

# ボロノイ構造を用いた水の表面張力による 環境呼応パネルの提案

Proposal of environmental responsive panel  
by surface tension of water using Voronoi pattern

河井 萌<sup>1</sup>, 田中 浩也<sup>2</sup>, 大野 定俊<sup>3</sup>, 中島 奈央子<sup>3</sup>

Megu KAWAI<sup>1</sup>, Hiroya TANAKA<sup>2</sup>, Sadatoshi ONO<sup>3</sup>, Naoko NAKASHIMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学 総合政策学部, <sup>2</sup>慶應義塾大学 環境情報学部, <sup>3</sup>株式会社竹中工務店

<sup>1</sup>Faculty of Policy Management, Keio University,

<sup>2</sup>Faculty of Environment and Information Studies, Keio University,

<sup>3</sup>Takenaka corporation

## 【要約】

本研究では、水の表面張力を利用することで、雨天時や散水時に壁を伝い流れ落ちる水滴を網目構造の中にとめ込むことのできる環境呼応パネルを提案する。出力には FDM 式の 3D プリンタを使用し、パネルの網目にはランダム性のあるボロノイ構造を選んでいる。このパネルに対してパラメータを変えながら水の表面張力による保水性の評価を行う。評価の際は単位面積あたりの母点の数やセルの形状などを変数としてパラメトリックにテストピースを作成・出力し、これに対して同条件で保水性を比較した。また、本研究の成果はボロノイ構造の内部に溜め込まれた水の気化熱によって都市内部の冷却に貢献するものとして期待される。

キーワード: 保水, 構造体, ボロノイ, パラメトリックデザイン, SDGs

## 【Abstract】

This research proposes an environmental responsive panel that can store water droplets in the mesh structure by using the surface tension of water. This panel is printed by FDM type 3D printer. Voronoi structure is used for the mesh of the panel. Test pieces are created with the number of cells, and the shape of cells as variables to evaluate the water retention. When the evaluation, the water retention of these test pieces is compared under the same conditions. It is expected that this panel will contribute to lower the temperature in the city by vaporization of water stored in this panel.

Keywords : water retention, structure, voronoi, parametric design, SDGs

## 1. 序論

本研究では、ボロノイ構造を用いて水の表面張力を利用することで、雨天時に水滴を構造内に溜め込むことのできる環境呼応パネルを提案する出力には FDM 式の 3D プリンタを使用し、マテリアルとして透明度の高い PET-G フィラメントを用いることで、保水し水滴のたまった状態のパネルに陽光が差し込んだ際に、高い視覚効果を生み出すことが期待される。

本研究ではパネルの保水性について定量的な評価を行った。パネルの保水性は、試験体の構造内に溜め込まれた水分の質量を比較することで評価した。評価は大きく二つに分かれており、保水性を持つ既存素材との比較と、構造をパラメトリックに変化させた試験体を用いた構造変化に伴う保水率変化の比較である。パネルの保水性を定量的に測定することで、今後の評価対象となる吸水性や蒸発性と併せ、都市の中に導入した際に生み出す冷却効果の参考とする。

## 2. 背景

近年顕在化している深刻な都市問題の一つとし

てヒートアイランド現象が挙げられる。ヒートアイランド現象とは都市部の気温が周辺地域よりも高くなる現象で、都市化に伴う人工的被覆の増加による「地表面の温度上昇」が大きな形成要因の一つである。東京都では 1994 年時点で人工的被覆面積の割合は 80 パーセントを超えており、「建築物の人工的被覆」「路面の人工的被覆」は現在においても徐々に増え続けている。

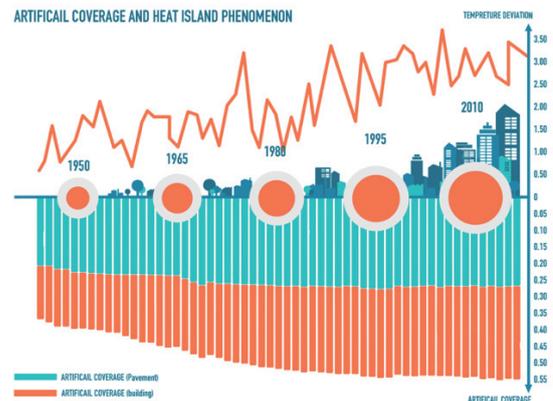


図 1. 人工被覆面積率の推移と平均気温の上昇

そこで、人工的に被覆された都市の表面温度の上昇を抑える手段の一つとして保水性を持つパネルを考えた。雨天時に壁を流れ落ちる水滴を溜め込み長時間保水することで、蒸発する際の気化熱によって表面温度を下げるとともに、周辺の気温上昇の抑制を図る。

3D プリンティングの分野において行われている保水性を持つ構造の研究の一つとして **Printable Hydroponics : A Digital Fabrication Pipeline for Soilless Plant Cultivation** が挙げられる。これは弾力性を持つ SBS と水溶性を持つ PVA を使って印刷し、PVA のみを溶かすことによって得られた多孔質構造を水耕栽培システムとして利用するものである。水に浸すことで構造内に水分を吸い上げ、根を壊すことなく植物を生育させることができる。また、Lay Filaments の開発する **GLOWLAY filament** は毛細管の開いた多孔構造を持ち、押し出し時に有機構造を形成する。この構造が保水、栄養素貯蔵に貢献し、植物やカビ、地衣類を生育させる。



Printable Hydroponics : A Digital Fabrication Pipeline for Soilless Plant Cultivation



GLOWLAY filament

このように、3D プリント物の構造やフィラメントの構造における保水性の研究は行われているが、制作に工数のかかる微細構造であり、植物の水耕栽培という目的の域を出ない。

そこで本研究では、対象を都市スケールに広げ、都市の冷却効果を狙いつつ、水の表面張力を利用することでボロノイを用いた製作工数の少ない比較的大きな構造の中に保水できるパネルを提案する。

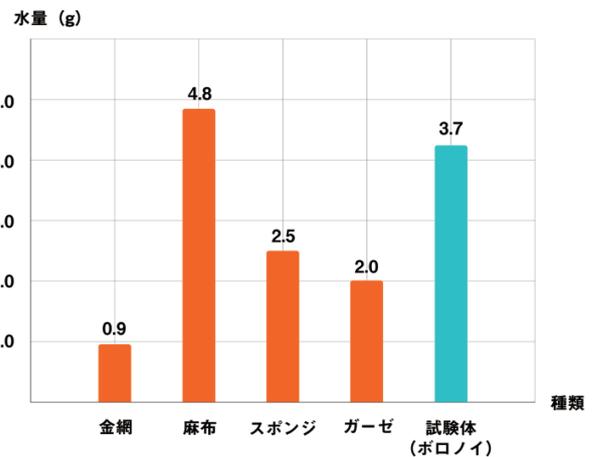
### 3. 手法

まず保水性を持つ既存物との比較として、4 種類の既存物と、ボロノイ構造を持つ試験体の保水性を比較した。既存物は金網、麻布、樹脂スポンジ、綿ガーゼの 4 種類である。これらと PET-G フィラメントを用いて出

力した目の粗さ 100, 50mm 四方のボロノイ試験体を用意し、15 分間水中に浸漬させたのち 1 分間水切りし、保水前後の質量を比較することで構造内に保水された水分量を測定した。この結果を表したのがグラフ 1 である。



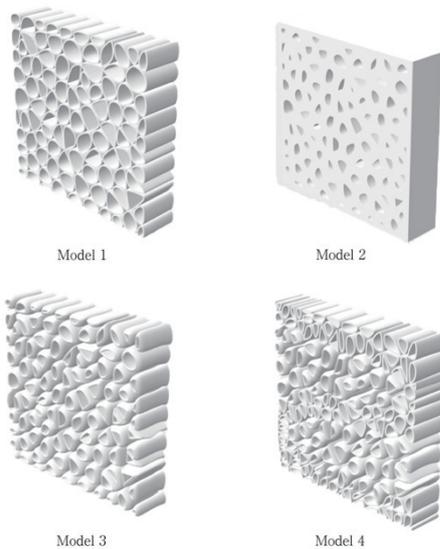
既存物（金網、麻布、スポンジ、ガーゼ）



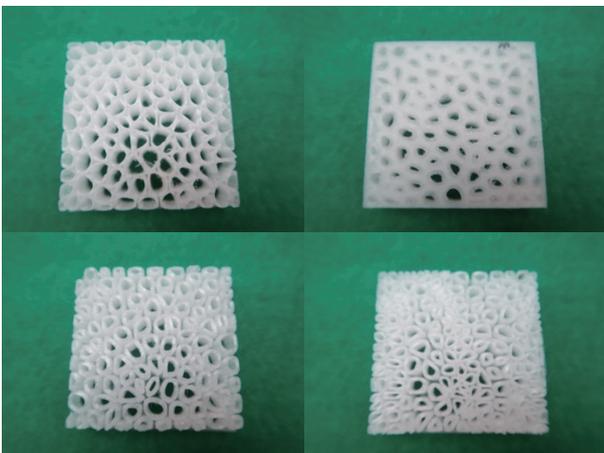
グラフ 1. 既存物との保水性比較

次に構造変化に伴う保水率変化の比較を行った。構造を変化させることで保水率の制御が可能になれば、気候に合わせて場所ごとに必要な保水性を持ったパネルを作成することができる。

ボロノイ構造の持つ部分ごとの保水率への影響を知るために、以下の 4 種類の試験体を作成した。Model 1 は目の粗さ、Model 2 はセル開口部の形状、Model 3 はセル同士の間隙率、Model 4 は大小セルの比率をパラメータとして Model 1 は 5 種類ずつ、その他は 3 種類ずつパラメータを変化させた計 15 個の試験体に対して保水性の比較を行った。以下にその試験体の一例を示した。



4種類のモデル(Model1~4)



試験体の例(Model 1~4)

これらに対して雨を模した試験機(図 2)を用いて水平、45 度、垂直の 3 パターンで保水した水分量を計測する実験と、既存物との比較の際と同様に、15 個の試験体に対しても 15 分間水中に浸漬させたのち 1 分間水切りを行い、保水前後の質量を比較する実験を行った(図 3)。



図 2. 雨の試験機

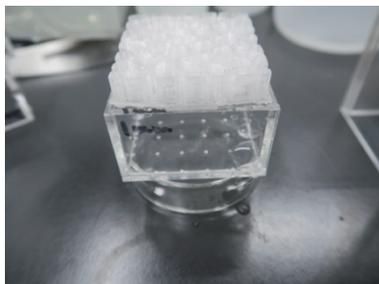


図 3. 水切りを行っている様子

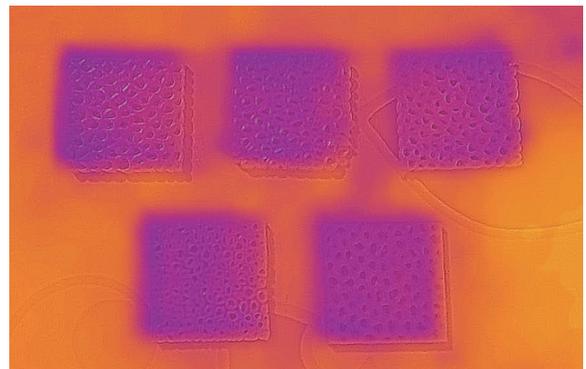
このように構造の部分ごとに形状を変化させて比較することで、それぞれの部位が構造全体の保水性にどのように影響を及ぼしているかを分析した。

#### 4. 結論

本研究では、ボロノイ構造をベースにセルの粗密や形状、間隙率などをパラメトリックに変化させたテストピースを作成し、網目構造や多孔構造を持つ既存素材とともにその保水性を比較することで構造変化に伴う保水率の変化を定量的に評価した。

今後の展望として、より精細な既存建材との保水性の比較や、温度上昇抑制効果の度合い、蒸発性の値の比較をすることで、本パネルを都市に導入した際の冷却効果の解析を行う。また、構造変化による保水率の制御を可能にすることで、場所や必要性に応じた保水率を持つパネルを都市内部に導入し、ヒートアイランド現象の抑制を図る。

また、本パネルは壁材のみならず、セルの形状を保ったままパネル自体の形状を場所に応じて変化させることで、打ち水やスプリンクラー、ドライミストによって散水された水分を保水するサンシェードやガーデンデッキ、植物を生育する植栽フェンスや土表面における保水材など、様々な場所への応用が期待できる。



サーモグラフィカメラによる温度上昇抑制効果の調査

#### 参考文献

1. 酒井敏 (2013)『都市を冷やすフラクタル日除け-面白くなくちゃ科学じゃない(気象ブックス 037)』, 成山堂書店.
2. Yuichiro Takeuchi (2019) 「Printable Hydroponics : A Digital Fabrication Pipeline for Soilless Plant Cultivation」. <https://tinylab.me/publications/access19ph.pdf> (アクセス:2020年9月7日)
3. Lay Filaments (2018) 「GROWLAY」. <https://3dprinting.com/news/german-filament-creator-introduces-indoor-farming-material/>. (アクセス:2020年9月7日)
4. 住学, 山口博史, 梶山毅, 高松誠, 大原達郎 (2007)「保水性コンクリートに関する研究開発」. [https://www.konoike.co.jp/solution/theses/pdf/2007\\_architect\\_03.pdf](https://www.konoike.co.jp/solution/theses/pdf/2007_architect_03.pdf) (アクセス:2020年9月9日)
5. 環境省: まちなかの暑さ対策ガイドライン改訂版(案). [http://www.env.go.jp/air/report/h29-01/ref01\\_2901.pdf](http://www.env.go.jp/air/report/h29-01/ref01_2901.pdf) (アクセス:2020年9月11日)

