

技術科教員養成におけるデジタルファブリケーションを 意図した製図学習の検討

A study of drawing lessons aimed at digital fabrication
in technology teacher training course

大 内 毅 森 本 陸

Takeshi OHUCHI
技術教育研究ユニット

Riku MORIMOTO
西予市立宇和中学校

(令和6年9月30日受付, 令和6年12月23日受理)

要 約

技術科教員養成における製図に関する学習内容を調査するとともに、本学の製図に関する学習内容の見直しを行った。具体的には、調査結果を基にして、CADの内容としてデジタルファブリケーションを意図した両口スパナの製図と、その製作を取り入れた新しい製図に関する学習内容を検討した。得られた主な結果は、2Dや3D処理による作図法に関する内容が取り扱われていない場合が多かった。しかし、両口スパナの製図であれば、Jw_cad, Fusion 360 および 3D Builder で取り扱うことができることが明らかとなった。したがって、これらのソフトを活用することで、2Dや3D処理による製図学習を履修することが可能となると判断した。3Dデータを用いて3Dプリンタで出力すると、デジファブを意図した製図学習が可能となることを示唆した。さらに、3Dデータを用いた両口スパナの鋳造による製造体験が容易にできることも示唆した。今後は、見直した内容で製図Bを実践するとともに、鋳造については他の講義と連携して実践する必要がある。

キーワード：技術科教員養成, 製図学習, 2D・3D処理, 3Dプリンタ

1. はじめに

近年の教員養成を目的とした大学における技術科教員養成コース（以下、技術科教員養成とする。）の製図に関する学習内容においては、技術科の授業で取り扱う内容は勿論のこと、図学に基づいた製図に関する基本的な内容や工業高校で取り扱う内容が含まれる場合が多い。その内容については、製図道具を用いた作図法からコンピュータによるCAD（Computer-Aided Design）まで、幅広い範囲を取り扱っている。

一方、生産現場における加工情報は、工作機械のNC（Numerical Control）化もあって、CADデータでのやり取りが主流となっており、アナログデータでのやり取りはほとんど行われていないのが実情である。このような状況から、一部の技

術科教員養成では、CADの内容を積極的に導入した例が報告¹⁴⁾されているものの、未だ普及するまでに至っていない。このことから、技術科教員養成における製図の学習内容にCADに関する内容を取り入れるべきだと考えられた。

そこで本研究では、インターネットで調査が可能となった技術科教員養成における製図に関する学習内容を調査するとともに、本学の製図に関する内容（製図B）の見直しを行うこととした。すなわち、調査結果を基にして、製図BにCADの内容としてデジタルファブリケーションを意図した両口スパナの製図と、その製作を取り入れた新しい製図Bの学習内容を検討したので報告する。

2. 技術科教員養成における製図学習の内容

近年の技術科教員養成の製図に関する学習内容においては、技術科の授業で取り扱う内容は勿論のこと、図学に基づいた製図に関する基本的な内容や工業高校で取り扱う内容が含まれる場合が多い。一方、生産現場における加工情報はCADデータでのやり取りが主流となっており、アナログデータでのやり取りはほとんど行われていない。このことから、技術科教員養成における製図の学習内容にCADに関する内容を取り入れるべきだと考えた。そこで、インターネットでシラバスが検索可能であった6大学の技術科教員養成の製図における学習内容について調べた。得られた結果から、「アナログ的な製図」、「2D（2次元）CAD」、「3D（3次元）CAD」の主に3つの内容に分類した。表1に、その結果を示す。同表に示すように、アナログ的な製図の内容は、全ての大学で実施されているが、2Dあるいは3DCADでは、CADの内容とレベルが高くなるほど実施している大学が少なくなる傾向が認められた。その内容として、例えばF大学では2DCADでJw_cadを用いた両口スパナの平面作図が行われており、M大学では3DCADを用いて教材・教具の開発を目的とした立体作図が行われている。

以上の結果より、生活スタイルがアナログからデジタルへと進化する中で、製図においても、アナログ的な内容である基礎・基本は大切にしつつ、デジタル処理に対応し得るために、2Dや3D処理による作図法に関する内容についても積極的に取り入れるべきだと考えられる。

3. デジタルファブリケーションを意図した製図学習の検討

3. 1 デジタルファブリケーションを意図した製図について

デジタルファブリケーション（以下、デジファブ）とは、一般的にデジタルデータを基にして、ものづくりをする技術のことを意味している。例

えば、3Dプリンタやレーザー加工機などのNC工作機械は、準備したデジタルデータから様々な形状の作品を成形したり、切り出したりすることができる。前者の3Dプリンタは、3Dデジタルデータを基に素材を少しずつ積層しながら立体物を成形する装置である。この3Dデジタルデータを作るためには、3DCADを取り扱う必要がある。表1に示すように、3DCADの内容を実施している技術科教員養成が少ないのは、ハイスペックPCや専用ソフトが必要であることと、高度なスキルを要することが主な理由として考えられる。そこで本研究では、3DCADによる作図法を学習するだけに留まらず、デジファブを意図して、作図した立体物を3Dプリンタで出力する内容まで含めることで、製図学習に対して視覚的にあるいは触覚的に学ぶことができるため興味・関心を誘起させられると考えた。

3. 2 製図（製図B）の内容

本学の製図Bでは、まず、木材加工実習Aで製作するマルチボックスを作図した後、Vブロック、クランク、軸受、ボルト・ナットなどを作図する。基本的に工業高校で取り扱う機械製図の内容を取り入れている。最終的に、両口スパナを作図し、それをJw_cadによって2Dデジタルデータにしている。表2に、現在の製図Bの内容を示す。この両口スパナの作図で、2Dデジタルデータを3Dデジタルデータ化し、3Dプリンタで製作するまでの内容を新たに取り入れることとした。

表2 現在の製図Bの内容

授業内容	
1 時限	製図用具の使用法
2 時限	マルチボックスのキャビネット図
3 時限	マルチボックスの等角図
4 時限	マルチボックスの第三角法による投影図
5 時限	クランクの製図
6 時限	軸受の製図
7 時限	ボルト・ナットの略画法による製図1
8 時限	ボルト・ナットの略画法による製図2
9 時限	両口スパナのスケッチと構造、機能および精度の検討
10 時限	両口スパナの製図1
11 時限	両口スパナの製図2
12 時限	両口スパナの製図3
13 時限	JW_CADによる両口スパナの製図1
14 時限	JW_CADによる両口スパナの製図2
15 時限	JW_CADによる両口スパナの製図3

表1 製図に関する学習内容の調査

	アナログ	2DCAD	3DCAD
F大学	○	○	×
H大学	○	△	×
M大学	○	△	○
J大学	○	×	×
K大学	○	○	○
N大学	○	×	×

○：5回以上，△：1から4回，×：全く扱っていない

3. 3 2D・3DCAD による両口スパナの製図

両口スパナは、最終的に 3D プリンタ (XYZ printing 社製, ダヴィンチ mini) で、出力することができるサイズを考慮して、丸形 10 mm×13 mm の両口スパナとした。Jw_cad で、従来通り作図ができるように、これまでの解説書に修正を加えた。次に、3DCAD になるが、まずソフトを選定する必要がある。ここでは、無料配布されていて入手が容易であること、比較的使いやすいことを主な選定条件とした。その結果、Fusion 360 (教育関係者仕様) と 3D Builder を用いることにした。Fusion 360 には、① Jw_cad によって作成した dxf 形式のデータ (2 次元) を取り込むことが可能であること、②取り込んだ 2 次元データを 3 次元に変換することが可能であること、③ 3 次元に変換したデータに面取りなどの加工を加えることが可能であること、④学生や教員向けに教育機関限定ライセンスが用意されており、その期間であれば一部の機能に制限はあるが、使用可能であること、これら 4 つの利点を有している。図 1 に示すように、Jw_cad で作成した両口と持ち手の 2D デジタルデータを、図 2 に示すように Fusion 360 にそれぞれ取り込み、引き出して厚みをつけた後、面取り加工を施す。そして、3D Builder に取り込み、図 3 に示すように、合体させて両口スパナの 3D デジタルデータを完成させる。3D プリンタに付属しているスライスソフトが読み込み可能なファイル形式 (stl 形式) に変換することで、3D プリンタによる出力が可能となる。

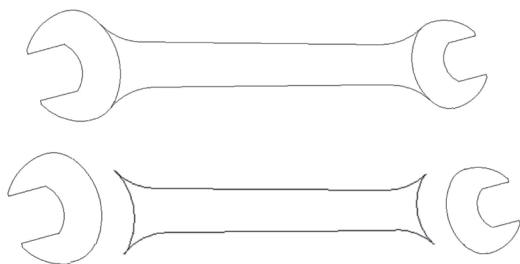


図 1 Jw_cad による作図画面

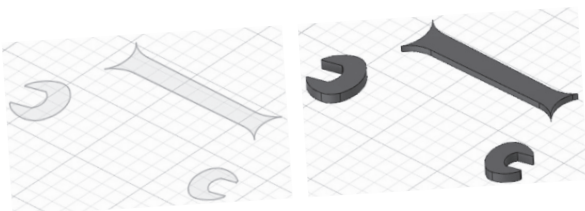


図 2 Fusion 360 による作図画面

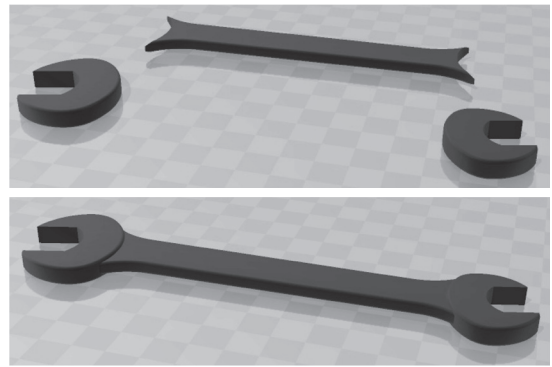


図 3 3D Builder による作図画面

3. 4 3D プリンタによる両口スパナの製作

3D プリンタでは、積層する素材 (フィラメント) と、出力条件として充填率や出力速度を設定する必要がある。事前に試行した結果、充填率は 90%, 出力速度は通常モード (約 120 mm/s) とし、フィラメントは ABS, タフ PLA, カーボン PLA, メタリック PLA の 4 種類で、いずれも直径 1.75 mm であり、積層ピッチは 0.2 mm とした。図 4 に、この条件で実際に製作した両口スパナをそれぞれ示す。ABS やタフ PLA では、持ち手方向に反りが僅かに生じていることが認められた。図 5 に、反りの生じた両口スパナの一例を示す。一方、カーボン PLA とメタリック PLA ではほとんど反りは生じていなかった。このことは、素材の熱膨張率の違いによるものと推察される。本研究に用いた ABS, タフ PLA の融点が約 160° であるのに対して、カーボン PLA とメタリック PLA フィラメントレベルの融点は約 220° であり、融点の高い素材の方が優れている結果となった。また、ABS やタフ PLA の反りについては、両口と持ち手の 3D デジタルデータの微少な位置調整や、3D プリンタの出力条件 (サポートなど) を微調整することで最小限に抑制することができると考えられる。今後の検討課題である。

出力時間とコストについて見てみると、設定条件が同じであることから、出力時間はいずれの場合においても約 61 分となり、大きな差異は認められなかった。コストでは、フィラメントの長さはいずれも 5.4 m であり、ABS 約 89 円, タフ PLA 約 109 円, カーボン PLA 約 176 円, メタリック PLA 約 395 円となり、性能が優れていて、材質的にも硬いカーボン PLA とメタリック PLA が高価となる結果となった。

以上のことから、カーボン PLA とメタリック PLA を用いて 3D プリンタで出力すれば、作図した 3D デジタルデータが正確であるかを判断す

ることが可能となり、実物の締め付けトルクには及ばないものの、両口スパナとして限られた範囲で使用できることも明らかとなった。

これまでの検討結果から、両口スパナがデジファブを意図した製図の題材として適していることが示唆された。

ABS



タフPLA



カーボンPLA



メタリックPLA

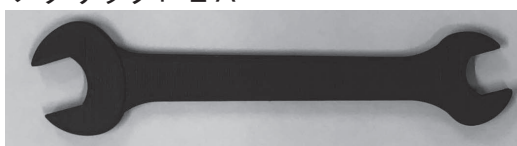


図4 各種フィラメントで作製した両口スパナ

タフPLA



図5 反った両口スパナ（タフPLA）

4. 製図Bの学習内容の検討

これまで検討したことを考慮して、表3に示すように、製図Bの学習内容を新たに考案した。同表より、前半ではアナログ的な製図Aの内容を発展拡充させ、後半ではデジファブを意図した製図を両口スパナの作図を通して学ぶ内容になっている。最終的に3Dプリンタによって作図した内容が画面上ではなく、立体として直接手で触れて確認できることから、興味・関心が誘起され視覚的な教育効果が期待できると思われる。また、内容的にレベルが高く敬遠されがちな3DCADではあるが、このように立体として製作する過程を含むことで、諦めずに粘り強く意欲的に取り組む態度が育成されるものと期待できる。実際に、手に取って確認する様子を図6に示す。

表3 製図Bの新たな内容

授業内容	
1 時限	製図用具の使用方法
2 時限	マルチボックスのキャビネット図
3 時限	マルチボックスの等角図
4 時限	マルチボックスの第三角法による投影図
5 時限	クランクの製図
6 時限	軸受の製図
7 時限	ボルト・ナットの略画法による製図1
8 時限	ボルト・ナットの略画法による製図2
9 時限	両口スパナの製図
10 時限	両口スパナの製図およびトレース
11 時限	JW_CAD による両口スパナの製図1
12 時限	JW_CAD による両口スパナの製図2
13 時限	Fusion360 と 3DBuilder によるデータの加工
14 時限	3D プリンターによる両口スパナの出力1
15 時限	3D プリンターによる両口スパナの出力2

3Dデータ



メタリックPLA



図6 実際に確認する様子

5. 低融点合金を用いた鋳造による両口スパナの試作

本研究で選定した3D Builderには、「反転」や「切り抜き」といった機能があり、製作した立体をオスとするとメスを容易に作成することができる。この機能を応用して両口スパナのメスとなる型の3Dデジタルデータを作成し、3Dプリンタで出力して、それを鋳型として両口スパナを鋳造で試作することを試みた。

フィラメントは、耐久性を考慮してカーボンPLAとし、出力条件については充填率を30%として、それ以外の条件は両口スパナと同様にした。鋳造に用いた材料は、カーボンPLAの融点が220°であることから、それ以下の融点である材料を選定する必要がある。そこで、技術科の授業で既に多く使用されている市販の低融点合金Uアロイ70Gを用いることにした（図7）。

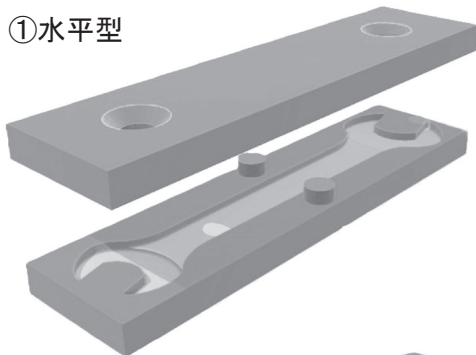
Ｕアロイ70G



図7 市販の低融点合金

鋳型については、鋳物を注ぐ方向を基準として水平型と、垂直型の2種類が考えられた。図8①に水平型の鋳型の作図画面、同図②に垂直型の鋳型の作図画面をそれぞれ示す。また、図9①、②に、実際に製作した鋳型をそれぞれ示す。同図①の水平型では、湯口の部分が蓋になり、鋳型が外れにくくなるため、同図②の垂直型を用いて鋳造を行うことにした。実際の鋳造では、湯口は両口スパナを立てた状態（図10）にして、両口にそれぞれ設け、融解した合金（図11）を注ぐ際は、片側から一気に注ぐようにした（図12）。鋳込んだ後、常温で約1時間放置して冷却させた後、鋳型から取り外す（図13、14）。そして、余分な湯口の部分をハンドルータで削り取り、バリ等も除去して仕上げた。最終的に、仕上げた両口スパナを示す（図15）。同図に示すように、両口付近に巣やピンホールができていたものの、実物にほぼ近い形状で製作できていることから、鋳造による加工技術を体験的に学ぶことができることが明らかとなった。また、図16に、水平型の鋳型で試作した両口スパナについても参考資料として示す。

①水平型



②垂直型

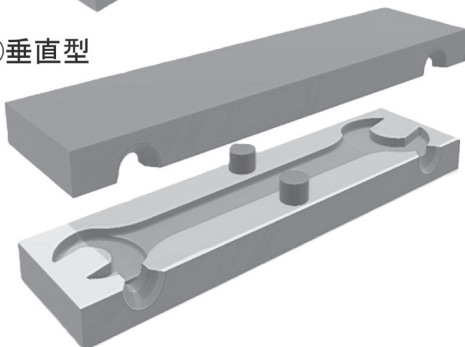


図8 鋳型の作図画面

①水平型（タフPLA）



②垂直型（カーボンPLA）

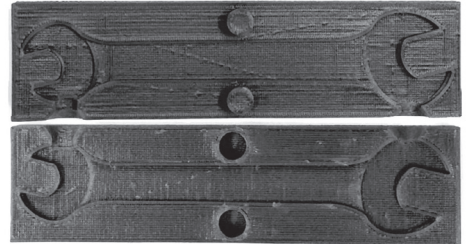


図9 製作した鋳型

鋳型の固定（F型クランプ）

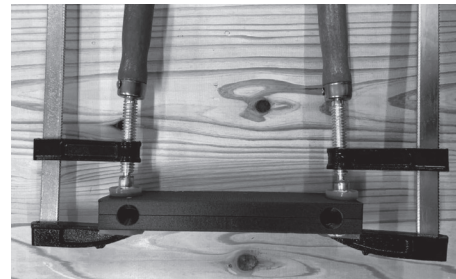


図10 鋳型の固定

低融点合金の融解（熱湯）



図11 低融点合金

鋳込み（垂直型）



図12 鋳込み

鑄型の両口スパナ

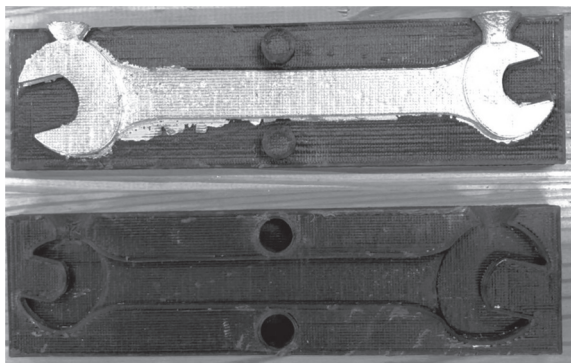


図 13 鑄型内の両口スパナ

湯口やバリが付いた両口スパナ

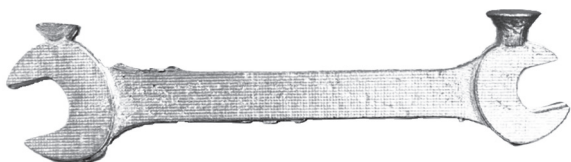


図 14 鑄型から取り外した両口スパナ

仕上げた両口スパナ



図 15 仕上げ加工を施した両口スパナ（垂直型）

両口スパナ（水平型）



図 16 水平型の鑄型で試作した両口スパナ

以上のように、デジファブを意図した製図で作成した 3D デジタルデータを活用することによって、低融点合金による鑄造を比較的容易に学習できることが示唆された。

この鑄造に関する内容を製図 B で行うことを検討したが、現状の 15 回の講義では時間的に厳しいと考えられる。製図 A、同 B の内容を抜本的に見直して導入するか、あるいは製図 B の後に行われる実習に含めることが考えられるが、いずれにしても、教科横断的に考えることなので、今後の検討課題としたい。

6. おわりに

本研究では、インターネットにシラバスが公開されており、調査可能であった技術科教員養成大学における製図に関する学習内容を調査するとともに、本学の製図に関する内容（製図 B）の見直しを行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 本調査結果の範囲内においては、2D や 3D 処理による作図法に関する内容について取り扱われていない授業構成が多いことが明らかとなった。
- 2) 両口スパナの作図であれば、Jw_cad, Fusion 360 および 3D Builder で 2D や 3D 処理による作図を取り扱うことができるため、履修が可能であると判断した。
- 3) 作図データを用いて 3D プリンタで出力する内容を取り入れることで、デジファブを意図した製図学習が可能であることを示唆した。
- 4) 両口スパナの 3D データによって、鑄造を体験的に学ぶことが可能であることを示唆した。

今後は、見直した内容で製図 B を実践するとともに、鑄造については他の講義と連携して実践することで、両者の検証を行う計画である。

謝 辞

本研究は、JSPS 科研費 基盤研究 (C) 24K06387 (代表:大内 毅) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田真一, 中学校技術科における 3 次元 CAD を使った設計教育の可能性, 図学研究, 42 巻 2 号, pp.3-8 (2008)
- 2) 藤田真一, 他 2 名, 3 次元 CAD を用いた“材料と加工に関する技術”における学習指導と効果, 日本産業技術教育学会誌, 58 巻, 2 号, pp.73-80 (2016)
- 3) 室伏春樹, 他 2 名, 中学校技術・家庭科における 3D プリンタを利用したデジタル作品の設計・制作カリキュラムの提案, 日本産業技術教育学会誌, 59 巻, 2 号, pp.89-97 (2017)
- 4) 飯塚正明, 田邊 純, 技術科教員免許取得者用 CAD 教材の検討, 千葉大学教育学部研究紀要, 第 66 巻, 第 2 号, pp.359-362 (2018)