

3Dプリンターを導入した陶芸授業の開発とその効果

— 教員養成系大学での授業実践を踏まえて —

原 山 健 一 奈良教育大学美術教育講座 (陶芸)
世 良 啓 太 奈良教育大学技術教育講座 (技術科教育)
山 下 奈 穂 多治見市陶磁器意匠研究所

Development of Ceramics Classes Introducing 3D Printers and Research on Effects Based on the class at the teacher training university

HARAYAMA Kenichi

(Department of Art Education, Nara University of Education)

SERA Keita

(Department of Technology Education, Nara University of Education)

YAMASHITA Naho

(Tajimi City Pottery Design And Technical Center)

Abstract

3D printers are now becoming more and more popular, with equipment becoming less expensive, to the point where individuals can own a small one at home. In the field of ceramics, almost all modeling work has been done by hand. Currently, 3D printers are not widely used in ceramics. 3D printers can be used to create highly finished works of art. In addition, teacher training colleges will need to have knowledge of digital fabrication. For these reasons, we conducted research to incorporate a 3D printer into a ceramics class at Nara University of Education.

キーワード：陶芸，技術科教育，美術科教育，
デジタルファブ리케이션，
3Dプリンター

Key Words: Ceramic Art, Technology Education,
Art Education, Digital Fabrication,
3DPrinter

1. はじめに

1.1. 研究の概要

3Dプリンターは、かつては機材や材料が高価であったため、限られた現場でしか使用されることがなかったが、現在では機材が安価になりつつあり、小型のものであれば個人が自宅に所有できる程、一般に普及しつつある。

筆者が専門としている陶芸の分野においては、その制作の工程はほぼ全て手仕事で行われてきた。美術大学など陶芸の専門的な教育を行う機関においても、作品を自らの手で作り上げる技術の熟達は、重要な到達目標の一

つであると言える。陶芸においても、同じ形が規則的に繰り返される形態を作る際などでは、3Dプリンターを導入することで作業効率が格段に上がることが考えられるが、今述べた様に陶芸が手仕事を重視する分野であるなどの理由から、まだあまり多く用いられていないのが現状である。

しかし本学の様な教員養成を目的とした大学においては、造形力の習熟も重要ではあるが、学生に幅広い技術に触れさせることも重要である。今後更に普及が予想される3Dプリンターなどを活用したデジタルファブ리케이션についても、学校現場で求められる時代が予想され、大学時代にこれらの技術に触れておくことは学

生にとって有益であると考えた。

この様な理由と、後述する工芸Ⅳ授業の課題を解決する目的で、本学技術教育講座教員の世良氏の協力を得て、学部授業工芸Ⅳにおいて、陶芸の授業に3Dプリンターの導入を試みた。本研究はこの3Dプリンターを導入した陶芸授業の開発と、その効果に関する研究から成り立っている。

本研究は第一筆者である原山と第二筆者である世良による授業実践を研究の中心とし、加えて陶磁器業界での3Dプリンターの導入事情に詳しい多治見市陶磁器意匠研究所の山下氏に第三筆者として本論文の執筆に加わってもらった。本稿の執筆・校閲等は全構成員で担当し、執筆を分担した箇所の末尾には筆者名を記すこととする。(原山)

1.2. 陶芸における3Dプリンター活用の現状

1.2.1. 陶芸制作における3Dプリンター導入の概要

前章で述べたように、陶芸制作で3Dプリンターを用いる事例は、まだまだ多くは見られないが、一部の若手陶芸家や、試験研究機関、大学などから、少しずつ使用事例が見られるようになりつつある。

その中で多く見られる使用法は次の通りである。現在、一般的に3Dプリンター出力の材料として使われている樹脂で出力された立体物を原型として、それを石膏で型取りをし、その石膏型に泥状の陶土あるいは磁器土を流し込む「鋳込み技法」で成形するというものである。これは汎用の3Dプリンターを利用できると、型取り以降は従来の陶芸制作のプロセスであるため、比較的容易に3Dプリンターを陶芸に導入できる方法である。

これとは別に陶芸専用の3Dプリンターを開発する動向も海外を中心に見られる。これは泥状の陶土（あるいは磁器土）を3Dプリンターで直接積み上げるものである。これは陶芸の技術が無くとも3D-CAD（CAD：Computer Aided Design；コンピュータを用いて設計すること）などを用いてデータを用意できれば陶芸作品が作れる上、手仕事では作ることが不可能な形状も作ることができてしまう画期的な技術である。この技術はまだ広く普及してはいないが、2021年に行われた陶芸の国際公募展である国際陶磁器展美濃ではこの技術で作られた作品の出品が見られ、今後の動向が注目される。(原山)

1.2.2. 多治見市陶磁器意匠研究所に見る陶磁器産業における3Dプリンターの使用例

ここでは、陶磁器産業界における、3Dプリンター利用の現状について、第3筆者である山下が勤務する多治見市陶磁器意匠研究所（以降、意匠研究所）の事例を紹介したい。

意匠研究所は、岐阜県多治見市、土岐市、瑞浪市か

らなる日本最大の陶磁器産地である美濃焼産地に所在し、「産業界へのデザイン・技術開発支援」と「陶芸技術研修による人材養成」を主要事業としている。美濃焼産地は、飲食器類や伝統的な作品、現代陶芸まで多種多様な生産技術や様式を備えたバリエーション豊富なやきものが作られている。特に飲食器類の生産は全国シェアの50%以上を占めており、大量生産が盛んな陶産地である。

近年、消費者ニーズの多様化により美濃焼産地でも多品種少量生産への対応に迫られている。特に、美濃焼の根幹を支える石膏型製造企業では手仕事で器の元となる原型を作って来たが、より多くの受注に対応するため3Dプリンターを導入する必要性が生じている。

こうした現状を踏まえ、意匠研究所では平成30年度から陶磁器業界に対する陶磁器製品開発支援をより積極的に推進するため、3Dプリンターおよび3D-CADソフトを順次導入し、デジタルファブリケーション機器を活用した陶磁器業界へのデザイン支援および企業との共同研究を実施している。

一つ目の事例として、タイル業界との研究事例を紹介する。3Dプリンター導入以前のタイル業界では、試作を作るためだけに金型を作らなければならない、そのコストの高さがネックとなり試作を作るにもアイデアを厳選し作成しなければならなかった。そこで意匠研究所の研究開発によって試作用の金型を3Dプリンターで出力した樹脂型に置き換える新しい技術を開発した（図1）。この技術によってアイデアをすぐに形にすることができ、かつ実際に焼成したタイルで顧客に見本を見せられるようになった。

二つ目の事例として、石膏型製造業界との研究事例を紹介する。陶磁器製品を量産するには石膏型製造業界は欠くことのできない重要な存在である。石膏型製造の工程は、図面から手作りで「石膏原型」作成後、型を量産するためのケース型の元となる「元型」、大量に型を複製するための「ケース型」、素地を量産するための「使



図1 3Dプリンターによるタイル試作用の樹脂型

用型」の4工程からなっている。特に一から手で原型を作る技術者を原型師という。近年、陶磁器製造業界では3Dデータでの発注も多く、現場に一番近い原型師が3Dモデリング技術の知識と樹脂型の扱い方を獲得すること、また、新たな活用方法を模索することを目的に共同研究を実施した。

従来、原型師は焼き歪みを考慮して、完成した状態とは微妙に異なる形態の原型を作成する。この操作を「マチ」とよび、このマチは原型師の経験則にだけに頼って作られていた。この「マチ」の設計を、3Dデータの造形では数値を元に作図する必要がある。しかし、原型師の経験則を専門外の技術者が数値化することは非常に困難であった。そこで、より直感的にマチを設計する方法として、熱によって柔らかくなる樹脂の性質を利用し、3Dデータ上ではなく、樹脂原型をお湯で柔らかくした状態で原型師が調整しマチを設計する方法を压力鑄込みの原型で試みた(図2)。マチのありなしでそれぞれ使用型を作り、磁器で焼成実験をしたところ、一定の効果はみられた。

また、3Dプリンターの新たな活用方法として、文字付きの樹脂プレート(0.5mm厚 / 文字高1mm)を作成し、石膏原型に樹脂プレートを貼り付け文字の凹凸を出す、石膏原型と樹脂原型のハイブリッド原型を試作した。既存の技術を活かしながら新たな技術も活かす方法を試み、製造現場にフィードバックすることができた(図3)。

このように、近年、陶磁器産業界も手仕事一辺倒から、道具としての3Dモデリング機器の導入が進み、3Dモデリングの活用が商品開発における選択肢の一つとなっている。しかし、民間企業で導入するには至っておらず、公設試験機関が3Dプリンターを導入し、依頼業務として3D出力を実施している。

一方、「手仕事」のイメージが強い個人の陶芸作家の作品においても、3Dモデリング機器の導入が進んでいる。ここでは、陶芸家、デザイナーとして活躍し、陶芸作品の制作に3Dモデリング機器を積極的に取り入れた活動を展開している、意匠研究所修了生の柳井氏の作品「Landscape Ware (ランドスケープウェア)」を例に、導入事例を紹介したい(図4)。

大地をイメージして作られ、3D-CADの数学的なスプライン曲線、曲率面を使用した有機的な器である。料理を盛り付ける容積も確保し、さらに重ねて収納できる機能も兼ねた形状は、手技での原型製作は難しい。デザイン・設計から石膏製型まで3Dモデリング技術を活用し、複雑かつ立体的な形状を生み出している。

このような活動が、先進事例としてあげられ、陶芸作品の可能性を広げている。(山下)



図2 樹脂型をお湯で柔らかくし、原型師がマチを設計する様子



図3 石膏と樹脂のハイブリッド原型



図4 Landscape Ware (柳井友一氏作品)

1.3. 陶芸授業における3Dプリンター導入の事例

1.3.1. 多治見市陶磁器意匠研究所の事例

意匠研究所では、業界支援に加えて、陶磁器に携わる人材の育成を行っており、陶芸作家やデザイナーになることを目的に陶芸技術を学びに来る若者に対し、美濃焼産地を背景とした授業を行っている。研究生は国内外から集まり、美術大学の卒業生や一度社会に出てデザイン業務を経験している者なども在籍している。

意匠研究所では産業支援としての3Dプリンター導入を機に、授業の中でも3Dプリンター導入を試みている。「石膏成型実習」において、1年研究生最大20人を対象に、4つの石膏成型技術課題と2つの鋳込み成形課題を180分授業11週50回に渡って実施している。

石膏造形は手作業を基本に指導しているが、3D-CAD+3Dプリンター出力の樹脂原型を作る授業もその中に取り入れた。デジタル技術に高い関心を持つ研究生と消極的な姿勢を示す研究生に分かれるため、毎年研究生に合わせ必修もしくは選択科目のどちらかで実施している。デジタル技術に消極的な研究生は、その理由として、土や石膏など直接素材に手で触れて作る技術を学ぶことに重きを置きたいという点が挙げられる。一方、意匠研究所に入所する前にデザインや建築分野に携わり、3Dモデリング技術を活用した経験を持つ研究生は、デジタル技術と陶芸の融合を目指した制作に関心が高く、より積極的に授業を受けている。

そこで、デジタル技術に消極的な研究生にもデジタル技術使用の利点を知ってもらうために、筆者がデジタル技術を活用した試作品を作成し参考事例として見せながら指導している(図5)。

研究生には3Dプリンター使用の利点を実感させるため、3D-CADならではの3次曲面形状を作図し、3Dプリンターで出力した樹脂原型から試作品を完成させるという一連の工程を可視化することで、デジタル技術に消極的な研究生にも分かりやすい授業を心掛けている。

3Dプリンターの活用方法には原型作成のための使用だけでなく、形状を検討するために使うという考え方もあり、様々な背景を持つ研究生がいる中で、今後どのように授業の中でデジタル技術を活用して行くのかは引き続き検討が必要である。前節で述べた柳井氏のように、陶芸界では徐々に3Dプリンターを活用した作品が見られるようになってきたが、伝統的な陶芸技法の中ではまだまだ新しい技術であり、授業を通して陶芸作品の新たな展開が生まれることを期待している。(山下)

1.3.2. 金沢美術工芸大学の事例

大学などの陶芸授業で3Dプリンターを使用している事例はまだ少ないが、前項で山下が述べた意匠研究所の事例の他に、池田らによる金沢美術工芸大学で行われた

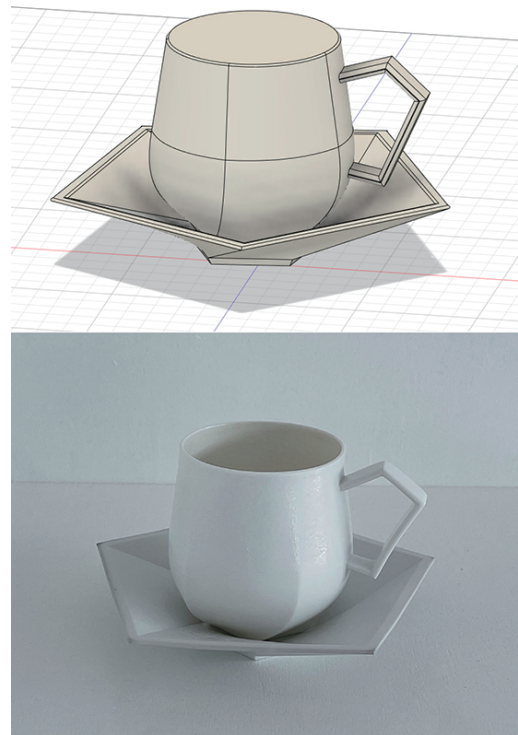


図5 筆者(山下)が授業で提示している試作事例

授業の事例⁽¹⁾がある。

この授業は製品デザイン専攻と工芸科陶磁コースの教員と学生によるコラボレーションという形で行われている。「器とカトラリー」を課題として、ユーザーとして想定している車椅子ユーザーや視覚に障害をもつユーザーと実際に接しながら、そのニーズに合った製品を企画し、形状をデザインする。その後は前項の意匠研究所の授業の事例と同様に、3Dプリンター出力、石膏型の作成、鋳込み、一連の焼成プロセスを経て実際の陶磁器を作るというものである。

この授業は、大まかにはプロセスの前半が製品デザインの領域、後半が陶芸の領域となり、2つの領域の教員が指導することで、このプロセス全体を通じた指導を可能としている。また、異なる専攻の学生が同じ課題に取り組む中で、「お互いの領域の思考を学び取る中で、学生自らが手がけているそれぞれの専門性の重要性について改めて感じ取っているように感じた。」⁽²⁾とあり、他専攻の専門領域に踏み込むことで、自分が学んでいる領域の専門性を客観視する様な効果があった事が窺える。2021年度以降は、コロナ禍によってユーザーからの聞き取りなどのプロセスは省略しているが、授業自体は継続して行われている。(原山)

2. 本研究のアプローチ

第1章で示す通り、陶芸を専門とする研究所や美術大学において、デジタルファブリケーションを取り入れた陶芸に関する先駆的な実践が試みられている。本研究では、それら知見を参考に、教員養成系大学における陶芸授業の改善を行うこととした。本章では本実践を試みる本学講義「工芸Ⅳ」のこれまでの授業内容と課題を示す。そのうえで、本実践に向けた題材の検討と試作、授業スケジュールの計画について述べる。

2.1. 本学講義「工芸Ⅳ」の授業内容と課題

本学講義「工芸Ⅳ」は、美術教育専修中等教育履修分野2回生の選択必修科目として開講しており、陶芸の中でも応用的な技術である石膏型を使った陶芸制作の技法を扱っている。石膏型を使った陶芸制作は、陶芸制作の技法の中でも精緻な形状を作るのに適した技法である一方で、工程数が多い技法である。その工程は、まず粘土等で原型を作り、その原型を石膏で型取りしたうえで、石膏型に陶土を入れて立体形状を作り、焼成工程を行う。このような工程数の多い石膏型を使った陶芸制作を実習科目に取り入れた場合、教員養成系大学では十分な時間を確保することが難しく、様々な課題が表出している。特に、この技法によって作られる作品の出来の良し悪しは、最初の工程で作る原型の完成度に大きく左右されるため、粘土や石膏を材料として手作業で多くの時間をかけて完成度の高い原型を作ることが一般的である。しかし、時間の制約がある授業の中ですべての工程を完結することを優先すると、ある程度の完成度で妥協せざるを得ないことが多く、受講者にとって満足度の低い作品になってしまう事例が少なからず見受けられた。

これまで筆者は、原型を作る工程の材料を石膏から油粘土に変える、あるいは作った原型がそのまま型として使える「型打ち」の技法に変えるなどの改良を試みたものの、スケジュール過密の問題は解消する一方で、学生の作品に対する満足度の向上には至らなかった。本研究では、原型の作成に3D-CADおよび3Dプリンターを用いることで、時間的な制約や受講生の満足度に関する上記の課題を解決できると考え、題材の検討ならびに試作、試行的な実践を行うこととした(原山)

2.2. 題材の検討ならびに試作

前項で挙げた課題に対応するために、デジタルファブリケーションを導入した陶芸制作に向けた題材の検討ならびに試作を行った。まず、本実践対象者が3D-CADの初学者であること、本講義の主たる内容が陶芸であることを鑑み、デジタルファブリケーションに関する講義はなるべくコンパクトにすることを留意した。特に、

3D-CADには多くの機能が実装されており、教員が取り上げる機能の種類に応じて、説明や演習に関する授業時間が大幅に変わることが予想される。本研究では、平面にスケッチをする機能、平面から立体へ押し出す機能など極力基本的な機能のみを取り扱うこととした。また、3Dプリンターによる原型の出力は、時間がかかることを考慮し、教員が授業外で出力することとした。なお、3Dプリンターの仕組みや動作、製作過程等は授業で扱うこととして、ブラックボックスにならないように留意することとした。

つぎに、本授業で作成するもののテーマを検討した。具体的には、3Dプリンターで製作可能な造形サイズ、製作時間、実用性などに留意したほか、本実践で行う排泥鑄込みの特徴を考慮することとした。排泥鑄込みでは、石膏型に接する面は形が綺麗に表現される一方で、内側の面に泥漿が流れた跡が残るため、製作物の内側が見えにくい形状であることが望ましい。そのため、本実践では「花器」を授業のテーマとして行うこととした。以下に具体的な試作の内容を示す。

上記の通り、題材のテーマやコンセプトを検討したうえで、実際にアルファベットに厚みを付けたサンプル原型を作成し、花器の制作を行った。まず、ローマ字の「A」と「H」の文字に厚みをつけた様な形状の3Dデータの作成および3Dプリンターによる出力を行った。この試作品の大きさは本学で利用できる3Dプリンターの造形サイズならびに製作時間を考慮して200W×200D×70H(mm)とした。3Dプリンターによる造形物は3Dプリンター特有の積層痕が生じるため、サーフェーサーで滑らかにしたうえで、サンドペーパーで表面を研磨した。

つぎに、研磨した原型を用いて、2つ割りの石膏型を作成した。初めに「A」の文字を元にした原型の型取りを行ったが、型から原型を抜く、脱型が上手くできず、石膏型が破損した。これは石膏型から原型を抜くのに必要な微妙なテーパー形状(抜ける方向に向けて少しずつ先細りになる形状)になっていなかったことが原因と考えられた。また「A」という文字の中央にある三角形の空洞の型取りも難しいことが把握された。そこで、「H」の型取りの際には、型を抜く方向に向けてテーパー形状になるように研磨した。しかし、手作業でテーパーをつけることは非常に時間のかかる作業であり、本実践では現実的ではないことが示唆された。このことから、授業で受講者に作成させる原型はサイズや形状について、ある程度の制約を持たせて制作させる必要があることが分かった。

そのほか、脱型の際に石膏型が割れる問題が生じた。これについては、事前に石膏型に小さい空気穴を作り、脱型の際に、コンプレッサーで空気を吹き込むことで改

善することができた。

また、石膏型に泥状の磁器土（泥漿）を流し込む、鋳込みの作業について検討を行った。本実践で使用する材料は入手が容易で、かつ白色度の高い陶器原料であることから、丸二陶料のKC-115高級酸化磁器鋳込泥を使用することとした。実際に石膏型に泥漿を流し込み、15分ほど放置し、その後固まっていない泥漿を流し出してみると、最初の1～2回は泥漿が石膏型に貼り付いて成形物が破損してしまう失敗があったが、おおよそ3回目以降は順調に成形物が取れるようになった。これを800℃で素焼きをし、透明釉をかけ1230℃で本焼きを行い、試作品が完成した（図6）。左手から時計回りに、3Dプリンターで出力した樹脂原型、石膏型、焼成前の成形物、完成作品である。

試作後、題材ならびに指導方法の再検討を行った。まず、材料の量ならびに作業時間を縮小することとして、受講者に作成させる原型のサイズは、120W×120D×120H（mm）に収まるようにし、2つ割で型取りできる形状にすることとした。また、3D-CADの操作説明において角を丸めるフィレットの機能を取り扱うこととした（原山）



図6 完成した試作品

2.3. 授業スケジュールの計画

前節で述べた試作を踏まえて、授業スケジュールを計画した（表1）。

前述の通り、デジタルファブリケーションの内容は極力コンパクトにすることを心掛け、2週目から4週目までの計3回の授業で3D-CADを取り扱うこととした。4週目の授業では、3Dプリンターの概要や仕組みについても併せて取り扱うこととした。

5週目以降では、原型の修正や石膏型の制作、鋳込み、釉薬、プレゼンテーション及び講評を計画した。その際、全工程の中で作業の難易度が高い型取りの工程に4回の授業日を予定した。（原山）

表1 授業スケジュール

1週目	ガイダンス、スライドレクチャー
2週目	3D-CADを使った原型データの作成1
3週目	3D-CADを使った原型データの作成2
4週目	3D-CADを使った原型データの作成3（→翌週までに出力）、3Dプリンターについて
5週目	原型修正
6週目	石膏型制作1
7週目	石膏型制作2
8週目	石膏型制作3
9週目	石膏型制作4
10週目	鋳込み1
11週目	鋳込み2
12週目	鋳込み3
13週目	鋳込み4（→翌週までに素焼き）
14週目	施釉（→翌週までに本焼き）
15週目	プレゼンテーション、講評

3. 授業実践

本章では、表1の授業スケジュールに基づいた実践の様子を受講生の反応などを踏まえて示す。なお、本実践対象者は、4回生の履修生が4人、2回生の履修生が5人と例年と比べて多い履修があったことに加えて、大学院生、他専修の学部生などの参加者を加えて11人で行われた。

3.1. ガイダンス

1週目では、筆者らの試作した花器の実物や作業工程の紹介・実演を通して、本講義の見通しを持たせた（図7）。また、本講義では3D-CADのソフトウェアとしてAutodesk社のFusion360（教育機関ライセンス）を用いるため、アカウント発行の手順について説明した。多くの受講生が「3Dプリンター」という語句を聞いたこと



図7 作業工程の紹介

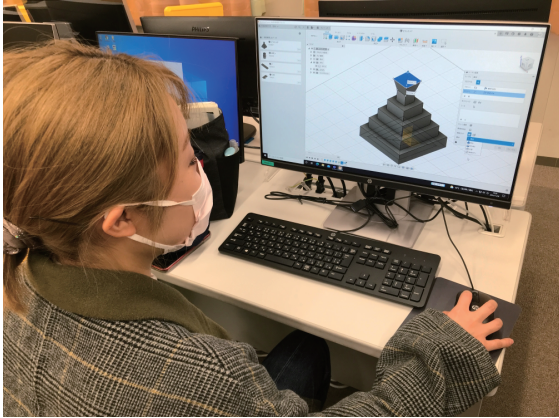


図8 花器のデザインならびに原型データの作成



図9 3Dプリンターの実演



図10 3Dプリンターで出力した原型

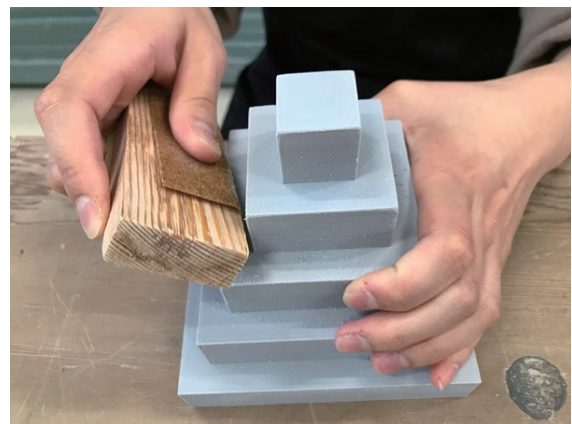


図11 出力した原型の修正

があるものの、どのような具体物が実際に製作できるのか、また製作するためにどのような工程が必要なのかなどについては、初めて見聞きするようであった。本講義の趣旨として、デジタルファブリケーションを取り入れた先駆的な陶芸を試みるという説明を行った際には、デジタルの操作などに苦手意識のある受講生等から不安の声があったものの、多くの受講者は意欲的な様子であった。(世良)

3.2. 3D-CADを使った原型データの作成

2～4週目では、3D-CADの操作方法の学修、花器のデザインならびに原型データの作成を行わせた(図8)。なお、前述の通り本講義では、シミュレーションなど多岐に渡るFusion360の機能を広く取り扱う必要はないと考え、基本的な操作を取り上げた。具体的には、2週目では、スケッチおよび押し出しと面取り、3週目では、スイープやロフト、フォームを用いた立体物の制作、4週目では花器のデザインと修正を行わせた。加えて、講義以外での受講生の自主的な制作が必要と考え、学修した機能を用いた3DモデリングについてのYoutube等の動画の紹介や、Autodesk社が運営しているFusion360のコミュニティの利用方法などについて説明を行った。

4週目では、花器のデザインと修正に加えて、3Dプリンターに関する基礎的知識の紹介、鑄込み口として実際に使用する円錐のパーツを20分程度の時間で実際に造形した(図9)。3D-CADに関しては、数名を除く受講生の多くが講義外での自主的な制作を行っており、講義で紹介した動画やコミュニティの利用も見受けられた。完成したデータは、5週目までの間に教員が3Dプリンターによる出力を行った。実際に出力した原型を図10に示す。(世良)

3.3. 原型修正

5週目では、出力した立体物の積層痕を消すためにサンドペーパー等で研磨を行わせた。なお、積層痕の凹みが深い部分については、サーフェーサーを塗布し、深い凹みを埋めたくうえで研磨するよう指示した。加えて、脱型の際に引っ掛かりになりそうな部分については、テープをかけるなど形状の修正を行わせた(図11)。

3.4. 石膏型製作

3.4.1. 石膏型製作①

6週目から9週目では、原型の型取りを行わせた。まず、原型を分割する線を赤鉛筆で引かせた(図12)。受



図12 原型を2分割する様子

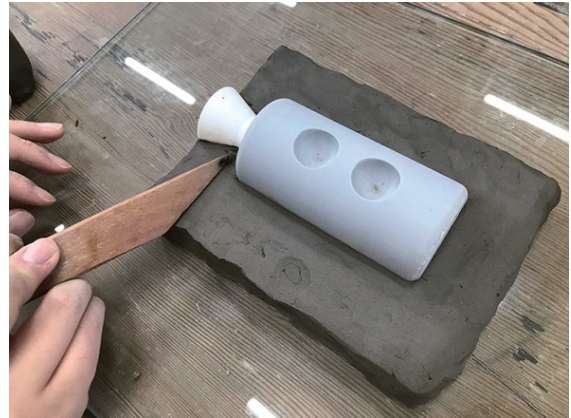


図13 分割線まで粘土で埋める様子



図14 外枠まで設置した状態



図15 石膏の攪拌

講者は型を分割する線の位置を考えながら3Dデータを作成していたので、この作業は比較的スムーズに進んでいるようであった。また、図10の中段一番右の原型のように、曲面などで頂点となる部分を見つけるのが難しい形態については、直角定規を使った頂点の見つけ方について別途指導を行った。

つぎに、石膏型からの型離れを良くするために、原型にワックスの塗布、分割線まで粘土で埋める作業を行わせた(図13)。この作業は石膏が剥がれやすい様にガラス板の上で行うが、石膏を流し込んだ際に原型が浮かび上がってしまうことを防ぐために、事前に原型を両面テープでガラス板に貼り付けて行わせた。なお、石膏型は原型の周り3cm程度の厚みにする必要があるため、分割線まで埋める粘土は4cm以上の幅を持たせるよう指導した。

なお、本実践ではコンプレッサーを用いて空気を送り込むことで石膏型から原型を抜く。そのため、空気を吹き込む穴として、木ネジを原型に打ち込ませた。その後、硬化する前の流動性のある石膏が隙間から流れ出ない様に周囲に木枠、または粘土の外枠を設置させた。この際、硬化前の石膏の流出(決壊)を防止するために、外枠と原型を埋めた粘土の間をさらに粘土で埋めておくよう指

導した。これらの作業が終わった状態を図14に示す。

3.4.2. 石膏型製作②

完成させた石膏型に、石膏の流し込み、片面の型取りを行わせた。石膏は粉末の石膏を水に溶くことで、石膏と水が化合し徐々に硬化が始まり、1時間程度で硬化が完了すること、石膏と混ぜる水の量によって、完成した石膏型の吸水性が異なるため、正確に石膏と水の量を測ることを指導した。本実践では、木の棒で攪拌させた(図15)。

つぎに、原型の上に石膏の流し込みを行わせた。この際、勢い良く流し込むと気泡が発生してしまうので、木の棒に伝えながら慎重に流し込むことを指導した(図16)。また、決壊を防ぐために、石膏を水に溶いてからある程度時間を置いて、硬化が始まる寸前のタイミングで石膏を流し込むよう指導した。その結果、授業参加者11人のうち9人は概ね順調に作業を行ったが、欠席などで作業が遅れた2人の参加者は慌てて作業を行ったため、決壊してしまい、更に作業が遅れてしまう事例が見られた。



図16 水に溶いた石膏を流し込む様子



図17 原型を埋めた粘土を外した様子



図18 両面の型取りを終えた状態



図19 両面の型取りを終えた状態

3.4.3. 石膏型製作③

片面の型取り作業ならびに石膏の硬化後、外枠と原型を埋めた粘土を外させ、原型や石膏についた粘土をスポンジで拭き取らせ、石膏型の合わせ面の凹凸の修正、離型剤のワックスを塗布させた。(図17)。

つぎに、木枠または粘土で外枠を立て、隙間を土で埋めさせ、もう片面に水で溶いた石膏を流し込ませた。外枠を外した状態を図18に示す。

そして、石膏型の表面を石膏用の鉋で整えさせた後、空気穴からコンプレッサーで空気を吹き込み、石膏型と原型を外しさせた(図19)。完成した石膏型は、次時の鑄込みに向けて良く乾燥させることとした。

ほとんどの脱型が無事に成功したが、一部原型の取り出しが上手くできない事例もあった。これは試作時の失敗同様に、テーバー形状になっていなかったことが原因である。うまく脱型できない原型に関しては、ヒートガンで原型に熱を加え、原型を柔らかくし変形させながら離型を行った。

前述の通り、一連の型取り作業では、石膏を流し込んだ後、石膏が硬化しないと次の作業に移れず、流し込み後時間が余っても翌週まで作業を進めることができないため、多くの授業時間を要する。さらに、本工程は試作

段階においても、非常に手間が多い作業であったため、受講者が円滑に作業を進めることができるよう念入りに指導と準備を行った。結果として、ワックスの塗布、空気吹き込み用の穴、脱型が難しい場合には原型に熱を加えて離型を行うこと、これらを授業に取り入れたことで、概ね順調に進めることができた。

3.5. 鑄込み

10週目から13週目に完成した石膏型に泥漿を流しこむ作業を行わせた(図19)。

石膏型に泥漿を流し込んでしばらく待つと、石膏型が吸水し、石膏型に接する面から泥漿が徐々に固化するため、この固化した厚みを観察させ、15分から20分程度経って5mm程度の厚みがついたのを確認させてから、固化していない泥漿を型から流し出させた。

乾燥させた石膏型の内側面の状態が良ければ、固化した泥漿(成形物と呼ぶ)が石膏型から綺麗に外れるが、完成したばかりの石膏型の内側面は、原型に塗布したワックスなどの汚れが残っているため、成形物が石膏型に貼り付き上手く外れないことが多かった。これに関しては、鑄込み作業を2~3回繰り返すことで、成形物が型から綺麗に外れるようになるため、受講生全員が複数



図19 水に溶いた石膏を流し込む様子



図20 成形物の修正・仕上げ



図21 完成した花器



図22 展示の様子

回鑄込みを行うこととなった。

成形物を外させた後は、竹ペラや濡れたスポンジなどで、細かなバリや口を修正させ、完成となる（図20）。

3.6. 素焼き、施釉、焼成

13週目終了後、翌週までに教員が電気窯で素焼き（800℃）をし、14週目の授業では釉薬を掛ける施釉の作業を行った。

使用した泥漿が白色度の高い磁器であったため、透明釉をかけると白磁に仕上がるが、受講者は透明釉だけでなく、自分の作品のイメージに合わせて思い通りの釉薬を施した。

これを翌週までに教員が電気窯で本焼成（1230℃）を行い、作品が完成した（図21）。（3.3から3.6原山）

3.7. プレゼンテーション、講評

これまでの制作過程を振り返るとともに、完成した作品の相互評価を行わせた。講評では、デジタルファブリケーションを取り入れた先駆的な取り組みが海外を中心に学校現場で普及していること、異分野間の連携や学際的な取り組みがSTEAM教育として注目されていることなどを紹介した。（世良）

3.8. 作品の展示

15週目の授業では制作の振り返りを行い、完成した作品にドライフラワーを生けるなどして、実習室での展示を行わせた。また、この作品を多くの人に紹介するため、2022年2月10日から28日の間、本学図書館内のライぶらりギャラリーで展示を行なった（図22）。（原山）

4. 評価・考察

4.1. 受講者アンケートの結果と考察

本実践の成果と課題を明らかにするため、受講生を対象とするアンケート調査を実施した。質問項目として、「講義全体に関わる内容」5項目（①総合的に、講義を受けて良かったか、②講義を積極的に受講できたか、③講義の難易度は適切か、④講義で新しい知識や手法、技能などを修得できたか、⑤教科指導や教材開発に活かせるか）、「3Dの技術（3D-CAD・3Dプリンター）に関わる内容」3項目（⑥3Dに関する技術の説明や操作を自分なりに理解できたか、⑦3Dの技術に対する考えが変わったか、⑧3Dの技術を今後使いたいと思うか）を設定し、5：「そう思う」～1：「そう思わない」の5件法で回答を求めた。また、⑨自身の取り組みを振り返っ

て改善したいこと、⑩専門分野の異なる教員のコラボレーションに対する感想、⑪3Dの技術に対する考えが変わったこと、⑫3Dに関する技術を使って今後実施したいこと、⑬デジファブ機器をものづくりで活用することに対する感想を設定し、自由記述にて回答を求めた。アンケートは全講義終了後、Microsoft Formsを用いて実施し、有効回答者数は10名であった。

項目①～⑧の集計結果を表3に、項目⑨～⑫で得られた回答の中で、代表的なものを表4に示す。

表3より、いずれの項目の平均値も4.0以上であり、本講義に対する受講者の反応が総じて肯定的であることが示唆された。特に、①の本講義の満足度について、受講者全員が「5：そう思う」と回答していたことは特筆すべき事項である。一方、教科指導や教材開発に関する項目、3Dの技術に対する意識の変容については相対的

表3 受講者アンケート結果1

	平均	S.D.
①総合的に、講義を受けて良かったか	5.00	0.00
②講義を積極的に受講できたか	4.64	0.64
③講義の難易度は適切か	4.45	0.66
④講義で新しい知識や技能などを修得できたか	4.91	0.29
⑤教科指導や教材開発に活かせるか	4.18	0.72
⑥3Dの技術の説明や操作を自分なりに理解できたか	4.45	0.66
⑦3Dの技術に対する考えが変わったか	4.18	0.39
⑧3Dの技術を今後使いたいと思うか	4.45	0.66

に低かった。特に前者については、15週目講義にて学校現場におけるデジタルファブリケーションの活用事例等を取り扱っているものの、学校教育の目線に立った講義や活動が十分でなかったことが理由として考えられる。これに対して、教科教育を専門とする教員と連携し、それら講義や活動を今以上に取り入れるといった改善案が案出されるが、本講義のテーマやスケジュールを考慮すると、それら内容を無理に取り入れることは困難である。今後は、教科専門と教科教育のそれぞれの講義や実習を意図的に関連づけたカリキュラムの構想や試行が現実的ではないかと考えられる。

表4より、各受講者より多種多様な意見を得ることができた。⑨の改善点では、もっと凝ったデザインに挑戦したい、型から抜けやすい形状に工夫したいといった意見が複数挙げられた。そのため、構想・製作の前段階において、より詳細に製作の見通しを持たせるなどの工夫を検討する必要があるだろう。例えば、ガイダンスにおいて実演だけでなく、鑄込みや脱型の体験を取り入れることや、過去の受講生の製作した多様な作品と感想をサンプルとして提示することなどが考えられる。

⑩の専門分野の異なる教員のコラボレーションについては、多くの肯定的な反応が挙げられた。これは、自身が担当する講義とそれ以外の講義のどちらとも筆者が参加し、適宜意見交流を取り入れながら講義を展開していたことが理由として考えられる。実際に、双方の物事の見方・考え方の違いに端を発して、学生とともに意

表4 受講者アンケート結果2

⑨自身の取り組みを振り返って改善したいこと	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今回の作品の改善ということでしたら、ありません。作業の全貌が分かった上で違うデザインに挑戦したいとは思いません。 ・ ○○さんのような手で作るのが不可能な作品を作りたいです。 ・ 大きいサイズは変えず、角度を少し変えて型から抜きやすしたり、石膏を流す量を少なくして型を軽くする改善を行う ・ かなりシンプルな造形に落ち着いてしまいました。アプリならではのアドリブ的な操作をもっと凝らして作品に映したかったなと感じています。
⑩専門分野の異なる教員のコラボレーションに対する感想	<ul style="list-style-type: none"> ・ 他の専門の先生に教わることができて、普段なら興味がなくてきつと自分一人では出会うことなかった分野に興味を持てたり、専門性のある2人の先生の会話がとても興味深かったです。 ・ こういったクリエイティブな講義をもっと受けたかったなと感じています。技術と工芸、建築、デザインなどさまざまな活用方法があると思い、ワクワクしました。 ・ 自分の専門分野にのみ特化しがちなので、別の専門分野に触れるとその分だけ手数も考え方も増えるので良いことだと思いました。
⑪3Dの技術に対する考えが変わったこと	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細かい作業が苦手な型を上手く作れない人や自分のアイデアを上手く出力できない人でも使いやすいなと考えました。 ・ 3DCADについても完成品だけでなく、頭の中のものを具体化するという実験段階でも利用できそうだなと思いました ・ もともと機械が苦手ということもあり、3D技術は高度なものだという認識でした。しかし、順を踏んで操作を学んでいけば私もそれなりに納得できる造形を生み出せるのだなど、意識的な話で以前よりも手を出しやすくなりました。
⑫デジファブ機器をものづくりで活用することに対する感想	<ul style="list-style-type: none"> ・ 手先の器用さにはやはり差があるので、自分のアイデアを表現しづらい人でも、3Dデータを作ればその通りにプリントアウト出来るのが良いなと思いました。 ・ 単純にアイデアの幅、可能性が広がって良いですね。考え甲斐があってもおもしろそうです。手仕事とデジタルの相乗効果が生まれると思いました。 ・ 色塗りやサイズも3DCADの時点で想定することができるので、デジタルならではの利便性を活用することで、よりリアルに作品について発想構想することが可能になっているとおもいます。

見交換をすることが度々あった。

⑪, ⑫の3Dの技術(3D-CAD, 3Dプリンター), デジタルファブリケーションについては, ものづくりの幅が広がること, 以前よりも手を出しやすくなったというコメントのように, 遠い存在だった技術を自分事として感じるようになったことなどが挙げられていた。例えば, 立体的な絵画の下地に3Dプリンターの活用を考えている受講生や私生活におけるDIY(木工)の構想・設計のために3D-CADを継続利用している受講生など, 本実践終了後もデジタルファブリケーションに対して積極的な様子が見受けられている。(世良)

4.2. まとめ

本研究では, 本学での2021年度後期授業である工芸IVにおける, 3Dプリンターを導入した陶芸授業の開発と, その成果について研究を行った。

まず, 3Dプリンターを導入した陶芸授業の開発についての振り返りであるが, 授業スケジュールの面では概ね, 計画通りに授業を進行することができた。手間取る事が想定された, 型取りや鑄込み作業の授業回数を確保するために, 前半の3D-DADの工程は, 取り扱いからデータ作成までの工程を計3回という少ない授業回数で行う事となったが, 教員からYoutube動画や, 使用ソフトであるFusion360のコミュニティの利用方法を紹介するなど, 自主的な技術の習得を促した事も効率的な授業進行に役立った。

また課題の内容について, 懸念された作業時間の過密さについては問題が無かったと感じた。多くの作業を要する型取りと鑄込み作業では, 原型のサイズと型の分割方法の複雑さが作業時間に大きく影響するが, 「幅, 奥行き, 高さがそれぞれ120mm以内」「2つ割で型取りできる形状であること」という課題設定は適切であったと感じる。またアイテムを「花器」とした事で, 展示の際に生ける花を工夫するなど, 作品を完成した後の展示方法の展開など, 可能性の広がりを感じた。

次に成果について述べたい。一つ目の成果として, 受講者が自分で作った課題作品に対する満足度の向上が挙げられる。昨年度まで行っていた手作業で原型を作る課題で作った作品と比べ, 今年度の3Dプリンターを用いた課題で作った作品の方が完成度の高さが見られた。

学生の反応についても, 昨年度以前に行った工芸IV授業の満足度調査を行っていないので正確な満足度の比較はできず, あくまでも教員の感覚的な比較になるが, 作品に対する満足度の高さが感じてとられた。

もう一つの成果として, 受講者が3Dプリンターを陶芸の工程に取り入れる事に興味を持って取り組んだ点を挙げる。これは4.1で述べた受講者アンケートの結果にも表れている。1.3.1で山下が述べた様に, 陶芸を専門的に学ぶ意匠研究所の研究生は, ロクロなどの手仕事の技術を身につける事に興味が強いため, 3Dプリンターに関する技術を学ぶ事は, 興味の対象外となる傾向も見られる。しかし本学学生のように美術に携わる教員を目指す学生は, 様々な美術の技法を学ぶ一環として陶芸の授業を履修しており, 陶芸の工程に3Dプリンターを用いる事に抵抗なく, むしろ興味を強く持って受け入れられた様であった。

最後に3つ目の成果として, 教科が異なる教員のコラボレーションによって, 本授業が実現した事を挙げたい。今回の授業内容は, 本来の授業担当者である筆者の知見だけでは指導しきれない範囲の内容であったが, 技術教育講座教員との協働によって, 「デジタルの創作からアナログのものづくりまで」の幅広い範囲を包括した授業を行う事ができた。これが受講者にとっても良い効果をもたらした事は, 4.1で述べた受講者アンケートの結果にも表れている。また, この授業は指導者側にとっても良い効果があった。授業の計画, 実施を通じて, 双方の教員にとっての学びがあり, 技術や知識, そして授業の手法についても新たな発見があった。(原山)

謝辞

本研究にご協力いただいた工芸IV受講生の皆さん, 研究への協力依頼にご快諾いただいた多治見市陶磁器意匠研究所, 論文を参考にさせていただいた金沢美術工芸大学池田晶一教授にお礼を申し上げます。

引用文献

- (1) 池田晶一, 安島論 (2020), 「工芸教育におけるICT技術の活用の可能性—工芸的思考とデザイン的思考のコラボレーション—」, 金沢美術工芸大学紀要 No.64. pp.29-37
- (2) 同, p3