

# 鑄造によるオリジナルメダルの製作

## Fabrication of original medals by casting

大貫 貴久<sup>1)</sup>

Takahisa Ohnuki<sup>1)</sup>

**要旨** : 小中学生に材料や加工に興味を持ってもらうため、自分で考えたデザインを鑄造により製作するオリジナルメダル作りについて検討、試作した。オリジナルメダル作りでは、鑄造材料に亜鉛合金を、鑄造方法に重力金型鑄造法を用い、模型には黒鉛電極棒を素材とした黒鉛ディスクを使用した。また、本校の高専祭（学園祭）において鑄造によるオリジナルメダルを作るイベントを開催し、小中学生を含む多くが参加した。

**キーワード** : オリジナルメダルの製作, 鑄造, 亜鉛合金, 重力金型鑄造法, 黒鉛ディスク

### 1. はじめに

本校、東京都立産業技術高等専門学校（以下、本校と称す）は、首都東京の産業振興や課題解決に貢献できるものづくりスペシャリストを育成する高等専門学校であり、8つの特徴的な教育コースからなる。ロボット工学コース、航空宇宙工学コース、医療福祉工学コースなど、バリエーション豊かなコースがある。このようなコースに関連したもののづくり教育において、材料や加工は、重要な工学基礎科目となる。すなわち材料や加工をよく知ることは、様々な製品開発・製作に必要不可欠である。一方で、子供たちの理工系離れが進んでいることが問題となっている。そこで、小中学生を対象とした、材料や加工に興味を持ってもらうための入口になるよう体験イベントを考えた。小中学生が興味を持ちやすいように、①各自のアイデアを生かせ、②比較的手軽に作れ、かつ、③工業系高等専門学校の教育と関係が深い内容について検討した。その結果、鑄造を行うことに思い至った。すなわち、小中学生自身が考えてメダルをデザインし、鑄造によりオリジナルメダルを製作することにした。本報告では、オリジナルメダルを製作のための検討、結果、および、本校の高専祭（学園祭）で行ってきた「オリジナルメダルを作ろう」について報告する。

### 2. 鑄造方法の検討

材料の加工方法は、大きく3つに分類され、除去加工、成形加工、付加加工がある。鑄造は、付加加工に分類され、多くの高専、大学の実習でよく行われ、工業製品の製作にも用いられている。また、材料と直結する加工法でもあり、小中学生に材料や加工に興味を持ってもらう題材として適当であると考えられる。

鑄造材料として、一般的に、鑄鉄、銅、アルミニウム、亜鉛などが挙げられる。本校施設で溶解でき、安価な材料であり、メダルを製作するため、それにふさわしい重量が必要であることから、亜鉛を用いることにした。亜鉛は、低融点（純 Zn : 420°C）で濡れ性もよく鑄造しやすく、密度も亜鉛は7.13 (g/cm<sup>3</sup>) で、鉄の7.87 (g/cm<sup>3</sup>) と同程度の重みを得ることができる[1]。鑄造用亜鉛合金の規格としては、JIS規格でダイカスト用にZDC1とZDC2があるが、それ以外にASTMの規格のものがある。ここでは、ZDC2 (Al3.5~4.3%, Cu0.25%以下, Mg0.020~0.06%, Fe0.10%以下, Pb0.005%以下, Cd0.004%以下, Sn0.003%以下, Zn 残部) を用いることにした。

鑄造方法には、砂型鑄造法、消失模型鑄造法、ダイカスト法、精密鑄造法、重力金型鑄造法、低圧鑄造法、高圧鑄造法、Vプロセスなどがある。本校施設で実施でき、「その場」で簡単に鑄造できる方法を検討した結果、消失模型鑄造法と重力金型鑄造法が候補として考えられた。

消失模型鑄造法とは、製品と同じ形状・大きさの模型を発泡スチロールで作製し、鑄砂に埋め込み、溶湯を鑄込むことにより、模型を燃焼・気化させて、できた型空間を鑄造材料で満たして製品を作る方法である。長所は、少量生産向きで、複雑な形状を簡単に作れ、型の修正が容易であり、短所は、1つの型から1つの鑄造品しか作れない、発泡スチロールの燃焼ガスや残差の発生、塗型（鑄型に塗る耐火材料）にノウハウが必要で表面の仕上がりに影響することが挙げられる[2]。一方、重力金型鑄造法とは、重力を利用して溶湯を耐熱性のある金型の空洞部に流し込んで製品を作る方法である。長所は、1つの型からいくつもの鑄造品が作れ、冷却速度が速く、鑄肌がきれいであり、短所は、型加工のために手間と時間がかかり、複雑で大型の鑄物を作るのが難しいことが挙げられる[2]。

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

一長一短があるが、小中学生がデザインしたメダルを複数作りたいという希望があり得ることを考慮して、重力金型鑄造法を用いることにした。

### 3. 型材・鑄型製作

製作するメダルの仕様として、寸法は、 $\phi 40\text{mm}$ ×厚さ約  $8\text{mm}$  とし、片面にデザインを、その裏面は鑄込みままとした。また、鑄造材料の ZDC2 (融点: 約  $384^\circ\text{C}$ ) を用いて重力金型鑄造法で鑄込む。外型は、デザイン型を載せる外型台とメダル外径を決める外型枠からなるものとし、鑄込んだメダルを取り出し易くするために、外型枠は二分割構造にした。また、メダル裏面は鑄込みままとしたので、特別に湯口をもうけることなく、開口のままにした。鑄型の組立図を、図 1 に示す。

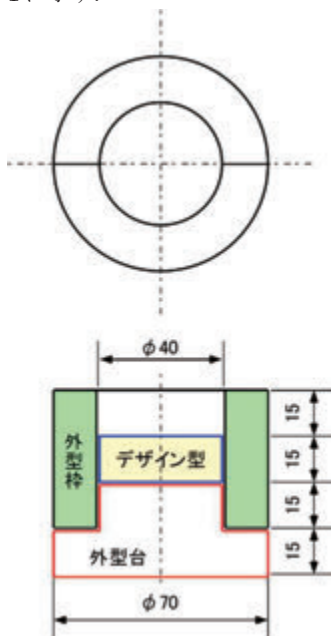


図 1 鑄型の組立図

外型の材質は、特に大きな力を必要とせず、比較的低い温度で鑄込めるため、安価な SS400 を用いた。SS400 の  $\phi 80\text{mm}$  の丸棒を購入して、外型を製作した。外型台は、①購入した丸棒を長さ約  $50\text{mm}$  にこの盤で切断し、②旋盤を使って段付きの外周切削を行い、③片側の端面切削を行い、④材料を反転させて、ダイヤルゲージで振れ取りを行い、反対側の端面切削を行い全長  $30\text{mm}$  に仕上げ製作した。外型枠は、①購入した丸棒を長さ約  $60\text{mm}$  にこの盤で切断し、②旋盤を使って外周切削を行い、③片側の端面切削を行い、④旋盤にドリルを取り付けて、小型ドリルから順に大型ドリルにし、 $\phi 40\text{mm}$  の貫通穴を開け、⑤材料を反転させて、ダイヤルゲージで振れ取りを行い、反対側の端面切削を行い全長  $45\text{mm}$  に仕上げ、⑥NC ワイヤークット放電加工機で半分に切断して製作した。ワイヤ径は、 $\phi 0.2\text{mm}$  と細いため、加工後、2 分割された外型を隙間なく突き合わせると、ほぼ  $\phi 40\text{mm}$  の内径を得ることができた。

次に、デザイン型について検討した。高専・大学での実習の多くは模型に木型を用い、型を抜いて用いることが多い。最近では、3D プリンタによる石膏型が使われている例もある[3]。本研究では、重力金型鑄造法を用いるため、型加工には手間と時間がかかる。外型は、あらかじめ製作すればよいので金属で問題ないが、デザイン型は、小中学生が加工し、短時間で加工できることが望ましい。検討した結果、デザイン型は、小型電動工具で簡単に彫ることができる黒鉛を用いることにした。素材には、 $\phi 40\text{mm}$ ×長さ  $1000\text{mm}$  の黒鉛電極棒を使用し、予め外型枠に入る大きさに加工した黒鉛ディスクを製作しておき、デザインを彫るだけでデザイン型ができるようにした。

黒鉛ディスクの製作方法は、①黒鉛電極棒を手のこで長さ約  $20\text{mm}$  に切断、②旋盤にダイヤルゲージによる振れ取りして取り付けて、外周切削と両端面切削後、旋盤から外して、③研磨紙 #320, 1000, 1500, 2000 を用いて乾式で両端面の研磨を行い、④完成した黒鉛ディスクをビニール袋に乾燥剤と共に密閉した。ここで、③を行うのは、亜鉛合金は鑄造した時の転写性がよく、②の旋盤加工によるらせん状の傷跡などの転写を防ぐためである。また、④を行うのは、黒鉛は大気中の気体を吸着し易く、鑄造の際に熱により気化して溶湯を飛散させたり、鑄物にボイドが発生させたりするのを防ぐためである。

### 4. デザイン型の製作手順

デザイン型製作のため、黒鉛ディスク、トレーシングペーパー、鉛筆、転写カーボン紙 (赤)、小型電動工具と刃物、マスク、軍手、エプロンを準備する。マスク、軍手、エプロンは、製作者が着用して、汚れるのを防止するためである。製作手順は、①トレーシングペーパーの上に黒鉛ディスクを載せて鉛筆で外周に沿ってなぞり円を描いて、②トレーシングペーパーの内側に、鉛筆でデザインを描き、③黒鉛ディスク上面 (デザインを彫る面) に、転写カーボン紙 (赤) とデザインが書かれたトレーシングペーパーを裏返しにして載せて、鉛筆でデザインをなぞり転写して、④小型電動工具を使い黒鉛ディスクを削ってデザイン型を製作する。ここで、③でトレーシングペーパーを裏返しにして載せて転写するのは、鑄造するとデザインが鏡対称となるためである。また、④では、亜鉛合金は転写性がよいので、深彫りしなくても十分にデザインを写すことができる。逆に、深彫りしすぎると溶湯が凝固時の収縮で凹凸に食い込み、取り外しにくくなる。デザインの凹凸深さは、最大  $1\text{mm}$  程度がよい。また、デザインを彫る時のコツとして、黒鉛ディスク面に小型電動工具の刃物軸を垂直にすると細い線が、刃物軸を平行にすると太い線が彫れる。刃物軸を垂直に立てて細い線でデザインの枠線を彫り、デザインの枠内を削る時には、刃物軸を平行にして太線で削ると、刃物径を変えずに効率的に彫ることができる。図 2 は、試作のために製作したデザイン型の一例である。



図2 試作したデザイン型の一例

## 5. 鋳込み

湯流れをよくするため、鋳込み前に、外型、デザイン型の両方を予熱する。また、デザイン型は黒鉛であり、大気中の気体を吸着し易く、鋳造の際に熱により気化して溶湯が飛散したり、鋳物にボイドが発生したりするのを防ぐため、予熱で吸着気体を飛ばすことも兼ねている。鋳込み用の炉の上など、熱が逃げている部分に置いておくとうい。

鋳造材料のZDC2の融点は約384℃であるが、熔融状態にするには、それ以上に炉を設定する必要がある。設定温度が低いと、鋳込んだ瞬間に凝固し、デザインがきれいに転写されないことがある。本研究で用いた炉では、温度を変えて鋳込んだメダルの表面を目視・観察した結果、炉を600℃に設定加熱すると、鋳造した時にきれいに転写された。実際の鋳込みは、実験室で行ったため、図3に示すような、ステンレス板(1800×90×t1 mm)を引き、その上に耐火煉瓦を置いて、鋳込み場を作った。



図3 鋳込み場

鋳込みの準備として、図4に示すように、鋳込み場に外型台を置き、その上にデザイン型を上向きにしてセットし、最後に外型枠で挟み込む。当初、鋳込み時に溶湯が外型枠の二分割部分から漏れ出さないように、針金で固定する予

定であったが、外型枠の重さに対して鋳込み量が少なく、短時間で凝固するため、固定具なしで鋳込みができた。

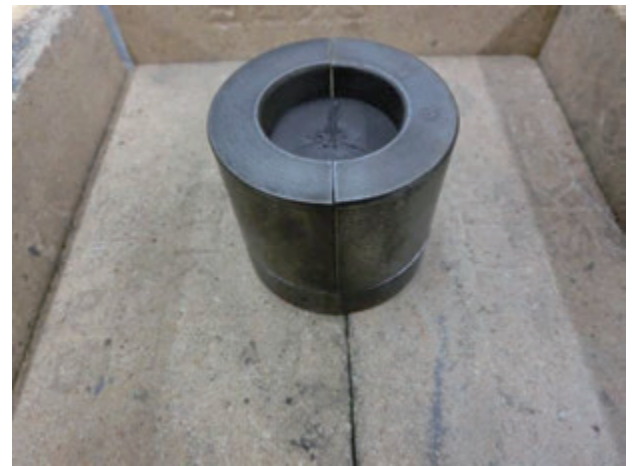


図4 鋳込み前の外型台、外型枠、デザイン型の準備

次に、炉から火造り箸を用いて溶湯の入ったるつぼを取り出して、鋳込み場の耐火煉瓦の上に置く。図5に示すように、溶湯表面には酸化膜、および、酸化物があるので、鋳込み時に鋳型に入らないように耐火セラミックス棒を用いてるつぼの端に寄せる。



図5 溶湯中の酸化膜、および、酸化物

再度、るつぼを火造り箸で挟み・持ち上げて、鑄型に溶湯を適量、流し込む(図6参照)。10秒程度で凝固するので、火造り箸で外型枠を開いて、メダルを取り外す(図7参照)。



図6 鑄込みの様子



図7 鑄型からメダルを取り出した様子

メダルは鑄型から取り出した直前は高温なので、十分に空冷するか、水中に投入して冷却する。メダルに巣などの欠陥がないか確認する。メダルの厚みが薄いと凸レンズの

ように中央が厚く、端が薄くなる。逆に、メダルが厚いと凹レンズのように中央にくぼみができる。問題がある場合には、2つ目、3つ目を鑄造する。また問題があったメダルはるつぼに入れて加熱・溶融させて再利用した。問題のないメダルは、研磨剤を使って磨き、完成となる(図8参照)。図8のように、金属光沢もあり、概ね鑄肌はきれいであり、メダルとしての質感もあった。



図8 完成したメダル

## 6. 高専祭での実施

「オリジナルメダルを作ろう」は、本校、高専祭(学園祭)の来場者の内、製作を希望した人を対象に行った。製作者の多くは小中学生であったが、一部、在校生、保護者、本校OBなどもいた。製作者は、デザインを作成して、黒鉛ディスクにデザインを転写、小型電動工具を用いて彫ってデザイン型を製作するところまでを行い、教員と学生スタッフで鑄込みと磨きを行った。図9は、製作者がデザイン型を製作した作業場(新聞紙を引き、黒鉛ディスク、トレーシングペーパー、鉛筆、転写カーボン紙(赤)、小型電動工具と刃物、マスク、軍手、エプロンを準備)である。



図9 デザイン型の製作作業場

「オリジナルメダルを作ろう」の開催日数は、2014～2019年で、延べ10日間、製作者数の合計は169名であり、1日平均の参加者数は約17名であった。製作者が、デザイン型を製作するためにかかった時間は、様々であったが、受け入れ人数と作業場所の数から、製作者1名がデザイン型を製作・鋳造して完成するまでの時間は、平均30分程度であった。また、デザインしたメダルを複数作りたいという希望者は、延べ10名で、製作者数の合計の約6%が複数の鋳込みを希望したことになる。さらに、実際に鋳込むと、鋳込み状態が悪い不具合により、鋳込み直しを行うこともあった。こうした観点からすると、鋳造法として重力金型鋳造法を選択してよかったと考えられる。

本方法による長所と短所についてまとめた。長所としては、比較的ランニングコストが低く抑えることができた。すなわち、購入した長さ1000mmの黒鉛電極棒は、約20mmに切断して45個の黒鉛ディスクを作製したが、両端面ともに使えるので90個のメダルを製作できた。また、鋳造後不要となったデザイン型は、旋盤を使って、デザインを削れば、黒鉛ディスクとして再び使える（デザイン型の製作手順の②～④を実施）ので、予定の2倍の180個以上のメダルを製作することができる。黒鉛ディスクは、加熱・冷却を繰り返すと、目視でも表面に空孔が見られ、鋳肌にはポイドが目立つようになることがあるが、基本的に旋盤で振れ取り、固定・旋削できる限り、再利用が可能である。黒鉛電極棒は比較的高価であるが、再利用により、費用を抑えて製作することができた。短所としては、黒鉛ディスクの加工、再加工のため旋盤を用いたが、黒鉛の細かい切粉が旋盤の可動部の隙間に入り込み、刃物を載せた往復台などの移動が悪くなり、分解掃除をしなければならなかったことが挙げられる。また、高専祭の前後での亜鉛合金インゴットの重量、製作したメダルも重量を全て計測した結果、切断による切粉や酸化などによる損失は、平均12%程度あった。

## 7. 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、自分で考えたデザインを鋳造により製作する「オリジナルメダルを作ろう」について検討、結果、および、本校の高専祭（学園祭）での実施について報告した。鋳造材料に亜鉛合金（ZDC2）を、鋳込み方法に重力金型鋳造法を用い、外型台と外型枠はSS400から製作した。デザイン型の素材には、黒鉛電極棒から作製した黒鉛ディスクを用い、小型電動工具でデザインを簡単に彫ることができた。高専祭の見学者の内、希望者を募り、2014～2019年まで延べ10日間で、製作者数の合計は169名であった。製作者の多くは小中学生であり、平均30分程度でオリジナルメダルを製作することができ、当初の目的である材料や加工に興味を持っても

らうための入口となる体験イベントが実施できたと考えられる。

## 参考文献

- [1] 小原 嗣朗：金属材料概論，朝倉書店，p.24，2008
- [2] 西 直美：わかる！つかえる！鋳造入門，日刊工業新聞社，p.11，17，2018
- [3] 渡辺 義見，長谷川 宗平，城井 つくし ほか：鋳造工学第173回全国講演大会講演概要集，p.70，2019

## 謝辞

鋳造の技術的アドバイスをいただいた東京都立産業技術研究センターの西村 信司さんに心より感謝すると共に厚く御礼申し上げます。試作のためにデザイン型製作に携わっていただいた押元 裕希さんと卒業生に心より感謝いたします。高専祭とその準備を手伝ってくれた多くの卒研生たちに感謝いたします。