LEAFPRINT

HIROYA TANAKA LABORATORY

PROJECT BOOK 2022

INDEX

01	紋葉プロジェクトの説明	P. 05-06
02	本物の葉脈のトレース	P. 07-08
03	巨大化の取り組み	P. 09-10
04	ArchiFAB MAIのFabrix対応	P. 11-12
05	ツールパスの最適化	P. 13-14
06	適切な出力設定の模索	P. 15-16
07	コンピューテーショナルな葉脈の検討	P. 17-18
08	バイオプラスチックのスタディ	P. 19-20
09	液体滴下式プリンタでの出力実験	P. 21-22
10	酢酸セルロースの利用検討	P. 23-24
11	100年後の葉脈の妄想	P. 25-26
12	プロトタイプver.2の細脈の制作	P. 27-28
13	プロトタイプver.2の主脈の制作	P. 29-30
14	プロトタイプver.2の葉肉の制作	P. 31-32
15	プロトタイプver.2 和葉	P. 33-34

01

紋葉プロジェクト

3D プリントを通じた葉脈の可能性の探究

本プロジェクトは、本物の葉から抽出した葉脈をトレースし、3D プリントすることで葉脈の可能性を模索するプロジェクトである。

研究領域は、葉の構造や機能を取り扱う生物学的なリサーチと、3D プリンターの技術研究であり、

・葉脈形状を制作するための 3D プリンタの制御技術の探究
・葉脈形状の制作素材の開拓

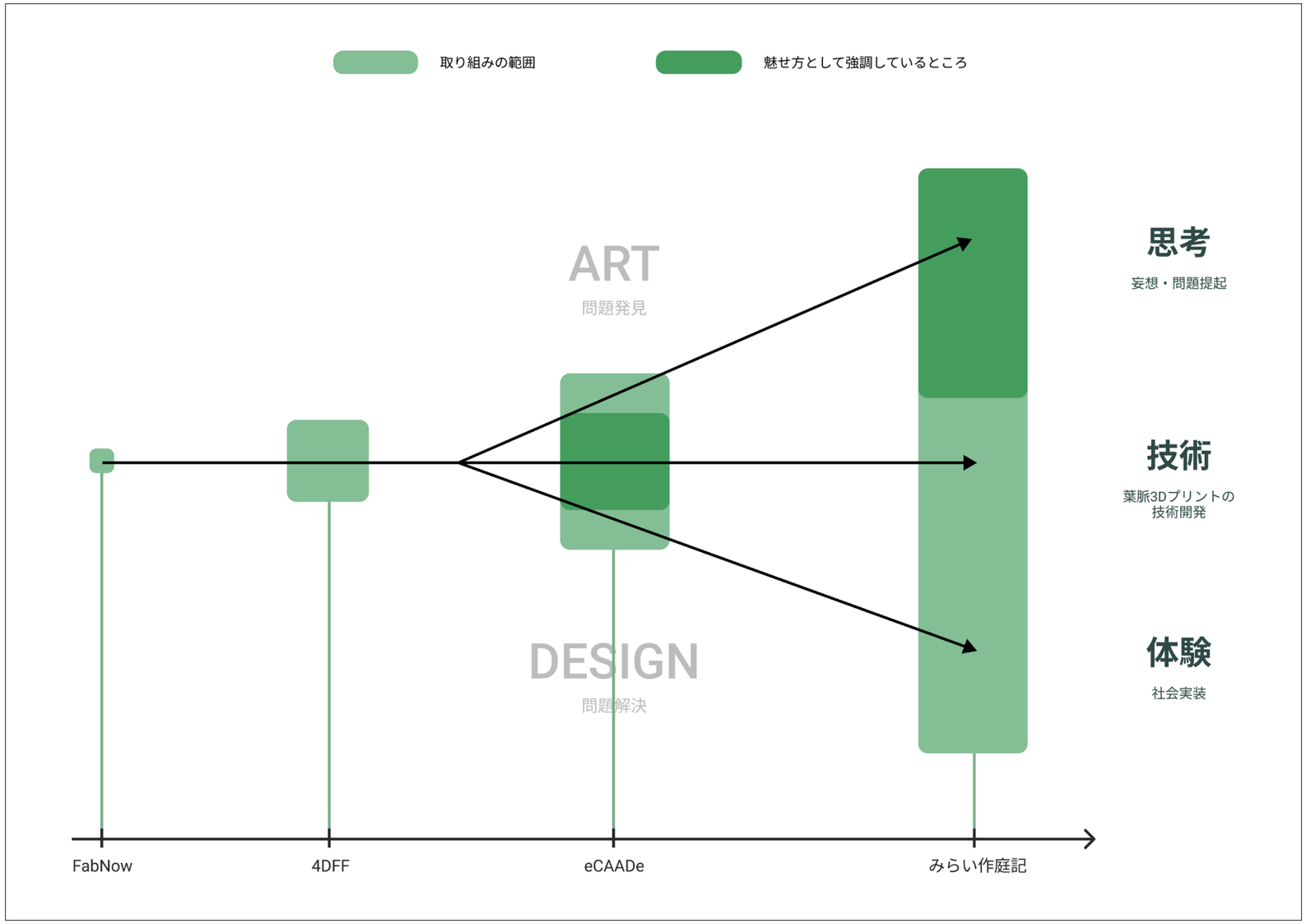
を通じた制作技術の研究を行う。

また、制作技術を探求しながら、アート・デザインにまたがるものづくりを行い、100 年後の未来、人間社会に存在しうる葉脈プロダクトを制作することが目標である。

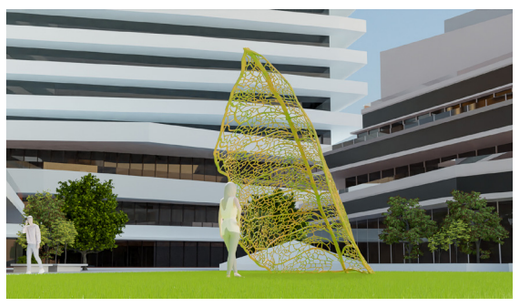
制作プロセス

本プロジェクトの制作プロセスは、アジャイル開発のような上流と下流の設計・開発をシームレスな連携させたプロセスとなっており、「つたえたいもの」を実現する取り組みと、つくったものから「つたわること・できること」を解釈する営みの往復から成り立つ。

デザインやアートといった枠組みにこだわらない、技術研究をベースとした表現・社会実装を目指す。



プロジェクトの活動の範囲とアウトプットの広がり



02

本物の葉脈のトレース

本物の葉から抽出した葉脈の手書きトレースによる G-CODE の作成

私たちは技術研究を行う上で、その題材として葉脈を取り上げている。

その際、出力する葉脈のモデルには、実際の葉脈の魅力をそのまま活かすため、アルゴリズム化されたコンピューテーショナルな葉脈ではなく、本物の葉を取り入れている。

葉脈の抽出方法

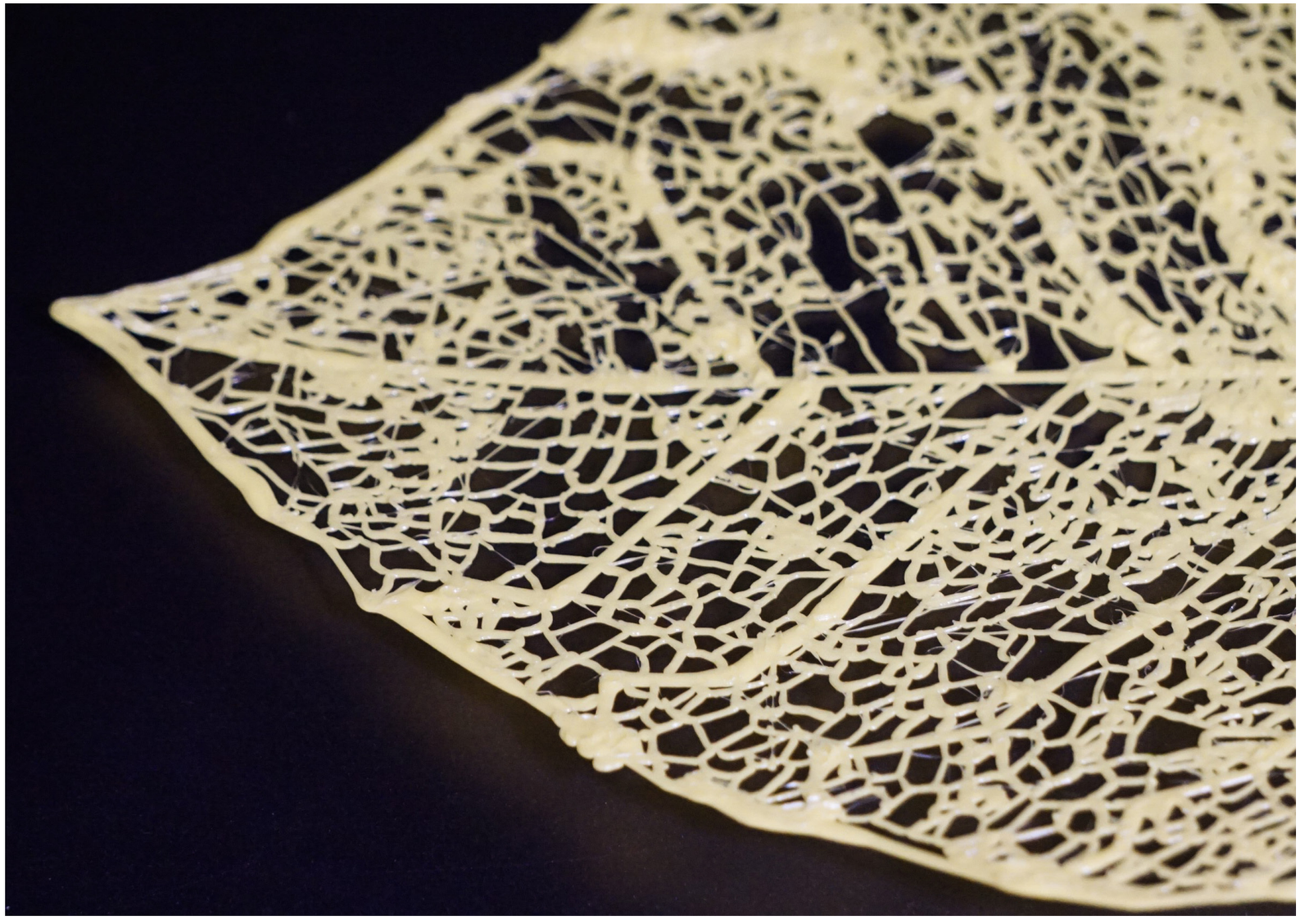
実際の葉から葉脈を抽出するために葉脈標本と呼ばれる、葉肉の部分を溶かして作る手芸の手法を用いた。採取した葉を強アルカリ性の洗剤に漬け込み、葉肉部分を歯ブラシで落とすことで葉脈部分のみを抽出した。なお、葉脈を抽出した葉には、葉脈が硬くアルカリ性の成分に溶けにくい、ツバキの葉を採用している。

葉脈の出力方法

作成した葉脈標本を 2 次元画像化し、Illustrator に取り込み、トレースの下書きとした。iPad 版の Illustrator で葉脈部分のみを手書きでトレースすることで、パスを作成し、Fabrix[1] を用いて G-CODE に変換した。

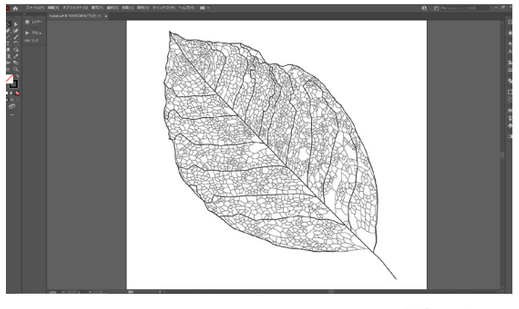
出力にあたっては、葉脈の太い部分と細い部分の差異を表現するため、Fabrix の機能を用いてパス毎のフィラメント押し出し量を調整した。

[1] 田中浩也教授が開発した Illustrator のパスデータを G-CODE に書き出す事のできるスクリプト

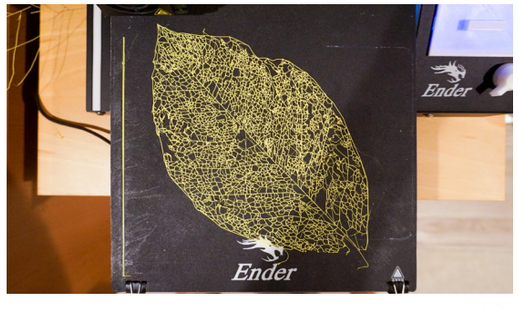


E を調整し、葉脈の太さを変えたツバキ

作成したツバキの葉脈標本



Illustrator での手書きトレース



Fabrix で G-CODE 化したツバキの出力

03

巨大化の取り組み

葉脈を拡大し、空間をつくる挑戦

私たちは、デスクトッププリンタでの出力の次のステップとして、葉脈を巨大化することに取り組んだ。

葉脈をデジタルで再現することの価値として、拡大が可能な点がある。そこで、これまで家庭用 3D プリンタ ーを使って出力していた葉脈を拡大し、大型化することで生まれる新たな表現を検証した。

ロボットアーム式 3D プリンタを用いた出力

研究室が保有する ArchiFAB MAI (ペレット式大型ロボットアーム 3D プリンタ) を用いて、900mm × 1100mm のパレットの上に 6mm 径のノズルで出力を行った。

出力にあたっては、デフォルメした葉脈を Simplify でスライスを行ったデータを用い、素材には PLA を母材として二色の色付きフィラメントをカットし混ぜたものを用いた。

大型化に伴い、ノズル径を太くしたことで、本来の葉脈のきめ細かさを再現することを実現した。また、その大きさから、本来の葉脈からは感じることのできない、身体に訴えかける迫力が生まれた。

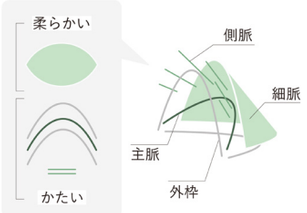
一方で、自然にはない平面的な葉脈の形状や、単一な葉脈の太さに違和感を覚えた。この違和感を解消すべく、立体形状と太さの違う葉脈表現にチャレンジした。

立体形状への取り組み

立体形状へのチャレンジとして、人が覆われることのできるサイズを目指した。

立体化するには、平面で出力したものを変形させる手法、立体局面の型の上に出力する手法などがあるが、制作後不要となる土台や型を用いない、平面で出力できる形状を組み合わせる方式を取り入れた。

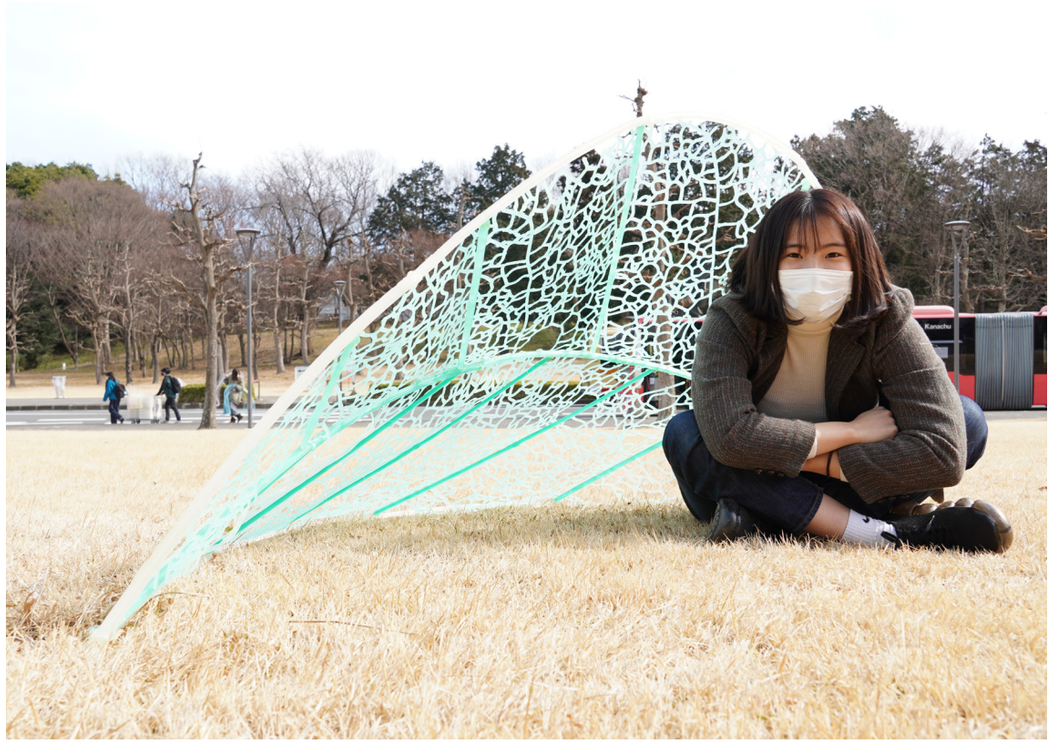
出力には研究室が保有する ArchiFAB IRORI を用いて、素材を変えながらパーツごとに出力を行った。



主脈・側脈・外枠にはかたい素材である PLA を用い、葉脈部分にはやわらかい素材であるエラストマー樹脂を用いることで、支柱部分に沿わせるように葉脈を張り合わせることが可能となる。

これにより、実際に人が覆われることのできる葉脈空間を制作することができた。平面形状とは異なり、見るだけでなく、葉脈の美しさを体感することのできるプロトタイプとなった。

また、主脈・側脈と細脈で太さを変えて出力したことで、葉脈の太さに差をつけることができ、より本物の葉脈に近い印象を感じることできた。



04

ArchiFAB MAI の Fabrix 対応

Illustrator の Fabrix スクリプトの ArchiFAB MAI への対応のためのデータ作成・出力実験

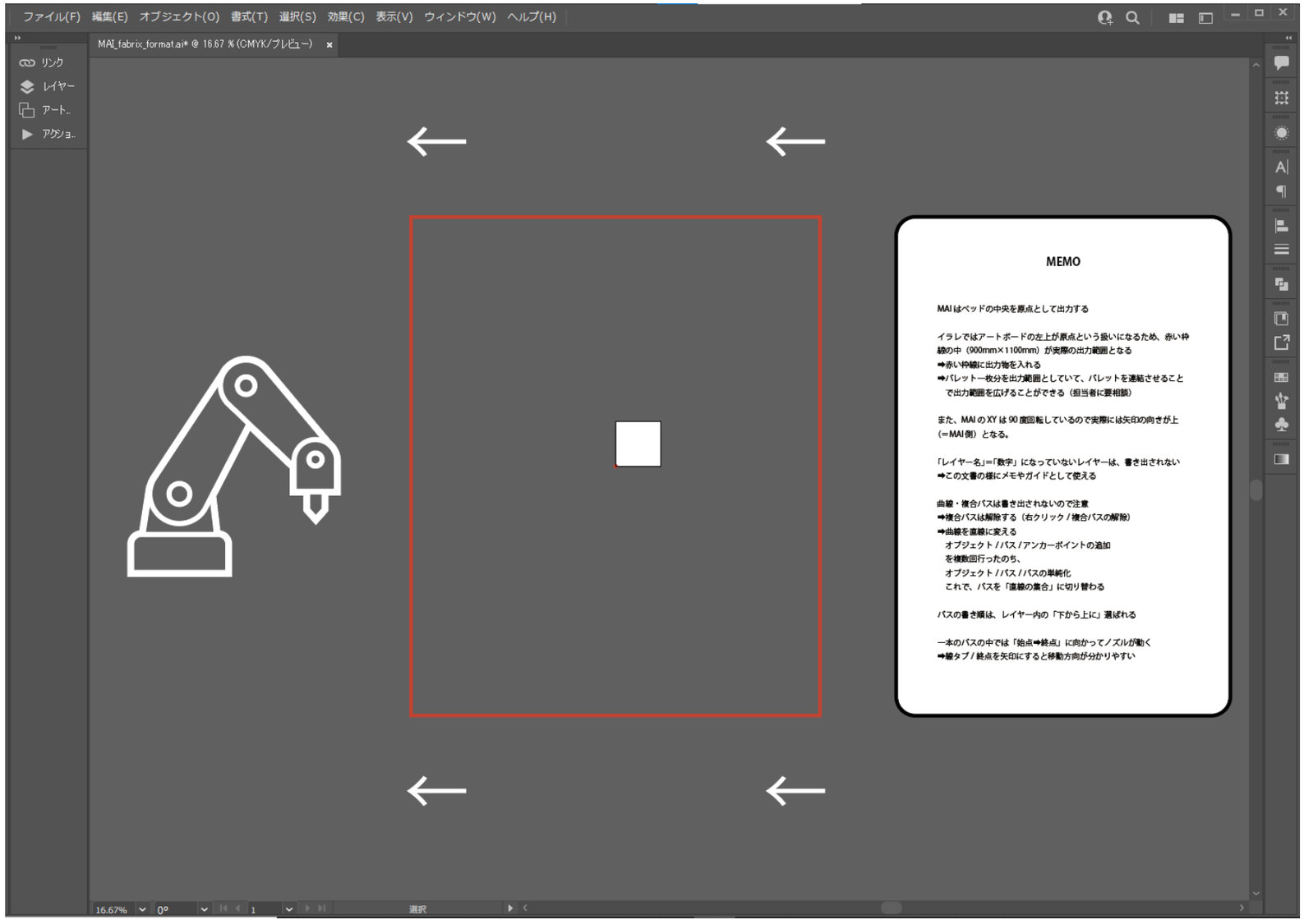
巨大化の取り組みを経て、脈の細さと密度に、本来の葉脈のミクロな美しさがあることがわかった。

そこで、より繊細に吐出幅の制御をおこなうため、Fabrix スクリプトを ArchiFAB MAI に対応させる整備を行った。

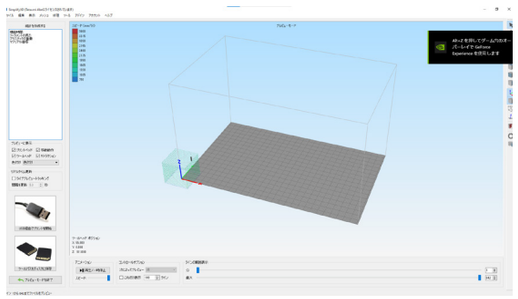
1. ArchiFAB MAI 用の Factory ファイルで適当なモデルを書き出し、サンプルとなる G-CODE を用意する。
2. 同じモデルを Illustrator でモデリングする。
3. 既存の Fabrix スクリプトを使い、MAI の出力設定と同じ条件に設定して G-CODE を書き出す。

4. Simplify で作成したサンプル G-CODE と同じ E 値になるように Fabrix 内の書き出し設定を調整する。

実際の ArchiFAB MAI を用いた出力実験を経て、最適な E 値変換条数は、0.904 であることがわかった。



Fabrix for MAI に合わせた Illustrator のフォーマット



Fabrix で書き出した G-CODE のシュミレーション

Fabrix で作成した G-CODE の出力テスト

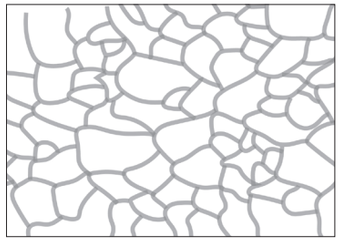
Illustrator で作成した文字の出力

05

ツールパスの最適化

ノズルの動きの制御による出力精度の向上

Fabrix での出力の課題として、パスが出力に最適化された形状になっていないため、出力すると素材に重なりが生まれることが挙げられる。また、葉脈のトレースは手書きで行なっているため、パスには重っている箇所や離れすぎている箇所があり、出力の精度が低くなってしまっている。



これらの課題を解決するため、出力に最適化したデータに変換する操作を Illustrator で行う。

ツールパスの最適化

Illustrator にて、以下の操作を行い、最適なツールパスを作成した。

1. 線の太さは出力するノズル系に合わせた吐出幅に設定する。
2. 変換した線をパスファインダーツールで結合
3. 結合した線データをアウトライン化

これにより、葉脈を縁取るようなツールパスになり、パスの重なりをなくすことができる。また、パスの始点と終点が一致するため、糸引きの出現頻度をさげることにもつながる。

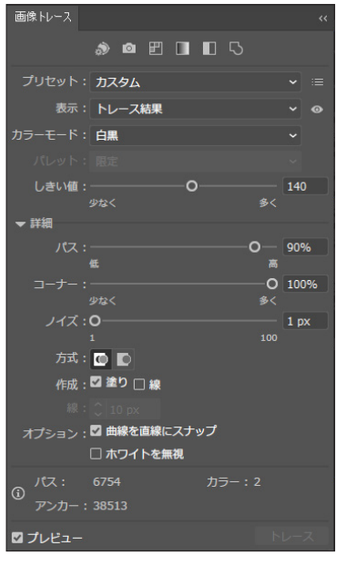
一方で、この手法にすると、一本の脈を二本の吐出ラインで造形することになるため、脈がノズル径の二倍の太さになる点には注意が必要である。

さらに、脈が複数接合している箇所においては、縁取るようなパスだけでは吐出しきれない部分が発生し、穴が生じてしまうことは課題である。

トレーススクリプトの検討

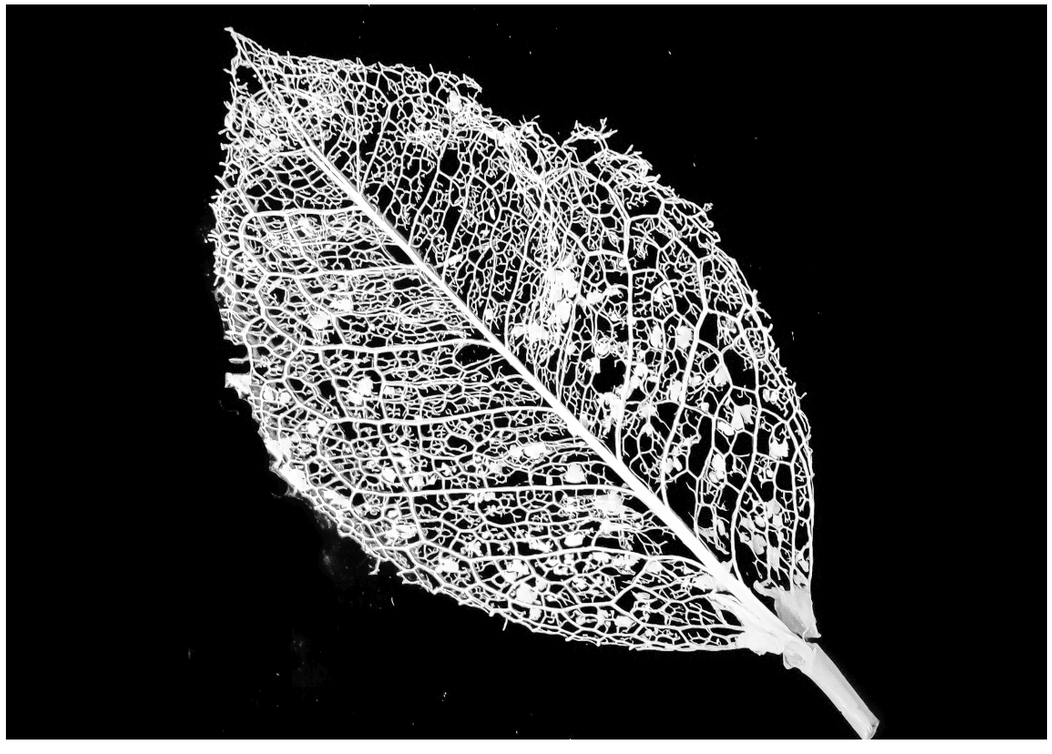
ツールパスの最適化が、手書きでトレースしたパスでも綺麗に出力できるようにするための操作であるのに対し、トレース自体を綺麗に行うための操作として、Illustrator の画像トレース機能を取採用した。

1. 葉脈の画像をモノクロに編集
2. 1. を Illustrator に読み込み、「画像トレース」のスクリプトを実行する
3. トレースの設定を以下にする（しきい値は画像ごとに異なる）



これにより、正確なトレースが可能となった。

しかし、葉脈ごとの太さの差まで正確に再現されているため、太い脈の中心部分などは出力できない点は課題である。



06

適切な出力設定の模索

デスクトップサイズでの葉脈出力におけるスタディ

葉脈の太さについて

葉脈は大きく分けて、葉の中央を通る太い主脈・側脈・細脈で構成されている。脈の太さの違いからは、非常に有機的で生命的なものが感じられる。

この葉脈の特徴を再現すべく、Fabrix での設定値を模索した。

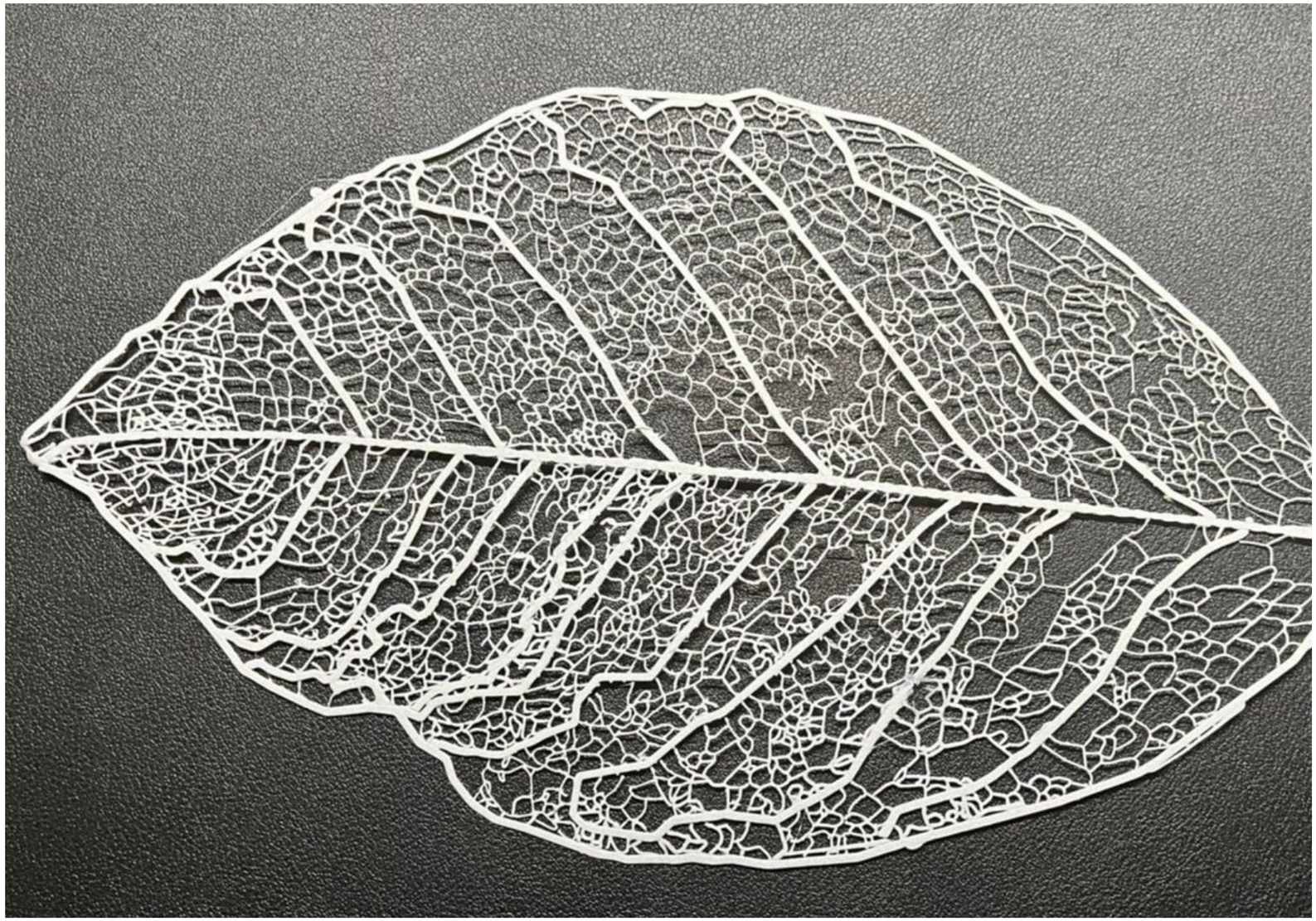
Fabrix で脈の太さを調整する方法は二つある。一つは単純に脈の太さに応じてパスの本数を増やす方法で、もう一つはどの脈もパスの本数は一本だが、その一本自体の太さを変化させる、というものである。なるべく本物の葉脈に近いものにすべく、後者の設定値を模索することとした。

適切な設定の模索

脈の一本の太さを変える方法としては、E 値を調整する必要がある。E 値は、3D プリンタでの樹脂の押出量を表す。E 値を主脈・側脈・細脈それぞれで変化させることで、脈ごとに太さを変化させることができる。

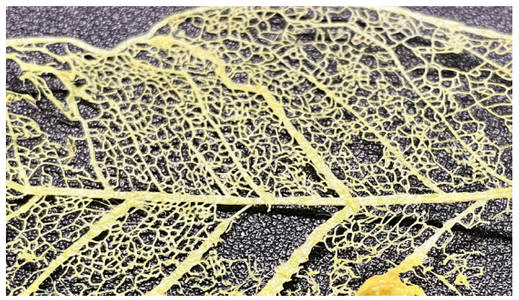
また、更なる葉脈の表現を探求すべく、ミクロな葉脈表現の探求も行った。一般的な家庭用 3D プリンタに使われるノズルの径は 0.4mm であるが、それよりもさらに細い径である 0.2mm ノズルを使用し、設定値を調節した。

0.2mm ノズルは、径が細くなった分、設定値がとてもシビアで扱いが非常に困難である。Fabrix 上で E 値や F 値の適切な設定の割り出しを行い、手のひらよりも一回り小さいサイズの葉脈の出力に成功した。

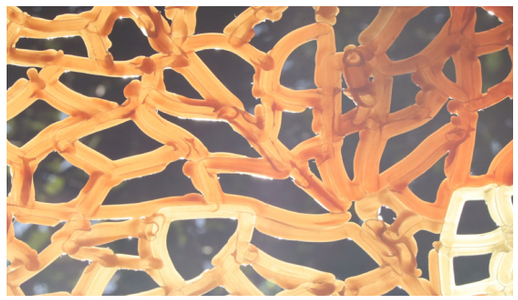


デスクトップサイズで出力した椿の葉

手のひらサイズで出力した椿の葉



脈の拡大図



脈の太さがすべて均一な脈の拡大図

07

コンピューテーショナルな葉脈の検討

パラメトリックな葉脈データの作成

初期段階において本プロジェクトは、本物の葉脈を手描きでトレースするというアナログ的手法を主に用いて葉脈形状のモデルを行っていた。

次に、手動でトレースすることに多くの時間と労力を要することから、写真から葉脈を自動トレースすることを可能にする手法や、細かな設定値についての開発を行った。これらの手法は、実在する本物の葉を再現することを目的としていたため、この世にない葉脈の形の生成や、葉脈を人工的に拡張することはできず、葉脈プリンティングの表現に広がりが生まれなかった。

そこで、私たちは、葉脈の形状をコンピューテーショナルに生成する手法の開発に取り組み、葉脈表現の更なる発展と多様化を目指した。

複雑な形状をしている葉脈の形を、コンピュータで再現するためにはどのようなアルゴリズムを用いるのが良いのだろうか。

今回は、L-system、ボロノイ図、Runions モデルに基づいた葉脈生成アルゴリズムの 3 つについて検証した。

L-system

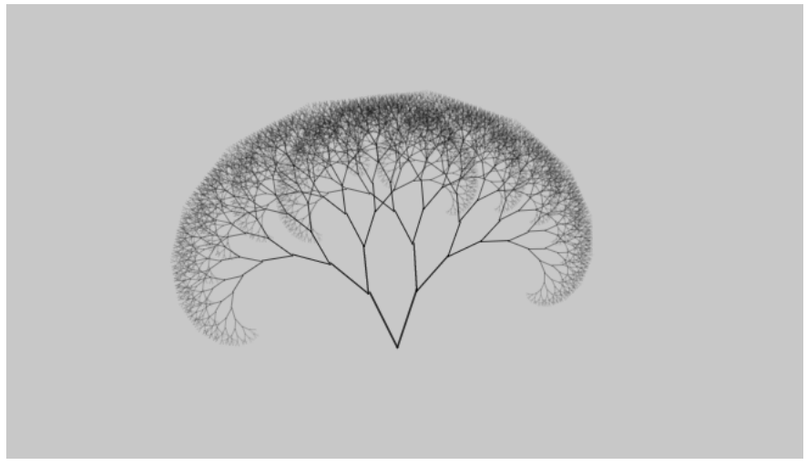
植物の成長プロセスをはじめとした、さまざまな自然物の構造を表現できるアルゴリズムで、用いられる再帰的な文法はフラクタル図形を生成する場合にも用いられる。検証にて生成した枝分かれの構造は、生物的な形状ではあるものの、葉脈よりも木やブロッコリーの枝分かれのように見受けられた。Rhino for Python や p5.js を用いて検証した。

ボロノイ図

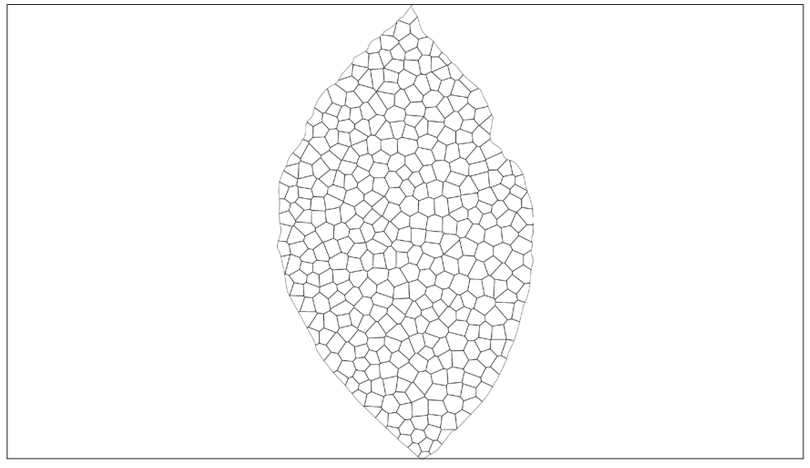
ランダムな点の座標をもとに、どの点に最も近いかによって平面上の座標空間を分割することで作成される図のこと。トンボの翅やキリンの模様など自然界に多く見られる形で、葉脈の細脈部分にも見られるため、細脈表現に焦点を当てて検証した。Adobe illustrator のスクリプトプラグインや Grasshopper を用いて生成した。

Runions モデル

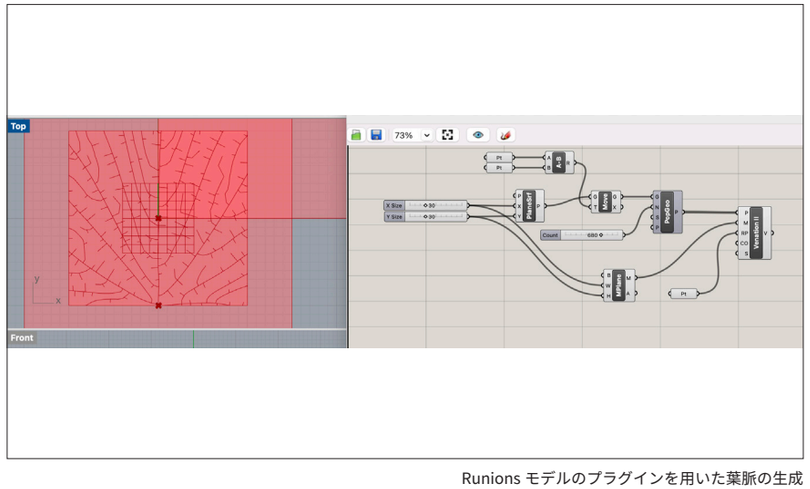
植物成長ホルモン”オーキシン”の分布に基づいた葉脈成長モデルを用いて、コンピューテーショナルな葉脈生成を行う。今回は Parakeet が公開している Grasshopper のプラグイン“ Venation ll”を用いて検証した。主脈から側脈が伸びて細脈へと細分化する葉脈の構造がとても自然な形状として生成できたが、細脈部分のディティールが詰められないという課題点もあった。



L-system を用いた枝分かれ構造



ボロノイ図 を用いた細脈模様の再現



Runions モデルのプラグインを用いた葉脈の生成

08

バイオプラスチックのスタディ

自然由来素材を材料とするバイオプラスチックの自作

これまでの葉脈 3D プリントの課題に、素材の質感が無機物的でありすぎる点が挙げられる。きめ細やかな葉脈であっても、PLA の光沢感のあるプラスチック素材によって、人工物の印象を強く受ける。

また、PLA の素材は出力の難易度が低く、扱いやすい一方で、靭性が低く、折れやすいというデメリットがある。

実際に、これまでに出力したプロトタイプでも、PLA で出力した脈に折れてしまっている箇所が散見された。

素材の自作へのチャレンジ

FFF 式 3D プリンタで出力することのできる素材は、一般的に PLA かエラストマーに限られる。私たちは PLA・エラストマーに代わる、葉脈の素材に適切な質感・強度を持つ素材を追求するため、素材の自作にチャレンジすることに決めた。

しかし、FFF 式 3D プリンタで出力できるフィラメントを自作することは非常に難しい。そこで、海外では家庭で自作できる素材として広まっていて、事例が沢山あるバイオプラスチックに着手することにした。

バイオプラスチック

バイオプラスチックとは、自然由来の成分で作られるプラスチックで、性分解する特徴を持つ。その主成分は、乳酸と糖であり、糖をデンプンなどの自然由来のものに置き換えることで、質感の異なる素材をつくることができる。

さらに、乳酸と糖に加え、キトサン・セルロースを成分を配合すると強度が増すことが分かっている。

これらのことから、糖成分の材料の選定、材料の配合調整によって質感・強度を操作できると言える。

バイオプラスチック素材のスタディ

素材を自作するにあたり、

1. 質感に人工物のような光沢感がない
2. 靭性があり、PLA のように簡単に折れない強度がある

という特徴を持つ素材を探求することを目標として立て、スタディを行った。

なおスタディをする上でのベースのレシピには、FabLab Barcelona[1] が提供するオレンジの皮を用いたバイオプラスチックのレシピ [2] を採用している。このレシピでは材料を熱することなく、塩化カルシウムとアルギン酸ナトリウムの結合と乾燥によって素材を生成している。後述する液体滴下式プリンタに入れた際、シリンジ内で固まることなく、固まるタイミングを制御できる、という点からベースレシピに使用している。

オレンジの皮のバイオプラスチックのスタディでは、配合比やキトサン・セルロースの有無などを変数として立て、さまざまなパターンで実験を行った。右の画像はその過程で生まれた製作物の数々である。

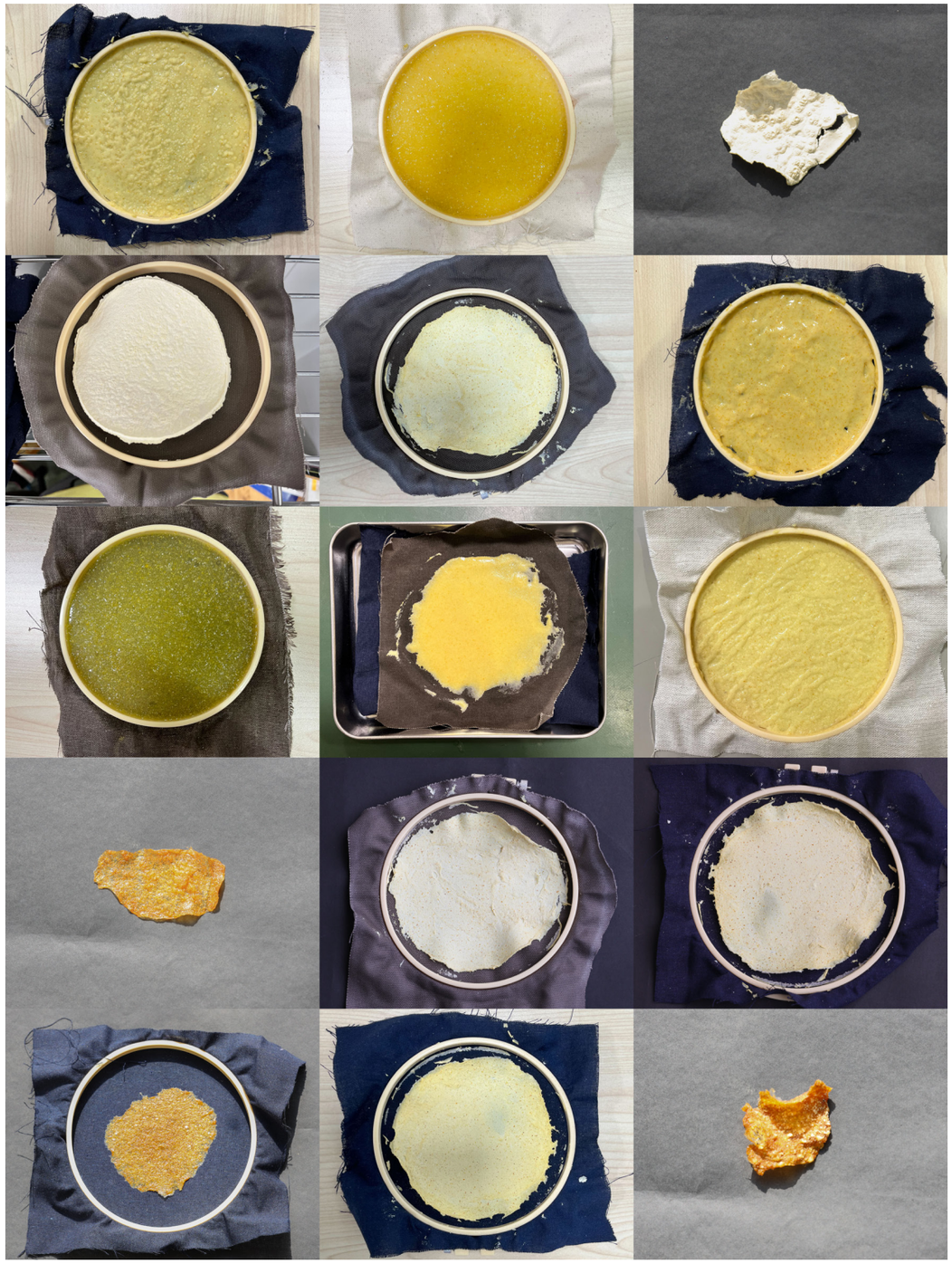
スタディの結果

結果として、キトサン・セルロースを加えることで実際に硬さの制御を行うことが可能となった。また、柔らかく靭性のある素材の配合比も発見することができた。

一方で、オレンジの皮を使ったベースレシピ以外のレシピへはあまり着手できておらず、質感に関してはまだ検討の余地がある。今後の取り組みにおいて、腐食に伴う色変化などの確認とともに質感の探求も行っていきたい。

[1] デジタルからアナログまでの多様な工作機械を備えた、実験的な市民工房のネットワーク。

[2]Youtube でレシピを公開。
https://www.youtube.com/watch?v=SB9D6yHGI7E&ab_channel=FabLabBarcelona



素材の配合比を変えて制作したバイオプラスチックのサンプルの数々

09

液体滴下式プリンタでの出力実験

バイオプラスチックを出力するための液体滴下式プリンタの構築と実験

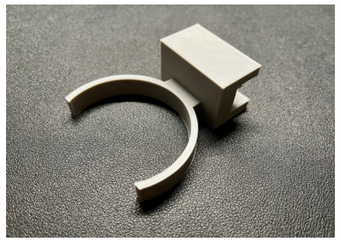
PancakeBot の活用

自作したバイオプラスチック素材を3D プリンタで吐出するにあたって、通常のデスクトッププリンタであるような FFF 方式とは異なる、液体を滴下して造形する形式のプリンタを用意する必要があった。そこで着目したのが、Pancake Bot[1] というマシンである。

Pancake Bot は、世界で最初のパンケーキをプリントするプリンタである。このプリンタは、パンケーキの素をヘッドにあたるボトルの中に入れ、エアーモーターによって中の空気圧を高めたり低めたりすることで液体の吐出を制御している。今回は吐出機構を参考にして、より大きくバイオプラスチック素材を出力することのできる液体滴下式 3D プリンタを構築した。

液体滴下式プリンタの構築

自作バイオプラスチックを吐出するため、ArchiFAB MAI の先端に Pancake Bot のボトルを取り付ける。ボトルを取り付ける際には、ボトル内の素材を補充できるよう、着脱が簡単にできるアタッチメントを作成しヘッドに取り付けた。



また、自作したバイオプラスチック素材はパンケーキの素と比べて粘性が高いため、Pancake Bot のエアーより強力なポンプ [2] が必要となった。

なお、ヘッドを動かす G-CODE に対応してエアーを制御するシステムはまだできておらず、ポンプは手動で操作する必要がある。

バイオプラスチックの出力

バイオプラスチックを使用しての出力時は、シリンジ部分に、あらかじめ制作しておいたバイオプラスチックを補充し、エアーによる空気圧で押し出して吐出を行った。

出力設定について

通常の熱可塑性プラスチックに比べて、かなり粘度の高い素材なので、ヘッド部分の高さ調整も通常とは異なる。

今回の出力時は、素材の粘度の関係から Z 軸方向に 2.5mm の高さから吐出を行った。また、エアーによる押し出しの制御とヘッドの動きが同期できていないため、エアーのオンオフを手動で切り替える必要がある。その切り替えにかかる時間を考慮してヘッドの移動時に二秒ほど停止させるよう G-CODE を調整した。

結果と課題

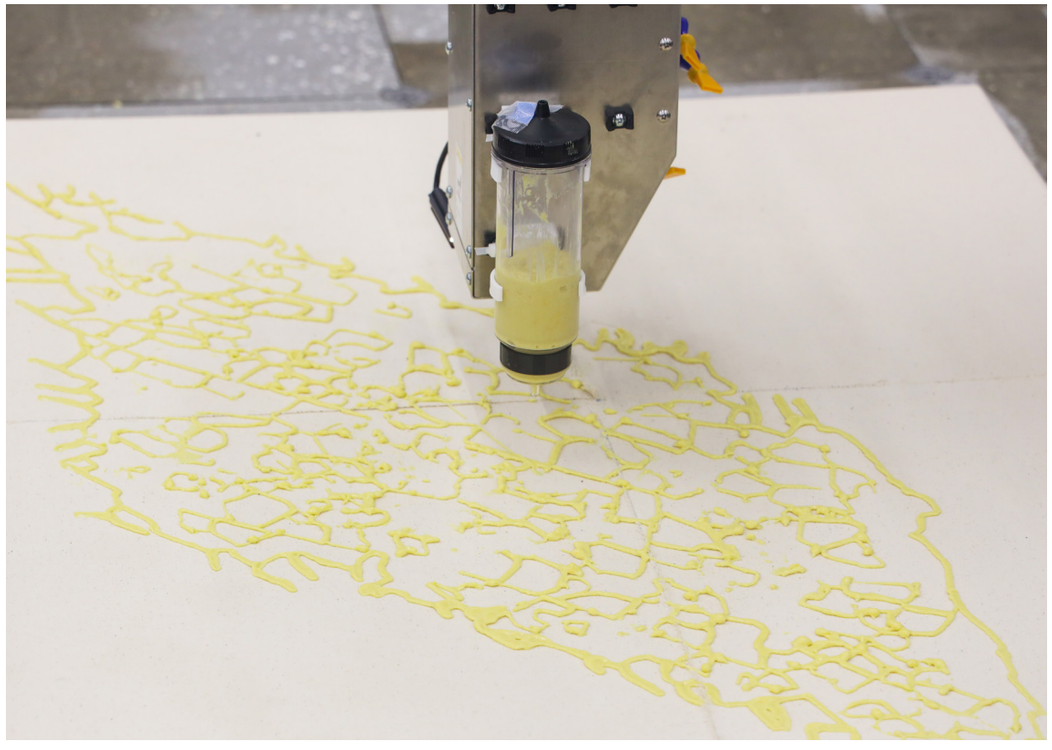
今回のバイオプラスチック素材出力時の大きな課題は、エアーの手動調整が非常に難しいところにある。エアーの強さや電源を入れるタイミングなどは、素材の配分による粘度によって変わってくる。調整が難しく、シリンジが詰まってしまったり吐出が安定しないなど、造形物が汚いものになってしまった。

葉脈が途切れ途切れになり、構造的に脆いものとなったため、後述する細脈の大型出力では PLA を採用することとなった。

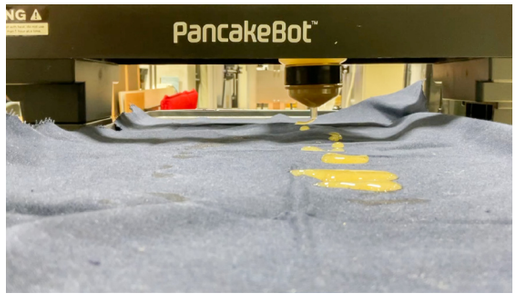
一方で、エアーのオンオフを制御できれば、安定的に脈を吐出できることがわかった。今後はエアーの押し出し制御とヘッドの動きを同期するシステムを開発し、出力の精度をあげていきたい。

[1] https://pancakebot.com/products/pancakebot-1-0-original-variant-4-bottles

[2] 小型真空ポンプ TM-22A+ https://item.rakuten.co.jp/denshi/55028/

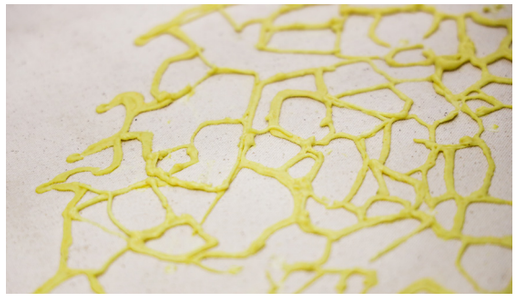


ArchiFAB MAI に取り付けたボトルから吐出する様子

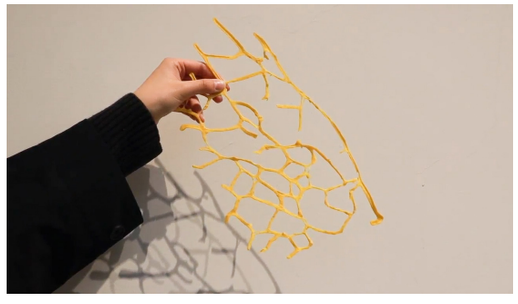


Pancake Bot でのバイオプラスチックの出力実験

Fabrix を使った出力実験の様子



バイオプラスチックで出力した葉脈



出力後のバイオプラスチックの様子

10

酢酸セルロースの利用検討

主脈の素材・形状検討

酢酸セルロースの利用検討

主脈の素材として酢酸セルロースフィラメントの検討と出力実験を行った。酢酸セルロースとは、海洋環境で生分解する、強度の高いバイオプラスチックである。今回使用したフィラメントは Nature3D から提供していただいたもので、ネクアスの制作している NEQAS OCEAN をベースにフィラメントに加工したものである。

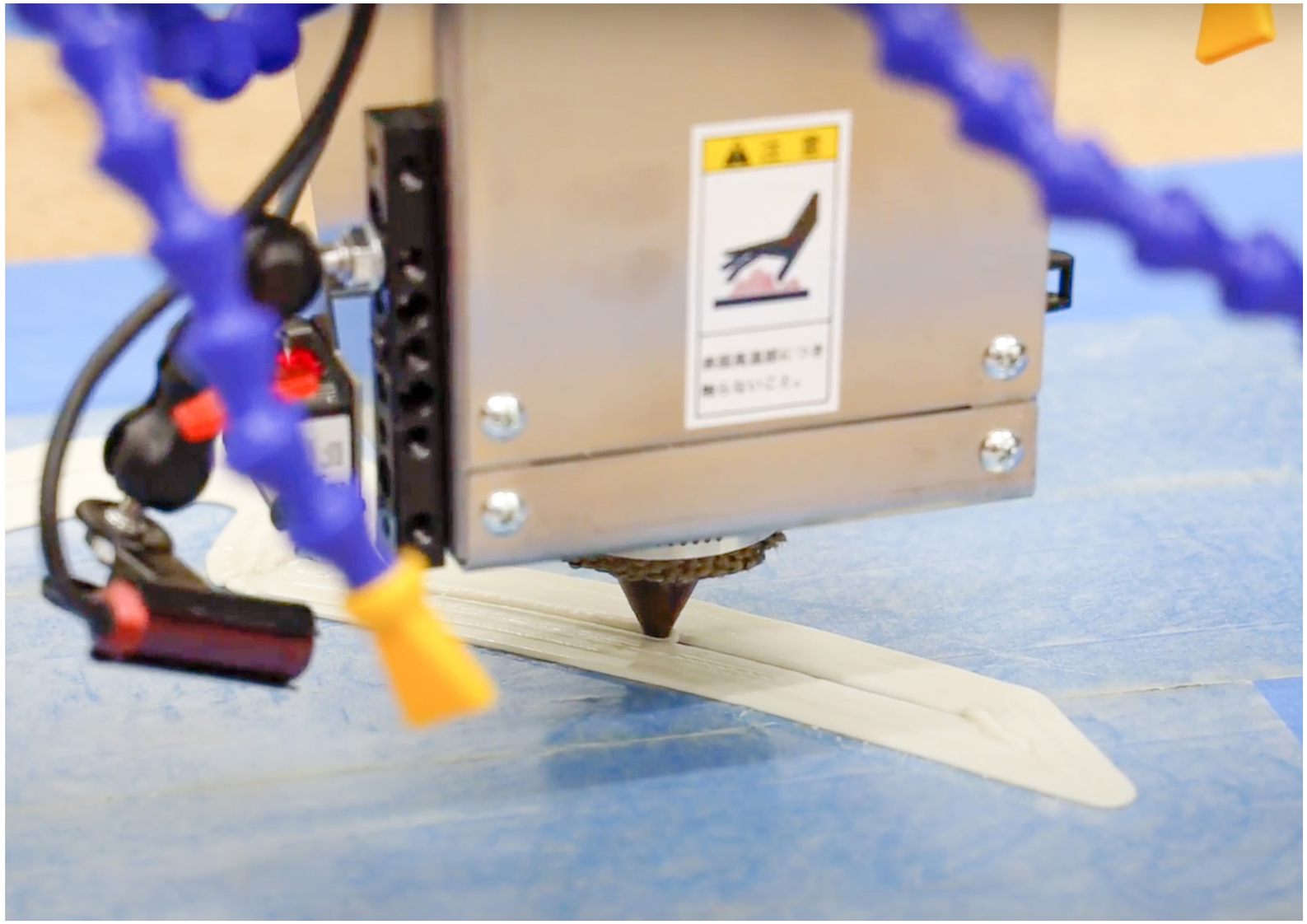
酢酸セルロースの特性について

酢酸セルロースは PLA と比較すると、非常に出力が難しい素材である。まず、酢酸セルロースは極度に湿気に弱く、出力前にしっかりと乾燥をさせなければならない。簡易的なフィラメント乾燥機を用いて、常時乾燥しておくよう心掛けた。

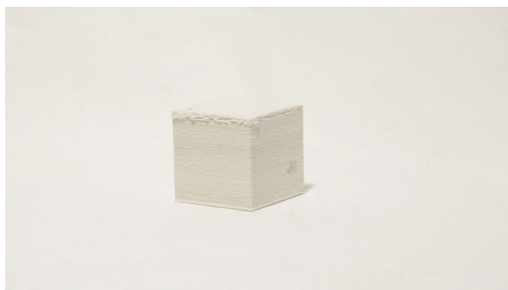
また、ヘッド・ベッド温度・出力早さ(F 値)の設定が非常にシビアであり、ベッドへの定着や層間の接着、積層の美しさに大きな影響が出てしまう。これらの課題を解決するため実験を繰り返し、酢酸セルロースの最適な出力値を模索した。

ArchiFab MAI での出力実験

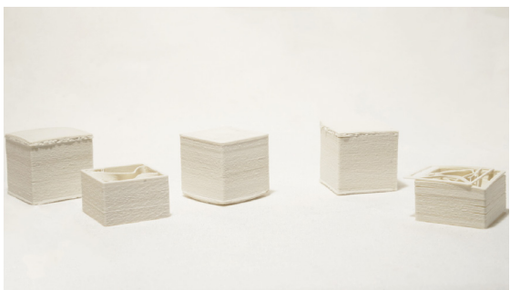
その後、デスクトップでの検証をもとに、Archifab MAI での出力実験を行った。ArchiFab MAI は、デスクトッププリンタとは異なりペレット式であるため、ヒーターなどの仕組みが違うということもあり、もう一度温度設定等をやり直す必要があった。結果的に、安定して吐出をすることに成功したが、層間接着がうまくいかず主脈への酢酸セルロース使用は断念した。



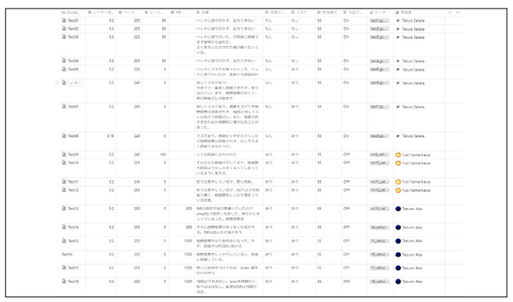
ArchiFab MAI での酢酸セルロース出力実験



出力に成功した酢酸セルロース



出力に失敗した酢酸セルロース



酢酸セルロース実験表

11

100 年後の葉脈の妄想

スペキュラティブな葉脈の姿

私たちの目標は、100 年後の未来、人間社会に存在しうる葉脈プロダクトを制作することである。葉脈プロダクトを設計する上で、100 年後の葉脈に妄想を巡らせた。

人類は今、温暖化によって史上最高レベルの異常気象や海面上昇、地震などの環境の急激な変化に直面している。そして世界の海面水位の上昇は止まることなく、むしろ状況は悪化し続けると予測される。

環境変化による酸素濃度の希薄化や移住スペースの枯渇によって、人類は海中や空中、火星など地球外惑星への移住を余儀なくされるのではないだろうか。

100 年後の葉脈のシナリオ

そんな環境において、かつて自然との " 共生 " を謳っていた人間の住む都市に植物の生息環境は残らず、森林は愚か、木々や葉さえも見る機会は激減する。そこで人類は、サイボーグ植物として葉脈プロダクトを生み出し、新たな " 共生 " の在り方を謳う。

形状は元の葉脈の面影を残しつつも、効率よく酸素を供給するため、人間の手によってボロノイ形状で拡張され、巨大化する。かつて受粉に必要だった虫や鳥のための美しさや匂いの要素は失われ、代わりに太い根を張るかもしれない。

かつての葉由来の葉脈とシームレスにつながる様子が、新たな " 共生 " の在り方そのものを示す。

酸素を効率よく生成させる葉脈は、人間にとっての第二の肺、人工肺の役割と持つことになり、今とは違うかたちで都市の中に存在する " 自然 " となるだろう。

人が覆われる空間を作り出す葉脈

空中都市のイメージ

12

プロトタイプ ver.2 の細脈の制作

細脈の拡張・出力

100 年後の葉脈の妄想を踏まえ、コンピューテーショナルに生成できる葉脈形状と、実在する自然界の葉脈形状が境目なく溶け込んで共存する半自然半人工的な葉脈の制作を目指す。

そこで、コンピューテーショナルな葉脈の検討での成果を、葉脈を拡張する取り組みに応用させて、実在しない葉脈形状を制作した。

細脈拡張の取り組み

今回は実在するツバキの葉に、グラデーショナルに大きさが変化するボロノイ形状を付け加え、細脈部分を拡張した。

これによって、単に葉を引き伸ばして巨大化するに留まらず、葉脈の細かさ・密度を保ったままの自由な形状表現が可能になった。

STEP1

実際にトレースしたツバキの葉の外側に人工的に制作した葉の外形をおいた。ツバキの葉と人工的な葉の外形の差分を均等なボロノイ図で細かく埋めるという手法を実験的におこなった。この時は、主脈側脈についてもコンピューテーショナルな手法で人工的に拡張しようと考えていたが、やり方が見つからず未だ取り組んでない。

STEP2

STEP1 から、均一な大きさのボロノイ図だと細脈の拡張部分とものと部分の境目が目立ちやすいという問題点が浮上した。そこで、ボロノイ図の大きさが端に向かうにつれて徐々に大きく変化していくように形状を再度デザインした。

STEP3

主脈側脈について、コンピューテーショナルな手法で人工的に拡張することが難しかったため、ツバキの葉をトレースした主脈側脈を単に拡大した。これによって、同じ形状のまま内部の細脈密度を高くすることが可能になり、手のひらサイズの葉脈プリントを建築スケールの葉脈に拡大してプリントする時に、葉脈の細かさが保たれずに密度が低下するという課題点を解消するものとなった。

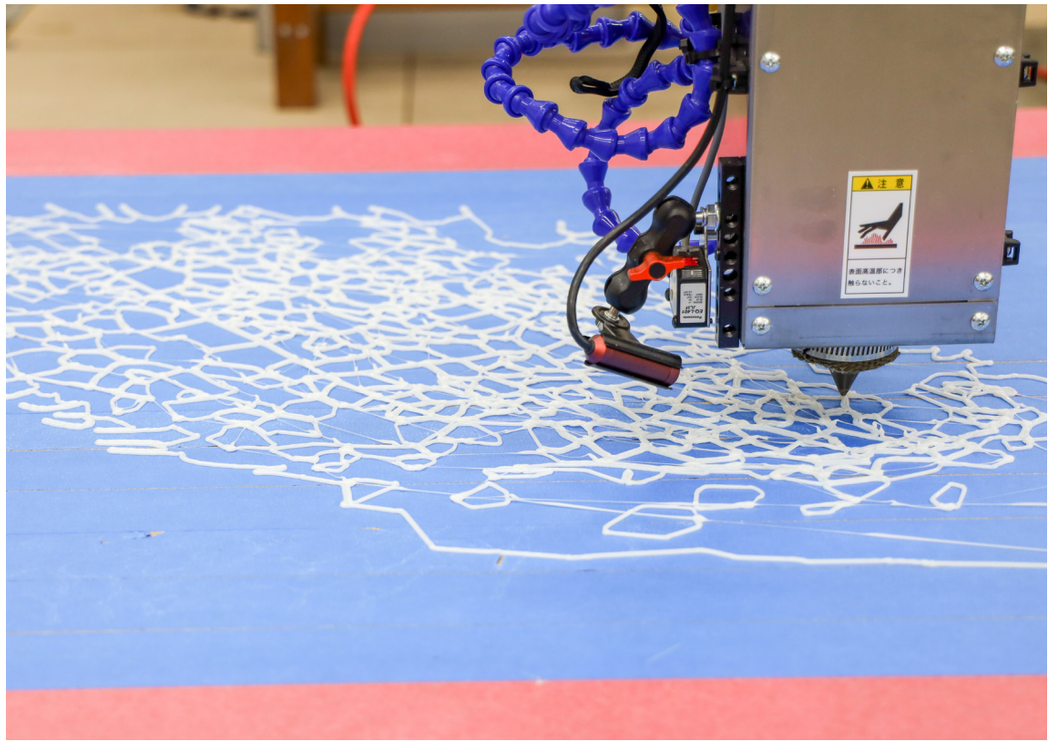
PLA での細脈の出力

作成した拡張葉脈を ArchiFAB MAI を用いて出力した。今回は出力箇所を限定し、最適な出力値の調整などに徹底した。

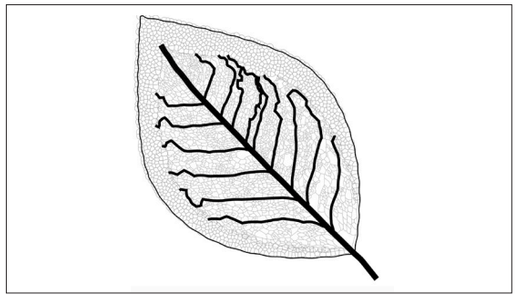
今回の出力では、ツールパスの最適化の手法を取り入れ、二本の吐出ラインでの造形を行った。

この際、二本のラインの押し出し量が少ないと、その間に隙間が空いてしまうので、一本の脈に見えるように調整値を追求した。

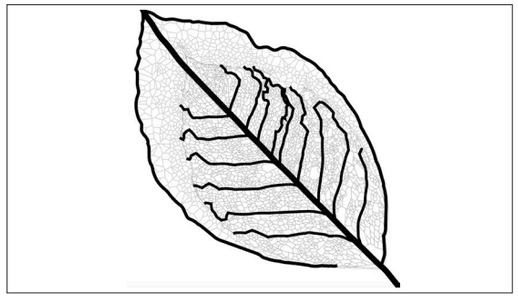
しかし、一本のパスよりも移動量が多くなったことで、糸引きが多数見られた点は今後の課題である。



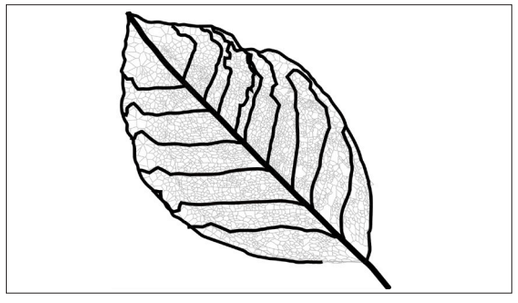
ボロノイ拡張した細脈データの出力



STEP1 : L-system を用いた枝分かれ構造



STEP2 : ボロノイ図 を用いた細脈模様の再現



STEP3 : Runions モデルのプラグインを用いた葉脈の生成

13

プロトタイプ ver.2 の主脈の制作

主脈のパイプ形状での造形と PLA での出力

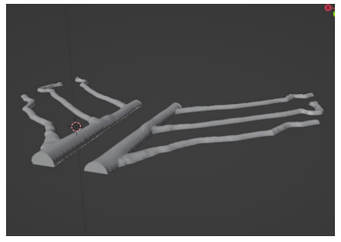
これまでの主脈の課題

これまでの葉脈の造形では、基本的には一本のラインで葉脈を表現しており、また、脈を印刷面に寝かした状態で出力していたため、実際の葉脈とは異なり、3 次元方向に脈を再現することができていなかった。

実際の葉脈は中心に管が通るパイプ状になっているが、従来の方法では平面的な表現にしかなっておらず、パイプ状の脈を表現することはできなかったのである。

パイプ形状での造形

そこで、トレースした主脈のパスを Blender に読み込み、パイプ状に形状を整え、半分に切断した形で二つのパーツに分割した。



分割面を下にして出力し、出力面同士を張り合わせることでパイプ状の主脈を実現した。

また、のちに別で出力した細脈・葉肉のパーツを内側に挟み込むという役割も同時に果たす。

本来一本のラインでは表現することのできない脈の細かい変化や、表面に木の皮のようなテクスチャを確認することができた。

PLA での主脈の出力

主脈を出力するにあたり、細脈と同様に PLA で、ArchiFab MAI を用いて出力した。

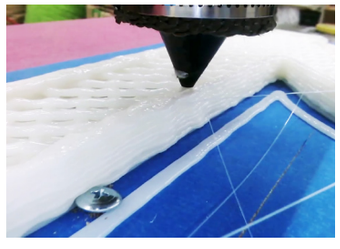
また、前述のとおり素材を 2 パーツに分けて出力をした。PLA は一般的な家庭用 3D プリンタで使用される扱いやすい樹脂であるが、今回は大型出力であるため、設定をしっかりと行う必要があった。

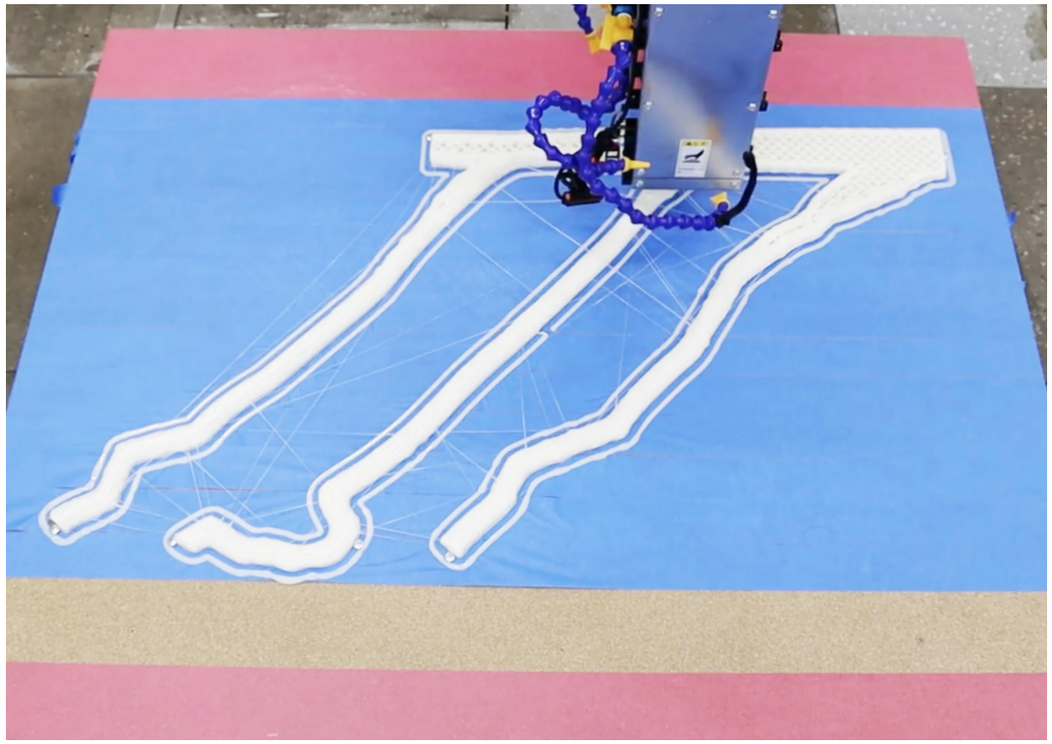
出力物の反り問題

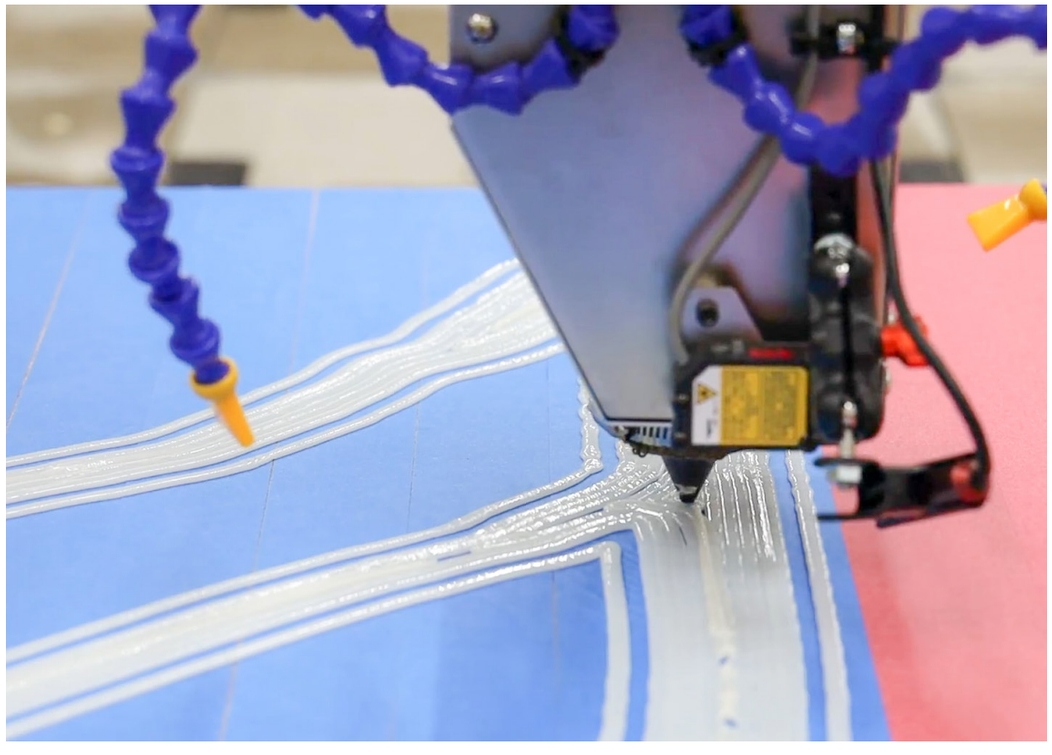
今回の出力物は、大型で比較的厚さが薄いものであるため非常に反りやすい形状をしている。対策として、一層目と印刷面にビスを打ち込むことで、反りによる形状変化を最小限に抑えることを試みた。それでも反りは多少残ってしまったため、出力完了後にヒートガンを使用して形状の矯正を行った。

適切な吐出設定模索

モデリングした通りの形状になるように適切な吐出量の調整を行った。モデリングしたデータをスライスする上で、Simpify3D を用いたが、モデリングデータが複雑な形状をしていることでパスデータが非常に細かくなってしまったことなどが原因で、プリンタヘッドが振動してしまい、造形に影響が及ぶ問題が起きた。振動問題を解決した自作スライサーでスライスしてみたが、糸引きの問題が発生してしまったため、Simplify でスライスしたものを使用することとした。







14

プロトタイプ ver.2 の葉肉の制作

バイオプラスチックでの葉肉の制作

これまで出力してきたものは、全て葉脈部分のみをトレースしたものであった。しかし、葉っぱの特徴である光合成や紅葉のような生態は、葉肉部分が担っている。そこで、私たちは自作したバイオプラスチックを用いて葉肉の制作にチャレンジした。

プロトタイプ ver.2 の制作方法

プロトタイプ ver.2 では、葉っぱを複数のパーツに分解し、葉脈部分を構造、葉肉部分を意匠性・靭性の役割として位置付け、制作を行った。歯肉をやわらかいバイオプラスチックでシート状に造形し、PLA の葉脈で挟み込むことで、これまでの課題であった、質感・強度の改善を目指す。

葉肉の制作

バイオプラスチックでの制作にあたり、液体である素材を流し込む型が必要である。そこで、ArchiFAB MAI を用いて PLA で型枠を制作した。

また、バイオプラスチックが乾きやすく、造形後剥がしやすいよう、土台には帆布を採用し、型枠と組み合わせてバイオプラスチックを流し込んだ。一面に素材を流し込んだ後、固めるために塩化カルシウムを霧吹きで散布し、4 日程度かけて乾燥させる。

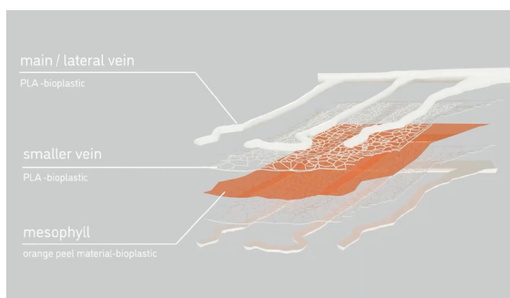
課題と展望

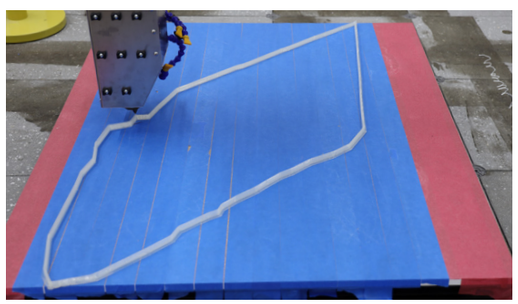
今回制作した葉肉は、自作バイオプラスチックを利用したことで質感や色味が改善された。また、時間変化に伴って変色する箇所があるなど、より自然な表現にもつながった。

一方で、素材を均等に流し込むことができておらず、乾燥が十分でなく、穴が開いてしまった部分も発生した。

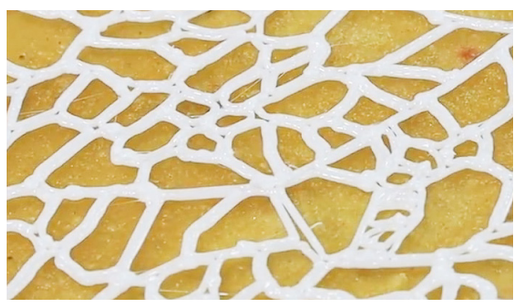
素材の水分比などの見直しも含めて制作環境の整備が課題となった。

バイオプラスチックを使用した葉肉部分





葉肉の型枠



葉肉＋ PLA で出力した細脈

15

プロトタイプ ver.2
和葉

オレンジの皮からなるバイオプラスチックの葉脈が提言する未来への価値

私たちは、プロトタイプ ver.2 の制作を踏まえ、100 年後の都市にもたらす価値を整理し、「和葉」というコンセプトを提案する。

100 年後の未来

今この瞬間も地球温暖化現象は進み続けている。海洋や大気の世界平均温度は上がり続け、北極の氷はとけ、あらゆる場所で水面上昇によって陥没する土地などが観測されている。

100 年後の生活は、今よりももっと温暖化の影響を受けるであろう。過酷な環境の中でも、人間たちは生活を続け、地球上に生きる動生物たちと共存していく必要がある。

未来の都市に共生を促す「和葉」

和という言葉は日本を代表するような言葉でありながら、やわらいださまそのものを示す意味を持ち合わせる言葉でもある。人間と地球と地球に生きる生物と全てがより共に生きることが必要とされる世界で、和葉は未来の都市での新たな共生の形を提示するだろう。

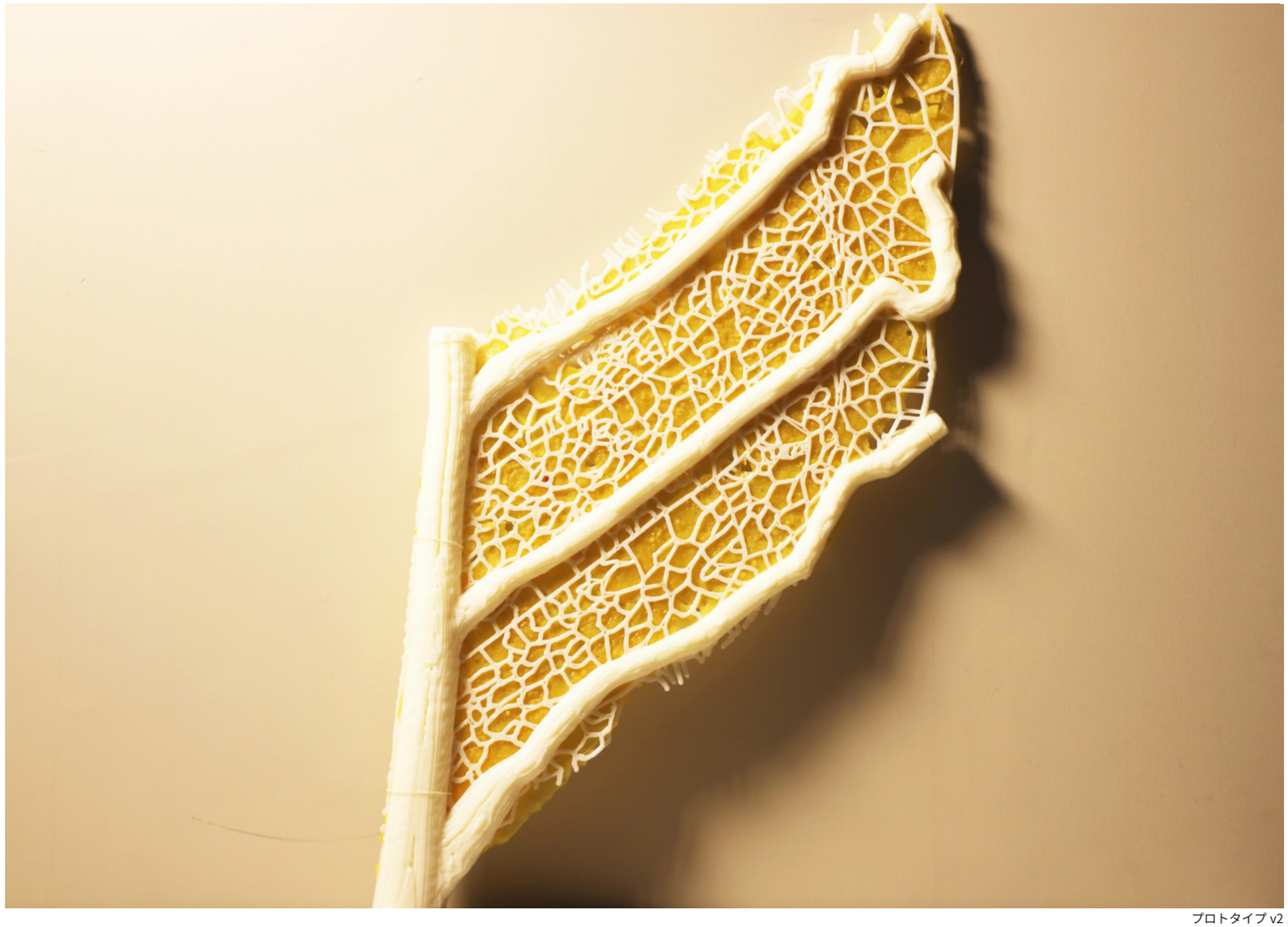
和葉の役割

和葉の葉脈は、人為的に拡大されているため、元来の葉脈の美しさ持ちつつ、コンピューテーショナルに生成された人工葉脈も持ち合わせている。

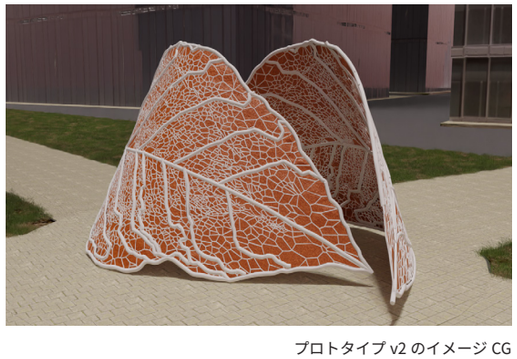
葉脈は異なる太さから成り立ち、オレンジの匂いに集まる鳥や虫にとっての止まり木のような役割を担う。

そんな「和葉」は人間や生物、デジタルやアナログなど、さまざまな境界を和らげる存在といえる。

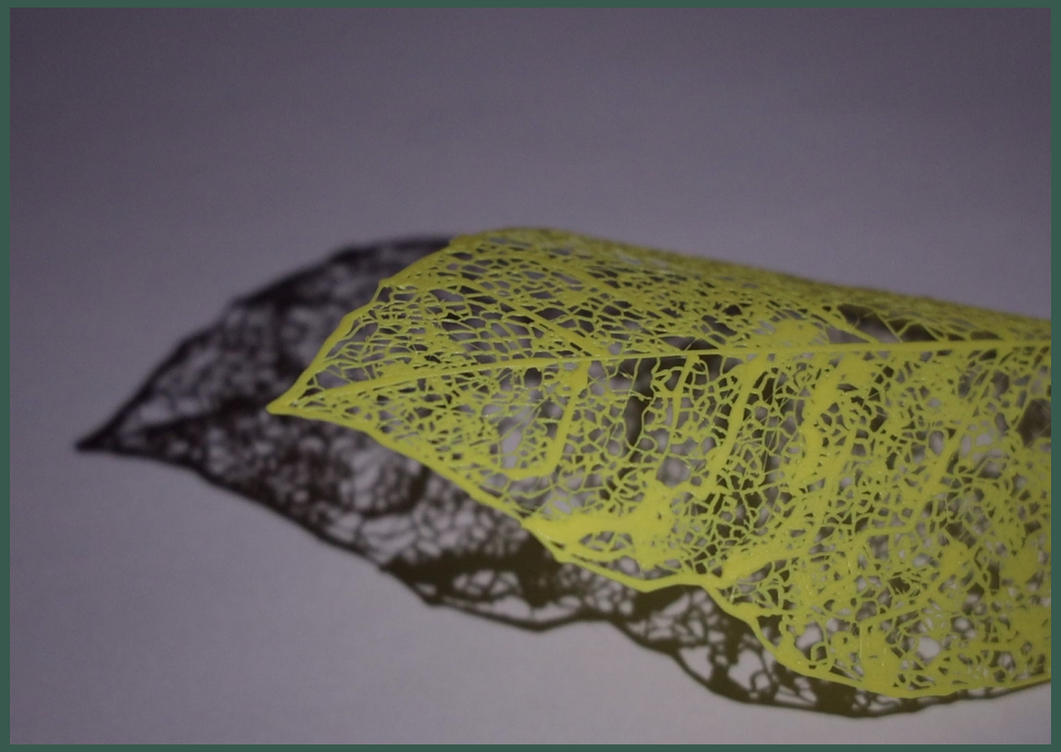
環境の変化に伴って植物の在り方が変わったとしても、和を尊び、和を提言してくれるものになるのではないだろうか。

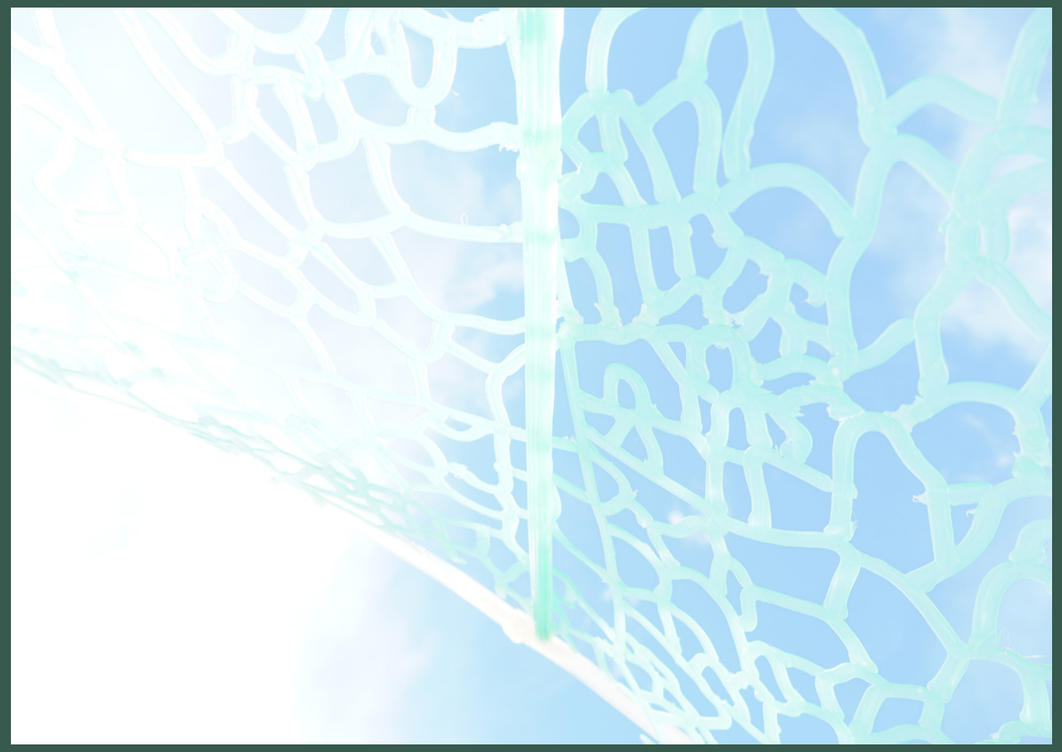


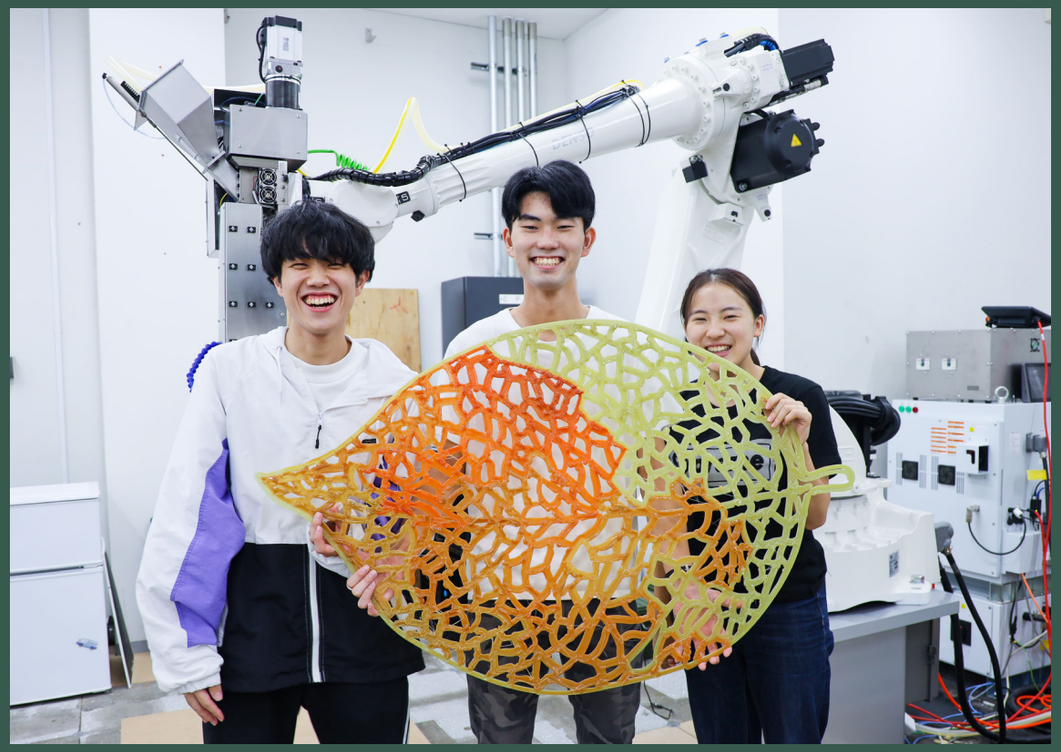
プロトタイプ v2

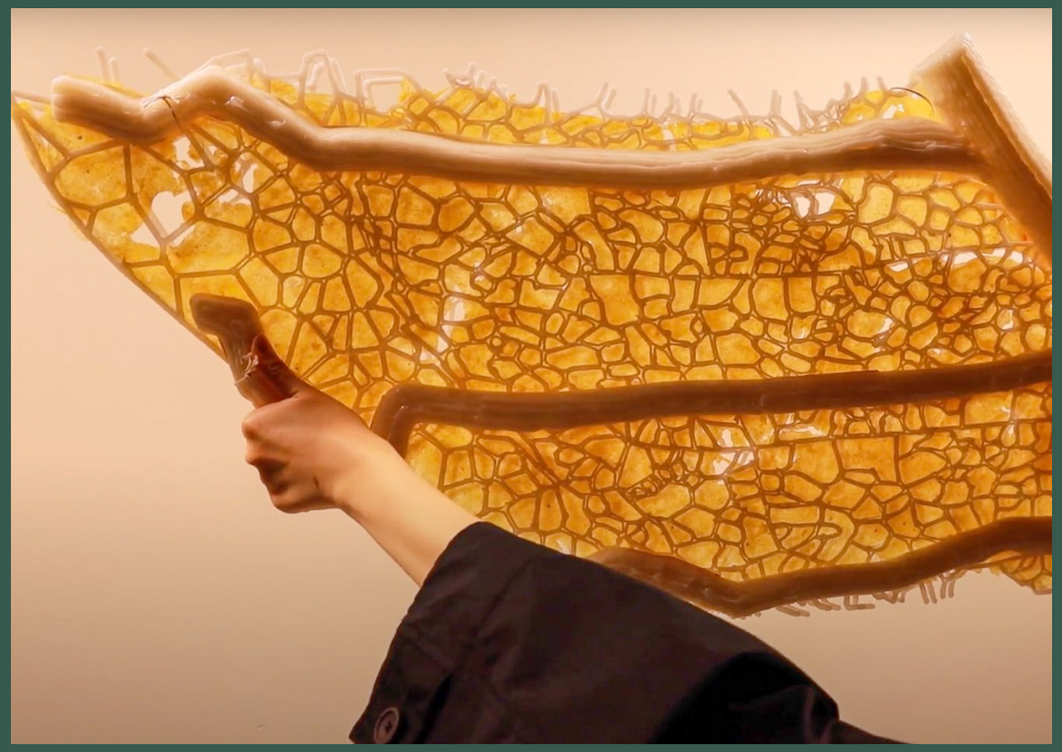


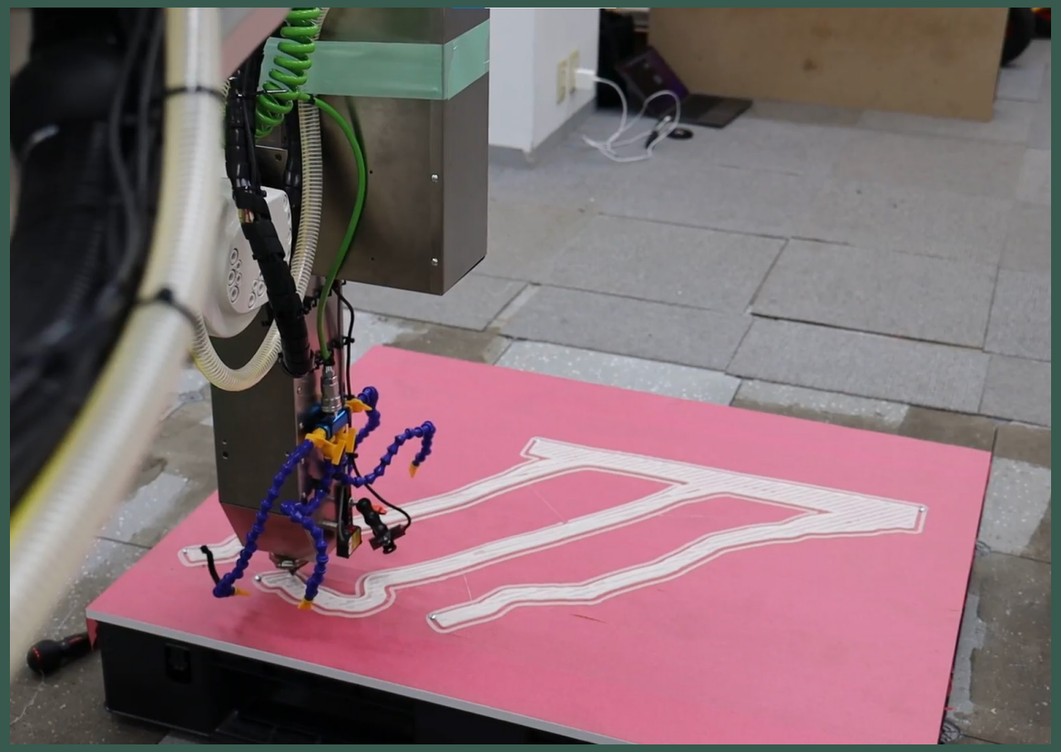
プロトタイプ v2 のイメージ CG

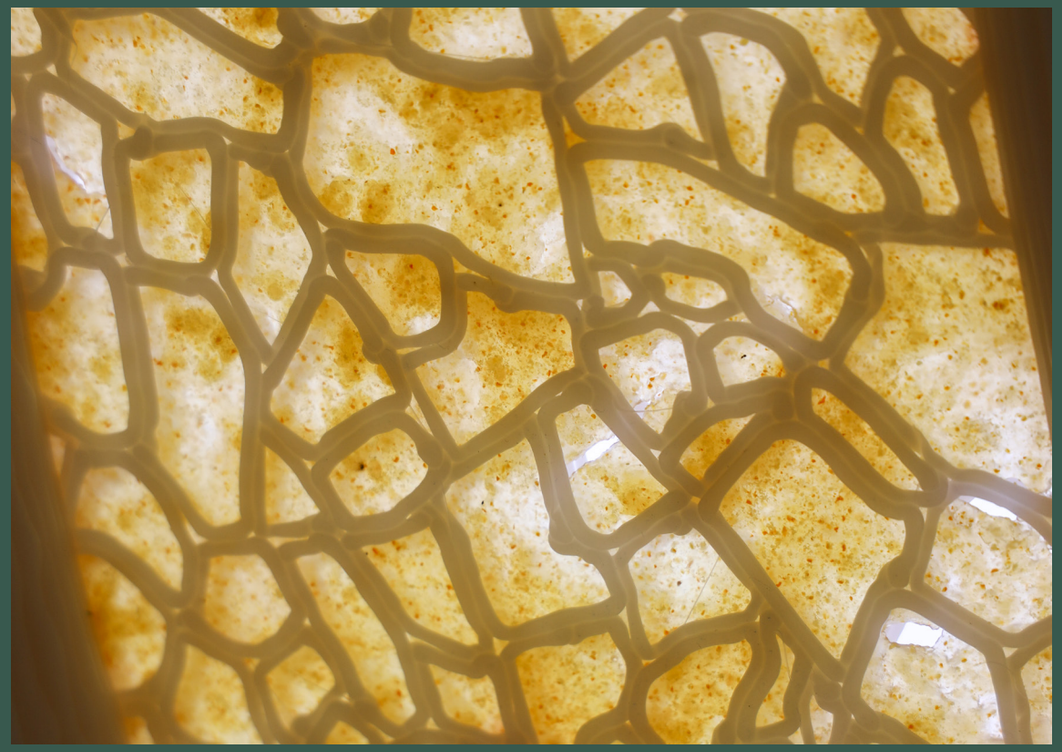












田中浩也研究室　HIROYA TANAKA LABORATORY

紋葉プロジェクト　LEAFPRINT PROJECT

2022 年 4 月 25 日発行

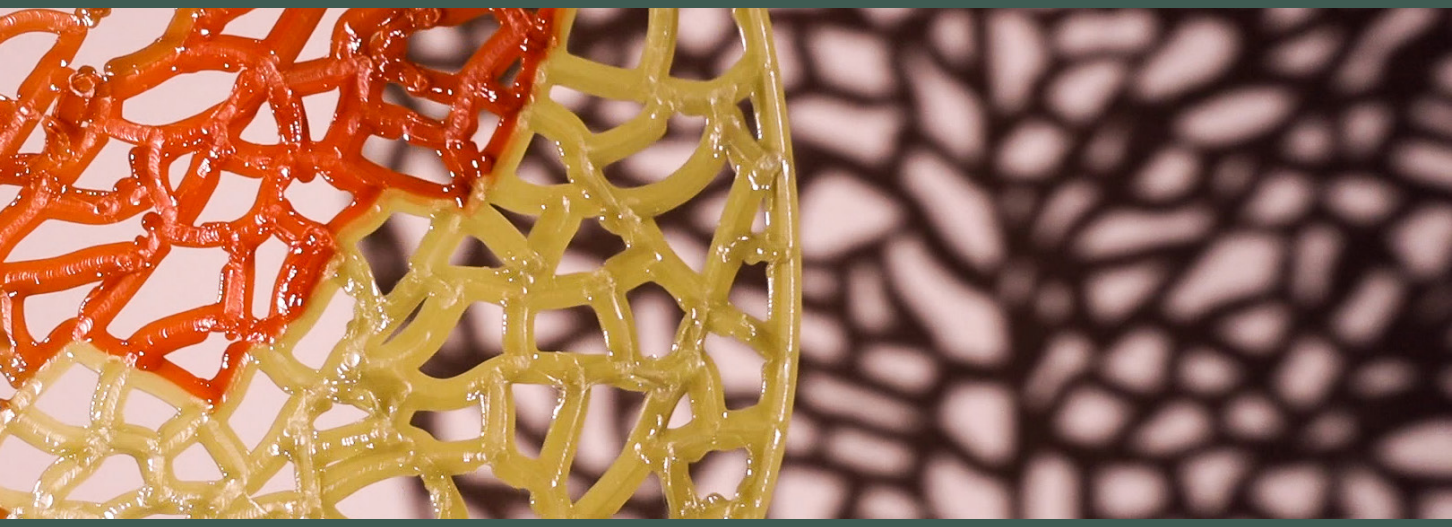
編集 / 撮影 / 画像　坂田拓人

阿部辰海

滑川由記

牧田陽奈子

安宅絢音



4D Fabrication Lab