

3D プリンタの現状と今後の展望 — 体感できる分子モデルの教材作り —

吉村 忠与志*

福井工業高等専門学校名誉教授 (〒916-8507 鯖江市下司町)

*tadayosi@fukui-nct.ac.jp

Present status and prospects of the 3D printer Making educational materials of a molecular model that we can touch

Tadayosi YOSHIMURA

Fukui National College of Technology (Geshi, Sabae, Fukui 916-8507, Japan)

(Received June 16, 2014; Accepted July 10, 2014)

The 3D printer was invented in 1980, 34 years ago. Today, there are signs of its spreading for personal use. I will describe the history of the technological innovation of the 3D printer and survey the future. I will discuss the various techniques of 3D printing, including the fused deposition modeling method, the stereo lithography method, the projection method, the selective laser sintering method, the ink-jet method, the ink-jet powder laminating method, and I will also describe the manufacturing process. The activity of the RepRap Community has become the driving force in the spread of low-priced personal 3D printers.

I will describe the present status of molecular modeling using a 3D printer. Teruo Nagao's achievements in the field of 3D molecular-model making were splendid. I will report on the making of educational materials of molecular models that can be touched.

Key words: 3D printer, Making educational materials, 3D molecular model, RepRap community

1. はじめに

廉価な 3D プリンタが普及する中で、作業工程を分業してきたものづくりの発想が急転している。特に、ものづくり教育を担当する学校現場への導入は教員の資質にもよるが、3D プリンタはほとんど導入されていない。パーソナルユースでは、モバイル電話としてスマホが普及定着したように 3D プリンタも普及の兆しがある。インターネッ

トで設計図(ウェブ 3D データ)さえダウンロードでき、危険な拳銃を個人で作ってしまう事件が起きた。3D プリンタの仕様と使用方法を教育する一方、ものづくりの倫理、社会的には作ってはいけないものづくりに関する教育が必要である。これは工学教育における技術者倫理であり、人間の欲望・欲求を満たすためのものづくりであってはならない。

本論文では、3D プリンタの技術革新史を紐どくとともにそれを用いて何が作れるのか、化学教育では 3D 分子モデルを作ることによって、目に見えない分子を可視化し触って体感する教材作りを提案する。さらに、ものづくり教育に必要な技術者倫理についても触れる。

2. 3D プリンタの発明から現状まで

3D プリンタは日本人、小玉秀男により発明されたものである。小玉は、新聞の版下を液体の光硬化性樹脂で作成されているのを見て、マスクを変えながら紫外線を露光する工程を繰り返すことによって光造形立体模型を作ることができること閃き、3D-CAD で設計したものをそのまま仕上げるができること確信し、実験をせずに特許を 1980 年 4 月 12 日に申請したのが発明の証「立体図形作成装置、特許昭 55-48210」[1]である。当時小玉は、名古屋市工業研究所の企画担当だったので実験確認をすることなく特許を申請したが、学生時代にヒマラヤ研究のため遠征したときの思い出の「エベレスト山脈」を手作りの立体図形作成装置で図 1 のように作成し、その成果を電気通信学会論文誌に 1980 年 10 月 7 日付けで報告した[2]。



図 1 世界初の光造形による立体地図[2]

3D プリンタの発明という画期的な論文発表であったが、企業での実用化には至らなかった。その後、3M 社のハーバート(Alan J. Herbert)が小玉と同様な内容で 1982 年に論文発表した[3]。ハーバートも小玉とほぼ同時期に光造形の研究をしていたが、これも実用化には至らなかった。

光造形のアイデアを温めていたハル(Charles W. Hull)は、その事業化に取り組み、試行錯誤で光造形実証機を作成し、1984 年 8 月 8 日に米国特許を申請し、日本

でも特許「3 次元の物体を作成する方法と装置」で申請した[4]。そして、1986 年に 3D Systems 社を設立し商業活動を開始したことにより、本格的な 3D プリンタ時代が始まった。

1987 年に 3D Systems 社は世界初の 3D プリンタ実用機 SLA-1 を製品化した。価格は億単位のマシンから始まったが、1988 年にストラタシス社が熱溶解積層法(FDM, fused deposition modeling)の特許を取得した後、2009 年にその方法の特許失効とともに格安 3D プリンタ時代が到来した。

3D プリンタの開発・普及を目的とした RepRap (Replicating Rapid Prototypers) Community プロジェクト[5]がこの失効をにらんで 2006 年に設立し、廉価版 3D プリンタに関してオープンソースコミュニティで開発・普及に貢献している。オープンソースなので、3D プリンタのノウハウを世界中どこからでも共有し開発・利用でき、RepRap 仕様 3D プリンタが市場に出回っている。10 万円台の 3D プリンタが市販されるようになると、個人ベースでのものづくりが自作できるようになり、パーソナル 3D プリンタの普及がすぐそこまで来ている。パーソナル 3D プリンタでは FDM 法が主流である。

3D プリンタの普及に拍車をかけたのが 2013 年 2 月のオバマ大統領の「一般教書演説」で“3D プリンタを活用してアメリカに製造業を呼び戻す”と言及して 6000 万ドルの補助金を予算化したことが起爆剤となっている。日本でも安倍首相が 3D プリンタでのものづくりに予算を設定し普及を促進しており、2013 年は 3D プリンタ元年となった。

小玉秀男とハルは 1995 年に英国ランク財団より光造形の発明に関する業績でランク賞を受賞した。現時点で 3D Systems 社は 3D プリンタの世界最大のメーカーである。

光造形法は光硬化性樹脂を紫外線で硬化させて積層するので、付着積層造形加工(additive fabrication)と呼ばれたが、2009 年の国際標準化会議(ASTM International)で Additive Manufacturing(付加製造)と称することになった。付加製造技術の種類は、熱溶解積層方式、光造形方式、プロジェクション方式、粉末焼結方式、インクジェット方式、インクジェット粉末積層方式に分類される。

熱溶解積層(FDM)方式は、熱で溶ける樹脂(熱可塑性樹脂)を 1 層ずつ積み上げていくもので、廉価版 3D プリンタ

の主流である。熱可塑性樹脂を溶解ヘッドから出力し幾層にも積み重ねて立体物を造形する。構造によって立体造形物を支えるためのサポートが必要となる。主な樹脂には ABS や PLA など用いられる。

光造形(STL, stereo lithography)方式は、小玉が発明したもので、3D Systems 社が実用化した。紫外線を照射すると硬化する液体樹脂を用いる。光硬化樹脂の液体を満たしたプール槽に紫外線レーザーを照射し樹脂を硬化造形し1層の造形ステージを作り1層分ずつステージを下げて幾層も積み上げて立体物を造形する。紫外線の照射を受けなかった樹脂は液体のままなので、液体内に硬化した立体造形物が出来上がる。立体造形物を支えるサポートは必要なく、作成後はサポート材の除去作業は要らない。日本のものづくり製造業で最も普及している。主な樹脂はエポキシ系とアクリル系が用いられる。

プロジェクション(projection)方式は、光造形方式の一種で、プロジェクタの光を照射し樹脂を硬化させて積層するもので、光は下から照射するので逆さまに立体造形物が作られる。ステージの下に造形されるので、造形台を上引き上げぶら下がりの造形物ができる。造形ステージ全体にプロジェクタの光が照射されるので、樹脂との間に光を遮断するマスクがあり造形部分以外は光が当たらないようになっている。きめの細かな造形物を作ることができる。主な素材は先と同様、光硬化樹脂が用いられる。

粉末焼結(SLS, selective laser sintering)方式は、光造形方式と似たもので、ステージ上にある粉末状の材料にレーザーを照射し造形を焼結させて、粉末が硬化したらステージを下げる。高出力のレーザー光線を当てて焼結する材料はナイロンなどの樹脂系や銅、青銅、チタン、ニッケルなどの金属系、セラミック系のものが用いられる。ゆえに、耐久性のある造形物を作ることができる。硬化後に粉末を吹き飛ばすことができるのでサポートは必要がない。

インクジェット(ink-jet)方式は、紫外線硬化樹脂の液体をノズルから噴射し紫外線を照らして硬化させ1層ごとに積層させるものである。紙に印刷するインクジェットプリンタの原理と同じである。インクジェットプリンタのように液状の樹脂を噴き付け紫外線の照射で硬化して、それを幾層にも積層するものである。滑らかな表面で仕上がるの

で高精度の造形物を作ることができ、サポート材も必要となる。主な素材は、アクリル系、ABS系、ラバー系、ポリプロピレン系の樹脂が用いられる。

インクジェット粉末積層方式は、粉末にインクジェットのノズルから樹脂(バインダ)を噴射して接着し固化するものであり、粉末固着式積層法ともいう。粉末にはデンプンや石膏などを用い、フルカラーで立体造形物を作ることができる。まず、1層分の粉末をローラーで敷き詰めて、インクジェットのノズルより接着剤の樹脂を噴き付ける。1層分が固化したらステージを下げて3Dのスライスデータに従って造形しステージを下げていく。造形物の強度は弱い、きめの細かなものができる、サポートは要らない。主な素材は、石膏ベース、プラスチックベース、デンプンベース、セラミックベースの粉末が用いられる。

3. 3D データのしくみと形式

3D プリンタ用の立体図形加工には、STL(stereo lithography, 日本では standard triangulated language)形式のデータを準備する必要がある。3D プリンタ用データで STL フォーマットが標準となったのはプリンタの先駆企業 3D Systems 社が開発し普及させたことにある。1層分の平面図形を xy 平面上に2次元に加工し、z 軸方向に順々に積み重ねていき3D造形物を作成する。

立体図形といえば、CAD(computer-aided design, コンピュータ支援設計)を使って3次元物体像を描画するか、3D スキャナを使って物体像の3Dデータを加工するかして、STLデータを作成する。このデータは3Dプリンタの実体模型の造形(rapid prototyping)には必要不可欠なデータ処理である。

STL形式は三角形の面(facet)から構成される多面体(ポリゴン, polygon)で近似した3D物体像の形状を表現できるように設計されている。3つの頂点の座標(x, y, z)と法線ベクトル(垂直方向の成分値)により定義される三角形ポリゴンからなるファセットの集合体で立体物を表現したファイル形式である。STLデータ形式にはASCII形式とバイナリ形式の2通りがある。

CADで取扱われるデータ形式はCADソフトウェアによっていろいろで固有な標準化形式が用意されているが、3D

プリンタには STL 形式データに変換する必要がある。3D 物体像のモデリングには CAD が用いられるが、性能によって高価なものから安価で無償のフリーウェアまで提供されている。無償といえどもかなりの精度で 3D モデリングができ、有用である。表 1 に無償で STL ファイルを創出する 3D-CAD の主なものをリストアップする。

表 1 無償の 3D-CAD ソフトウェア

ソフト名	開発元	標準保存形式 (拡張子)
123D Design	Autodesk 社	.123dx, .dwg
SketchUp Make	Trimble 社	.3ds, .skp
DesignSpark Mechanical	DesignSpark 社	.rsdoc
OpenSCAD	OpenSCAD 社	.scad
DraftSight	DS-CAD 社	.dwg

3D-CAD の主なファイルフォーマットは、DXF(.dxf), DWG(.dwg), IGES(.iges), VRML(.wrl), STL(.stl)などがある。DXF(drawing exchange format)は CAD で作成した図面の情報交換できる標準フォーマットと位置づけられており、ポリゴン形状データの汎用フォーマットである。DWG(drawing)は Autodesk 社の AutoCAD の標準フォーマットである。IGES(initial graphics exchange specification)は ANSI が策定した自動車産業における標準フォーマットである。VRML(virtual reality modeling language)は Web 上での使用を前提とした ASCII フォーマットであり、分子モデリングに良く用いられている。STL(standard triangulated language)は 3次元形状の三角形ポリゴン(facet)の集合を現す 3D-CAD 用フォーマットである。

3D プリンタは、付着積層造形加工するための工作機械であり、G-code で駆動がコントロールされている。工作機械を作動させる動作指示が書かれたものが G-code である。CAD データの 3D 形状 STL ファイルを 3D プリンタ用に G-code に変換する必要がある。

STL 形式から G-code に変換する過程では、まず、3D

形状データを水平にスライスするソフトで 3D-CAD モデルを薄切りにして積層形式に変換する。ポリゴンの STL データをスライスデータ(G-code)に変換するのにスライサソフトが必要であり、主なスライサソフトに、Slic3r, KISSlicer, Skeinforge, 3D Slicer などがある。

薄切りした 1 枚ごとの層を 3D プリンタのノズルから樹脂を熱溶解し吐き出して積層するように G-code 変換する。立体モデルを積層する段階でサポート材や土台が必要であればそれを自動的に付加する G-code を作成する。プリンタのノズルを xyz 軸で動かすモータと熱溶解するヒータ温度の設定・管理のための G-code を作成する。3D 物体を積層するために G-code のスクリプトを 1 行ずつコンピュータから USB バスを介してプリンタに送り込み、3D 物体を付加製造する。

3D プリンタでのモデリングの基本的設定は次の 4 点である。

- (1) 積層の厚み
- (2) 模型の外壁の厚み
- (3) 模型の足場と土台となるサポート材
- (4) 模型内部の充填密度

4. RepRap 仕様 3D プリンタ

RepRap(Replicating Rapid prototypers)は、オープンソースハードウェアで造られた 3D プリンタの仕様である。コントロールのソフトもオープンソースのものを利用できる。RepRap プロジェクトは 1 台のプリンタでもう 1 台複製することを推奨しており、有志で構成されたプロジェクトで研究費や開発費がボランティアでかからず必要な部品をネットワーク共有できる。そして、特許切れの融解フィラメントを使用する熱溶解積層法を採用しているので、低価格で市場に出回り、普及の促進に寄与している。RepRap は 3D プリンタを、誰でも時間と資材が与えられれば作成することができる自己複製機械であると位置づけている。

著者は RepRap プロジェクトの趣旨に賛同し、加藤直大 (RepRap Community Japan 代表)が主催する「3D プリンタ組み立てワークショップ」に参加し、自前で作り上げたのが図 2 の atom-1 である。ワークショップに参加すると、

図3のようなキット部品が供給され、組み立てることができる。ユーザが自分で組み立てることによって、3D プリンタのしくみが理解することができることから、動作中に不良状態に陥った時、その原因をすぐに把握でき、修繕することができる能力が身に付く。ユーザがメンテナンスできることは大変重要である。

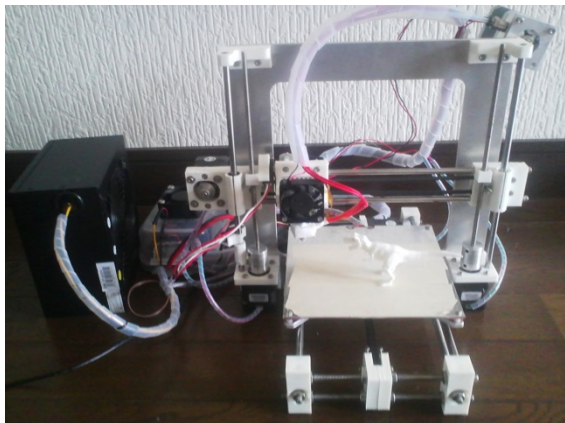


図2 自作の3Dプリンタ atom-1



図3 組み立てキットの部品[5]

5. 3D スキャナでの複製と倫理教育

3D スキャナも3D プリンタの普及とともに低価格なものが出回るようになった。歴史的に著名な立体造形物のデジタル計測に用いられ、位置的情報や寸法・形状から多くの知見が得られている。特に、3DプリンタによるRP(rapid prototyping、ラピッド・プロトタイプング)に必要な3Dデータを取得することができることから注目されている。3D スキャナは短時間の計測で3次元座標データを大量に取得し3D形状を把握できるので、ポリゴンのマッピング(STL形式)に適している。

3D スキャニングの計測法には、光強度による三角測量方式、光速度による飛行時間型(time of flight)方式、光位相差による干渉方式(phase shift)の3つがある。目的に応

じて3つの方式が使い分けられている。

三角測量方式は、スリット状の光を複数パターン照射し、スリット光が物体に写った瞬間をカメラで撮影し、カメラとスリット光源部の距離、撮影した複数枚の画像を解析することによって対象物との距離を算出し、点群データ化して三角測量の原理で3次元座標を取得する。この方式でスキャンすることで、計測対象物の絶対的な大きさや形を知ることができる。これは工業的によく用いられる方式である。

飛行時間型方式は、変調されたレーザーを発射し測定物に反射し帰ってくるまでの到達時間(光の飛行時間)から対象物との距離を算出したり、レーザーの移動方向角度から角度を算出したりしてこの距離・角度情報から3次元位置情報を求める方法である。

位相差(干渉)方式は、数種類のレーザーの波長の位相差(干渉波)のコヒーレント性を利用して対象物の計測距離を算出する方法である。垂直方向に回転するミラーと水平方向に回転する対象物本体の角度情報をエンコーダより獲得し測定ポイントの3次元座標を求める。

これらの方式で得られた3次元座標より造形物のSTLデータを構築すれば3Dプリントができる。3D スキャナを用いると、完成品とほぼ同じものの3Dデータで誰でも複製することができる。すでに創作されたものについては作者や開発者に著作権もしくは商用権がある。ゆえに、何でも複製してよいわけではない。3Dプリンタ用に創作物のSTLファイルをウェブのギャラリーで無償利用公開しているが、営利目的で利用することはできない。

また、ある大学の技術員がウェブで公開されている拳銃の3Dデータをダウンロードして、3Dプリンタで自作して誇示したことで摘発され銃刀法違反で逮捕される事件が起きた。まさに、技術者倫理が欠如した出来事である。教育界では、必要不可欠な倫理教科の徹底が懸念される。3Dプリンタの普及定着を踏まえて、ものづくりに関する倫理教育の実施を義務教育現場から行う必要がある。

6. 分子モデリングの現状

分子モデリングソフトの開発により、モニター画面上で2次元投影の3D分子モデルが表示できて、分子の3次元

構造を理解するのに有用であった。分子は立体的なものであり、3D 分子モデルを作成し触って体感できる教材には、HGS 分子構造模型(丸善)、発泡スチロール分子模型、折り紙の分子模型などの近似 3D モデル表現が報告されていた。そこで、3D プリンタが普及していなかった 2003 年に長尾輝夫(函館高専)は、製造業でものづくりに利用されていた、当時最新の 3D 造形法を用いて、中・低分子や簡略化した物質(分子)の構造を正確に造形し、教育・研究面で有効な教材を提供することを提案した[6]。

分子モデルの表示ソフトは、分子構造の表示機能と分子座標データの保存機能、そして、画像データ(bmp ファイルなど)の保存機能は用意されているものの、CG 系データや造形 CAD データの保存機能は持っていなかった。長尾は分子モデリングソフトによって描画されたものを CG 系のデータ(VRML 形式)を経由して、3D-CAD 系の造形データ(DXF 形式)に変換することによって分子モデルの造形を試みた。

2003 年当時に利用できた 3D 造形法では、切削加工法[7]、光積層造形法[8]、インクジェット式造形法[9]、インクジェット粉末焼結造形法[10]、3 次元レーザーマーキング法[11]を用いて、長尾はいろいろな分子モデルを造形した。

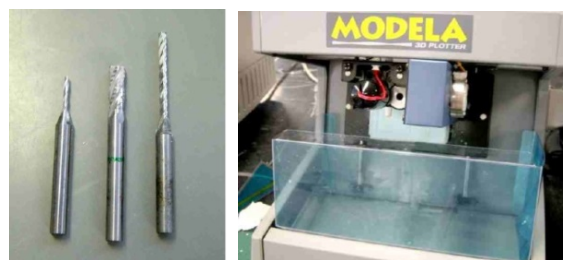
以下に、長尾が用いて作った造形法の装置と分子モデルの一部を文献[6]より引用して記述する。

(1) 切削加工法

切削加工には、ローランド DG 社より発売されている小型で、安価な 3 軸同時制御可能な 3D プロッタ「MODELA」MDX-3 および MDX-20(図 4)を用いた[7]。

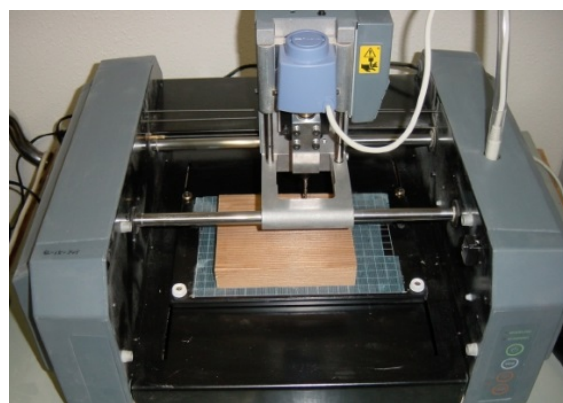
切削加工材料として、発泡スチロール、モデリングワックス、ケミカルウッド、木材、アクリル樹脂などを用いた。また、切削加工した原型を用いて、石膏やシリコンゴムで鋳型を作り複製も試みた。その成果は以下のとおりである。

長尾によると、この方法は回転軸を有する装置のため基本的に、エンドミルの 1 軸(z 軸)方向への切削なので、重なりが多く嵩張った分子の場合造形が難しく、芳香族などの扁平した分子が適していた。図 5 の事例はロストワックス、発泡スチロール、ケミカルウッドなどで造形したものである。



(a) エンドミル

(b) MDX-3

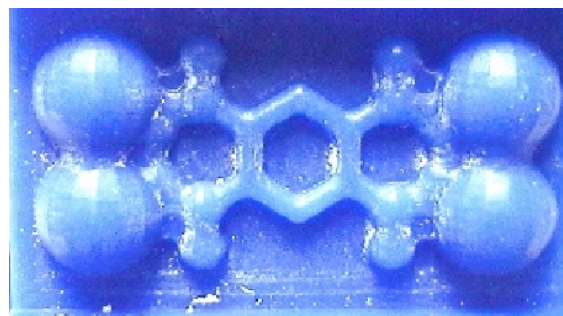


(c) MDX-20

図 4 3D プロッタ(ローランド DG 社, MODELA)[6]



(a) ガドリニウム金属を内包したフラーレンの一部切断



(b) ダイオキシン 2,3,7,8-TCDD



(c) Kekulene (木板)

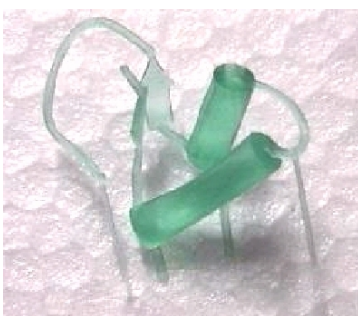


(d) Triphenylene(砂糖)

図5 切削加工法による分子モデルの造形[6]

(2) 光積層造形法

光造形法は、紫外線硬化性樹脂(感光性樹脂)へ分子の対象物の立体形状をスライスした断面の形状に沿って紫外線レーザーをスキャン照射して、樹脂を硬化し積層していくものである。長尾は、ジュエリー工房(有)せかいに製作を依頼し、(株)メイコーの形状モデリングシステム LC-510 を用いて造形した[8]。この装置はジュエリー用途のためあまり大きいものには向いておらず、またサポートを立てる必要がある。図6の克蘭ビン(Crambin)はアミノ酸を46残基有するタンパク質である。



(a) Crambin(Ring & Arrows model)



(b) Benzene

図6 光積層造形法による分子モデルの造形[6]

(3) インクジェット式造形法

分子の対象物の立体形状をスライスした断面の形状に沿って、加熱溶融した熱可塑性樹脂をインクジェットのノズルから連続的に滴下し堆積させて固化する方法であり、これを繰り返し走査し積層させて、3D 立体造形物を作成する[9]。長尾が用いた、インクジェット式3D造形機 Model Maker-II は、積層用樹脂とサポート用ワックスをノズルから噴射し、上面を超硬カッターで削り取り積層していく方法であり、最後にサポートのワックスを除去して完成するものである。これもジュエリー用途のため小さく細かなものに適していた(図7)。



(a) クラウンエーテル (b) コカイン

図7 インクジェット式造形法による造形[6]

(4) 積層造形法(インクジェット粉末焼結造形法)

この方法は、薄く引き伸ばしたデンプンや石膏の粉末(今回は、石膏ベースの粉末)に分子の対象物の立体形状をスライスした断面の形状に沿って、シアン、マゼンタ、イエローの3色とクリアの4色を加えたインクジェットのノズルからバインダを射出して、石膏ベースの粉末を固着する方式であり、これぞ3D カラープリンタといえる。用いた装

置は、高速 3D プリンタ Z402CTM System である[10]。この装置はカラープリントできるのが特長であり、原子毎の区別も明瞭で、分子モデルとしての表現力が優れている(図 8)。



図 8 ダイオキシン(2,3,7,8-TCDD)[6]

(5) 3次元レーザーマーキング法

この方法は他の造形法と異なり、透明な物質(ガラス等)内部にパルスレーザーを集光させて照射し、集光部にマイクロクラックを発生させ、ドットイメージで立体形状を再現する方法である。用いた装置は3D グラスマーキングシステム RSM OSC 10 である[11]。この方法は型取りして複製を作ることはできないが、サポートを立てずに、分離した原子や分子を正確な位置関係を保ったままでガラス内に再現できるのが特徴である(図 9)。



(a) フラーレン C₆₀



(b) DNA

図 9 3次元レーザーマーキング法による造形[6]

長尾の作成した分子モデルは中・低分子のモデリングで

あったが、近年進化したカラー 3D プリンタ技術を応用して、複雑な構造を有するタンパク質の骨格構造が透明なシリコン樹脂で覆われた分子模型(図 10)を川上勝(北陸先端科学技術大学院大学)が開発した[12]。その作成方法はユニークなもので特許[13]も有している。



図 10 川上勝のタンパク質分子模型[12]

川上勝によると、従来のフルカラー 3D プリント技術に、「消失(破壊)型鑄型」というアイデアを加え、タンパク質の「折れたたみ(主鎖構造)の 3D データ」に、分子表面の形を元にした、卵の殻のような「鑄型 3D データ」を融合させ、これをフルカラーで立体印刷した後に、柔らかく透明なシリコン樹脂を鑄型内部に充填し、固化後に鑄型を破壊することで、分子の凸凹構造を正しく表現した柔らかい表面をもち、主鎖の折れたたみの構造が内部に正しい位置で再現されたタンパク質分子模型を作成する技術を考案した[12]。

川上は、分子の会合面に相当する模型の部位に磁石を埋め込んで置くことで、ユーザが模型を組み合わせることで再現できるので、高度なタンパク質の機能発現機構の理解に役立つ教材を作成した。川上が開発したタンパク質の分子モデルは廉価な 3D プリンタで簡単に作れるものではなく、これまでの業者任せのものづくりである。

7. 分子球体モデルの作成

長尾輝夫は 3D プリンタ用データが STL 形式に定まる以

前での教材作りであったので、STL データを必要としなかった。今日の 3D プリンタは STL 形式を必要とするが、分子モデリングソフトが取り扱うデータは MOPAC(.dat), Gaussian(.gjf), PDB(.pdb), mol(.mol), MOLDA(.mld), jpeg(.jpg), Bitmap(.bmp), VRML(.wrl)などの形式でそれぞれのソフトで互換性を持って扱えるように設計されているが、今日の定番フォーマットとなったポリゴンの STL 形式には分子モデリングソフトの開発者の段階であり、ほとんど STL へのデータの掃出しを言及していない。ゆえに、分子モデリングソフトで算出される 3D 座標(x, y, z)データを加工でき、必要な STL データを作成してくれる 3D-CAD ソフトが必要である。フリーソフトで有用な Chimera があるので後述する。

そこで使用した CAD ソフトは、描画コマンドを公開している OpenSCAD[14]を利用し、その成果を報告した[15]。これは、フリーソフトウェアで、Linux / UNIX、Microsoft Windows と Mac OS X で利用可能である。OpenSCAD 言語の優れているところは、三次元データをスクリプト(コマンド)でキーボード入力できることに加えて、STL データを加工してくれることが特長である。

```
//ethane
translate ([ -0.7100,0.0005,0.2865]*10) sphere (r=10.4); //C
translate ([0.7098,-0.0005,-0.2872]*10) sphere(r=10.4); //C
translate ([ -1.0804,-1.0400,0.4347]*10) sphere(r=5); //H
translate ([-0.7413,0.5197,1.2720]*10) sphere(r=5); //H
translate ([-1.4167,0.5220,-0.3995]*10) sphere(r=5); //H
translate ([1.0796,1.0400,-0.4365]*10) sphere(r=5); //H
translate ([0.7413,-0.5208,-1.2721]*10) sphere(r=5); //H
translate ([1.4166,-0.5209,0.3994]*10) sphere(r=5); //H
```

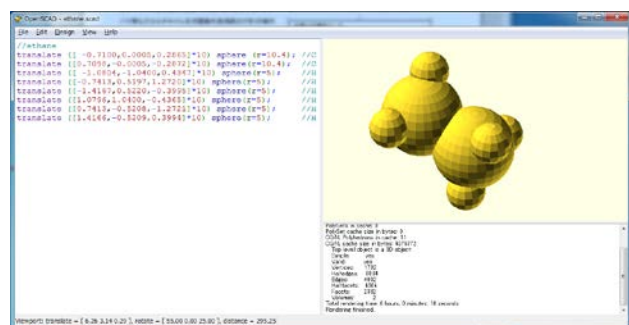


図 13 OpenSCAD でのスクリプトと描画[15]

三次元の空間ロケーションのスクリプトは translate([x, y, z])を使用し、原子の球体は sphere(r=半径)を使用した。

共有結合半径に起因する r 値は、水素を 5.0、炭素を 10.4、酸素を 9.86、塩素 13.37 とした[15]。図 13 に OpenSCAD でのスクリプトと描画を示す[15]。分子モデリングソフト Winmostar は STL ファイルを掃出ししないので、それで描画した分子モデルの 3D 座標データ(x, y, z)を用いてスクリプトを記述した。図 14 は 3D プリンタ atom-1 で作成した α -D-グルコースと β -D-グルコースの分子球体モデルである。



図 14 α -D-グルコース(左)と β -D-グルコース(右)の分子球体モデル[15]

Chimera(UCSF)は、密度マップ、超分子集合体、配列アライメント、ドッキング結果、軌道、およびコンフォメーションのアンサンブルを含む分子構造と関連データのインタラクティブな可視化および分析のための拡張性の高いプログラムであるが、それ自体 STL ファイルを創出する機能はなく、そのための変換ソフトをアドインしなければならない。大阪大学蛋白質研究所[16]では、それを活用しているようであるが、著者ではタンパク質のような大きな分子を想定していないので、Chimera による分子モデリングは行っていない。

8. 今後の展望

RepRap Community の活動で、低価格の 3D プリンタが普及しパーソナル機器として定着する兆しがある中で、日本教育界でのものづくり教育のツールとして位置づけられるように一矢を投じたい。コンピュータの定着で文書作成をワープロ処理するのが当たり前になったように、も

のづくりの発想において個人のアイデアをその場でプロトタイプに造形するためのツールとして着地するものと想定する。パーソナルユースとなれば、ユーザが操作上のトラブルは解消することができなければならない、依頼して作ってもらうのではなく自力で RP (ラビッド・プロトタイピング) を行うために、3D プリント作業における操作・メンテナンスを身に付ける必要がある。

あらゆる作業においてパソコンの利活用が定着した今、新たな周辺機器として 3D プリンタが普及し、ものづくり思想を支えるようになることを期待している。

引用文献

- 1) 小玉秀男、特許出願(昭 55-48210)「立体図形作成装置」
- 2) 小玉秀男、“3次元情報の表示法としての立体形状自動作成法”、*電子通信学会論文誌*, vol.64-C, No.4(Section J), pp.237-241(1981)
- 3) A. J. Herbert, *J. Applied Photographic Engineering*, vol.8, No.4, pp.185-188(1982)
- 4) C.W. Hull, 特許出願(昭 60-173347)「三次元の物体を作成する方法と装置」
- 5) RepRap Community;
<https://www.facebook.com/RepRapCommunityJapan>
- 6) 長尾輝夫、*化学教育ジャーナル(CEJ)*, “分子構造模型表示の造形について”, v7n1(通巻 12 号), 2003
- 7) Roland DG Corporation(MODELA);
<http://www.rolanddg.co.jp/index.html>
- 8) ジュエリー工房(有)せかい, 榎一男;
sekai@rose.ocn.ne.jp
- 9) Digital Integrator Company;
<http://www.toyotsu-digital.com/>
- 10) Digital Integrator Company(Z402C);
http://www.toyotsu-digital.com/z/z_top/z_top.html
- 11) (株)コスモテック; <http://www.cosumotec.co.jp/>
- 12) 川上勝、“「見て」「触って」「感じ取る」新しいタンパク質分子模型”、*現代化学*, 2013 年 11 月号, pp.40-41; JAIST ニュース; <http://www.jaist.ac.jp/news/press/2012/post-330.html>
- 13) 川上勝、特許開示 2010-197419、「タンパク質分子の分子模型及びその作成方法」
- 14) The OpenSCAD Language;
http://ja.wikibooks.org/wiki/OpenSCAD_User_Manual/The_OpenSCAD_Language
- 15) 吉村忠与志、吉村三智頼、“3D プリンタ用の分子モデルの設計と作成”、*J. Technology and Education*, vol.21, No.1, pp.9-16(2014)
- 16) 大阪大学蛋白質研究所;
http://www.protein.osaka-u.ac.jp/rcsfp/supracryst/suzuki/jpxtal/Katsutani/3dprinter_software.php