

Fusion360 を活用した木材 3 次元自動加工の検討*

内藤 廉二**、有賀 康弘**

手作業を主とした県内の木工製品製造業者が生産の効率化をはかるためには、CNC 加工機を活用した 3 次元自動加工の導入が有用と思われる。そこで、CAD/CAM/CAE ソフトウェアである Fusion360 を活用し、NC ルーターによる木製品の 3 次元自動加工について検討した。多曲面を有する木製スプーンをモデルとし、検討した結果、①自由曲面で構成された 3D モデリングが可能 (3DCAD 機能)、②木材の同時 3 軸自動加工における加工効率や仕上げ面性状に適したツールパスが設定可能 (CAM 機能)、③CAD、CAM を同ソフトウェア上で一元的に管理するため、効率的な設計・シミュレーション加工が可能、であったことから、木製品の 3 次元自動加工に活用できることが分かった。

キーワード：3 次元自動加工、3D スキャン、CNC 加工機、Fusion360、3DCAD、CAM、木製スプーン

Study on 3D automatic processing of wood using Fusion 360

NAITOU Yasuji, ARUGA Yasuhiro

key words : 3D automatic machining, 3D scan, CNC processing machine, Fusion360,3DCAD,CAM,Wooden spoon

1 はじめに

近年、環境や安全性への配慮から木材のような天然素材を用いた製品が見直されてきている。木製カトラリーや木製雑貨など小木工品類の人気も高まっており、岩手県内にもこれらを製造する木工製品製造業者は多い。しかし、手加工による事業者が多いため、生産数に限度があり作業手間と価格のバランスをとることが困難である。特に、スプーン等のように曲面を多用した形状は、製品 1 個当たりの手加工工数が多い。このような製品加工の作業効率化、精度の向上、労力の軽減などをはかるには、CNC 加工機の活用が有用と思われる。そこで、令和元年度には県内で生産される漆塗スプーンの木地加工を例とし、木地の 3D データ化と加工設計、3 次元自動加工までをシームレスに行う手法を検討した¹⁾。3DCAD は Rhinoceros ver5.0 (McNeel 社)、CAM は CraftMILL V10 (C&G SYSTEMS inc.) を使用した結果、当センターが保有している木材加工用 NC 自動加工装置(株式会社平安コーポレーション製 NC-151MC1508、NC 装置：FANUC Series 15-MA) (以下 NC ルーター) (図 1) を用いた 3 次元自動加工を行うことができた。

本研究ではさらに CAD/CAM/CAE ソフトウェア Fusion360 (オートデスク株式会社) と、当センターが保有している NC ルーターによる木製品の自動加工について試験した。Fusion360 は近年利用者が多いソフトウェアで、安価ながら高額な CAD に搭載されるモデリングの履歴機能や、フォーム機能 (自由曲面の作成機能) を備え、3DCAD の経験が無く、新規に導入する事業者等にも扱いやすいイン

ターフェースを有する。また、CAM 機能は多様なツールパスが選択可能であり、CAD・CAM がソフトウェア上で並列に機能するため、作業中の形状変更にてデータの移動が不要な点など、作業の効率化に有効であると考えた。



図 1 NC ルーター

2 試験方法

NC ルーターによる 3 次元自動加工を行うには加工する製品の 3D データが必要である。しかし、木材加工分野では 3D データがない既製品や、手加工による試作モデルからの自動加工のニーズも想定される。そこで、既製品 (木製スプーン) を 3D スキャンにより 3D データ化し、3 次元自動加工する工程を検討した。試験に用いた木製スプ

* 令和 2 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 産業デザイン部

ーンは完成形をイメージしつつ、実際の使用感と手触りを確認しながら木地加工業者と同様に手作業で製作した。材料はMDF (中密度繊維板) を用いた。木製スプーンの外観を図2、図3に示す。



図2 木製スプーン (材料:MDF)

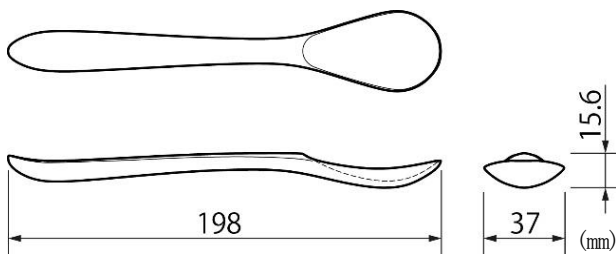


図3 木製スプーン

2-1 3D スキャンと 3DCAD によるモデリング

3D デジタイジング装置 (Carl Zeiss 社、COMET6_16M) を用いて木製スプーンを 3D スキャンした。3D スキャンの条件を表1に示す。取得したデータに基づいて以下によりモデリングを行った。

(1) 木製スプーンの 3D モデリング

スキャンデータは手作業による形状の歪み、傷等がそのまま反映されており、修正する必要がある。しかし、STL 形式のポリゴンデータの修正は困難なため 3D モデリングを行った。スキャンデータを Fusion360 の CAD 画面に配置し、同じ作業空間座標で形状をトレースしながら 3D モデリングした。

3D モデリングには Fusion360 のフォーム機能 (スカルプト機能、T-スプラインオブジェクトによるサーフェスマデリング) を用いた。フォーム機能は、粘土を捏ねるように直感的に変形させながら自由曲面で構成された形状を整える機能である。

表1 3D スキャンの条件

レンズ (mm)	測定範囲 (mm)			点間距離 (mm)	1ショット 精度 (mm)	測定点数 (点)
	X	Y	Z			
250	274	193	160	0.056	±0.012	4896 × 3264 (約1600万)

(2) 加工用モデルの設計

(1) で得られたモデリングデータ (3D データ) をもとに、被削材から CNC 加工を行うための加工用モデルを Fusion360 の CAM で設計した。スプーンは自由曲面で構成されているため、加工はオモテ面、ウラ面の2方向から行うこととした。また、加工終了時にスプーンが抜け落ちないように、厚さ 3 ミリのサポートを設計した。被削材は厚さ 21 mm × 幅 120 mm × 長さ 310 mm のクリ材とし、木ネジで治具盤に固定する設計とした (図4)。

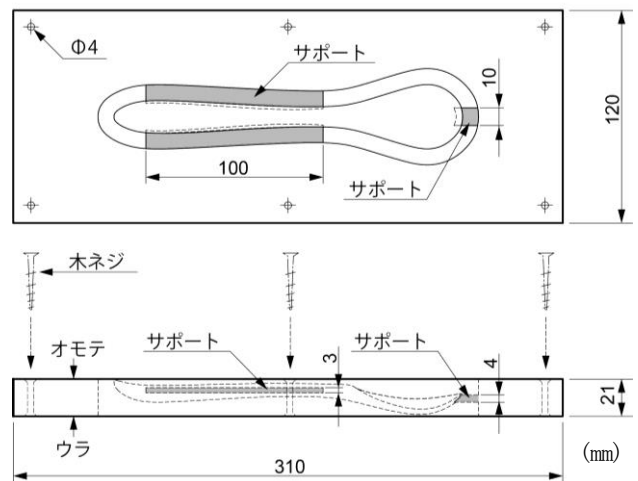


図4 加工用モデルの設計図

2-2 CAM による NC データの作製

加工用モデルに対して Fusin360 の CAM により、工具及び同時 3 軸加工のツールパスを設定した。これらについては製品化、量産化を念頭に、以下について留意した。

(1) 加工時間

スプーンの自動加工後のサポート切り離しと研磨作業を含め、スプーン 1 本あたりの加工時間を 20 分と設定し、そのうち自動加工に要する時間は 10 分を目標とする。

(2) 荒加工

荒加工は刃物径 8 mm、刃物径 16 mm のラフィングビット (ストレートエンド) を用いて加工時間の短縮をはかる。

(3) 仕上加工 (スプーン全体)

曲面に沿ったツールパスでは NC ルーターは自動的に加工速度を減速させ、曲率が大きいほど遅くなる。加

工時間を短縮するにはツールパスの曲率はなるべく小さい方がよい。スプーンは、長手方向に曲率の低い曲面で構成されることから、常に長手方向の走査線加工を基本とする。

(4) 仕上加工 (つぼ)

つぼ (ものを掬うための凹状になっている部分) は自動加工後の研磨作業がしにくいことから、刃物径 30 mm のボールエンドビットを用いて最終仕上げに近い仕上面性状を目指す。

(5) サポートの加工

サポートは定盤面に対し平行な板状で、仕上面性状は粗くても問題ないことから、ラフィングビット (ストレートエンド) を用いて加工時間の短縮をはかる。

(1)~(5)を考慮し、NC ルーターによる自動加工の工程を図5のように、使用刃物を表2のように設定した。ツールパスはFusion360のシミュレーション機能を活用し、刃物の動作、仕上がり形状、加工時間を確認しながら設定した。ツールパスの設定後、加工工程ごとにNCデータを生成した。

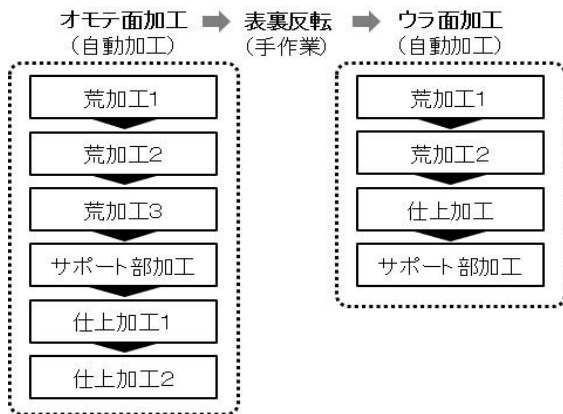


図5 加工工程

表2 使用刃物

刃物の種類	刃物径(mm)	刃長(mm)
ラフィングビット(フラットエンド)	8	30
	16	60
ボールエンドビット	8	20
	30	30

2-3 固定治具の製作と被削材の固定

被削材の固定治具を設計した。治具は厚さ 21 mm のシナ合板を使用し、位置決めのコマ木を差し込むために深さ 10 mm の溝を施した (図 6)。溝は刃物径 12 mm のストレートビットを用いて NC ルーターにより加工した。

被削材は完成した固定治具により図 7 のように NC ルーター定盤中央に位置決めし、木ねじで固定した (図 7、図 8)。

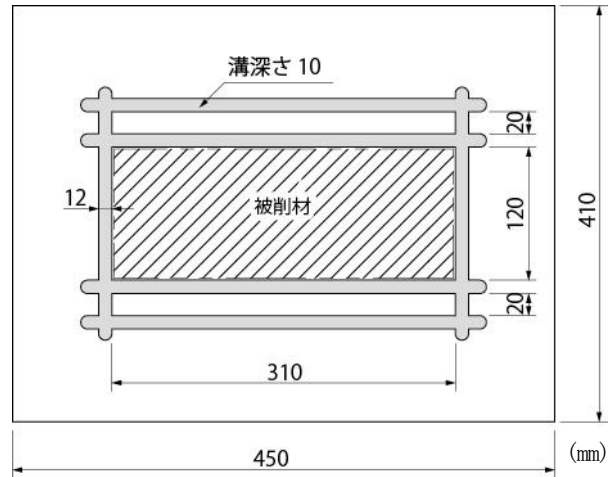


図6 固定治具の設計

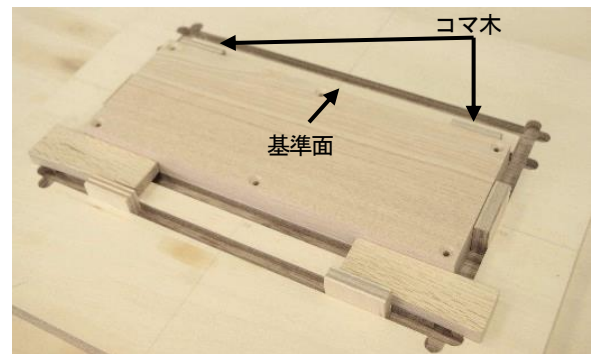


図7 被削材の位置決め方法



図8 被削材の固定方法

2-4 NC ルーターによる自動加工試験

2-2 で得た、NC データをデータ転送装置 (タクテックス株式会社、P-530) から、NC ルーターへ転送しながら、自動運転 (DNC 運転) による同時 3 軸自動加工を行った。

3 結果および考察

3-1 3D スキャンと 3DCAD によるモデリング

(1) 木製スプーンの 3D モデリング

Fusion360 のフォーム機能を使うことによって、スキャンしたポリゴンデータとほぼ同形状、かつ手加工によって生じた歪みや傷などを修正した完成形に近いモデリングを行うことが可能であることが分かった (図

9～図12)。フォーム機能では、閉曲面の3D形状を感覚的に変形してモデリングする。曲率の異なる曲面の連続性を保ちながら思い通りの形状を再現できることがわかった。

(2) 加工用モデルの3Dモデリング

(1)で得られたモデリングデータをもとに作成した加工用モデルを図13に示す。

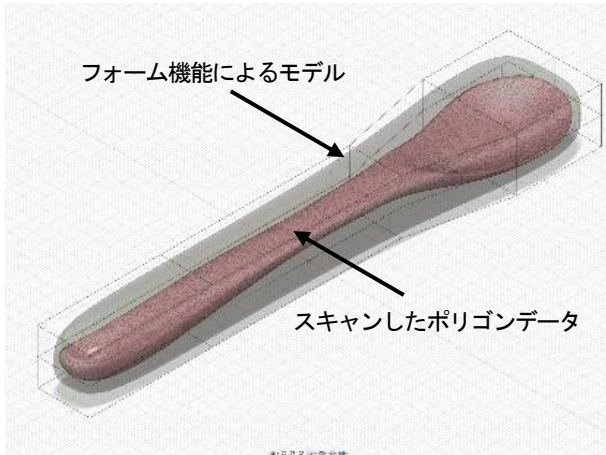


図9 フォーム機能によるモデリング-1

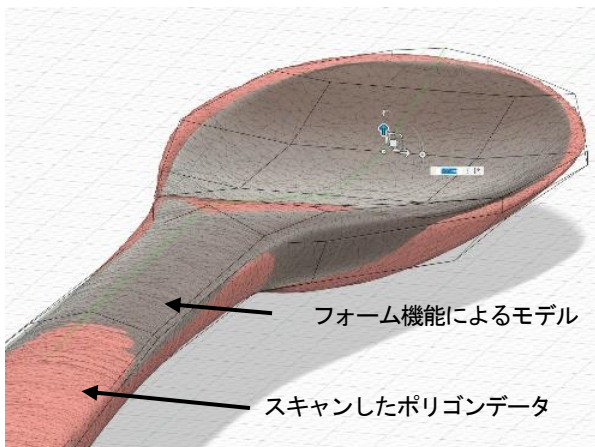


図10 フォーム機能によるモデリング-2

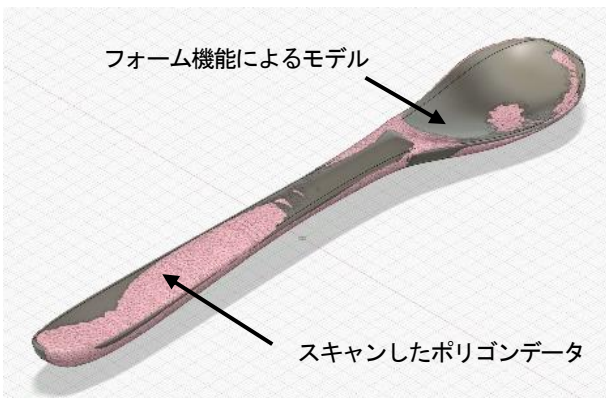


図11 フォーム機能によるモデリング-3
(スキャンデータとの比較)



図12 フォームにより完成したモデリングデータ

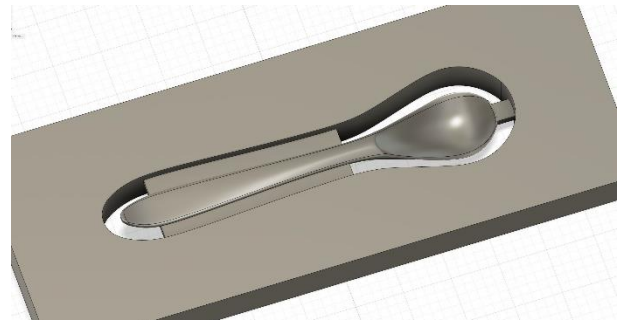


図13 完成した加工用モデルの3D画像

3-2 CAMによるNCデータの作製

加工用モデルに対して、CAMにより同時3軸加工用のツールパスをシミュレーションしたところ、予想加工時間は10分弱となった。

加工工程ごとの加工範囲は、3Dデータを構成する面ごとに設定可能だが、つぼのように連続する自由曲面で構成されている場合、曲面の境界が不明確で、加工範囲の指定が困難であった。そこで、図14のようにFusion360のCAD(スケッチ機能)で作成した2D図形を加工範囲として指定した。Fusion360はCAD、CAMが同ソフトウェア上で切り替え可能で相互にリンクしているため、設計変更にも効率的に対応できることを確認した。

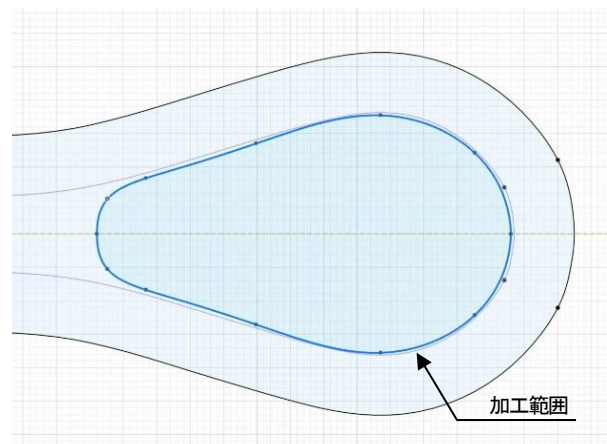


図14 つぼの加工範囲設定

オモテ面の走査線加工のシミュレーションでは、つぼの周辺部の加工粗さが目立った (図 15)。つぼの周辺部は薄く、この部分の仕上がりが粗いと研磨工程で削りすぎ等のトラブルを引き起こしやすい。そこで、曲面の輪郭線に沿って刃物が移動する、スキヤロップ加工に変更

した (図 16)。以上のことから Fusion360 の CAM での加工設定においては加工効率や仕上げ面性状に適したツールパスが設定可能であることがわかった。図 17～図 18 に加工結果のシミュレーション画像、表 3 にシミュレーションから求めた加工条件を示す。

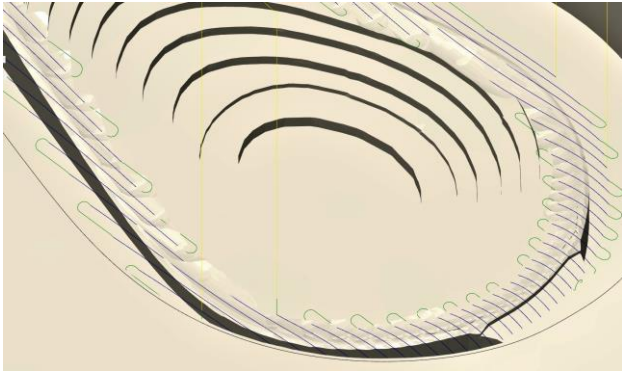


図 15 走査線加工のツールパスとシミュレーション

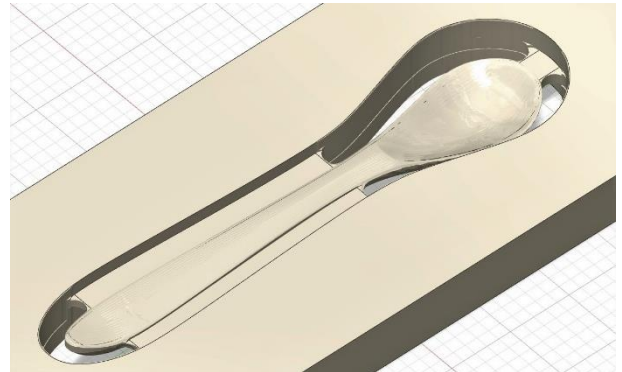


図 17 加工結果シミュレーション (オモテ面)

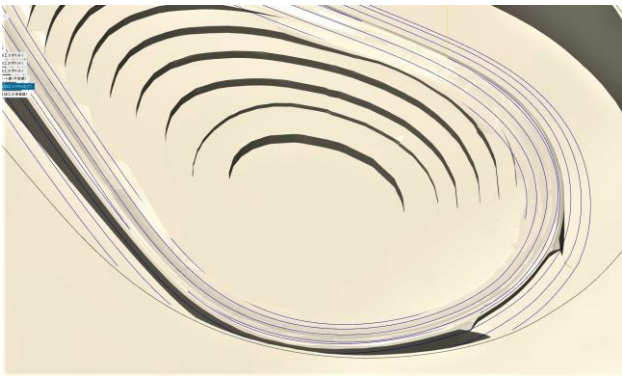


図 16 スキヤロップ加工のツールパスとシミュレーション

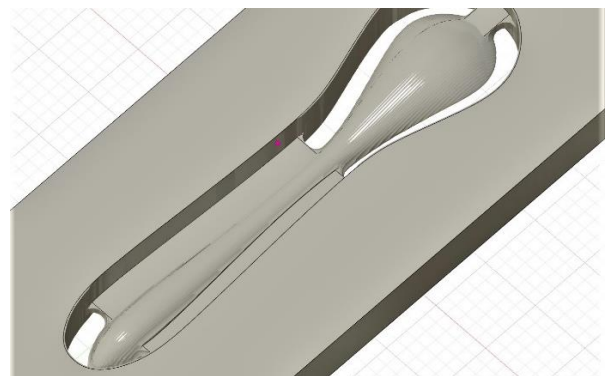


図 18 加工結果シミュレーション (ウラ面)

表 3 シミュレーションから求めた加工条件

加工面	加工工程	使用刃物	刃物径 (mm)	回転速度 (rpm)	送り速度 (mm/min)	切削ピッチ (mm)		仕上代 (mm)
						平面方向	垂直方向	
オモテ	荒加工1 (ポケット)	ラフィングビット (フラットエンド)	16	18000	3000	自動	2	0.5
	荒加工2 (ポケット)	ラフィングビット (フラットエンド)	8				1	0.3
	荒加工3 (ポケット)						4	
	サポート部 (平坦部)	ボールエンドビット	30			7.6	0.05	
	仕上加工1 (スキヤロップ)					1	0.1	
	仕上加工2 (走査線)					—	0.05	
ウラ	荒加工1 (ポケット)	ラフィングビット (フラットエンド)	16	18000	3000	自動	2	0.5
	荒加工2 (ポケット)	ボールエンドビット	8				1	0.1
	仕上加工 (走査線)					—	0.05	
	サポート部 (平坦部)	ラフィングビット (フラットエンド)	7.6					

自動加工を行う場合、CAMにより生成されたツールパスからポストプロセッサを介して実際のNCデータを作成するが、Fusion360には自動加工に用いるNCルーターに対応するポストプロセッサが用意されていない。そこで、CAMにより生成されたNCデータを以下のように手作業で修正した。

- (1) 加工前準備プログラムの追加
各種Gコードの初期化コードを追加した。
- (2) 刃物回転開始指令の修正と工具長補正の追加
安全を考慮し主軸ヘッドをX軸、Y軸の加工原点まで移動してから刃物の回転を始めるように変更した。また、工具(刃物)番号と工具長補正指令を追加した。
- (3) 刃物回転速度安定のための待機時間の追加
- (4) 原点復帰コードの追加

3-3 NCルーターによる自動加工試験

3-3-1 自動加工

完成したNCデータにより自動加工を行った(図19～図21)。自動加工で得られた木製スプーンと手作業で制作した木製スプーンとの比較を図22～図23に示す。



図19 NCルーターによる自動加工の様子



図21 ウラ面の加工終了時の様子



図22 手作業で制作した木製スプーンと自動加工の比較-1



図20 オモテ面の加工終了時の様子



図23 手作業で制作した木製スプーンと自動加工の比較-2

実加工時間は、CAM 機能での予測時間に対して 2 倍近く要した (表 4)。これは NC ルーターでは刃物が移動方向を変える際に、曲面の曲率に応じて自動的に移動速度を減速させるが、CAM によるシミュレーションではツールパスの長さや設定した送り速度で予測加工時間を割り出していることによる。そのため、曲率の大きいツールパスほど実加工時間との差が大きくなることが分かった。

表 4 CAM での予測加工時間と実加工時間の比較

加工面	加工内容	予測加工時間 (min:sec)	実加工時間 (min:sec)
オモテ	荒加工1	0:37	1:07
	荒加工2	0:33	1:13
	荒加工3	0:47	1:21
	サポート部	0:18	0:49
	仕上加工1	1:28	3:26
	仕上加工2	0:44	1:54
ウラ	荒加工1	0:55	1:30
	荒加工2	2:03	2:50
	仕上加工	1:47	3:00
	サポート部	0:14	0:45
合計		9:26	17:55

4 まとめ

Fusion360 の CAD/CAM を活用した NC ルーターによる木製品の同時 3 軸自動加工の検討を行い、次の結果を得た。

(1) CAD において直感的な作業でモデリングが可能とな為、思い通りの製品形状が容易に再現できた。

(2) CAM においては、加工効率や仕上げ面性状に適したツールパスが設定可能であった。

(3) CAD、CAM を同ソフトウェア上で一元的に管理するため、設計変更にも素早く対応でき、効率的な設計・シミュレーション加工が可能であった。

これらのことから、Fusion360 はコストパフォーマンスに優れた CAD/CAM であり、木工製品製造業者への導入を進めやすいと思われる。

NC ルーターによる自動加工の効率化においては、目標とした加工時間に対し、2 倍近い時間を要したものの、自動加工は加工時間の削減だけでなく、手加工による労力の削減、製品寸法の安定化、安全性の向上といったメリットも大きい。今後は、より効率の良い加工方法を確立するため、仕上面性状や荒加工方法、最適なツールパスの選択とそれに適した加工範囲の再設定などを検討していくことが課題である。

文 献

- 1) 内藤廉二, 有賀康弘, 茨島明: 岩手県工業技術センター研究報告, 22, P43-47 (2020)
- 2) 三谷大暁, 別所智広, 坂元浩二, 大塚貴: Fusion360 操作ガイド 2020 年版 ベーシック編/アドバンス編/スーパーアドバンス編, (2020)
- 3) 三谷大暁, 大塚貴, 濱谷健史: Fusion360 操作ガイド 2019 年版 CAM・切削加工編 1/ CAM・切削加工編 2, (2019)
- 4) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 2, P31-36 (1995)
- 5) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 4, P157-161 (1997)
- 6) 有賀康弘, 浪崎安治, 高橋民雄, 町田俊一: 岩手県工業技術センター研究報告, 6, P137-140 (1999)
- 7) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 7, 54 (2000)