

多軸 CNC 加工機を利用した伝統木造建築の屋根隅部の加工実験

Experimental machining of a roof corner of a traditional wooden building using a multi-axis CNC machine

○須藤 玄哉*¹, 中村 優介*², 平沢 岳人*³
Ganya SUDO*¹, Usuke NAKAMURA*² and Gakuhito HIRASAWA*³

*1 千葉大学大学院 融合理工学府 博士課程前期

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

*2 千葉大学大学院 工学研究院 特任研究員 博士(工学)

Project researcher, Graduate School of Engineering, Chiba University

*3 千葉大学大学院 工学研究院 教授(工学)

Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University

キーワード：多軸 CNC 加工機; 伝統木造建築; 加工パス生成;

Keywords: Multi-axis CNC machine; traditional wooden architecture; machining path generation.

1. はじめに

人工技能とは機械が行う作業が人間のそれと遜色ないと感じられるとき、その機械が実現している技能と定義されている。

建築業に限らず職人の減少は、その労働環境の整備の不十分さを原因の一端として後継者不足が問題視されている。職人の技能とともに発展してきた日本の伝統的な木造建築は、その技能の担い手の減少とともに保全に十分な技能が失われつつある。伝統木造建築における人工技能を確立することができれば、その文化の保全の1つの有効な手段になりうると考える。また人間の作業を機械に置き換え自動化することで、人間の労働時間を減らし、労働環境の改善の糸口になることも考えられる。

本研究では5軸加工機を使用した伝統木造建築の屋根隅部の製作を通して、その加工環境の構築、パスの生成、加工精度を検証した結果を報告する。そして人口技能に当てはまる加工精度を出せているか検討し、伝統木造建築の保全として人工技能が有用であるか考察していく。

2. 研究概要

本研究では、はじめに各仕口に対して使用するツールを選定しそのツールパスを生成、次に実際の加工を通してその精度を検証しモデルとの差異をもとに加工機のキャリブレーションを行い、技能の向上を図る。

加工パスの生成は市販のCAMを使用することができるとあるが、今回後述する、斗線の加工や、入隅部の処理、丸鋸での加工など市販のCAMでは対応の難しい加工が存在するため、Rhino/Grasshopperを使用し独自のツールパス生成システムを開発した。

2.1 実験環境

使用した5軸加工機は、筆者らの所属する研究室で製作したものを使用した(図1)。加工機に加工対象のワークを固定するための作業台の製作が必要になる。作業台は機械座標系との相対的な位置関係が不変である必要がある。位置関係が変わると、加工の際のずれとなって現れてしまう。アルミフレームを用いて作業台と加工機のフレームを一体とすることで、作業台と加工機の位置関係を不変としている。また、作業台の上面を加工機で平面に加工することで、機械の座標系に対してワークが平行に固定できるようになっている。これにより作業台に設置した固定器具を使用して固定したワークもまた、機械の座標系との位置が相対的に不変になる。

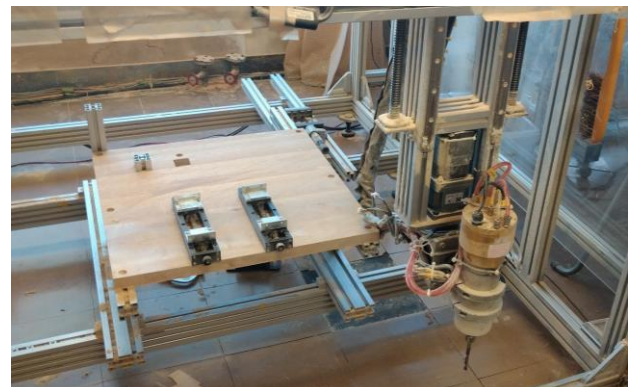


図1 5軸加工機

2.2 製作モデル

本研究の製作物として二手先の組み物を持つ屋根隅部を対象とした(図2)。一般的に各部材の固定は接地面に

ダボを使用して部材相互のずれを防ぐ方法をとる。今回のモデルでは肘木と巻斗を固定する方法として使用する。それ以外の柱の直線上にある部材には雇ほぞを使用してすべての部材を貫通させる方式をとる。この方法はダボでの固定方法に比べ門のような作用を働き、強固に接合されると考えられる。今回は実験の際に複数回抜き差しを行うため雇ほぞを木製で製作すると劣化が懸念されるため、金属製を使用することとした。

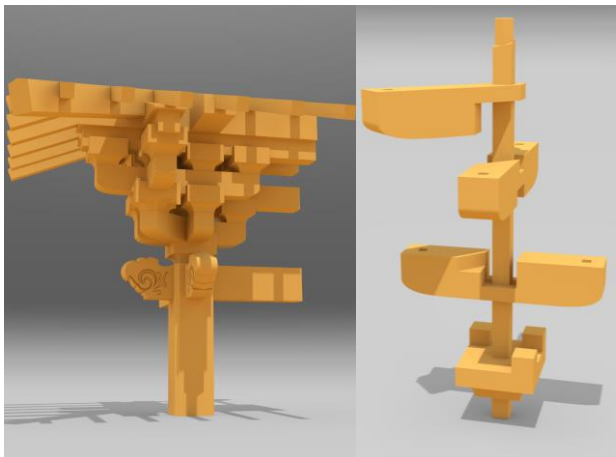


図2 製作モデル

2.3 段取り替えとワーク固定方法

加工機を使用して伝統木造建築の部材を加工しようとする場合、その部材の多くは上面側からの加工と、底面側からの加工の2方向からアプローチする必要がある。しかし、ワークを固定する際に作業台と接地している面側からの加工はいかなる加工機でも不可能である。そのため、このような部材の加工には一度ワークの位置を入れ替える必要がある(図3)。このようにワークを一度固定器具から外し、向きを変えて再度設置することを段取り替えと呼ぶ。段取り替えを行う際、最も注意しなければならない点は、段取り替えを行う前後のワークに対する座標系が一致していなければならない点である。座標系が一致していないと、段取り替えの前後の加工が、座標系のずれの分だけ設計値と異なる結果になる。

今回、段取り替えの前後で座標系を一致させる工夫として雇ほぞを通すほぞ穴を活用した。はじめにほぞ穴の加工を含む底面側からの加工を行う。後に加工したほぞ穴を作業台に用意したアルミフレームのほぞで固定し反対面を加工している。このとき、ほぞ穴の中心を段取り替えの前後、両方の座標系の原点とすることで、人の目によるワーク設置に比べ、ワークに対する座標系のずれを少なくするように工夫している。またほぞ穴を中心に点対称な部材が多いのでパスの移動点の座標も対称になる。パスの座標を確認した際に間違いに気づきやすいメリットもある。

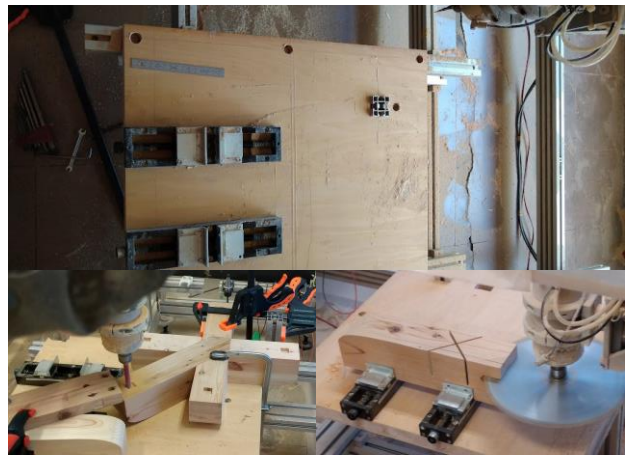


図3 作業台とワーク固定の様子

3. 加工手法と加工パス生成

今回の加工で特に難しいと考えられる3つの加工について加工手法と加工パスの生成方法を詳しく解説する。

3.1 入隅処理

エンドミルを使用した加工では今回のほぞ穴に当たるような直角な角を持つ凹形状を加工することができない。入隅部にミルの半径分の削り残しが発生する。今回は削り残しがあると、雇ほぞが干渉して通すことができないため処理の必要がある。

入隅の処理の方法は、先端が尖っている円錐型のツールを円錐の母線と垂線のなす角度に合わせて、ほぞ穴の入隅の頂点に斜めに当てることで加工した。その際ツールの先端が円であることを考慮して先端部を延長した円錐をもとに進入角度を求めた(図4)。またパスで指示する移動先の座標はツール先端の円の中心の位置を表すので、円の半径分内側に移動先の座標が来るようにパスの生成を行った。

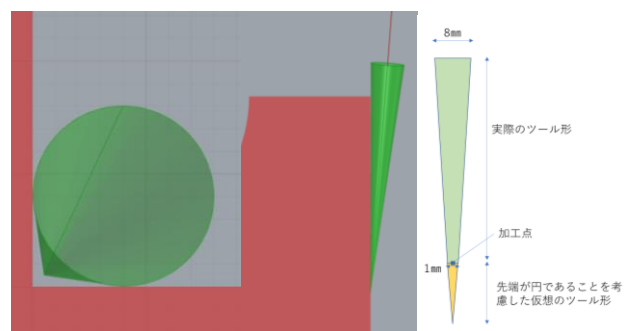


図4 入隅処理加工パス

3.2 大斗斗線

大斗の斗線より曲率が大きいU溝ビットを使用することで曲面の加工を行った。U溝ビットは加工する位置によって刃の速度が異なるので、速度の速い部分で加工で

きるように進入角度を調整した(図5)。斗線の曲面の接線にU溝ビットの接線が一致するように加工パスを生成した。4面を回転するように加工する際に必要なBC軸の回転移動パスが稜線に接触しないように退避して回転移動を行うよう工夫した。

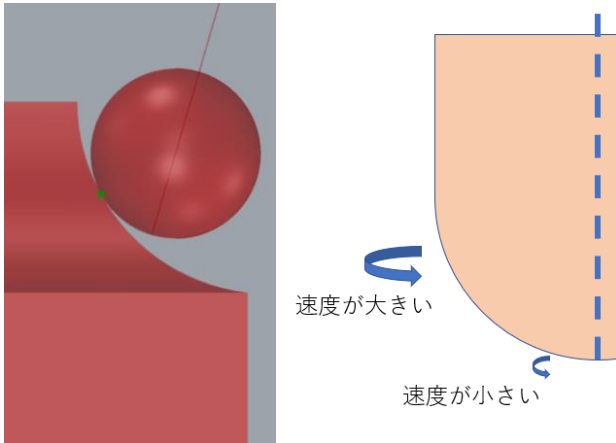


図5 斗線加工パス

3.3 肘木曲面

肘木曲面の加工は丸鋸を使用した。ミルを使用した走査線のパスに比べ丸鋸での加工は加工時間が短くて済む利点がある。加工面は平面が組み合わさり曲面表す形になる。この平面の数を増やすことでより滑らかな曲面に近づけることができる。今回は曲面を法線ベクトルの値で分割して、法線ベクトルの中央値のベクトルの平面を設定した(図6)。

丸鋸の表面に鋸を固定する部品が飛び出ているため、加工の際に干渉しないようにパスを工夫する必要がある。ワークに対して横から侵入することで鋸固定用部品がワークに干渉しないようなパスと、加工時間が短く済む往復のパスを併用した。

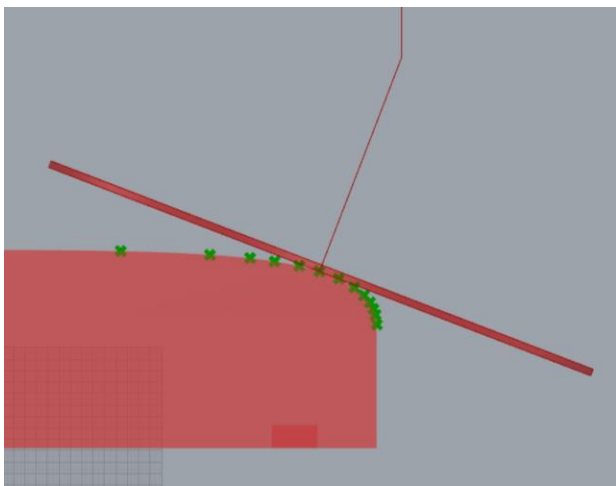
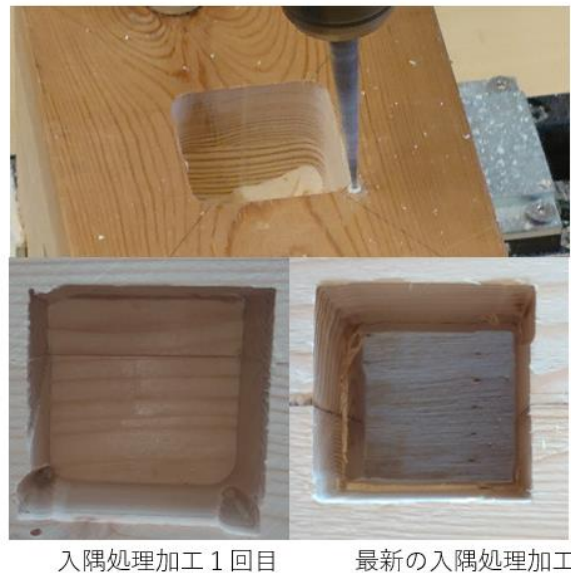


図6 肘木曲面加工パス

4. 加工

4.1 入隅処理加工

加工機のBC軸を動かして加工するため、より正確なキャリブレーションを必要とした。1回目の加工ではストレートビットで開けた穴の四隅にツールの先端が来ることはなかったが、最新の加工では隅をとらえることができた箇所を確認できる(図7)。



入隅処理加工 1回目 最新の入隅処理加工

図7 入隅処理加工の様子

4.2 斗線加工

U溝ビットと丸鋸が組み合わさった加工で稜線と頂点を合わせるためにキャリブレーションを繰り返した。稜線と頂点がしっかりと合致した結果から全体のキャリブレーションの精度が上がったことが確認できた(図8)。この結果は他の加工の精度を上げることに繋がると考える。



図8 斗線り加工の様子

4.3 肘木曲面加工

加工時間は肘木の両側の曲面を合わせて1時間弱で加工できた。曲面は加工の跡が残っているものの、非常に滑らかな曲面に加工出来た(図9)。人の手でやすり掛けによる仕上げを行えば、最小限の人間の仕事で滑らかな曲面が得られると考えられる。

肘木の加工に限らず、ワークをバイスで固定する際に長さ方向の中心を人の目で合わせる必要があるため、1mm以下のずれが生じてしまう。肘木の曲面を加工した際に設計した平面の数より少なくなってしまう箇所があったことから問題となった。そこでワークを長さ方向に余裕をもって長く作り、5軸加工機の作業台に固定して改めて設計値に切り落とす方式にすることで固定の際の長さ方向のずれの問題を解決した。これはすべての加工で応用できることであり、前述した大斗の加工でもこの方式を利用している。



図9 肘木曲面加工の様子

5. 組み合わせ

今回の実験では製作モデルのうち一番下の大斗と1手先の3本の肘木を製作した。製作した4部材は目立ったずれなく組み合わせることができた(図10)。すべての仕口はクリアランスをとらない設計となっているため、雇ほぞを通して組み合わせる際にはハンマーで叩き込む大きさの力が必要であった。

部材の加工を通して5軸加工機のキャリブレーションを行ってきたため、部材の製作順序の速いものほど最新のものに比べて細かい精度が悪い結果となっている。斗繰の加工を通して稜線を合うことから確認できるように、かなりの精度の向上が見られたので、肘木をもう一度作り直すことで組み合わせの精度もより向上すると考える。



図10 組み上げの様子

6. まとめ

伝統木造建築の保全の手段の1つとして人口技能について、屋根隅部の組み物を対象に加工実験を行った。加工実験の結果、各部材モデルを正確に再現することができた。段取り替えを行った後の加工も正確に行うことができることが、部材同士の組み合わせから確認できた。今回の斗繰の稜線と頂点の加工や肘木の曲面の加工、ほぞ穴の加工は人間のそれと遜色ないと言える、すなわち今回の実験結果が人口技能の定義を十分満たしていると考えられる。そして人口技能が伝統木造建築の保全の一つの手段として有効であることが確かめられた。

今回の実験では全体のモデルの内4部材の加工を行った。解説した3種類の加工を応用することで、これ以降の加工は問題点となる箇所なく進めることができると考える。今回の実験で5軸加工機の十分な精度が確認できた。今後は改めて4つの部材を作りなおして、より精度の高い製作物の完成を目指していく。

[参考文献]

- 1) 須藤玄哉、古庄玄樹、平沢岳人、位置姿勢推定機能を持つCNC加工機による丸地垂木屋根の製作その2、2022年度日本建築学会学術講演梗概集
- 2) 古庄玄樹、須藤玄哉、平沢岳人、位置姿勢推定機能を持つCNC加工機による丸地垂木屋根の製作その1、2022年度日本建築学会学術講演梗概集
- 3) 中村優介、高橋雅生、戸田勇登、林真那、高林弘樹、加戸啓太、平沢岳人、五軸加工機による校倉構法の断面加工に関する研究 多軸加工によるあたらしい建築構法の創出研究その1、日本建築学会技術報告集、第24巻 第56号、pp. 447-450、2018. 2