

FabLab との連携による神戸芸術工科大学型 デジタルファブリケーション環境の構築

DEVELOPING A KOBE DESIGN UNIVERSITY-STYLE DIGITAL FABRICATION ENVIRONMENT WITH FABLAB COLLABORATION

.....

蛭田 直	芸術工学部生産・工芸デザイン学科	准教授
見明 暢	芸術工学部生産・工芸デザイン学科	教授
田頭 章徳	芸術工学部生産・工芸デザイン学科	准教授
曾和 具之	芸術工学部芸術工学教育センター	准教授
畑 友洋	芸術工学部建築・環境デザイン学科	准教授
金箱 淳一	芸術工学部生産・工芸デザイン学科	准教授
竹田 一成	FabLab 西播磨	

Sunao HIRUTA	Department of Product Design and Crafts Associate Professor
Nobu MIAKE	Department of Product Design and Crafts Professor
Akinori TAGASHIRA	Department of Product Design and Crafts Associate Professor
Tomoyuki SOWA	Center for Art and Design Education Associate Professor
Tomohiro HATA	Department of Architecture and Environmental Design Associate Professor
Junichi KANEBAKO	Department of Product Design and Crafts Associate Professor
Kazunari TAKEDA	FabLab Nishiharima

.....

要旨

本研究では、神戸芸術工科大学と FabLab 西播磨との協働により CNC の開発を行うことで、デジタルファブリケーション (DF) やアディティブマニュファクチャリング (AM) をデザインの基礎教育に位置づけるための DF の要素について明らかにした。明らかとなった基礎デザイン教育に必要な要素は、「製作技術：機器の組み立てを通じた知識、技能の習得」、「設計：機械設計の基本 / 機器の構造を含む特徴の理解」、「制御：要素をつなぎ相互の動作を割り当てる方法の理解」、「安全意識：使用者の安全を第一とした設計・デザインの理解」、「実運用：使ってもらえる環境のデザインを模索する機会」の5つである。

加えて、「初学者の知識技能に合わせた作成（組み立て）する DF 機器の選定」、「専門領域や興味に合わせた学習内容や教材の調整」が満たされていれば DF を基礎デザイン教育に取り入れることができる所感を得た。また、DF 機器として CNC を学ぶ教材として「トレイ」を題材にすることが有用であることを見出し、授業で実践した。

Summary

In this study, we clarified the elements necessary for incorporating digital fabrication (DF) and additive manufacturing (AM) into foundational design education by developing a CNC machine through collaboration between Kobe Design University and FabLab Nishiharima. The essential elements identified for foundational design education are as follows: "Manufacturing Techniques: acquisition of knowledge and skills through assembling machinery," "Design: understanding the basics of mechanical design and the structure of machinery," "Control: understanding methods for connecting components and assigning their interactions," "Safety Awareness: understanding design principles that prioritize user safety," and "Practical Operation: opportunities to explore environments where the machinery can be effectively used."

はじめに

近年、デジタルファブリケーション（以下、DF）技術は、特に3Dプリンタを中心に急速な進歩を遂げており、その使用用途は治具や試作にとどまらず、直接製品を製造するアディティブマニファクチャリング（以下、AM）技術まで発展し注目を集めている。しかし、これらのDFおよびAM技術を教育現場にどのように取り入れるべきかという議論や方法の開発は十分に進んでいないのが現状である。DFやAMは、プロダクトデザインの領域において関わりが特に深く、デザイン教育として取り入れる必要があるが、他のデザインの領域でも今後益々必要になるため、特定の領域ではなく、現在はデザインの基礎教育に位置づける必要がある。しかし、DFの状況は、DF機器の急速な発展が持続していることでソフトウェアを含め、その状況はより複雑化しており、一部の専門領域でしか学ぶことができない現状にある。このような状況に対して、本研究では、CNCというDF機器の開発を行うことで、その開発プロセスの中から、デザインの基礎教育に取り入れるべきDFの要素を汲み出すとともに、一定の教育効果を確認した。本稿は、第71回日本デザイン学会春季発表大会の報告^{注1)}を補足しながら、教材開発の検討について、その内容を加えて報告とする。

1. 研究の背景と目的

前述の通り、DFやAMの状況は、関係する機器が急速に発展しており、デザイン教育の起点を定めることも難しい状況にある。また、DFの領域では、その利用や活用は幅広く、意匠検討から機構の実現および、製作、製造のプロセスにおいても明確な区切りなく横断的に実践したり流動的に取り入れられたりすることが多い。DF機器を使用する場合には、個々のユーザがそれぞれの制作において創意工夫を重ねて、通常のDF機器の使い方を逸脱した想定外の使い方をしたり、機器の用途や目的を転換したりすることも受け入れる文化がある。その背景には、特に3Dプリンタにおいて黎明期の機器が性能や精度の面で不十分だったため、ユーザ自らが改良や改善を加えないと出力がまともにできなかったこともある。一方で、これら

のDF機器に対する改良や改善のプロセスは、ユーザに3Dプリンタの構造や仕組みを理解する機会を与え、ユーザをよりアドバンストな使用へと導いたと言える。つまり、DF機器を使用する上で、より創造性の高いデザインや作品を実現するには、改良や改造を自らの手で行えるほど、DF機器について理解することが重要なのである。本プロジェクトでは、DF機器の特徴や特性を理解する機会として、学生が自分で作るモノ（DF機器）を自らで作る、そのプロセスを経ることが重要であると、これまでの神戸芸術工科大学学内共同研究助成「デジタルファブリケーションにおけるアディティブマニファクチャリング教育に関する研究」（2022）^{注2)}の取り組みも踏まえて考えるに至った。そして、そのプロセスから基礎デザイン教育におけるDFの教材開発、および教育モデルが構築できるのではないかと構想に至った。一方、兵庫県にはデジタルからアナログまでの多様な工作機械を備えた、実験的な市民工房であるFabLabが3拠点ある。その内の一つであるFabLab西播磨では、代表の竹田一成氏が自らCNCの製作を実践しており、地域における大学とFabLabの協働により、本稿のプロジェクトが実現できるとの核心を得たことが本研究に至る背景である。以上の背景から、本稿のプロジェクトでは、FabLab西播磨と協働し、CNCの製作を教員・学生らが自ら行い、その過程でデジタルファブリケーション機器の特徴や特性を学び、その上で、デジタルファブリケーションを学ぶ教育の要素を汲み出し整理することを目的とした。あわせて、本稿では、CNCにおける有効な教材としてトレイのデザインを見出し実践した。

2. 教材の考察対象としてのCNC

DF機器には様々な加工を行える機器があるが、その多くは、加工装置部分をX軸、Y軸、Z軸の3軸をコントロールするものが中心である。

CNCは、エンドミルと呼ばれる外周刃と底刃により素材を横と下方向に切削ができるドリルに似た工具を高速に回転させて、3軸を制御して加工する機器である。

本取り組みでは、CNCを対象とした理由として、駆動部分を支えるフレーム部分、構造を含む3軸の駆動部分、3

軸を動かすモータを主に制御する電源部分と、DF 機器を構成する部分が明確であり、それぞれを 3 つの段階に分けることで、DF 機器として特性や特徴を学ぶのに最適な段階に割り振ることができる点にある。

3. 研究の方法

本稿のプロジェクトは、FabLab 西播磨と協働で行う。CNC の製作は、神戸芸術工科大学で行い、次の工程で製作を進めた。

1. FabLab 西播磨でのワークショップ
2. 安全講習
3. フレーム製作
4. 駆動部分の製作
5. 制御部分の製作
6. 仕上げとテスト運転

その後、製作のふり返りを行い教育の要素の汲み出しを行い、あわせて実践的な使用を積極的に行った在校生に聞き取りを行い教育的な効果や機器の導入について検証を行った。最後に、CNC における有効な教材の検討と考案を進め授業を実践した。なお、本研究のメンバは、FabLab 西播磨 2 名、神戸芸術工科大学の教員 6 名、学部生 14 名、大学院生 2 名、研究生 2 名、実習助手 2 名、技官 1 名である。

製作した CNC の仕様は次の通りである（図 1）。加工可能材料：木材，加工可能な材料（アクリル，ポリカーボネート，PVC，etc），アルミニウム。ワークエリア：約 1300 mm(w) × 2500 mm (L) × 150 mm (H)。Feed rate: 1-3000 mm/min。Spindle speed: max 18000 r/min。制御ボード：HICON Integra mill。制御：Software Mach4。



図1 開発のベースとなったDegicoMill

4. 研究の実践

4.1 FabLab 西播磨でのワークショップ

CNC の製作を通じた学びを始めるに当たり、まず CNC ではどのような加工ができるかについて経験がないと、具体

的なイメージが湧かず、製作に対する意識が芽生えない。これまでにない加工ができる DF 機器を自分達の手で実現するモチベーションをもつことが大切である。FabLab 西播磨を訪問し、竹田氏による DegicoMill を用いて CNC の加工を体験するワークショップを行った。ワークショップでは、参加学生が CNC で加工するデータの作成を行い、パスデータの作成と加工のオペレーションを竹田氏が行った（図 2、図 3）。デザインデータを作成する前に CNC の加工の特徴や特性などについてレクチャを行ったが有効なデザインへの展開には至らなかった。一方で、普段は触れることがない大型のデジタルファブリケーション機器については興味が高まり、また、普段デザインデータの作成に使用しているソフトウェア（Fusion360）にて、加工データも作成できる方法を学ぶことで、データの作成方法への意識に変化を見ることができた。



図2 デザインデータ制作の様子

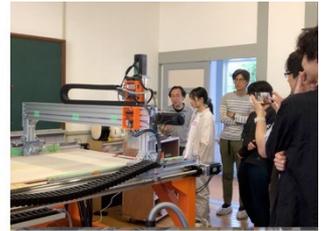


図3 CNCを操作する様子

4.2 安全講習

ワークショップでの経験を踏まえて CNC の土台となるフレームの製作に入る前に安全講習を行った。溶接作業における正しい服装、装備、溶接の原理に加えて、危険性についても十分な講習を行った上で製作に臨んだ。

4.3 フレーム製作

CNC の正確な精度、安定した加工を実現するためには、土台となるフレームの強度が非常に重要になる。特に細かい加工が前後、左右に続く時に振動が発生する。これらの動作にも耐えることができるように、DegicoMill と同じ 100mm 角の鋼材を用いて製作した。フレーム製作は主に、半自動溶接、TIG 溶接を用いて溶接した後、グラインダーで研磨を行った（図 4、図 5）。その後、パテ埋めを行い、塗装の下地処理を施した後に、さび止め剤を塗布し、最後にラッカー塗料で塗装を行い仕上げた（図 6、図 7）。神戸芸術工科大学には、金工設備があるものの溶接作業を含む本格的な金属加工を行う機会は少ない。フレーム

製作を通じて、学生は作品制作を行う上で金属加工も選択肢の1つにできるとの認識を得られた。また、金属素材の特性と加工方法について実践を通じて身に付けることができた。



図4 溶接の様子



図5 グラインダーによる切削の様子



図6 パテで埋める様子



図7 フレームの塗装の様子

4.4 駆動部分の製作

駆動部分の製作は、始めに Z 軸の部位を塗装と並行しながら一定のところまで組み上げた後に、ガントリーの組立を行った。駆動部分の組立では、ネジの最適な締め付けトルクから、組立を行う際の最適なネジ位置の設計方法まで、製作を行うからこそ知ることができる細かな製作の作法を学べる機会となった。

その後、完成したフレームを設置してからアルミフレームの取り付けを行い、次にボールネジ、Y 軸のリニアガイドなどの取り付けを行った（図8、図9）。特にフレームの設置から、ボールネジ、Y 軸のリニアガイドの取り付けにおいては、水平の確認、精度の高い機器の取り付け、

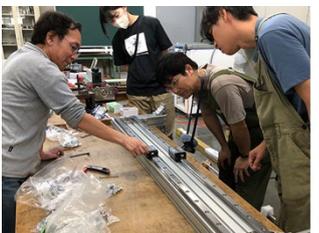


図8 ガントリーの組み立ての様子



図9 ガントリーの取り付けの様子

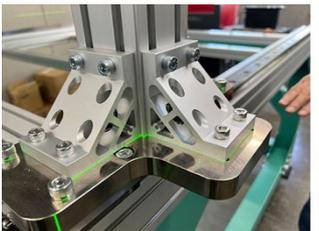


図10 ガントリーのレベルチェックの様子



図11 リニアガイドの取り付けの様子

レベルの確認方法など、DF 機器としての精度が組立段階でどのようにすると得られるのか多くを学ぶことができた（図10、図11）。

4.5 制御部分の製作

制御を含む電源部分の製作は、始めに配電盤のレイアウトの検討を行い、次に、モータや緊急停止ボタンに使用するのに必要なケーブルの長さの計測を行いケーブルの切断を行った。その後、コネクタへの半田付けを行い、配電盤へ必要部品の取り付けを行い、CNC 本体への組み付けを行った（図12、図13、図14、図15）。

DF 機器において配線は非常に重要である。特に正しいコネクタピンに対応、接触不良のないコネクタの製作は重要である。本プロジェクトには、プロダクト・インテリアデザイン学科の学生が多く参加したが、同学科では、電源や配線などの知識は演習や実習の中で一部行うに留まっており、同様にモータの制御についての動作原理などについても高度な知識を学ぶ機会はない。そのため、全ての知識を得ることは難しかったが、身の回りにある DF 機器や電化製品がどのような仕組みや工程で作られているのか内部の電気系統について学べたことは、使用者としても、プロダクトデザイナーを目指す学生としても、非常に重要な学びの機会となった。



図12 配電盤の検討の様子



図13 電線の長さを計測の様子



図14 コネクタを製作する様子



図15 配電盤を製作する様子

4.6 仕上げとテスト運転

仕上げの工程では、加工に必要な下板をフレームに取り付けたり、スピンドルの稼働と調整を行ったりした後に、CNC をコントロールする PC のセットアップを行った

（図16、図17）。PCのセットアップ完了後にCNCの駆動テストを行い、図18に示す形でエンドミルの代わりにペンを取りつけて駆動テストを行った。

通常、DF機器を購入した場合は、駆動や精度の確認はされていることが当たり前であるため、初期に正常な動作や精度が出なかった時に、何が悪いのか問題に気付くことが難しい。しかし、致命的な誤動作にならない手順で駆動のテストを行うことや精度の確認のポイントを最後の工程で学べたことは大変貴重な機会となった。最終テスト運転を行った後、はめ込み式のツールを製作した後に図19に示すワゴンを製作し、CNCの完成とした（図20）。



図16 スピンドルの調整の様子



図17 PC環境をセットアップする様子



図18 駆動テストの様子



図19 製作したワゴン



図20 完成したCNC

5 活動を通じて得られた学びの要素

CNCの製作活動を通じて得られた学びの要素を記す。

5.1 製作技術

製作技術においては、精度が機器に与える影響の理解を得ることができた。具体的には、金属素材の溶接熱によるひずみへの考慮、組み立て時の基準面の確保や紐付けの順序、塗装による寸法変化への考慮などである。また、ものづくりの作法として、ネジの締め付けトルクなどの

組み立ての基本、正しい工具の選択についての知識についても得ることができた。

5.2 設計

設計においては、機械設計の基本を学ぶことができた。組付け後に調整可能な設計や取り付けを間違った際に組み直せる設計、組付けエラーの起こりづらい設計、汎用部品と特注部品の使い分けがコストや修繕に及ぼす影響などである。いずれも完成品を見るだけでは気付くことができない設計時の重要な要素である。

5.3 制御（電気配線）

制御（電気配線）では、配線と制御の基礎を学ぶことができた。機器の役割を理解した上での適正な線径やコネクタの選択、機器間の接続の分かりやすさ、配線ミスや断線などのトラブルが発生した際に修復が容易な施工などである。他にも、稼働範囲を考慮した配線計画や使用者の行動の邪魔や危険にならない配線の取り回しなど、将来デザイナーになった場合に配慮しなければならない事柄について実践的な学びを得られた。

5.4 制御（ソフトウェア）

ソフトウェアの制御では、入力に対する出力の設定として、モーター、スピンドルを制御するための設定および、各種ボタンの動作の割り当て、各種センサからの入力に対する反応の設定を学ぶことができた。また、インターフェイスデザインとして、直感的に使用できる操作画面のデザインについても知識を得ることができた。

5.5 安全意識

安全意識では、安全を確保するデザインとして、安全を第一の観点から考えた、緊急動作停止ボタンの配置と制御設定や操作の流れを中心に、実運用として事故の起こりづらい使用ルールの設定までを学ぶことができた。

5.6 実運用

実運用では、実際に長期的な運用を可能にするマニュアルリングについての実践が大きな学びとなった。DF機器を導入している施設の大きな悩みは、実際に使用できるまで理解している人が少なく導入機器の稼働率が上がらないことにある。本プロジェクトでは、それらを回避するために、CNCの加工データをFusion360で作成するための

マニュアルの作成と、竹田氏によるレクチャ動画のアーカイブを行い、CNCを使用して初めて作品を制作する学生が、1人で加工データまで作成できるよう環境を整えた。全ての加工方法についてマニュアル化できたわけではないが、頻度の高い輪郭加工、ポケット加工についてマニュアル化したことで、少人数でも運用可能な負荷の少ないオペレーションを実現した。

5.7 CNC 開発を通じた教育的効果のまとめ

CNC 開発を通じた教育の効果と、その過程で得られた DF 教育に繋がる要素を改めて次にまとめる。

製作技術について	機器の組み立てを通じた知識、技能の習得
設計について	機械設計の基本 / 機器の構造を含む特徴の理解
制御について	要素をつなぎ相互の動作を割り当てる方法の理解
安全意識について	使用者の安全を第一とした設計・デザインの理解
実運用について	使ってもらえる環境のデザインを模索する機会

基礎デザイン教育プログラムに位置づけるためには、「初学者の知識技能に合わせた作成（組み立て）する DF 機器の選定」、「専門領域や興味に合わせた学習内容や教材の調整」が重要であり、これに加えて上記の要素を満たしていれば、基礎デザイン教育教材として取り入れることが可能だという所感を得た。

6. 教材への展開について

本稿では、プロジェクトで得られた学びの要素を、複数の DF 機器で学ぶ教材として、どのような教材が良いかを検討した。その結果、小物や文房具などを入れる「トレイ」が初期の DF を学ぶ教材の 1 つとして最適であるとの結論に至った。カッティングプロッタのように切断するだけの機器は加工が 2 次元的であり短時間である。一方で、CNC や 3D プリンタといった加工が 3 次元になる DF 機器を教材とする際に最も障害になるのが加工時間である。しかし、トレイは実用的な道具でありながら、サイズを調整すれば小皿程度でも成立する。また、トレイをデザインする際に、両面加工、立体加工など複雑で時間の掛かる加

工を除いて、外形の加工、受け皿となる内側の段差を工夫するだけでも、多様なデザインを生み出すことができる。うえ、データ作成の難易度も低いので教材として最適であるとの結論に至った。本稿では、実際に 3 コマの時間で構想からデザインデータの作成、CNC のレクチャ、実加工まで実践した。実践では 2~3 名を 1 グループとして 3 グループに分かれて実践した。結果として、初めての実践だったためデザインデータに不備があり、デザインどおりの加工ができない、一部加工が課外の時間になるなどの課題は生じたものの、CNC の特徴や特性については、CNC および DF の基礎が十分に学べる結果となった（図 21）。

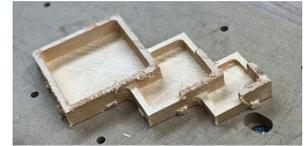


図21 制作されたトレイ

おわりに

本稿では、CNC の製作プロセスから DF 機器の教育の要素を汲み出す取り組みを行った。結果として、DF を基礎デザインに位置づけるに必要な要素や配慮について見いだすことができ、また、トレイを題材とした教材開発の実践まで行えた。今後は引き続き、他の DF 機器での適用を視野に教材開発を継続したい。なお、本プロジェクトで実現した CNC は、在校生の制作に大いに活用され、Milan Design Week 2024 期間中、Isola Design festival に出展された Design Soil の学生作品の制作に寄与した。あわせて研究生の富永虎太郎、櫻井風土のユニットである KT&FS の制作にも多く活用され、同じく SaloneSatellite に作品が出品されたことを報告する。

謝辞

本研究は、神戸芸術工科大学共同研究助成事業、および一部は JSPS 科研費 22H01057 の助成を受けたものである。

注

- 1) 見明暢, 蛭田直, 竹田一成ほか、「CNC 開発を通じたデジタルファブ리케이션を基礎デザイン教育に位置づけるための考察」第 71 回日本デザイン学会春季研究発表大会概要集, 2024, pp. 312-313
- 2) 見明 暢, 蛭田 直, 金箱 淳一ほか、「デジタルファブ리케이션における アディティブマニファクチャリング教育に関する研究」神戸芸術工科大学紀要「芸術工学」, 2022