

伝統技法とCNC加工による新たな家具製造手法の確立（第5報） デジタル技術を活用した木製家具製造手法

成瀬哲哉*

Integration of Traditional and Digital Technologies for Furniture Manufacturing (V) Manufacturing methods for wooden furniture utilizing digital technologies

NARUSE Tetsuya*

これまでの設計・製造手法では実現が困難であった新たな意匠や機能を有する木製家具・椅子を実現するため、伝統技術と最新のデジタル技術を融合した新たな家具設計手法の考案を試みている。本年度研究では、複雑な形状の肘・背もたれの製造と、5軸CNC加工機による捻じれ構造を有するホゾ構造の製造及び強度について検証した。

複雑な形状の肘・背もたれの製造においては、アナログ造形からリバースエンジニアリングによるデジタルデータの作成、5軸CNC加工機による部材製造を実現した。

また、捻じれ構造を有するホゾ構造については加工時間は角ホゾ構造に対して約3.75倍かかるものの、引張強度は平均値で約5倍となり、引っ張りに対する強度向上を示唆する結果を得ることが出来た。

1. 緒言

「飛騨・高山の家具®」は、高品質な木材、優れたデザイン、及び熟練職人による高度な加工技術によって高級木製家具として高い評価を受けており、飛騨地域は国内有数の「木製机・テーブル・椅子」の産地である。

しかし、飛騨地域の木製家具産業においても、高品質な製品を製造するために不可欠な熟練職人の確保が困難となっている。この課題に対応するため家具産業では、5軸CNC加工機のような高度な機械の導入が進められており、職人と機械の協働による製品品質の向上が期待されている。

本研究プロジェクトでは、伝統技法と先端的なCNC加工技術を融合し、従来手法では実現が困難であった革新的なデザインや機能を備えた「飛騨・高山の家具®」の創出を目指している¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

本年度研究では、アーム式3DスキャナーやCNC加工機といったデジタル技術を活かした複雑な形状の肘・背もたれの製造と、5軸CNC加工機による捻じれ構造を有するホゾ構造の製造及び強度について検証したので報告する。

2. 木製家具製造におけるデジタル技術の活用

2.1 デジタル機器を活用した木製家具の設計

本研究プロジェクトでは、「新たな家具設計手法の提案」¹⁾において、デジタル機器を活用した家具の設計手法として、アーム式3Dスキャナーを用いてクレイモデルをスキャンし、リバースエンジニアリング技術によってCADデータ化して設計に活用する手法を提案している。

CADデータ化の際には、有機的で複雑なメッシュ形状の特徴を維持したままメッシュ形状を整えることで効率的なCNC加工を実現している。この手法を用いて、インダストリアルクレイを用いて造形した肘掛・背もたれ(左半分)をCADデータとして再設計した。図1にクレイモデルと形状測定の様子を、図2にリバースエンジニアリングによるCADデータ化を示す。



図1 クレイモデルと計測風景

* 試験研究部

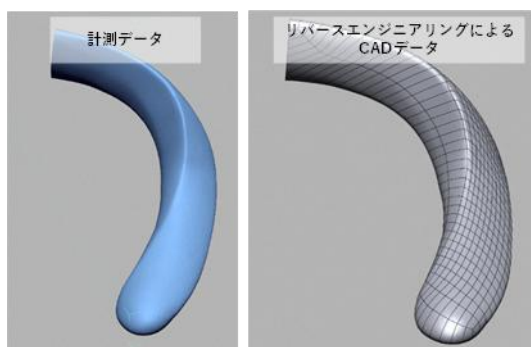


図2 計測データのCADデータ化

2.2 木製肘掛・背もたれの製造

2.2.1 CADデータ作成

前項で作製した肘掛・背もたれ(左半分)データを左右反転し、肘掛・背もたれ(右半分)として5軸CNC加工機を用いて切削加工を行った。

加工する木材のサイズはW400mm・D800mm・H120mmとし、表面、裏面の2回加工で製造することとした。

CADデータには部品を保持するための棧や枠を追加した。形状や取り付け位置は加工時に刃物・ヘッドの動きに干渉しないよう留意し、データ作成を行った。作成したCADデータを図3に示す。

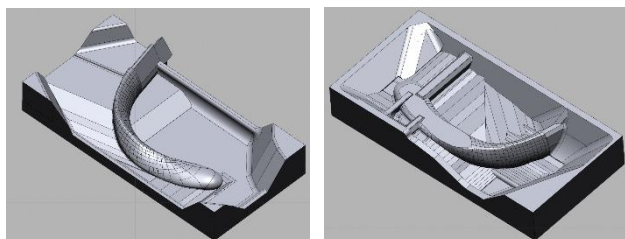


図3 作製したCADデータ(左：表面、右：裏面)

2.2.2 CAMデータ(加工パス)作成

作製したCADデータをCAMソフトウェア(ライコムシステムズ(株) AlphaCAM)を用いて加工パスを作成した。作成したCAMデータを図4に示す。

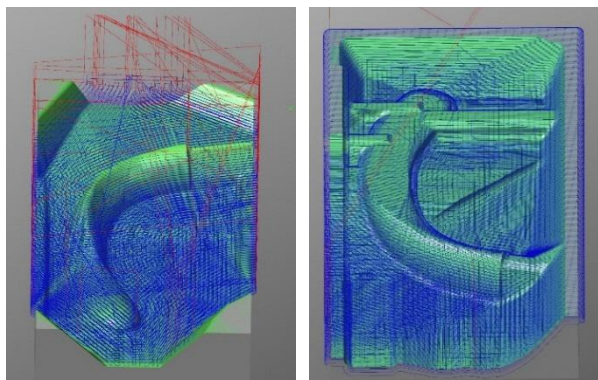


図4 作製したCAMデータ(左：表面、右：裏面)

2.2.3 5軸CNC加工機による部品加工

設計した肘掛・背もたれ(右側)を5軸CNC加工機(シンクス(株) 型番：ZXH-1313F)で加工した。

加工時間は表面が約7時間、裏面が約5時間となった。加工結果を図5に示す。



図5 加工結果(左：表面、右：裏面)

2.3 結果

5軸CNC加工機で加工した部品から、棧・枠等を取り除き、最初に製作した試作椅子の肘掛・背もたれ(右側)として取り付けた(図6)。

これにより、インダストリアルクレイによるアナログ造形からリバースエンジニアリングによるデジタル化、デジタルデータを用いた5軸CNC加工機による部材・製品製造を実現することが出来た。

今後、より効率的に製造するには、最終部材に近い形状からの加工や治具の作成といった段取りの改善が必要と考える。

また、保有する5軸CNC加工機の特長や可動限界を把握したうえでのCADソフトウェアによるデータ設計と、CAMソフトウェアによる適切な刃物の選択と効率的な加工パスの作成の習熟を踏まえ、加工機/CAD/CAMの連携が重要になると考える。



図6 試作椅子

3. 捻じれを有するホゾ構造

3.1 一般的なホゾ構造について

木製品におけるホゾ構造は、部材同士を強固に接合するための、最も基本的かつ伝統的な木工技

術の一つで、家具(椅子・テーブル)や建築(柱と梁の接合)など幅広い分野で使われている。

一般的にホゾ構造は、ホゾ(部材の端部に突き出して加工された凸部)とホゾ穴(もう一方の部材に設けた凹部)の2つの要素で構成されており、この凸部を凹部に差し込むことで接合する。

木工において最も強い接合の一つであり、接着面積の大きさと機械的な噛み合わせによる高い強度と耐久性が期待できる構造である。

また、通常、接着剤は使用するものの金物を使用しないことから、外部から金物が見えないため、意匠性に優れることから日本の伝統建築や木製家具において重視されている。

3.2 捻じれを有するホゾ構造について

通常のホゾ構造は、ホゾをホゾ穴に差し込むことで接合しているため、引き抜き方向へ強度を確保するためには接着が欠かせない。

本研究で提案する「捻じれホゾ構造」は、従来の直線的なホゾに対して意図的に幾何学的なねじれ(回転)を与えることで、力学性能や嵌合特性を向上させることを目的とした応用構造で、木製椅子のような複雑な荷重条件に対して効果を期待している。

通常のホゾは「まっすぐ挿入」「接触面が平面」であるが、捻じれホゾは「挿入時に回転を伴う」「接触面が三次元的に分布する」という点が大きく異なり、形状の複雑さにより、引き抜きへの複合抵抗(摩擦+形状)が向上すると考えられる。

図7に鉛直方向に引張を行った場合にホゾとホゾ穴が引っ掛かる部分(水色)を示す。

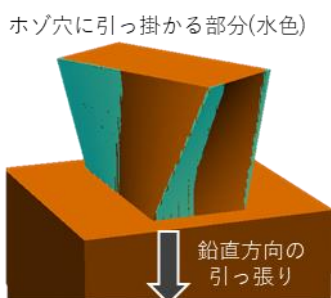


図7 捻じれホゾによる引っ張り時の効果

3.3 ホゾ構造の設計

捻じれを有するホゾ構造の強度を検証するため、従来のホゾ構造(角型)と捻じれホゾ構造と設計した。

角ホゾは高さ20mm×幅30mm×奥行15mm、捻じれホゾは高さ20mm×幅30mm×奥行15mmであるが高さ

方向に15°のねじれを持つ形状となっている。図7にホゾの形状を示す。

角ホゾ穴、捻じれホゾ穴はそれぞれの凸形状を反転した凹形状となっている。図8にホゾ穴の形状を示す。

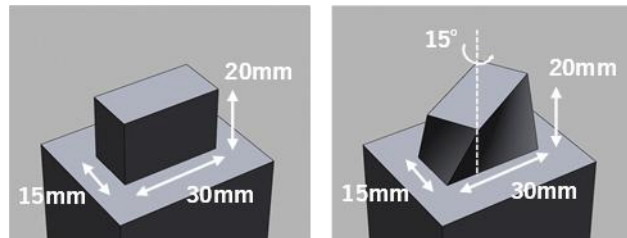


図7 ホゾの形状(左:角ホゾ、右:捻じれホゾ)

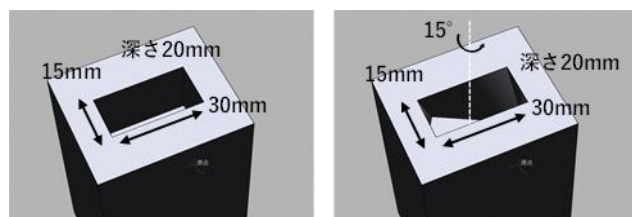


図8 ホゾ穴形状(左:角ホゾ穴、右:捻じれホゾ穴)

3.4 加工用データの作成

設計したホゾ構造を5軸CNC加工機(シンクス(株)型番:ZXH-1313F)加工する。

当所が保有している切削工具では前段で設計したホゾ形状のままでは加工できないことから、各形状のエッジ部分にR5mmのフレット処理を追加で施し実際に加工する形状とした。

従来のホゾ構造はホゾ、ホゾ穴の公差を0で製作し、木材の変形を利用して嵌め込む方法である。しかし、今回のホゾ構造を製作するにあたっては、当所が保有する5軸CNC加工機と切削工具ではホゾ穴の表面に工具跡が残ってしまうため公差0での製作では嵌め込むことが困難であるため、角ホゾ穴、捻じりホゾ穴ともに幅、奥行きをホゾと比較して2%大きくしている。

図9に角ホゾ形状を図10に捻じりホゾ形状を示す。

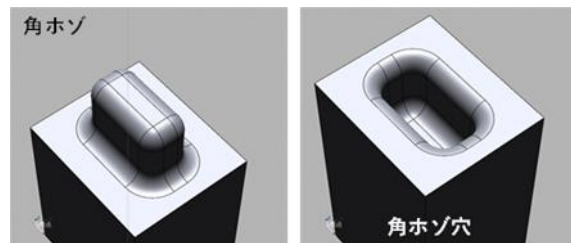


図9 実際に加工する角ホゾの形状

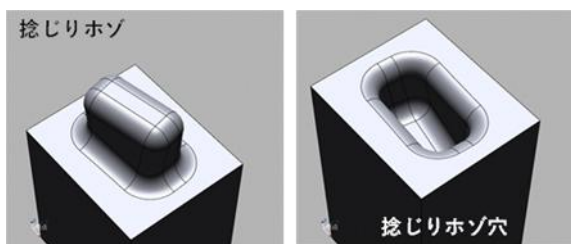


図10 実際に加工する捻じりホゾの形状

3.5 加工パス (CAMデータ) の作成

作製したホゾ構造3個連結CADデータをCAMソフト (ライコムシステムズ(株) AlphaCAM) を用いて加工パスを作成した。加工パスに用いたCADデータの例と加工パスの例として捻じりホゾのデータを図11に示す。

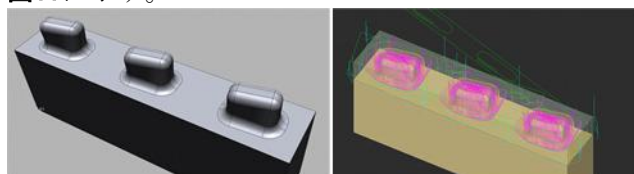


図11 加工に用いたCADデータと加工パス

表1にCAMソフトで算出した加工時間の比較を示す。なお、加工時間は図11に示したホゾ、ホゾ穴をそれぞれ3個連結して加工した時間である。

表1 加工時間比較

形状	角	捻じれ	加工時間の比 (捻じれ/角)
ホゾ	14m 19s	40m 43s	2.93
ホゾ穴	5m 56s	33m 53s	5.67
ホゾ穴+ホゾ穴	20m 15s	74m 36s	3.75

3.6 加工結果

加工結果を図12、図13に示す。

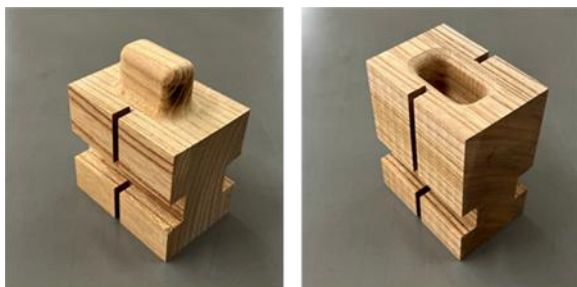


図12 角ホゾ構造の加工結果



図13 捻じりホゾ構造の加工結果

3.7 実験方法

接着剤を用いず嵌め合わせたホゾ構造を、万能試験機 (島津サイエンス UH-100kNXR) を用いて嵌め合わせた方向と平行・逆方向に引張試験を行い、最大値を比較することで嵌め合わせの評価を行った。引張速度は10mm/min、試験体数は、角ホゾ構造、捻じりホゾ構造それぞれ3体で実施した。

3.8 実験結果

図14に試験風景を表2に引張試験の試験結果を示す。なお、捻じりホゾ構造については引張試験で回転して抜けることを防ぐために3mm厚のアルミ板を引張方向に影響がない程度に溝に差し込んである。



図14 試験風景

表2 試験結果 (最大荷重 (N))

角ホゾ構造	最大荷重 (N)	捻じりホゾ構造	最大荷重 (N)
No. 1	157.4	No. 1	873.2
No. 2	246.7	No. 2	947.5
No. 3	144.3	No. 3	908.1
平均	182.8	平均	909.6

加工時間は角ホゾ構造に対して捻じりホゾ構造が約3.75倍かかるものの、引張強度は平均値で約5倍となり、捻じりホゾ構造の引っ張りに対する強度向上を示唆する結果を得ることが出来た。

4. 結言

本年度研究では、デジタル技術を活かした複雑な形状の肘・背もたれの製造と、5軸CNC加工機による捻じれ構造を有するホゾ構造の製造及び強度について検証した。

デジタル技術を活かした複雑な形状の肘・背もたれの製造においては、アナログ造形からリバースエンジニアリングによるデジタルデータの作成、5軸CNC加工機による部材製造を実現し、伝統技法と先進技術の融合を図ることが出来た。

また、5軸CNC加工機の特性を活用すべく、通常の加工方法では実現が難しい捻じれ構造を有するホゾ構造を提案し、加工時間及び強度について検証した。加工時間は角ホゾ構造に対して捻じりホゾ構造が約3.75倍かかるものの、引張強度は平均値で約5倍となり、捻じりホゾ構造の引っ張りに対する強度向上を示唆する結果を得ることが出来た。

今回はホゾ取り機、角ミノ盤、ボール盤といった一般的なホゾ構造の製造方法との加工時間・加工精度の比較は行っていないことから一概には言えないが、高級家具や一品物など、加工時間をかけることが出来る製品への捻じりホゾ構造の活用が期待できると考える。

参考文献

- 1) 成瀬,” 伝統技法と CNC 加工による新たな家具製造手法の確立(第1報)”, 岐阜県生活技術研究所第24号, pp.17-21, 2022.
- 2) 成瀬,” 伝統技法と CNC 加工による新たな家具製造手法の確立(第2報)”, 岐阜県生活技術研究所第25号, pp.5-9, 2023.
- 3) 成瀬,” 伝統技法と CNC 加工による新たな家具製造手法の確立(第3報)”, 岐阜県生活技術研究所第26号, pp.10-12, 2024.
- 4) 成瀬,” 伝統技法と CNC 加工による新たな家具製造手法の確立(第4報)”, 岐阜県生活技術研究所第27号, pp.6-9, 2025.