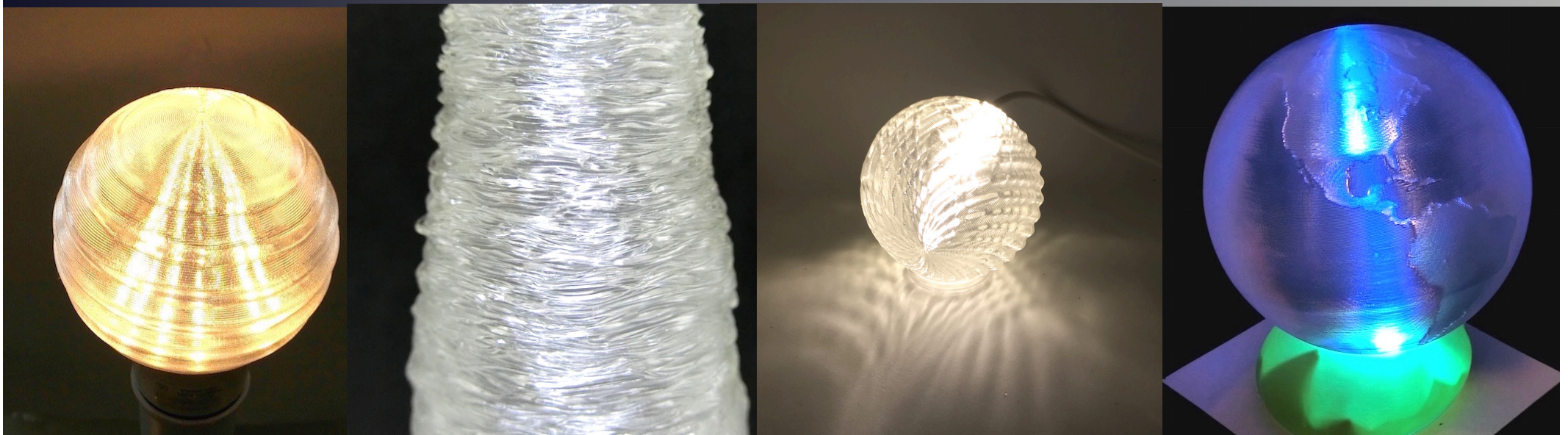


フィラメントひと巻きで形状・テクスチャの生成と光の変化を実現する
螺旋 3D 印刷とその照明器具への応用

金田 泰

Dasyn.com

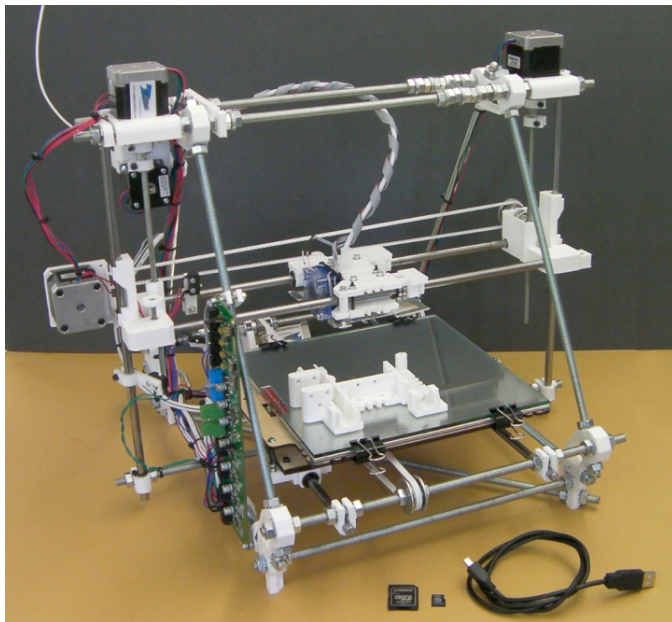


従来技術

3D プリンタ

- ▶ さまざまなタイプの 3D プリンタがあるが、安価なのは FFF 型 (fused filament fabrication).
- ▶ ノズルからプラスチックをはきだして、かためる。
- ▶ 3D プリンタは “G コード” を入力する。

Reprap

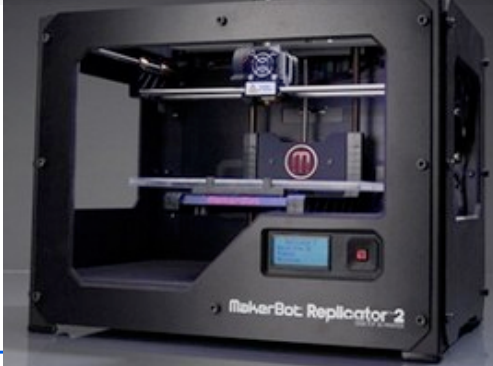


<http://www.3dfuture.com.au/2012/04/reprap-full-kit-available-for-780/>



Stratasys
FDM®

MakerBot

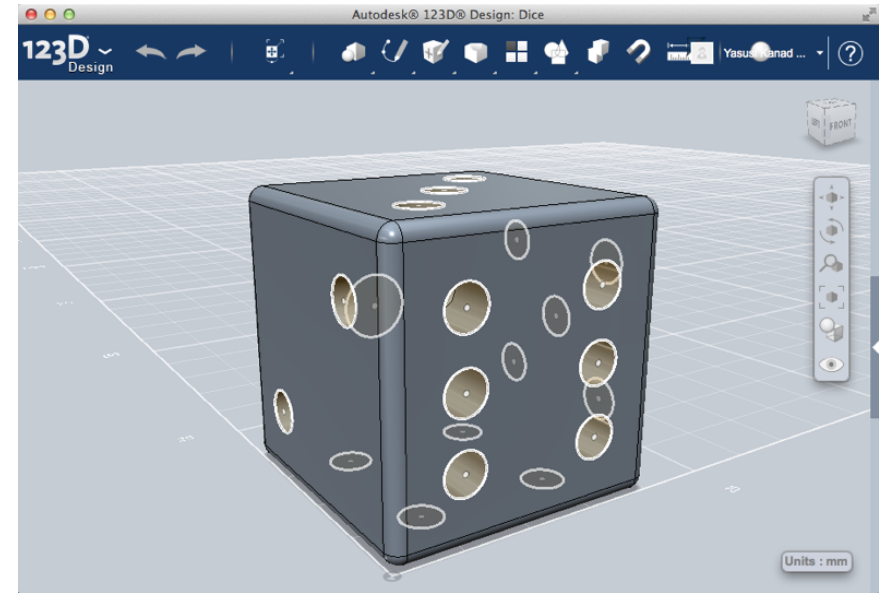
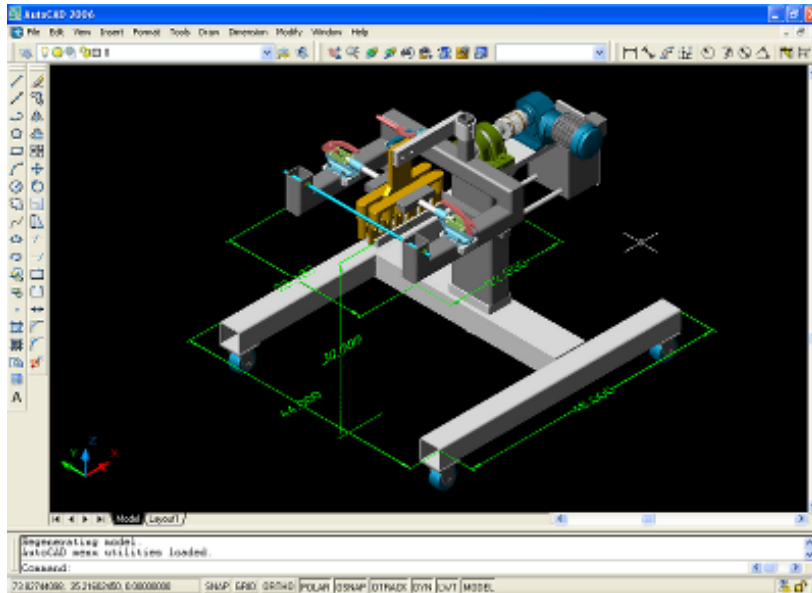


Rostock MAX

3D 印刷するものの設計

▶ 従来の方法では CAD を使用して表面形状を設計する。

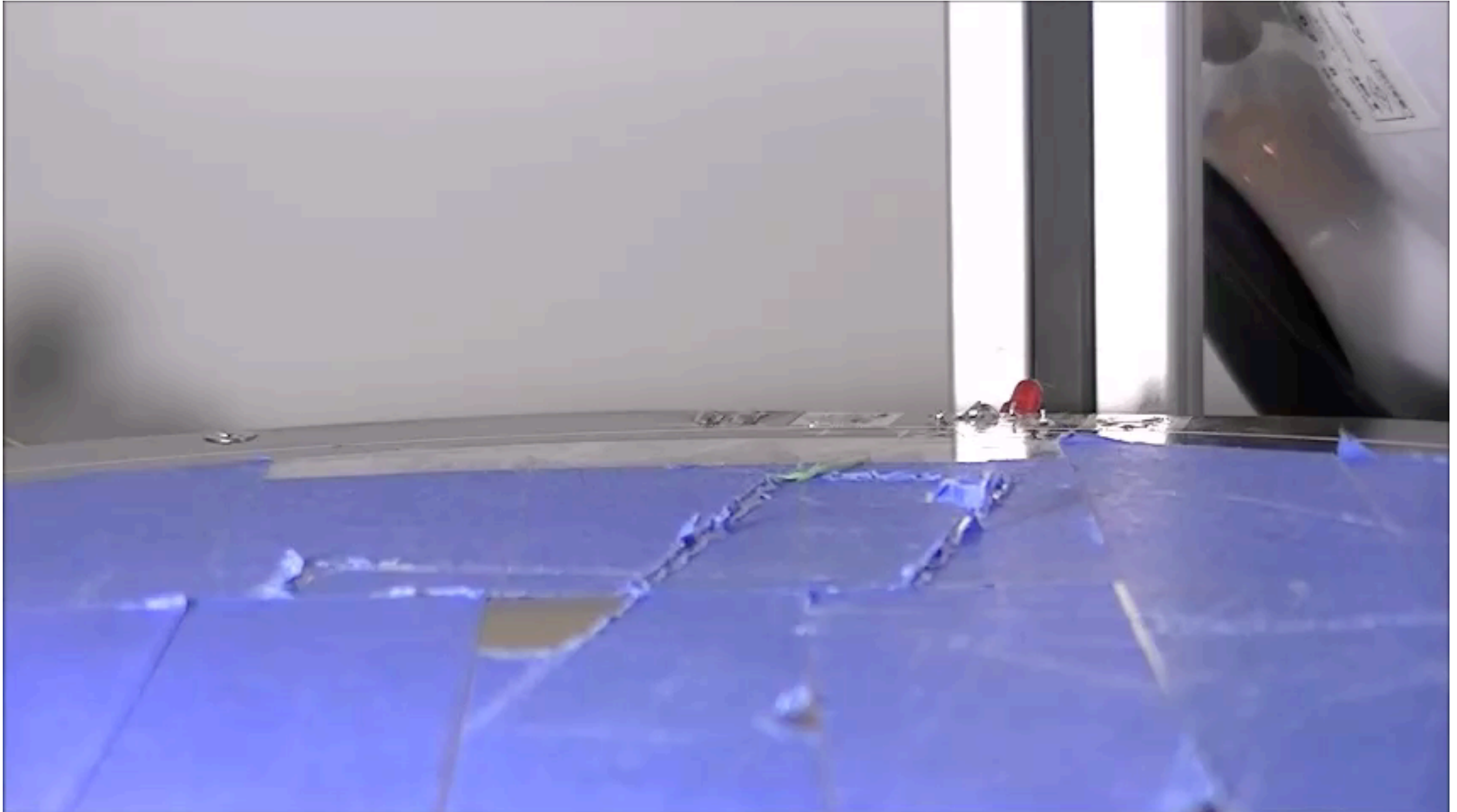
■ 例: Autodesk の CAD ツール



▶ CAD の出力 (STL 形式) をスライサで G コードに変換する。

螺旋 (らせん) 3D 印刷法

螺旋 3D 印刷法とは？



8 倍速. YouTube: <http://youtu.be/YWx1vqig2-o>

螺旋 (らせん) 3D 印刷法とは? (つづき)

▶ 多様な形状の生成

- フィラメントを螺旋状に巻くだけで多様な形状がつかれる。

▶ 微細なテクスチャ生成

- 表面に微細なテクスチャや模様がつけられる。
- 従来のプラスチックやガラスでは実現できなかった微細さ。

螺旋 3D 印刷法の特徴

- ▶ **最大の特徴は、従来プラスチックでもガラスでもつくれなかった立体がつけられること。**
 - 従来の透明立体では実現できなかった光の反射・屈折を実現する。
 - 従来は実現できなかった微細なテクスチャや模様がつけられる。



螺旋 3D 印刷法の特徴 (つづき)

- ▶ **ひと巻きで印刷するため,**
 - 軽量で薄いわりに強いし,
 - 比較的短時間かつ低コスト.
- ▶ **サポートがほぼ不要 — 短時間・低コスト.**
 - ピンポン玉のような中空球がつかれる.
 - 中空球に地図をテクスチャマップすれば, 地球儀がつかれる.
- ▶ **後処理がほぼ不要 — 短時間・低コスト.**
 - 従来の 3D 印刷では層間のつぎめや積層痕を消すために後処理が必要だった.
 - 螺旋 3D 印刷では層がないため, つぎめがないし, 積層痕を活かしているので後処理も不要.
- ▶ **安価な FFF 型 3D プリンタを使用 — 短時間・低コスト.**

変形の記述

▶ デカルト座標を使用した変形の記述

`deform_xyz`($fd(x, y, z)$, $fc(c, x, y, z)$, $fv(v, x, y, z)$)

- fd は位置 (x, y, z) を (x', y', z') にマップする.
- fc は (x, y, z) における糸の断面積 c を (x', y', z') における c' にマップする.
- fv は (x, y, z) における速度 v を (x', y', z') における v' にマップする.

▶ 円筒座標を使用した変形の記述

`deform_cylinder`($fd(r, \theta, z)$, $fc(c, r, \theta, z)$, $fv(v, r, \theta, z)$)

- fd は位置 (r, θ, z) を (r', θ', z') にマップする.
- fc は (r, θ, z) における糸の断面積 c を (r', θ', z') における c' にマップする.
- fv は (r, θ, z) における速度 (r', θ', z') における v' にマップする.

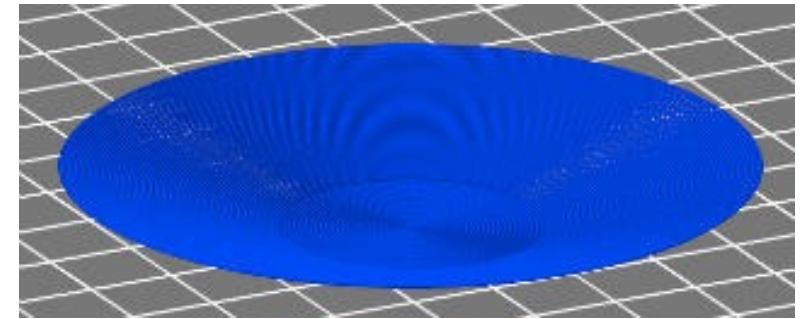
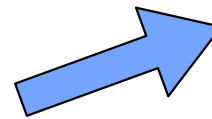
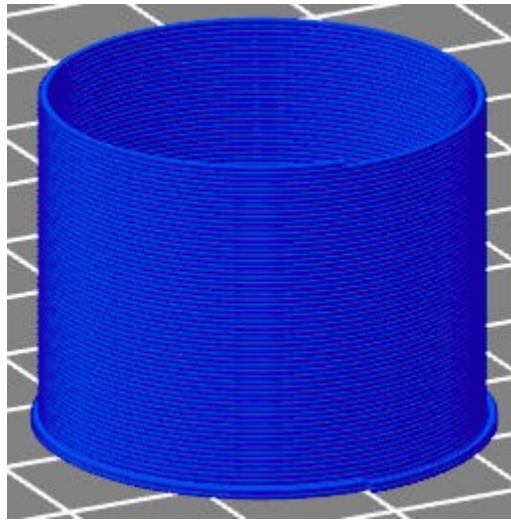
▶ 変形は“印刷可能性”を保存しなければならない.

- 現在のところ, 自動的に保存されない.

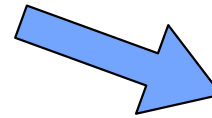
変形の例

▶ 皿:

`deform_cylinder(
 fdd(r, θ, z), fcd(c, r, θ, z), fvd(v, r, θ, z)
 where $fdd(r, \theta, z) = (r + 1.05 z, \theta, 0.3 z)$.`

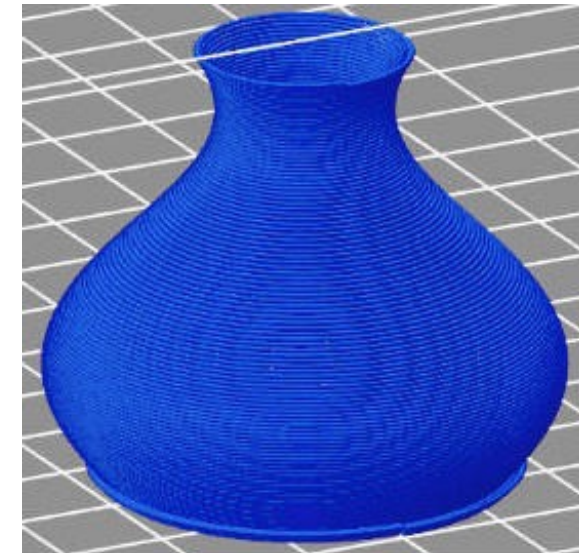


Displayed by
Repetier-Host



▶ 花瓶:

`deform_cylinder(
 fdp(r, θ, z), fcp(c, r, θ, z), fvp(v, r, θ, z)
 where $fdp(r, \theta, z) =$
 ($r (0.8 + 0.4 \sin(z / 8 + 6.5))$, θ, z)`



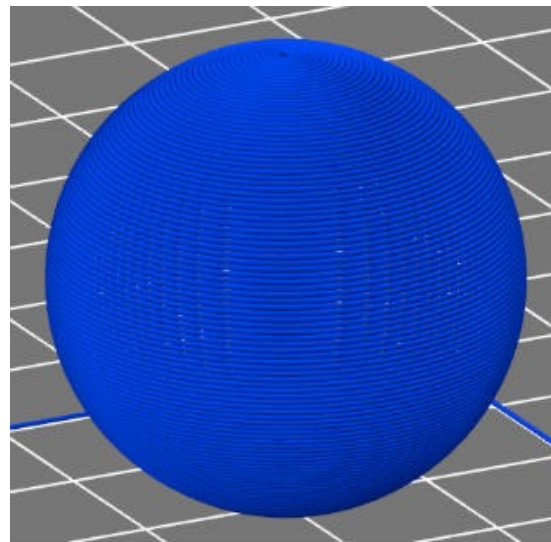
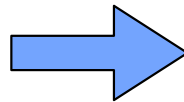
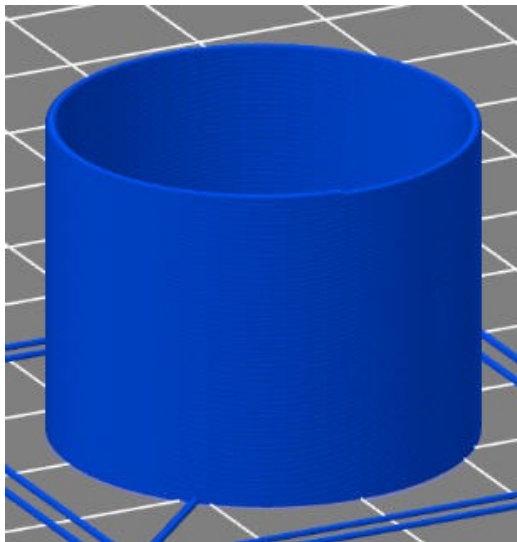
変形の例 (つづき)

▶ 球:

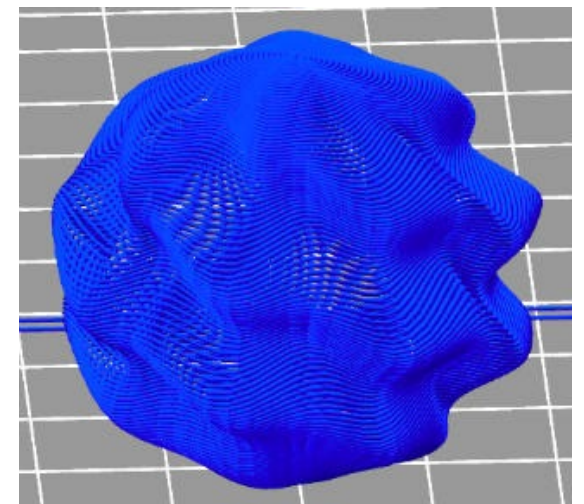
`deform_cylinder(fds(r, θ , z), fvs(v, r, θ , z), fcs(c, r, θ , z))`

where `fds(r, θ , z) =`

`(Radius * sin(z / cylinderHeight), θ , r - Radius * cos(z / cylinderHeight))`

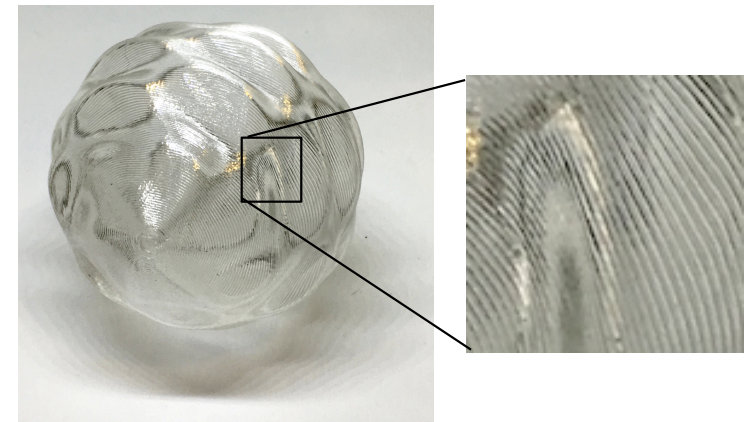
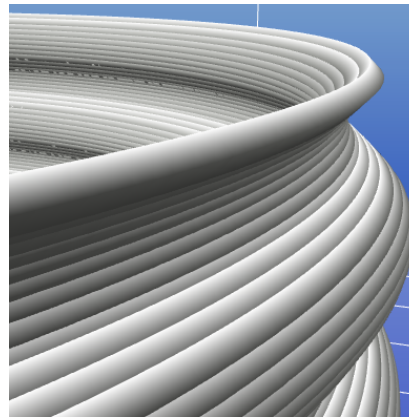


Another
deformation

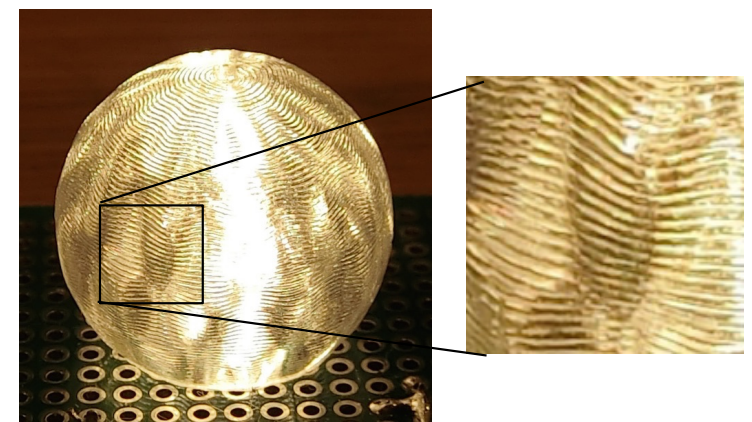
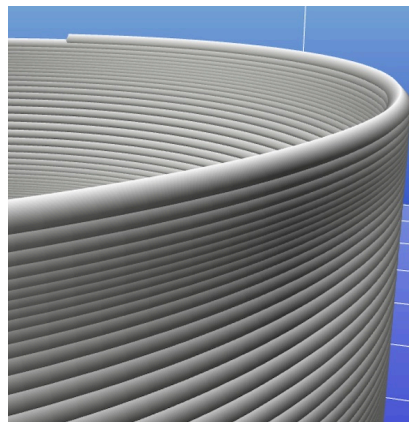


テクスチャや模様の3つの生成法

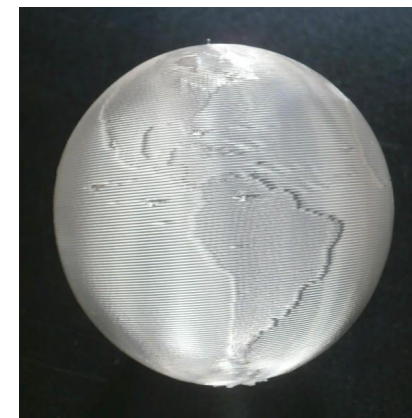
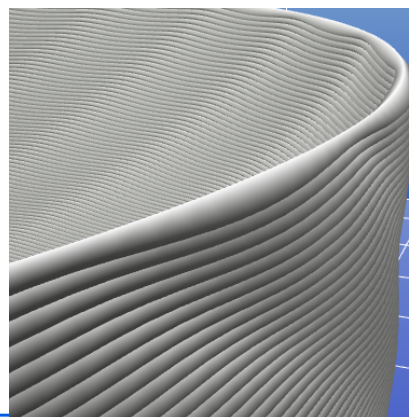
- ▶ モデルをこまかく変形する
(deformation).



- ▶ フィラメントを上下させてピッチを変える
(うねり = vibrato).



- ▶ フィラメントの断面積を変える
(変調 = modulation).



変形の波による模様の生成



うねりの波による模様の生成



変調の波による模様生成



螺旋 3D 印刷の API (基本ソフトウェア)

専用ソフトウェア開発とその理由

- ▶ **螺旋 3D 印刷のための専用ソフトウェアを開発した.**
 - Python で記述した API (基本ソフトウェア) を開発.
 - API は <http://bit.ly/1EBVbSB> において公開.
 - 「波のモデル」にもとづく Web インタフェースを開発.
- ▶ **開発の理由: 独特な形状生成やテクスチャマップには従来の CAD, CAM のソフトウェアは使用できないため.**

API におけるモデルの表現 (データ構造)

▶ モデル (部品) を向きと太さのある糸のならば
(S_1, S_2, \dots, S_n) として定義する.

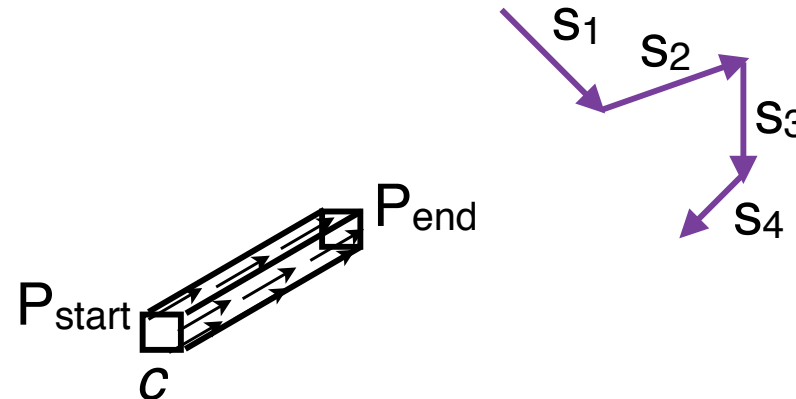
■ 有向糸: ($P_{\text{start}}, P_{\text{end}}, c, v$)

■ P_{start} : 始点

■ P_{end} : 終点

■ c : 糸の断面積

■ v : 印刷速度 (秒速) (optional)



API によるモデルの手続き的な生成法

▶ まず空の部品をつくる (クラス名は Trace):

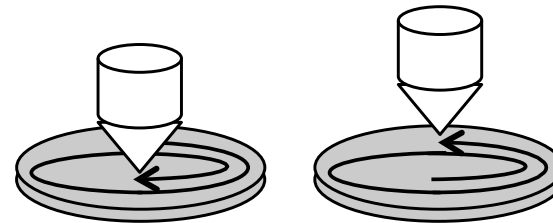
`part = draw3dp.Trace(crossSection, x0, y0, z0).`

- `crossSection` はフィラメント断面積の初期値,
(`x0, y0, z0`) はヘッドの初期位置.

▶ 平面らせん (円板) の API:

`part.spiral(radius, hpitch, x0, y0, z0).`

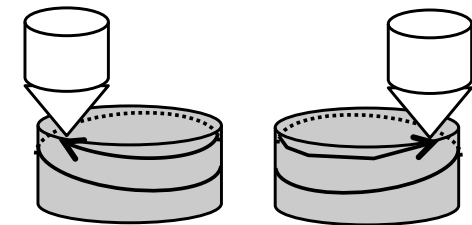
— `hpitch` はらせんのピッチ



▶ 立体らせん (円筒) の API:

`part.helix(radius, height, vpitch, x0, y0, z0).`

- `helix` は 1 重のヘリックス (垂直方向のらせん).
- 層も層のつぎめもなしに, 任意の高さのうすい円筒がえがける.



▶ 以上の API だけではかぎられた形状しかつukれないが, この方法を拡張すればよい.

- `move, line` などの原初的関数を使用して拡張できる.

部品のくみため (理論)

- ▶ **部品をくみあわせるしくみを用意する.**
 - 切削加工の場合は加工後にくみためてる.
 - 付加加工の場合は複数の部品を同時に製造することが多い.
 - 部品くみあわせ後のかたちで印刷する場合も想定する必要がある.
- ▶ **部品が2条件をみたせば, 部品を逐次に印刷することによって, くみためられる.**
 - 印刷ヘッドが既印刷のフィラメントによって妨害されないこと.
 - 印刷したフィラメントがプリントベッドや既印刷のフィラメントによって支持されること.
- ▶ **これらの条件をみたせないときは部品を分割して条件をみたす.**



螺旋 3D 印刷による 開発の方法と実践

螺旋 3D 印刷のためのデザイン法

▶ ジェネラティブにデザインする.

- Generative design (または algorithmic design) とは, 従来の 3D CAD のように人間が直接デザインするのとはちがって, コンピュータにデザイン (設計) させること.
- デザイナ (設計者) は造形用プログラムを記述するか, 既存の造形用プログラムにパラメタ等を設定する.
- デザイン (設計) の主体であるデザイナー (設計者) が間接的にデザインする.

3 種類の波にもとづくデザイン・インタフェース

▶ 螺旋 3D 印刷の問題

- 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。

▶ 解決策: デザインのための Web インタフェースを開発した。

- このインタフェースでは 3 種類の波を線形合成して形状やテクスチャを生成する。
- 3 種類の波はテクスチャ生成のための 3 つの方法に対応する。

Waved Helical 3D Printing Designer for bulb

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

Modulations

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
<input type="text" value="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
<input type="text" value="sin"/>	<input type="text" value="0.08"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="102"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="insert"/>

Vibrato

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
<input type="text" value="sin"/>	<input type="text" value="0.1"/>	<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"/>
<input type="text" value="sin"/>	<input type="text" value="0.1"/>	<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"/>

Additional parameters

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

開発のながれ

▶ デザイン・インタフェースによってデザインし，Gコードを出力

▶ Gコードを視覚化ツールで確認

- Repetier Host というツールを使用している.
- 不具合があればデザインを修正してくりかえす.

▶ Gコードを3Dプリンタで印刷

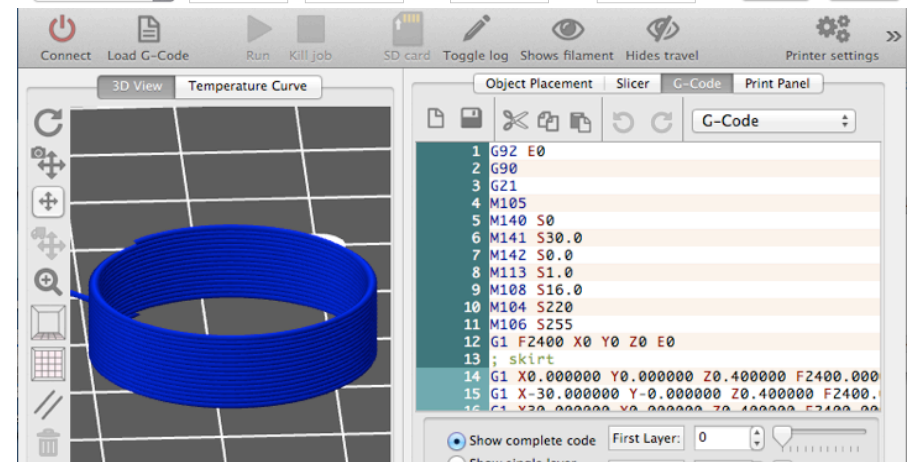
- Repetier Host を使用している.
- 不具合があればデザインを修正してくりかえす.

Deformations

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
sin	0.08	0	102	0	insert

Vibrato

Wave type	Amplitude	Cycle(radius)	Cycle(height)	Shift (radian)	Operations
sin	0.1	8	-4	0	insert delete
sin	0.1	5	2.5	0	insert delete

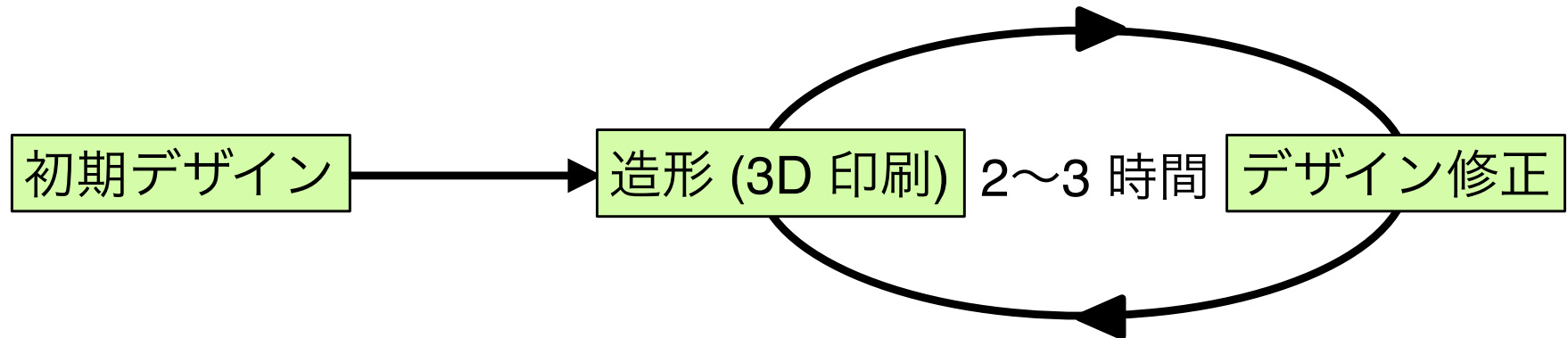


螺旋 3D 印刷によるアジャイル開発

▶ 螺旋 3D 印刷なら、デザイン・ツールがととのっていればアジャイル開発ができるとかんがえられる。

▶ アジャイル開発とは？

- 通常、初期デザインには半日以上の間がかかるが、その後は造形とデザイン修正を 2~3 時間単位でスパイラルに反復できる。



▶ アジャイル開発の効果

- 短時間で形状などを洗練することができる。
- 螺旋 3D 印刷固有の効果を確認し発展させられる。
 - 特有の効果の例: シェードによる光の拡散, 影の生成。

アジャイル開発のこころみ

▶ デザイナーとの密なコラボレーション

- デザイナーのオフィスに 3D 印刷システム一式をもちこんで共創をこころみしたが、いまのところ成功していない。

▶ ユーザ(一般客)とのコラボレーション

- ワークショップを 2 回、開催してきた。
 - デザイン・インタフェースを使用したワークショップでは、おおくの参加者がスマホ用シェードを完成させた (FabCafe Tokyo).
- Maker Faire Tokyo 2017 & 2018 では 15~30 分でミニハンズオンを実施した。
 - 参加者と共創デザインし、参加者が電球をくみたてた。
 - 実際には参加者がやった部分はすくない。



螺旋 3D 印刷による造形例

照明器具・電球への適用

▶ 透明プラスチックとくにポリ乳酸 (PLA) の使用によって螺旋 3D 印刷がいかせる。

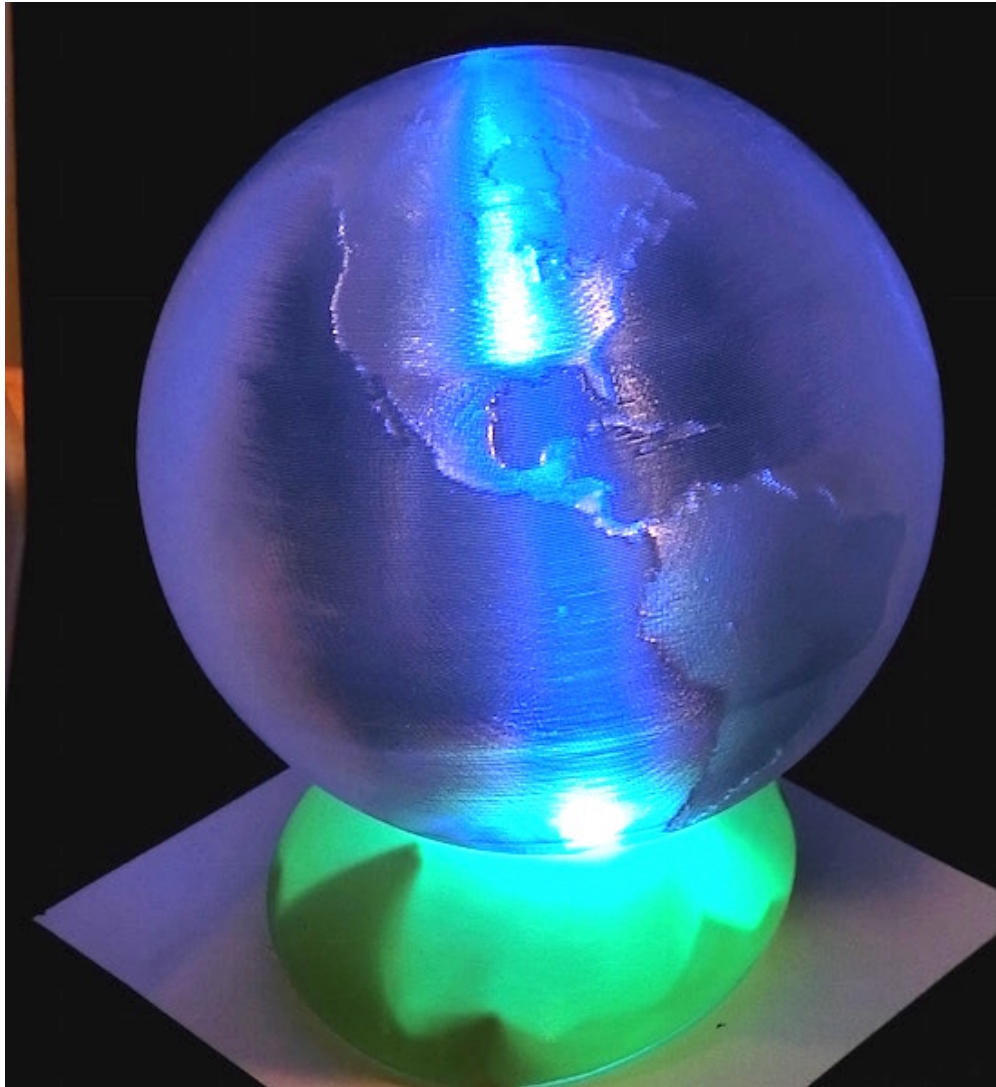
- 従来のガラスや射出成形プラスチックでは実現できない独特な光の反射屈折を実現する。
- PLA は生分解性プラスチックなので時代にマッチしている。
- 熱によわいのが弱点だが、LED とは比較的マッチする。

▶ 照明器具のシェードや LED 電球カバーとして使用して製品化している。

- 従来なかった微妙に変化する光をはなつ。
- Yahoo! shopping で通信販売している。

照明つき地球儀

- ▶ 閉じた地球儀を外側から LED で照明している。



波模様つき: ランプシェード, 電球カバー等

▶ 比較的単純な波模様をつけたものが中心 (人気商品).

ペンダントライト

壁に影をうつす USB ライト

電球カバー



波模様つき: ランプシェード, 電球カバー等 (つづき)

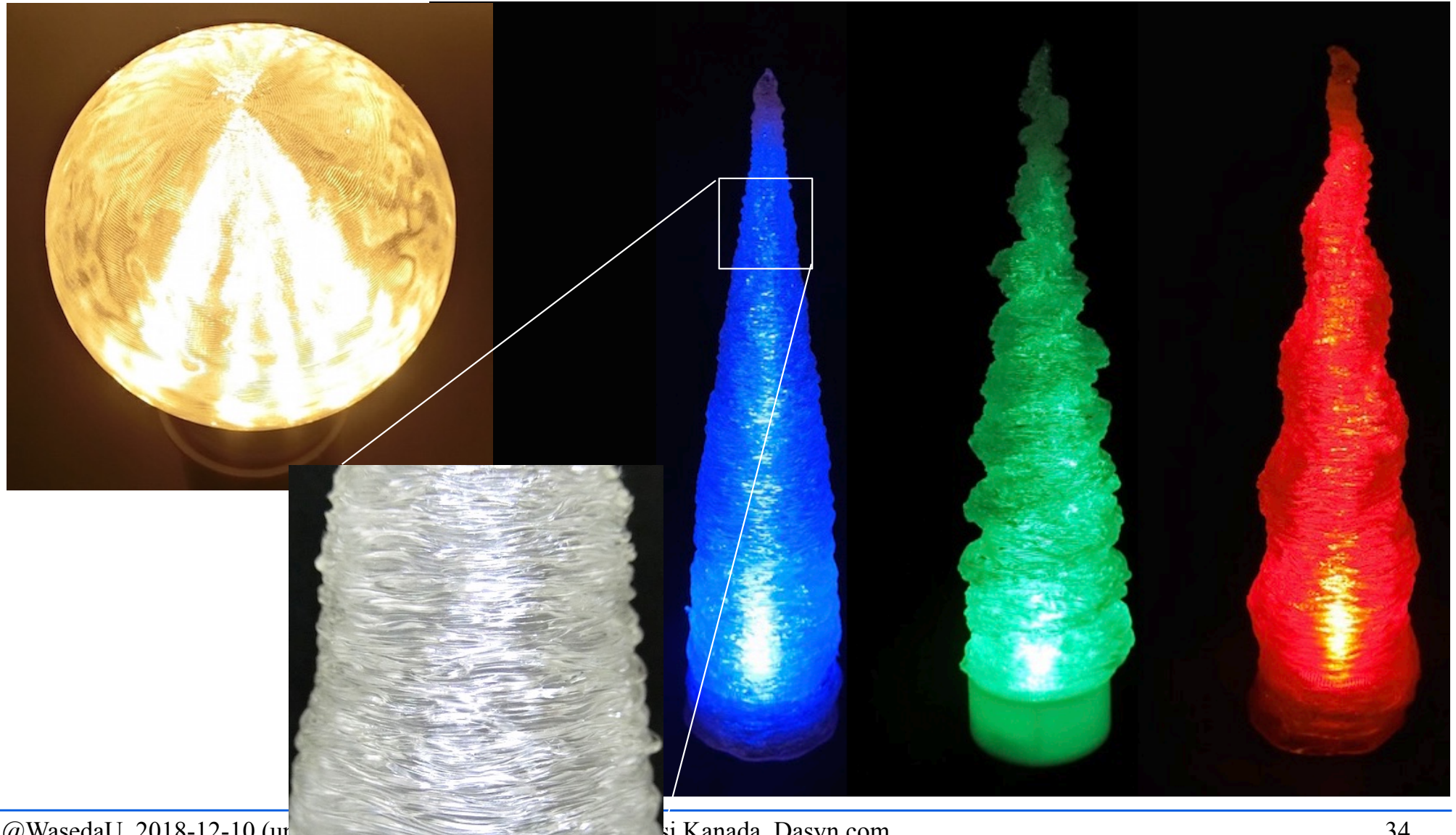
ブレスレット

直径 1~2 cm



ランダムさのあるもの: 電球カバーと乱巻き LED キャンドル

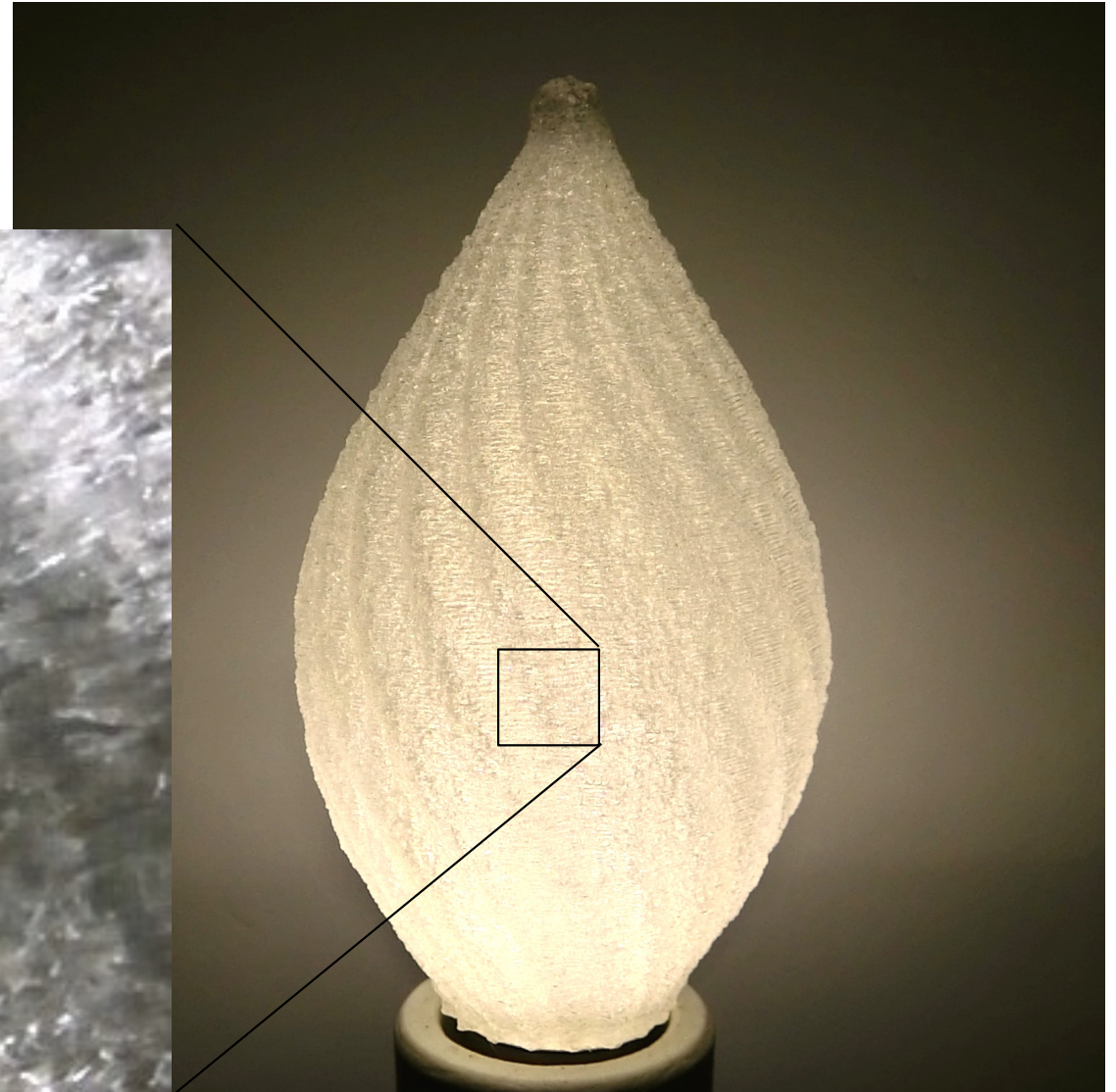
- ▶ 乱数を使用した多数の波を合成して、形状やテクスチャを生成したもの。



和紙風に白化したもの: 電球カバー

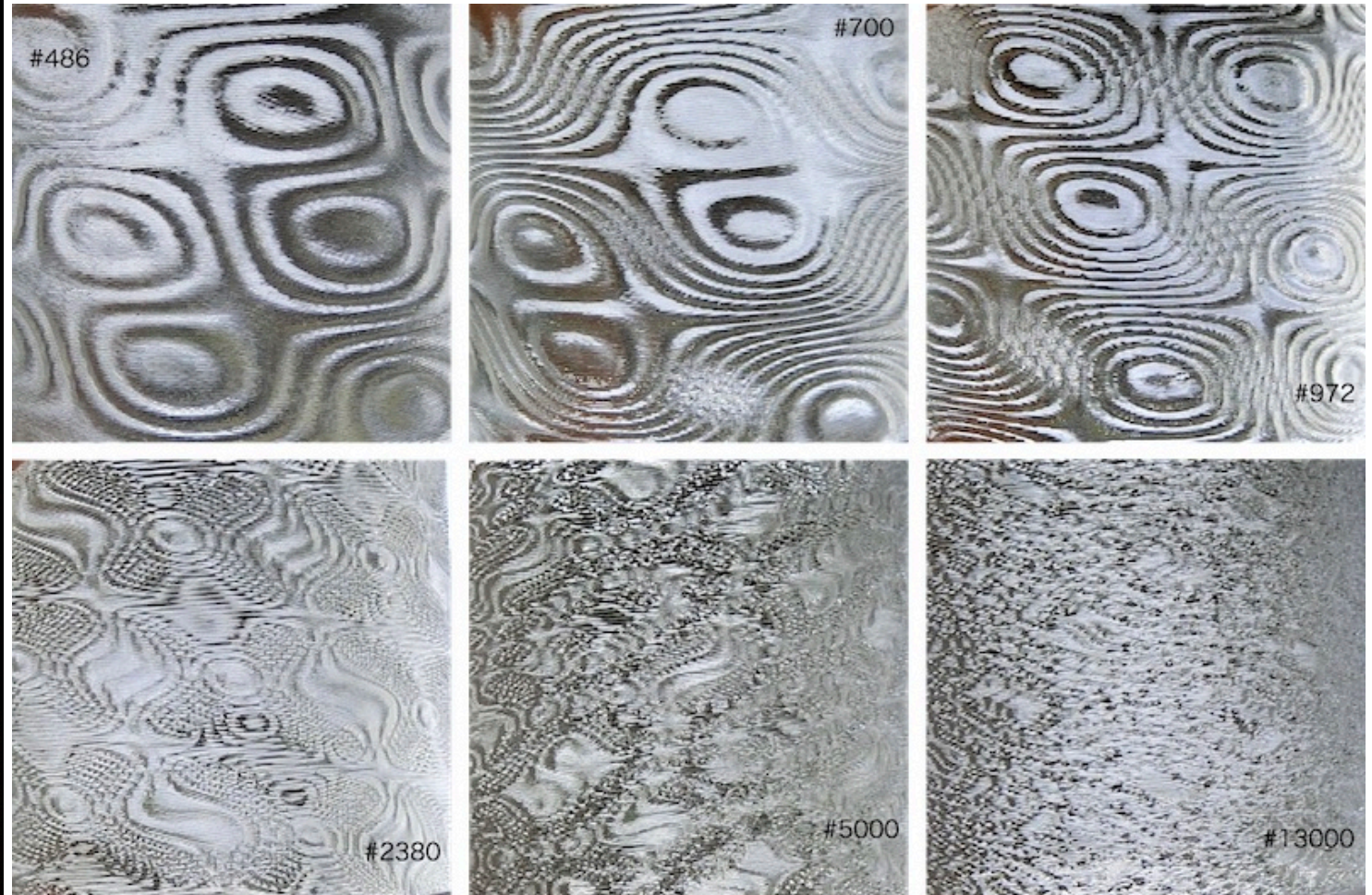
▶ フィラメント射出条件をうまく制御すると透明な PLA から白いものができる。

- 高温でゆっくり射出する。

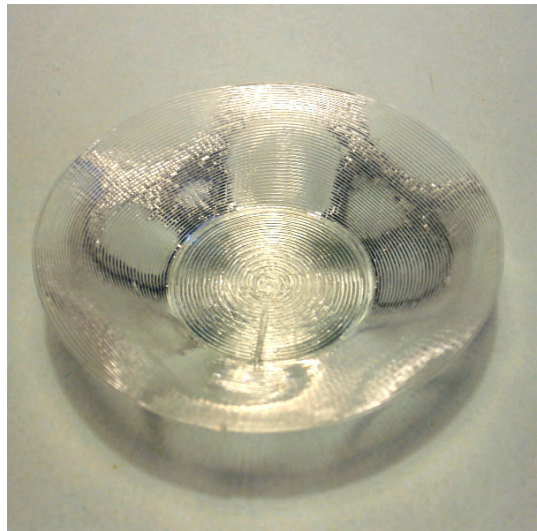


複雑系的なもの: 細密モアレ縞つきキャンドルポット

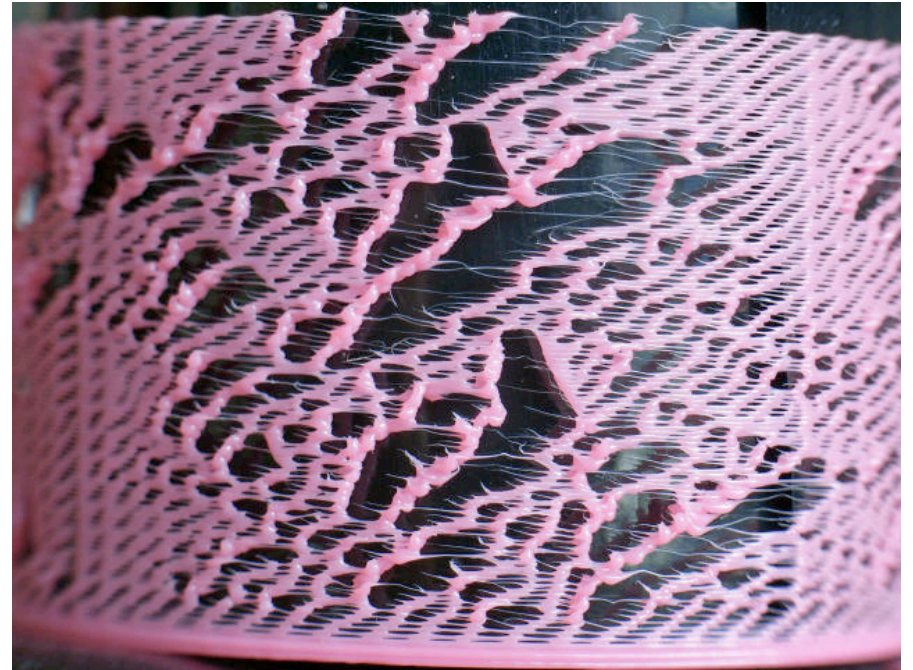
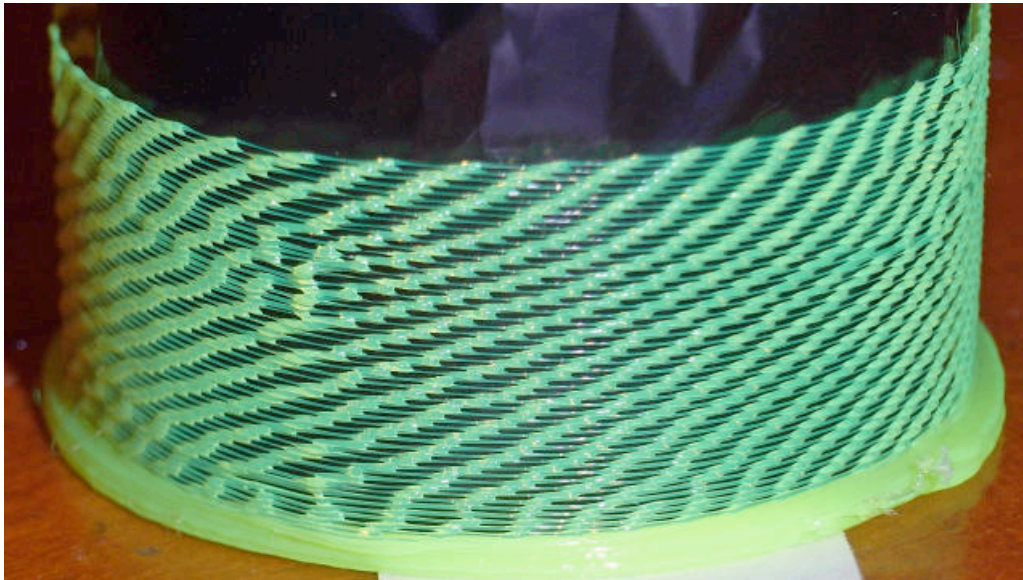
▶ 3つの波のくみあわせで複雑なモアレ縞が生成される。



その他の造形例



その他の造形例 (つづき)

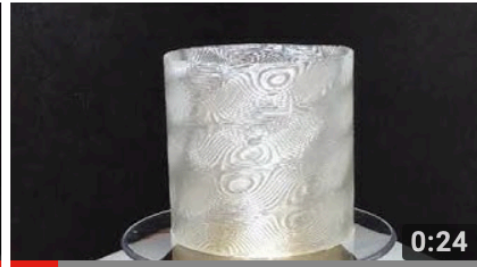


YouTube の動画



A complex moaré pattern # 1190 generated by helical 3...

22 回視聴・6 か月前



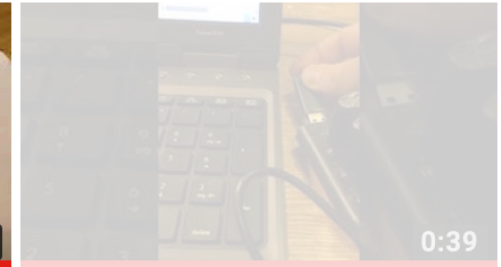
A complex moare pattern #620 generated by helical 3...

30 回視聴・6 か月前



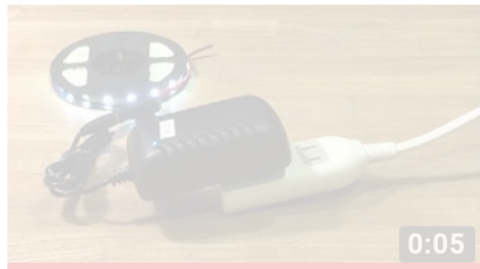
Moiré generated by two 3D-printed disks

106 回視聴・8 か月前



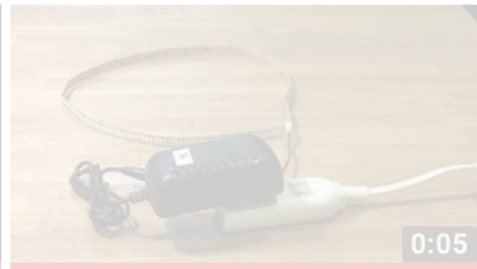
USB power tap -- not hub

8 回視聴・8 か月前



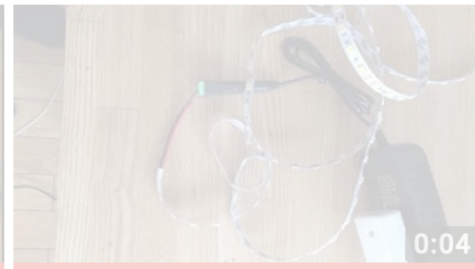
"3-A" power supply that can actually supply less than 2....

5 回視聴・8 か月前



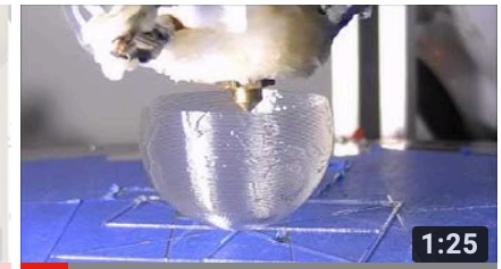
3-A" power supply that can actually supply less than 1....

16 回視聴・8 か月前



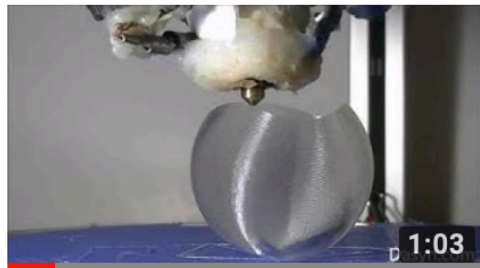
Foolish LED power supply

25 回視聴・9 か月前



Creating a Globe by Helical 3D-printing Method -- Part

202 回視聴・1 年前



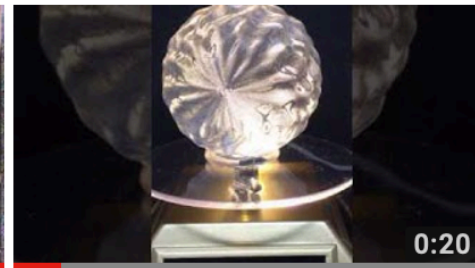
Creating a sphere by swinging helical 3D-printing...

841 回視聴・1 年前



High-pitched sound from a 3D-printed empty ball

85 回視聴・1 年前



Brilliant 3D-printed sphere with random wave -- 2

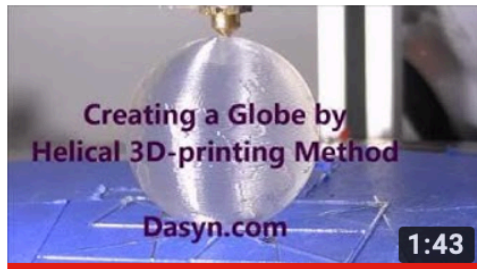
101 回視聴・1 年前



Brilliant 3D-printed sphere with random wave -- 1

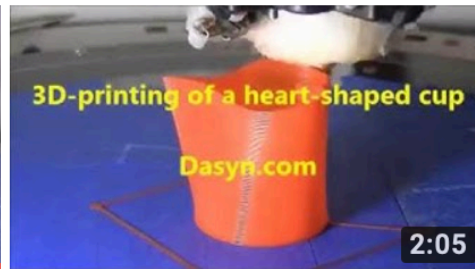
114 回視聴・1 年前

YouTube の動画 (つづき)



Creating a Globe by Helical 3D-printing Method

1731 回視聴・3 年前



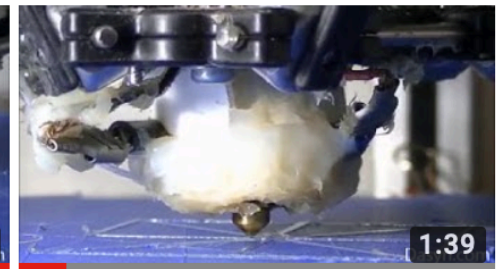
3D-printing of a heart-shaped cup

73 回視聴・3 年前



3D-printing a dish with various heart shapes

99 回視聴・3 年前



Creating a sphere with helical 3D-printing method

4354 回視聴・4 年前



Creating a sphere by swinging helical 3D-printing...

1094 回視聴・4 年前



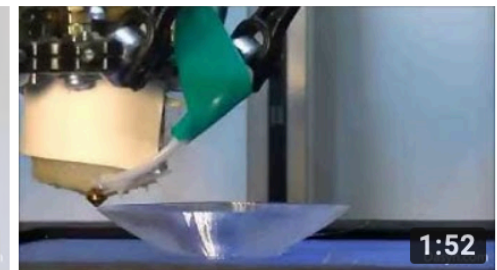
Printing a sphere by helical head motion

284 回視聴・4 年前



"3D turtle graphics" by 3D printers

553 回視聴・4 年前



Printing a dish by helical 3D-printing method

416 回視聴・4 年前



Natural-direction printing of Olympic rings by a 3D printer...

80 回視聴・5 年前

@wasedaU 2018-12-10 (updated)



Natural-direction printing of Olympic rings by a 3D printer

90 回視聴・5 年前



Creating self-organized naturally-fluctuated pattern...

424 回視聴・5 年前

Yasusi Kanada, Dasyn.com