

フィラメントひと巻きで形状・模様生成と光の変化を実現する 螺旋 3D 印刷法とその照明器具への応用

Dasyn.com 金田 泰

1. はじめに

本稿で解説する螺旋 (らせん) 3D 印刷法は、フィラメントを 1 回螺旋状に巻くだけで多様な形状がつくれて、その表面に微細なテクスチャや模様がつけられる 3D 印刷法である。安価な 3D プリンタを使用して、従来はつくれなかった軽量で薄いわりに強いプラスチックが比較的短時間かつ低コストで製造できる。サポートも後処理もほぼ不要でピンポン玉のような中空球や地球儀がつくれる。形状をつくるにはモデルの変形という方法を使用する。またテクスチャをつけるためにはモデルをこまかく変形させる、フィラメントを上下にうねらせる、フィラメントの断面積を変えるという 3 種類の方法を使用する。

螺旋 3D 印刷のために従来の CAD, CAM のソフトウェアは使用できないので、形状生成やテクスチャマップのために専用のソフトウェアを使用する。螺旋つまり円筒形のモデルをプログラムで生成し、それを変形させテクスチャをあたえてから印刷するというジェネラティブなデザイン法を使用している。

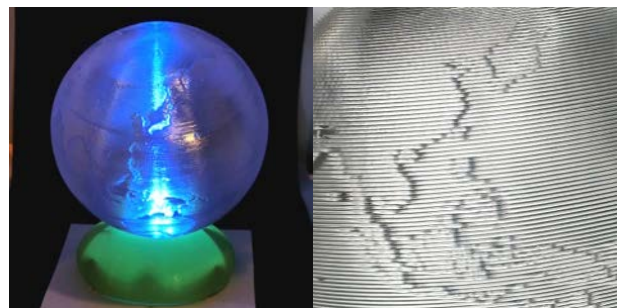
透明な生分解性プラスチックであるポリ乳酸 (PLA) を使用すると、従来のガラスや射出成形プラスチックでは実現できない独特な光の反射屈折が実現できる。そのため、この方法を照明器具に応用して、従来なかった微妙に変化する光をはなつ 3D 印刷カバーつき電球や 3D 印刷シェードつきペンダントライトなどを製造して通信販売している。

この記事では、螺旋 3D 印刷によってどういうものがつくれるか、その原理つまりどうやって造形するか、どういうソフトウェアを使用するか、さらに製品以外の展開と今後について解説する。

2. 螺旋 3D 印刷による製品例

まず螺旋 3D 印刷を使用してどのような製品が

つくれるのか、例を示す。これらは Yahoo! shopping (店名は「デイシン」) で販売している。写真 1 は PLA のフィラメントを一巻きしてつくった地球儀である。この地球儀は閉じた中空球だが、(a) では底から光をあてている。(b) ではフィラメントが見えるように地球儀を拡大している。フィラメントの断面積を変えて陸と海とを表現している。



(a) 照明つき地球儀 (b) 地球儀の拡大写真
写真 1 透明で超軽量の地球儀

写真 2~4 は透明な PLA を螺旋 3D 印刷して製造したランプシェードや電球カバーを使用した「3D デザインランプ」である。PLA は熱によわいが LED も熱には比較的よわいので、PLA が耐えられるように十分に放熱するのが LED にとっても望ましい。PLA は生分解性プラスチックだから、マイクロプラスチックが問題視される現代にふさわしい材料だといえる。

写真 2 においては、地球儀と同様に中空球を基本とし、さらに 3 種類の方法で波模様をつけることで独特な光の反射屈折を実現している。(a) は螺旋 3D 印刷した透明シェードと LED シャンデリア電球を使用した、比較的人気があるペンダントライトである。(b) は透明シェードの反射屈折によって光を変化させ壁に特徴的な陰をうつす USB スタンド兼ペンダントである。(c) は螺旋 3D 印刷で製造

した透明カバーを使用した LED 電球の例である。従来の電球カバーは光を均等に拡散するが、このカバーは 6 個の LED の光を半径方向に拡散する。(d) は中空球をすこし変形させ模様をつけたものを拡大した写真である。場所によってフィラメントの向きやピッチが変化し、それにとまって光が変化する。

写真 3 はランダムさをとり入れた螺旋 3D 印刷シェードを使用した「乱巻き LED キャンドル」の写真である。後述する「波のモデル」において多数の波をランダムに発生させて、このような形状やテクスチャ・質感を生成している。



(a) ペンダントライト (b) 壁に陰をうつす USB ライト



(c) 電球カバーの例 (d) テクスチャつき中空球の拡大写真
写真 2 波模様つきランプシェード・電球カバー等



(a) LED を点灯させたとき (b) 外光だけの拡大写真
写真 3 乱巻き LED キャンドル

写真 4 は和紙のような風合いの螺旋 3D 印刷カバーをつけたシャンデリア電球の写真である。フィラメントの射出条件をうまく制御することで透明な PLA から白化した (白くなった) シェードやカバーが作られる。このカバーは光をほぼ一様に拡散する

が、従来の一様な電球カバーとくらべて形状やテクスチャ・質感をより自由に変えられる。また、透明度の高い PLA を使用すれば従来のものより光の吸収が減らせるとかんがえられる。(b) はこのカバーの拡大写真である。この倍率ではわかりにくいだが、フィラメントにこまかい「ひび」(凹凸) があることで光を乱反射する。白化したカバーやシェードもフィラメントをひと巻きするだけで作られる。

写真 5 は照明器具だという点では写真 2~4 と共通だが、3 つの波のくみあわせという比較的単純なモデルから生成される複雑で細密なモアレ縞をつけたキャンドルポットの写真である。後述する「ジェネラティブ・デザイン」という方法によって、人手でデザインするのは困難な複雑かつ視覚的な曖昧さをふくむ数学的パターンがコンピュータで生成できる。パラメタを変えることで様々な模様がつくれる。(b) は (a) より複雑なパターンの拡大写真である。「視覚的な曖昧さ」を写真で示すのは困難だが、それは複数のパターンがかさなり、見る角度によってちがう模様がみえるという意味である。



(a) 白化カバーつき電球 (b) 拡大写真

写真 4 白化し和紙風になった PLA 電球カバー



(a) キャンドル入りポット (b) 拡大写真

写真 5 細密モアレ縞つき LED キャンドルポット

3. 螺旋 3D 印刷の原理と特徴

従来の 3D 印刷においては、まず 3D CAD を使用してモデルを設計し、そのモデルをスライサとよばれるソフトウェアで水平にスライスして多数の薄

い層を生成し、層ごとに造形する。スライサは加工の手続きを G コードという言葉によって記述し、記述されたデータが 3D プリンタにおくられる。G コードは層という概念に制約されていないから、3D プリンタのヘッドは従来の 3D 印刷におけるのより実はもっと自由にうごかせる。

螺旋 3D 印刷ではまずモデルを設計し、その結果にもとづいて 3D プリンタを使用して製造することは従来と変わらない。3D プリンタとしては安価な熱溶解積層型 (Fused Filament Fabrication, FFF) のものを使用する。しかし、従来の CAD では設計時にはフィラメントの向きや密度 (厚さ・断面積) を考慮しなかったのに対して、螺旋 3D 印刷においてはそれらもあわせて設計する。そのため設計に従来の CAD やスライサを使用することはできず、かわりに専用の方法を使用する。

従来の CAD においては設計者がマウスなどを使用して形状を指定するが、この専用の方法ではプログラムが形状を生成する。このような設計法はジェネラティブ・デザイン [B] またはアルゴリズムック・デザインとよばれる。これはコンピュータをデザイン (設計) の中核で使用する、比較的新しいデザイン法である。ジェネラティブ・デザインによって、前章で示したような人手で描画することが困難な複雑で微妙な様々なパターンが生成できる。

螺旋 3D 印刷法にはつぎのような 2 つの特徴がある。第 1 の特徴は、従来の 3D 印刷法ではつくれなかった軽量で薄いわりに強度があるプラスチックが比較的短時間かつ低コストで製造できることである。従来は層ごとに印刷するので、薄くすると層のつぎめなどのために強度が低下する。しかし、螺旋 3D 印刷法では螺旋状に印刷するので層がなく層のつぎめもないので、薄くても比較的強度が高い。同サイズのもが従来より短時間でつくれるので、**超速アジャイル開発**つまり (たとえば 1~2 時間の) 超短サイクルでのプロトタイプ開発が実現できる。また従来より低コストなので、プロトタイピングだけでなく直接、製品に適用しやすい。顧客の要求をとりいれた製品を短時間かつ安価につくる**超速カスタマイゼーション**が実現可能だとかんがえられる。

第 2 の特徴は、フィラメントを 1 回螺旋状に巻くだけで多様な形状がつくれて、その表面に微細なテクスチャや模様をつけられることである。球のような形状に関してはサポートなしに曲線的な下面や閉じた上面がつくれるので、ピンポン玉のような中空の球がつくれる。サポートが不要なので後処理

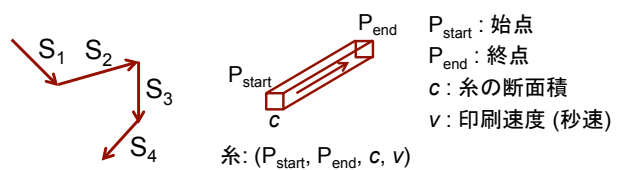
もほぼ不要である。後述する 3 種類の方法を使用すれば表面にテクスチャや模様がえがけるので、たとえば中空球の表面に地図をテクスチャマップすれば海と陸とで厚みがちがう地球儀ができる。また、透明なフィラメントを使用すれば場所によって光の反射屈折が変化する複雑で微妙な模様がえがける。

4. 従来の CAD, CAM によらないソフトウェア

螺旋 3D 印刷のジェネラティブ・デザインののためのソフトウェアとして、Python 言語のライブラリ (API) を開発した [K]。開発の主目的は従来の CAD などのソフトウェアではあつかえないフィラメントの方向や密度 (厚さ・断面積) をふくむモデルがあつかえるようにすることである。それは従来のソフトウェアの単純な拡張では実現できないので、このライブラリではプログラム中で螺旋つまり円筒形のモデルを生成し、それを変形させテクスチャをあててから印刷するという方法をとっている。

4.1 モデルの表現

このライブラリではモデルを始点・終点と断面積、印刷速度が指定された短い糸の列として表現する (第 1 図)。糸はフィラメントの方向と密度を表現するが、さらに印刷の速度まできめる。印刷速度はモデルに必須なものではないが、それを指定するのは自動的にきめるよりうまく印刷できる場合があるからである。たとえば中空の球は極付近での印刷速度を適切にきめればうまく印刷できる。この表現で規定される部品の各点のフィラメントの方向や断面積は従来の CAD や STL では記述できない。



(a) 表現: 糸の列

(b) 糸

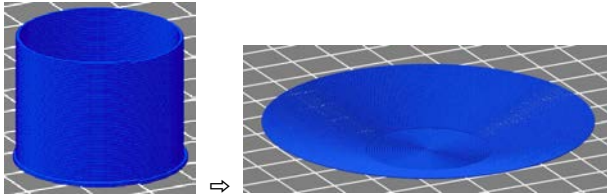
第 1 図 螺旋 3D 印刷におけるモデルの表現

モデルは単純な部品を追加していくことによって構成できる。部品のくみため手続きを Python の関数として表現すれば複合部品を生成する関数となり、モジュラーな構造が実現される。

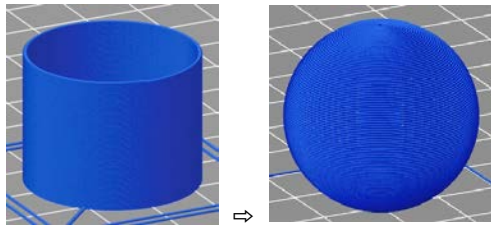
4.2 モデルの変形による形状生成

螺旋のような基本的な形状から多様な形状をつくれるようにするため、ライブラリにはモデルを変

形する関数を用意している。変形例を第 2 図に示す。Repetier Host という 3D 印刷アプリを視覚化のために使用している。図の (a) は垂直螺旋と水平螺旋とをくみあわせたカップとその変形後の皿とを示す。(b) は垂直螺旋とその変形後の球を示す。



(a) カップ形状から皿形状への変形



(b) 垂直螺旋から球への変形
第 2 図 変形の例

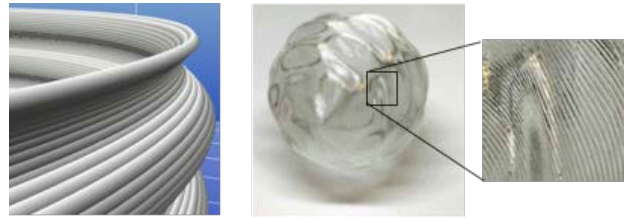
4.3 3種類の模様・テクスチャ生成法

模様やテクスチャを生成するには、モデルに関数を作用させて、第 3 図のようにモデルをこまかく変形させる、フィラメントを上下にうねらせる、フィラメントの断面積を変えるという 3 種類の方法を使用する。図の (a) は変形 (deformation) による模様生成の例を示す。荒い変形はオブジェクトの形をつくるが、よりこまかい変形はオブジェクトの表面に模様やテクスチャを生成する。(b) はうねり (vibrato と呼ぶ) による模様生成の例を示す。フィラメントのピッチと角度の変化によって模様やテクスチャを生成する。(c) はフィラメントの断面積変化 (modulation と呼ぶ) による模様生成の例を示す。断面積を変化させるにはフィラメントの射出速度か印刷ヘッドの移動速度を変化させればよいが、より応答性がよい後者を採用している。

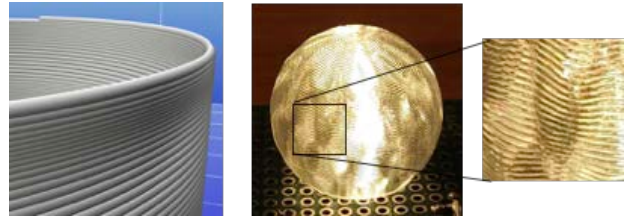
5. 3種類の波にもとづく設計インタフェース

前記の設計用ライブラリを使用するには Python 言語でプログラムを記述する必要がある。しかし、設計のたびにプログラムを記述するのは手間がかかりすぎるしスキルが必要である。そのため一般のユーザーに提供するにはより容易なデザイン・インタフェースが必要である。そこで、変形による形状生成やテクスチャ生成のための関数を三角関数・矩形波

などの波だけに限定した「波のモデル」を設計するための Web インタフェースを開発した (第 4 図)。



(a) こまかい変形 (deformation) による模様生成



(b) うねり (ヘッド上下動、 vibrato) による模様生成



(c) 断面積変化 (modulation) による模様生成

第 3 図 3種類のテクスチャ・模様生成法

Waved Helical 3D Printing Designer for cylinder

Radius =
 Filament pitch =
 Height = height0 = height unit =

Modulations

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
sin	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="insert"/>

Deformations

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
sin	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2900"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="insert"/>

Vibrato

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
sin	<input type="text" value="0.04"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="insert"/> <input type="button" value="delete"/>
sin	<input type="text" value="0.025"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="-4"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="insert"/> <input type="button" value="delete"/>

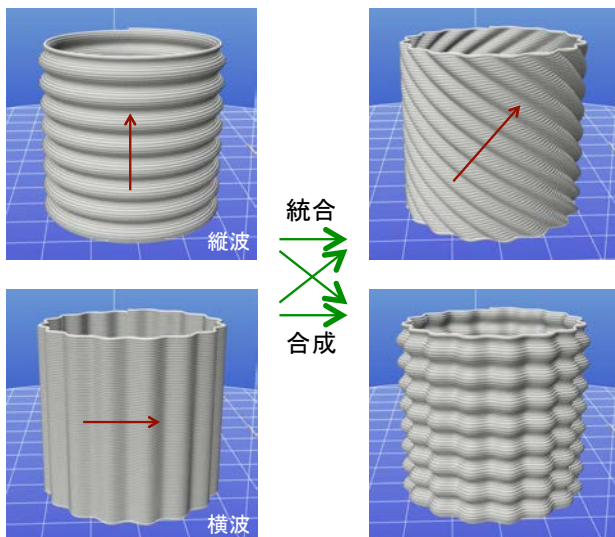
Additional parameters

extrusion factor (efac) =
 head motion speed factor (evfac) =

第 4 図 波のモデルにもとづくデザイン・インタフェース

第 4 図の基本形状は円筒 (cylinder) だが、球など、他の形状を基本にすることもできる。基本形状のサイズとフィラメントの基本ピッチは Web ペー

ジ上部で指定する。波の生成法には 3 種類あり、それらは 4.3 節でのべた 3 種類の模様生成法（断面積変化、変形、うねり）に対応する。波はページ中央部で 1 波 1 行で指定するが、何波でも指定でき、線形合成（かさねあわせ）される。波には縦方向の波（縦方向に進行する波）、横方向の波（横方向に進行する波）、それらのくみあわせであるななめ方向の波がある。第 5 図は縦方向の波・横方向の波をひとつの波に統合したななめ方向の波と、縦方向の波・横波を合成してえられる複合波を対比している。この図は変形による波の例だが、他の種類の波でも同様である。第 4 図における各行は波の形状（図ではすべて sin）と振幅、縦方向の波・横方向の波それぞれの周波数、位相を指定する。平均の断面積とヘッド移動速度はページの下部で指定し、最後に最下部のボタンを押せば G コードが生成される。



第 5 図 縦方向の波・横方向の波からの統合波と合成波の生成

6. 螺旋 3D 印刷の展開と今後の方向

螺旋 3D 印刷を使用した製品については 2 章でのべたので、ここでは螺旋 3D 印刷のそれ以外の展開と今後の方向についてのべる。

昨年は専門のデザイナーなどと螺旋 3D 印刷をつかって共創することで「売れる」製品が作れるのではないかとかがえて、実践してきた。それまで照明器具や電球などを筆者自身がデザインしてきたが、筆者はデザイナーではない。もっと市場や人々にアピールできる製品をつくりたいので、デザイナーをさがし共創を試行してきた。しかし、いまのところ成功していない。それはジェネラティブ・デザイン

や筆者を理解し共感してくれるひとがみつからなかったということだろう。とくに、**超速アジャイル開発**をためすためにあるデザイナーのオフィスに 3D プリンタをもちこんだが、想定通りにはいかなかった。デザインは問題解決だといわれるが、そのまえにまず解決すべき問題（キラー・アプリケーション？）をアート作品として表現し提起することが必要だと最近はかんがえている。しかし、他の可能性もかんがえて、アート、デザイン、ビジネスなど、様々な分野のひとと共創していきたい。

これまで、専門のデザイナーだけでなく、一般のひととの共創もめざして、中野ブロードウェイにあった「あっ 3D プリンタ屋だ!!」の主催で中野の ICTCO（イクトコ）や渋谷の FabCafe Tokyo などワークショップをひらいたり、Dasyn.com として Maker Faire Tokyo 2017、2018 でミニハンズオンをひらいたりしてきた。FabCafe では、使いやすいとはいえない第 4 図のインターフェースでデザインしてもらった。わずか 4 時間くらいで大半のひとが写真 6 のようなスマホの懐中電灯用のシェードをうまく完成させたのには筆者もすこし驚いた。Maker Faire 2017 では時間を 30 分程度に限ったので筆者がかなりサポートしたが、それでも参加者に電球カバーをデザイン・製作してもらい、つくった電球をもちかえってもらった。これらの成功は、適切な方法をとれば**超速カスタマイゼーション**をビジネスとして成立させられることを示しているようにおもう。Yahoo! shopping でも顧客にデザインに参加してもらう方向を模索している。



写真 6 ワークショップ参加者がつくったシェード

7. まとめ

上記のように、螺旋 3D 印刷によって軽量で薄いわりに強度があるプラスチックが比較的短時間かつ低コストで製造できる。表面には多様な形状と微細なテクスチャや模様をつけることができ、透明な PLA を使用すれば独特な光の反射屈折が実現で

きる。そのため、この方法を照明器具に応用して従来なかった変化する光をはなつ 3D 印刷カバーつき電球や 3D 印刷シェードつきペンダントライトなどを製造している。しかし、開発や製造の高速性をいかせるキラー・アプリケーションを見つけること、よい共創相手をみつけることは今後の課題である。

〈参考文献〉

- (B) Bohnacker, H., Gross, B., Laub, J., and Lazzaroni, C.: Generative Design, Princeton Architectural Press (2012), 日本語版: ビー・エヌ・エヌ新社 (2016).
- (K1) 金田 泰: 3D プリンタもプログラミングで — draw3dp (ちょっと変わったプログラミング教室 03), 情報処理, Vol. 58, No. 6, pp. 17-23, 2017-6.

[筆者紹介]

金田 泰

Dasyn.com

yasusi@kanadas.com