



栃木県元気ニコニコ室長
とちまるくん

ISSN 1349-2608
No. 20 (2023)

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 プリント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バリ抑制手法の開発	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。

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。

* 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

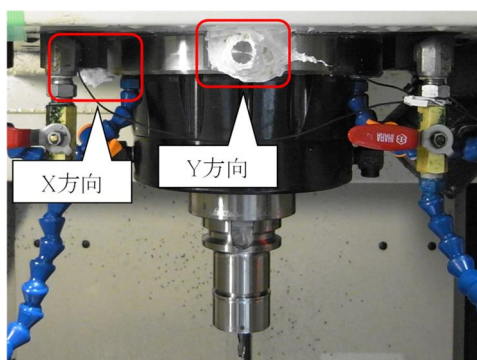


図1 加速度センサ取り付け状況

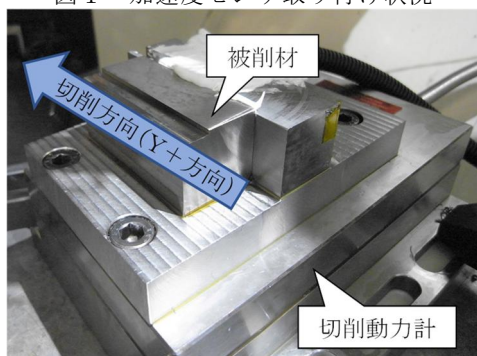


図2 1軸加工における切削動力計と被削材

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, 200mm/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。

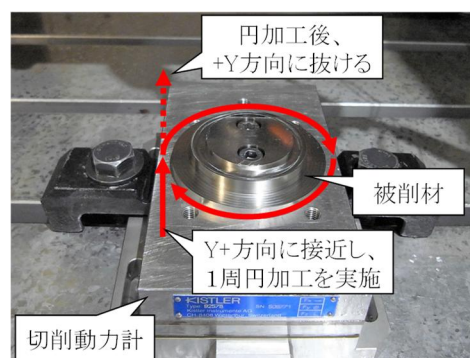


図3 円加工における切削動力計と被削材

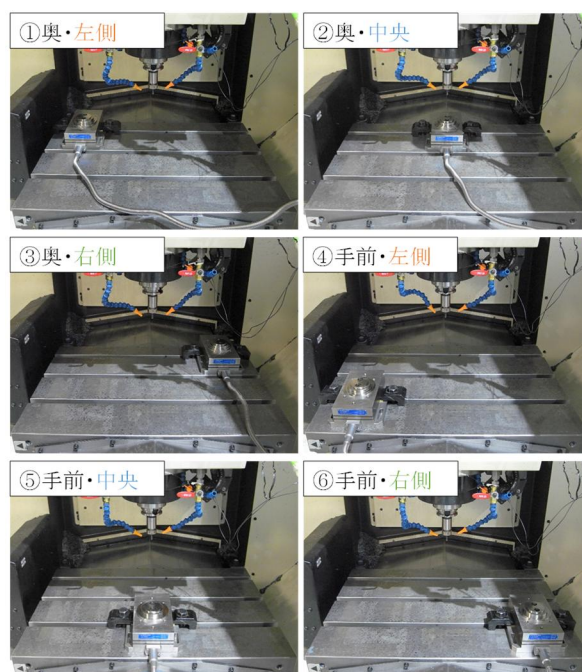


図4 被削材固定位置

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 NV5000 α 1A/40)を用いて、製品を模擬したモデルを複数個切削し、加速度と切削力との関係性を評価した。

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。

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

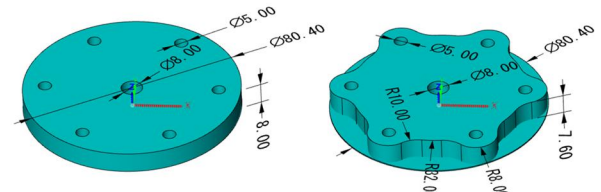


図6 実証試験に用いる加工モデル
(左：被削材、右：加工モデル)

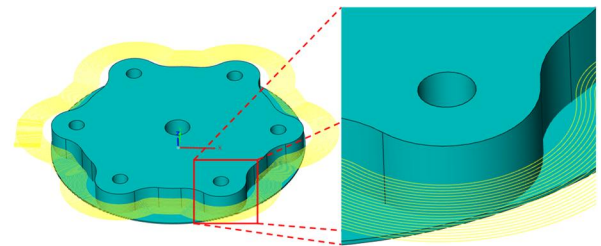


図7 加工パス(輪郭加工21回オフセット)

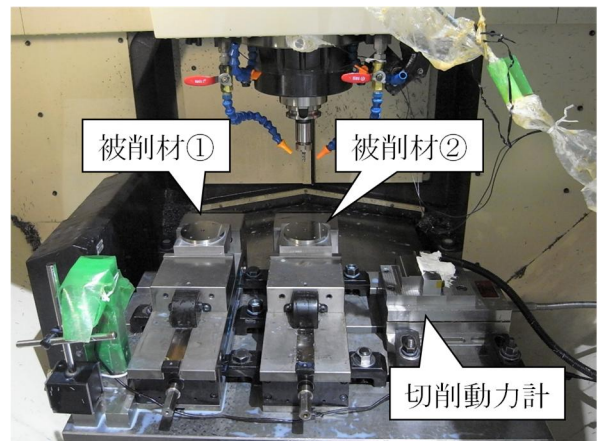


図8 実証試験段取り

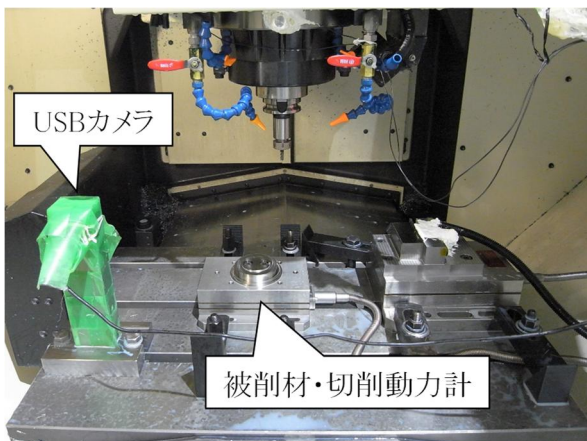


図5 円加工摩耗試験段取り



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擦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

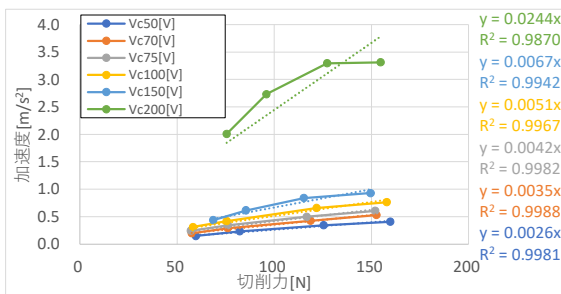


図10 X方向の加速度と切削力の関係（全体）

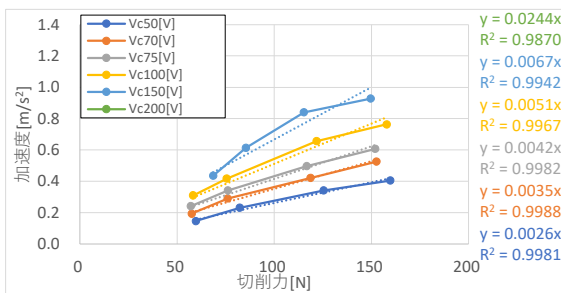


図11 X方向の加速度と切削力の関係（拡大）

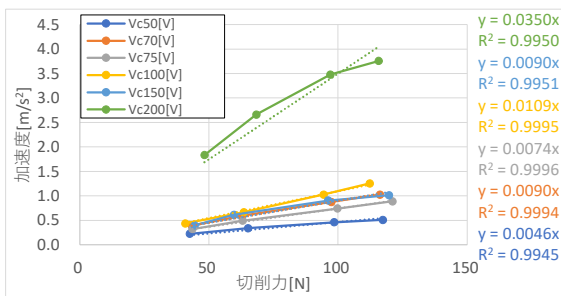


図12 Y方向の加速度と切削力の関係（全体）

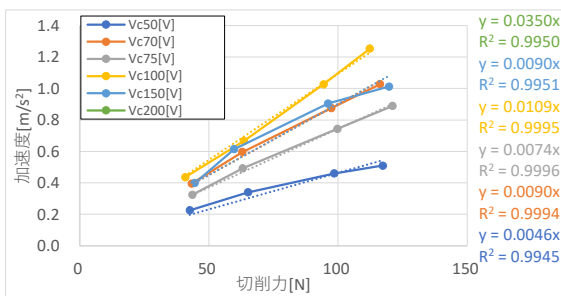


図13 Y方向の加速度と切削力の関係（拡大）

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

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、

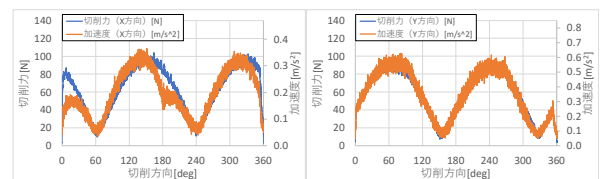


図14 円加工における加速度と切削力の関係【Vc50・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

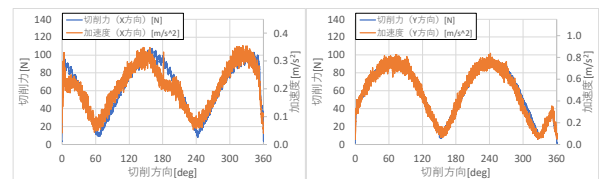


図15 円加工における加速度と切削力の関係【Vc70・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

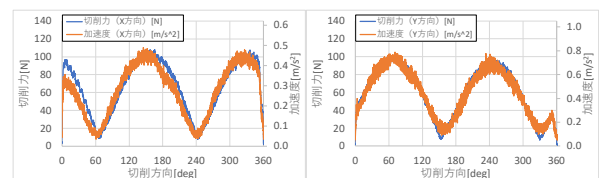


図16 円加工における加速度と切削力の関係【Vc75・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

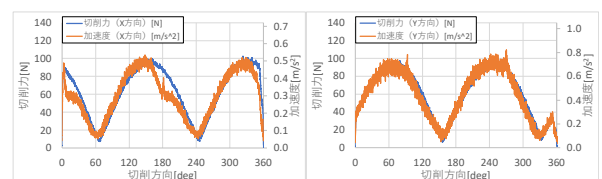


図17 円加工における加速度と切削力の関係【Vc100・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

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

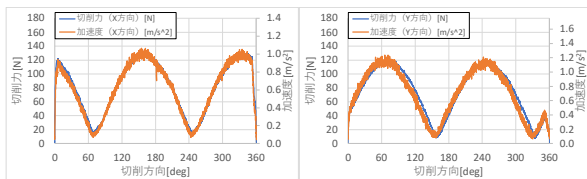


図 18 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc150・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

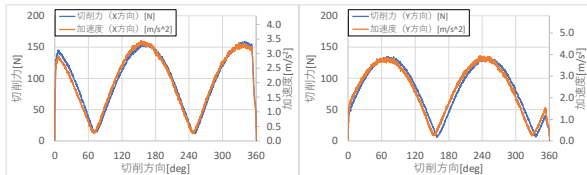


図 19 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc200・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

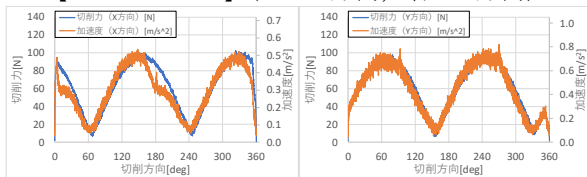


図 20 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc100・ae0.1】（左：X方向，右：Y方向）

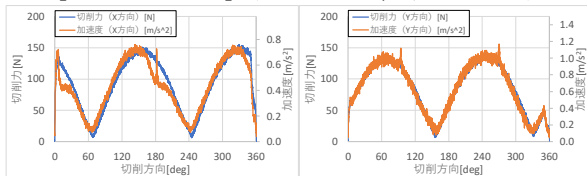


図 21 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc100・ae0.2】（左：X方向，右：Y方向）

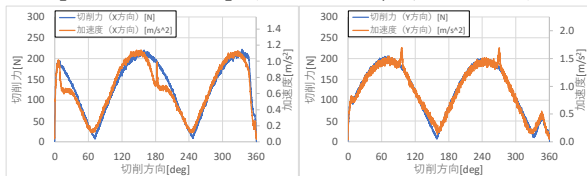


図 22 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc100・ae0.4】（左：X方向，右：Y方向）

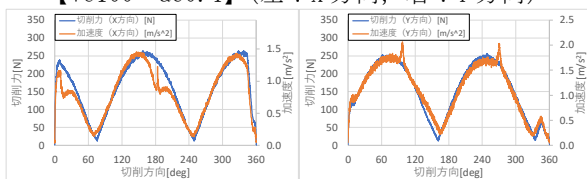


図 23 円加工における加速度と切削力の関係
【Vc100・ae0.6】（左：X方向，右：Y方向）

○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。

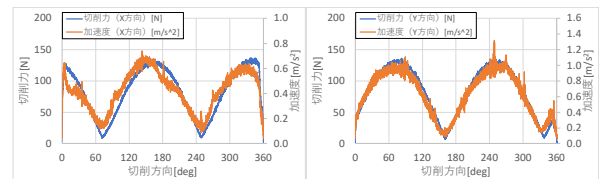


図 24 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【①奥・左側】（左：X方向，右：Y方向）

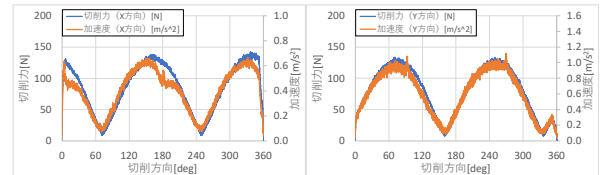


図 25 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【②奥・中央】（左：X方向，右：Y方向）

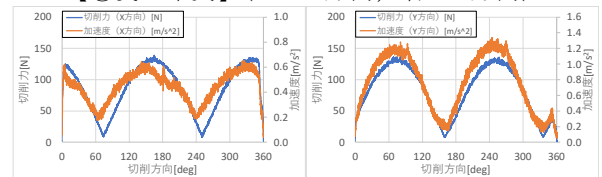


図 26 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【③奥・右側】（左：X方向，右：Y方向）

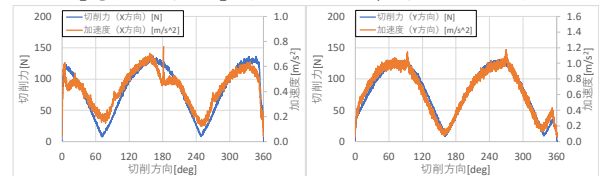


図 27 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【④手前・左側】（左：X方向，右：Y方向）

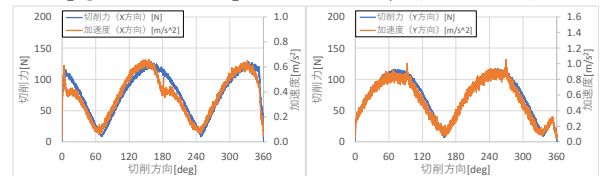


図 28 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【⑤手前・中央】（左：X方向，右：Y方向）

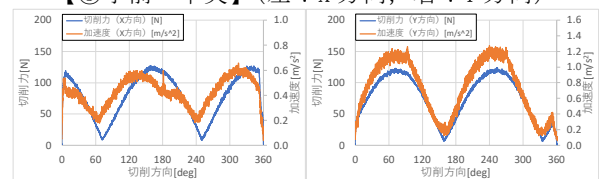


図 29 固定位置変更時の加速度と切削力の関係
【⑥手前・右側】（左：X方向，右：Y方向）

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、

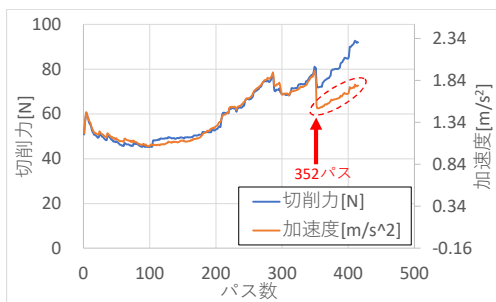


図 30 パス数に対する加速度と切削力の変化 (X 方向)

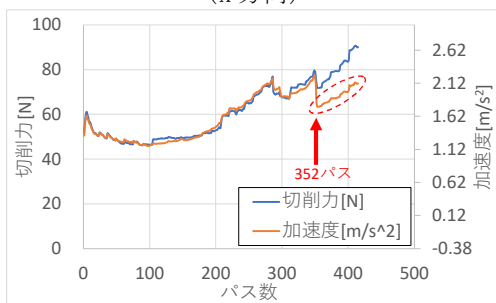


図 31 パス数に対する加速度と切削力の変化 (Y 方向)

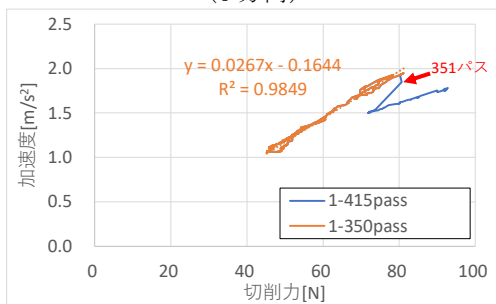


図 32 加速度と切削力の関係 (X 方向)

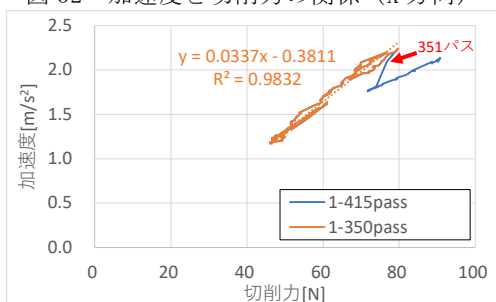


図 33 加速度と切削力の関係 (Y 方向)

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。

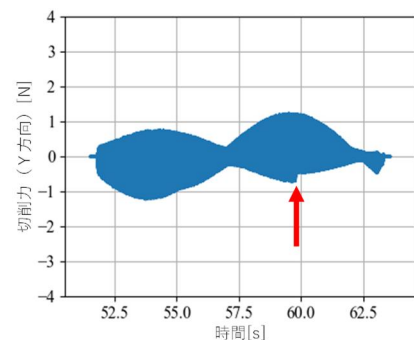


図 34 351 パスの切削力 (Y 方向)

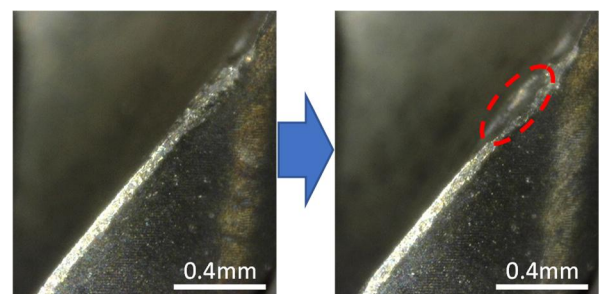


図 35 刃先画像【先端から z=+1mm】
(左：347 パス、右：360 パス)

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。

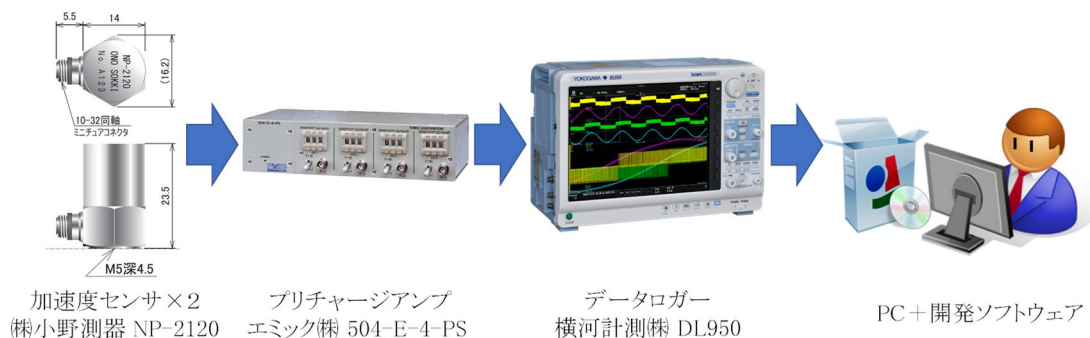


図 36 インプロセス工具摩耗監視システムの構成

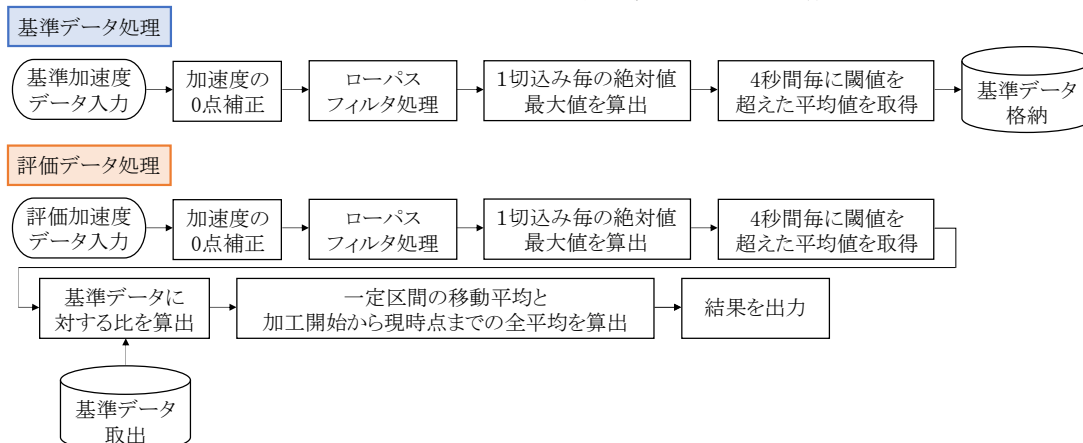


図 37 データ処理プロセス

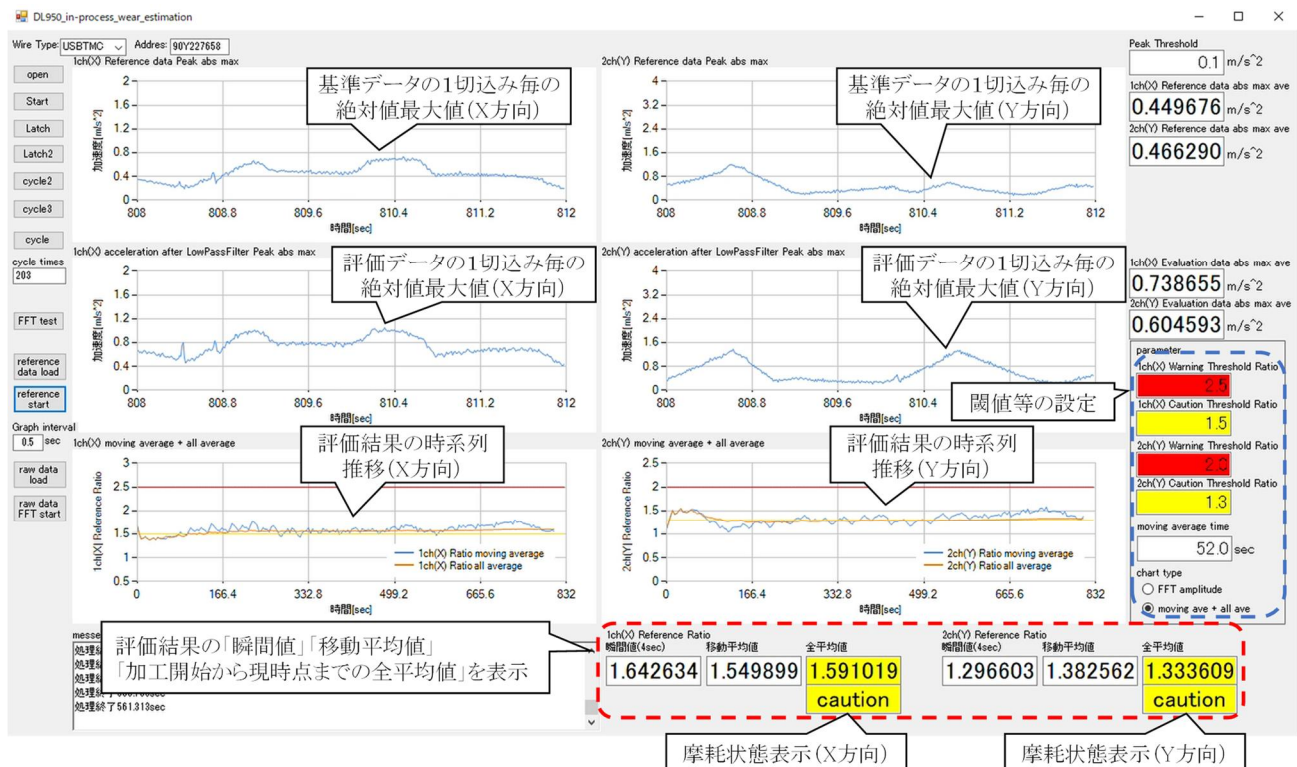


図 38 開発ソフトウェア外観

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、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

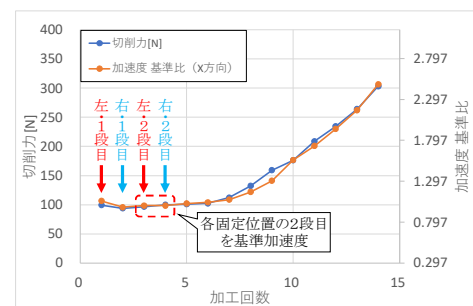


図 39 加工回数に対する加速度と切削力の変化 (安田工業 YBM-640V3・X 方向)

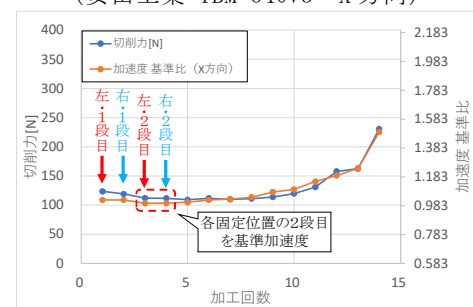


図 40 加工回数に対する加速度と切削力の変化 (森精機 NV5000α1A/40・X 方向)

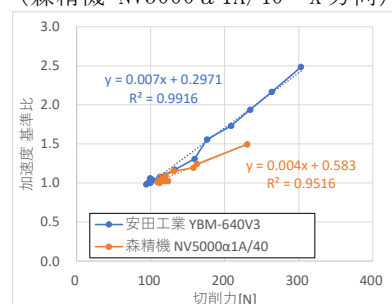


図 41 加速度と切削力の関係

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**** 高松 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 $1.4\mu\text{m}$, ASP が $1.5\mu\text{m}$,

* 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 $1\mu\text{m}$ 、KC は $37\mu\text{m}$ 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°C 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°C 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°C 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°C 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-0c」、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°C 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°C 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(株) 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°C で 5 時間以上乾燥させ、射出成形機(日精樹脂工業(株) 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°C 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-0c (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 ($^{\circ}\text{C}$)	回転数 (rpm)
W	30	220	200
W	40	220	350
W	50	220	400
KC-Ut	20, 30	200	200
KC-0c	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 ($^{\circ}\text{C}$)	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-0c	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-0c 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-0c 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

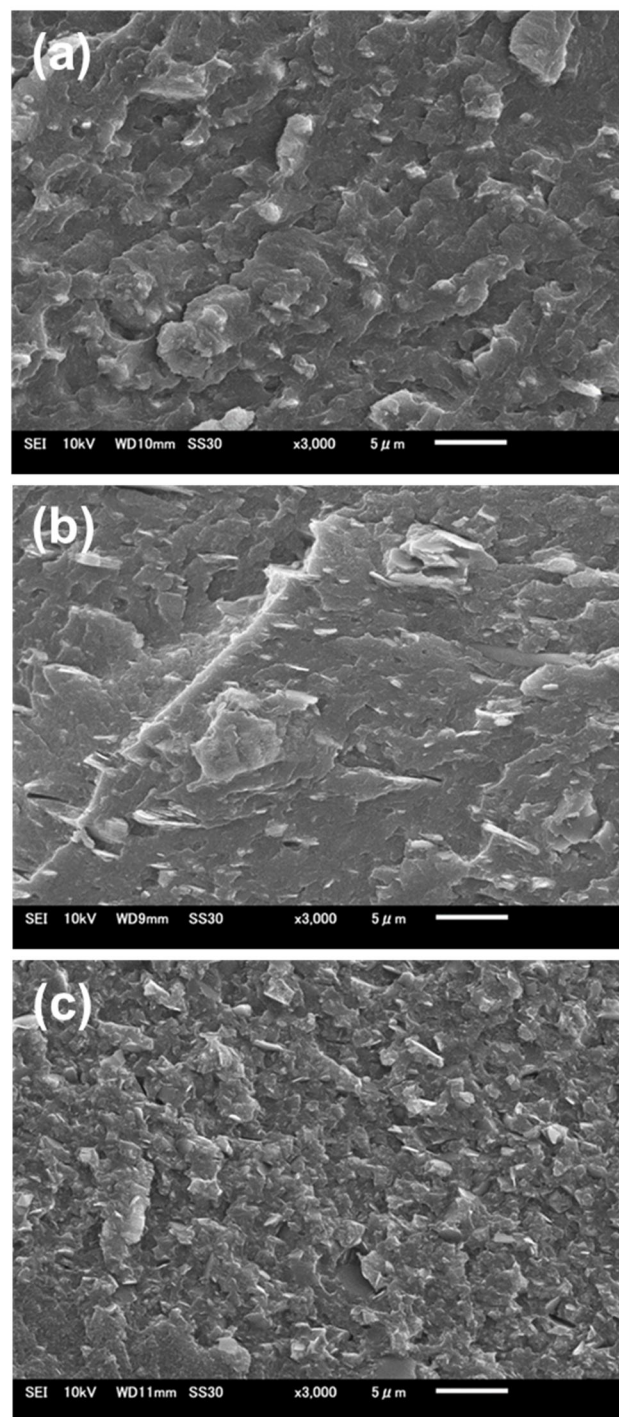


図 1 NC/フィラー複合材料のクライオ破断面の SEM 像；
(a)NC/W，(b)NC/ASP，(c)NC/SG

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

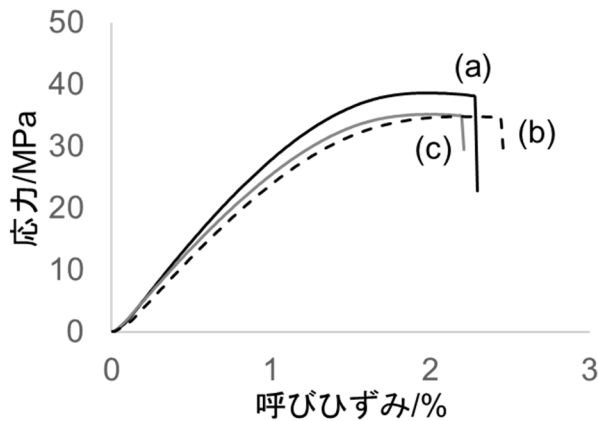


図2 NC/KC 複合材料の引張試験結果；
(a)NC/KC-Ut, (b)NC/KC-0c, (c)NC/KC-APTES

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、十分に熔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-0c 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-0c 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

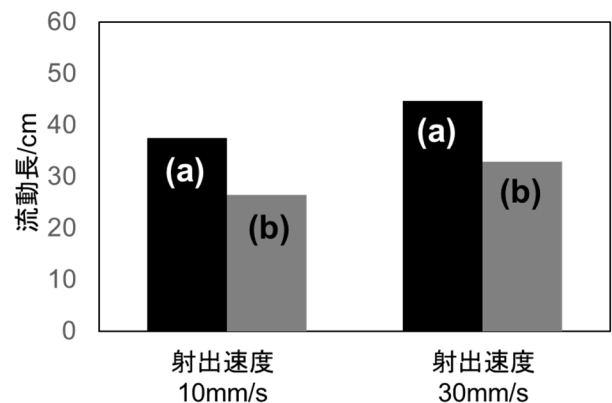


図3 射出速度とスパイラルフロー流動長の関係；
(a)NC Neat, (b)NC/KC-0c (20wt%)

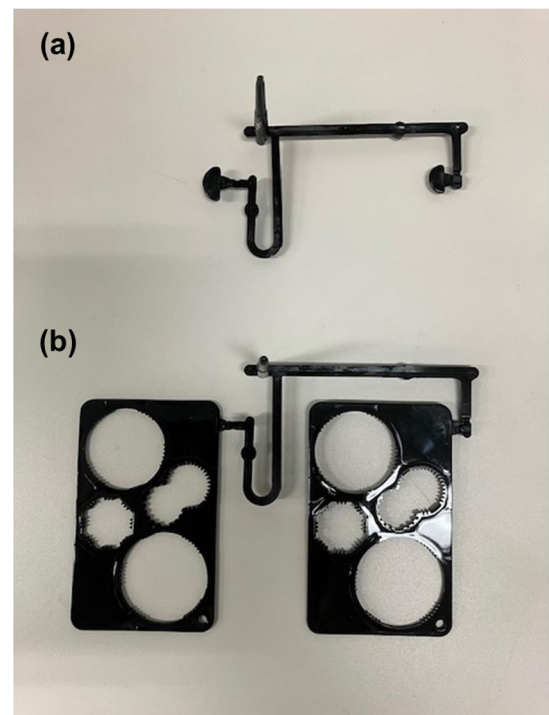


図4 「スマイルオープナーどこでも」の写真；
シリンダ温度(a)205℃, (b)215℃.

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

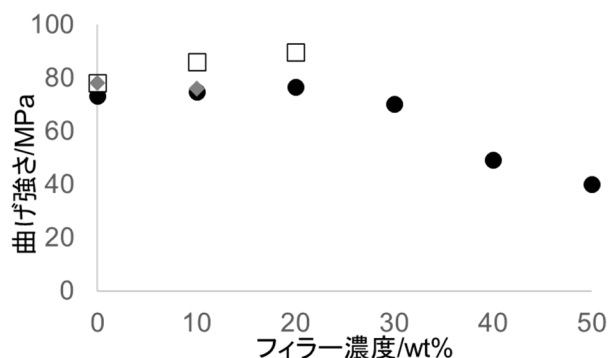


図5 NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と曲げ強さの関係；●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-0c

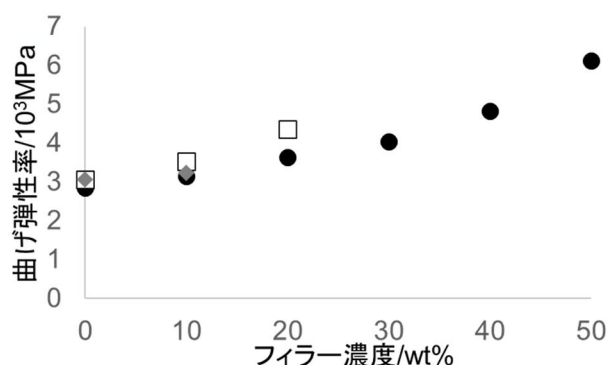


図6 NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と曲げ弾性率の関係；●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-0c

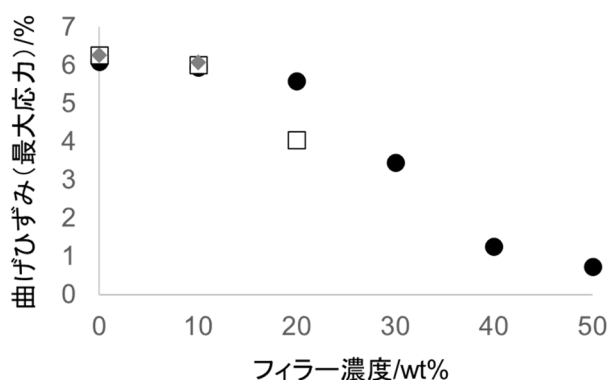


図7 NC/フィラー複合材料のフィラー濃度と最大応力までの曲げひずみの関係；●NC/W，□NC/KC-Ut，◆NC/KC-0c

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。

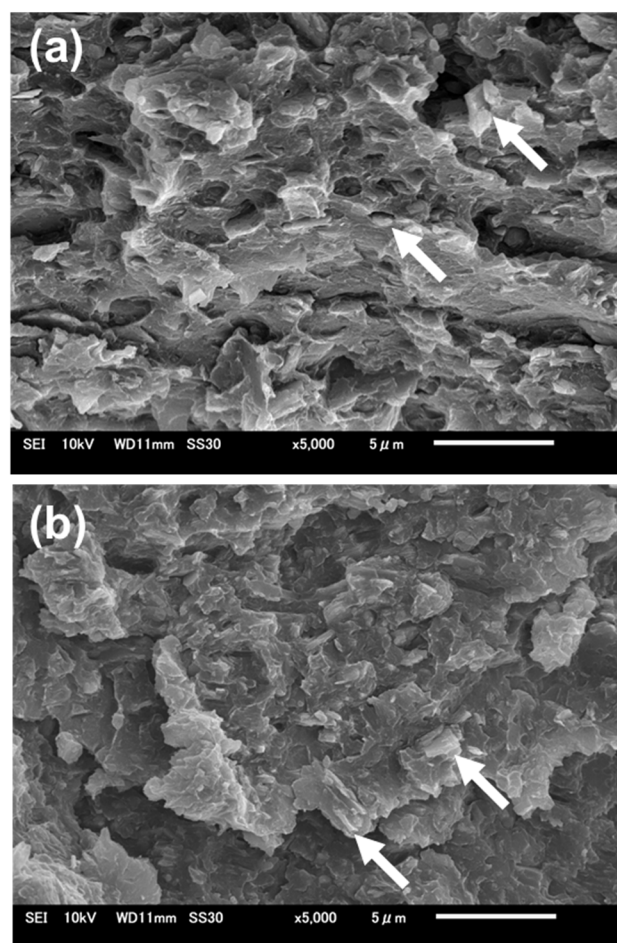


図8 NC/Wの曲げ破断面のSEM像；
(a)NC/W 20wt%，(b)NC/W 40wt%。
図中の矢印は露出したWを示す。

NC/KC の曲げ強さは、NC/KC-Ut と NC/KC-0c 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-0c 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、高速の場合では熔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。

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）

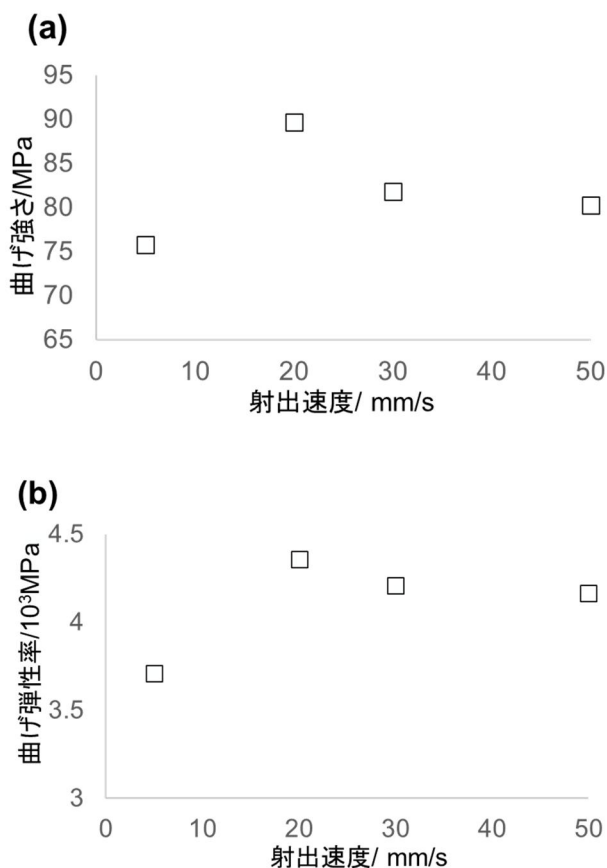


図 9 NC/KC-Ut 20wt%の射出速度と(a)曲げ強さ、及び(b)曲げ弾性率の関係

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 Hiroshi

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麴を用いた四段掛けを試みたところ、四段における白麴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事ができた。

Key words: 夢ささら, 低アルコール, 白麴, 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・留と蒸米や麴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麴(黄麴)を使用するが、本研究では麴にクエン酸を多く生産する白

麴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。

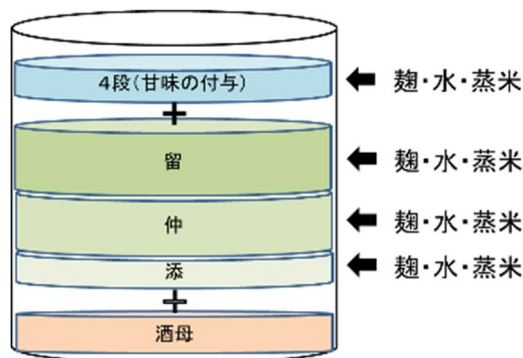


図1 四段掛け

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 白麴の製麴試験

精米歩合60%の夢ささらを用いて総米3kgで製麴をした。白麴菌は爽明（㈱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分煮沸した後、麴室に引き込んだ。清酒用黄麴菌と同等の品温経過で製麴した。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時間で出麴とした。最高品温は42℃とした。麴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(株)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 白麴の糖化試験

白麴の糖化試験は米、白麴、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)。白麴歩合を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(8,000rpm, 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 清酒への白麴四段掛け添加試験

2. 1と同じ夢ささら原酒に、2. 3の条件で調製した白麴歩合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(8,000rpm, 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 $\Rightarrow$ 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。白麴は種麴に爽明(株)秋田今野商店)を白米100kg当たり100g使用し振り切りで製麴した。四段掛けの白麴歩合は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

	水麴	添	留	四段	合計
総米(kg)	8	30	72	40	150
掛米(kg)	0	20	46	15	81
麴米(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麴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 白麴の製麴及び糖化試験

白麴菌の製麴は黄麴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麴となった。 α -アミラーゼ活性は535(Unit/g 麴)、グルコアミラーゼ活性は346(Unit/g 麴)、G/A比は0.61となった。

製麴した白麴を用いた総米200gの糖化試験の結果を表3に示す。白麴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、白麴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 清酒への白麴四段掛け添加試験

清酒への添加試験結果を表4に示す。白麴歩合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。白麴歩合70%の試験区では酸ウク、粕臭などの指摘が見られ

表 3 白麴四段糖化試験

白麴歩合(%)	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 清酒への白麴四段糖化液添加試験

白麴歩合 (%)	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、キレイ悪い
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、キレイ悪い
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、キレイ悪い
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、キレイ悪い
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、キレイ悪い

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amil(ppm)	カブロン酸エチル(ppm)	官能評価
2.6	1.7	-23	9	4.9	2.3	甘味と酸味のバランス良い、後味爽やかであり

たことから、麴歩合 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。官能評価では香氣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麴を用いた四段掛けの条件を検討したところ、白麴四段の麴歩合は 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」による白麴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供した。

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、粉碎し 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 10 μ L 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 Carboxen B&X 及び Tenax TA を用いた。前処理として、試料を N₂ 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(株)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(株) 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, 0.25 μ m)
オープン温度	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 分間粉碎した。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 分間粉碎後、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

粉碎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 0.45 μ m) でろ過し、ろ液を試験溶液とした。分析は HPLC (日本分光(株)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 6 μ m 昭和電工(株)製) 2本直列接続
移動相	3mM過塩素酸
反応液	0.2mMプ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	50 μ L
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碎し、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, Furanol 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解出し, 糖により保持されたためと考えられる¹⁾。

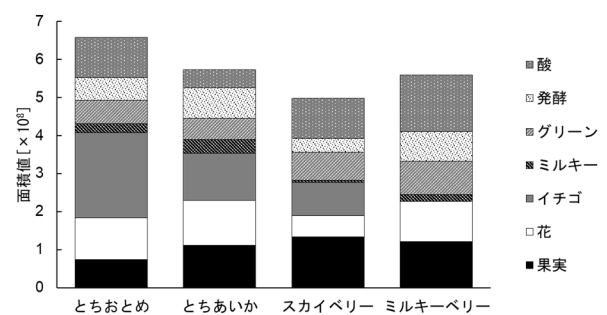


図 2 生果の香気成分分析結果

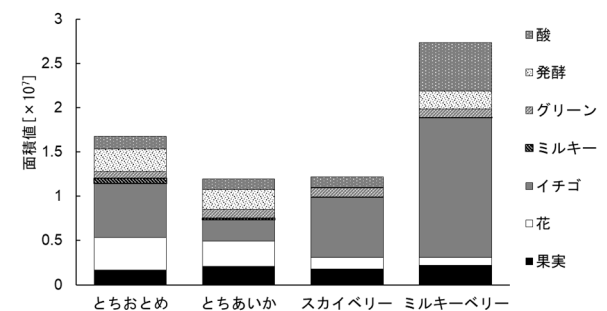


図 3 加工品 1 の香気成分分析結果

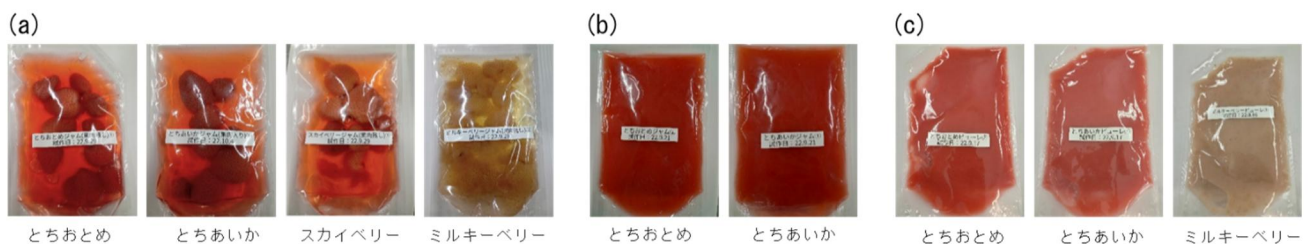


図 1 各条件で加工したイチゴ加工品の外観

(a) 加工品 1, (b) 加工品 2, (c) 加工品 3

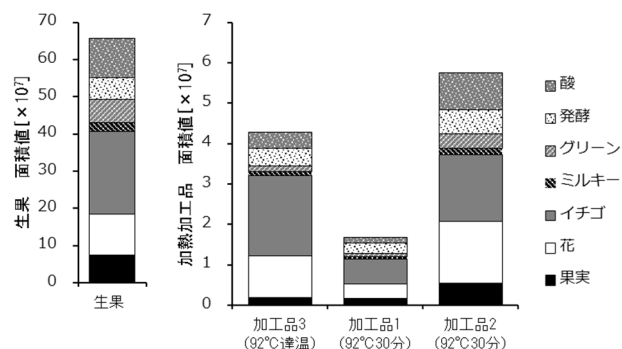


図4 とちおとめの加工条件による香気成分量

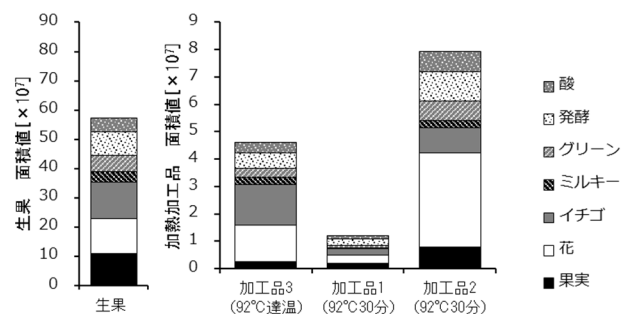


図5 とちあいかの加工条件による香気成分量

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（ $\Delta L^*=-10.1$ ）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

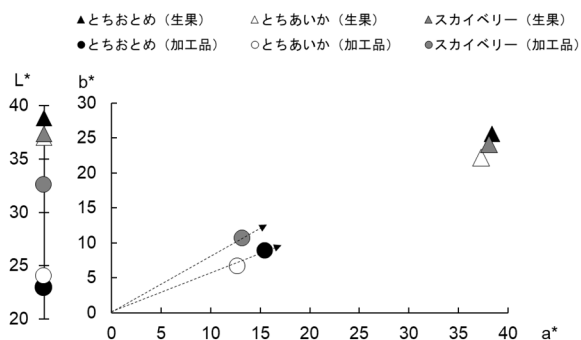


図6 生果及び加工品1の果肉部の色（ $L^*a^*b^*$ ）

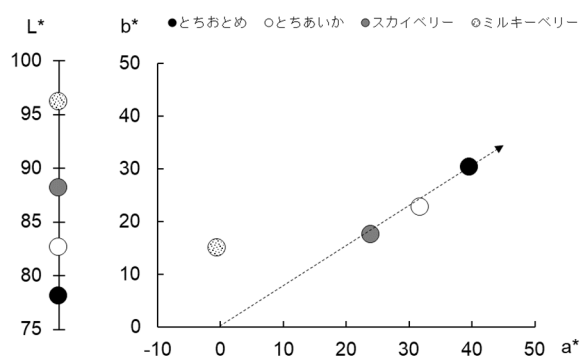


図7 加工品1液体部分の色（ $L^*a^*b^*$ ）

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。

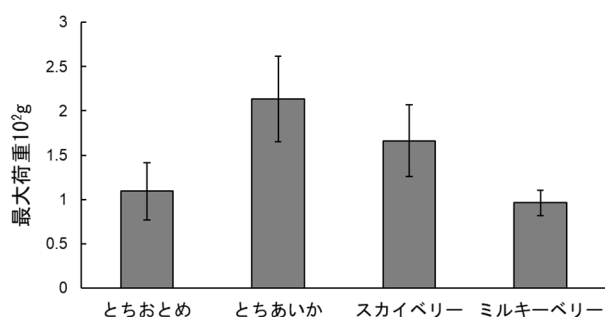


図8 生果の圧縮試験結果

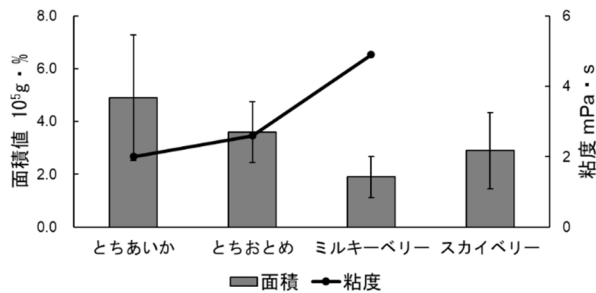


図9 加工品 1 果肉部の圧縮試験結果及び加工品 3 の粘度

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。とちあいかは最も酸味が低く、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、有機酸含量だけで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

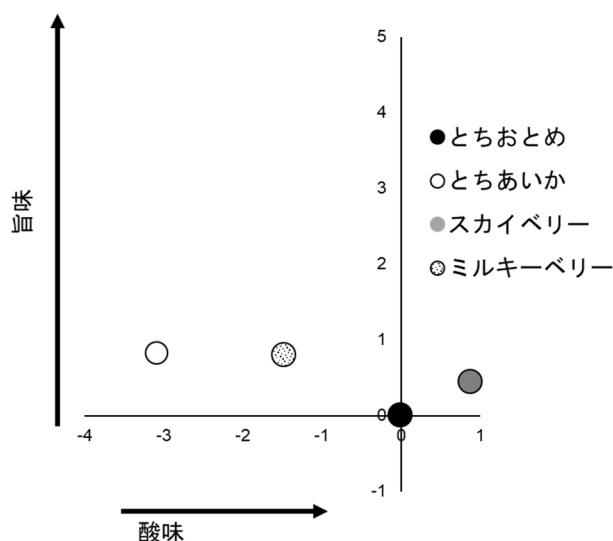


図 10 生果の味覚センサー測定結果

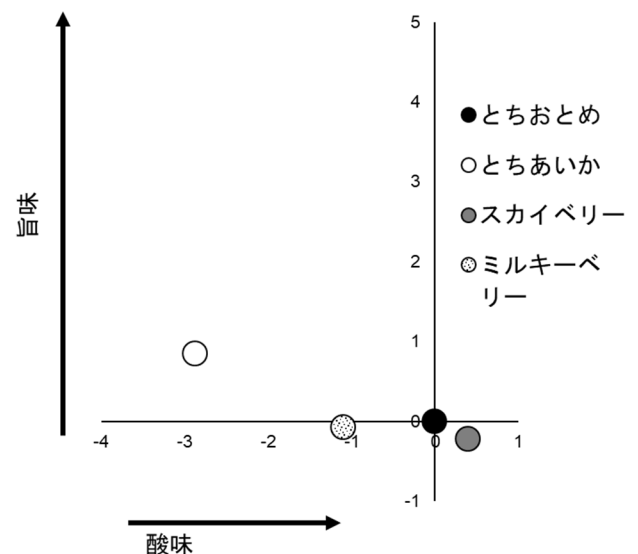


図 11 加工品 1 の味覚センサー測定結果

(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。

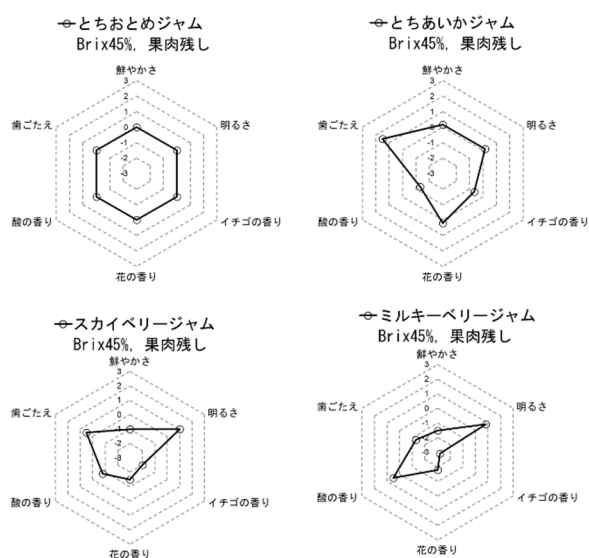


図 12 ホールジャム (Brix45%) の官能評価結果

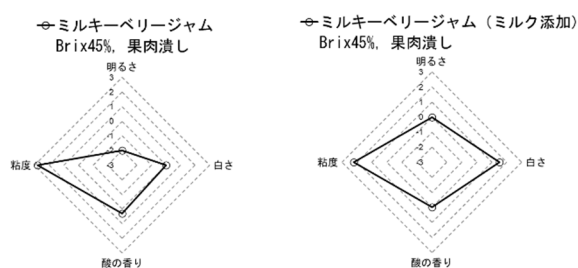


図 13 パルパージャム (Brix45%) の官能評価結果

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%, Brix45%)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

ITO 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良好に関連していたが、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。

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 分ごとに攪拌し抽出した。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 倍希釈したものをを用いた。

* 栃木県産業技術センター 食品技術部

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

香氣成分測定は、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 10μL 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 Carboxen 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 N₂ パージして香氣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, 0.25μm), オープン温度: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

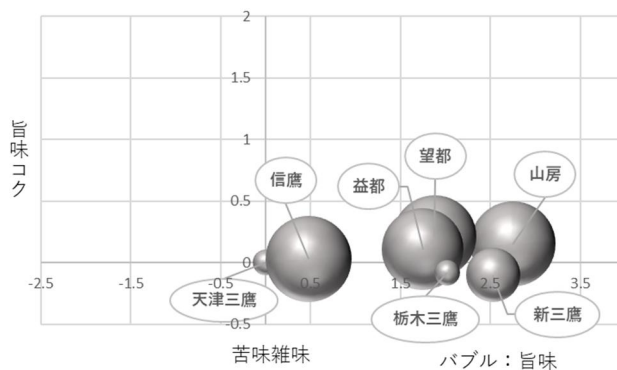


図1 従来焙煎法（中国産 90℃，国産 75℃）での味（苦味雑味・旨味・旨味コク）の比較

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

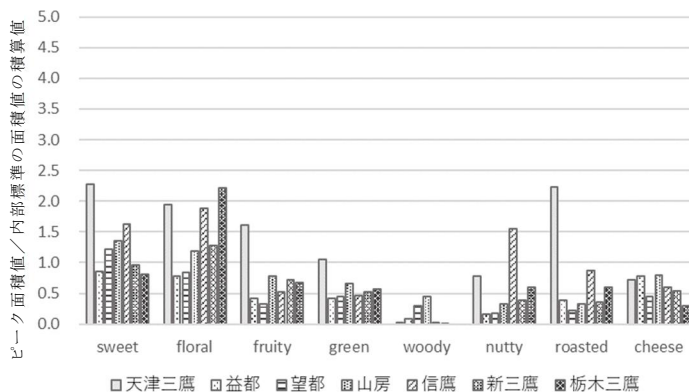


図2 従来焙煎法（中国産 90℃，国産 75℃）での香りの比較

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。

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)。

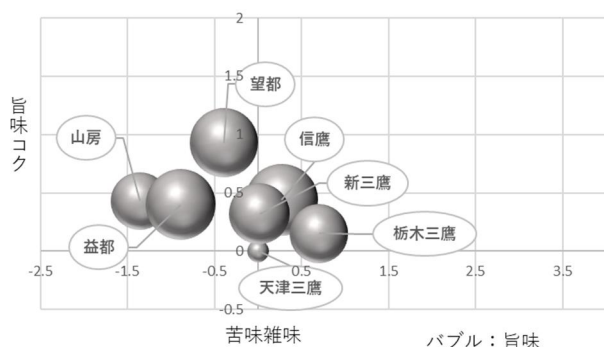


図3 90℃焙煎での味(苦味雑味・旨味・旨味コク)の比較

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の香りは益都和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)。

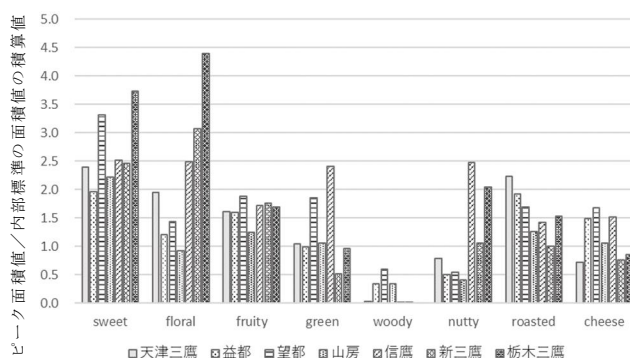


図4 90℃焙煎での香りの比較

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
	信鷹	1.6
小型	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

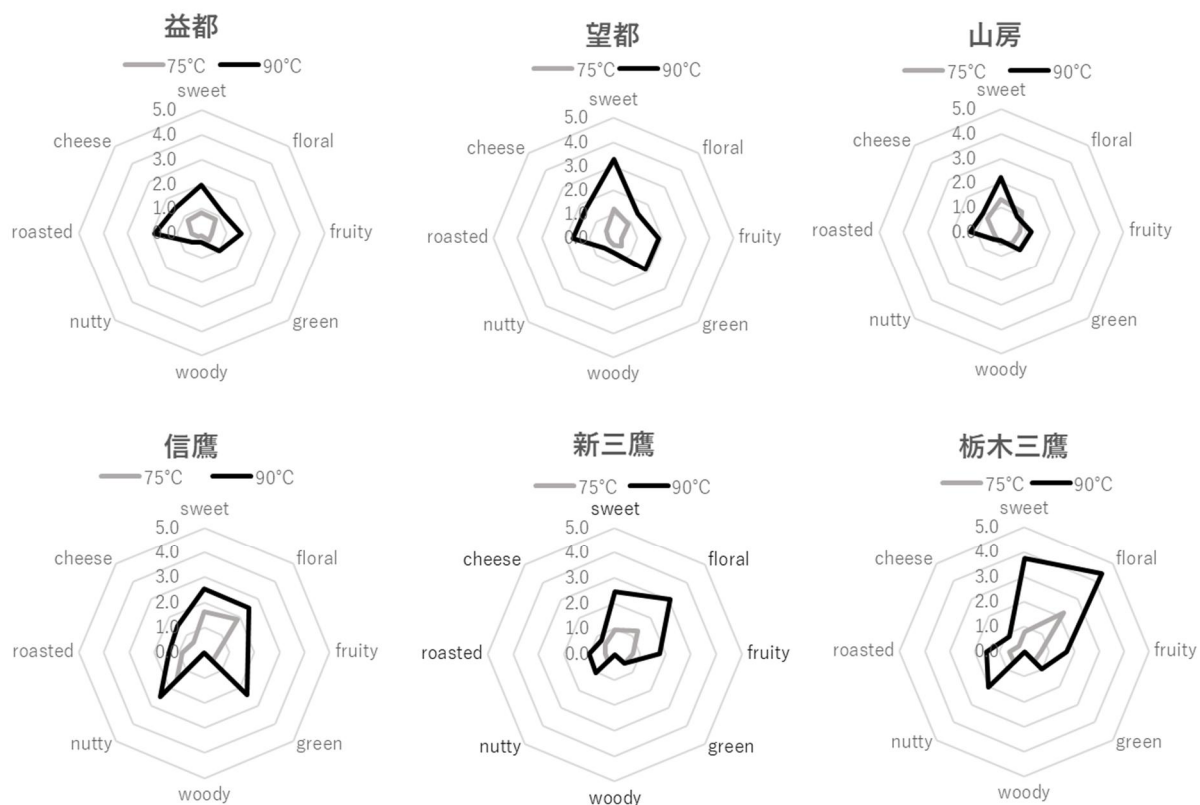


図5 焙煎温度による香りの変化

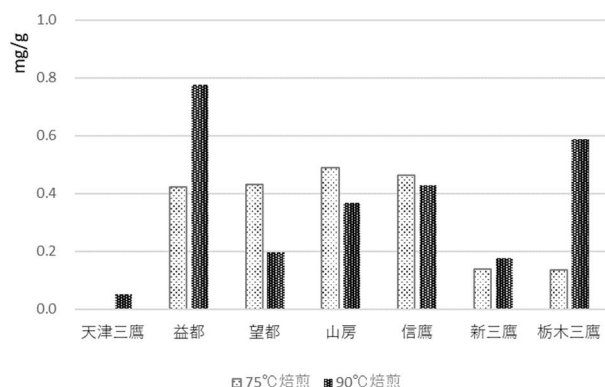


図6 グルタミン酸含有量

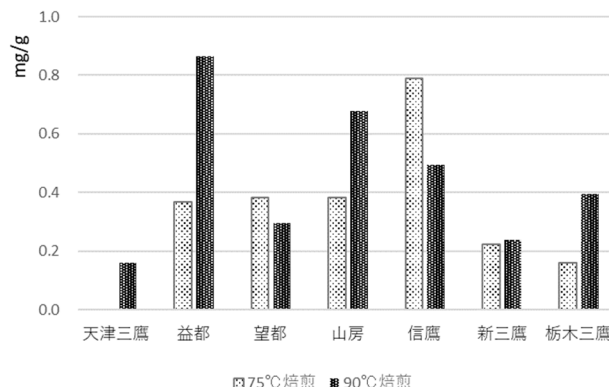


図7 アスパラギン酸含有量

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%

* 栃木県産業技術センター 県南技術支援センター

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 P0-50SH-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

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°C , 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°C 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°C 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 $\text{MFR} \geq 1$ 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 $\text{MFR}=0.6$ のペレットを成形した経験があることから, 今回は $\text{MFR} \geq 0.6$ 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°C) 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°C の時は $v=3$ mm/s で成形できたが, シリンダー温度 180°C 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°C , 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

^{*)} 切り取り片の秤量の最大値と最小値の差が平均の15%超

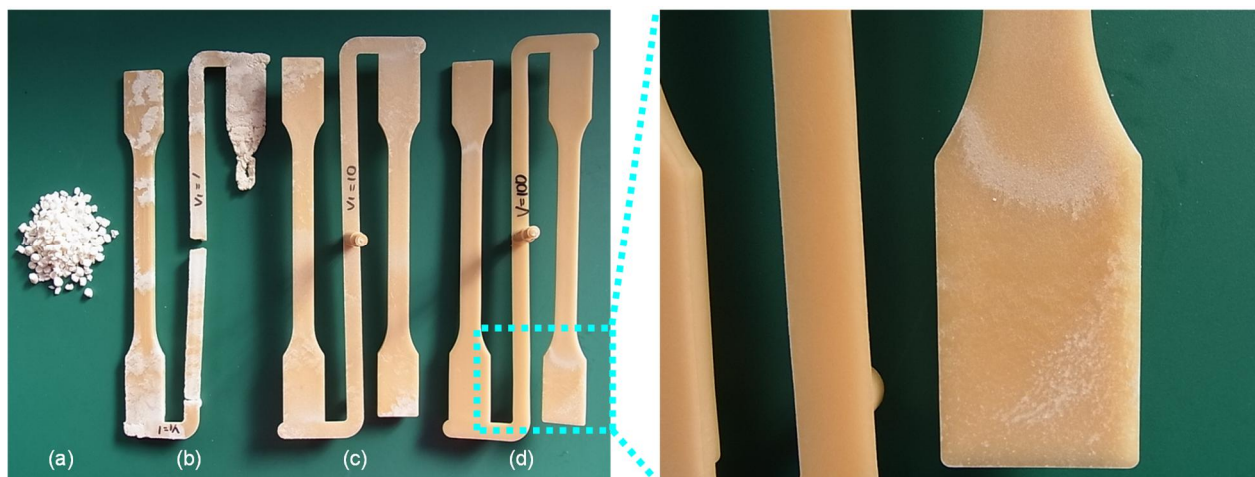


図 1 CeF/PP2 ペレットと成形品 (シリンダー温度 195°C) の外観
(a)ペレット, (b) $v=1$ mm/s, (c) $v=10$ mm/s, (d) $v=100$ mm/s

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 [°C]	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、粘度が高いために考えられる。

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°C, $v=10, 100$ 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°C, 30 min 加熱した(温度プログラム: 初期温度 35°C, 到達温度 195°C, 30 min 保持(昇温速度 100°C/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°C, $v=10$ 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°C, 195°C 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(スクリュウ一回転時)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 は熔融するが、CeF は熔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

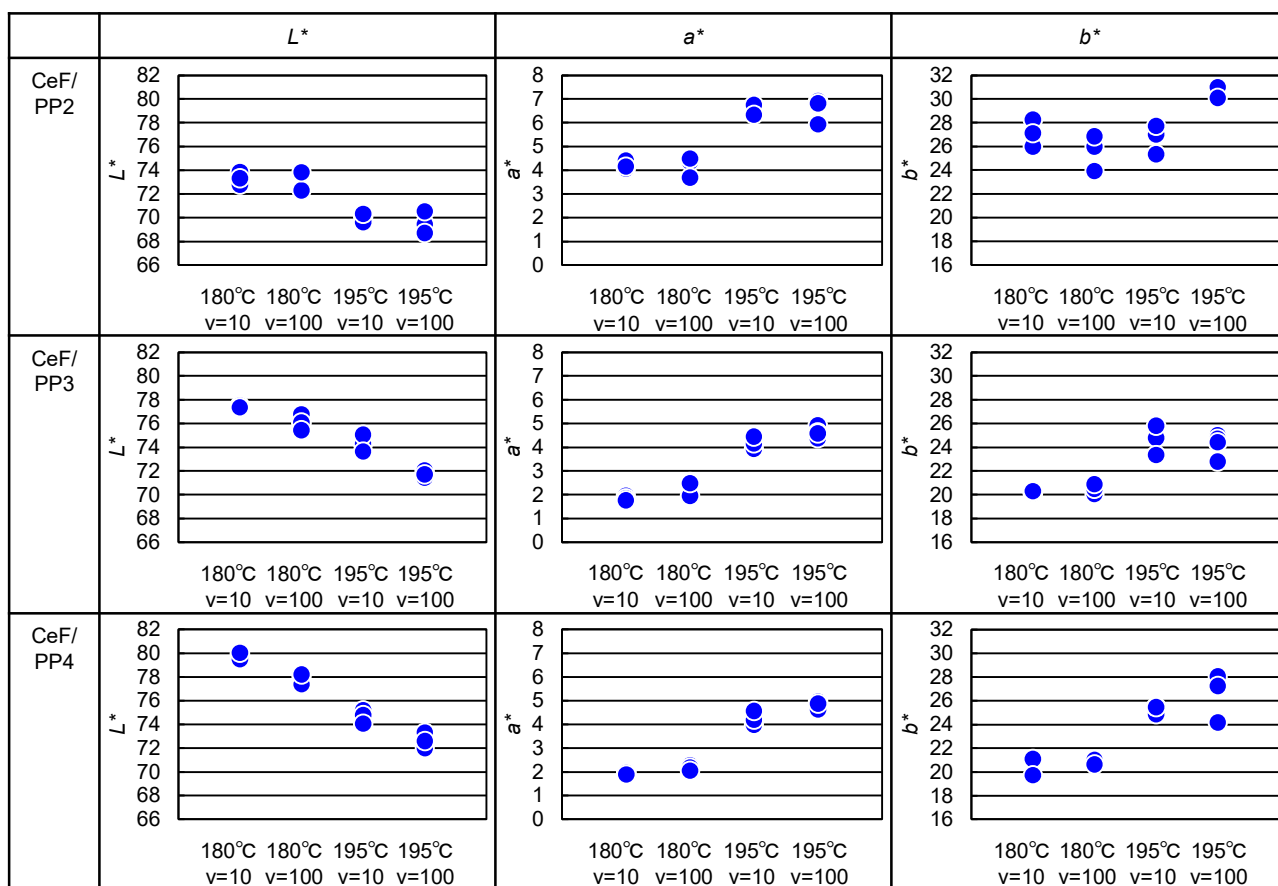


図2 CeF/PP 成形品の分光反射率 (SCE)

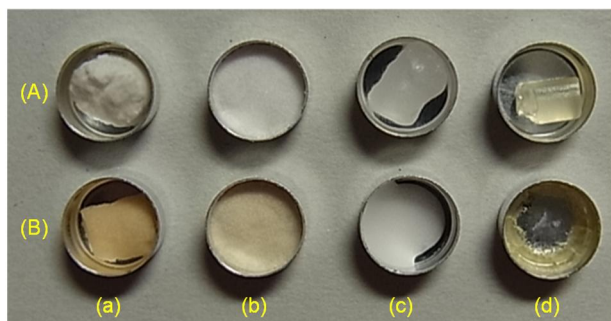


図3 加熱前後の CeF/PP4 ペレットとその原料
(A) 未加熱, (B) 195°C, 30 min 加熱 (乾燥
空気), (a) CeF/PP4 ペレット, (b) CeF,
(c) ニート PP4 ペレット, (d) 相溶化剤

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°C, 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。

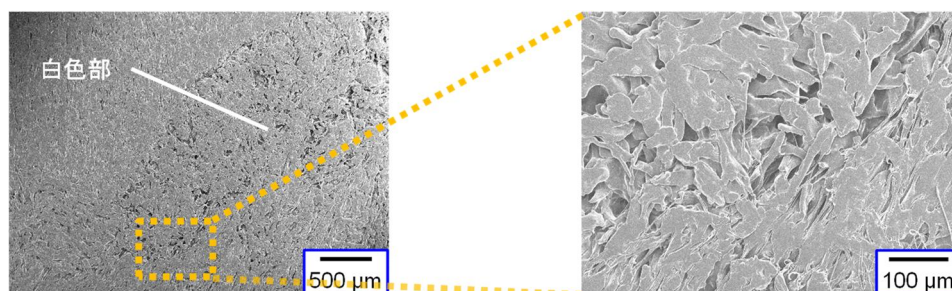


図4 CeF/PP2 成形品 (シリンダー温度 180°C, v=10 mm/s) 表面の SEM 像

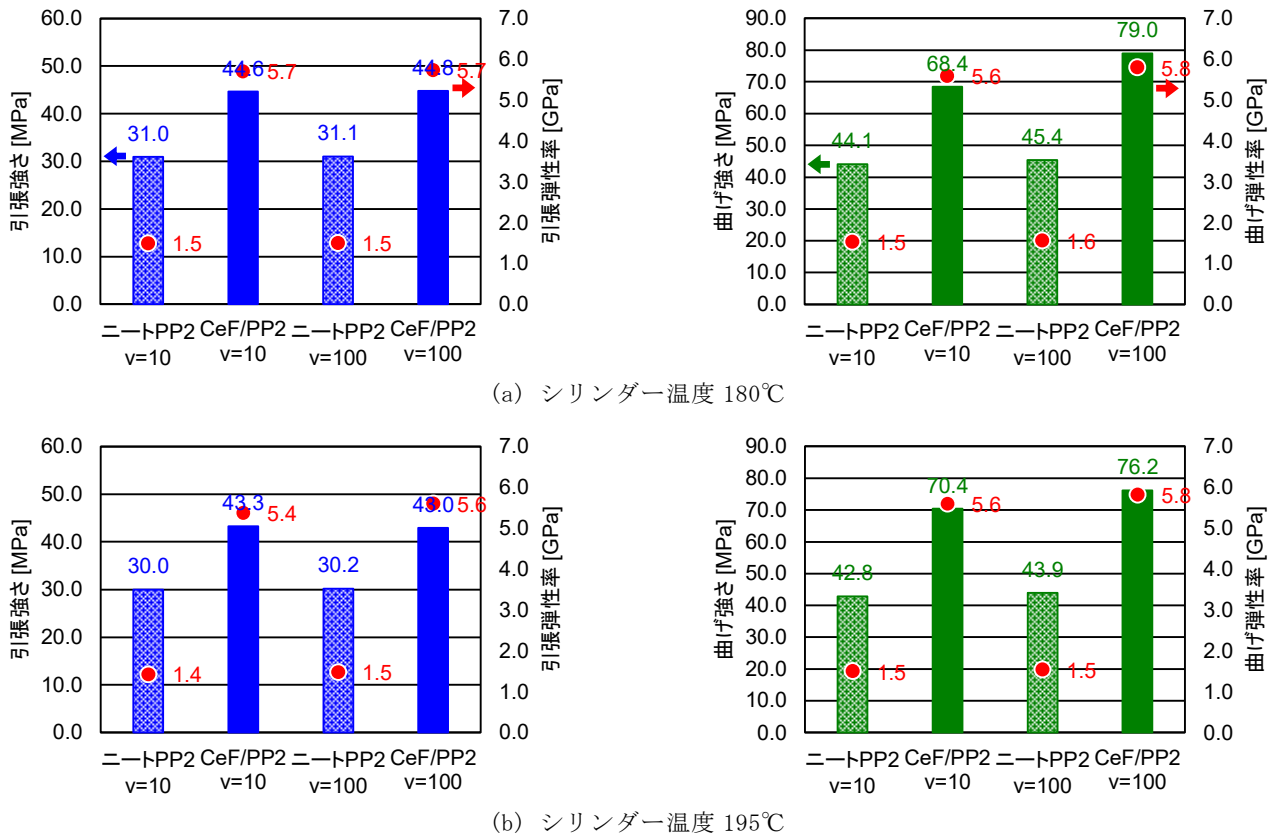


図5 CeF/PP2 成形品の引張強さ、引張弾性率、曲げ強さ、曲げ弾性率

3. 3. 1 CeF/PP2 成形品の物性評価

シリンダー温度 180°C 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°C 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°C 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°C, 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°C, 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°C, 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°C で成形した CeF/PP2 の引張強さは、180°C の時と同様、射出速度を変えても変わらなかった。また 180°C の時と同様、195°C, 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°C, v=10 mm/s で成形した CeF/PP2 の引張強さは、195°C, 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°C, 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°C 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°C, v=100 mm/s で成形した CeF/PP2 の曲げ強さは、195°C, v=100 mm/s で成形したものよりも高い。しかし、180°C, 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°C, 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°C 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°C 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°C, 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°C, 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°C, 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°C, 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°C, v=100 mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強

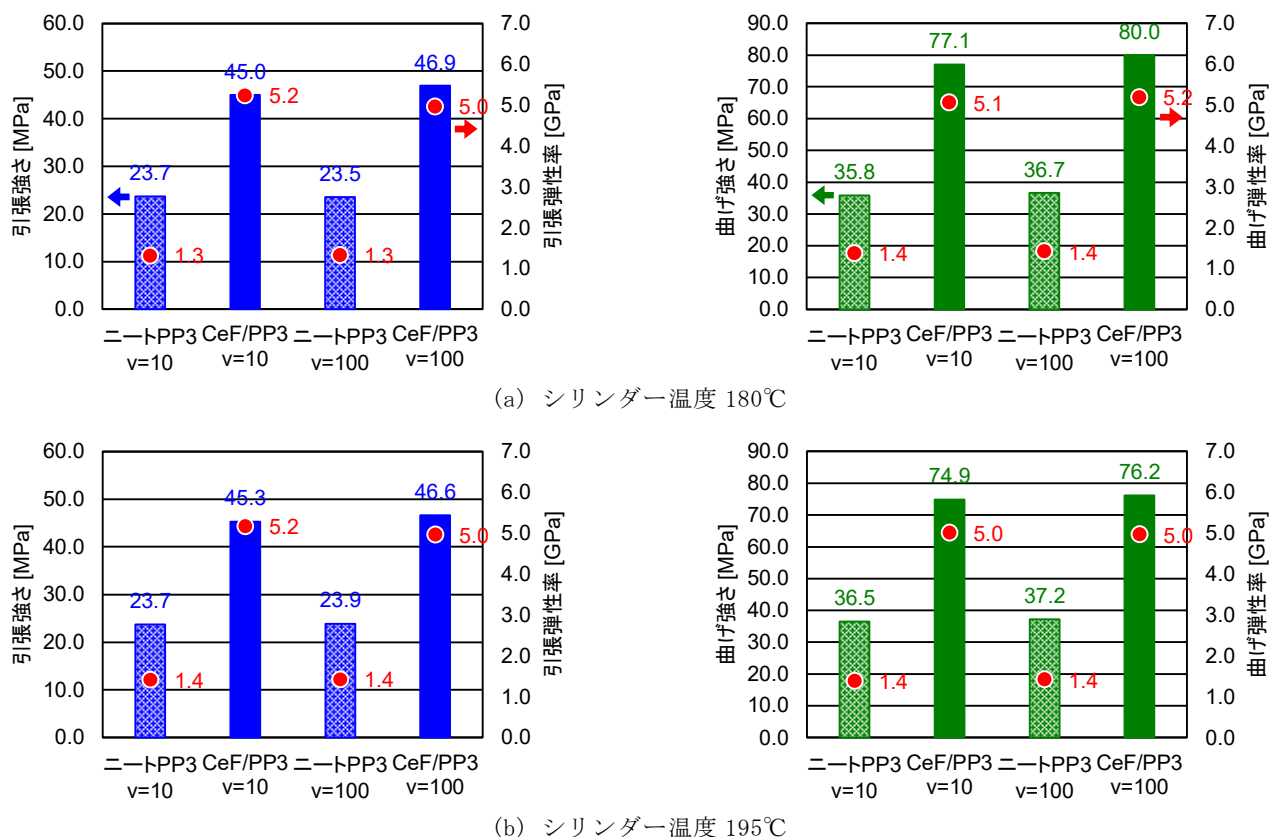


図6 CeF/PP3 成形品の引張強さ、引張弾性率、曲げ強さ、曲げ弾性率

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°C、 $v=100$ 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°C、 $v=100$ mm/s で成形した CeF/PP3 の引張強さは、180°C 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°C 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°C、 $v=10$ mm/s で成形した CeF/PP3 の曲げ強さは、195°C、 $v=10$ 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°C、 $v=10$ 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°C の 2.00~2.11 倍より高かった。このことから、180°C で成形した CeF/PP3 は、195°C 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°C 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°C 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°C 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°C、 $v=100$ 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°C、 $v=100$ 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°C、 $v=100$ 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°C、 $v=100$ 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°C の時と同様、195°C、 $v=100$ 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。

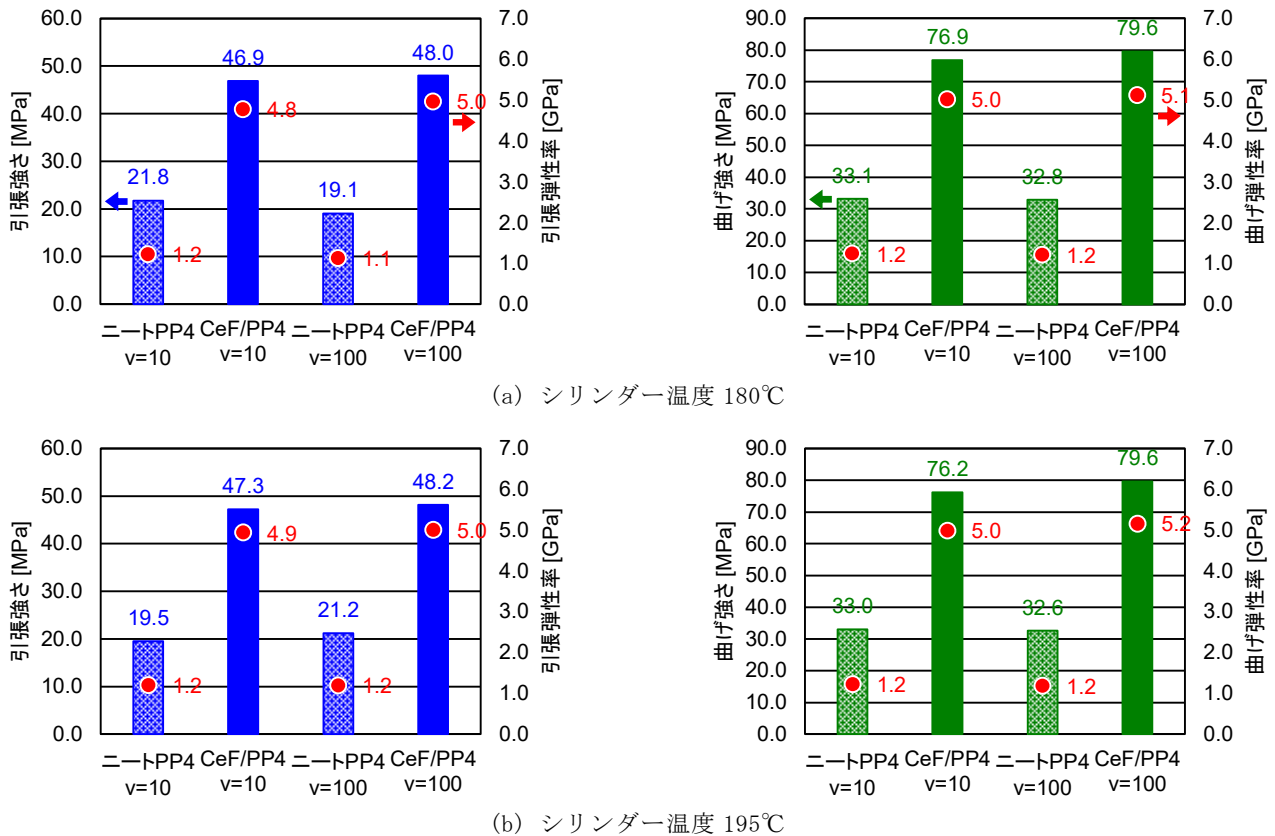
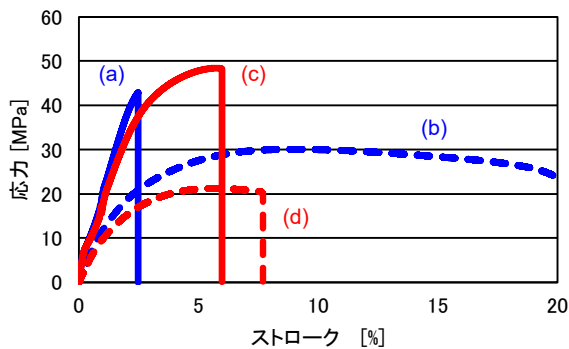
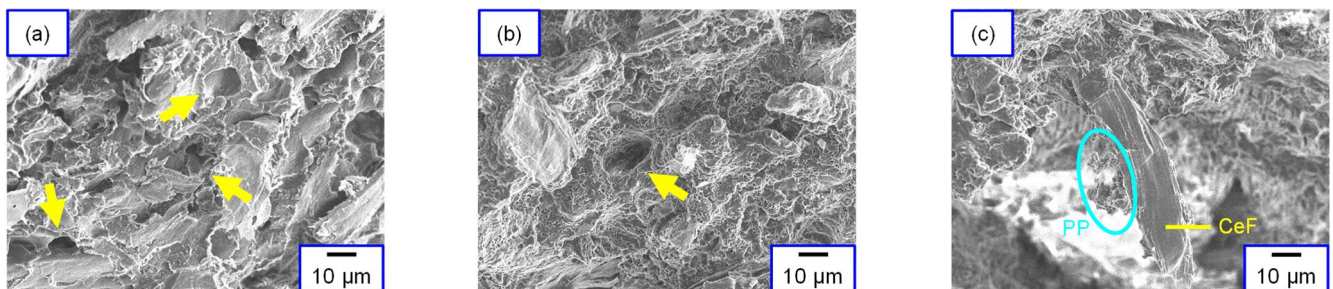


図7 CeF/PP4 成形品の引張強さ、引張弾性率、曲げ強さ、曲げ弾性率


 図8 ニート PP, CeF/PP 成形品 (シリンダー温度 195°C, 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°C, 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°C, 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 が抜けてできたと思われる孔 (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): $\text{CeF/PP2} < \text{CeF/PP3} \leq \text{CeF/PP4}$)、またその引張破断面には CeF が抜けてできたと思われる孔と直径 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

一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 ($v=100 \text{ mm/s}$)、シリンダー温度が低い (180°C) 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°C 、 $v=100 \text{ mm/s}$ 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)



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 HoloLens2³⁾（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イ型であり、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ースを構成できる。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

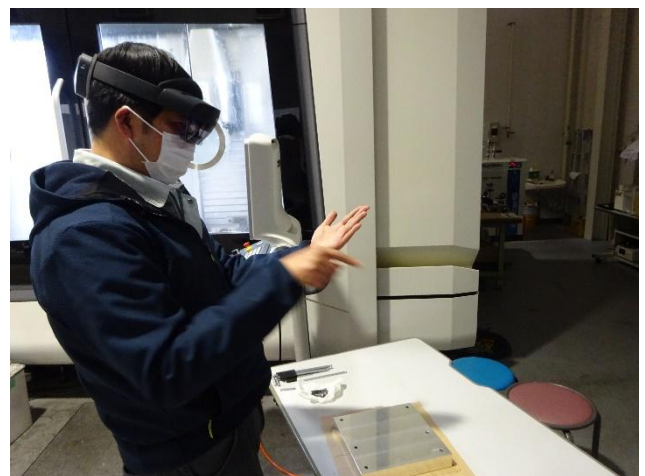


図 2 HoloLense2 着用時

* 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

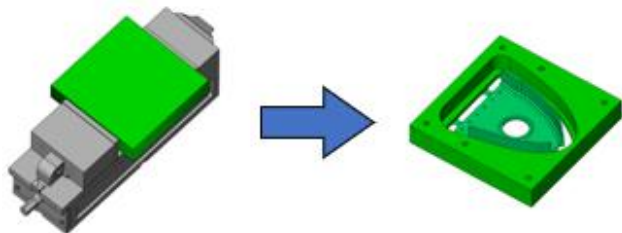


図5 加工概要

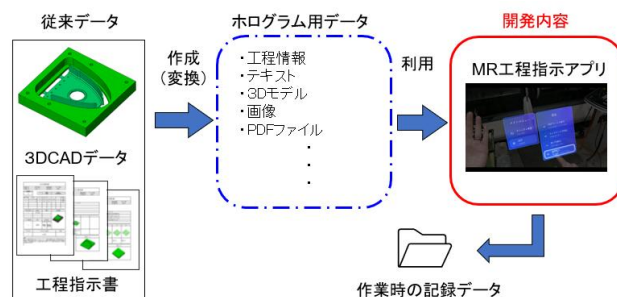


図6 想定作業向けアプリ開発概要

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 MRTK3⁴⁾（図 8）を用いた。MRTK3 では空間操作機能やユーザインタフェー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。

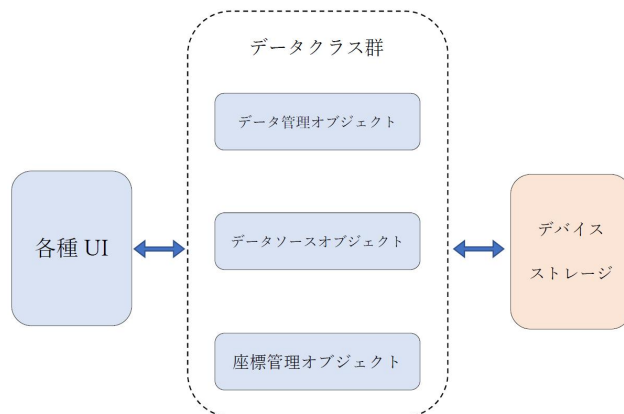


図7 アプリケーション設計概要

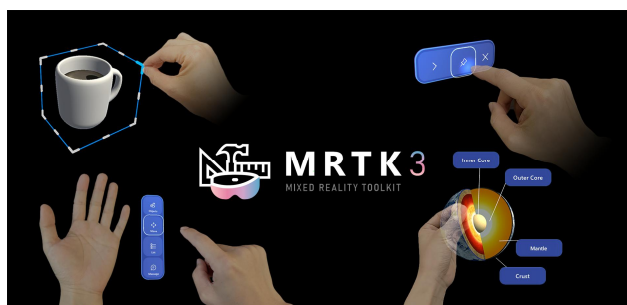


図8 MRTK3

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	Photo	撮影記録指示
	Confirm	CheckList[]	チェックリスト

3.1.2 ユーザインタフェース

ホログラムは, ウィンドウなどのインタフェー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のため, 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 Blender⁵⁾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。

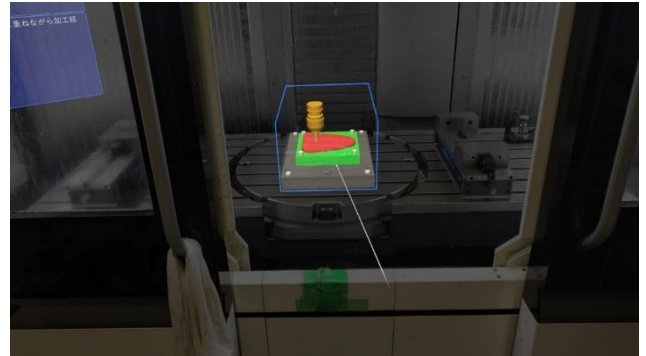


図10 3Dモデルの活用

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)。

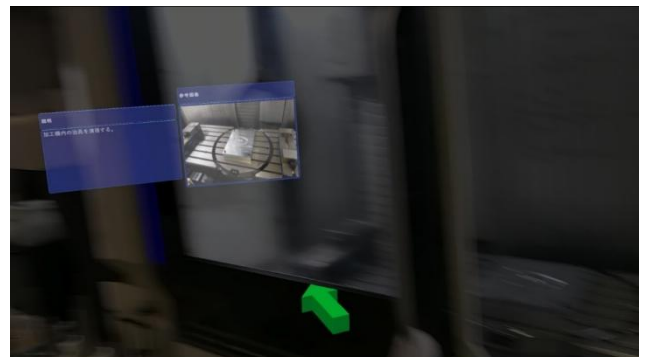


図11 作業エリアへのナビゲーション



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

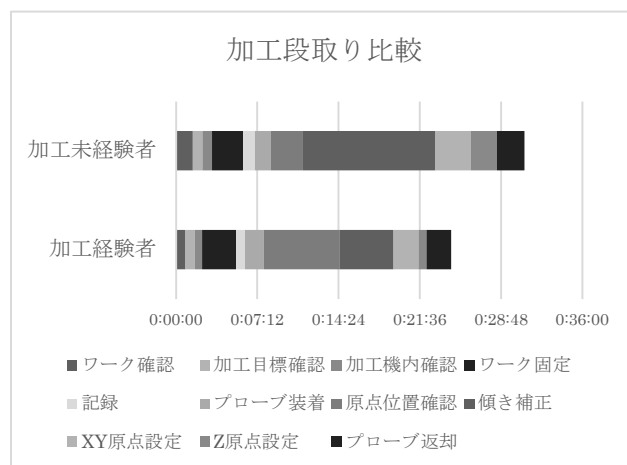


図14 ログデータを基にした作業時間比較

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、作業改善につなが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/>