

# 3D プリンタで自然のデザインを楽しもう(基礎編)

■金田 泰 (Dasyn.com)

3D プリンタでは通常は人工的にデザインしたものを印刷しますが、意図せずにできてしまうパターンもあります。こういう「自然のデザイン」を積極的に楽しんでみましょう。今回は「基礎編」ですが、「応用編」を書いてみたいと考えています。

## 自然がデザインする 3D 印刷

3D プリンタで造形するものは、通常、人がデザインしたものです。まず CAD ソフト (computer-aided design software) で印刷したいものをデザインして、「モデル」をつくります。この「モデル」は STL とよばれる言語形式で表現します。それをスライサとよばれるソフトウェアでうすい層にスライスし、さらに糸状に切り分けて 3D プリンタに入力可能な G コードという形式に変換します。そして、FDM (Fused Deposition Modeling, 熱溶解積層) 方式のプリンタをつかうときは、ABS とか PLA という種類のプラスチックをとくして糸状のフィラメントにして、G コードに従って積み重ねます (図 1)。

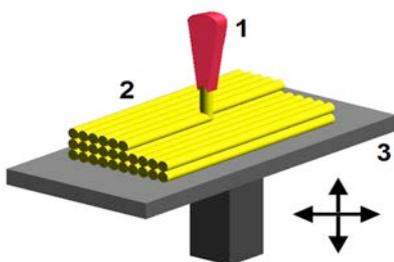


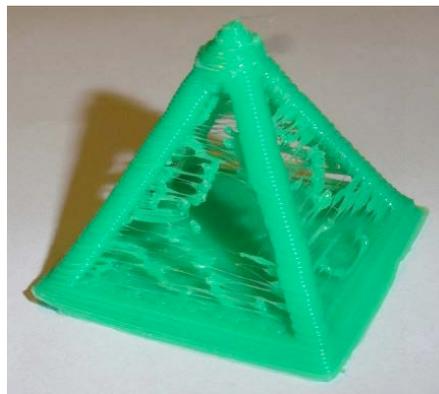
図1 FDM 型 3D プリンタの原理

(“FDM by Zureks” by Zureks - Wikimedia Commons)

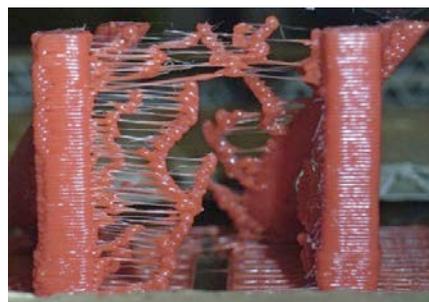
しかし、デザインしたとおりに印刷するのは容易ではありません。失敗をまねく原因がいろいろひかえていますし、意図したのとはちがうかたちをつくってしまうことがしばしばあります。図 2 には意図せずにできてし

まうパターンの例を示しました。FDM 型のプリンタではヘッドが糸をひきやすいのですが、この写真には横にのびる糸だけでなく、縦にのびる「かたまり」もみえています。

こういう糸やかたまりがつくるパターンはいわば自然がデザインしたものです。おなじように印刷しても、できるパターンは毎回ちがいます。こういう自然のデザインをじゃまものあつかいするのではなく、楽しんでみようというのがこの記事の趣旨です。



(サイズは 38×38×33 mm<sup>3</sup>)



(サイズは 38×38×28 mm<sup>3</sup>)

図2 3D 印刷における自然のデザイン

## 人間のデザインを排除する印刷法

自然のデザインをできるだけ純粋にとりだすためには、人工的なデザインをできるだけ排除する必要があります。従来の CAD を使用する方法は人がデザインするための方法ですから、ほかの方法が必要です。

通常の 3D 印刷では層のつぎめができてしましますが、これは自然のデザインのじゃまになります。そこで、つぎめができないように、図 3 のように時計まわりまたは反時計まわりにヘッドを一定の速さでらせん状にうごかしながら印刷します。フィラメントは一定の速度で供給します(らせん状印刷については別の記事 [参考文献 3] でもふれました)。フィラメントを十分に供給するとパターンはできなくなってしまうので、すくなめにします。印刷の様子(一例)は YouTube (<http://youtu.be/IJ15ysJR5l8>) でみられます(図 4 参照)。このプロセスは 1 次元のセル・オートマトンとしてモデル化できます [参考文献 1, 2] が、ここでは説明しません。

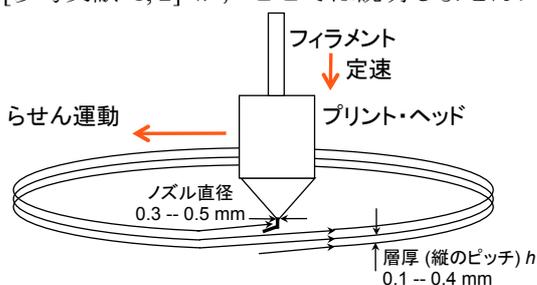


図 3 「自然のデザイン」のための方法



図 4 「自然のデザイン」の印刷風景

「らせん状」と書きましたが、実際には通常の 3D プリンタではヘッドは直線運動しかできないので、らせんを多数の線分で(たとえば 1 周あたり 72 個の線分で)近似します。そのために多少の作為的な要素がはいってしまいますが、3D プリンタを改造するのは容易でないので、やむをえません。印刷条件をくふうすれば、それが印刷結果におおきな影響をあたえるのはさげられます。

通常の 3D プリンタをつかう場合は、ノズル(穴)の直径は 0.3~0.5 mm, 射出されるフィラメントの平均断面積  $c$  (射出速度に比例する)は  $0.2 \text{ mm}^2$  (直径 0.5 mm) くらい、層厚(層の高さ  $h$ )は 0.1~0.3 mm です。

この記事の写真では、1 周を 72 個の線分で(つまり、 $5^\circ$  ごとに)構成していますが、もうすこしこまかく近似したほうがよかったです。フィラメントとしては ABS または PLA を使用しています。ヘッドの移動速度は 40~150 mm/s としました。

前記のように、印刷するには G コードという形式のプログラムをつかいます。しかし、図 3 の方法をひとが直接 G コードで記述するのはとてもめんどろです。そこで、汎用のプログラミング言語で G コードを生成するプログラムを記述します。論文 [参考文献 1, 2] ではこのアルゴリズムをより抽象度の高い言語で書きましたが、実行する際には Python のプログラムを使用しました。プログラムの例は <http://bit.ly/17kZ1SE> (または [http://www.kanadas.com/program/2015/02/3d\\_python\\_1.html](http://www.kanadas.com/program/2015/02/3d_python_1.html)) からダウンロードできます。このプログラム naturalDesign.py は Python 2 または Python 3 が “python” というコマンドでよびだせるとすると、つぎのようにして G コードを生成できます。

```
python naturalDesign.py ABS 0.2 0.03 >nd.gcode
```

ここでは材質として ABS, ピッチ  $h$  として 0.2, 断面積  $c$  として 0.03, 出力先の G コード・ファイルとして nd.gcode を指定しています。出力されたファイルを 3D プリンタで印刷すると「自然のデザイン」を印刷することができます。「自然のデザイン」なので印刷するごとにちがう結果になります。

Python はプログラミング言語のなかで日本では Perl や Ruby ほどつかわれていないようですが、アメリカなどでは主流になっています。

上記のプログラムは Rostock MAX という 3D プリンタのためのものなので、他のプリ

ンタを使用するときはすこしかきかえる必要があるかもしれません。しかし、それほどおおきなちがいはないはずで

### 自然がつくる様々なパターン

以下、上記のプログラムに様々なパラメタをあてることによってえられる様々なパターンを分類して示します。なかには、よく冷却されていると（ファンが機能していると）できないものもあります。なお、私のブログの「3D ゆらぎ印刷検索結果」(<http://bit.ly/1CZuJA1>) や論文 [参考文献 1] にはこの記事にはないいくつかの写真を収録しています。

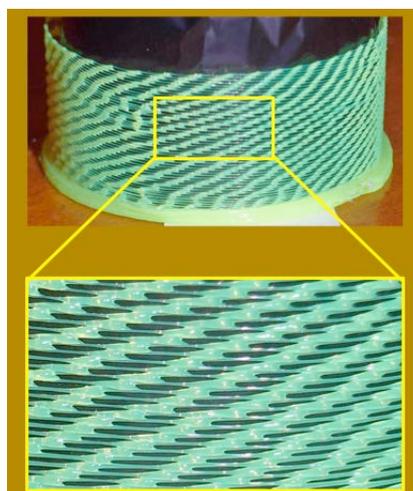
#### ■ 恒常的なパターン

もっとも典型的なパターンは恒常的なパターンだとかんがえられます。つまり印刷をつづけると図5のようにほとんどおなじパターンがつづく場合です。ここでは (a), (b) それぞれ印刷結果の全体図（ただし、裏側はかくして、みやすくしています）とその一部の拡大図を示しています。

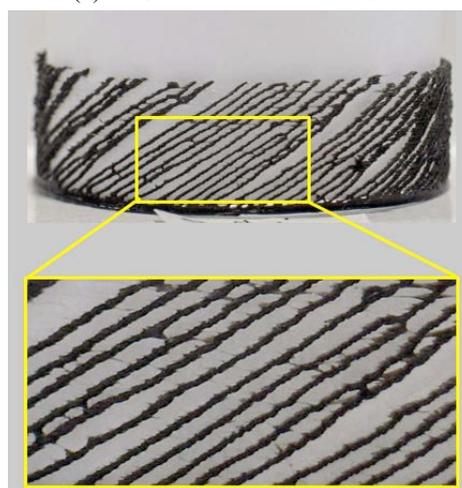
図5(a) はもっとも変化がすくないパターンです。フィラメントの材質は PLA であり、デルタ型の 3D プリンタ Rostock MAX を使用しています。縦方向のピッチ  $h$  が比較的大きいとき（図5(a) では 0.3 mm）にあらわれるパターンです。横方向に安定的に糸が生成されます。断面積  $c$  の値は  $0.045 \text{ mm}^2$ （通常の  $1/5$  くらい）にしています。ヘッドは時計まわりに回転させていますが、そうするとストライプ状の「かたまり」が反時計まわりにのびます。回転方向を逆にすれば逆にのびます。

ノズルの直径が 0.5 mm のときは通常の 3D 印刷では層厚を 0.4 mm くらいにしますが、 $h$  が 0.4 ではパターンをつくるのが困難でした。 $h$  を 0.3 まで薄くすると、きれいなパターンがつかれます。それでも、すこしパターンが乱れている部分があります。

$h$  を 0.1 にまで狭めて断面積  $c$  を 0.02（通常の  $1/10$ ）にすると図5(b) のようになりました。横方向の糸はあまりはっきりせず、頻繁に切れています。



(a) 比較的荒いピッチのとき



(b) 比較的小さいピッチのとき

図5 恒常的なパターン

#### ■ 消滅するパターン

「かたまり」がなくなると図5のようなストライプができるわけですが、そのパターンが途中でできえてしまうことがあります。そういう場合の例を図6に示します。楕円がかこんだ部分でパターンが消滅しています。パターンがきえてもプラスチックは一定の速度ではきだされるので、余っているのがわかります。



図6 消滅するパターン  
(上の写真: PLA, 下の写真: ABS)



(a) 融合 (PLA,  $h = 0.2, c = 0.02$ )



(b) 融合と分裂 (ABS,  $h = 0.25, c = 0.045$ )



(c) 融合・分裂そして消滅 (ABS)  
図7 融合・分裂するパターン

### ■ 融合・分裂するパターン

ストライプはしばしば融合したり分裂したりします. 図 7(a) は純粋な融合パターンです. また図 7(b) は融合・分裂をくりかえすパターンです. 純粋な分裂パターンをつくるのは困難です. 図 7(b) には垂直な線がみえます (中心角は  $5^\circ$  ずつになっています) が, これはらせんを線分で近似しているためにできたものです.

### ■ 横切る「波」

波のようにみえるパターンがしばしばストライプを横切ります. 典型的な波のパターンを図 8 に示します. この図では波はストライプの角度の変化と太い糸の有無によって形成されています.

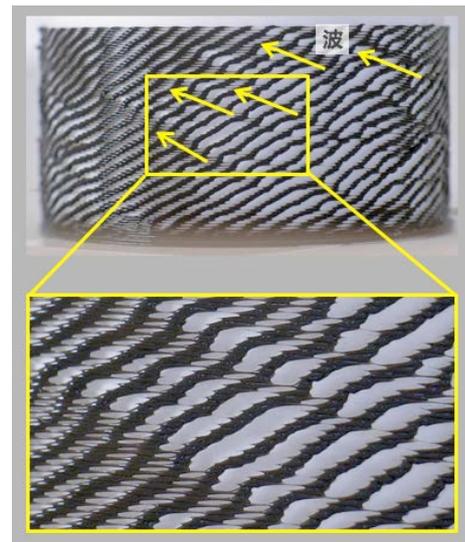


図8 「波」のあるパターン  
(PLA,  $h = 0.25, c = 0.045$ )

### ■ 網

図 9 のように, 積み重なったフィラメントによってストライプがつながっていることがあります. こういうパターンは「網」と呼んでよいでしょう. 網は波の発展系なのかもしれませんが, ちがうようにもみえます.

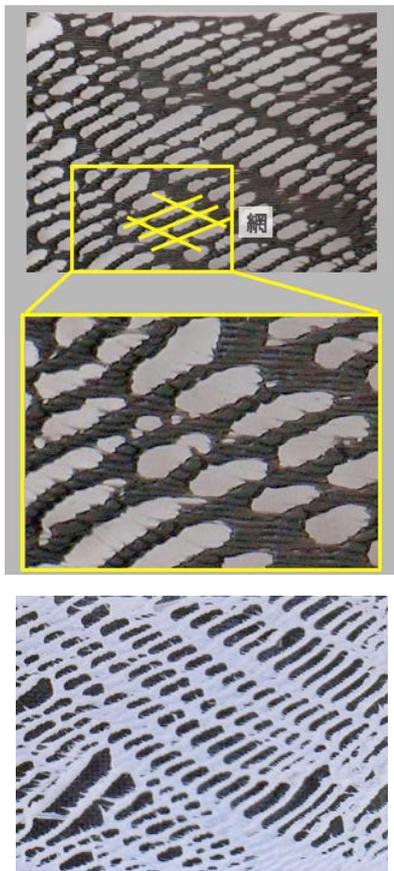


図9 網のパターン

は <http://bit.ly/1EZ4SZI>). ただし、できるパターンは毎回ちがうので、この記事の写真とおなじものはありません。

#### 参考文献

- [1] Kanada, Y., “Self-organized 3D-printing Patterns Simulated by Cellular Automata”, *20th International Workshop on Cellular Automata and Discrete Complex Systems (Automata 2014)*, July 2014, <http://bit.ly/1EvJKZT>
- [2] Kanada, Y., “3D Printing and Simulation of Naturally-Randomized Cellular-Automata”, *Artificial Life and Robotics*, Vol. 19, No. 4, November 2014, <http://bit.ly/1AqclwV>
- [3] 金田 泰, “3D プリンタでサポートなしで皿をつくろう”, I/O 2015-X

#### おわりに

3D プリンタを使ったことがある人なら、予期しないパターンができることは知っているとおもいます。でも、それを積極的に楽しもうとした人はほとんどいなかったのではないのでしょうか？ この記事で紹介した様々のパターンがどうしてできるのかは論文 [参考文献 1, 2] で分析していますが、まだよくわかっていません。もっとおもしろいパターンができる可能性もあります。次回「応用編」では、もっとほかのパターンを追求し、さらにこれを iPhone ケースなどに応用してみたいと考えています。読者のみなさんも試してみませんか？

なお、印刷したパターンのサンプルを Yahoo! shopping の「デイシン Dasyn」という店で 1 個 100 円程度で売っているの、もしよければ買って見てください (<http://store.shopping.yahoo.co.jp/dasyn/> また