

# 3Dプリンタ出力サービス はじめました

技術課 水谷 文保

みずたに・ふみやす / 1985年3月愛知教育大学卒業後、同4月より生理学研究所技術課に採用。超高压電顕室、神経情報部門、電子計算機室を歴任。1995年4月より分子科学研究所技術課に異動。電子計算機センター配属、現在に至る。



## 1.はじめに

計算科学研究センターでは、2018年度から3Dプリンタ（以下3DPと略す）出力サービスを試験運用してきましたが、2019年度より共同利用事業として再スタートしました。運営は装置開発室にご協力を頂き、募集は「装置開発」の一形態として対応します。

## 2.サービスの概要

複雑な形状の製作が可能な3DPを活用し、以下の3種別サービスを行います。

- a. 模型出力** ご提供頂いた分子構造情報等から、分子模型の3次元データ作成・出力・仕上げまで全て行います
- b. 依頼出力** ご提供頂いた3DDを適切な材料で出力してお引渡しします
- c. 機材利用** 機材をご利用頂き、ご自身で出力して頂きます

3種別のうち、特に本研究所の需要を踏まえ、分子模型製作に注目し「模型出力」を主力サービスに位置づけています。ただし3DDがご提供可能であれば、数値解析結果や実験データを元にした模型出力にも対応します。実験装置等の試作品や部品作成は、CAD等で作成頂いた3DDをそのまま出力する「依頼出力」で対応させていただきます。目的等をヒヤリングして適切な材料を選択し出力したものをお渡しします。「機材利用」は、装置の使い方や材料の特性等説明させていただきます。

## 3.募集体制

所内利用者は、通常の装置開発と同様に材料費のご負担をお願いします。出力に先立って材料決定と出力体積から見積金額を算出し予めご提示させていただきます。

所外利用者は、共同利用の協力研究で対応します。この中で、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業として「装置開発」の募集枠で対応することになりました。採択された申請は、材料費を事業側でご負担頂きますので、課金はありません。

いずれの場合も、事前に出力が可能かどうか検討・判断が必要です。申請に先立って以下のアドレスまでご一報をお願いいたします。ご依頼をお待ちしております。

相談先: 3dp@draco.ims.ac.jp

担当: 水谷、松尾

## 4.ハードウェアと材料

常時稼働可能な状態に整備している3DPは、3種7台あります（図1）。熱溶解積層法（以下FDMと略す Fused Deposition Modeling）の機器が5台、光造形法（以下SLと略す Stereolithography）の機器が1台、粉末固着式積層法（以下BJと略す Binder Jetting）の機器が1台です。

FDM法では、熱可塑性樹脂（フィラメント）を加熱溶解させながら積層させます。FDM法機器のうち、2フィラメントが同時に使用可能な2ノズル機を3台有しています。フィラメントは、ABS, PLA (Poly-Lactic Acid) ,

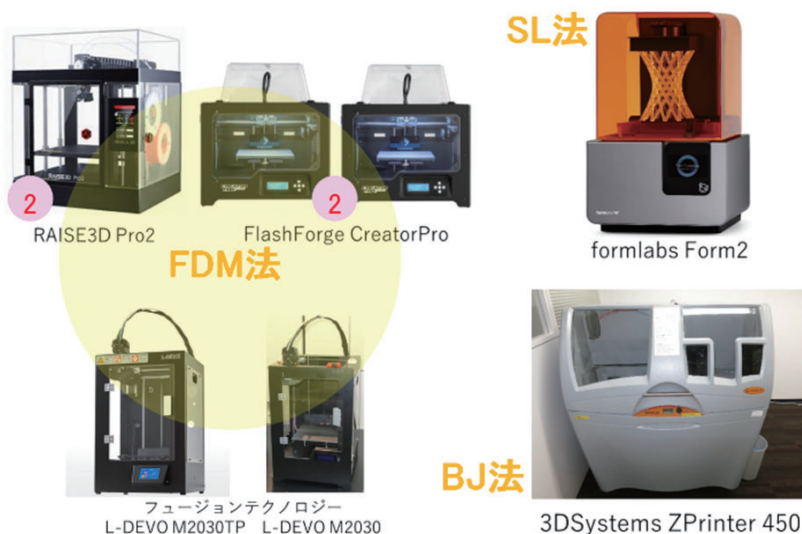


図1 ハードウェア一覧

PVB (Poly-Vinyl Butyral) などの素材以外に、水溶性や蛍光発光性、磁性、電導性などの機能性を有するものや、ゴムライクな柔らかなものなど各種用意しています。PVB出力では、イソプロピルアルコールを噴霧して表面平滑化処理する機器も有しています。

SL法では、液体樹脂（レジン）に紫外光を照射して硬化させながら積層させます。硬化後はアクリルと同じ材質になります。レジンには、透明度、強度、耐熱性に優れたものが各種あります。またゴムライクなレジンもあります。

BJ法では、石膏粉をコア材とし、そこにバインダとカラーインクを同時に吹き付けながら積層させます。唯一フルカラーで着色した構造物が製作できます。

## 5. 出力処理での工夫

「3DP出力」は、PCから完成された装置へ出力するだけの様な印象を持たれがちですが、実際には事前処理・出力処理・事後処理の各ステップで工夫や調整のノウハウが必要です。各機器での出力処理事例を紹介します。

FDM法2ノズル機において、PVB (PolySmooth) に対して異質な水溶性フィラメント(MELFIL)をサポート材に使用する出力条件の確立に相当試行錯誤しました。この組み合わせで出力可能になり、タンパク質リボンモデル製作時間が大幅に短縮しました。MELFILは、1時間浸すだけで溶解するため、同一材料使用時に手作業で1週間必要だったサポート除去作業が一瞬で終了でき、作業負担が大幅に軽減できました。

SL法では、クリアレジンを使用することで、透明度が高い構造物が作成できますが、サポート付与数が多いと

サポート除去後の表面の凹凸が多く、透明度を損なうところが難点です。サポート付与条件の設定には毎回試行錯誤が必要です。

BJ法では、体積が多いと重量が増え、自重で自己崩壊するトラブルが発生します。また重量単価が高い点も頭痛の種でした。そこで、中空化により、重量とコスト削減および出力時間の短縮を実現しました。

## 6. ソフトウェア

市販ソフトウェアは、3DD加工（ポリゴン修正や中空化、カット、穴あけ等）にMaterialise Magicsを、およびスライサ（FDM法プリンタ用のG-Code作成）にSimplify3Dを使用しています。これら以外に、3DD加工は、Windows10に装備された3D Builderや、フリーソフトのMeshLabなどを、またスライサでは、フリーソフトのCureを使用しています。分子模型の作成には、PyMolおよびChimeraを使用しています。

## 7. ソフトウェア開発

事前処理では、3DDの作成時にトラブルが結構発生します。テキスト形式3DDであれば直接編集しますが、専用ツールの開発を行うこともあります。ここで情報系技術が必要となり、当サービスを本センターが対応している理由でもあります。過去の開発事例を2つ紹介します。

スライサが出力するG-Codeを改善して出力時間を短縮させることを目的として、命令順を変更するフィルターを開発しました。具体的には、FDM法2ノズル機で、両ノズルを加熱状態（230℃程度）にしたままだと出力待機側が解けて垂れたり、焦げて詰まったりするトラブルが多発しま

した。これを回避するべく待機側ノズル温度を毎回30℃に下げる設定を加えたところ、ノズル切替時に加熱待機時間が必要となり総出力時間が大幅に長くなってしまいました。そこで加熱開始命令をノズル切替命令より800行前に移動することで加熱待機を回避させ、30%程度の短縮に成功しました。

もう一つは、構造解析用ソフトウェアANSYSが出力する3DD (VRML Ver.1) をVRML Ver.2形式に変換するコンバータ、分子モデル表示ソフト (PyMol, やChimera) が出力する3DD (VRML Ver.2) において、球や円柱形状情報をポリゴンに変換するコンバータを作成しています。多種の3DD加工ソフトウェアに直接データ読み可能な状態に変換することで作業の効率化を実現しています。

## 8. 製作物の紹介

事後処理内容を含めこれまでに製作した4点を紹介します。

### 8-1. FDM法 (PVB + MELFIL)

タンパク質リボンモデルの製作は、MELFIL使用でサポート除去問題が改善しましたが、産毛問題が依然として残っています（図2）。出力直後の写真（左上）をよく見ると、複雑な形状出力ではフィラメント押出/停止を繰り返しながらノズルを移動させるため、細かな突起が産毛状に発生します。このため、産毛の除去を手作業で行います。ここは表面平滑化処理後の仕上がりに影響します。その後、着色したい分子を切断して取り出し、エアブラシで着色後、接着して元に戻しています。

### 8-2. SL法 + FDM法

8-1と同様の方法でGFP (Green Fluorescent Protein) を製作しました（図3写真中央）。発光団の着色では蛍光発光イメージが湧きづらいた

め、周辺をSL法クリアレジンで作成し、発光団はFDM法蛍光発光性フィラメントで作成して接着しました。さらに台座に紫外光LEDを仕込んで実際に蛍光発光させるようにしました(写真右)。

### 8-3. BJ法+FDM法

抗体IgGの表面モデルをBJ法で作成しました(図4)。ヒンジ部を動かしたい、という希望を頂いたため、ヒンジ部はFDM法ゴムライクフィラメントで疑似形状の棒を作成して差し込んであります(写真右下赤丸内)。ヒンジ部以外は、軽量化のために中空化して各2分割で出力し(写真右上)接着しました。BJ法はカラー出力が可能であるものの脆弱なため、出力後は速やかに瞬間接着剤を浸透させて強化しています。

### 8-4. BJ法+磁石埋込

基礎生物学研究所からの依頼で、頂端幹細胞を含む植物茎の先端部分における複数細胞の塊を作成しました(図5)。細胞分裂パターンの理解が目的のため、各細胞を自由に分離できるように細胞間にネオジム磁石を埋め込みました。細胞の3DDをご提供頂けたので、事前処理では、層単位の着色、識別記号付加、中空化、磁石埋込用穴あけ、中空内部の石膏粉取出穴あけを行っています。事後処理では、内部石膏粉の除去、瞬間接着剤強化後に磁石埋込を行っています。ネオジム磁石は強力な磁力を持ち、小型でも十分な吸着強度が得られますが、埋込配置や順序を考えながら作業をしないと、近傍磁石の影響で接着剤付き磁石が勝手に移動してひどい目にあいました。

### 9. さいごに

2018年11月22日に自然科学研究機構「3DP」技術交流会が核融合科学研究所で開催されました。機構内5研究所の技術職員などが集まって、各機関での取り組み状況などの情報交換を行いました。この中で細胞モデルや数値解析結果の出力などのアイデアが出され出力対応しました。



図2 FDM法 (PVB + MELFIL)

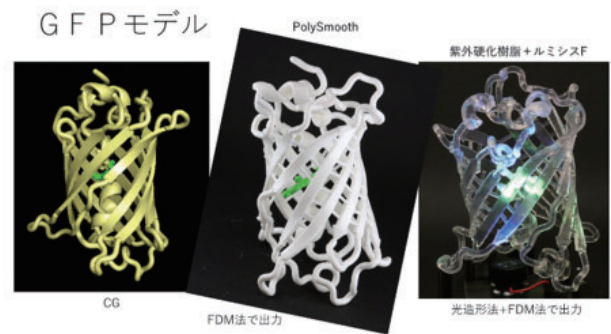


図3 SL法+FDM法

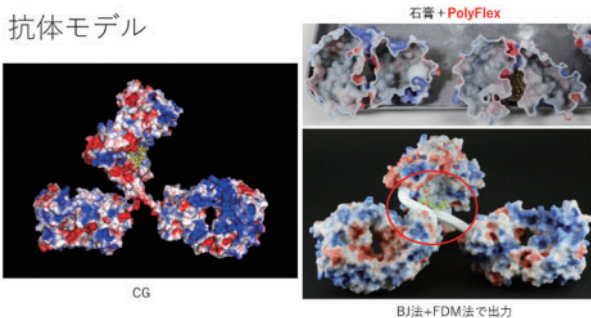


図4 BJ法+FDM法



図5 BJ法+磁石埋込