

Reactive

Wall

Project



Overview

Relationship between Environment and Functions

Inside

Functions

Glow Plants

Fall Flake

Ventilation

Luminescence

Outside

Environmental Factors

Sun

Water

up

Temperature

Wind

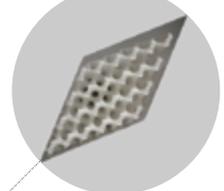
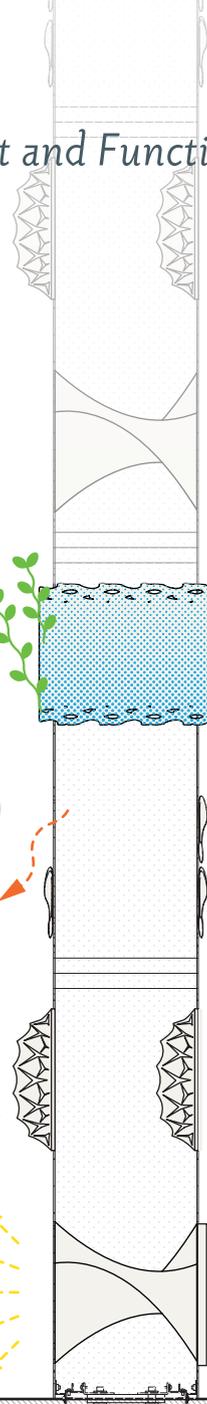
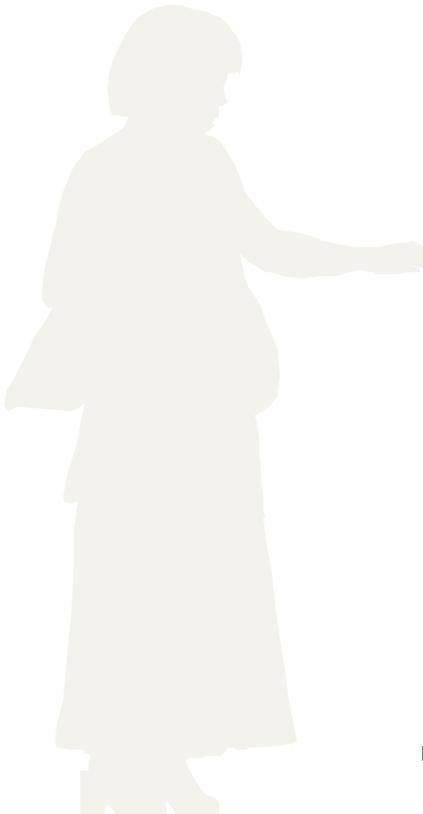
Sun

1. Porous Block

2. Maple Window

3. Breathing Facade

4. Twisted Window Frame



Overview

Relationship between Environment and Functions

Inside

Functions



Luminescence



Ventilation



Transpiration



Discoloration

Outside

Environmental Factors



Sun



Water



Humidity



up



Temperature

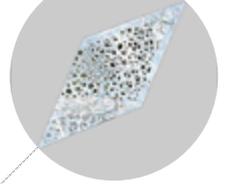


Water



Water

5. Shimmering Wall



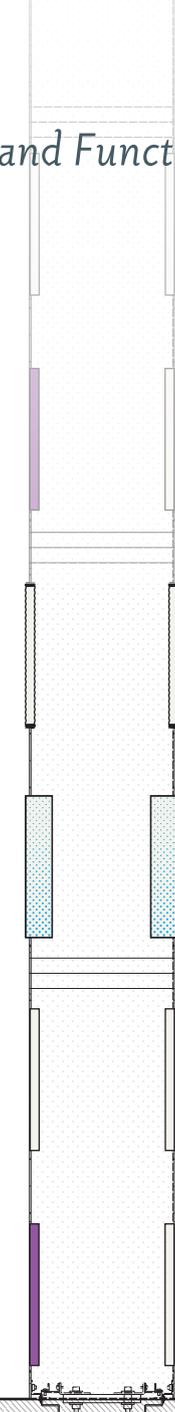
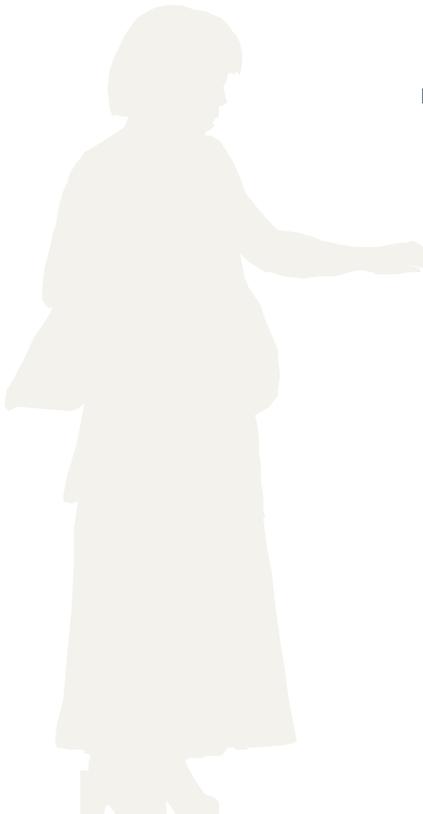
6. Warped Wall



7. Sweating Wall



8. Moody Wall



Reactive Wall Project

Abstract

0. Overall

季節の移ろいに呼応する壁面パネルを連作として設えた。光・風・気温・雨・音など環境の諸要素は、時間や月日の移行に応じて刻一刻と変化している。それらを目に見えるよう転換・誇張すると、季節の変化をより容易く捉えることができるようになるだろう。あるいは、それらを半自動的に屋内に取り入れることで、部屋の内外の区別を曖昧にすることができるだろう。特注大型 3D プリンターや特殊なモデリング技法など最新技術を用いて、これらは製作された。自然の遷移と人々の振る舞いとが響きあう空間を、このプロジェクトでは探求し続けている。

1. Porous Block

大型 3D プリンターを用いた多孔質構造の建材
徳重早織

大型 3D プリンターを用い新しい建材を製作した。「ジャイロイド」と呼ばれる生物表面の幾何学構造を模倣した。ジャイロイドは、少量の素材で高い強度を保つことができるという優れた特性を持つ。この多孔質形状により、日光・風・雨・音などを柔らかく取り込むことが可能だ。室内に居ながらにして、屋外の状況をおぼろげに感じることで空間が立ち現れる。植物や虫といった自然界の小さな生き物達も、表面の細かな凹凸や穴の中にそれぞれの居場所を見つける。時間を経るにつれ建物と建物以外とが一体化し、空間の一部となってゆく。

2. Maple Window

暖くなると翼果がくるくると落する、形状記憶樹脂を用いた変化する 4 次元窓枠

田岡菜

落下は日本の日常的な風景と密接に関わっている。満開を過ぎた桜の花びらは一斉に散り、秋には落ち葉を楽しむことができ、冬になると雪が舞う。そんな「落下」を建物の壁面に施したのがこの試みである。この窓枠には形状記憶の性質を持つ樹脂を用いた。カエデの枝にあたる部分が気温の上昇により変形し、翼果がくるくると落ちる。壁面の一部が取れることで壁面全体からの採光も変化し、落ちていくさまはこれまでにない建物の装いを見せる。

3. Breathing Façade

風でパターンが広がり外と中の空気を入れ替えることのできるファサード
久保木仁美

周りの環境によって形を変えるファサード。風に吹かれると呼吸をするように大きく膨らみ、再び戻る変化を見せる。変化が現れやすい「オーゼティック・パターン」を使用した。できた隙間を通り、屋外から屋内、屋内から屋外へと空気が移動する。私たちはファサードの切れ目から差し込む光とその影の揺らめきを楽しむことができるのだ。一つ一つのモジュールは隣のものとの互いのチェーンによって繋がっている。そよ風で揺らぐほどの軽さと形状を検討した。

4. Twisted Window Frame

3D プリンターでしか作ることの出来ない、ねじれながら連続的に変化する形状パターンを使った光る 3次元窓枠

益山詠夢

建物の外壁全体に広がる幾何学模様を持つファサードは、あいだに空間を持つ薄い 2 層の壁により構成されている。外壁の開口部に、3D プリンターでしかつくることのできない奥行を持ったオブジェクトを挿入することで、ファサードの持つフラットな 2D パターンの表現に対して、3次元的で豊かなコントラストを生みだす。オブジェクトの形状は、元の外壁パターンに使われている菱形が立体的にねじ曲がりながら変形し続けるものである。この作品は、光の半透明性をもつため、日中は外からの光を通し乳白色に光り、夜間は照明をうけて発光することで、ねじ曲がった光の窓枠となり外壁に新たな表情を与える明かり窓として機能する。

5. Shimmering Wall

表面張力を用いて、雨水と光による視覚効果をもたらすファサード

河井萌

雨によって視覚変化を起こす環境呼応ファサード。ゆるやかな曲面を持つこのパネルの表面には、ポロノイ構造を用いた網目模様が施されており、この小さな隙間に雨が降った際に雨水を表面張力で溜め込むようになっている。晴れた際には、溜め込まれた水滴に射した陽光が乱反射し、室内に入り込み、また夜間には室内の灯りを受けて乱反射した光が、建物の外観にきらめきを与える。角度によって様々な表情を見せることから、「瞬く壁」として名付けた。

6. Warped Wall

吸水特性の異なる樹脂の複合利用による、湿度に呼応して臉を閉じる窓枠

青山新

松ぼっくりに代表されるように、湿度に応じて変形する天然素材は多く、近年では建築ファサードへの応用も目立つ。本作では吸水による膨張率の差が大きい 2 種類の樹脂に着目し、これらを 3D プリントを用いてグラデーションに配置することで、湿度変化に伴って変形する人工素材の作成を目指した。櫛の歯のようなモジュールは普段は開口部のふちに隠れているが、湿度や天候の変化によって反り返り、歯の間に張られた皮膜を広げることで、徐々に開口部を閉じてゆく。臉を閉じるような所作が、ファサードに機能とともに表情を与えてゆく。

7. Sweating Wall

グラデーションな多孔質構造により雨水を継続的に排出する冷却効果を持つ壁面

名倉泰生

3D プリンターを精密に制御し最小 0.05mm の孔を無数に持たせた。一時的に壁内部に貯蓄された雨水は雨が上がった後、ゆっくりと放出される。最大効率で表面積を増大させる様生成された表面形状を雨水が伝うと、太陽光を受け蒸発する。それはあたかも人間の発汗機能の様に働き、建築表面を冷却する。3D プリントによる建築が一般的になる中、3D プリントならではの機能性をもった構造は大きな開発領域となる。多孔質の粗密を制御し複雑な曲面を持つ外壁にインストールするメタマテリアルは非常に有用だ。

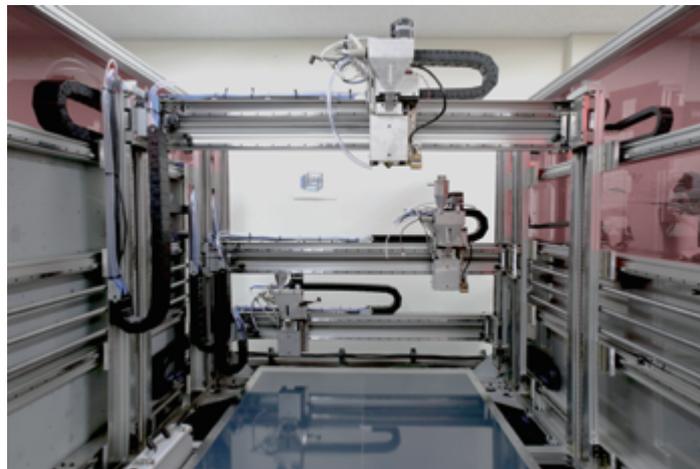
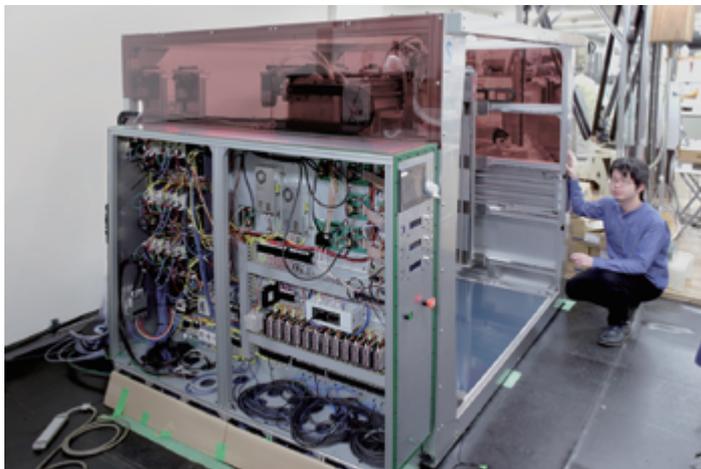
8. Moody Wall

pH 濃度で色が多様に変化することができるカラフルな窓枠

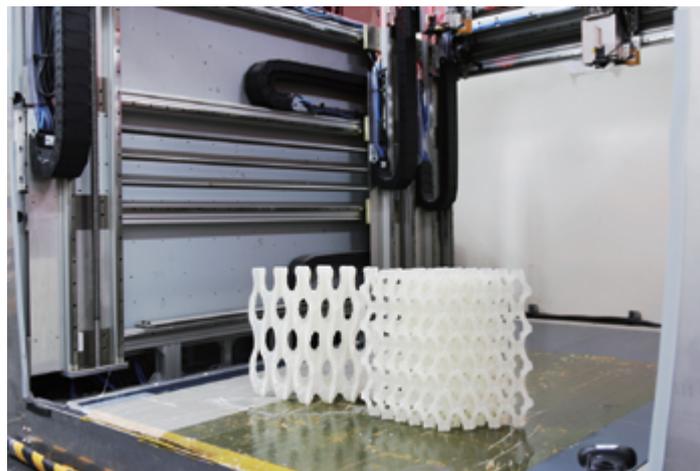
伊藤らら

紫陽花に含まれるアントシアニン色素が土壌内の pH 濃度が変化することで、花卉の色も変化する仕組みを模した窓である。日本に降り注ぐ雨の pH 濃度は一般的に、酸性と中性の間と計測されており、窓の色も元の薄い紫色から少し濃い紫色へと変化し、さらには紫色のグラデーション色を帯びるだろう。また、色の多様性に富んだアントシアニンは、窓を洗剤で洗えば緑色へと、水で洗浄すれば青色へと窓の色合いも pH 濃度に合わせて多様に変化する。窓の色が可逆的に、まるで心情のようにコロコロと変わる気分屋な窓である。

Overview Large 3D Printer



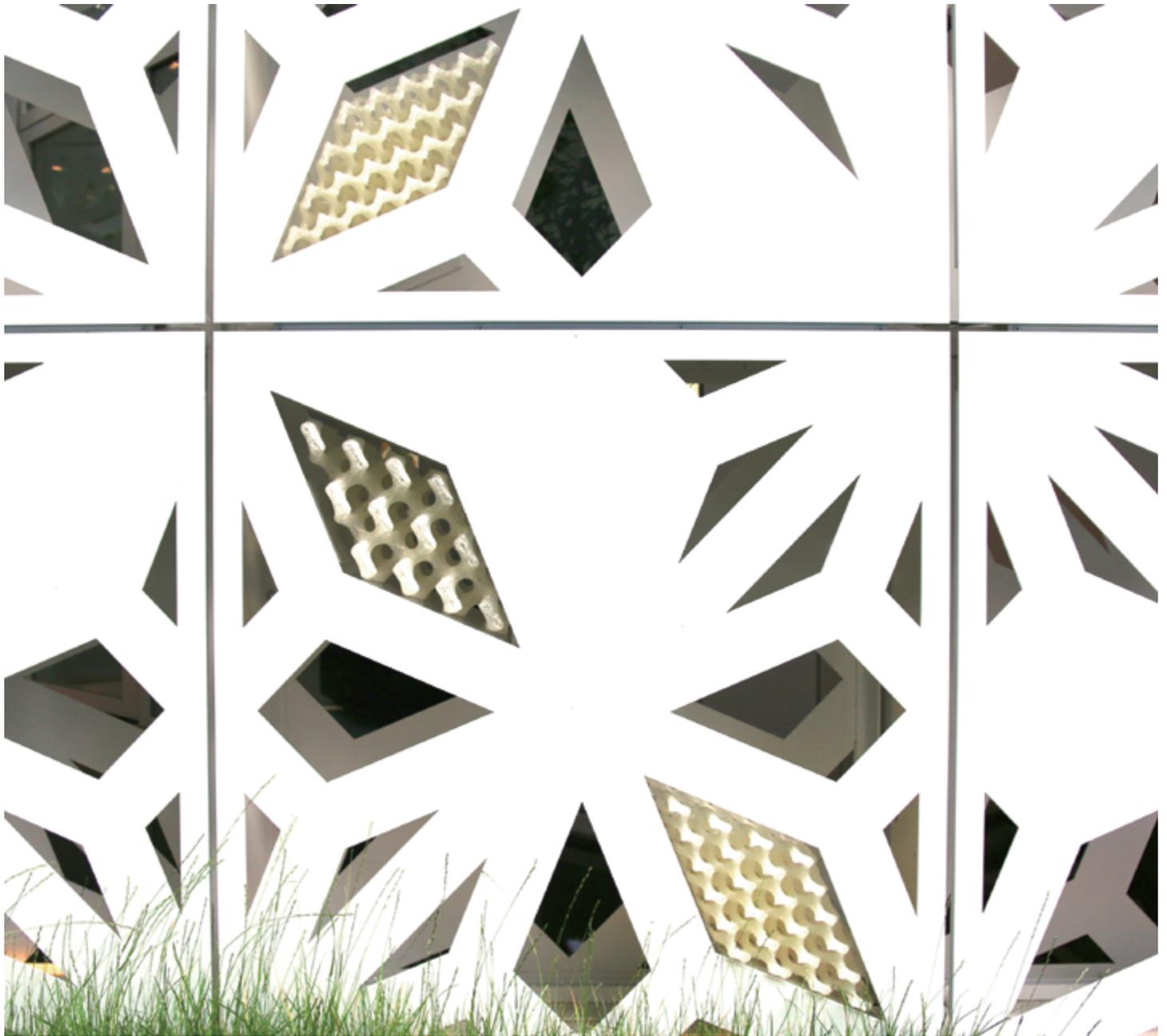
これは 1 m³規模の物体を 1 回で出力可能な大型特注 3D プリンターである。同時稼働するトリプルヘッドを備え、高速の出力を実現した。

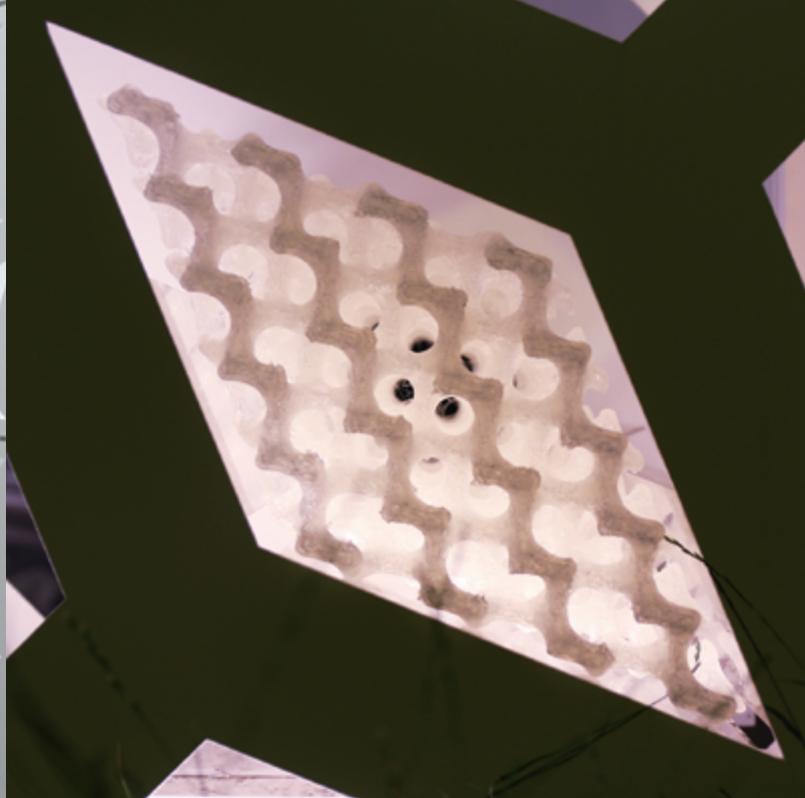


左の写真はノズル部分を追跡するカメラによって撮影された。大きなピッチの積層痕が、出力物表面に独特の印象を与える。

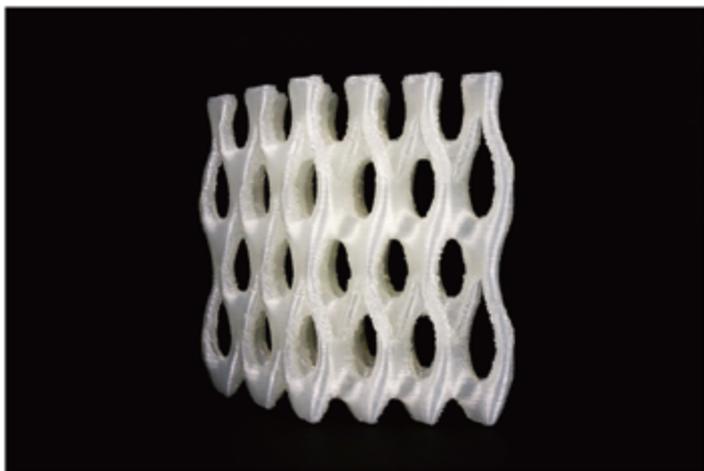
1. Porous Block

building material for ambiguous spaces with large 3D printers

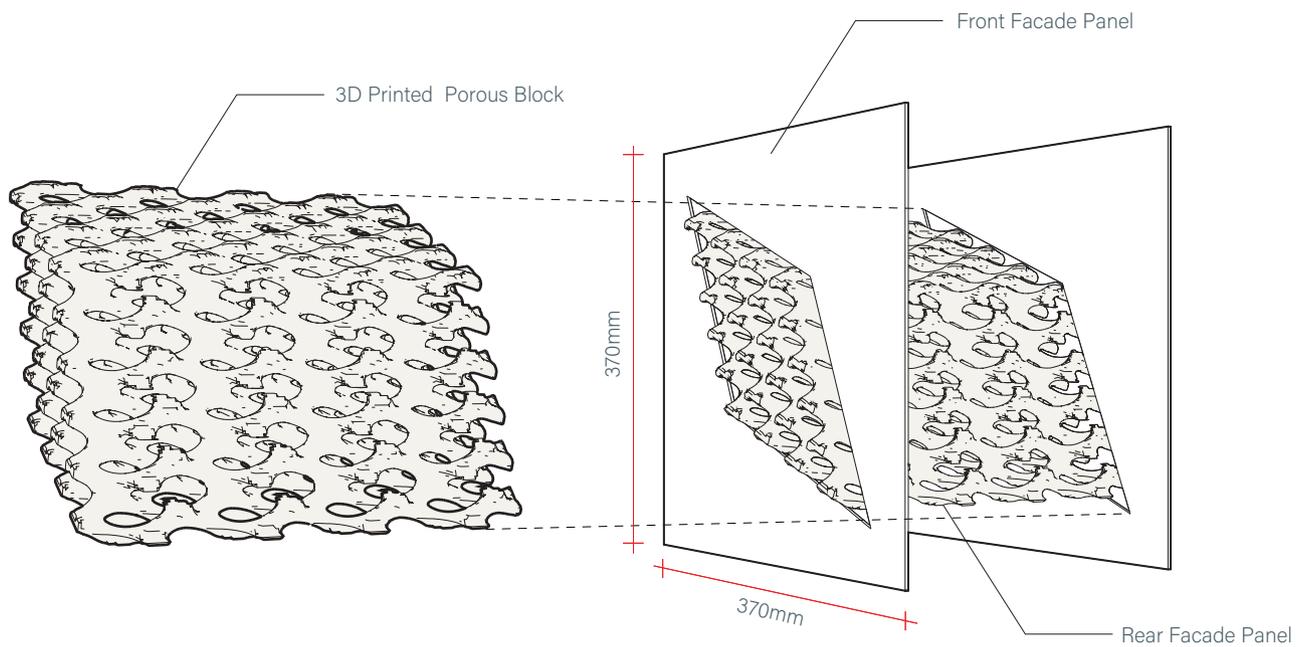




I. Porous Block
Prototype



軽く強靱な蝶の構造を模倣した多孔質 3D プリントブロック。複雑に分岐した構造物は中空になっているため、光を美しく反射する。



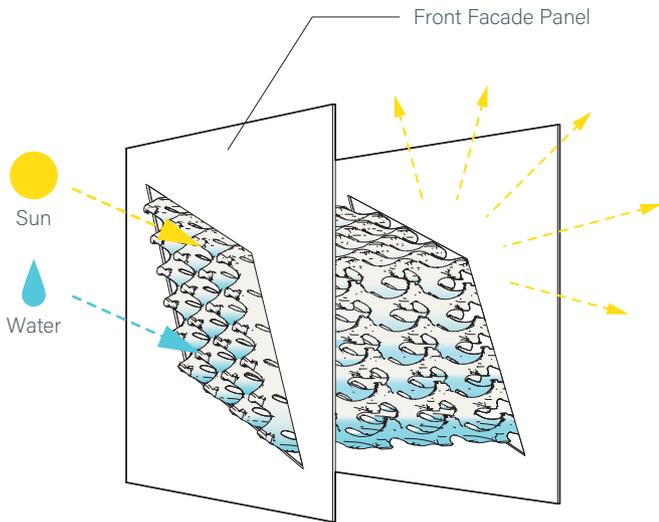
I. Porous Block Response to Weather



中庭の水盤

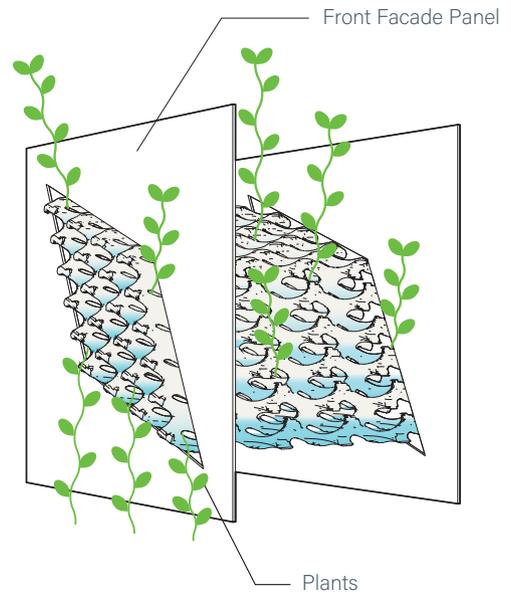


外部の植栽



1

ブロックの空隙は日光や雨水を透過する。この環境は植物の生育維持に適しているといえる。



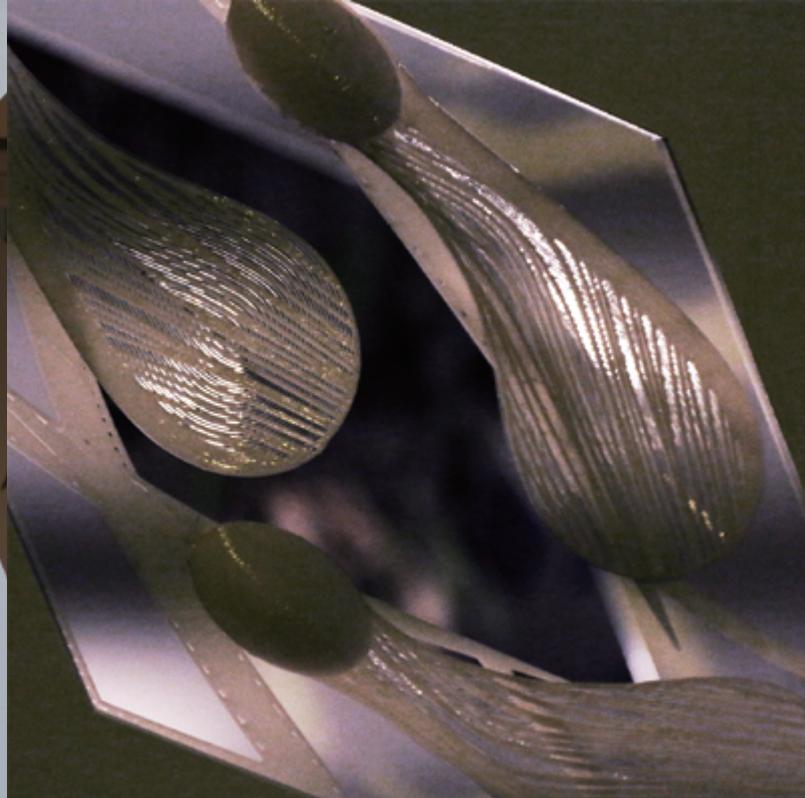
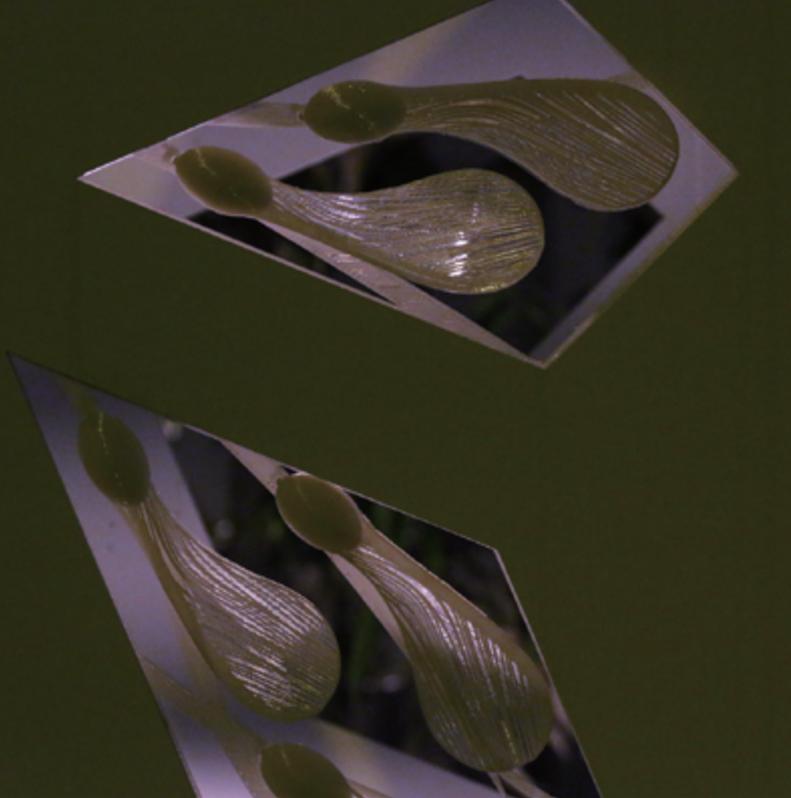
2

植物は 3D プリントによる表面の凹凸を足掛かりに伸び上がり、ブロックの内部を通り抜けながら成長する。

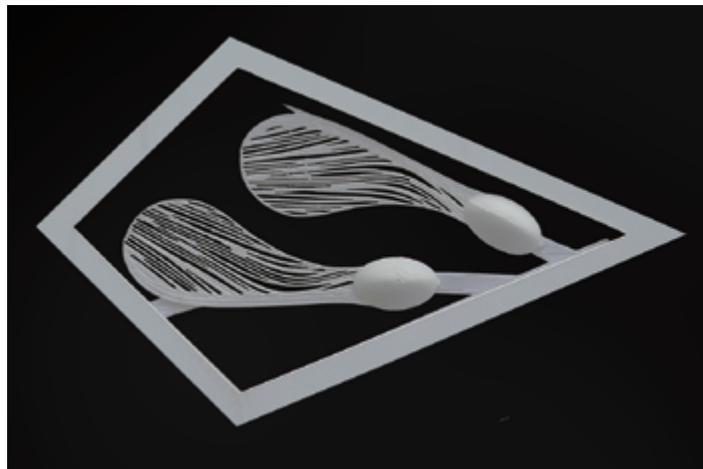
2. *Maple Window*

a window frame of a winged fruit that falls due to rising temperatures using a shape-memory resin

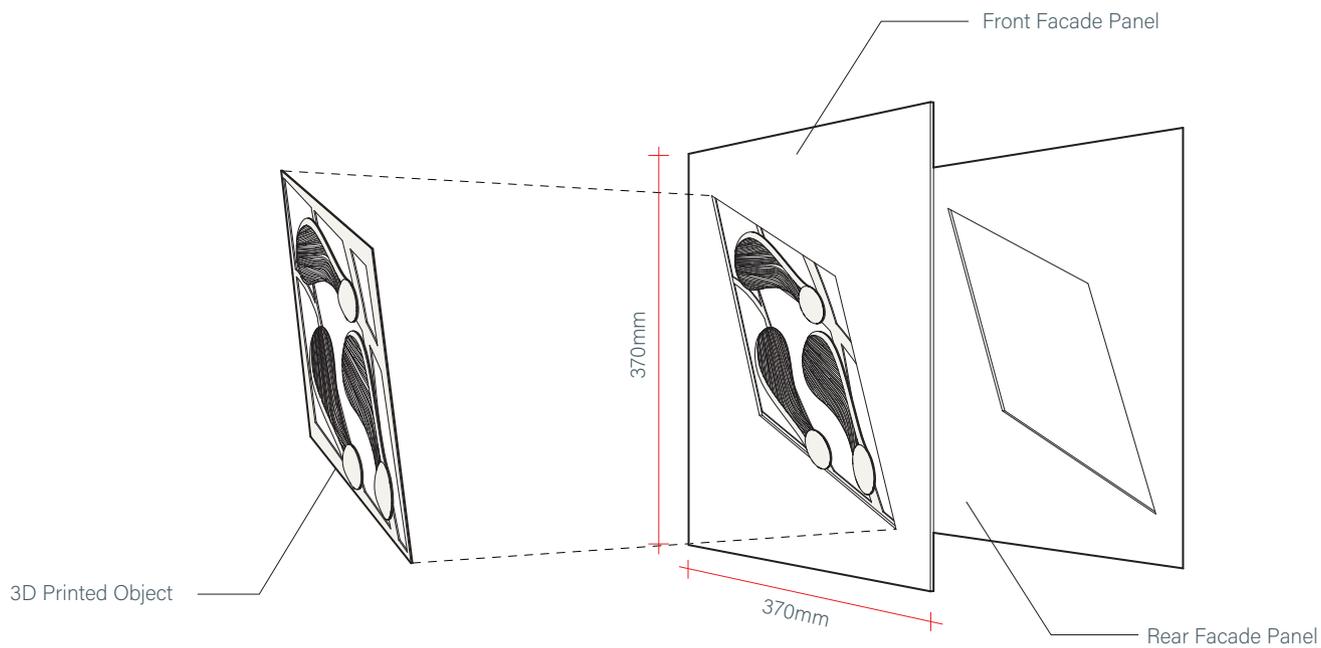




2. Maple Window *Prototype*



「Maple Window」は、カエデの種子を参照したバイオメティックデザインである。フレームにつながった「種子」は、温度の上昇に伴って変形し、落下する。滑空する様子が見られる。



2. Maple Window

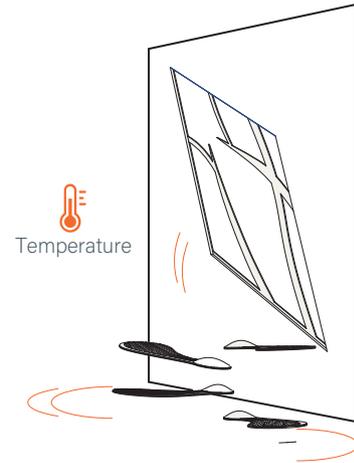
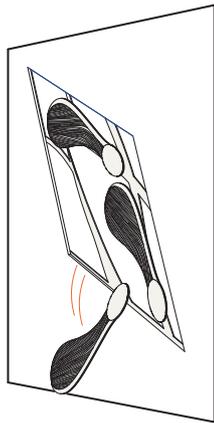
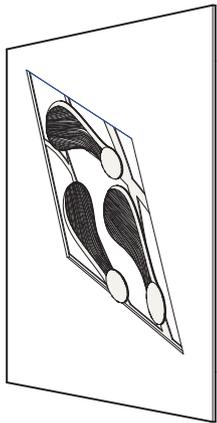
Response to Air Temperature



変形前



変形途中



1

フレームにつながった「種子」は形状記憶樹脂（SMP）でつくられており、気温が 35°C を超えると変形し、フレームから剥落する。

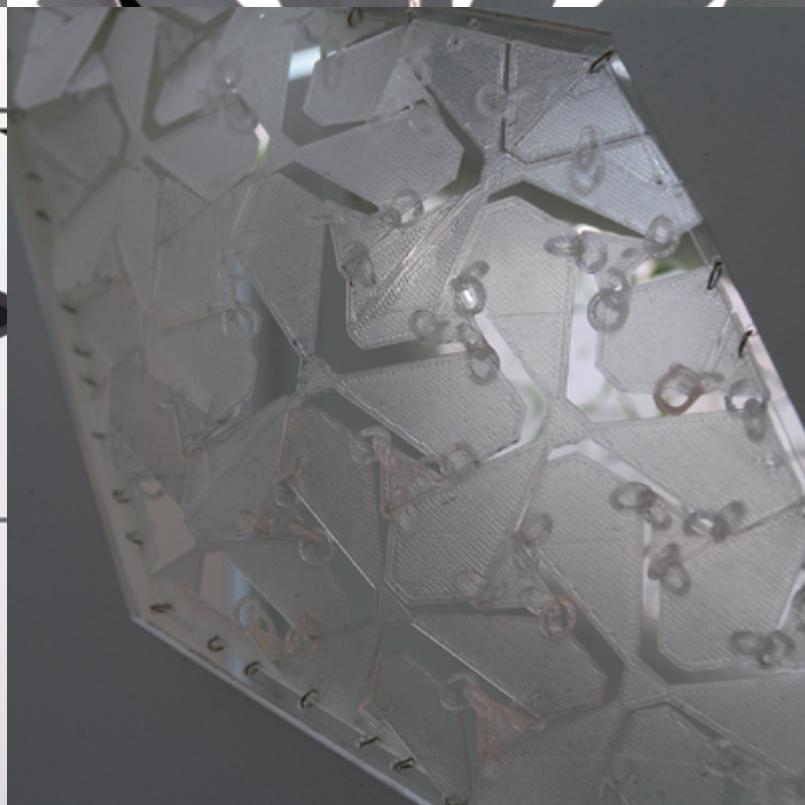
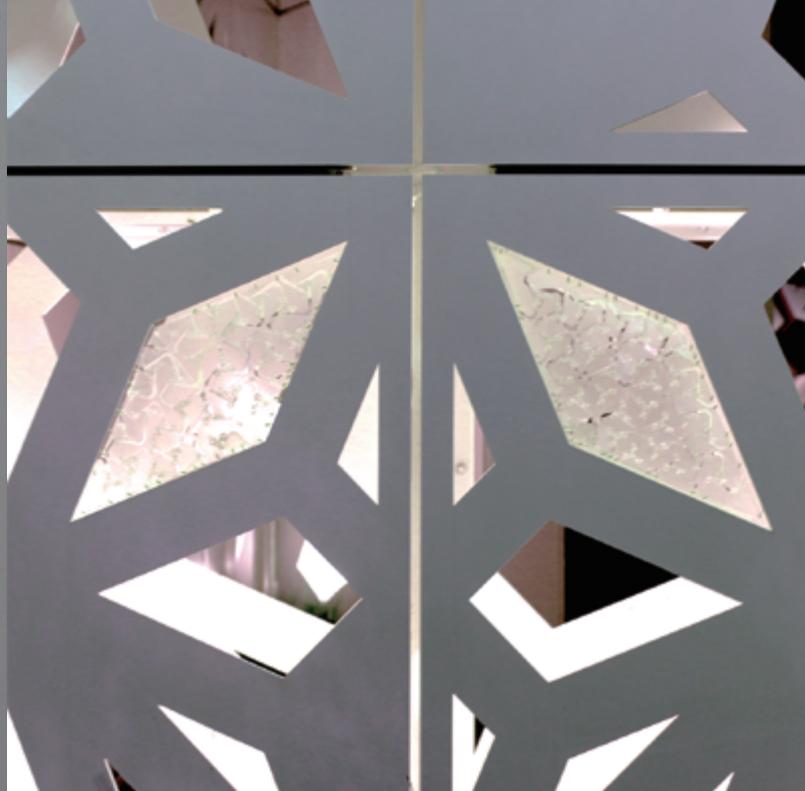
2

「種子」は剥落する際、楓の種のように回転する。

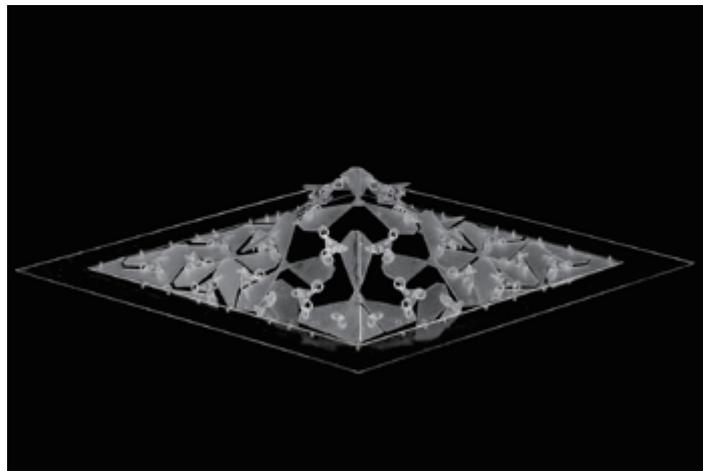
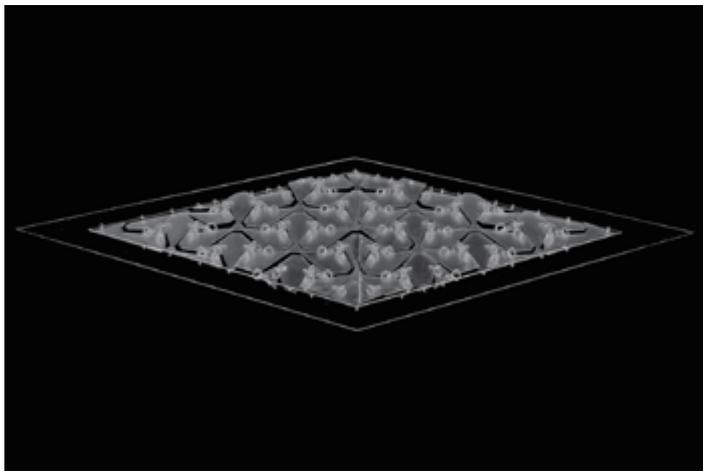
3. *Breathing Facade*

a facade with a breeze that exchanges air between the inside and outside

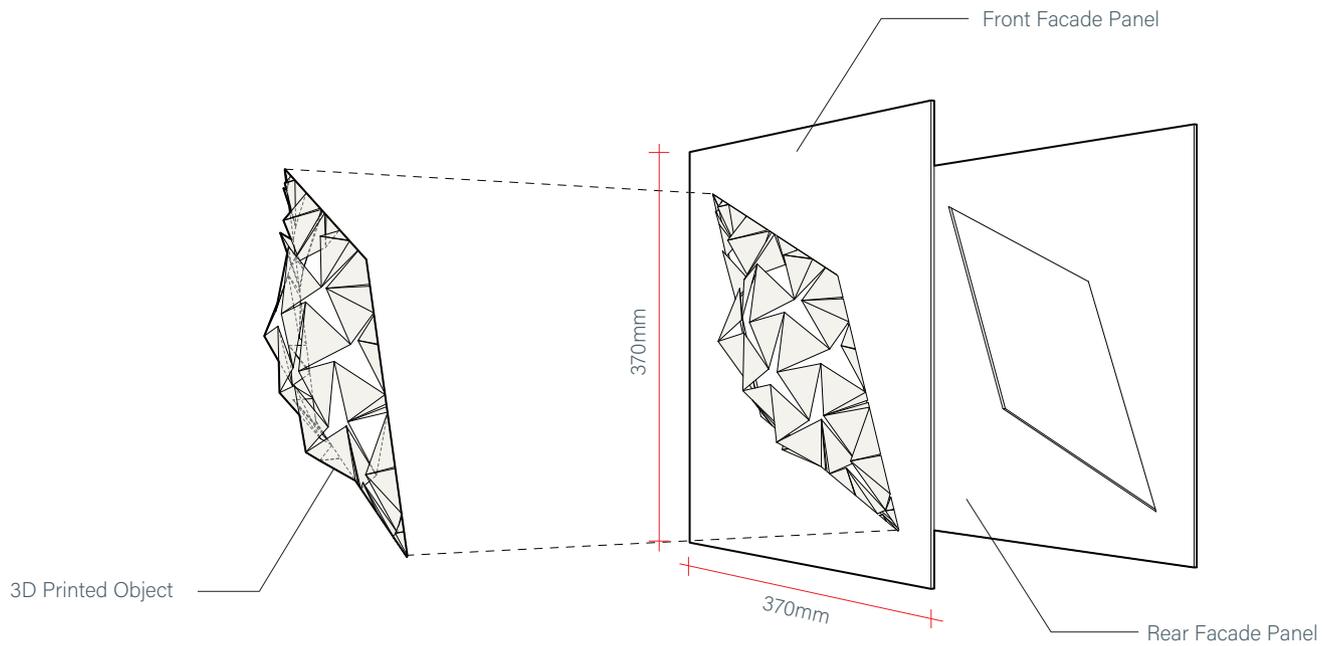




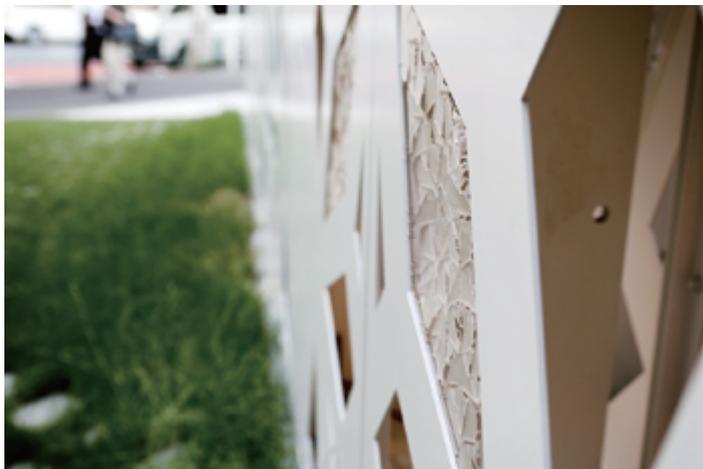
3. Breathing Facade *Prototype*



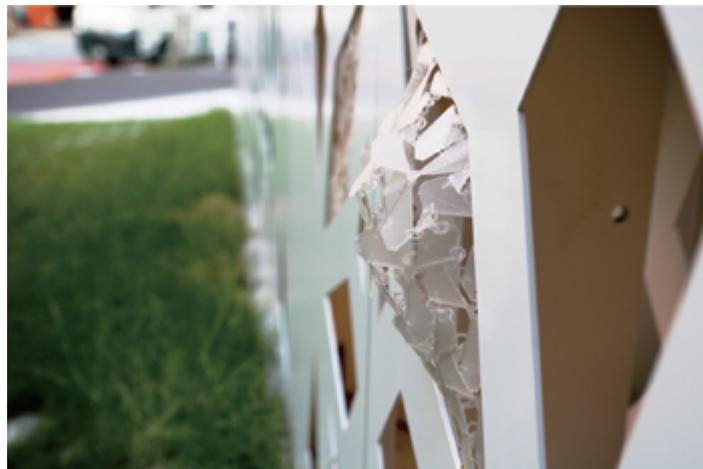
この壁面は、外部環境からの風によって変形し、隙間を生じさせる。この隙間によって、換気や陽光が調整される。



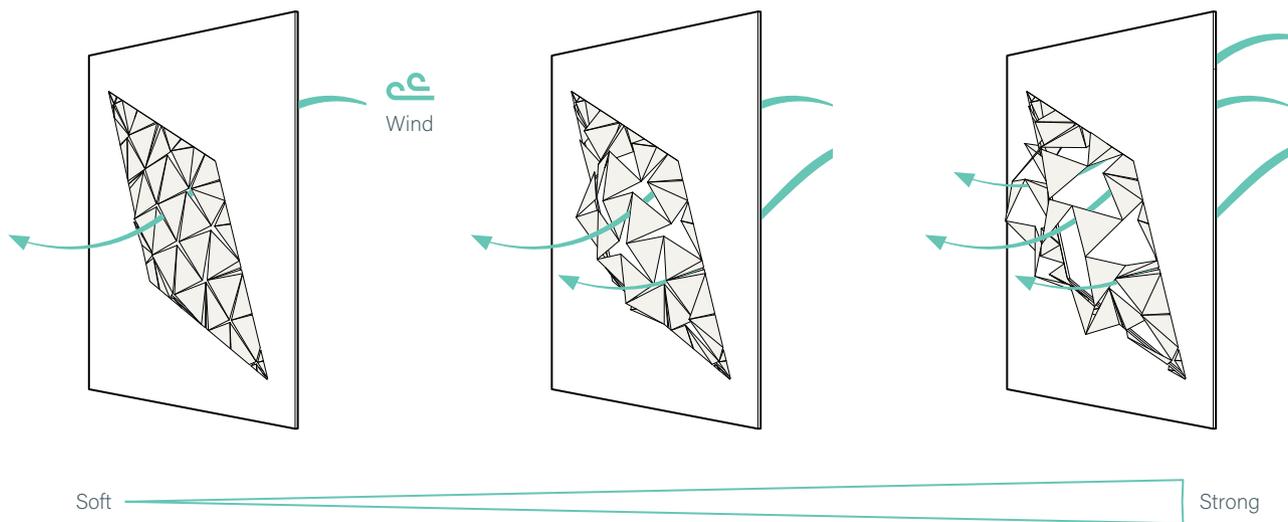
3. Breathing Facade *Respond to Wind*



閉じた状態



開いた状態

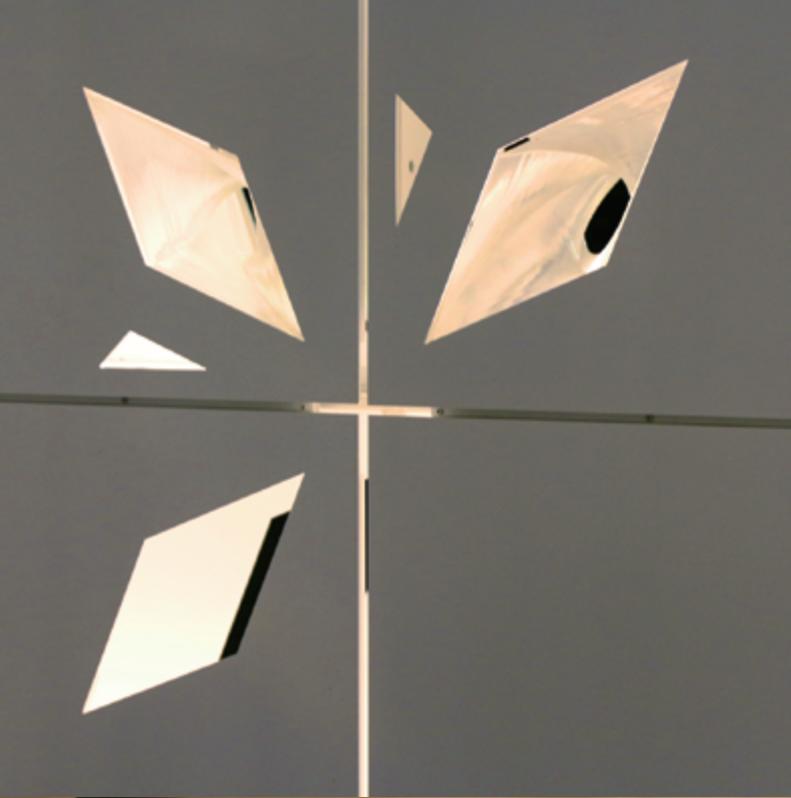


上のダイアグラムのように、風の強さに伴って隙間が大きくなっていく。

4. *Twisted Window Frame*

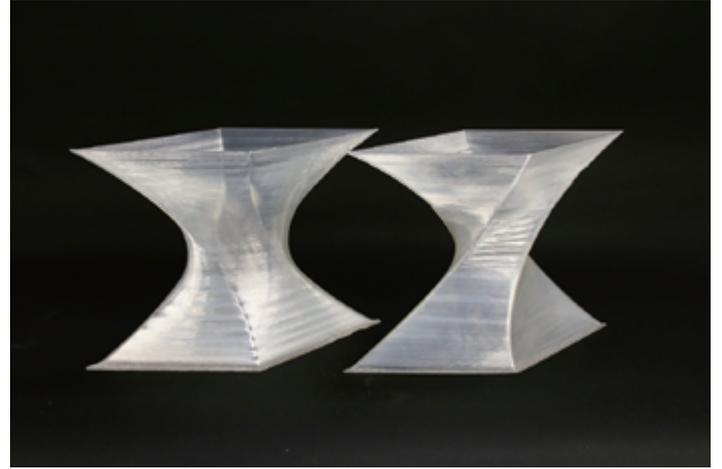
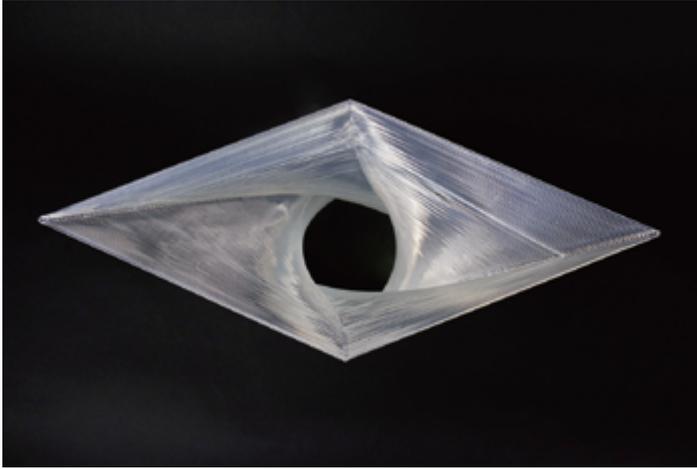
a glowing 3D window frame with a twisting, continuously varying shape pattern that can only be created with 3D printers



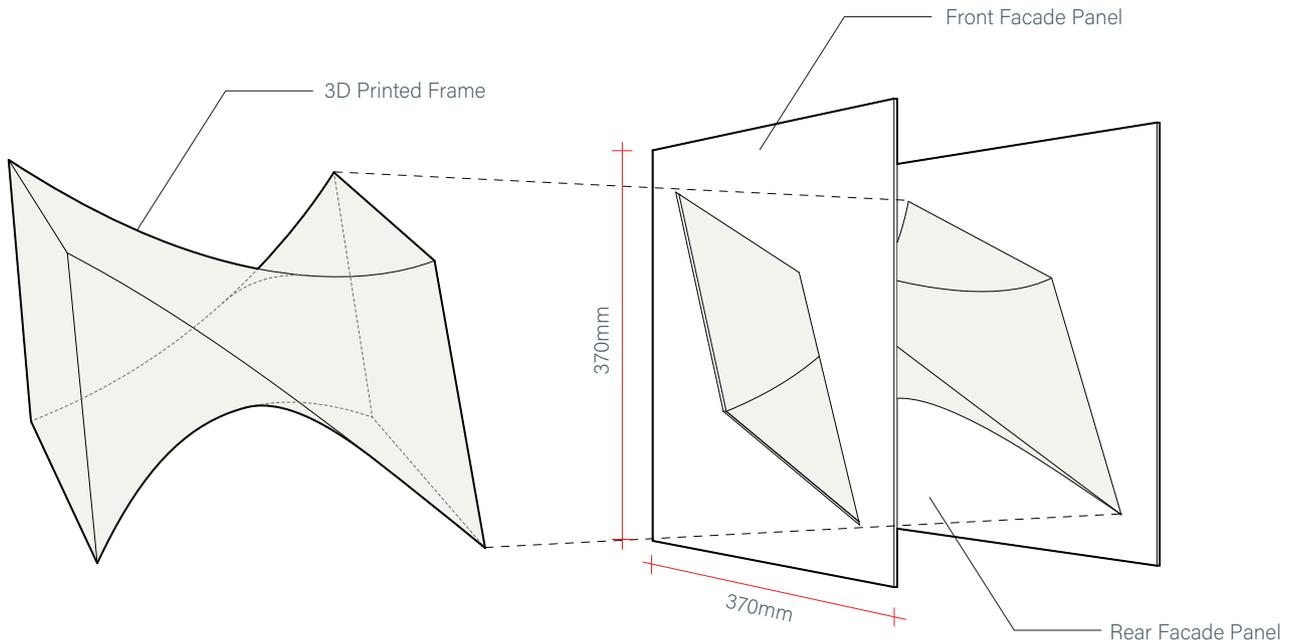


4. Twisted Window Frame

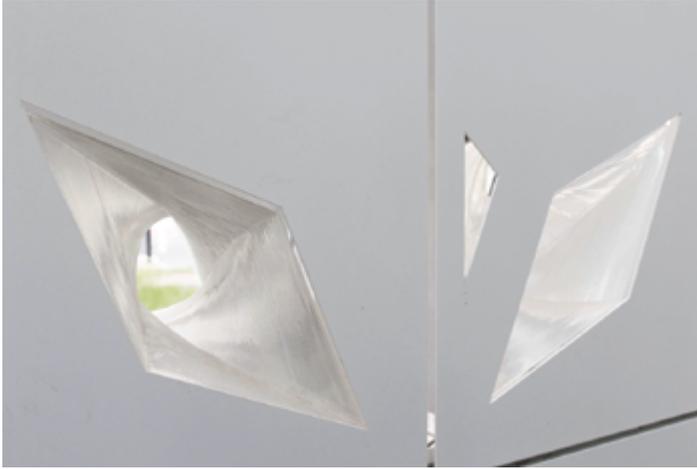
Prototype



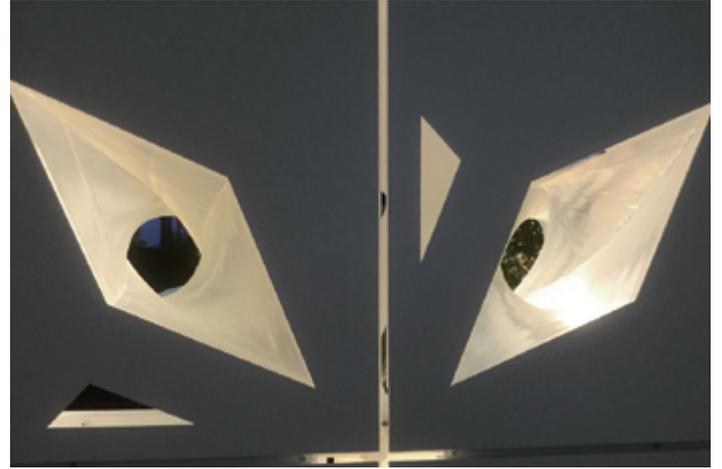
半透明の3Dプリントフレームは、二枚のパネルの開口部をねじれながら架橋するような形状を持つ。このフレームによって建物に出入りする光の濃度がコントロールされる。



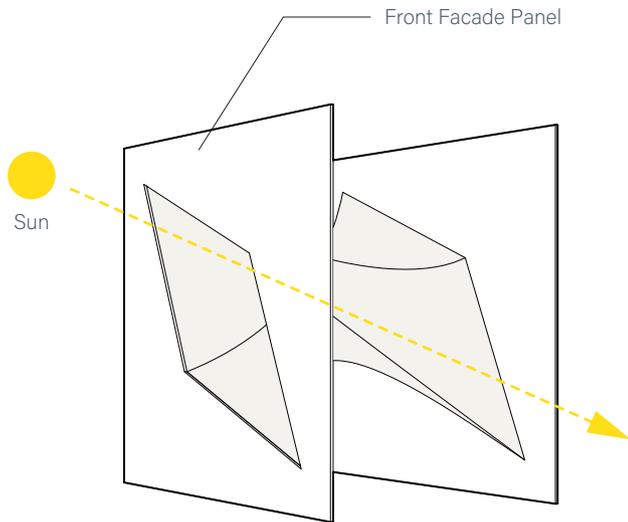
4. Twisted Window Frame *Response to Light*



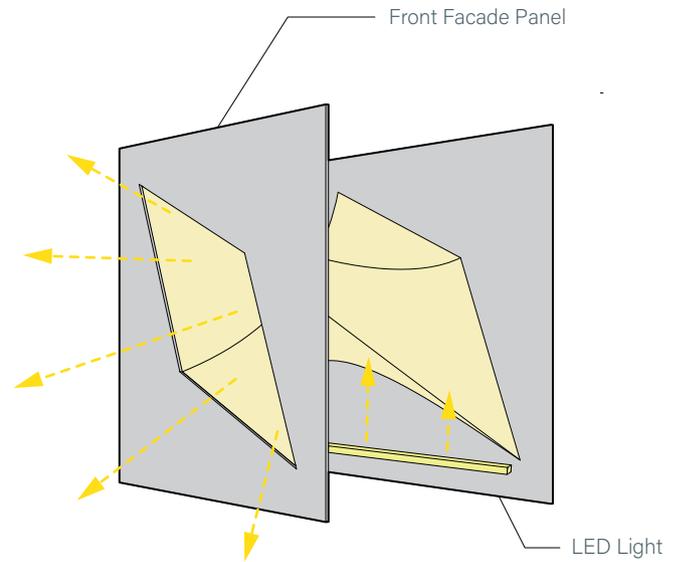
日中の様子



夜間の様子



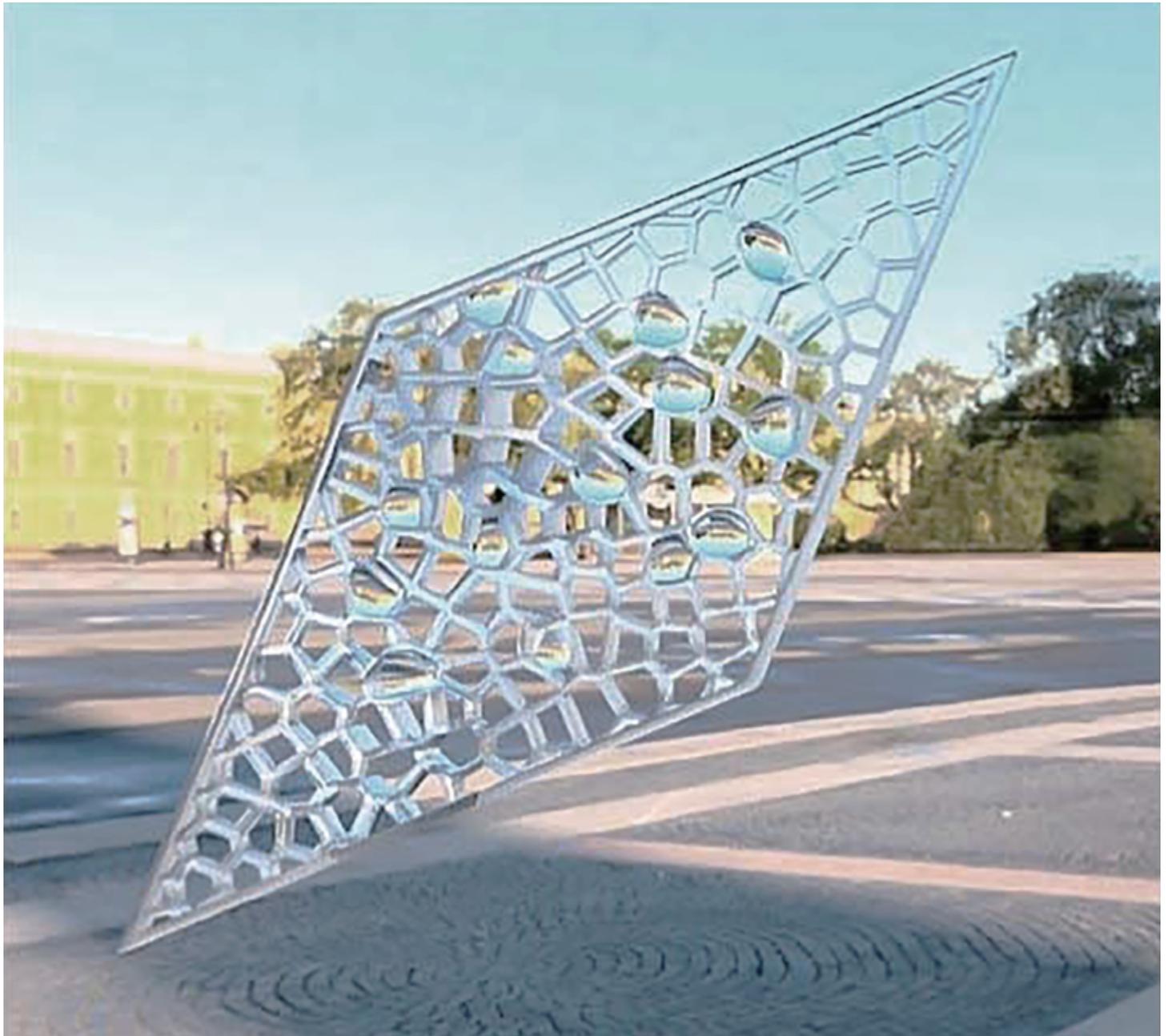
1
フレームの開口によって室内に入射する光の角度が限定される。



2
夜間になるとパネル内部に取り付けられた LED ライトによって、フレーム自体が光を放つ。

5. Shimmering Wall

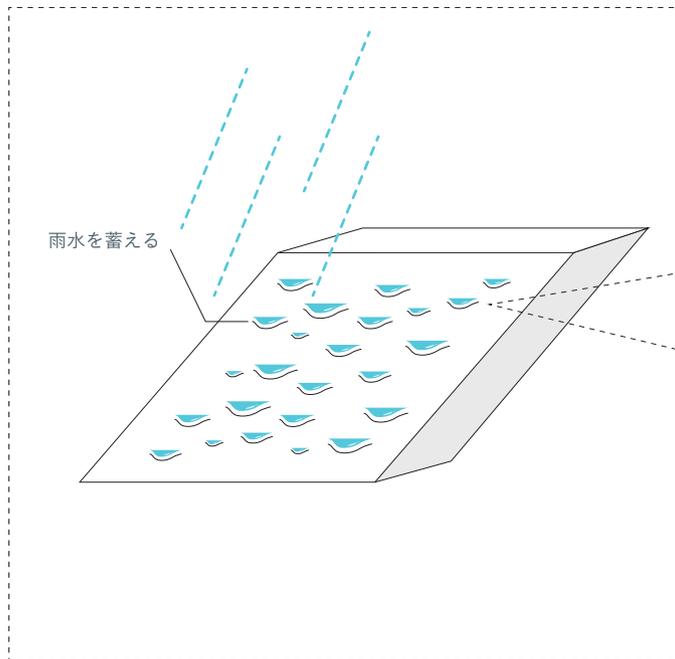
表面張力を用いて、雨水と光による視覚効果をもたらすファサード



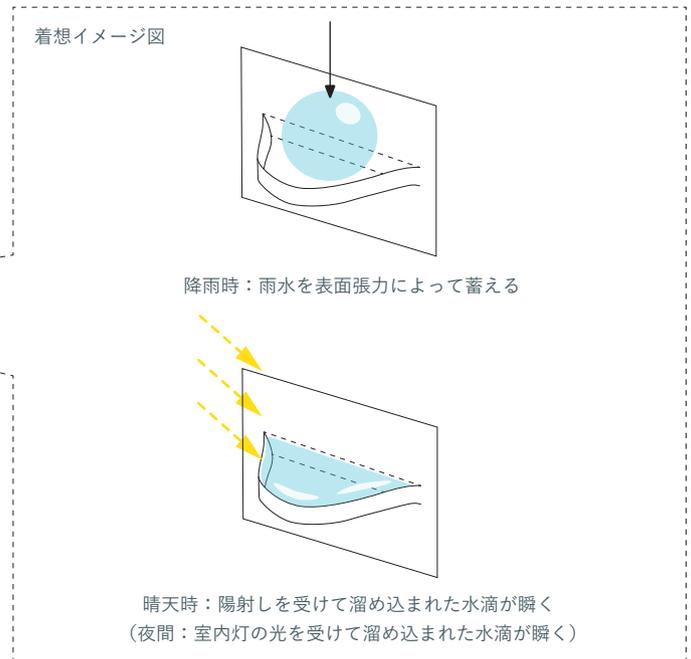
5. Shimmering Wall Concept

雨の日、通常は壁を伝って流れ落ちてしまう水滴を、表面張力を用いることで、ランダムな網目構造を持つ三層の壁の中に蓄える。それによって、日中晴れた際には陽の光を受け、夜は室内からの光を受けて蓄えられた水滴が乱反射を起こし、普段目にするのできない光景を生み出す。

また、三層の壁の網目は、部屋の内部に近くなるほど目が細かくなっており、室内を完全に遮蔽しなくても、雨水が部屋の中に浸水することなく、雨の日の空気を楽しむことができる。



初期スケッチ案

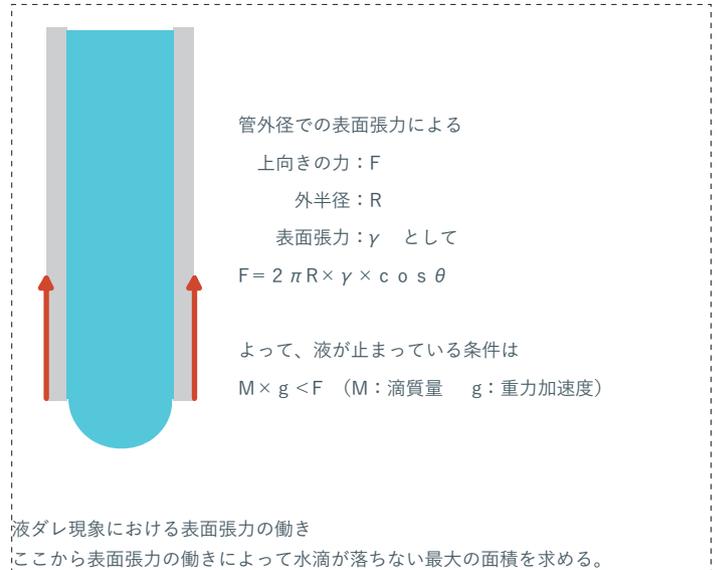


5. Shimmering Wall Research

Shimmering Wall では、雨が降った際に雨水を表面張力を用いて吸着し、雨が上がった際の陽射しや日没後の室内灯の光を受けて溜め込まれた水滴が乱反射する構造を考えた。そのためにはじめにどの程度の面積の隙間であれば表面張力によって水滴の落下を防ぐことができるかを調べた。

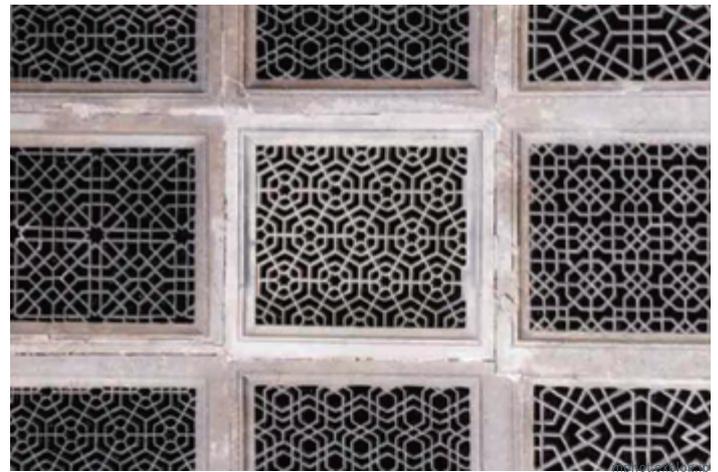
ここで参考にしたのが「液ダレ現象」というもので、細長いガラス管のなかに液体を注入した際、重力に従いガラス管の下部に水滴が生まれる現象のことである。この際、管の直径が何ミリ以下であれば水滴が落ちないかを計算した。

右図のように表面張力による上向きの力を F とし、外半径を R 、表面張力を γ とすると、 $F = 2\pi R \times \gamma \times \cos \theta$ と表すことができる。この時水滴が落ちないための条件は、 M を水滴の質量、 g を重力加速度とした時、 $Mg < F$ である。ここから実際に水の表面張力を当てはめ計算すると、 R は 0.3mm 未満であることが条件として明らかとなった。



和文様

表面のデザインパターンを考える際に参考にした。立涌文様や分銅繫ぎなどに注目し、テストピースに活かした。



インドの幾何学アラベスク

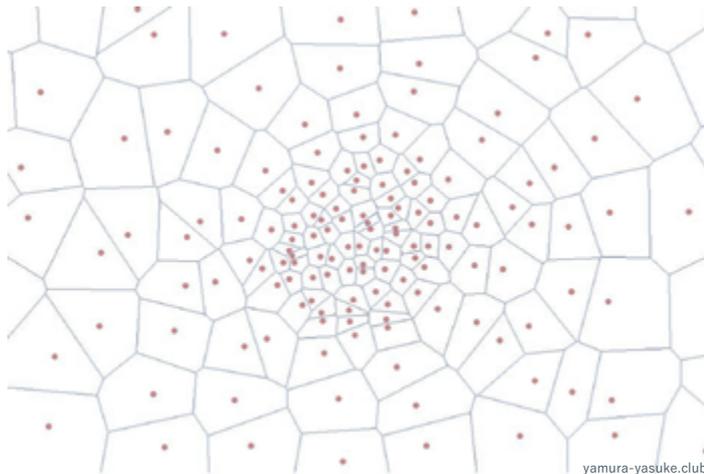
これらの他にも、古代エジプトのデザインパターンなどをリサーチし、テストピースのモデリングの参考にした。

5. Shimmering Wall Research

次に、「水を蓄える」という機能に関して自然界に注目をした。自然界の中でも、特に主に水分と日光で成長する植物は、常に水を蓄える必要があり、そのための様々な機能を持ち合わせている。

例えば植物の葉部分は雨や朝露で得た水分を全体に行き渡らせるための構造を持っているし、根の構造は効率よく地中の水分を取り込むことができるよう、網目状に細い根を伸ばしたり、水分の吸着をよくするために細く縮れた構造を持っていたりする。

こういった構造を参考にできると考え、特に根の構造について調べた。根の構造には大きく分けて二つ種類があり、主根・側根型とひげ根型である。これらの2種類に関して、保水性の違いがあるかどうか調べたが、特にそういった記述は見られず、根の形の種類はその植物の大きさや特性に合うように分かっているということがわかった。



yamura-yasuke.club

ポロノイ分割

存在する点同を結んだ分線の垂直二等分線を結んだ図形のことを差し、数理モデルとして国境の分割や、生物同士のナワバリ分割の際に使われる。



アンコールワットに生えるスアポンの木
スアポンという木は建物を侵食するように網目が特徴的な根を這わせている。

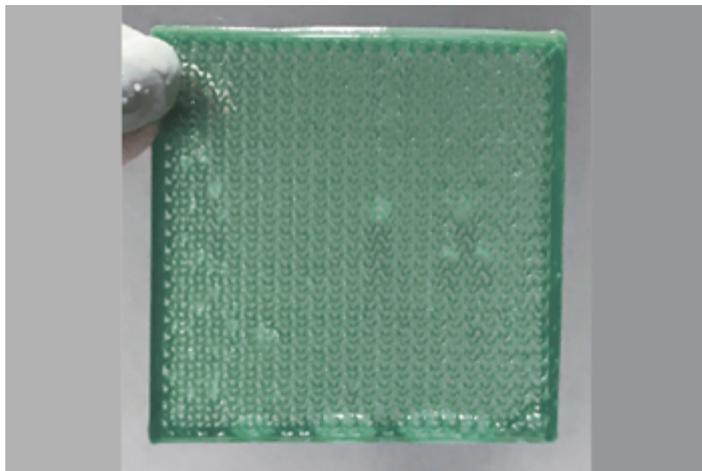


yomoku.net

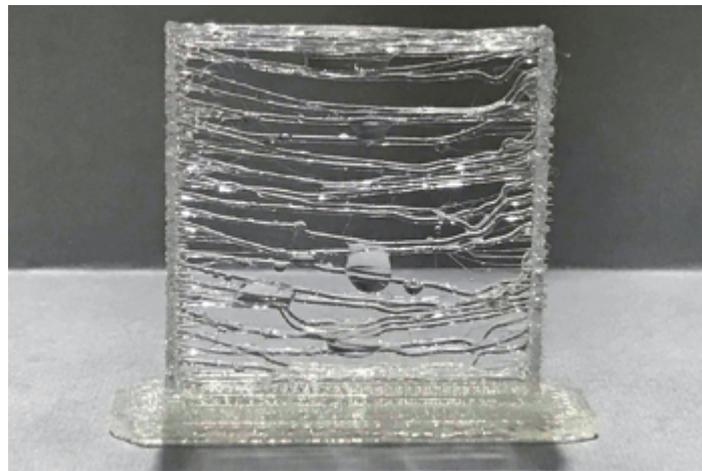
ポロノイ図

ポロノイ図とは、自然界に多く存在する構造の一つで、トンボの翅や亀の甲羅などに見られる。

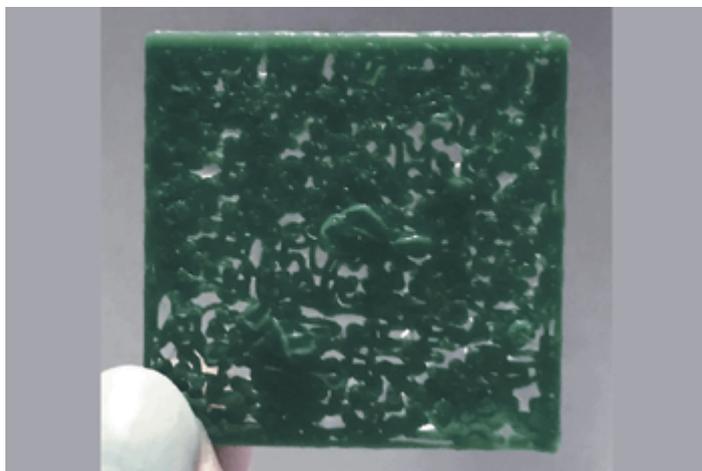
5. Shimmering Wall Prototype



網目構造のテストピース



横糸構造のテストピース



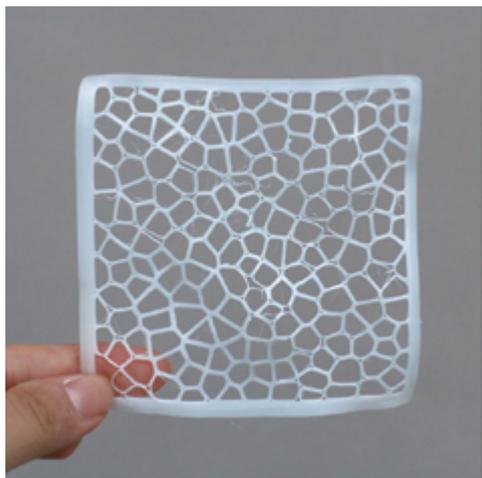
木の根構造のテストピース



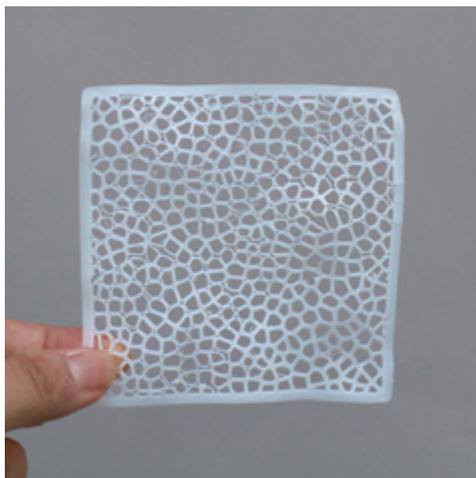
立涌文様のテストピース

テストピースとしてはじめに作ったのが、リサーチ #01 で得られた直径 0.3mm 以下の隙間構造を持ったピースで、リサーチ #02 より得られたデザインパターンを参考にいくつかの種類で作成した。これらのピースに降雨を想定して水滴を上から垂らし、どの程度の水滴が溜め込まれるか実験を行った。ここで明らかになったのが、隙間構造が小さすぎると水滴は流れ落ちてしまい、水滴を溜め込むためには、隙間の形にはある程度のランダム性が必要となることだ。

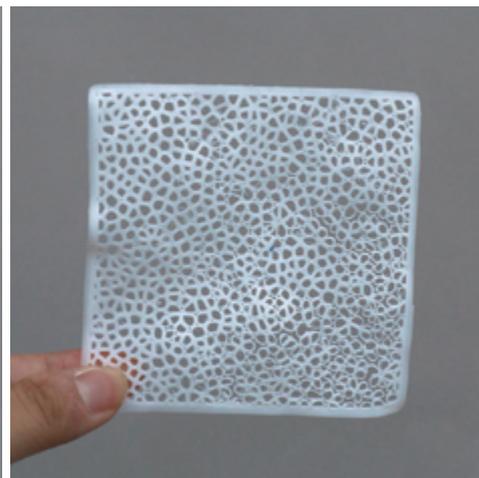
5. Shimmering Wall Prototype



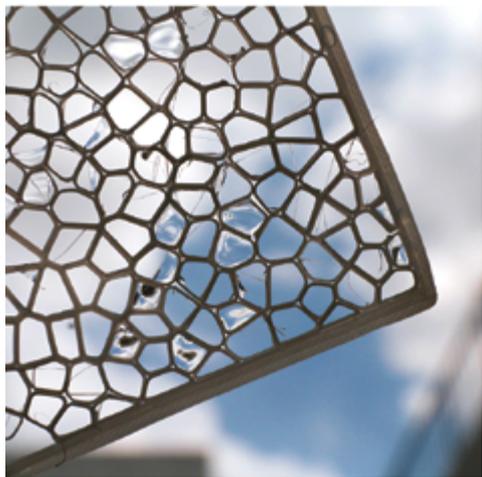
レイヤー 01 (晴天時)
目の細かさ：粗い (4mm×4mm~)



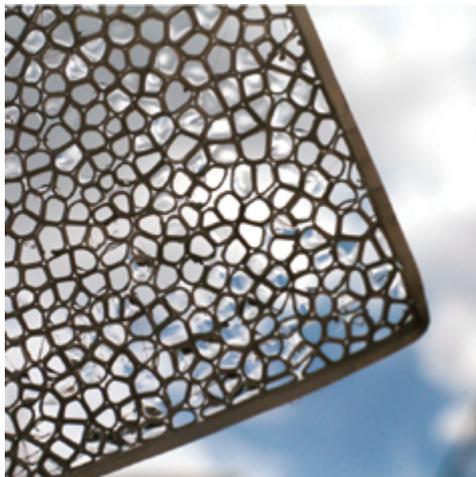
レイヤー 02 (晴天時)
目の細かさ：細かい (3mm×3mm~)



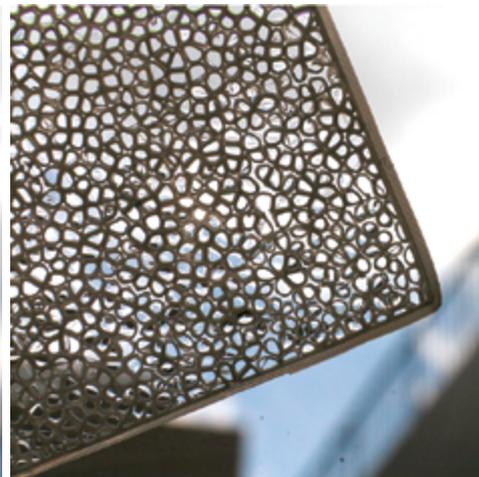
レイヤー 03 (晴天時)
目の細かさ：極細かい (2mm×2mm~)



レイヤー 01 (降雨時)



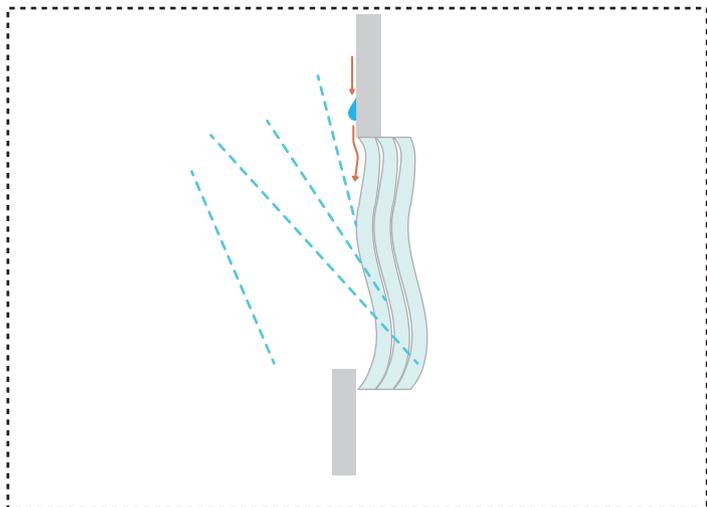
レイヤー 02 (降雨時)



レイヤー 03 (降雨時)

そこで目をつけたのが、ボロノイの構造である。ボロノイは自然界に多く存在する構造の一つで、トンボの翅や亀の甲羅の模様などに現れており、第 1 回のテストから得られたランダム性を兼ね備えていた。これを用いて新たなテストピースを 3 種類作成した。疎密の異なる 3 種類のテストピースに水垂らすと、目の細かさによって蓄えられる水滴の大きさも異なることがわかった。また、さらに水滴を蓄えやすくするため、表面にヒートガンで凹凸加工を施すことにした。

5. Shimmering Wall Design



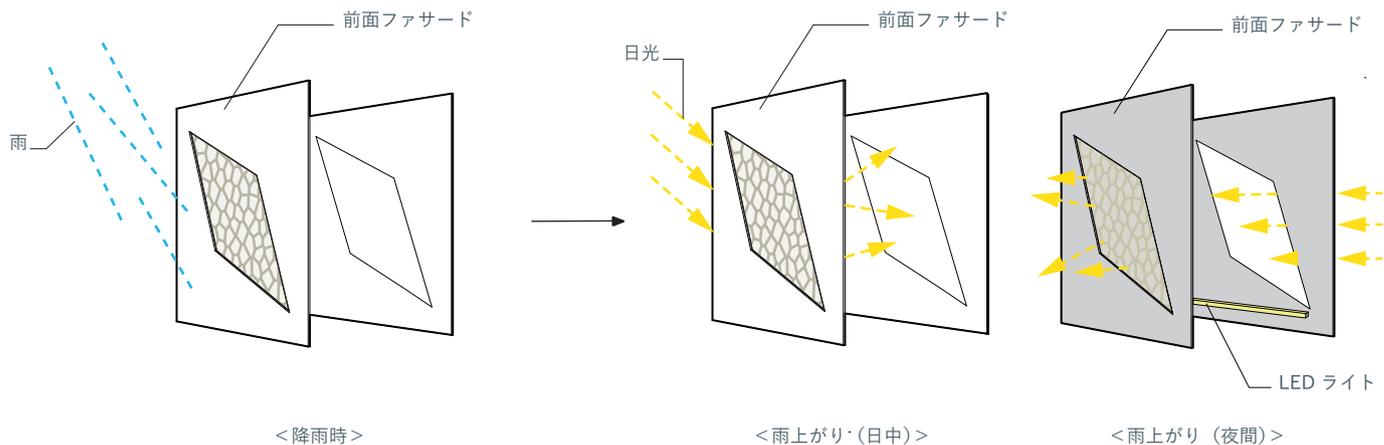
横から見た構造図

凹凸のついた 3 枚のレイヤーが重なった構造をしており、吹き込む雨や、常設の壁を伝って落ちてくる雨水を溜め込む構造となっている。



ヒートガンで凹凸をつける様子

ポロノイの構造を用いたテストピースの表面に凹凸をつけ、水をため込みやすくする。

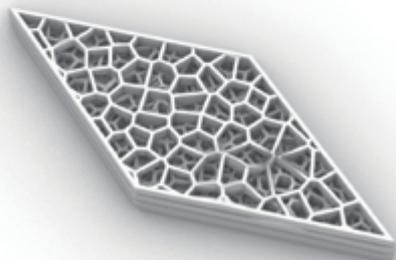


テストピースとして作成した疎密の異なる 3 種類のレイヤーを重ねて使用することを考えた。重ねることにより、降雨時異なる大きさの水滴が立体的に蓄えられ、光が差し込んだ際に、より複雑な乱反射を起こすと考えた。しかし懸念点として、3 層構造にした場合、雨が 3 層目まで行き渡るかどうかという点が挙げられる。ここについては検討が必要で、上手に雨水を 3 層に分けて行き渡らせることのできるセクションを考案する必要がある。

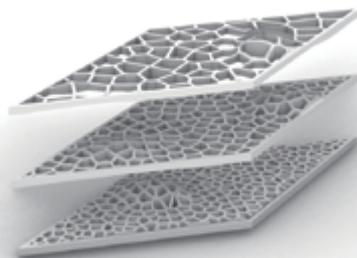
5. Shimmering Wall Design



設置した際のイメージ



3層のレイヤーを重ね合わせたモデル

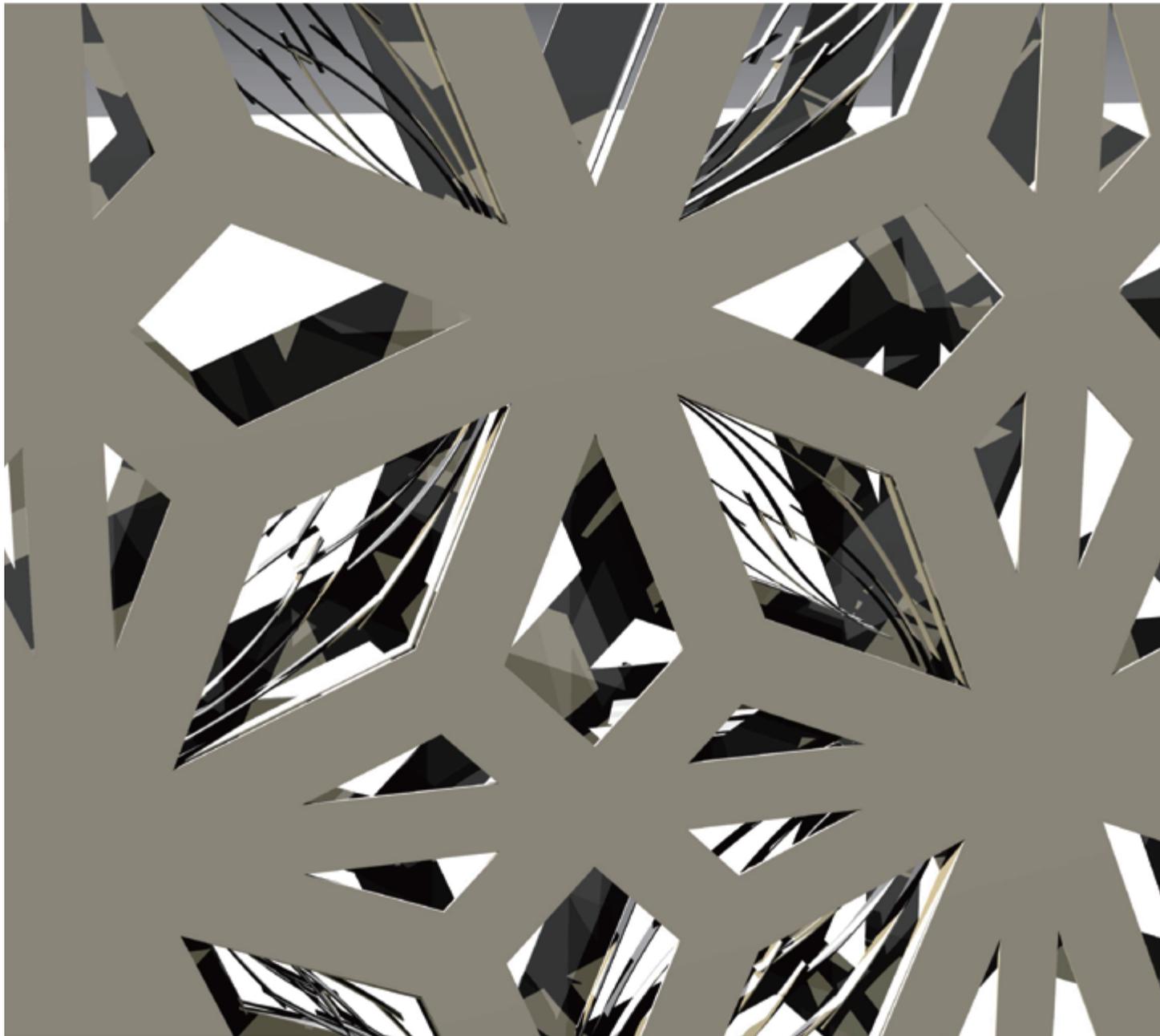


3層のレイヤーを分解したモデル

上図が実際に EQ House の壁に取り付けた際のイメージとなる。フィラメントは光をよく透過する素材を想定している。下図は Shimmering Wall のモデルデータを異なる視点から捉えたものである。ポロノイ構造を持った3層のレイヤーの表面には凹凸があり、水滴を蓄えやすくなっている。また、これらを3層重ね合わせて使うことで、雨が降った際に異なる大きさの水滴が立体的に重なり合い、雨上がりの日差しや夜間の室内灯の光を受け、複雑な乱反射を起こす狙いがある。

6. Warped Wall

吸水特性の異なる樹脂の複合利用による、湿度に呼応して隙を閉じる窓枠



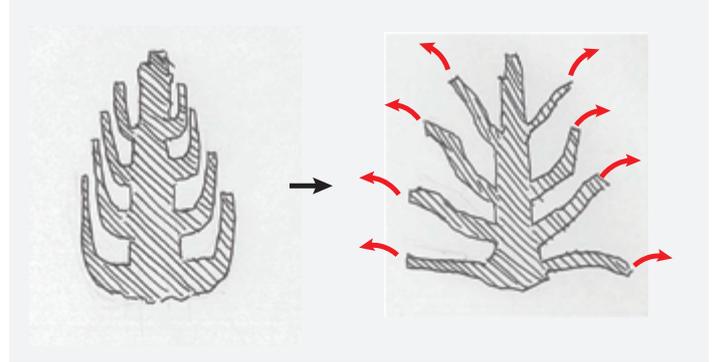
6. Warped Wall Concept

“湿度や雨に応じて変形し、外部環境の取り込み方を変える壁”

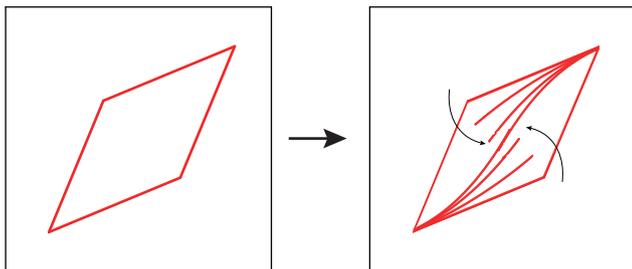
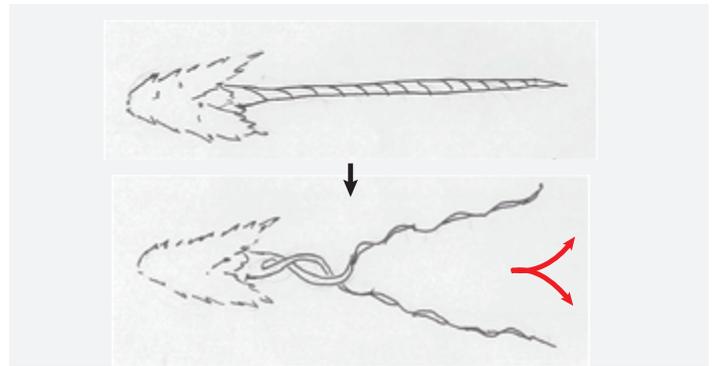
外部環境によって変形する自然素材の多様性を参照しながら、それをデジタルファブリケーションによって発展させることを目指す。植物が組織の吸湿性の差による変形を様々な動きへと変換する様子を参照した。



松かさの鱗片は乾燥によって開き、内部の種子を散布する。これは湿度が低く種子が遠くまで運ばれやすい気候を選択するための構造である。鱗片の表と裏の吸湿膨張の差によって可動する。



カラスムギの種子は長くねじれた尾を持つ。湿度が高まるとこれがほどけ、回転しながら地中に潜る。発育に適した気候を選択するための構造である。

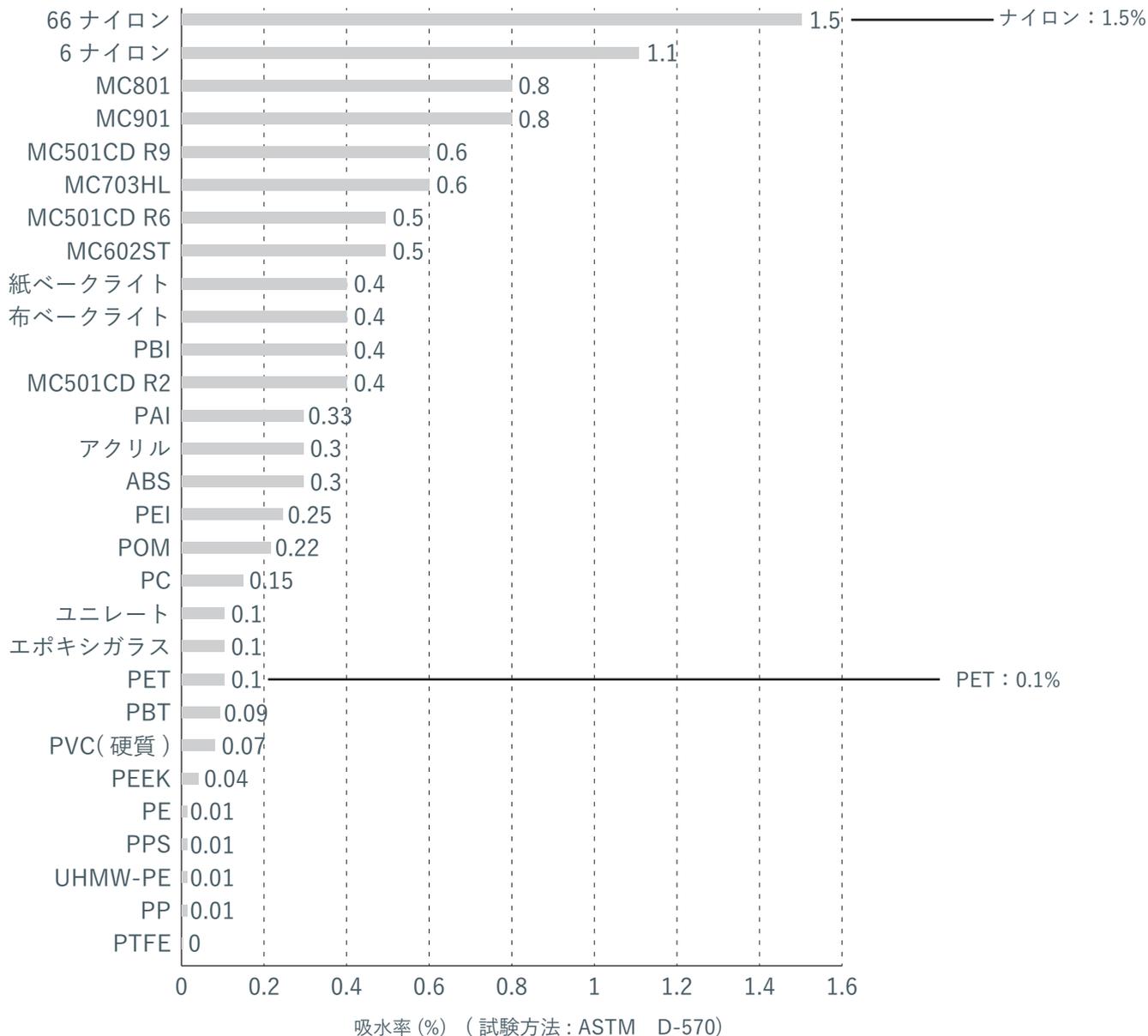


吸湿率の異なる樹脂を組み合わせることで、植物の吸湿変形と同様の機構を再現することを目指す。これによって多様な動きを持った壁面を実現する。

6. Warped Wall Research

樹脂ごとの吸水率の違いを以下に示す。

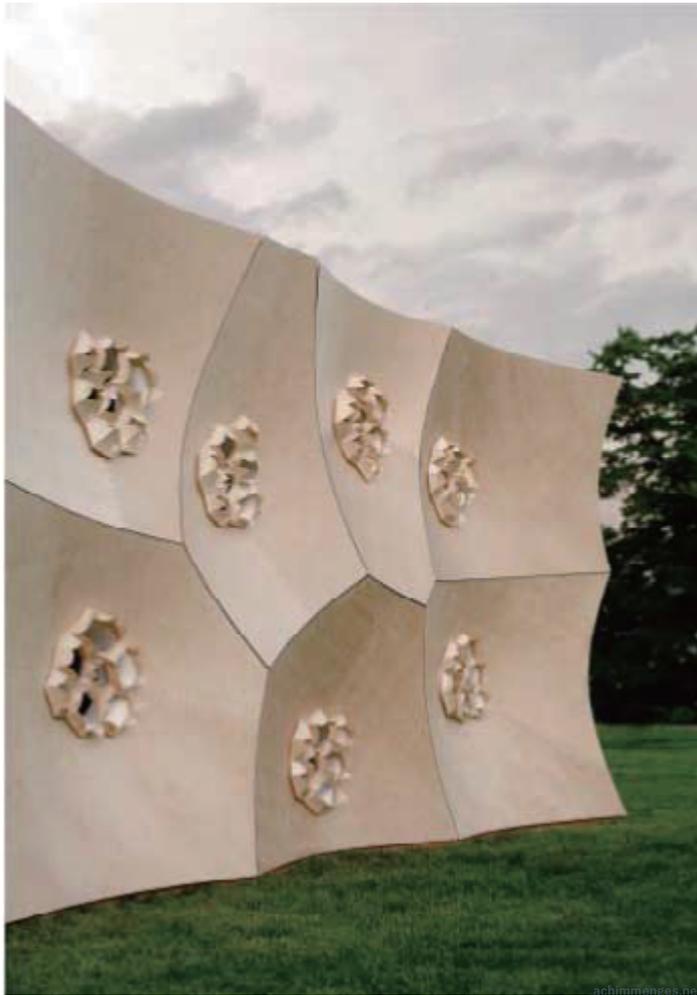
極めて親水性のナイロン系樹脂に対して PET の吸水率は 1/10 以下であり、特に疎水性の PP や PE では 1/100 以下となっている。



6. Warped Wall Research

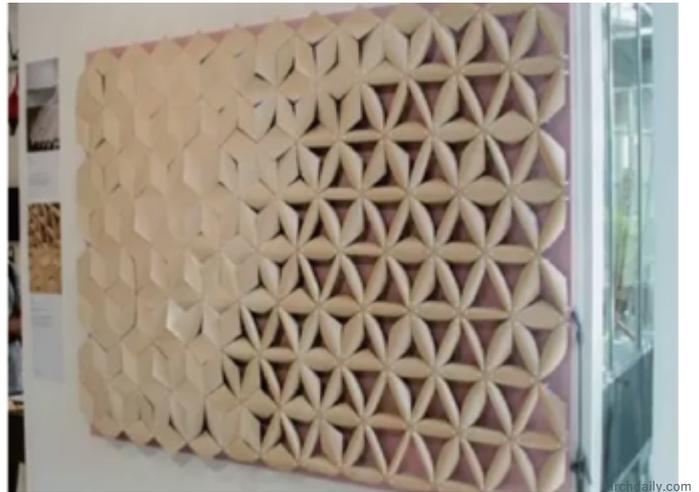
植物の動きを参照したプロダクトは多くの先例が挙げられる。

しかしそのいずれも、自然素材をそのまま活用することで実現されている。また機能としては高湿度下で開口するといった単純なものに留まり、先述した植物のような多様な動きは実現されていない。



“HygroSkin – Meteorosensitive Pavilion”

樹皮による窓が自動で開閉するパビリオン。樹皮の細胞配置を精査し、変形の大きさや方向といった素材特性を確認した上で表面に ABS 樹脂を塗布している。吸湿変形の程度を制御し、自然素材をプロダクトとして利用可能なものへと昇華させている。



RCA, “Water Reacting Architectural Surface”

樹皮を用いた壁と窓の中間的な建築エレメントの提案。幾何学的なパターンを用いることで壁全面が開口するようなデザインを実現している。



MIT MediaLab, “BioLogic”

同様の吸湿変形を行う納豆菌を用いて運動時に自動的にベンチレーションを行う衣服を提案している。

6. Warped Wall Design

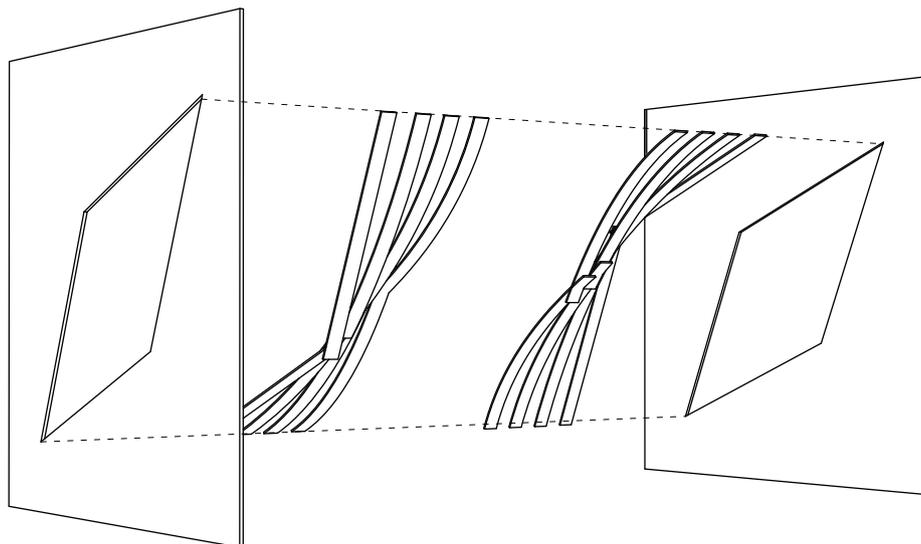
具体的な壁面デザイン提案について。

今回は Research で見た高湿度下で開口するデザインとは逆に、雨天時などの高湿度下で壁の開口部を閉じるしくみを考える。これによって実際の住宅における要請に応えつつ、吸湿変形素材の新たな用途を示すことを目的とする。



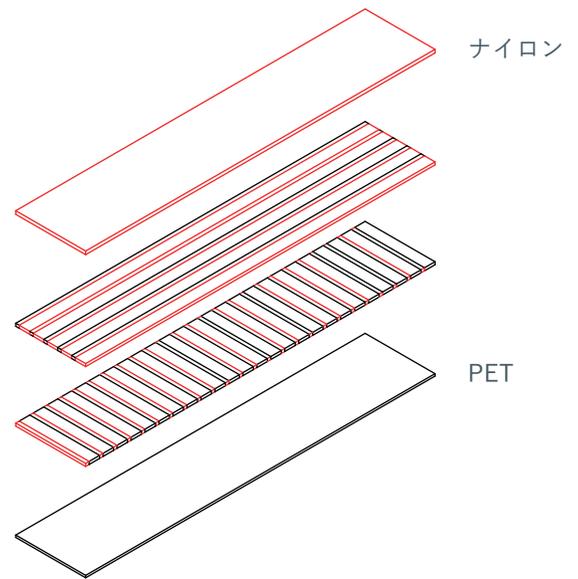
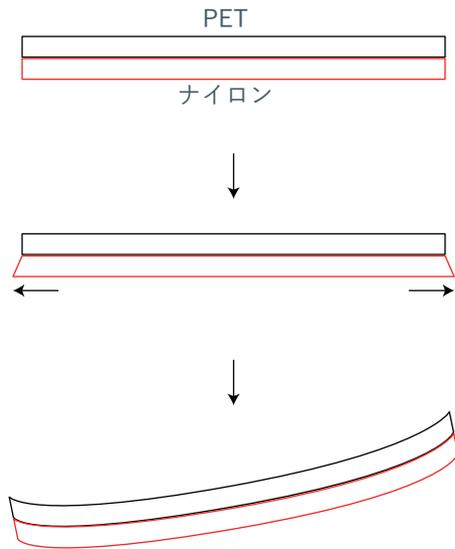
カメラのしぼりや人間のまぶたのような微細な動きをモチーフとして形状デザインを行う。

楕円形の吸湿変形素材の骨格をつくり間に皮膜を張ることで、羽のようなユニットを構成する。平面状のユニットは高湿度下で開き、外部環境を遮断する。



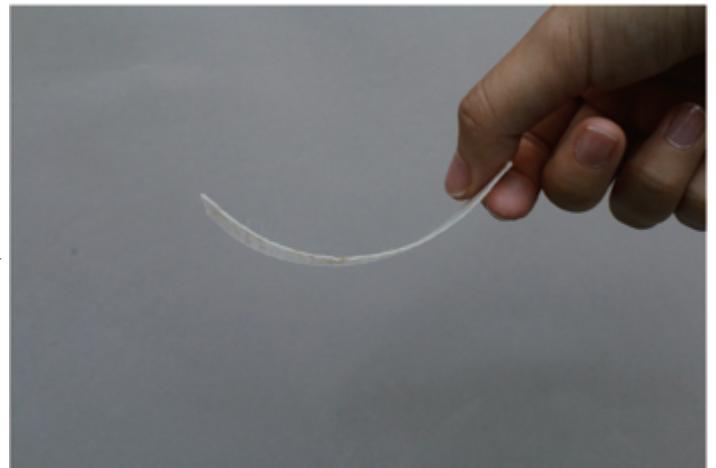
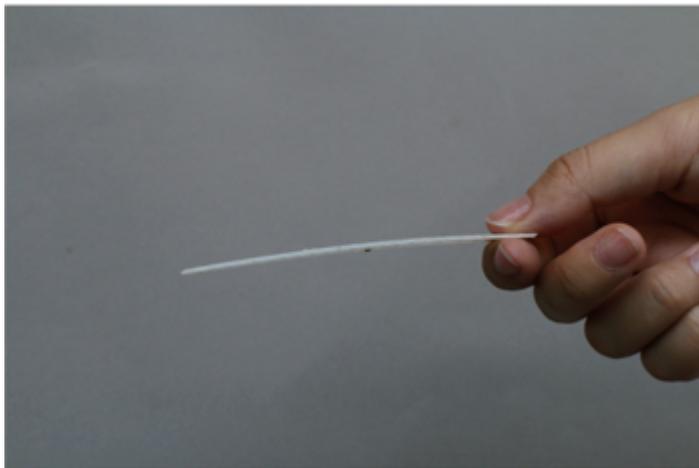
壁面の構成。ユニットをダブルスキンの間に複数配置することによって外部環境を遮断する。

6. Warped Wall Prototype



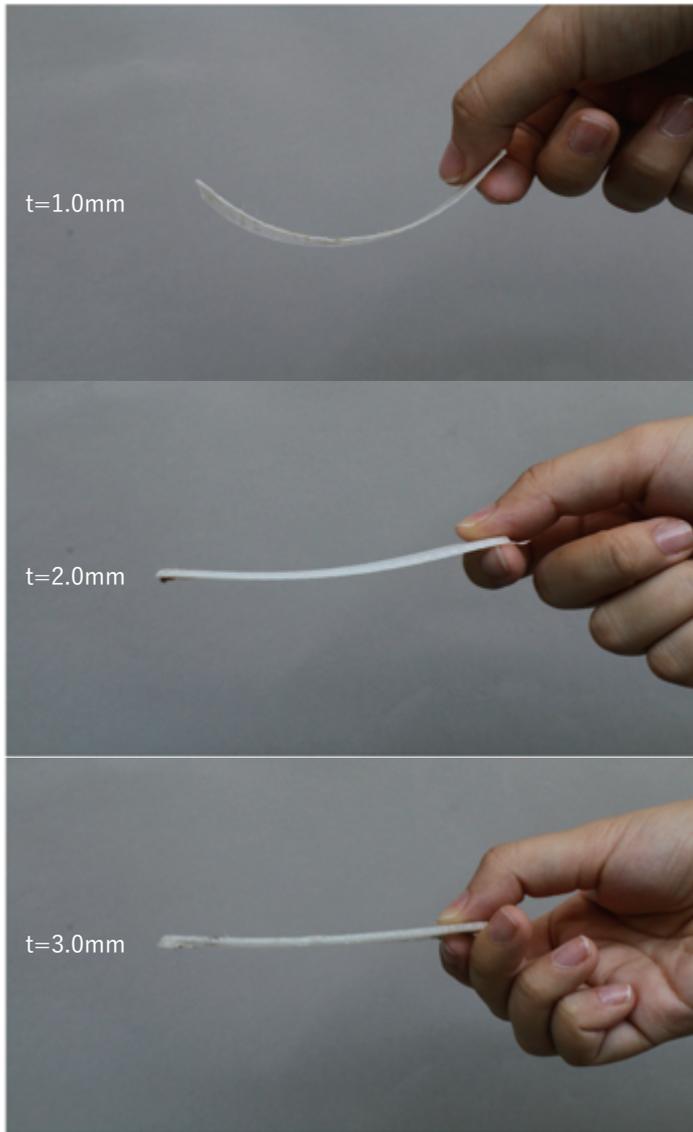
PET とナイロンを表裏にしながら 3D プリンターで出力することで、吸湿時に親水性のナイロン側のみが膨張し、反り返るように変形する構造をつくる。

異素材が変形によって剥離しないように井桁状の複層構造をモデリングした。この構造によって素材間のグラデーショナルな遷移を設計することもできる。



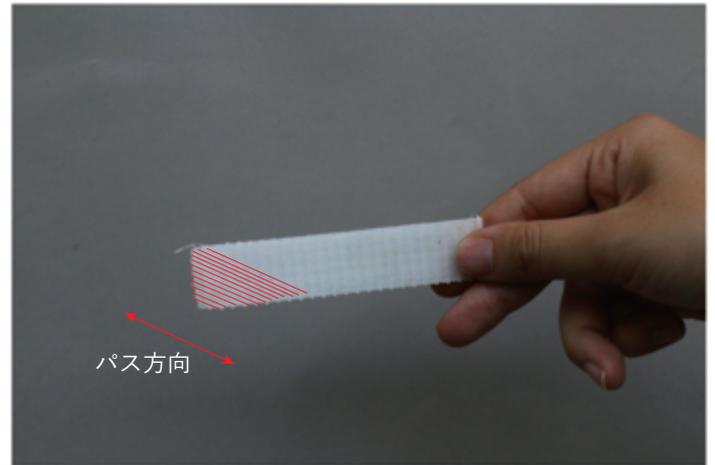
厚さ 1.0mm のサンプルによる実験。ナイロンは吸水に時間がかかる素材のため、今回は熱湯による急速吸水によって変形を促した。

6. Warped Wall Prototype



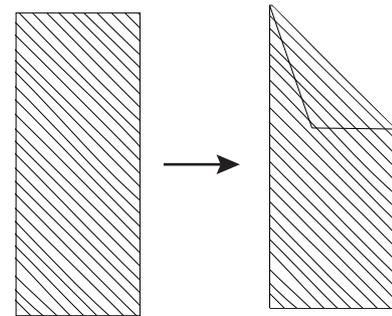
厚さの観察。

サンプルの厚みを変えながらプリントを行った。厚みが増加するに従って変形の程度が急速に小さくなり、変形にかかる時間も増大した。



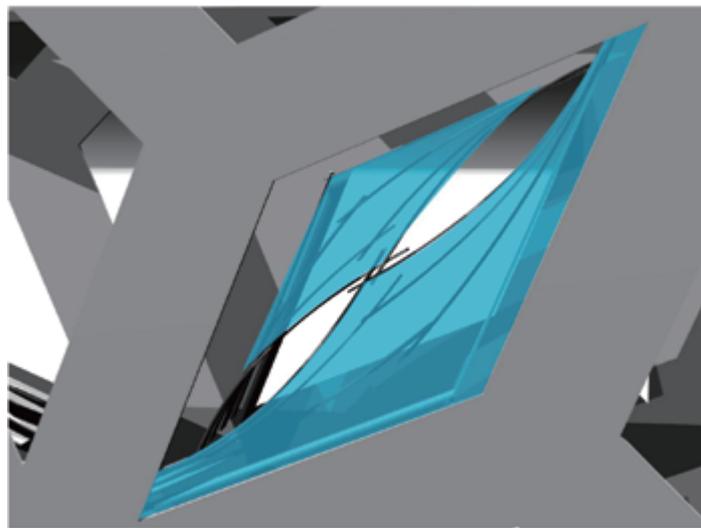
パス方向の観察。

今回のサンプルは長方形の形状に対し、斜めにパスが走っていた。

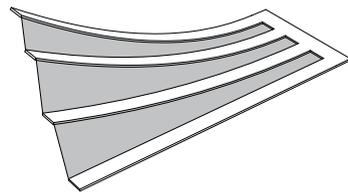
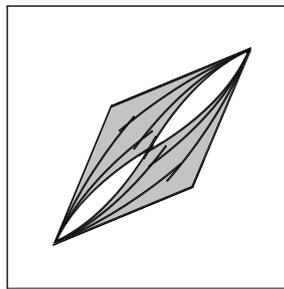
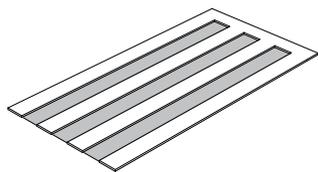
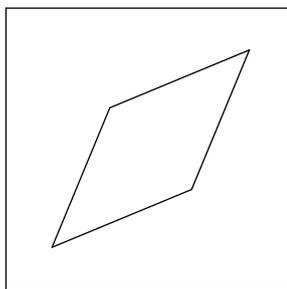


この結果、サンプルの長手方向の変形が歪んだと考えられる。ここから今後、GCODE などによってパスの方向を制御することで、変形方向を制御できる可能性が指摘できる。

6. Warped Wall Design



実際に壁面に配置された時のイメージパースを示す。

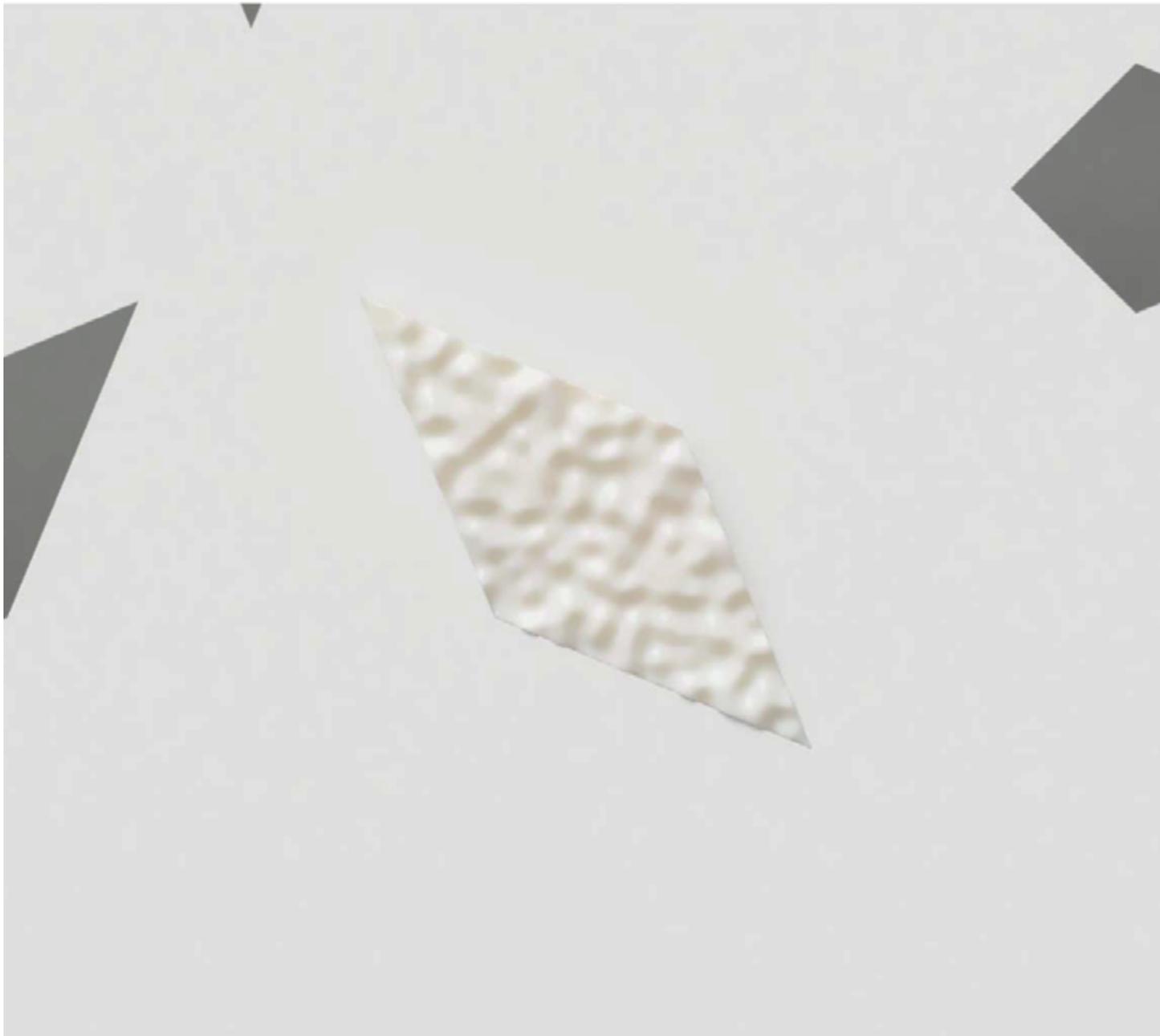


晴天時 / 低湿度下ではユニットは平面上に収まっているため、
外観上は見えず外気の出入も阻害しない。

雨天時 / 高湿度下ではユニットが反り返り、間の皮膜が広がる
ことによって雨などの外部環境を遮断する。
半透明の皮膜を用いることによって視線を阻害せず、窓として
の機能を保つ。

7. Sweating Wall

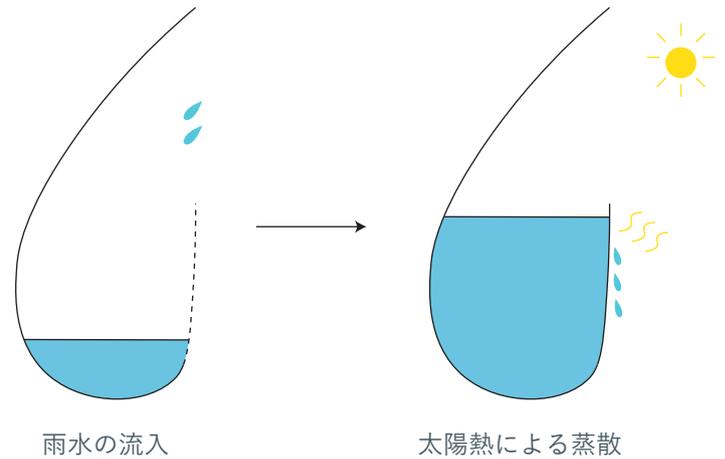
グラデーショナルな多孔質構造により雨水を継続的に排出する冷却効果を持つ壁面



7. Sweating Wall Concept

人間の表皮に無数に存在する汗腺は、的確な水分量を放出し続けることで体温の過度な上昇を防いでいる。水分が蒸発する際、気化熱により冷却が行われる現象を利用したのだが、これをファサードに適用することを考える。

冷却を目的とした発汗に用いられるエクリン腺の直径は約0.04mm、同じく水分を放出する機能を持った植物の気孔は約0.012mmである。精細な多孔構造が均一な濡れを実現しているのだとわかる。



汗腺

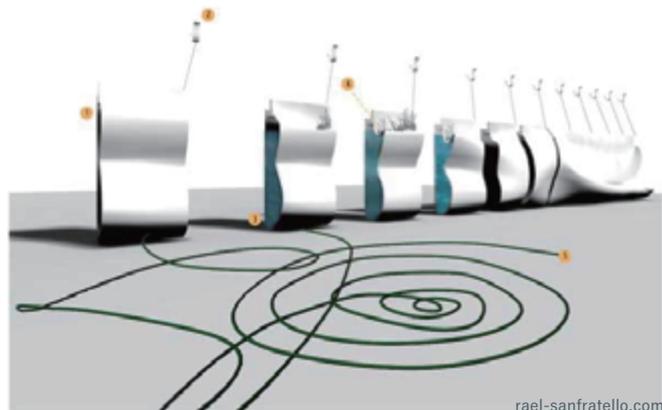
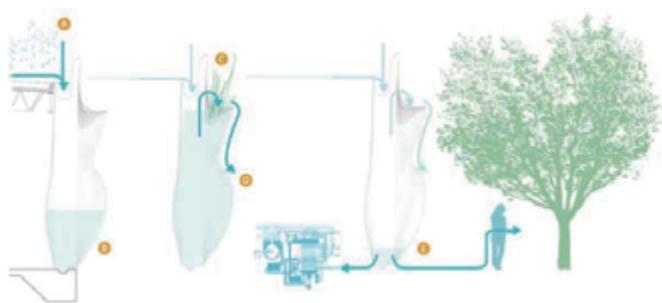


植物の気孔

7. Sweating Wall Reference

The Hydro Wall

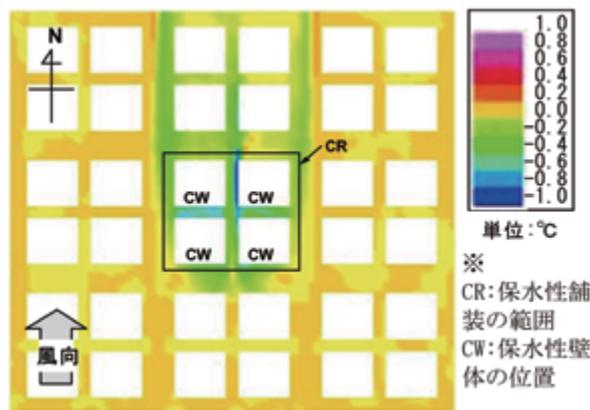
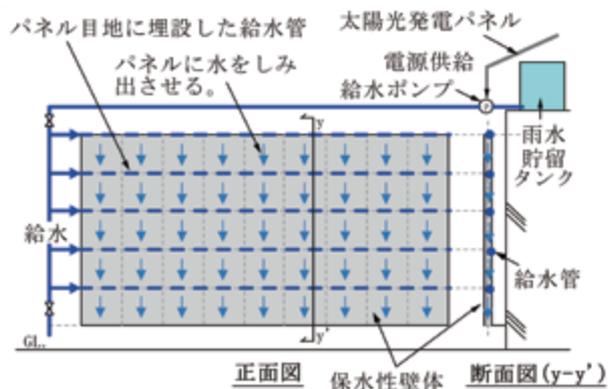
壁面内部が空洞になっており、屋根に降った雨水を貯蓄する。余剰分は植物の育成に使われ、その後壁面を伝い落ちる。貯蓄された水は蓄熱効果により建築の温度を一定に保つ役割を持つ。



The Hydro Wall

水分気化熱を利用した屋外暑熱環境緩和技術の検討

建築外壁に継続的に水を放出した際の冷却効果を検証した研究。当該範囲以外にも、風下に向かって広い範囲で約 0.5 度の気温低下が確認できる。更に、湿潤な平面からの水分蒸発量などの検証を行っている。



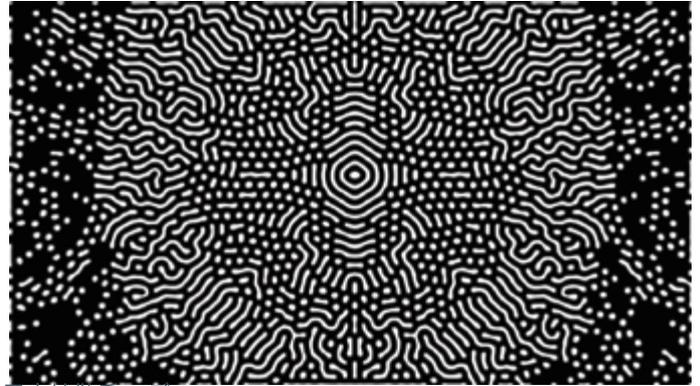
taisei.co.jp

水分気化熱を利用した屋外暑熱環境緩和技術の検討

7. Sweating Wall Concept

表面積の拡大は太陽熱の効率的な吸収や気化の促進に大きく貢献する。

熱帯魚の模様や、珊瑚の表面に多く見られるパターンに、反応拡散系というアルゴリズムを用いて再現できるものがある。反応拡散系は表面を効率的に埋め尽くす模様を生成する。これに基づいて表面を隆起させることでいかなる形状の面であっても最高効率のパネルを設計することが可能となる。



反応拡散系モデル

youtube.com

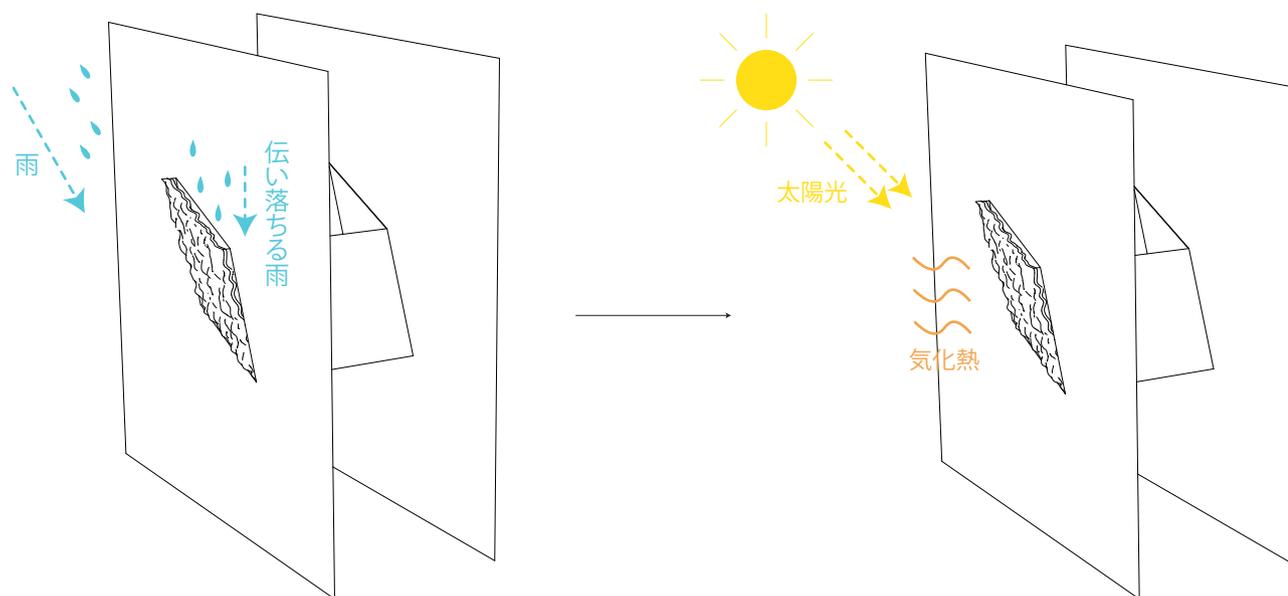


熱帯魚の模様



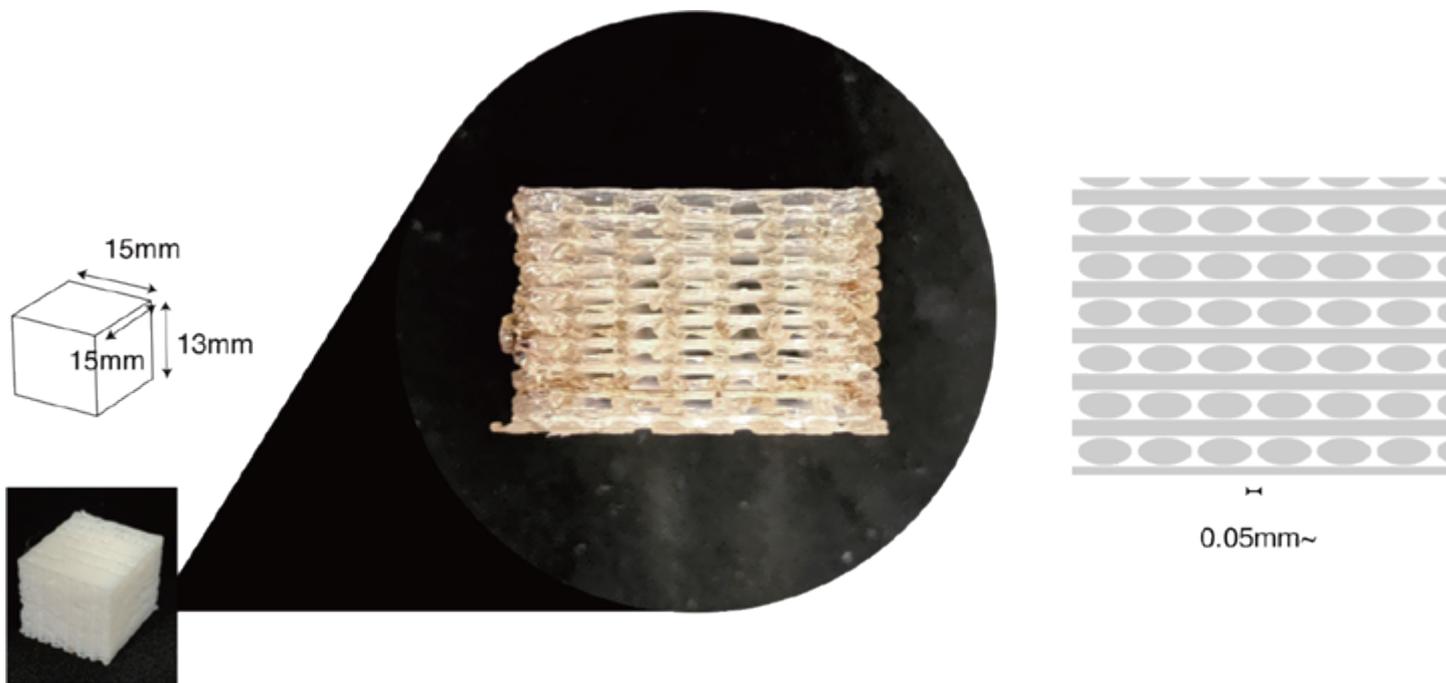
珊瑚の凹凸

7. Sweating Wall Design



パネルの上部に空いた壁面との隙間に振り込んだ雨は、一時的にパネル内のタンクに貯蓄される。雨が上がった後、水が徐々に表面へ放出され、パネルは常に濡れた状態となる。太陽光の熱を受け、水分が蒸発すると気化熱により建築表面が冷却される。

7. Sweating Wall Prototype

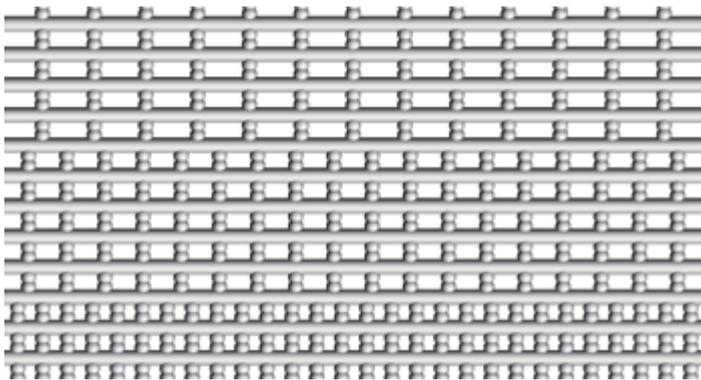
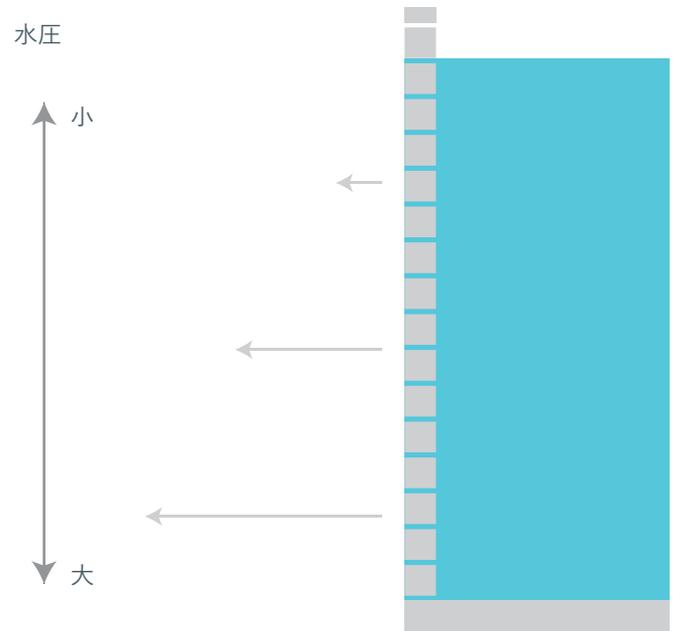


FFF方式での細孔構造の実現は特殊な設計を要する。一般的なFFF方式の3Dプリンターで用いるノズル径は0.4mmであるが、造形精度、密閉性を考慮して1mm径のノズルを使用した。ツールパスのオフセットや吐出量を制御することにより、最小0.05mm径の孔を造形することに成功した。

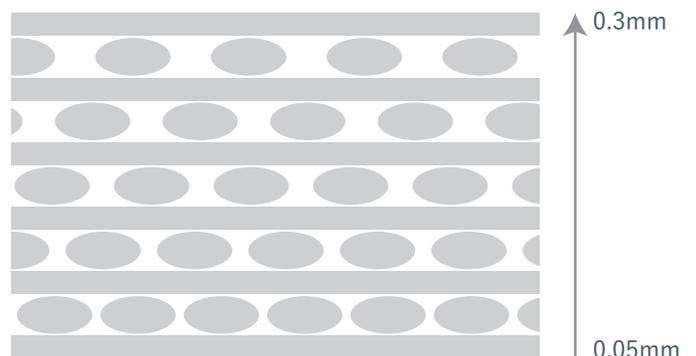
7. Sweating Wall Prototype

同一パネル内、同一径の穴であっても、水位との相対関係により掛かる水圧が大幅に変化する。上部では水圧が小さいため水の放出はされにくい、下部では水圧が大きくなりより放出されやすい。表面全体を均一に濡らすために、下部に行くほど孔径を小さくするグラデーショナルな構造を設計した。

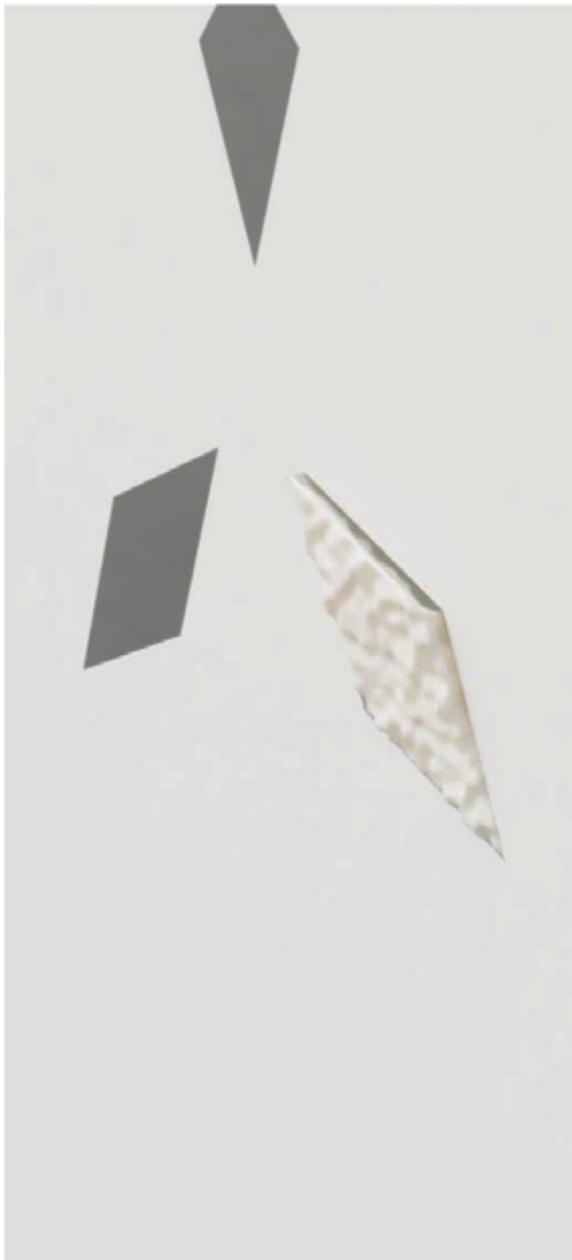
孔系の制御は水圧の差異に対応するだけでなく、部分的に排出量を変化させることでパネル自体の傾きや建築の表面形状に対応した設計を行うことができる。



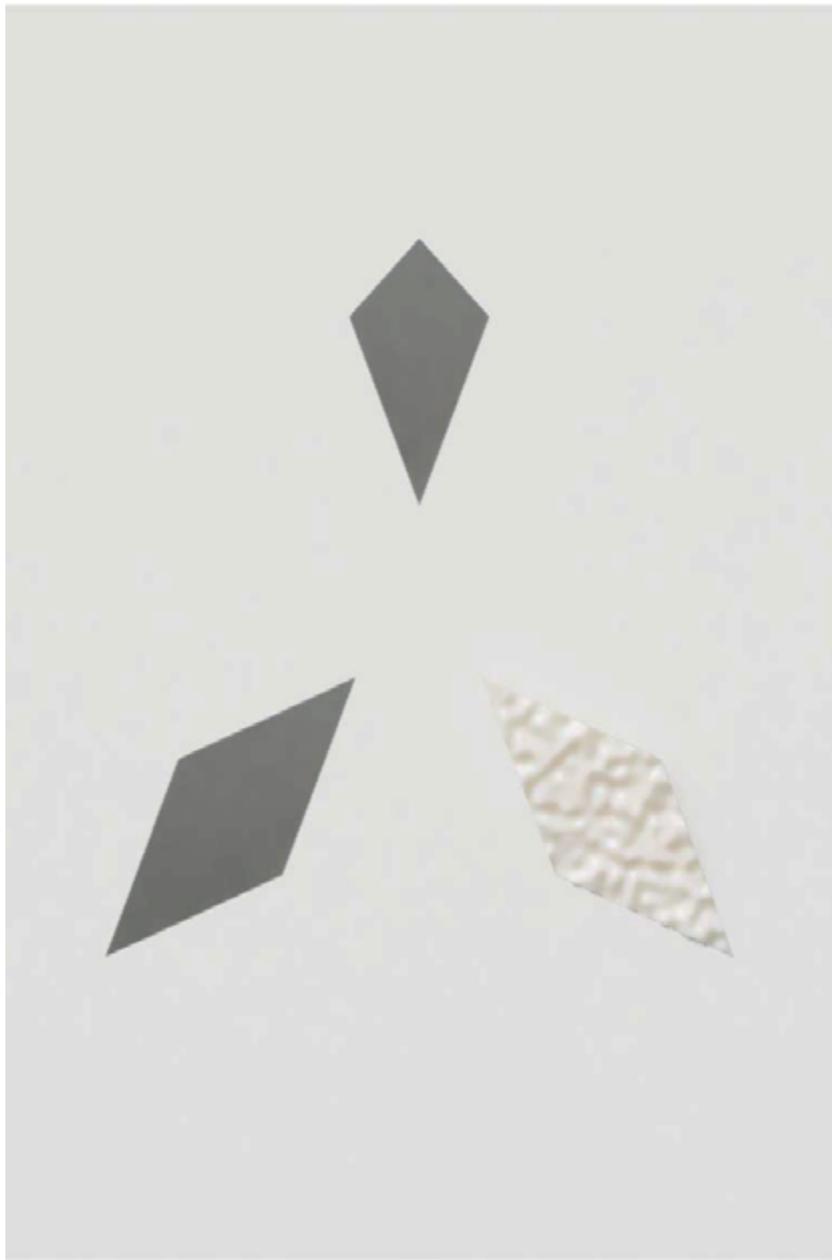
ツールパスの設計による排出量の制御



7. Sweating Wall
Design



側面



パネル全景

8. Moody Wall

pH 濃度で色が多様に変化することができるカラフルな窓枠



8. Moody Wall Concept

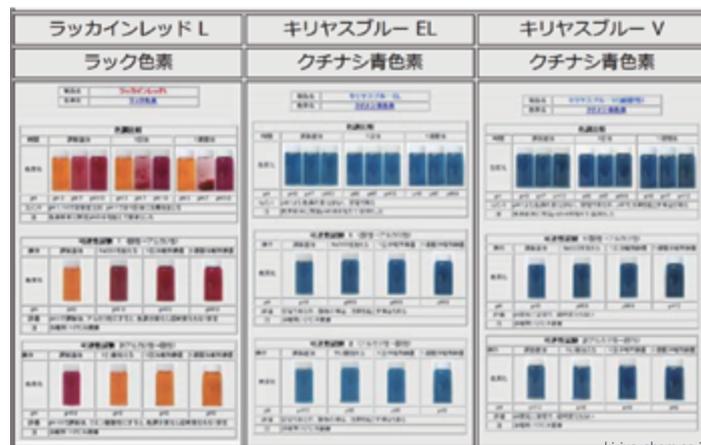
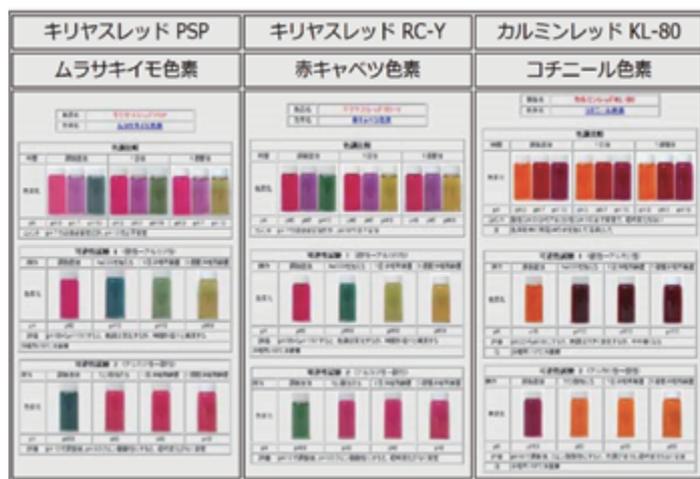
自然界に存在する植物が持つ色素は大きく分けて 4 つの種類に分類される。緑を出す色素と緑以外の色を出す植物だ。植物の緑を出す色素は、植物が生きるために必要な光合成を行う葉緑体（クロロフィル）による。緑ではない色の花や野菜、果物にはフラボノイド、カロテノイド、ベタレインといった色素が含まれているため、多様な色を出すことができる。

しかし、これら 3 種類の色素にとどまらず、もう 1 種類色鮮やかな色を生み出す色素が存在する。それが、アントシアニンだ。アントシアニンの大きな特徴として、pH濃度の変化によって色も変化するという性質がある。アントシアニンを含む植物の例として、梅雨の時期に咲き誇る紫陽花や、ムラサキキャベツ、ムラサキイモ、そして食紅としてよく知られる貝から取られたコチニールが該当する。



travel-star.jp

土壌内の pH 濃度で色が変わる紫陽花
紫陽花は土壌内の pH 濃度が変化して行くと同時にその花弁の色も変化していく。pH が酸性が強いと花弁は青色に、アルカリ性が強いと花弁はピンク色、中性であると紫色へと変化する。



kiriya-chem.co.jp

アントシアニン色素

pH濃度が変化することで色素も変化するアントシアニン色素。ムラサキイモ色素やムラサキキャベツ（赤キャベツ）色素は色の変化が大きくよく pH を測る実験によく利用され、粉末も市販化もされている。

8. Moody Wall Reference

日光で色が変化するサーモ顔料は、建築分野において環境変化による化学反応で唯一色が変化する技術である。これとは別に、太陽の力とは反し、雨の力を駆使し色が変化する技術も他分野で見られる。吸水と疎水を交互にパターン化させる加工を施すことで雨で模様が浮かび上がる傘や、水温で色が変化するTシャツ、唇の水分量で色が変化するリップなど、化学反応から色を楽しめる製品が開発されている。

さらに、水の影響のみならず、pHで色が変化する技術も存在する。科学の実験での酸性、中性、アルカリ性を測るために用いられるリトマス紙が有名である。リトマス紙は、自然界に存在する地衣類の一種であるリトマス苔が持つpHで色が変化する現象を加工したものである。



雨で模様が浮かび上がる傘

水がかかることで傘に刻まれている模様が浮かび上がる仕組みをもつ。吸水と撥水を交互にパターン化させている。模様の部分の吸水力を上げ、他の部分には撥水加工が施されている。



リトマス紙

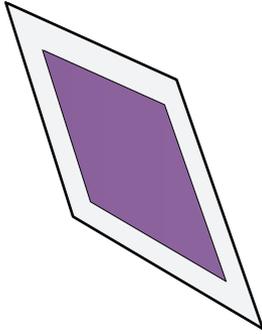
科学の実験で酸度を図るために使われるリトマス紙。紙は酸性なら青なら赤へ、アルカリ性なら赤から青へ、中性なら変化なしへと変化する。



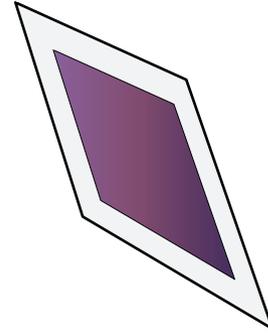
水温で色が変化するTシャツ

冷温で寒色、常温で通常、保温で暖色へと色が変化する。氷で冷やすだけでなく、ドライヤーなどで暖めても色が変化する。

8. Moody Wall Research



水やpHにさらしていない状態



雨が降り、アントシアニン色素がpHに反応している状態

雨に含まれるpH濃度の変化に伴い変色する壁には、pH濃度によって変化の大きいムラサキキャベツの粉末を利用したいと考えた。ムラサキキャベツはその名前の通り、粉末の状態だと紫色である。しかし、日本に降る雨の平均pH濃度の水が窓に触れると、ムラサキキャベツに含まれるアントシアニンが反応し、明るい紫から濃い紫のグラデーションへ変化する。

雨のみならず、青色系統であれば中性の水、緑系統であれば窓を洗う時の洗剤など、多様なpH濃度を持つものを窓にかけることで色の変化を楽しむ。更に、可逆性を持つアントシアニン色素を使用することで、何度も変化を見ることが可能である。



日本の雨の平均 pH

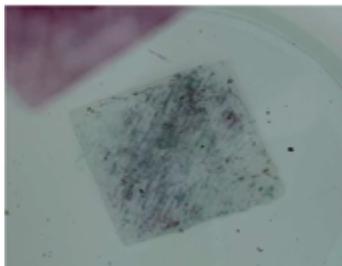
8. Moody Wall Prototype



粉末をフィラメントに染め込んだ場合

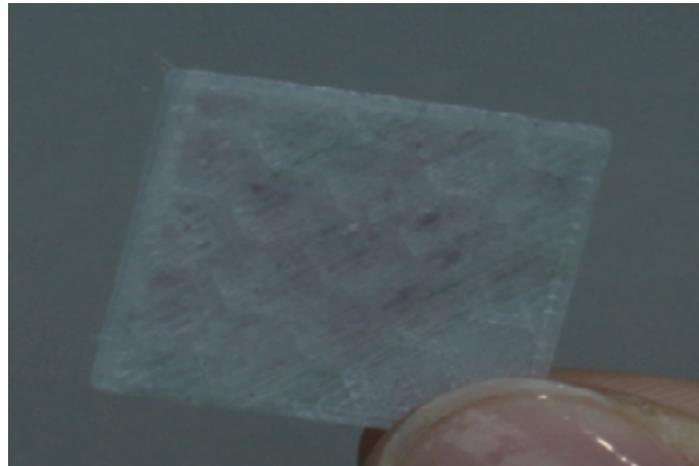


酸性溶液に入れると
酸性 (pH 1 ~ 4) と示す
ピンク色へと変化した



アルカリ性溶液に入れると
アルカリ性 (pH 9 ~ 12)
と示す緑色へと変化した

素材には吸水率の高いナイロンを使用し、フィラメントに色が染み込むまで漬けた。色の変化の大きい酸度の高い溶液とアルカリ性の溶液にフィラメントを入れた場合、本来の紫色から酸性であればピンク、アルカリ性であれば緑色へと色は大きく変化した。



粉末をフィラメント間に挟んだ場合



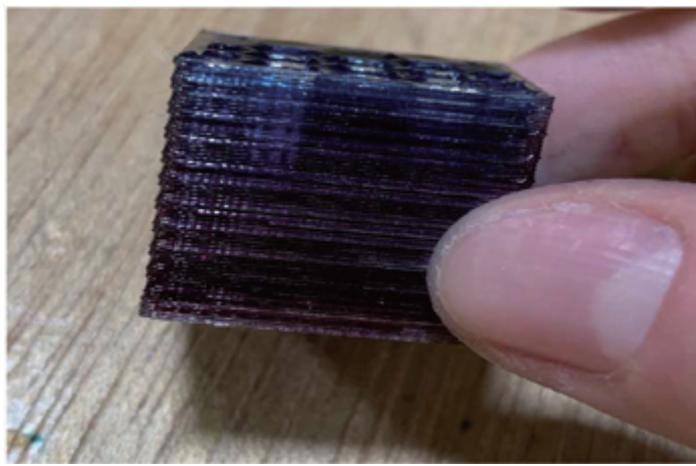
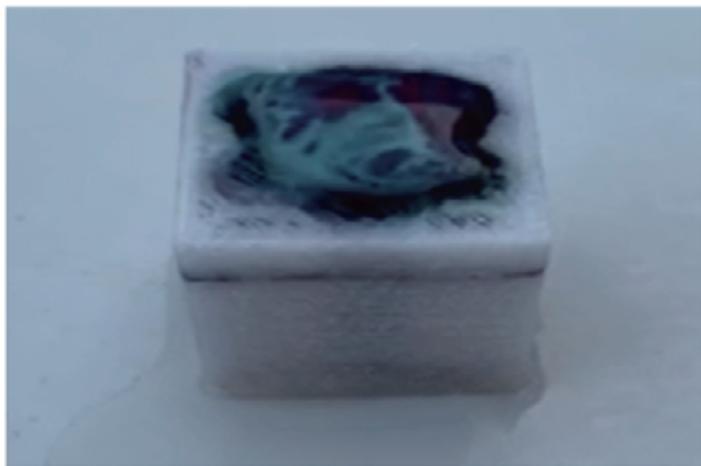
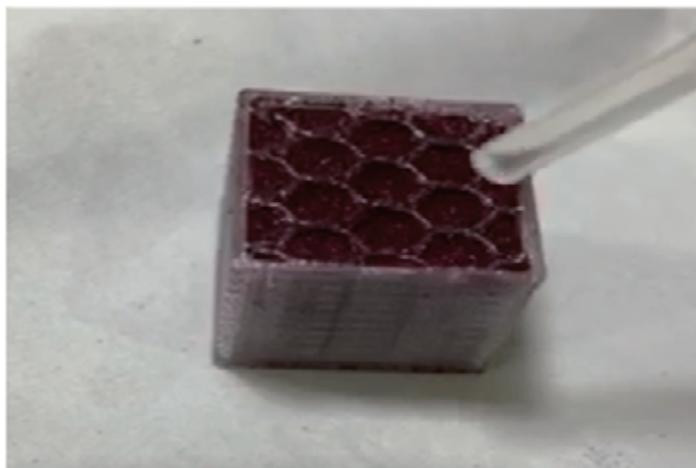
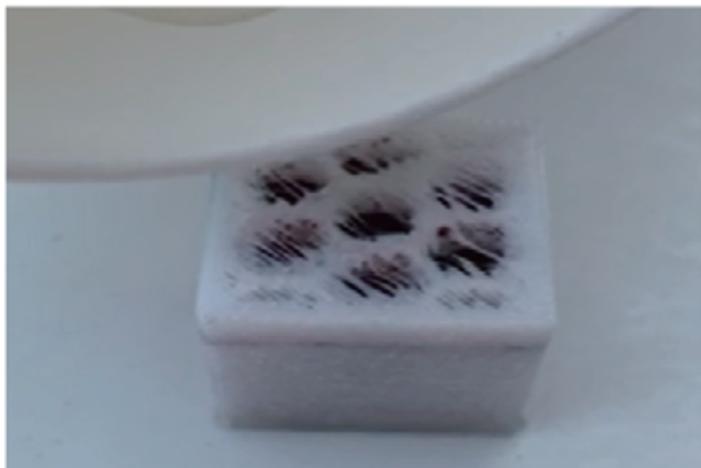
酸性溶液に入れると
大きな色の変化はなかったが、
隙間では色の変化が
少し見られた



アルカリ性溶液に入れると
大きな色の変化はなかったが、
隙間では色の変化が
少し見られた

素材には吸水率の高いナイロンを使用し、フィラメント間に粉末を挟み、表面は溶液が入りやすいよう隙間を開けた。色の変化の大きい酸度の高い溶液とアルカリ性の溶液にフィラメントを入れた場合、色は大きく変化はしなかったが、隙間が比較的に大きい端の方では微小ながら色が変化した。

8. Moody Wall Prototype



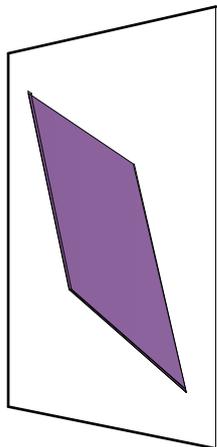
①不透明な場合

素材には吸水率の高いナイロンを使用した。色が染み込むことで側面に柄のようなものが浮き上がることを期待し実験を行った。中にハニカム構造を作り、その中にムラサキキャベツ粉末を詰め、中の粉末に溶液を入れることで側面がどう変化するか様子を見た。結果として、不透明な場合であると中の溶液が染み込んでいることは伺えたが、当初期待していた柄や鮮明に色が浮かび上がることがなかった。

②透明な場合

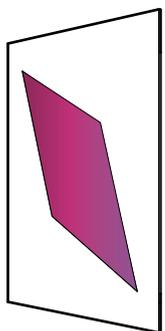
素材には色の変化が鮮明に分かるよう PLA を使用した。色が染み込むことで側面に柄のようなものが浮き上がることを期待し実験を行った。中にハニカム構造を作り、その中にムラサキキャベツ粉末を詰め、中の粉末に溶液を入れることで側面がどう変化するか様子を見た。結果として、透明な場合であると中の溶液が染み込んでいることを側面から鮮明に伺え、染み込んだ後では当初期待していたグラデーションが浮かび上がった。

8. Moody Wall Design

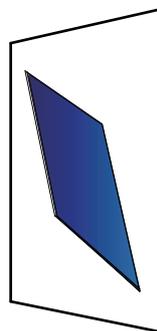


水やpHにさらされていない場合
窓の色は淡い紫色である

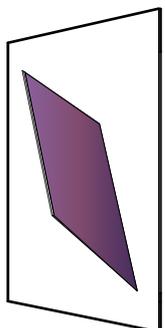
pHで色が変化する窓の種類



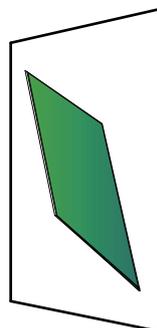
酸度 (pH4 ~ 6) の場合
窓の色は紫色のグラデーションへと変化する。この色は日本の雨季などで多く拝見することができる



中性 (pH6 ~ 9) の場合
窓の色が紫色と青色のグラデーションへと変化する。この色は窓を水で洗う際などで多く拝見することができる

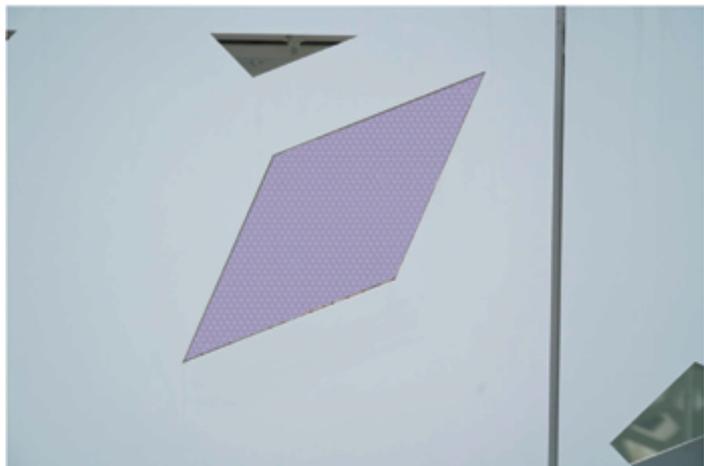


酸度 (pH1 ~ 4) の場合
窓の色はピンクと紫色のグラデーションへと変化する。この色は酸性雨が降る地域で多く拝見することができる

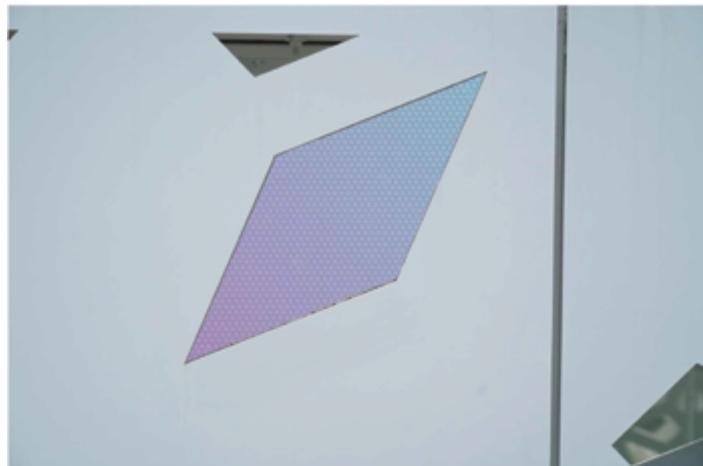


アルカリ性 (pH9 ~ 12) の場合
窓の色が青色と緑色のグラデーションへと変化する。この色は窓を洗剤で洗う際に多く拝見することができる

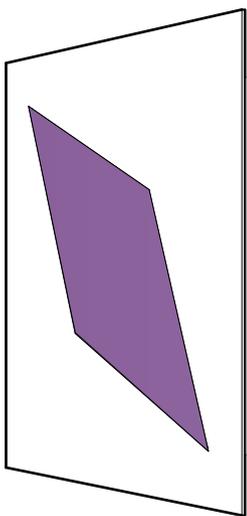
8. Moody Wall
Design



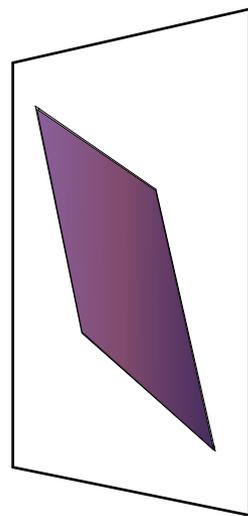
水やpHにさらされていない状態



雨が降り、アントシアニン色素にpHが反応している状態



雨が降る前



雨が降った後

pHで色が変化する窓の構造

田中浩也研究室 + 株式会社竹中工務店
共同研究プロジェクトブック
2020年5月14日発行