

# 卒業論文

「自作粉末積層 3D プリンタの実践から考察する 3D プリントの展望」

渡辺仁史

慶應義塾大学 環境情報学部

学籍番号 71149935

2014/1/20

指導教員 田中浩也准教授

## 概要

3D プリンタがここ数年で一般の人にも身近なものになりつつある流れは、2009 年の FFF 方式という樹脂の熱溶解積層法の特許が切れ、オープンソース化、低価格化していることが要因であると一般的にされつつある。このような FFF の 5 年間の変遷を踏まえ、2014 年に特許がきれた SLS 方式も FFF 同様オープンソース化、低価格化に加えて、一般化するという仮説のもと、実際に筆者自身以下の実践を通して検証、評価を行う。

- ・ 自作 SLS の作成、オープンソース化
- ・ 自作 SLS による素材の検証
- ・ SLS 特有のコンテンツの探求
- ・ ユーザー実験、アンケートの実施

これらの実践をとおして仮説の真偽について考察し、さらにはその考察を元に SLS の 5 年後の未来の展望について最後に提言する。

## 目次

概要 .....	2
1 はじめに .....	5
1.1 背景 .....	5
1.1.1 3Dプリンタの仕組み .....	5
1.1.2 3Dプリンタにおけるオープンソースの変遷 .....	9
1.2 目的 .....	12
2 関連研究 .....	13
2.1 Open SLS .....	13
2.2 3D Chocolateering .....	14
2.3 Laser Cooking - state of art - .....	15
2.4 Subtractive SLS Fabrication .....	16
3 設計・製作・試作 .....	17
3.1 本体設計 .....	17
3.1.1 ベッドの昇降機構 .....	19
3.1.2 粉詰まり対策 .....	20
3.1.3 トルク増強 .....	21
3.1.4 粉送り機構 .....	22
3.1.5 Arduino によるモーターの制御 .....	23
3.2 スライスツールの設計 .....	24
3.3 SLS 特有のサンプル試作 .....	26
4 実験・評価 .....	30
4.1 使用可能素材の検証 .....	30
4.1.1 砂糖（グラニュー糖） .....	30
4.1.2 ナイロン樹脂 .....	31
4.1.3 高吸水性ポリマー .....	32
4.2 脆さの制御(風化の実験) .....	33
4.3 ユーザー評価 .....	35
4.3.1 ユーザーテスト .....	35
4.3.2 アンケート .....	37
5 考察・展望 .....	39
5.1 自作 SLS の拡張性 .....	39
5.2 考察 .....	40

5.3 展望 .....	41
参考文献 .....	42
謝辞 .....	43
付録 .....	44
【アンケート結果】 .....	44
【Grasshopper スライサースクリプト】 .....	56
【自作 SLS Arduino 制御コード】 .....	57
【自作 SLS 図面】 .....	60

# 1 はじめに

## 1.1 背景

### 1.1.1 3D プリンタの仕組み

本研究では、粉末焼結方式(SLS : Selective Laser Sintering )の 3D プリントを扱うため、3D プリンタの仕組みや、代表的な 3D プリンタの造形方式を背景として取りあげる。

3D プリンタとは積層造形方式(Additive manufacturing)の総称であり、熱溶解積層方式 (FFF : Fused Filament Fabrication) や粉末積層方式などいくつかの方式がある。基本的には STL などの 3D のポリゴンデータの形状を XY 平面でスライスし樹脂などで一層毎に積層していくことで造形していく。STL データとは、3D Systems<sup>1</sup>社が開発した光造形を意味する Stereolithography に由来した三角メッシュからなる三次元形状を表現するファイルフォーマットの一つである[1]。

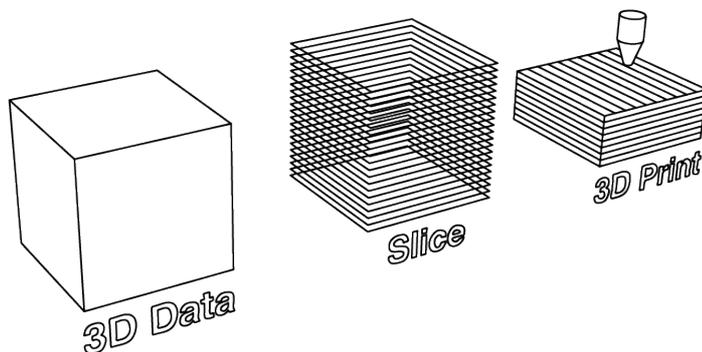


図 1 3D データから 3D プリントまでの流れ

現在 3D プリントで使われている出力方式のうち以下の 3 種類がその大枠である。

1. 光造形方式
2. 粉末積層方式
3. 熱溶解積層方式

<sup>1</sup> <http://www.3dsystems.com/>

【光造形方式：SLA = Stereolithography】

RP（ラピッドプロトタイピング）やSLA(Stereolithography)とも呼ばれる光造形方式は3Dプリントの中でも1980年に最初に誕生した造形方式である。名古屋市工業研究所の小玉英男<sup>2</sup>氏によって開発された光造形方式は、液体樹脂を紫外線で硬化させるものである。液体樹脂が入った槽に紫外線を投影させて硬化した層をつくり、徐々に造形のステージを下げることで三次元の造形を可能にしている。液体樹脂が硬化すると比重が変化するため、造形物が重力で沈んでしまう箇所にはサポート材が付く。

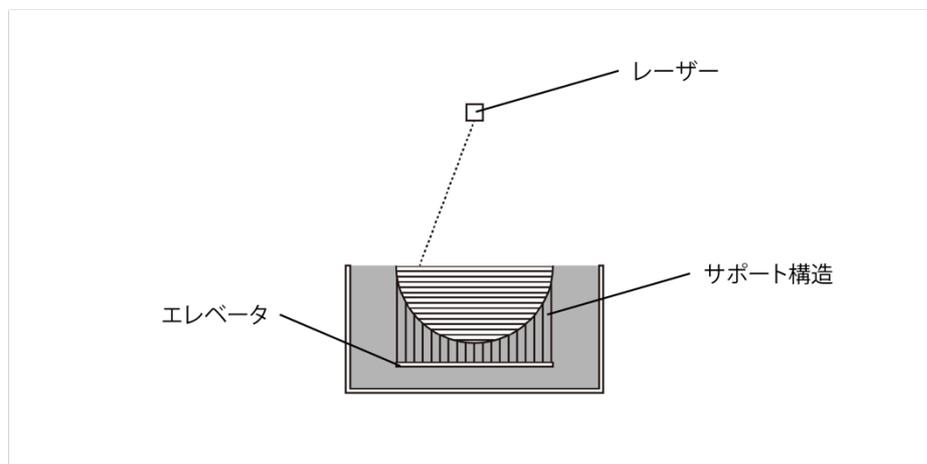


図 2 SLA の仕組み

<sup>2</sup> <http://www.kai-u.jp/staff01.html>

### 【粉末積層方式】

粉末素材の金属や樹脂、石膏などを素材とした造形方式であり、その中でも焼結を利用した SLS 方式 (Selective Laser Sintering) は炭酸ガスレーザーによって素材を焼結させることで粉末素材を硬化させる。比較的比重の軽いナイロン素材などを扱う場合にはサポート材が不要になる特徴がある。粉末積層方式の中でも粉末焼結方式の技術的課題は焼結時に発生する応力である。つまり、レーザーによって熔融状態にあった素材が冷却して再凝固する際に収縮を起こし造形物に歪みが生じるのである。産業用の 3D プリンタではこの課題をクリアするために、造形の環境温度を素材の融点近くまで上昇させている。その大掛かりな設備故に特許(1.1.2 にて後述)が切れる現在まで産業用の大型の SLS しか存在せず、数千万円～数億円のものほとんどであった。

粉末素材の 3D プリンティングの中でも焼結を使わないものは粉末固着積層法といい、石膏などの 3D プリントで利用されている。こちらはレーザーの代わりに結合剤という糊のようなものをインクジェットのヘッドから層ごとに印刷して造形を行う手法である。

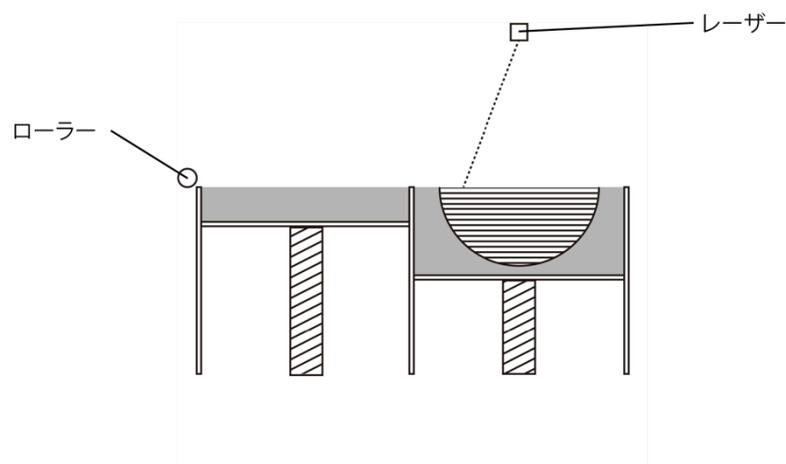


図 3 SLS の仕組み

**【熱溶解積層方式：FFF =Fused Filament Fabrication】**

FFF はリール状の熱可塑性樹脂のスプールを 200℃前後に熱した金属製のノズルから押し出しながら堆積させて造形する方式である。樹脂を押し出すためのモーターと、XYZ 軸の各モーターを組み合わせたシンプルで安価な構造のため、RepRap<sup>3</sup>というオープンソースの FFF の誕生以来、広く個人にも普及しつつある。パーソナルユースの 3D プリンタのほとんどがこの方式を採用している。また、FFF は複数ノズルを用意することで複数素材を扱うことが可能であるなどの拡張性がある。

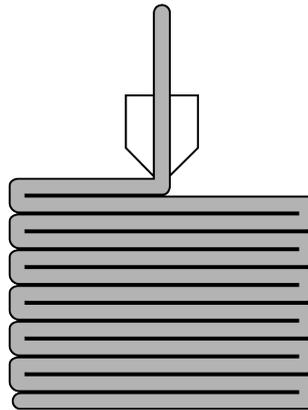


図 4 FFF の仕組み

---

<sup>3</sup> <http://reprap.org/>

### 1.1.2 3Dプリンタにおけるオープンソースの変遷

3Dプリンタの原理自体は先述の通り1980年に名古屋市工業研究所の小玉氏によって開発されたものであるが、その特許はアメリカの3D Systems社Chuck Hull氏によって取られた[2]。

一方で、FFFはStratasys社が1980年後半に開発し、その特許を所有したが、2009年にその特許が切れたため、一気に低価格の3Dプリンタが登場することとなった。特許が切れるまでは3Dプリンタには産業用のものしか無く、価格も数百万円と高価であった。2009年以降のパーソナルユースの3DプリンタはオープンソースのRepRapや、各社低価格3Dプリンタの販売を行っており、現在では数万円での購入が可能となっている。RepRapとはReplicating Rapid-prototyperの略語であり、Adrian Bowyerが2004年に公開したオープンソースの3Dプリンタである。RepRapは本体の50%のパーツを3Dプリンタで複製可能であるので、自己複製能(図3)を持っていることもその特徴の一つである。そのため現在では一般のユーザーが自分の用途にあったRepRap系の3Dプリンタを自作、販売可能にもなっている。日本では、このRepRapベースで設計された3Dプリンタの販売が増え、5万円～30万円の価格帯で販売されている。また、週刊誌による11万円の自作キット<sup>4</sup>の販売なども相まって、主にFFFをベースとしたパーソナル化の文化は広まりつつある。

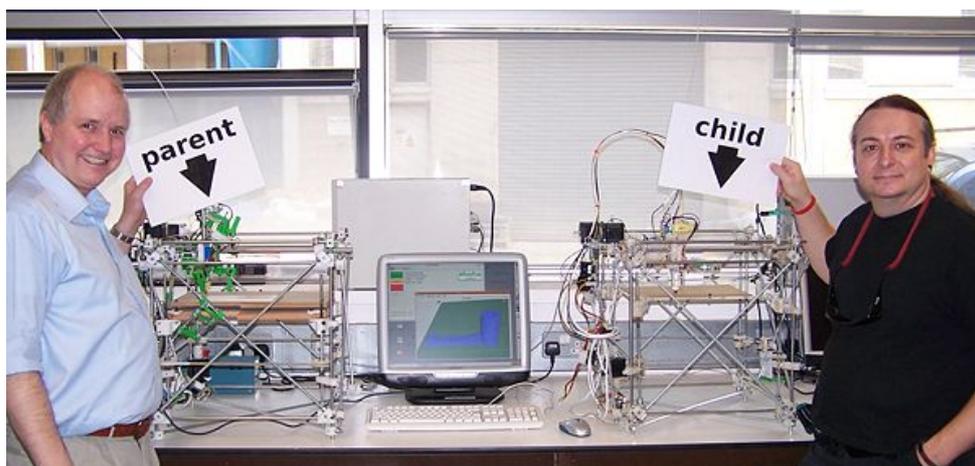


図 5 Adrian Bowyer と自己複製された RepRap

<sup>4</sup> <http://deagostini.jp/site/mtp/pretop/>

FFFの特許が切れた以降には、3Dプリンタの造形に用いる素材においても多様化の動きが見られるようになった。使用可能な熱可塑性樹脂として、ナイロン、PP、Flexフィラメントなど多くの樹脂があらわれ始めている。中でも異素材が配合されたフィラメントにおいては、木粉や金属などが配合されているものや導電性のものなどその種類は多岐にわたる。Color Fabb<sup>5</sup>は、2012年のFlex Filament開発以降、現在までさまざまな特殊フィラメントを販売している。また、樹脂のペレットを素材として専用の機械<sup>6</sup>によってフィラメントを自作する動きも増えてきている(図4)。

現在、FFFの特許が切れてから5年が経つ。5年間でFFFは産業用からパーソナルユースになり、価格も毎年半額に近い価格まで安くなり続けている。RepRapを始めとする本体の自作や、扱える素材の多様化などのムーブメントが発生している。



図 6 noztek のフィラメント生成機

---

<sup>5</sup> <http://colorfabb.com/>

<sup>6</sup> <http://www.noztek.com/>

FFFのパーソナル化が広まる一方で、SLSの特許の期限が2014年2月に終了した。いままでSLSの3Dプリンタは産業用のものしか無く、その価格も数千万円～数億円を越える高価なものがほとんどであった。特許失効以降の今日、既にイギリスのNorge社<sup>7</sup>やスイスのSintratec社<sup>8</sup>はSLSの小型化販売に向けて活動中であり、その価格も数十万円～数百万円に抑えられている。SLSでの小型化やホームユースの流れはFFFのそれに類似している。



図 7 Norge

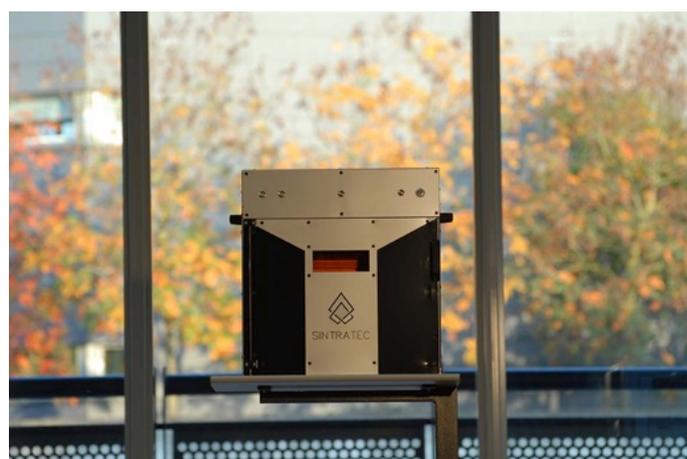


図 8 Sintratec

<sup>7</sup> <http://www.norgesystems.com/>

<sup>8</sup> <http://sintratec.com/>

## 1.2 目的

本研究では、SLSの特許切れから5年後にもFFFと同様の流れが発生すると仮定して、実際に自作のSLSを作成、SLSの素材の検証を行う。

SLSの自作に関しては、既存のSLSをより簡略化し手頃に制作できるようオープンソース化を目標として設計、製作を進める。また、素材の検証ではすでにSLSで利用されている素材に加え、未検証の素材や異素材の混合などを検証し、新規素材の開拓の可能性について言及していく。

最終的にSLSの自作や各種素材検証、ユーザーテスト、アンケートを通して今後発生するであろうパーソナルユースのSLSの課題を先行して考察し、FFFのこれまでの5年間とSLSの今後5年間を比較しながらSLSの未来の展望を提言する。

図 9 FFF、SLS の登場から現在までの年表

FFF		SLS	
		1987	DTMによるSLS法確立と製品化 (後に特許取得)
1989	Stratasys、FFF特許出願		
		1995	EOS、EOSINT販売 (数千円～1億数千円)
1996	Stratasys、Genisys販売 (5万ドル)		
		2001	3D Systems、DTMを買収
		2005	3D Systems、sPro販売 (1億円～)
		2009	FFF特許失効
2011	Makerbot、Replicater発売 (約40万円)		
2012	Color Fabb、Flex Filament販売		
2014	5万円台のFFF、Cubis販売	2014	SLS特許失効 低価格SLSの登場(50万円～)
		2019?	???

## 2 関連研究

関連研究として、既に行われている自作 SLS の研究、SLS の素材の研究を挙げる。

### 2.1 Open SLS

Andreas Bastian による自作の SLS プロジェクトである。素材としてはカンデリアろう(図 11)を検証しており、3D プリントしたろうを元に鋳造を行っている。また、Andreas は RepRap Wiki と GitHub<sup>9</sup>に自身の SLS のハードウェアの図面とエレクトロニクスの図面を公開している。

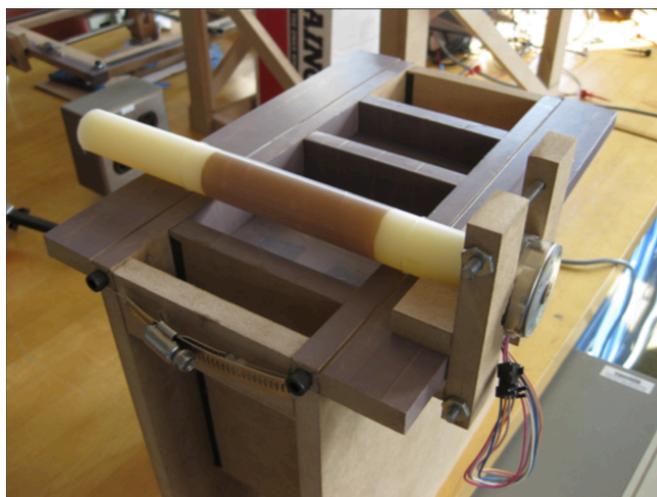


図 10 Andreas による自作 SLS



図 11 カンデリラろうの 3D プリント

<sup>9</sup> <http://reprap.org/wiki/OpenSLS>

## 2.2 3D Chocolateering

カナダの Waterloo 大学のプロジェクト「3D Chocolateering<sup>10</sup>」ではチョコレート自作の SLS 方式の 3D プリンタでプリントしている。レーザー光源には 2W の半導体 レーザー<sup>11</sup>を使用していることが特徴である。また、素材エリアから造形エリアに粉を送る機構が車のワイパーのような機構(図 13)になっており、ひとつのモーターで効率的に粉を送ることが可能である[3]。

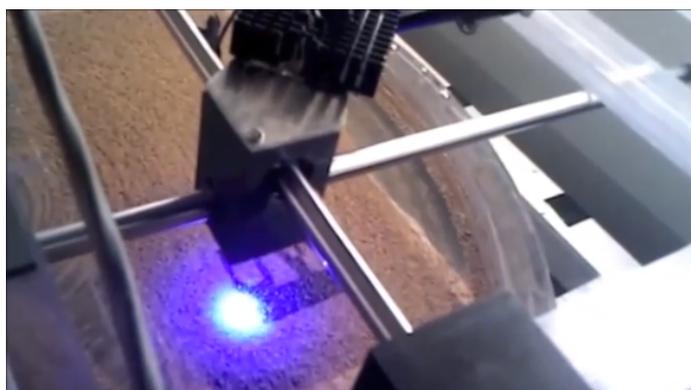


図 12 半導体レーザーによる 3D プrint の様子

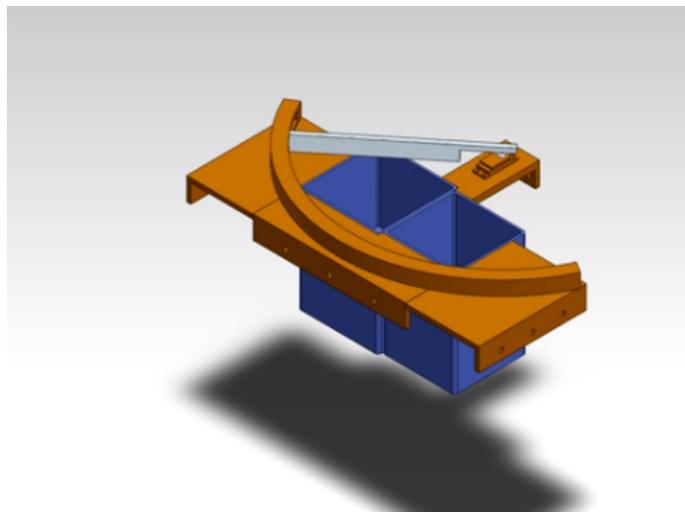


図 13 3D Chocolateering の粉送り機構

<sup>10</sup> <https://chocolateprinter.wordpress.com/>

<sup>11</sup> InGan レーザー

### 2.3 Laser Cooking - state of art --<sup>12</sup>

東京芸術大学情報センターにおいて 2011 年、城 一祐氏は本研究でも行なった CO<sub>2</sub> レーザー加工機による砂糖の焼結実験を行っている。本来二次元加工を行うレーザー加工機の内部で、砂糖の焼結を手作業で繰り返すことで二次元図形の押し出しという形での立体造形を実現した。城氏はこのレーザーによる焼結を SLM(Selective Laser Melting)と称している[4]。

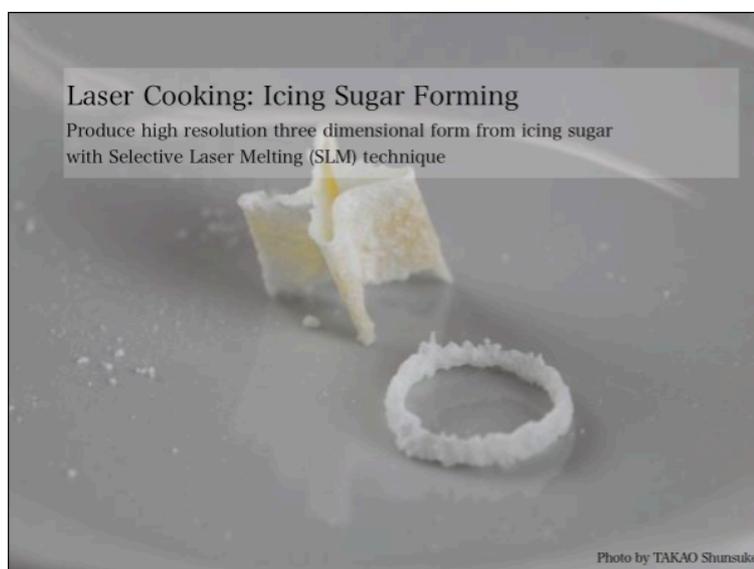


図 14 SLM : Selective Laser Melting

<sup>12</sup> <http://www.sketching11.com/presentations/jokazuhiro-lasercooking.pdf>

## 2.4 Subtractive SLS Fabrication<sup>13</sup>

MIT Media Lab の Yoav Sberman 氏は SLS の素材としてプラスチックのペレットを用いた研究を行った。通常の SLS はその精度を求めため素材の粒度は小さくする傾向にあるが、それゆえにプリントに時間がかかり、コストも高くなる。一方で粒度の大きいペレットを使用しての 3D プリントは一層あたりの厚みを 3mm とし、その造形速度を向上させる。造形方法としては、ペレットには接着剤を混ぜ込み、レーザー加工機で焼結させて造形する手法を用いている [5]。

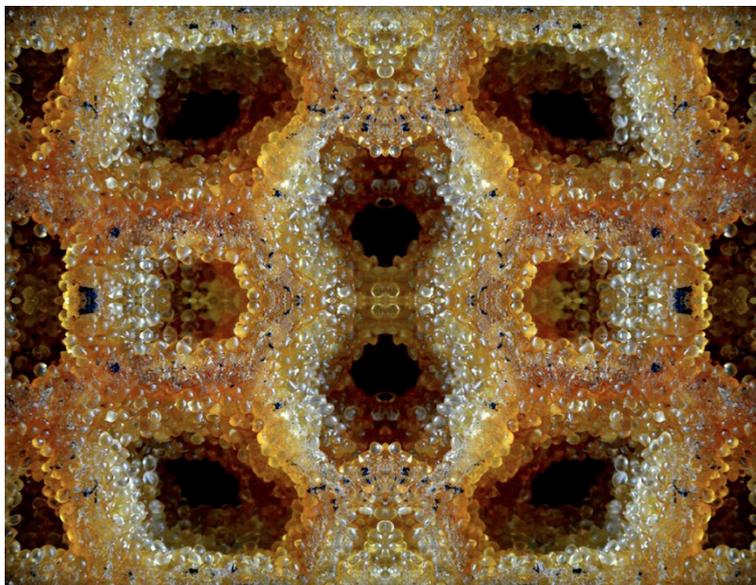


図 15 Subtractive SLS Fabrication

---

<sup>13</sup>Subtractive SLS Fabrication

<http://matter.media.mit.edu/tools/details/subtractive-sls-fabrication#prettyPhoto>

### 3 設計・製作・試作

#### 3.1 本体設計

本体の設計にあたっては、関連研究で述べた **Open SLS** より組立・設計の面から簡略化を試みた[6]。工業用の **SLS** は規模が大きく、その造形サイズも大きいものが多いが、本研究では **OpenSLS** 同様オープンソースにすることや、素材検証を踏まえて、そのサイズを一般的な中型の **CO2** レーザー加工機 (**Epilog Helix 60w**)内に収まるサイズにした(図 16)。設計には主に 3D CAD の **Rhinceros** を用いている。また、**SLS** の使用にあたっての作業のフロー(図 17)を以下に記す。

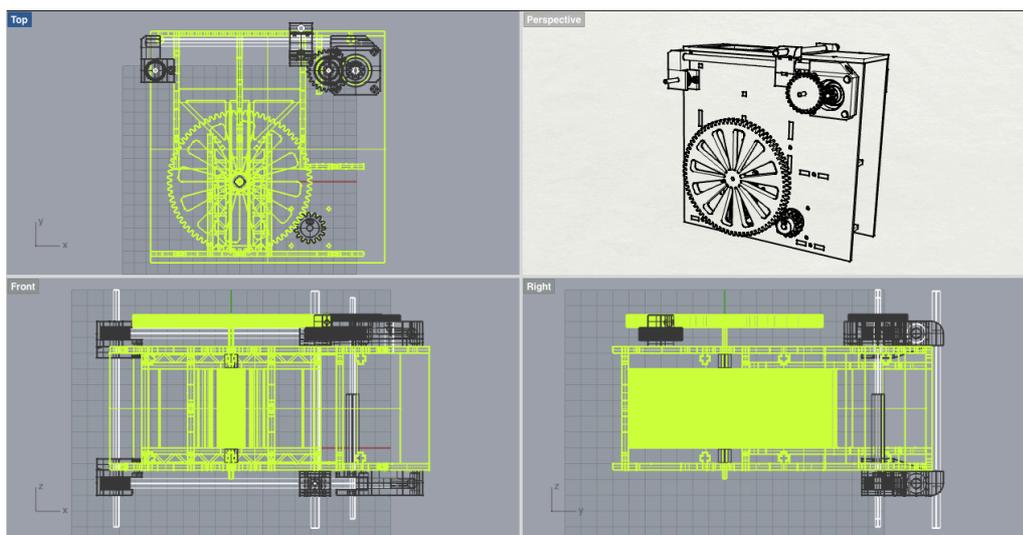


図 16 設計した SLS 全容

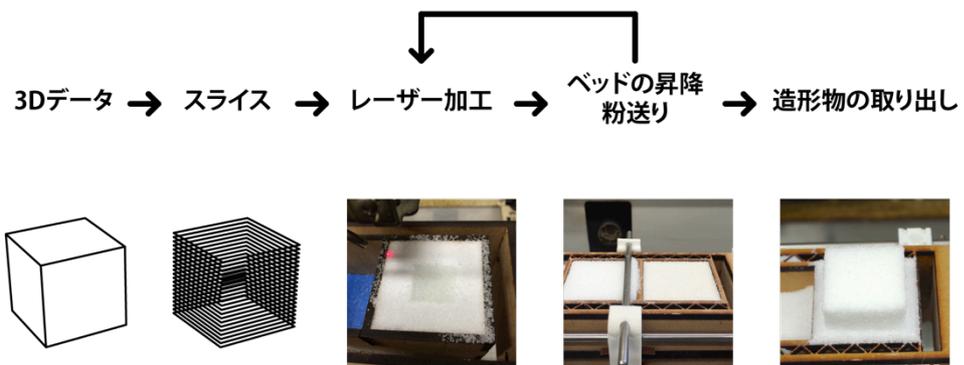


図 17 SLS 作業フロー

設計の参考にした Open SLS より、簡略化を図った構造は以下の 4 点である。

- ・ ベッド昇降機構：ネジ送り機構からラックギア機構に。モーターの数を削減。
- ・ 粉詰まり対策：ネジ送り機構特有の粉詰まりの解消。
- ・ トルク増強：ネジ送り機構特有のトルク不足の解消。
- ・ 粉送り機構：両サイドのプーリーベルトの動作を一つのモーターで実現。

それぞれについて以下にその詳細を記す。

### 3.1.1 ベッドの昇降機構

通常の SLS や FFF はネジ送り機構を用いることが多い。SLS の場合は素材エリアと造形エリアのふたつの空間があり、素材エリアの台座が積層ピッチ分上昇し、上にはみ出した粉をローラーなどで造形エリアに均すことで材料供給している。ネジ送り機構はモーターの動作に対して台座の送り幅が小さいため、精密な昇降の制御がし易いというメリットがある。しかし、本研究では更なる機構の簡略化のためにラックギアを採用した。台座の下に伸びる向かい合わせのラックの間にあるギアを回転させることで左右のラックがそれぞれ反対方向に昇降することが可能である。ラックギアの採用により、ネジ送り機構では左右にひとつずつ必要であったモーターが合わせて一つで同様の機能を得ることができた。また、ラックギアを採用しつつも台座の昇降をネジ送り機構に近い精度で動作させるために大きさの異なるふたつギアを組み合わせている。

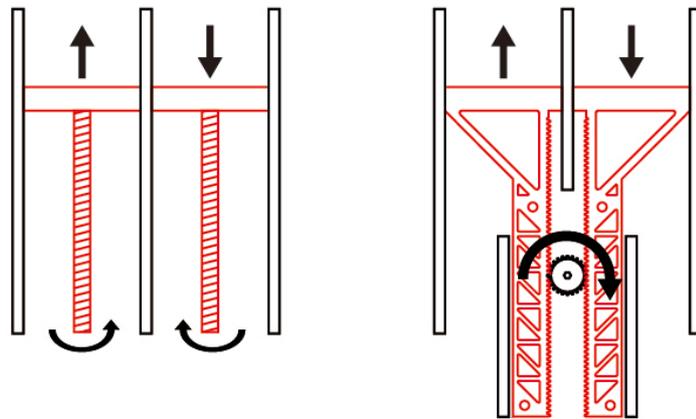


図 18 SLS におけるネジ送り機構（左）とラックギア機構（右）

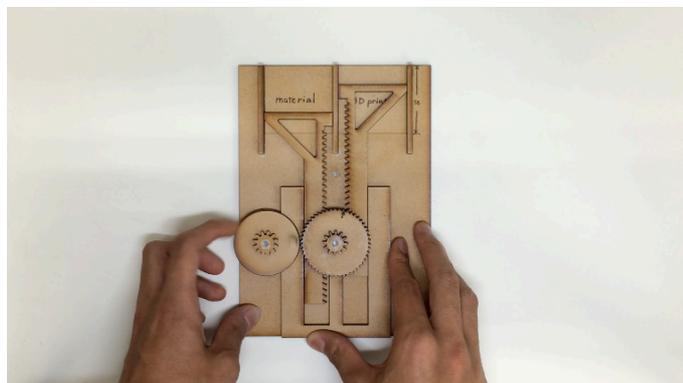


図 19 二次元のプロトタイプ模型

### 3.1.2 粉詰まり対策

自作 SLS 製作において、ファーストプロトタイプで一番問題であったのが粉の漏れと、それによって台座の隙間で発生する詰まりであった。粉は、台座と壁の隙間が大きすぎると隙間から抜け落ちてしまう。逆に、隙間がきつすぎると台座と壁の摩擦が大きくなってしまい台座が昇降しなくなる。また、台座の隙間と粉末の粒度によってはその隙間に挟まってしまうことや、ギアに粉が詰まることでも台座が動作しなくなることがしばしばであった。そのため、当初は台座の下は全てラックギアであったところを 80%削減し、さらには台座の表面にスポンジを貼ることで、通常の台座の動作に支障をきたさない範囲で粉漏れと詰まりが解消された。

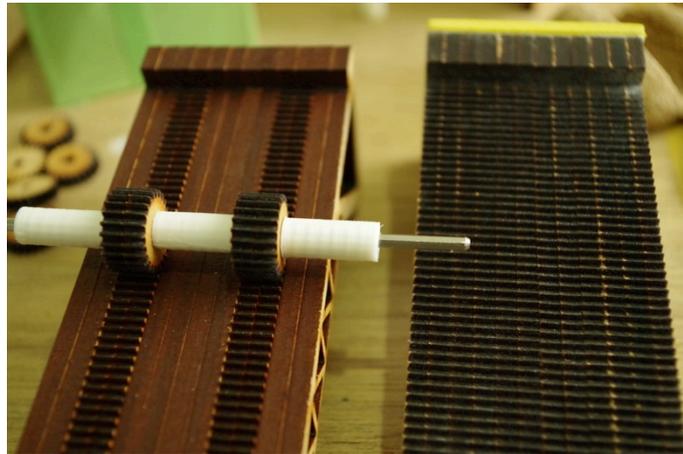


図 20 ラックの削減の写真

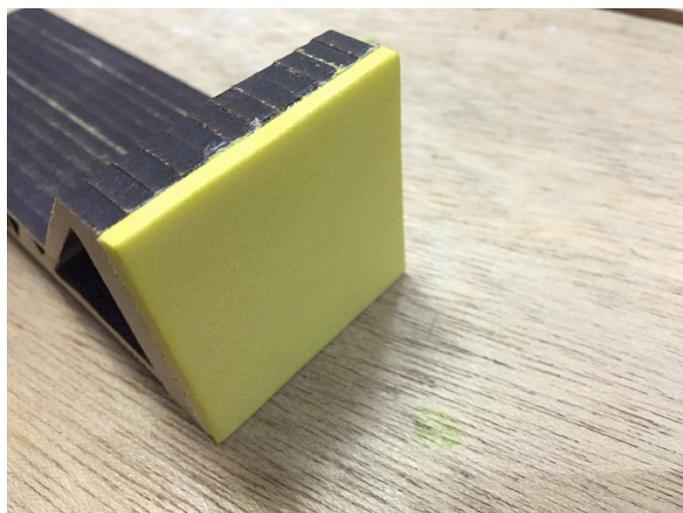


図 21 台座のスポンジの写真

### 3.1.3 トルク増強

本研究のラックギア機構では一つのモーターで二つのベッドの昇降を行うため、かなり大きなトルクが必要になる。初期のプロトタイプではラックに咬むギアのシャフトにモーターを直結しての動作であったが、先述の粉詰まりによる摩擦の増大などの影響でトルクが足りず、動かなくなることが多くあった。その為、改良版では大小二つのギアを間に設けることでふたつのラックに咬むギアのトルクの増強を実現した。また、この大小のギアによる回転角の変換を行なうことで、積層のピッチをより細かく制御可能になった。



図 22 モーター直結型 (左)、ギアによるトルク増強後 (右)

### 3.1.4 粉送り機構

粉を送る機構は、素材エリアから造形エリアまで積層ピッチ分の粉末素材を移動させるための機構である。産業用の3Dプリンタではローラーを使って粉を押し出すが、本研究では造形エリアの上10mmほどにレーザー加工機のヘッドがあるため、5mmの金属シャフトで代用している。

粉送りのプロセスも産業用の3Dプリンタとは異なるものにした。通常は粉送りのバーは素材エリアにあり、レーザー加工後の動作が（台座の昇降→粉送りバーの往復）という手順を踏む。しかし、このプロセスの場合バーが粉を送った後に定位置に戻る際に均した粉の表面上を再びバーが通るため粉の表面が汚くなる。そのため、本研究ではバーの定位置を造形エリア側に設定し(図23)で示したプロセスで粉を送る仕様とした。また、粉送り用のモーターはギアを用いてひとつのモーターで両側の機構を動かしている。

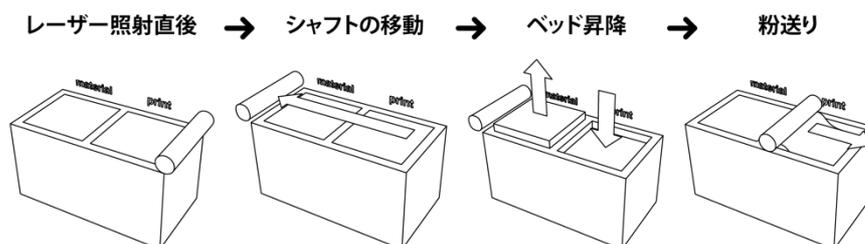


図 23 粉送りのプロセス

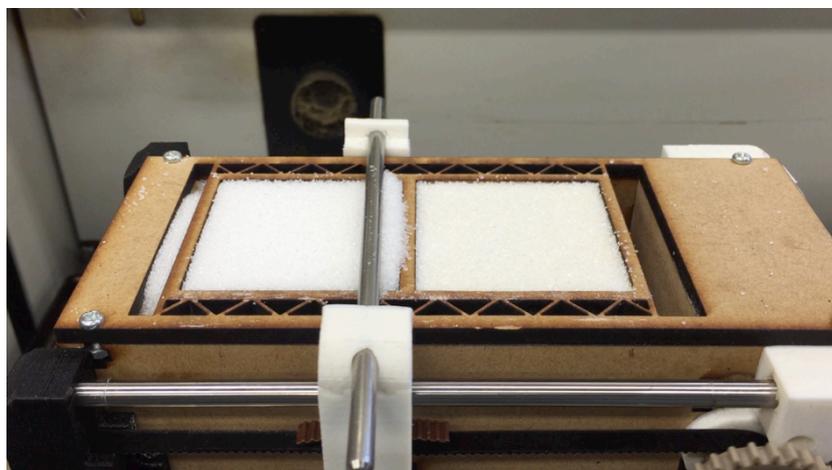


図 24 粉送り機構

### 3.1.5 Arduino によるモーターの制御

本研究の自作 SLS において、ふたつのステッピングモーターの制御に Arduino<sup>14</sup>を用いている。ひとつは台座の昇降用モーター(main gear)、もうひとつは粉送り用のモーター(side gear)である。実際の SLS のオペレーションは 4 つのタクトスイッチで行う。

1. 台座昇降+粉送り

通常のレーザー加工後のプロセス。Arduino に書き込まれた積層ピッチで台座を昇降し、粉を送る。

2. 台座昇降の巻き戻し

造形終了時など 10mm 単位で台座の昇降を巻き戻す。

3. 台座昇降のみ

Arduino に書き込まれた積層ピッチで台座の昇降プロセスのみを繰り返す。粉を補充する際の台座の位置調整などにも使用する。

4. 粉送りのみ

粉送りのバーを素材エリア⇔造形エリア間で移動させる。

実際の Arduino のコードは付録に記載する。

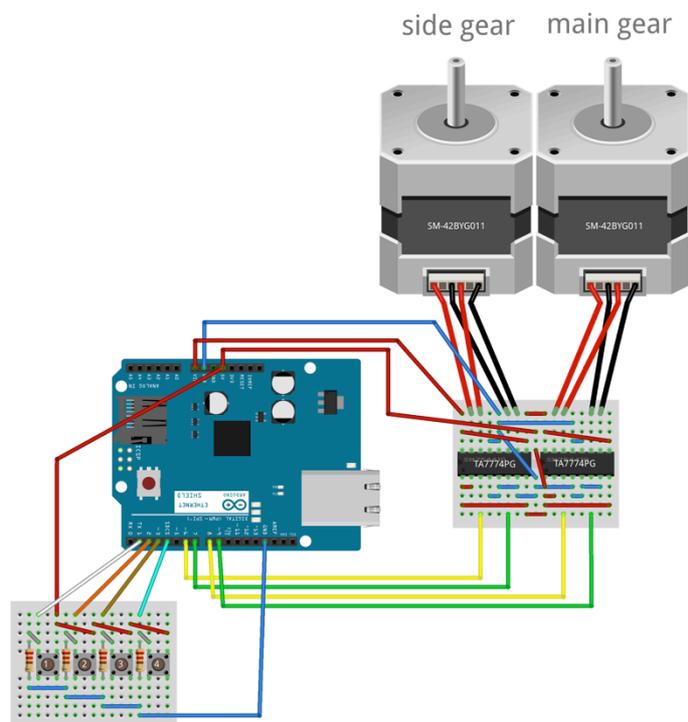


図 25 Arduino 回路図

<sup>14</sup> <http://www.arduino.cc/>

### 3.2 スライスツールの設計

3D プリントでは 3D のデータから積層造形可能なデータに変換するスライスの工程が必要である。FFF などではもともと CNC などの制御コードである G コードによる制御が一般的であるが、本研究では xy 軸制御はレーザー加工機に依存するため専用のデータを用意する。レーザー加工機に必要なデータは二次元のベクター画像 (SVG、DXF、AI など) であるため、3D CAD Rhinoceros のプラグインである Grasshopper<sup>15</sup>を用いて STL ファイルからベクター画像に変換するスライサーを設計した。Grasshopper はコンポーネント同士を線で繋いで操作する CAD であり、パラメトリックなモデリングを可能とする(図 26)。

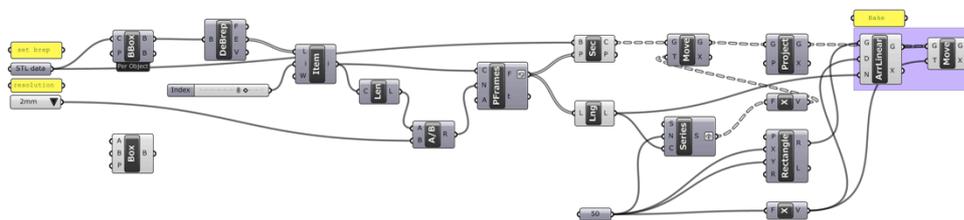


図 26 Grasshopper キャプチャ画面

拡大版は付録に記載

スライサーを利用する際は、造形可能な範囲の 50mm 立方角の赤い範囲(図 27)の中に任意の STL データを配置して利用する。Grasshopper 側ではその STL データを読み込んで積層ピッチを選択するとスライスされた画像が書き出されるので、それをベクター画像の形式で保存しレーザー加工機にかける為のデータ(図 28)とする。



図 27 スライス前(左)とスライス後(右)

<sup>15</sup> <http://www.grasshopper3d.com/>

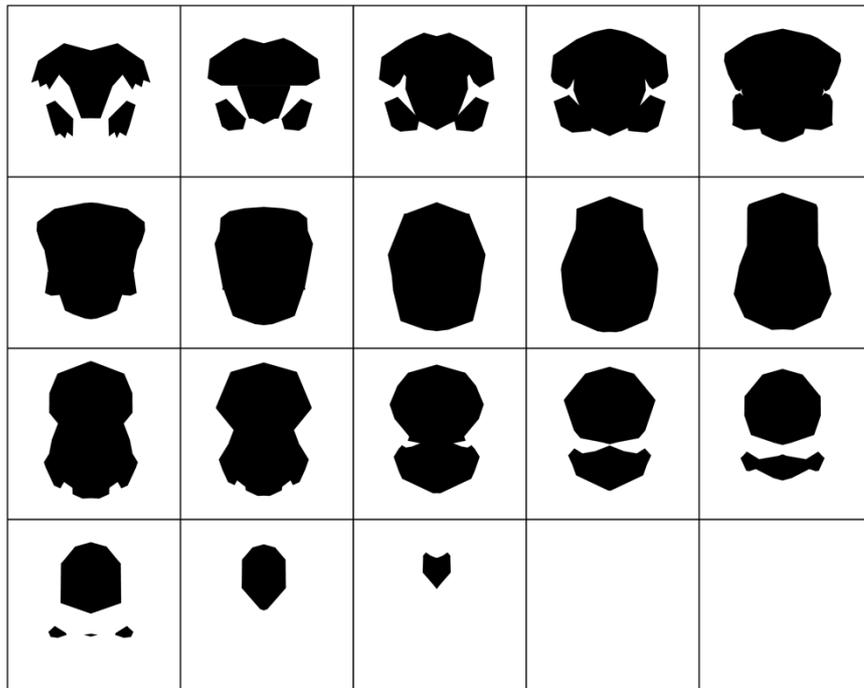


図 28 スライスした二次元画像

### 3.3 SLS 特有のサンプル試作

- 発掘

粉末造形の 3D プリントでは造形物を造形エリアから掘り出す発掘のような作業工程がある。通常この工程は機械をオペレーションする者しかできないのであるが、この発掘作業まで含めて一つの体験として 3D プリントする方法を検証してみた。発掘作業は周りの造形されていない素材まで含めて取り出す必要があるため箱のようなもので造形物を覆わなければならない。しかし SLS の構造上、装置の内側に最大造形サイズの箱を組み込んでしまうと造形が困難になるため新たに箱を組み込むことはできない。そこで、造形物を覆う箱も同じ素材で 3D プリントして造形するという手法を用いた。データは、造形エリアより一回り小さいボックスを用意しその内側に実際にプリントしたい 3D データを配置する。実際に造形した直後は造形サイズいっぱいの 3D Print Box(図 30)が出現する。外側を崩して内側の未加工の粉末をかき分けると 3D プリントされた造形物を取り出すことが可能である(図 31)。

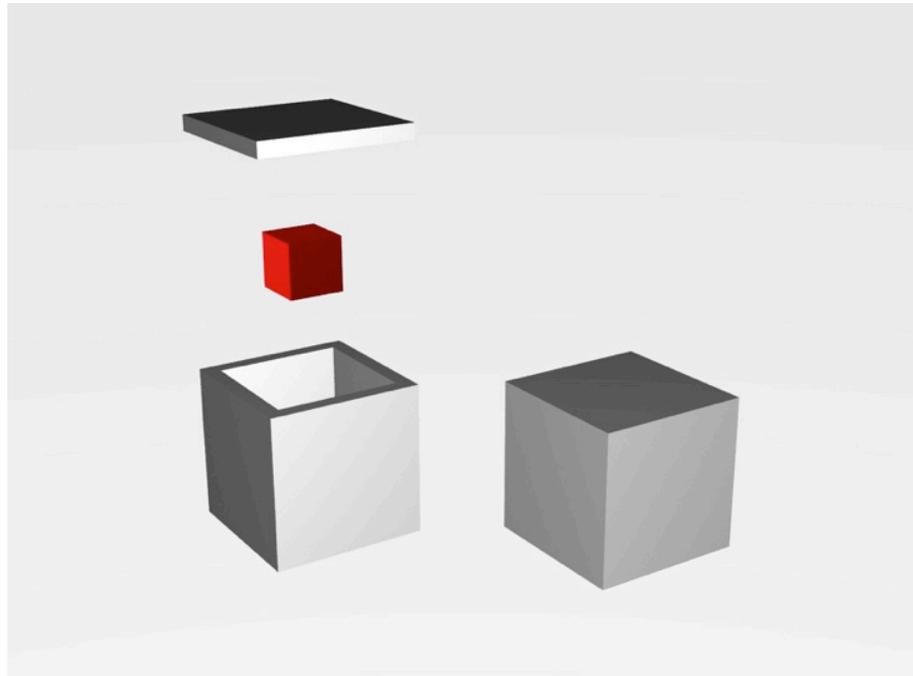


図 29 SLS による発掘体験のイメージ図

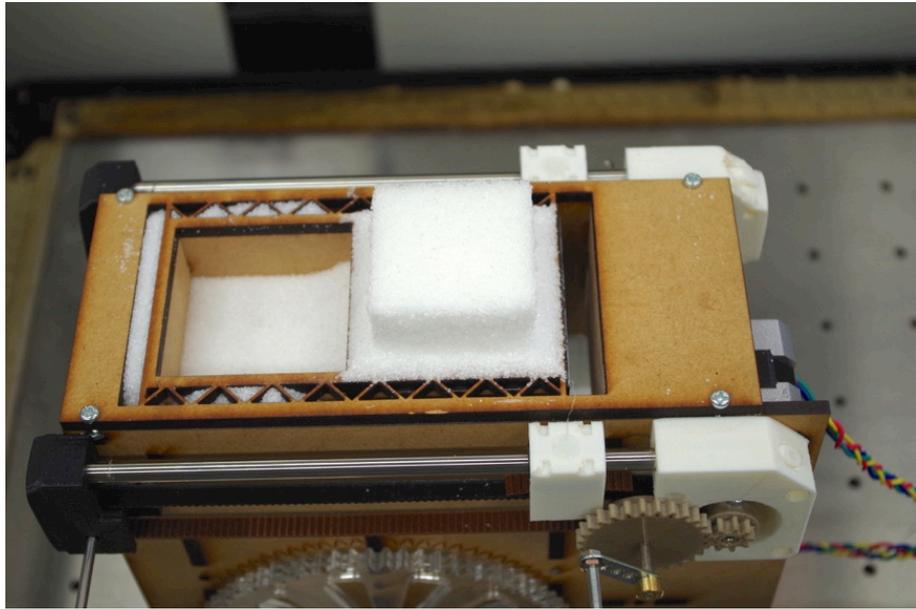


図 30 造形直後の 3D Print Box



図 31 発掘作業で中から出現した造形物

- ・ インサート造形

粉末素材の混合という点で、砂糖のサンプルでは食用色素の混合実験を一番初めに行なった。このときはグラニュー糖 3g に対して粉末色素 0.1g 未満と混合率が低かったため、綺麗に造形できた。しかし、熱によって融解しない素材の混合は発火などの危険があるため一定割合以上の混合は難しい。しかし、3D プリントしている造形物の中に素材の粉末を閉じ込めてしまえば、混合こそしないものの大量の異素材を造形物に含有させることが可能である。

この検証では、砂糖の 3D プリントの内側に砂糖を含まない純粋なココアパウダーを込めたココアキューブを作成した。30mm 立方、厚み 4mm の砂糖の箱の 3D プリントは上部の造形の直前で一度造形を中断し、内側に満たされた砂糖を取り除く。砂糖を取り除いた空間にココアパウダーを満たし、造形を再開することでココアパウダーを内包した砂糖の 3D プリントが完成した。

実際に、ホットミルクにココアキューブを投入すると砂糖のシェルが溶け、空気を多く含んだココアの固まりがミルクの表面に現れた。それをティースプーンで溶かしてしまえば、あとは普通のココアと同じものとなった(図○)。

今回の検証では粉末の異素材を中に内包したが、造形物の内側へのインサート自体は隙間を素材で充填すれば液、体以外のほとんどのものが造形可能だ。

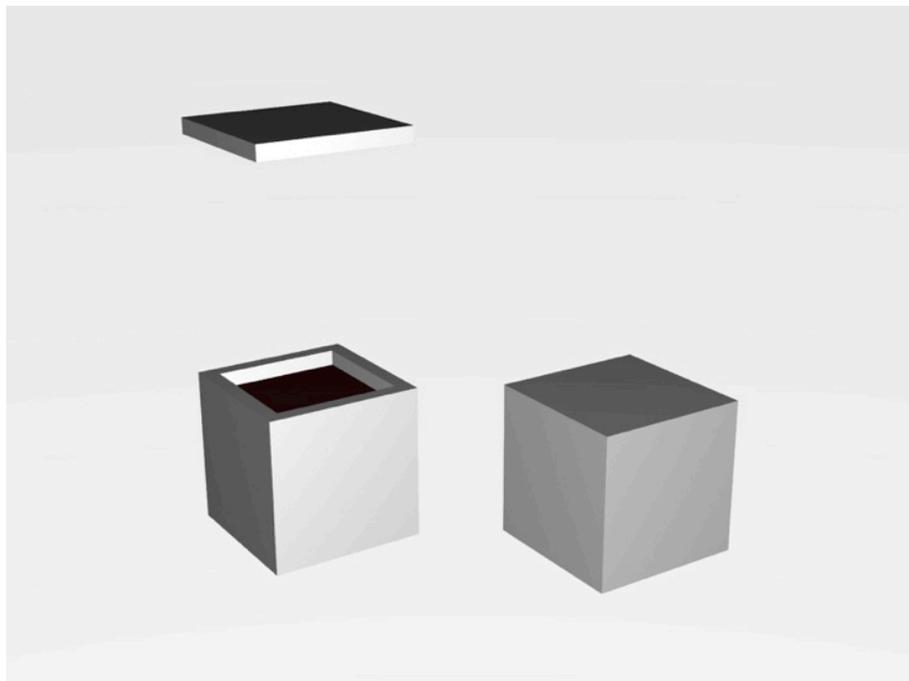


図 32 SLS による異素材のインサートイメージ図

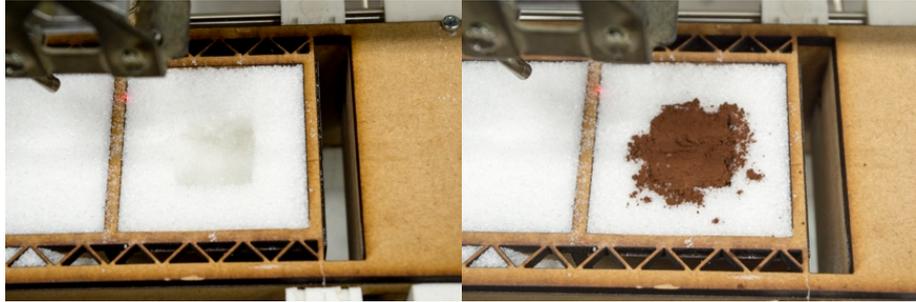


図 33 造形途中で砂糖を除いた空間にココアパウダーを詰める



図 34 造形直後のココアキューブ



図 35 ホットミルクにココアキューブを溶かす

## 4 実験・評価

本章では、製作した SLS による使用可能素材の検証と砂糖によるサンプル出力のユーザー評価を行う。

### 4.1 使用可能素材の検証

SLS による積層可能な粉末素材は CO2 レーザーによって溶解し焼結する粉末に限られる。以下の 5 つの素材に関して単層におけるレーザー加工を行った。単層での結果が好ましいものに関しては実際に複層で加工を施し 3D プリントを行なった。なお、使用したレーザー加工機は Epilog mini (60W) である。

#### 4.1.1 砂糖 (グラニュー糖)

砂糖は融点が 170°C 前後である。レーザーで加熱することで砂糖は溶け、焼結可能である。単層でのレーザー彫刻の結果は以下のとおりである。焼結してできた層が安定するものは Power 15% Speed 10% である。また、単層で安定したパラメータによる複層の 3D プリントに関しても安定した結果が得られた。

Power	20	15	10	5
Speed	10	10	10	10
Thickness	2mm	2mm	2mm	-
	焦げ、収縮	安定、無変色	脆い	固まらず



図 36 砂糖の検証結果 (左から power 20 15 10 5) と 3D プリントサンプル

#### 4.1.2 ナイロン樹脂

常用耐熱温度が 80℃～140℃<sup>16</sup>であるが、その融点は 176℃～265℃までと幅がある。本検証では実際に 3D プリント用のナイロン樹脂粉末を入手し、素材の検証を行った。単層における検証ではある程度の強度を持った層が造形できた。レーザーの出力が強すぎると収縮による反りや変色が現れるものの、適正なパラメータによる加工では単層による反りや変色のない加工ができた。しかし、複数層で実際に 3D プリントをすると各層同士が焼結により癒着せず、ミルフィーユのように層ごとに分かれた状態の構造物が出力された。これは、実際のナイロン樹脂を素材とする 3D プリントと本研究における 3D プリントの造形環境の違いに原因がある。実際のナイロン樹脂の 3D プリントでは造形空間が燃焼や酸化を防止するために窒素で満たされており、さらにナイロン樹脂の融点に近い 170℃に環境温度が保たれている。こうした環境の違いがあるため、常温の環境下での実験では複数層の造形ができなかったと思われる{7}。

Power	8	10	15	20
Speed	40	40	40	40
Thickness	0.19mm	0.29mm	0.45mm	0.55mm
	脆い	安定、反り変 色無し	反り、変色	反り、変色

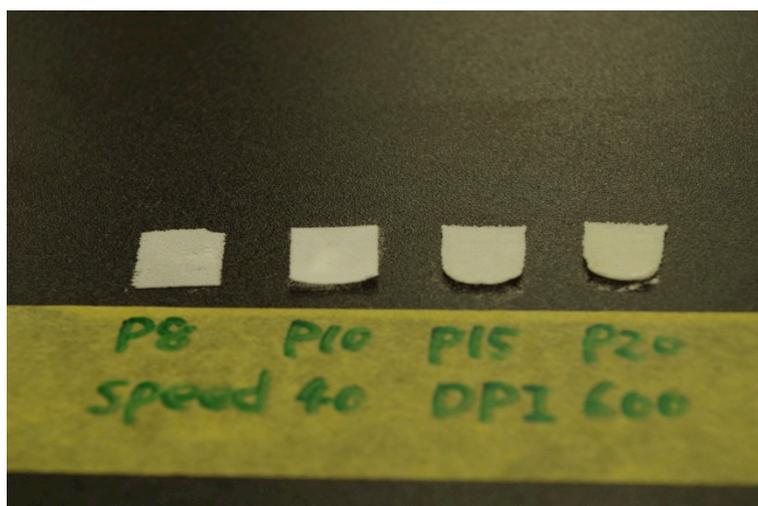


図 37 ナイロン粉末検証

<sup>16</sup> [http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla\\_propertylist01.pdf](http://www.kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla_propertylist01.pdf)

#### 4.1.3 高吸水性ポリマー

高吸水性ポリマーは紙おむつや鉢植えなどの水分を吸収する目的で用いられる粉末である。この性質を利用し、3D プリントした造形物を水に入れると膨張する素材としての活用を考え実験を行った。しかし、レーザーの加工を行うとそのほとんどに焦げが見受けられ、造形物の焦げの有無に関わらず持ち上げると崩れてしまうほど脆いものであった。崩れないように取り上げ、水を含ませてみたところ、原型を留めず、未加工の粉末同様ゼリー状になった。

Power	25	10	10
Speed	10	10	15
Thickness	-	-	-
	焦げ、脆い	焦げ、脆い	脆い



図 38 左下(p25s10)、上(p10s10)、右下(p10s15)と、水を含ませた状態

#### 4.2 脆さの制御(風化の実験)

SLSはレーザーの照射の具合を変えることで、同サイズのプリントにおいてより硬い造形、より脆い造形などの具合を変えることが可能だ。それはつまり、自然界における風化の時間の意図的な制御が可能であることを意味する。本実験ではレーザー照射の解像度(dpi)を変えて造形した同サイズの砂糖のプリント1層(15mm\*15mm)の風化の様子を比較した。この場合の解像度は、レーザー照射の密度を示すため、造形物の脆さとdpiの相関として調べる事が可能である。解像度は150dpi~1200dpiまでのあいだで6種類用意し、3日間に渡って深夜帯(1:00-7:00)を除く時間におよそ1時間周期で霧吹きを用いて満遍なく水を与えた。なお、150dpiのもののみ造形直後に持ち上げる際にすでに崩れたため、霧吹きによる実験は300dpi-1200dpiの範囲で5種類のパラメータのもので行っている(次ページ図)。

結果としてレーザー照射の密度の粗なものはよい脆く崩れやすく、さらには溶けやすい性質を持ち合わせ、その密度の高いものは崩れにくく溶けにくい性質が確認できた。

レーザー条件

Epilog 60w Power : 15 Speed : 10

dpi : (150) 200 300 400 600 1200

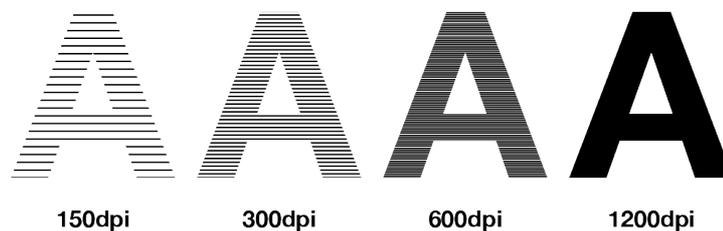


図 39 dpiの違いによるレーザー照射密度のイメージ



図 40 レーザー照射後の造形物

1200 600 400  
300 200 150(dpi)

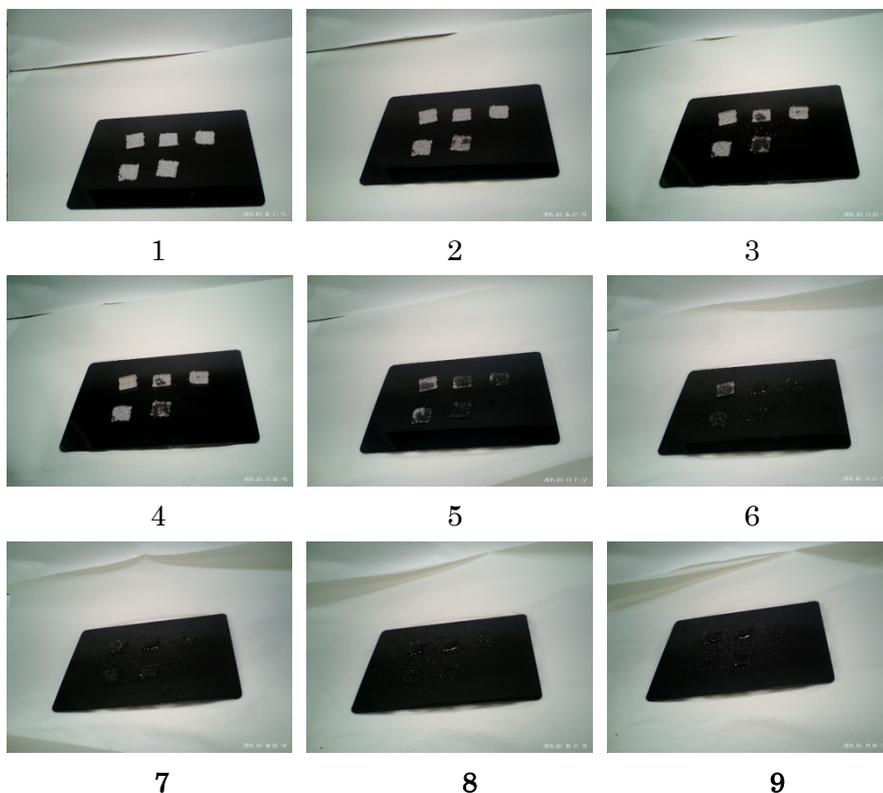


図 41 霧吹きによる水の付与の変遷

### 4.3 ユーザー評価

ユーザー評価にあたっては、自作 SLS を利用して実際に異素材混合の砂糖菓子を作成する体験を行ってもらった。対象の人物は 2 パターンを設定し、一方は既に FFF などの 3D プリンタの使用経験豊富な人物、もう一方は 3D プリント未経験者を設定し、体験後にそれぞれヒアリングを行った。

#### 4.3.1 ユーザーテスト

2015 年 1/16-1/18 の間に延べ 3 名に本研究で作成した SLS を使って任意の 3D データから砂糖の 3D プリントを行ってもらい、その結果を踏まえたユーザビリティ評価とヒアリングを行った。ヒアリング内容に関しては、①SLS を体験して感じた使い勝手や感想、②SLS のパーソナル化の未来のふたつをテーマにして行なった。

#### A 20 代男性 3D プリント経験有り

- ① 造形サイズが小さい。1 層毎のジョブの送信が手間である。
- ② CO2 レーザーを扱うので一般化は危ない。何を作ってもよいか分からない。FFF のサポート除去より後処理は楽であるが、そもそもの工程が多い。いわゆる家電レベルの小型化、操作性が必要である。研究室や FabLab などのものづくりに特化した空間であれば使う。

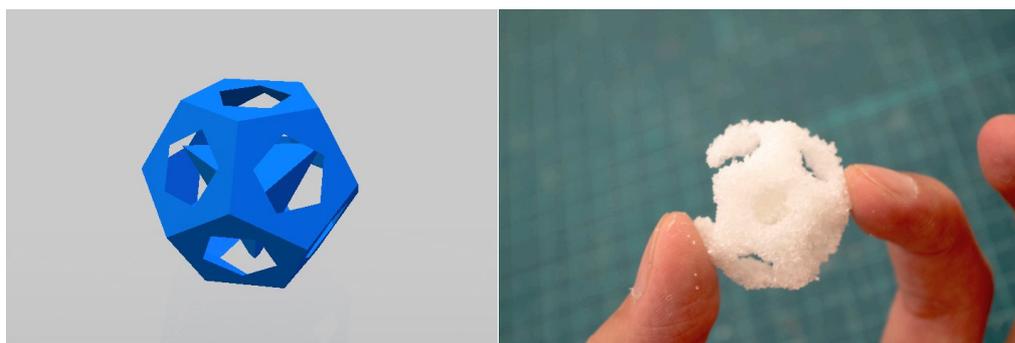


図 42 A 用意したの 3D データと造形物

B 20代男性 3Dプリント経験無し

- ① 時間がかかる。粉を扱うのは大変である。
- ② 粉ものを多く扱っている食品に特化したものが出てくるのではないか。

Ex. Selective Steam Heating などは考えられないか。

→たこ焼き 3D プリント

身近な粉(食品、砂など)を素材に、あらゆるものを 3D プリントできるという。

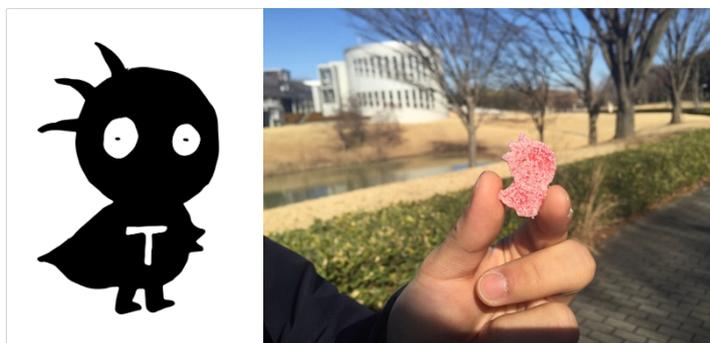


図 43 B 用意した二次元データと造形物

C 10代男性 3Dプリント経験無し

- ① サポートが付かないのはすごくいい。可能性を感じる。  
スライス画像生成後の修正作業が手間。
- ② マルチマテリアルの粉末 3D プリンタがあるといい。  
造形物のコストが気になる。

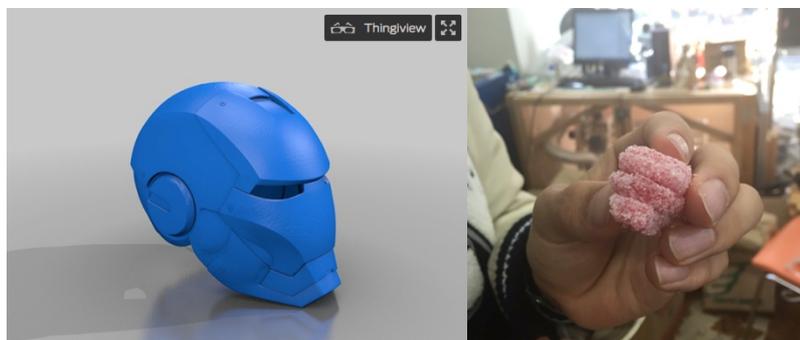


図 44 C 用意したの 3D データと造形物

#### 4.3.2 アンケート

Google フォームによつてのアンケート調査<sup>17</sup>で SLS のパーソナル化についての質問を行った。質問内容は以下のとおりである。

対象：全年齢（20 歳未満～70 代まで）

人数：61 名 期間：2014.1.11～2014.1.16

付録に結果全文を記載

##### 質問内容

- あなたの年齢を教えてください。
- あなたの性別を教えてください。
- 3D プリンタの利用経験の有無を教えてください。
- 2009 年にパーソナル 3D プリンタ（FFF）の特許が切れて 5 年経ちますが、以前より身近になったと感じますか？
- 直前の質問で「感じる」とお答えになられた方にお聞きします。それは具体的にどのような時ですか？
- パーソナル 3D プリンタは今後より身近になる、または発展すると思いますか？
- 直前の質問で「思う」とお答えになられた方にお聞きします。具体的により身近になった未来や展望の仕方などのイメージがございましたらお聞かせください。
- 粉末を素材とする 3D プリンタがあることをご存知ですか？
- 2014 年に特許の切れた粉末素材の 3D プリンタ（SLS）の仕組みで私は砂糖などが 3D プリント可能な自作の 3D プリンタを作りました。この粉末素材の 3D プリンタは現在身近になりつつある樹脂積層タイプの 3D プリンタ同様にパーソナル化して、身近になっていくと思いますか？
- 直前の質問に関して、その理由や展望の仕方のイメージなどをお聞かせください。
- この粉末の 3D プリンタの自作データがオープンソースであったら自作してみたいと思いますか？
- この粉末の 3D プリンタが小型化、低価格化したら利用してみたいと思いますか？

---

<sup>17</sup> <http://goo.gl/forms/lqTQ8rh7Sj>

このフォームを編集

## 3Dプリンターに関するアンケート

2014年2月に特許の切れた粉末の3Dプリンターの未来展望に関するアンケートです。

あなたの年齢を教えてください。

あなたの性別を教えてください。

3Dプリンタの利用経験の有無を教えてください。

3Dプリンタを利用したことがある。  
 3Dプリンタを利用したことがない。

2009年にパーソナル3Dプリンタ（FDM方式）はその特許が切れて5年経ちますが、以前より身近になったと感じますか？

FDM方式：熱溶解積層法。プラスチックの樹脂を溶かしながら積層する3Dプリンタ。家電量販店や某雑誌の組み立てキットなどに見られるタイプ。

感じる  
 感じない

直前の質問で「感じる」とお答えになられた方にお聞きします。それは具体的にどのようなときですか？

パーソナル3Dプリンタは今後より身近になる、または発展すると思いますか？

思う  
 思わない

直前の質問で「思う」とお答えになられた方にお聞きします。具体的により身近になった未来や展望の仕方などのイメージがございましたらお聞かせください。

粉末を素材とするタイプの3Dプリンタがあるのをご存知ですか？

石膏、ナイロン樹脂などを素材とする3Dプリンタで素材によってはサポート構造が不要なためより複雑な形状の3Dプリントが可能です。3Dプリントの種類について詳しくご覧になりたい方はwikiにて→  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A9%E3%83%94%E3%83%83%E3%83%89%E3%83%97%E3%83%AD%E3%83%88%E3%82%BF%E3%82%A4%E3%83%94%E3%83%94%E3%83%B3%E3%82%B0>

知っている  
 知らない

2014年に特許の切れた粉末素材の3Dプリンタ(SLS)の仕組みで私は砂糖などが3Dプリントできる自作の3Dプリンタをつくりました。この粉末の3Dプリンタは現在身近になりつつある樹脂積層タイプの3Dプリンタ同様に今後パーソナル化し、身近になっていくと思いますか？

自作の3Dプリンタで作成した砂糖の3Dプリント <http://onakagaitai.com/post/100224987955/sugar-jewels-of-3d-print-it-is-the-sugar-in-the> 自作の3Dプリンタ画像 <http://onakagaitai.com/post/107778603205/simple-laser-sintering-machine>

思う  
 思わない

直前の質問に関して、その理由や展望の仕方のイメージなどをお聞かせください。

この粉末の3Dプリンタの自作データがオープンソースであつたら自作してみたいと思いますか？

思う  
 思わない

この粉末の3Dプリンタが小型化、低価格化したら利用してみたいとおもいますか？

思う  
 思わない

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

---

Powered by Google Forms

このコンテンツは Google が作成または承認したものではありません。  
不正行為の報告・利用規約・追加規約

図 45 アンケートページキャプチャ

## 5 考察・展望

### 5.1 自作 SLS の拡張性

本研究では実際にこれまで産業用のものであった SLS のマシンを自作した。ここでは、その拡張性について述べる。自作 SLS やパーソナル SLS の展開には二通り考えられる。ひとつは本研究の様にレーザー加工機の中に設置して使うものであり、もうひとつは SLS 本体を完全につくってしまうものである。どちらを選ぶかはレーザーの発振機の入手しやすさや扱いやすさを基準に考えるといい。本研究では高価な CO<sub>2</sub> レーザーの発振機を入手が困難であったこと、CO<sub>2</sub> レーザーを扱う危険性、自作 SLS のコストを下げる目的などがあつたため、レーザー加工機内に設置する方法で SLS の自作を行なった。

レーザー加工機内部に設置する場合、加工機の内部空間のサイズが設置可能なサイズに直結するため、例えば本研究より大きな装置を作りたい場合は昇降機構の台座の支点の数を増やすことや、モーターの性能を上げることでその実現は可能になる。ただし SLS 機構がレーザー加工機内の空間の多くを占めてしまうため、高さ方向の距離の約半分がその最大造形範囲になる。

一方で、XY 軸方向の NC 制御とレーザーの発信機を加えることでレーザー加工機に依存しない完全自作の SLS の作成が可能になるという展望がある。こちらのメリットは本体のサイズに制約が無いため、XYZ 方向任意のサイズでの機構を設計すれば巨大な SLS の機械を製作することもできる。また、レーザーの種類によっても扱える素材が変わってくる。本研究で使用している CO<sub>2</sub> レーザーや 3D Chocolateering で使用している半導体レーザーはレーザー照射部分の分子が振動して熱加工、つまり焼結によって造形しているが、UV レーザーを使用することができれば熱での加工が難しいような素材を光分解で加工することができると考えられる。

アンケート結果からも分かる通り、SLS のパーソナル化については意見が分かれるものの、その拡張可能性についての意見は多く、さらにオープンソース化を望む意見がおよそ 8 割を超えている。実際に小型化、低価格化した場合に利用したいという意見は更に多い割合にも関わらず、パーソナル化について否定的な意見が多いのは粉末積層の 3D プリントの素材の扱いが難しいという点にある。一般利用で粉を扱う場合はその掃除や後処理などの手間が一番懸念されている。そのため、不必要な粉が 3D プリンタ外に飛び散ることが無いよう改良されれば SLS のパーソナル化の未来も見えてくるであろう。

## 5.2 考察

RepRap 系の FFF は、2009 年の特許切れから RepRap Community として自作文化が広まった。一方で、SLS が FFF 初期の RepRap と比較して自作文化が広まっていないのは、SLS 特有の技術的な課題と粉の扱いの難しさに起因してのではないかと考察できる。本研究で作成した SLS はそもそもレーザー加工機を前提としている設計であることはその要因ひとつとして挙げられる。しかし、前述(5.1)もしているが、レーザーの小型化やレーザーの種類を変えることで現在の FFF に組み込む機構までになったとすればその限りではない。

では、このようなことが比較的容易になったとしたら、SLS のオープンソース化は自発的に進行するのかを考えたい。つまり、レーザーの技術的課題がクリアになった場合、SLS の使用は FFF と同程度であるのかの考察である。SLS は FFF のヒートノズルがレーザーの発振器に変わったものであると考えれば、既にある RepRap の技術から転用できる内容も多く、3D プリンタ本体の機構は RepRap 同様広まるのではないかと示唆することができる。もちろん粉送り機構の制御の失敗や台座の昇降機構の詰まりの解消など SLS 特有のエラーに関しては、本研究における実践を通して課題となり得る原因になるが、FFF 特有のノズル詰まりやベッドから造形物が剥がれてしまうエラーのそれと同程度の課題でありユーザーによる微調整や工夫で改善することが可能である。

しかし、SLS はその素材が粉末であるので、FFF 以上に素材の扱いに気を使う必要があることも見えてきた。一般的な意見としても、アンケートで多くみられた意見として粉は FFF のフィラメントよりも扱いづらく、家庭内で運用されているイメージを持つことは難しいというものである。なるほど、確かに産業用 SLS の素材であるナイロン粉末や石膏粉末は通常のそれに比べて粒度が細かいので粉塵が舞いやすい傾向にある。そのため、産業用 SLS の運用現場の多くでは、コンプレッサーのエアで造形物の周りの粉を取り除くための集塵機が組み込まれた機械が使用されている。また、本研究の素材実験では粉の扱いとは異なる課題も露見した。それは、ナイロン樹脂で顕著にみられた粉末素材の収縮による反りの問題である。反りの原因は、素材の融点と造形環境の温度の差が大きく、レーザー照射後の再凝固の際に収縮によって応力が発生してしまうことである。そのため、本研究で自作している SLS の規模で造形可能な素材は砂糖を代表とした比較的融点が小さく、再凝固の際の収縮率が小さいものに限られる。

### 5.3 展望

SLSをはじめとした粉末積層タイプの3Dプリンタは、ナイロン樹脂や石膏のように比重の軽い素材においてサポートの構造が不要であるという側面に特に期待の声が多い。つまり、SLSはパーソナル向けのものとして家庭にはいる未来は現実的ではないが、FFF同様に3Dプリンタとしての期待値は高いということである。

では、SLSはどのように今後展開していくのだろうか。その答えの一つがSLSの使用用途の専門化である。SLSのオープンソース化という側面は、ホビーとしての発展や大学などの研究機関における素材やSLS特有の構造物作成の目的としての活用は大いにあり得る。こちらは今後産業用SLSとは別のもの簡易的なSLSとして発展、拡張していくことが予想される。

また、産業用のSLSとパーソナル向けのSLSの中間の程度の規模のデザイナー向けSLSの登場も期待できる。それは1990年代のRPのようなオフィスなどでのプロトタイプ専用機としての利用が種である。1.1.2で紹介した、既に登場しつつある低価格SLSは内部の環境温度の維持なども実装されているため、このデザイナー向けSLSに相当する。

また、食品やホビーなどの各分野で専用のSLSとして発展していくという展望も本研究で示唆されたのではないかと思う。既に存在するフルカラーのナイロン樹脂の3Dプリンタなどは実用に耐えうるプロダクト試作機としての利用がなされている。現在、シリンジによる押し出し方式による食品の3Dプリントの研究は多いが、粉末素材の食品による3Dプリントの研究(2.2を参照されたし)も本研究含め徐々に増えてきている。単に試作機としての3Dプリンタではなく特定のものをプリントするものとしてのSLSの発展が増えて行くことが予想される。

SLSはFFFのように産業用のものが単純に小型化、低価格化して行くことは無いと予想される。FFFにおいては、ヘッドの数やフィラメントの種類や色を変えること以外では各々の構造はその機械精度以上の差異はない。一方SLSは産業用は産業用として、パーソナル用はパーソナル用として素材を限定して発展していく。さらに、食品や土などの特殊粉末として特定の種類の素材に特化した発展もFFFと比較してSLS方式の強みとして期待出来る未来である。

## 参考文献

- [1] 神田沙織. (2013). 僕らの未来を変えるマシン「3Dプリンタ」知る編. 渋谷ラボ.
- [2] 丸山洋二・早野誠治 (2014) . 解説 3Dプリンター –AR技術の持続的発展のために-. オプトロニクス社
- [3] Brian Luptak, Benjamin Cousins, Andy Vopni, Nima Majidifar. (2013). 3D Chocolateering. 参照先: <https://chocolateprinter.wordpress.com/>
- [4] Jo Kazuhiro. (2011). Laser Cooking -state of the art-. Art Media Center, Tokyo University of the Art.
- [5] Yoav Sterma, Neri Oxman.(2012-2013) Subtractive SLS Fabrication. 参照先: MediatedMatter:<http://matter.media.mit.edu/tools/details/subtractive-sls-fabrication>
- [6] Bastian Andreas.(2011). Open SLS.  
参照先: RepRap Wiki: <http://reprap.org/wiki/OpenSLS>
- [7] 蜂須賀浩昭、大西浩二、戸田沢正行. (2004). レーザー粉末焼結 ラピッド・プロトタイプング・システム. MAE テクニカルレポート 2004.

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、とても多くの方にご指導、ご助力を頂きました。

特に、慶応義塾大学 環境情報学部 田中浩也 准教授には、3 年前の私が研究室に所属する以前より今日まで熱心にご指導頂きました。本研究がここに成るのも、今日私が様々な場所でデジタルファブリケーションに関連した活動ができているのも、全ては先生が研究室に私を誘って頂いたことから始まっていると強く感じております。心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

また、検証用のナイロン樹脂をご提供頂いた DMM.com の鈴木僚氏、吉田賢三氏にも感謝致します。鈴木氏には特に、産業用 3D プリンタの仕様や樹脂の特性などのご相談もさせていただき、本研究をより深いところまで論じることができました。ありがとうございました。

Grasshopper のスライサー作成にあたってはバンダイナムコスタジオの小野正晴氏のご助力無くしては完成しませんでした。ありがとうございました。

本研究は山岸学生プロジェクト支援制度による研究費のご助成を頂きました。この場を借りて Gree 株式会社の山岸広太郎氏には厚く御礼申し上げます。

ユーザビリティの評価実験に協力して頂いた、高校生の高木昭君と井庭崇研究室の窪田哲郎君にも感謝いたします。3D プリント未経験者として貴重なご意見を頂きました。

研究室の修士の先輩方、同期の 4 年生を始め後輩の皆様からも多くの示唆や刺激を得る事ができました。ありがとうございました。

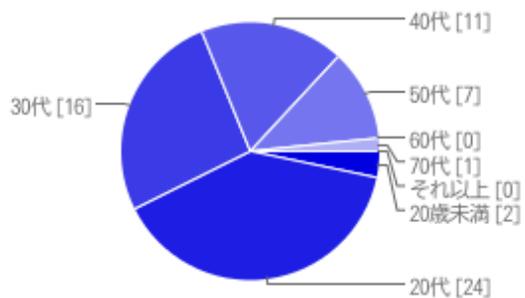
また、アンケート調査にご協力頂いた 61 名に加えてアンケートの存在を拡散していただいた方々全てにも感謝の意を表します。

家族、友人、同僚に加えて名前もわからない方も含めて本当に沢山の方に支えられて卒業論文は完成しました。支えて頂いた皆様に全てに心よりの感謝致します。

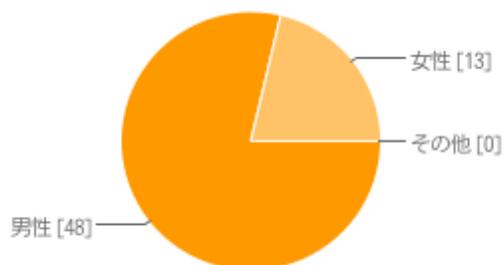
## 付録

### 【アンケート結果】

あなたの年齢を教えてください。



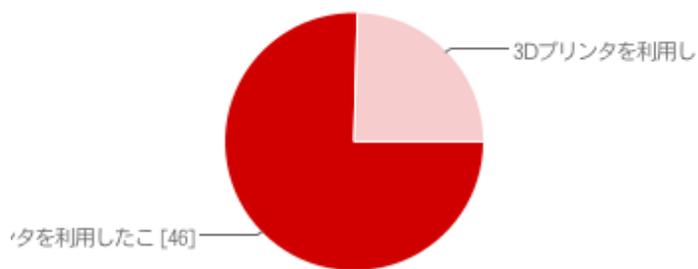
あなたの性別を教えてください。



男性 48名(79%)

女性 13名(21%)

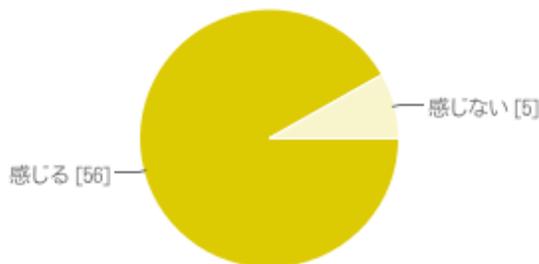
3Dプリンタの利用経験の有無を教えてください。



ある 46名(75%)

無い 15名(25%)

2009年にパーソナル3Dプリンタ（FFF方式）の特許が切れて5年経ちますが、以前より身近になったと感じますか



感じる 56名(92%)

感じない 5名(8%)

直前の質問で「感じる」とお答えになられた方にお聞きします。それは具体的にどのような時ですか？

エンジニアではない人が3Dプリンタで制作しているのを見た時。

家電量販店で買えるようになったから。ヤマダ電機店で販売コーナーを見たこと。

日常のちょっとしたもの(小物置きとか、フック程度の簡単なものだけど、ピッタリのものを探すのは大変だったりするもの)を、3Dプリントして、不便を解消できたとき。

テレビなどのメディアで積極的に取り上げられているとき。銃を3Dプリントした人の事件など、社会的な問題にもつながってきたとき。

一昔前のCNCフライスの時もそうでしたが、初期は一部のマニアが自分で情報を集め、部品を集め、組立・動作させるスキル・知識が必要でしたが。キット・完成品が販売される事で、一応誰でも購入し、何か作られるようになっている。

実際に使っている人が多い。

国内外のメーカーが一般ユーザーでも手が届く価格(数万~10万程度)のプリンタを販売しており、実際に自分でも購入し、出力をしているため。

ニュースでみるから。

3Dプリンタを使用できる施設も増えてきていますし、一般の人の目に触れる機会が単純に増えたと感じました。

家電量販店でも取り扱いがあることや、FABスペースでの取り扱いやネットのプリントサービスなどにより、使い方さえ分かれば、いつでも誰でも利用できるようになったから。

自分で作ったりキットを購入、改造したりして実際に用途にあわせて4台使っているから。

モデリングの方法や材料（フィラメント、データ）も出回るようになったし規格がまあまあ纏まりだしたように見えます。

テレビ等、マスメディアに登場する機会が増えた 自分の身近に 3D プリンタが置かれるようになった。

テレビなどで何かとよく話題になっていたり、3d プリンタを使用できるカフェ?のような場所も身近にできたから。家電量販店などで見かけることができるようになったからです。

デアゴスティーニの『マイ 3D プリンタ』を手にした時。

家電量販店で市販されていること。日本語での出力サービスが複数リリースされており、さらに DMM に関してはテレビ CM を中心としたマス広告キャンペーンを展開していること。

見かけることが多くなったため。

低価格で購入可能に。

単純に一般人でも入手がし易い価格帯のホビー機が出た事が一番大きいです。

職場に試験的にダヴィンチが導入された時。

全てに使っている時。

自作出来るようになった。

デアゴスティーニから出た時。

個人で入手できる価格帯で発売され、入手できるようになった。

3D プリンタに関しての CM を、最近よく見るようになって。様々なメディアに取り上げられるようになったこと 3D プリンタを話題にした時に、一般の人でも(誤解は多いにしても)おおよそどんなものかは知っている人が多くなったこと。

BtoC サービスを利用したとき。 FDM の安価な装置を利用したとき。

ヨドバシカメラでみかけるとき。

ヤマダ電機等の家電量販店で個人の投資の範囲で買える金額で販売されるようになった。

メディアセンターに 3d プリンタが導入されたこと。

非常に安価な 3D プリンタが売られているのを発見したとき。 学校やバイト先で次々と新しいマシンが導入されるようになったとき。 オープンデータの充実さを感じたとき。

ここ 1 年で 3D プリンタに関するニュースの配信数が倍増した時。

販売されている 3D プリンタの種類が増え、価格も安くなったとおもいます。それに加え、フィラメントも種類が増えてきたのではないかと、思っています。

ラボや、ワーキングスペースなど、利用できる場所が増えたこと。

3D プリンタ関連の CM を見たり、家電量販店で 3D プリンタのコーナーを見かけたとき。

昔だと、10 万円台で買えるなんて夢にも思わなかったから。

メディアの露出が増えた為。

試作品の加工方法として検討に入るようになってきた。

すでに、個人が所有できる価格になったと思える。

小型のものが出てきた、というだけではなく、自分でハックできるようになったこと。

Facebook でプリンタの作品をあげたりしているのをみたとき。 プリンタの記事をネットニュースでみたとき。

非常に多くの会社から低価格（10万円以下）のFDM方式3Dプリンタがリリースされているのを目にしたとき。

Shapewats や Ponoko など、安くて早くて簡単な3Dプリントサービスが有名になり使いやすくなったため。

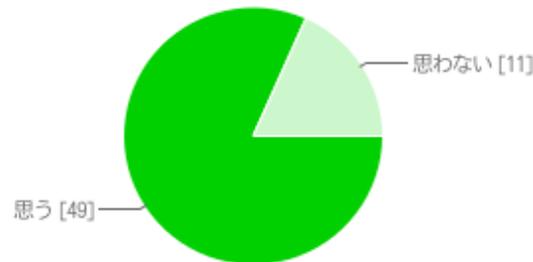
プリントされたものを見たり、家電量販店で機械を見たり。

3Dプリンタが安価になったこと。家電量販店やネットでも購入できるようになった。

thingiverse, nstructables などのものづくり共有サイトが増え、3Dプリンタを利用した作品が増えてきたから

プリントサービスが実際多くなった。

パーソナル 3D プリンタは今後より身近になる、または発展すると思いますか。



思う 49 名(80%)  
思わない 11 名(18%)

直前の質問で「思う」とお答えになられた方にお聞きします。具体的により身近になった未来や展望の仕方などのイメージがございましたらお聞かせください。

光造形が容易に且つ低価格化するとブレイクスルーになる気がします。 エプソン、キャノンのような大手が低価格かつ高性能を売りに参入すると大分早まると思います。

shapeways のようなデータを送る形式のほうが息が長いのではないかと。

3D データの作成が、ワード、エクセル並のスキルに一般化するまでは難しいとは思いますが、3D プリンタが身近になる=3D データの普及、と感じます。

広がっていくとは思いますが、例えば半田ごてよりは一般的にならないのではないかと。

紙のプリンタが普及したように 3d プリンタが普及するのも特別にふしぎだとは思わない。

家で壊れてしまった部品（ボタンやネジなど）を作り直すのはもちろん、インターネット上でオリジナルの 3D データやテクスチャなどが流通し、グッズなどを 実体で買うのではなくデータとして買うような市場がもっと広がるのではないかと。PC と接続するのではなく、3D プリンタ自体がネットにつながっていて、プリンタからストアをブラウジングしてデータを購入できるような。

3D プリント以外にもより多くの分野と同時に発展を望まれる為

解像度と速度が向上すると思います。ただ、どんなに進歩しても、品質面では射出成形品に追いつくのは難しいのではないかと。

ネットワークにつながった 3D プリンタによってモノと人の距離が無くなるのではないかと。

3D データをつくるのは難しく面倒なので、将来的にも自分で 3D データを作るような人はまれだと思うの。年賀状のようにダウンロードしてプリントアウトする時代が来るのではないか。3D プリンタで作った商品がいっぱいお店に並ぶようになるイメージがある。素人も作品を作ったりしはじめる。

私もときどき DMM.make にアップしますが、身の回りの壊れた樹脂パーツ補修など簡単にできます。（要 3D モデリングスキル） 3D データが適正価格で流通し 3D モデラーにギャランティーが再配分できる世の中になれば爆発的に普及します。アメリカの「thinkgiverse」のような無料サイトしか流行らなければ衰退し、マーケットは形成されないでしょう。

マテリアルが増え、今よりもプリント出来るものが増える。さらに言えばプリントというよりも、空間から現れるといった表現に近くなると思う。

テレビのコマーシャルでも、3D プリンタを特集するところが増えた。例 DMM など。

すでに週刊で組立キットが発売された。

価格が安くなり、様々な場所で実際のプリンタ筐体を見るようになったので。

い わゆる一般人には普及しないかもしれないが、今後なにかものを作りたいと考える人が技術を身につけようとする際に、3d を勉強してフィギュアやロボットを 作ろう、という発想がしやすくなると思う。これまでは、子供が創作したいと考えたとき、独学できるのは現実的な選択肢としては音楽か絵かといった感じ だったかと思うが、今後はプログラミング、映像と並んで、3d が普及するのではないか。

今より使える素材、精度が高くなり、実用性のあるものが作れるようになる。

価格やソフトウェアの操作がよりみじかなものとなる。

家電の保守部品など、3D データが提供され、セルフですぐ修理できるようになる。

教育にも取り入れられていくのではないかなー、と。小さい時からいろんなツールに触れている方が創造性を引き出せる気がします。

写真プリントのような形でどこでも、プリント出来る。

社会と個人とで認識が異なるので、2 択では言い表せないの ですが、プリンタの性能という面では緩やかではあるものの更なる発展が見込まれます。社会的に身近・発展という意味では、利用するためには 3D データが 必要（特にモデリングのスキル）という事の周知がよりされない限りないと思っています。現状でも多大な誤解が多いです。

在庫問題の解決による地方創生。

後継のいない中小企業ののうはうの集約、グローバル化など。

子供に使わせる。

プリンタの普及のためには、3D データを作成することがより容易にならないと難しいと思う。あと法的な課題をクリアしないと、安心して利用できない。

オリジナルのスマホのケース、箸、器など あらゆる物がその場で自分の好みに合わせて製作、利用できる時代が来るかもしれない。使用しなくなったらまた原料としてリサイクルとか。低価格化がより一層進む。

一家に一台 日曜大工道具の代わり。

義務教育の中でも用いられるようになるのではないか。

使い方では遠隔地へ補修部品など送るのでなくデータを送って最寄りのプリンタで作ってもらい仕組みができれば物流にかかる負担が減ります。 加えて素材の充実、今は樹脂のみですがこれが物性を変えて剛性、強度の選択の余地が出れば使い道が増えるかと。

ちょっとした日用品や道具を、買いに行かなくても自作すればよくなる プロダクトを様々な国で販売する際など、各地域に合わせた部品だけデータで用意すればローカライズできるようになる（電源アダプターの各国コンセントに合わせた部品や、シャワーなどの各種蛇口口径に合わせる部品などのイメージ）。

何かを作りたいと思った人がある程度の時間さえあれば形あるものを手にすることが出来る。

1.アニメキャラクターとのタイアップで放映シーンの中でお気に入りの カットを3D プリントアウトできる。 2.子供の玩具として、高度な粘土細工遊びができる玩具として、簡易なソフト一体型3D プリンタなど。 3.大人のジオラマ向けに風景、鉄道など。

いま、10万円前後の「パーソナル」向けと100万以上の「業務用」に分かれてしまっていますが、その中間くらいの「デザイナー用」がこれから出てくると思います。 3D プリンタはデザインオフィスに1台はなければおかしい存在になっていくはずです。

商品開発のプロトタイプングにとどまらず、生活用品などの安価で手軽な生産方法の1つとして定着するのではないかと思う。

3D プリンタ自体が安価になって、一家に一台あるような世の中になるとわくわく。 さまざまな業種のメーカーが完成品ではなく、もののデータを売るようになる。

価格も安くなって来てるので各家庭に1台3D プリンタがあるのが普通に近い未来なっているように感じます。

プリンタも大して役に立たないけど家にはおいているから。 こまごました家庭部品がすぐその場で作れて 十分に安いなら プリンタを置く場所くらいはある。

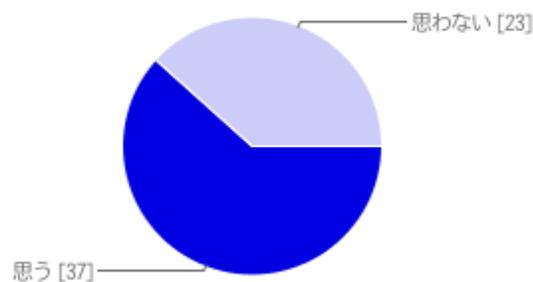
粉末を素材とするタイプの 3D プリンタがあるのをご存知ですか。



知っている 54 名(89%)

知らない 7 名(11%)

2014 年に特許の切れた粉末素材の 3D プリンタ (SLS) の仕組みで私は砂糖などが 3D プリントできる自作の 3D プリンタを作りました。この粉末の 3D プリンタは現在短になりつつある樹脂積層タイプ (FFF) の 3D プリンタ同様に今後パーソナル化し、身近になっていくと思いますか。



思う 37 名(61%)

思わない 23 名(38%)

直前の質問に関して、その理由や展望の仕方のイメージなどをお聞かせください。

食品の製造機械として、医療・介護用の食事の作成、ペット等の飼育動物の栄養管理。業務や趣味で使う人は増えると思うが、パーソナルとして家庭に入り込むとは思えない。現在の 2D プリンタでさえ多くの家庭では年賀状しか印刷しないのが現状だと感じているので 3D だと更に使わないと思う。紙の印刷と立体では使用頻度がまったく違う。また、興味本位で買った人は FDM で「こんなもんか」という実感を得てしまっていると思うので、更に精度や加工性の高いものに手を伸ばす必要を感じないかもしれない。

FDM方式に比べて取り出しや後片付けが大変そうなイメージがあるので一般には広まらないのではないな—と思いました。

ハードウェアの登場とノウハウの蓄積が進む。

お菓子デザイナー、料理人に重宝されると思う。

木など素材によっては、粉末式が主流になるのではないかな。

粉は扱いが難しい。飛び散る。

わからない。

プリンタについて詳しいことは分からないけど、ニュースとかで徐々に注目度があがってきているから。

素材になる粉末の管理が大変そうで、自宅に置くのには抵抗があります。

粉末は素材の再利用が出来るそうなので(可能かは知りませんが)無駄が少なくコスト面で後押しになればあるかと。後はメンテナンスというかユーザー側がある程度メンテフリーで(今の2Dプリンタ程度)運用できることは条件に入ると思います。

樹脂積層やインクジェットに比べて、使う上でゴミ(余計な粉塵)が多くなるので、各家庭に置かれるようなものにはならないと思う。余計な粉末を使わない方法が開発されれば、その限りではない。

自家製クッキーなどをプレゼントするような方は、今後、3Dプリントした自家製アート角砂糖とか、お菓子とかを作るようになっておもう。

飲食業界に変化が起きる。もっと高速にできれば、フードプリンタの定食屋が出来る。

樹脂積層タイプではサポート材無しにはプリント出来る形に制限があることや、サポート材があってもそれを綺麗に処理することが手間になるので、そもそもそれらが必要ないプリント方法は発展すると思う。

粉が散って掃除が大変そうなので、パーソナル用途には広がらない気がする。

砂糖なので、例えばお祝い事のケーキなどの上に造形物を載せたりすると特別感があっていいかもしれません。

熱溶解積層式と同様に、普及していくと思う。食品業界や医療関係に役立ちそう。

食品サンプルなどの一部の分野には必要な技術になると思いました。しかし、パーソナルユースでは粉末状の整形が必要なことはあまりないのではないかなと思いました。

粉末素材であることの利点が消費者にしっかり示されれば身近になっていくと思います。

熱溶解積層よりも材料の幅が広がるような気がするからです。炭素繊維を使えるようになったら極限までカーボンで仕上げたロードバイクを作りたいと思っています。

粉末タイプのプリンタは造形後の粉末の処理の手間がかかることや筐体サイズの小型化がFDMに比べて難しいのでは、というイメージがあります。砂糖などの食品系ですと可能性は

あるかもしれませんが、一般ユーザーが複雑な造形を求めているとはあまり感じないので、樹脂系は FDM で十分なのではと思います。

造形解像度と強度とビルドに対する材料が要るため ただし造形速度解像度の変化強度コスト面で FDM,sla よりアドバンテージが生まれた場合別。 fdm は造形難と abs の熱反りは難があるが圧倒的な低コストが武器で場合によっては加工も可能なのでプロトタイプに強い sla はコスト面でどうしても高い後処理が面倒ですが造形的に強い そう考えると極めて使えるジャンルが少なくなり趣味のエリア等のみになってしまうので弱いかかと。

砂糖菓子を作るのに興味がある。

とても興味深く面白いのですが、対象者が誰などがいまいよくわかりませんでした。

国内の展開は分かりませんが、ある程度ホビー機が出てくるのではないのでしょうか？個人的には他の形式よりカラー化し易い点でも、ホビー機の製品化を臨んでいます。

上記と同じ理由。独学でどれだけ学べるかポイントだと思う。

砂糖で作る、のは良いが、出来たものは食べるため？それとも造形素材として砂糖が適していたため？ 樹脂積層プリンタが、どの方向性で役にたってるの、か。仕事の道具になるのか、遊びの道具となるのか。3DP が効果的に使われるのは、科学分野だともう。

現在光造形タイプの特許も切れたので、 今後光造形タイプの方が精度・速度上優位の為、そちらのシェアが増えて行くと思予想している。 粉末タイプは産業用途での金属・合金ベースの物は増えて行くと思われるが、ホビー用ではレーザー元当の問題であまり普及しないと思う。たとえば料理レシピのウェブサイトから、調味料の比率が既に調べられた粉末キューブをダウンロードして、家で作成したキューブを具材と炒める（煮る・和える）だけで色々な料理の味になったりすると便利。

FDM 方式ほどとまでは行かないと思われませんが、色が付けられる機種であればそれなりに普及もすると思います。 形が精度が多少劣っていても色が付いたものがすぐに手に取れる。 その存在感は凄いです。 問題は材料の管理にあると思われ。 個人宅では湿度管理などの問題で時間が経てば経つほど安定した出力は望めないでしょう。

粉末焼結がパーソナライズに出来るか、そのブレークスルー。

食べられるモノができる事は 人類ほぼ全員が理解できる。 ABS/PLA/金属などで造形できても一般大衆には目的がつかみづらい。 チョコレートプリンタも 温度管理(テンパリング)シビアだが 挑戦してみたいと思います。

レーザーってなんかハードル高いですね。 レーザーカッター高いし。でかいし。

パーソナルな所有には向いていない。 Amazon のように one-click で注文できる形態に向いている。

ホビーとパーソナルを別分野と考えた場合、パーソナル分野において需要が発生するかは現状をかんがみ疑問を感じる。パーソナル分野では、面白い、楽しい、などのネタ的利用が多く、実用的な製品への利用があまり見られない。この事情から、3Dプリンタブーム自体が一過性のものであると感じている。ホビー分野においては、SLSではまだ表面が荒い。ここで言うホビーは模型の造形である。現状、ホビーに耐えうる3Dプリンタがない(業務用機含む)以上SLSがパーソナル化したところで需要はない。今のFDMと同様な展開はあると思われる。様々な3Dプリンタが現れて来ているので、どんなタイプの機械でも今後身近な存在になるような気がします。

好きな素材で実験できるようになる。

デジタル機器が家庭に入っていく、主婦が調理するための器具の一つになっていく気がします。

ナイロン12材料における3Dプリンタ、いわゆるSLSが本命だと感じています。理由はサポート材不要、だれがどのように出力設定しても同等出力が可能、この点につきます。FDMやSLAはサポートの立ち方で造形の成功・失敗がでますが、SLSだとほぼ失敗がない。失敗がないからビジネスにできる、予定が組めるのです。

素人なので、粉末印刷と積層印刷の差は正直わからないが、例えば他のものと組み合わせるような部品を作成するには積層の方がむいていると思うし、形に精密さが必要なものは粉末の方がむいていると思う。それぞれ使い分けができるくらいに普及してほしい。

粉末の後処理が一般家庭ではムリ。

パーソナル化するにあたっての実用性イメージがあまりわからない。3Dプリンタが個人レベルに普及されるには3Dプリンタとその活用例が広まる必要があると思う。私は文系なのもあり3Dプリンタに関する知識が乏しく、知ってから興味はわいているが周りの文系の人には知らない人がほとんどであったため知名度がまだ低いと感じた。単純ではありますが、パーソナル化までいくとなると価格だけではなくその活用例を伴った知名度が必要になるのかなと思います。

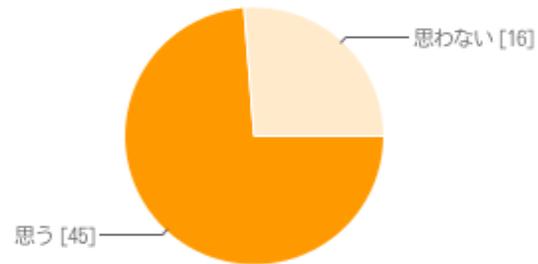
まだまだ、沢山の可能性が試されていくと思う。

物性を変えやすい、現場で混ぜたりしやすい。

作れるものが格段に増えると思います。

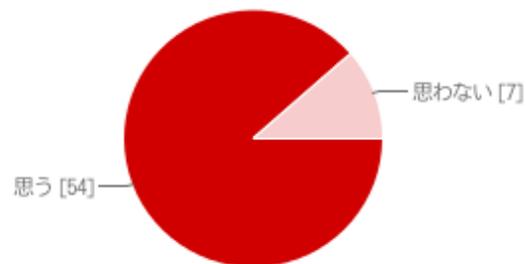
2Dプリンタにおいてインクからトナーになり、低コスト、高スピード化されたようなイノベーションが期待できる。

粉末の 3D プリンタの自作のデータがオープンソースになったら自作してみたいと思いますか？



思う 45 名(74%)  
思わない 16 名(26%)

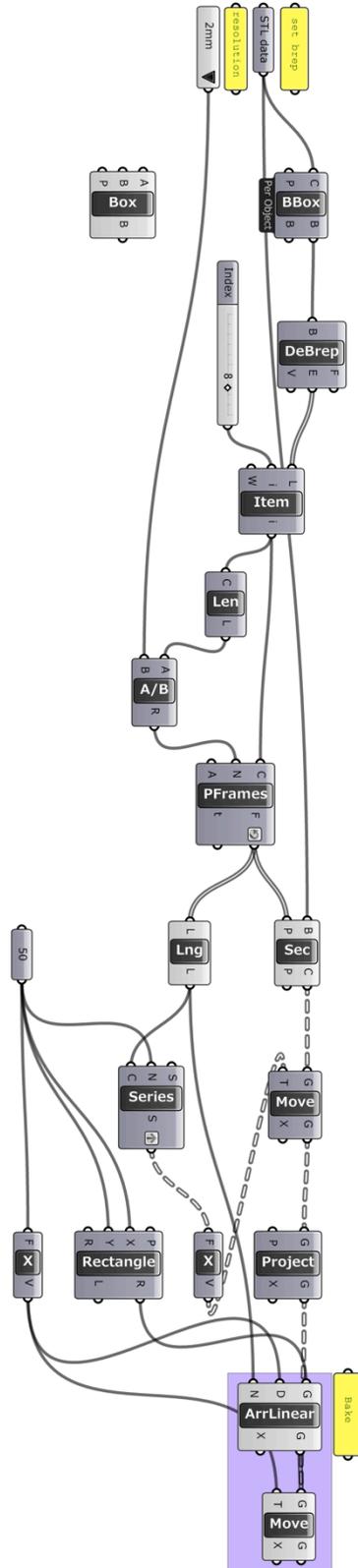
粉末の 3D プリンタが小型化、低価格化したら利用してみたいと思いますか？



思う 54 名(89%)  
思わない 7 名(11%)

以上

# 【Grasshopper スライサークリプト】



## 【自作 SLS Arduino 制御コード】

```
/*
 * sls project
 */

#include <Stepper.h>

// change this to the number of steps on your motor
#define STEPS 200

Stepper stepper(STEPS, 8, 9);
Stepper stepper2(STEPS, 6, 7);

// the previous reading from the analog input
int previous = 0;

//counter
int count = 0; //layer count

//powder bar
int bar = true;

//layer pitch(5:2mm 10:1mm 20:0.5mm 40:0.25mm)
int p = 20;

void setup()
{
    // set the speed of the motor RPMs
    stepper.setSpeed(10);
    stepper2.setSpeed(50);

    pinMode(1,INPUT);
    pinMode(2,INPUT);
}
```

```

pinMode(3,INPUT) ;
pinMode(4,INPUT) ;
}

void loop()
{

if (digitalRead(1) == HIGH) {
    stepper2.step(1250);
    delay(1000);
    stepper.step(-200/p);
    delay(1000);
    stepper2.step(-1250);
    delay(250);
    count++;
    if (count >= 5*p){
        delay(1000);
        stepper.step(200);
        count = count - p;
    }else{
    }
}
else if(digitalRead(2) == HIGH) {

stepper.step(-200/p);

delay(250);
count++;
if (count >= 5*p){
    delay(1000);
    stepper.step(200);
    count = count - p;
}
else{
}
}
}

```

```

}else if(digitalRead(3) == HIGH) {

    if (count - p <= 0){
        stepper.step((200/p)*count);
        count = 0;
    }else{
        stepper.step(200);
        delay(250);
        count = count - p;
    }
}

}else if(digitalRead(4) == HIGH) {
    if (bar == true) {
        stepper2.step(1250);
        delay(250);
        bar = false;
    }else if (bar == false) {
        stepper2.step(-1250);
        delay(250);
        bar = true;
    }else{
    }
}
}
}

```

## 【自作 SLS 図面】

### 部品一覧

MDF (又はアクリル板) : 4mm 適宜

3D プリントパーツ :

ステッピングモーター : SM-42BYG011 2 個

モータードライバー : TA7774PG 2 個

シャフト :  $\Phi 6$  180mm 2 本

$\Phi 5$  150mm 1 本

$\Phi 3$  150mm 1 本

六角シャフト :  $\Phi 3$  150mm 2 本

プーリーベルト : 幅 10mm 2 本

arduino uno: ひとつ

タクトスイッチ: 4 つ

PVA スポンジ : 4mm 厚

M3 鍋ネジ、ナット

リニアブッシュ : LM 6UU 2 個