

CNC 切削加工入門
文責：ワッシャー (@ntm510)

他の人に CNC などの切削加工機の使い方を教える時などに、体系的にまとめた資料がなくて困ったことが多くあったので、この機会にまとめて文章することでそういう人への資料にしつつ、せっかくなので同人誌に加えてもらおうと思って書きました。特殊な事項も多いと思うので、それぞれ読み替えてください。あと、本当に基本中の基本しか書いていないので、応用的なことを行いたい場合はその辺の CNC 切削が好きな人 (この同人誌を買うような人の周りにはどうせいると思います) に聞いてみてください。気になる点とか誤字脱字があったら twitter の DM にでも送ってくれると筆者が喜びます。

第 1 章

知識編

まずは基本的な知識について記述します。ここでは、切削に用いるエンドミルと、切削される側の材料について説明します。

1.1 エンドミルの基本

1.1.1 エンドミルの種類

エンドミルと一口に言っても、様々な種類があります。基本的に気を付ける必要がある要素として、1. 刃の形状、2. 刃直径、3. シャンク径、4. 有効刃長の 4 つがあります。刃の形状とは、エンドミルの先端の形状を指します。先端が長方形になっているものをスクエアエンドミル、球状になっているものをボールエンドミルといいます。前者は切削面が平面的、後者は切削面が曲面的な加工に用いられますが、ここでは前者のみを扱います。 画像 1.1 スクエアエンドミル

画像 1.2 ボールエンドミル

刃直径とは、エンドミルを回転した時に先端の刃の一番外側が描く円の直径を指します。これによって切削が可能な幅と、回転軸からどの程度の距離の範囲が切削されるかが決まります。例えば刃直径が 3mm のエンドミルの場合、エンドミルの中心が通った直線を中心とした、幅 3mm の領域が切削されます。また、直径が大きいと切削領域が大きくなるため、基本的に切削時間は短くなります。ポケット加工（後述）など、切削領域が大きく時間がかかる場合は、影響が出ない範囲で大きなエンドミルを使うと加工時間の短縮が図れます。 画像 2 スクエアエンドミルの底面の画像

次に、シャンク径とは、エンドミルのうち刃のついていない上部の円筒状の部分の直径のことであり、写真のエンドミルの場合 4 となっています。普段よく CNC で使われる程度のサイズだと、4mm, 6mm, 10mm などが一般的です。

最後に、有効刃長とは、エンドミルのうち切削が可能な長さのことで、これと等しい長さだけ深く切削を行えます。例えば、上の写真のエンドミルについては、有効刃長が 8mm のため、厚みが 8mm までの板材であれば基本的に問題なく切削が行えます。しかし、それ以上の厚みの板材だと、刃が無いシャンク径が 4mm の部分までエンドミルを挿し込むことになり、シャンクと刃の間のテーパ部分が板材に接触して事故の原因になります。有効刃長を超えた切削は CNC の故障の原因になるため、使用の際には十分に注意をしましょう。 画像 3 スクエアエンドミルの横からの画像

1.1.2 ダウンカットとアップカット

ダウンカットとアップカットは、被切削材に対しエンドミルの回転方向と切削方向がどのようになっているかを表しています。ダウンカット（下向き削り）とは、工具の刃が未切削の部分に当たって材を削り下げる削り方、アップカット（上向き削り）とは、工具の刃が切削済みの部分に当たって削りあげる削り方を指します。ダウンカットでは切り込み時が最も材への食い込みが大きく次第に小さくなり最終的に 0 になるのに対し、アップカットでは食い込みが最初は 0 で次第に大きくなります。詳細は省きますが、びびりや摩擦熱が生じて工具寿命が短くなるなどの理由から、基本的に CNC 加工の際はダウンカットで加工を行います。通常、エンドミルの回転方向は正転（上からみて時計周り方向）にであるため、外形カットを行う場合エンドミル自体の経路も時計回りになります。 画像 4 ダウンカットアップカットとかの図を作って張る

1.1.3 エンドミルの固定方法

エンドミルの固定方法には、1. いもねじ、2. ドリルチャック、3. コレットの 3 種類ほどが一般的です。

いもネジによる固定は特に書くことはありません。カップリングなどと同様に留めれば大丈夫ですが、六角ねじの穴が死にやすいので過度に力を入れて締めすぎないようにしましょう。

ドリルチャックについても、一般的なボール盤のドリルのチャック方式と同じです。チャックハンドルはサイズの合ったものを使いましょう。また、ボール盤でも同様ですが、まれにチャックハンドルを付けたままエンドミルを回してチャックハンドルを吹き飛ばす事故が起きるので、気を付けましょう。当たると痛いのです。

最後にコレットによる固定です。主に ATC 付の CNC でエンドミルを使用する際などに使います。スリットの入った紡錘形の金属部品の中心にエンドミルを挿し、周りを締め付けることで固定を行います。詳しくはユキワ精工の HP などを参照してください。

どの固定方法にしても共通で気を付けることとしては、切削をする材の上面がきちんと Z 軸方向の原点位置に来るようにすることです。エンドミルを材に自重で接触させた上でチャックを行うなどの方法が簡単です。エンドミルの先端に前回の加工の削りカスや、材の固定用の両面テープの粘着部分などが付いていると、最初の固定の際にエンドミル原点が Z 軸上方向にずれるため、削り残しが出てしまうことがあります。加工のたびにエンドミルをパーツクリーナーなどできれいにしましょう。 画像 5 固定部分の画像、何か適当に

1.2 材料の基本

材料としてよく用いられるものとして、樹脂と金属があります。

1.2.1 樹脂

主に用いられる樹脂材として、アクリル樹脂、ABS、POM、ポリカーボネート、MC ナイロンなどが挙げられます。全般的に言えることとして、厚み方向が厳密ではない場合があることに注意が必要で、例えば t5 で売られている板の実寸の厚みが t5.7 だったりします。ここではそれぞれの特徴について記述します。

アクリル樹脂

樹脂板の中でも安価で、透明で見た目が綺麗なこと、レーザー加工が綺麗に行えること、アクリル用接

着剤で溶着が容易なことが利点です。ただし衝撃に弱く、割れる時にはパキッと割れるので、ギヤなど機械的強度が必要な場合にはお勧めしません。

ABS

アクリルの次に安価で、アクリルより機械的強度が高いです。樹脂の中でも融点が低めで、融けてエンドミルにへばりつきやすいので、加工する速度に注意が必要です。レーザー加工も可能ですが、切断面がアクリルより粗くなりがちです。また、融点が低いことから 3D プリンタのフィラメントに良く使われます。

ポリカーボネート

POM よりも機械的強度が高く粘り強いので、衝撃があってもそうそう割れないという特徴があります。加えて、アクリル用接着剤での溶着も容易となっています。加工性は ABS や POM などより劣るため、注意が必要です。また、加工の際に除去しにくいバリが残るという点もあります。見た目がアクリルと近いのですが、異なる特徴として弾性がアクリルより強いことと、断面が少し青みが掛っていることがあげられます。

POM

滑りが良いので、摺動部などに向いています。レーザー加工も可能で、アクリルの次に綺麗に切れます。バネ質で機械的強度も高めで、色々と手ごろでちょうどよい材料です。撃力で割れることもあるので過信は禁物です。

6 ナイロン

MC ナイロンとも呼ばれる、既製品の樹脂ギヤにも用いられる樹脂材です。機械的強度はこれの中では最も高いですが、ポリカーボネートと同様にバリが除去しにくいことと、価格が高価なことが良くない点として挙げられます。また、吸湿して膨張するという特徴もあるため、例えば長い梁のようなパーツを作ると、湿気を吸ってもものすごくたわむので注意が必要です。 画像 6 融点、レーザー加工可能性、バリの取りやすさ、価格、ヤング率、比重などの表

情報元の URL

樹脂：<http://www.kda1969.com/>

1.2.2 金属

金属を用いる理由としては、一番に重量当たりの強度で樹脂より優れていることがあげられます。

アルミ合金

アルミ合金と一口に言っても、色々と種類があります。筆者がよく使っていたのは A5052(板材) や A6063(角パイプ) などです。型番と種類の対応は表 1.3 のようになります。ここでは、A5052,A2017(ジュラルミン),A2024(超ジュラルミン),A7075(超々ジュラルミン) を紹介しますが、CNC 加工では基本的に A5052 を用います。たわみなどが心配な場合は、CAD に付属している CAE で計算した上で、必要なヤング率を満たすものを使用しましょう。ちなみに、ヤング率で比較を行うと、超ジュラルミン > ジュラルミン > 超々ジュラルミン > ジュラルミン > 工作用アルミとなります。特にこだわりがなければ、基本的に工作用の A5052 が入手しやすいそうです。厚みについては、ぴったり寸法の通りであることが多いようです(購入している業者によるのかは筆者のリサーチ不足です)。通常の CNC 加工では A5052 を使うのが良いでしょう。アルミ：<http://www.alumitech.co.jp/html/download5.html>
真鍮

真鍮の中でもよく用いられるのが C3604(快削真鍮) です。入手性が良く、比重が高い金属の中では加工性が良いため、フライホイールや重りなどの重量物を作る際に向いています。後は、樹脂材との滑りが比較的良好いため、溝カムなどの摺動部に用いることもあります。

鉄(ステンレス含む)

入手が容易な金属の中でも加工が比較的難しく、加えて重いので、荷重が大きくかかる軸など、ロボコン用途では一部の機械的強度が重要なパーツを除いてあまり多くは使われない印象です。CNC でも加工できないことはないですが、長い時間と大量の切削油とエンドミルの犠牲が必要なため、お勧めしません。

1.2.3 その他

樹脂でも金属でもない材料をその他とします。

MDF ボード

Midium Density Fiber Board の略で、中密度繊維板とも呼ばれるもので、木の繊維を樹脂で板状に固めて作られています。基本的にレーザーで加工を行う材料であり、筆者は t4 のものを頻繁に使います。加工が容易な上に木工用ボンドで接着が容易なため、さっとプロトタイピングを行うときには非常に便利です。切

削での加工も可能ですが、加工時間などの観点からレーザーで加工されがちです。また、強度は樹脂や金属より当然劣り、また材質が木材に近いことからへこみなども生じやすいため、そもそも厳密な寸法が必要な部品の作成には不向きです。

表 1.1 樹脂の種類と性質

樹脂	融点	レーザー加工	バリの除去性	価格 (1 枚)	ヤング率 (MPa)	比重 (g/cm ³)
アクリル		o		¥ 590	65-77	1.19
ABS		o	o	¥ 790	35-59	1.05
ポリカーボネート		x		¥ 890	64-69	1.2
POM		o	o	¥ 1230	61-69	1.41
6 ナイロン		x		¥ 1710	41-166	1.13

表 1.2 アルミの型番と種類, 具体例

型番	種類	具体例
1000 番台	純アルミ	
2000 番台	Al-Cu 系	ジュラルミン, 超ジュラ
3000 番台	Al-Mn 系	
4000 番台	Al-Si 系	
5000 番台	Al-Mg 系	工作用アルミ材
6000 番台	Al-Mg-Si 系	
7000 番台	Al-Zn-Mg 系	超々ジュラルミン

表 1.3 アルミの種類とヤング率, 比重

種類	ヤング率 (GPa)	比重 (g/cm ³)
A5052(工作用アルミ)	70.6	2.79
A6063(角パイプ)	68.6	2.70
A2017(ジュラルミン)	72.6	2.75
A2024(超ジュラルミン)	73.5	2.78
A7075(超々ジュラルミン)	71.6	2.81

第 2 章

実践編

ここからを実践編とします。具体的には、

工程 1.CAD ソフト (inventor) での部品設計
工程 2.CAM ソフト (Cut2D) でのツールパス設計
工程 3.CNC(RD300) での作業、清掃

という順番で切削部品の製作を行います。まず工程 1 では、CAD による部品の設計と、経路設計に必要な外形線を含む vector 形式ファイルの作成を行います。この工程では、製作する部品の二次元情報から vector 形式ファイルを作ります。次に工程 2 では、工程 1 で作成した vector 形式ファイルを元にして、実際に加工を行う経路を設計し、NC データの作成を行います。この工程で、vector 形式ファイルの調整と、切削を行う深さ情報を加えた三次元のツールパスの設計を行います。最後に工程 3 では E、工程 2 で設計した NC ファイルを CNC で読み込み、実際の切削を行います。

2.1 CAD ソフト (inventor) での部品設計

今回は inventor を使って設計を行います。学生であれば学生用のライセンスがオンラインからすぐに使え、ドキュメントも充実しているのが良い点です。

2.1.1 基本的な部品設計

CNC で加工が可能な部品の形状には限りがあり、基本的に底面に平行な平面またはと底面に垂直な側面の集合のみを持つ立体である必要があります。基本的には板材から切り出せる形状のパーツであれば加工で製作することが可能で、曲面を含む三次元的な部品の場合も、前述のボールエンドミルを使えば加工は可能ですが、ここでは簡単のため説明しません。

2.1.2 部品設計で気を付けること

CNC で切削加工を行う部品を設計する上で、エンドミルによる加工を理解する必要があります。まず第一に、切削される領域は円が移動した領域であるということです。例えば、図 hoge の設計では、外形の周囲をそのまま削ると、角の部分の内側に削り残しが生じます。はめ込みを行うパーツなどの場合、その削り残し部分が干渉する場合があります。そのため、円形の切り抜きをあらかじめ設計に追加しておくことで、角部分をすべて削りきるすることができます。また、外形の線に沿ってエンドミルが動くという性質から、エンドミルの直径と同じ径の穴をあけることは基本的にできません。この問題の解決方法としては、穴径をエンドミル径より微妙に大きくするなどが挙げられ、第二章で詳細を書きます。

2.1.3 vector 形式ファイルの作成

inventor での部品作成が終わったら、CAD の図面作成機能を用いて、vector 形式のファイルを作成します。Cut2D で読み込める vector 形式ファイルには dxf, pdf 形式などがありますが、ここでは pdf を用います。vector 形式ファイル作成の際に気をつけることとしては、

1. 縮尺を 1:1 にする
2. 図面中の部品名や図表などを削除する
3. 図面中に隠線を残さない

などが挙げられます。縮尺を 1:1 にするのは部品のサイズを設計した通りに加工するため、図面中の図表・隠線を消すのは Cut2D で経路を作る時に余計な線なるべく残さないために行います。inventor の場合、縮尺は図 fuga の部分で設定を行います。また、図表は左のバーの JIS うんたら部分をクリック 削除で消すことができます。それが終わったら、pdf 形式で

保存を行ってください。

2.2 CAM ソフト (Cut2D) でのツールパス設計

ここでは Cut2D での作業のみを書きます。ポストプロセッサや工具ファイルの設定は各々の環境に合わせて行ってください。作業は以下の順番で行います。

1. ファイルの読み込み

2. ベクトルの編集

3. 経路作成

2.2.1 ファイルの読み込み

Cut2D を開いたら、既存のファイルの読み込みで先ほど作成した pdf ファイルを読み込みます。読み込んだ後の設定は図 foo を参考に行ってください。材料の厚みは材料ごとに微妙に異なるため、きちんとノギスで測って入力をしてください。厚みが実際の材料より厚いと切削後に削り残しが出る、薄いと過剰に削ってしまって CNC の捨て板を傷つけてしまうなどの問題が生じます。

2.2.2 ベクトルの編集

厚みを入力したらベクトルの操作に移ります。先ほど作成した vector ファイルを読み込むと、CAD によっては学生ライセンスの表示が残っていることがあるため、それをドラッグで短型選択を行って delete キーで削除します。その後、部品の線を選択し、原点近くまで移動させます。加工は基本的に加工機械の原点から始まるため、この作業を行います。

また、外形の線に沿ってエンドミルが動くという性質から、エンドミルの直径と同じ径の穴をあけることは基本的にできません。この問題は穴径を空けたい径より少しだけ大きくすることで解決できます。

2.2.3 経路作成

加えて、エンドミル径とほぼ同じ径の小さい穴を深く掘る際にもポケット加工は有用です。これはエンドミルの形状が原因で、切り屑が穴の外に逃げにくい形状になっているのですが、ポケット加工で加工を行うことで、1 層切削する度にエンドミルが穴から抜けてくれるので、切り屑が穴の中にたまらず、深く掘り進むことができます。

2.2.4 小ネタ

材料の固定に両面テープを用いる場合には 0.2mm 程度厚みを増して入力しておくことで両面テープを少

し削りつつ削り残しが出ないようにするなどの方法があります。

2.3 CNC(RD300)での作業、清掃

2.3.1 素材の固定

2.3.2 エンドミルの固定

2.3.3 実際の加工

2.3.4 掃除

第 3 章

応用編

- 3.1 ギヤを切削で作る
- 3.2 Cut2D の便利な機能

第 4 章

付録

4.1 スマホ、タブレット用スタンド

参考文献