

デジタルファブリケーション

－情報化社会のものづくり－

生活環境デザイン学科 山下 健

1. はじめに

ここ数年で3Dプリンタという言葉を目にする機会があったかと思います。3Dプリンタだけでなくデジタルデータをもとに材料を加工するデジタル工作機械の小型化、低価格化により、これまでは企業でしか使えなかったデジタル工作機械を市民向けの工房やデザイン事務所、学校などが所有し、ものづくりのプロだけでなく多くの人が利用できる環境が整ってきました。

ものづくりの環境が身近になることで、個人でもプロダクト開発を行うことが可能になりつつあります。これまではアイデアでとまっていたものを実際にものとして試作し、クラウドファンディングを利用して資金集めを行い、実現する事例もでてきています。さらに一般市民がデジタル工作機械を利用できる施設も増えています。プロだけでなく多くの人が「作る」行為に参加できる環境が整うことで、デジタルファブリケーションが文化的、社会的広がりを見せ始めています。デジタルデータを用いてものをつくるデジタルファブリケーションの特徴と、研究室での取り組みについてご紹介します。

2. デジタル工作機械

2.1 デジタル工作機械の特徴

デジタル工作機械とはコンピュータ等で作成したデジタルデータを読み込み、データに従って加工を自動で行う機械です。手で操作を行う工作機械では加工を行う人の熟練度によって加工可能範囲や加工精度が異なってしまいます。一方、デジタル工作機械の場合、データに従って機械が自動で加工を行うため、使用者の熟練度に加工精度が左右されず、ものづくりのプロ以外でも加工を行うことができますようになります。もちろんデジタル工作機械の操作方法や特性を知ることは必要ですが、ノウハウを共有することで誰が操作を行っても同じように加工が可能になります。また、データに従って機械が加工を行うため、微細な加工や反復した加工が得意であり、3Dプリンタなどデジタル工作機械でしか行うことができない加工もあります。

加工が容易になった一方、デジタルデータの準備が必要になりました。しかし、近年のソフトウェアの機能向上により、以前より容易にデータを作成できる環境が整ってきています。3DCAD/CGソフト開発大手のAutodesk社からはデジタルファブリケーションでの利用を想定した一般ユーザー向けソフト(123Dシリーズ)^{注1)}が無償提供されています。ものを加工するための機械がデジタル情報を扱うことが可能になることで、プログラミングなど情報技術を用いた新しい設計手法、デザイン手法とものづくりが直接つながり、情報化

社会の新しいものづくりの可能性が広がります。

2.2 デジタル工作機械紹介

次に、デジタルファブリケーションで用いられる工作機械はどのようなものなのか、研究室で使用しているデジタル工作機械を例としてご説明します。写真で紹介する工作機械は小型で安価なものが多いですが、大型、高価なものになれば加工できる材料や加工範囲、加工精度なども上がります。

①レーザー加工機（図1）

レーザー光線を材料に照射し、切断や表面への彫刻を行う機械。紙、木材、化繊、アクリル板などの材料を加工することができます。多くの樹脂系素材を加工することができますが、塩ビ系の素材など有毒ガスを発生させるものは加工不可になります。レーザー光線で材料を焼き切るため、紙や木材などは切り口に焦げ目が発生します。樹脂系素材は切り口が溶けてきれいな切り



図1：レーザー加工機

口になります。生地に関しては化繊100%のものを多く使用し、切り口が溶けることでほつれにくくなるなどの利点もあります。製造業で使用するものの中には高出力で金属も加工できるものもあります。小型で低価格帯のものは金属の切断は行うことはできませんが、アルミの表面に彫刻加工など行うことはできます。材料を加工する際に粉塵やにおいがでるため、集塵機を通して排気を行うことが多いです。データは2Dのベクターデータ(ai,pdf,svg など)、画像データ(jpg など)。CADやIllustratorなどでデータ作成。

②カッティングプロッタ（図2）

回転する針の動きを制御して、切り抜きや、折り目を入れる機械。紙や生地、カッティングシートなどを加工することができます。特にレーザー加工機では加工できない素材を加工するためによく使用します。他のデジタル工作機械に比べ大きさも小型で価格も手ごろなため、デジタルファブリケーションの最初の導入機材にも適しています。使用する際に粉塵やにおいなど出ないため、設置場所を選ばないこともメリットです。データは2Dのベクターデータ(ai,pdf,svg など)。CADやIllustratorなどでデータ作成。



図2：カッティングプロッタ

③ 3D プリンタ (図 3)

樹脂や石膏、金属粉などを任意の形状に積層させていくことで3次元モデルを出力する機械。フィラメント状の樹脂を溶かして積層させるタイプや液体の樹脂に光を当てることで硬化させるタイプ、石膏に接着剤と塗料を塗布することで積層させるタイプ、金属粉にレーザーを照射して焼結させるタイプなど複数の造形方法があり、精度や機械の価格も大きく異なることからコスト



図 3 : 3D プリンタ

トや目的によって使い分けられています。低価格のものはフィラメント状の樹脂を溶かして任意の形状に積層させてく熱溶解積層方式 (FDM) が主流となっています。2009 年に特許が切れたことにより、3D プリンタの低価格化が進みました。熱溶解積層方式プリンタは空中にオブジェクトを出力することはできないため、造形物を下から支持するサポート材が必要となることや積層ピッチも 0.2mm 程度から、どうしても積層痕がある程度目立ってしまうこと、出力環境の温度によっては造形物が反ってしまうこと、材料のフィラメントを適切に管理しないと劣化してしまうことなど、データ通りに出力するにはさまざまなノウハウが必要になります。これまで3次元の造形物をつくるためには、材料となるかたまりから削り出す、型を制作してそこに流し込み固めるなど、1つのパーツを試作するにも手間がかかっていました。しかし、3D プリンタは直接 3D モデルを出力してくれるため、これまでに比べ容易に様々な形状を試作することが可能になります。3D プリンタの造形方式だからこそできる形状などもあることから、データ通りの出力が難しくても大きな可能性をもった加工機だといえます。ハイエンド 3D プリンタは精度も安定性も高いです。使用データは 3D データ (stl.ply など)。3DCAD やモデリングソフトでデータ作成。

④ CNC(切削加工機) (図 4)

ドリル (エンドミル、ビット) が高速回転し、材料を削り取っていくことで形をつくる機械。樹脂、木材、金属などの材料を加工することができます。先端に取り付けるエンドミルを変えることで様々な加工を行うことができます。3D プリンタが材料を積み上げていく加算式に対して、CNC は材料を削り取っていく減算式です。微細な加工を行うためのものや中程度の大きさを

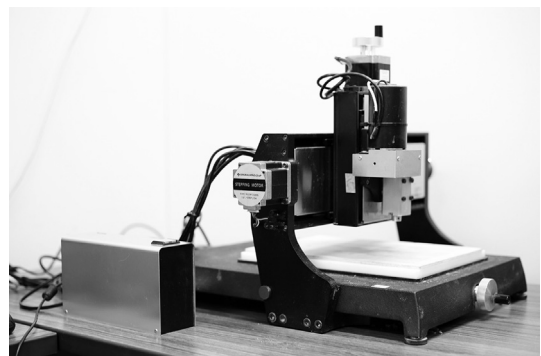


図 4 : CNC(切削加工機)

加工するもの、合板などの木材等を加工する大型のものまで、加工する材料、必要な精度、加工範囲に合わせて様々なタイプの CNC が存在します。同程度の価格帯であれば 3D プリ

ンタに比べて CNC の方が加工精度は高いです。使用データは 3D データ (stl など)。3DCAD やモデリングソフトでデータ作成し、CAM と呼ばれるソフトを使用して CNC が読み込めるデータに変換して加工を行います。

⑤ デジタル刺繍ミシン (図 5)

イラストや写真などのデジタルデータを読み込んで、その画像の通りに刺繍を行う機械。同時に 1 色の糸しか扱えないものから 1 回の加工で十数色の糸を扱えるものまであります。導電性の素材を使用することで刺繍を用いて簡易的な電子回路を作ることができます。使用データは 2D のベクターデータ (svg など)、画像データ (jpg など)。CAD や Illustrator などで作成。



図 5 : デジタル刺繍ミシン

⑥ 3D スキャナー、センサー (図 6)

これらは直接材料を加工する機械ではありませんが、実際にあるものを 3D スキャンすることで現実にあるオブジェクトをデジタルデータに変換し、3D プリンタや CNC で加工するためのデータを制作するときに使用します。



図 6 : 3D スキャナー、センサー

3. デジタルファブリケーションとは

3.1 デジタルファブリケーションと FabLab

レーザー加工機、3D プリンタなどデジタル工作機械はここ数年で開発されたものではありません。数十年ほど前から存在し、製造業などで使用されてきました。では、従来の使われ方と今回述べようとしているデジタルファブリケーションの違いは何なのでしょう

か？
近年の変化は工作機械の小型化、低価格化と、「情報」を扱うコンピュータと「物質」を扱うファブリケーターがつながったことであり、いま起こっているのは、それを使う主体と舞台の移行、使う目的と意味の再発見、それにともなう文脈の転地と多様化であると田中は述べています。(2012:013-014,064)

デジタルファブリケーションという可能性が見いだされたのはアメリカにある MIT (マサチューセッツ工科大学) で Neil Gershenfeld が開講したとある授業です。Neil(2012:011) は「私が初めてパーソナルファブリケーションの可能性に目覚めたのは、私が MIT で教えている「(ほぼ) なんでもつくる方法」という講座を開講し、学生から思いかけず大きな反

響があったときだ」と述べています。もともとは高度な研究で使用する複数のデジタル工作機械を学生が在学期間中にマスターするのは時間がかかるため、すべてのデジタル工作機械の使い方入門として1学期間のコースとして設定された授業でした。1998年に実際に開講すると当初想定していた高度な研究に携わる工学系の学生だけでなく、芸術系や建築系などの多くの受講希望者が殺到し、受講動機も自分が欲しいものをつくり、使い、楽しみたいといった個人的な欲求からでした。さらに受講学生たちは多様な機械の使い方を自主的に共有し、学習することで芸術系の学生でも工学的なシステムを設計構築できるようになり、一般には売っていないが個人的にとても欲しいものを実際に制作するようになりました。

Neilはこのデジタルファブリケーションの可能性を学外でも探るためにFabLab(ファブラボ)というデジタル工作機械を備えた市民工房をインドの田舎、ボストンの低所得者居住地、ノルウェイ、ガーナに設置しました。2016年12月末時点で、97カ国、1000施設に達したと「Fab Lab Connect」は発表しました。[\(http://www.fablabconnect.com/1000-fab-labs-97-countries/\)](http://www.fablabconnect.com/1000-fab-labs-97-countries/) FabLabの条件として週1回以上一般に公開されていること、ファブラボ憲章の理念に基づき運営されていること、共通の推奨機材を備えていること、国際的なFabLabのネットワークに参加することが設定されています。機材を扱うことができるファブマスターといわれる人物が中心となって運営され、ファブマスターの得意分野によって各FabLabのカラーができています。現在FabLabは工房だけでなく、「デジタル工作機械を備えた市民工房のネットワーク」として定義され、「グローバルな知とローカルな資源をつなぎ合わせるための、発想と発明の場所」(田中ほか2013:92)として機能しています。

日本国内でも2010年5月に有志によって「ファブラボジャパン (FabLab Japan)」が設立され、翌2011年5月に鎌倉とつくばに2つのFabLabができました。2016年11月の時点で国内には18か所存在し(<http://fablabjapan.org/>)、運営主体も大学関連であったり、民間であったりと様々な形態で運営され、海外のFabLab同様、地域に根付いた活動を行っているのも特徴の一つです。

デジタル工作機械が集まったFab施設はFabLabだけではありません。有名な施設としてはアメリカで設立されたTechShopがあり、日本にもアジア初のTechShopが2016年六本木にオープンしました。カフェの中にデジタル工作機械が設置されているFabCafeは2012年に渋谷でオープンし、現在台湾、スペイン、タイ、フランス、シンガポールにまで広がっています。ホームセンターにデジタル工作機械が導入されている事例やスーパーマーケットにデジタル工作機械が導入されるなど、民間主体の施設から行政主体の施設まで全国にデジタル工作機械を扱うFab施設が増えています。大学などの学校でも工学系や美術系などものづくりに関連する学部にもデジタル工作機械は導入され、デジタルとつながったものづくりの環境が整いつつあります。

3.2 共有・オープンという考え方

FabLabやFab施設で重要なことは人が集まる場になっていることです。NeilがMITで開講した「(ほぼ)なんでもつくる方法」でも全てを教えるのではなく、受講学生たちが多様な機械の使い方を自主的に共有し、学習する場になっていたことが示唆するように、デジタルファブ리케이션を行う場に人が集まり、ものづくりのための知識、ノウハウの共有が図られることがとても大切なことです。

ソフトウェアの世界には「オープンソース」という言葉があります。オープンソースとはプログラムの内容(ソースコード)を無償で公開し、プログラムの改良や再配布の自由を認めるものです。オープンソースにすることで多くの人がプログラムの改良に参加することが可能となり、限られた人員での開発に比べ大幅にソフトウェアが向上することが期待されます。有名なプロジェクトとしてLinux TovaidsによるコンピュータのオペレーティングシステムLinuxがあります。

デジタルファブ리케이션でもデジタル工作機械の使い方やものづくりに関するノウハウ、加工用データをオープンにすることで、多くの人がものづくりに参加しやすい環境をつくることができ、デジタルファブ리케이션を用いたものづくりの向上が期待されます。

この知識の共有は場にとどまるものではありません。デジタルファブ리케이션に必要なものはデジタルデータであり、デジタルであればインターネットを介して世界中と容易につながることが可能です。つくり方や加工用データの共有を図るサービスもすでに存在しています。[instructables](http://www.instructables.com/)(<http://www.instructables.com/>)ではデジタルにこだわらず、あらゆるものづくり方を共有するサイトであり、つくり方から加工に必要なデジタルデータの共有が図られています。他にも3Dプリントのためのデータの共有サイトとしてThingiverse(<https://www.thingiverse.com/>)などもあげられます。インターネットを介して知識やデータを共有することで、別の場所で作ったものを輸送することなく、データと機材があれば必要なものを必要な場所で作ることが可能になります。また、データがオープンであればその地域のニーズや資源に合わせてデータを改変することができ、その地域にあったものづくりを行うことができます。

データをオープンにする際、よく用いられるライセンスとしてクリエイティブ・コモンズ・ライセンス(CCライセンス)があります。クリエイティブ・コモンズ・ジャパンのWEBページでは次のような説明があります。「CCライセンスとはインターネット時代のための新しい著作権ルールで、作品を公開する作者が「この条件を守れば私の作品を自由に使って構いません。」という意思表示をするためのツールです。」

(<https://creativecommons.jp/licenses/>)。これまでの著作権のように白か黒かではなく、6種類のライセンスがあり、作者がどこまでの範囲であれば改変、再配布していいですよと決めることができるため、利用者もそのライセンスに沿って利用することが可能になります。

4. 研究室での取り組み

4.1 デジタルファブリケーション導入講習

デジタルファブリケーションにはどのような可能性があるのか、デジタルファブリケーションを用いることでどのようなことができるのかを考えていくため、研究室に配属された学生は実際にデジタルファブリケーションを用いてものをつくっていきます。デジタルファブリケーションの導入として行っている取り組みをご紹介します。

研究室に配属されて最初の課題になります。データをつくる、実際にデジタル工作機械を使用して加工を行う、組み立てて完成させる、制作工程と加工用データをWEBで公開するといったデジタルファブリケーションに関係する一連のながれを実際に行います。デジタルファブリケーションについて理解が進むよう以下の項目を設定しました。

- ・ デジタルデータを自ら制作すること。
- ・ デジタル工作機械を使用すること。
- ・ デジタル工作機械ならではの加工方法を使用すること。
- ・ 工程ごとの記録を必ずとること。
- ・ つくり方と加工用データを WEB で公開すること。

レーザー加工機を用いて小物入れ(図7)をつくることを課題としました。もともなるデザインは筆者が数年前にデザインしたものを活用し、学生それぞれが収納したいものの大きさに合わせて再設計することで制作を進めました。材料には合板の1種であるMDF(厚さ2.5mm)と化繊100%のフェルト(厚さ2mm)を用いました。

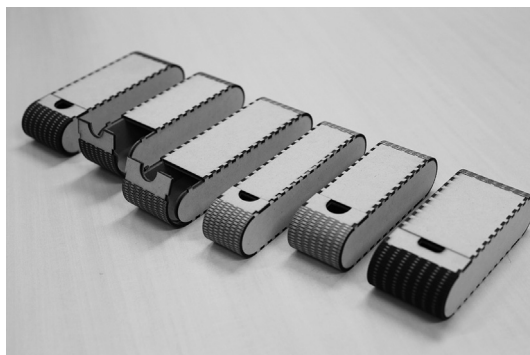


図7：最終成果物のケース

4.2 講習の流れ

①入れたい小物の大きさを採寸(図8)

なんとなくものをつくるのではなく、しっかりと用途を想定したものをつくるため自分が収納したい小物のサイズを採寸します。



図8：ものの採寸

②採寸した寸法をもとに加工用データ作成 (図9)

それぞれが採寸した寸法を反映させてデータ作成を行いました。レーザー加工機ならではの加工方法として、細かいパターンの切れ込みを多数入れることで板材が柔軟に曲がる手法を取り入れ、ケースの開閉部分に用いています。レーザー加工機はレーザー光線で材料を焼き切るため、凸部分はデータより若干小さくなり、凹部分はデータより若干大きくなってしまうため、微妙な誤差を考慮して設計を行います。作成データは2Dのため今回はIllustratorを用いました。

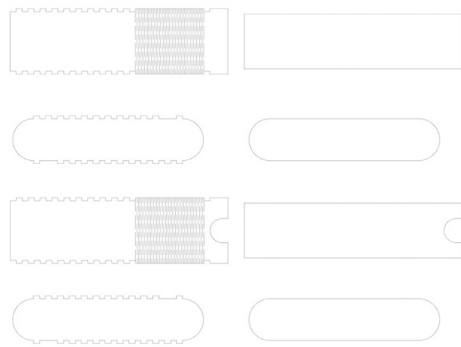


図9：データ作成

③作成した加工データをもとにレーザー加工機で加工 (図10)

本学には大型のレーザー加工機が2台あり、加工には大型のものを使用しました。MDFとフェルトはこの機械でこれまで加工されてこなかったため、加工設定がなく、加工設定をつくることから始めました。レーザー加工は材料に合わせた加工設定を用いることで適切に切断、彫刻加工を行うことができます。レーザーの出力設定と加工スピードの設定を調整します。出力が大きければ固い材料も切ることができますが、材料に対して高すぎると燃えてしまう危険性もあります。スピードも速ければ加工時間が短く済むのですが、早すぎると照射時間が短すぎて、いくら出力を高くしても切れないことがおきます。適切な加工設定を見つけることで何度でも同じ精度で加工が可能になります。

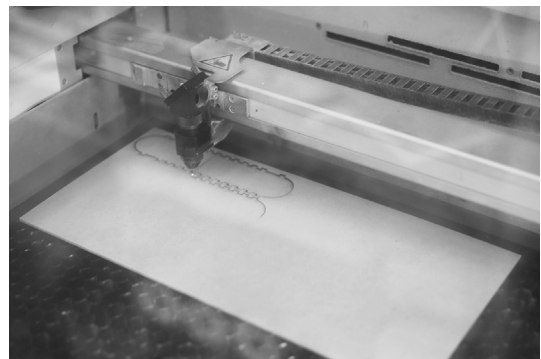


図10：レーザー加工

④加工したパーツで仮組み (図11)

接着剤を用いて組み上げる前に、不備がないか、設計通りに加工はできているか確認するため仮組みを行います。この段階で不備が分かったものは加工データを修正し、再度レーザー加工を行いました。すぐにデータを修正し、加工ができることもデジタルファブリケーションの特徴です。

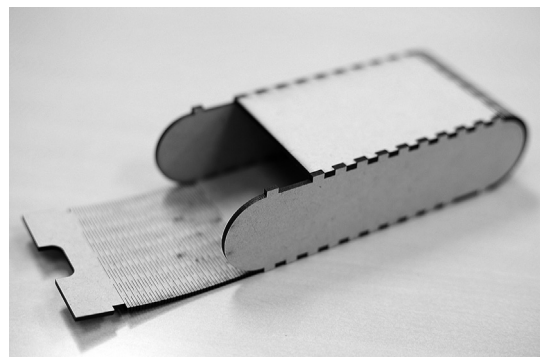


図11：仮組み

⑤接着剤をつけて組立て（図12）

仮組で正しく組みあがることが確認できたものは接着剤をつけて組立てます。

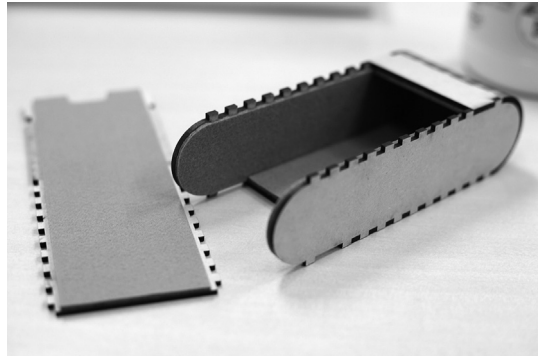


図 12：組立て

⑥ものが収納できるか確認、完成。（図13）

組みあがったものに想定したものを収納し、ちゃんと収納できるかを確認後、完成。



図 13：確認・完成

⑦作り方と加工用データの公開（図14）

作り方と加工用データを instructables で公開。これまで撮ってきた各工程の記録を使ってつくり方と加工用データを公開します。どのように利用してほしいかを各自考え、考えに沿ったクリエイティブ・コモンズ・ライセンスを設定しました。

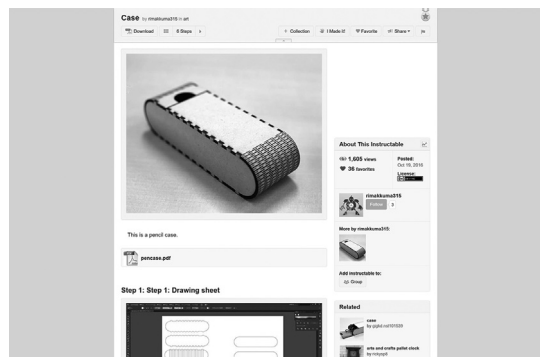


図 14：公開した様子

(<http://www.instructables.com/>)

5. おわりに

デジタルファブリケーションはデジタルとフィジカルをつなぐデジタル工作機械の創造的活用とものをつくるための知識の共有が中心となって、ものづくりを推進します。デジタルファブリケーションでは人が集まり、知識を共有する場が大事になります。デザイン・ものづくりを学ぶ学生が集まる研究室を知識の共有の場とし、ものづくりの実践を通してデジタル工作機械の創造的活用方法を探っていききたいと思います。

注

注1) 2017年3月31日で新規ダウンロード終了。Fucion360,Remahe に統合予定 (2016年12月時点)

引用・参考文献

- 1) 田中浩也 著『FabLife デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」』
オライリー・ジャパン 2012 年
- 2) Neil Gershenfeld 著『Fab パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ』
オライリー・ジャパン 2012 年
- 3) 田中浩也, 門田和雄 編著『FAB に何が可能か「つくりながら生きる」21 世紀の野生の思考』
フィルムアート社 2013 年
- 4) Bas van Abel, Lucas Evers, Roel Klaassen, Peter Troxler 編『OPEN DESIGN 参加と共創から
うまれる「つくりかたの未来」』オライリー・ジャパン 2013 年
- 5) 1000FabLabs in Over 97 Countries!, Fab Lab Connect,
<http://www.fablabconnect.com/1000-fab-labs-97-countries/> (参照 2016-12-30)
- 6) What's Fablab?, FablabJapan, <http://fablabjapan.org/whatfablab/> (参照 2016-11-5)
- 7) クリエイティブ・コモンズ・ライセンスとは, クリエイティブ・コモンズ・ジャパン,
<https://creativecommons.jp/licenses/> (参照 2016-11-5)