

3D プリント可能な構造体を既存物と対応づける 「やわらかメトリック」の提案

A Proposal for a "Softness Metric" that
Corresponds 3D Printable Structures to Existing Objects

櫻井 智子¹, 常盤 拓司², 浅野 義弘³, 田中 浩也⁴

Tomoko SAKURAI, Takuji TOKIWA, Yoshihiro ASANO, Hiroya TANAKA

¹慶應義塾大学 環境情報学部, ²慶應義塾大学 政策・メディア研究科特任准教授, ³慶應義塾大学 政策・メディア
研究科研究員, ⁴慶應義塾大学 環境情報学部教授

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University, Project Associate Professor, Graduate School of
Media and Governance, Keio University, Project Researcher, Graduate School of Media and Governance, Keio
University, Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

【要約】

あらゆる自然物や人工物は異なるやわらかさを持ち、ヤング率を測ることで数値化が可能である。今回、十数種類の素材(スポンジ、ゴム、豆腐など)のヤング率を計測し、やわらかさを軸とした「やわらかメトリック」を作成した。次段階として、このメトリック上にある特定のやわらかさと同値を持つ 3D プリント可能な構造体を探索し発見した。さらに構造体の形や太さのパラメータを変えたものを 3D プリンタで出力し、それらのヤング率を計測した。このようにして既存物と 3D プリント物を対応づけた「やわらかメトリック」を用意することにより、3D プリンタを用いたデザインにおいて特定のやわらかさを指定・再現しやすくなることが期待される。

キーワード: 柔らかさ, 構造体, 属性, マテリアルデザイン, メトリック

【Abstract】

Whether man-made or non-man-made, various objects have different softness which could be quantified by measuring their Young's modulus. In this research, a "softness metric" was made based on the Young's modulus of around 20 existing materials and objects. For the next step, a 3D printable structure holding a specific value upon this metric was explored and found. Furthermore, several other structures with different figures, thickness and sizes were 3D printed and their Young's modulus were measured likewise. In this way, the "softness metric" that corresponds 3D printable objects to existing objects could assist the replication of a specified softness in the field of design using 3D printers.

Keywords: softness, structure, property, material design, metric

1. 序論

本研究では、様々な自然物や人工物が持つ異なるやわらかさを 3D プリント物で再現することを試みた。やわらかさはヤング率による数値化が可能であるため、既存物が持つやわらかさと 3D プリント物が持つやわらかさをヤング率計測器で測定した。そしてこれらの値を対応づける「やわらかメトリック」を用意することによって、FFF 方式の 3D プリンタを使ったデザインにおいて特定のやわらかさを再現しやすくなることが期待される。

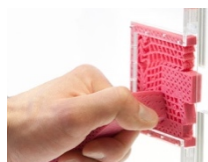
「やわらかメトリック」を通じてクッション性や弾性をより正確に得ることができるため、メトリックに基づいた構造体を変えることによってその部位が持つ機能を変えることができる。また、こうすることによって従来使っていた「スポンジのような」といった感性ベースの表現に代わり、メトリック上の「スポンジ以上牛肉以下」といったような数値ベースの的確なやわらかさの共通言語を使うことが可能だ。

2. 背景

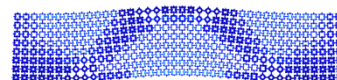
近年 3D プリンティングの分野においてやわらかい素材とその構造を使ったメタマテリアルの研究が行われており、その 1 つに Hasso Plattner Institute の Metamaterial Mechanisms が挙げられる⁽¹⁾。3D プリント物の細かい構造を部位ごとで変えることによって任意の箇所の屈曲を制御したものである。

また、New York University と Visual Computing Lab の共同研究グループは、3D プリント物に力を加えた際に弾力性を制御する 3D プリントパターンを発表している⁽²⁾。

上記の他にも Disney Research Group がマイクロストラクチャーを



(1) Metamaterial Mechanism



(2) Elastic Textures for Additive Fabrication

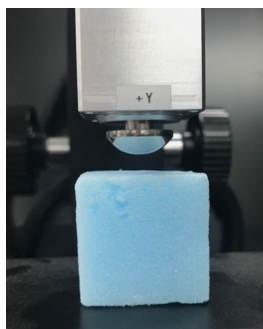
やわらかい素材で 3D プリントすることで弾力性を局所的に変える研究を行なっている⁽³⁾。

一方でやわらかさの定量化の分野では、京都工業繊維大学繊維学系の佐久間研究室が、ヤング率計測器 YAWASA を使って様々な物質のやわらかさを計測し図式化している⁽⁴⁾。

このように 3D プリント物の構造を利用した機能性の制御の研究、そしてやわらかさを定量化する研究は行われているものの、既存物と 3D プリント物のやわらかさを対応づける試みは行われていない。そこで本研究は既存物のやわらかさの計測、特定のやわらかさを持つ 3D プリント物の模索、3D プリント物のやわらかさの計測に焦点を当てながら、既存物のやわらかさを、3D プリンタを使ってより正確に再現しやすくするメトリックを作成した。

3. 手法

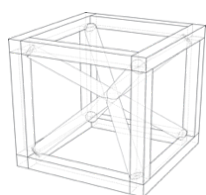
ヤング率計測器 YAWASA を使って、まず 16 種類の既存物のヤング率を計り、既存物のやわらかさを示した「やわらかさメトリック」を作成した。既存物は、卵、パン、絹豆腐、木綿豆腐、はんぺん、カステラ、牛肉、スーパーゲル、スポンジ、黄色スポンジ、黒セルスポンジ、バナナ、ブルースタイロ、発泡スチロール、ゴム、木材、以上計 16 種類の素材である。



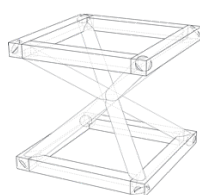
ヤング率の計測には押し込み試験を選択し、YAWASA を使って一定の力を与えた際に押し込まれる距離から算出した。

次にこのメトリックに対応づけるように、特定のやわらかさと同値を持つ 3D プリント可能な構造体を模索した。熱可塑性エラストマーをベースとしたフィラメントである FABRIAL-R を用いて、4 種類の単一構造体を、支柱の太さと各辺の長さの 2 つのパラメータで出力した。

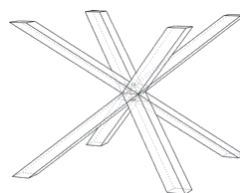
単一構造体は以下の 4 種類である。



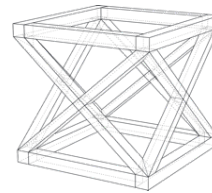
Model 1



Model 2



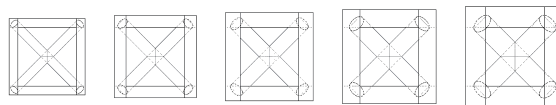
Model 3



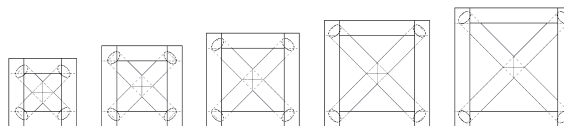
Model 4

これらの単一構造体に対して支柱の太さと各辺の長さの 2 つのパラメータを設け、複数の異なる構造体を FABRIAL-R を用いて 3D プリンタで出力した。

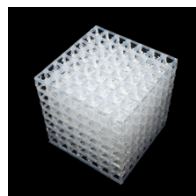
支柱の太さを 0.1mm ずつ増やした時の
単一構造体の断面



各辺の長さを 1.0mm ずつ増やした時の
単一構造体の断面



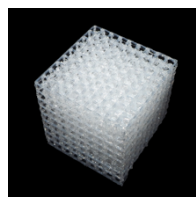
単一構造体を x, y, z 方向に一定数並べて配置した構造体を測定の対象とした。以下はそれらの構造体の一例である。



Model 1

支柱の太さ:0.8mm

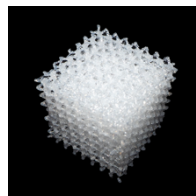
各辺の長さ:4.0mm



Model 1

支柱の太さ:0.6mm

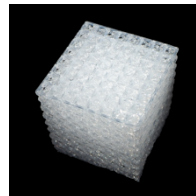
各辺の長さ:3.0mm



Model 3

支柱の太さ:1.0mm

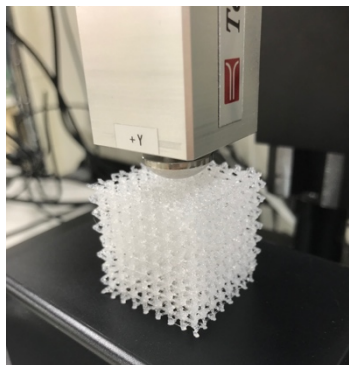
各辺の長さ:4.0mm



Model 4

支柱の太さ:0.8mm

各辺の長さ:3.0mm



これらの構造体を、精密な出力を行うことができる FFF 方式の 3D プリンタを使って出力した。3D プリントされた構造体を YAWASA にかけて測定し、ヤング率を取得した。そして既述した「やわらかメトリック」上に、既存

物と 3D プリント物のヤング率を対応づけた新たな「やわらかメトリック」を作成した。

4. 結論

本研究では既存物のやわらかさを測定したのち、それらと同値のやわらかさを持つ 3D プリント可能な構造体を模索した。そしてそれぞれを対応づけることによって作成された「やわらかメトリック」は、既存物のやわらかさと同値を持つ構造体を、3D プリンタを使って再現しやすくする役割を持つことが期待される。また、構造を変えることでやわらかさを変えることができるため、異なるやわらかさを一体で 3D プリントすることが可能だ。一体にまとまることによって、従来使っていた素材間の接着が不要になる、といったメリットも見込まれる。

参考文献

- (1) Alexandra Ion, Johannes Frohnhofen, Ludwig Wall, Robert Kovacs, Mirela Alistar, Jack Lindsay, Pedro Lopes, Hsiang-Ting Chen, and Patrick Baudisch (2016) 「Metamaterial Mechanisms」. https://hpi.de/fileadmin/user_upload/fachgebiete/audisch/projects/metamaterial/metamaterial-mechanisms/2016UIST_Metamaterial_Mechanisms_authors_copy.pdf (アクセス:2019 年 8 月 20 日)
- (2) Julian Panetta, Qingnan Zhou, Denis Zorin Luigi Malomo, Nico Pietroni, Paolo Cignoni (2015) 「Elastic Textures for Additive Fabrication」. <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2015/PZMPCZ15/microstructures-final.pdf> (アクセス:2019 年 8 月 20 日)
- (3) Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, Markus Gross (2015) 「Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing」. <https://s3-us-west-1.amazonaws.com/disneyresearch/wp-content/uploads/20150722182438/Microstructures-to-Control-Elasticity-in-3D-Printing-Paper.pdf> (アクセス:2019 年 8 月 20 日)
- (4) 京都工業繊維大学繊維学系(佐久間研究室)やわらかさデザイン研究室(発行年不明)「コンセプト:素材の「やわらかさ」を活かすテクノロジーを追求」. <https://sakuma.ecomas.jp/theme.html> (アクセス:2019 年 8 月 20 日)
- (5) Devin Powell (201) 「Mechanical metamaterials bend the rules of everyday physics」. <https://www.pnas.org/content/pnas/115/11/2545.full.pdf> (アクセス:2019 年 8 月 26 日)
- (6) Huang, Yu-Hui M.S.; Jakus, Adam E. Ph.D.; Jordan, Sumanas W. M.D., Ph.D.; Dumanian, Zari B.S.; Parker, Kelly B.S.; Zhao, Linping Ph.D.; Patel, Pravin K. M.D.; Shah, Ramille N. Ph.D. (2019) 「Three-Dimensionally Printed Hyperelastic Bone Scaffolds Accelerate Bone Regeneration in Critical-Size Calvarial Bone Defects」. https://journals.lww.com/plasreconsurg/Abstract/2019/05000/Three_Dimensionally_Printed_Hyperelastic_Bone.24.aspx (アクセス:2019 年 8 月 26 日)
- (7) Peach John 「ドリームブラブララボ 1」. <http://www.taiyokikaku.com/works/web/pj-bralab1> (アクセス:2019 年 8 月 20 日)
- (8) 土井 一浩, 三木 将仁, 森田 真史 (2016) 「押し込み試験による皮膚組織のヤング率測定における Hertz 接触理論の展開」. https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjsme/82/833/82_15-00166/_pdf (アクセス:2019 年 8 月 26 日)
- (9) Roberto Naboni, Lorenzo Mirante (2015) 「Metamaterial computation and fabrication of auxetic patterns for architecture」. https://www.researchgate.net/publication/301454028_Metamaterial_computation_and_fabrication_of_auxetic_patterns_for_architecture (アクセス:2019 年 8 月 26 日)
- (10) M. J. Mirzaali, A. Caracciolo, H. Pahlavani, S. Janbaz, L. Vergani, A. A. Zadpoor (2018) 「Multi-material 3D printed mechanical metamaterials: Rational design of elastic properties through spatial distribution of hard and soft phases」. <https://re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1085369/365098/multi-materials%203D%20printed.pdf> (アクセス:2019 年 8 月 26 日)