



# 遊具と街具のあいだ

—都市や人の多様な振る舞いに対応した柔らかな大型メタマテリアル構造体の設計と製造—

2021年度 学士論文

慶應義塾大学 田中浩也研究室

環境情報学部 4年 矢崎友佳子



## Abstract

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盛んに行われているが、そのような家具スケールの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。そこで、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一辺35cmのブロックを3D プリントし、それらを積む・並べる等組み合わせることによって遊具と街具の中間形態を作り出す可能性を検討した。また実際の設置実験を通じて利用者のニーズを抽出し、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いだすこともできた。

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た家具スケールの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、メタマテリアル

# Contents

**Introduction** 06

**Background** 08

遊具と街具

メカニカル・メタマテリアル

**City & 3Dprint** 16

街と3Dプリンタ

3Dプリンタとマテリアル

街具ブロック ver.1

使用例・仮説

設置実験1

設置実験2

まとめ

**Public Life & 3Dprint** 40

街具ブロック ver.2

ペルソナと使われ方

使用例・仮説

設置実験3

まとめ

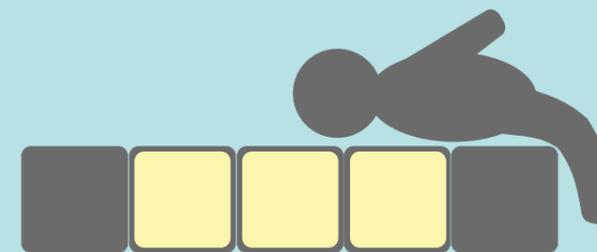
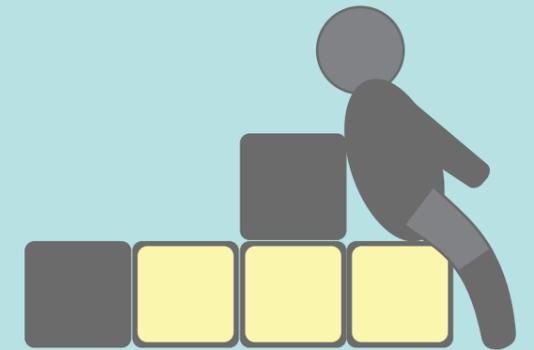
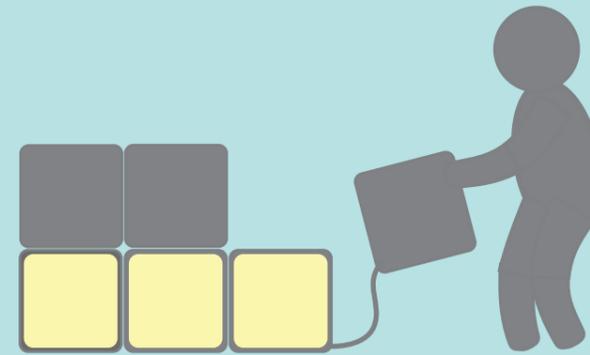
**Conclusion** 56

結論と展望

付録 - プロジェクトの歴史 -

参考・出典

謝辞







# Background

遊具と街具

メカニカル・メタマテリアル

# 遊具と街具



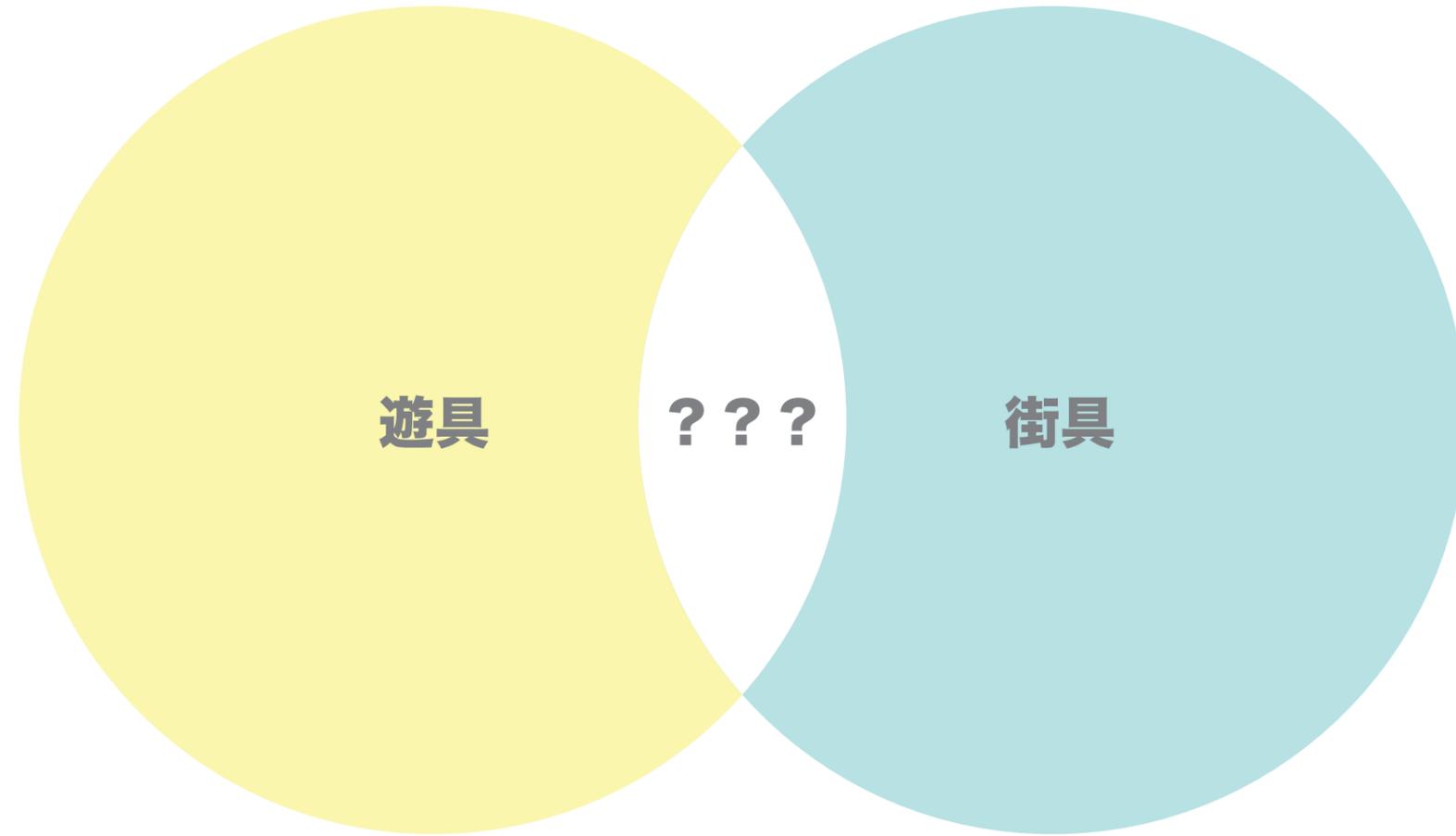
[1]



[2]



[3]



[4]



[5]



[6]

「遊具」と「街具」という言葉について説明する。遊具 (playground equipment) とは主に公園などに設置されている子供たちが遊びに使う道具・設備を差す言葉である。昭和31年(1956年)に制定された「都市公園法」では「都市公園の設置と管理に関する基準などを定めて、都市公園の健全な発達をはかり、公共の福祉の増進に資することを目的とする」ことを理由に児童公園(現在の街区公園)に「ブランコ」「砂場」「すべり台」の設置が義務付けられた。その後都市公園法改正によりその規制は撤廃され

たが、今でもこの3つは「公園の3種の神器」と呼ばれ多くの公園で観測されている。現在はその種類を多く増やし健康増進を目的としたものなど子供に限らず幅広い世代に向けて設置されている遊具も存在する。

一方、街具 (street furniture/public furniture/urban furniture) は海外で主に使用されている言葉であり、日本ではまだあまり馴染みのある言葉ではない。様々な目的で通りなどの公共空間に設置された設備のことを意味し、ベンチ・ガードレール・公衆電話・郵便ポスト・街頭・

信号などが含まれる。さらに近年まちづくりやパブリックデザインの文脈でよく使われているストリートファニチャー / パブリックファニチャーは、市民による遊び心や自由な使い方、都市体験、ボトムアップ式のハックのための道具などの意味合いに重きを置いて使われている。

昨今、感染症の影響で公園などの公共空間の利用は増えている。子供だけでなく若者から高齢者までが公園や街中のベンチなどを利用していく中で様々な街の使い方が生まれてきている。本研究は、年齢や性別などバック

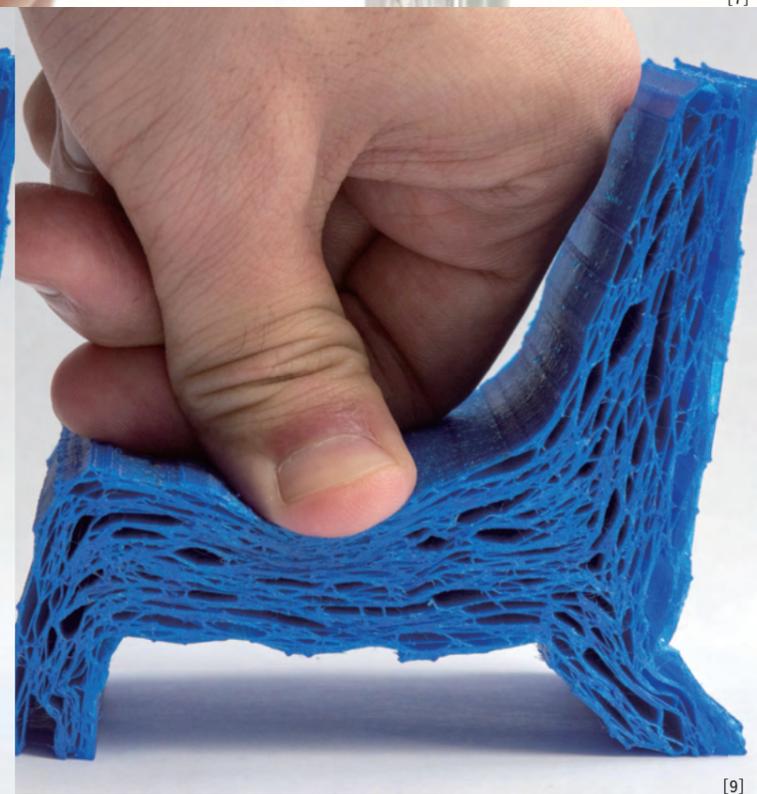
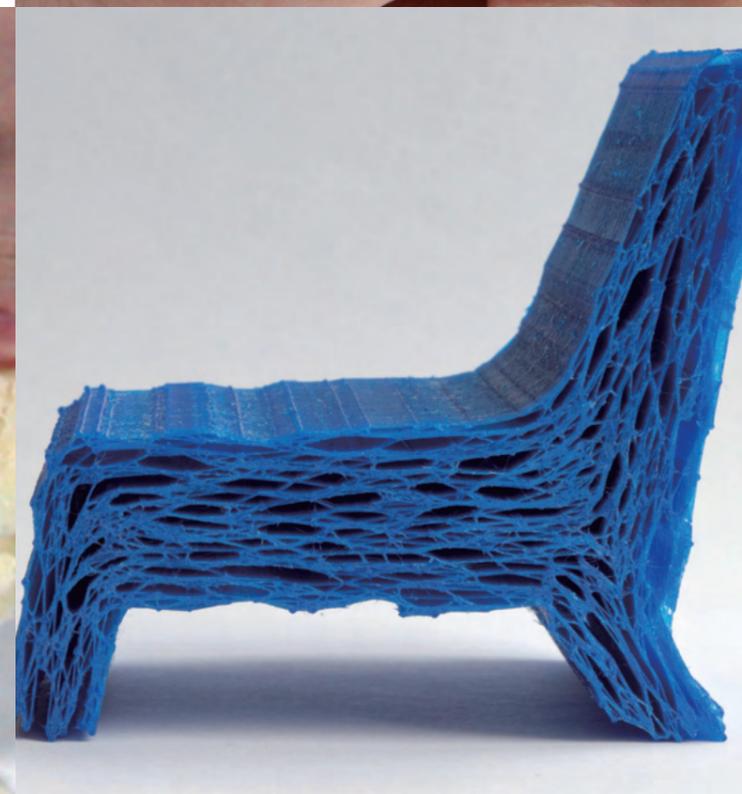
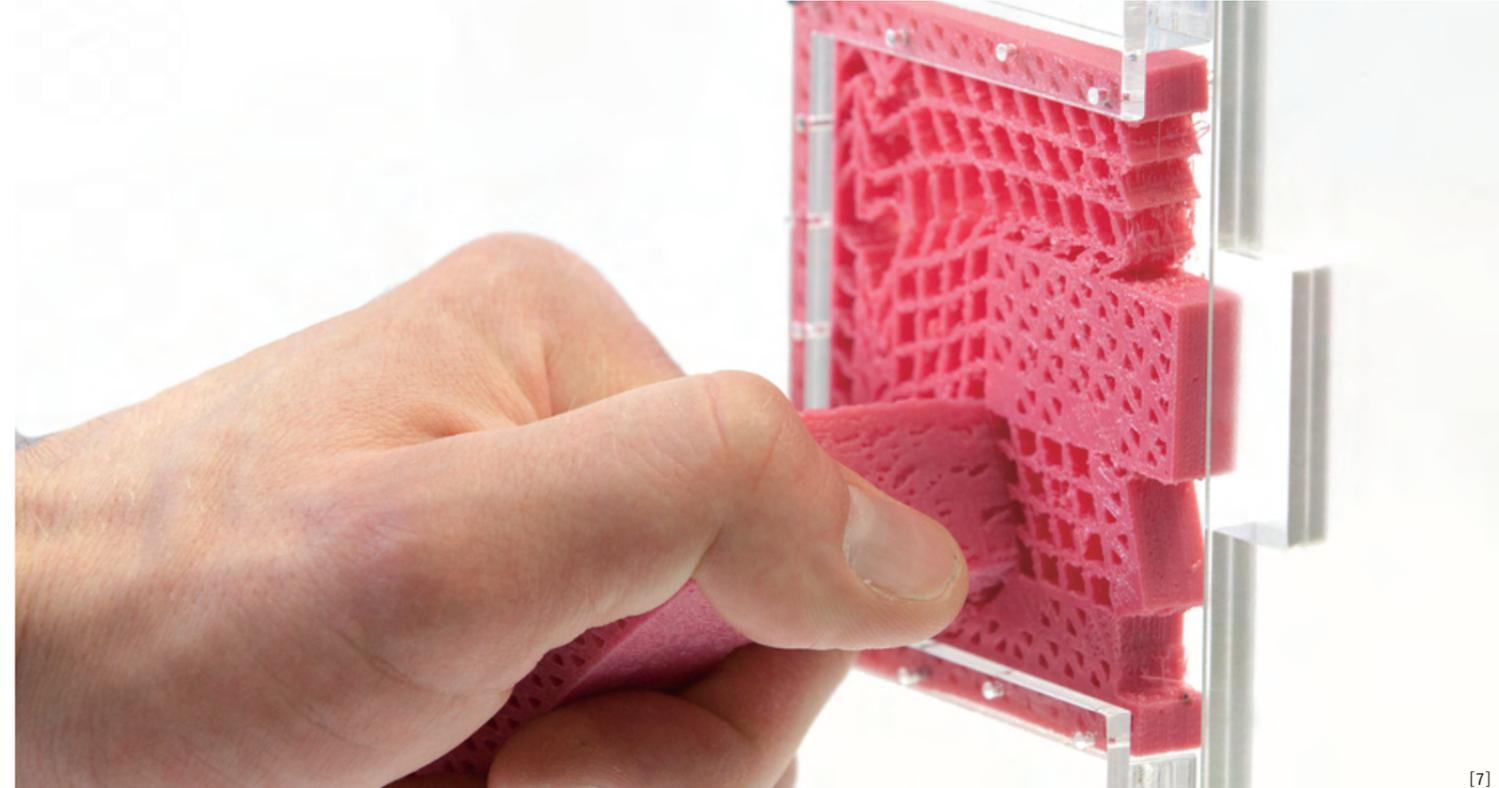
グラウンドの違う人々が各々自由かつ快適な使い方を可能にする新たな「遊具と街具のあいだ」を街に置くことで、利用者自身が街の豊かな利用可能性を提示していくことを目指すものである。「遊び心」を与えたストリートファニチャー / パブリックファニチャーは先行事例として世界にたくさん存在するが、遊び心だけでなく「本当に遊べる」街具の制作を試みる。

# メカニカル・メタマテリアル

もう1つ、本研究の技術面でのテーマはメタマテリアルである。

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特性を実現させるものである。概念としては昔から広い分野で存在していたが、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た。特に形状や素材を変えずに機械特性を付加できるメカニカル・メタマテリアルは様々な種類が提案されている。

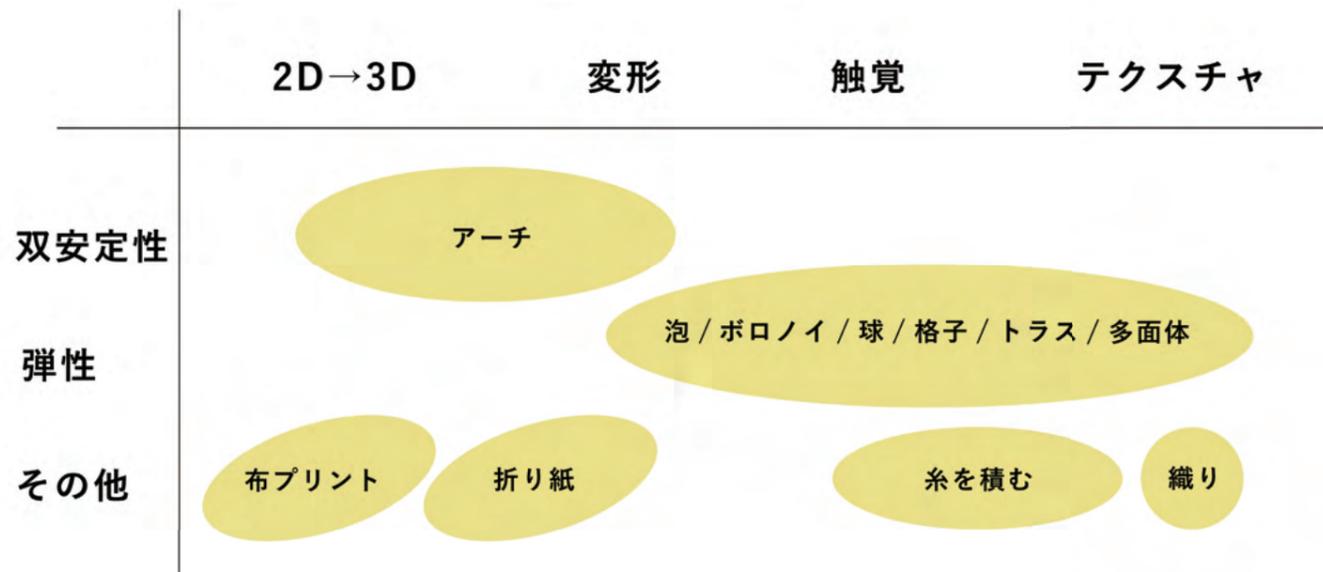
素材や機能などは違えどもほとんどのメタマテリアルはデスクトップ3Dプリンタで作られたものであり、大型の3Dプリンティングに活用した例は少ない。そこで本研究はメタマテリアルを大型化した時にどのような新しい機能・振る舞いが発現するのかということを探ることとした。



[7]Metamaterial Mechanisms  
[8]Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing  
[9]Orthotropic k-nearest forms for additive manufacturing

# メカニカル・メタマテリアル

ME(Material Extrusion)方式の3Dプリンタで出力可能であると思われるメカニカル・メタマテリアルの構造群を独自に特性と振る舞い別に分類したものが下の分布図である。それぞれパラメータや構造の例を紹介する。



メカニカル・メタマテリアル分布図

## 2D → 3D

2Dのシートが3Dの曲面になったり立ち上がったたりすること。

## 変形

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

ふわふわ・ぶにぶになど人になん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

表面になんらかの模様が現れ、大きな特徴になること。

## 弾性

負荷をかけると歪み、負荷から解放すると歪みがなくなること。

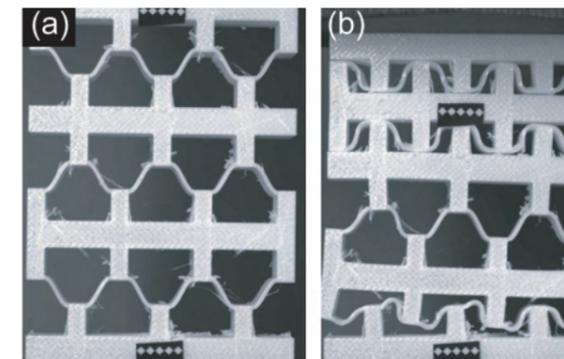
## 双安定性

安定状態が2つ存在し、その状態間が可逆的に遷移可能であること。

## その他

布のテンションを利用した造形や糸のように出力するなどME方式の3Dプリンタならではの製造方法が多い。

## アーチ



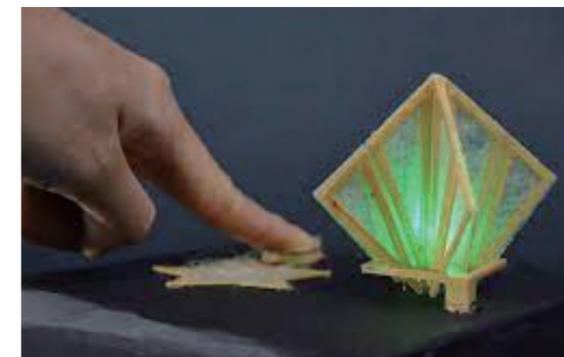
アーチ状の構造体で、力を加えると第1安定状態から不安定状態を経て第2安定状態へと形状が変化する。形状記憶や衝撃吸収材としての応用が検討されている [10]。

## 布プリント



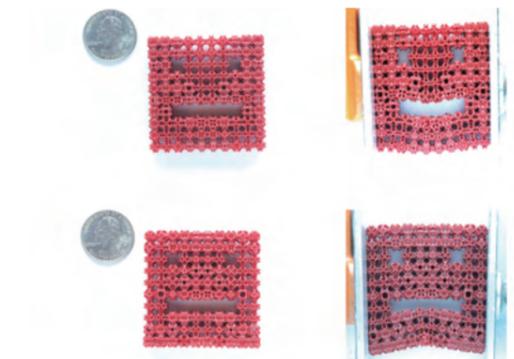
Grasshopper(Rhinoceros)で実装されたパターン生成ツール。布にテンションをかけた状態で折り紙パターンを造形することで3次元的な形状を作り出す [12]。

## 糸を積む



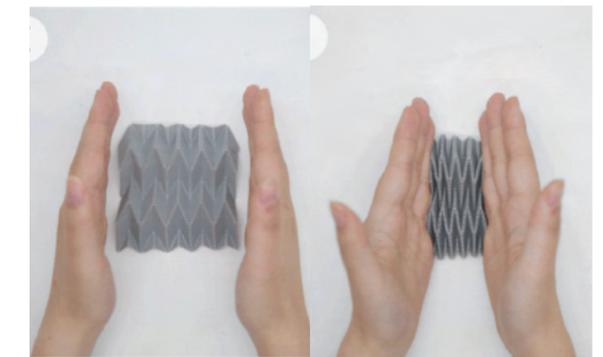
静電気力を利用して細い繊維を創り出す技術を利用した3Dプリンタ。羊毛のような柔らかな触感を生成し、普通の3Dプリントと同時に進行することができる [14]。

## 格子



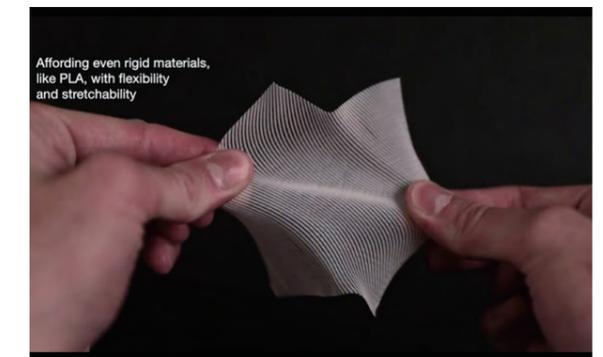
様々な柔らかさの種類をブロックに付与し、それらの組み合わせを制御することで異方性を持たせることができる構造体 [11]。

## 折り紙



FFF方式のプリンタを使って作られた柔らかな折り紙構造。折り畳みのシミュレーションを行った上でパラメトリックにモデルを生成する。 [13]

## 織り



FFF方式の3Dプリンタを用いて柔らかなテキスタイルを生成する。吐出量など様々なパラメータを制御し美しい模様や癖付けなどを可能にした [15]。

# City & 3Dprint

街と 3D プリンタ

3D プリンタとマテリアル

街具ブロック ver.1

使用例・仮説

設置実験 1

設置実験 2

まとめ



# 街と 3D プリンタ



[16]

[16]Print Your City  
[17]Private Commission  
[18]Circular Printed Chair



[17]



[18]

3Dプリンタで家具や街具を製造するプロジェクトは近年増えている。たとえば「Print Your City」[16]はプラスチック廃棄物から作られた3Dプリント街具製造サービスであり、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が共同で制作した街具[17]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。益山詠夢ら

は「Circular Printed Furniture」[18]として一筆書きから作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。

これらに共通して言えるのは、どれも固い材料で作られており、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、柔らかな材料と前章で説明したメタマテリアルを用いることで、今までにない座り心地・使い方をした街具を開発を目指した。



## 3D プリンタ

使用する機材は ArchiFab IRORI(GEM550D)[19]。

エス・ラボ株式会社が開発した FGF(Fused Granular Fabrication) 方式の家具スケール 3D プリンタで、造形範囲は 550 × 400 × 400(mm<sup>3</sup>) である。1.0mm、2.0mm、3.0mm、4.0mm、5.0mm、6.0mm と幅広いノズル径に対応しており、2つのエクストルーダーヘッドを持つのが特徴だ。

ペレット状の材料を用いるため、FFF(Fused Filament Fabrication) 方式では不可能だった柔らかな素材、ガラスやカーボンなどの成形に用いるフィラーや着色料の混ぜ物が出力可能になり、材料自由度が高い。

## マテリアル

“テファブロック™ TPS とはベースポリマーにスチレン系ゴム (SBC) を使用した、優れたゴム特性を持ったエラストマーです。その特性を生かし、自動車用途(モール / 内装射出表皮 / グリップ) 産業資材用途(チューブ / グリップ)、生活雑貨用途に幅広く採用されております”[20]

使用する材料は三菱ケミカルが開発している熱可塑性樹脂である。ゴム弾性にすぐれ、耐候性・耐熱性を持つ。あまりベタつかず成形加工がしやすいためプリント時や出力後も扱いやすい素材であることも特徴である。様々な柔らかさ・色などの種類があるが、柔らかな触感を持ちつつも出力物は人間の体重を支えられる強度を保てるという理由で SJ7300C を使用している。1kg あたり 1100 円程度の価格である。



# 街具ブロック ver.1

今回使用する FGF(Fused Granular Fabrication) 方式は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がある。工業用ペレットを押し出すのに十分な大きさのノズル径が必要なため、プリントされるフィラメントの直径は比較的大きい。3D プリントは通常、オーバーハング(積層に傾斜がついておりはみ出て空中に浮いてしまっている部分)は下にサポート材という足場を出力することで造形を可能にするが、太い押出幅で構成されたサポート材は印刷後に切断・除去することが難しく、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 プリントが可能な構造を模索してきた。ここでは素材と機材の組み合わせにどのような技術的発見があったか、それを踏まえてどのような街具を制作するかを説明する。

まず大きな特徴として、材料の粘性の高さと冷却の早さから、ブリッジ構造が出力可能である(写真左)。基本的にプリントスピードが速い方がブリッジは安定し、細いノズルの方が材料が垂れずに美しい造形になる。

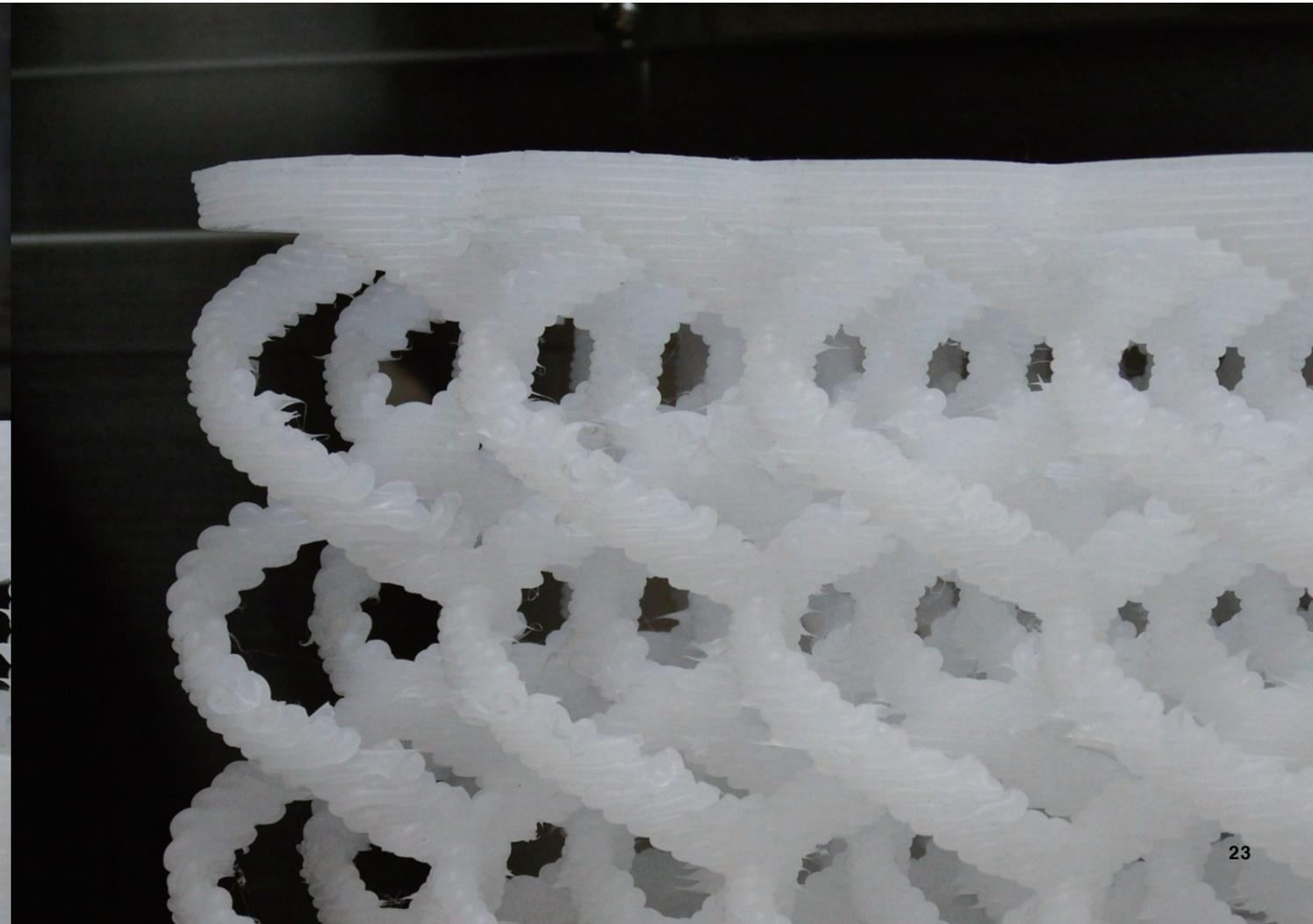
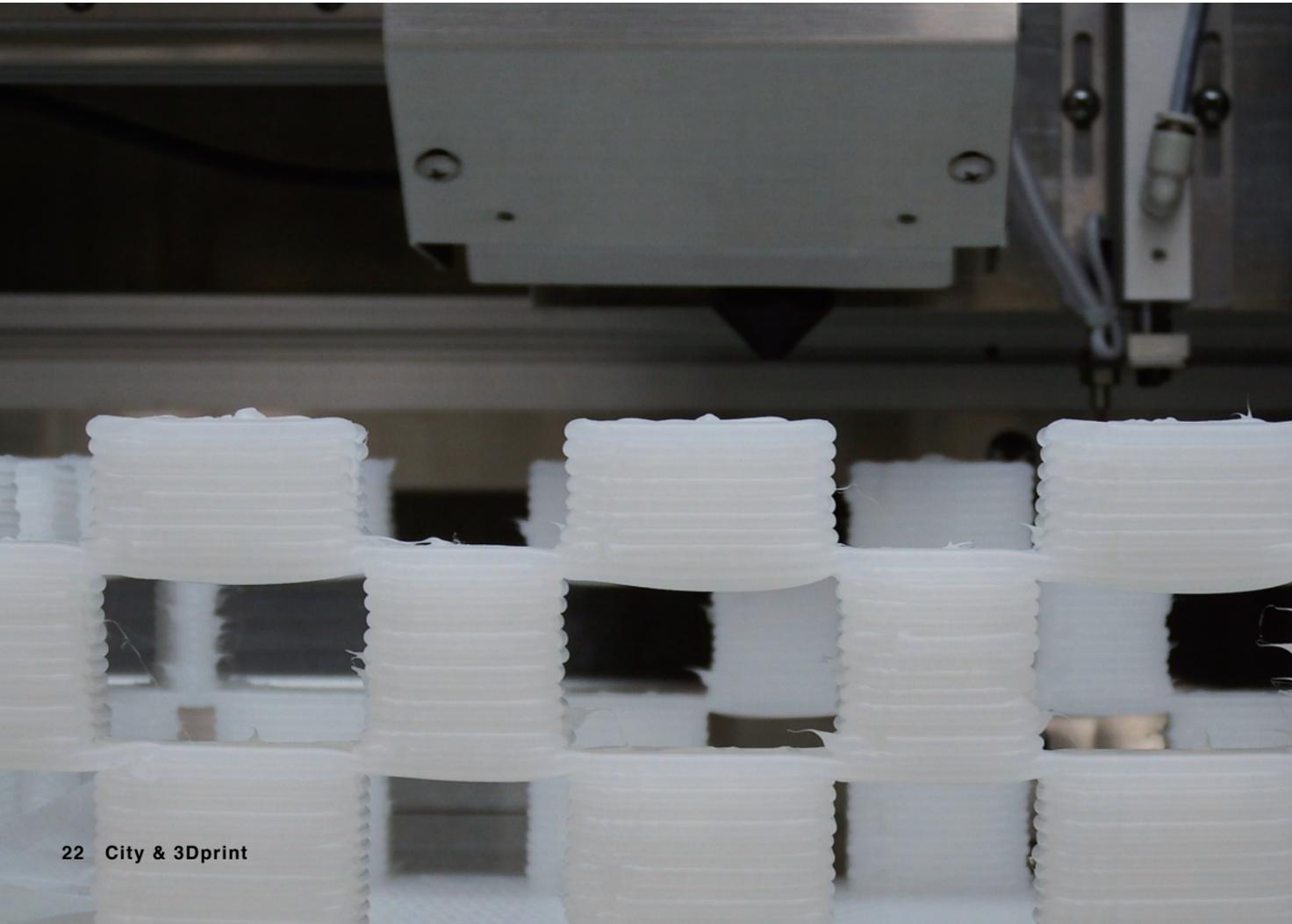
また積層の傾斜が急な上にノズルの動きが細かく、通常大型の 3D プリンタでは出力が難しいような構造でも(写真右)、モデルとプリントのパラメータ調整を行うことで安定した出力を可能にする。オーバーハング状態でもすでに出力済みの物体に接着することで造形できた事例も見受けられ、接着という点で強く大型 3D プリントにしては比較的細やかで自由な造形が可能だ。

これらの特性を理解した上で、メタマテリアルを付与した街具を設計していく。まず形状による自由度の制限をなくすために全て立方体に統一した。ブロック 1 個だ

けはもちろん、組み合わせにより様々な今までにない使い方が可能になり、並べる・積むというシンプルな行動に絞ることで子供から高齢者まで自由に扱える。そして立方体の 1 辺は 35cm に設定した。これは人間工学的に人間の座りやすい高さの範囲に入っているものであり[21]、重ねても高すぎず扱いやすいサイズを選定した。

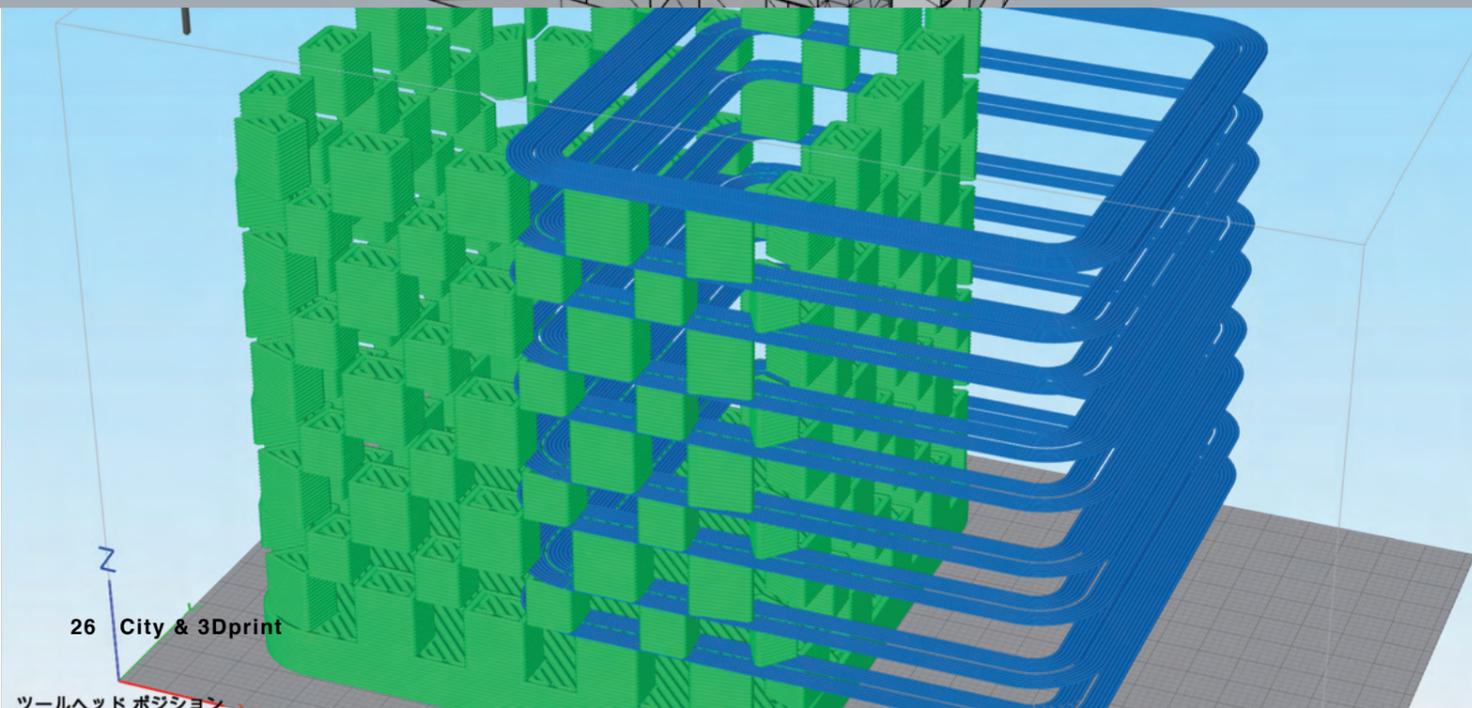
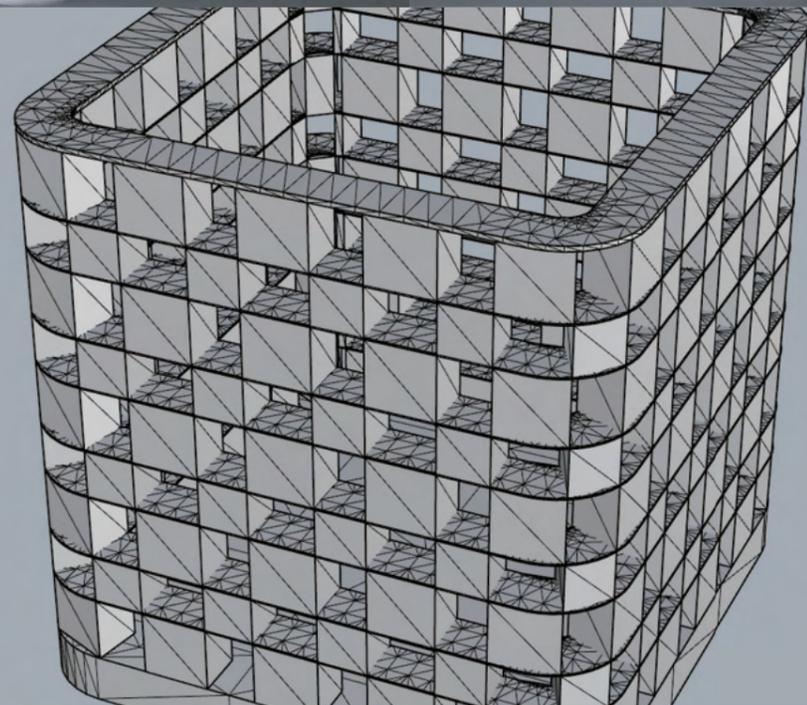
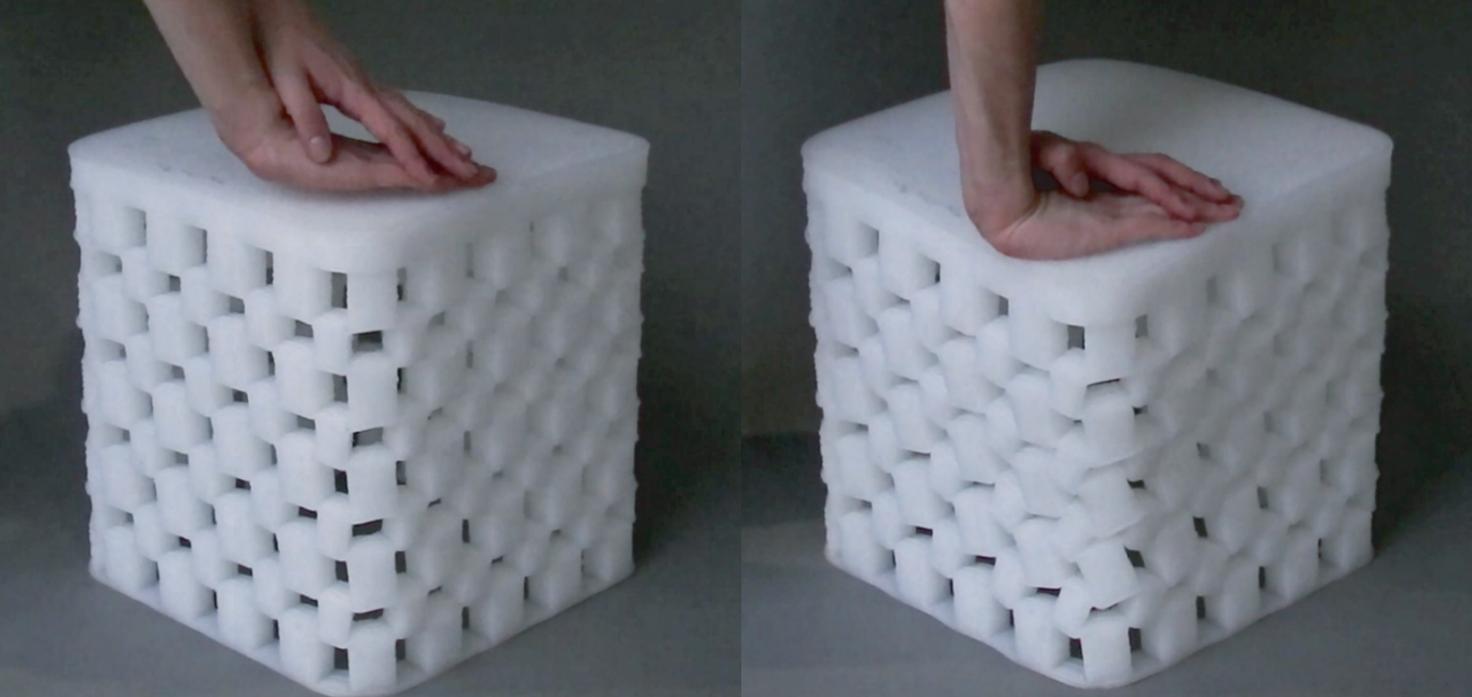
ver.1 は 3 種類の街具ブロックを用意した。次ページ以降で制作風景、種類や製法を紹介する。

(左)ブリッジ構造  
(右)オーバーハング(モデルの作成:田中浩也)





# 街具ブロック ver.1



## 柔らかい / Auxetic Pattern

350 × 350 × 350(mm)/8.3kg

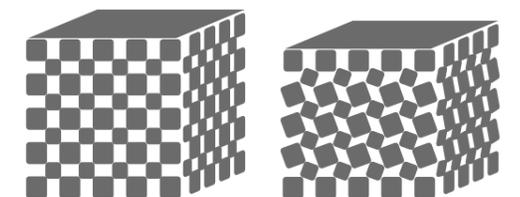
使用ソフト：Fusion360(Autodesk),Rhinceros(Robert McNeel & Associates),Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：5時間 モデル製作者：矢崎友佳子

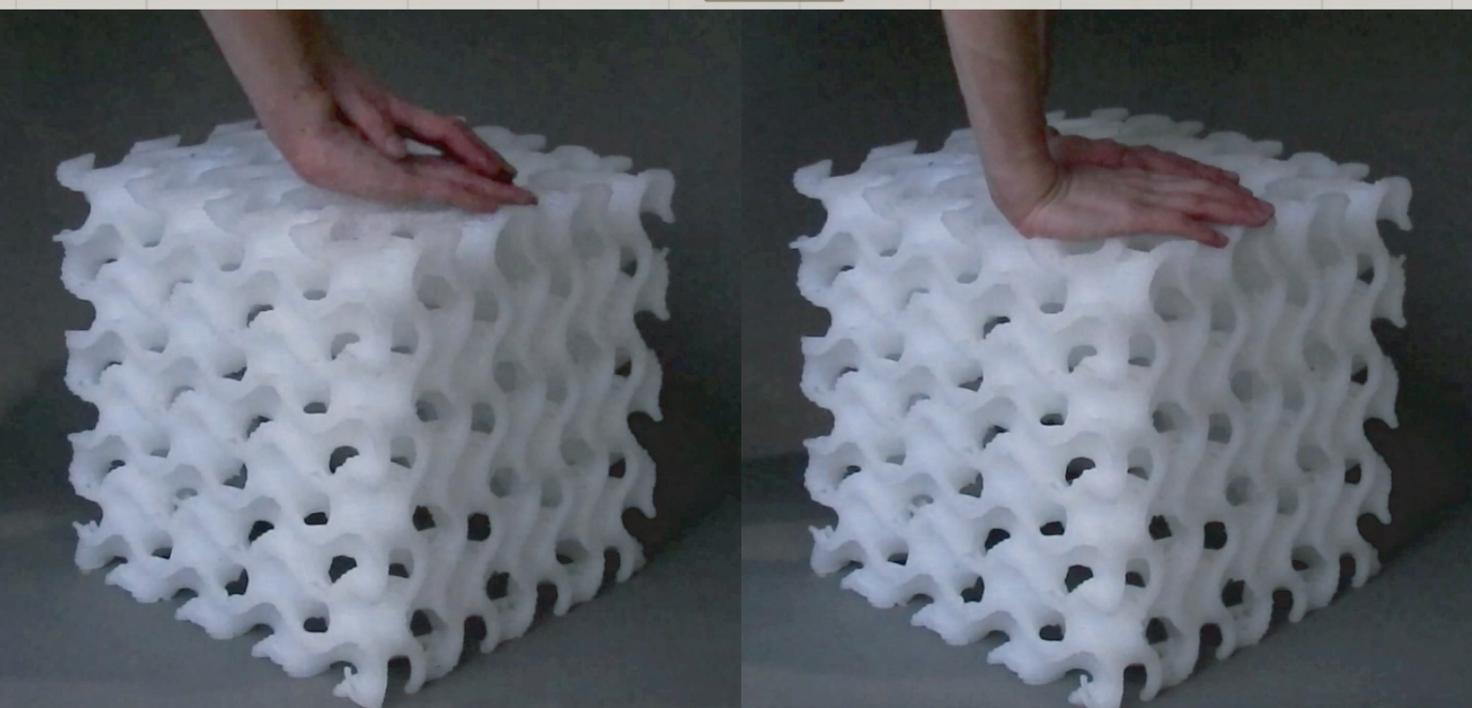
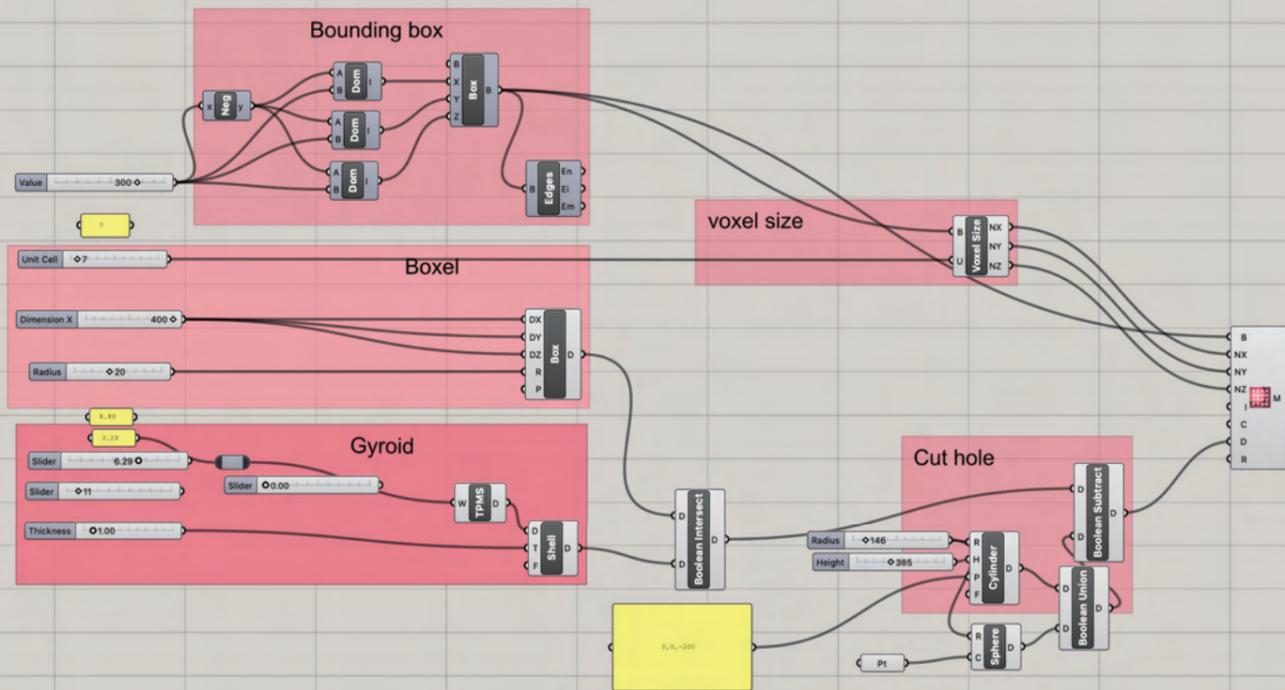
物体に力をかけると正の直角方向に歪むのではなく負の方向に歪む（例：XY平面においてX軸から凹ませるとY軸方向も凹む）という負のポアソン比を持った、Auxetic Patternを採用した[22]。シート状の構造体がぐるっと座面に巻きついたような形状をしており、座面から力を掛けるとパターンが内側に凹み座面が沈む。パターンが閉まるとそれ以上は沈まないで利用者は柔らかいが安定感のある座り心地を感じることができる。

ブロックの1辺の長さは35cmと設定していたのでそこから座面の高さ等を逆算してセルの大きさを決めた。

ブリッジはノズル径が細いほど材料が垂れず綺麗な仕上がりになるので、本体部分とブリッジ部分で使用するヘッドを変えている。本体は径が太いノズルで出力時間を短縮し、ブリッジ等細かいところは繊細な出力が可能な径の細いノズルを使用することでデュアルヘッドの強みを生かした。



# 街具ブロック ver.1



## 硬い / Gyroid Structure

350 × 350 × 350(mm)/8.8kg

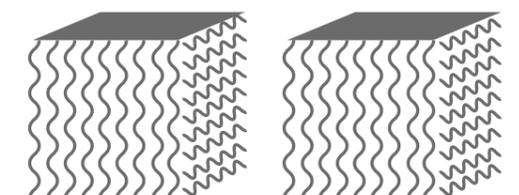
使用ソフト：Rhinceros/Grasshopper(Robert McNeel & Associates),Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：6時間 モデル製作者：有田悠作

3次元方向に周期性と連続性を持つ Gyroid Structure を採用した [23]。多孔質で曲面が多く、軽さと強度を併せ持つのが特徴である。蝶の鱗粉の構造であることでも有名で、3D プリント分野では非常に注目度が高い構造であり、様々な応用例がこれまで提案されている。街具ブロックにするにあたっては、少ない材料で強度を担保するという特性を得られた。

質量の削減と、制作当時は中にライトを入れる設計になっていたので内側は丸くくり抜いた形をしている。構造により内部が抜かれているのにも関わらず高い強度を保っている。

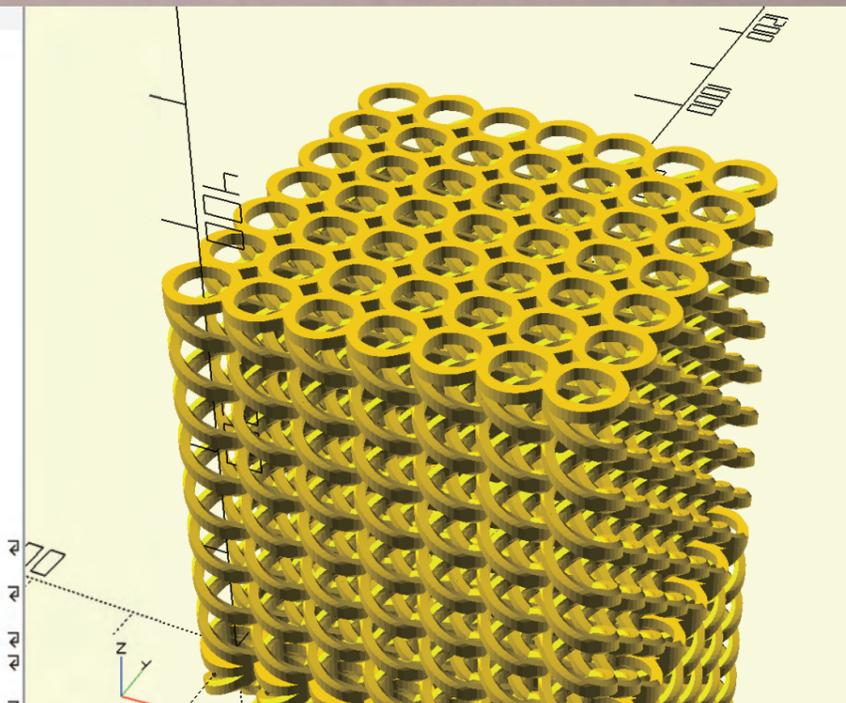
ジャイロイドだと目視でわかる、形状的に無理なく座れる、ノズル径に対して綺麗にプリントできる、プリント時間も長すぎないというところを着地点にパラメータを設定した。



# 街具ブロック ver.1



```
1 // Meta-material Grid Generetator
2 // Hiroya Tanaka
3 // Director, Social Fabrication Lab
4 // Professor, Keio University SFC
5 // 2020.11.19
6 echo(version=version());
7 repeatx=7; // [0:20]
8 repeaty=7; // [0:20]
9 repeatz=1; // [0:20]
10 diameter=50; // [1:10]
11 windings=8; // [1:1]
12 height=700; // [1:10]
13 flatStart=true;
14 flatEnd=true;
15 wireDiameter=14; // [1:5]
16 fn=4; // [1:10]
17 for(x=[0:repeatx-1]){
18   for(y=[0:repeaty-1]){
19     for(z=[0:repeatz-1]){
20       translate([x*diameter,y*diameter,z*height
21         ]) union(){
22         spring3D(diameter,windings,height,true,
23           true,wireDiameter,fn);
24         mirror([0,0,1]) translate([0,0,0]) rotate
25           ([0,0,0]) spring3D(diameter,windings,
26             height,true,true,wireDiameter,fn);
27         mirror([1,0,0]) mirror([0,1,0]) translate
```



## 跳ねる / Ω Spring

350 × 350 × 350(mm)/9.0kg

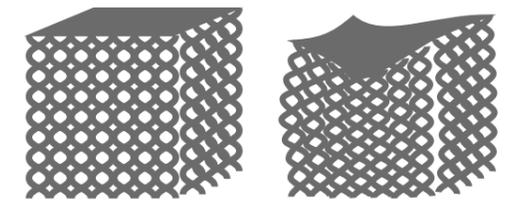
使用ソフト：Rhinoceros(Robert McNeel & Associates),OpenSCAD(Marius Kintel),Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：8 時間 モデル製作者：田中浩也、矢崎友佳子、加藤陸

慶應義塾大学教授の田中浩也が開発した、3D プリント可能なバネ構造を採用した。基本的にバネ構造はオーバーハングなどの問題から3D プリントには不向きである。しかしこの構造は2つの交差した螺旋が途中で合流地点を作りながら積層するため比較的綺麗に3D プリントできるというのが特徴である。

この構造を3Dプリントした前例がなかったので、オーバーハングの問題を解決し綺麗に積層できる、そしてバネのような跳ねる動きを見せるという着地点を目指して最適なパラメータを模索した。試した結果決定したパラメータは画像の中にある通りである。弾性を出すために合流地点はなるべく少なくした。

素材の粘度の高さもあり、出力は思ったよりも安定した。またマテリアルを冷さなくてはならないと合流地点の問題で、バネのセルが多ければ多いほど出力が安定する傾向があった。



# 使用例・仮説

3種類のブロックを2セット、合計6ブロック制作し実際に自分たちで使ってみた。遊んだり寄りかかったり寝転んだり様々な使い方の仮説を立てた。



# 設置実験 1

時期：2021年2月 場所：湘南台公園

湘南台公園 [24] とは湘南台駅東口から徒歩 10 分のところにある比較的大きな公園で、遊具だけでなく芝生やテニスコートまでも保有している。利用者は子供が最も多く、次いで付き添いの親が多い。また時間帯によっては湘南台付近の大学の生徒が利用していることも多い。高齢者もベンチに座っているところをよく見かけた。

利用状況としては、小学生はサッカーなどの球技、幼稚園児は縄跳びや鬼ごっこ、大学生や高齢者は1人で腰掛けたり談笑したりといった具合だった。

「硬い」「柔らかい」「跳ねる」それぞれ2つずつ合計6ブロックを設置した。



# 設置実験 2

時期：2021年12月中旬 場所：東京都庁前路上

小田急電鉄・大成建設・東京都が合同で開催したソトウェルパーク [25] という屋外実験に参加させていただいた。これは西新宿エリアに関わる街の人々のQOL向上を図ることをテーマにデジタル技術を使い、屋外で快適に過ごせるスペースづくりとこれからのニューノーマルな働き方を提案するものであり、私たちは「硬い」を2つ、「柔らかい」「跳ねる」を1つずつ持って参加した。

東京都庁前という立地から、主な利用者は社会人（若者・中年）であった。休み時間や通りすがりに興味を持って立ち寄る姿や、テレワークをしている人、お茶をする人などが観測された。



# まとめ

	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
様子				

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交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。中年の人からは「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自由度が高く何の用途にでも使えることであ

るが逆に目的を持って利用すると、快適さに欠けていることがわかった。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性を整理したうえで、両者をマッチングさせ、街具を新たに構想しなおすことにする。様々な年代の人が各々自由に過ごす上に感染症の影響で近年利用度が上がっているとされ

ている公園を、街具の設置場所と設定した。次の章ではその新たなメタマテリアル構造を付与した街具ブロック3種類(街具ブロック ver.2)の概要や造形手法、ペルソナの設定など実際の街での人の振る舞いに対応した街具ブロックの設計手法を紹介していく。



# Public Life & 3Dprint

街具ブロック ver.2

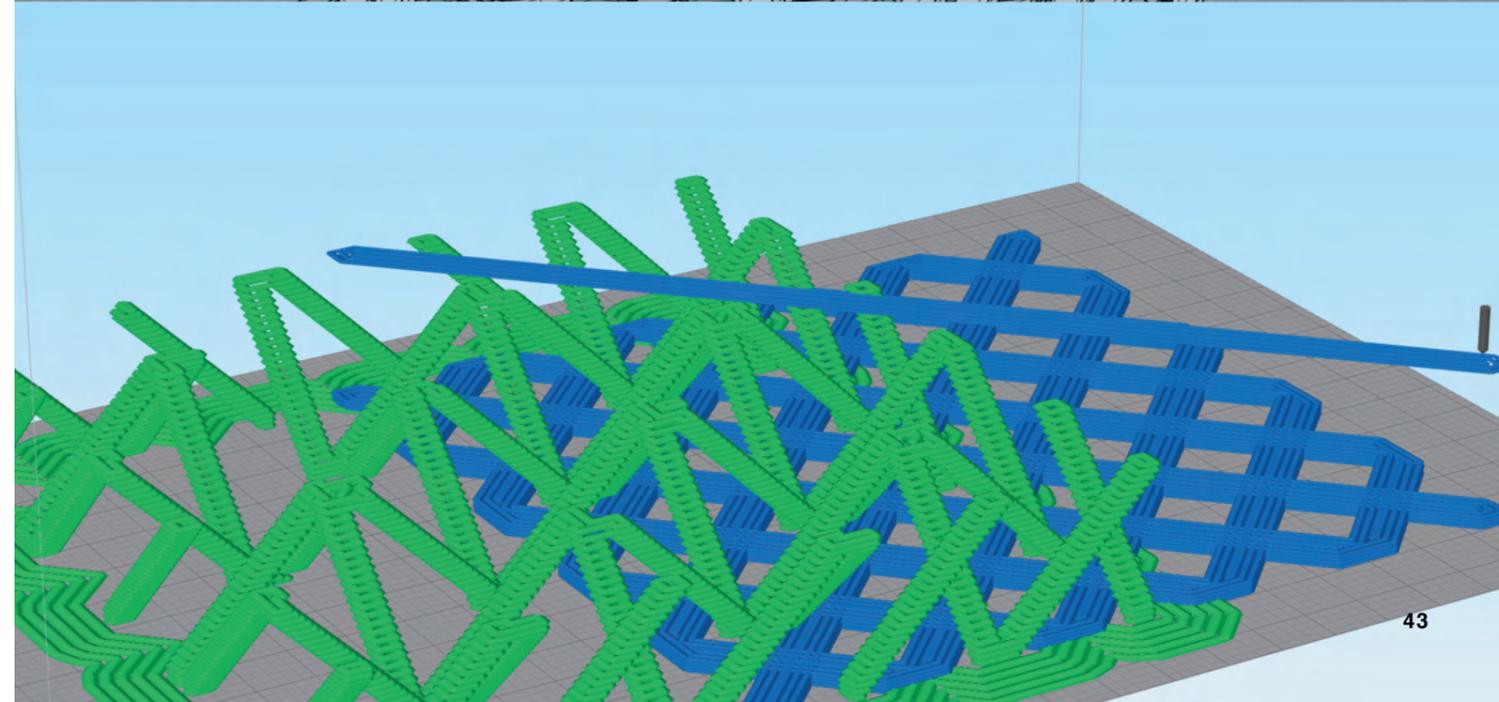
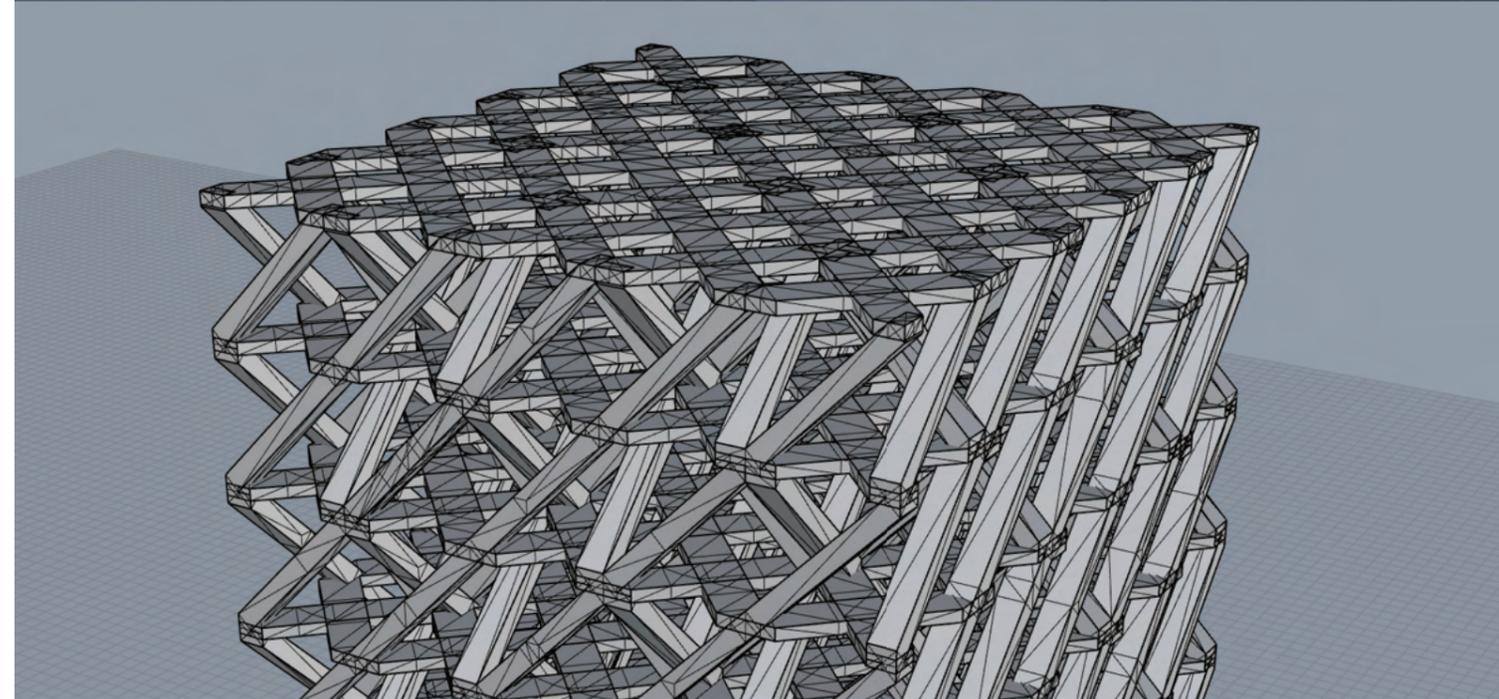
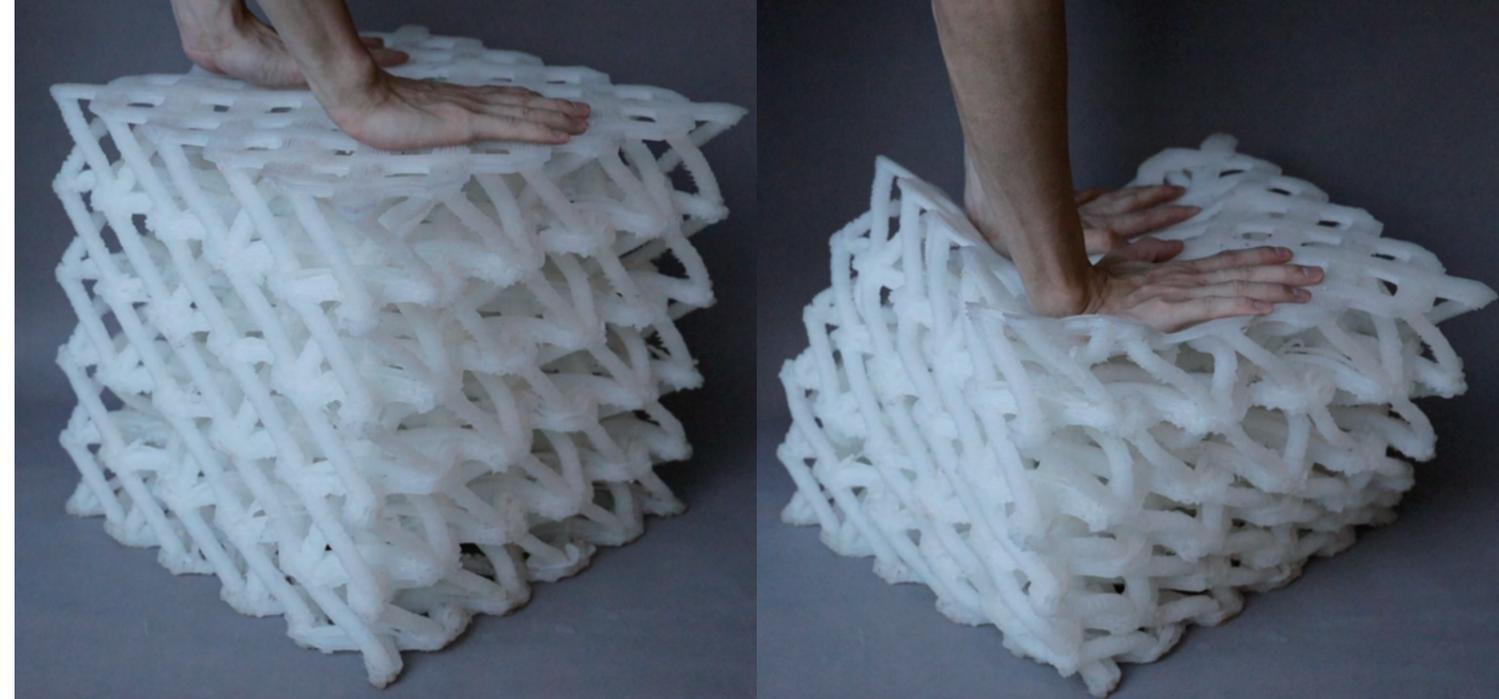
ペルソナと使われ方

使用例・仮説

設置実験3

まとめ

# 街具ブロック ver.2



## 捻る / Chiral Pattern

350 × 350 × 350(mm)/9.0kg

使用ソフト：Rhinceros(Robert McNeel & Associates), Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：7 時間 モデル製作者：矢崎友佳子

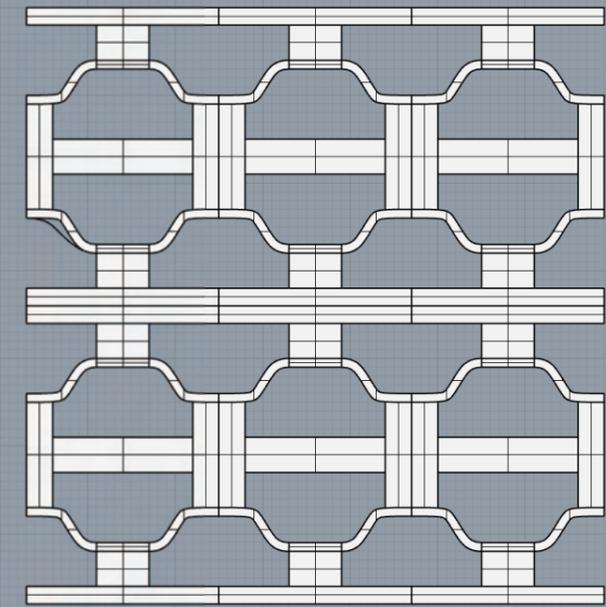
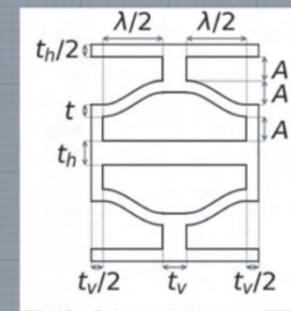
上から力をかけると垂直方向に回転する構造体を採用。様々な論文を参考にしてテストし、最終的に 2 つの論文 [26] [27] を組み合わせたオリジナルの構造を作成した。ブリッジとオーバーハングに耐えられるかつ回転の動きを妨げないモデルにした。

街具ブロックのサイズにすることで、上から体重をかけると自然に体が回転するような動きをさせることができた。パラメータはオーバーハングを解決し人が耐えられそうな重量にしつつなるべく回転する、出力時間も許容範囲であるというところに着地点を設定して決定した。

出力に関して、前述の Auxetic Pattern と同じように本体とブリッジのノズル径を変えた。この層ではどこに柱があってどこからブリッジから始めたら安定して出力ができるかを考慮してブリッジを生成する順番を決め、それごとにモデルをエクスポート、simplify3D のプロセスを割り当てた。



# 街具ブロック ver.2



## 留める / Bistable Pattern

350 × 350 × 350(mm)/13kg

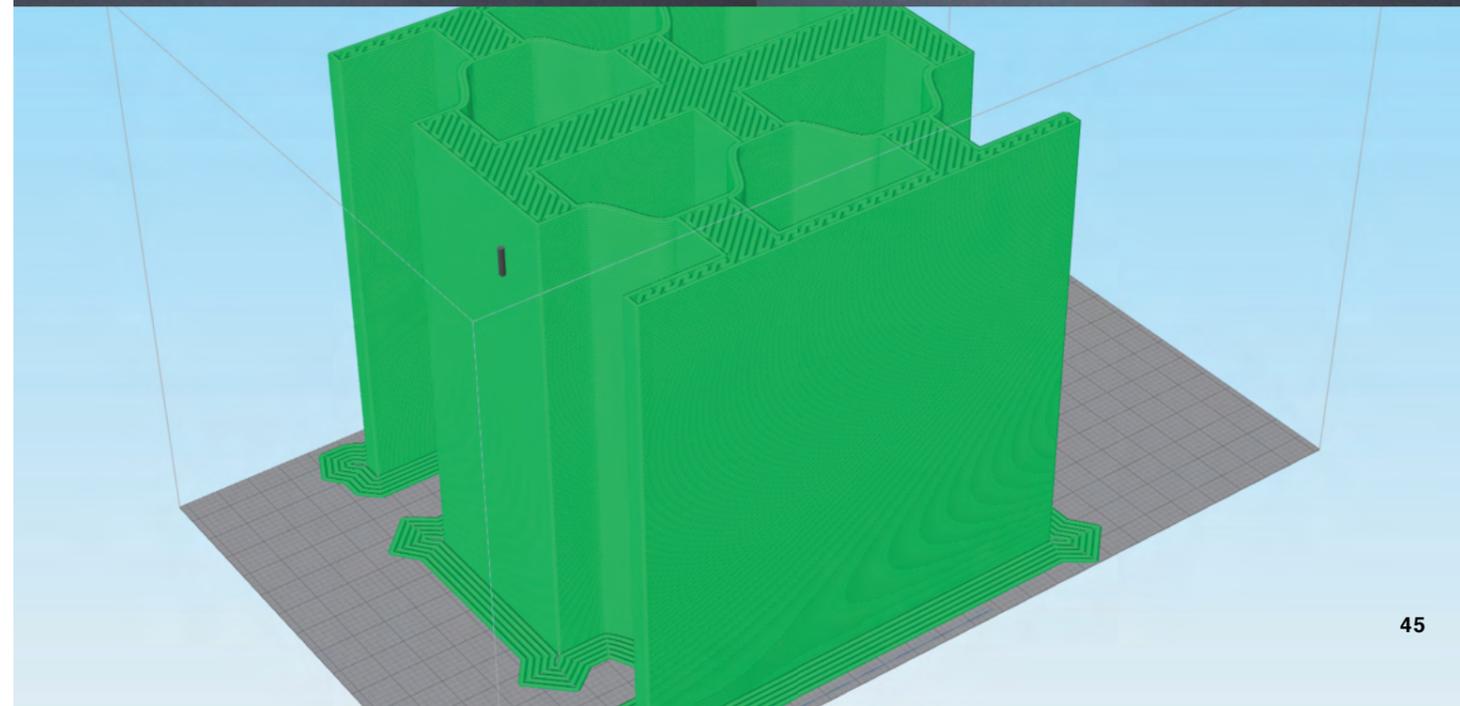
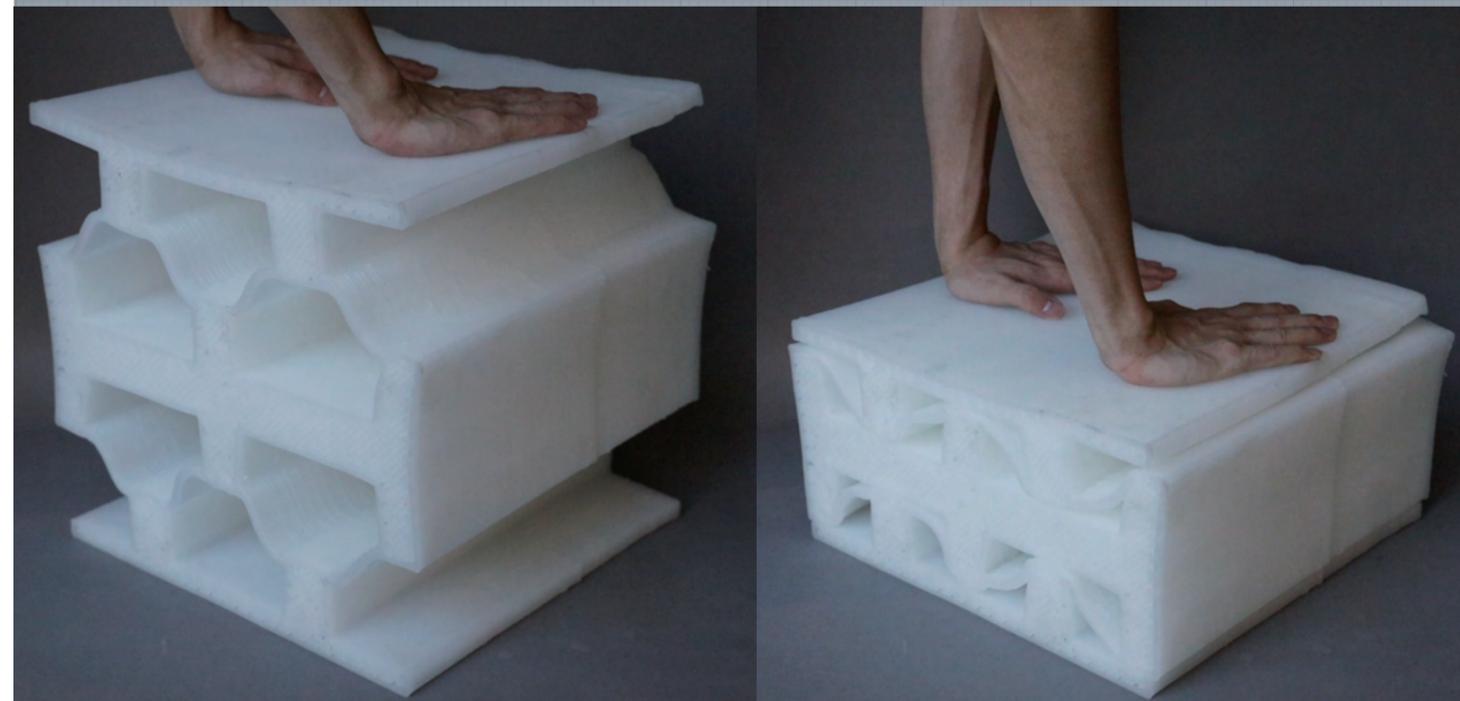
使用ソフト：Rhinceros(Robert McNeel & Associates),Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：8時間 モデル製作者：矢崎友佳子

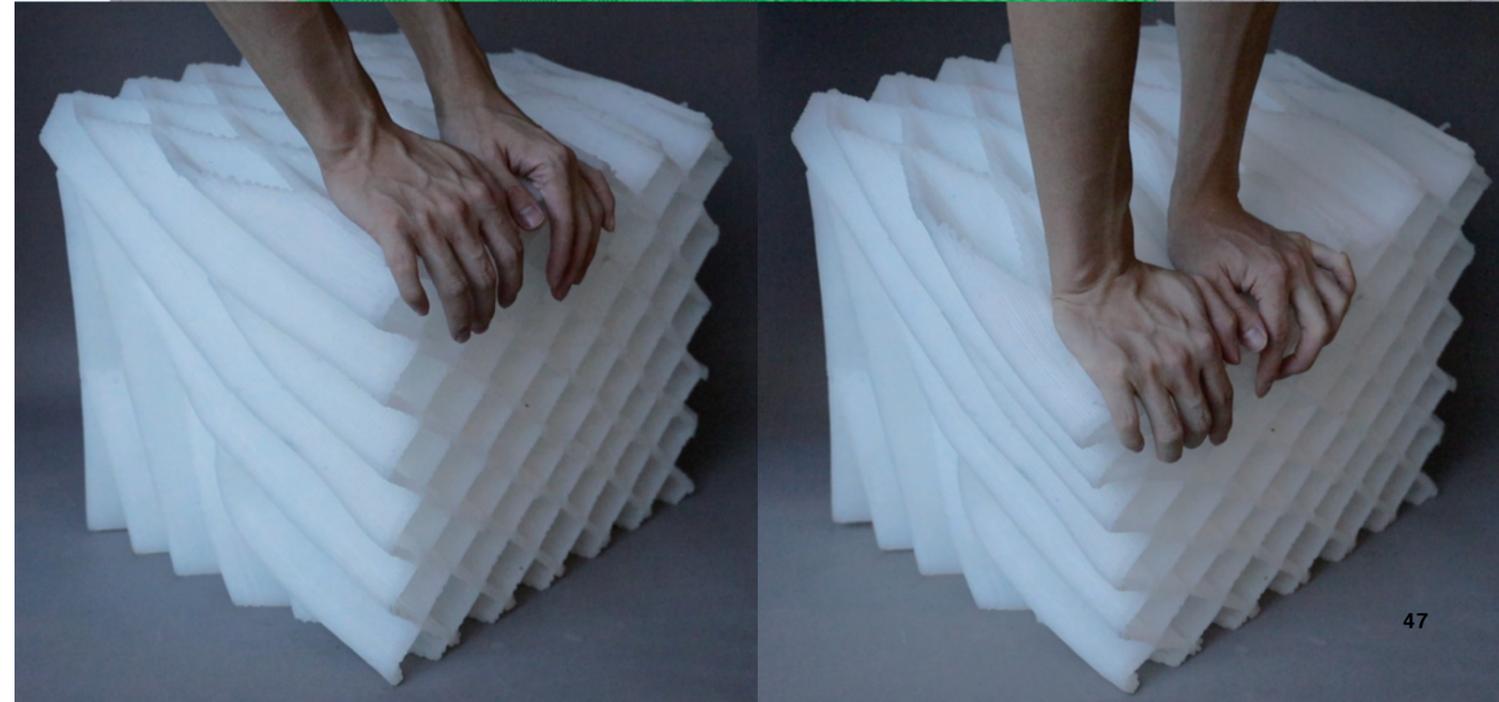
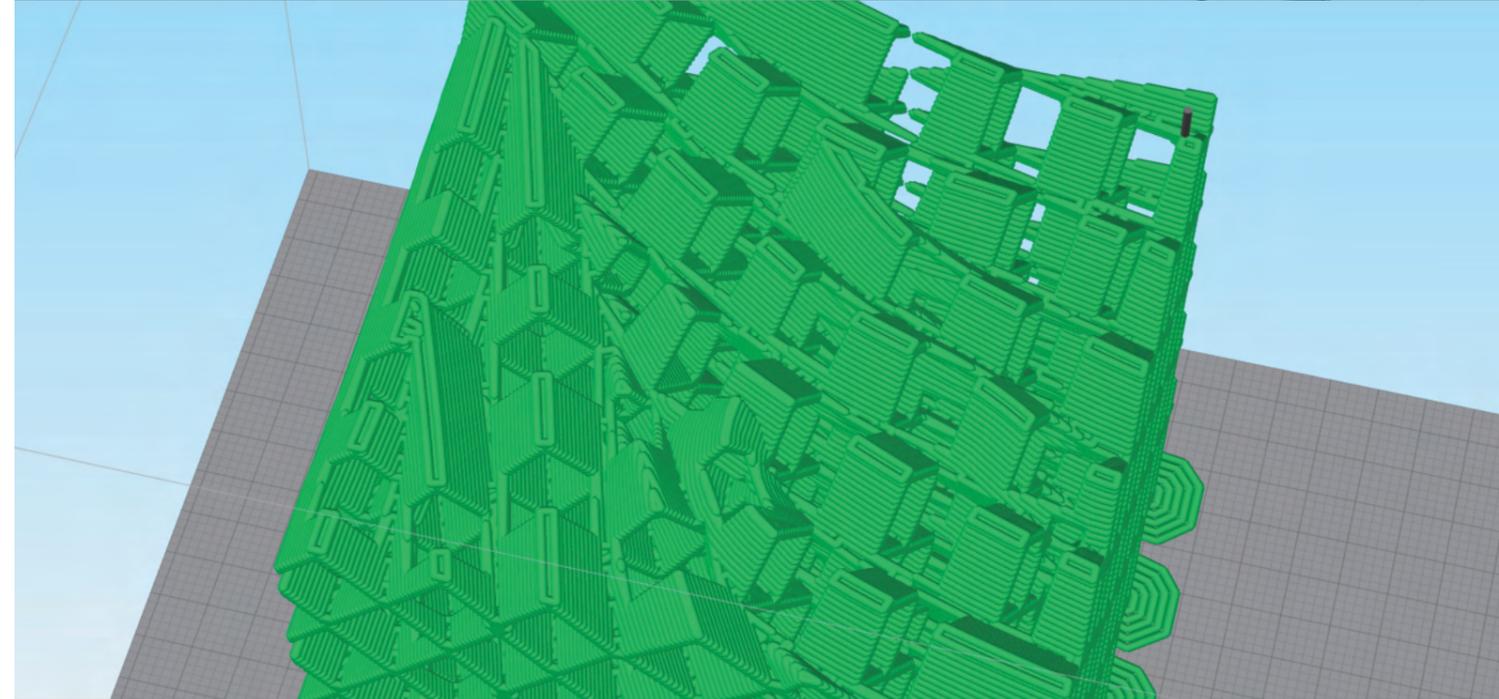
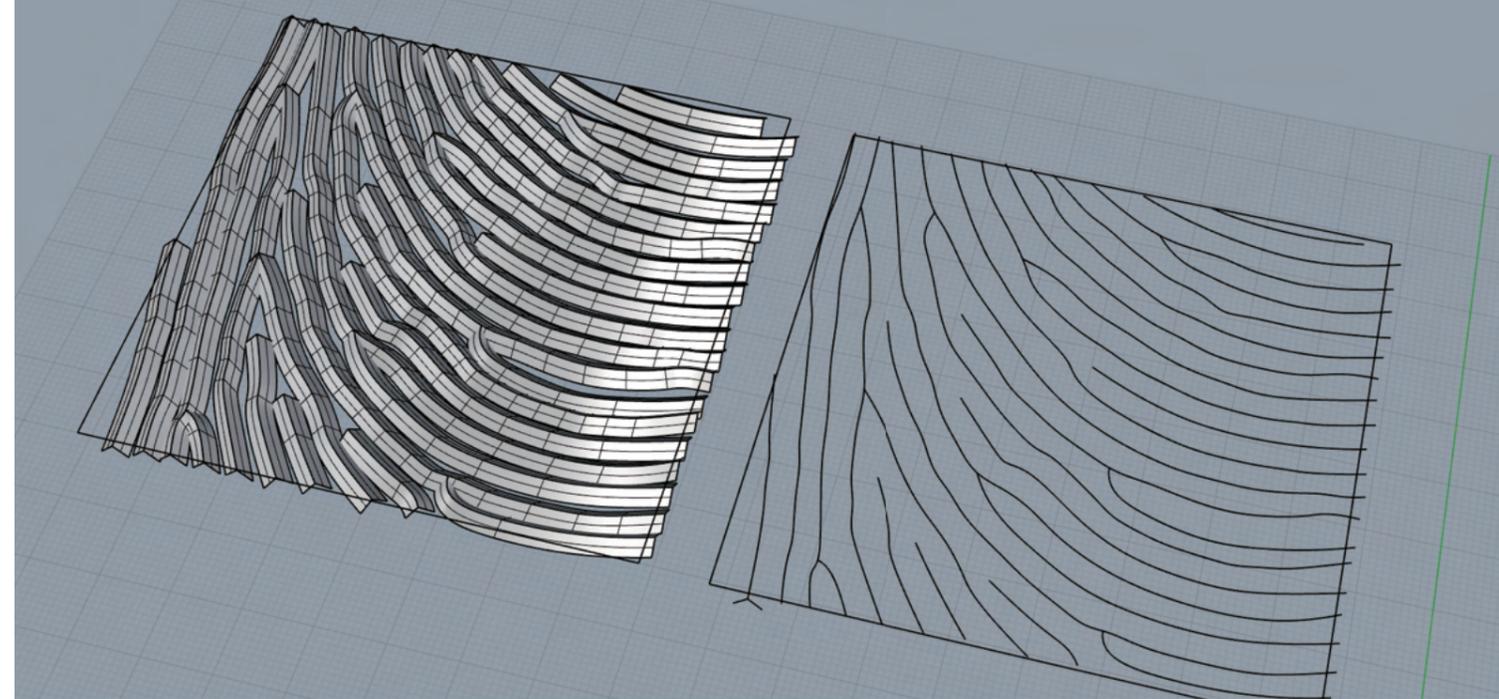
形状記憶や衝撃吸収材としての効果を期待されていた座屈現象を起こす構造を採用した [28]。2つの安定状態があることから Bistable Pattern と呼び使用している。街具ブロックにするにあたっては、多段階高さを変更させられるブロックとして機能を発揮した。

モデルの生成は上記の論文に書かれていた数値を基に、使用する 3D プリンタとマテリアルの組み合わせでもうまく双安定性を示せるようなモデルに形状を調整した。パラメータに関しては出力時間を短くするためにノズル径を太くしたいことと、アーチ部分を細くするために細いノズルを使わなくてはならないことの妥協点を目標に決定した。

前提としてこの素材はとて反りやすいがこのモデルはとて面が広く、特に出力時に反りやすいモデルだったのでスカート の形を少し工夫し、ベッドとの接着強度を高める工夫を行った。



# 街具ブロック ver.2



## 沈む / Growth Ring

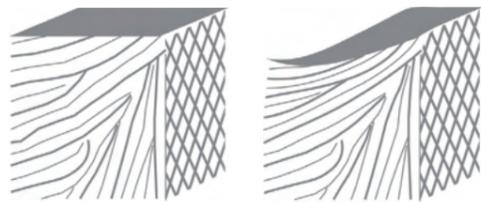
350 × 350 × 350(mm)/9.0kg

使用ソフト：Rhinceros(Robert McNeel & Associates),Simplify3D(Simplify3D)

出力時間：9時間 モデル製作者：矢崎友佳子

力をかけるとある方向に曲がり、その曲がり方を制御できる構造を採用した [29]。角度がオーバーハングの問題を解決しているので FFF 方式の 3D プリンタでも出力しやすい構造であることが特徴である。街具ブロックにするにあたってはある場所に座ると体にフィットするような振る舞いを見せることができた。

モデルの作成は論文でも使用していた phasor noise のラインを抽出し、それを基に側面と厚みをつけ、断面が正方形になるように積んだ。パラメーターはノズル径や曲がり方、柔らかさに対応させて決定した。重量の削減とより柔らかさを出すために、内部は完全なトンネル状ではなく小さなトンネルが連なるように設計した。

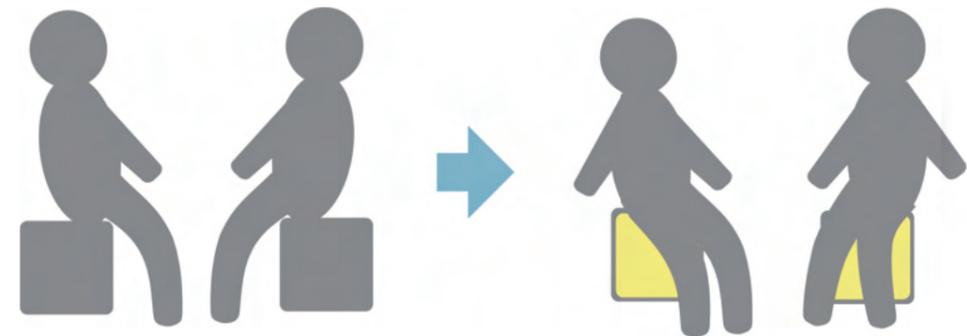


# ペルソナと使われ方

## シチュエーション A

ペルソナ：若いカップルや2人組の大学生。  
構造：捻る / Chiral Pattern

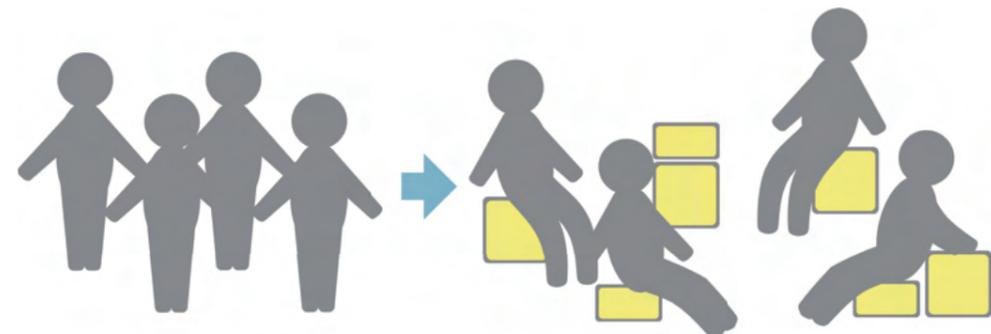
正面で座るのは圧迫感があるが横に並ぶのは味気ない時、座ると回転し程よい角度と距離で会話ができる。また喋りながらブラブラ足を動かして揺らしたい時にもとても有効。



## シチュエーション B

ペルソナ：遊んでいる子供を横目に立ち話しているママ友。カードゲームに興じる大人数の子供たち。  
構造：留める / Bistable Pattern

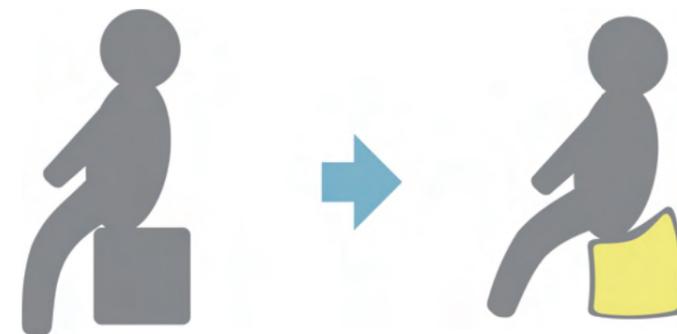
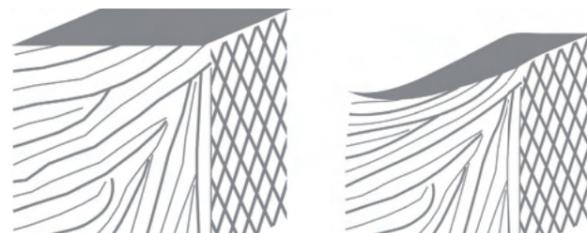
4、5人での時はベンチに座ると横並びになってしまう、自然と立ち話にならざるを得ない。変形可能な街具を使うことでより組み合わせの自由度が上がり、人数に合わせて机にしたりイスにしたりするなど自分で心地の良い環境が生まれる。



## シチュエーション C

ペルソナ：高齢者や社会人。1人で長時間滞在している。  
構造：沈む / Growth Ring

公園で座るところはベンチや花壇など硬いものしかないが、これは腰を下ろすとお尻のところは柔らかく背中部分は強度を保っているため体にフィットする。長時間滞在に適している。



# 使用例・仮説

新たな3種類のブロック1セットを、既存の街具ブロックと組み合わせることで実際に使用してみた。遊んだり背もたれや足置きのように使ったり机のようにして団んだり思い思いの使い方での仮説を立てた。

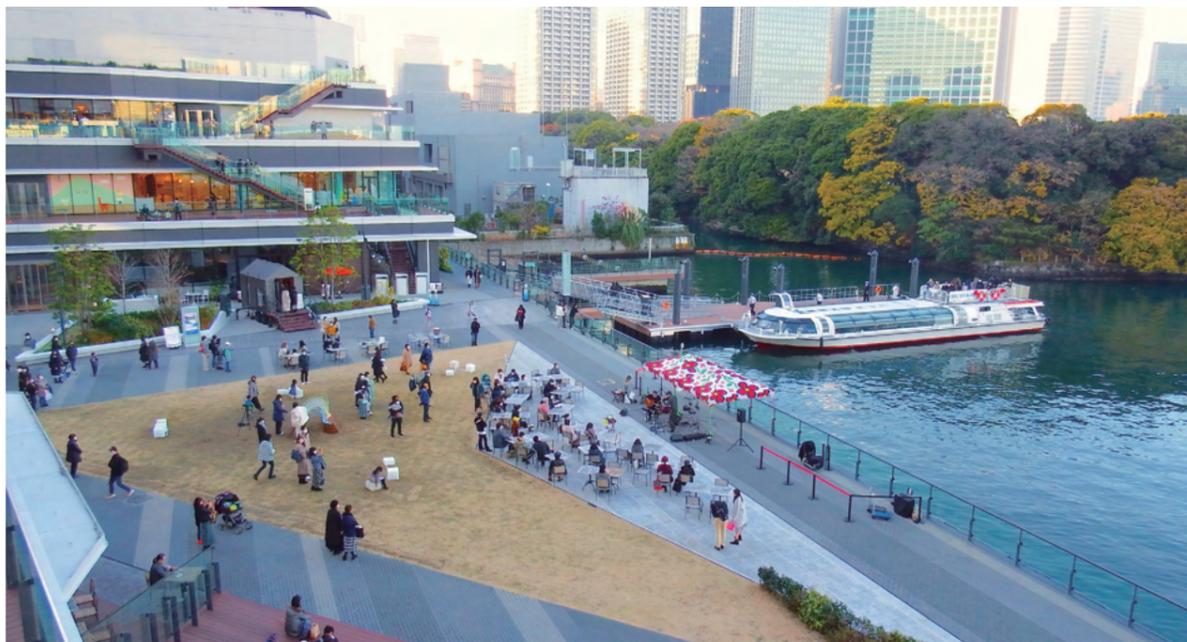
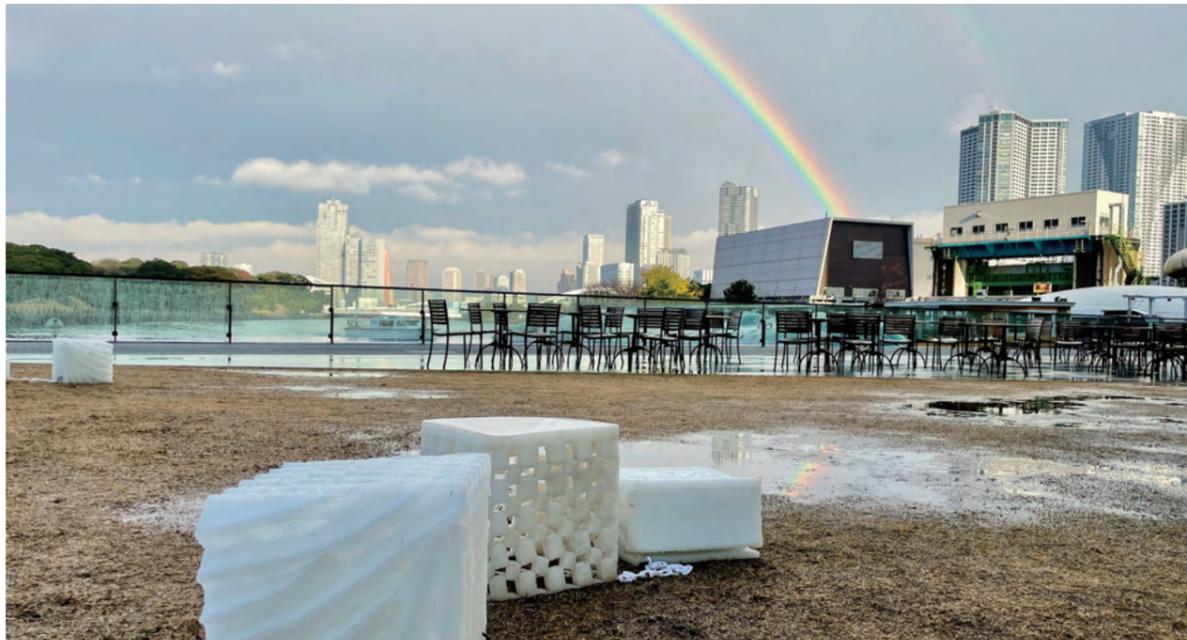


# 設置実験 3

時期：2021年12月中旬 場所：ウォーターズ竹芝プラザ（芝生広場）

ウォーターズ竹芝にて竹芝タウンデザイン（JR 東日本）と「みらい作庭記」[30]を実施した。竹芝の、東京都心に位置しながらも浜離宮恩賜庭園をはじめとした自然に恵まれている土地で3Dプリンタを用いて作庭する。今回は「捻る」「留める」「沈む」の3種類をそれぞれ3つずつ、「硬い」「柔らかい」「跳ねる」を1つずつ合計12個の街具ブロックを設置した。

訪れた客層はメインは子供連れの家族で、子供は未就学児から小学生が1番多かった。若者や中年は1～3人で訪れることが多く、高齢者は複数人での来場しているようだった。飲食店が周りに多く、展示期間中には芝生の前で音楽ライブを行うなど賑わいは常にあるような状況であった。



# まとめ

	子供	若者	中年	高齢者
捻る	◎	◎	○	○
留める	◎	○	○	○
沈む	○	○	◎	◎
滞在時間	長	中	長	中
様子				

子供は「柔らかい」「跳ねる」「捻る」など弾性が高く体が動くものがとても人気であった。留めるは上から飛び乗り、力をかけるとある時点で急にガクンと下に落ちる感触を楽しむ子供が何人も見られた。また組み合わせで使用する子もたくさん見られ、丸く囲んで机と椅子のようにする、階段のように積む等が見られた。未就学児もたくさん観察されたが、彼、彼女らは身長が低いため「留める」の1番下の高さが1番座ることに適していたようだった。

若い人は少人数で来る人が多かったこともあり、全種類満遍なく使っていた。特に人気だったのは「柔らかい」と「捻る」だったと思う。中年や高齢者も捻る・沈むが多く、1人で来ている大人や高齢者は特に沈むが多かった

感じた。監視員として毎日一緒にシフトに入ってくださったシルバー人材センターの方々も、人がいないときは「沈む」が座っている様子が見られた。

滞在時間に関しては子供は長時間の滞在が多かった。レジャー目的の家族の来場が多かったので子供を遊ばせて中年の大人もそれに付き合っ腰掛けたりご飯を食べる光景が見られた。若い人や高齢者はデートや1~2人での買い物・散歩など他に目的がある人が多かったためか通りすがりに寄って少しだけ滞在していく人がほとんどだった。しかし展示期間の中日に屋外の音楽ライブがあったためその時には子供若者中年高齢者全ての人が満遍なく利用していた。大人は周りのベンチや「柔らかい」「硬い」「沈む」等安定感があるものに座って音楽を聴き、

子供は「跳ねる」「捻る」「留める」等で遊んでいた。子供の利用であるが、初めは兄弟や一緒に来た友達と遊んでいたがしばらくするとみんなで一緒に遊び出し、「こっちはね、上から座るとグルンってなるんだよ!」「こっちは高さが変わる!」等街具の種類や遊びのコツなどを共有するなどまるで公園のようなコミュニケーションが生まれていた。

また子供と大人で体重が違うので利用の仕方にあからさまな差異が生まれるのも興味深い点であった。「留める」に関して言うと乳幼児はちょうど良い高さの椅子になり、幼稚園生~小学生には遊具になり大人以上には座布団のように利用されていた。「捻る」は大人以上にはゆったり使用できる椅子という認識だったが小学生には十分に回

転せず「跳ねる」と同じ弾性がある遊具という風に使用されていた。ペルソナを設定しそれに合わせて使い方を設計したが、ペルソナ以外の人にも使われ。新たな使い方・遊び方が生まれていた。

街具ブロック本体の様子については、このような長期間の展示、しかもかなり子供に乱雑に扱われるのは初めてだったが、柔軟性があるので壊れたブロックは1つもなく逆にブロックによるけが人もいなかった。また耐候性があるのももちろん雨や日差しで脆くなることもなく、汚れも基本的には高圧洗浄機で流すだけで済んだ。屋外で遊びに使われる3Dプリントに向いている素材であるということを再確認した。

# Conclusion

結論と展望

付録 - プロジェクトの歴史 -

参考・出典

謝辞



# 結論と展望

本研究では、家具スケール3Dプリンタと柔らかなマテリアルを用いて制作した遊具と街具の中間形態、「遊具と街具のあいだ」の設置と実験を通して、街に暮らす人の自由で快適な過ごし方を引き出すこと目的に実践し、得られた知見を基に設計プロセスの提案と実証を行った。

第1フェーズとして「遊具と街具のあいだ」を3種類制作、ブロック状の街具にメタマテリアル構造を付与し、今までにない挙動をさせることができた。そしてそれを第2フェーズとして実際に街中に置いて検証、快適度の低さや利用者の偏りなどのニーズ・課題点を洗い出し新たなメタマテリアル構造とマッチングさせデザインした。その際ペルソナと使い方を設定し、第1フェーズの時のような「新しいものを置いて使われ方を観察する」というよりは「確実に使われるものを設計し、使われ方を観察する」という本格的に街に溶け込むような設計を行っていった。新たな街具ブロックを3種類追加して再び設置実験を行い、仮説の実証だけでなく新たな使われ方も観測するなど自分の想像を超えるような結果も得られた。

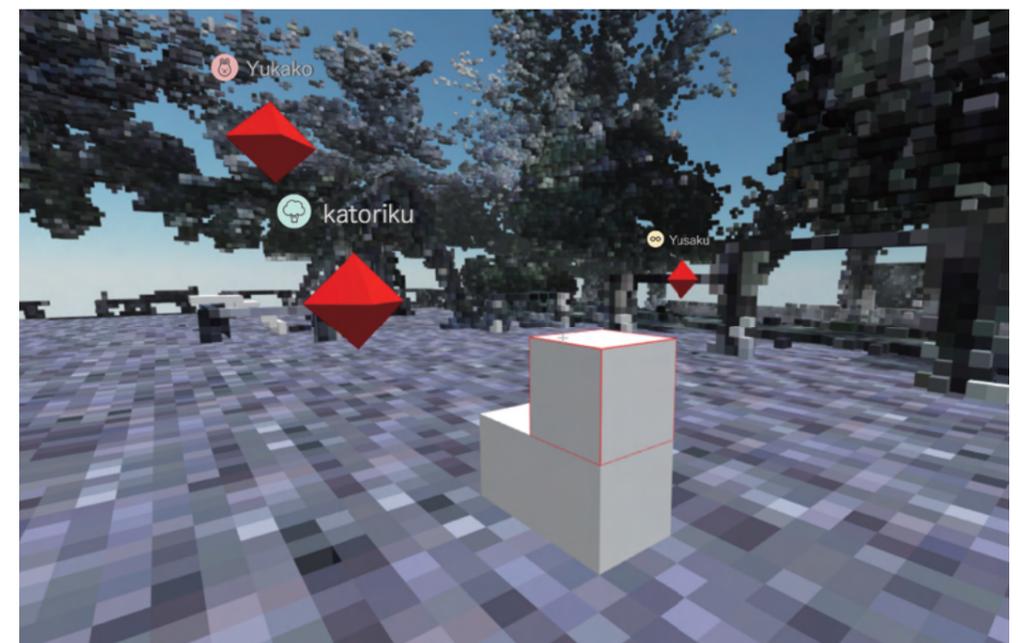
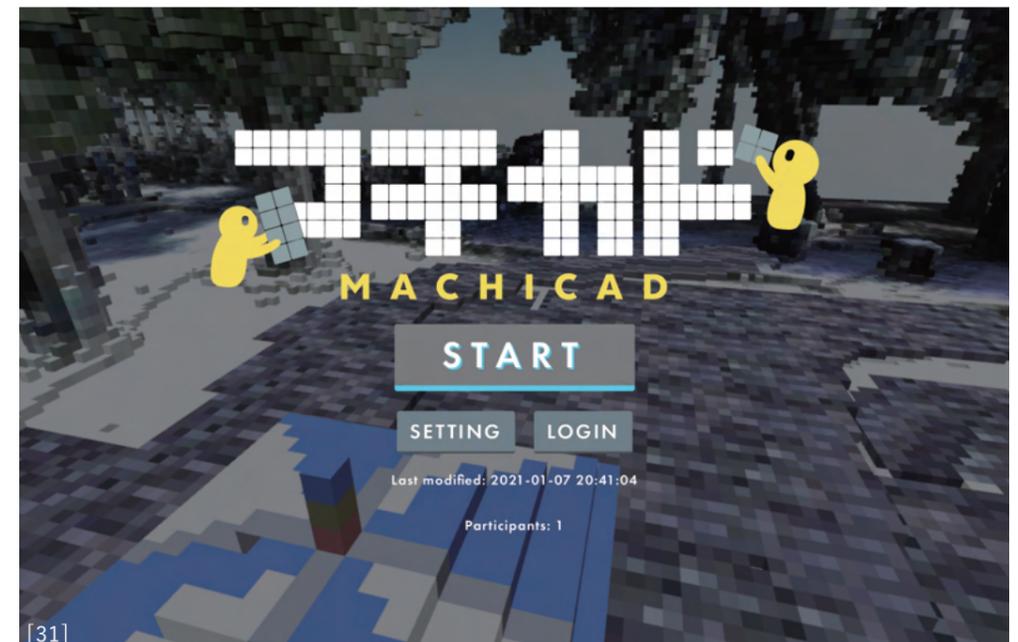
次なる研究の課題として、どのブロックがどのような振る舞いをするのか分かりづらいため事故が起きる可能性があり、その対策をする必要があるというのが挙げられる。使い方をナビゲートする視覚的なデザインが必要

だと感じた。また子供の習性として上へ上へと上りたがるというのがあるが、今回行った実験でもそれが観測された。ブロックを高く積んだ後に上りたがるので高く積めないようにするなど何かしらの落下対策をする必要がある。また材料の着色という大きな可能性を残しているので環境に溶け込むような意匠にしたり上記の問題を解決するのに使えるのではないかと考えている。

今後の展望として、デジタルやリアルタイム性という3Dプリンタの強みを使って都市全体のプラットフォームにすることが挙げられる。都市デザインを研究しているMIT Civic Data DesignLabとGehl Instituteの"BENCHMARK"[31]は数種類の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われ方をリサーチしている。そのようにセンシング技術と組み合わせれば、その時々都市の利用状況に合わせて街具の種類・数・割合を変えることが可能になるのではと考えている。また加えてMachiCAD[32]など現実世界を基にしたミラーワールドと連携させることで、様々な解像度で街具ブロックをカスタマイズすることが可能になる。そうして収集したデータを基にいらぬ街具は撤去し、リベレットして再び材料に戻し、新たに必要とされる街具になる。持続可能で成長し続けるまちづくりが期待できる。



[30]



59

# 付録 - プロジェクトの歴史 -

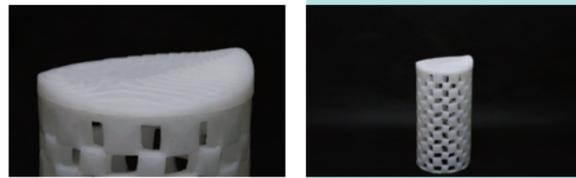
筆者が家具スケール3Dプリンタを扱うプロジェクトに参加してから、今まで関わってきた作品を紹介する。それぞれの作品がどのような経緯で作られ、どんな概念が加わりどのように進化していったかを順に追っていく。



## Airless Balance-Ball Chair

制作時期：2019  
制作者：江口壮哉 協力：矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸

Auxetic Pattern と呼ばれる負のポアソン比を持つ構造を使用し、バランスボールをエアレス化した。座面から力をかけると、上下に揺れる動きだけでなく座面に合わせて前後左右に追従する動きなども再現している。パターンが閉まり内側に凹むと、それ以上沈むことなく強度が生まれる。耐候性のある材料を使用しており、今までにない動きをする柔らかな街具の可能性を検討した [32]。



## 街のハック アップサイクル

### Graft On

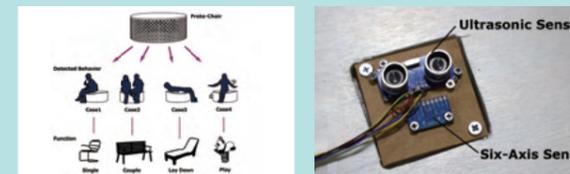
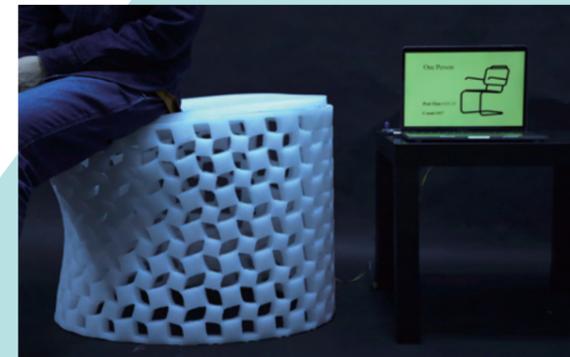
制作時期：2019  
制作者：江口壮哉、矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸

台風で倒れたヒノキの切り株の座面を整え、柔らかな椅子にするという補完を行った。今まで壊れたモノや破壊されたモノは、その本来の姿に戻そうと修理される、あるいは放置、破棄されてきた。しかし修理ではなくその本来性から離れて新たな役割を与えること、補完していくことがモノと人の新たな在り方ではないだろうか。

切り株を3Dスキャンした後、Auxetic Pattern を用いてぴったりフィットする椅子を制作した。切り株の断面の形状や角度の違いから場所によって柔らかさが違い、その人自身の体重や座り方で振る舞いを変える [33]。



## センシング パブリックデザイン



## Proto-Chair

制作時期：2020  
制作者：江口壮哉、矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸

街中に設置するパブリックファニーチャーを、利用状況に合わせて最適化する手法の提案。Auxetic Pattern を使用した柔らかに変形する3Dプリント製の椅子にセンサーを組み合わせ、滞在時間や利用人数、使用方法などを検出後、最適な市販の街具に置き換えることで短期間かつ低コストに都市空間の改善を可能にする。one person short break/long rest、two people short break/long rest の4種類の状態が検出可能である [34]。

## デジタルミラーワールド 参加型まちづくり

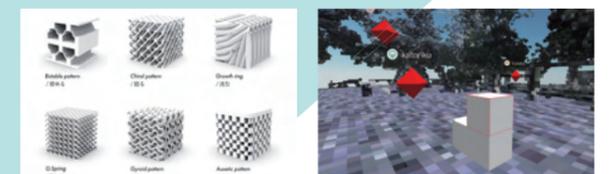
番外編 (次のページへ)

## 遊具と街具のあいだ /MachiCAD

制作時期：2020-2021  
制作者：矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸、坂田拓人、守矢拓海

6種類の異なるメタマテリアルを付与した街具ブロックを組み合わせることで、それぞれ場所や人の振る舞いに対応した心地よい使い方をを見つけることができる。

MachiCADとは現実世界をベースにしたボクセル表現のミラーワールドであり、住民がその空間で欲しい街具をモデリングすると3Dプリントして現実世界に設置することが可能である。そしてその利用状況を再びMachiCADにフィードバックするなど街具ブロックとの連携が期待されている。



# 光 夜の街をハック



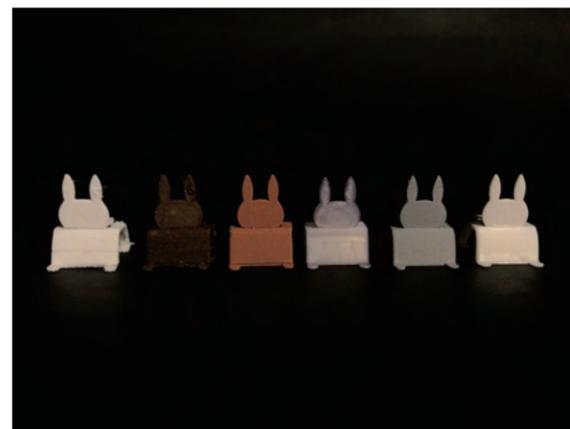
## (番外編) 夜の街具としての試み

制作時期：2020

制作者：矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸

メタマテリアルの形状と光を組み合わせた試み。Auxetic Pattern は力を加えるとパターンが閉まるので、中に入れた光の漏れ出る量が変わる。Gyroid Structure は多孔質構造のため光が全方位に分散され、独特な模様が浮かび上がる。

利用が少なく防災や防犯面にも課題点がある夜の公園に、メタマテリアルを付与した街具で新たな活用方法があるのではないかと考えた。



# 参考・出典

[1]株式会社コトブキ <https://townscape.kotobuki.co.jp/>(2022年1月28日)

[2]株式会社都村製作所 <https://www.tsumura-f.co.jp/play/standard/index.html>(2022年1月28日)

[3]株式会社都村製作所 <https://www.tsumura-f.co.jp/play/standard/index.html>(2022年1月28日)

[4]EUROFORM K. WINKLER SRL <https://www.euroform-w.com/en/home>(2022年1月28日)

[5]日鉄神鋼建材株式会社 [https://www.shinkokenzai.co.jp/products/guardfence/car\\_fence/guard\\_rail/](https://www.shinkokenzai.co.jp/products/guardfence/car_fence/guard_rail/)(2022年1月28日)

[6]株式会社サンポール <https://www.sunpole.co.jp/product-detail/?no=860>(2022年1月28日)

[7]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)

[8]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)

[9]Jonaz Marztinez,Haichuan Song, Jeremie Dumas, Sylvain Lefebvre "Orthotropic k-nearest foams for additive manufacturing" ACM Transaction on Graphics, Volume 36,Issue4, No,121 pp1-12(2017)

[10] 鐘ヶ江社介, 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]Julian Panetta,Qingnan Zhou,Luigi Malomo,Nico Pietroni, Paolo CIGNONI,Denis Zorin "Elastic textures for additive fabrication"ACM Transactions on GraphicsVolume 34Issue 4August No.: 135pp 1-12(2015)

[12]Matthew Gardiner,Roland Aigner,Rachel Hanlon,Hideaki Ogawa,"Fold Mapping: Parametric Design of Origami Surfaces with Periodic Tessellations"7th Origami Science Mathematics and Education Conference(2018)

[13]Lingyun Sun,Jiaji Li,Mingming Li,Yitao Fan,Deying Pan,Yue Yang,Yu Chen,Junzhe Ji,Ye Tao,Guanyun Wang"3DP-Ori: Bridging-Printing Based Origami Fabrication Method with Modifiable Haptic properties"UIST '21: The Adjunct Publication of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Pages 74-77(2021)

[14]Michael L. Rivera,Scott E. Hudson,"Desktop Electrospinning: A Single Extruder 3D Printer for Producing Rigid Plastic and Electrospun Textiles"CHI '19: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Paper No.: 204Pages 1-12(2014)

[15]Jack Forman,Mustafa Doga Dogan,Hamilton Forsythe,Hiroshi Ishii"DefexTiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion"UIST '20: Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Pages 1222-1233(2020)

[16]The New Raw, Print Your City <https://www.printyour.city/>(2022年1月28日)

[17]PHILIPP ADUATZ, incremental3D, Kara Mann <https://www.philippaduat.com/portfolioitem/private-commission/>(2022年1月28日)

[18] 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)(2022年1月28日)

[19] エス・ラボ株式会社 [https://slab.jp/products/pellet\\_3dp/](https://slab.jp/products/pellet_3dp/)(2022年1月28日)

[20] スチレン系熱可塑性エラストマーテファブロック™ TPS Tefabloc™ TPS 三菱ケミカル株式会社 [https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/mcpp/product/1201837\\_6958.html](https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/mcpp/product/1201837_6958.html)

[21] 小原 二郎, 大内 一 雄, 寺 門弘道「差尺に関する研究 - 作業能

率から見た寸法の検討-」 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje1965/3/2/3\\_2\\_159/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje1965/3/2/3_2_159/_pdf/-char/en)

[22]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)

[23]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)

[24] 公益社団法人藤沢市観光協会 <https://www.fujisawa-kanko.jp/spot/odakyuensen/14.html>(2022年1月28日)

[25] 東京都庁西新宿スマートシティ協議会 <https://smartcity-nishishinjuku.jp/wp-content/uploads/2021/04/74fa1960663edc3f35b39aad703c5803.pdf>(2022年1月28日)

[26]RongchangZhong,MinghuiFu,XuanChen,BinbinZheng,LinglingHu"A novel three-dimensional mechanical metamaterial with compression-torsion properties"Composite Structures Volume 226, 15 October 2019, 111232

[27]LiangWang,Hai-TaoLiu"3D compression-torsion cubic mechanical metamaterial with double inclined rods"Extreme Mechanics Letters Volume 37, May 2020, 100706

[28] 鐘ヶ江社介, 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)

[29]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)

[30] 一般社団法人竹芝タウンデザイン(東日本旅客鉄道株式会社) <https://waters-takeshiba.jp/news/event/20211201140000/>(2022年1月28日)

[31]Gehl Institute, MIT Civic Date Design Lab,BENCHMARK <https://gehlpeople.com/shopfront/benchmark/>

[32] 慶應義塾大学田中浩也研究会 <https://machicad.space/>(2022年1月28日)

[32] 江口 壮哉, 湯浅 亮平, 田中浩也. 「熱可塑性エラストマーを用いたインフレーターな造形物の研究」. Conference on 4D and Functional Fabrication 2019(4DFF2019). SP-3. 2019

[33]Yukako Yazaki,Soya Eguchi,Riku Kato, Yusaku Arita "Graft On" YouFab Global Creative Awards 2019 <https://awrd.com/creatives/detail/9262570>

[34]Soya Eguchi, Yukako Yazaki, Riku Kato, Yusaku Arita, Takumi Moriya, and Hiroya Tanaka. "Proto-Chair: Posture-Sensing Smart Furniture with 3D- Printed Auxetics." In Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1-7. 2020.

# 謝辞

2年生の春から研究室に入り今日まで多くの方にご指導ご鞭撻を賜りました。深く感謝申し上げます。

まず田中浩也先生には本当に様々なことを教えていただきました。一般受験でSFCに入学し、やりたいことも決まっていなかった中で受講した1年秋のデザイン言語実践で田中先生の研究会に入りたいと思いました。ものづくりの技も知識も明確な目標もないまま飛び込んだ世界でしたが、先生のお話はいつも興味深く心を踊らせられました。そして田中先生の熱心なご指導のおかげで今こうしてこの研究ができて良かったなと思うことができいております。刺激的な環境・貴重な機会・厳しく暖かいお言葉全てありがとうございました。嬉しかったです。この経験はずっと大切に参ります。

文字通り1から全てのことを教えてくださった研究室の先輩方、感謝申し上げます。困っている時はいつも助けてくださり、その度にいつかこんな人になれたら、と強い憧れを抱きました。研究を続ける上での大きなモチベーションにもなっておりました。木下里奈さん、中村亮太さん、齋藤敏介さんには同期として大変お世話になりました。辛いこともたくさんありましたが一緒に乗り越えていけて、次も頑張ろうと思えました。後輩の皆さんにはたくさんのお応援と協力をいただきました。特に「みらい作庭記」一緒に携わってくださった皆さん、いっぱいいっぱいだった私をむしろ引っ張って下さって感謝してもしきれません。たくさん学びをありがとうございました。

元チームメンバー/現チームメンバーの江口壮哉さん、有田悠作さん、加藤陸さん、坂田拓人さん、滑川由記さん、大変お世話になりました。皆さんと一緒に話し合い手を動かした経験は確実に私の中で大きなものになっています。ご迷惑をおかけしたこともあったと思いますが一緒にものづくりができて光栄でした。ありがとうございました。

エス・ラボ株式会社の脇本智正さんには研究室の先輩時代にお世話になっただけでなく卒業されてからも機材トラブルなどたくさん対応していただきました。お忙しい中いつも迅速にそして的確な対応をしていただきありがとうございました。

一般社団法人竹芝タウンデザインの星野宏侑さん、「みらい作庭記」でご一緒させていただきましたこと感謝申し上げます。いつも鮮やかな熱量に刺激を受けていました。積極的にコミュニケーションをとってくださったおかげでとても充実したイベントになりました。

そして私を支えてくださった家族に感謝申し上げます。衣食住に困らない生活のおかげで私はのびのびと活動できました。コミュニケーションをあまり取らないのでヤキモキさせたこともあったと思いますが黙って応援していただけてとても嬉しかったです。これからもどうぞよろしく願いいたします。

展示によく来てくれたり話を聞いてくれた恋人、フェリスの友人の皆さんいつもありがとうございます。迷った時進むべき道を決めるヒントをいただいております。応援の言葉などもとても嬉しく大切にしています。

研究生活、大学生活でお世話になった全ての方に重ねて感謝申し上げます。お返しできるように精進して参ります。

2022年1月28日  
矢崎友佳子



