

和歌山大学協働教育センター クリエプロジェクト
＜2021年度ミッション成果報告書＞

プロジェクト名：NC 機械製作プロジェクト

ミッション名：CNC フライスのためのスピンドルモータの制御

ミッションメンバー：システム工学部 3年倉田亮佑，システム工学研究科 2年加藤颯，
システム工学部 4年唐津祐輝，

キーワード：CNC，ステッピングモータ，モータドライバ，スピンドルモータ，インバータ

1. 背景と目的

近年、CNC 工作機械の利用が広がっている。また、CNC 工作機械は、「ものづくり」の基本要素が詰まっていることから、設計・製作を通して「ものづくり」の基本を学習することを目的とする。本ミッションでは、CNC 工作機械の試作機の組み立てを行い、加工物を取り付けたテーブルの 3 軸位置決め制御、工具を取り付けたスピンドルモータの回転数制御を行う。

2. 活動内容

2-1. 試作機の設計・製作

図 1 に製作した CNC フライスの試作機を示す。組立キットを用いて、フレームの設計・組立を実施した。アルミフレームはすでに加工されているが、CAD の学習を目的として、X 軸、Y 軸、Z 軸の設計を行った。組み立てではアルミフレームに対して、スピンドルモータ、ステッピングモータ、リニアガイドの取り付けを行った。

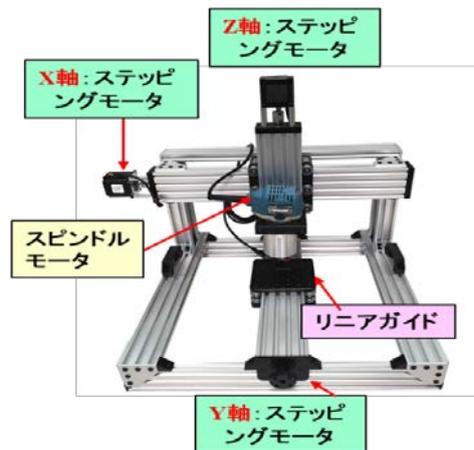


図 1 CNC フライスの試作機

2-2. スピンドルモータの概要と選定

スピンドルモータは、図 2 に示すようにモータ部と回転部(スピンドル)が一体化したモータである。工具はインダクションモータ(誘導電動機)のスピンドルに取り付ける。スピンドルモータの制御を行うために、性能目標を定めて選定を行った。具体的には、アルミの軽切削が可能であることを目標とした。そのために、切削速 100m/min 以上、軸移動をスムーズにするために 3kg 以下であることを条件に選定したモータは、出力 800W、最大回転数 25000rpm、質量 2.6kg である。また、モータの発熱を抑える冷却方式には、簡素な空冷方式のものを選択した。

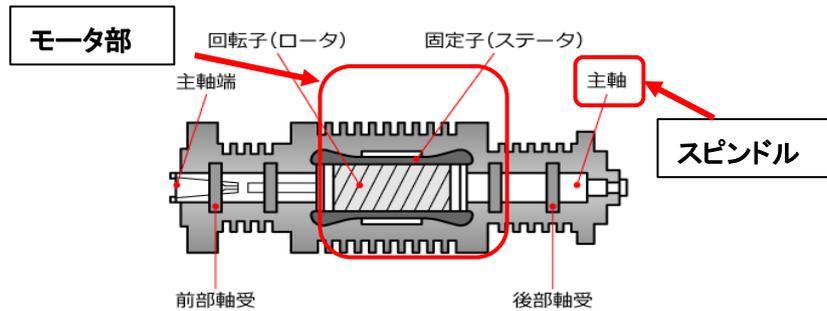


図2 スピンドルモータの構造

2-3. インバータの概要と選定

図3にスピンドルモータの回転数を制御するインバータ装置の仕組みを示す。電圧や周波数を変更するためには、交流の電気を一旦直流に変換し、再度交流に戻す必要がある。この交流から直流に変換し、再度交流に戻す装置のことを「インバータ装置」と言い、交流から直流にする回路を「コンバータ回路」、直流から再度交流に変換する回路を「インバータ回路」という。インバータ回路、コンバータ回路、その間にあるコンデンサなどの装置をすべて含めて「インバータ」装置という。本ミッションで選定し他インバータは、VFD (110V 1500W) である。

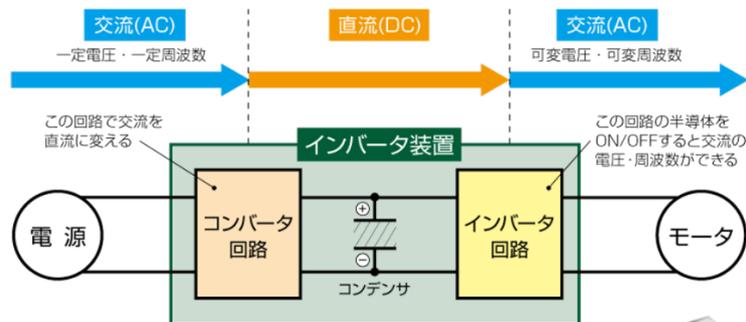


図3 インバータその仕組み

2-4. スピンドルモータの制御

図4にスピンドルモータの周波数制御に使用するVFDインバータのパラメータ値を示す。図4(a)は無回転時の0Hz、図4(b)は低速回転時の60Hz、図4(c)は通常回転時の100Hzである。このように、最初は回転スイッチで0Hzに調整し、Runボタンを押す。その後、60Hz、100Hzと周波数を変更することでエンドミルなどの工具の回転数を制御することが出来る。



(a)無回転時



(b)低速回転時



(c)通常回転時

図4 VFDのパラメータ値

2-5. ステッピングモータの特徴と選定

指令パルス信号に同期して回転するモータである。巻き線を施されたステータと磁化されたロータで構成されている。回転角度は、1パルスの入力に対して回転する軸の角度が決められていて、例えば1パルスで 0.72° 回転するモータの場合、 90° 回転させるためには125パルスの入力が必要となる。回転原理は、指令パルスに基づき、複数のステータ巻線を順次励磁することにより、ステータとロータの磁極同士の吸引・反発の作用を利用してステップ状に回転する。

これらを踏まえて選定したモータは、NEMA23 1.26Nm である。

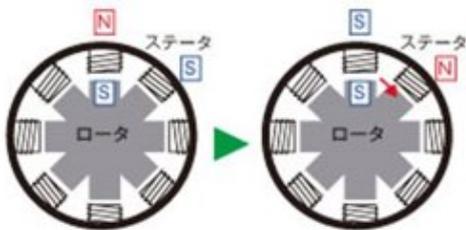


図5 ステッピングモータの原理



図6 選定したモータ(NEMA23 1.26Nm)

2-6. モータドライバ回路の製作

ステッピングモータの回転数を制御するために、モータドライバの製作を行った。公開サイト「自作工房」にあるステッピングモータドライバ回路の物品配置図(図)を参考にして製作を行った。具体的には、市販されている CNC 用のモータドライバ回路から必要な機能だけを取り出したものを製作した。使用されているステッピングモータ IC と同等のものを購入し、電力消費を抑えるために省エネ機能も実装した。

ステッピングモータは回転していない状態でも駆動時と同等の電力を消費し、モータも発熱してしまう。モータ停止時には大きなトルクは必要ないため、モータの電流を下げる機能があると無駄な電力を節約できる。この機能をカレントダウンという。カレントダウンのアイデアとして、モータの出力調整機能を利用した。

2-7. テーブルの3軸位置決め制御

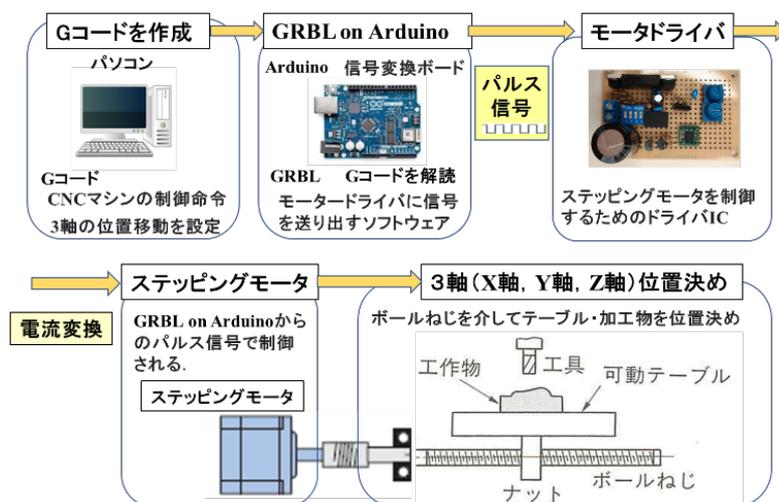


図7 3軸(X軸、Y軸、Z軸)位置決めまでの制御フロー

図 7 に 3 軸の位置決めを行うための制御フローを示す。CNC マシンの制御命令で 3 軸の位置移動を設定する G コードをパソコンで作成する。この G コードを解読し、モータドライバに信号を送り出すソフトウェアである GRBL を、信号変換ボードである Arduino にインストールし、パルス信号で、モータドライバに送る。モータドライバは、ステッピングモータを制御するためのドライバ IC であり、電流変換にステッピングモータに送る。ステッピングモータは、GRBL on Arduino からのパルス信号で制御されます。制御されたステッピングモータは、ボールねじを介して可動テーブル上の加工物の 3 軸(X 軸, Y 軸, Z 軸) の位置決めを行う。

3. 活動の成果や学んだこと

CNC フライスの製作活動を通じて、スピンドルモータを初めて知った。産業用であることから、制御方法が困難であったが、日本語コミュニティ^[2]などを利用して作業を進めていった。ステッピングモータの電力消費のために、カレントダウン機能の実装を行うことで、回路設計における対策法の一つを知ることが出来た。また、クリエにて夏休みに実際のフライス機械を用いた切削講習を受講したことで、CNC フライス製作へ取り組みやすくなった。

4. 今後の展開

今回の活動を通じて、ステッピングモータを使用した 3 軸の位置決め制御やスピンドルモータの制御を行うことが出来た。次年度は未達成であるアルミ板の切削を行い、剛性を上げるためにフレームを再構築するなどして改良していきたい。そのためには、スピンドルの移動をスムーズにするために、ステッピングモータのトルクをさらに上げる必要がある。また、将来的に鋼や鋳物などの切削も可能にする予定なので、試作機から本格的なフライスの製作を検討している。

5. まとめ

本ミッションの目的は、モノづくりを通して CNC 工作機械全般を学習することである。本活動では、CNC フライスの設計・製作を行った。その中でもスピンドルモータの制御に着眼し、学習することができた。3D プリンターの場合は、CNC 工作機械のスピンドル部分が射出部となり、射出部に着眼点動して学習することができると思う。このように、CNC 工作機械で得られた知識を応用することで様々な工作機械を学習できることが分かった。

参考文献

- [1]高 三徳, 李 建赫 Grbl 制御の小型 CNC フライス盤の製作
第 60 回自動制御連合講演会講演論文集
- [2]高 三徳, 李 建赫, 骨川 翔太, 星 英喜 安価な卓上 CNC フライス盤の開発
日本機械学会 2014 年度 年次大会 [2014. 9. 7-10]
- [3]澤 武一 絵とき「フライス加工」基礎のきそ
- [4]自作工房 <https://jisaku-koubou.com/>
- [5] OpenSource Hardware 日本語コミュニティ <https://bbs.avalontech.jp/>