

ATC 付き五軸加工機のフォーリー制作を通じた可用性検討 Availability scrutiny of 5-Axis machine through folly production

○古庄 玄樹^{*1}, 吉岡 直希^{*2}, RANDI HANTORO^{*2}, 大谷 星輝^{*2},
中村 優介^{*3}, 加戸 啓太^{*4}, 平沢 岳人^{*5}
Genki Furusho^{*1}, Naoki Yoshioka^{*1}, Randi Hantoro^{*2}, Seiki Otani^{*2},
Yusuke Nakamura^{*3}, Keita Kado^{*4} and Gakuhiro Hirasawa^{*5}

- *1 千葉大学大学院融合理工学府 博士後期課程 修士 (工学)
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, M.Eng.
- *2 千葉大学大学院融合理工学府 博士前期課程 修士 (工学)
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University
- *3 千葉大学大学院融合理工学府 博士後期課程 修士 (工学)、日本学術振興会 特別研究員 DC2
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, M.Eng., JSPS Research Fellow
- *4 千葉大学大学院工学研究院 助教 博士 (工学)
Assistant Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Ph.D.
- *5 千葉大学大学院工学研究院 教授 博士 (工学)
Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Ph.D.

キーワード：五軸加工機; 木材加工; ATC; 部品加工

Keywords: 5-Axis Machine; wood processing; ATC; parts processing.

1. はじめに

近年ではパラメトリックデザインやコンピューテーショナルデザインが普及しつつあり、建築においてもこれらのデザイン手法を取り入れた設計が実践されるようになった。一方で、その部品加工は未だ職人による手作業によって制作されている部分が多い。背景にはこのようなデザイン手法で設計されたものは部品形状が多様化してしまうという問題があり、多品種少量生産を行うことが要求されるからである。

多品種少量生産にあたっては、加工機の活用がポイントとなる。しかし、自動化加工機は、規格品の効率的な生産を目的に発展したともいえ、建築分野において普及するプレカットマシンは予め決められた仕口の加工に特化しており、その機構が本来有する加工可能性を十分に活かすことは行われていない。

このような背景から、既報¹⁾では丸ノコをツールとした五軸加工機を開発し、その有用性を示してきた。丸ノコで可能な加工は溝切り、切り落とし、腰掛け (図1) と整理できるが、これを組み合わせにより実現する校倉やドームなどの制作を通し、その可用性を確かめ、併せて、加工機ないしその制御ソフトウェアの改良を重ねてきた。他方、マシニングセンタや CNC フライス盤では Auto Tool Changer モータ (以後、ATC) と呼ばれるツールを自動交換可能なモータが使用されており、ツールを変更しながら加工を行い、多様な形状の切削や切削速度の

向上を実現しているものもある。

本報では、この ATC を五軸加工機に導入し、丸ノコと他のツールを組み合わせることを行い、その可用性を検討する。これまでに確かめた丸ノコの加工の速さなどの長所を活かしつつ、丸ノコのみでは構成し得なかった加工を試み、その効果を考察する。

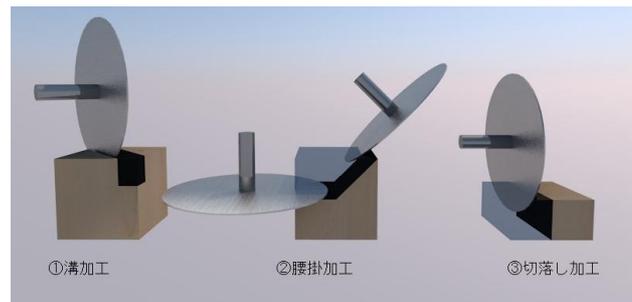


図1 丸ノコで加工可能な切削パターン

2. 五軸加工機のバージョンアップ

2.1. 全体仕様

本研究の実施にあたって制作した五軸加工機は、既報¹⁾のものと同様にガントリー型で三軸の直交軸、二軸の回転軸で構成されているものである。全体のサイズは幅 (X 軸) 1800mm、奥行き (Y 軸) 1000mm、高さ (Z 軸) 1615mm と前回のものと比較して大型化し、可動域は X 軸 1096mm、Y 軸 485mm、Z 軸 237mm となっている。図

2 中央の五軸加工機本体と、右手前に映るコントローラユニットの二つからなる構成となっている。

三次元モデルの入力に導出した加工パスをもとに、コントローラである LinuxCNC を介して各軸のモータが制御される構成にも変更はなく、ブラックボックスを含まないことで、加工機本来の可能性を最大限利用するというコンセプトも踏襲している。



図 2 五軸加工機械 (左) とコントローラユニット (右)

2.2. 位置決め機構

全体の部品構成にも大きな変更はないが、図 3 に示す X 軸と Y 軸の接合部や、図 4 に示す A 軸と B 軸の接合部には、組付けの際の精度を高める目的で位置決め用のブロックやピンを設けた。X 軸 Y 軸 Z 軸それぞれの直交と、XY 平面と A 軸回転面と平行、B 軸回転面の直交といった組付け時に要求されるハードウェアの精度が高まることで、加工に前もって行う微調整やキャリブレーションの手間が軽減されることを期待した。余談ではあるが、これまでは接合部などの機構を既製品の組み合わせで構成してきたが、今回は間口の広がりつつあるデジタルマニュファクチャリングサービスを活用することで、少ない部品点数で合理的に構成できた。このような柔軟な生産サービスと三次元モデルベースの設計との相性の良さも確認できた。また、可動部の多い対象の設計においては、可動部とフレームの衝突や干渉に注意が必要であるが、この点においても三次元モデル上での検証が役にたった。

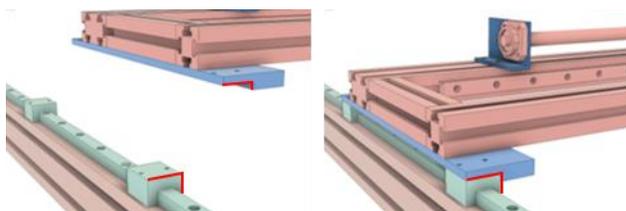


図 3 X 軸と Y 軸の接合部に設けた位置決めブロック

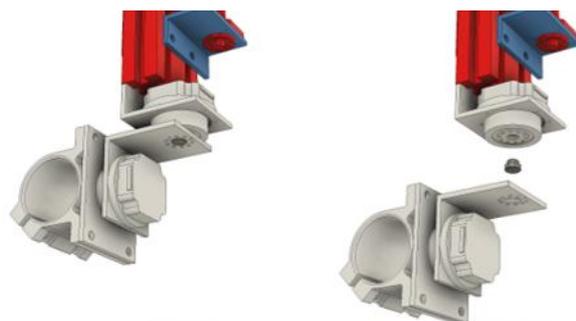


図 4 A 軸と B 軸の接合部に設けた位置決めピン

2.3. ATC モータ

ATC モータでは、ツールホルダと呼ばれるツールとモータのインタフェースが規格化されており、このホルダを空圧などでロック、リリースと制御することで持ち替えを行う。今回は ISO10 BT16 という規格のホルダを利用した。モータは 0.8kw、最大 24,000 回転のものを木工用におおよそ 6,000 回転程度に落として利用した。

ツールには、径 190mm の丸ノコと、径 8mm の木工用ドリルを用意し実験を行った。図 5 にドリルツールから丸ノコツールへと持ち替える様子を示す。ツール置き場のホルダ受けは、ホルダ受け毎に、事前にツール種類と場所、アプローチ方向などを登録しておく。加工パスに従って動作する中で、持ち替え指示があるとツール置き場に向かい、現在把持しているツールをもとの位置に戻し、新たなツールを取り行く流れで持ち替えが自動的に行われる。

今回はツール置き場のスペースの都合で二種のみとしたが、他の径のドリルやミリング用のエンドミルなど、ツールを増やしていくことも、もちろん可能である。

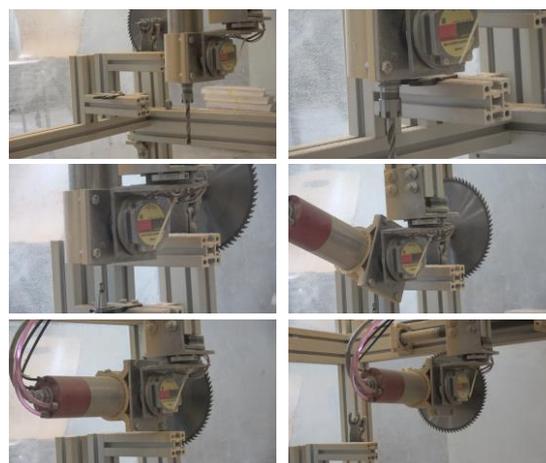


図 5 ドリルから丸ノコに持ち替える様子

3. 検証

ATC 付きの五軸加工機の可用性を検討する。ここではもとの丸ノコの非常に速い加工が可能という特長を活か

したものと考えた。丸ノコは加工が速い反面、接合部に関しては複雑な加工が難しい上に、溝加工を多用すると丸ノコの加工の速い利点が生かされなくなってしまう。そこで、丸ノコの代わりにドリルを用い、ドリル穴にダボを入れて継ぐダボ継を採用する。ドリルも丸ノコと同じく一つの加工部位に対する時間は少なくすむため、加工が速いという特長を損なわない。

全体のワークフローは次のようなものになる。①多品種生産となるようなパラメトリックデザインをダボ継で組み上げられる形で設計する。②設計した部品形状から加工パスを生成する。③生成した加工パスで五軸加工機を動かし部材を切削する。④切削した部材を組み上げる。検証はこのワークフローに基づき行った。

加工実験は、Maker Faire Tokyo 2019において、デモンストレーションを兼ねて行った。

3.1. 一葉双曲面のフォーリーの設計手法

部品の概形は丸ノコで切削し、接合部となる部分のみドリルで穴を開けダボ継にできるような構造体を考える。ただし平面に並べた同士の部材や直角に突き当たる部材の接合部にダボを継ぐのでは、五軸加工機の高い加工能力を示すに不十分である。このことから、製材から切削した部材を用いて、曲面を構成することにした。今回は実際に制作する場所がMaker Faire Tokyoの展示会場であり限られたスペースであったため、横に広がるのを抑えつつ縦に広がっていく一葉双曲面を制作対象として採用した。

一葉双曲面は図7で示すように、一葉双曲面をグリッド状にすることも表現できるが、単調なデザインとなるため、ここではグリッドを図6(左)から図6(中)のように六角形の平面充填になるように線を結びなおした(図7・右)。六角形充填の頂点には辺が三つ集まるが、三つが集まる納まりを留めのような形状であると、断面が小さいためダボで止めることは難しい。そこで、図6(右)のように頂点をずらし側面にダボ穴を設けた。

これらの操作によってダボ継が可能になったが、断面に入れるダボが一本の場合、ダボを中心にして部材が回転してしまい、施工性が落ちることがわかった。そこで二本以上のダボを一つの断面に入れるために断面を長方形断面とし、回転を抑えられるように設計した。

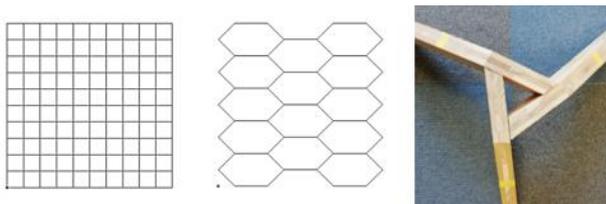


図6 デザインのダイヤグラム

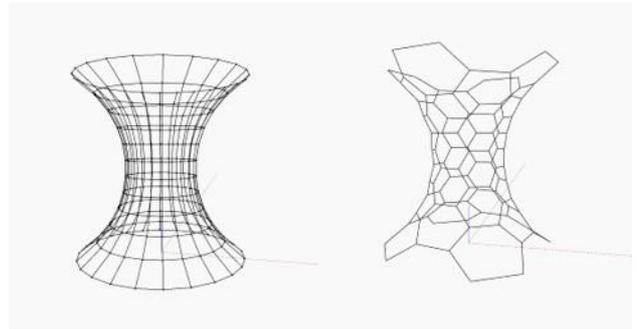


図7 グリッドで表した一葉双曲面(左)、六角形充填で表した一葉双曲面(右)

3.2. ドリル加工パス

丸ノコによる加工パス生成手法は既報で述べた。本報に置いては既報の通り丸ノコで切削したあとに、ツールをドリルに持ち替え穴あけを行う。

ドリル加工のパス(図8)は大きく三つに分けられる。一つは移動パスで、丸ノコと同じく加工と加工の間を結ぶパスである。残りの二つは進入パスと退避パスとなっている。進入パスを計算するためには、開ける穴の情報が必要となる。設計データからは穴の軸方向と軸中心が得られるのでそれを用いて穴の軸とワーク表面との交差位置を計算する。貫通穴の場合はワーク表面がそれぞれ加工開始点、加工終了点となり、貫通していない場合は穴の底面が加工終了点、ワーク表面との交差が加工開始点となる。このとき加工開始点ではワークと接触しているので加工終了点から加工開始点側に延長しワークと接触しない十分な距離をとった退避点を作る。この退避点から加工終了点までの動きを進入パスとし、加工終了点から退避点まで戻るパスを退避パスとする。この移動パス、進入パス、退避パスをつなげていくことによってドリルによる加工パスが定義できる。

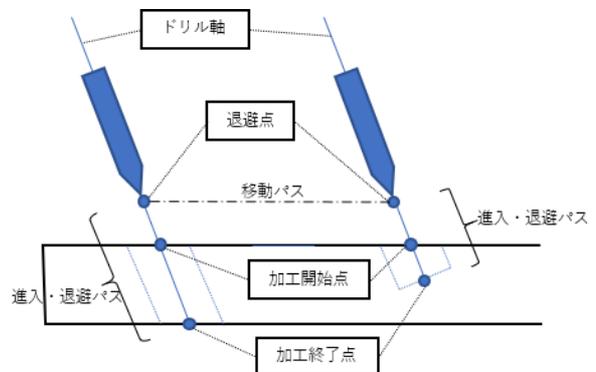


図8 ドリルの加工点の軌跡

3.3. 制作

前章で述べた加工パスを用いて加工を行った。加工に使用したのは、杉の無垢材で断面の形状は幅が88mm、

高さ 30mm である。部材種数は 12 種、部材数は 48 本で構成されている。図 9 が加工を行っている様子で、図 10 は組み上げた様子である。

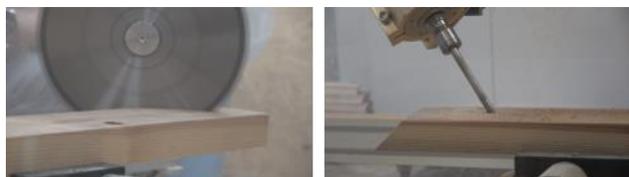


図 9 加工中の写真、丸ノコ (左) ドリル (右)



図 10 Maker Faire Tokyo の会場で制作したフォリー

4. 考察とまとめ

多軸加工機といえば、三軸 CNC に代表されるミリング加工が製造業、特に金属加工においては広く用いられており、建築分野においてもこの技術を転用し木材をミリングで加工することが行われている。造形の自由度が高く、加工パスなどの生成に熟れたソフトウェアを利用できる一方、加工に多くの時間を要する点に課題を感じ、本研究室における加工機研究では丸ノコ加工を優先的に取り組んできた。本稿では、五軸加工機に ATC を導入し、丸ノコとドリルを組み合わせた加工が可能になったが、その効果について、これまでの制作物を比較しつつ整理したい。

図 11 の左上は五軸加工機の活用により新しいログができないかと初期に作成したものである。ログが捻れながら積層されるため、部材の形状がそれぞれ異なるものである。五軸加工機は数値制御なのでこのようなバリエーション違いの加工は得意であるが、組み上げに人の手

を要する場合は、組む位置が異なることがボトルネックとなり得る。丸ノコでは基本的にポケットの加工ができないため、位置が決まる接合部として、相欠きを採用している。相欠きのための溝切りは、切り落としや腰掛けと比較すると加工に時間を要するものである。図 11 の左下では相欠きでない接合部として、留めとビスケットを用い、コーススレッドを打つ方法、図 11 の右では切り欠いた材を積層するのみとし厳密な組み付け位置を求めないなど、接合部やデザインに工夫を行ってきたが、組み付けまで考えると、丸ノコツールのみでは位置決めしやすい接合部が作りにくいという問題があることがわかる。

このような観点から、丸ノコとドリルを組み合わせた効果を考察すると、ダボを組み付ける位置、角度を合わせるガイドとして利用できることが、加工機の適用範囲の拡大につながったといえる。また、一つの加工機のなかでワークを置き換えずに丸ノコによるカットとドリルによる穴あけが行えることも省力化になっており、精度面でも利点となったと考えている。

本稿ではドリルツールの導入に関して報告したがミリングなどの他のツールも組み合わせることでさらに可用性を高めていけると考えており、引き続き研究を進める。

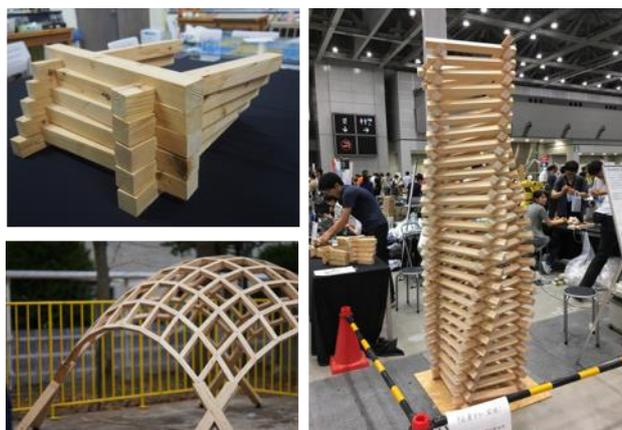


図 11 相欠きのうねる校倉(左上)、カテナリードーム(左下)、V 字の切り込みのうねる校倉(右)

[参考文献]

- 1) 中村優介、漆山生羽、林真那、古庄玄樹、加戸啓太、平沢岳人、五軸加工機による丸ノコを用いた加工パス導出に関する研究、2017 年度日本建築学会関東支部研究報告集、第 88 巻、pp. 475-478、2018. 3
- 2) 古庄玄樹、吉岡直希、大谷星輝、中村優介、加戸啓太、平沢岳人、ワークと機械情報を考慮した多品種少量生産に関する研究、2018 年度日本建築学会関東支部研究報告集、2019. 3
- 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