

V 經常研究

Ordinary Research

経常研究

チタン合金のエンドミル加工における MQL の油剤が工具寿命に及ぼす影響

石原島 弘明* 近藤 弘康* 水掬 文剛*

Effect of Various Oils on Tool Life in MQL Milling of Titanium Alloys
ISHIHARAJIMA Hiroaki, KONDO Hiroyasu and MONDORI Bungo

動粘度の異なる油剤を用いてチタン合金の MQL エンドミル加工実験を行い、油剤の物性が工具寿命に及ぼす影響を調査した。その結果、 $V_c=200$ m/min、 $f_z=0.05$ mm/tooth、 $a_p=3.0$ mm、 $a_e=0.5$ mm の摩耗試験では全ての油剤で工具摩耗が進行せず、 $a_e=0.75$ mm の摩耗試験では動粘度の大きい油剤は工具摩耗を抑制した一方、動粘度が小さい油剤は急激に摩耗が進行した。 $a_e=1.0$ mm の摩耗試験では試験初期に工具が大きく損傷した。低負荷の切削条件では油剤の動粘度は工具寿命に影響を及ぼさない一方、オイルミスト効果が得られる境界付近の切削条件では動粘度が大きい方が工具摩耗を抑制すると考えられる。

Key words: 工具摩耗、MQL、エンドミル加工、チタン合金、動粘度

1 はじめに

航空機製造業は低コスト化の要求が高まっており、県内の航空機部品サプライヤは加工機の消費電力低減や工具コストの低減などで低コスト化に取り組んでいる。

微量の油剤をキャリアガスでオイルミストにして供給する方式である MQL (Minimal Quantity Lubrication) は低コスト化のための技術の一つとして、従来用いられる油剤供給方法の高圧クーラントに代わり注目されている。当センターで実施した先行研究¹⁾では、航空機部品を模擬したチタン合金の中荒加工に MQL を適用することで、高圧クーラントに比べて 10 倍以上の工具寿命が得られ、工具の長寿命化による低コスト化に寄与することが明らかになった。

一方で、MQL に用いる油剤の物性と工具寿命の関係は明らかになっていないことが多く、チタン合金のエンドミル中荒加工においても油剤の物性と工具寿命の関係について報告は少ない。

そこで本研究では、異なる物性の油剤を用いてチタン合金の MQL エンドミル中荒加工を行い、油剤の物性が工具寿命に及ぼす影響を調査した。

2 研究の方法

2. 1 物性測定による油剤の選定

本研究の油剤は、市販のエステル系油剤を対象を絞り選定した。エステル系の油剤は金属表面への吸着作用があり、油膜の形成を促す²⁾ことから、微量の油剤を加工点へ供給する MQL と相性が良いと考えたためである。

選定した油剤 3 種とその物性を表 1 に示す。なお、表 1 の油剤 B は先行研究で用いた MQL 専用油剤 (フジ BC BLUEBE LB-1) である。MQL 加工の油剤について、動粘度は工具寿命に影響があると報告³⁾されているため、本研究では動粘度が異なる油剤を選定した。

表 1 の値はいずれも 40℃におけるカタログ値であり、室温 20℃前後の試験環境において、オイルミストとして刃先に触れて濡れ広がる瞬間は 40℃に到達していないことが考えられる。そこで、動粘度測定器 (東京計器 B 型粘度計 BL) を用いて 20℃における動粘度を測定した。また、ホットスターラ (ASONE RSH-1A) を用いて温度を 40℃に保持して測定し、実測値とカタログ値との比較を行った。そして、各油剤が工具に付着した際の濡れ広がり方を評価するため、接触角計 (共和界面科学 DMS-400YS) を用いて接触角の測定を行った。接触角測定も測定環境を 20℃程度とし、試験の環境に近い条件で実施した。いずれの測定も 3 回実施し、それぞれの平均の値を測定結果とした。

表 1 選定した油剤と物性 (カタログ値)

	油剤A	油剤B	油剤C
動粘度@40℃ m ² /s	60	37	5
引火点 ℃	310	312	175
流動点 ℃	-	-	-5
凝固点 ℃	-5	-10	-

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

2. 2 油剤と工具摩耗の関係の調査

2. 2. 1 新品工具による摩耗試験

加工機は5軸マシニングセンタ（DMG 森精機 DMF180）を用い、摩耗試験用被削材はチタン合金（Ti-6Al-4V）、工具は新品のラジラスエンドミル（株洲工具 GM2R-D10.0R1.0）を使用した。装置段取りを図1に示す。オイルミスト供給は供給装置（フジBC 技研 Bluebe TypeFK）で行った。刃先－ノズル間距離は50 mm、刃先－ノズル角度は約30°とした。なお、オイルミストは工具の進行方向に対して左側面から供給した。工具とノズル、被削材の位置関係を図2に示す。

試験条件を表2に示す。切削力の測定は切削動力計（日本キスラー 9257B）に固定した切削力測定用被削材（チタン合金、Ti-6Al-4V）を切削し、各切削長・潤滑条件の切削力とした。また、切削力測定後に加工機内に設置したカメラで刃先の観察をした。摩耗試験用被削材の切削、切削力測定、刃先の観察を1セットとし、切削長が10 mmに到達するまで2 mmごとに実施した。

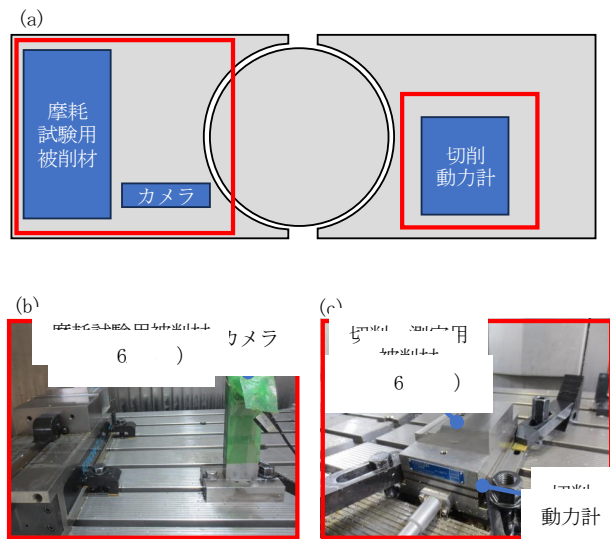


図1 装置段取り

(a) 加工機内の配置

(b) 摩耗試験用被削材、カメラ配置

(c) 切削動力計配置

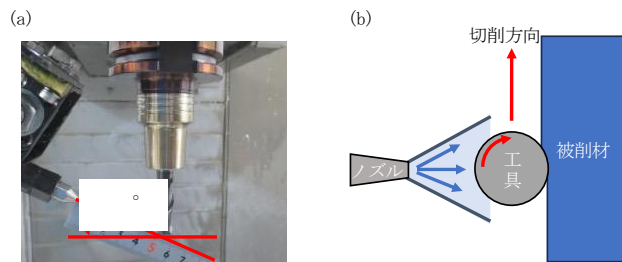


図2 工具とノズル、被削材の位置関係

(a) ノズル配置外観 (b) MQL吐出方向

表2 試験条件

工具	形状		ラジラスエンドミル
	直径	D	10 mm
	コーナ半径	R	1.0 mm
	コーティング		TiAlN
	母材		超硬
切削条件	刃数	n	2
	切削速度	Vc	200 m/min
	1 刃送り	fz	0.1 mm/tooth
	軸方向切込み	ap	3.0 mm
	半径方向切込み	ae	0.5 mm
潤滑条件			高圧クーラント MQL(油剤A, B, C)
オイルミスト	エア－入り口圧		0.7 MPa
吐出条件	オイル吐出量		30 ml/h

2. 2. 2 同一工具による切削力測定

2. 2. 1 の試験で現れる切削力の差には油剤の特性の影響と、工具の個体差や取り付け時の刃先振れ等、油剤以外の影響を含む可能性が考えられる。そこで、油剤のみの影響を評価するため、2. 2. 1 の油剤Bの0-10 mm 摩耗試験後の工具を用いて、表3に示す試験条件で同一工具における各潤滑条件の切削力を測定した。

表3 試験条件

切削条件	切削速度	Vc	100, 200 m/min
	1 刃送り	fz	0.05, 0.1 mm/tooth
	軸方向切込み	ap	3.0 mm
	半径方向切込み	ae	0.5 mm
潤滑条件			高圧クーラント MQL(油剤A, B, C)
オイルミスト	エア－入り口圧		0.7 MPa
吐出条件	オイル吐出量		30 ml/h

2. 2. 3 高負荷条件による摩耗試験

2. 2. 1 の摩耗試験では切削長が短いため、十分に油剤の影響が現れないことが考えられる。そこで、より高負荷の条件で摩耗試験を実施し、油剤の影響を調査した。試験条件を表4に示す。

表4 試験条件

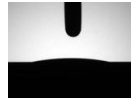
切削条件	切削速度	Vc	200 m/min
	1 刃送り	fz	0.1 mm/tooth
	軸方向切込み	ap	3.0 mm
	半径方向切込み	ae	0.75, 1.0 mm
潤滑条件			MQL(油剤A, B)
オイルミスト	エア－入り口圧		0.7 MPa
吐出条件	オイル吐出量		30 ml/h

3 結果及び考察

3. 1 物性測定による油剤の選定

動粘度と接触角の測定結果を表5に示す。いずれの油剤の動粘度も 40℃の値よりも 20℃の値が大きく、室温の環境では 40℃の状態よりも硬いことを示している。また、接触角は油剤 A、油剤 B、油剤 C の順番で小さくなった。動粘度が大きいほど形成された油剤が剥がれにくく、接触角は小さいほど濡れ性が良く、油膜の形成に有利であることを示している。そのため、油膜の剥がれにくさは油剤 A が、油膜の形成しやすさは油剤 C が優れていると考えられる。

表5 油剤 A～C の測定値

	油剤A	油剤B	油剤C
動粘度@20℃ (m ² /s)	125	77	6.3
動粘度@40℃ (m ² /s)	55	35	4.5
接触角 (°)	32	27	10
接触角 写真			

3. 2 油剤と工具摩耗の関係の調査

3. 2. 1 新品工具による摩耗試験

切削開始から終了までの範囲の中央 50%における主分力の 1 切込みごとのピーク最大値の平均値を図3に示す。高圧クーラントは工具摩耗に伴う切削力の上昇が見られたが、油剤 A、B、C の切削力はいずれも横ばいに推移した。また、油剤 B、A、C の順で切削力が小さい結果となった。

摩耗試験前、4 m 切削後、10 m 切削後の各刃先の写真を図4に示す。高圧クーラントは摩耗が見られるが、油剤 A、B、C はいずれも摩耗は見られなかった。これは、本摩耗試験においてオイルミスト効果が得られ、摩耗を抑制したためと考えられる。

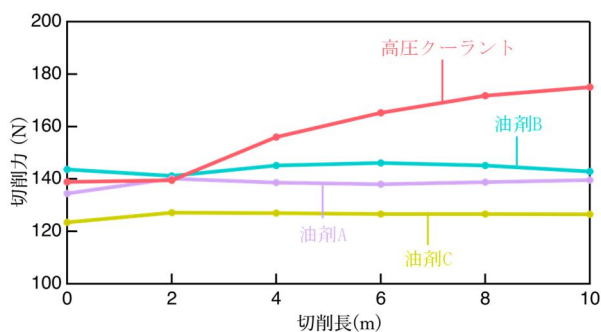


図3 0-10 m摩耗試験 切削力推移

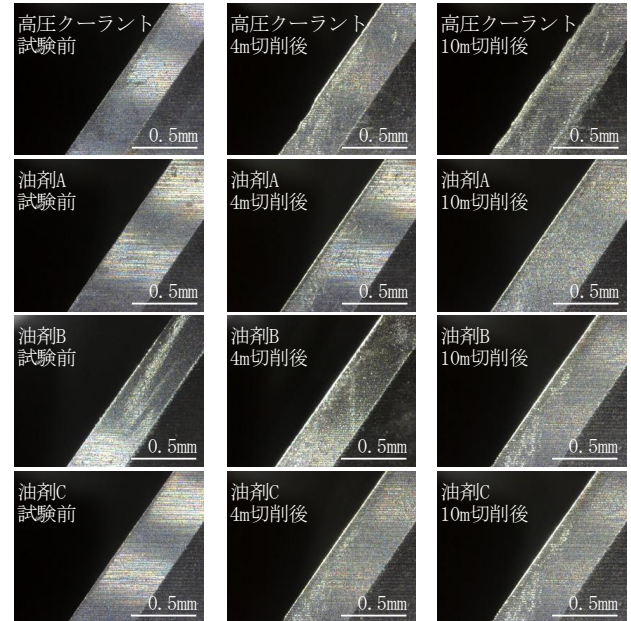


図4 試験開始前、4 m切削後、10 m切削後の工具先端から1 mm付近の刃先写真

3. 2. 2 同一工具による切削力測定

図5に切削力の各切削条件の比較を示す。切削力の算出方法は3. 2. 1と同様である。各切削条件における各油剤の切削力に有意差は見られなかった。したがって、3. 2. 1で見られた油剤 A、B、C の切削力の差は工具に由来するものであり、Vc=200 m/min, fz=0.1 mm/tooth, ap=3 mm, ae=0.5 mmの切削条件では油剤による潤滑性能の差は現れなかったと考えられる。

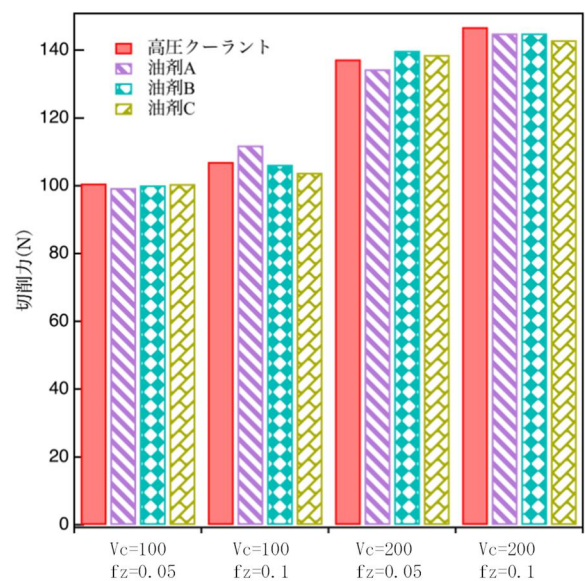


図5 各条件の切削力

3. 2. 3 高負荷条件による摩耗試験

$a_e=0.75$ mm の摩耗試験の切削力の推移を図 6、摩耗試験前、10 m 切削後、20 m 切削後の工具先端から 1 mm 付近の刃先写真を図 7 に示す。なお、切削力の算出方法は 3. 2. 1 と同様である。油剤 A は切削力が横ばいに推移し、刃先の摩耗を抑制した一方、油剤 B は切削長 6 m 以降で切削力が大きく増加し、刃先に大きな摩耗が見られた。

$a_e=1.0$ mm の摩耗試験は、油剤 A は切削長 0.25 m、油剤 B は摩耗試験実施前(切削長 0 m)の切削力測定中に工具が大きく損傷したため、試験を中止した。

$a_e=1.0$ mm では摩耗試験の初期に急激に摩耗が進行したことから、高負荷な条件においては工具表面の油膜が損なわれ、刃先に溶着が発生し、溶着物の噛み込みや脱落などで摩耗が進行したと考えられる。一方、 $a_e=0.75$ mm では動粘度が大きい油剤 A は摩耗の進行が抑制され、動粘度が小さい油剤 B では摩耗が進行したため、オイルミスト効果が得られる境界付近の切削条件では動粘度が大きい方が工具表面の油膜が剥がれず、工具摩耗を抑制すると考えられる。

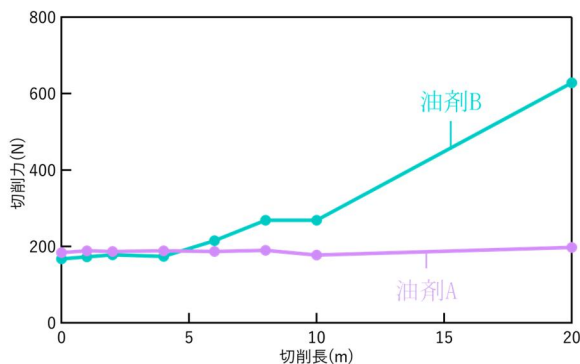


図 6 $a_e=0.75$ mm の 0-20 m 摩耗試験切削力推移

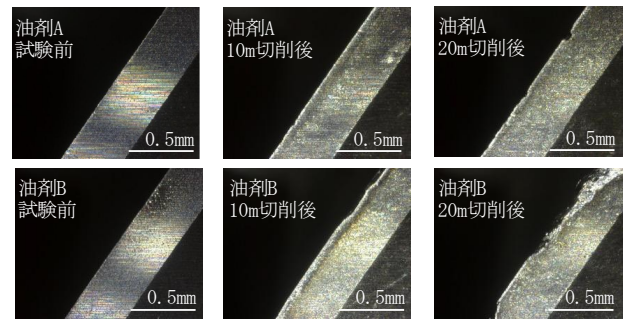


図 7 $a_e=0.75$ mm の試験開始前、10 m 切削後、20 m 切削後の刃先写真

4 おわりに

本研究では、高压クーラントと物性の異なる MQL 油剤を用いてチタン合金の切削試験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) $V_c=200$ m/min, $f_z=0.1$ mm/tooth, $a_e=0.5$ mm の摩耗試験 (切削長 10m まで) では全ての油剤で工具摩耗が進行せず、油剤による切削力の推移の違いは見られなかった。
- (2) $V_c=200$ m/min, $f_z=0.1$ mm/tooth, $a_e=0.75$ mm の摩耗試験 (切削長 20m まで) では動粘度が大きい油剤 A は摩耗の進行を抑制した一方、動粘度が小さい油剤 B は急激に摩耗が進行した。
- (3) $V_c=200$ m/min, $f_z=0.1$ mm/tooth, $a_e=1.0$ mm の摩耗試験では油剤 A, B ともに試験初期に工具が大きく損傷した。
- (4) 低負荷の切削条件では、油剤の動粘度は工具寿命に影響を及ぼさない一方、オイルミスト効果が得られる境界付近の切削条件では動粘度が大きい方が工具摩耗を抑制すると考えられる。

参考文献

- 1) 近藤 弘康ほか: “栃木県産業技術センター研究報告”, 19, 1-5, (2022)
- 2) 若林 利明ほか: “Journal of the Japan Petroleum Institute”, 51(3), 134-142, (2008)
- 3) 松岡 寛憲ほか: “日本機械学会論文集 C 編”, 72(720), 2641-2649, (2006)

経常研究

被削材保持方法が加工面品質および工具寿命に及ぼす影響

棚原 貴登* 近藤 弘康*

Effect of Workpiece Clamping Method on Surface Quality and Tool Life
TANAHARA Takato and KONDO Hiroyasu

切削加工において一般的な保持方法であるバイス、サイドクランプ、バキュームクランプを対象に、被削材保持方法が加工面品質及び工具寿命に及ぼす影響を調査した。加工時の切削力や加速度、加工後の表面粗さ等を評価した結果、被削材の突出量や保持力の変化が加工時の加速度及び表面粗さに影響を及ぼしていることが分かった。また、加工時の加速度が小さいほど、工具が長寿命となることが分かった。

Key words: 切削加工、保持方法、加工面品質、工具寿命、加速度

1 はじめに

切削加工を行う航空機部品製造業等の加工現場では、被削材形状やテーブルレイアウト等を踏まえて、バイス、サイドクランプなど様々な固定治具を用いて被削材を固定し、製品の切削加工を行っている。

一方、各固定治具の実使用環境下における保持状況は明確になっておらず、固定方法によっては加工振動が発生し、加工面品質の低下や工具寿命の悪化を引き起こす可能性がある¹⁾。

板厚の薄い立壁形状がある製品などにおいては、元の素材形状がブロック材であれば加工順序を工夫することで、被削材の強度を保ちつつびり振動を抑制し、良質な加工面に仕上げるのが一般的である。

しかし、厳しい歩留まり改善を求められる昨今は形材からの加工も増加しており、従来行われている被削材強度を保ちながらの加工が難しいケースもある。その場合、限られたクランプ代（しろ）を用いて被削材を保持し、いかに精度よく低コストで加工できるかが重要となる。

そのため、被削材保持方法と加工面品質及び工具寿命の関係を明らかにすることができれば、クランプ代が限られた材料においても高精度かつ低コストでの加工につながる。

そこで本研究では、一般的によく用いられるバイスをはじめ、複数の固定方法において被削材保持方法と加工面品質及び工具寿命の関係を調査する。

2 研究の方法

2. 1 被削材保持方法が加工面品質に及ぼす影響

2. 1. 1 保持力・突出量変更試験

加工機は3軸マシニングセンタ（安田工業 YBM640V3）、被削材はSS400（100x100x100mm）を用いた。また、加工工具はφ6mmスクエアエンドミル（ユニオンツール C-CES2060）を振れの影響を抑えるため、グラインダで1枚刃に刃落とし後、後述の本試験条件で予め切削長5mm加工により初期摩耗させた工具を使用した。切削条件は、切削速度100m/min、1刃送り0.1mm/tooth、軸方向切込み3mm、径方向切込み0.2mmのドライ加工とし、バイスによる保持力及び突出量を表1の条件で変更させて、試験No1～16の切削試験を行った。

表1 試験条件（保持力及び突出量）

試験No	保持力[kN]	被削材突出量[mm]
1	5	60
2		70
3		80
4		90
5	10	60
6		70
7		80
8		90
9	20	60
10		70
11		80
12		90
13	30	60
14		70
15		80
16		90

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

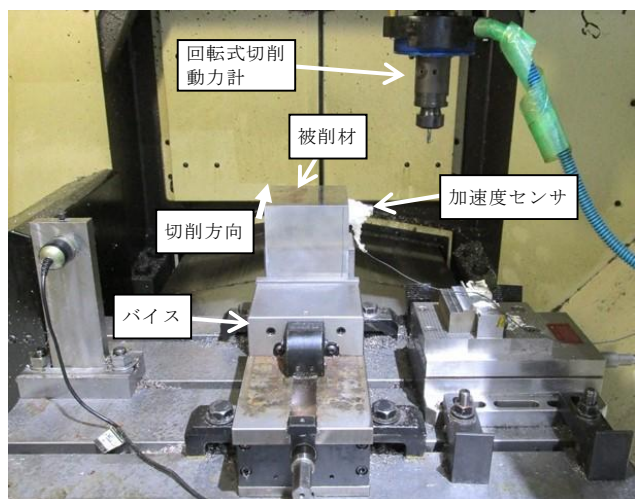


図1 保持力・突出量変更試験段取り

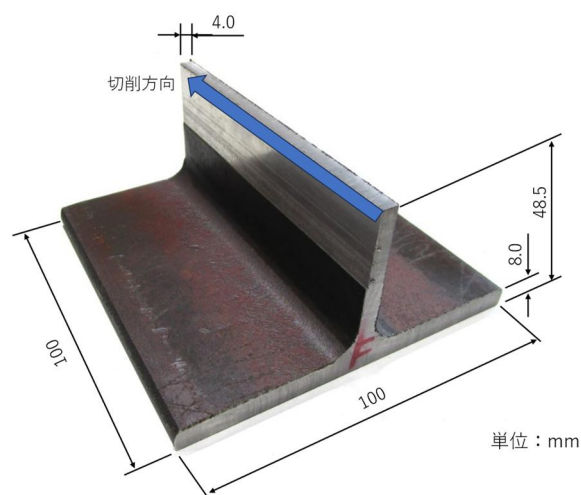


図2 T形被削材形状

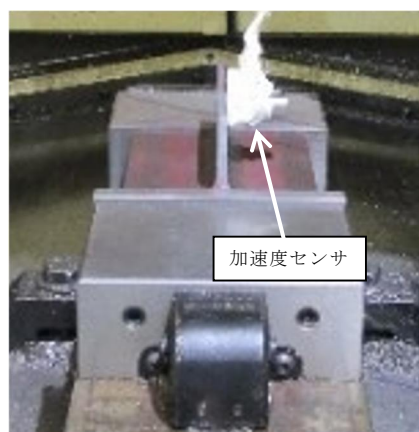
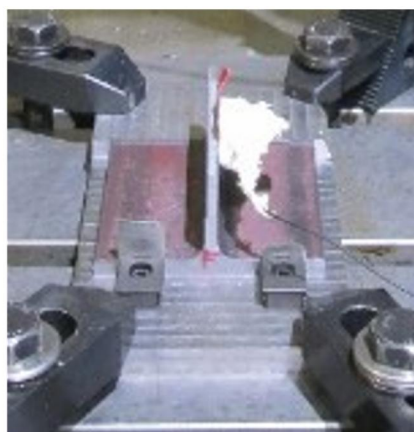


図3 T形被削材切削試験段取り

バイス（左）、サイドクランプ（中）、バキュームクランプ（右）

段取りは図1のとおりとし、バイス（ナベヤ LTCV125）で保持した被削材をエンドミルで加工した際の切削力を回転式切削動力計（日本キスラー 9123B1212）で取得した。

また、被削材に取付けた加速度センサ（小野測器 NP-2120）で加工時の加速度を取得した。

なお、切削力については主分力と送り分力の合力を評価した。

2. 1. 2 T形被削材切削試験

加工機は3軸マシニングセンタ、被削材は形材の薄い立壁加工を想定したSS400のT形被削材（図2）を用いた。また、加工工具はφ6 mm スクエアエンドミルを2.1.1と同処理、同切削条件で使用した。保持方法はバイス、サイドクランプ（イマオコーポレーション CP134-05009）、バキュームクランプ（自作）を用いて、それぞれ切削試験を行った。各保持方法における被削材保持力を表2に示す。

段取りは図3のとおりとし、回転式切削動力計で切削

力を、被削材に取付けた加速度センサで加速度を取得した。

表2 各保持方法における被削材保持力

被削材保持方法	保持力[kN]
バイス	20
サイドクランプ	3.5
バキュームクランプ	0.696

※バイス保持力は取扱説明書参照の上、トルク管理による

サイドクランプ保持力はカタログ値参照

バキュームクランプ保持力は万能材料試験機（島津製作所 AG-50KNI M2）で測定

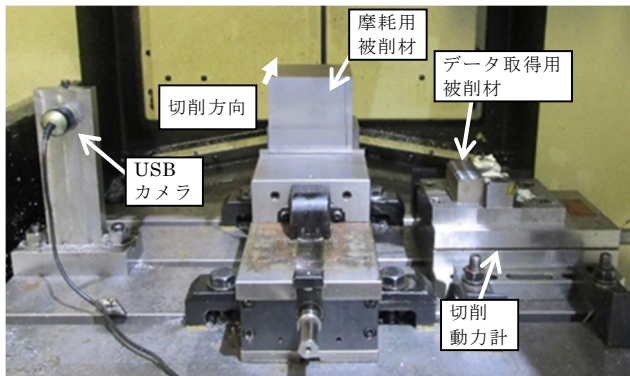


図4 磨耗試験段取り（バイス）

2. 2 被削材保持方法が工具寿命に及ぼす影響

加工機は3軸マシニングセンタ、被削材はSS400（100x100x100 mm）を用いた。また、加工工具はφ6 mm スクエアエンドミルを初期磨耗なしで新品の状態から使用した。切削条件は、切削速度 100 m/min、1 刃送り 0.1 mm/tooth、軸方向切込み 3 mm、径方向切込み 0.2 mm とし、片削りの磨耗試験を刃先が大きく欠けるまで実施した。

なお、図4の段取りで、磨耗用被削材を切削長 10 m 切削ごとに、USB カメラでの刃先撮影を行い、切削動力計（日本キスラー 9265B）に取付けたデータ取得用被削材を加工することで切削力を取得した。

3 結果及び考察

3. 1 被削材保持方法が加工面品質に及ぼす影響

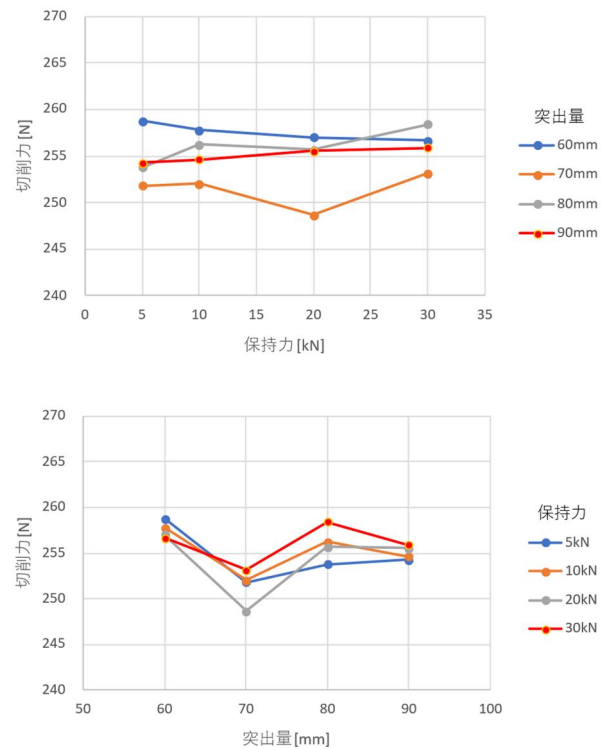
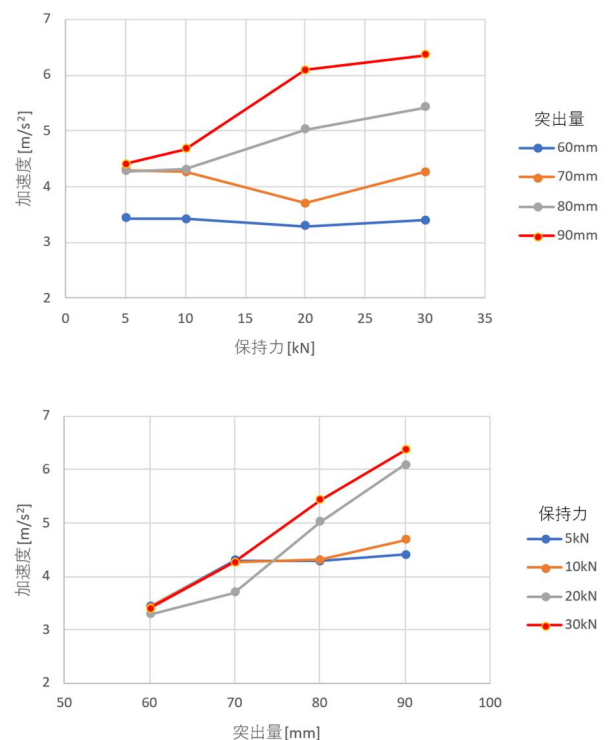
3. 1. 1 保持力・突出量変更試験

保持力及び突出量と切削力の関係をそれぞれ図5に示す。切削力は保持力及び突出量による有意差は見られず、すべての条件で±3%に収まる値となった。

次に、保持力及び突出量と加速度の関係をそれぞれ図6に示す。突出量 70 mm 以下では保持力が変わっても加速度は変化が小さいことに対し、突出量 80 mm 以上では、保持力とともに加速度も増加している。バイスの特徴として、保持力を強くすると固定物が上に持ち上がることがあり、20 kN 以上の強い力で保持した際に被削材底面がかさ上げブロックから浮いたことが要因として考えられる。突出量 60 mm 及び 70 mm はバイスでのつかみ代が大きい分、底面が浮いている影響が少なかったが、つかみ代が小さい突出量 80 mm 以上では、底面の支えがないことが加速度増加に影響した可能性がある。

また、突出量と加速度の関係については保持力によって傾きは違うが、全ての保持力で突出量と加速度に相関関係がある結果となった。

さらに、保持力及び突出量と表面粗さの関係をそれぞれ図7に示す。保持力及び突出量と表面粗さの間に相関


 図5 保持力と切削力の関係（上）
突出量と切削力の関係（下）

 図6 保持力と加速度の関係（上）
突出量と加速度の関係（下）

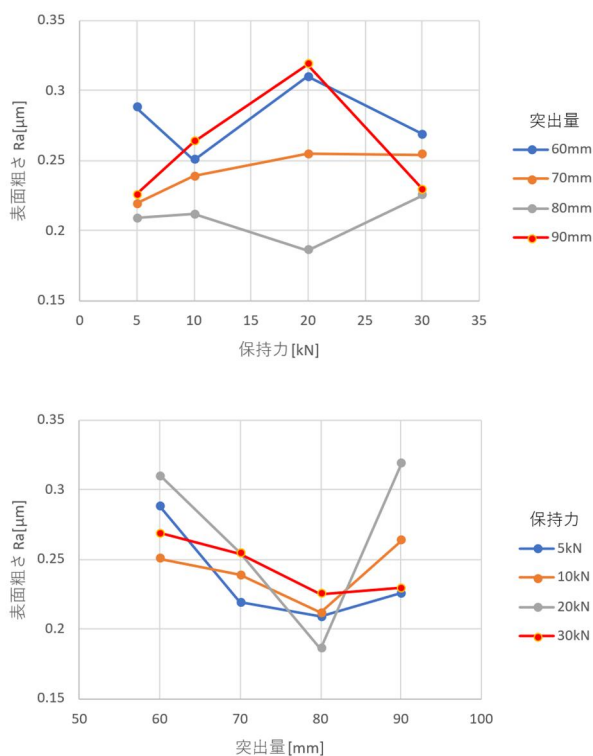


図7 保持力と表面粗さの関係（上）
突出量と表面粗さの関係（下）

関係は見られなかったが、いずれの条件においても Ra 0.32 μm 以下の結果が得られた。これは、一般的に上仕上げとされる良質な加工面と言える。一方、今回の切削条件から得られる理論表面粗さは Ra 0.1 μm のため、理論値からは 3.2 倍の結果となった。

以上の結果から、本試験の条件下において、突出量の増加に伴い、加速度が増加するが、切削力及び加工面に影響を与えるほどではないことが分かった。これは、切削条件が仕上げ用の軽い条件であるのに対し、被削材の剛性が高いことで、切削力及び表面粗さに差が現れ難かったことが原因と考えられる。また、本試験の切削条件、被削材保持条件であれば Ra 0.32 μm 以内の加工面品質が保たれることが分かった。

3. 1. 2 T形被削材切削試験

各保持方法と切削力及び加速度の関係、各保持方法と表面粗さの結果を図8に示す。まず切削力について、保持力が強いバイスと比較して、サイドクランプの方が低い値となっている。3. 1. 1のブロック材を用いた試験で、一定以上の保持力があれば切削力に影響がないことから推察すると、今回の結果は被削材形状が影響したと考えられる。剛性の低いT形被削材において、バイスより保持力の弱いサイドクランプでは、工具から逃げる方向に被削材がたわみ、径方向切込みが小さくなったことで切削力が低い値となったことが考えられる。これは、

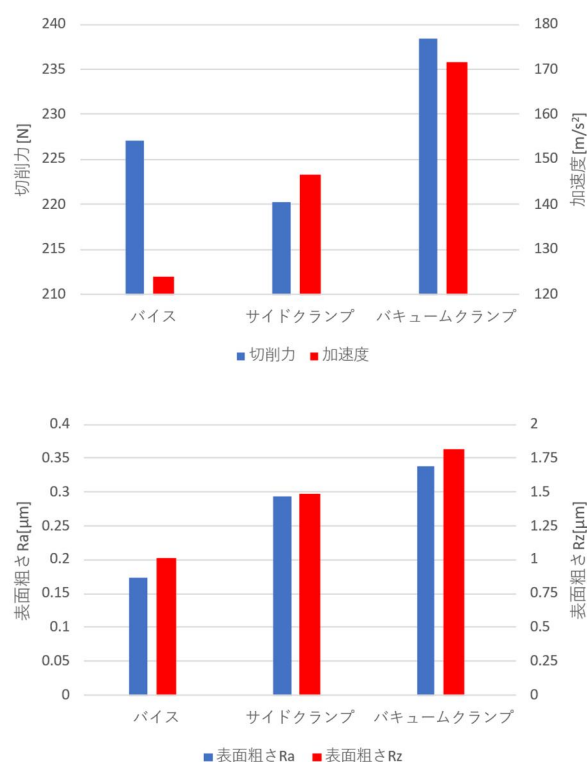


図8 各保持方法と切削力及び加速度の関係（上）
各保持方法と表面粗さの関係（下）

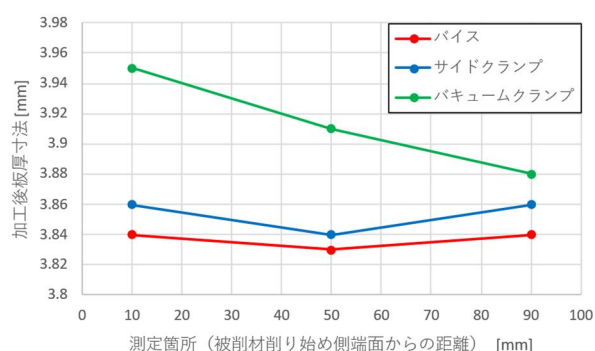


図9 加工後の板厚寸法（理論値：3.8mm）

図9に示す加工後の板厚寸法が、バイスよりサイドクランプで 10~20 μm 程度厚く削り残っていることから推察できる。

バキュームクランプで切削力が大きくなった原因については、バイス、サイドクランプと比較して、削り残しが多いのみならず、測定箇所による板厚のばらつきが大きいことから、切削位置によって加工振動の大きさが変わる不安定な加工となったことが考えられる。

加速度については、保持力が弱いバキュームクランプ、サイドクランプ、バイスの順に加速度が大きい結果となった。この結果から、剛性の低いT形被削材において、保持力の減少に伴って被削材の加工振動が大きくなることが分かる。

次に、各保持方法と表面粗さの関係について、表面粗さは加速度と同様に保持力が小さい順に大きい値となり、加工振動の増加が加工面にも表れる結果となった。しかし、値はバキュームクランプでも $Ra\ 0.35\ \mu m$, $Rz\ 2.0\ \mu m$ 以下であり、一般的に上仕上げとされる良質な加工面と言える。また、加工後板厚寸法の差は、測定箇所によって、バイスとバキュームクランプで $0.1\ mm$ 以上あることから、表面粗さより加工後板厚寸法の方が保持方法の影響があると考えられる。

以上の結果から、T 形被削材を対象とした本試験において、保持力減少に伴い、加工時の加速度が増加することで、加工面品質を悪化させる可能性があることが分かった。

3. 2 被削材保持方法が工具寿命に及ぼす影響

各保持方法の切削長に対する切削力の推移を図 10 に示す。サイドクランプ、バキュームクランプの切削力が大きく上昇した直前の $350\ N$ を工具寿命と仮定すると、図 8 において加速度が小さかったバイス、サイドクランプ、バキュームクランプの順に、工具寿命が長いことが分かる。加えて、加速度が小さいバイスはサイドクランプと比較して 1.3 倍、バキュームクランプと比較して 1.5 倍の工具寿命となった。

次に、試験終了時の工具刃先写真を図 11 に示す。バイスのときは刃先全体が均等に摩耗しているのに対し、サイドクランプ及びバキュームクランプでは、位置によって摩耗具合が異なり、特に切削境界部では局所的な摩耗、欠損が見られる。これは、クランプ位置から遠く加速度が大きい切削境界部で工具に加工負荷がかかり、境界摩耗及び欠損を引き起こしたことが考えられる。

以上の結果から、加工時の加速度が小さい保持方法順（バイス、サイドクランプ、バキュームクランプの順）に工具寿命が長くなることが分かった。

4 おわりに

本研究では、バイス、サイドクランプ、バキュームクランプを対象に切削試験を行い、被削材保持方法が加工面品質及び工具寿命に及ぼす影響を評価することで、以下の結果を得た。

- (1) バイスで被削材を保持した場合、被削材の突出量と加工時の加速度に相関関係がある。
- (2) T 形被削材の切削試験において、保持力が弱い保持方法順に加速度及び表面粗さが大きくなったことから、保持力低下が加工面品質を悪化させる可能性がある。また、保持方法の違いは表面粗さ以上に被削材のたわみによる加工後板厚寸法に影響を与える。

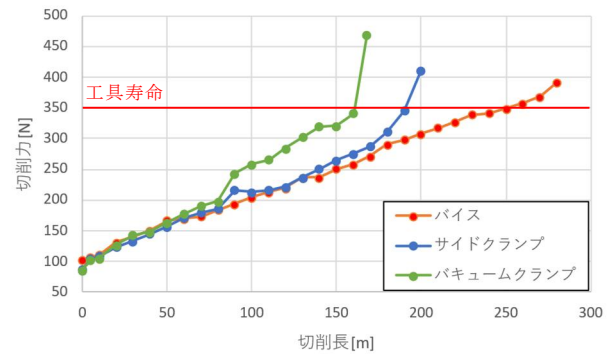


図 10 切削長に対する切削力の推移

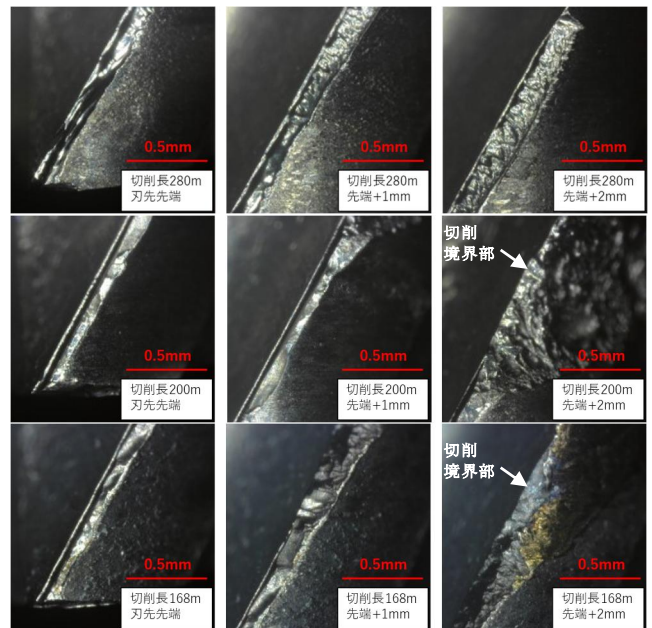


図 11 工具刃先写真（摩耗試験終了時）

バイス(上段)、サイドクランプ(中段)、
バキュームクランプ(下段)

- (3) 各保持方法において工具摩耗試験を行った結果、加工時の加速度が小さい保持方法順（バイス、サイドクランプ、バキュームクランプの順）に工具寿命が長くなり、バイスはサイドクランプの 1.3 倍、バキュームクランプの 1.5 倍の工具寿命となった。

参考文献

- 1) 栗田 裕ほか: “日本機械学会論文集”, 86(884), (2020)

経常研究

X 線 CT による空間分解能が測定精度に及ぼす影響

鯉沼 将大* 坂本 憲弘*

Impact of Spatial Resolution on Measurement Accuracy in X-ray CT Dimensional Metrology

KOINUMA Yukihiro and SAKAMOTO Norihiro

X 線 CT 撮影時の空間分解能と測定時の空気-物質境界面定義が寸法測定の精度に及ぼす影響を調査するため、X 線 CT 装置の 5, 10, 15, 30, 50, 75, 100, 125 μm の 8 通りの分解能で 4 回ずつ、直径 2 mm のルビー球を CT スキャンし、その半径を、閾値法と勾配法の 2 通りの面定義で測定した。空間分解能が小さいほど測定の精度が良く、勾配法では閾値法より誤差が小さいことが示された。勾配法では分解能を 30 μm 以下とすることで、 MPE_E と同等の精度で測定できる。30 μm より大きい分解能についても、複数回の測定から外れ値を除外して平均値を求めることで MPE_E 程度まで精度が改善する可能性がある。

Key words: X 線 CT、面定義、測定、分解能、精度

1 はじめに

X 線 CT 装置は、一般的な機器では測定が困難な、サンプルの内部形状や、小さなサンプルの寸法測定が可能であることから、測定装置としての運用が活発になってきている。

図 1 に示す X 線 CT 三次元測定機（以下、「CT」という。）（ニコン MCT225）は、計測用 CT として

$$MPE_E = \pm \left(9 + \frac{L}{50} \right) \mu\text{m} \quad (1)$$

MPE_E : 最大許容指示誤差、 L : 測定値(mm)の測定精度を有している。CT の測定精度は、位置関係が既知である球体の中心間距離の測定により保証されている。¹⁾



図 1 MCT225 外観

一方、板幅や球径といった長さ測定や、小さなサンプルの幾何形状測定を行う場合、CT 撮影データ内部で空気-物質境界面を設定し、その境界面を基に測定する。境界面を設定する方法については、閾値法と勾配法の 2 通りから選択可能である。CT で取得したデータは離散的な不透明度の空間分布であり、位置の最小単位であるボクセル（3 次元ピクセル）の大きさを表す空間分解能は、境界面の設定に影響を与えることが予想されるが、各境界面定義での測定精度にどの程度作用するかについては保証されていない。

本研究では、長さの測定値に含まれる誤差の傾向を明らかにするため、複数の分解能条件で撮影したサンプルの測定値を比較し、CT 撮影時の空間分解能と解析時の境界面定義が測定精度に及ぼす影響を調査した。

2 研究の方法

2. 1 MCT225 による半径の測定

CT 撮影における空間分解能が寸法測定の精度に与える影響を調査するため、図 2 に示す直径 2 mm のルビー球を 5-125 μm から 8 通りの分解能で 4 回ずつ、MCT225 で撮影し、VGStudioMax3.2 で半径を測定した。

2. 1. 1 異なる空間分解能で CT 撮影

図 2 に示す直径 2 mm のルビー球を 5, 10, 15, 30, 50, 75, 100, 125 μm の 8 通りの分解能で 4 回ずつ、MCT225 の円形 CT スキャンにより撮影した。分解

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

能は、CT が拡大投影系であることを利用して、ルビー球の位置により設定した。撮影対象を CT 装置内のステージ上に設置し、その位置をマニピュレータで操作することで、X 線源と検出器との間で撮影対象が移動し、検出器の拡大倍率が変化する。撮影条件は、金属フィルタ無し、管電圧 150 kV、フィラメント電流 80 μ A、撮影速度 1000 ms/frame、撮影画像数 1080 とした。再構築には CT Pro 3D を使い、ビームハードニングの設定は無し、データ出力形式は 16 ビットとした。



図2 ルビー球

2. 1. 2 異なる面定義で半径を測定

CT により取得したデータを VGStudioMax3.2 で解析した。撮影画像から再構築した 3 次元不透明度分布に空気-物質境界面を設定し、ルビー球の半径を測定した。境界面定義には閾値法と勾配法をそれぞれ用いた。ルビー球半径の測定には、得られた 3 次元像に球の形状を自動で当てはめる機能を用いた。

2. 2 MLP-3SP による半径の測定

CT での測定誤差を定量的に評価するため、図 3 に示す非接触輪郭形状測定機（三鷹光器 MLP-3SP）でルビー球の半径を測定した。MLP-3SP の MPE_E は(2)式で与えられている。MLP-3SP は MCT225 より測定精度に優れているため、非接触輪郭形状測定機での測定値を真値と仮定して CT での測定誤差を評価した。

$$MPE_E = \pm \left(2 + \frac{20}{1000} L \right) \mu\text{m} \quad (2)$$

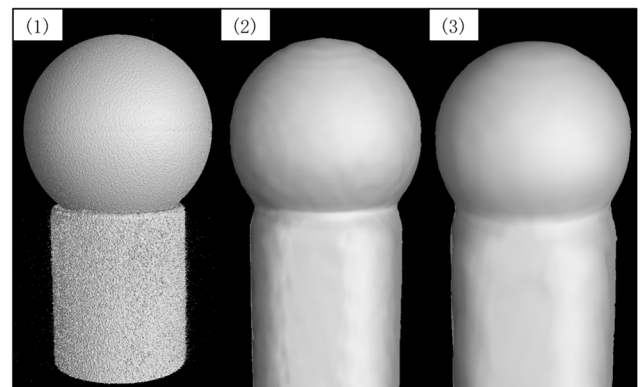


図3 MLP-3SP 外観

3 結果及び考察

3. 1 CT での撮影結果

CT で取得した 3 次元不透明度分布を VGStudioMax3.2 で 3 次元像として表示したものを図 4 に示す。分解能が大きいほど細部が不明瞭になり、形状が不正確である。一方、分解能 5 μ m のデータでは細かいノイズを含んでいる。このノイズはルビー球を支持する棒が比重の大きい金属であることに由来する。



(1) 分解能 5 μ m (2) 分解能 75 μ m (3) 分解能 125 μ m

図4 CT で取得した 3 次元像

図 5 に示すように、分解能 5 μ m のデータについて、勾配法では閾値法と比較してノイズが多い。勾配法では、閾値法における境界面の法線上で不透明度の変化率を計算し、不透明度勾配の大きい箇所に境界面を定義するため、閾値法の時点でノイズのあるデータに勾配法で境界面を設定するとノイズが増加すると考えられる。

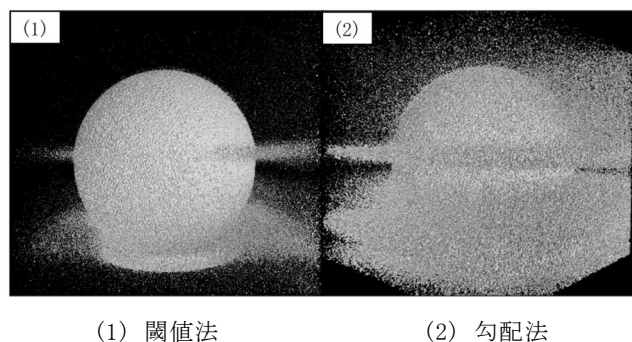


図5 最もノイズの多いデータでの3次元像

図6に示すように、このノイズは再構築時の設定により除去することが可能であるが、本研究では条件を揃えて測定をするため、ノイズを含んだ3次元像で半径を測定している。

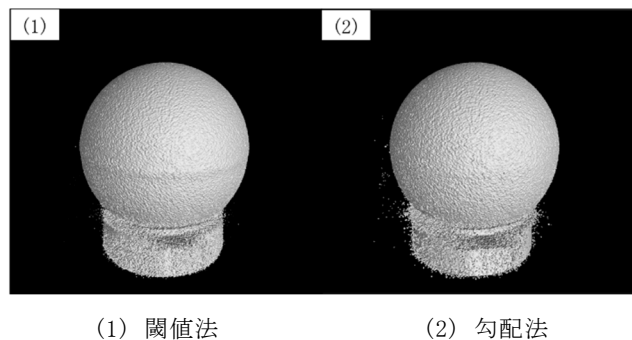


図6 図5からノイズを除去した3次元像

3. 2 CTでの測定結果

VGStudioMax3.2による半径の測定値を図7に示す。ルビー球半径は1 mm程度であり、分解能が小さいほどばらつきが小さく、また閾値法と比べて勾配法では測定値のばらつきが小さくなる傾向がみられる。勾配法によりノイズの増加したデータにおいても球面を検出できたため、ノイズが測定値のばらつきに与えた影響は小さいと考えられる。

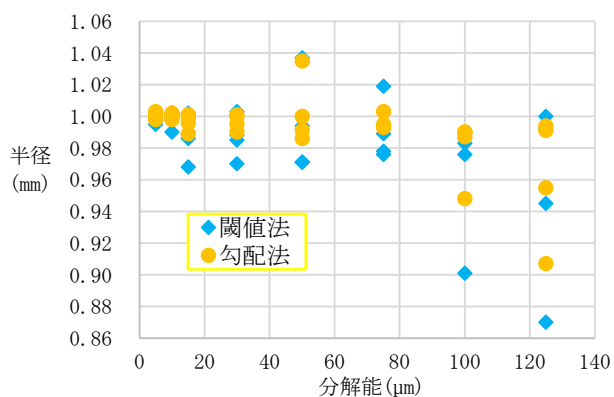


図7 CTによる半径の測定値

3. 3 MLP-3SPでの測定値

非接触輪郭形状測定機(三鷹光器 MLP-3SP)での測定値を図8に示す。MCT225より精度よく測定できるMLP-3SPでの測定値が1.000 mmであったため、これを真値としてCTでの測定誤差を評価した。

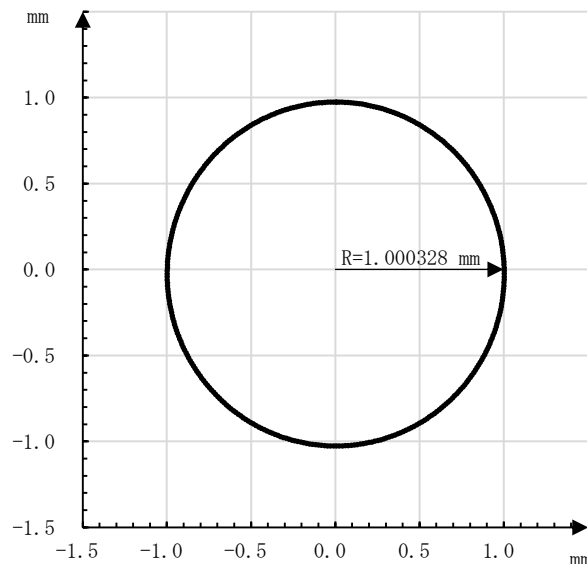


図8 MLP-3SPによる半径の測定値

3. 4 誤差の評価

図9においてCTでの測定誤差を定量的に評価した。誤差を偶然誤差によるものとする仮定のもと、各分解能におけるN=4での99%信頼区間を算出し、その誤差範囲について、yを誤差(μm)、xを分解能(μm)とする回帰直線を求めた。閾値法での回帰直線は

$$y = \pm(0.52x + 3.80) \quad (3)$$

勾配法での回帰直線は

$$y = \pm(0.33x - 0.58) \quad (4)$$

である。測定値(mm)が $L=1$ となるような球心間距離の測定では、最大許容指示誤差が

$$MPE_E = \pm \left(9 + \frac{L}{50} \right) \mu\text{m} = \pm 9.02 \mu\text{m} \quad (5)$$

で表される。したがって、球半径1 mmの測定について、N=4での99%信頼区間が MPE_E と同等の誤差範囲となるのは、閾値法で分解能10 μm以下、勾配法で分解能30 μm以下のときである。

4 おわりに

8通りの空間分解能でルビー球をCTスキャンし、2通りの面定義で半径を測定することで、以下の知見を得た。

- (1) いずれの面定義においても分解能が小さいほど誤差が小さい。
- (2) 勾配法では閾値法と比べて誤差が小さい。
- (3) 勾配法では分解能 30 μm 以下において球心間距離の MPE_E と同等の精度で測定できる。
- (4) 30 μm より大きい分解能においても、複数回の測定から外れ値を除外して平均値を求めることで MPE_E 程度まで精度が改善する可能性がある。

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) 日本工業規格：JIS B 7440-11:2024 製品の幾何特性仕様 (GPS) 一座標測定システム (CMS) の受入検査及び定期検査—第 11 部：X 線 CT の原理を用いた座標測定システム
- 2) 松崎和也：“精密工学会誌”，88 (12)，879-882，(2022)

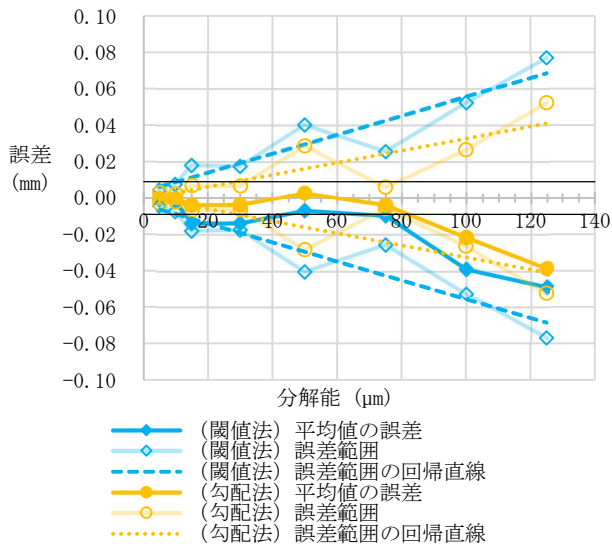


図 9 CT での誤差の評価

図 10 に撮影データごとの誤差を示す。分解能 30 μm 以下のデータについて、各分解能での N=4 での測定値のいずれにおいても勾配法では誤差の大きさが MPE_E と同等程度である。これより大きな分解能については、4回の測定のうち3回程度について測定値が真値に近く、残りの1回程度について誤差が大きい。このことから、30 μm より大きい分解能においても、複数回の測定から外れ値を除外して平均値を求めることで、球心間距離の MPE_E と同等程度まで精度が改善する可能性がある。

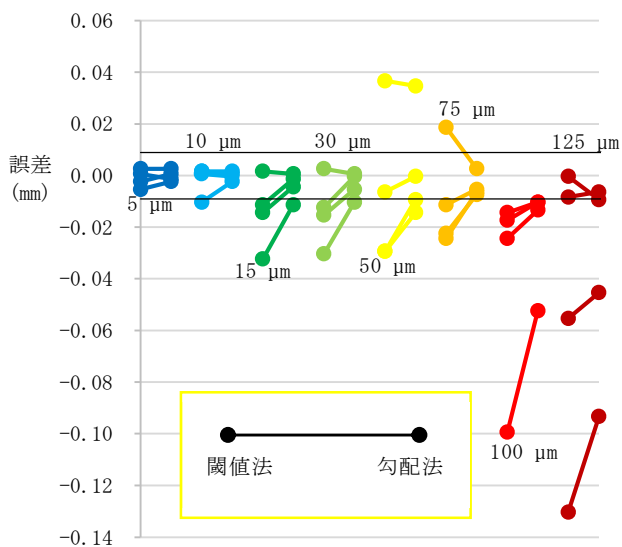


図 10 撮影ごとの誤差



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。

経常研究

ローコード・ノーコードツールを活用した設備の監視に関する研究

上野 貴明* 高岩 徳寿*

Research on Equipment Monitoring using Low-code and No-code Tools
UENO Takaaki and TAKAIWA Norihisa

本研究では、専門知識を持たない非 IT 人材でも対応可能なローコード・ノーコードツールを活用し、設備状況が可視化できるシステムの構築を目指した。監視設備は、当センター保有の半無響室とし、室内環境を監視するため温度、湿度データを可視化する。その結果、UIFlow と Node-RED の 2 種類のローコード・ノーコードツールを使用し、温度、湿度データの収集及びデータベースへ格納するシステムを試作開発した。また、システムはマイコン部、サーバ部、表示部で構成されており、マイコン部では温度、湿度データを取得しサーバ部に送信、サーバ部では受信したデータをデータベースへ保存、表示部ではデータベース内のデータを可視化し、閾値を超えると黄色や赤など視覚的なアラートを表示する監視が実現できた。

Key words: ローコード・ノーコード、IoT、可視化、センシング、遠隔監視

1 はじめに

近年、グローバル化に伴う市場競争の激化や、消費者ニーズの多様化と購買行動の変化に対応するため、DX(Digital Transformation)の必要性が急速に高まってきている。特に日本企業においては、「2025 年の崖」や労働生産性の低さが指摘されており、DX によって生産性を高める取り組みが必要となっている。

しかし DX の推進には、IT システムの活用によるデジタル化が不可欠であり、IT 人材が不足している企業においては、デジタル化の取り組みがなかなか進まないのが現実である。

そうしたなか、専門知識を持たない非 IT 人材でも対応可能なローコード・ノーコードツールが注目を集めており、その必要性が今後より一層高まってくると考えられる。

県内ものづくり中小企業においては、製造現場の IoT(Internet of Things)化に関心が高いものの、社内の取り組みで IoT 化を進めるには、センサの選定やマイコンのプログラミング、ネットワーク通信の設定、データベースの構築など、多岐にわたる技術が必要となり、試行的な導入の障壁となっていると考えられる。

そこで本研究では、ローコード・ノーコードツールを活用し、設備状況が可視化できるシステムを容易に構築する事例を創出する。実施にあたり、非 IT 人材がシステム構築する状況を想定し、より簡易的な IoT 化

の実現を目指す。

2 研究の方法

2.1 収集データとシステムの構成

工場の金属製品の加工現場や食品業界の HACCP など、企業の製造現場では温度、湿度を監視するニーズが多くある。そこで、企業の製造現場を想定し、当センターの音圧測定の実験室である半無響室を監視設備として、温度、湿度データを収集することにした。

システムの構成図を図 1 に示す。

マイコン部では、環境センサを用いて、設備から温度、湿度データの収集、及びサーバ部へのデータ送信を行う。サーバ部では、受信したデータをデータベースに蓄積、及び蓄積したデータのグラフ化を行う。表示部では、グラフを複数扱うダッシュボードの作成、及びサーバ部にアクセスして表示画面を閲覧する。

なお、データを収集する実験室の LAN とモニタリングルームの LAN は別のネットワークとし、遠隔での監視についても確認を行った。

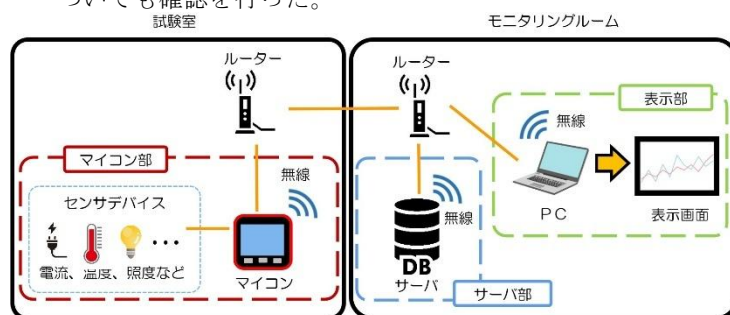


図1 システムの構成図

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

2. システムの詳細設計

2.1 ハードウェア構成と開発環境

システム全体の主なハードウェア構成を表1に、開発環境を表2に示す。

表1 システムのハードウェア構成

センサデバイス	ENV II (M5Stack 社)
マイコン	M5Stack CORE2 (M5Stack 社)
シングルボードコンピュータ(サーバ)	Raspberry Pi 4 Model B (ラズベリーパイ財団)
ルーター	WSR-2533D (㈱バッファロー)

表2 システムの開発環境

マイコン部	UIFlow ¹⁾ (M5Stack 社)
サーバ部	Node-RED ²⁾ (OSS)

マイコン部では、温度、湿度データの収集用センサデバイスに、M5Stack 社の環境センサユニットである ENV II を使用し、温度、湿度データの受信及びサーバ部への送信には、同社のマイコンモジュールである M5Stack CORE2 を使用した。M5Stack CORE2 は、データ確認用の LCD スクリーンや通信用の Wi-Fi モジュールなどを内蔵しており、ENV II など同社が取り扱っているセンサデバイスを使用することで、入力電圧の調整等を気にすることなくデータを取得することが可能である。また、同社はマイコンの開発環境用に、Blockly でのビジュアルプログラミングが可能な UIFlow を提供しており、ローコードで開発を行う。

マイコン部から送信されてきたデータを受信するサーバ部では、シングルボードコンピュータである Raspberry Pi 4 Model B (以下、ラズパイ) を採用し、OS には Debian version:12(bookworm)を使用する。開発環境には、フロー形式でのビジュアルプログラミングが可能な Node-RED を使用する。

また、ルーターには BUFFALO 社製の WSR-2533D を使用し、異なるネットワーク間の通信設定を行う。

2.2 サーバ用アプリケーション

サーバで使用するため、ラズパイにインストールするアプリケーションを表3に示す。

表3 使用するアプリケーション

開発環境	Node-RED (OSS)
データベース	InfluxDB ³⁾ (InfluxData 社)
データ可視化	Grafana ⁴⁾ (Grafana Labs 社)

Node-RED は前述したとおり、サーバ部のローコード開発環境として使用する。

サーバ部では、マイコン部で収集した温度、湿度データを一定の時間間隔で受信するため、データを蓄積するデータベースには、高速な読み書きや圧縮に優れた時系列データベースが適している。本研究では、InfluxData 社のオープンソースである InfluxDB を使用する。

表示部では、InfluxDB に蓄積した温度、湿度データを PC で監視するため、表示画面であるダッシュボードを作成する。蓄積データの可視化には、データ可視化アプリケーションである Grafana を使用する。Grafana は、Grafana Labs 社の OSS(Open Source Software)であり、データの可視化に特化したソフトウェアで、InfluxDB にも対応している。

3. 結果及び考察

3.1 マイコン部の構築

3.1.1 設備からのデータ収集

温度、湿度データ収集用の ENV II とセンサデータを受信する M5Stack CORE2 は、I2C の通信ケーブルを用いて接続した (図2)。



図2 使用したセンサ、ケーブル及びマイコン

温度、湿度データの受信及びサーバ部へのデータ送信するためのプログラムは UIFlow で作成した。

UIFlow は、M5Stack マイコンシリーズの開発環境として M5Stack 社から提供されており、サポートされているセンサ類やマイコン等をグラフィカルに選択することで、Blockly での環境を整えた (図3)。



(a) センサ選択画面

(b) マイコン選択画面

図3 UIFlow のセンサ及びマイコン設定

センサデバイスから受信された温湿、湿度データは、ENV II の温度ブロック及び湿度ブロック（図 4）から取得した。また、タイマーブロックを使用して 120 秒毎にデータを受信した（図 5）。



図 4 温度ブロック及び湿度ブロック



図 5 タイマーブロック

3. 1. 2 サーバ部へのデータ送信

M5Stack CORE2 は Wi-Fi により LAN に接続されているため、収集した温度、湿度データをデータベースサーバに送信する方法として、MQTT 通信を使用した。

サーバ部では Node-RED を使用して MQTT 通信の受信部を構築する。マイコン部の送信データは、サーバ部に適応させるため、JSON 形式に加工し、MQTT 通信で送信した（図 6）。

MQTT 通信の設定には、サーバ部のアドレスなど、通信先の情報が必要となるため、サーバ部を構築した後に設定を入力した（図 7）。

温度、湿度データを収集する LAN とサーバを配置した LAN は別のネットワークであるため、ルーターの設定が必要となる。今回は、BUFFALO WSR-2533DHP のルーターを使用し、異なるネットワーク間の通信を確立した。



図 6 JSON 形式への変換と送信



図 7 MQTT の設定

3. 2 サーバ部の構築

3. 2. 1 データベースサーバの構築

ラズパイ（図 8）に InfluxDB をインストールし、データベースサーバを構築した。



図 8 使用した Raspberry Pi 4 Model B

InfluxDB のインストールを含め、ラズパイの操作には Linux のコマンドを使用する必要がある。また、InfluxDB を操作するクエリには InfluxQL を使用する。

InfluxDB では、温度、湿度データを蓄積するための保存先として、データベース及びメジャーメントを作成した（図 9）。

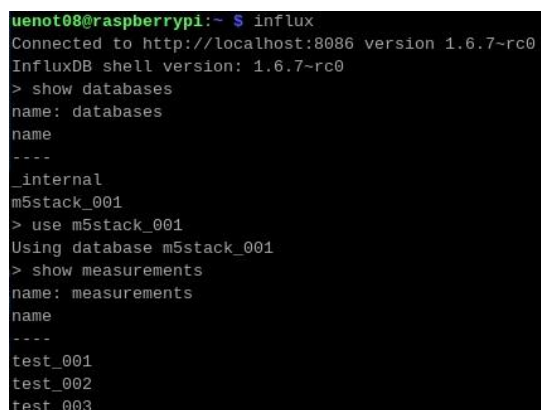


図 9 InfluxDB の起動画面

3. 2. 2 データの受信と保存

ラズパイでは M5Stack から送信されてきた温度、湿度データの受信し、InfluxDB に保存する。そのデータの受け渡しには、ビジュアルプログラミングでローコード開

発が可能な Node-RED を使用した。

ラズパイに Node-RED をインストールし、温度、湿度データを InfluxDB で作成したメジャメントに蓄積するプログラムを作成した（図 10）。

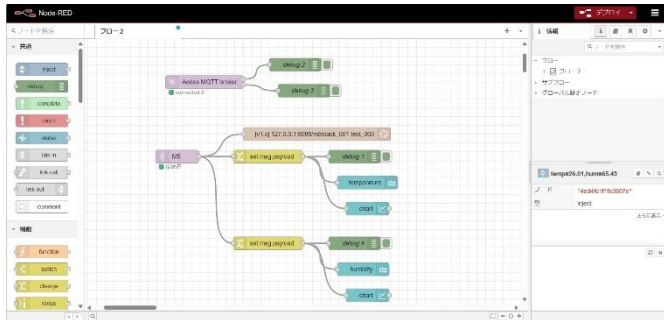


図 10 Node-RED の開発画面

マイコン部から 120 秒毎に MQTT 通信で送信されてきた JSON 形式の温度、湿度データを、Node-RED の mqtt-in ノードを使用して受信した。mqtt-in ノードは mqtt-broker ノードを介してデータの受信を行うため、設定画面からサーバやポート等を指定した（図 11）。



図 11 mqtt-broker ノードの設定

受信したデータを InfluxDB に保存するために influxdb-out ノードを使用した。

120 秒毎に受信した温度、湿度データは、JSON 形式のまま influxdb-out ノードを介して、InfluxDB に蓄積されるため、設定画面から InfluxDB のホストやデータベース名等を指定した（図 12）。



図 12 influxdb-out ノードの設定

3. 3 表示部の構築

ラズパイに Grafana をインストールし、外部 PC の Web ブラウザから閲覧できるダッシュボードを作成した。

Linux コマンドを使用し、ラズパイに Grafana をインストールした。Grafana は Web ブラウザ上で表示画面の編集ができるため、PC 上からラズパイサーバー上の Grafana へアクセスし、使用するデータベースを選択、データベースのアドレスを入力、クエリの設定等を行い、InfluxDB にアクセスした（図 13）。

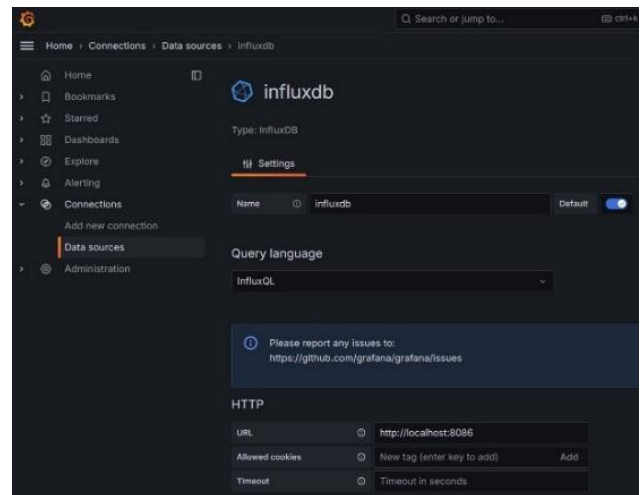


図 13 Grafana のデータベース設定画面

ダッシュボードで表示したいグラフの種類を選択し、グラフ名や単位等を指定しながらグラフの外観を構築した。グラフに表示するデータの選択には InfluxQL を使用するが、クエリの記述部分は図 14 のとおりパッケージ化されており、データベースごとに異なるメジャメント名やフィールド名の部分をプルダウンで選択し、図 15 のとおりプログラムレスでダッシュボードを構築した。

また、図 16 のとおり、ダッシュボードで使ったゲージ表示に閾値を設け、温度、湿度が高くなると黄色や赤など視覚的に異常を知らせることで設備の監視を実現した。

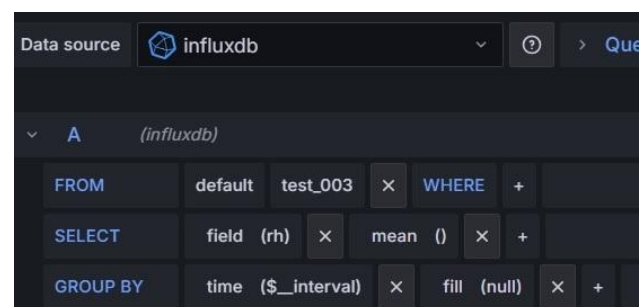


図 14 Grafana でのクエリの設定画面



図 15 Grafana で作成した表示画面

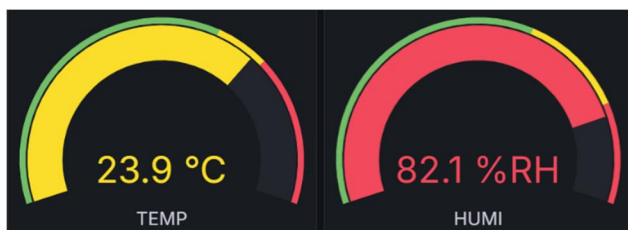


図 16 ゲージ表示による設備異常のアラート

3. 4 監視システム導入の流れ

本研究で構築した監視システムは、マイコン部からサーバ部に温度、湿度データを送信する際、送信先であるラズパイの IP アドレスを UIFlow で設定している (図 17)。

製造現場や事務所など、測定場所を変更して本監視システムを動作させる場合、マイコンモジュールやラズパイを移動先にあるネットワークに接続し、移動先の環境下における IP アドレスを UIFlow に設定するだけで容易に移設することができる。

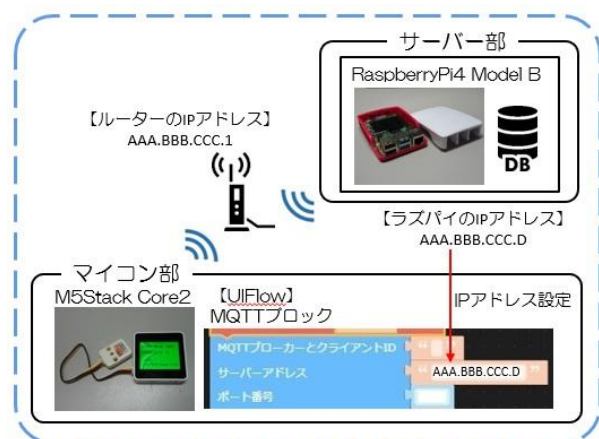


図 17 UIFlow のブロックに IP アドレスを設定

本監視システムで二酸化炭素濃度などを測定したい場合、マイコン部のセンサの交換が必要となる。プログラムでは、交換したセンサを UIFlow のセンサ選択画面から追加し、Blockly でビジュアルプログラミングす

ることで測定データの取得が可能になる。また取得した測定データは、本研究で構築したサーバ部のデータベースに蓄積することができる (図 18)。

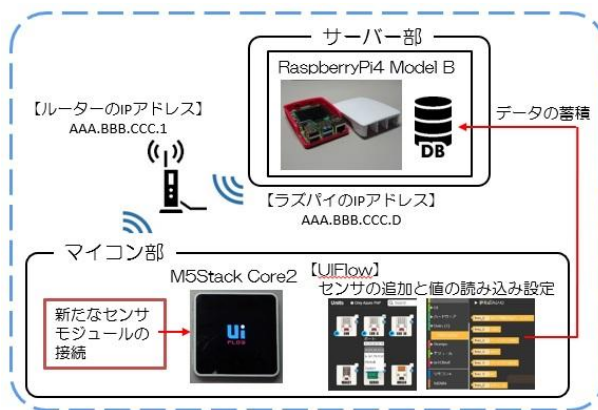


図 18 センサモジュールの変更と設定

4 おわりに

本研究では、以下のことに取り組み、UIFlow と Node-RED の 2 種類のローコード・ノーコードツールを使用することで、データ収集・蓄積・可視化の仕組みをより簡易的に構築し、実際に動作することを確認した。

- (1) マイコン部では、M5Stack 社のセンサとマイコンを使用し、温度、湿度データの取得、データを JSON 形式に変換、及びサーバ部へのデータ送信に関するプログラムを UIFlow で作成した。
- (2) サーバ部では、サーバマシンにラズパイを使用し、マイコン部からのデータ受信、InfluxDB へのデータ蓄積に関するプログラムを Node-RED で作成した。
- (3) 表示部では、InfluxDB に蓄積された温度、湿度データを可視化するため、データ可視化アプリケーションである Grafana を用いてダッシュボードを作成することで、プログラムレスで、必要に応じたデータ表示を行った。また、視覚的に色で設備の異常を知らせる監視画面を構築した。

今後は、本研究の簡易的な開発手法を県内企業に情報提供していき、利活用に関する相談に対応していく。

参考文献

- 1) M5Stack : "UIFlow",
<https://m5stack.com/uiflow>
- 2) Node-RED 日本ユーザー会 : "Node-RED",
<https://nodered.jp>
- 3) InfluxData : "InfluxDB",
<https://www.influxdata.com/>
- 4) Grafana Labs : "Grafana",
<https://grafana.com/ja/>

経常研究

デザイン資料を活用したトーションレースの試作開発

島田 千花子* 堀江 昭次*

Torchon Lace Trial Production Development by Utilizing Design Materials
SHIMADA Chikako and HORIE Shouji

幾何学模様の多いトーションレースにデザインの幅を持たせることで付加価値を高め、トーションレース関連企業による新製品開発や販路拡大への取組を促進するため、当センターが保有しているデザイン資料を活用して、図案からトーションレースの組織を起すまでの手順を確立した。また、図案を元に実際に6種類のトーションレースを編成し、その生地を使用した見本帳及び試作品の作製などを行った。

Key words: トーションレース、デザイン、試作、見本帳

1 はじめに

主に服飾付属レースとして用いられているトーションレース¹⁾は、足利市の重要な地場産業の一つとされている。現在でも足利市内で、国内製造品出荷額の70%以上を生産しているとされるものの、海外生産による受注減、製品の低価格化、原材料の高騰等により、売り上げは減少傾向にある。

各社は、インテリア小物への活用等、様々な商品を展開しており、糸や色のバリエーションは豊富である。しかし、レースの模様に関しては、幾何学模様を基本とした柄が比較的多く見受けられる。今後、ますますデザインに関するニーズが多様化していくことを想定すると、トーションレース単体で消費者の目を引きつけられるような訴求力を有するデザイン性を持つ製品を開発することが重要である。これにより、産地のトーションレースならではの差別化や新たな価値の付与を実現し、販路拡大につながることを期待できる。

一方、当センターには大正13年の設立時に併合された「栃木県図案調整所（明治39年設立）」からの図案や生地見本等の資料が保管されており、当時は、地域の織物業などに対して資料を元に目的に応じて図案を書き直して提供する図案調整が行われていた。

当センターでは、この資産を地域繊維関連企業での利活用を目途に、調査・整理及びデジタル化²⁾等を行い、デザイン資料として取りまとめて普及に努めた他、電子化されたデザイン資料を元に、製織や製編、染色などのデータに加工するための図案調整方法や、調整したデータを使用して広幅の解し織の製織及び洋装品（ワンピース）を試作し、地域内での解し織の一貫生産モデルとし

て報告してきた³⁾。

このような取組を行うことでデザイン資料は、これまでに一定の利用にはつながったものの、プリント（生地等への捺染）柄としての利用が主で、組織柄に使用された例は無い。一般的にトーションレースにおいては、組織柄としての利用が想定されるが、元々図案調整所時代から、織物等への色柄として使用や提案が主体だったため、トーションレース関連企業での利活用に向けては、デザイン資料を元にした組織柄への適用事例を示していく必要がある。

そこで本研究では、デザイン資料から、トーションレースの高付加価値化に資する具象的な組織柄に適すると思われるデザインを選び、図案の調整を行ってこれを主題としたトーションレース生地の試作を行う。これにより、デザイン資料からトーションレースの編成データとするまでの手順を確立すると共に、あまり前例の無いトーションレースが主要なデザインとなる製品開発において、デザイン面からトーションレースの差別化や、高付加価値化の手法として関連企業等に成果を普及することで、企業が取り組む新製品の企画開発に係る技術支援につなげることを目指す。

2 研究の方法

2.1 図案の選定・編集

当センターで保有するデザイン資料の中から、具象柄（多くは身近なものがモチーフで一見してそれと分かる柄）の図案を選定し、フリーアプリケーションの「ibis PaintX」（株式会社アイビス社製）を用いて組織図作成用のデータとなるよう加工、編集を行った。

* 栃木県産業技術センター繊維技術支援センター

2. 2 組織図の作成と糸の選定・張力の設定

2. 1 で加工、編集した画像から、トーションレース設計システム（株式会社両毛システムズ製 Ver. 3. 00）を使用して、装置制御用の組織図データの作成及びシミュレーション機能を用いた編成後の生地シミュレーションを行った。これにより編成すること無く、想定される編み上がり画像を確認しながらデータの修正や編成条件の検討を行うことができた。

編成時に使用した糸は、比較的入手や編成がしやすく、組織柄の確認も容易な、シルケット加工を施した織度（太さ）が 10 番三子の綿糸を選択した。

また、編成張力に関する各スピンドルの張力用スプリングは、仮設定として経験的な値である芯糸用 200 g、バイアス糸用 100 g、耳糸用 250 g とし、試験編成結果を元に調整することとした。

2. 3 生地編成及び見本帳等作製

トーションレース設計システムで作成した組織図に基づきトーションレース機（日本マイヤー株式会社製 SKM96/45NC）で編成を行った。

また、編成したレース生地、デザイン資料の画像及び組織図を並べて確認できる見本帳を作製するとともに、商品展開の一例となる試作品の作製を行った。

3 結果及び考察

3. 1 図案の選定・編集

当センターで保有するデザイン資料の中から、具象柄に結びつくような図案を複数抽出し、そこからトーションレースのデザインとしての表現可能性（緋の有無や柄の細かさ等）、柄のイメージの偏り等に目し 6 種類の図案を選定した。

選定した図案は、サブスクリプション等の契約が必要なくユーザー登録だけで気軽に始められることや、操作の難易度等の技術移転のしやすさから、フリーアプリケーションの「ibis PaintX」を用いて、組織図作成用に加工、編集を行った。具体的には、選定した図案の使用 방법에合わせて以下の 3 つの方法で加工・編集手順の検討を行った。

なお、本研究では具象柄の輪郭等を明確に表現するため、原図を単純 2 値化し、基本的に 1 色で柄を表現することとして画像処理を行った。

〈方法①〉デザイン資料の図案を基本的にそのまま活用
この方法は、図案のリピート（繰り返す際のつながり）がおおむね成立し、柄の配置なども含めてほぼそのままの状態でレースに適用したい場合に用いる。大まかな手順を図 1 に示す。具体的な作業手順は次のとおり。

- ・デザイン資料を選んだ後、レイヤーを追加する。

- ・追加したレイヤー上で図案をトレースする。
- ・レース 1 リピート分のデザインになるようにキャンパスサイズを拡張、不足部分の柄の描き込みを行う。
- ・全体的なバランス調整やリピートの繋がりを確認する。

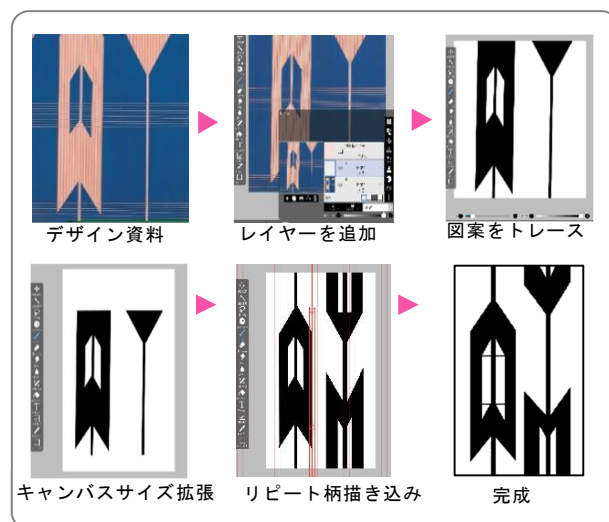


図 1 方法①の作業手順

〈方法②〉デザイン資料からモチーフを切り抜いて活用

この方法は、リピートの不具合や柄の重なりを避け、図案の一部に着目して、これをレースに適用したい場合に用いる。大まかな手順を図 2 に示す。この例では竹同士が重なりそのままでは柄として使用出来ないため、必要な部分を抽出して加工を行った。具体的な作業手順は次のとおり。

- ・デザイン資料を選んだ後、レイヤーを追加する。
- ・追加したレイヤー上で、切り抜きたいモチーフをペンツールや定規ツールを用いてトレースする。
- ・レースの 1 リピート分のデザインになるように、切り抜いたモチーフの配置やサイズ調整、デザインの描き込みを行う。

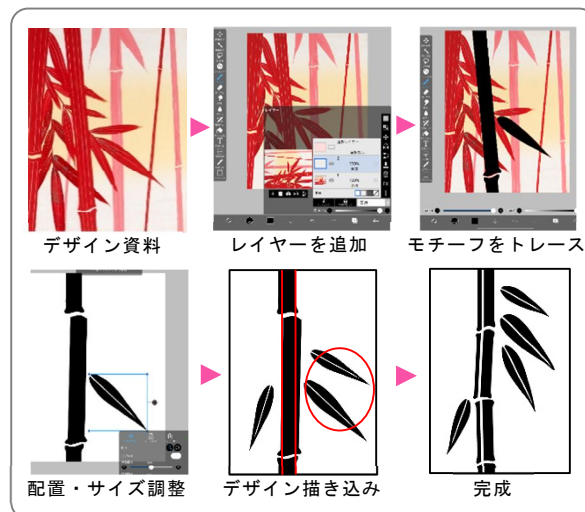


図 2 方法②の作業手順

〈方法③〉デザイン資料をデザインイメージとして活用
この方法は、直接図案は使用しないが、図案を見て制作者のインスピレーションにより、オリジナルデザインを考案する場合に用いる。大まかな手順を図3に示す。具体的な作業手順は次のとおり。

- ・デザイン資料から着想を得て、ラフ画を作成する。
- ・作成したラフ画は、トーションレースのデザインとして表現が可能であるか確認した後、適宜簡略化等を行いながら、線画を編集する。
- ・全体的なバランスを調節し、レースの1リピート分のデザインとなるよう整える。

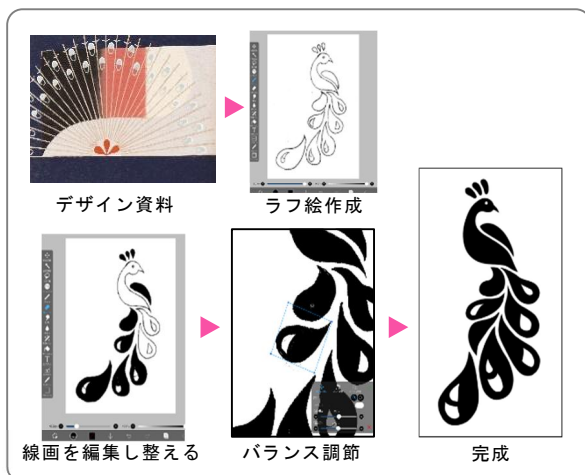


図3 方法③の作業手順

図案を元に柄を作製する場合、トーションレースの表現力などに留意し、重なりのある柄や、細かい柄、縞が多い柄等の場合は、柄の抽出やイメージを膨らませて新たな柄に結びつける源としての活用方法も重要と考えられる。

また、トーションレースの組織として描き上げていく際の共通の注意事項としては、デザインの上下のつながりに十分配慮してリピート柄になるよう描くことが必要である。

完成した単純2値（白黒）の図案については、基本的に白色部分にはトーションレースの地組織（背景的な部分に使用する目の粗い網目状の組織で編成後は黒っぽく見える）、黒色の部分には柄組織（隙間の殆ど無い詰まった組織で編成後は白に見える）を配置することとした。

3. 2 組織図の作成と糸の選定・張力の設定

3. 1で作製した6つの画像を基に、トーションレース設計システムを使用して、組織図データを作成し、作成したデータを基に、シミュレーション機能を使用して、編成後の生地シミュレーションを行った。これらのイメージを図4に示す。シミュレーション図を使用すると、データの修正や編成条件の検討が容易になるため、生地

にした際の柄の変形を確認しながら画像の縦横比の調整や柄の不具合などの修正を行った。

一方、編成に関しては、当初仮設定した芯糸 200 g、バイアス糸 100 g、耳糸 250 g で実際に使用する糸を仕掛けて試験編成した結果、芯糸がバイアス糸に引っ張られることで、図4に示すとおり元のレースのデザインに対し柄が全体的に歪んでしまったため、編成不具合が生じた。そこで、バイアス糸の張力について検討を行った。その結果、張力用スプリングを 100 g から 80 g に調整したところ柄の歪みが是正された。このため本研究の張力設定は全てこの値とした。

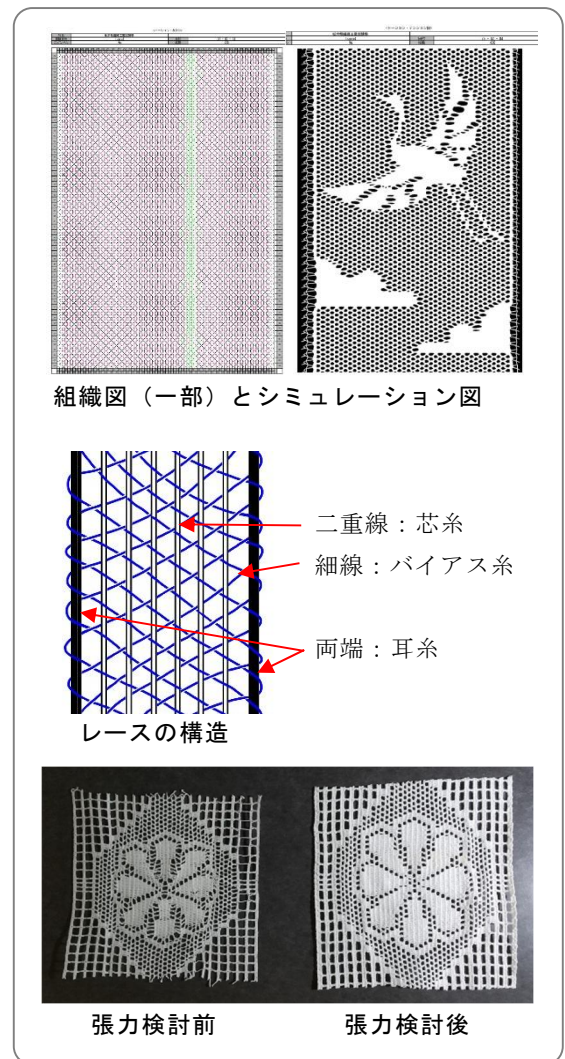


図4 編成の流れ（組織図とシミュレーション図、レースの構造、張力の検討前後）

3. 3 生地の編成及び見本帳等作製

トーションレース設計システムで作成した組織図データに基づき、編成を行った。今回編成に使用したトーションレース機を図5に、諸元を表1に示す。

また、元となるデザイン資料、加工画像及び当該機器で編成したレース生地を図6に示す。



図5 使用したトーションレース機

表1 トーションレース機の諸元

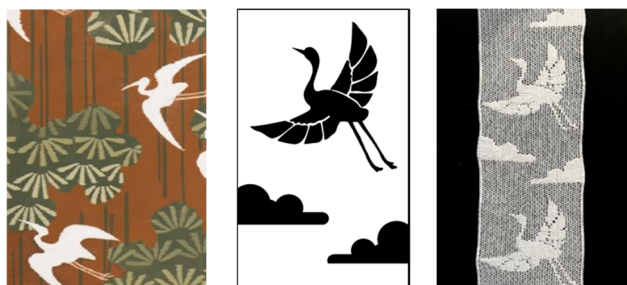
メーカー：日本マイヤー株式会社

型式：SKM96/45NC

スピンドル数：96本〔編成用糸92、抜き糸2、(空2)〕

ピッチ：45mm

実例1 (方法①)

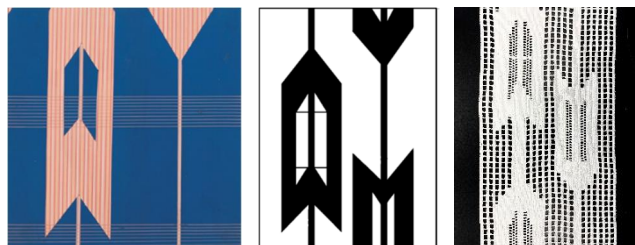


デザイン資料

加工画像

編成したレース

実例2 (方法①)



デザイン資料

加工画像

編成したレース

実例3 (方法②)

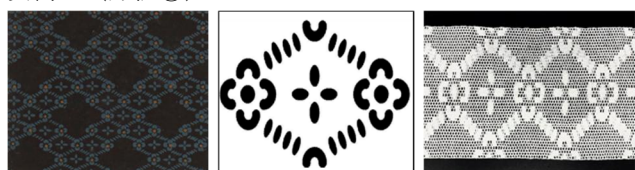


デザイン資料

加工画像

編成したレース

実例4 (方法②)



デザイン資料

加工画像

編成したレース

実例5 (方法②)

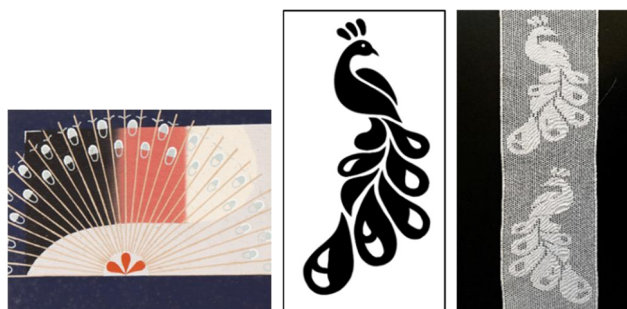


デザイン資料

加工画像

編成したレース

実例6 (方法③)



デザイン資料

加工画像

編成したレース

図6 デザイン資料と加工画像、編成したレース

さらに、編成した6種類のレース生地と規格、デザイン資料、加工画像及び組織図を合わせて確認できるような見本帳を作成した。作成した見本帳の例を図7に示す。

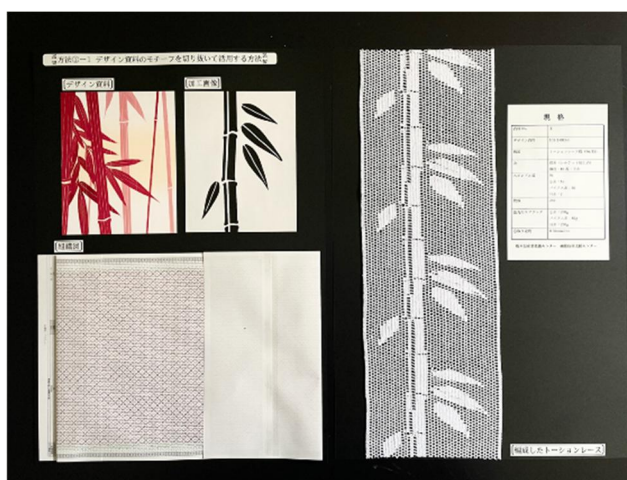


図7 作成した生地見本帳

また、編成した実例1のレースを用いて、装飾としての利用方法でなく、レースをメインに使用した製品展開案として、広幅のレースと大柄の特徴を生かした付け襟の試作を行った。その際、柄と製品デザインの面から、トーションレースで繊細でラグジュアリーな雰囲気を表現することを目指すとともに、身体に沿うシルエットになるようパターンメイキングを行い、縫製、仕上げを行った。試作品を図8に示す。



図8 試作した付け襟

4 おわりに

本研究では、消費者の目を引きつけるような訴求力を有するデザイン性を持つ具象的な組織柄のトーションレースを開発するため、デザイン資料からトーションレースの組織を起こすまでの手順を考察した。

その結果、当センターが保有するデザイン資料から 6

種類のトーションレースを試編し、デザイン資料・加工画像・組織図、レース生地を合わせて確認できる見本帳を作成した。併せて、広幅のトーションレースと大柄の特徴を生かした付け襟の試作を行うことができた。

今後、県内のトーションレース業界及び繊維業界における新製品の企画・開発強化の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 松島四郎：「トーションレース工業Ⅱ」，トーションレース工業技術図書刊行会，(1959)
- 2) 佐瀬文彦ら：「栃木県産業技術センター研究報告」，No. 11，126-130 (2014)
- 3) 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

現場に即した衣類用織物の曲げ特性評価手法に関する研究

吉葉 光雄* 飯沼 友英*

Study on Practical Evaluation Method for Bending Properties of Textile Fabrics for Clothing
YOSHIBA Mitsuo and IINUMA Tomohide

本研究では、衣服の形状や着心地に大きく影響する曲げ特性に着目し、簡便な装置により曲げ特性を数値化する手法について検討を行った。
その結果、生地曲げ特性を簡便に推定する方法について、カンチレバー法による剛軟度と生地の単位面積当たりの質量をもとに、換算表による KES 曲げ剛性の推定が可能となった。
Key words: 繊維、風合い、KES、曲げ特性、簡便法

1 はじめに

風合いは生地の性質を表す重要な要素であり、かつて生産現場では、熟練の技術者により、手触りの感覚をもとにして「こし」「ぬめり」「はり」等の言葉で生地の風合いを表現していた(図1)。しかしながら地域や取扱品目の違いにより、生地の風合いに対する感覚は地域差や個人差があり、統一的な指標が求められるようになった。



図1 手触りによる生地風合いの評価

そうした要望をもとに、大学や大手繊維メーカーの研究者らにより開発、実用化された KES (KAWABATA EVALUATION SYSTEM®) 官能システム (以下 KES とする) は、引っ張り、曲げ、せん断など生地の力学的特性をそれぞれ測定し、当初はそれぞれの衣類用 (例えば冬の外衣用厚地や、婦人のブラウス用薄地) としての適性を総合的な評価値として算出するものであった¹⁾。現在では引っ張り、曲げ等単独の力学特性の評価にもよく用いられ、生地だけでなく、皮革・紙などの風合いを評価する用途にも広く使われるようになっており、昨今ネットでの取引が増加する中、生地の特性を正しく取引先や消費者に伝達するためには、人による感覚に左右されない数

値指標は、今後ますます重要になると思われる。
中でも曲げ特性は、衣服のシルエット、ドレープに大きく関わっており、製品の企画や織物の生産管理の上でも重要な特性で、KES では FB-2 純曲げ試験機により評価する(図2左)。しかし機器の設置コストや測定場所・環境の整備が必要であり、現場での迅速な評価手段としては活用が難しく、現状では手で生地をつまむなどして曲げた際の感触により判断される場合が多い。
類似の試験方法として、JIS L1096 織物及び編物の生地試験方法では、目的や用途に応じて剛軟度を求める方法が7種類あり、その中でも A 法(45° カンチレバー法) (以下、「canti-b」という。)は装置が低コストで測定が容易である(図2右)。



KES FB-2 純曲げ試験機



カンチレバー形試験機

図2 曲げ特性の測定機器

表1 曲げ特性に関する試験方法

規格等の名称	使用する機器	得られる値	本研究での略称
KES(KAWABATA EVALUATION SYSTEM®) 曲げ特性	KES FB-2 純曲げ試験機	曲げ剛性B ₁ (gfcm ² /cm) 曲げヒステリシス 2HB (gfcm/cm)	KES-B ※1
JIS L1096 A 法 (45° カンチレバー法)	45° カンチレバー形試験機	剛軟度 (cm) ※3	canti-b
※2 B 法 (スライド法)	スライド形試験機	剛軟度B ₂ (mN・cm)	換算B ₂ ※4
※1 本研究では使用しない			
※2 この他にC法～G法まで、計7種類の試験方法が存在する			
※3 JIS規格ではmmで表すが、本研究内では換算等で整合をとるためcmで表記			
※4 後述するデータ解析の際に本法の計算式を使用するため、換算B ₂ と表記			

* 栃木県産業技術センター繊維技術支援センター

その一方で、canti-b では剛軟度として生地の押し出し距離 (cm) のみの表示であり、KES による曲げ剛性と直接比較するのは困難である。そこで、同じ JIS L1096 織物及び編物の生地試験方法中の B 法 (スライド法) (図 3) での剛軟度の計算方法に着目すると、試験時の試料の様子は A 法と類似しながらも、試験片の長さ (l)、鉛直方向の落差 (δ) と試験片の単位面積当たりの重力 (W) から剛軟度 (B_r) を計算し、試験片の単位幅についての単位曲度に対する曲げモーメントで表される²⁾ことから、単位の次元は表 1 に示すように KES による曲げ剛性 (以下、「KES-B」という。) と相似と考えられる。

そこで、本研究では、生産現場で容易に測定可能である、生地質量 (以下、「 w 」という。) と canti-b をもとに、B 法 (スライド法) の式を利用して換算を行い、KES による曲げ剛性の推定までを目標として研究を実施した。

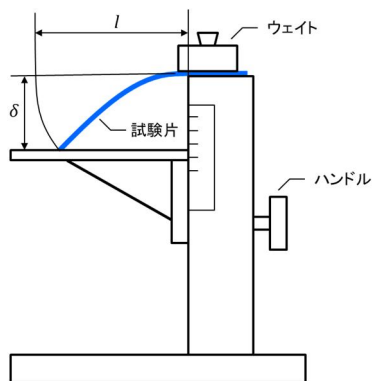


図3 スライド形試験機 (模式図)

$$B_r = \frac{Wl^4}{8\delta} \quad (1)$$

2 研究の方法

2.1 対象とする生地の検討

剛軟度と単位面積当たりの質量について広い範囲がカバーできるよう、素材や組織、目付等が異なる織物を選定した結果、センターで所有する織物生地 30 点と、綿、ポリエステル等の試験用添付白布 6 点の計 36 点を準備した (図 4)。



KES 用



カンチレバー法用

図4 測定用試料

2.2 試料調整と測定の実施

KES-B の値は、20 cm 四方の正方形試料 1 枚を調整し、たて及びよこ方向について測定した。また、 w は、温度 20℃、湿度 65% の環境下 (以下、「標準状態」という。) で測定した。

canti-b の値は、JIS L1096 剛軟度に基づき、幅 2 cm、長さ約 15 cm の試料をたて及びよこ方向に 5 枚ずつ調整し、標準状態で、45° カンチレバー形試験機で測定した。

2.3 測定結果を基にした関係式の作成

KES-B と、図 3 に示したスライド法による剛軟度 B_r の計算式を利用して w と canti-b の値から換算した値の関係式を作成するため、数値の対応について、以下のとおり検討を行った (図 5)。

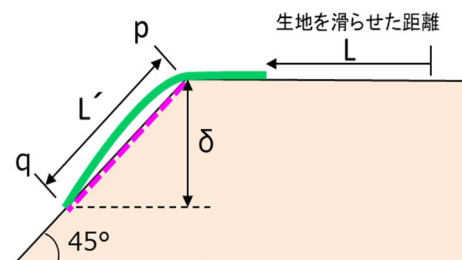


図5 スライド法 δ に対応する数値の求め方

B 法 (スライド法) の計算式 (1) に、 w と canti-b の値を表 2 のとおり代入し、換算した剛軟度 (以下、「換算 B_r 」という。) を計算した。

その際、 B_r を求める式 1 中の W, l, δ については、図 5 に示すように、予備試験の結果、生地は点 p で大きく曲がることから、点 p と着地点 q の距離 L' を L で近似し、表 2 のとおり計算した。

表2 換算 B_r の計算における数値の対応

記号	スライド法での定義	w 及び canti-b から換算する際の対応
B_r	剛軟度 ($\text{mN} \cdot \text{cm}$)	(換算 B_r)
W	試験片の単位面積当たり重力 (mN/cm^2)	20cm四方の生地質量 w (g) から換算
l	試験片の長さ (cm)	canti-b (cm)
δ	鉛直方向のスケールの読み (cm)	L' を L で近似し $L \times (1/\sqrt{2})$ を代入

2.4 実用に向けた改良

2.3 で相関を確認の後得られた換算 B_r と KES-B との関係式をもとに、 w と canti-b から KES-B を容易に推定するため、グラフによる視覚化を検討した。

3 結果及び考察

3.1 試料調整と測定の実施

36 点の生地を試料として調整後、各項目の測定を実施した。試料中 1 点について、表側と裏側の性状が異なっており、KES による曲げ剛性測定の結果、曲げ剛性の差が大きく、裏側の方が曲がりやすい生地であることがわかった。canti-b では表側だけを対象としていることを

考慮すると、今後の相関検討の際に影響が懸念されるため、評価対象から除外した(図6)。表側と裏側で曲げ特性が大きく異なる生地、複合した生地などでは、canti-b が片面だけを測定する規格であるため、本法の適用は難しいと思われる。

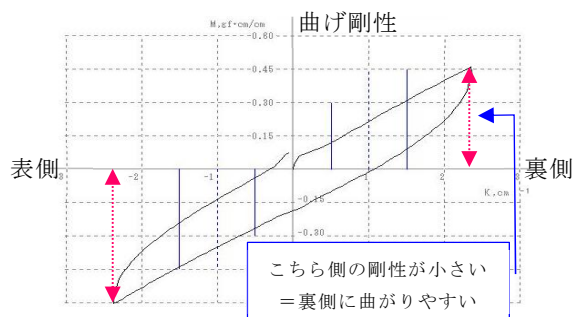


図6 除外した試料のKES曲げ特性測定グラフ

残りの35試料について、たて方向及びよこ方向のcanti-b、KES-B測定データを使用し、合計70点のデータとなった。測定結果の概要は表3のとおりである。

表3 測定・計算結果の概要

略称		最大	最小	平均
w	(g)	9.93	0.92	5.61
canti-b	(cm)	6.6	1.6	3.5
換算Br	(mN・cm)	3.1	0.09	1.1
KES-B	(gfcm ² /cm)	0.191	0.006	0.067

3.2 測定結果を基にした関係式の作成

式(1)を利用して計算した換算BrとKES-Bの間に相関が見られるかを確認するため、縦軸にKES-B、横軸に換算Brをグラフにプロットして比較した(図7)。相関について、切片を0として回帰分析を行った結果、相関係数 $R^2 = 0.88$ が導き出され、両者に相関があることが確認された。

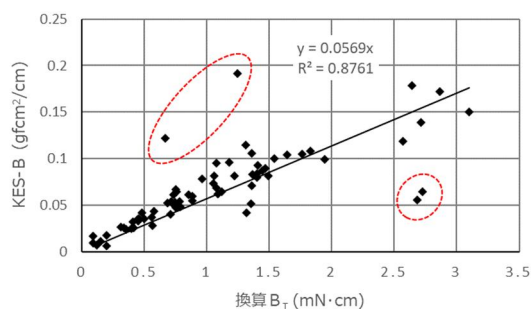


図7 換算Br - KES-Bプロット

ここで、図7で回帰直線から離れているデータについて、回帰式から算出される予測値と実際のデータとの差である残差を用い、外れ値に該当するか評価を試みた。

残差の標準偏差を σ とした場合、 2σ 又は 3σ 以上が一般的に外れ値の目安となる。今回の試料では、 $2\sigma \sim 3\sigma$ の範囲は該当なし、 3σ 以上となったのは点線で囲んだ4点であった。

外れ値の範囲に該当した4点の内訳は、KES曲げ剛性でのナイロンのたて及びよこ方向と、このほか2試料の生地のたて方向の測定結果である。要因として、曲げ方の違い(機械的な曲げと自重による曲げ)、生地の特性、測定場所の環境の違い(温度・湿度)等が考えられる。

この4点を除外して再度回帰分析を実施したところ、相関係数 $R^2 = 0.96$ となり、高い相関が得られた。この時の傾きからKES-Bと換算Brとの関係を式(2)に示す。

$$[KES-B] = 0.059 \times [\text{換算} B_r] \quad (2)$$

3.3 実用に向けた改良

3.2で得られた式(2)について、換算Brを置き換えることにより、関係式は以下のようになり、KES-Bをwとcanti-bで表すことができる。

$$[KES-B(\text{推定})] = 2.6 \times 10^{-4} \times w \times [canti-b]^3 \quad (3)$$

しかしながら式3のままでは実用上扱いにくいため、式を変形して縦軸をw、横軸をcanti-bとし、KES-Bを推定可能となるようにグラフ化した(図8)。このグラフを用いることで、KES-Bを迅速に推定可能となった。

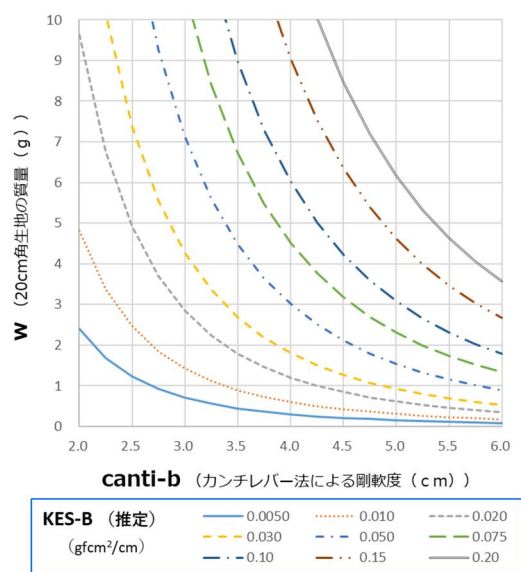


図8 KES-B推定用グラフ

wとcanti-bを元に換算した値がKES-Bと高い相関が得られたことは、KES-Bの簡易的な推定方法として有力であることを示唆する。一方、KESは生地を表裏両側に曲げ、曲げ剛性と曲げヒステリシスを同時に測定可能であり、曲げ剛性評価の方法として優れている点は変わらない。

4 おわりに

生地の風合い特性、特に曲げ特性に着目し、以下の知見が得られた。

(1) KES による曲げ剛性について、 w と $canti-b$ の値を次元に着目して換算、比較した結果、両者に高い相関があることを確認した。

(2) 目標とした簡便な KES 曲げ剛性の推定について、(1)で得られた関係式からグラフを作成し、 w と $canti-b$ から推定ができるようになった。

今回の方法は低コストかつ簡便に実施可能であり、オンラインでの商取引や販売が広く行われる現在、関係者が生地の特性について感覚を共有できるツールの一つ

となることが期待できる。これにより風合い特性の測定技術全体にも興味を広められるよう、繊維関連企業等へ普及を図って行きたい。

参考文献

- 1) 川端季雄：“風合い評価の標準化と解析”，日本繊維機械学会
- 2) 一般財団法人日本規格協会：“JIS ハンドブック 31 繊維”，一般財団法人日本規格協会, 1557-1561, (2024)

経常研究

水熱処理によるセルロースナノファイバー/無機ナノ粒子多孔質体の作製に関する研究

永島 彩乃* 伊藤 繁則*

Study on the Fabrication of Cellulose Nanofiber/Inorganic Nanoparticle Porous Materials by Hydrothermal Treatment
NAGASHIMA Ayano and ITO Shigenori

樹脂の加工性、柔軟性、軽量性を活かして、フィラーの充填量を極力抑えつつ導電性や高い熱伝導性を発現する樹脂材料の創出を目指し、セルロースナノファイバー (CNF) と機能性無機ナノ粒子を用いた多孔質体の作製方法を検討した。CNF と熱伝導性の高いアルミナナノ粒子の分散液から、水熱処理によるゲル化と凍結乾燥を経てアルミナナノ粒子が固定化された CNF 多孔質体を得られた。水熱処理条件は、160℃, 4 h が最も良好であった。

Key words: セルロースナノファイバー、無機ナノ粒子、水熱処理、多孔質体

1 はじめに

熱伝導性樹脂にはアルミナ等の熱伝導性フィラーが、導電性樹脂にはカーボンブラック等の導電性フィラーが高充填されており、これらのフィラーが樹脂中でネットワークを形成することにより、複合樹脂は熱伝導性や導電性を示す。しかし、フィラーを樹脂に高充填すると、樹脂の加工性や柔軟性、軽量という利点が損なわれることがあり、課題となっている。加工性、柔軟性が高く、軽量な熱伝導性樹脂や導電性樹脂を作製するためには、少量のフィラーでネットワークを形成する必要がある。

セルロースナノファイバー (CNF) は、高温高压状態の水で処理 (水熱処理) することにより特有の三次元網目構造を持つゲルを形成し、高い機械的強度を維持することが知られている^{1), 2)}。この網目構造に機能性無機微粒子を固定化できれば、少量でもネットワークの形成が可能である。このゲルから水分を除去し、多孔質体とした後、樹脂材料に含浸することにより、重量増加を抑制しつつ樹脂の柔軟性を保ったまま、無機フィラーの機能性を発現できると考えられる。

そこで本研究では、CNF と、熱伝導性の高いアルミナナノ粒子の分散液を調整した後、水熱処理によりゲル化、凍結乾燥することにより CNF ネットワーク上にアルミナナノ粒子が固定化された CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の作製を検討した。

2 研究の方法

2. 1 CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の作製

2 wt% TEMPO 酸化 CNF (レオクリスタ第一工業製薬株式会社) 2 g (0.57 wt%)、アルミナナノ粒子 (<50 nm、ALDTRICH) 0~0.02 g (0~0.28 wt%)、純水 5 mL を耐圧容器に入れ、送風定温乾燥機 (AVVANTEC FC-610) 中で温度 140℃ 及び 160℃, 4~8 h で水熱処理を行った。得られたゲルを純水中に 1 日浸漬した後、エタノール、t-ブチルアルコールで順次置換し-15℃で凍結した。これを真空乾燥機中で常温にて凍結乾燥し、CNF/アルミナナノ粒子多孔質体を得た。

2. 2 多孔質体の評価

凍結乾燥後の CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の形態及びアルミナナノ粒子固定化状態は、走査型電子顕微鏡 (SEM) (日本電子 JSM-IT200LA) で観察した。また、アルミナナノ粒子固定化量は示差熱・熱重量同時測定装置 (日立ハイテクサイエンス TG/DTA7200) を用いて室温から 700℃ まで 10℃/min で昇温させたときの残重量をアルミナナノ粒子として求めた。

3 結果及び考察

3. 1 水熱処理/凍結乾燥による CNF 多孔質体の形成

アルミナナノ粒子を添加せず、CNF のみで 160℃, 4 h

* 栃木県産業技術センター 県南技術支援センター

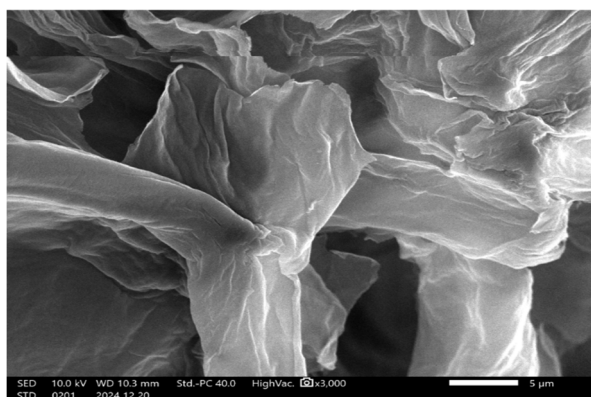


図1 アルミナ無添加 CNF 多孔質体 (SEM 画像)

水熱処理を行い、凍結乾燥した結果、強度の低い多孔質体が得られた。その多孔質体の SEM 画像を図 1 に示す。ナノファイバー同士が凝集して形成されたと考えられるシート状の形態が観察され、シート間に隙間が多く存在した。

3. 2 CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の性状

3. 2. 1 多孔質体の SEM 観察

アルミナナノ粒子 0.01 g (0.14 wt%) を添加し、各温度・時間で水熱処理して得られた CNF/アルミナナノ粒子

多孔質体を SEM で観察した結果を図 2 に示す。アルミナナノ粒子を添加すると CNF が凝集し、アルミナナノ粒子無添加 CNF と比較して、より大きなシートを形成することが分かった。また、SEM 画像により、シート内部にアルミナナノ粒子が固定されているのが確認された。

アルミナナノ粒子の分散状態や多孔質形状は、140℃、6 h と 160℃、4 h の条件で水熱処理を行ったものは、CNF は過度に凝集せずにシート状を示し、アルミナナノ粒子はシート内部に取り込まれた。

この条件より低温又は短時間で水熱処理を行うと、ゲルの形成が不十分のため凍結乾燥が困難であり、過度に凝集した多孔質体となった。一方、高温又は長時間な条件で行うとセルロースが褐変した。

アルミナナノ粒子は 10 μm 程度の二次粒子として分散して CNF シート上に固定化しているものの、粒子同士が隣接するほど密な状態ではないため、ネットワークを形成しての高い熱伝導性の発現は難しいと考えられる。

3. 2. 2 アルミナナノ粒子の固定化量

各温度・時間で水熱処理して得られた CNF/アルミナナノ粒子多孔質体中に固定化されたアルミナナノ粒子量を表 1 に示す。アルミナナノ粒子固定化量は、水熱処理のいずれの温度・時間条件においてもほとんど変わら

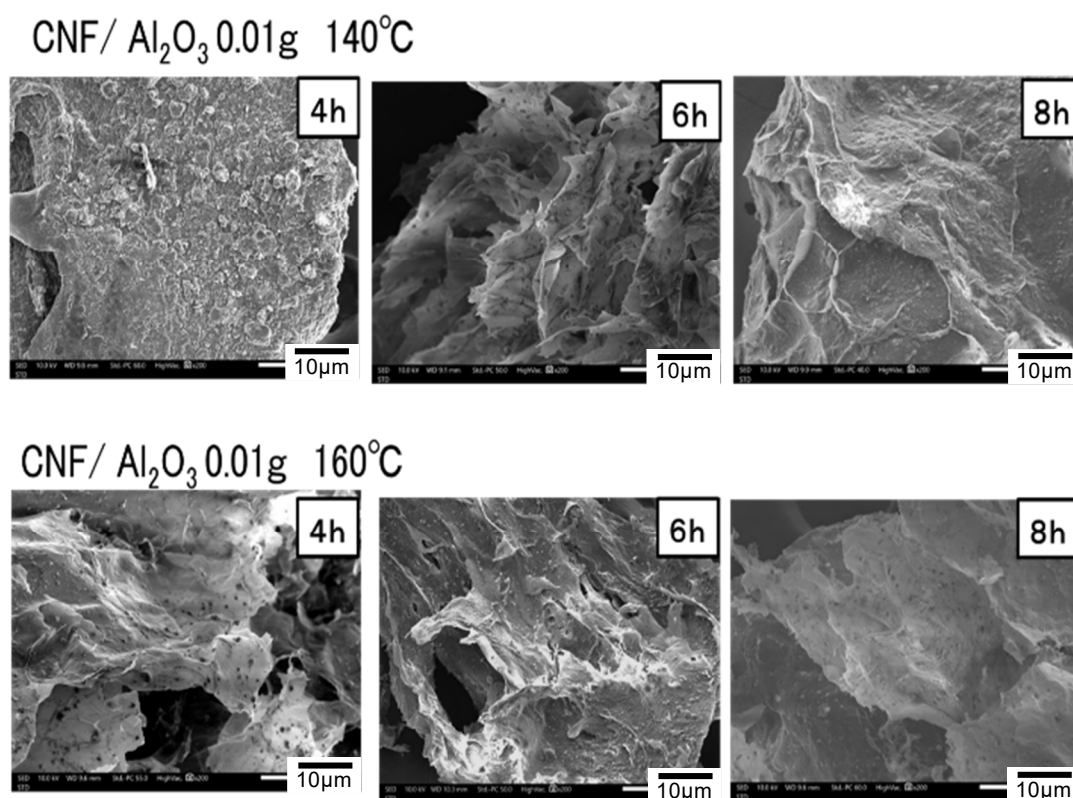


図2 各温度・時間で水熱処理して得られた CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の SEM 画像 (アルミナナノ粒子:0.01 g (0.14 wt%))

表1 CNF/アルミナナノ粒子多孔質体中に固定化されたアルミナナノ粒子量

	140°C4h	140°C6h	140°C8h	160°C4h	160°C6h	160°C8h
分解開始温度(°C)	259	261.9	247.9	263.5	284.5	274
CNF多孔体中の Al_2O_3 (%)	21.61	24.94	15.89	20.33	31.33	20.82

ない結果となった。実験に供したアルミナナノ粒子のほぼ全量が多孔質体中に取り込まれており、水熱処理やアルコール置換などによるロスは少ないことが分かった。

3. 3 CNF へのアルミナナノ粒子添加量の影響

アルミナナノ粒子同士を密着させるためにアルミナナノ粒子添加量を2倍の 0.02 g (0.28 wt%) にして、160°C, 4h の水熱処理条件で多孔質体の作製を試みた。アルミナ添加量と固定化率の関係を図3に示す。アルミナナノ粒子添加量を2倍にすると、多孔質中のアルミナ含有率が約2倍となり、添加したアルミナがほぼ全量固定化された。

しかし、SEM 画像(図4)で確認すると、シートが過度に凝集し、三次元網目構造を形成せず、多孔性が失われる結果となった。また、アルミナ添加量 0.14 wt% の 140°C, 6h の水熱処理条件では多孔体形成が良好であったが、0.28 wt% では褐変が起き、ゲルが形成されなかった。

以上の結果から、CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の作製は、アルミナナノ粒子の量は少なく、高温かつ短時間で水熱処理を行うことが適当であると推察された。

4 おわりに

樹脂の加工性、柔軟性、軽量性を活かしてフィラーの充填量を極力抑えつつ導電性や高い熱伝導性を発現する樹脂材料の創出を目指し、CNF ネットワーク上にアルミナナノ粒子が固定化された CNF/アルミナナノ粒子多孔質体の作製を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) アルミナナノ粒子を加えると CNF が凝集し、シートを形成した。
- (2) CNF/アルミナナノ粒子分散液の水熱処理において、160°C, 4h の条件で良好な多孔質体を得られた。しかし、アルミナ濃度を増やすと、三次元網目構造のゲルが得られなかった。
- (3) アルミナナノ粒子は今回の水熱処理の時間・温度ではほぼ全量が CNF 多孔質体中に固定化された。

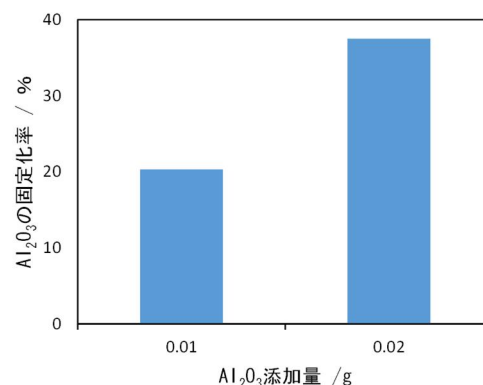


図3 アルミナナノ粒子の添加量と固定化率の関係

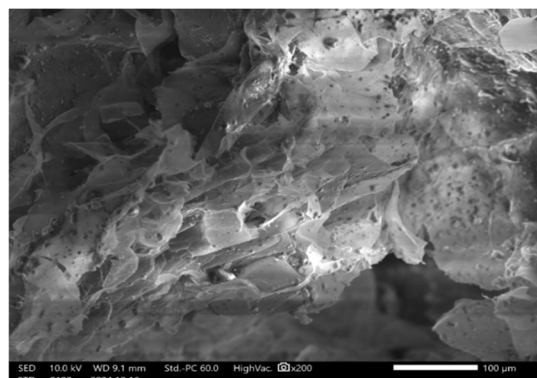


図4 アルミナナノ粒子を 0.02 g (0.28 wt%) 添加した CNF 多孔質体の SEM 画像
(水熱処理条件: 160°C, 4h)

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) 長田光正: 高圧力の科学と技術, 29(3), 194-198, (2019)
- 2) Shin Suenaga, Mitsumasa Osada: ACS Biomaterials Science & Engineering, 4(5), 1536-1545 (2018)



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。

経常研究

抗菌剤複合シートの開発

八丁 佳功* 永島 彩乃* 佐伯 和彦*

Development of Antibacterial Composite Sheet
HATCHO Yoshinaru, NAGASHIMA Ayano and SAEKI Kazuhiko

本研究では、抗菌剤として銀イオン交換ゼオライト（銀ゼオライト）を用い、セルロースナノファイバー（CNF）を分散剤とするコーティング液を調製し、ポリエチレンテレフタレート（PET）基材上にバーコート法で均一な抗菌性複合シートを作製した。

CNF 濃度 0.1%の分散液を用いることで、銀ゼオライトの分散性が高いコーティング液が得られた。このコーティング液を PET 基材にバーコートすることで、均一で透明な複合シートの作製が可能となった。作製した複合シートの抗菌性を評価した結果、大腸菌に対して高い抗菌活性を示した。

Key words: 抗菌、セルロースナノファイバー、ゼオライト、銀

1 はじめに

生活水準の向上による衛生意識の高まりに伴い、1970 年代より抗菌製品の販売が始められた。その後、1996 年の 0-157 集団食中毒などにより市場が拡大し抗菌製品が一般に普及した。現在では、抗菌加工製品の国内市場は 1 兆円以上といわれている¹⁾。

抗菌剤²⁾は有機系抗菌剤と無機系抗菌剤に大別される。有機系抗菌剤は即効性があるが持続性が低く、人体や環境への影響が懸念されている。一方、無機系抗菌剤³⁾は、即効性は劣るが安全性や持続性が高いなどの特徴を有している。本研究では安全性が高く、樹脂製品に混練した製品に広く使用されている銀を担持した無機系抗菌剤⁴⁾を使用することとした。

抗菌剤は樹脂などの主材へ固定化して使用されていることが多く、主材に混練・混合するか、主材表面へコーティングが行われている。

主材への混練・混合では、抗菌効果が表面にしか発揮されないため、抗菌剤の効率的な利用とは言い難い。一方、表面コーティングでは、基材へ均一かつ密着性の高い抗菌剤をコーティングすることが課題となっている。そのため、無機系抗菌剤などの粉体については、分散性が高いコーティング液を調整することが、解決法の一つとして求められている。

最近、木材などを微細化して得られるセルロースナノファイバー（以下、CNF）が注目され、樹脂などの基材へ添加して機械的特性の向上などに寄与する取組が行われている。また、顔料など無機微粒子を水溶液に

分散する効果が高いため、分散剤としても用いられている⁵⁾。

そこで本研究では、銀イオン交換ゼオライトと CNF を用いて、高い分散性を有した抗菌剤分散液を調製し、基材にコーティングすることで均一な抗菌剤複合シートの開発を目的とした。

2 研究の方法

2. 1 抗菌剤の調製

抗菌剤の原料に用いるゼオライトは、Na 型ゼオライト（以下、Na-LTA）を用いた。Na 型ゼオライトを銀型ゼオライト（Ag-LTA）にイオン交換するために、硝酸銀を用いた。

濃度の異なる 2 つの硝酸銀水溶液（0.05 M, 0.1 M）50 mL に Na-LTA を 1 g 投入し、室温で 15 時間イオン交換を行った。濾別し純水で洗浄後、80℃で 1 昼夜乾燥して銀イオン交換ゼオライトを得た。0.05 M 及び 0.1 M 硝酸銀水溶液によるゼオライトをそれぞれ、Ag-LTA-1 及び Ag-LTA-2 と記す。

銀のイオン交換率は走査型電子顕微鏡（日本電子(株)製 JSM-IT200LA）（以下、SEM）の特性 X 線分析により求めた。同時に、SEM 観察によりイオン交換前後のゼオライトの形態を観察した。

2. 2 抗菌剤分散液の調製

銀ゼオライト抗菌剤の分散剤として CNF を利用するため、濃度の異なる CNF 溶液を調製した。市販の CNF（第一工業製薬(株)製レオクリスタ I-2SX）の 2%分散水溶液を希釈し、2 種類の溶液（0.01%、0.1%）を調製した。こ

* 栃木県産業技術センター 県南技術支援センター

の溶液 20 mL に Ag-LTA-1 又は Ag-LTA-2 を 2 g 投入し、5 分間スターラーで攪拌し分散溶液を作製した。分散直後から一定時間経過ごとに銀ゼオライトの沈降状態を観察することにより分散性を確認した。

2. 3 抗菌剤分散液のコーティング

銀ゼオライトの分散水溶液 15 mL を 10%ポリビニルアルコール（以下、PVA）水溶液 50 mL に添加し、1 時間攪拌することでコーティング液を調製した。

コーティング法はバーコート法を用い、基材にはポリエチレンテレフタレート（以下、PET）を用いた。基材にコーティング液をピペットで 1 mL 滴下した後、バーにより引き延ばすことによって薄膜コーティングを行った。その後、100℃で 10 分間乾燥した。

コーティングされた複合シート上の銀ゼオライトの分散状態は、SEM 観察により確認した。

2. 4 抗菌性評価

抗菌剤複合シートの抗菌性について、大腸菌の菌液をシートに滴下し、35℃、湿度 90%以上の環境で 15 分間保持した。菌液を回収した後、培養することによって抗菌性を評価した。

3 結果及び考察

3. 1 抗菌剤の調製

銀イオン交換型ゼオライト（Ag-LTA-1, Ag-LTA-2）のイオン交換率を表 1 に示す。ナトリウム（Na）イオンは銀（Ag）イオンにイオン交換され、硝酸銀濃度が 2 倍高い水溶液を用いると交換率も約 2 倍となった。

表 1 ゼオライトの銀イオン交換率

試料	交換率 $\text{Ag}^+ / (\text{Ag}^+ + \text{Na}^+)$, %
Na-LTA	—
Ag-LTA-1	5
Ag-LTA-2	11

次に、イオン交換がゼオライトの形態に及ぼす影響について SEM 観察した結果を図 1 に示す。図よりイオン交換前後でゼオライトのサイコロ状一次粒子形態に変化はなく、粒子の二次凝集状態にも変化は見られなかった。

3. 2 抗菌剤分散液の調製

銀ゼオライト抗菌剤を CNF 溶液に分散した直後、1 時間後、及び 24 時間後の分散状態観察結果を図 2 に示す。CNF 無添加及び 0.01%添加では、分散液調製後 1 時間で沈殿が起こり、24 時間後では完全に沈降した。0.1%添加では、24 時間後でも沈殿が起こらず良好な分散状態を維

持していることから、CNF は微粒子に対して高い分散性を有していることが分かった。

CNF は水中でネットワーク構造を形成することで微粒子の沈降を防ぎ、分散する機能を有することが知られているが、CNF の濃度は小さいとネットワーク構造が形成されない⁵⁾。本研究の 0.01%CNF 濃度は小さすぎたためネットワーク構造が形成されなかったが、0.1%CNF ではその構造が形成されたことで高い分散性が得られたと考えられる。

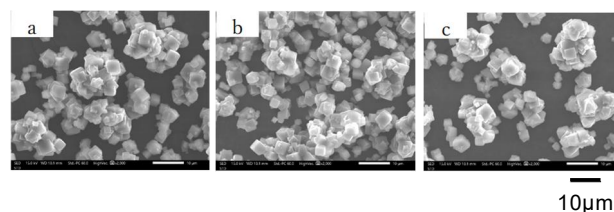


図 1 イオン交換前後のゼオライトの SEM 像
a) Na-LTA, b) Ag-LTA-1, c) Ag-LTA-2

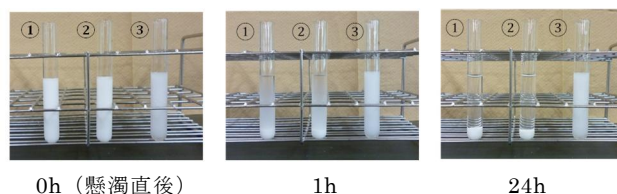


図 2 銀ゼオライトの分散状態観察
①CNF 無添加, ②CNF 0.01%, ③CNF 0.1%

3. 3 抗菌剤分散液のコーティング

PET 基材へのコーティングにバーコート法を用いた結果、コーティング液を PET 表面に均一にコーティングすることができた。図 3 に抗菌剤 Ag-LTA-1 をコーティングしたシートの外観を示した。図に示したように透明でフレキシブルなシートが得られた。Ag-LTA-2 においても同様なシートが得られた。

ポリエチレン（PE）基材へのコーティングも行ったが、コーティング液の基材への濡れ性が低いため、液がはじかれてしまいコーティングは不可能であった。PET 表面は PE 表面と比較して水に対して濡れ性が高いため、コーティングが可能と考えられる。

次に、シート表面への抗菌剤の分布について、SEM 観察の結果を図 4 に示す。銀イオン交換率の異なる Ag-LTA-1 及び Ag-LTA-2 を用いた両者とも、抗菌剤が偏りなくシート状に分布されていることが確認できた。図 5

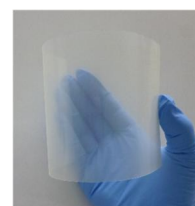


図 3 抗菌剤複合シートの外観

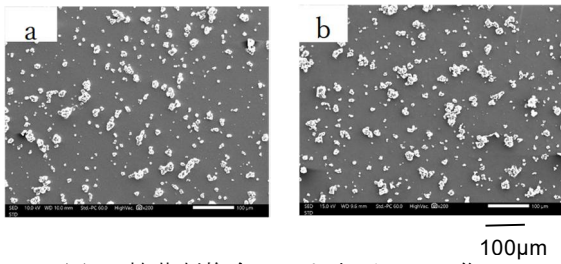


図4 抗菌剤複合シート表面のSEM像
a) Ag-LTA-1, b) Ag-LTA-2

に Ag-LTA-1 を用いた複合シートの断面を示したが、コーティング層は約 70 μm であった。

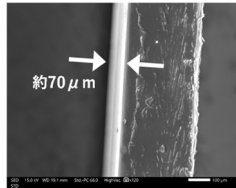


図5 抗菌剤複合シートの断面 SEM 像

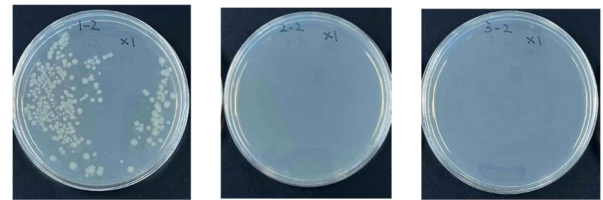
3. 4 抗菌性評価

抗菌剤無し PET シート(a)、抗菌剤 Ag-LTA-1 と Ag-LTA-2 の複合シート(b)及び(c)の抗菌性評価の結果を図6に示した。(a)は大腸菌のコロニーが確認できるのに対し、(b)と(c)では大腸菌のコロニーが全く確認できなかった。以上の結果から、これらのシートは高い抗菌活性を有していることが示された。

抗菌剤複合シートと大腸菌の接触が 15 分と短時間であったにもかかわらず、高い抗菌性を示したのは、抗菌剤がシート表面に固定化されることで、菌と効果的に接触したためと考えられる。

4 おわりに

イオン交換した銀ゼオライトを用いて、CNF を分散剤



(a) 抗菌剤無し (b) Ag-LTA-1 (c) Ag-LTA-2

図6 大腸菌に対する PET シートの抗菌性試験

とするコーティング液を PET シートにコーティングした。その複合シートの抗菌試験を行い、以下の知見が得られた。

- (1) 濃度 0.1% の CNF 分散液を用いて、銀ゼオライト分散性が高いコーティング液を作製することができた。
- (2) 基材に PET 用いて、銀ゼオライト抗菌剤コーティング液をバーコート法により、均一で透明な抗菌剤複合シートが得られた。
- (3) 抗菌剤複合シートは大腸菌に対して高い抗菌活性を示した。

謝 辞

抗菌試験を実施して頂いた宇都宮大学大学院工学研究科 准教授 諸星知宏氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 特許庁：“ニーズ即応型技術動向調査「抗菌・抗ウイルス素材」”，(2020)
- 2) 石田恒雄：“マテリアルライフ学会”，23, 1, 21 (2011)
- 3) 山本則幸：“無機マテリアル”，6, 468 (1999)
- 4) 工藤清孝：“色材”，70, 5, 335 (1999)
- 5) 河崎雅行：“紙パ技協誌”，70, 4, 374 (2016)

経常研究

交差穴加工におけるバリ抑制手法の開発

岡村 弘太* 植竹 大輔* 曾田 将来*

Development of Method for Burr Suppression in Cross-hole Drilling

OKAMURA Kota, UETAKE Daisuke and SOTA Masaki

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の交差穴加工におけるバリ抑制を目的に、加工条件及び被削材への加工硬化の影響について検討した。出口面のバリ高さは1刃送りを小さくすることでバリ高さを抑制できた。また、交差穴加工出口となるパイプ内径面表層に対して加工硬化を発生させることで、その後の交差穴加工におけるバリ高さを抑制できることが分かった。最もバリを抑制できた条件において、通常の加工と比較して約44%までバリ高さを削減することができた。

Key Words: ドリル、バリ、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部分が塑性変形することで、穴の出口にバリが発生する。バリは、部品の機能や品質の悪化につながるため、製造現場ではバリ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、加工の高能率化が阻害されている。さらに、多くの工業製品の製造に使用される金型加工においては、穴と穴が交差する交差穴加工が行われているが、この加工は出口面のバリが材料内部に発生するため、平面にできるバリと比較してその除去が困難である。そのため、バリ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、加工時におけるバリ抑制の手法が求められている。特に、延性が大きい材料であるオーステナイト系ステンレス鋼はドリル加工で発生するバリが大きいことで知られており、現場の頭を悩ませている材料のひとつである。我々は過去の研究^{1), 2)}により、オーステナイト系ステンレス鋼平板のドリル加工において、材料内部を意図的に加工硬化させてからドリル加工を行うことによってバリを抑制できる可能性を見いだした。

交差穴加工に関する既報では、外周コーナを面取りしたドリルを使用した研究³⁾や、バリの除去方法に着目した研究⁴⁾があるが、交差穴加工における加

工硬化を利用したバリの抑制を目的とした研究報告は見当たらない。

そこで、本研究では加工硬化を利用してオーステナイト系ステンレス鋼パイプの交差穴加工における出口バ리를抑制する加工方法を検討した。

なお、金型加工のワークであるバルク材への交差穴加工の研究を効率的に実施するため、模擬的にパイプ材を用いて研究を実施した。

2 研究の方法

2. 1 交差穴加工

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 $\phi 4$ mm、2枚刃超硬ドリル((株)不二越製 AQRVDS0400)を使用した。ドリルの先端角は 135° である。被削材はSUS304パイプ材(外径14 mm、肉厚1.5 mm)、試験片の加工は湿式で行い、水溶性切削液を使用した。実験の様子を図1に、加工条件を表1に示す。切削速度と1刃送りの2因子をそれぞれ3水準と4水準に振って組み合わせた12条件を設定し、1条件に対して2穴ずつ加工を行った。

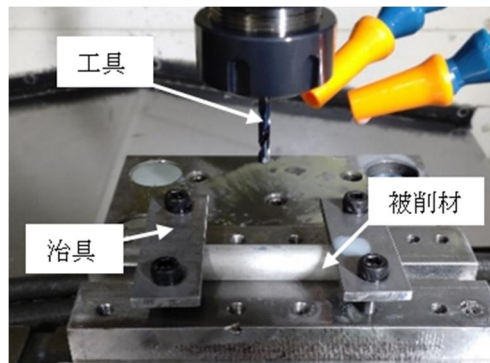


図1 実験の様子

* 栃木県産業技術センター 県南技術支援センター

表 1 加工条件

加工条件	
切削速度 [m/min]	10, 30, 50
1刃送り [mm/tooth]	0.03, 0.04, 0.05, 0.06

2. 2 ばり高さの測定

ドリル加工後の被削材を軸方向に半分に切断し、形状測定機((株)東京精密製 SURFCOM NEX031)を用いてばり高さを測定した。なお、1穴に対して2か所のばり高さを測定した。測定の様子を図2に示す。

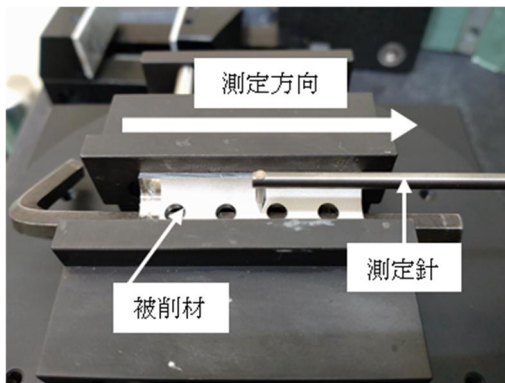


図2 ばり高さ測定の様子

2. 3 加工硬化処理

昨年度の研究結果から、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L 平板へのドリル加工において、材料内部及びドリル加工の出口面表層を加工硬化させることによって、その後のドリル加工で発生するばりを抑制できることが分かった²⁾。この結果を利用して本研究では、交差穴加工の出口面となるパイプ内径を加工硬化させることでばり抑制を試みた。

加工硬化処理の様子を図3に示す。樹脂で作製した治具に対してパイプを軸方向に挿し込み、内径面に対して工具でヘリカル加工を行った。加工は湿式で行い、水溶性切削液を使用した。使用した工具はφ6 mm 超硬ドリル((株)不二越製 AQDEXR0600)、φ10 mm 超硬エンドミル((株)MOLDINO 製 EPF4100-CS)の2種類で、エンドミルに関しては正回転と逆回転の2通りで加工を行った。加工硬化の入り具合を確認するために、加工後パイプを半径方向に切断し、図4に示すとおり断面のビッカース硬さを測定した。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、試験荷重は 0.9807 N で測定を行った。

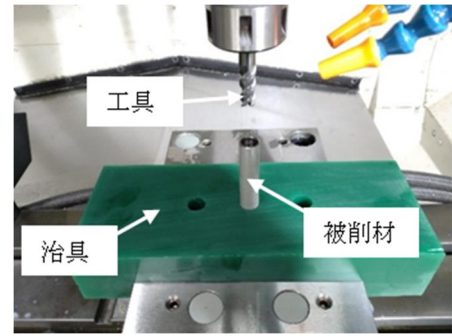


図3 加工硬化処理の様子

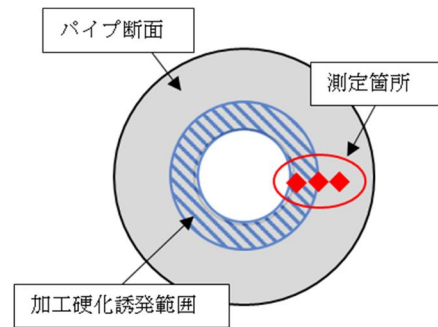


図4 硬さ測定箇所

3 結果及び考察

3. 1 ばり高さ

交差穴加工で発生したばり高さと加工条件の関係を図5に示す。なお、ばり高さは条件ごとの平均値で表している。

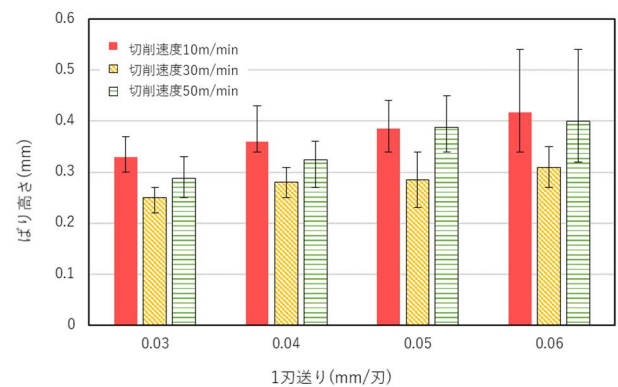


図5 ばり高さと加工条件の関係

1刃送りが大きくなるほどばり高さが大きくなった。切削速度に関しては、工具の推奨条件 (21 m/min) より少し大きい 30 m/min においてばり高さが最も小さくなった。なお、推奨条件 (切削速度 21 m/min、1刃送り 0.044 mm/tooth) で交差穴加工を行ったところ、ばり高さが 0.34 mm であったため、切削速度は推奨条件より 30 m/min の方がばり抑制に有効であるといえる。この結果を基準として次項からばりを抑制させる手法を適応させる。

3. 2 加工硬化処理による被削材の硬さ

加工硬化処理を行った被削材に対して、材料内部の硬さをビッカース硬さ試験機で測定した。加工硬化処理を行っていない被削材（以下、未処理材）と比較した結果を図 6 に示す。なお、使用した被削材の母材硬さは HV200 程度であった。

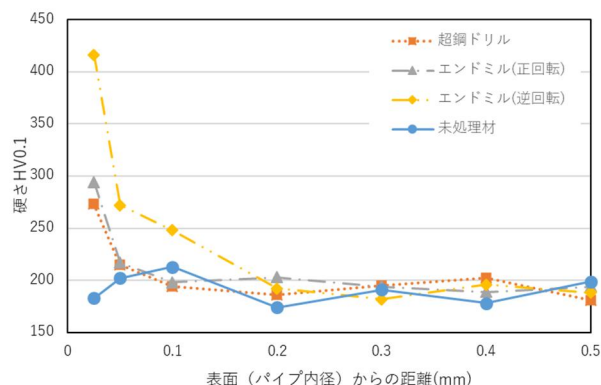


図 6 各被削材の内部の硬さ

未処理材は材料内部全体が母材硬さに留まっているのに対して、加工硬化処理を行った被削材は内径表層の硬化が確認できた。最も硬化したのはエンドミルを逆回転させて処理を行った被削材で、表面近傍は HV400 を超え、表面から 0.2 mm ほどの深さまで硬化が入った。次点で硬化が大きかったのはエンドミルを正回転させて処理を行った被削材で、表面近傍は約 HV300、硬化深さは約 0.1 mm の範囲であった。削るよりも表面を擦るような加工の方がより加工硬化が入りやすいとされているため、逆回転させ切削能力をなくしたエンドミルでの加工において加工硬化がより大きく深く入ったと考えられる。超硬ドリルに関しては、切れ刃の付いていない側面で加工を行ったため擦るような加工ではあったが、工具径が $\phi 6$ mm であり、 $\phi 10$ mm のエンドミルと比較して剛性が小さく、処理時に工具が逃げてうまく硬化が入らなかった可能性が考えられる。

3. 3 交差穴加工における加工硬化処理の影響

3. 2 の結果から、最も内径表層の硬化が確認された逆回転エンドミルで硬化させた被削材（以後、加工硬化処理材）に対して 2. 1 の交差穴加工を行い、バリ高さを測定した。加工条件について、2. 1 の 12 条件のうち表 2 に示す 4 条件に絞って交差穴加工を行った。バリ高さと加工条件の関係を図 7 に示す。

なお、1 条件に対して 2 穴ずつ加工を行った。

表 2 加工条件

加工条件	切削速度 [m/min]	1 刃送り [mm/tooth]
①	10	0.03
②	30	0.03
③	10	0.06
④	30	0.06

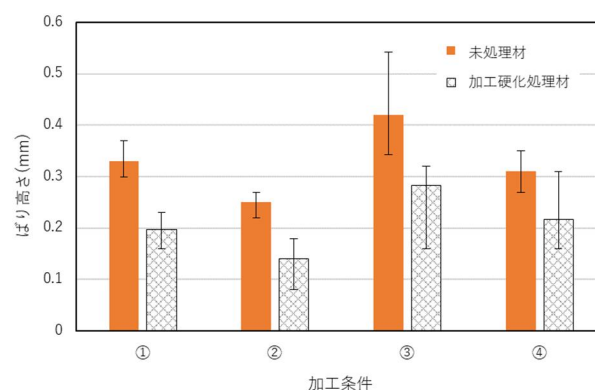


図 7 各被削材のバリ高さと加工条件の関係

加工硬化処理材のバリ高さについて、1 刃送りが大きくなるとバリが大きくなり、切削速度 30 m/min の際のバリが小さくなるという未処理材と同様の傾向が見られた。未処理材と比較すると、全加工条件においてバリ高さが小さくなった。加工硬化によって材料の強度が高まり、バリ発生時において材料が塑性変形しにくくなり切り離されやすくなったためと考えられる。最もバリ抑制の効果が得られた条件②に関して、バリ高さを未処理材の約 44% まで削減することができた。

前報²⁾のオーステナイト系ステンレス鋼平板のドリル加工において、加工出口面表層を加工硬化させることにより、その後のドリル加工で発生するばりを抑制できることが分かったが、本研究でも SUS304 パイプの交差穴加工のばりを加工硬化処理によって抑制できることを確認した。加工硬化により材料の強度が高まり、ばりが塑性変形しにくく切り離されやすくなることが考えられるため、オーステナイト系ステンレス鋼に限らず加工硬化が起こりやすい材料であれば、ドリル加工におけるばりの抑制が期待できる。

4 おわりに

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 パイプ材の交差穴加工において、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、以下の知見が得られた。

- (1) 1 刃送りを小さくすることでバリ高さが小さくなった。
- (2) 交差穴加工出口となるパイプ内径面表層に対して

加工硬化を発生させることで、その後の交差穴加工におけるばりの抑制に効果があった。

- (3) 最もばり抑制の効果が得られた条件において、ばり高さを未処理材の約 44%まで削減できた。

謝 辞

本研究を実施するにあたり多大なる御指導をいただいた東京電機大学工学部機械工学科 田村昌一教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 岡村 弘太, 西宮 紹: “栃木県産業技術センター研究報告”, No. 20, 83-86, (2023)
- 2) 岡村 弘太, 植竹 大輔, 曾田 将来: “栃木県産業技術センター研究報告”, No. 21, 55-59, (2024)
- 3) 和田 浩明, 吉田 薫: “精密工学会誌”, 66(7) 1109-1114 (2000)
- 4) 大島 郁也, 前川 克廣, 村田 良司: “精密工学会誌”, 59(1), 155-160 (1993)

経常研究

結城紬縮織に用いる強撚糸の有効活用に関する研究

金子 優* 太田 仁美* 赤羽 輝夫*

Study on the Effective Utilization of High-twist Yarn in Yuki-chijimi Weaving
KANEKO Masaru, OTA Hitomi and AKABA Teruo

結城紬縮織の緯糸に使用する強撚糸は、無撚糸に撚りをかけるためコスト高である上に、強撚糸は完全な脱色が難しいため余剰となった強撚糸を再利用することが出来ない。そこで、縮織の余剰強撚糸を利用して9パターンの縮織サンプルを試織し、強撚糸の撚り方向、引き揃え本数、織密度等の織物規格と織縮み率、通気性、厚さ、風合い等の物性値を比較検討し、結城紬生産者を対象として官能評価及び用途アンケートを実施した。その結果、縮織の余剰強撚糸が小物製品等に活用可能なことが分かった。

Key words: 結城紬縮織、余剰強撚糸、官能評価、用途アンケート

1 はじめに

結城紬が昭和 31 年に国の重要無形文化財の指定を受けた対象は平織^{※1}であったことなどから、大半を占めていた縮織^{※1}の生産比率は平織と逆転し、昭和末期からは5%未満で推移してきた。ここ数年の生産比率は10%を超え、縮織の生産数に下げ止まりの傾向が見られる¹⁾。県内の縮織生産者からは「近年の温暖化で縮織のさらっとした着心地が好感されてか、問屋から縮織の注文が増えている」との声も聞かれ、今後生産量の伸びが期待されている。

一方、縮織の緯糸に使用する強撚糸は、無撚糸に撚りをかけるためコスト高である上に、強撚糸は完全な脱色が難しいため、余剰となった強撚糸を再利用することが出来ない。縮織生産者から、「余剰強撚糸を小物製品に活用したいが、適正な糸使いと生地特性が不明なため取り組みにくい」という問題提起があった。

そこで、本研究では、縮織の余剰強撚糸を利用して新規性の縮織サンプルを試織し、それぞれの生地の物性及び表面特性を試験し、データを蓄積した。また、特徴的な縮織サンプルについて、結城紬生産者を対象に官能評価及び小物等用途についてのアンケートにより人の感性に基づく評価と照合し、小物製品等への適用について追究した。

※1 結城紬の平織と縮織は、どちらも織物組織は平織であり、使用する糸も手つむぎ糸で同じである。ただし、平織は経糸にも緯糸にも撚りをかけない無撚糸を用いるのに対して、縮織は経糸には無撚糸を用い、緯糸には強い撚りをかけた強撚糸

を用いる。

2 研究の方法

2. 1 縮織サンプルの試織

2. 1. 1 織物規格、下拵え

縮織に用いる強撚糸を活用した糸使いの検討及び製織した生地特性等の評価を行うため、緯糸に強撚糸の配設方法を変えた5パターンの縮織サンプル【A】と、緯糸に強撚糸を多数引き揃えた4パターンの縮織サンプル【B】を試織することとした。配設パターンを表1に示す。

表1 【A】【B】の配設パターン

配設パターン	サンプル
①SZ 交互	A
②SZ2 連続交互（通常の縮織）	
③SZ4 連続交互	
④SZ2 本引揃交互	
⑤SZ2 本引揃 2 連続交互	
⑥平織り、緯糸 5 本引揃え	B
⑦平織り、緯糸 10 本引揃え	
⑧平織り、緯糸 15 本引揃え	
⑨平織り、緯糸 20 本引揃え	

縮織サンプルの下拵えを次に示す織物規格で実施した。

経糸平均織度 【A】179D^{※2}
【B】178D

箆密度 58 羽/鯨寸^{※3}
箆引込み 2 本/羽

*栃木県産業技術センター 紬織物技術支援センター

通し幅 【A】 1 尺 2 寸 8 分

【B】 8 寸 9 分

整経長 【A】 5.13 m

【B】 2.28 m

打ち込み密度（目安）【A】 ①②③ 80 本^{※4}/鯨寸

【A】 ④⑤ 62 本/鯨寸

【B】 ⑥～⑨ 42～22 本/鯨寸

※2 D（デニール）は糸の太さの単位、1D は糸の長さ
9,000 m のとき 1 g

※3 鯨寸は長さの単位、鯨尺 1 寸は約 3.8 cm

※4 打ち込み密度は引き揃えた糸を 1 本と数えるこ
ととする。

2. 1. 2 引き揃え糸

引き揃え糸^{※5}を緯糸に使用し、表 1 の配設パターンに
対応する緯糸の引き揃え本数を表 2 のとおりとした。

表 2 試織に使用する引き揃え本数

配設パターン	引き揃え本数
①②③	引き揃えなし
④⑤	2 本
⑥	5 本
⑦	10 本
⑧	15 本
⑨	20 本

※5 引き揃え糸：引き揃え糸は、複数の糸をまとめ
て太くした糸

2. 2 縮織サンプルの試織

2. 2. 1 サンプル【A】の試織

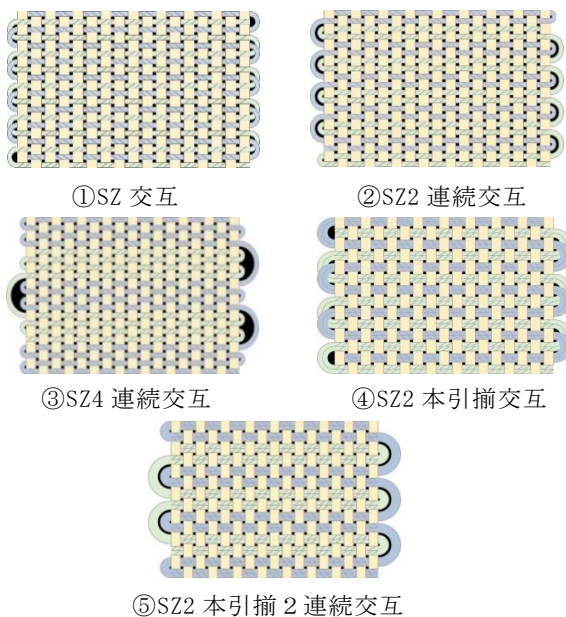


図 1 織物規格【A】の織組織図

サンプル【A】の 5 パターンの組織イメージを図 1 に
示す。

2. 2. 2 サンプル【B】の試織

サンプル【B】の各緯糸配設パターンは、通常の縮織
の【A】②と同じ方法とした。摩耗強度が高い高密度の
織物とするため、打ち込み密度は、それぞれのパターン
について打ち込める限界付近の値を目安とした。

2. 3 サンプル【A】【B】の整理仕上げ

試織した縮織サンプル【A】【B】について、次の条
件で整理仕上げを行った。

糊抜き温度 45℃

糊抜き時間 60 分

乾燥 天日乾燥

2. 4 サンプル【A】【B】の物性試験

整理仕上げを行った【A】【B】について、(1)～(6)
の方法で物性及び表面特性を比較検討した。【B】は摩
耗強度を高めるために高密度に打ち込むため通気性試
験は行わない。

(1)密度試験 JIS L 1096

(2)厚さ試験 JIS L 1096 一般織物

(3)通気性試験 JIS L 1096 A 法（フラジール形法）

(4)摩耗試験 JIS L 1096 A 法（ユニバーサル法）

(5)カバーファクター^{※6} $CF = \text{経糸密度 } T \times \sqrt{\text{（経糸織度 } DT）} + \text{緯糸密度 } W \times \sqrt{\text{（緯糸織度 } DW）}$

※6 織物素材が構成する糸で占められる割合

※7 緯糸密度は引き揃えた糸をまとめずに 1 本ず
つ数えることとする。

(6)風合い計測 表面圧縮特性 KES-FB3-A

表面摩擦特性 KES-FB4-A

風合いの用語を表 3 に示す。

表 3 風合い用語

表面圧縮特性			表面摩擦特性		
指で押す動きを機械化			手でなでる動きを機械化		
圧縮剛性 (LC)	圧縮エネル ギー (WC)	回復性 (RC)	平均摩擦係数 (MIU)	平均摩擦係数 の変動 (MMD)	表面粗さの平 均偏差 (SMD)
1 に近いほど 硬い	値が大きいほど 圧縮されやすい	100 に近いほど 回復性が良い	値が大きいほど 滑りにくい	値が大きいほど 滑らかさが 低く、ざらつ きが大きい	値が大きいほど 表面の凹凸が 大きい

2. 5 サンプル【A】【B】の官能評価

2. 5. 1 官能評価サンプルの選定

サンプル【A】【B】の中から、官能評価に使用する
サンプルとして、通常の縮織規格に相当する②及び糸使
い及び試験データに差があるものをそれぞれ 2 点ずつ
選定し、合計 5 点を対象とした。

2. 5. 2 官能評価

官能評価に使用したサンプルは、【A】経 20 cm×緯
20 cm、【B】経 8 cm×緯 20 cm とした。評価者対象者
は、県内の結城紬生産者 10 名とした。評価手順は、研
究者が各サンプルを 1 枚毎暗箱に入れ、評価者は暗箱に

手を入れ、中のサンプルを触覚により評価した。表4に7項目の評価用語と評価レベルの5段階を示す。5サンプルの評価順は、通常の縮織規格である②を基準とするため最初に行った。

表4 官能評価用語と評価レベル

薄い	-2・-1・0・1・2	重い
ざらつく	-2・-1・0・1・2	なめらか
かたい	-2・-1・0・1・2	やわらかい
しっとりする	-2・-1・0・1・2	さらっとする
弾力がない	-2・-1・0・1・2	弾力がある
でこぼこする	-2・-1・0・1・2	平ら
しわのある	-2・-1・0・1・2	しわのない

2. 6 小物等用途についてのアンケート

官能評価に使用した同一の5サンプルを使用し、同一の評価者10名を対象とし、小物等の用途についてのアンケートにより主観評価を行った。

アンケート方法は、評価者がサンプルを視覚と触覚で確認し、表5に示す品目の中から該当品目を選択し、品目に含まれない用途については自由記載とした。

表5 小物等用途についてのアンケート調査内容

小物（7点） バッグ、カードケース、名刺入れ、小銭入れ、スマホカバー、アームカバー、その他（自由に記載）
衣料（4点） ショール・マフラー、スカーフ、ネクタイ、服地（自由に記載）
インテリア関連（自由に記載）
その他全般（自由に記載）

3 結果及び考察

3. 1 縮織サンプルの試織

3. 1. 1 引き揃え糸の作製

実際に作製した引き揃え糸を図2に示す。

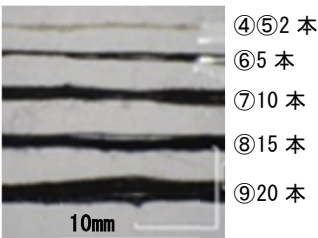


図2 作製した引き揃え糸

3. 1. 2 サンプル【A】の試織

試織したサンプル【A】5種類を図3に示す。製織は紬織物製織員が担当し、打ち込み密度は、目安値を目標に細かく測定しながら行い、同程度に織り上げた。

3. 1. 3 サンプル【B】の試織

試織したサンプル【B】4種類を図4に示す。製織は紬織物製織員が担当し、製織時の打ち込み密度は、目安値を目標に細かく測定しながら行い、同程度に織り上げた。

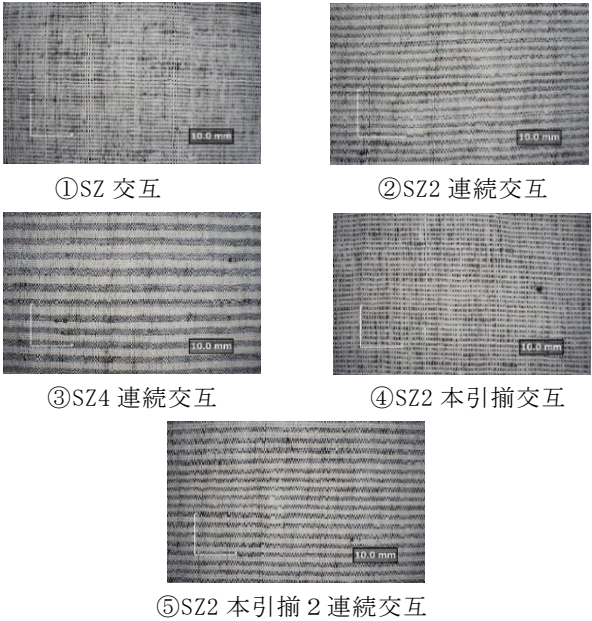


図3 配設方法を変えた5サンプル【A】

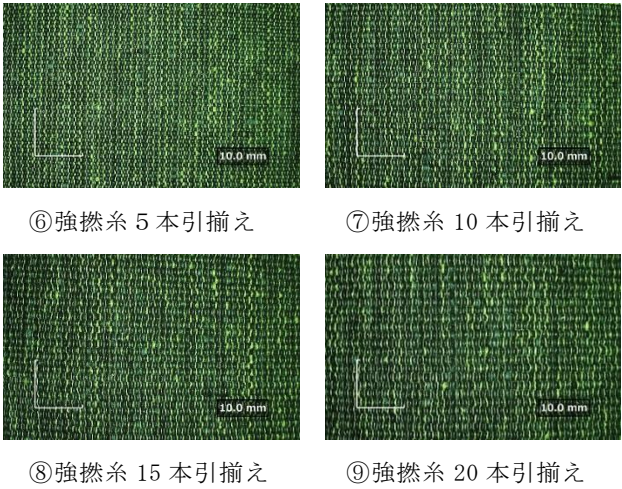


図4 強撚糸を多数引き揃えたサンプル【B】

3. 2 縮織サンプルの物性試験

3. 2. 1 サンプル【A】の物性試験

配設方法を変えた5種類の縮織サンプル【A】の物性試験結果を表6に示す。経糸密度変化率は、整理仕上げ

表6 【A】の物性試験結果

試料名	経糸密度変化率(%)	緯糸密度変化率(%)	織幅縮率(%)	通気度	厚さ(mm)	摩耗強さ(EL)	カバーファクター
①	7.5	-2.3	6.3	69.5	0.36	34	1912
②	6.9	-2.0	7.8	67.2	0.36	44	1855
③	7.5	-2.1	8.0	59.7	0.39	38	1911
④	5.6	-2.0	8.4	40.1	0.36	59	2222
⑤	7.1	-2.5	7.2	34.5	0.41	50	2301

通気度単位：(cm³/(cm²・s))

前後の 1inch 間の密度の変化量から計算し、織幅縮率は生地幅の変化量から計算した。ばらつきがあるが、5 サンプルとも縮率は 5.6～8.4%の範囲内となった。緯糸密度変化率は、-2.0～-2.5%の範囲内となった。

測定値から、次のことが明確になった。①と③は通常の縮織に近いが、①は、やや生地が薄く、通気性が高く、摩耗に弱い。④は、やや耐摩耗性が高い。⑤は、やや生地が厚く、通気性が低く、摩耗に強い。④と⑤はやや通気性が低く、カバーファクターが大きい。

④が⑤より摩耗強さが大きくなった理由は、引き揃え糸を交互に配設したことで生地組織が安定したと推測する。

3. 2. 2 サンプル【B】の物性試験

引き揃え数を変えた 4 種類の縮織サンプル【B】の物性試験結果を表 7 に示す。引き揃え数が増えると織幅縮率が大きくなった理由としては、経糸と緯糸の交差数減少に伴い拘束力が低下するため、整理仕上げにより強撚の緯糸の縮む力が作用した結果と考える。引き揃え数が多い場合はカバーファクターが大きくなるため、生地が厚く、摩耗に強い傾向が表れると考えられる。緯糸密度は、緯糸変化率の推移から、引き揃え数 15 本までは線形状に増加するが、20 本では増加率が減少し、また製織時の打ち込みが入りにくい状態であったことから、20 本程度よりも多い打ち込み本数の場合は緯糸密度が増加しにくくなると考えられる。

表 7 【B】の物性試験結果

試料名	経糸密度 変化率(%)	緯糸密度 変化率(%)	織幅縮率 (%)	厚さ (mm)	摩耗強さ (回)	カバー ファクター
⑥	1.5	-3.6	2.3	0.54	65	2898
⑦	1.5	-3.8	2.1	0.67	59	3646
⑧	2.1	-3.9	2.9	0.74	70	4232
⑨	2.1	-2.6	3.3	0.85	74	4718

3. 3 サンプル【A】【B】の風合い試験

表 8 風合い試験結果

サン プル	バタ ーン	圧縮特性			表面特性		
		LC	WC	RC	MIU	MMD	SMD
A	①	0.30	0.0038	53.0	0.11	0.026	8.7
	②	0.36	0.0040	50.7	0.23	0.042	8.4
	③	0.38	0.0036	52.2	0.10	0.020	9.4
	④	0.31	0.0056	53.0	0.10	0.012	9.3
	⑤	0.37	0.0043	50.0	0.10	0.014	6.8
B	⑥	0.33	0.0049	53.8	0.10	0.020	18.4
	⑦	0.31	0.0046	55.5	0.15	0.021	13.9
	⑧	0.39	0.0053	51.0	0.15	0.017	15.7
	⑨	0.35	0.0039	53.5	0.21	0.019	20.0

サンプル【A】【B】の風合い試験の結果を表 8 に示す。比較的③と⑧の生地が硬く(LC 大)、⑦の回復性(RC 大)が高い。また、比較的②と⑨の生地が滑りにくい(MIU 大)ことが分かった。

3. 4 選定サンプルの官能評価結果

評価者 10 名による選定サンプルの官能評価平均値を図 5 に示す。⑨は、生地が厚いと評価され、物性試験結果と一致した。また、ざらつき、かたさ、でこぼこ感が高い評価となり、風合い試験結果のでこぼこ感(SMD)と一致した。⑥は、比較的に厚みがあると評価され、他の項目は平均的であった。引き揃え数は、1 本、2 本、5 本では官能評価では顕著な差は出ず、20 本では差が出ることが分かった。

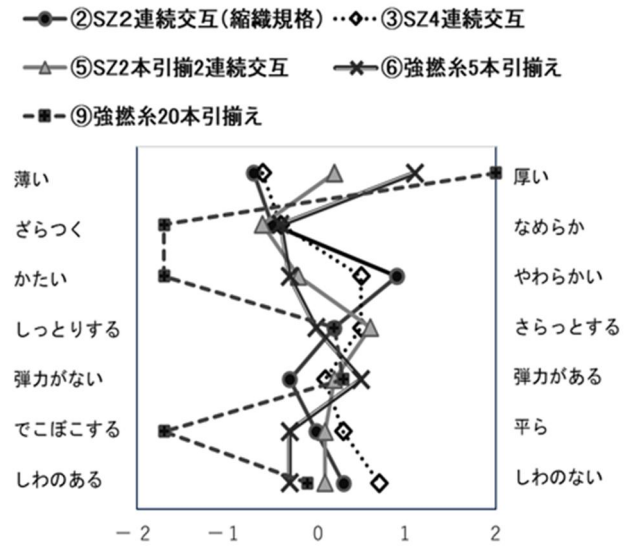


図 5 選定サンプルの官能評価結果

選定サンプルの官能評価結果は生地の硬さや肌触りに関連すると考えられ、特性を生かした製品開発に活用が期待できる。

3. 5 選定サンプルの用途アンケート結果

表 9 選定サンプルの用途アンケート結果

	②	③	⑤	⑥	⑨
バッグ	1	1	2	5	9
カード ケース	3	5	2	5	3
名刺入れ	4	4	2	6	3
小銭入れ	2	1	2	8	5
スマホ カバー	0	1	1	4	2
アーム カバー	4	3	3	1	0
その他の 小物	0	0	0	0	0
ショール・ マフラー	4	6	4	1	0
スカーフ	3	2	4	0	0
ネクタイ	3	3	3	2	2
服地	3	4	3	3	4
インテリア 関連	4	2	3	4	5
その他全 般の商品	1	2	0	0	0

選定サンプルの用途アンケート結果を表 9 に示す。② SZ2 連続交互（通常の縮織）は、名刺入れ、アームカバーの小物用途が多く、ショール・マフラー等の衣料用途

も多かった。また、インテリア関連用途に向くとの回答も多かった。③SZ4 連続交互は、カードケース、名刺入れの小物用途が多く、ショール・マフラー、服地の衣料用途も多かった。⑤SZ2 本引揃 2 連続交互は、小物用途よりもショール・マフラー、スカーフ等の衣料用途が多かった。⑥強撚糸 5 本引揃は、小銭入れ、名刺入れ等小物用途全般に向くとの回答が多かった。⑨強撚糸 20 本引揃は、バッグ、小銭入れの小物用途の他に、クッションカバーのようなインテリア製品や厚手の服地に向くとの回答が多かった。

4 おわりに

結城紬縮織の緯糸に使用する強撚糸の撚り方向、引き揃え本数、織物密度等の織物規格と織縮み率、厚さ等の生地特性について検討するとともに、生地の触覚による官能評価や小物等用途についてのアンケート調査を行い、次の知見を得た。

(1) 結城紬縮織の余剰強撚糸を使用して、9 パターン

の織物組織を試織し、それぞれの物性を明らかにし、このうち 5 パターンについては生産者の官能評価及びアンケートにより物性との関係を明らかにした。

- (2) 配設方法を変えたサンプル A の各パターンは通常の縮織と特性に大きな差はなかったが、強撚糸を 2 本引き揃えて交互に配設したパターンは、比較的耐摩耗性が高まることが分かった。
- (3) 引き揃え数を増やしたサンプル B の 4 パターンは、生地が厚く、耐摩耗性も高くなることが分かった。耐摩耗性を要する厚手の製品（小物、服地、クッションカバー等）に活用が期待できる。
- (4) 試織サンプルの特性を明確にすることができ、縮織の余剰強撚糸は、各特性を生かすことで様々な小物製品等に活用可能なことが分かった。

参考文献

- 1) “産業情報とちぎ”, No. 411 (1), 19-20, (2024)

経常研究

低温焼成可能な坯土及び釉薬に関する研究（第1報）

星 佳宏* 磯部 大我* 小林 渡*

Study on Low-temperature Firing Clay and Glaze (1st Report)
HOSHI Yoshihiro, ISOBE Daiga and KOBAYASHI Wataru

低温焼成可能な坯土及び釉薬の開発のため、益子水ひ土に4種類の融剤を配合し、焼成温度1200℃以下で焼成可能な坯土を検討した。その結果、益子水ひ土に対してドロマイトは7%、ネフェリンサイアナイトは9～25%の範囲の配合でロクロ成形可能な成形性を有し、1200℃焼成で吸水率5%を下回り、従来温度（1250～1280℃）で焼成された益子水ひ土より焼き締まった。さらに、益子水ひ土以下の吸水率を示したドロマイト7%配合坯土及びネフェリンサイアナイト17%配合坯土の1200℃焼成時の曲げ強度は1280℃焼成の益子水ひ土と比べ、同等以上であった。

Key words: 坯土、低温焼成、ロクロ成形、ドロマイト、ネフェリンサイアナイト

1 はじめに

陶磁器製造の焼成工程はガスや電気など多くのエネルギーを必要とし、本焼成時は最も二酸化炭素を排出する。また、近年はガス・電気料金が高騰しており、県内産地事業者から焼成コスト低減のニーズがある。

他産地では、陶磁器製造工程において従来焼成工程の低温化による脱炭素化の取り組みや低温焼成に対応した釉薬及び坯土を使用した商品の開発^{1)~4)}等、製陶業界においても脱炭素化・カーボンニュートラルの動きが活発になってきたが、県内産地では低温焼成に対応した坯土や釉薬は実用化されておらず、具体的な取り組みの動きは見られない。

県内の製陶事業者のほとんどを占める益子焼産地では、成形はロクロ成形が主であり、伝統的な坯土や釉薬を用いた際の本焼成温度は1250～1280℃が一般的である。土鍋などの耐熱陶器の焼成温度は1200℃程度であり、ロクロ成形可能な成形性を有し、1200℃で焼成可能な坯土ができれば、従来と同様にロクロ成形した陶器に加えて耐熱陶器が同時に焼成でき、県内産地の商品の多様化及び焼成コストの低減も見込める。

そこで、本研究では県内産の坯土に焼成温度を下げる融剤の配合を検討し、ロクロ成形性を有し、焼成温度1200℃以下の焼成に対応した坯土の開発を行った。

2 研究の方法

2.1 原料

原料には県内産坯土として、益子焼協同組合で販売し

ている益子水ひ土を乾燥後、乳鉢処理したもの（益子水ひ土粉末）を用いた。配合する融剤は市販の粉末原料の石灰石（ CaCO_3 ）、ドロマイト（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）、福島長石、ネフェリンサイアナイトを前処理せずそのまま用いた。

石灰石とカルシウムとマグネシウムを主成分とする鉱物であるドロマイトは、石灰質陶器（焼成温度1100～1200℃）で使用されており⁵⁾、県内でも多く産出されている。

長石は、低温でガラス相の生成を進め、液相焼結を促進させる⁶⁾。県内でも入手可能な長石系原料として、福島長石（カリ長石）、ネフェリンサイアナイト（ソーダ長石）を用いた。

2.2 坯土の配合検討

配合により吸水率を低下させ、ロクロ成形性を有する融剤を選定するために、吸水率測定とロクロ成形性評価を行った。益子水ひ土粉末に対して石灰石、ドロマイト、福島長石、ネフェリンサイアナイトの4種類を表1のとおり配合比（内割）で混合し、適量の水を加えて坯土を調合した。これらを1200℃で焼成し吸水率測定を行った。坯土の焼き締まりを判断する吸水率の指標は、1250～1280℃焼成時の益子水ひ土同程度の5%とした^{7)・8)}。

表1 融剤の配合比

試料	配合比（%）※乾燥重量比
石灰石	5, 7, 10
ドロマイト	5, 7, 9, 11, 13, 15
福島長石	5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 20, 25
ネフェリンサイアナイト	5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 20, 25

* 栃木県産業技術センター 窯業技術支援センター

2. 3 坯土の焼成試験

低温焼成可能な温度帯を調べるために、1180℃、1190℃、1200℃、1210℃、1220℃で焼成試験を行った。

2. 4 測定・評価方法

吸水率は、JISA1509-3 の試験方法に準拠して測定した。試験体は、石膏型を用いて 30×120×10 mmのタイル型に成形した焼成体を用いた。まず、試験体を乾燥機内において 110℃を 3 時間保持し、デシケータの中で試験体が常温になるまで放置した後、質量を測定し、乾燥質量とした。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算出した。

坯土のロクロ成形性評価は、窯業技術支援センターの窯業職職員 2 名が湯呑を電動ロクロで成形し実施した。

全収縮率は、吸水率測定と同様に 30×120×10 mmのタイル型に成形した試験体に 100 mm の印をつけて室温で乾燥した後、各焼成温度での焼成後の長さを焼成長(mm)として、全収縮率(%)を算出した。

曲げ強度は、JIS A 1509-4 の試験方法に準拠して測定した。試験体は 30×60×5 mm の金型を用いて作製した。焼成試験体 5 個について曲げ試験機(株式会社津製作所 AGS-10kNX、3 点曲げ治具付)を用いて測定し、その平均値とした。

結晶構造解析は、試料を乳鉢で粉碎後、X 線回折装置(リガク株式会社 UltimaIV)を用いて分析した。

試験体の焼成は超高速昇温電気炉(株式会社モトヤマ SC-2035D)を用いた。昇温速度は 120℃/h、最終温度を 30 分保持し、大気雰囲気下で焼成した。

3 結果及び考察

3. 1 坯土の配合検討

図 1 に益子水ひ土に各融剤を配合した坯土焼成体の吸水率測定結果を示す。

石灰石配合区は配合比が高くなるにつれて吸水率が増加したが、これは焼成時の素地の膨化によるものと考えられる。ドロマイト配合区は配合比が高くなるにつれ、吸水率が低下した。

長石系原料について、福島長石配合区は吸水率の低下があったが、全ての配合比で吸水率 5%以上であった。ネフェリンサイアナイト配合区は福島長石配合区に比べて吸水率が低下した。

ドロマイト配合区は 7%以上の配合比、ネフェリンサイアナイト配合区は 9%以上の配合比で指標となる吸水率 5%を下回り、従来温度で焼成した益子水ひ土より焼き締まることが分かった。

また、福島長石とネフェリンサイアナイトの吸水率の

比較から、長石系原料では、カリウムを多く含むカリ長石よりナトリウムを多く含むソーダ長石のほうが焼き締まることが推察された。

吸水率測定の結果、吸水率 5%以下となる融剤は、ドロマイトとネフェリンサイアナイトであったため、以後のロクロ成形性評価はこれら 2 種について行った。

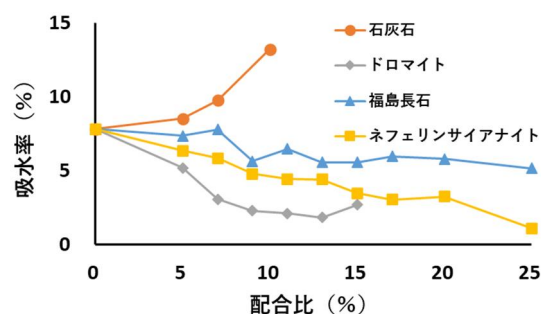


図 1 吸水率測定結果

続いて、ドロマイト配合区及びネフェリンサイアナイト配合区のロクロ成形性評価結果を表 2 に示す。

ドロマイト配合区は 9%配合ではロクロ成形時に広げた際にヒビが入り易く、7%以下の配合でロクロ成形が可能であった。また、ネフェリンサイアナイト配合区は 30%配合で粘りが無くカンナで削り難いという評価があり、25%以下の配合でロクロ成形可能であった。

吸水率測定とロクロ成形性評価の結果から、ドロマイトについてはロクロ成形可能で吸水率 5%以下であった 7%配合、ネフェリンサイアナイトについてはロクロ成形可能でドロマイト 7%の吸水率 3%と同程度の吸水率であった 17%配合の 2 条件を選定し、以後の坯土の焼成試験を行った。

表 2 ロクロ成形性試験結果

(○：ロクロ成形可能、△：ロクロ成形不良)

配合比 (%)	ドロマイト	ネフェリンサイアナイト
5	○	○
7	○	○
9	△	○
15	-	○
17	-	○
20	-	○
25	-	○
30	-	△

3. 2 坯土の焼成試験

ドロマイト 7%配合坯土とネフェリンサイアナイト 17%配合坯土の焼成試験結果を表 3、表 4 に示す。

全収縮率はドロマイト 7%配合坯土とネフェリンサイアナイト 17%配合坯土で 1280℃焼成の益子水ひ土と同程度の値（12～13%程度）であり⁹⁾、1200℃程度付近の温度帯の焼成でも焼き締まることが確認された。

吸水率はドロマイト 7%配合坯土で 1190～1220℃の焼成温度帯、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土で 1200～1220℃の焼成温度帯で 5%より低く、これらの温度帯では従来の焼成温度（1250～1280℃）の益子水ひ土より焼き締まることが分かった。

また、焼成温度 1180℃のドロマイト 7%配合坯土とネフェリンサイアナイト 17%配合坯土の吸水率が 1250～1280℃焼成の益子水ひ土の吸水率 5%を上回り、1180℃以下では坯土の焼き締まりが不十分と判断したため、1180℃より低い温度の焼成試験は実施しなかった。

以上の結果から、ドロマイト 7%配合坯土は 1190～1220℃の焼成温度帯、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土は 1200～1220℃の焼成温度帯で従来の益子水ひ土以上に焼き締まることが確認され、本研究で目標とする 1200℃での焼成が可能であることが示唆された。

表 3 焼成試験結果（ドロマイト 7%配合坯土）

焼成温度(℃)	全収縮率(%)	吸水率(%)
1220	12.1	2.4
1210	13.0	2.2
1200	12.0	2.8
1190	12.4	4.9
1180	11.4	9.6

表 4 焼成試験結果（ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土）

焼成温度(℃)	全収縮率(%)	吸水率(%)
1220	13.4	3.3
1210	12.9	3.7
1200	12.7	4.0
1190	12.9	5.1
1180	12.2	6.0

焼成温度 1200℃におけるドロマイト 7%配合坯土、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土及び益子水ひ土（1200℃、1280℃）の曲げ強度測定結果を表 5 に示す。

曲げ強度はドロマイト 7%配合坯土、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土ともに 1200℃焼成時の益子水ひ土以上であった。また、1280℃焼成の益子水ひ土と比べ

て、ドロマイト 7%配合坯土はほぼ同等、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土は 5.6 MPa 高かった。

一般的に吸水率が低くなると、曲げ強度も上昇するが、ドロマイト 7%配合坯土はネフェリンサイアナイト 17%配合坯土と比べて、吸水率は低い、曲げ強度は高かった。この点については、ドロマイトは焼成時に炭酸化合物の分解による二酸化炭素ガスの発生⁶⁾が発生するため、試験体に空隙が発生し、曲げ強度が低くなったと考えられる。

表 5 曲げ強度測定結果

	曲げ強度 (MPa)
ドロマイト 7% (1200℃)	24.6
ネフェリンサイアナイト 17% (1200℃)	30.4
益子水ひ土 (1200℃)	22.2
益子水ひ土 (1280℃)	24.8

続いて、益子水ひ土（1280℃）、ドロマイト 7%配合坯土（1200℃）及びネフェリンサイアナイト 17%配合坯土（1200℃）の焼成体の X 線回折パターンを図 5 に示す。

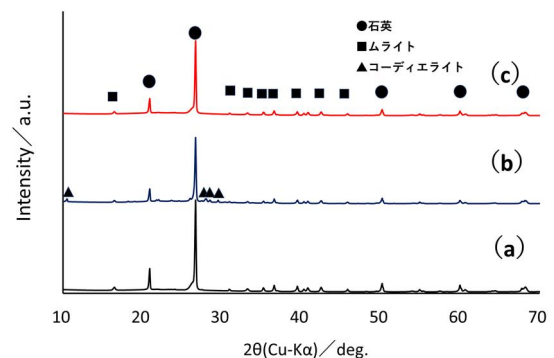


図 5 焼成体の X 線回折パターン

(a) 益子水ひ土（1280℃）(b) ドロマイト 7%配合坯土
(c) ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土

ドロマイト 7%配合坯土は石英に加え、ムライトと熱膨張係数が低く耐熱衝撃性の良いコーディエライトの生成が確認された。また、ネフェリンサイアナイト 17%配合坯土は益子水ひ土同様に、石英、ムライトのピークが確認され、焼成時に益子水ひ土と同様の結晶相変化をすることが分かった。ドロマイトとネフェリンサイアナイトどちらにおいても、冷め割れの原因となるクリストバライトの生成は確認されなかった。

結晶構造解析結果から、ドロマイトとネフェリンサイアナイトともに 1200℃焼成時の主な結晶相の変化は 1280℃焼成の益子水ひ土と同様であると推察された。

4 おわりに

低温焼成可能な坯土及び釉薬の開発のため、益子水ひ土に融剤4種類配合の検討を行い、物性評価及びロクロ成形性評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) ドロマイト及び長石の配合により、坯土の吸水率が低くなり、無配合の益子水ひ土より焼き締まった。また、長石については、カリ長石よりソーダ長石のほうが焼き締まることが分かった。
- (2) 益子水ひ土にドロマイト7%以上、ネフェリンサイアナイト9%以上を配合した坯土は、焼成温度1200℃で指標となる吸水率5%を下回り、従来温度(1250～1280℃)で焼成した益子水ひ土より焼き締まった。
- (3) ロクロ成形性評価について、ドロマイトは7%以下の配合でロクロ成形可能であった。また、ネフェリンサイアナイトは25%以下の配合でロクロ成形可能であり、ドロマイトに比べて広い範囲の配合でロクロ成形可能であった。
- (4) ドロマイト7%配合坯土は1190～1220℃の焼成温度、ネフェリンサイアナイト17%配合坯土は1200～1220℃の焼成温度で、従来温度(1250～1280℃)で焼成した益子水ひ土以上に焼き締まった。
- (5) 1200℃で焼成したドロマイト7%配合坯土、ネフェリンサイアナイト17%配合坯土ともに1200℃焼成の益子水ひ土以上であった。また、1280℃焼成の益子水ひ土と比べても、1200℃焼成のドロマイト7%配合坯土はほぼ同等、ネフェリンサイアナイト17%配合坯土は5.6 MPa高かった。

これらの結果から、益子水ひ土にドロマイト、ネフェリンサイアナイトを配合することで、本研究の目標であるロクロ成形性を有し、焼成温度1200℃以下の焼成に対応した坯土となることが示唆された。

参考文献

- 1) 河野ら：“長崎県窯業技術センター研究報告”，55，18-22，(2007)
- 2) 新島ら：“三重県科学技術振興センター工業研究部 研究報告”，32，36-41，(2008)
- 3) 吉田ら：“茨城県工業技術センター研究報告”，40，33-36，(2012)
- 4) 吉田ら：“茨城県工業技術センター研究報告”，41，37-40，(2013)
- 5) 素木洋一：“窯業協会誌”，72，667-672，(1964)
- 6) 樋口わかな：“やきものの科学”，誠文堂新光社，(2021)
- 7) 仁平ら：“栃木県産業技術センター研究報告”，6，121-126，(2009)
- 8) 仁平ら：“栃木県産業技術センター研究報告”，7，99-102，(2010)
- 9) 山ノ井ら：“栃木県産業技術センター研究報告”，16，78-80，(2019)



令和 6（2024）年度

栃木県産業技術センター研究報告

第 2 2 号

Reports of Industrial Technology Center of Tochigi Prefecture

No. 22（2025）

発 行 令和 7（2025）年 9 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

T E L（028）670-3391

F A X（028）667-9430

VERY 
GOOD
LOCAL

とちぎ