

**切削ライフ**  
**～ボールエンドミル編～**

**f/ats 著**

**2019-12-31 版 発行**

# はじめに

この度は「切削ライフ～ボールエンドミル編～」を手にとっただきありがとうございます。本書は弊社サークル f/ats による「切削ライフ」シリーズ 6 冊目となります。

本書では、Fusion 360 で設計したモデルをボールエンドミルで切削する方法を紹介します。ボールエンドミルを使うことで、平面的なパターンだけでなく、斜面や滑らかな曲面のある立体物を切削することができるため、流線型のモデルや金型の作製で重宝します。

ボールエンドミルを使用するといっても特有の CAM 作業がある程度で、モデリングや切削作業はスクエアエンドミルとほとんど変わりません。そのため、Fusion 360 の CAM 機能解説が中心になります。Fusion 360 の CAM 機能には非常に多くの設定項目が用意されていますが、ボールエンドミルを扱う上で最低限必要と思われる情報中心に絞り、できるだけシンプルにまとめました。本書を読めば、多少非効率的なツールパスだったとしても、一通りボールエンドミルを扱えるレベルになれることを目標としました。また、ボールエンドミルの扱いは初心者の筆者がつまづいた点や失敗の反省についても記載しました。

## こんな方にオススメ

本書では、設計に Fusion 360 を使い、CNC フライス（オリジナルマインド KitMill CL200\*<sup>1</sup>）を使用して切削しています。また、KitMill のオプション品「引きネジ型コレットチャック式スピンドル」を導入したので使用した感想も記載しました。

次のような方に特に役立つ内容になっていると思います。

- CNC フライスを使った切削に興味がある方
- 曲面や斜面を持つ立体物の切削加工、ボールエンドミルの使い方に興味のある方
- Fusion 360 と CNC を組み合わせた設計や作品創りに興味のある方
- 「引きネジ型コレットチャック式スピンドル」に興味のある方

---

\*<sup>1</sup> これまでの切削ライフでは KitMill RD300 (nupka 所有)、KitMill SR200 (ししょー 所有) を使用していました。

---

## 前提知識

本書を読むにあたり、CNC フライス、Fusion 360 に関する基礎知識を持っていることが望ましいです。作業のポイントは紹介していますが、CNC フライスやソフトウェアの基本概念・基本操作については詳しく解説していません。それらに関する情報は、公式ドキュメント・web・書籍などに素晴らしい解説があるので、必要に応じて各自参照ください。

また、CNC フライス関連で使われる特有の用語も特に断りなく使用します。人によって呼び方が違ったり、機種によって名称が違ったりと思うので、適宜読み替えてください。

## 設計環境・切削環境

- Windows 10 64bit 版
- Fusion 360 v2.0.7036 (2019-12-21 時点最新版)
- CNC フライス：オリジナルマインド KitMill CL200
  - オプション品
    - \* XY 軸ボールスクリュー
    - \* 引きネジ型コレットチャック式スピンドル
- CNC 制御ソフト：USBCNC V3.52.8
- 切削材料：ケミカルウッド
- エンドミル：
  - モノタロウ 超硬スクエアエンドミル 刃径  $\phi 4\text{mm}$  / 刃長 10mm / 刃数 2
  - モノタロウ 超硬ボールエンドミル 刃径  $\phi 3\text{mm}$  / 刃長 6mm / 刃数 2
  - 日進工具 超硬ボールエンドミル 刃径  $\phi 1\text{mm}$  / 刃長 5mm / 刃数 2

---

## f/ats について

f/ats(フラッツ)はアート, 技術ネタ, 実験を楽しむサークルです.

"Have fun with Art, Tech, Science!"

## お問い合わせ先

- <https://f-l-ats.blogspot.jp>
- [flatsCircle@gmail.com](mailto:flatsCircle@gmail.com)

意見, 要望, 質問は web サイトまたはメールでお問い合わせください.

## 免責事項

本書の記載内容は, 情報の提供を目的としています. 内容には可能な限りの注意を払っておりますが, 正確性や安全性に責任を負うものではありません.

使用しているソフトウェアは, 今後のアップデートで仕様が変わる可能性があります. 使うときは公式サイトから最新情報を手に入れることを心がけてください.

切削に関する情報は, 個人レベルの経験的なノウハウであること, 環境や機材に依存することに十分注意してください.

# 目次

<b>はじめに</b>	<b>2</b>
こんな方にオススメ . . . . .	2
前提知識 . . . . .	3
設計環境・切削環境 . . . . .	3
f/ats について . . . . .	4
お問い合わせ先 . . . . .	4
免責事項 . . . . .	4
<b>第 1 章 凸半ドライバー</b>	<b>7</b>
1.1 設計 . . . . .	7
1.2 ボールエンドミル切削のポイント . . . . .	9
<b>第 2 章 使用するもの一覧</b>	<b>11</b>
2.1 CNC フライス関連 . . . . .	11
2.2 ソフトウェア . . . . .	13
2.3 その他 . . . . .	13
<b>第 3 章 ワークフロー</b>	<b>15</b>
3.1 全体の流れ . . . . .	15
3.2 各工程の概要 . . . . .	16
3.3 まとめ . . . . .	18
<b>第 4 章 CAD 作業</b>	<b>19</b>
4.1 デザイン . . . . .	19
4.2 CAM 用スケッチ追加 . . . . .	21
<b>第 5 章 CAM 作業</b>	<b>23</b>
5.1 エンドミルの登録 . . . . .	23

## 目次

---

5.2	ストックの設定（エンドミル切削用）	26
5.3	ツールパスの生成（エンドミル）	28
5.4	ストックの設定（V カッター用）	46
5.5	ツールパスの生成（V カッター）	48
5.6	シミュレーション	50
5.7	ポスト処理	52
5.8	まとめ	54
<b>第 6 章</b>	<b>切削</b>	<b>55</b>
6.1	CNC フライス事前準備	55
6.2	材料の固定	56
6.3	エンドミルの取り付け	56
6.4	原点合わせ	59
6.5	エンドミルによる切削	63
6.6	彫刻（V カッター）	69
6.7	取り外し	71
6.8	まとめ	71
<b>第 7 章</b>	<b>完成</b>	<b>72</b>
7.1	全体	72
7.2	仕上がり確認	73
7.3	まとめ	75
<b>付録 A</b>	<b>切削ライフ シリーズ情報</b>	<b>76</b>
	<b>あとがき</b>	<b>77</b>

# 第1章

## 凸半ドライバー

本章では、題材となる「凸半ドライバー」の設計コンセプトと設計図の紹介に加え、ボールエンドミル切削で大切なポイントについて解説します。

### 1.1 設計

#### 完成イメージと設計コンセプト

ボールエンドミル編では、ケミカルウッドを削り出し、板上に半分だけ飛び出したドライバー（図 1.1・図 1.2・図 1.3）を作ります。「凸半ドライバー」と呼ぶことにします。

なぜマイナスイドライバーなのかというと、モデリングも簡単だったからです。今回は、とりあえずボールエンドミルを使ってみるというレベルなので、シンプルな形状のモデルにしました。

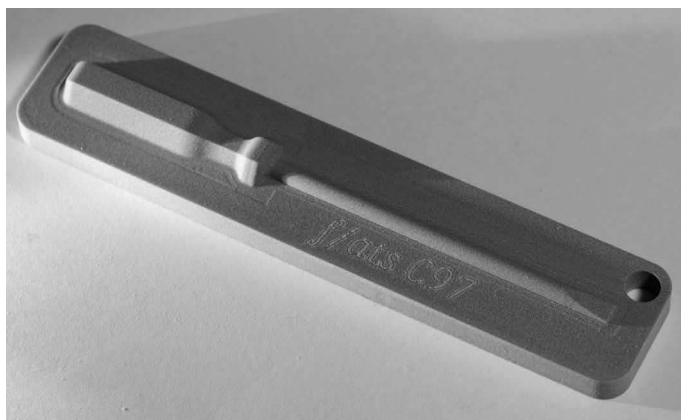
このモデルには平坦部、曲面、斜面、エッジ（平坦部と凸部分境界）、穴加工、輪郭加工という要素が盛り込まれており、複数種のエンドミル、複数の加工パターンを使い切削します。このモデルを切削できるようになれば、複雑ではないモデルは概ね切削できるようになると思います。また、Vカッターによる文字彫刻も行っているので模様を刻みたい場合にも対応できます。本書では凸状の解説になりますが、凹んだ形状でも作業の流れはほとんど同じ（はず）です。

素材は、切削が簡単なケミカルウッド\*1にしました。前作まではアクリル板を切削していましたが、熱で溶けないように削るのは時間がかかるので今回は断念しました\*2。

---

\*1 ポリウレタンで作られた人工木材。適度な硬さで切削しやすい材料です。プラスチックのように切削熱で溶けることはありません。

\*2 今回のパターンの切削時間はトータル約2時間でした。アクリル板の切削はもっと時間がかかりそうです。



▲図 1.1 完成写真



▲図 1.2 TopView

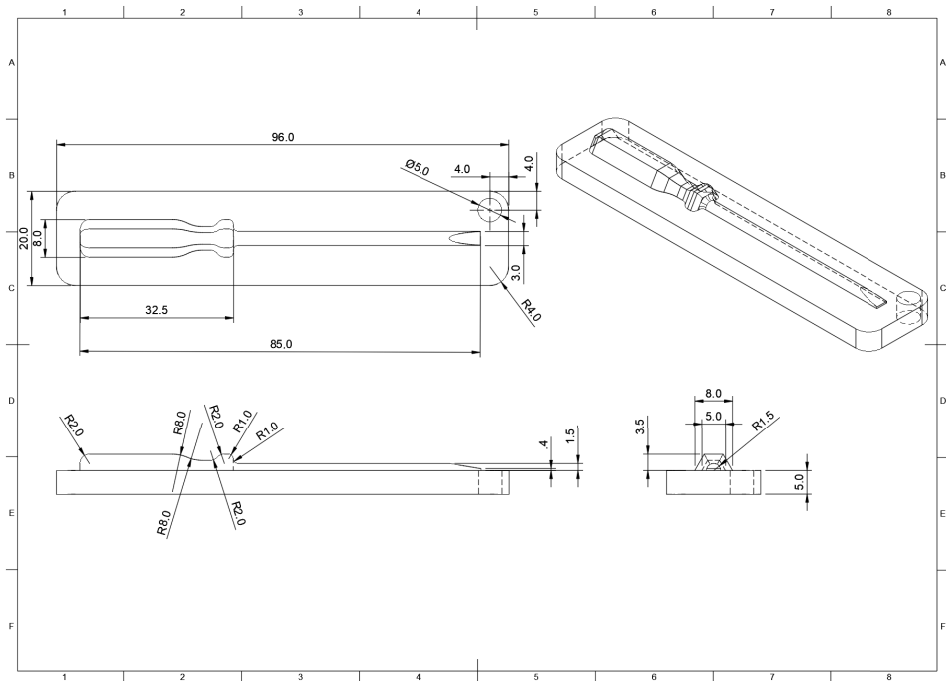


▲図 1.3 SideView



## 設計図

凸半ドライバーの設計図を図 1.4 に示します。グリップ部分の斜面は  $60^\circ$ ，軸の直径は 1.5mm です。



▲図 1.4 設計図

## 1.2 ボールエンドミル切削のポイント

ボールエンドミルの切削で重要なのは、切削ピッチです。なぜならば、ボールエンドミルによる切削では平坦部などで刃が接触しない領域が存在し<sup>\*3</sup>，削り残しの凹凸が無視できる程度に切削する間隔（ピッチ）を設定する必要があるからです。

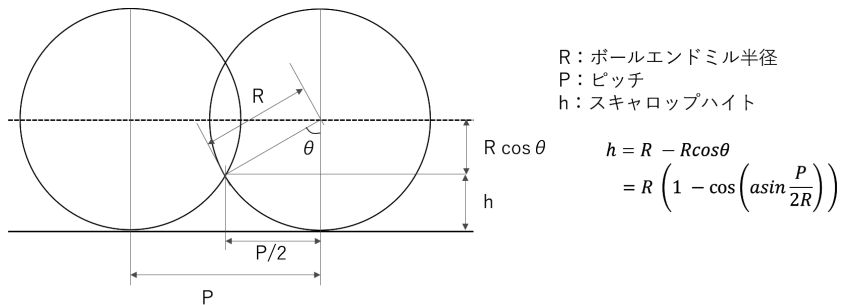
この削り残しの高さはスキヤロップハイト<sup>\*4</sup>と呼ばれ、0.01mm 程度以下にするとよい

<sup>\*3</sup> スクエアエンドミルにも刃径より小さいコーナーなど削れない領域はあります。

<sup>\*4</sup> scallop：ホタテ貝。カスプハイトとも呼ばれるそうです。

## 第1章 凸半ドライバ

ようです\*5。スキヤロップハイトは図 1.5 に示す計算で求めることができます。ボールエンドミルの半径 (R)、ピッチ (P)、スキヤロップハイト (h) の関係を図 1.6 に示します。R1.5 のボールエンドミルならピッチ 0.4mm 以下、R0.5 のボールエンドミルならピッチを 0.2mm にすれば大丈夫そうです。なお、この表の値はあくまでも理論値であり、エンドミルの公差、切削中の軸ブレ、CNC フライスの Z 軸精度、Z 軸原点合わせ精度などで若干ブレが生じるので注意してください。



▲図 1.5 スキヤロップハイトの理論値

半径R (mm)	ピッチ P (mm)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1
0.5	0.0025	<b>0.0101</b>	0.0230	0.0417	0.0670	0.5000
1.0	0.0013	0.0050	<b>0.0113</b>	0.0202	0.0318	0.1340
1.5	0.0008	0.0033	<b>0.0075</b>	<b>0.0134</b>	0.0210	0.0858

▲図 1.6 スキヤロップハイト

図 1.6 に示すとおり、太いエンドミルのほうがピッチを大きくできるので切削時間を短縮できますが、狭い場所は削り残しが発生します。太いエンドミルで切削した後、必要に応じて細いボールエンドミルで削り残しを取り除くのがよいでしょう。

\*5 一般的なコピー用紙 (連量 55kg) の厚さが 0.08mmmm です。