

## 3次元自動加工による木工製品製造の効率化\*

内藤 廉二\*\*、有賀 康弘\*\*、茨島 明\*\*\*

手加工を主とした県内の木工製品製造業者には、3次元自動加工による生産の高效化を図りたいという要望がある。本センターでは、保有の技術シーズを活用することで、モデリングから加工設計、3次元自動加工までをシームレスに行う方法を検討し、効率的な3次元自動加工技術の確立が可能であることを確かめた。

**キーワード：** 3次元自動加工、3次元スキャン、CNC加工機、木製スプーン

## Efficient Manufacturing of Wood Products by 3D Automatic Machining

NAITOU Yasuji, ARUGA Yasuhiro and BARAJIMA Akira

**key words :** 3D automatic machining, 3D scan, CNC processing machine, Wooden spoon

### 1 はじめに

機能性を重視したデザインの生活用品が注目されている。さらに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。なかでも、木製スプーンなどのカトラリー類の人気も高まっている。

カトラリーは持ちやすさや食べやすさなどを考慮し、3次元自由曲面で構成されていることが多い。そのような木製品は従来の加工方法に加え CAD/CAM 及び NC 加工機械等を活用しデザイン・設計・部品加工をシームレスに行うことが一般的になっている。

岩手県内にもこれらの小木工品を製造している木工製品製造事業者は多い。しかしながら、県内の木工製品製造事業者の多くは従来の加工技術を用いた手作業により製品を製造しているため、生産数に限度があり作業の安全性にも不安がある。また、顧客からの要望に対しても対応することが困難な状況にある。そのことから NC 加工機を活用した、自動加工による加工の効率化や、加工精度の向上に対する支援が求められている。

本センターでは、県内で漆器木地として生産されている木製スプーンを加工例に取り上げ、センターが保有している木材加工用 NC 自動加工装置（株）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）とその他の様々な技術シーズを活用することで、既存製品の 3D データ化から加工設計、3次元自動加工までをシームレスに行うための手法を検討した。以下にその結果を報告する。

### 2 試験方法

加工例とした木製スプーン（図 1）について、立体形状の 3D データ化から 3次元自動加工までを、当センターのシーズを活用してシームレスに行う工程を図 2 の様に仮定し、それぞれの工程ごとに作業内容を検証した。



図 1 木製スプーン

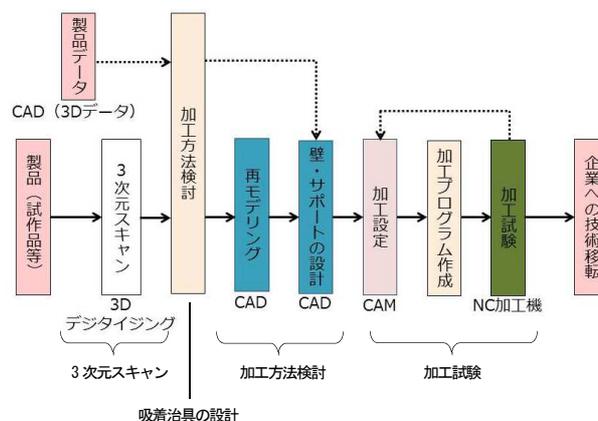


図 2 工程図

#### 2-1 3次元スキャン

3次元自動加工を行うには、木製スプーンを 3D モデルとしてデジタルデータ化する必要がある。そのため、非接触式 3D デジタイジング装置により 3次元スキャンを行い、操作性、スキャンデータのノイズ等の品質を比較した。3D デジタイジング装置には、Carl Zeiss 製 T-SCAN CS、及び Carl Zeiss 製 COMET6\_16M を用いた。

#### 2-2 3D-CAD によるモデリング

三次元スキャンで得られたデータを基に、3D-CAD (Rhinoseros ver5.0、McNeel 社) を用いて、木製スプーンの 3D サーフェスモデル化を試みた。

\* 平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業（発展ステージ）

\*\* デザイン部（現 産業デザイン部）

\*\*\* 企画支援部

### 2-3 CAMによるNCデータの作製

同じスキャンデータをそのままCAM (CraftMILL V10、C&GSYSTEMS inc.) にインポートし、CAMの機能を使用してツールパスの検討を行い、NCデータを作成した。

### 2-4 NC加工試験

CAMによって生成された上述のNCデータからNCルーターを用いて実材加工試験を行った。

## 3 結果及び考察

### 3-1 3次元スキャン

前述の2種類の3次元スキャン装置で得られた点群データを、それぞれシェーディング表示して比較した。

#### (1) T-SCAN CSによる3次元スキャン

T-SCAN CS (図3) は、スプーンの形状の中でも曲率の大きな部分のスキャンが難しく、データの欠損が生じた。また、実際には存在しない凹凸がスキャン時のノイズとして生じた。



図3 T-SCAN CS

#### (2) COMET6\_16Mによる3次元スキャン

COMET6\_16M (図4) は、スキャン対象物の表面に光沢があるとスキャンが困難なため、パウダー (ED-ST、(株)マークテック) を塗布して行った。

COMET6\_16Mでも曲率の大きい部分の一部に欠損が生じたが、ノイズは生じなかった。

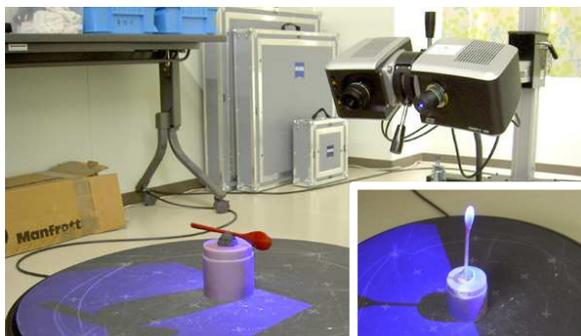


図4 COMET6\_16M

これら3次元スキャンで得られたデータのシェーディング画像を、図5及び図6に示す。

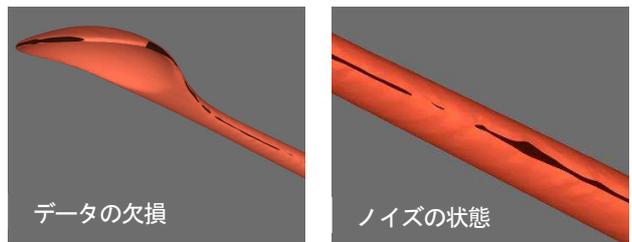


図5 T-SCANによる3次元スキャン

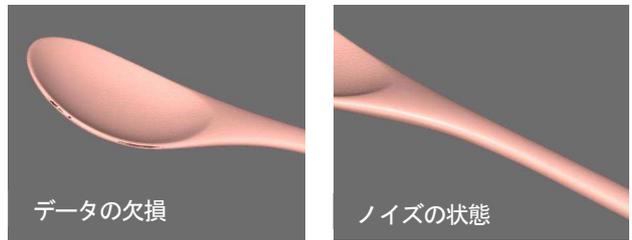


図6 COMET6\_16Mによる3次元スキャン

COMET6\_16Mでのスキャンデータの欠損は範囲が狭く、3D-CAD等での修正は短時間で可能である。一方、T-SCAN CSでのスキャンデータは欠損範囲が大きく、ノイズも多く、修正に時間がかかる。そのため、COMET6\_16Mによる測定データをもとに加工試験を行うこととした。

### 3-2 3D-CADによるモデリング

スキャンデータは点群データであり、CADやCAMでの使用が困難なことから、ポリゴンデータ (STL形式) に変換して出力した。

スキャンデータはポリゴン数が多く (表1)、処理速度の低下を招くほか、STL形式ファイルのため、CAMによっては対応していない場合もある。また木製スプーンは手加工で製作されており、加工形状にバラつきが生じる。そこで、スキャンデータを基に、データ容量の小さい3D-CADによるサーフェスデータで、正確な加工形状の再モデリングを試みた。

スキャンデータから主要な断面形状を抽出し、それに沿った断面曲線を新たに作成し (図7)、その断面曲線から曲面を生成した (図8)。スキャンデータと再モデリングしたデータの比較を、図9に示す。

表1 出力データ

ファイル形式	ポリゴン数	データ容量
STL形式	559,002	24MB

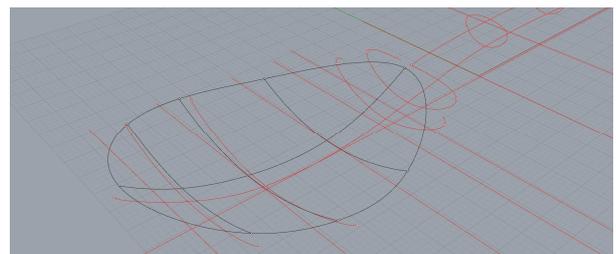


図7 断面形状の抽出と新たな断面曲線の作成

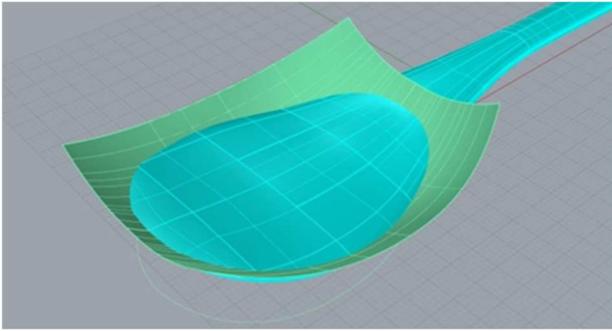


図8 曲面の作製

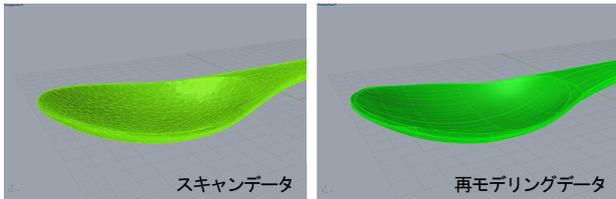


図9 スキャンデータとの比較

このように実物に近似した形状を作成できたが、面と面の接続がスムーズに繋がっていないなど、まだ改良の余地がある。自然な曲面を製作するには3D-CADでの検討がさらに必要である。

### 3-3 CAMによるNCデータの作製

スキャンデータは再モデリングとしての利用の他に、同形状の複製加工にも活用できる。ここで使用したCAMは3次元スキャンで得られたSTL形式ファイルからNCデータを作成することができる。また、このCAMには表面、裏面の両面を加工するための機能が備わっており、加工物を支持するための「サポート」と「壁」を生成する機能もある。

この機能を利用して、直方体の材料の範囲(249 mm×89 mm×16 mm)とスプーンの形状の配置、サポートの配置を、図10のように決定した。しかし切削部分が多くなり、材料の歩留まりは悪くなることがわかった。歩留まり向上のためには、切削範囲の少ないサポートと壁の設計をさらに検討する必要がある。

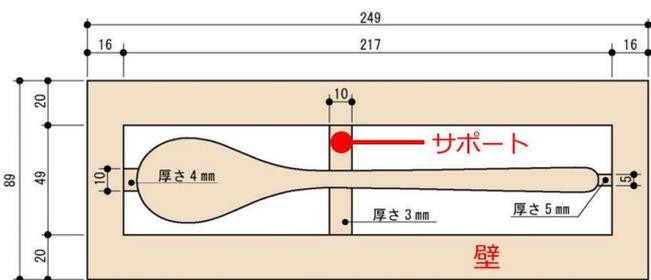


図10 CAMによるサポートと壁の設計

つぎに工具の設定とツールパスの設定を行った。図11に加工の工程、表2に切削条件、図12及び図13にツールパスのシミュレーションを示す。

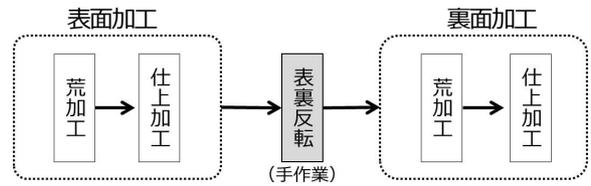


図11 加工の工程図

表2 切削条件

加工内容	使用刃物	回転速度 (rpm)	送り速度 (mm/min)	平面方向ピッチ (mm)	垂直ピッチ高さ (mm)
荒加工	ラフィングビット (Φ4 mm)	15000	500	2	3
仕上げ加工	ボールエンドビット (Φ4 mm)	15000	500	0.4	0.2

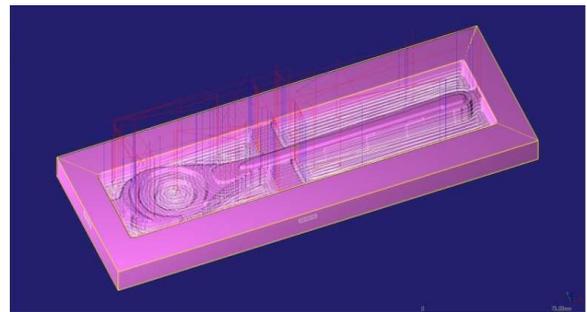


図12 荒加工のツールパス (表面)

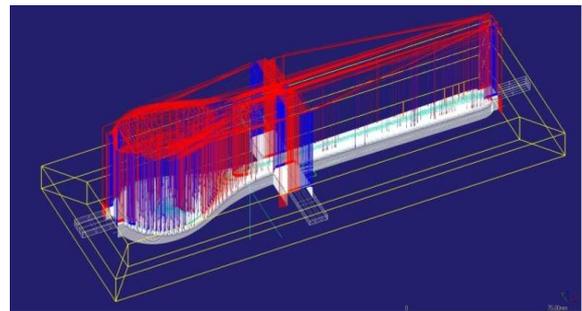


図13 仕上げ加工のツールパス (裏面)

### 3-4 NC加工試験

#### 3-4-1 固定治具の製作

NC加工を行うため、材料を固定する治具を製作した。材料はNCルーター定盤中央に配置し、材料外周に掘った溝にコマ木を置いて位置決めした後、真空吸着で固定した(図14及び図15)。

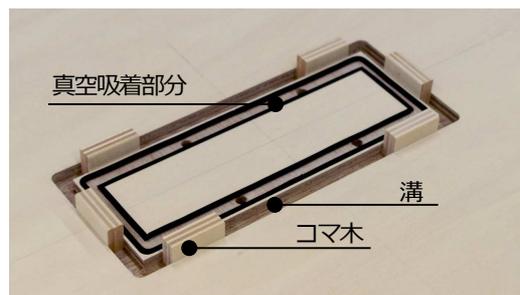


図14 固定治具外観

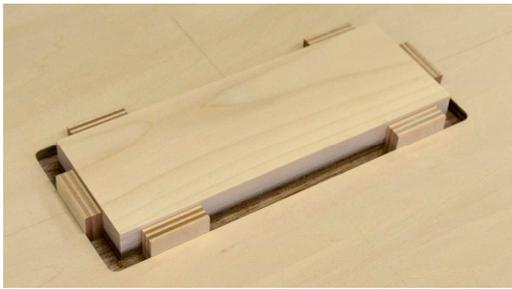


図15 材料固定方法



図18 表面加工終了

### 3-4-2 NC ルーターによる加工試験

3-3 で述べたCAMには、加工に用いたNC ルーター (図16) に対応するポストプロセッサが用意されていない。そのためCAMによって自動生成されたプログラムを、テキストエディタを用いてNC ルーターでの加工に対応できるように修正した。修正項目はつぎのとおり。

- (1) 加工前準備プログラム(各種Gコードの初期化)の追加
- (2) 工具交換指令と工具長補正をNC (FANUC Series 15-MA) 指令コードに修正
- (3) 工具回転数安定のための待機時間追加
- (4) 原点復帰コードの追加

修正したプログラムをデータ転送装置 (P-530、タクテックス (株)) を経由してNC ルーターに転送し、自動運転で加工を行った (図17 及び図19)。材料にはカツラを用いた。



図19 商品との比較

加工例とした既存商品の木製スプーンを選んだが、加工試験の結果、設計通り既存商品と同等の形状を加工できた。しかしながら、全加工時間が約5時間かかっており、加工の効率化という点で課題が残った (表3)。

表3 加工時間

	表面	裏面
荒加工	35分	40分
仕上加工	120分	100分
全加工	295分	



図16 NC ルーター



図17 表面の荒加工の様子

### 3-4-3 加工時間短縮とNCデータの再設計

生産性を考慮した加工時間とするため、NCデータの再設計を試みた。加工時間が長くなった要因として、次の問題点が考えられる。

- (1) 仕上面性状を良くするために、平面方向、高さ方向とも刃物移動ピッチを小さくしすぎた。
- (2) 精細な曲面の再現性と材料の歩留まり向上の目的で工具径の小さな刃物を使用したために、送り速度を速くできなかった。

生産時においては、NC ルーターでの自動加工後に手加工でサポートの除去作業が必須であり、サポート除去後のサンディング作業も必須になる。このことから、全体の仕上がりの面性状についてサンディングを前提とした粗さを目標として再度NCデータの設計を行った。

また、効率的な3次元加工を行うため、φ12 mmの刃物による荒加工工程を追加し、さらに仕上加工での平面、及び垂直方向の加工ピッチを変更した。切削条件は表4の通りである。

表4 切削条件

加工内容	使用刃物	回転速度 (rpm)	送り速度 (m/min)	平面方向ピッチ(mm)	垂直ピッチ高さ(mm)
荒加工1	ストレートビット (Φ12mm)	15000	1000	4	5
荒加工2	ラフィングビット (Φ4mm)	15000	500	2	4
仕上加工	ボールエンドビット (Φ4mm)	15000	500	0.8	1

3-4-4 NC加工試験 (2回目)

見直した切削条件に基づいてNCデータを生成・修正して加工を行った。なお、加工試験は表面のみ行い、加工時間を比較した。加工後の仕上がり面性状の比較を図20に、表面の加工時間の比較を表5に示した。

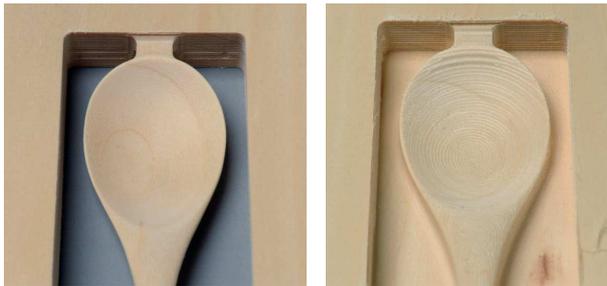


図20 加工試験結果の比較

表5 表面の加工時間比較

	1回目	2回目
荒加工	35分	22分
仕上加工	120分	27分
合計	155分	49分

その結果、一回目の加工試験に比べて加工時間を約7割削減できた。φ4mmの刃物を使用する場合、速い送り速度は工具破損の危険性があるが、工具径を見直せば、さらに加工の効率化が図れる。

3-4-5 工程図の再検討

これらの結果から、スキャンデータの形状変更が不要な場合は、CAMの機能による壁・サポートの設計工程もシームレスな3次元加工には有効であることが明らかになり、工程図を再検討し、追加することとした (図21)。

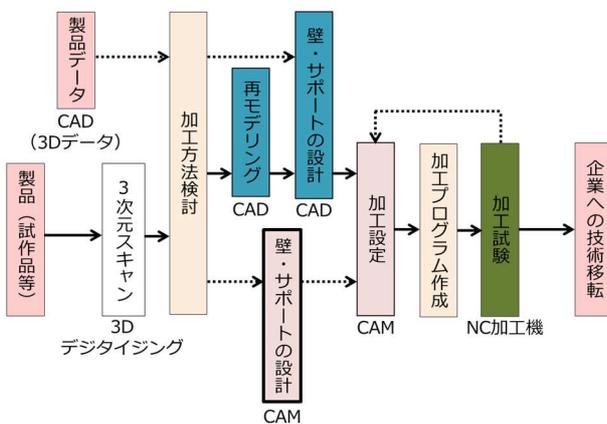


図21 再検討した工程図

4 まとめ

本センターが保有する技術シーズを活用することにより、本センターのNCルーターを用いて3次元自動加工が可能であることがわかった。また、3次元スキャナーを利用することにより、加工する立体データ作成の効率化をはかることができた。

このことにより、手加工で製作した試作品からの3次元データ化や、技術継承者がいなくなり製作困難となった製品の再現などへの応用も可能になる。

NCルーターによる自動加工は、従来の手加工に比べ加工精度の向上と加工時間の短縮ができ、加工安全性も向上する。加工範囲内に複数個の材料を配置すれば、より効率的な加工が可能になる。

様々な木製品を自動加工する場合、材料の固定を考慮した加工方法の検討が重要になり、材料の歩留まりまで考慮した治具設計が必要である。また、生産性の向上には自動加工を行う時間だけではなく、材料の固定や加工前準備など、トータルの作業時間を考慮した加工方法の検討や適切な工具選定などのノウハウの蓄積が必要である。さらに、3Dスキャンデータをもとに再モデリングを行うためには、3D-CADのノウハウの蓄積も必要となる。

今後、木製カトラリーの他、再現困難な木彫製品の復元や木製アクセサリ等の自動加工化の技術支援の要望などに応えるため、得られた成果の技術移転を積極的にすすめる予定である。

文献

- 1) 中島淳雄: Rhinoceros 逆引きコマンド・リファレンス, 株式会社ラトルズ, (2017)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 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, 7, 54 (2000)