

研究テーマ 「3D 設計と造形の研究」

長野県岡谷工業高等学校

電気科 3年 市村天晴、黒田陽人、永井柚雅、三浦颯太

指導者 電気科 小井土 政範

1. 研究目的・概要

近年、製造業や設計業務の現場では、3D CAD による設計と 3D プリンタを用いた試作が急速に普及しており、アイデアを短時間で形にし、検証する技術は、産業分野において欠かせない要素となっている。本校電気科においても、ものづくりへの学習機会を広げるため、昨年度末に FFF 方式の 3D プリンタが新たに導入された。これにより、授業や課題研究で作成した三次元データを実際の立体物として出力できる環境が整い、自らの発想を具体化しやすくなった。

しかしながら、機材が導入された直後であったため、3D プリンタの扱いに習熟した先生や生徒が限られており、各種 3D CAD ソフトウェアの操作方法や、造形データをプリンタ用に変換するスライサーソフトの設定方法が体系的に整理されていないという課題があった。特に、造形における適切な出力条件（ノズル温度、ベッド温度、積層ピッチ、造形速度など）や、反り・糸引きといった出力トラブルの対処法については、十分な知見が蓄積されておらず、3D プリンタを利用するための敷居が高いと感じている。このような状態では、ものづくりへの自由な発想とその検証による PDCA サイクルを回すことができず、学習の機会・効率の低下が懸念される。また、出力条件が曖昧であるため造形失敗による材料ロス・造形時間の長期化などの問題もある。

そこで本研究では、課題研究の取り組みとして 3D プリンタを活用し、さまざまな種類の造形物を出力することで、操作手順や設定値の検証を体系的に行うことを主な目的とした。具体的には、CAD データの設計過程からスライサー設定、造形の実施、出力物の評価という一連の流れを繰り返し、精度向上のために必要な工夫やトラブルを防ぐためのコツを整理する。また、こうした実験と検証を通して得られた知識やノウハウを後輩が容易に理解し活用できるよう、3D プリンタ操作の手順書および活用マニュアルを作成し、電気科内で継続的に使える資料としてまとめることを目指す。

本研究を通じて、3D プリンタの活用技術を確立するとともに、電気科におけるものづくり活動の質向上と、後輩が安心して機材を扱える環境づくりに貢献したいと考える。

2. 使用機器の説明

本研究では、3D 造形の精度検証および後輩向けマニュアル作成を行うにあたり、Bambu Lab 社製の高性能 3D プリンタ「X1-Carbon」を中心に使用した。X1-Carbon は FFF (Fused Filament Fabrication) 方式のプリンタであり、最大 256×256×256mm の造形範囲を備えている。高速かつ高精度な造形を可能にするコア XY 構造、振動補正機能 (Active Vibration Compensation)、AI による造形監視機能など、多数の先進機能を搭載している点が特徴である。これらの機能により、失敗の少ない安定した造形を行えるため、研究における設定比較や反復造形に適していた。

また、本機には AMS (Automatic Material System) が付属しており、最大 4 本のフィラメントを同時に搭載できる。AMS は材料の自動切り替え、湿度管理、材料判別機能を備えているほか、複数色を用いた多色造形にも対応している。この機能により、色ごとの造形精度の違い、材料変更による造形時間の変化といった要素を検証することが可能となり、より応用的な研究を実施することができた。

設計作業には、オートデスク社の 3D CAD ソフトウェア「Fusion 360」を使用した。本研究では、Bambu Lab が公開するプラットフォーム「MakerWorld」から基本となる CAD モデルをダウンロードし、その標準モデルを基に検証を行った。MakerWorld のモデルは多くのユーザーにより共有されているため再現性が高く、造形条件の比較を行う際に適している。また、Fusion 360 を用いて、反りが起こりにくい面形状への調整、サポート材が外しやすい構造への変更など、造形のコツを反映した形状修正を加えることで、トラブルの出やすさ（出にくさ）を意図的にコントロールしたモデルを作成した。これにより、失敗事例の収集や改善方法の検証を効率よく行うことができた。

造形データの生成には、X1-Carbon 専用のスライサーソフト「Bambu Studio」を使用した。Bambu Studio では、層高さ、ノズル温度、ベッド温度、造形速度、インフィル密度、サポート材の設定など、多くの造形パラメータを詳細に調整できる。さらに、AMS と連携した多色造形にも対応しており、スライサー上で色分割を行うことが可能である。本研究では、これら各種設定が造形精度や造形時間にどのような変化をもたらすのかを比較するため、複数のモデルを用いて繰り返し検証を行った。

以上の機器およびソフトウェア構成により、設計から造形までの一連の工程を体系的に学習するとともに、効率よく 3D プリンタを扱うための基礎知識を整理することができた。これらは、今後作成する後輩向けマニュアルの基盤となる重要な情報である。



図 1. 導入された Bambu Lab X-1 Carbon

3. 研究方法

本研究では、3D プリンタの操作方法および造形時のコツを体系的に整理することを目的として、複数種類の造形物を対象に実験的な出力と条件検証を行った。対象とする造形物は、サイズ・形状・目的の異なる 4 種類とし、それぞれの造形過程で発生した課題や改善点を記録することで、実用的な知見の収集を図った。また、造形モデルの多くは MakerWorld から取得し、研究目的に合わせて Fusion360 により改良を行った上で出力した。研究方法の概要は以下のとおりである。

これらの造形物を通じて、造形条件の違いが品質に与える影響、反り・糸引き・サポート外しなどのトラブル発生の傾向、多色造形における AMS の挙動、廃材の活用可能性など、多角的な観点から検証を行った。各造形過程で得られたデータや気づきを記録し、これらを後輩向けのマニュアル作成に反映することを目的として研究を進めた。

(1) 巨大ロボットオブジェの造形

学校見学や展示において 3D プリンタの魅力を直感的に理解してもらうことを目的とし、視認性が高くインパクトのある全長 45cm の大型オブジェを選定した。モデルデータを MakerWorld から取得し、大きなパーツを造形する際の反り対策、サポート材の最適化、積層ピッチの選択など、大型出力特有の課題を重点的に検証した。また AMS を併用し、多色造形における切り替え精度や造形時間の変化についても記録した。



図 2. 巨大ロボットオブジェ

(2) LED オブジェの造形 (Bambu Lab LED ランプキット 001 使用)

電気科として電子工作要素を含む作品制作にも取り組むため、LED ランプキットを用いたオリジナルランプオブジェを制作した。基本モデルは MakerWorld から取得し、ランプシェードの厚さ・模様・透過性を調整するため、Fusion360 で複数パターンのモデルを作成した。造形時には、透明感に影響する層高さやインフィル構造の違いを実験し、光の拡散具合の違いを考慮した。また、AMS を用いた 2~4 色の多色造形でデザイン性を高め、色変更による造形時間や品質の変化も併せて検証した。

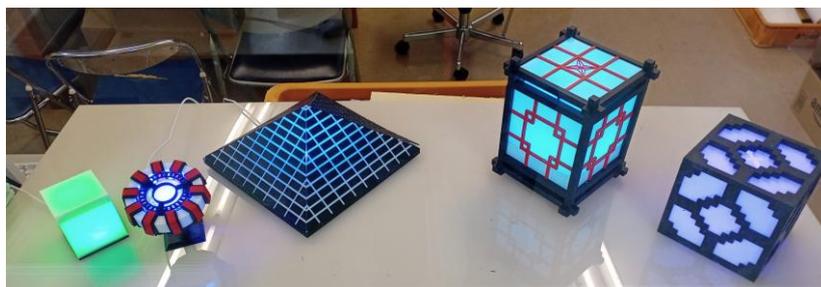


図 3. LED オブジェ

(3) POP を利用した額入りオブジェの製作

造形時に AMS がフィラメント交換を行う際、余剰材料の排出（いわゆる「POP」）が発生する。この POP は通常廃棄されるが、量が多く質感も独特であることから、これを資源として活用できないか検証した。POP を収集し、Fusion360 で設計した箱型フレームを造形して額装するオブジェを製作した。これは、廃材の再利用方法としての新たな活用可能性を探ったものである。



図4．排出されたPOP（左）とPOPを利用した額入りオブジェ（右）

(4) 紐状廃材を利用した手のひらサイズのほうきの制作

X1-Carbon では造形開始時にノズルの状態確認として細い糸状の廃材が排出される。本研究では、この廃材をまとめて利用し、手のひらサイズの「ミニほうき」を制作した。基本モデルはMakerWorldから取得し、Fusion360により固定する溝や差し込み形状を調整した。これも(3)と同様に、廃材の再利用方法としての新たな活用可能性を探ったものである。



図5．ノズル確認後の廃材（左）と廃材を利用した手のひらサイズのほうき（右）

4. 研究方法

本研究では、前章で示した4種類の造形物を対象として、3Dプリンタの造形条件、モデル設計、運用環境について総合的な検証を行った。その結果、Fusion 360 によるモデル作成から Bambu Studio によるスライス設定、さらに AMS を含む装置の運用まで、造形を安定させるための知見を体系的に整理し、マニュアルとして取りまとめることができた。本報告では、マニュアル全体の内容すべてを示すことは紙幅の都合上困難であるため、造形品質に特に大きく影響する3つの観点として、スライサーソフトにおける造形条件の最適化、3Dモデルの設計上の工夫、装置メンテナンスおよび材料管理、の3点に焦点を当て、代表的な造形のコツやトラブル対処法について述べる。

(1) 複数オブジェクトの複数色印刷の効率化

複数のオブジェクトを異なる色で造形する場合、デフォルト設定では各層ごとにフィラメント交換(AMSによるマルチマテリアル切り替え)が発生する。そのため、層ごとの色切り替え時に排出されるプリント・パージ(POP)が大量に発生し、フィラメント消費量が増加するだけでなく、造形時間も長くなるという課題が見られた。

本研究では、Bambu Studio における造形シーケンス設定を「オブジェクト順」に切り替える手法を採用した。この設定により、1つ目のオブジェクトは指定された1色のみで造形が完了し、その後に AMS によるフィラメント交換を行い、続いて2つ目のオブジェクトを別の色で造形することが可能となった。これにより、層ごとの不要な色切り替えを回避でき、POPの排出量を大幅に削減できた。

一方で、この方法を用いる際には、造形物の配置に注意する必要がある。1つ目のオブジェクトの位置が、2つ目のオブジェクトの造形時のノズル移動経路と重なると、衝突や造形不良の原因となるため、ビルドプレート上のオブジェクト配置は事前に調整する必要がある。

以上の取り組みにより、不要なPOPの発生を抑制することでフィラメント消費量を削減できただけでなく、総造形時間の短縮も実現した。この知見は複数色造形の効率化に有効であり、各種造形条件をマニュアル化することで後輩への共有にも有益である。



図6. 手のひらサイズのほうき造形時の比較

左：デフォルト設定 造形時間 3h16m フィラメント消費量 64.94g

右：オブジェクト順 造形時間 1h23m フィラメント消費量 32.89g

この場合、造形時間が57%削減、フィラメント消費量が49%削減された

(2) 造形物のテーブル剥離の解消

大型造形物や角の多い形状では、造形開始直後に端部が剥離しやすくなる現象が生じる。この問題は一般に、加熱ベッドの温度調整、ブリム（造形物の接地面を広げる）の使用、積層ピッチの調整などの造形条件の最適化により解決することが多い。

しかし本研究における造形では、上記のような3Dプリンタの一般的な条件調整では解決できない事例が複数発生した。原因として、造形時の「造形手順（プリントパス）」が影響している可能性があると考えた。

多くの機種では、1層目を造形する際、最初に外壁部分のみを形成する。そのため、複雑な形状の場合、複数の外周線が独立した“小島状”のパーツとして出力されてしまい、それぞれの接着面積が小さくなる結果、剥離が発生しやすくなることが確認された。

そこで対策として、3Dモデルを再設計し、島状の部分同士をノズル直径+ α 程度の細い溝（ブリッジ）で連結させるモデルに修正した。これにより、外壁が連続して形成されるため、1層目の接着安定性が向上し、剥離の発生を大幅に抑えることができた。

この知見は、造形条件だけでなく、造形パターンやモデル設計の工夫が接着性に大きく影響することを示しており、後輩向けマニュアルにおいても重要なポイントとして反映できるものである。

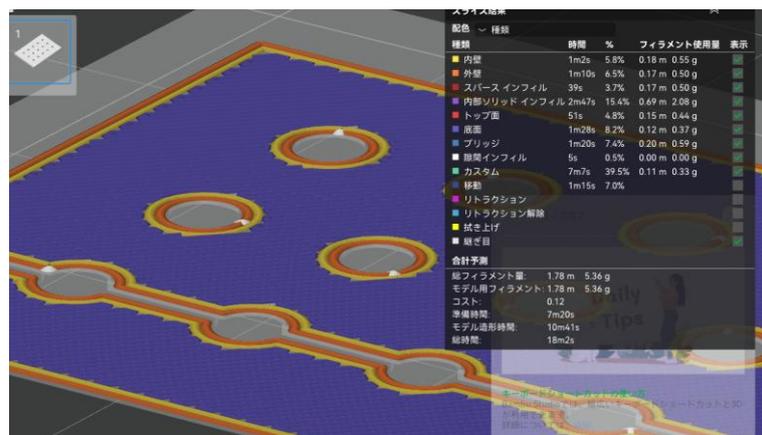


図7. モデル設計の工夫 手前の列の形状のみ溝を作成し、パスがつながっている様子

(3) ノズル詰まりの解消

3Dプリンタにおいて、最も一般的なトラブルの一つがノズル詰まりである。ノズル詰まりは造形の中断や造形物の失敗だけでなく、部品交換や再調整といった余分な作業を引き起こすため、安定した運用においてはその予防が極めて重要となる。本研究では、ノズル詰まりの主要因の一つであるフィラメントの吸湿に着目し、効果的な対策方法を検討した。

本研究で使用したAMS（Automatic Material System）は、密閉環境でフィラメントを管理できる機構を備えている。しかしその乾燥性能をさらに強化するため、AMS内部の空きスペースに乾燥剤を設置するための専用ケースを3Dプリンタで自作し

導入した。これにより、AMS 内部の湿度をより低く維持することができ、長時間の造形においてもフィラメントが吸湿しにくい環境を構築することが可能となった。

また、AMS にセットしていない未使用フィラメントについては、ジップロック袋に乾燥剤と共に密封して保管する方法を採用した。この方法により、保管中の吸湿を抑制し、再度 AMS へ装填した際のノズル詰まりリスクを軽減することができた。

以上の取り組みにより、ノズル詰まりの発生頻度は大幅に減少し、造形の安定性が向上した。特に、フィラメントを乾燥状態で維持する環境を整えることが、ノズルトラブルの防止に非常に効果的であることが実験的に確認された。この結果は、後輩向けマニュアルの「メンテナンス項目」において重要な内容として反映できる。



図 8. AMS 内部に乾燥剤ケース、湿度計を格納した様子

5. おわりに

本研究では、3D プリンタを使った造形に取り組む中で、モデルの作り方やスライサー設定の工夫、そして日ごろのメンテナンスがどれだけ大切かを学ぶことができた。活動を始めたころは失敗が続き、思ったとおりに造形できないことも多かったが、原因を一つずつ調べて改善していくうちに、少しずつ安定して造形できるようになった。小さな工夫でも結果が大きく変わることを知り、3D プリンタの奥深さを実感した。

また、3D プリンタはとても便利な機器ではあるものの、適切に扱わなければトラブルが起きやすいこともよく分かった。今回まとめた内容は、これからこのプリンタを使う後輩たちが、同じ失敗で悩まなくて済むような助けになれば嬉しい。

今後は、もっと複雑な造形や大型のモデル、多色・異素材などの高度な造形にも挑戦し、より効率よく安定した造形方法を探していきたいと考えている。

最後に、本研究を進めるにあたり、技術的なご指導をいただいた小井土先生、そして作業を手伝ってくれたり助言をくれたりした電気部の皆さんに深く感謝申し上げます。