

Auxetic Pattern を用いた環境呼応パネルの提案

A proposal for "Reactive Wall Panel" using Auxetic Patterns

久保木 仁美¹, 田中 浩也¹, 大野 定俊², 杉田 敬太郎²,
高柳 菜穂², 中島 奈央子², 湯浅 亮平^{1,3}, 中谷 雄俊⁴

Hitomi KUBOKI, Hiroya TANAKA, Sadatoshi OHNO, Keitarou SUGITA, Naho TAKAYANAGI,
Nanako NAKAJIMA, Kyohei YUASA, Takatoshi NAKATANI

¹慶應義塾大学, ²株式会社竹中工務店, ³キョーラク株式会社, ⁴ユニチカ株式会社

Keio University, Takenaka Corporation, Kyoraku Co., Ltd., Unitika Ltd.

【要約】

周囲の環境により形が変化し続ける建築エレメントを提案する。屋内と屋外を壁や窓で完全に隔てるのではなく、外の風を取り入れ、中の空気を循環させることでより快適な空間が生み出せるのと考えた。形状記憶樹脂を使い、3D印刷後に造形物自体の形が変化する4Dプリントの技術を建物の壁面に取り付けるファサードに応用した。このファサードの開閉においていかなる機械的制御も必要とせず、環境に応じて継続して動作する構造を Auxetic Pattern を用いることにより実現した。

キーワード: オーゼティック, パターン, 形状記憶樹脂, 建築, ファサード, 3D/4D プリント

【Abstract】

This paper presents an architectural element that keeps changing its shape according to the surrounding environment. The proposed element would create a more comfortable space by taking in the outside wind and circulating the air inside, instead of completely separating indoor and outdoor with walls and windows. The 4D printing technology, which changes 3D printed objects, was applied to a facade on the wall of a building, using shape memory polymer. The implementation of Auxetic Pattern realized a structure that continuously moves according to changing environments, and then the structure does not require any mechanical control for the motion of opening or closing.

Keywords: Auxetic, Pattern, Shape Memory Polymer, Architecture, Façade, 3D/4DPrint

1. はじめに

現在、形状記憶樹脂を使い3D印刷後に形が変化する4Dプリントの表現の開発が行われている。しかし、4Dプリント表現のほぼ全てがプリント後に人の手によって変形させる必要があることや、一過性の動きのみで繰り返し動かすことを実現できていない。動きのトリガーとなる要因や構造を工夫することによって、人や電気の力を使わずとも形が変化し続けるモデルが作れると考えた。また、4Dの技術・技法について表現の域だけでなく、それらの実用性について追求する。

2. 目的

より良い生活の実現するために新しい建築エレメントとその造形方法を提案する。

社会が抱える問題として、地球温暖化やヒートアイランド現象などが挙げられる。夏場には屋外は蒸し暑く、室内が冷房によって過度に冷やされることになると、消費電力だけでなく体調不良を起こす原因にもなる。室内と室外を壁や窓で完全に隔てるのではなく、外の風を取り入れ、中の空気を循環させることで快適な空間が実現できると考えた。4Dプリントの技術を使い、建物の壁面に取り付けるファサードによる暮らしの環境改善を提案する。

形状記憶樹脂を用い、適切な構造にすることで外か

ら力を加えずとも常に形が変化し続けるモデルの検討をした。また、提案するモデルの実環境下における効果を実証実験によって検討した。

建築の分野ではすでに、環境に応じて形・機能が変化する建材の研究が進められている。電子的な制御を通じ変化させている例として Flipmata が挙げられる(Noiz Architects“Flipmata”2012)。これは、周囲の音を壁面に取り付けたセンサーによって収集し、その数値に基づいてファサードの形が変化するというものだ。また、いかなる電子的、機械的制御を必要としない例として、David Correa による”3D printed Hygroscopic Programmable Material Systems”が挙げられる(“Performative Wood: Physically Programming the Responsive Architecture of the HygroScope and HygroSkin Projects”2015)。これは周囲の空間の湿度によって形が変化する建築エレメントである。水分を含むことにより、収縮率が変化する特性を利用して開閉の動作を実現している。いずれも、周囲の環境に応じて、建築の表面部分をコントロールし、周囲の環境の状態にあった室内を生み出している。

3. コンセプト

人の手や電気などの力を使わずとも、周囲の環境によって動き続けるファサードの提案する。

3Dプリント後に、造形物の形が変化するように考慮

して、立体物を造形することを4D プリントと呼ぶ。その4D プリントには3つの要素が組み合わってはじめて動作する。その要素とは、素材、構造、外的要因の3つである。本研究の4D プリントにおいては、素材として形状記憶樹脂、構造として Auxetic Pattern、外的要因として自然環境にある気温と風を用いた。



図 1. 4D プリントの3要素

このファサードが動く仕組みは以下の図の通りである(図 3)。ファサードの動きを5段階に分けて考える。まず1段階目では、気温が低く($t < 30^{\circ}\text{C}$)ファサードは、平らな形状を保っている。2段階目に、気温が上がると($t \geq 30^{\circ}\text{C}$)形状記憶樹脂で作られた本体が柔らかくなる。3段階目に、気温が高いまま($t \geq 30^{\circ}\text{C}$)の状態で風が発生すると、その力によってファサードが変形しパターンが立ち上がる。4段階目に風のファサードを押し出す力が弱まると、記憶していた元の形状に戻る。そして、5段階目に気温が下がると($t < 30^{\circ}\text{C}$)、形状が再び固定される。以上のような仕組みで電子的、機械的制御を使わずとも、継続してファサードを動かすことができると考えられる。

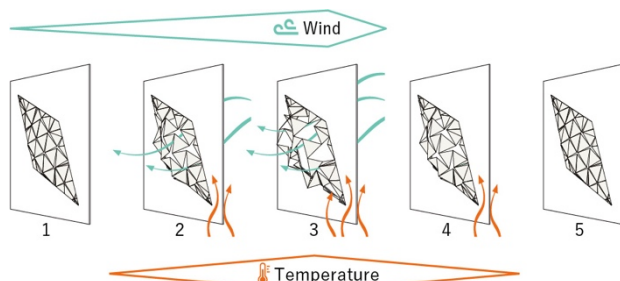


図 2. Breathing Façade 図解

4. 方法

本研究において製作したファサードの効果・耐候性・意匠性を検証するために2つの条件下で実験を実施した。一つは屋外での長期的な実験であり、もう一つは室内での特殊な環境を想定した実験である。

[実験 1 屋外実験]

日時: 2019 年 3 月より 8 月時点で継続中
場所: 都内某所展示施設(図 3)

材料: 本体にポリ乳酸樹脂(以下 PLA と称す)、枠にアクリル板・鉄を使用。

目的: 動作、意匠性、耐候性の検証。

個数: 6 箇所設置



図 3. 都内某所展示施設

実験には、ひし形(対角の長さ 285x120mm)のファサードを準備した。Auxetic Pattern の中でも特に、飛び出す幅が少なく、見た目には華やかに立ち上がるものを当てはめている。屋外の直射日光が当たり、雨風にさらされる場所に設置し、動作、意匠性、耐候性を見た(図 4)。

結果として、ファサードの開閉には、適切な方向からの適度な風量が必要であることがわかった。風により広がったパターンからは差し込んだ光によって影が揺らめく様子が見られた。また、いくつか見た目での変化があった。強風の影響により、設置した6個のうち2個が破損していた。



図 4. 実験の様子

[実験 2 風洞実験]

日時: 2019 年 4 月

場所: 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス

材料: 本体に形状記憶樹脂(以下 SMP と称す)・感温性フィラメント(TRF)、枠にアクリロニトリル ブタジエン スチレン共重合合成樹脂(ABS)を使用。

目的: パターンによる開閉の差異を検証。

個数: 8 パターン(図 5)

実験には計8種類の Auxetic Pattern を準備した(図 5)。また、材料には形状記憶樹脂を使用している。試験用に印刷したモデルにヒートガンをあて、開閉の様子を動画に撮り変化を確認した。

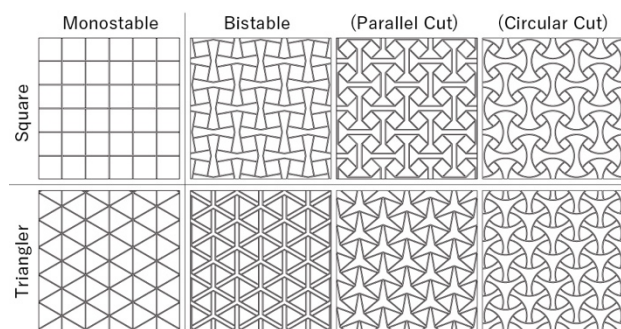


図 5. 今回実験したパターン8種

結果、パターンによって必要な風量、所要時間に差があること、開閉の動作の違いが明らかになった。Monostable のパターンは短時間で開きやすく、かつ動きとして大きな変化が見られた。対して Bistable のパターンは完全に開ききるまで時間がかかったが、閉じる動きは早く、ほぼ完全に元の形に戻ることが確認できた。形状記憶樹脂は開閉の動作を連続で行う、あるいは、必要以上の高温を当てると、形を保持する力が弱まることがわかった。

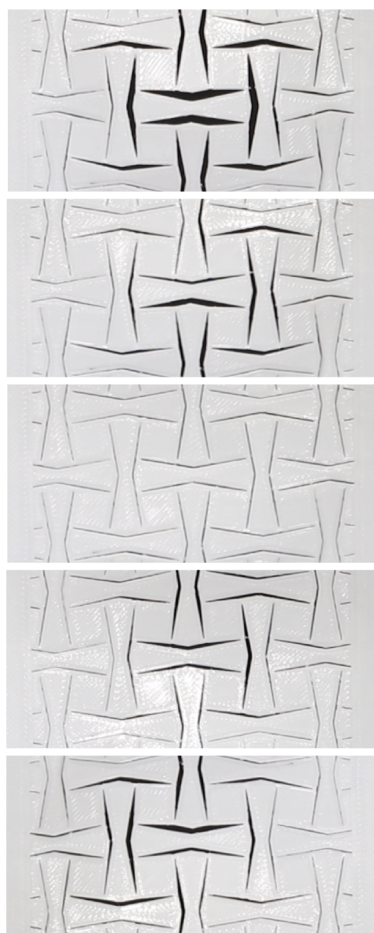


図 6. ファサードの開閉の様子

5. 考察

Auxetic Pattern を用いることで、風によるファサードを押し出す力が全体に伝わりやすくなっている。また、パターンによって動きに違いが見られ。周囲の環境、ま

た、短時間での開閉や形状凍結性など望まれる効果に応じてパターンを適切に選ぶ必要がある。

6. 結論

本研究のファサードは、特定の環境下において適当なパターンを当てはめることにより電子的、機械的制御を使わずとも、継続して動作する。Auxetic Pattern は種類によって、見られる変化に違いがある。同じパターンであっても、そのパターン内で角度の調整をすることで、立ち上がりの曲面を詳細に制御することが可能である。これらは、建築の意匠性においても大きな役割を果たすことができる。

今後は、ファサードを配置すべき箇所、またその環境にあった形状を導き出せるように研究を進める。例えばビルの壁面など強く直射日光が当たり、温度が急上昇する場所、かつ一定方向の風が期待できる環境を考えている。また、現在抱える課題として形状の変化が安定していないこと、また実装するにあたって環境耐性が不十分であることなどが挙げられる。これらの問題点を解決するとともに、温度のほか、湿度などを含めた複数の環境変化に対応した、より複雑な形状変化を実現するために、材料の適正化と形状の最適化に取り組む予定である。

7. 参考文献

1. Ken Gall, Martin L. Dunn, Yiping Liu, Dudley Finch, Mark Lake, Naseem A. Munshi “Shape memory polymer nanocomposites”, Acta Materialia, Volume 50, Issue 20, 2002, 5115–5126.
2. A. Mitchell, U. Lafont, M. Holyńska, C.Semprimoschnig “A review of 4D printing and future applications”, Additive Manufacturing Volume 24, 2018, 606–626.
3. Skylar Tibbits “4D Printing: Multi-Material Shape Change”, Architectural Design, Volume 84, Issue 1, 2014.
4. Qi Ge1, Conner K Dunn, H Jerry Qi, Martin L Dunn, “Active origami by 4D printing”, Smart Materials and Structures, Volume 23, Number 9, 2014.
5. Achim Menges, Steffen Reichert, “Performative Wood: Physically Programming the Responsive Architecture of the HygroScope and HygroSkin Projects” Architectural Design, Volume 85, Issue 5, 2015.
6. Noiz Architexts “Flipmata”
<https://noizarchitects.com/archives/works/flipmata-with-kazuhiro-jo-why-idx?fbclid=IwAR2WO0kzJsHpXP8skRj-YJZyPTWqFVNkxKSTuLvbmwLogPWI1SLmo7S2>

Proceeding for 4DFF2019

7H0(参照 2019-7-12)

7. Moritz Mungenast, Oliver Tessin, Luc Morroni,
“Munichs Deutsches Museum”
<https://www.ar.tum.de/en/hk/news-single-view-en/article/3d-printed-facade-at-the-deutsches-museum-munich/>(参照 2019-4-10)
8. Amanda Leveté “MPavilion”
https://mpavilion.org/architect/2015-al_a/(参照 2019-8-3)