

お絵かきソフト, CAM, NC フライス盤による

鋳造用オリジナルメダル金型の製作

Production of original medal molds for casting using drawing software, CAM and NC milling machine

大貫 貴久¹⁾

Takahisa Ohnuki¹⁾

要旨 : 子供たちに材料や加工への興味を持ってもらうため, お絵かきソフト, CAM, NC フライス盤によりデザイン型 (鋳型) を製作して, 鋳造によるオリジナルメダル作りについて検討, 試作を行った. お絵かきソフトを用いてデザインを作成し, DFX ファイル形式で保存して, CAM ソフトを用いて NC プログラムを作成した. NC フライス盤を用いてφ40mm の SS400 の鋼ディスクにデザインの加工を行い, 製作した金型を用いて, 重力金型鋳造法により亜鉛合金を鋳込んで, オリジナルメダルを製作した.

キーワード : お絵かきソフト, CAM, NC フライス盤, 鋳造, 重力金型鋳造法, オリジナルメダル金型

1. はじめに

ものづくり教育において, 材料と加工は, 非常に重要である. すなわち製品開発・製作には, 材料が必要であり, 必ず加工を行う. 一方で, 子供たちの理工系離れが問題になっている. そこで, 材料や加工に興味を持ってもらうため, 子供たち自身が考えてデザインを作り, 黒鉛ディスクを用いて鋳型を製作して, 亜鉛合金を鋳込んでオリジナルメダルを製作することを思いついた. 製作工程を確立し, 本校の高専祭 (学園祭) で実施し, 2014~2019 年で, 延べ 10 日間, 製作者数の合計は 169 名と, 多くの人が参加し, 盛況であった [1]. 黒鉛ディスクを用いるオリジナルメダルを製作の長所は, 小中学生でも製作し易く, 製作時間が約 30 分と短く, 黒鉛ディスクの再利用によりコスト的にも安価で済むことである. 一方で短所もあり, その 1 つは, 黒鉛ディスクの製作, 再利用のため旋盤加工を行うと, 黒鉛の細かな切粉が旋盤の摺動部の隙間に入り込み, 往復台などの移動が悪くなり, 旋盤を分解掃除しなければならぬことが挙げられる. 一方, 高専祭のイベントに来る小中学生たちは, 元来, 理工系に興味を持っていることが想像される. よって, より簡単に製作できるようにして手軽に作れることが望ましい. そこで, より手軽にデザインして, 鋳型を加工する方法について検討, 試作を行った.

2. デザイン型の加工の検討

デザイン型 (鋳型) の材料, 加工方法について検討した.

デザイン型の材料の仕様は, 低コストで入手でき, 準備がし易く, かつ, 小中学生でも加工がし易いことである. また, 黒鉛ディスクによるデザイン型をセットする製作済の外型台, 外型枠を転用して, 重力金型鋳造法を用いることとした. 本来, 鋳型は, 鋳込み個数など考慮して材質・材料を選定するが, 本趣旨の場合, デザイン型 1 つで, メダルを 1 つから数個鋳造できればよいので, 低コストで入手し易い, 一般構造用圧延鋼材 SS400 を用いることにした. 寸法は, 製作済の外型枠の内径が φ40mm なので, SS400 の磨き材 φ40mm を用いた. この寸法であれば, 外周切削が少なく, ほぼ切断と端面切削だけの簡単な加工だけで済む. また, デザイン型を彫る鋼ディスクは, 本学工場の切断機, 旋盤を用いれば容易に製作できる. しかし, 鋼ディスクにデザインを彫る加工は, 黒鉛ディスクで使用した小型電動工具で行うことは難しく, 別の加工方法を考える必要がある.

デザイン型の製作工程は, ①デザインの作成, ②デザインを鋼ディスクに反転して転写, ③デザイン型の加工の 3 つある. 初めに難題と考えられる③について検討した. 小中学生でも容易に行える方法として, NC (Numerical Control) 加工に着目した. NC 加工とは, あらかじめ準備したプログラムを用いて行う数値制御による加工方法で, 刃物と被削材をセットすれば, 自動で加工を実行することができる. プログラムは, JIS で定められた G コード, M コードを用いるが, デザインに合わせてプログラムすることは難しい. そこで, CAD (Computer Aided Design) と CAM (Computer Aided Manufacturing) を用いることにした. CAD

¹⁾東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 ロボット工学コース

とは、コンピュータを用いて設計図を作るために用いられる寸法定義ができる作図ソフトウェアである。一方、CAMとは、CADで作成した図面を元にNC加工プログラムを作成するソフトウェアである。実際の製品の加工でも、CADで図面を描いて、CAMでNCプログラムを作るのが一般的である。CADのデータは、DXF（Drawing Interchange Format）形式というCADアプリケーション間で図面を共有できるファイル形式があり、多くのCADソフトで使用されている。そのためDXF形式は、CADソフトのみならず安価なお絵かきソフトでもサポートしているものが多い。すなわち、お絵かきソフトで作図してDXF形式で保存すれば、高価なCADソフトの代わりとして使用できる。また、CADソフトの操作は難しくないが、多くの詳細設定、調整ができるようにしてあるため、ある程度の慣れが必要である。小中学生が初めてCADソフトを操作して、短時間でデザインを作ることは難しいが、お絵かきソフトは直感的で扱いやすいものが多い。また、お絵かきソフトを用いることにより、①のデザインの作成、②のデザイン反転も容易に行うことができる。ただし、お絵かきソフトによる作図は、基本的に2次元なので、奥行き方向は一定の深さのデザインになる。

以上より、直感的で扱いやすいと考えられるお絵かきソフトでデザインを作図（反転も含む）し、DXF形式で保存して、CAMでNCプログラムを作成して、NC加工によりSS400にデザインを彫ることにした。

3. 鋼ディスクとデザイン型の製作

鋼ディスクの素材として、SS400の磨き材φ40mm×300mmを購入した。鋼ディスクの製作は、(1)購入した磨き材を長さ約30mmにこの盤で切断し、(2)旋盤に取り付けてダイヤルゲージで振れを±0.1mmにして、端面切削後、外周切削して約φ39.5～39.8mmにし、面取りを行い、(3)材料を反転させて、ダイヤルゲージで振れを±0.1mmにして、反対側の端面切削を行い全長約15～20mmに仕上げ、面取りを行った。(4)仕上げ加工として、研磨紙#320、600、1000、1500を用いて乾式で端面の研磨を行い、(5)完成した鋼ディスクを錆防止のため油に浸して保存した。

鋼ディスクを用いたデザイン型の製作は、①お絵かきソフトでデザインを作図（反転も含む）して、DXF形式で保存し、②CAMソフトを用いて、NCプログラムを作成して、③NCフライス盤で加工を行った。①の作図は、市販のソフトウェアCANVAS 16などを用い、本学学生が行った。作成したデザイン例を図1に示す。1つのデザインの作成時間は、約15～30分を要した。②のCAMソフトには、職業訓練用NCプログラミングソフトCAM13を用いた。DXF形式のデザインデータを読み込み、描画原点を変更すると、図2のように表示される。



図1 お絵かきソフトによるデザイン例

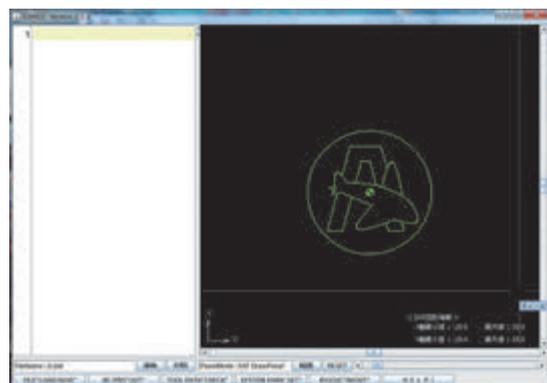


図2 DXF形式のデザインデータをCAM13で読み込み

次に、CAM13の簡易CAM機能を用いてプログラムを作成した。NCフライスエンドミル加工を選択して、加工条件を設定した。NCフライス盤のエンドミル径は、デザインの輪郭線を引くことを考えると細い方が望ましい。ここで、エンドミルの回転数Nは次式で与えられる[2]。

$$N = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \dots\dots\dots(1)$$

vは切削速度、Dはエンドミル直径である。(1)式より、エンドミル直径が小さくなると回転数が早くなり、細かいエンドミルだと折れる危険性が高くなるため、ある程度の太さが必要である。よって本研究では、エンドミル直径D=φ3mm（ハイス）で鋼ディスク（SS400）を切削するとして、切削速度v=15m/min（回転数n=1600rpm）を想定して、エンドミルだと折れる危険性を考慮して送り速度は50mm/min、切込み量は0.1mmとした。また、加工開始点、アプローチ点、リファレンスの高さなどを設定して、NCプログラムにした。作成したNCプログラム

は、CAM13 を用いてエンドミルの軌跡を確認したが、必ずしも期待した加工イメージや CAD 図面通りになっていないことが有り、変更・修正を行った。変更・修正の例としては、鋼ディスクの輪郭である直径 $\phi 40\text{mm}$ の円の加工は不要なので削除したり、10 回繰り返して 1mm 深さに加工するようにしたり、切削油の On, Off の削除などを行い、NC プログラムを完成させた。CAM による NC プログラムの作成には時間はほとんどかからなかったが、その後の修正・変更には、約 10~30 分を要した。

③の加工には、本学所有の PSF550-CNC の卓上 NC フライス盤を用いた。鋼ディスクをバイスに固定し、心出しツールを使って刃物の位置をセットして、加工を行った。準備には約 5~10 分、加工時間には、約 20~40 分を要した。図 3 に加工したデザイン型を示す。図 3 の (a) は成功例であり、(b) は失敗例である。(b) では、デザインの線間隔が約 3mm に対して、エンドミル直径 $D = \phi 3\text{mm}$ だったため、残るべき凸部分が削れてしまった。また、エンドミルはデザインした線上を移動することを認識していなかったことも問題であった。



図 3 NC フライス盤により製作したデザイン型

(a) 成功例, (b) 失敗例

従って、デザインの線上をエンドミルが移動することを認識し、デザインを作図する際にはエンドミル径を考慮する必要がある。例えば、図 4(a)のようなデザインの完成イメージをしている場合、(b)のように作図する。図 4 の(a)と(b)を見比べると、大きく印象が異なるように感じる。

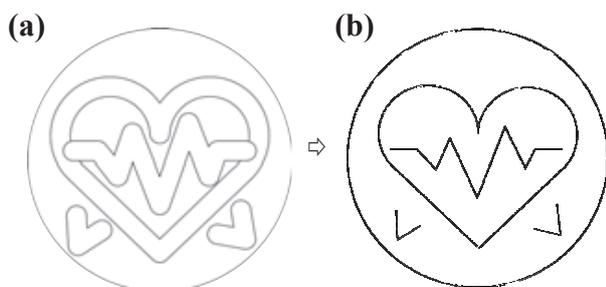


図 4 デザイン (a) デザインの完成イメージ, (b) デザイン線上をエンドミルが移動し、エンドミル径を考慮した図

4. 鋳込み

鋳込みの際の湯流れを良くするため、デザイン型は、あらかじめ低温炉などで温めておく。図 5 に示すように、(a) デザイン型を外型台に載せて、(b) 二分割構造の外枠型で挟み、重力金型鋳造法により、(c) 溶解した亜鉛合金 ZDC2 (融点: 約 384°C) を鋳込んだ。ここで、メダル裏面は鋳込みままで、特別に湯口をもうけることなく、開口のままに鋳込み、冷却を行った。

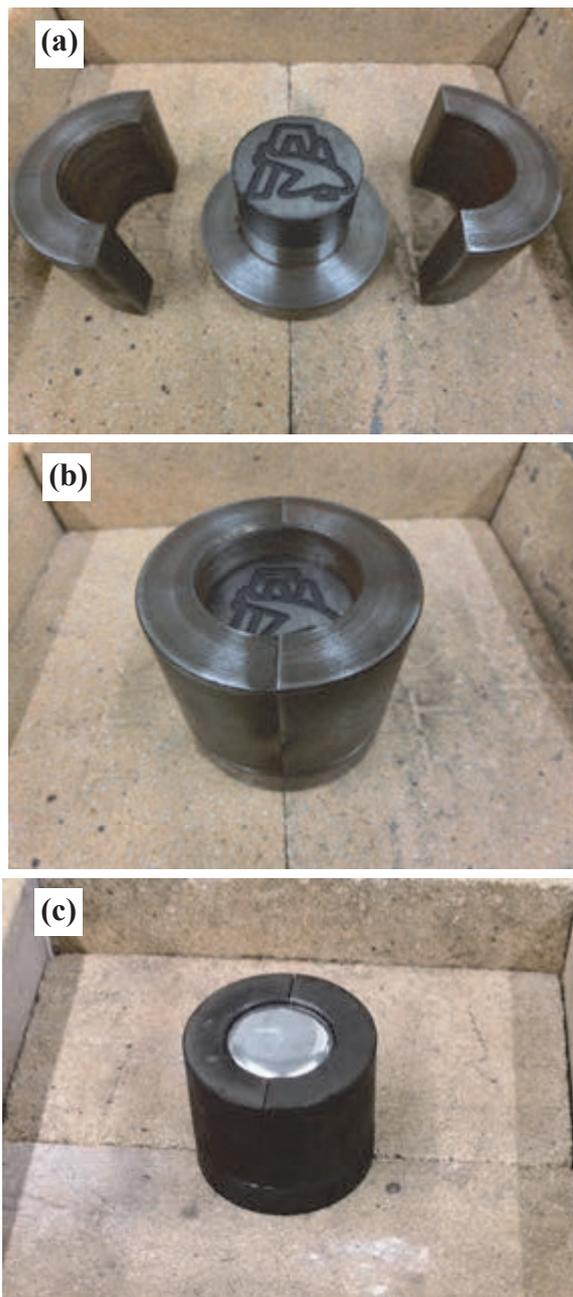


図 5 鋳込み (a) 外型台に載せたデザイン型, (b) 外枠型を設置したデザイン型, (c) 亜鉛合金 ZDC2 による鋳込み後

図 6 に、デザイン型と鑄込んだオリジナルメダルを示す。デザインがよく転写されており、金属光沢もあり、概ね鑄肌はきれいであり、良好であった。



図 6 デザイン型(左)と鑄込んだオリジナルメダル(右)

5. 試作結果からの検討・考察

初めに、鋼ディスクの製作と、鋼ディスクを使ったデザイン型を用いたの鑄造について検討、考察する。SS400 を用いて鋼ディスクに加工したが、実習などでも使われる材料であり、切断、切削とも、速やかに加工できた。黒鉛ディスクのような切粉の問題は発生せず、特別な問題も発生しなかった。また、鑄造用治具には、一般的に熱間工具鋼が使われるが、製作したオリジナルメダルの出来栄からは、特に不都合がなかった。以上より、オリジナルメダルの製作用の鑄型材料として安価で手に入り易い SS400 を選定したことは、適切であったと考えられる。

次に、デザイン型の加工時間と製作について検討、考察する。黒鉛ディスクを用いた場合、デザインの作成、デザイン型加工、および、鑄造までの合計時間は、平均 30 分程度であったのに比べて、鋼ディスクを用いた場合、デザインの作成、NC プログラム作成、および、デザイン型加工の各工程の最小、最大時間の合計は 45~100 分と、製作に多くの時間を要した。デザインの作成については、実際に小中学生にお絵かきソフトで作成していないので、検証はできていないが、簡易マニュアルの作成や補助学生のアドバイスがあれば、デザインを描くことは可能と思われる。NC プログラム作成については、CAM ソフトを用いてエンドミルの軌跡を確認することは小中学生にも可能であるが、実際にプログラムを修正・変更するためには、NC 加工の知識が必要であり難しいと考えられる。教員や補助学生がオペレーターとして行うか、小中学生はアドバイスを受けながら、一緒に確認と修正作業を行うのであれば実施可能と考えられる。また、デザイン型加工については、心出しツールを使って刃物の位置をセットするが、実習経験が無いと難しいと考えられる。刃物の位置のセットには、

教員や補助学生がオペレーターとして必要と考えられる。セットできれば、加工はプログラムを実行するだけなので小中学生でもできる。各工程で教員や補助学生のオペレーターやアドバイスが必要になるが、逆に、加工時間は短縮できると考えられる。さらに、エンドミルの切込み量、送り速度について実験を行い、最適加工条件を見つければ、加工時間をある程度短縮できると考えられる。しかし、黒鉛ディスクを用いた場合と同程度の加工時間にすることは難しいように思われる。

最後にお絵かきソフトを使ってのデザイン作成について検討、考察をする。エンドミルはデザインした線上を移動することを認識してデザインする必要がある、小中学生へは、デザイン作成前に十分説明すれば問題ないと考えられる。次に、エンドミル径を考慮してデザインを描く必要があるが、デザインの完成イメージと加工用の作図では異なる印象があり、工夫が必要と考えられる。例えば、完成イメージを作図して、その図の中に別の色でエンドミルの軌道を全て記入し、不要になった完成イメージ図を消去して、保存することなどが考えられる。しかし、この場合には、作図を 2 回行うため、作成時間が 2 倍必要になる。

6. まとめ

小中学生に材料や加工に興味を持ってもらうため、お絵かきソフト、CAM、NC フライス盤によりデザイン型を製作して、鑄造によるオリジナルメダルの製作について検討、試作を行った。お絵かきソフトでデザインして、DXF 形式で保存し、CAM ソフトを用いて NC プログラムを作成、NC フライス盤によりデザイン型を製作した。また、亜鉛合金 ZDC2 を鑄込んでオリジナルメダルを製作した。試作の結果、以下の知見を得た。

- (1) お絵かきソフトを用いてデザインを作成し、1 つのデザイン作成には、約 15 分~30 分を要した。
- (2) デザインを DXF 形式で保存して、職業訓練用 NC プログラミングソフト CAM13 を用いて容易に NC プログラムを作成できた。
- (3) CAM を用いて作成した NC プログラムは、不要な $\phi 40\text{mm}$ 外周円加工の削除、切込み量や繰返し回数の設定、切削油の On、Off の削除などの修正・変更が必要であり、約 10~30 分を要した。
- (4) SS400 の鋼ディスクをバイスに固定し、心出しツールを使って刃物の位置をセットする加工の準備には、約 5~10 分を要した。
- (5) 鋼ディスクに $\phi 3\text{mm}$ のエンドミル (ハイス) で、切込み量 0.1mm を送り速度は 50mm/min で 10 回繰り返して 1mm 深さに加工し、約 20~40 分を要した。

- (6) デザイン型の加工は成功したものと、失敗したものがあつた。原因は、デザインの線上をエンドミルが移動することを認識していなかったことと、エンドミル径を考慮せずにデザインを作図したことによる。
- (7) デザインの線上をエンドミルが移動することを認識して、エンドミル径を考慮した作図は、デザインの完成イメージと大きく印象が異なる可能性がある。
- (8) 重力金型鑄造法により、溶解した亜鉛合金 ZDC2 を鑄込んだ結果は、デザイン型の通りによく転写されており、金属光沢もあり鑄肌はきれいで良好であつた。

また、試作結果からの検討、考察を以下に示す。

- ① オリジナルメダル製作用の鑄型材料として安価で手に入り易い SS400 を選定したのは、適切であつた。
- ② 小中学生には、デザイン作成前にエンドミルがデザインした線上を移動することを十分説明する必要がある。
- ③ デザインの完成イメージと加工用の図面では、大きく印象が異なる可能性があり、工夫が必要である。
- ④ 実際に小中学生がお絵かきソフトでデザイン作成していないので、検証はできていないが、簡易マニュアルの作成や補助学生のアドバイスがあれば可能と思われる。
- ⑤ NC プログラムを修正・変更には、教員や補助学生がオペレーターとして行うか、小中学生はアドバイスを受けながら一緒に確認と修正作業を行うのであれば実施可能と考えられる。
- ⑥ デザイン型加工時に、心出しツールを使って刃物の位置をセットするには、教員や補助学生がオペレーターとして必要と考えられる。
- ⑦ 各工程で教員や補助学生のオペレーターやアドバイス、最適加工条を見つければ加工時間は短縮できる。しかし、黒鉛ディスクを用いた場合と同程度の加工時間にすることは難しいように思われる。
- ⑧ 試作よりデザイン型の製作時間は、最初や途中での説明に約 10 分、作図（補助学生のアドバイスを受けて小中学生がお絵かきソフトで作図）に約 30 分、NC プログラムを修正・変更（教員や補助学生が操作）に約 30 分、加工準備（教員や補助学生が操作）に約 10 分、加工時間に約 30 分の合計 110 分程度かかると推定される。また、鑄込み時間に約 10 分を考慮すると、総合計で約 120 分程度かかると思われる。

参考文献

- [1] 大貫 貴久：鑄造によるオリジナルメダルの製作，東京都立産業技術高等専門学校研究紀要，16，pp.129-133，2021
- [2] 澤 武一：目で見てわかる フライス盤作業 Visual Books，日刊工業新聞社，p.95，2011