

# 宇宙開発への応用を視野に入れた 3D プリンタの検討・開発

## -内部形状を有する軽量構造への応用-

政策・メディア研究科

田中浩也研究室 修士一年 安井智宏

### 1. 研究背景・目的

近年注目されている 3Dプリンタの優れた特長は、形状をデータどおりに自由に決定できる点にある。その技術の発展は、複雑で美しい造形も手軽に実現することを可能にした。無論、その造形を幾何学に基づいた複雑形状に応用することも可能である。一方で、3Dプリンタによる造形物の力学的観点による実証というのはほとんど行われていない。3Dプリンタによるスケラブルな出力物は、試作段階で止まり、製作方法を在来工法と同じ基準で評価している。[1][2]

ところで、スペインの建築家であるアントニオ・ガウディは、「フニクラ (Funikura)」と呼ばれる実証実験によって、自然界で観察される美しい放物線形状の構造力学的合理性を証明し、その形状を建築デザインへと応用している。そして、今日、フラクタル図形を代表とする幾何学形状は、その形状が美しいだけでなく、力学的にも強固な特性持つことが実証されつつある。

ところが今日の建築技術では、「大量生産可能」かつ「人の手で組み立てられる」ことに制約されていたため、複雑な内部形状を有する構造物の実現は不可能であった。しかし、3Dプリンタを使用することにより、形状の外枠だけでなく、複雑なパーツを組み合わせた造形が可能となる。それはすなわち、材料特性とそれに最適な形状を考慮することで、より軽く、より強固な構造体を実現出来ることが期待される。

我々は、昨年春から企業と共に建築スケール大型 3D プリンタ “ArchiFAB” を開発した。(Fig. 1) また、フィラメントの原材料であるペレットから直接出力可能な機構と最適な樹脂の出力径を実現するヘッドを開発も開発してきた。本研究では、これを用いて、内部形状を有する新たな軽量構造体の実現を目的とする。

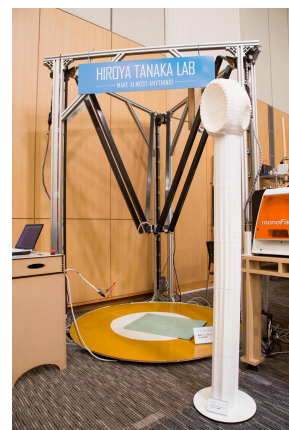


Fig. 1 “ArchiFAB”

### 2. ArchiFAB について

#### 2.1 基本機構、特徴

ArchiFAB は FFF (Fused deposition modeling) という造形方式を採用している。躯体はアルミフレーム、ロッド部分はカーボン素材を仕様しており、マシンの軽量化を実現している。また、上下運動は一般的なベルト・アンド・プリー式ではなく、ラック・アンド・ピニオン式を採用している。本機構を採用した理由としては、高さ方向への拡張が可能であることと、従来のベルト式では、大型化に伴い、造形精度が低下することが予想されるためである。

#### 2.2 開発当初からの改良

ArchiFAB 開発当初は、市販のフィラメントを用いた出力を行っていた。しかしその仕様では、「サイズの大きなものを出力するのにコストが掛かり

すぎること」、加えて「市場にフィラメントとして流通している材料のみでしか実験できないこと」が問題となった。それらの問題を解決するため、フィラメントの原材料であるペレットから直接出力する仕様へと変更した。(Fig. 2)

本変更により、今日の出力までかかっていた材料コストを約 1/6~1/7 程度に削減することができた。その影響力は、例えば家具以上建築未満のスケール規模のものを出力するにあたり、大きな影響力を持つといえる。更に、フィラメントとして市場に流通していないが、工業廃材としては豊富に存在する様々な種類の材料も出力に用いることが可能になった。



Fig.2 ペレット型出力機

### 3. 構造内部形状のスタディ

現在、構造力学的観点、空間充填性能的観点、材料削減的観点から、節調八面体とジャイロイドと呼ばれる二種類の内部形状を選んだ。そして、各構造体のオリジナルなモデルをパラメトリックなデザインが可能なモデリングソフト Grasshopper により、を用いて Fig. 4 に示すオリジナルなモデルの作成し、実際に出力実験も合わせて行った。出力に使用した材料は全て、一般的な 3D プリンタの材料である polylactide (以下、PLA) である。PLA は粘りが少なく、強固であるという特徴を有しており、大きな構造に適した材料と言える。

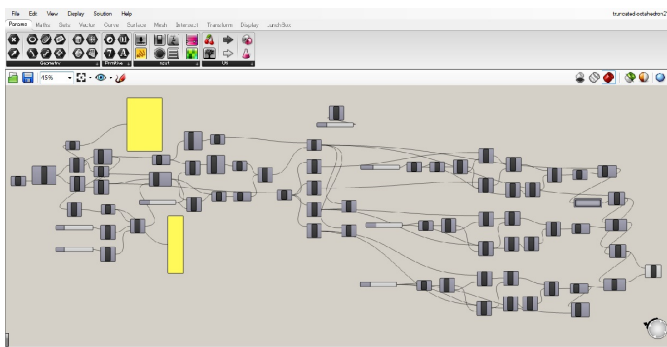


Fig. 4 Grasshopper によるオリジナルなモデリング

### 3.1 切頂八面体

一般的に在来工法でも用いられる強固な構造としては、トラス構造を挙げることができる。その構造は周期的な形状パターンを有しており、荷重分布が局所化することも防いでいる。今回作成した切頂八面体モデルもトラス構造同様、周期的な形状を有しており、荷重を全体へ分散することに適した形状だと言える。また、切頂八面体は空間を効率的に充填することができる形状でもあり、自由な曲面形状も近似的に表現することに向いている。

また、FFF は特性上、水平方向への出力が難しい。そのため、本モデルは接点同士の連結部分を曲線に変換し、その距離も調節することで、水平方向への出力をカバーできる形状へと変換している。

### 3.2 ジャイロイド

従来の 3D プリンタのスケールよりも大規模なスケールの出力において、材料費を抑えることは大きな意味を持つ。ジャイロイドという幾何学形状は、最小面積で最大体積を作成できる“最小曲面”を有するものである。これは材料の使用量削減に直接的に繋がることを意味する。(Fig. 5)

また、本モデルは内部形状が周期的であることに加え、各構成要素が連続的な面で繋がっている。そのため、2.2.1 で述べたような FFF の特性を考慮してモデリングせずとも、理想的なモデルを生成することができる。

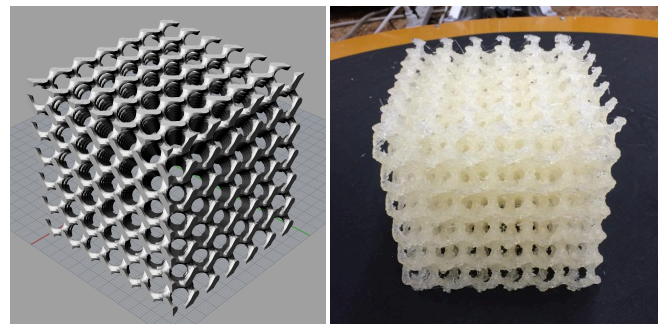


Fig. 5 ジャイロイドモデル(左)と出力物(右)

### 3. まとめ

3.1 建築スケール大型 3D プリンタ” ArchiFAB” の

開発

今回私達は、企業と共同で建築スケール大型3Dプリンタ”ArchiFAB”を開発した。また、使用材料をフィラメントからペレットへ移行するために機構を改良した。それにより、コスト面の大幅な削減と、出力速度の向上を実現することができた。加えて、工業廃材として豊富に存在するマテリアルであるプラスチックや、フィラメントとして市場に流通していないマテリアルでの実験も可能となった。

また、現在の使用素材であるPLAは、自然由来の成分を有するリサイクル性の高い素材である。そのため、今日の建築現場において従来工法では大量に発生している工業廃材の大幅な削減が期待できる。

### 3.2 内部充填形状による力学的考察

今回、特殊な内部形状を有する構造体プロトタイプとして、切頂八面体による充填構造と、ジャイロイドという幾何学形状を有するオリジナルなモデルをそれぞれ作成した。また、今回作成した各モデルは、Fig. 6 と Fig. 7 に示すように、成人男性が載荷しても破壊することはなかった。この結果は、今回作成した構造体が、ある程度の垂直荷重に対して耐性があることを意味する。

ところで、家具スケールの構造に関して言えば、耐荷重基準に対してある一定数値が決められているのみである。しかし、建築物を筆頭とするスケラブルなものへ応用する場合の力学的検証には、「軸力」、「せん断力」、「曲げモーメント」それぞれにおける、より厳密な検証が必須である。[3]

## 4. 今後の課題・展望

### 4.1 パラメータ可変可能なモデルによる最適な内部形状の模索

今回、構造体の内部形状に三種類の幾何学形状を採用し、更にFFFの制約条件に適した形状に調節した。しかし、各モデルを司る材の厚みや開口部の大きさなどのパラメータを調整することにより、より強固で軽量の構造体を実現できる可能性が存在す

る。今後は、今回作成したパラメータが可変可能なオリジナルなモデルを用いて、力学的により最適な内部形状を模索していきたい。

### 4.2 正確な耐荷重実験と使用する材料特性の検証

現時点では、厳密な耐荷重実験を行うことはまだできていないが、可能な限り早くそれを行い、より正確な力学的特性値を求めていきたい。また、現在の使用材料は「力学的材料特性」の他に「コスト面」と「リサイクル面」を重視し、PLAを採用している。一方で、本研究を新たな建築工法へ発展させるためには、より強固な材料を使用する可能性も検討している。また、本件に関する評価方法としては、Ashby Plot 上での定量的な評価を考えている。

## 5. 本研究テーマの最終目標

3Dプリンタを建築分野へ応用することへの基礎的な研究だけでなく、その応用価値の一つとして、より軽く、より強固な構造体の実現を目指して行きたい。

また、他のデジタルファブリケーション機器（大型CNCマシン”Shopbot”等）との組み合わせによる建築施工の実施。加えて、建築分野でのソーシャルビルドや、宇宙や砂漠などのSite-Orientedなデザインへの可能性を模索することも本研究テーマの最終的な目標に考えている。

### 参考資料・文献

- [1] <http://www.contourcrafting.org>
- [2] <http://www.d-shape.com>
- [3] Dombermpwsky P. and Soubdergaard A. Design, analysis and realization of topology. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: J. IASS 2013*; 209-216.