

5軸フライス盤を用いた切削加工について

About Cutting Process using 5-axis Milling Machine

達山 康人

Yasuto TATSUYAMA

Synopsis

As part of the Moonshot Research and Development Program (hereinafter the Moonshot R&D Program), we needed to fabricate an architectural model from an aluminum block. To machine the target model, we introduced a five-axis milling machine. This report outlines the hardware and software of the five-axis milling machine, the setup procedures for actual cutting, and the results of two additional performance verification tests.

キーワード: ムーンショット型研究開発事業, 5軸フライス盤, CAD/CAM

Keywords: the Moonshot R&D Program, five-axis milling machine, CAD/CAM

1. はじめに

京都大学防災研究所では、2023年に5軸NCフライス盤(以下、5軸フライス盤)を導入した。導入当初、防災研究所技術室には5軸フライス盤を使用した切削加工の経験がある職員は在籍していなかった。そこで、アルミニウム塊より建築模型を切削する業務を通して、3DCAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) に関する知識および工具や測定機器等の実切削に必要な知見を習得しつつ、切削業務を進める必要があった。建築模型の実切削は、5軸フライス盤の3軸割り出し制御と呼ばれる、材料(以下、ワーク)を回転軸や傾斜軸で位置決め後、残りの3軸(X, Y, Z)で加工を行う方法にて実施した。加えて2種類の性能確認テストを実施し、5軸フライス盤の性能を調査した。本報で使用したソフトウェアはFusion 360 (Autodesk®)であり、その中でも「デザイン」、「製造」の機能を利用した。

2. 5軸フライス盤の導入経緯について

本報で述べる5軸フライス盤は、ムーンショット型研究開発事業[Fig.1]において、アルミニウム塊から建築模型を製作するために導入された装置である。

今回製作した建築模型は、境界層風洞実験装置内

において市街地を再現し、ゲリラ豪雨の発生要因となる地上付近の乱流構造を再現するとともに、その制御手法を検討する縮尺模型実験に用いるプロトタイプである。

本実験では、渦管の発生および発達過程に対する熱の影響を再現するため、境界層風洞実験装置床面および建築模型の温度を変化させる必要がある。したがって、熱伝導率が高く、かつ切削加工が容易なアルミニウム塊を素材とし、3次元切削によって模型を製作した。



Fig.1 Web page image from the Moonshot R&D Program. (<https://rain-c.dpri.kyoto-u.ac.jp/>)

3. 5軸フライス盤に関する説明

3.1 一般的な汎用フライス盤について

一般的な汎用フライス盤は、主として工作物の平面加工、溝加工、段差加工など、比較的単純な形状の切削に用いられる工作機械である。テーブルがX, Y, Zの3方向に移動し、固定された主軸（以下、ホルダ）に取り付けた回転工具によってワークを切削する。主軸回転数や送り速度の調整により、多様な材質や加工条件に対応可能である[Fig.2].

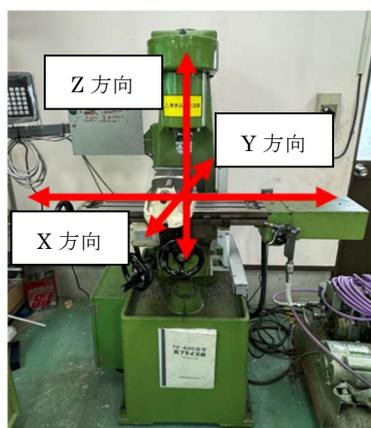


Fig.2 Structural configuration of a conventional universal milling machine.

3.2 5軸フライス盤について

5軸フライス盤の種類には、代表的なものとして刃物を取り付けたホルダが回転するヘッド回転型、ワークを載せるテーブルとヘッドの双方が回転する複合型、またはワークを載せるテーブルが回転するテーブル回転型などが挙げられる。本報で述べる5軸フライス盤はテーブル回転型であり、回転軸Aと回転軸Cを搭載することで、複雑な形状や多面加工を実施できる。5軸フライス盤の外観は[Fig.3]に、ホルダの移動方向(X, Y, Z)とテーブルの回転軸Aおよび回転軸Cの回転方向は、[Fig.4]に示す。

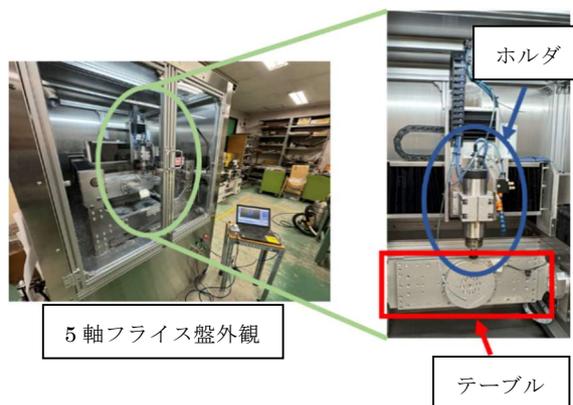


Fig.3 External appearance of the five-axis milling machine.

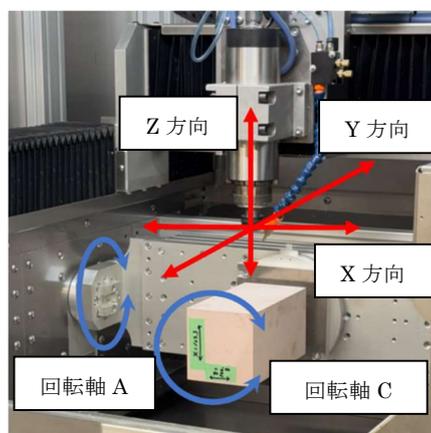


Fig.4 Detail view of the holder and rotary axes of the five-axis milling machine.

3.3 5軸フライス盤を使用するメリット

5軸フライス盤を使用するメリットとして、ワークを一度セットすれば、その後の工程において再固定することなく連続切削が可能となる点を挙げる[Fig.5]. これにより、3次元形状を一度のセットアップで加工できるため、複数の面の連続した切削が可能となり、段取り時間の短縮が図られる。



Fig.5 Advantages of using a five-axis milling machine – sequential machining.

さらに、回転軸も二つ備えているため、ワークの回転および傾斜が可能であり、自由度の高い切削加工が可能となる。3軸の汎用フライス盤ではX・Y・Zの3軸方向の移動に限定されるため、複雑な傾斜面や球面の加工は追加の治具を用いた再固定が必要となるが、5軸フライス盤では本体側の回転軸制御により、これらの加工を連続して実行することができる。

4. 切削の検討段階について

5軸フライス盤を用いた切削の検討段階では、以下の点を意識して作業に当たった。

- (1) 安全の確認
- (2) 装置の破損防止
- (3) 要求された形状の切削

設計段階における検討が不十分な場合、要求された形状の切削加工に至る以前に、工具やワークと本体部材の衝突あるいは装置本体のケーブルの断線などの設備の暴走を招き、作業員や装置に深刻な危険を及ぼす可能性がある[Fig.6].



Fig.6 Examples of collision and cable disconnection risks due to insufficient CAD/CAM planning.

ソフトウェアを用いた事前検討では、製作物の形状を多角的に観察しながら、干渉や衝突の可能性を事前に確認する必要があるため、3DCADのスキルが必要となる。さらに3次元モデルを基に、工具や切削量、送り速度、主軸回転数などの切削条件を設定するCAMの知識も必要である。これらのスキルおよび知識により、加工経路を決定し、切削動作のシミュレーションを確認し、安全かつ適切な加工計画を立案することができる[Fig.7].

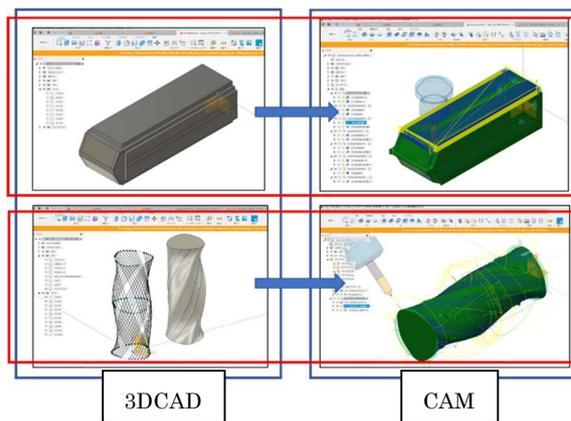


Fig.7 Workflow from 3D CAD modeling to CAM toolpath generation for machining process planning.

ソフトウェアによる検討に加え、ハードウェアに関する加工前の段取り作業も重要である。特に、ワークの位置決めや水平度の確認は、後工程の加工精度に直結するため、適切な測定器具と手順を用いた正確な測定が求められる。まず、XY平面の水平度を確認するためにダイヤルゲージを用い、ワークの傾きを測定する[Fig.8]。その後、本体を操作し傾きがゼロとなるよう調整する。続いて、X方向、Y方向、Z方向の各原点位置を決定するために、ポイントを使用して、各座標を測定する。ワークに導通性がある場合、その導通を利用した点灯式のポイントを使用できるが、導通性のないワークの場合は適用できないため注意が必要である[Fig.9]。

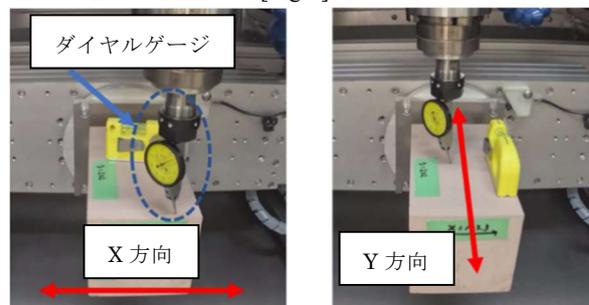


Fig.8 Leveling of the workpiece in the XY plane using a dial gauge.

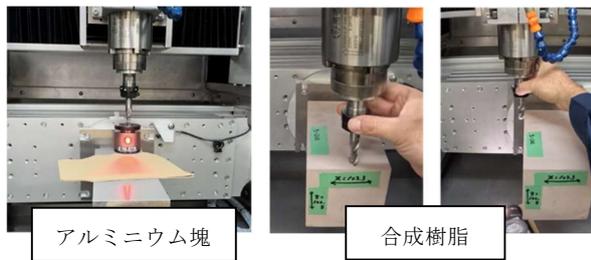


Fig.9 Pointer-based origin confirmation.

5. 建築模型の製作（実切削作業）

CAMにより工具の種類および加工経路を決定し、装置およびワークに関する段取りまで完了した後、実際の模型切削を開始した。切削中は、工具の進入経路や切削状態がシミュレーションどおりに進行しているかを確認しながら作業を進めた[Fig.10]。また、音や振動を頼りに切削状態を監視する必要があった。今回は青色チューブから塗布されている切削油が尽きた時点で切削音が甲高く変化した。これにより異常を察知することができた。音や振動では判別できない場合には装置を止め、直接手で工作物の表面に触れ、その状態を確認しながら切削を続けた。

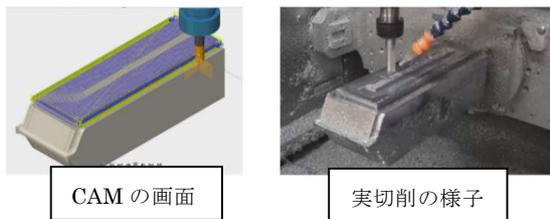
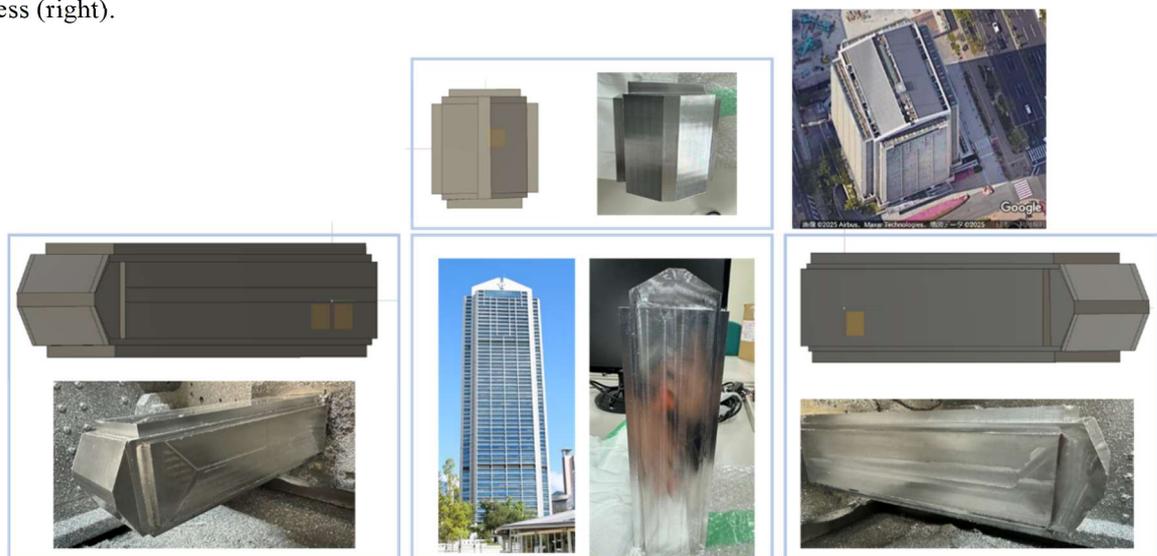


Fig.10 CAM simulation (left) and actual machining process (right).



出典：神戸市ウェブサイト（ <https://www.city.kobe.lg.jp/index.html> ）

Fig.12 Comparison among completed architectural model, actual building, and CAD model.

本模型製作における大きな課題は、屋根部分の斜面切削であった。まず、回転軸Aを用いて建物に傾きを与えて切削する方法は、装置の可動範囲外であったため適用できなかった。次に、平面切削で使用する工具（フラットエンドミル）による斜面切削では、切削幅を細かく設定しても僅かな段差が生じるため、これも適用できなかった。最終的に、先端に丸みを有する工具（ボールエンドミル）を用い、切削幅を0.1 mmとすることで、斜面を滑らかに仕上げることができた。[Fig.11]

実切削作業は数日に分けて実施し、総切削時間約28時間をかけ、建築模型が完成した[Fig.12]。

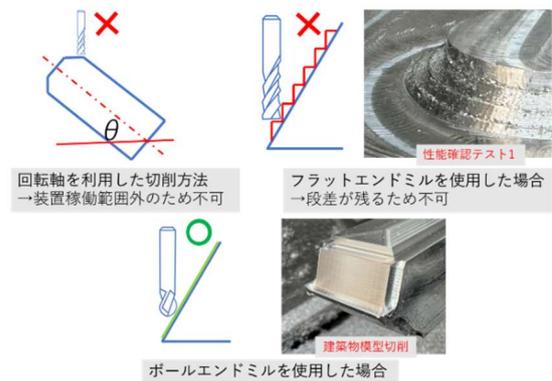


Fig.11 Comparison of slope machining methods for the building roof section.

6. 性能確認テストの実施

ムーンショット型研究開発事業にて、異なる形状の切削が求められる場合に備え、2種類の性能確認テストを実施した。今回切削した建築模型は平面形状の集合体であったため、性能確認テスト1では球面状の加工を実施した。球面加工には、斜面切削時と同様にボールエンドミルを使用することにより、滑らかに仕上がることが確認できた[Fig.13].

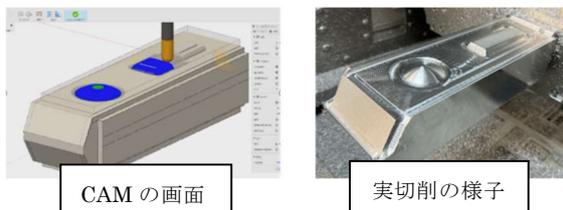


Fig.13 Performance Verification Test 1–Spherical surface machining.

続いて、性能確認テスト2では回転軸制御を含む切削を実施した。この切削では、サイン関数を含む曲線断面を軸方向に200 mm延長し、さらに150度回転させた3次元形状を設計した[Fig.14]。ホルダの3軸制御に加え、回転軸制御（回転軸C）を追加する加工であったが、装置として問題なく加工することができた[Fig.15].

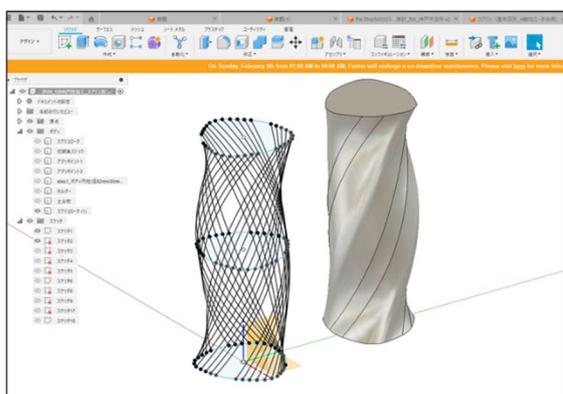


Fig.14 Performance Verification Test 2 – Machining of a three-dimensional shape with rotary axis.



Fig.15 Performance Verification Test 2–Machining of a three-dimensional shape with rotary axis.

7. 終わりに

本業務を通じて私自身、5軸フライス盤に関する新たな知識と技能を習得する貴重な機会を得ることができた。また、業務遂行に当たり、熟練職員からの多くの助言を受けることが出来た点においても、知識と経験の伝承という貴重な経験の場を頂いた。今後も研究者各位のニーズに対応すべく、技術的支持に尽力する所存である。

謝辞

初めての5軸フライス盤による切削業務をお任せいただき、知識と経験を得る貴重な機会を与えてくださったことに加え、本稿の改善についてご助言を賜りました西嶋一欽教授に、深く感謝申し上げます。

(論文受理日：2025年8月29日)