

# 都市における多様な居方・振る舞いに対応した大型メタマテリアル構造体の設計と製造

Design and Manufacture of Large Metamaterial Structures for Diverse Urban Situations and Behaviors

矢崎友佳子, 有田悠作, 加藤陸, 田中浩也

Yukako YAZAKI, Yusaku AIRITA, Riku KATO, Hiroya TANAKA

慶應義塾大学, 田中浩也研究会

Hiroya Tanaka Laboratory, Keio University

## 【要約】

3D プリンタで家具やベンチを製造するプロジェクトが盛んに行われているが、家具スケールの 3D プリントでメタマテリアル構造を用いたものは未だ数少ない。我々は、メタマテリアル構造によって異なる機能・特性を持った数種類の 35cm ブロックを 3D プリントし、それらを積み・並べる等組み合わせることによって街具と遊具の中間形態をつくり出す可能性を検討している。そうしたなかで、実際の設置実験を通じてニーズを抽出し、改めてペルソナを設定したうえで、次なるメタマテリアル構造を導き出し、漸次的に発展させていく設計の方法論を見出すこともできた。本稿では、こうした方法論を軸に、メタマテリアル構造を備え家具スケールの 3D プリント物が、都市空間に与える価値と魅力について論じる。

キーワード: 家具スケール 3D プリンター, メタマテリアル

## 【Abstract】

There have been many projects to manufacture furniture and benches by 3D printers, but there are still few furniture-scale 3D printed products using metamaterial structures. We are investigating the possibility of creating an intermediate form between street furniture and playground equipment by 3D printing several kinds of 35cm blocks with different functions and characteristics based on the metamaterial structure, and combining them by stacking or arranging them. In the process, we were able to extract needs through actual installation experiments, set up a new persona, derive the next metamaterial structure, and find a design methodology for gradual development. In this paper, we discuss the value and attractiveness of furniture-scale 3D printed objects with metamaterial structures in urban spaces based on this methodology.

## 1. 序論

近年、3D プリンタで家具やベンチを製造するプロジェクトが増えている。特に街具(=public furniture)として街に設置する事例がたくさん生まれている。たとえば”Print Your City”[1]はプラスチック廃棄物から作られた 3D プリント街具であり、様々な色や機能を持った街具をカスタマイズして購入することができる。PHILIPP ADUATZ と incremental3D が制作した街具[2]はコンクリート製であるため、屋外に設置する 3D プリント物でありながら劣化を抑えて長く使うことができる。益山らは Circular Printed Chair として 一筆書きからつくられるリサイクルプラスチック製家具のシリーズを展開している [3]。

これらの街具に共通して言えるのはどれも固く、座り心地や使い方は、従来の街具と大きく変わらないということである。

そこで我々は、柔らかな材料と、メタマテリアル構造を用いて今までにない座り心地・使い方をする街具を開発することにした。それらが都市空間に与える価値と魅力

について検討する。

## 2. メタマテリアル

メタマテリアルとは小さな周期構造を制御することで元の材料が持つ以上の新規な特性を実現させるものである。概念としては過去からあったが、3D プリンタの登場によりその実現可能性が大きく開かれ、様々な種類のメタマテリアルが提案されている。

Hasso-Plattner-Institute が提案したものでは[4]、力をの伝え方を制御することによりドアノブやハサミのような構造を一括で 3D プリントすることが可能になっている。Christian Schumacher は、単一素材で 3D プリントされているのにもかかわらずモデル内で柔らかさのグラデーションがつけられている構造を提案している [5]。Jonas Martinez はボロノイ構造を制御して柔らかくモーフィングさせる構造を開発している[6]。

メタマテリアルの構造を特性と振る舞い別に分類してみた結果が図1である。



図 1. メタマテリアルの特性と振る舞いの分布図

双安定性は二つの安定状態があること,そして弾性は負荷を掛けると歪み,除くと元の状態に戻ることである。また2D→3Dはシート状のものが立ち上がった曲面になること,変形は内部構造により力を伝え,決まった方向にトランスフォームすること,触覚はふわふわ・ぷにぷになど人に何らかの触覚の印象を与え大きな特徴になること,テクスチャは表面に何らかの模様が現れ,大きな特徴になることである。

ほとんどのメタマテリアルは素材や機能などは違えども小型の3Dプリンターで作られたものであり,大型の3Dプリンティングに活用した例は少ない。そこで本研究はメタマテリアルを大型化した時にどのような新しい機能・振る舞いを発現するのかということを探ることとした。

2. 中型ペレット式3Dプリンタ

今回使用するのはFGF(Fused Granular Fabrication)方式の3Dプリンタ GEM220D(図 2)で,扱えるペレット材料の幅が広く出力も高速であるが,メタマテリアルを造形するにあたっては制約もある。工業用ペレットを押し出すのに十分な大きさのノズル穴の直径が必要のため,プリントされるフィラメントの直径は比較的大きい。そのため,太いフィラメントで構成された支持体を印刷後に切断・除去することができず,サポート材を使用することができない。このように,複雑な3Dデータを用いて自由にメタマテリアルを設計することには限界があるが,この制約の下でも3Dプリントが可能な典型的なメタマテリアル構造がいくつか存在する。



図 2. GEM220D(ArchiFAB IRORI)

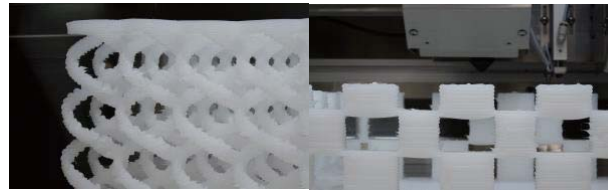


図 3. オーバーハング(左),ブリッジ構造(右)

3. 3種類の初期プロトタイプ

まず我々は,良く知られた代表的なメタマテリアル構造をそのまま採用し,「柔らかい」「硬い」「跳ねる」の3種類の振る舞いをする街具を制作した。「柔らかい」はオーセティックパターン[7]を使用しており,緩やかに沈みこむ動きをする。「硬い」はジャイロイド構造[8]を使用しており強度を保ちつつ少ない材料で制作されている。「跳ねる」はバネ構造を使用しておりクッションやトランポリンのような挙動をする。人間が座りやすい高さということでそれぞれ35センチ立方のサイズに設定した。

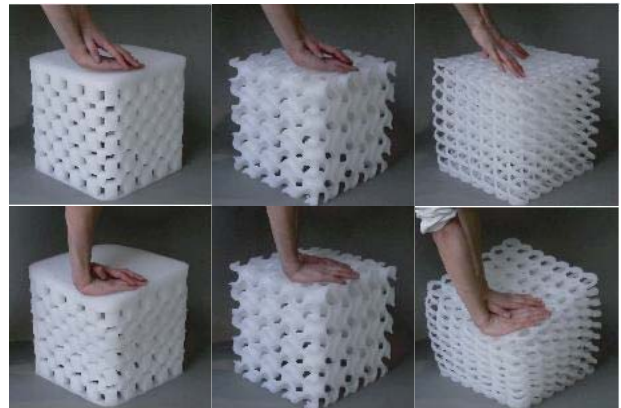


図 4. 左から「柔らかい」「硬い」「跳ねる」

これらを実際に様々な場所に設置し,使われ方を観察した。子供は「跳ねる」「柔らかい」を主に使いながら1人から複数人で長い時間過ごし,組み合わせを自由に変えて本を読んだり遊具として使ったりしている様子を見かけた。若者は同じく「跳ねる」をクッションのように使っている人が多かった。中年の人は「跳ねる」だと少し不安なので「柔らかい」くらいが快適であるという声があった。高齢者の方や体の大きな男性は「硬い」が一番安定しているという理由で選んでいるシーンもあった。

滞在時間については子供以外あまり長くなく,物珍しさで近寄り試しに利用し,気が済んだら去っていくということがよくあった。以上の点から,次の課題はより長い時間使われることであることが分かった。また,現時点でのこの街具の良さは何でも使えることであるが逆に目的を持って利用すると,少し自由度や快適さに欠けていることがわかった。



	子供	若者	中年	高齢者
跳ねる	◎	◎	△	△
柔らかい	○	○	○	○
硬い	○	○	○	◎
滞在時間	長	中	短	短

図 5. 利用者の利用状況



図 6. 実験全体の様子



図 7. 子供の利用者(左)若者の利用者(右)の様子



図 8. 中年の利用者(左)高齢者の利用者(右)の様子

#### 4. 都市における多様な居方・振る舞いに対応させた進化版プロトタイプ

1 回目の実験で抽出したニーズをもとにペルソナを設定して彼ら彼女らの居方や振る舞いを整理し、他方、メタマテリアルが生み出す機能や特製を整理したうえで、両者をマッチングさせ、公園に設置する新たな街具を新たに構想しなおすことにした。

ペルソナ A: 若いカップル. 2 人で利用している。

ペルソナ B: ママ友. 子供達を眺めながら複数人で立ち話をしている。

ペルソナ C: 1 人で長時間滞在している老人・社会人

それぞれに対して望ましいと思われるメタマテリアルは次のようなものとなった。

A: Chiral pattern: 上から力を加えたとある方向に回転し、捻るような動きをする.[9]

B: Bistable pattern: 二つの安定状態を持つ構造で高さを調節できる.[10]

C: Growth ring pattern: ある場所に力をかけると決まった形に変形する構造.[11]

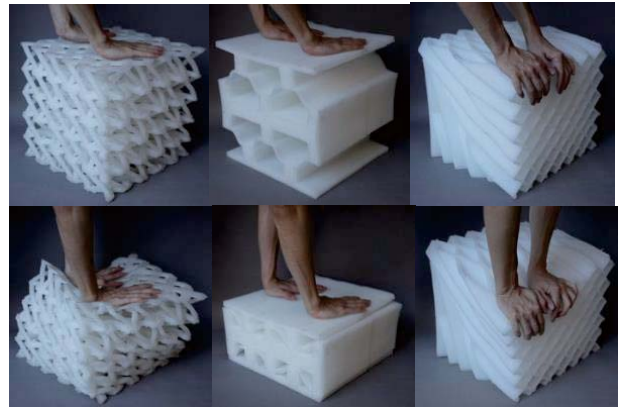


図 9. 左から A,B,C

これらは、実際には次のように使われることが想定されている。

A は座るとある方向に捻るため、正面で向き合うのは圧迫感があるが横に並ぶのは味気ない時を想定している。B は高さを自由に変えられるのでより組み合わせの自由度が上がる。人数に合わせて机にしたり椅子にしたりするなど自分で心地の良い環境が生み出せる。

C は腰を下ろすと背もたれが生まれ、体にフィットするので長時間滞在に向いている。

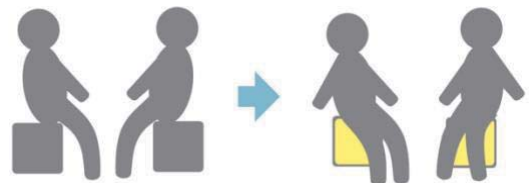


図 10. A: Chiral pattern

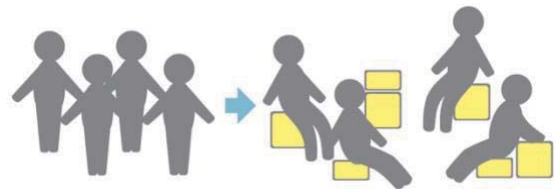


図 11. B: Bistable pattern

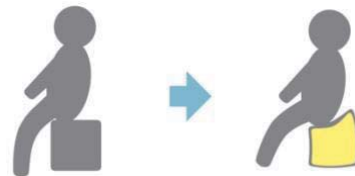


図 12. C: Growth ring



図 13. 左から A,B,C のプロトタイプの様子



図 14. 使用例 1

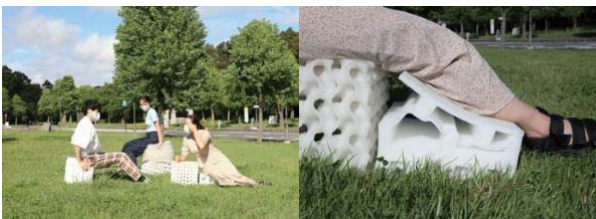


図 15. 使用例 2

## 5. 今後の展望

上記の新しい街具を実地検証する場として 2021 年 11 月に竹芝での屋外実験を予定している。実際の使用方を観察し、アップデートしていく予定である。



図 16. 実験予想図

また将来的には都市の利用状況に合わせてこれらの街具の種類・数・割合を変えることも考えている。都市デザインを研究しているヤン・ゲール事務所の”BENCHMARK”[7]はセンサーを中に仕込んだ街具を町に設置し、人々に使ってもらうことで公共空間の使い方をリサーチしている。そのように新たな街具というだけでなく都市全体のプラットフォームに成長させることも検討している。

## 謝辞

本研究は、JST-COI「感性とデジタル製造を直結し、生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点(JPMJCE1314)」の支援を受けたものである。

## 参考文献

1. The New Raw, Print Your City  
<https://www.printyour.city/>
2. PHILIPP ADUATZ, incremental3D, Kara Mann  
<https://www.philippaduat.com/portfolio-item/private-commission/>
3. 益山詠夢 “Circular Printed Furniture”  
[https://dmecc.sfc.keio.ac.jp/assets/circular\\_printed\\_furniture\\_2020.pdf](https://dmecc.sfc.keio.ac.jp/assets/circular_printed_furniture_2020.pdf)
4. Ion, A. Frohfen, J. Wall, L. Kovacs, R. Alistar, M. Lindsay, J. Lopes, P. Chen, H-T. Baudisch, P. “Metamaterial Mechanisms” UIST’16 pp.529-539(2016)
5. Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, Markus Gross “Microstructure to control elasticity in 3D printing” ACM Transaction on Graphics, Volume 34, Issue4, No.136 pp 1-13(2015)
6. Jonas Martinez, Samuel Hornus, Haichuan Song, Sylvain Lefebvre “Polyhedral Voronoi diagrams for additive manufacturing” ACM Transaction on Graphics Volume 37 Issue4, No.129 pp 1-15(2018)
7. Xin Ren, Jianhu Shen, Arash Ghaedizadeh, Hongqi Tian and Yi Min Xie. “A simple auxetic tubular structure with tuneable mechanical properties.” Smart Materials and Structures. Volume 25, No.6.(2016)
8. Diab W. Abueidda, Mohamed Elhebeary, Cheng-Shen (Andrew) Shiang, Siyuan Pang, Rashid K. Abu Al-Rub, Iwona M. Jasiuk “Mechanical properties of 3D printed polymeric Gyroid cellular structures Experimental and finite element study” Materials&Design Volume 165, 107597(2019)
9. Liang Wang, Hai-Tao Liu “3D compression-torsion cubic mechanical metamaterial with double inclined rods” Extreme Mechanics Letters Volume 37, 100706(2020)
10. 鐘ヶ江壮介, 奥川将行, 小泉雄一郎 「3D プリントを活用した形状記憶・衝撃吸収メタマテリアル開発」The Journal of 4D and Fabrication No.1 1-8(2020)
11. Thibault Tricard, Vincent Tavernier, Cedric Zanni, Jonas Martinez, Pierre-Alexandre Hugron, Fabrice neyret, Sylvain Lefebvre “Freely orientable microstructures for designing deformable 3D prints” ACM Transactions on Graphics, Volume 39, Issue6, No.211, pp1-6(2020)
12. Gehl Institute, MIT Civic Date Design Lab, BENCHMARK  
<https://gehlpeople.com/shopfront/benchmark/>