

アドバンスドマニュファクチュアリング演習 レポート

佐々木良輔

学籍番号：61908697

目次

第 1 章	設計	2
1.1	エンブレムの設計	2
1.2	金型の設計	3
第 2 章	加工	6
2.1	製作物の構成	6
2.2	加工データ作製	7
2.3	加工方法	10
第 3 章	測定	15
3.1	3 次元測定機	15
3.2	ビッカース硬さ試験機	16
3.3	形状測定機	16
第 4 章	まとめ	17
4.1	感想	17
参考文献		18

第 1 章 設計

この章では私が設計を行ったエンブレムと金型について、その概要を述べる。

1.1 エンブレムの設計

図 1.1 に作製したエンブレムの概形を示す。設計は DASSAULT 社製 SolidWorks 2021 CAD ソフトウェアを用いて行った。エンブレムにはモチーフとして Think の文字をあしらった。

エンブレムはワイヤー放電加工機で製作されることを考慮し、最小のクリアランスを 2 mm とした。ワイヤー放電加工機で材料をくり抜く場合、のワイヤーを通すためのスタートホールを事前に開けておく必要がある。スタートホールの位置を図 1.2 に示す。図 1.2 のようにスタートホールを一直線上に並べたり、位置の精度を mm 程度にしておくことで、後にボール盤でスタートホールを加工する際に加工が容易になるようにしている。

加工の際には SolidWorks から正面からの図面を dxf 形式で出力、ワイヤー放電加工機に読み込み、組み込まれている CAM 機能を用いて加工を行った。

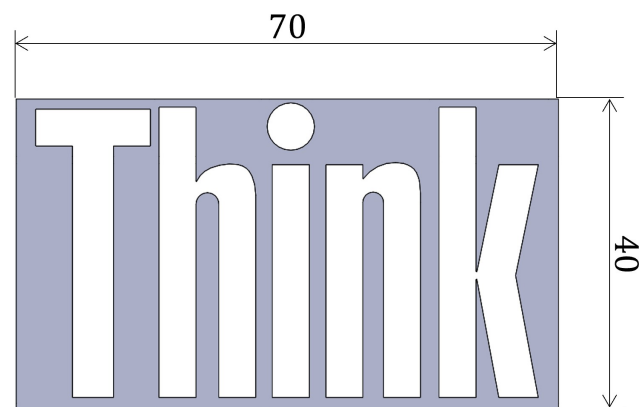


図 1.1 エンブレムの概形

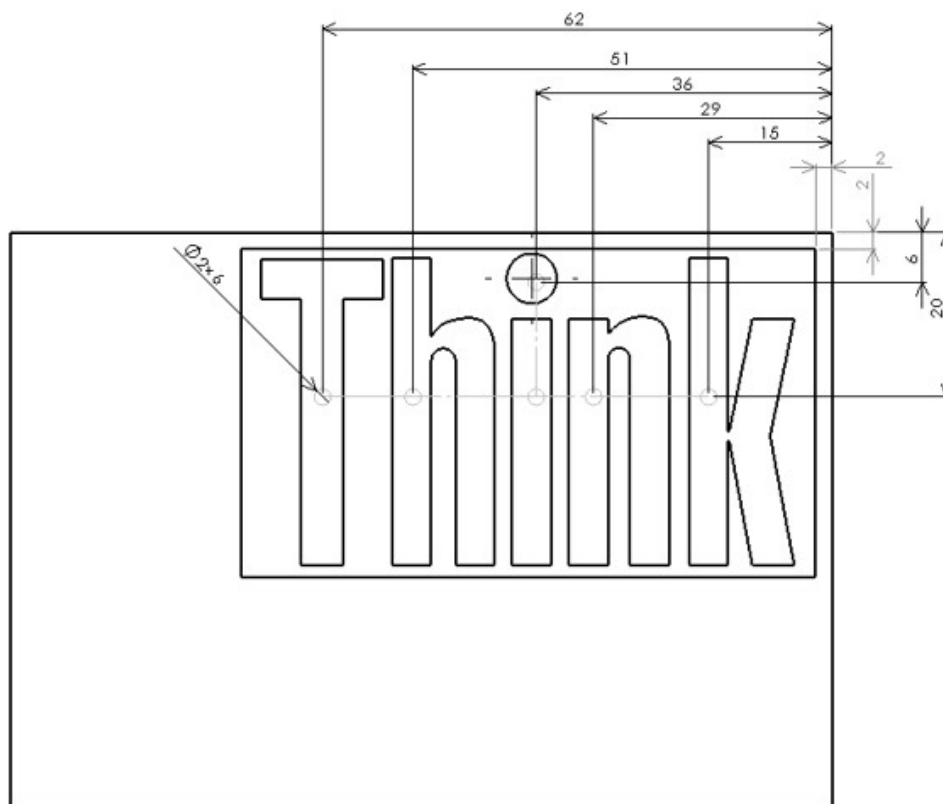


図 1.2 スタートホールの位置

1.2 金型の設計

図 1.3 に作製した金型の概形を示す. 設計は SolidWorks 2021 を用いた. 金型にはモチーフとして GitHub 社のキャラクターである Invertocat をあしらった.[1, 2]

金型は射出成形に用いることを考慮し、側面に抜き勾配を 5° 設けた。また加工に $\phi 2$ のラジスエンドミルを用いることから、最小 R は 1 mm とし、クリアランスも 2 mm 以上となるようにモデルを調整した。また底面には R 0.3 のフィレットを設けた。

今回の設計においてはスプラインを多用したが、このような複雑な形状に対して SolidWorks の抜き勾配機能を用いると図 1.6 のようにボディの生成に失敗した。ここで押し出しツールの抜き勾配オプションを代わりに用いたところ正常に抜き勾配を設定できた。

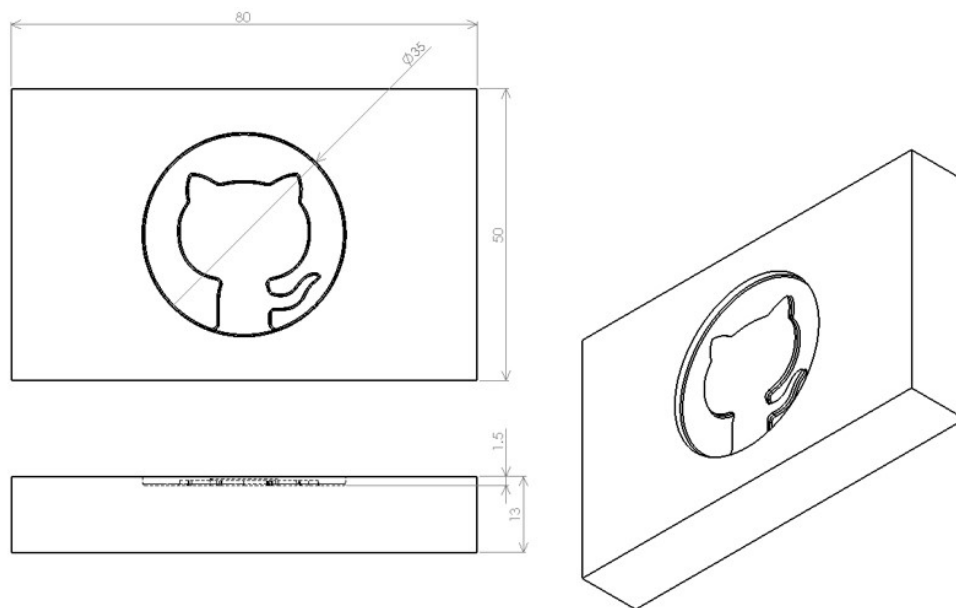


図 1.3 金型の概形

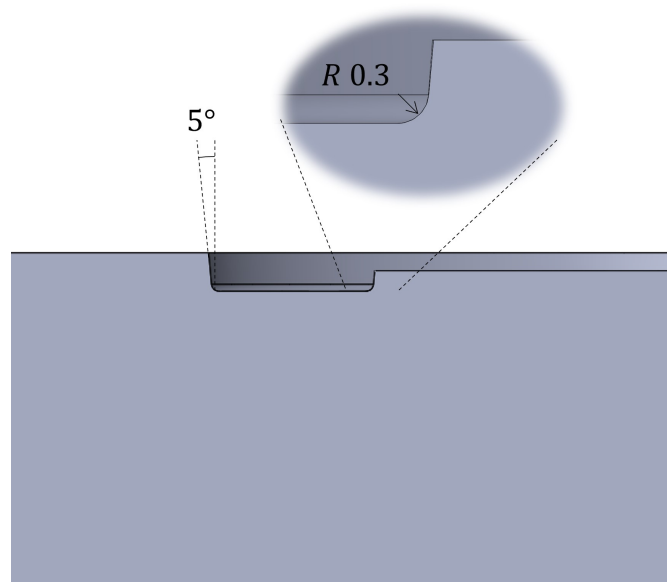


図 1.4 金型の抜き勾配, 底面のフィレット

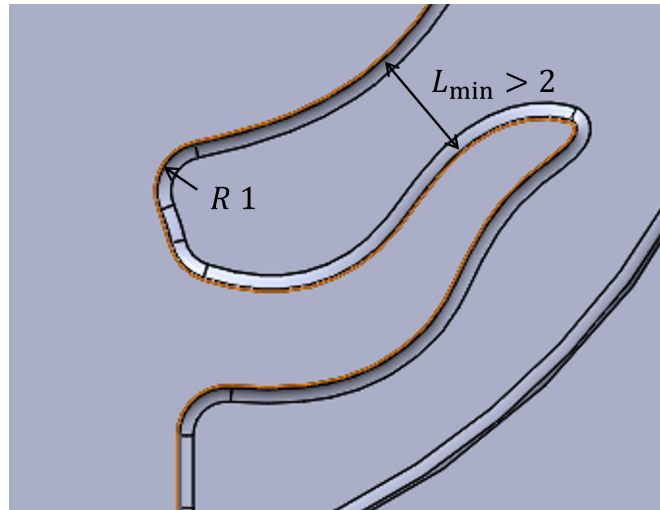


図 1.5 金型の最小クリアランス, 最小 R

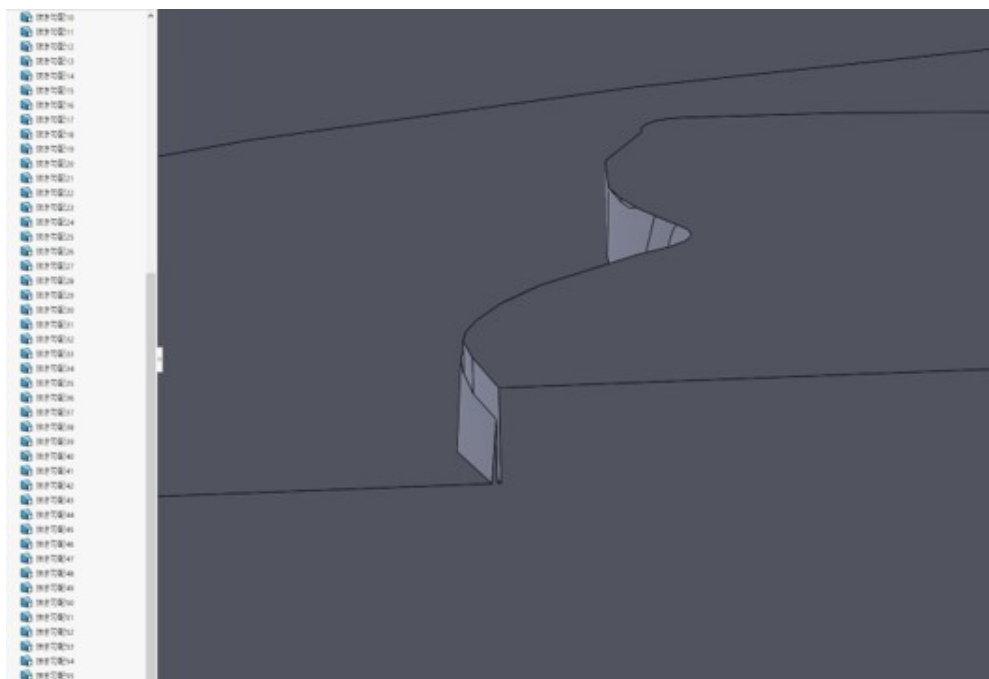


図 1.6 抜き勾配ツールを用いた時のボディ, サーフェスが大量に生成され, 不整合な状態になっている

第 2 章 加工

2.1 製作物の構成

図 2.1 に製作した卓上ブロワーの構成を示す。卓上ブロワーは主に 6 個の構成部品からなる。また各部品の材質, 加工機材を表 2.1 に示す。

- インペラ
- 外装
- 支柱
- ベースプレート
- 装飾
 - エンブレム
 - カード

インペラは USB 電源で駆動する DC ファンにより回転し, 外装側面の吸気口から空気を吸い込み, 排気口から風を送り出す。外装は支柱, 並びにベースプレートで保持される。ベースプレートと支柱はネジで固定され, 緩めることで角度を調整できる。ベースプレートにはカードとエンブレムが装飾として取り付けられている。

表 2.1 各部品の材質, 加工機材

	材質	加工機材
インペラ	ケムウッド	DMG MORI 製 NMV1500 5 軸加工機
外装	アルミ	ヤマザキマザック製 INTEGRIX i-100 複合加工機
支柱	アルミ	中村留精密工業製 Super NTY ³ 複合加工機
ベースプレート	アルミ	オークマ製 MB-4000H 横型マシニングセンタ
エンブレム	アルミ	三菱電機製 MV-2400S ワイヤ放電加工機
カード	ABS(本体), NAK80(金型)	Sodick 社製 LP20EH2 射出成形機, オークマ製 MB-4000H 横型マシニングセンタ

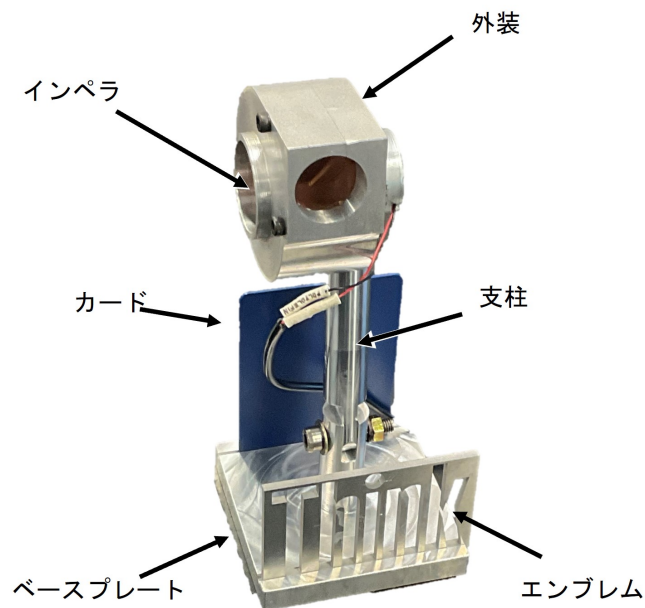


図 2.1 卓上ブロワーの構成

2.2 加工データ作製

金型は CAD データから CAM ソフトウェアを用いて NC データを作製し, これを用いて加工を行った. CAM ソフトウェアには UEL 社製 CAD meister を用いた. SOLidWorks で作製した CAD データを STEP 形式に出力し, これを CAD meister で読み込んで作業を行った. 加工データの作製は以下の手順で行われる.

1. ツールパスの作製
 - 荒取りパス
 - 仕上げパス
2. NC データ出力
3. シミュレーション
 - 削り残し量計算
 - 加工負荷計算

2.2.1 ツールパスの作製

今回は荒取りパスと仕上げパスの 2 つに分けてツールパスを作成した。加工はは図 2.2 に示したラジラスエンドミルで荒取り, 仕上げ共に行った。荒取りパスはポケット加工を行うものであり, 削り代を 0.1 mm 残して加工する。荒取りパスを図 2.3(a) に示す。仕上げパスは表面の仕上げを行う加工であり, 図 2.3(b) のように表面をなぞり荒取りパスで僅かに残した削り代を削ることで表面の状態を良くする。

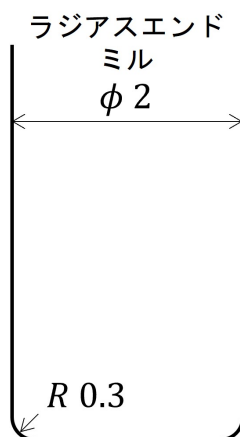
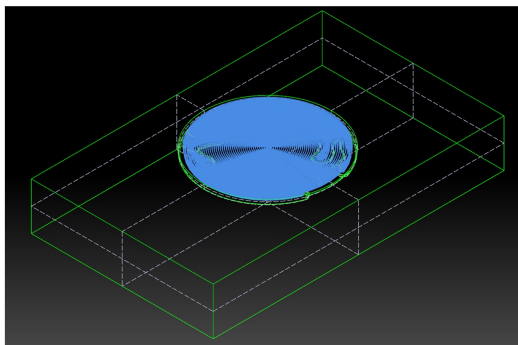


図 2.2 加工に用いるエンドミル

(a)



(b)

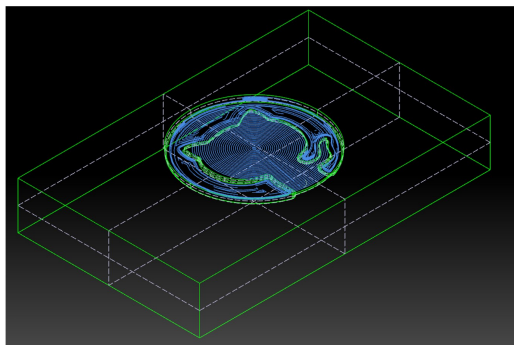


図 2.3 (a) 荒取りパス, (b) 仕上げパス

2.2.2 NC データの出力

NC データとは Listing 2.1 のような M コード及び G コードからなる一連のデータである。CAM ソフトウェアでは前節で作成したツールパスから座標を計算し Listing 2.1 の 12 行目以降のように, テキストデータで座標が羅列される。このデータを CNC 加工機に読み込ませることで, CAD 等で作製した複雑な形状を忠実に機械加工で再現できる。

Listing 2.1 作製した荒取り加工 NC データの冒頭 20 行

```

1      %
2      G00G91G28Z0
3      G28X0Y0
4      T01
5      M06
6      G90G00X0.Y0.
7      G43Z200.H01
8      S10000M03
9      G91G00X-.035Y.075
10     Z-183.7
11     G01Z-3.F65
12     X-.036Y-.016F1000
13     X-.011Y-.018
14     X-.009Y-.057
15     X.008Y-.026
16     X.014Y-.02
17     X.033Y-.027
18     X.036Y-.002
19     X.057Y.018
20     X.024Y.033

```

2.2.3 シミュレーション

CAM ソフトウェアの利点として、加工前にある程度加工のシミュレーションができることが上げられる。これによって加工の際の干渉や過負荷を事前に検証し、これを回避できる。今回の実習では CAD meister の機能を用いて削り残し量のシミュレーションと加工負荷のシミュレーションを行った。

削り残し量のシミュレーション

削り残し量のシミュレーションでは加工後に材料が所望の寸法に対してどれだけ削り残されているか、あるいは削りすぎているかをシミュレートする。図 2.4(a), (b) に荒取り後及び仕上げ後のシミュレーション結果を示す。荒取り加工後の時点では全体が紫色であり、少なくとも 0.1 mm 以上の削り残しがあることがわかる。これは荒取りでは 0.1 mm の削り代を残していることと整合する。一方で仕上げ加工後では全体が緑色になっており、所望の寸法に近い形状が得られていると考えられる。

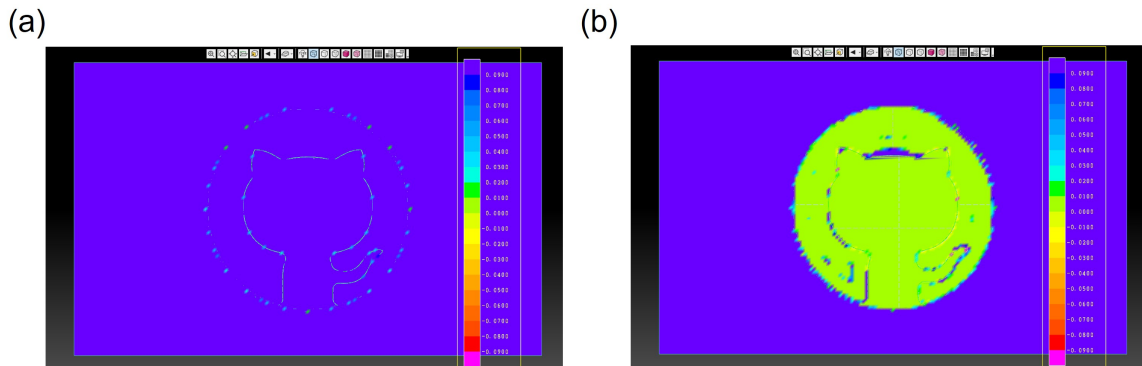


図 2.4 (a) 荒取り後の削り残し量, (b) 仕上げ後の削り残し量

加工負荷

加工負荷のシミュレーションでは加工時に発生する加工負荷をシミュレートできる. 図 2.5 に仕上げ加工の加工負荷シミュレーション結果を示す.

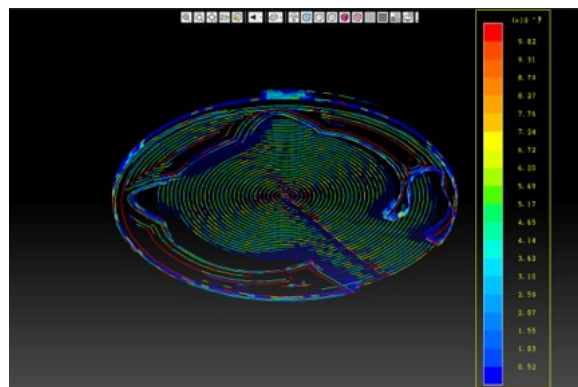


図 2.5 仕上げ加工の加工負荷

2.3 加工方法

この節では各部品の加工方法について述べる.

2.3.1 インペラ

インペラは DMG MORI 製 NMV1500 5 軸加工機を用いて加工した. 材料として円筒状に切断されたケムウッドを用いた. 加工手順を以下に示す.

1. 材料をテーブルにネジでクランプする
2. 事前に用意された NC データをコンソールから選択し, 実行する
3. 干渉がないことを確認しながらオーバーライドを操作し, 問題が無ければ一定のオーバーライドで加工する

今回使用した機材は回転傾斜テーブル型の 5 軸加工機であり、各軸を同期して加工を行う同時加工を行える。また 5 軸加工機は一般に

- 複数の面から加工でき、段取り回数が減る
- 治具を削減できる
- ボールエンドミルの周速 0 点を回避して加工できる
- 工具の突き出し量を短くでき、精度が向上する

といった利点が存在する.[3]

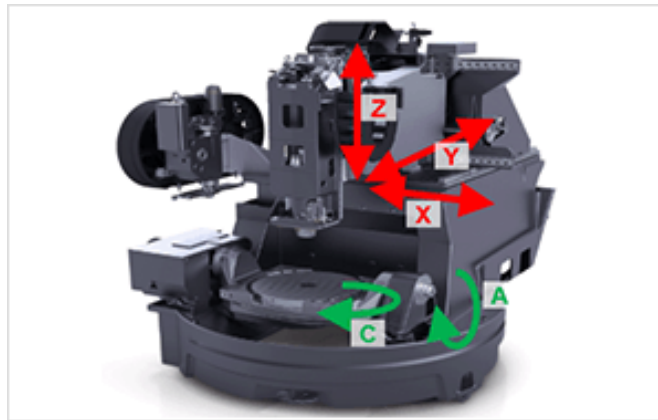


図 2.6 回転傾斜テーブル型 5 軸加工機 [3]

2.3.2 外装

外装はヤマザキマザック製 INTEGREX i-100 複合加工機を用いて加工した。複合加工機は旋盤のように材料が回転するため、丸物の加工に適している。INTEGREX i-100 は MAZATROL という CNC 装置を装備し、対話型でのプログラミングを行える。

材料としてアルミ丸棒を用いた。加工手順を以下に示す。

1. 材料を主軸にクランプする
2. 材料の長さをタッチプローブを用いて測定、ワーク座標に反映する
3. 加工手順書に従って、対話型コンソールを用いてプログラムを行う
4. 干渉がないことを確認しながらオーバーライドを操作し、問題が無ければ一定のオーバーライドで加工する

2.3.3 支柱

支柱は中村留精密工業製 Super NTY³ 複合加工機を用いて加工した。Super NTY³ は INTEGREX i-100 と異なりタレット型の ATC を装備し、高速に工具交換を行える。また主軸も対向して 2 つ装備しており、これによって両持ちでの加工、長物材料の引き出し、両端加工などが行える。

更にタレットは2つの主軸に対しそれぞれ1つ、更に共用の物が1つの計3つを装備し、複数の刃物での同時加工によって生産性が向上する。

材料としてアルミ丸棒を用いた。加工手順を以下に示す。

1. 材料を主軸にクランプする。
2. 加工手順書に従って、プログラムを紙面で作成する
3. コンソールにプログラムを直接入力する
4. 干渉がないことを確認しながらオーバーライドを操作し、問題が無ければ一定のオーバーライドで加工する

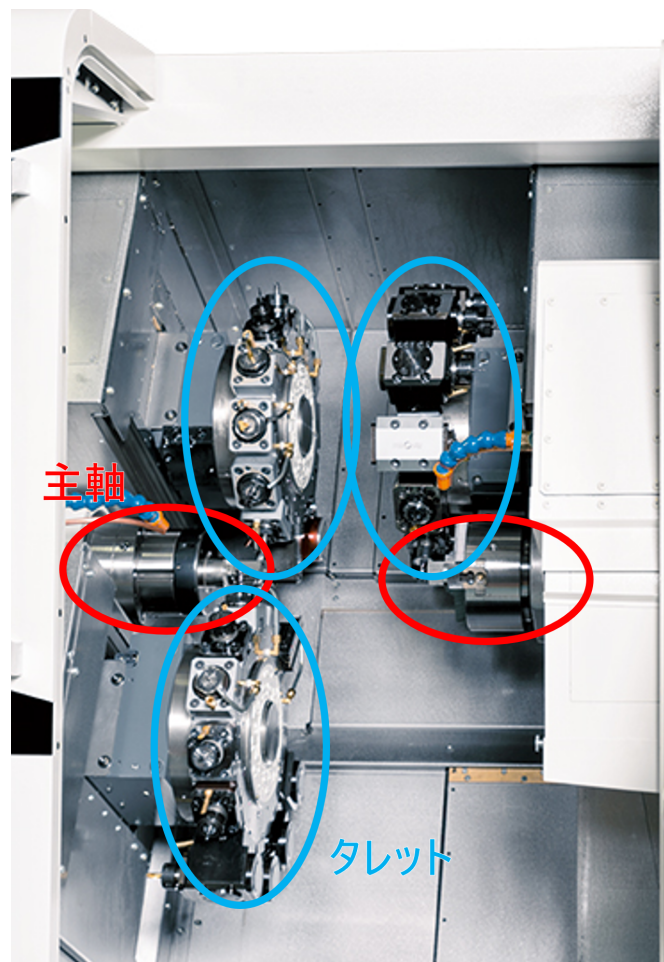


図 2.7 Super NTY³ のタレットと主軸

2.3.4 ベースプレート

ベースプレートはオークマ製 MB-4000H 横型マシニングセンタを用いて加工した。横型マシニングセンタでは図 2.8 のように、主軸が水平に、また材料が垂直にクランプされており、切り屑の排出の点で有利である。また材料が固定されているテーブル (パレット) を丸ごと交換する ATP

(automatic palet changer) が装備されており、生産性が向上する。またパレットに対してイケールという治具を介して材料をクランプすると、イケールの各面に材料を取り付けられるため、より多くの製品を少ない段取りで加工できる。また 48 本のツールマガジンを持ち、BT シャンクのツールホルダを用いる。

材料としてアルミのブロック材を用いた。加工手順を以下に示す。

1. 材料は事前にクランプされていた。
2. ツールホルダに刃物をセットする
3. 事前に定めた番号のツールマガジンにツールホルダをセットする
4. 新たにセットした工具に関しては工具長補正を行う
5. 加工手順書に従って、プログラムを紙面で作成する
6. コンソールにプログラムを直接入力する
7. 干渉がないことを確認しながらオーバーライドを操作し、問題が無ければ一定のオーバーライドで加工する

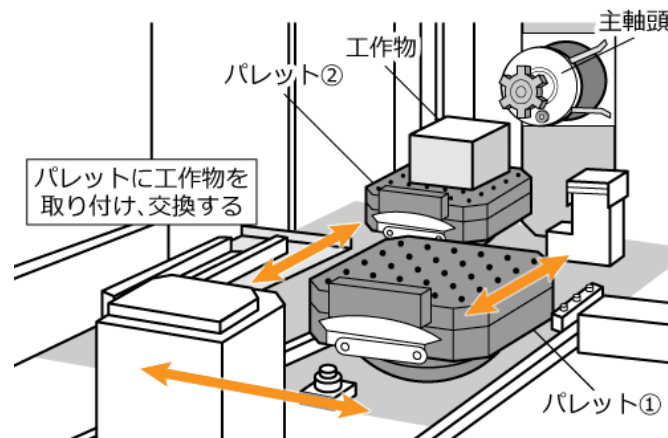


図 2.8 横型マシニングセンタの構成 [4]

2.3.5 エンブレム

エンブレムは三菱電機製 MV-2400S ワイヤ放電加工機を用いて加工した。ワイヤー放電加工機は高電圧を掛けた材料とワイヤーを接近させた際にその間で放電を起こし材料が溶融、同時に発生する水蒸気爆発で金属を除去することで加工を行う装置である。その特性からして導電性のある材料しか加工はできないが、導電性のある材料であればどんなものであっても非常に小さな加工負荷で加工ができるため、表面状態や精度の良い加工ができる。また材料はイオン交換水に沈んだ状態で加工され、このイオン交換水は電気伝導度を維持するため常に循環、濾過され続けている。ワイヤー放電加工機は主に 2 次元形状の加工を行うが、ワイヤーの上下を別々に動かすことで部分的に 3 次元形状を加工することもできる。今回用いたワイヤーは直径 0.2 mm の黄銅線である。より精密な加工を行う場合はタングステン線などを用いる。

材料は厚さ 3 mm のアルミ板を用いた。以下に加工手順を示す。

1. 材料をクランプする。その際にスコヤを用いて大まかにテーブル端と垂直にする。
2. コンソール上で dxf ファイルを選択する
3. 組み込み CAM で加工する輪郭, および対応するスタートホール位置を選択する
4. 助走加工のため, 少し離れた位置に加工開始点を設定する
5. 材料のプロファイルを選択する
6. NC データを生成する
7. 加工を開始する

2.3.6 カード

カードは金型をオークマ製 MB-4000H 横型マシニングセンタを用いて加工し, Sodick 社製 LP20EH2 射出成形機を用いて射出成形した。射出成形機は溶融した樹脂を金型に高圧で注入し, 所望の形状を得る装置である。射出成形機に材料となるプラスチックのペレットをセットすると, 溶融, 計量, 射出成形, 離型などの工程を自動で行う。1 回の成形にかかる時間は数十秒であり, 量産に適している。材料には ABS 樹脂を用いた。MB-4000H に関してはベースプレートの節にて述べたため割愛する。

第 3 章 測定

本実習では 3 次元形状測定機, ピッカース硬さ試験機, 輪郭形状測定機を取り扱った.

3.1 3 次元測定機

3 次元測定機はサンプルの形状を 3 次的に測定する装置である. 本実習では mitutoyo 製 CRYSTA-Apex を用いた. 3 次元測定機は CNC 制御されたタッチプローブとサンプルを置く定盤から成り, 図 3.1 のようにタッチプローブをサンプルに接触させることでサンプルの形状を測定する. CRYSTA-Apex は $1 \sim 2 \mu\text{m}$ の繰り返し精度があり, 非常に精密にサンプルの形状を測定できる.[5]

本実習では作製した卓上ブロワーの外装について内径の真円度や, 上面の平面度を測定した.



図 3.1 3 次元測定機のタッチプローブとサンプル

3.2 ビッカース硬さ試験機

ビッカース硬さとはダイヤモンドの圧子を試料に一定の力で押し込んだ際、試料表面に出来たくぼみの大きさを試料の硬さを評価する手法である。本実習では mitutoyo 製ビッカース硬さ試験機 HV-100 を用いて、硬さ標準片の測定を体験した。以下に測定手順を示す。

1. XY テーブルを操作し、試料上の適当な位置に移動する
2. 測定ボタンを押し、圧子を試料に押し付ける
3. マイクロスコープの映像を見ながら、試料に付いたくぼみの対角線長さを測る

3.3 形状測定機

輪郭測定機はサンプルの輪郭や、表面粗さを測定する装置である。本実習で用いた輪郭測定機は検出器の先端について針がサンプルの表面をなぞる際の座標から、サンプルの 2 次元的な輪郭を測定する。得られた輪郭に対して直線などで fitting を行うことで、交差する 2 直線間の角度などが測定できる。同一の測定装置で、検出器を交換することで表面粗さも測定できる。本実習では輪郭測定機の操作を体験した。

第 4 章 まとめ

本実習では卓上ブラワーの製作を通して設計, 加工, 評価などの一連の流れを体験した. この中で CAD による設計, CAM による NC データの生成, シミュレーションの方法について体験した. 特に設計においては実際の工具の制約や, 作業の効率を意識した. また 5 軸加工機, 複合加工機, ワイヤ放電加工機, マシニングセンタなどの加工機について, それぞれの仕組み, 特徴や利点, 欠点を学び, その操作について体験した. また加工プログラムを紙面上で作成したことで, これを読み書きすることに対して多少なりとも習熟した. また 3 次元測定機, ビッカース硬さ試験機, 形状測定機などの操作を体験し, それぞれの原理や硬さの定義, またこれらの測定機の応用方法について学んだ.

4.1 感想

最近では CAD を個人で用いる機会は増え, また 3D プリンターの普及により広い意味では CAM も趣味の範囲でより身近なものになった. しかし実際の製品の設計や製造に用いる CAD, CAM ソフトウェアと, 趣味で用いるそれとではいくつかの物理的制約や自由度の存在によって未だ乖離があると感じている. こういった中で実際の製品に用いる CAD, CAM ソフトウェアの操作を体験できたのは, 非常に興味深い体験だった.

加工や測定に関して, 趣味の領域ではほぼ触れることのない機材を体験できたのは良い経験だったが, 授業期間に対して内容が詰め込まれ過ぎており, それぞれの機材についての理解が十分ではないと感じた. また実習の際には NC データが事前に用意されている場合が多く, ブラックボックスに近い感覚だった. 以上とは別に, 私は個人的に卓上 CNC フライスを製作しようと画策しており, 実際の製品としての加工機が動作している様子を見ること, またマニファクチャリングセンターの方々と話すことは非常に有意義だった.

参考文献

- [1] GitHub Inc. Github logos and usage. <https://github.com/logos>. (Accessed on 01/19/2023).
- [2] GitHub Inc. Github ロゴのポリシー - github docs. <https://docs.github.com/ja/site-policy/other-site-policies/github-logo-policy>. (Accessed on 01/19/2023).
- [3] DMG MORI. 基礎から分かる 5 軸加工—dmg 森精機. <https://www.dmgmori.co.jp/sp/5axis/>. (Accessed on 01/19/2023).
- [4] mitsuri. 横形マシニングセンタとは？構造、用途、種類を解説 — 金属加工の見積りサイト mitsuri(ミツリ). <https://mitsu-ri.net/articles/horizontal-machiningcenter>, 10 2021. (Accessed on 01/19/2023).
- [5] mitutoyo inc. Cnc 三次元測定機 crysta-apex v500 シリーズ crysta-apex v544 — 商品 — ミツトヨ. <https://www.mitutoyo.co.jp/products/measuring-machines/cmm/standard/191-121/>. (Accessed on 01/19/2023).