけて固めることで製作される。唾液の使用は伝統的な方法であるが，衛生面や唾液の個人差等の課題がある。特に最近の感染症対策の影響による指導の難しさも課題の一つとして挙げられる。重要無形文化財の指定要件の一つである糸つむぎ技術は，真綿から手で糸をつむいでいくことであり，糸を固める材料は唾液に限定されていない。コロナ禍における感染症対策として，展示会等の実演や糸つむぎ講習会での糸つむぎでは，唾液に替えて水を使用している。しかしながら，水には粘着成分が含まれないため，つむいだ糸は形状や強度にむらがあり，結城紬の生産には不向きとされている。

本研究では，現代生活に即し，安全で質の高い手つむぎ糸の生産を行うため，唾液の代替材料の検討及び試作した手つむぎ糸と布の評価を行った。

2　研究の方法

2．1　唾液代替材料の選定

比較のベースとなる唾液のほか，唾液の代替材料として3種類の材料を選定して，2名の糸取り技術者により手つむぎ糸を製糸した。使用した材料は次のとおり。

(1) 唾液
(2) 水
(3) 小麦粉糊（日清製粉㈱「ニップンたけ」）
　※結城紬産地で手つむぎ糸の糊付け工程で使用している。通常の下糊付け工程では濃度2.4%相当が使用されている[3)4)]。
(4) PVA系糊（三菱化学㈱「ゴーセノール」）
　※結城紬産地で製織時のたて糸用糊剤として使用している。通常は濃度 3%相当が使用されている。

なお，代替材料として検討した小麦粉糊とPVA系糊の濃度を表1に示す。

表1　手つむぎ糸の糊材及び濃度

糊剤名	糊剤の濃度				
PVA系糊	0.5%	0.8%	1.0%	1.2%	1.5%
小麦粉糊	1.5%	2.0%	2.4%	3.2%	4.0%

2．2　手つむぎ糸の評価試験方法

2．2．1　手つむぎ糸の引張強さ試験

各条件で試作した手つむぎ糸の強度を比較検討するため，万能材料試験機（インストロン 5569 型）を用いて，JIS　試験方法「JIS L 1095:一般紡績糸試験方法単糸引張強さ及び伸び率」に準拠して実施した。試験条件は次のとおりとした。

(1) つかみ間隔　200 ㎜
(2) 試料長さ　300 ㎜
(3) 引張速度　200 ㎜/min
(4) 試験回数　30 回(材料の種類・濃度ごと)

*栃木県産業技術センター紬織物技術支援センター

全試料の繊度測定を行い，試験結果を 100D(デニール)あたりの N（ニュートン）で表記した。

２．２．２　手つむぎ糸の表面観察

各条件で製作した手つむぎ糸の表面をデジタルマイクロスコープ（ハイロックス RH-2000）で観察し，糸のまとまり状態を検証した。

２．２．３　糸つむぎの作業性評価

2 名の糸取り技術者から各条件の手つむぎ糸を製糸する過程の作業性を調査し，評価した。

２．３　下拵え作業・製織作業の糸状態

２．３．１　精練・染色作業の影響

２．２の結果を踏まえ，小麦粉糊と PVA 系糊の適する濃度をそれぞれ一つずつ選定し，水と唾液を含めた 4 つの材料で手つむぎ糸を製糸し，下拵え作業（精練工程，染色工程，糊付け工程）の作業性及び糸の状態等について検証した。

なお，染色条件は，以下のとおりとし，製糸した糸をたて糸とよこ糸に分けて同浴で染色した。

たて糸：ラナセットブロン B 0.5%

よこ糸：イルガランブラック 0.5%

２．３．２　糊付け工程の影響

２．３．１に引き続き，糊付け工程における作業性と糸の固さについて検証した。

２．３．３　下拵え作業の影響

手つむぎ糸の製糸に使用する材料の違いが，下拵え及び染色工程における糸の品質に及ぼす影響を調べるため，染色後及び糊付け後の糸の表面状態をデジタルマイクロスコープで観察するとともに，測色計を用いて染色後と糊付け後の糸の色彩 L*, a*, b*の測定を行い，その色差⊿E*ab を求めた。

２．４　製織した布表面の評価

２．４．１　製織状況及び結果

各手つむぎ糸を用いて 4 種類の評価用布を製織し，その製織状況及び製織結果について検証した。

２．４．２　製織した布の堅ろう度試験

糊剤が結城紬生地の品質に及ぼす影響を調べるため，各条件の布について，耐光試験及び染色摩擦試験を行った。耐光試験は，紫外線カーボンアーク型耐光試験機（スガ試験機(株)製 U48AU）を用いて JIS　L 0842:2021（紫外線カーボンアーク灯光に対する染色堅ろう度試験方法）で 4 級相当の 20 時間の照射を行い評価した。染色摩擦試験は，染色摩擦堅ろう度試験機(大栄科学精器製作所製 RT-200)を用いて JIS L 0856：2013（摩擦に対する染色堅ろう度試験方法）を用いて行った。

３　結果及び考察

３．１　手つむぎ糸の評価試験

３．１．１　手つむぎ糸の引張強さ試験

各手つむぎ糸の引張強さ試験の結果を図１に示す。

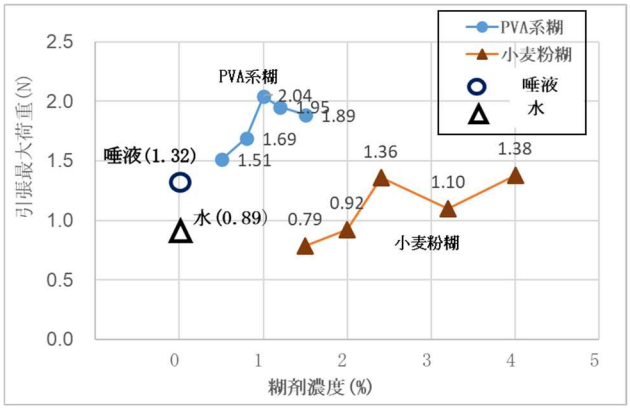


図１　手つむぎ糸の引張最大荷重

小麦粉糊,PVA 系糊の濃度と引張最大荷重の関係には，ばらつきがあるが，糊剤濃度の高さに応じて引張最大荷重が高くなる傾向を示した。唾液由来の糸は 1.32(N)，水由来の糸は 0.89(N)となり，小麦粉糊由来の糸は濃度 4.0%のとき 1.38(N)と最大となった。PVA 系糊由来の糸は濃度 1.0%で 2.04(N)と最大となり，全ての条件で最大となったが，ばらつきが原因でより濃度が高い条件を上回った。ばらつきの原因は，手つむぎ糸形状の不安定さに起因すると考えられる。

引張最大荷重について，糊剤使用の糸は，小麦粉糊の濃度 1.5%と 2.0%を除き，唾液使用の糸よりも強度が高かった。

３．１．２　試作した糸の表面観察

各手つむぎ糸の表面をデジタルマイクロスコープで観察した結果を図２から図５に示す。

小麦粉糊，PVA 系糊ともに濃度が高くなるにつれて毛羽立ちが少なくなり，小麦粉糊濃度は 2.4%程度，PVA 系糊濃度は 1.0%程度から唾液と同程度となった。また，水で製作した糸は，まとまりが弱く毛羽立ちが見られた。唾液による本来の手つむぎ糸は毛羽立ちが少なかった。

表面観察の結果，糸のまとまりについては，水由来の糸は乾燥後に解れて膨らむが，糊剤の濃度が高い場合は唾液以上のまとまりとなった。

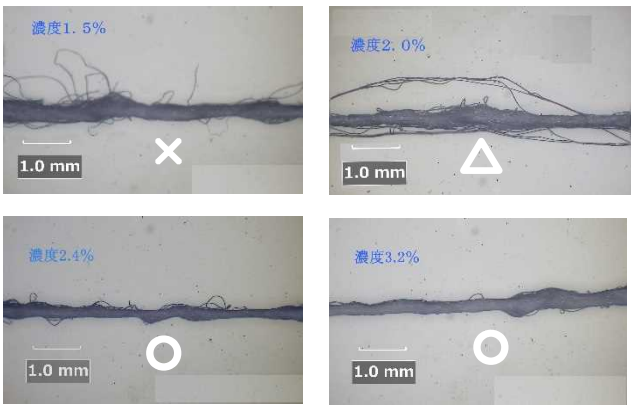


図２　小麦粉糊使用（4 例）

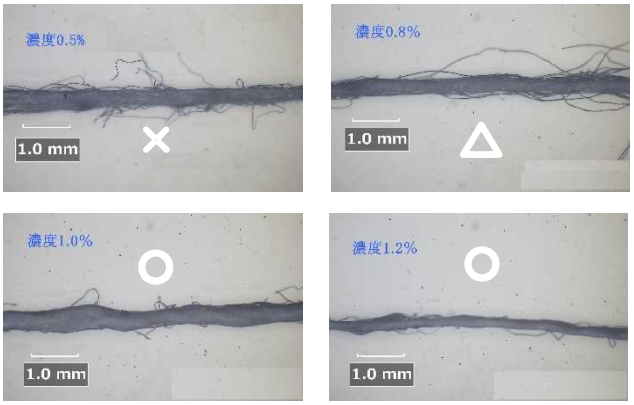


図３　PVA 系糊使用（4 例）

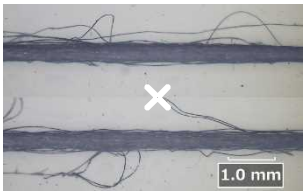


図４　水使用

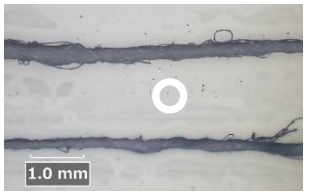


図５　唾液使用

３．１．３　手つむぎ糸の作業性評価

各手つむぎ糸の製糸過程における糸取り技術者の感想は表２のとおりであり，以下のことが分かった。

① 唾液使用の場合が最も動作がスムーズにでき，潤滑も良く，製糸しやすい。

② 糊剤は製糸する際に指がべたつき，真綿を固くするため，濃度は低い方が望ましい。

③ 小麦粉糊は，数十分で沈殿が始まり，作業中に撹拌が必要となり，手間が増える。

④ 製糸動作では適度な潤滑性を有し，べたつきを抑制する必要があり，小麦粉糊は 2.4%程度，PVA 系糊は 1.0%程度までが適切と思われる。

なお，糸の毛羽立ちやまとまり不足（強度不足に繋がる）はボッチ揚げ作業に支障が生じるため避ける必要がある。検討の結果，ボーダーラインが小麦粉糊濃度は 2.4%程度，PVA 系糊濃度は 1.0%程度と分かった。

糸のまとまり，強度及び作業性を総合すると，手つむぎ糸の製糸する際の適する糊剤濃度は，小麦粉糊が 2.4%，PVA 系糊が 1.0%程度であることが分かった。

表２　各材料における糸つむぎの作業性

材料名	糸つむぎ者の感想
唾液	・適度な水分量で、糸がまとまりやすい。（○） ・指から糸が離れやすく、べたつきがない。（○）
水	・糸を挟んでなでる動作時に、引っかかる。（潤滑性不良）（×） ・真綿を解す動作の時に真綿に水が付いてしまうと、糸を引くときに摩擦抵抗が増して作業性が悪い。（×） ・糸の乾燥後の膨らみや毛羽立ちが目立つ。（×） ・水を多めに付けないと滑りが悪く、引いた結果玉状になりやすい。（×） ・膨らんだ糸がボッチ揚げの時に糸絡みになりやすい。（×）
小麦粉糊	・糊剤が沈殿しやすく、定期的な撹拌が必要となる。（×） ・唾液でとった糸より固くパリッとする。（×） ・ボッチ揚げの際、糸絡みがなくても、糸がくっついて出てくることがある。（×） ・真綿を解すときに真綿に付くと、固まって引き出しにくくなる。（×） ・指につけるとヌルッとしていて、長時間の作業は気持ちのいいものではない。（×）
PVA系糊	・指先に糊剤を小まめに付けても乾燥が早く、糸をなでる動作での滑りが悪くなりやすい。（×） ・他の材料に比べて乾いた後の糸が固くなる。（×） ・糊剤が湿ってるうちは滑りやすく、糸のまとまりが良かった。（○） ・周りの綿に糊剤が付いてしまうと、固まって引き出しにくくなる。（×）

３．２　下拵え作業・製織作業の糸状態

３．２．１　精練・染色作業の影響

各材料による手つむぎ糸の精練・染色工程の状況を表３に示す。唾液以外の条件では欠点が確認できた。

表３　精練・染色工程の状況

材料	精練工程	染色工程
唾液	○ 問題なし	○ 問題なし
水	○ 問題なし	△ 染着時間が長くなる傾向
小麦粉糊	△ 白濁、洗浄に影響	△ 染着時間が長くなる傾向
PVA系糊	△ 白濁、洗浄に影響	△ 着色濃度が小さい傾向

なお，糸の状態で，唾液を基準に各材料との色差を分光測色計(コニカミノルタジャパン一製 CM-5)で測定したところ，PVA 系糊（⊿E*ab 0.81）＜小麦粉糊（⊿E*ab 1.48）＜水（⊿E*ab 2.79）の順に色差があったが，その値が比較的小さく，材料による染色への影響は少ないと判断できる。

３．２．２　糊付け工程の影響

糊付け工程における作業性と糸の固さ状態を表４に示す。

糊付け工程については，4 つの材料による作業性に大きな差はなかったが，糊付け後の乾燥状態では，小麦粉糊及び PVA 系糊を使用した糸は若干固めになることが分かった。

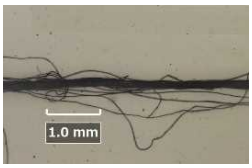
表４ 糊付け工程の作業性と糸の固さ（作業者の主観）

材　料	作　業　性	糸　の　固　さ
唾液	○　通常通り	○　通常通り
水	○　通常通り	○　通常通り
小麦粉糊	○　通常通り	△　唾液より固め
PVA系糊	○　通常通り	△　唾液より固め

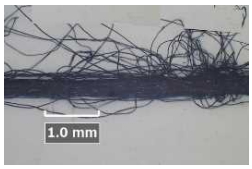
３．２．３　下拵え作業の影響（表面観察）

染色後及び糊付け後の糸の表面状態をデジタルマイクロスコープで観察した結果を図６から図９に示す。

・唾液を使用した糸よりも，糊剤を使用した糸のほうが糸のまとまりを維持する様子が分かった。
・水を使用した糸は，糸のムラが多く，糸のまとまりを維持できない様子が分かった。
・染色後の糸は，糊が精練で失われたため，糸が膨らんで太くまとまって見えるが，糊付け後は，糊が付くため糸が細くまとまる様子が分かった。

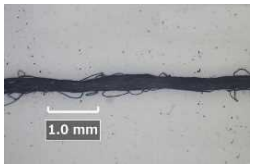


〔下糊付け後〕

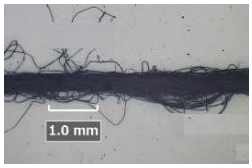


〔染色後〕

図６ 水を材料として製作した糸

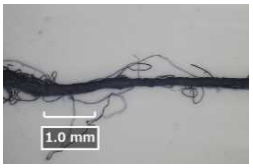


〔下糊付け後〕

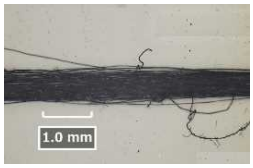


〔染色後〕

図７ 唾液を材料として製作した糸

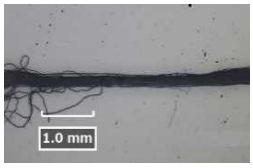


〔下糊付け後〕

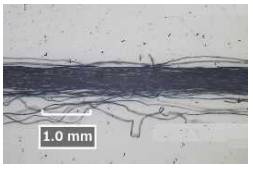


〔染色後〕

図８ 小麦粉糊を材料として製作した糸



〔下糊付け後〕



〔染色後〕

図９ PVA 系糊を材料として製作した糸

３．２．４　下拵え作業の影響（測色）

染色後と糊付け後の手つむぎ糸の色差を測定した結果を表５に示す。

表５　染色後・糊付け後の色彩と色差

糸区分		染色後			糊付け後			色差（糊付け後-染色後）
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	⊿E*ab
唾液	経糸	44.45	4.91	5.69	42.57	5.42	6.03	1.98
	緯糸	39.68	-1.92	-3.54	38.66	-1.89	-3.6	1.02
水取り	経糸	46.58	5.27	5.98	40.27	5.21	5.66	6.32
	緯糸	35.82	-1.81	-3.35	40.87	-2.11	-3.73	5.07
小麦粉糊	経糸	50.95	5.79	6.27	41.14	5.47	5.71	9.83
	緯糸	39.35	-2.09	-3.84	43.47	-2.21	-3.58	4.13
PVA系糊	経糸	47.54	5.05	5.85	44.11	5.3	6.05	3.44
	緯糸	34.65	-1.74	-3.62	38.65	-1.95	-3.92	4.02

各糸の色彩については若干の差が現れたが，肉眼での違いは感じられなかった。

染色後の同一素材に糊付けを施した場合の色差については，比較的良好な結果となった。色差は，唾液に次いで数値が低い PVA 系糊が望ましい結果となった。

３．３　製織した布表面の評価

３．３．１　製織状況及び結果

評価用布の製織時の状況及び結果を表６に示す。

唾液や小麦粉糊，PVA 系糊では，たて方向に 30cm 製織した結果 2～8 本の糸切れを生じたが，通常の結城紬の状況と変わらない。水由来の糸で製織した場合は，下拵え段階では問題なかったが，製織段階では，毛玉になって糸切れすることが多かった。

表６　製織状況及び結果

材料	製織作業性（作業者の主観）	糸切れ回数	毛羽立ち
唾液	・たて糸が少し白っぽく見える。(△) ・織物としての欠陥はなし。(○)	4本/30cm(○)	通常通り(○)
水	・たて糸が毛玉になりやすく、細くなって切れやすい。(×)	60本/30cm(×)	多い（×）
小麦粉糊	・特に支障なし。(○)	8本/30cm(○)	通常通り(○)
PVA系糊	・たて糸がほとんど切れなかった。(○)	2本/30cm(○)	通常通り(○)

３．３．２　各条件で製作した糸による製織結果

図 10 に 4 条件由来の手つむぎ糸で織り分けた布を示し，図 11 に水由来の布を拡大した写真を示す。

水由来の糸をたて糸に使用した部分が白味を帯びて見える。これは，水由来のたて糸が製織過程で，筬打ちの摩擦力により毛玉や毛羽が多くなり，製織表面の色彩に影響を及ぼしたためと考えられる。

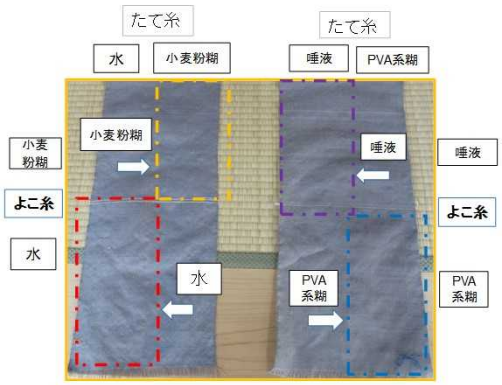


図 10　4 条件で織り分けた布

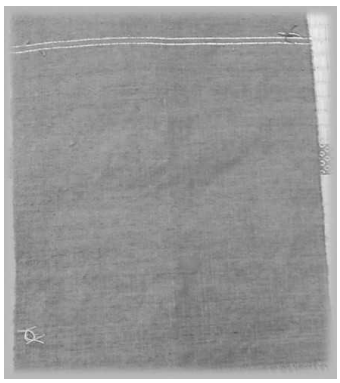


図 11　水由来の布（左半分）

３．３．３　製織した布の堅ろう度試験

各条件の布について，耐光試験及び染色摩擦試験の結果と，耐光試験前後の色差[5)]を表 7 に示す。

表 7　製織した布の染色堅ろう度試験結果

	耐光試験（20時間照射）		染色摩擦試験	
試料名	判定	色差 ⊿E*ab	乾燥（たて方向）	湿潤（たて方向）
唾液	4級未満	2.59	5	4
水	4級未満	3.16	5	4
小麦粉糊	4級未満	2.56	5	4
PVA系糊	4級以上	1.48	5	4-5

耐光試験では，PVA 系糊由来の糸による布が耐光試験 4 級以上と最も良好であり，他の 3 種類は 4 級未満であった。この理由は，PVA 系糊由来の布は耐光試験によるダメージを受けやすい毛羽が比較的少なかったためと考える。色差は，PVA 系糊由来の布は比較的少なく，毛羽立ちの量が生地表面の色差に影響したと考えられる。

染色摩擦試験結果はいずれも良好であった。

総合すると製織した布については，次のことが分かった。

○水由来の布は製織時にたて糸が傷みやすく，白味を帯びやすい。

○PVA 系糊由来の布は毛羽が少なく，糸つむぎ・下拵え・製織を一貫して糸をまとめる作用が維持される。

○染色摩擦試験では，全て 4 級以上であり，色落ちの問題がない。

○耐光試験前後の布地の色差は，PVA 系糊由来の布が最も少なく，色あせの問題がない。

４　おわりに

唾液に代わる材料の検討及び試作した手つむぎ糸の評価を行ったところ，以下のことが分かった。

（1）手つむぎ糸の強度とつむぎ易さにはトレードオフの関係があり，唾液使用の手つむぎ糸相当の強度を有し，作業に支障のない代替材料は，小麦粉濃度では 2.4%程度，PVA 系糊濃度では 1.0%程度である。特に PVA 系糊の強度は高い。

（2）水は唾液に比べて潤滑性が少なく製糸しづらく，乾燥後の強度が低い。

（3）代替材料の適切な条件では精練・染色性を阻害する要因は認められないが，糸つむぎ時に糊の濃度が高いと指がべたつき，真綿に付くと糸つむぎが難しくなる。

（4）各条件の糸を用いて製織した布の染着性を比較すると，PVA 系糊由来の布にやや優位性がある。

当研究の結果から，唾液代替の材料として PVA 系糊濃度 1.0%程度の条件が最も適する結果となったが，研究過程での個人差や個体差の影響が考えられるため，引き続き，多くの糸つむぎ者からの情報収集を行った上で，さらに最適条件を求めることが必要と考える。

参考文献

1）奥澤武治：″日本シルク学会誌″，29，5-11，(2021)
2）本場結城紬振興協議会編：″本場結城紬産地振興計画（令和 3 年度～令和 7 年度）″，(2021)
3）堀江昭次，太田仁美：″栃木県産業技術センター研究報告″，№15，86-89，（2018）
4）堀江昭次，太田仁美，石井優利：″栃木県産業技術センター研究報告″，№16，45-48，（2019）
5）吉葉光雄，太田仁美，渡辺智文：″栃木県産業技術センター研究報告″，№14，62-65，(2017)

経常研究

県内産原料を用いた耐熱土及び耐熱釉薬の試作開発（第１報）

磯部　大我*　　星　佳宏*　　大和　弘之*

Development of Clay and Glaze for Heat-resistant Pottery using Raw Materials from Tochigi Prefecture (1st Report)

ISOBE Daiga, HOSHI Yoshihiro and YAMATO Hiroyuki

県内産原料を用いた耐熱粘土及びペタライトの代替としてモミ灰を用いた安価な耐熱粘土の開発を行った。県内産原料として益子すいひ土を用い，ペタライト及び木節粘土を所定量配合した粘土を，1200℃～1220℃の温度域で焼成したものは，熱衝撃試験で割れ等の発生はなく，吸水率，熱膨張係数ともに一般的な耐熱陶器に必要とされる値を満たした。一方で，モミ灰からシャモットを作製し益子すいひ土に配合した粘土は，実用的な成形性がなく，焼成温度に関わらず耐熱粘土に要求される収縮率及び吸水率を満たすものはできなかった。

Key words:耐熱粘土，低熱膨張，耐熱衝撃性，ペタライト，モミ殻灰

１　はじめに

陶器販売店において，土鍋やごはん鍋などの耐熱製品は，消費者からの一定のニーズがあり，季節を問わず販売されている。益子町を中心とした販売店，国内外から訪れる消費者は，陶芸作家の個性的な作品を期待している傾向にある。このようなニーズがあるにもかかわらず製陶事業者は耐熱製品の製造を敬遠している。この理由は製造技術，原材料，安全性に課題があるためである。耐熱製品は，普通の陶器とは粘土も釉薬も焼き方も違い，粘土に配合し製品の割れを防いでくれるペタライト長石も高価である。また県内産の原料を用いた耐熱粘土の調製法が確立しておらず，製造もされていない。製陶事業者が直火で割れない安全な製品のために研究，試験することは多くの時間や経費が必要であり，技術面でもハードルが高い。消費者に求められていても耐熱製品の製造が難しい理由はここにある。

そこで，本研究では県内産原料を用いた安全な耐熱粘土及び，モミ灰を原料に用いた安価な耐熱粘土の開発を行った。

２　研究の方法

２．１　ペタライトを用いたリチア系耐熱粘土の開発

耐熱粘土の原材料として，益子すいひ土（益子焼協同組合・栃木県産），木節粘土（岐阜県産），ペタライト＃52，＃80，＃200（ジンバブエ産）を用いた。木節粘土は可塑性に優れ，配合することで可塑性が改善される。ペタライトは，40%程度坏土に配合することで低熱膨張化することが知られており[1)]，本試験においても同様に行った。

益子すいひ土は他産地の粘土に比べて砂分が多く，ペタライトは非可塑性の粉末であることから配合により可塑性が悪くなる。このため益子すいひ土に対し，ペタライトの粒度，木節粘土の配合割合を変えて調合し，ロクロ成形，タタラ成形の試験を行い，可塑性を評価した。

最も益子すいひ土の使用感に近い配合を用い，実際の使用に近い鍋型試験体と，各種試験用としてタイル型試験体を作製した。温度を変えた焼成試験に供し，目視による割れ歪みの確認，熱衝撃試験，煮沸吸水試験を行った。熱衝撃試験は，実際の使用に近い条件とするため2.95 kW相当の家庭用ガスコンロを用い，直火で温度差350℃として実施した。煮沸吸水試験は，乾燥機で100℃を３時間保持，室温まで自然空冷し重量測定，乾燥重量とした。次に水中で２時間煮沸後，12時間以上浸漬し，水分を拭き取り重量測定，飽水重量として吸水率を計測した。さらに，熱膨張係数の計測（NETZSCH Japan TD-5000S），X線回折測定（㈱リガク UltimaⅣ）を行った。

また，石膏型鋳込み成形用泥漿においては，粘土に水と，解膠剤（水ガラス）を加える必要がある。ロクロ成形用と同様の配合を用いて，水と水ガラスの添加量を検討した。鋳込み成形のためには，水分量はできる限り少ない方が優れているため，少しずつ水を加えながら練り

＊　栃木県産業技術センター　窯業技術支援センター

合わせ，適切な水分量を見出した。水ガラスの添加量は，自作の粘度計を用い，100ml の流出時間を測定することで泥漿の解膠状態を推定した。調製した泥漿を用いて，鍋型試験体を成形し，鋳込み時間，着肉量，排泥及び脱型の良否を評価した。

２．２　モミ灰を用いた非晶質シリカ系耐熱粘土の開発

安価な耐熱粘土として，ペタライトに代わる原料として，非晶質シリカが低熱膨張[2)]であることに注目し，モミ殻灰が非晶質であることから，非晶質シリカ系耐熱粘土を検討した。原材料には，益子すいひ土（益子焼協同組合・栃木県産），モミ灰（JA いみず野・富山県産），木節粘土（岐阜県産），ペタライト＃200（ジンバブエ産）を用いた。モミ殻灰は，灰にする焼成温度の違いによって成分に違いが生じるため，安定したモミ灰非晶質シリカを製造している JA いみず野・富山県産を使用した。ペタライトは，モミ灰の中で分散しやすいように粒度の小さい＃200 を使用した。

モミ灰は植物の灰であるため，4%程度の炭酸カリウムの他に，微量なアルカリ，アルカリ土類金属，その他の金属が含まれている。カリウムやナトリウムなど水溶性の炭酸塩は焼結に影響するため水洗によって除く必要がある。また，モミ灰は反応性の高いシリカ原料であることが知られている。そこで粗粒とするため，フルイ 40 目（＃34）を通す程度に粉砕する。予備実験から，直接粘土に配合すると可塑性が悪くなるため，モミ灰をシャモットにすることを考えた。シャモットとは，粘土を焼いて粉砕した原料で，坏土に配合すると，乾燥時の変形を防ぎ，焼成時の収縮を抑える効果がある。

モミ灰シャモットの作製方法は，木節粘土をバインダーとして配合し，まとめ上げ，焼焼する。これを粉砕して粒度を整えることを考えた。焼焼温度は結晶水が抜ける 750℃と，焼結が始まる頃と考えられる 900℃の 2 条件で行った。シャモットの粒度は粗粒にするため，フルイ 40 目（＃34）とした。作製したモミ灰シャモットの X 線回折測定を行い非晶質であるかを確認した。

モミ灰・非晶質シリカ耐熱粘土の作製及び評価は，リチア系耐熱粘土と同様の手順で行った。

３　結果及び考察

３．１　ペタライトを用いたリチア系耐熱粘土の開発

リチア系耐熱粘土はペタライト 40%程度の添加により低熱膨張化できることが知られている。入手可能なペタライトには＃52，＃80，＃200 があるが，坏土との組み合わせによる成形性への影響について検討した。表１に，検討した配合割合を示す。ロクロ成形による成形試験を行った結果，＃52 ペタライトを配合したものはザラつきがあり，ロクロ成形時のコテ当て作業に支障があった。＃200 ペタライトを配合したものは，滑らかではあるが腰が弱くなった。#80 ペタライトを配合したものは最も益子すいひ土の使用感に近かった。このため，PC5 の配合を最適とし，以後の評価試験に供した。

表１　ペタライトを用いた耐熱粘土の配合

(%)

試料	益子すいひ土	木節粘土	ペタライト		
			#52	#80	#200
PC1	60	－	40	－	－
PC2	50	10	40	－	－
PC3	40	20	40	－	－
PC4	30	30	40	－	－
PC5	30	30	－	40	－
PC6	30	30	10	30	－
PC7	30	30	20	20	－
PC8	30	30	－	30	10

表２　温度を変えた焼成試験結果

焼成温度(℃)	鍋型試験体		タイル型試験体				
	割れ・歪み	熱衝撃試験*	乾燥収縮率(%)	焼成収縮率(%)	全収縮率(%)	吸水率(%)	熱膨張係数($\times10^{-6}$/℃)
1180	なし	○	3.5	3.1	6.5	8.1	2.3
1200	なし	○	3.5	3.6	7.0	5.4	2.6
1220	なし	○	3.5	4.1	7.5	3.0	2.5
1250	なし	△	3.5	4.6	8.0	1.7	2.9
1280	底にブク有	×	3.5	3.6	7.0	0.8	3.9

＊熱衝撃試験：○変化なし，△小さなひび割れ，×割れ

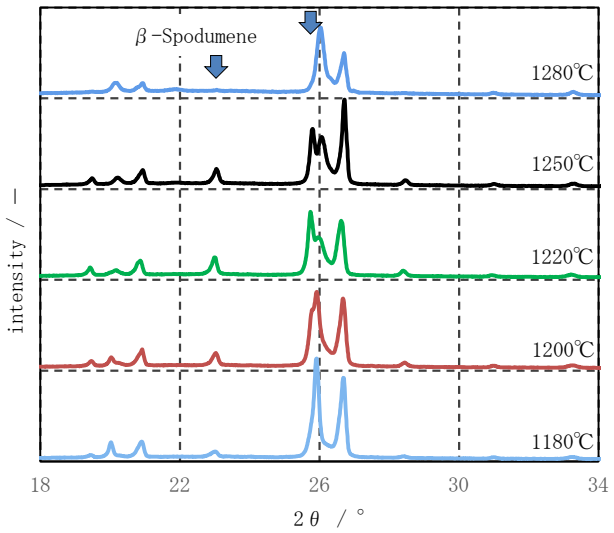


図１　温度を変えて焼成した PC５粘土の X 線回折パターン

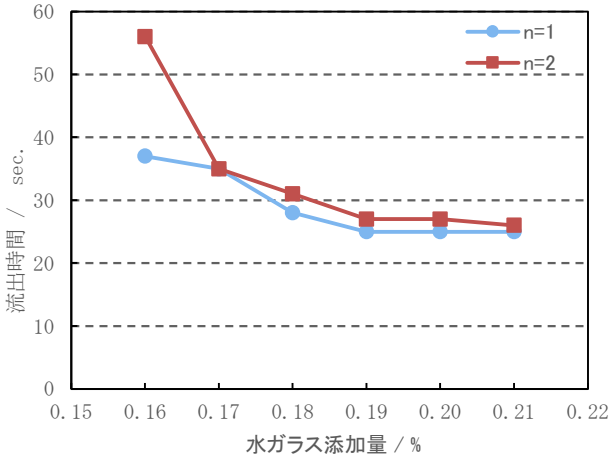


図２　泥漿の粘度変化

次に，鍋型試験体，タイル型試験体を作製し，温度を変えた焼成を行った。その結果を表２，X 線回折パターンを図１に示す。実際に直火で使用するためには熱衝撃試験が重要であるが，その結果，1180℃～1220℃において，割れ，ひび等の問題は起こらなかった。しかし 1180℃では焼結が弱いため水の染みが発生した。1250℃では内側に小さなひびが入ったが，この原因は吸水率が 1.7%と低く，加熱による熱衝撃を消費できるような気孔が少ないためと考えられる [3)4)]。1280℃では大きく割れが入った。この原因は，X 線回折パターンが示すように，1250℃まで生成されていた低熱膨張結晶 β-Spodumene 固溶体が，1280℃では消失していることにあると考えられる。また，熱膨張係数においては，1220℃以下で 2.6×10^{-6}/℃以下であり，一般的な耐熱陶器に必要とされる 3.0×10^{-6}/℃以下を満たしている。以上の結果から，適した焼成温度域は，1200℃～1220℃であると考えられる。

次に，PC5 の配合を用いた石膏型鋳込み成形用泥漿を検討した。乾燥させた原料を調合し，水を加えて坏土がクリーム状になる水分量を求めたところ，水分量 30%程度であることが分かった。この泥漿に対し，解膠剤として水ガラス（珪酸ナトリウム）の添加量を検討した結果を図２に示す。泥漿は完全に解膠させると石膏型への着肉が悪くなることから，完全に解膠する少し手前が良いとされる [5)]。実験の結果，0.17%～0.19%が最適であると考えられる。また，この配合における比重を計測したところ，1.9 程度であり，土鍋など肉厚な製品の泥漿として適していると言える。また，石膏型鋳込み成形試験において，着肉，排泥，脱型ともに良好であった。

３．２　モミ灰を用いた非晶質シリカ系耐熱粘土の開発

表３に示したモミ灰，木節粘土，ペタライトの配合割合を変えた８種類のシャモットを作製した。モミ灰シャモットの製作にあたり，木節粘土の粘性によってモミ灰を練り上げることができると予測したが，まとめることが困難だった。このため，CMC をバインダーとして用いたところ，練り上げることができた。乾燥後，結晶水が抜ける 750℃と，焼結が始まると考えられる 900℃で焼成，粉砕したモミ灰シャモットを，X 線回折測定に供した。結晶構造に大きな違いは認められなかった。

表３　モミ灰シャモットの配合

(%)

試料	ﾍﾟﾀﾗｲﾄ#200	木節粘土	モミ灰
PS1	20	30	50
PS2	16	24	60
PS3	12	18	70
PS4	8	12	80
MS1	−	50	50
MS2	−	40	60
MS3	−	30	70
MS4	−	20	80

表４　モミ灰シャモットを用いた耐熱粘土の配合

(%)

試料	益子すいひ土	木節粘土	シャモット(750℃)			
			PS1	PS4	MS1	MS4
CPS1	20	20	60	−	−	−
CPS4	31.25	31.25	−	37.5	−	−
CMS1	20	20	−	−	60	−
CMS4	31.25	31.25	−	−	−	37.5

表５　温度を変えた焼成試験結果

試料	焼成温度(℃)	割れ・歪み	乾燥収縮率(%)	焼成収縮率(%)	全収縮率(%)	吸水率(%)
CPS1	1080	大きな歪みなし	3.0	8.3	11.0	20.3
	1200	歪みあり	3.5	12.4	15.5	0.7
	1280	歪みあり	3.5	膨化	-	18.5
CPS4	1080	歪みあり	4.0	6.3	10.0	23.6
	1200	歪みあり	4.5	12.0	16.0	6.8
	1280	歪みあり	4.5	膨化	-	16.6
CMS1	1080	大きな歪みなし	3.0	6.2	9.0	25.0
	1200	変形少なめ	3.5	14.0	17.0	6.4
	1280	歪みあり	3.5	膨化	-	13.1
CMS4	1080	大きな歪みなし	4.0	5.2	9.0	25.8
	1200	歪みあり	4.5	11.0	15.0	8.7
	1280	歪みあり	4.5	膨化	-	15.7

750℃と比較すると 900℃の方がより炭素が抜けているため白く，焼結が進んでいるため固い。このため，砕きやすさのために 750℃焼成のシャモットを試験に供することとした。

成分比を大きく振った４種類のシャモットを選び，粘土素地への配合，焼成試験に供した。なお，モミ灰シャモットは乾燥収縮，焼成収縮を低くし，成形物の変形を防ぐ目的で，比較的粗粒である 40 目のフルイを通す程度に粉砕した。モミ灰・非晶質シリカ系耐熱粘土の予備実験から，シャモットの成分比に関わらず，坏土に対するモミ灰の含有率が 30%以上で可塑性が悪くなるため，表４の配合にて行った。しかし，実際に土練り，ロクロ成形，タタラ成形で試験体を作製したころ，全ての配合において，可塑性が悪く実用的ではないことが分かった。

可塑性が悪いが，モミ灰シャモットと坏土との反応についての知見を得る目的で，作製した試験体を，温度を変えて焼成した。焼成収縮率の結果は表５の通りである。ペタライトを配合したものはより大きく収縮，変形していて，1220℃以上でガラス化した素地からのガスの発生により膨化が始まっていた。これは，ペタライトの成分であるリチウムによって焼結が促進されたと考えられる。また，モミ灰シャモットの配合が多い素地の方が，収縮が大きい。これは，シャモットを原因とする空隙が多く存在し[6]，焼結によって空隙が潰されたと考えられる。すべての試験体に共通することは，焼成温度が高いほど歪みや変形が大きい。実用的な焼成収縮率は，6%程度であるが[7]，その条件を満たしているのは，1120℃以下である。しかし焼結が進んでいないため強度に劣る。

煮沸吸水率は，表５の通りである。耐熱陶器では適度な気孔の存在が熱衝撃を消費してくれるため，煮沸吸水率 5～10%が良いとされている[3)4)]。しかし，煮沸吸水試験の結果，その条件を満たすのは 1140℃～1180℃以上の試験体であるが，いずれも焼成収縮率が 10%以上であり，歪みや変形が起こりやすく，実用的ではない。

これらの試験体において，この結果をもたらした原因を調査，物性を評価するため，熱膨張率測定，X 線回折測定を行った。モミ灰の坏土への影響を調べるため，ペタライトの含まれていない 1200℃焼成の試験体を選び，熱膨張率を測定した。結果は 5.6×10^{-6}/℃であり，一般的な耐熱陶器の 3.0×10^{-6}/℃以下を超えており，直火には耐えることができない。また，焼成前，1120℃及び 1200℃で焼成した試験体を X 線回折により結晶構造の違いを調べた結果を図３に示す。1120℃で高熱膨張結晶であるクリストバライトが析出していて，1200℃ではより増加していることが分かる。

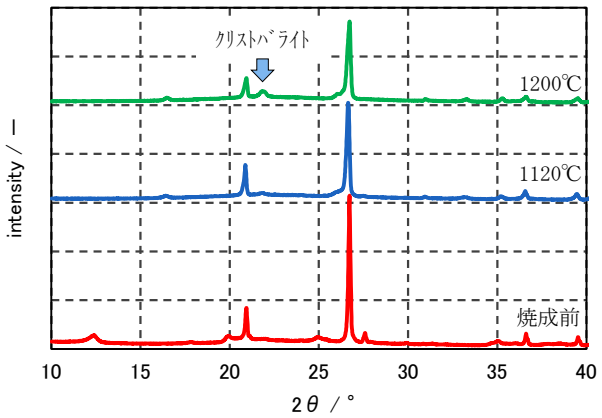


図３　CMS4 粘土の X 線回折パターン

以上の結果から，次のような課題が明らかになった。①比表面積が大きく，親水性があるため坏土へ配合したときに可

塑水量が増加し，ブヨブヨして成形性が悪くなる。②焼成時にモミ灰の細孔，空隙が潰れ，焼成収縮が大きくなる。③水洗後も，カリウムが残り，モミ灰非晶質シリカのクリストバライトへの結晶化が起こるため，熱膨張が大きくなる。モミ灰に含まれる炭酸カリウムは水溶性のため，水洗によって除去できると考えられるが，モミ灰を配合した素地の焼成試験において，一般的な陶器よりも100℃程度低い1140℃以上で焼結が進んだ。これは水洗後も残留したカリウム及び微量なカルシウムやナトリウムなどの影響ではないかと推測される。

今後，これらの課題の解決のために，モミ灰の比表面積を減らすことと，カリウムをできる限り取り除く方法の開発などが必要と考えられる。

4　おわりに

県内産原料を用いた，益子すいひ土に近い成形性，焼成呈色を持つ，リチア系耐熱粘土の開発を行った。県内産原料として益子すいひ土 30%，可塑性付与のため木節粘土30%，低熱膨張化のためにペタライト 40%の配合とし，1200℃～1220℃の温度域で焼成したものは，煮沸吸水率は3%～5%であり，無釉であっても水の染みは少なく，熱衝撃試験において，割れ，ひび割れの発生は認められなかった。次年度は，開発した耐熱粘土に適合する透明釉，乳濁釉，マット釉を開発する予定である。

また，ペタライトに代わる安価な低熱膨張原料を用いた耐熱粘土の開発において，非晶質シリカ原料であるモミ灰の利用を検討した。水洗したモミ灰を粘土と配合，焼成，粉砕を行い，粗粒モミ灰シャモットとし，これを坏土に対し38～60%配合して焼成試験を行ったが，成形性が悪く，また熱膨張率も要求される 3.0×10^{-6} よりも高い値となった。これらの解決のために，次年度は，粘土に配合する原料の再選定及びモミ灰の前処理方法を検討する予定である。

参考文献

1）伊藤隆:土鍋　セラミックスアーカイブズ p98(2009)
2）内山貴文：耐熱粘土原料および耐熱陶磁器 公開特許公報 p5（2019）
3）鈴木弘茂：窯協　72　〔11-2〕 p95（1964）
4）丸林良嗣・榊谷幹雄・林茂雄：合成コーディライトを添加した伊賀焼耐熱陶器における透明釉薬の開発とその釉薬を用いた土鍋の試作及び評価　三重県工業研究所　研究報告　No.40 p99（2016）
5）樋口わかな:やきものの科学　誠文堂新光社 p63(2021)
6）井上耕三・原尚道：もみがら灰の加熱条件とその性状 無機マテリアル Vo.3 p316（1996）
7）栃木県窯業指導所：窯指ニュース　データファイル 56 p2（2001）
8）佐藤努:粘土基礎講座Ⅰ　粘土科学第 4 巻第 1 号 p2-5（2001）
9）素木洋一:わかりやすい工業用陶磁器　技報堂(1969)
10)社団法人窯業協会編：窯業工学ハンドブック新版　技報堂（1973）

令和４（2022）年度

栃木県産業技術センター研究報告

第２０号

Reports of Industrial Technology Center of Tochigi Prefecture

No.20（2023）

発　行　　令和５（2023）年８月

発行所　　栃木県産業技術センター

〒321-3226　　栃木県宇都宮市ゆいの杜 1-5-20

ＴＥＬ（028）670-3391

ＦＡＸ（028）667-9430

VERY GOOD LOCAL

とちぎ