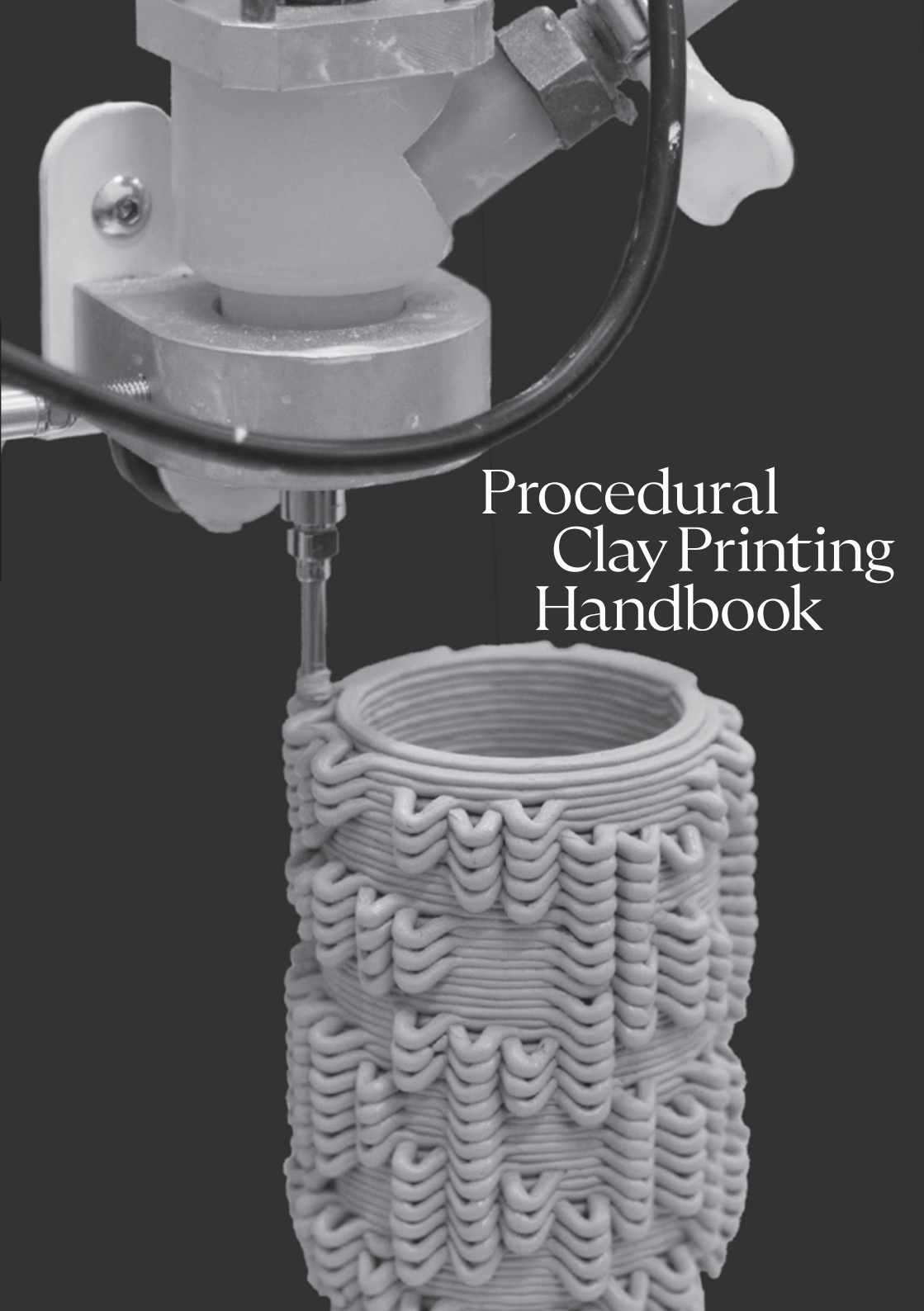


Procedural Clay Printing Handbook

本書は、2024年9月7日–9月23日に全6回にわたり著者により開催されたワークショップ「プロシージャルデザイン×セラミック3Dプリンタ」釉薬と土、そしてお茶とお菓子と私をふりかえるとともに、その中の要素技術をまとめ、初心者・中級者でも使えるレシピとして書き起こしたものである。

まだ日本ではそこまで普及していないこの未開拓な技術は、もしかしたら陶芸の新しい未来を作るものになるかもしれない。

我々の試行錯誤の結果を共有することでその未来を一緒に作っていく同志を広げていきたい。

This book is a summary of the elements of the technology used in the workshop “Procedural Design x Ceramic 3D Printer” held by the author over six sessions from September 7th to 23rd, 2024, and is written as a recipe that can be used by beginners and intermediate users, while also looking back on the glaze, clay, tea, sweets, and me.

This untapped technology, which has yet to become widespread in Japan, may just be the thing that creates a new future for ceramics.

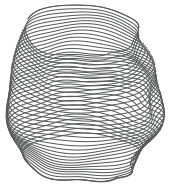
By sharing the results of our trial and error, we hope to expand the number of people who will work with us to create that future.

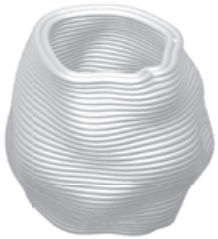
インタビュー動画
ワークショップ
「プロシージャルデザイン×セラミック3Dプリンタ」
——釉薬と土、そしてお茶とお菓子と私
–
Interview Video
Workshop
“Procedural Design×Ceramic 3D Printer
—Glaze and Clay, and Tea, Sweets, and Me”
–

成果発表・講評会
ワークショップ
「プロシージャルデザイン×セラミック3Dプリンタ」
——釉薬と土、そしてお茶とお菓子と私
–
Final pressentation and Review
Workshop
“Procedural Design×Ceramic 3D Printer
—Glaze and Clay, and Tea, Sweets, and Me”
–

主催
京都工芸繊維大学 KYOTO Design Lab
協力
FabCafe Kyoto
–
Organized by
Kyoto Institute of Technology KYOTO Design Lab
Cooperated by
FabCafe Kyoto







```
⋮
G1 X69.6195 Y40.9213 Z0.75 E15.8626 F1200
G1 X69.4173 Y40.4874 Z0.75 E16.7957 F1200
G1 X69.1932 Y40.0643 Z0.75 E17.7288 F1200
G1 X68.9474 Y39.6534 Z0.75 E18.6619 F1200
G1 X68.6816 Y39.2551 Z0.75 E19.595 F1200
G1 X68.3999 Y38.8679 Z0.75 E20.5282 F1200
G1 X68.1005 Y38.4941 Z0.75 E21.4614 F1200
G1 X67.7888 Y38.1306 Z0.75 E22.3946 F1200
⋮
```

Digital Design／デジタルデザイン p.05–26

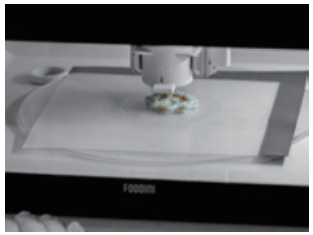


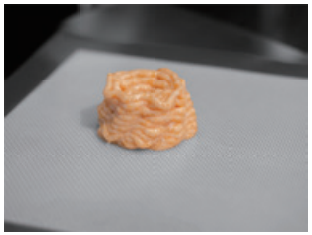




Clay Print／クレイ3Dプリント p.27–40







Food Print／フード3Dプリント p.53–58





Glazing／釉薬 p.41–52



Workshop lecturers／ワークショップ講師陣の紹介 p.04
Comment from the lecturers／講師の感想 p.59–61

ワークショップ講師

石津優子

GEL代表/ジオメトリエンジニア/コンピュテーショナルデザイナー
神戸大学工学部建築学科卒業。同大学大学院進学中にワシントン大学へ交換留学を経て修了。その後、スイス政府奨学生としてETHz ITA MAS CAADを修了。フリーランスとして建築系コンピュテーショナルデザインの経験を積んだ後、リサーチャー兼エンジニアとして大手建設会社設計本部、スタートアップ不動産テックにてBIMデータを活用した業務支援ツール開発に携わる。2021年3月、BIM関連開発をメインとした株式会社GELを設立し、代表取締役に就任。iOSアプリ開発やウェブアプリ、アドイン開発等に従事する。Parametric Design with Grasshopperの共著者。Computational Design with Revit + Dynamoの著者。建築情報学会理事。ArchiFutureWebのコラムニスト。

堀川淳一郎

建築系プログラマー/アルゴリズミックデザイナー
1984年東京生まれ。Columbia University GSAPP AAD修了。幾何学や自然の生態をヒントに、アルゴリズムを利用した様々な形態の生成・研究を長年行っている。現在Youtube上で定期的にアルゴリズミック・デザインに関するチュートリアルライブ配信や動画を上げている。ザ・ワン・ショーや文化庁メディア芸術祭などで受賞。著書に「Parametric Design with Grasshopper」と「Algorithmic Design with Houdini」がある。

井上智博

京都工芸繊維大学 KYOTO Design Lab/ファブラボ北加賀屋
平日は京都工芸繊維大学にて学生にデジタルファブリケーションを教え、週末は、ファブラボ北加賀屋にて市民に対してデジタルファブリケーションを教えている。デジタルファブリケーションを利用したものづくり、ことづくりを主な活動領域としており、メイカーズムーブメントを一過性の運動にしないために、それを推進していくような動きを展開している。

諏訪蘇山(四代)

陶芸家
2002年、四代諏訪蘇山を襲名。各地にて諏訪蘇山展を開催。
初代諏訪蘇山は1851年加賀藩士の家に生まれ、明治維新後 金沢で陶画を学び、焼き物の道に入る。
1907年蘇山青磁を完成させ、1917年に帝室技芸員を拝命。姪の虎子が二代を継ぎ、その甥の修が三代を継ぐ。主に茶道具・青磁の作品を制作。

潮桂子

京都市産業技術研究所/京都精華大学
2016年日本伝統工芸近畿展入選(’17、’19、’21入選)現在、京都にて釉裏紅の技法を中心に、個展・企画展等を開催。また釉薬ワークショップや、須恵器の再現プロジェクト等で釉薬を担当。

Workshop lecturers

Yuko Ishizu

GEL Representative / Geometry Engineer
Computational Designer
Graduated from Kobe University, Faculty of Engineering, Department of Architecture. She completed an exchange program at the University of Washington during her graduate studies at Kobe University. Later, she completed her studies at ETHz ITA MAS CAAD as a Swiss government scholarship student. In March 2021, he founded GEL Inc. Co-author of Parametric Design with Grasshopper and author of Computational Design with Revit+Dynamo. He is a board member of the Architectural Institute of Japan and a columnist for ArchiFutureWeb.

Junichiro Horikawa

Architectural programmer / algorithmic designer
Born in Tokyo, Japan in 1984, Junichiro Horikawa is a graduate of Columbia University GSAPP AAD. He has been generating and researching various forms using algorithms inspired by geometry and natural ecology for many years. Currently he regularly uploads live tutorials and videos on algorithmic design on Youtube. He has received awards from The One Show and Japan Media Arts Festival. He is the author of “Parametric Design with Grasshopper” and “Algorithmic Design with Houdini”.

Tomohiro Inoue

Kyoto Institute of Technology
KYOTO Design Lab / Fab Lab Kitakagaya
Inoue teaches digital fabrication to students at Kyoto Institute of Technology on weekdays and to citizens at FabLab Kitakagaya on weekends. His main area of activity is making things and creating things using digital fabrication, and he is developing a movement to promote the makers' movement so that it will not be a transient movement.

Suwa Sozan

Ceramic artist
Suwa Sozan IV assumed the name Suwa Sozan in 2002. Suwa Sozan exhibitions are held in various locations.
After the Meiji Restoration, he studied ceramics in Kanazawa and started his career as a potter.
In 1907, he completed Suwa Sozan celadon porcelain, and in 1917, he was appointed as a member of the Imperial Household Artists. His niece Torako succeeded him as the second generation, and his nephew Osamu succeeded him as the third generation. He mainly produces tea ceremony utensils and celadon porcelain.

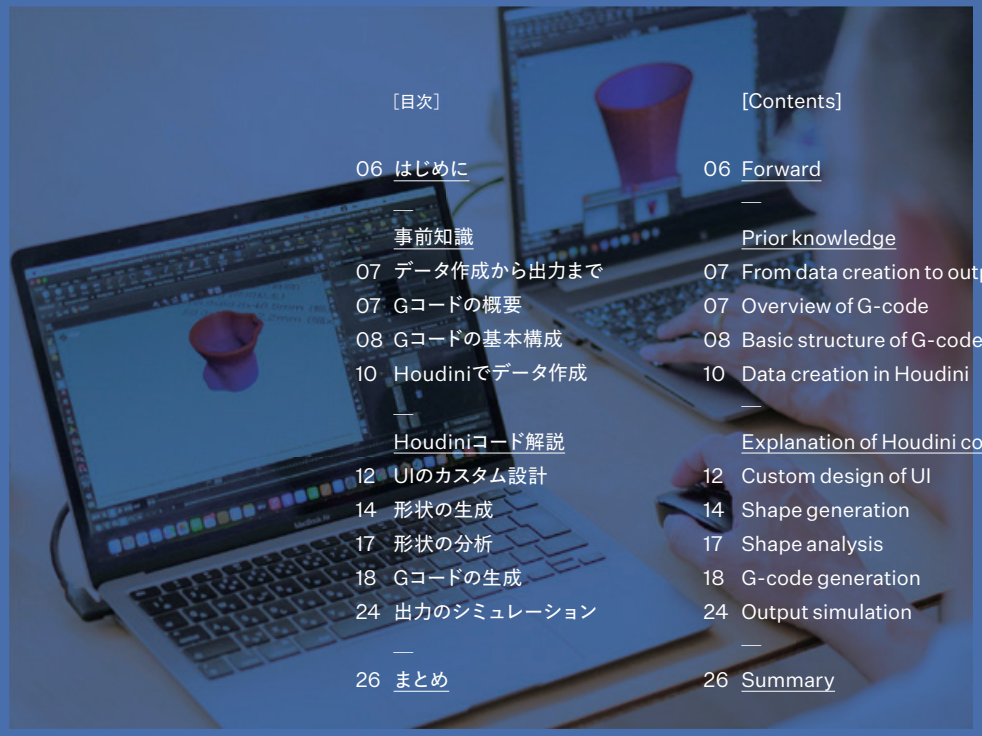
Keiko Ushio

Kyoto Municipal Institute of Industrial Technology and Culture
Kyoto Seika University
Selected for the 2016 Japan Traditional Crafts Kinki Exhibition ('17, '19, '21) Currently holds solo exhibitions and special exhibitions in Kyoto, focusing on the technique of glazed underglaze red. She also conducts glaze workshops and glazes for the Sue ware reproduction project.

Digital Design

［著者］
石津 優子
GEL代表
ジオメトリエンジニア
コンピュテーショナルデザイナー

[Author]
Yuko Ishizu
GEL Representative
Geometry Engineer
Computational Designer



［目次］

06 はじめに
—
事前知識
07 データ作成から出力まで
07 Gコードの概要
08 Gコードの基本構成
10 Houdiniでデータ作成
—
Houdiniコード解説
12 UIのカスタム設計
14 形状の生成
17 形状の分析
18 Gコードの生成
24 出力のシミュレーション
—
26 まとめ

[Contents]

06 Forward
—
Prior knowledge
07 From data creation to output
07 Overview of G-code
08 Basic structure of G-code
10 Data creation in Houdini
—
Explanation of Houdini code
12 Custom design of UI
14 Shape generation
17 Shape analysis
18 G-code generation
24 Output simulation
—
26 Summary

はじめに

本ワークショップは、デジタルデザインに触れたことがない初学者の方でも気軽にプロシージャルデザインを体験できる内容です。セラミック3Dプリンタで出力可能なデータを作成しながら、プロシージャルデザインの魅力を実感していただくことを目的に企画しました。

近年、3Dプリント技術の進化により多様なソフトウェアが登場する中、私たちはHoudiniを採用しました。HoudiniはVFX分野で広く利用されているソフトウェアですが、そのプロシージャルモデリングと高度なデータ処理能力を活かし、以下のような一連の機能を本ワークショップのHoudiniコードで実現しています。

1. UIのカスタム設計

ユーザーがパラメータや画像インプットなどを調整しやすいUIの設定します。

2. 形状の生成

茶器のデザインをパラメトリックにでざいんできます。ユーザーがパラメータや画像インプットなどを調整すると、リアルタイムに多彩な形状が生成されます。

3. 形状の分析

生成された形状から、オーバーハング、土の量、出力時間等を解析し、最適なデザインの調整を可能にします。

4. Gコードの出力

セラミック3Dプリンタ用のデータとして、3Dプリンタの種類やノズル径などを入力し、適切なGコードを直接出力します。

さらに、初心者の方でも直感的に操作できるようシンプルなUIを設計。パラメータ操作による即時の形状変化で、ストレスなくプロシージャルデザインの魅力を体験いただける工夫を凝らしました。本ワークショップでは、こうしたHoudiniの強みとその活用法についても詳しく解説します。

Forward

This workshop is designed to provide a casual experience of procedural design even for beginners who have never touched digital design before. The workshop is designed to have participants experience the appeal of procedural design while creating data that can be output with a ceramic 3D printer.

While a variety of 3d modeling software has appeared in recent years due to the evolution of 3D printing technology, we have chosen Houdini, a software widely used in the VFX and gaming field, to utilize its procedural modeling and advanced data processing capabilities to provide a series of functions in this workshop, including the following functions written in Houdini in this workshop.

1. Custom UI design

Set up a UI that allows users to easily adjust parameters, image input, etc.

2. Shape generation

Parametric design of teaware. As the user adjusts parameters, image inputs, etc., a variety of shapes are generated in real time.

3. Shape Analysis

Analyze overhangs, soil volume, output time, etc. from the generated shapes for optimal design adjustments.

4. G-code output

Input the type of 3D printer, nozzle diameter, etc. as data for a ceramic 3D printer and directly output the appropriate G-code.

In addition, a simple UI is designed for intuitive operation even by novice users. The user can instantly change the shape of the object by manipulating parameters, allowing the user to experience the appeal of procedural design without stress. In this workshop, we will explain in detail the strengths of Houdini and how to utilize them.

事前知識

本ワークショップでデータ作成の過程を理解するための前提知識を解説します。

データ作成から出力まで

一般的に、3Dプリント用データの作成から出力までのプロセスは、以下の3つのステップに分かれます。

1. 3Dモデルの作成

まず、目的に応じた3Dモデルを作成します。

2. Gコードの生成

次に、スライサーと呼ばれる専用ソフトウェアを用いて、作成した3Dモデルをスライスし、プリントに必要なGコードを生成します。

3. 出力

最後に、生成されたGコードを3Dプリンタに読み込ませ、実際に出力を行います。

今回のワークショップでは、あえてスライサーを介さず、Houdiniから直接Gコードを出力することで、3Dプリンタの制御と表現の幅を広げる新たなアプローチに挑戦します。これにより、従来にはなかった柔軟で革新的な3Dプリント体験を提供することを目指しています。

Gコードの概要

Gコードとは、3DプリンターやCNC（コンピュータ数値制御）機械などが動作するための命令を記述したプログラムコードです。Gコードは、機械の動作を制御するための一連の指示を与える言語で、特にプリントヘッドや工具の位置、速度、動作の順序、材料の供給量などを細かく指定します。

Prior knowledge

We will explain the prerequisite knowledge needed to understand the data creation process in this workshop.

From data creation to output

Generally, the process from creating to outputting data for 3D printing is divided into the following three steps.

1. Creating a 3D model

First, create a 3D model that suits your purpose.

2. Generating G-code

Next, use specialized software called a “slicer” to slice the created 3D model and generate the G-code necessary for printing.

3. 3D Printing

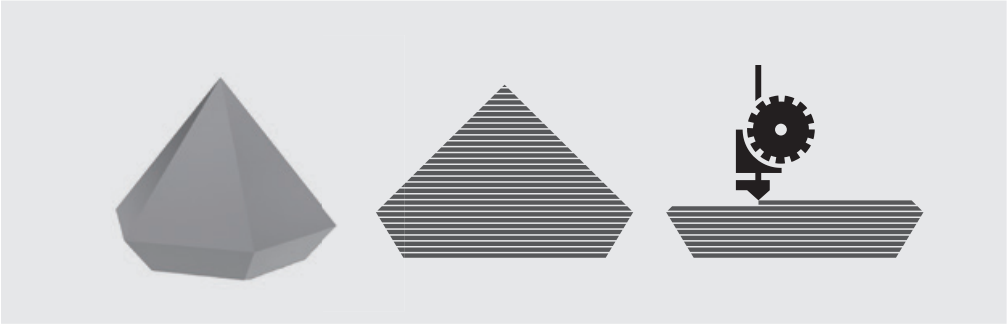
Finally, the generated G-code is loaded into the 3D printer and the actual output is performed.

In this workshop, we will take on the challenge of a new approach to expanding the range of 3D printer control and expression by outputting G-code directly from Houdini without going through a slicer. By doing this, we aim to provide a flexible and innovative 3D printing experience that has not been possible before.

Overview of G-code

G-code is a program code that describes the instructions for operating 3D printers and CNC (computer numerical control) machines. G-code is a language that gives a series of instructions for controlling the operation of a machine, and in particular specifies in detail the position, speed,

Reference: 3D printing process flows from (left to right) a CAD model, Slicing and 3D printing/Source: Ultimaker



今回のワークショップで使用するのはセラミック3Dプリンタで、以下のような要素がGコードの主要な内容となります。

初期設定

各プリンタ固有の初期設定（例：ノズル温度、プリントベッドの状態など）を定義します。

出力時の指令

プリントヘッドの移動経路、押出量、プリント速度など、実際の出力時に必要な命令が含まれます。

終了設定

プリント完了時の処理（例：プリンタのリセットなど）を定義します。

なお、各3Dプリンタごとに固有の初期設定と終了設定は異なるものの、出力中の命令については共通の仕様を適用できる点が特徴です。

Gコードの基本構成

Gコードは、特定の機能や動作を指定するための命令が含まれています。以下はGコードの主な命令例です。

移動コマンド

- **G0（Rapid Move）**：位置決めのための高速移動を指示します。通常、材料を押出さずにノズルを指定の位置まで動かします。

order of operation, and amount of material supplied to the print head and tools.

The ceramic 3D printer used in this workshop has the following elements as the main content of G-code.

Initial settings

Defines the initial settings specific to each printer (e.g. nozzle temperature, print bed status, etc.).

Commands for output

Includes the commands required for actual output, such as the print head's movement path, extrusion amount, print speed, etc.

End settings

Defines the processing to be performed when printing is complete (e.g. resetting the printer, etc.).

Although the initial and end settings for each 3D printer are different, the commands used during printing can be applied to all printers.

Basic structure of G-code

G-code contains commands that specify specific functions and operations. The following are examples of the main G-code commands.

Move commands

- **G0 (Rapid Move)**: This command specifies high-speed movement for positioning. Normally, it

Gコードの例／Example of G-code

Start Code［プリンタのオン設定/Printer on setting］

G28
ホーム位置に移動
Move to home position
—
M104 S200
ノズル温度を200℃に設定
Set nozzle temperature to 200℃
—
M140 S60
ベッド温度を60° Cに設定
Set bed temperature to 60° C
—
M190 S60
ベッド温度が設定値に達するまで待機
Wait until bed temperature reaches set value
—
M109 S200
ノズル温度が設定値に達するまで待機
Wait until nozzle temperature reaches set value
—
G92 E0
押出量のカウンタをリセット
Reset extrusion amount counter
—
G1 Z0.2 F3000
Z軸を0.2mmに設定（初期レイヤー高さ）
Set Z-axis to 0.2mm (initial layer height)
—
G1 X0 Y0 F1500
X, Y位置を原点に移動
Move X, Y position to origin
—
G1E10 F140
フィラメントを少し押し出して準備
Extrude filament slightly to prepare
—
G92 E0
押出量のカウンタをリセット
Reset extrusion amount counter
—
G1F1500
プリント開始速度に設定
Set to print start speed

Middle Code［造形/Printing］

G1 X147.53 Y108.29 Z0.75 E243.565 F1200
—
G1 X147.612 Y107.818 Z0.75 E244.5 F1200
—
G1 X147.691 Y107.345 Z0.75 E245.434 F1200
—
G1 X147.758 Y106.87 Z0.75 E246.369 F1200
—
G1 X147.824 Y106.395 Z0.75 E247.303 F1200

End Code［プリンタのオフ設定/Printer off setting］

G1 F1500 E-3
フィラメントを少し引き戻す
pull the filament back a little
—
G1Z+0.5 E-5 X-20 Y-20 F3000
ノズルを離れた位置に移動
move the nozzle to a position away from the nozzle
—
M104 S0
ノズル温度をオフに設定
set the nozzle temperature to off
—
M140 S0
ベッド温度をオフに設定
set the bed temperature to off
—
G28 X0 Y0
XとY軸をホームに戻す
return the X and Y axes to home
—
M84
ステッパーモーターを無効化
disable the stepper motor

- **G1（Linear Move）**：材料を押出しながらノズルを直線的に動かす指示です。これがプリントや切削を行う際の主なコマンドです。
- ［例］G1 X10 Y10 Z0.3 F1500：ノズルをX=10、Y=10、Z=0.3の位置に、速度1500mm/minで移動しながらプリントする。

押出の制御

- **E値（Extrusion）**：押出機からzx出す材料の量を制御します。通常、G1コマンドと組み合わせて使用されます。
- ［例］G1 X10 Y10 Z0.3 E1.5：ノズルを指定の位置に移動しながら、1.5mm³の材料を押出します。

移動速度の制御

- **F値（Feed Rate）**：ノズルの移動速度を制御するパラメータです。セラミックプリントでは、ノズル径や粘土の硬さに応じて、速度を800–1500 mm/minで調整します。
- ［例］G1 X10 Y10 Z0.3 E1.5 F1200：ノズルが指定位置に、1200mm/minの速度で移動します。

moves the nozzle to the specified position without extruding material.

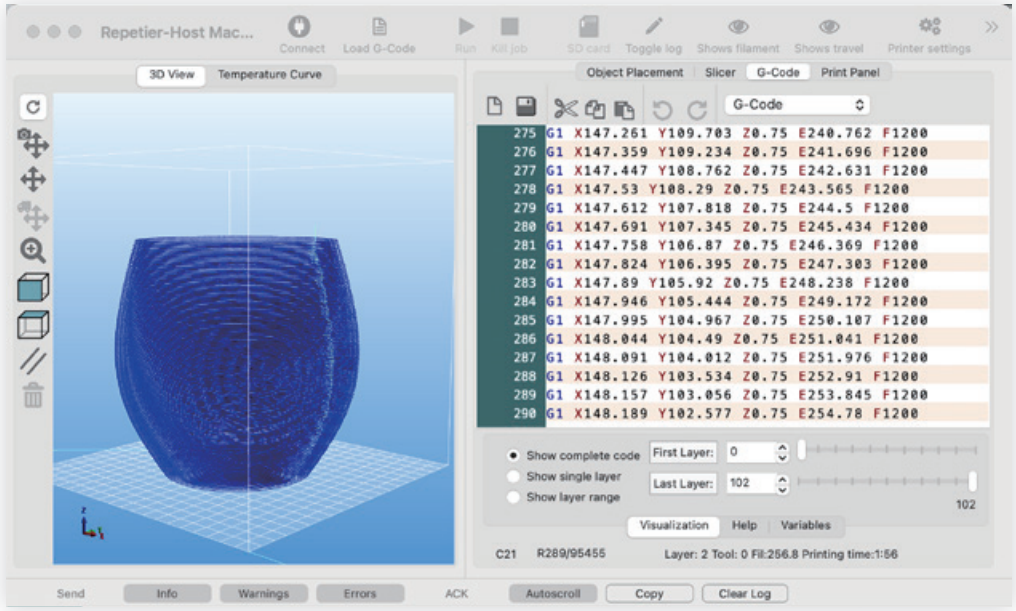
- **G1 (Linear Move)**: This is a command that moves the nozzle in a straight line while extruding material. This is the main command used for printing and cutting.
- Example: G1 X10 Y10 Z0.3 F1500
  Prints while moving the nozzle to the position X=10, Y=10, Z=0.3 at a speed of 1500mm/min.

Extrusion control

- **E value (Extrusion)**: This controls the amount of material extruded from the extruder. It is usually used in combination with the G1 command.
- Example: G1 X10 Y10 Z0.3 E1.5 Extrude 1.5 mm³ of material while moving the nozzle to the specified position.

Control of movement speed

- **F value (Feed Rate)**: This is a parameter that controls the speed at which the nozzle moves. In ceramic printing, the speed is adjusted between 800 and 1500 mm/min, depending on the nozzle diameter and the hardness of the clay.
- Example: G1 X10 Y10 Z0.3 E1.5 F1200 The nozzle moves to the specified position at a speed of 1200 mm/min.



Houdiniでデータ作成

Houdiniは、プロシージャルなアプローチでモデリングやデータ処理を行える点が大きな魅力です。以下に、Houdiniならではの特徴をいくつか挙げてみます。

–

1. ノードベースのワークフロー

Houdiniでは、すべての操作がノードとして視覚的に表現されます。Rhino/GrasshopperやRevitDynamoの場合、ビジュアルプログラミング上のジオメトリはソフトウェア上のジオメトリとは別物で、両者のデータのやり取りや「焼き込み」などの操作が必要ですが、Houdiniでは、ノードを設置した地点でその時点のジオメトリが生成され、すべてがプロシージャルに記録されます。

- **柔軟な改変と非破壊編集**

一度設定したパラメータやノードの組み合わせを、後からでも簡単に変更できるため、設計途中のフィードバックや試行錯誤が容易です。また、元のデータを保持しながら修正できる非破壊編集が可能なため、安心して作業を進められます。

–

2. 大きなサイズのデータへの対応

複雑な形状や大きなサイズのデータ、特にセラミックプリント用のデータのように出力した粘土を描写したり、パスを作成するには変効果的です。

- **リアルタイムなパラメータ変更**

スライダーや曲線グラフを操作することで、モデルの形状

Creating data in Houdini

Houdini is a very attractive program because it allows you to model and process data using a procedural approach. Below, we will look at some of the features that make Houdini unique.

–

1. Node-based workflow

In Houdini, all operations are visually represented as nodes. In the case of Rhino/Grasshopper and RevitDynamo, the geometry in visual programming is separate from the geometry in the software, and it is necessary to exchange data between the two and perform operations such as “baking”, but in Houdini, the geometry at that point is generated when the node is placed, and everything is recorded procedurally.

- **Flexible modification and non-destructive editing**

Once you have set the parameters and node combinations, you can easily change them later, making it easy to get feedback and try things out during the design process. You can also modify the data while retaining the original data, so you can work with peace of mind.

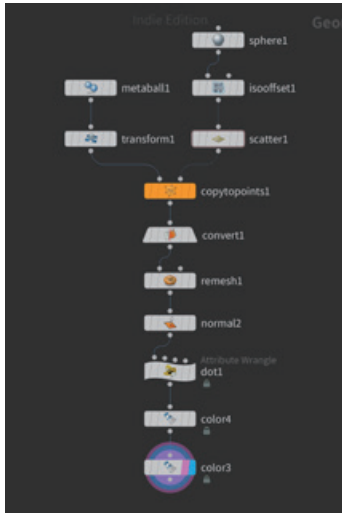
–

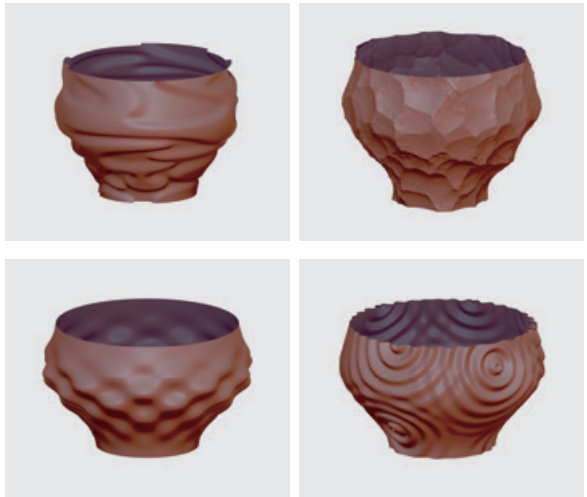
2. Support for large-sized data

It is effective for complex shapes and large-sized data, especially for data for ceramic printing, which depicts the output clay and creates paths.

- **Real-time parameter changes**

By manipulating sliders and curve graphs, you can





が即座に変化し、視覚的なフィードバックが得られます。従来のツールでは大きなデータセットの更新に時間がかかることがありますが、Houdiniなら効率的に処理できます。

–

3. アトリビュートによるデータ管理

Houdiniには「アトリビュート」という概念があります。その他の多くのビジュアルプログラミングは、ジオメトリとデータを別々に扱い、リスト操作によって情報を組み合わせるのが特徴ですが、4種類のジオメトリそれぞれに属性を加えていくことができます。

GeometrySpreadSheetから、アトリビュートを確認できます。

- **多段階の情報管理**

Point、Vertex、Primitive、Detailの4種類で情報を保持できるため、各要素に対して細かなデータ操作が可能です。

- **VEX**

アトリビュートを元に、VEXを用いて並列処理で形状を生成することができ、独自のカスタム処理や自動化が実現できます。

instantly change the shape of the model and get visual feedback. With conventional tools, updating large data sets can take a long time, but Houdini can handle this efficiently.

–

3. Data management using attributes

Houdini has a concept called “attributes”. While many other visual programming systems handle geometry and data separately, combining information through list manipulation, Houdini allows you to add attributes to each of the four types of geometry.

You can check the attributes from the GeometrySpreadSheet.

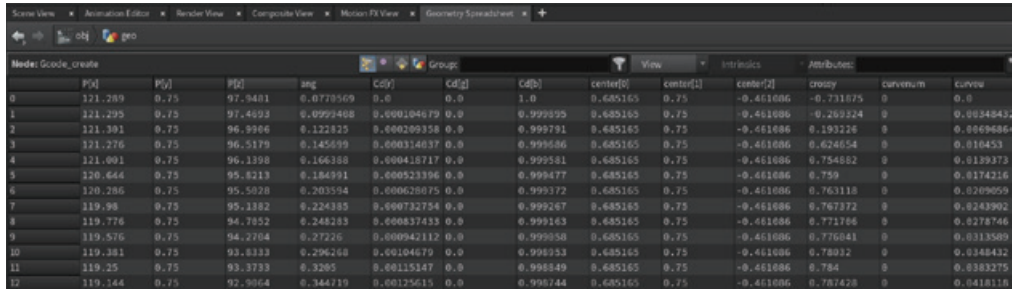
- **Multi-level information management**

Because you can hold information in four types (Point, Vertex, Primitive, Detail), you can perform detailed data manipulation for each element.

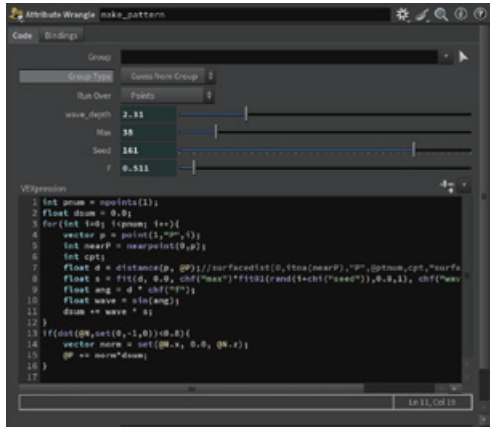
- **VEX**

Using VEX, based on the attributes, it is possible to generate shapes using parallel processing, and it is possible to realize unique custom processing and automation.

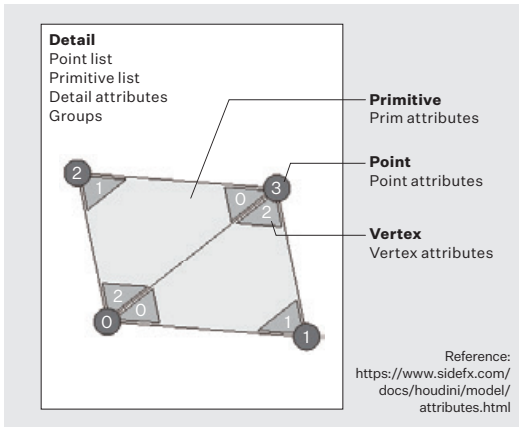
Geometry Spread Sheet



VEX



Attribute in Houdini



Houdiniコード解説

実際にWSで使用したHoudiniコードの大事なポイントをまとめていきます。

Houdini Code Explanation

We will summarize the important points of the Houdini code used in the WS.

STEP 1

UIのカスタム設計

1つのNull Nodeに Parameterをまとめて、ユーザーはこのノードだけを設定すれば形の検討からGコードの生成までを行えるように設定しています。

予め設定しておいたパターンに対して、フォルダをつくり、patternの設定数値に応じて、パターンに必要なパラメータのみを表示することで、迷わず設定することを工夫しました。

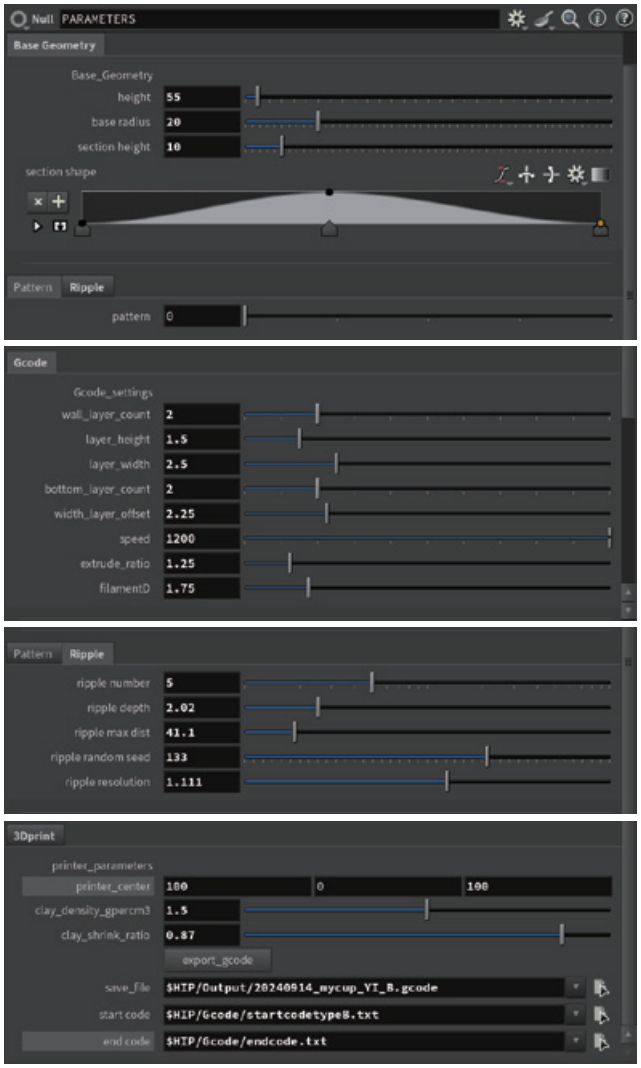
Custom Design of the UI

We have set up the system so that users can go from shape study to G-code generation by setting only this node.

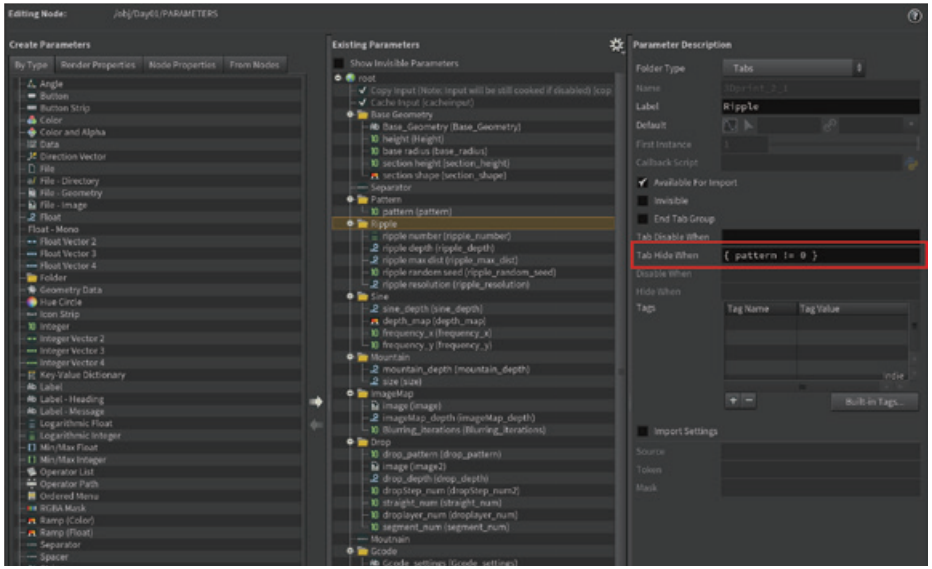
We have created a folder for the pre-set patterns, and have devised a way to display only the parameters required for the pattern, according to the numerical values set for the pattern, so that you can set them without hesitation.

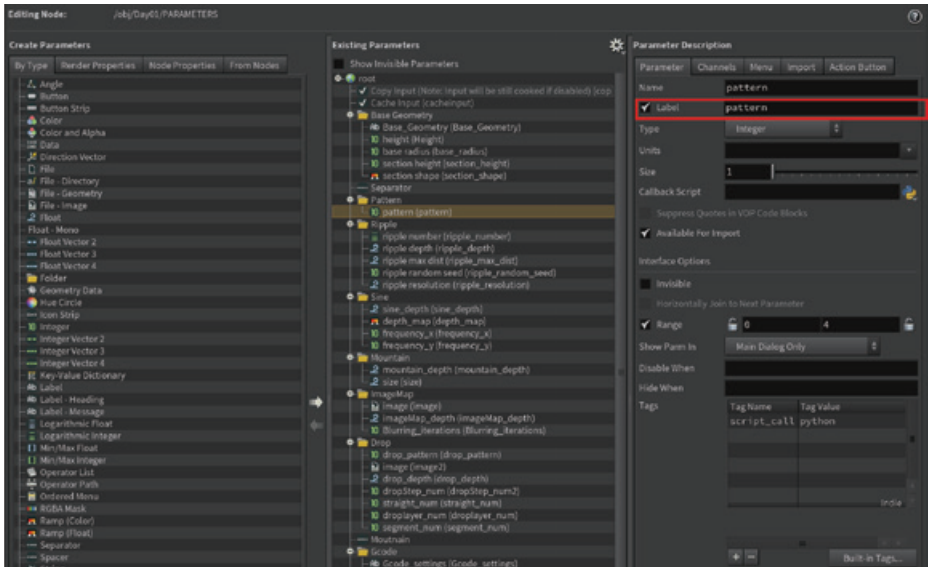


Null ノード/Null node



Nullノードのパラメーターエディタ/Null Node Parameter Editor



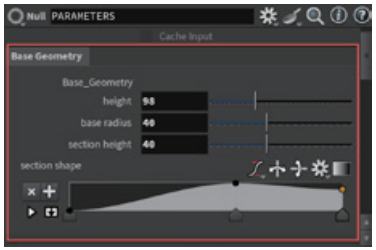
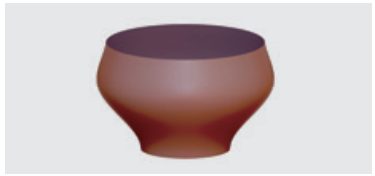
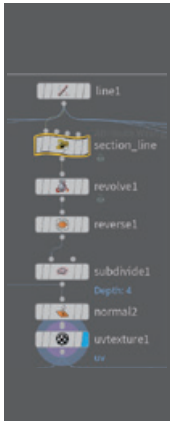
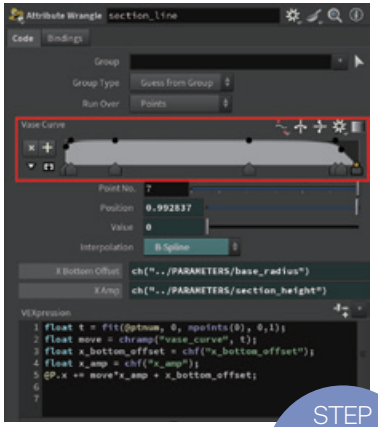


Edit Parameter Interface window of Null node (UI for Workshop)

ベース形状の設定とパターンの設定
スライダーを用いて、高さ、幅（半径）、断面形状の高さを設定し、曲線グラフ（ramp paramter (float)）を用いて、回転体の形状をデザインします。

—

Base shape settings and pattern settings.
Use the sliders to set the height, width (radius), and height of the cross-sectional shape, and use the curved graph (ramp parameter (float)) to design the shape of the solid body.

STEP 2

形状の生成

ベースをつくる

断面形状を曲線グラフから定義し、最終成果物のベースとなる形状を生成します。

サーフェスパターン

ベースのサーフェスにテクスチャや質感などの立体模様のパターンをつくります。今回は以下の5つのパターンをつくりました。

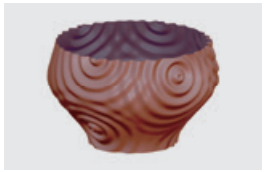
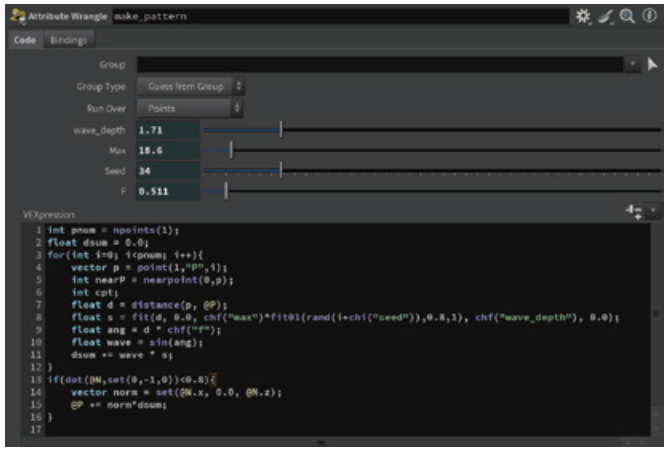
Generating the shape

Creating the base

The cross-sectional shape is defined using a curve graph to generate the shape that will form the base of the final product.

Surface pattern

A pattern of three-dimensional patterns such as textures and textures is created on the surface of the base. In this case, five patterns were created as follows.

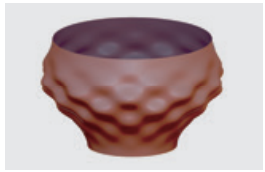
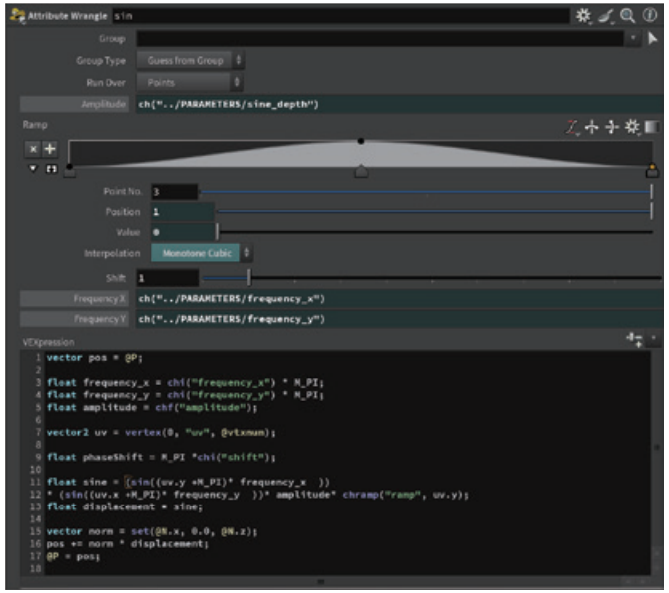



1. Rippleパターン

ランダムな点を置いて、点からサーフェス上の点の距離をとり、その距離に対してSinをつけることで、波のようなパターンをつけます。

1. Ripple pattern

By placing random points and taking the distance from the points to the surface points, and then applying a sine to that distance, a wave-like pattern is created.

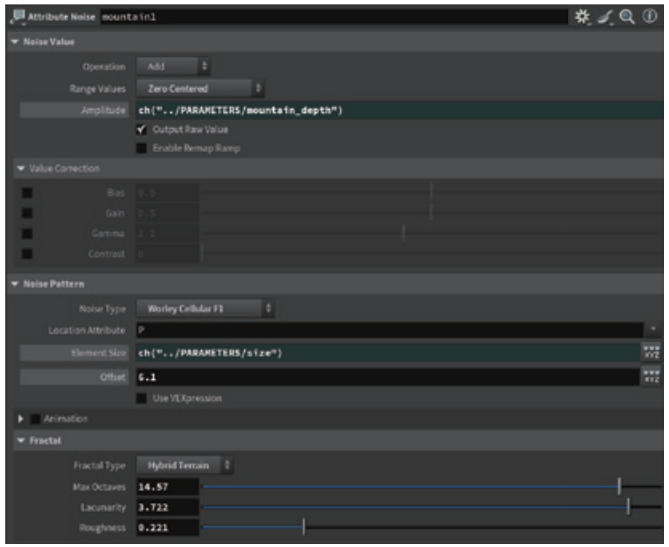



2. Sinパターン

Sinのパターンとグラデーションをつけて、波のパターンの強弱や細かさを調整しながらパターンをつくります。

2. Sin Pattern

A sine pattern and gradient are applied to create a pattern while adjusting the strength and detail of the wave pattern.

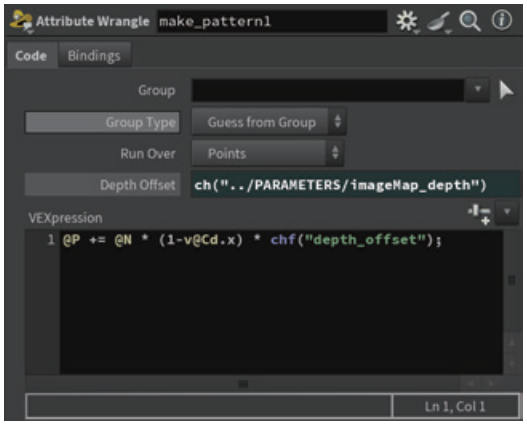



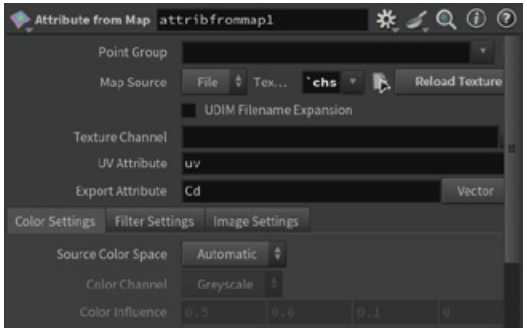
3.Mountainパターン

Mountainを使って、地形のようなパターンをつけます。パターンの種類や細かさを調整します。

3. Mountain Pattern

A pattern like a topographical map is created using Mountain. The type and detail of the pattern are adjusted.





4. Imageパターン

白黒のパターンのイメージからサーフェスにアトリビュートをつけます。Cd（色）の数値からパターンをつくります。奥行きの出方は、Attribute Blurで色にブラーをかけることで、輪郭線を調整できます。

4. Image Pattern

Attributes are added to the surface from a black and white pattern image. The pattern is created from the Cd (color) value. The depth can be adjusted by applying blur to the color using Attribute Blur.

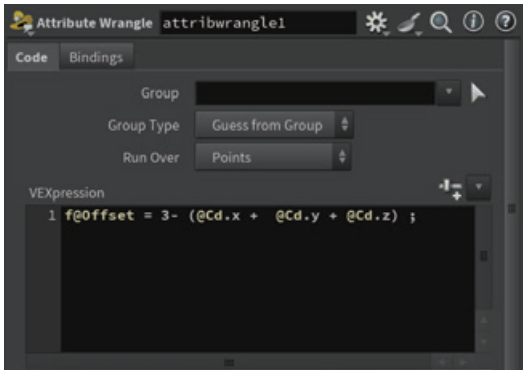


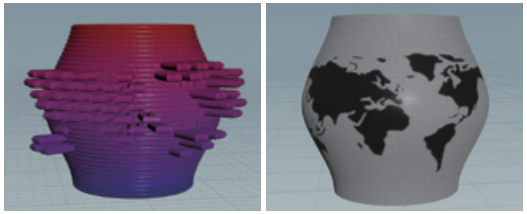
5. Image+Dropパターン

白黒のパターンのイメージからサーフェスにアトリビュートをつけます。Cd（色）の数値からパターンをつくります。黒の部分にDropをつけます。Offsetというアトリビュートをつくり、後からDropの際に使います。

5. Image + Drop Pattern

Attributes are added to the surface from the black and white pattern image. The pattern is created from the Cd (color) value. Drop is added to the black areas. An Offset attribute is created and used when Drop is applied later.





STEP 3

形状の分析

角度の計算

サーフェスの角度を計算して、出力時に垂れる可能性がある部分を確認します。

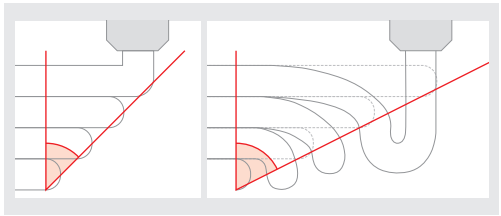
ベース形状のサーフェスにY軸から各Primitiveの面の法線との角度を計算します。

Shape Analysis

Angle Calculation

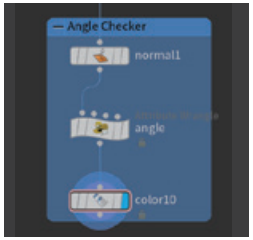
The surface angles are calculated to check for areas that may droop when output.

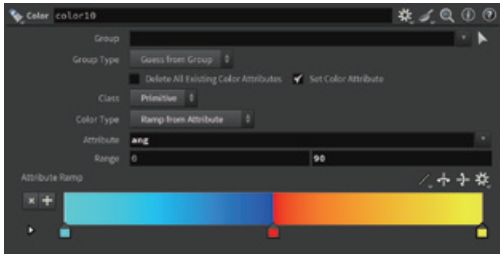
Calculates the angle between the surface of the base shape and the normal of each primitive face from the Y-axis.

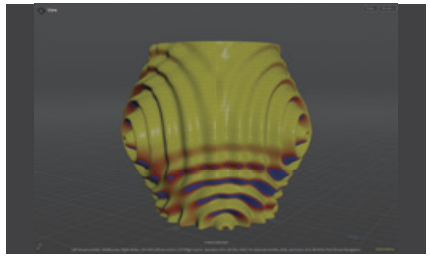


サーフェスの角度によって
出力物が垂れる様子
The output droops depending
on the angle of the surface

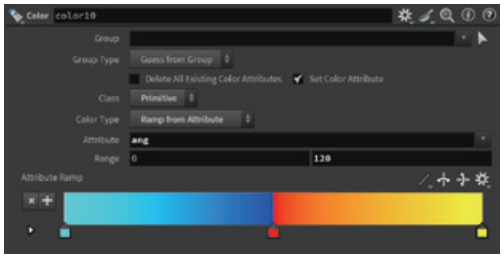


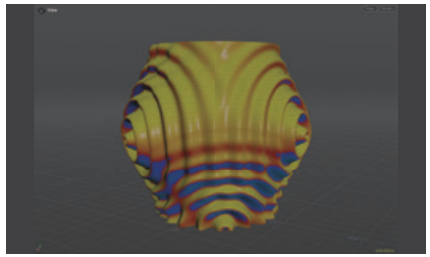






Y軸に対して45度以上傾いている部分を青くするための設定。
A setting to make the part that is tilted more than 45 degrees to the Y-axis blue.





Y軸に対して30度以上傾いている部分を青くするための設定。
A setting to make the part that is tilted more than 30 degrees to the Y-axis blue.

STEP 4

Gコードの生成

スライス処理と点の並び替え

Gコードを生成するには、プリンターヘッドが移動する点と点を定義する必要があります。そのため、形状をまずはスライスして、スライスしてできた線を点へ分割し、その点の位置情報を使用します。線の上の点がどう並ぶかの順番がプリンタヘッドの移動する順番になるため、非常に重要なプロセスです。

スライス

形状から3Dプリントのパスをつくる方法を紹介します。Gridでカッティングのsurfaceをつくり、ベース形状とのBooleanでスライスしたパスをつくります。Booleanの設定をSeamにすると交差したLineが作成されます。

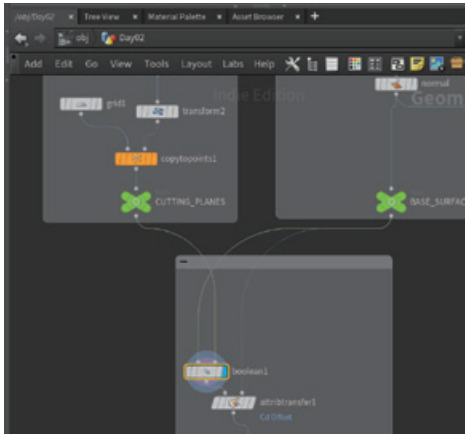
Generating G-code

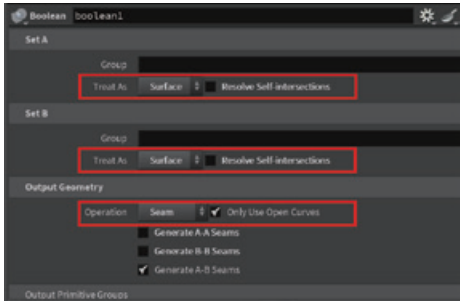
Slicing and rearranging points

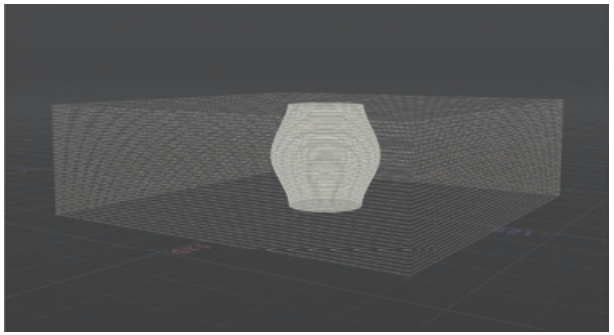
In order to generate G-code, it is necessary to define the points where the printer head moves. To do this, the shape is first sliced, and the lines created by the slicing are divided into points, and the position information of these points is used. The order in which the points on the lines are arranged becomes the order in which the printer head moves, so this is a very important process.

Slicing

This section introduces how to create a 3D printing path from a shape. A cutting surface is created using a grid, and a sliced path is created using Boolean with the base shape. If the Boolean setting is set to Seam, intersecting lines are created.









点の並び替え

点の順番で、ノズルの動きであるGコードが決まるため、点の並び替えは重要です。スライスでつくったLineからPointをResampleでつくります。その際、Tangent、CurveU、Curve Numberをアトリビュートに入れ、ソートの際に使います。

点の順番は、下から上の順に並んでおり、大量の点であるため、色のグラデーションで確認しています。

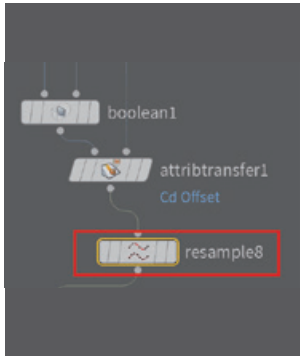
Line上のPointとセンターとの角度を計算して、並び替えに使用します。

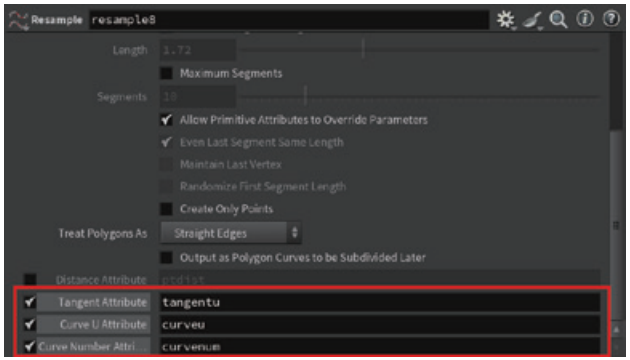
Rearranging the points

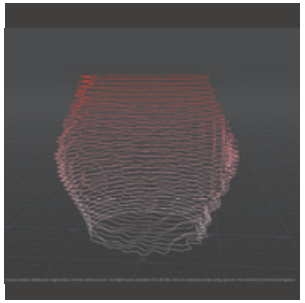
The order of the points determines the G-code for the nozzle movement, so it is important to rearrange the points. Resample the points from the lines created by slicing. At that time, enter Tangent, Curve U, and Curve Number into the attributes and use them when sorting.

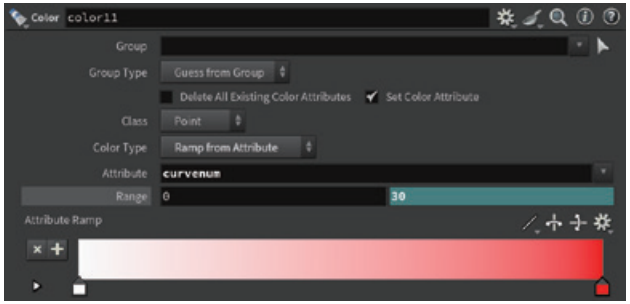
The order of the points is arranged from bottom to top, and because there are a large number of points, they are checked using a color gradient.

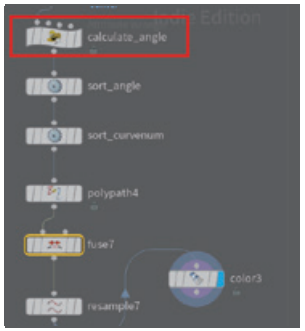
The angle between the point on the line and the center is calculated and used for sorting.

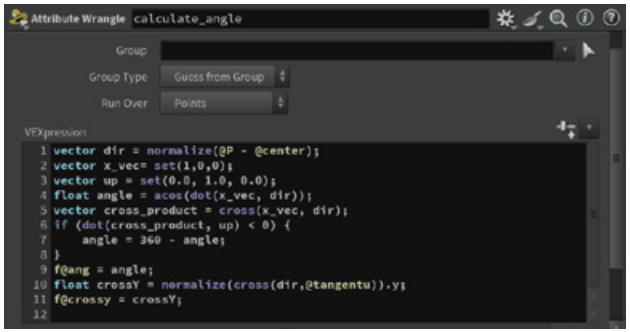


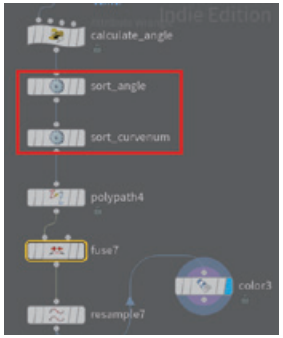


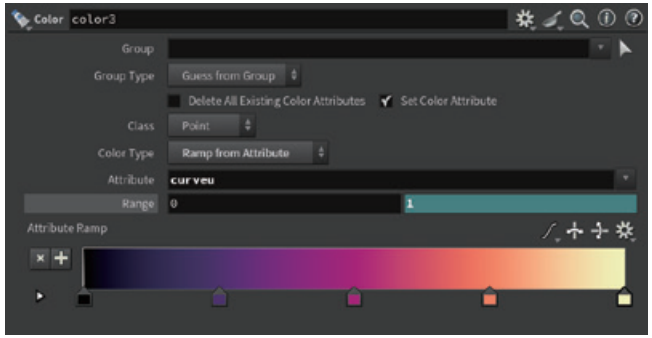








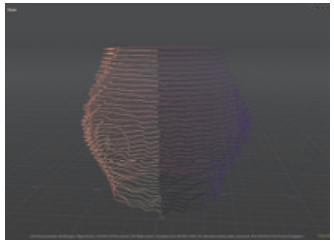




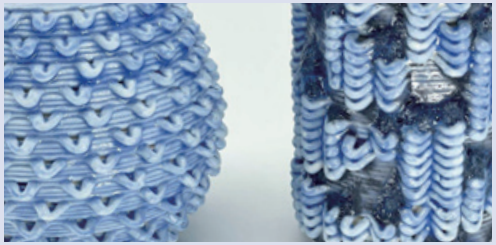
計算した後に、Sortでangle、Curve Number のアトリビュートで並び替えます。この点の並び替えは、Gコードをつくる際のパスをつくる上で最も重要です。

—

After calculating, the points are sorted by the angle and Curve Number attributes. This sorting of the points is the most important part of creating the path when creating G-code.



TIPS!



Dropをつくる

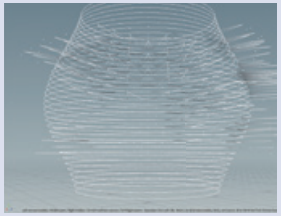
パスをパターンで変化させて、垂れるデザインを追加します。

Creating a Drop

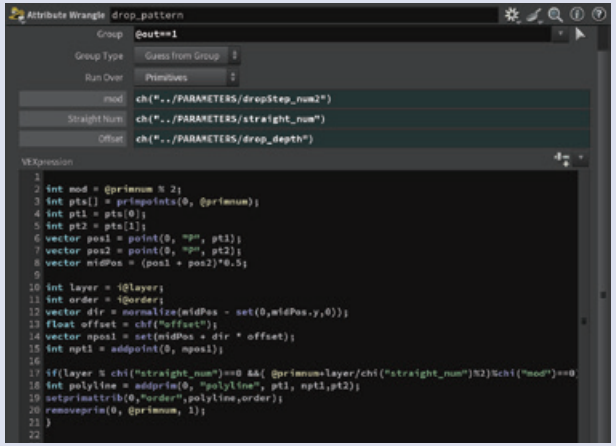
The pattern is changed to add a dripping design.

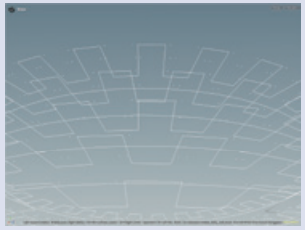
TriDrop

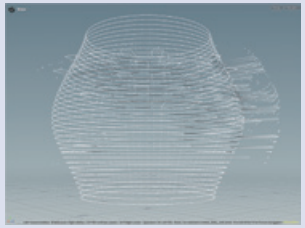
三角のドロップパターンをパスを変形します。/Modify the path to create a triangular drop pattern.

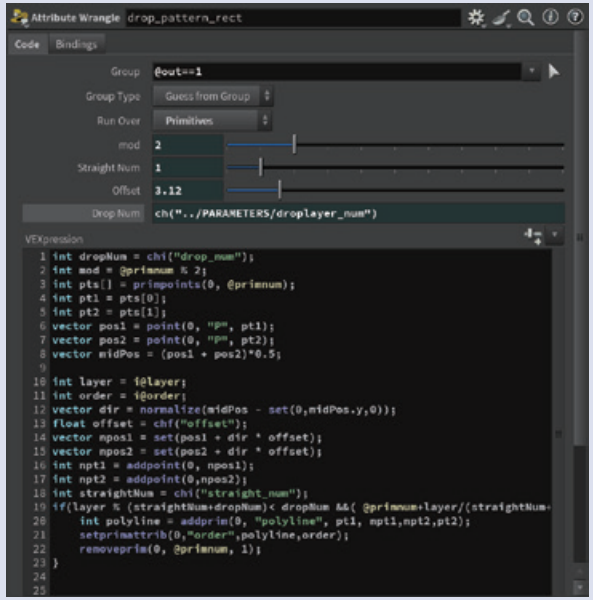








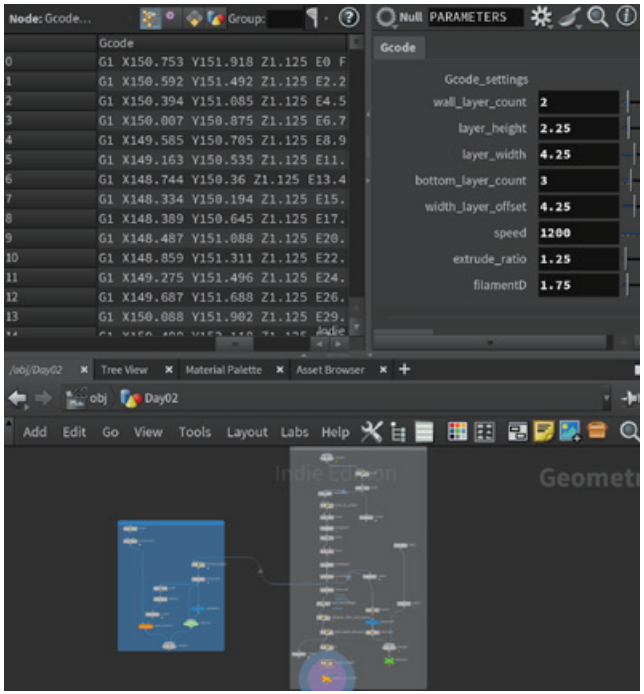




RectDrop

四角のドロップパターンでパスを変形します。

Modify the path to create a rectangular drop pattern.

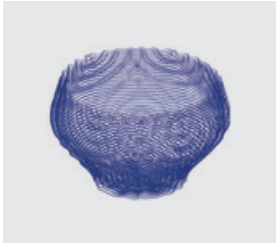


Gコードを書く

適量な粘土を出力するために、E値（押し出し量）を計算します。

Writing G-code

Calculate the E-value (extrusion amount) to output the appropriate amount of clay.

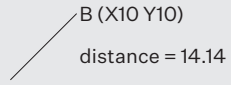


- リニアに移動するGコードをつくります。[i]のようにGコードで指示できます。
- 点から点への移動のXYZの情報と、距離からE値を計算します[ii]。

- Create G-code that moves linearly. You can use G-code to specify the [i].
- The E value is calculated from the XYZ information for movement from point to point and the distance[ii].

G1 XOOO YOOO ZOOO EOOO FOOO:
G1 (movement) XYZ (position) E (extrusion amount) F (speed)

i



ii

E値の計算方法

1. 押し出すフィラメントの断面積

フィラメント径dから断面積Aは[iii]の式で計算されます。

2. 押し出し量（体積）

体積Vは、プリントするモデルの体積、特にプリントヘッドが移動する間に必要なフィラメントの体積を指します。長さLが移動した場合、その体積は[iv]のように表されます。

3. E値

E値は押し出されたフィラメントの長さで表されます。このフィラメントの長さEは、[v]の式で計算されます。

4. L値

レイヤー幅layer_width、とレイヤー高さlayer_heightと距離distanceから体積を計算して、断面積Aで割ると長さLが計算できます[vi]。Extrude_ratioは、後から調整する用のパラメータです。

How to calculate the E value

1. Cross-sectional area of the extruded filament

The cross-sectional area A is calculated from the filament diameter d using the [iii] formula.

2. Extrusion volume (volume)

The volume V refers to the volume of the model to be printed, and in particular the volume of filament required while the print head is moving. If the length L is moved, the volume is expressed as [iv].

3. E-value

The E-value is expressed in terms of the length of extruded filament. This filament length E is calculated using the [v] formula.

4. L-value

Calculate the length L by calculating the volume from the layer width layer_width, layer height layer_height and distance distance, and dividing by the cross-sectional area A[vi].The extrude_ratio is a parameter for later adjustment.

$$A = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

iii

$$V = A \times L$$

iv

$$E = \frac{V}{A} = \frac{A \times L}{A} = L$$

v

$$E = \text{extrude_ratio} \times \frac{V}{A} = \frac{\text{extrude_ratio} \times \text{layer_width} \times \text{layer_height} \times \text{distance}}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

vi

$$E = \frac{1.2 \times 1.5 \times 2 \times \text{distance}}{\frac{\pi 1.75^2}{4}}$$

例/Example
extrude_ratio 1.2、layer_width 1.5、layer_height 2.0、filament_d 1.75



distanceは、Houdiniの点から計算します。
The distance is calculated from the Houdini point.

E値のモード

E値は、以下2つ方法でプリンタに指示できますが、今回は、累積量を用いました。

累積モード（絶対モード）：**M82**
E値は押出しの「累積量」を示す。

増分モード（相対モード）：**M83**
E値は「その移動での押出し量」を示す。

E-value mode

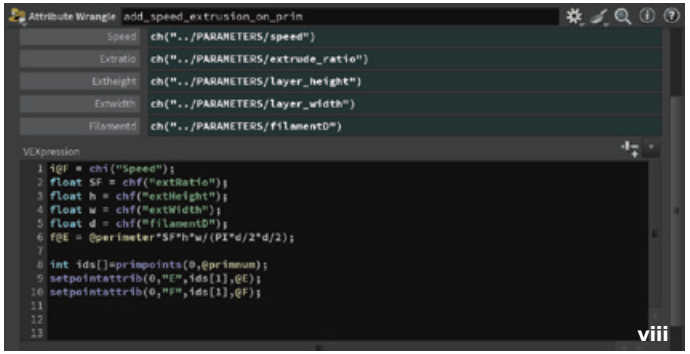
The E-value can be instructed to the printer in the following two ways, but in this case, we used the cumulative amount.

Cumulative mode (absolute mode): **M82**
The E-value indicates the “cumulative amount” of extrusion.

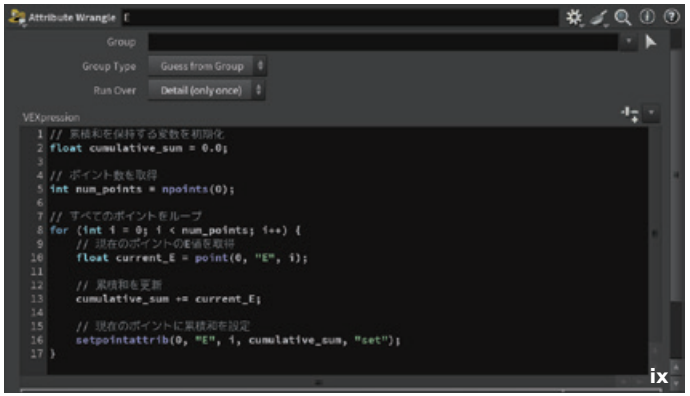
Incremental mode (relative mode): **M83**
The E-value indicates the “amount of extrusion for that movement”.



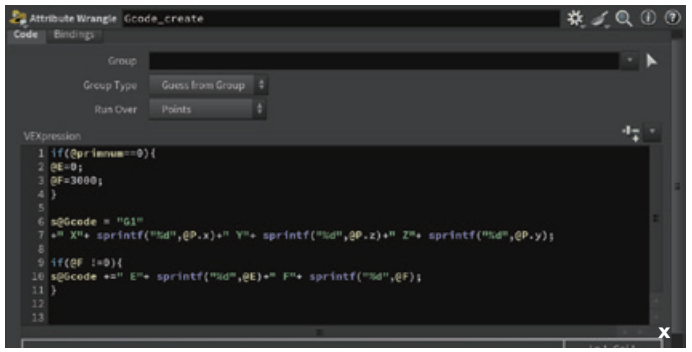
vii



viii



ix



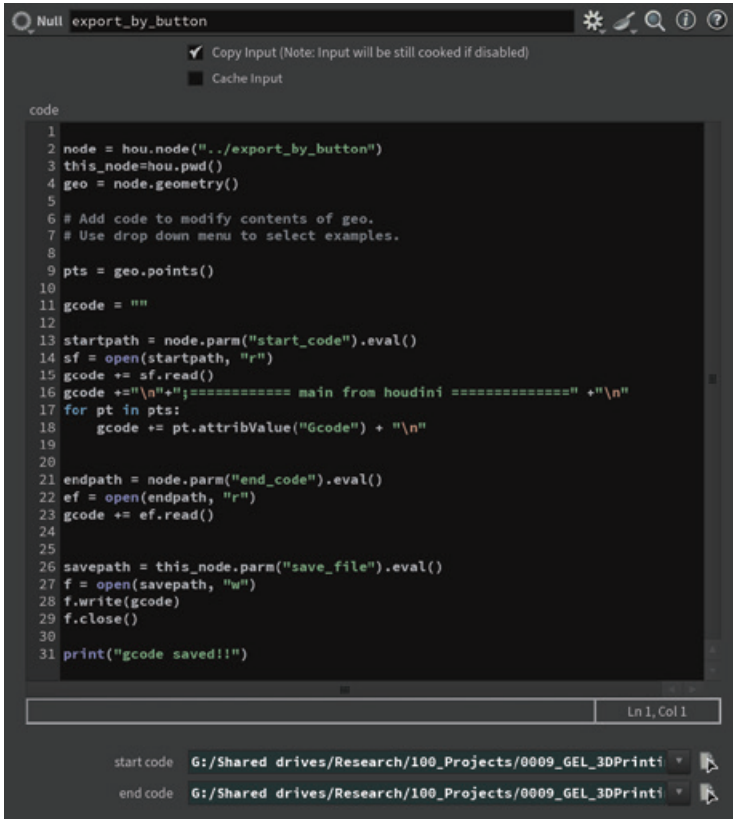
x

vii
ノードのネットワーク図
Network diagram of nodes

viii
E値を計算（Vex）
Calculating the E-value (Vex)

ix
E値の累積量、F値の設定
Cumulative E-value, setting F-value

x
Gコードのアトリビュート設定
Setting G-code attributes



Pythonでgcodeのファイルを書き出し

start_codeとend_codeは、予めプリンタに応じてつくっておき、その間にアトリビュートGコードを組み合わせます。

—

Writing out a gcode file in Python

The start_code and end_code are created in advance according to the printer, and the attribute G-code is combined between them.

STEP 5

出力のシミュレーション

粘土の量と出力時間、焼成後の収縮率を予測して表示します。形状を変える度に反映されるために、デザインにフィードバックをかけることが可能になり、最終形状が想像しやすくなります。

- F値（mm/min）とパスの長さのトータルを掛け合わせることで、出力時間を計算します。
- 粘土の重さは、粘土の密度を設定し、パスの長さのトータルと1つのレイヤーの幅と高さを掛け合わせることで体積と密度をかけて、重さを予測しています。
- 焼成後の大きさは、縮小率を設定して大きさを計算します。

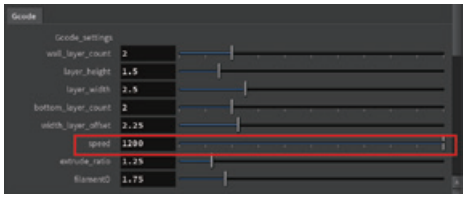
Output simulation

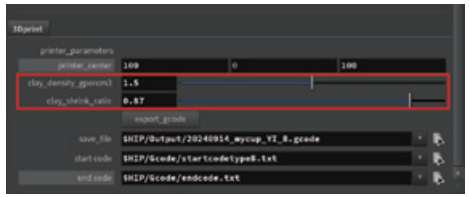
The amount of clay, output time, and shrinkage rate after firing are predicted and displayed. As the shape is reflected each time it is changed, it is possible to give feedback to the design, making it easier to imagine the final shape.

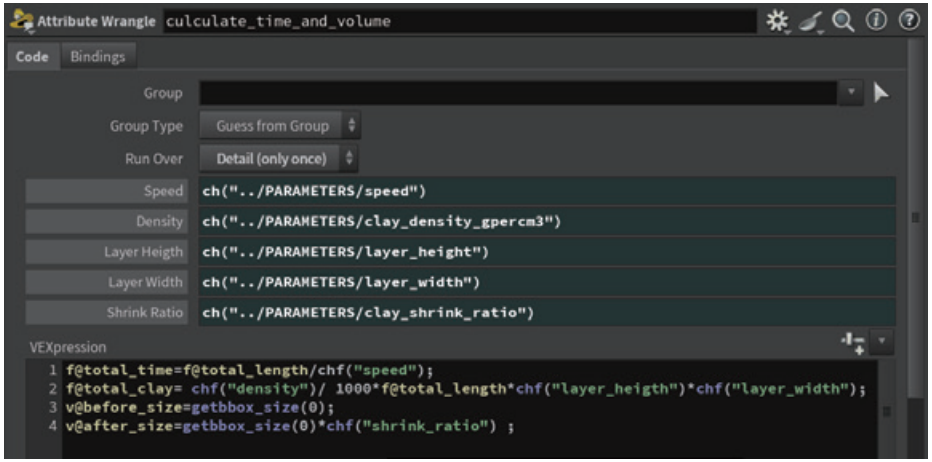
– The output time is calculated by multiplying the F value (mm/min) and the total length of the path.

– The weight of the clay is calculated by multiplying the density of the clay, the total length of the path, and the width and height of a single layer to calculate the volume and density.

– The size after firing is calculated by setting the shrinkage rate.







TIPS!

3D空間上でのラベリング

Textを用います。``で関数を囲むと文字の中で関数を使えます。今回のアトリビュートの数字を丸めてText表示しました。

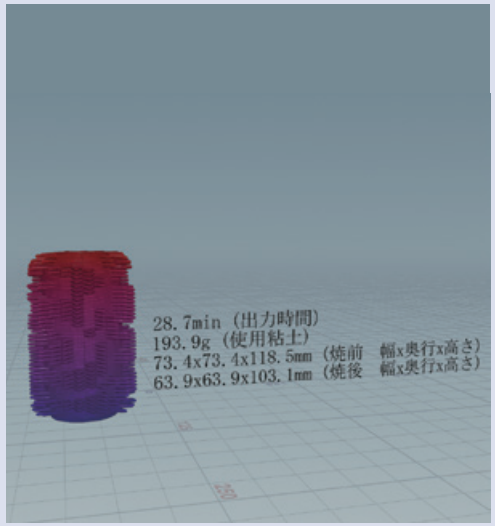
valueの整数部分が指定したintegerpadの桁数を、小数部分が指定したfracpadを最低限満たすようにゼロを詰めた文字列を返します。

Label in 3D space

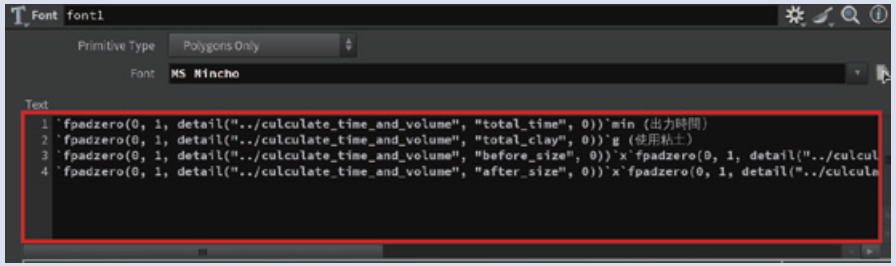
Use Text.You can use functions within text by enclosing them in``. I rounded the numbers of the attributes this time and displayed them as Text.

Returns a string with zeros padded to the specified integerpad number of digits for the integer part of value, with the fractional part padded to the specified fracpad minimum.

```
fpadzero(integerpad, fracpad, value)
```







コード全体/Whole code

```
fpadzero(1, 0, 23) = 23
fpadzero(1, 1, 23) = 23.0
`fpadzero(1, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "total_time", 0))`min (出力時間)
`fpadzero(1, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "total_clay", 0))`g (使用粘土)
`fpadzero(1, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "before_size", 0))`x`f-
padzero(0, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "before_size", 2))`x`fpadzero(0,
1, detail("../culculate_time_and_volume", "before_size", 1))`mm (焼前 幅x奥行x高さ)
`fpadzero(1, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "after_size", 0))`x`f-
padzero(0, 1, detail("../culculate_time_and_volume", "after_size", 2))`x`fpadzero(0,
1, detail("../culculate_time_and_volume", "after_size", 1))`mm (焼後 幅x奥行x高さ)
```

まとめ

画像マッピング、パスの編集、サーフェスパターン生成などの組み合わせを用意した単一のファイルでそれぞれの参加者が行い、様々な形状を半日で検討、出力まで実現することができました。

Summary

Each participant used a single file that contained a combination of image mapping, path editing, surface pattern generation, etc., and was able to examine and output various shapes in half a day.



Clay Print

［著者］

井上 智博
京都工芸繊維大学 KYOTO Design Lab
ファブラボ北加賀屋

潮桂子（技術相談）
京都市産業技術研究所／京都精華大学

[Author]

Tomohiro Inoue
KYOTO Design Lab,
Kyoto Institute of Technology
FabLab Kitakagaya

Keiko Ushio
(technical consultation)
Kyoto Municipal Institute Of Industrial
Technology and Culture
Kyoto Seika University



［目次］

28 はじめに

準備
28 用意する道具
33 用意する素材

作り方の手順
34 事前準備
35 クレイ3Dプリント・乾燥
38 焼成（素焼き）

[Contents]

28 Foreword

Preparation
28 Tools to prepare
33 Materials to prepare

Steps to making
34 Preliminary preparation
35 Clay 3D printing and drying
38 Firing (bisque firing)

はじめに

本章は、セラミック3Dプリンタ初学者に向けて作成しました。3Dプリンタを利用する上で必要な事項を工程（3Dプリント造形→乾燥→素焼き）に沿って記述しています。また、手順だけではなく各手順における失敗・教訓も共有することで、初学者のなぜ？に応える内容にするように心がけています。

ただ途上の技術に関する技術書ということでこの方法が最適かどうか？に関して、今の時点での私たちの実験の結果によるものだと思っておいてください。この方法より良い方法がないか？を探索することは読者の皆さんにお任せします。

Forward

This chapter was created for beginners of ceramic 3D printers. It describes the necessary matters for using a 3D printer, following the process (3D printing→drying→bisque firing). In addition, we have tried to make it so that it answers the "why?" of beginners by not only describing the procedures, but also sharing the failures and lessons learned in each step.

Please note that this method is based on the results of our experiments to date, and we are not sure whether it is the best method for a technical book on an evolving technology. We leave it to our readers to explore whether there is a better method than this.

用意する道具

粘土3Dプリンター

陶芸用の粘土を素材にノズル先端から吐出し積層していくことで3D造形することができる3Dプリンタ。粘土の供給方法の違いにより二分される。「プロシージャルデザイン×セラミック3Dプリンタ」釉薬と土、そしてお茶とお菓子と私ワークショップでは上記両方の仕様の機体を使用した。その結果、コンプレッサー方式の方が安定して造形できるのを確認した。

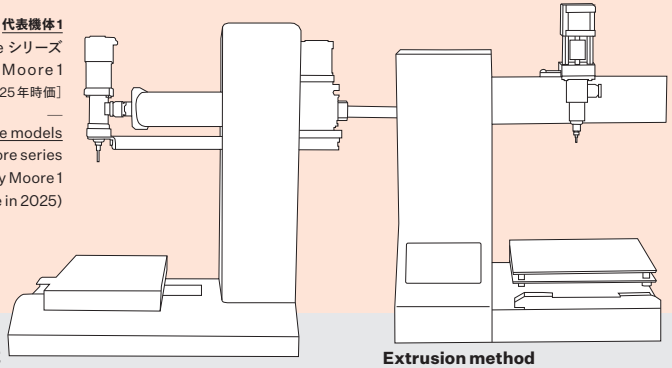
Tools to prepare

Clay 3D printer

A 3D printer that can create 3D objects by extruding and layering clay for ceramics from the nozzle tip. It is divided into two types depending on the method of supplying the clay. "Procedural Design x Ceramic 3D Printer" Glaze, Clay, Tea, Sweets, and Me In the workshop, we used both types of machines. As a result, we confirmed that the compressor method can create more stable models.

代表機体1
Tronxy Moore シリーズ
参考:Tronxy Moore 1
［$466.99|2025年時価］

Representative models
Tronxy Moore series
Tronxy Moore 1
$466.99 (market price in 2025)



代表機体2
Eazaoシリーズ
参考:Eazao Potter
［$799.00|2025年時価］

Representative models
Eazao series
Eazao Potter
$799.00
(market price in 2025)

押し出し方式
専用シリンジに粘土を詰めて、真空にした状態でプランジャ(押子)でシリンジ内部の粘土を押していくことで先端のノズルから粘土を吐出し積層していく方式。

メリット
- 総コストが安くすむ。
- 付帯設備が少なくてすむので、住宅で小規模に運用するには向いている。

デメリット
- プランジャ(押子)の圧が弱く、吐出がなかなか安定しない。

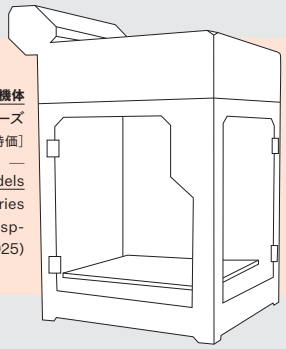
Extrusion method
– A method of extruding and layering clay by filling a special syringe with clay and pushing the clay inside the syringe with a plunger (pusher) while the syringe is under vacuum.

Advantages
– The total cost is low.
– Since there are few ancillary facilities, it is suitable for small-scale operation in a home.

Disadvantages
– The pressure of the plunger (piston) is weak, and the discharge is not very stable.

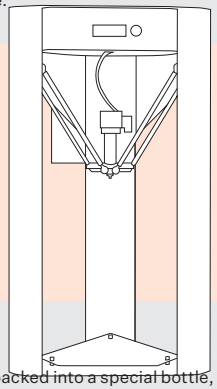
代表機体
Waspシリーズ
delta-wasp-2040［$2025年時価］

Representative models
Wasp series
delta-wasp-2040 $ (market price in 2025)



代表機体
SYNO SOURCEシリーズ
SYNO SOURCE 2020
［2025年時価］

Representative models
SYNO SOURCE series
SYNO SOURCE 2020
(market price in 2025)



コンプレッサー方式
専用ボトルに粘土を詰めて、エアーコンプレッサーからの空気圧でボトル内部の粘土を押していくことで先端のノズルから粘土を吐出し積層していく方式。

メリット
- 空気圧の調整がきくので、安定した吐出が期待できる。

デメリット
- 押出し式と比較して割高にはなる。
- エアーコンプレッサーのスペックによっては、200Ｖ電源が必要になり、騒音も大きくなるため工房規模の場所で運用が必要である。

Compressor method
A method in which clay is packed into a special bottle, and the air pressure from an air compressor is used to push the clay inside the bottle, causing it to be discharged from the nozzle at the tip and layered.

Advantages
– The air pressure can be adjusted, so stable extrusion can be expected.

Disadvantages
– Compared to extrusion methods, this is more expensive.
– Depending on the specifications of the air compressor, a 200V power supply may be required, and the noise level will also be higher, so it is necessary to operate it in a workshop-sized location.

陶芸窯

粘土を焼成する過程において陶芸窯は必ず必要になる。陶芸窯は、動力が何かによって分類される。薪窯・電気窯・灯油窯・ガス窯等がある。

Ceramic Kiln

A ceramic kiln is always necessary during the process of firing clay. Ceramic kilns are classified according to the type of power source they use. There are wood-fired kilns, electric kilns, kerosene kilns, gas kilns, etc.

	メリット/Advantages	デメリット/Disadvantages
薪窯（還元焼成） 最も古くからある伝統的な窯で、燃料は主に薪を使用し炉内の温度を上げていく。 **Wood-fired kiln (reduction firing)** This is the oldest and most traditional type of kiln, and the fuel is mainly wood, which is used to raise the temperature inside the kiln.	• 独特な味わいの仕上がりになる。 • The finished product has a unique flavor.	• 薪をくべながら火を感覚的に調整する必要があるため、非常に大変。 • 設置場所が限定される。 • It is very difficult to adjust the fire while adding wood. • The installation location is limited.
電気窯（酸化焼成） コンセントから給電して、窯内の電熱線が発熱して焼成する。家庭用コンセント（100V）に対応するものもあるが、（200V）のものが多い。時代の主流はこちらになる。 **Electric kiln (oxidation firing)** The kiln is fired by heating elements inside the kiln that are powered by an electrical outlet. Some are compatible with household outlets (100V), but most are (200V). This is the mainstream of the times.	• 設置場所の融通が利きやすい。（無音、無煙） • マイコンが付いている窯であれば、焼成温度をプログラムできるので、初心者でも簡単に焼成できる。 • It is easy to be flexible in terms of where you install it. (Silent, no smoke) • If the kiln has a microcomputer, you can program the firing temperature, so even beginners can easily fire ceramics.	• 本体価格が比較的割高になる。 • The main unit is relatively expensive.
灯油窯（還元焼成） 灯油を燃料とした窯である。窯の焚き口から炎を強制的に送風機を送り込んで焼成する。灯油の供給量とファンの風量を調整することで温度を制御する。 **Kerosene kiln (reduction firing)** This is a kiln that uses kerosene as fuel. The firing is done by forcing air from the kiln's mouth through a fan. The temperature is controlled by adjusting the amount of kerosene supplied and the amount of air blown by the fan.	• 色むらがでるためそれを趣と捉えることもできる。 •Uneven coloring can be seen, but this can also be seen as a charm.	• 他の窯と比べて、炎の回りに均一性がない。 • Compared to other kilns, the flame is not as even.

ガス窯（還元焼成）
主に、プロパンガスと都市ガスの２タイプが主流であるガスを燃料とした窯である。窯の焚き口から炎を送り込んで焼成する。ガス圧と空気量を調整する事で温度を制御する。

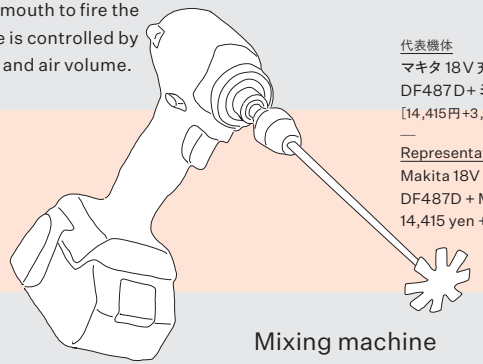
This is a kiln that uses gas as its fuel, mainly propane gas and city gas. The flame is blown into the kiln from the firing mouth to fire the ceramics. The temperature is controlled by adjusting the gas pressure and air volume.

• 黒煙がでにくい。
• 燃料効率がよい。
• 酸化焼成、還元焼成どちらの焼き方も可能

• Black smoke is less likely to be produced.
• Fuel efficiency is good.

• ガス配線の工事が必要。

• Gas piping work is required.



代表機体
マキタ 18V 充電式ドライバドリル
DF487D+ミキシングブレード MINI
［14,415円+3,520円|2025年時価］

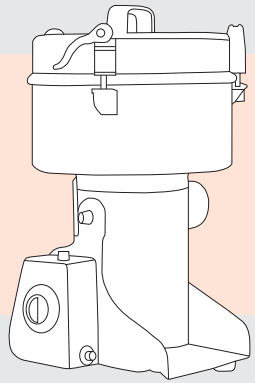
Representative models
Makita 18V Rechargeable Driver Drill
DF487D + Mixing Blade MINI
14,415 yen + 3,520 yen (market price in 2025)

混錬機

土練する際に手で混錬するのは大変なので道具を活用して混錬すると良い。陶芸工房などでは業務用の土練機を使用されるが、セラミック3Dプリンタの場合、粘土の乾燥によってうまく出力できないことも予測されるので一回に出力できる程度の少量を土練できれば良いのでそこで使用すると良いラインナップを選定した。

Mixing machine

It is difficult to knead clay by hand, so it is better to use a tool. In ceramic studios, etc., a professional clay kneader is used, but in the case of a ceramic 3D printer, it is predicted that the clay may not dry properly, so it is better to knead a small amount of clay at a time, so we have selected a lineup that can be used there.



代表機体
Kurflo 2500ｇ粉砕機［21,999円|2025年時価］

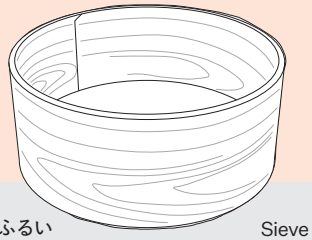
Representative models
Kurflo 2500g grinding machine
21,999 yen (market price in 2025)

粉砕機

粘土と水の配合を計量しながら造形安定する流動性の粘土を作り出すために、粘土を乾燥させて粉砕し、粉にする必要がある。その際にハンマーなどで粉砕するのは大変なので粉砕機を活用すると良い。

Grinder

In order to create a fluid clay that will stabilize the shape while measuring the mixture of clay and water, it is necessary to dry and grind the clay to make it into a powder. It is difficult to grind it with a hammer, etc., so it is better to use a grinder.



商品例
切り糸 片側棒付(しっぴき)
220円(2025年時価)
—
Product examples
Cutting thread with one side attached (shippiki)
220 yen (market price in 2025)

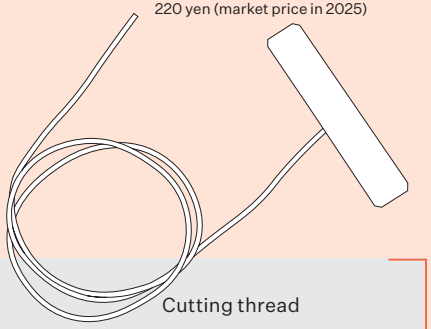
商品例
切り糸 片側棒付(しっぴき)
220円(2025年時価)
—
Product examples
Cutting thread with one side attached (shippiki)
220 yen (market price in 2025)

ふるい

粉砕した粘土に対して粒度を整えるためにふるいにかける必要がある。粘土用のふるいは○目であらわす。

Sieve

It is necessary to sieve the ground clay to adjust the particle size. Sieves for clay are indicated by the number of holes.



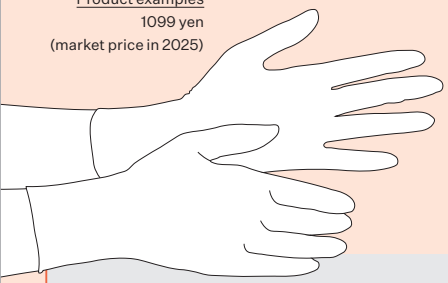
切り糸

粘土を分割する際に用いる。

Cutting thread

This is necessary when dividing the clay.

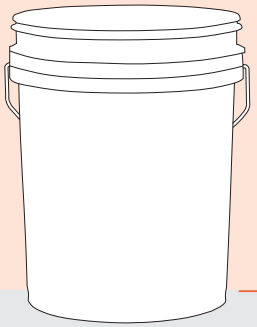
商品例
1099円(2025年時価)
—
Product examples
1099 yen
(market price in 2025)



ゴム手袋 薄手 粉付

Rubber gloves, thin, powdered

商品例
プロ用多用途ペール TB-7(1868円2025年時価)
—
Product examples
Professional multi-purpose pail TB-7
1868 yen (market price in 2025)



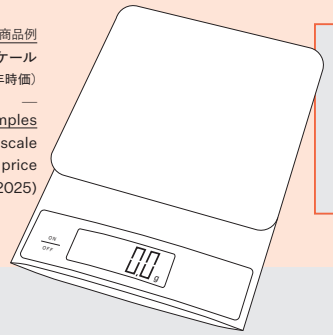
バケツ

粘土を粉砕した粉を一次保管しておいたり、粘土を混錬する際に利用する。

Bucket

Used for storing crushed clay powder and kneading clay.

商品例
デジタルスケール
3408円(2025年時価)
—
Product examples
Digital scale
3408 yen (market price in 2025)



計量器

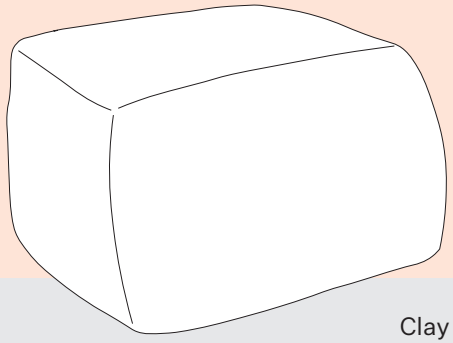
粘土粉、水を計量して適切な分量を混合させるために必要である。繊細な計量をする必要があるため、最小計量が0.1g程度のものを購入すると良い。また、一回の3Dプリント出力に関して、一回出力での粘土の総重量が1kgを超えることもあるのでその数値以上の最大容量のものを購入する良い。

Measuring device

This is necessary for measuring the clay powder and water and mixing the appropriate amount.
As you need to measure very precisely, it is best to buy one with a minimum measurement of around 0.1g. Also, as the total weight of the clay used for a single 3D print output can exceed 1kg, it is best to buy one with a maximum capacity of at least that amount.

用意する素材

Material to prepare



商品例
上信楽粘土 重量:4kg
1562円(2025年時価)
—
Product examples
Joshin-gama clay Weight: 4kg
1562 yen (market price in 2025)

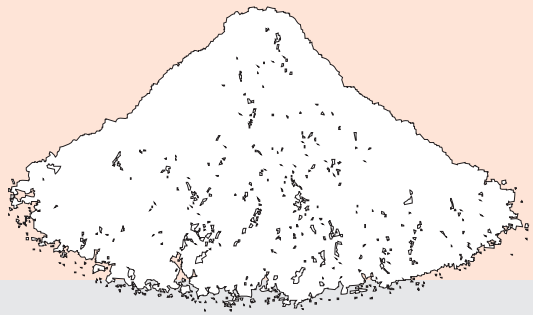
粘土

陶芸用の粘土を3Dプリンタで利用できるが、砂やシャモットなど粒度の大きいものが混合されているものは出力時にトラブルになりやすい。また、ちょうどよい柔らかさの粘土の配合比率は、各粘土に応じて違い、もちろん成果物として求めているものによって必要な柔らかさが違うため、実験を繰り返す必要がある。

Clay

Clay for ceramic can be used with a 3D printer, but if it contains large particles such as sand or chamotte, it is likely to cause problems when printing. Also, the ideal clay mixture ratio will differ depending on the type of clay, and of course the required softness will differ depending on the desired end result, so it is necessary to repeat experiments.

商品例
ベントナイト(1kg)
352円(2025年時価)
—
Product examples
Bentonite (1kg)
352 yen (market price in 2025)



ベントナイト

陶粘土鉱物のモンモリロナイト(Montmorillonite)を主成分とした膨潤土とよばれる鉱物。粘土と混合することにより粘性があがるので造形が安定する効果が期待できる。

Bentonite

A mineral called swelling soil, which is made up mainly of the clay mineral montmorillonite. Mixing it with clay increases its viscosity, so it can be expected to have a stabilizing effect on modeling.

作り方の手順

［STEP1］ **事前準備**［所要時間：2日］
［STEP2］ 本編
クレイ3Dプリント［所要時間：1日］
乾燥［所要時間：2日］
［STEP3］ **焼成（素焼き）**［所要時間：1日］
＊所要時間は目安である。造形サイズ、焼成環境に依存する。

Steps for making

[STEP1] **Preliminary preparation**
[time required: 2 days]
[STEP2] Main part
Clay 3D printing [time required: 1 day]
Drying [time required: 2 days]
[STEP3] **Firing (bisque firing)**
[time required: 1 day]
*The time required is only a guide. It depends on the size of the model and the firing environment.

STEP 1

事前準備
粘土粉末作成

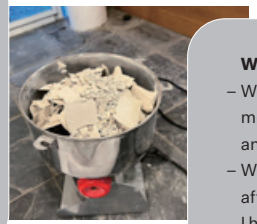
1. 分割
はやく乾燥させるために購入した粘土を切り糸を使用して薄くスライスし並べる。
2. 乾燥
部屋干しor 天日干し（＊天気に注意）して完全に乾燥させる。（夏季：2–3日、冬季：一週間程度）
3. 粉砕
粉砕機を利用して細かく粘土を粉砕し、ふるいを使って細かさを調整する。

Preliminary preparation
Making clay powder

1. Division
To dry it quickly, the clay is cut into thin slices using a cutting thread and arranged.
2. Drying
Dry completely by hanging indoors or drying in the sun (be careful of the weather).
(Summer: 2-3 days, Winter: about a week)
3. Grinding
Use a grinder to finely grind the clay, and then use a sieve to adjust the fineness.







ワークショップこぼれ話
- ハンマーで砕いていた時期があり、非常に時間がかかって大変でした。
- 粉砕機で破砕したものをそのまま粘土でこねていた時期があり、その時は粘土の中にだまができてそれを解消するのに苦労しました。ふるいをかけたあとの粉末を利用することでそのあとの作業効率が上がりました。

Workshop Side Story
– When I was breaking up the clay by hammering it, it was very time-consuming and difficult.
– When I was kneading the clay as it was after it had been broken up in the crusher, I had trouble getting rid of the lumps that formed in the clay. Using the powder after it has been sieved has improved the efficiency of the subsequent work.

STEP 2

本編
クレイ3Dプリント

1. 調合
粘土、水、場合によってはベントナイトを調合する。
混錬機やへらなどのハンドツールを使って混錬する。
上信楽粘土の場合
粘土100％に対して水分を外割で40％添加
［例］粘土粉末1000g＋水400g 土練

Main part
Clay 3D printing



1. Prepare
Prepare clay, water and bentonite if necessary.
Mix using a kneading machine or hand tools such as a spatula.
In the case of Joshinagura clay
Add 40% water by volume to 100% clay
[Example] 1000g clay powder + 400g water and knead them



ワークショップこぼれ話
- 初めは購入した粘土をそのまま使って感覚的に水をいれて調整していい感じの粘土を作っていました。ひとりでやっている分にはそれでよかったのですが、何人かで作業するとそれを伝達するのが難しく、計量しながら数値で記録できる今回のやりかたにシフトして再現性を得ました。

Workshop Side Story
- At first, I was making clay by adding water to the clay I had bought and adjusting it to get the right consistency. This was fine when I was working on my own, but when I was working with other people, it was difficult to communicate what I was doing, so I switched to the method I'm using now, where I can measure and record the results numerically, which has made it easier to reproduce the results.

2. 混錬
調合された試料を混錬機を使用して混錬する。

2. Mixing
The prepared sample is mixed using a mixer.





ワークショップこぼれ話

- 計量して混錬するようになって、初期のころはそれでも人によって仕上がってくる粘土にばらつきがでているように感じました。それでいろいろ原因を考えていたところ直接手で混錬すると皮膚が水分をたくさん吸い取ってしまうので、仕上がりにばらつきが出てしまうということがわかりました。

Workshop Side Story

- When I started measuring and kneading the clay, I felt that there was still a lot of variation in the finished product depending on the person. I thought about the various possible causes, and I realized that when I kneaded the clay directly with my hands, my skin absorbed a lot of moisture, which was causing the variation in the finished product.



3. 装填

セラミック3Dプリンタ専用ボトルに粘土を詰めていく。

＊空気が入ると造形が安定しないので、粘土をボトル径より一回り小さい団子状に丸め少しずつボトルに装填、その都度下に打ち付けて空気を抜くように堆積させていく。

3. Loading

Fill the ceramic 3D printer bottle with clay.

* If air gets in, the shape will not be stable, so roll the clay into a dumpling shape that is slightly smaller than the diameter of the bottle, and load it into the bottle little by little, patting it down each time to remove the air and build it up.



ワークショップこぼれ話

- 粘土装填に空気が入らないような装填の仕方を何回もトライアルして今の形に落ち着いている。ボトル装填時の打ち付けの際のボトルへのダメージを吸収するようなジグの作成などは必須である。

Workshop Side Story

- We tried many different ways of loading the clay so that no air would get in, and we've finally settled on the current method. It is essential to create a jig that absorbs the damage to the bottle when it is struck during loading.

4. 造形

コンプレッサーとボトルをチューブでつないでエアーでノズルまで粘土を押し出し、ノズルからノズル先端まではスクリューで粘土を押し出し3D積層させていく。ノズル口径は多様で0.6–4mm程度まで多様なノズルがありその選定によって出力解像度、出力時間が変わってくる。

4. Sculpting

The clay is pushed out to the nozzle by air through a tube connecting the compressor and the bottle, and the clay is pushed out from the nozzle to the tip of the nozzle by a screw to create a 3D layered structure. There are various nozzle diameters, ranging from 0.6 to 4 mm, and the output resolution and output time will vary depending on the nozzle selected.



ワークショップこぼれ話

- 気をつけないといけない点としては、真空をいかに保つのかということです。空気漏れを気づかずコンプレッサー圧が一定にならなくて造形が安定しないということが多々ありました。その原因としてはボトル、ノズルの汚れからくる気密性能が下がっていたり、ボトルのネジの経年劣化、コンプレッサーのチューブ周りのシールテープの劣化などがあります。



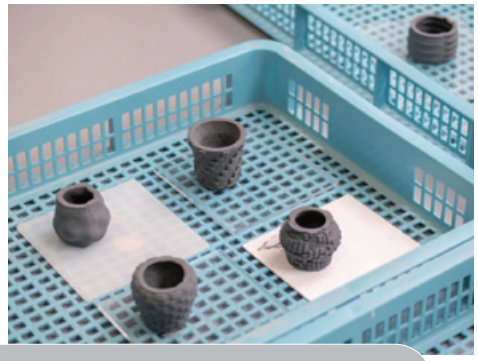
5. 乾燥

3D造形した後の造形物を自然乾燥させる。大きさによるが2–3日、容器などを被せたり、水分を含んだメッシュを上から被せてあげることで全体が均一に乾燥され、ひび割れ、亀裂を防ぐことができる。

　また3Dプリント造形時に使用する造形プレートの素材を何にするかによってもその後の対応が異なる。水分を吸わない素材（アクリル、ガラスなど）を利用する場合は、生乾き状態の造形物の底を糸切りし乾燥棚にうつす。水分をよく吸う素材（石膏、木など）を利用する場合は、そのままだと乾燥の違いにより反りが出やすくなってしまうため、長方形で縦長の形状のものをなど出力する時には注意が必要。

Workshop Side Story

- One thing you have to be careful about is how to maintain a vacuum. There were many cases where the molding was unstable because the compressor pressure did not stabilize due to an unnoticed air leak. The causes of this included a decrease in airtight performance due to dirt on the bottle or nozzle, deterioration of the bottle's threads over time, and deterioration of the seal tape around the compressor's tube.



5. Drying

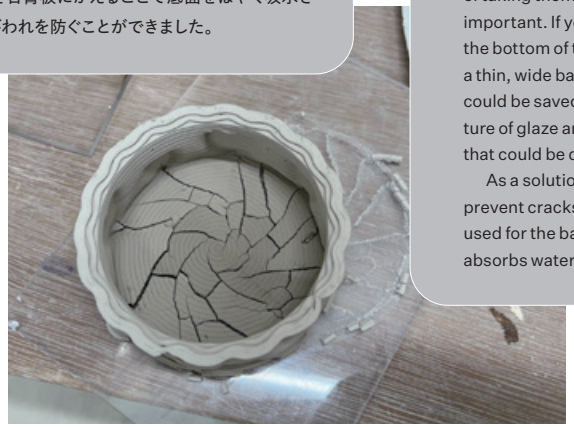
After 3D printing, allow the object to dry naturally. Depending on the size, this will take 2-3 days. Covering the object with a container or a mesh soaked in water will allow the object to dry evenly and prevent cracks and fissures.

The method used after 3D printing will also depend on the material used for the 3D printing plate. If you are using a material that does not absorb moisture (such as acrylic or glass), cut the bottom of the half-dried object and move it to a drying shelf. If you are using a material that absorbs moisture well (such as plaster or wood), you need to be careful when printing rectangular, tall objects, as they may warp due to differences in drying.

ワークショップこぼれ話

- 器の3Dプリント造形物に関して自然乾燥した後の取り出すタイミングが大事で、数日そのままでおいてしまうと薄く底の広い皿状の造形物に関しては、底面が割れてしまいました。釉薬と粘土を混ぜ合わせたもので補修を試みて救えたものもあったのですが、酷いものはどうしようもなかったです。

そのあとの解決策としては、台座に使っているアクリルシートを石膏板にかえることで底面をはやく吸水させて、ひびわれを防ぐことができました。



Workshop Side Story

- With regard to 3D printed objects, the timing of taking them out after natural drying is important. If you leave them for a few days, the bottom of the dish-shaped objects with a thin, wide base will crack. Some of them could be saved by repairing them with a mixture of glaze and clay, but there was nothing that could be done about the worst cases.

As a solution after that, we were able to prevent cracks by changing the acrylic sheet used for the base to plasterboard, which absorbs water faster.

STEP 3

焼成（素焼き）

陶芸窯を利用し、粘土を焼成する。素焼きは700–800度程度の温度で焼成する。

＊本記事では、電気窯による酸化焼成を実施する。

Firing (bisque firing)

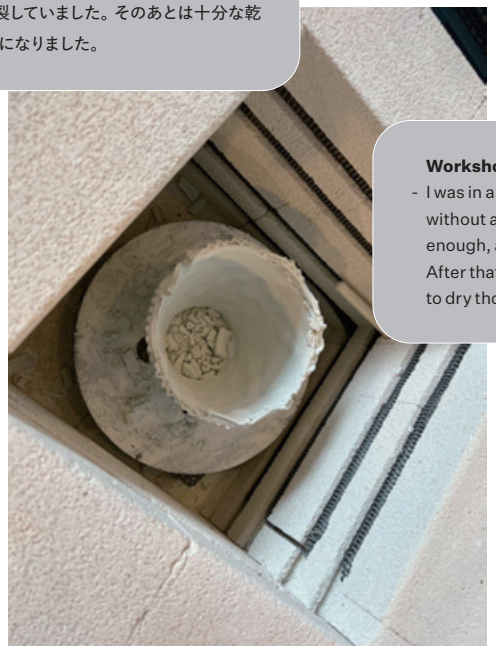
The clay is fired in a ceramic kiln. The bisque firing is done at a temperature of around 700–800 degrees.

* In this article, we will be using an electric kiln to carry out oxidation firing.



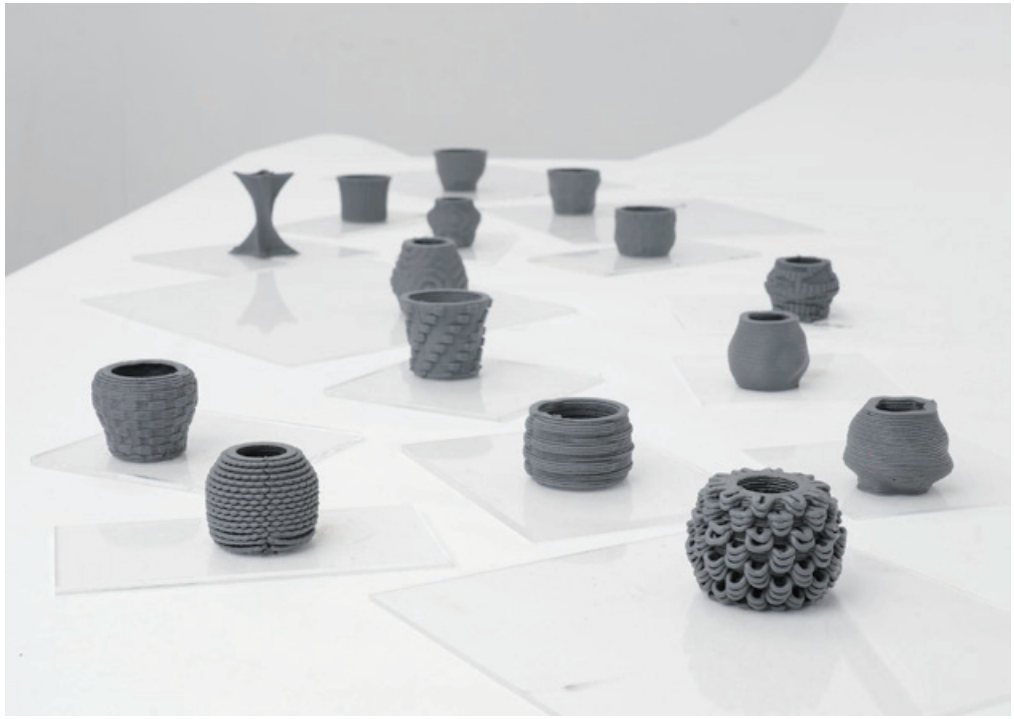
ワークショップこぼれ話

- 急いでいて十分な自然乾燥を実施せずに焼成したら、炉内で作品が破裂していました。そのあとは十分な乾燥を心がけるようになりました。



Workshop Side Story

- I was in a rush and fired the pieces without allowing them to dry naturally enough, and they exploded in the kiln. After that, I made sure to allow them to dry thoroughly.





Glazing

［著者］

井上智博
京都工芸繊維大学 KYOTO Design Lab
ファブラボ北加賀屋

潮桂子（技術相談）
京都市産業技術研究所 / 京都精華大学

[Author]

Tomohiro Inoue
KYOTO Design Lab,
Kyoto Institute of Technology
FabLab Kitakagaya

Keiko Ushio
(technical consultation)
Kyoto Municipal Institute Of Industrial
Technology and Culture
Kyoto Seika University



［目次］

42 はじめに・事前知識

準備
43 用意する道具
44 用意する素材

作り方の手順
46 釉薬調合・釉がけ
50 焼成（本焼）
51 上絵付
52 焼成（上絵用）

[Contents]

42 Foreword, Prior knowledge

Preparation
43 Tools to prepare
44 Materials to prepare

Steps to making
46 Prepare, Glazing
50 Firing (bisque firing)
51 Overglaze painting
52 Firing (for overglaze)

はじめに

本章は、セラミック3Dプリンタ初学者に向けて作成しました。セラミック3Dプリンタを利用して陶芸した作品に対して、そのあとの施釉の工程に沿って記述しています。また、手順だけではなく各手順における失敗・教訓も共有することで、初学者のなぜ？に応える内容にするように心がけています。

事前知識

釉薬

釉薬は、基本的に以下の3つの役割を担っている。

–

1. 装飾

さまざまな色や釉調を表現することができる

2. 強度

ガラスでコーティングすることで、より丈夫なうつわになる

3. 汚れにくさ

水や汚れを吸収しにくくする

釉薬の構成

釉薬の基本構成としては**基礎釉**と**発色材**からなる。

–

基礎釉

釉薬の骨材となる下の三つの要素を持った材料を混合している。

溶かす

骨材となるガラスを溶かす役割石灰系（CaO等）の材料

つなぐ

釉薬となるガラスと素地をくっ付ける役割（Al_2O_3）長石や陶石の材料

ガラス

釉薬の骨材となるもの（屋台骨）珪酸質系（SiO_2）の材料

–

発色材

釉薬に添加し、発色させる作用を持った原料である。

Prior knowledge

This chapter is intended for beginners of ceramic 3D printing. It describes the process of glazing ceramic works created using a ceramic 3D printer. In addition to the procedures, we have also tried to answer the “why?” questions of beginners by sharing the mistakes and lessons learned in each step.

Basics

Glaze

Glaze basically has the following three roles.

–

1. Decoration

It can express various colors and glaze tones.

2. Strength

By coating with glass, it becomes a more durable vessel.

3. Resistance to dirt

It makes it difficult to absorb water and dirt.

Composition of glaze

The basic composition of glaze is made up of basic glaze and coloring materials.

–

Basic glaze

It is a mixture of materials with the three elements below that serve as the glaze's base.

Melting

The role of melting the glass that will become the glaze. Lime-based (CaO, etc.) materials

Connecting

The role of attaching the glaze glass to the base (Al_2O_3) Materials such as feldspar and ceramic stone

Glass

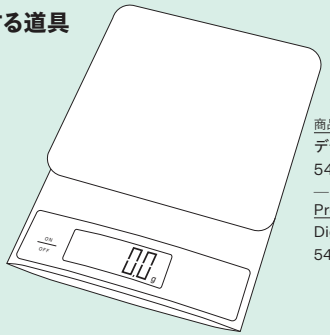
The material that will become the glaze's base (the main structure) Silicate-based (SiO_2) materials

–

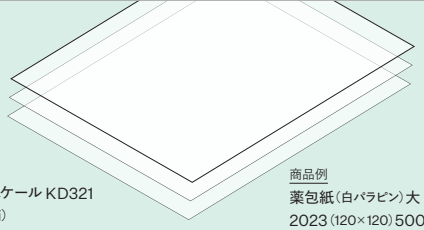
Colorants

Raw materials that are added to the glaze and have the effect of coloring it.

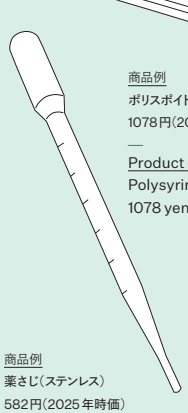
用意する道具



商品例
デジタルクッキングスケール KD321
5498円（2025年時価）
—
Product examples
Digital cooking scale KD321
5498 yen (market price in 2025)



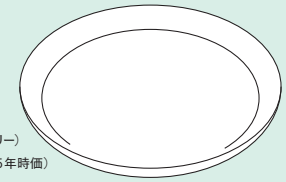
商品例
薬包紙（白パラピン）大
2023（120×120）500枚
758円（2025年時価）
—
Product examples
Large white paraffin paper
2023 (120 x 120) 500 sheets
758 yen (market price in 2025)



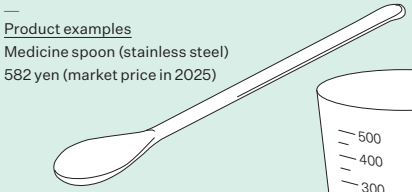
商品例
ポリスポイト（滅菌済）
1078円（2025年時価）
—
Product examples
Polysyringe (sterilized)
1078 yen (market price in 2025)



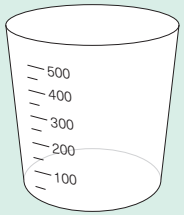
商品例
ソースディスペンサー
989円（2025年時価）
—
Product examples
Sauce dispenser
989 yen (market price in 2025)



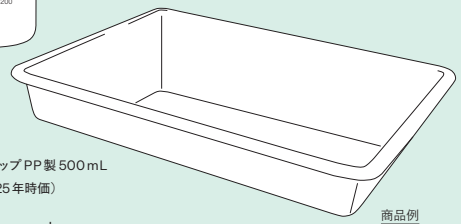
商品例
小皿（アイボリー）
219円（2025年時価）
—
Product examples
Small plate (ivory)
219 yen (market price in 2025)



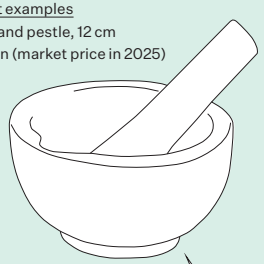
商品例
薬さじ（ステンレス）
582円（2025年時価）
—
Product examples
Medicine spoon (stainless steel)
582 yen (market price in 2025)



商品例
ディスポカップ PP製 500mL
48円（2025年時価）
—
Product examples
Disposable cup made of PP 500mL
48 yen (market price in 2025)



商品例
PPカラーバット 小
417円（2025年時価）
—
Product examples
PP color bat, small
417 yen (market price in 2025)



商品例
乳鉢 乳棒付 12cm
1430円（2025年時価）
—
Product examples
Mortar and pestle, 12 cm
1430 yen (market price in 2025)

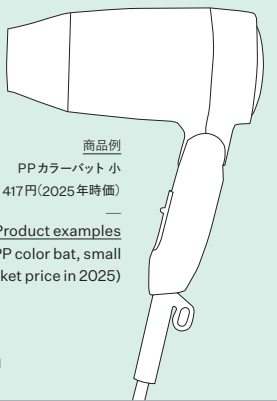


作業台 | 木製 | 自作
—
Work table | wooden | self-made



商品例
デザイン筆 彩色 大
307円（2025年時価）
—
Product examples
Design Brush for Coloring Large
307 yen (market price in 2025)

商品例
マルテー面相筆 小サイズ
219円（2025年時価）
—
Product examples
Maru-T Face Brush Small size
219 yen (market price in 2025)



商品例
PPカラーバット 小
417円（2025年時価）
—
Product examples
PP color bat, small
417 yen (market price in 2025)

本焼成用／For the main firing

基礎釉1／Basic glaze 1



合成藁灰
Synthetic straw ash



合成柞灰
Synthetic oak ash



福島長石
Fukushima feldspar

基礎釉2
Basic glaze 2

3号釉
3rd glaze



発色材（酸化焼成の場合）／Colorants (for oxidized firing)

Also known as manganese pink

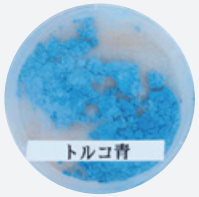
顔料（本焼成＋上絵用）／Pigments (for the main firing and overglaze)



プラセオ黄（黄色系）
Praseodymium yellow
(yellow)



バナジウム黄（黄色系）
Vanadium yellow
(yellow)



トルコ青（水色系）
Turkey blue (light blue)

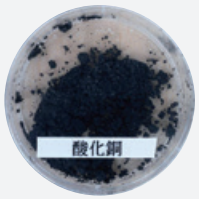


陶試紅（ピンク系）
Toshi-ko (pink)

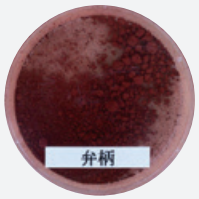
酸化金属／Metal oxides



酸化コバルト（青色系）
Cobalt oxide (blue)



酸化銅（水色-緑色系）
Copper oxide
(light blue to green)



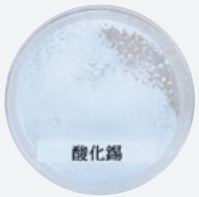
弁柄［酸化第二鉄］（黄-黒色系）
Iron oxide
(yellow to black)



二酸化マンガン（茶-黒色系）
Manganese dioxide
(brown to black)

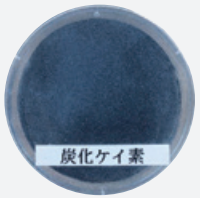


酸化チタン（白-薄紫-灰黄色系）
Titanium oxide (white –
light purple – grayish yellow)



酸化錫（白色化や光沢を与える）
Tin oxide (gives a white
color and a luster)

発泡材
Foaming agent



炭化ケイ素（釉薬が発泡する）
Silicon carbide
(makes glaze foam)

上絵用／For overglaze

基礎釉／Basic glaze



京無鉛楽フリット（低温焼成用）
Kyoto lead-free Rakufrit
(for low-temperature firing)

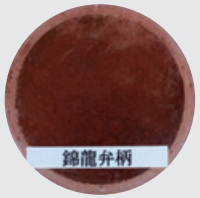


ニュージーランドカオリン
（定着材）
New Zealand kaolin
(fixing agent)



ふのり（溶液として）
Funori (as a solution)

発色材／Colorants



錦龍弁柄（赤色系）
Kinryu vermilion (red)

その他／Other



撥水剤
主に素焼き後の底面に塗布する。その部分に関しては釉薬の影響を受けない。
–
Water-repellent agent
This is mainly applied to the bottom of the bisque-fired piece. This part is not affected by the glaze.



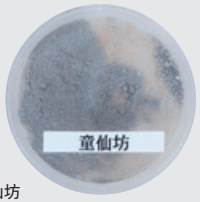
珪石
本来は土石の基礎釉に使用される珪酸成分の原料だが、今回のワークショップでは、釉薬を擦り合わせた後の乳鉢に少量混ぜ擦り合わせ擦り合わせることで掃除するために使用した。
–
Silica
Silica is a raw material that is nor mally used in basic glazes for clay and stone, but in this workshop it was used to clean the mortar after the glaze had been rubbed toget her by mixing a small amount of it in and rubbing it together.



C.M.C
合成のり。釉薬や絵の具の接着剤として、釉薬ののりが悪いときなどに使われる。
–
C.M.C
Synthetic glue. Used as an adhesive for glaze and paint, for example when the glaze is not sticking well.

今回のWSでは釉薬の流動性が未知な部分があった為、予防として童仙房やシャモットを使用。

In this workshop, we used Dousenbo and chamotte as a precaution, as the fluidity of the glaze was unpredictable.



童仙坊
陶芸窯の本焼きの工程において、釉がけした作品の下に引く板材として利用する。
–
Dousenbo
Used as a board to place under the glazed work during the main firing process in a ceramic kiln.



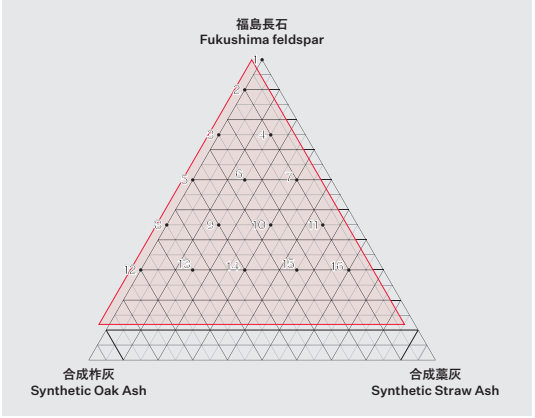
シャモット
粘土に混ぜて強度をあげたり、童仙坊の板の上にふりかけてその上に作品をおいて本焼きすることでより安全に焼成できる。
–
Chamotte
It is used to increase the strength of clay, or it can be sprinkled over the Dousenbo board and then the work is placed on top for the main firing, making it possible to fire the work more safely.

作り方の手順

［STEP1］ 本編［所要時間：1日］
釉薬調合
施釉
［STEP2］ **焼成（本焼）**［所要時間：2日］
［STEP3］ **上絵付**［所要時間：1日］
［STEP4］ **焼成（上絵用）**［所要時間：1日］
＊所要時間は目安である。
造形サイズ、焼成環境に依存する。

Steps for making

[STEP1] Main part [Time required: 1 day]
preparing glaze
applying glaze
[STEP2] **Firing (main firing)**
[time required: 2 days]
[STEP3] **Overglaze painting**
[time required: 1 day]
[STEP4] **Firing (for overglaze painting)**
[time required: 1 day]
*The time required is only a guide. It depends on the size of the model and the firing environment.



三角座標／Triangular coordinates

	福島長石	合成柞灰	合成藁灰
1	100%	0%	0%
2	90%	10%	0%
3	75%	25%	0%
4	75%	10%	15%
5	60%	40%	0%
6	60%	25%	15%
7	60%	10%	30%
8	45%	55%	0%
9	45%	40%	15%
10	45%	25%	30%
11	45%	10%	45%
12	30%	70%	0%
13	30%	55%	15%
14	30%	40%	30%
15	30%	25%	45%
16	30%	10%	60%

基礎釉100g合わせ／100g of basic glaze

本編
STEP 1
釉薬調合・施釉

1. 調合

基礎釉の調合について三角座標を利用した釉薬の調合を実施する。
三角座標による調合
方法長石と木灰と藁灰などの材料を重量比で調製する方法。
WSでは天然灰に近い分析値で合成された原料である合成藁灰、合成柞灰、福島長石を利用して釉薬の調合の三角座標を構成した。
この三つの試料の比率を変えていくことで仕上がりの質感を調整することができる。

Main part
Preparing glaze and applying glaze

1. Preparing

Preparing the basic glaze We will mix the glaze using a triangular coordinate system.
Mixing method using a triangular coordinate system
A method of preparing materials such as feldspar, wood ash and straw ash in terms of weight ratio.
In the workshop, we used synthetic straw ash, synthetic oak ash and Fukushima feldspar, which are materials that have been synthesized to have analysis values close to natural ash, to create a triangular coordinate system for glaze mixing.
By changing the ratio of these three samples, it is possible to adjust the texture of the finished product.

例
- 合成わら灰の比率をあげていくとマット系になる傾向がある。
- 合成柞灰の比率をあげていくと釉薬の透明感が増し、流動性が増すが、一定量を超えると結晶等が析出しマットになる傾向がある。

—
ワークショップでは仕上がりを確認してもらうために色見本を事前に作成した。

Examples
- Increasing the ratio of synthetic straw ash tends to result in a matte finish.
- Increasing the ratio of synthetic oak ash increases the transparency of the glaze and improves its fluidity, but if a certain amount is exceeded, crystals and other substances tend to precipitate out, resulting in a matte finish.

—
In the workshop, we prepared color samples in advance so that participants could check the finished product.



合成藁灰、合成柞灰、福島長石の三角座標を利用した色見本
Color samples using the triangular coordinates of synthetic straw ash, synthetic oak ash, and Fukushima feldspar



基礎釉No.6の調合に色材を加えた色味本
Color tone book with color materials added to the formula for Basic Glaze No. 6

原料名	添加割合（基礎釉に対して外割計算）		
弁柄	1%	5%	10%
酸化銅	0.5%	3%	5%
二酸化マンガン	3%	6%	
酸化コバルト	0.3%	0.6%	1%
酸化錫	4%	8%	
酸化チタン	4%	8%	
陶試紅	5%		
トルコ青	5%		
プラセオ黄	5%		
バナジウム黄	5%		

釉薬の焼き上がり色見本をみながら調合具合を決定。秤量計の上にパラフィン紙を敷き、基礎釉の原料や色材を秤量していく。

The color of the glaze is decided by looking at the color sample of the finished glaze. Lay paraffin paper on the scales and weigh the ingredients for the basic glaze and the color materials.



ワークショップこぼれ話
白色の粉末が多く、使うときは名前をふっておかないとどれかわからなくなってしまうので注意が必要です。



Workshop Side Story
*There are many white powders, so be careful not to lose track of which one you're using unless you label them.

2. 混合

50g調合の場合

顔料と少量の水を直接乳鉢に入れ、乳棒を使って約7分程度よくすり潰す。

基礎釉となる原料を乳鉢に入れ、水分を足し、ポタージュスープ位の濃度に調整し、乳棒を使って約20分間よくすり潰す。

2. Mixing

For a 50g Prepare

Put the pigment and a small amount of water directly into a mortar and grind well for about 7 minutes using a pestle.

Put the ingredients for the base glaze into the mortar, add water, adjust the consistency to about the same as potage soup, and grind well for about 20 minutes using the pestle.



ワークショップこぼれ話
WSの場合、初心者が多いと思われるので、混合した後C.M.Cを入れる事で釉薬と素地の定着を良くする事をお勧めします。

Workshop Side Story
In the case of a workshop, there are likely to be many beginners, so I recommend adding C.M.C after mixing to improve the adhesion of the glaze and the base.



3. 施釉

施釉の方法としては、バケツに釉薬をためておいてその中に陶器（素焼き）をつけ込むどぶ漬けか、筆やコップを使って部分的に施釉していく筆塗りがある。

3. Applying the glaze

There are two methods of applying the glaze: dipping the ceramics (bisque-fired) into a bucket of glaze, or brush-painting, where the glaze is applied to specific areas using a brush or cup.





ワークショップこぼれ話
底面に撥水剤を塗っておくと釉薬が流れてきた時に底に張り付かないので安心に取り出すことができる。



Workshop Side Story
If you apply a water-repellent agent to the bottom of the ceramics, the glaze will not stick to the bottom when it flows off, so you can take it out safely.

STEP 2

焼成（本焼）

陶芸窯を利用し、童仙坊の板にシャモットを引いてその上に陶器をおいて焼成する。1200℃前後の高温状態で、釉薬や素地の化学反応が起こり、様々な釉性状や発色に変化していく。

＊本記事では、電気窯による酸化焼成を実施する。

Firing (main firing)

Using a ceramic kiln, the ceramics are placed on a Dousenbo board with chamotte underneath and fi red. At high temperatures of around 1200℃, a chemical reaction occurs between the glaze and the base material, resulting in a variety of glaze characteristics and color changes.

* In this article, we will be using an electric kiln for oxidation firing.



ワークショップこぼれ話

本焼きする際に陶器の下に童仙坊をひくとよいです。

童仙坊をひかずに直接アルミナコーティングされた板にて焼成すると、釉薬の流動性が高く板に貼りついてしまった時に、陶器を壊すしかなくなってしまうが、童仙坊だとそれ自体を破壊できるので陶器を傷つけずに回収できます。

童仙坊のつくりかた

混錬

童仙坊と水を混ぜて手で混錬した後、たたら板とロールを使って、平滑な板状に整える。サイズは、電気釜の中に入れる板のサイズ内に収まるように調整する。

焼成

素焼きと同じ温度で焼成する。

Workshop Side Story

When firing,it is a good idea to place Dousenbo underneath the ceramics.

If you fire the ceramics directly on analumina-coated board without using Dousenbo, the high fluidity of the glaze means that it will stick to the board and you will have no choice but to break the ceramics. However, with Dousenbo, you can destroy it yourself, so you can recover it without damaging the ceramics.

How to make Dousenbo

Mixing

Mix the Dousenbo with water and knead it by hand, then use a tatara board and a roller to shape it into a smooth plate.Adjust the size so that it fits inside the plate that will be placed inside the electric rice cooker.

Firing

Fired at the same temperature as for bisque firing.



STEP 3

上絵付

1. 調合

京無鉛楽フリットを基礎釉とし、顔料を添加し色合いを調整する。秤量方法は、同様の手順でおこなう。

＊上絵は800℃の低温焼成させないといけない為、低温でも熔ける京無鉛楽フリットを使用している。

ワークショップこぼれ話

上絵用の釉薬の粘度の調整のためにふのり液を使うと良い。

ふのり液の作り方

水100に対して、ふのり1（重量比）計量し、沸騰しない程度に煮てとかす。その後、ガーゼ等で漉してふのり液を作成する。



2. 混合

顔料を少量のふのりでよく擂り潰ぶし、京無鉛楽フリットを入れ、全体をふのり溶きする。50gでおよそ20–30分擂る。粘性調整の為に微量の水分を足していく場合もある。

3. 清掃

表面の汚れを除去するためと、貫入への上絵の浸透を防ぐために、本焼成後の表面をゼラチンを溶かした湯で拭く。

Overglaze painting

1. Preparing

Use Kyoto lead-free frit as the base glaze, and add pigment to adjust the color. The weighing method is done in the same way.

* The overglaze must be fi red at a low temperature of 800℃, so we use a lead-free Kyoto frit that melts at low temperatures.

Workshop Side Story

It is good to use funori liquid to adjust the viscosity of the glaze for overglaze.

How to make funori liquid

Measure 1 part of Funori (by weight) to 100 parts of water, and boil to dissolve. Then strain through gauze to make Funori liquid.

2. Mixing

Grind the pigment with a small amount of Funori, add the Kyoto lead-free frit, and mix the whole mixture with Funori liquid. Grind for about 20 to 30 minutes with 50g. Sometimes a small amount of water is added to adjust the viscosity.



3. Cleaning

To remove surface dirt and prevent the penetration of overglaze into the craquelure, wipe the surface with hot water containing dissolved gelatin after the main firing.

4. 上絵付
本焼した後の陶器に面相筆を使って上絵していく。

4. Overglaze painting
Overglaze painting is done on the ceramics after the main firing using a fine-pointed brush.



Workshop Side Story
Even beginners can paint well by using a hair dryer to force-dry the ceramics.



ワークショップこぼれ話
ドライヤーを使って強制乾燥させることで初心者の方でもうまく塗れるようになります。

STEP 4

焼成（上絵用）

本焼きした後の窯で低温焼成で焼き付ける。780℃まで5時間で焼成し、5–10分その温度で保持する。

Firing (for overglaze painting)

After the main firing, the ceramic is fired at a low temperature in the kiln. It is fired to 780℃ in 5 hours, and then held at that temperature for 5-10 minutes.



Food Print

［著者］

井上 智博
京都工芸繊維大学 KYOTO Design Lab
ファブラボ北加賀屋

中山かりん
（フード3Dプリンタワークショップ講師）
京都工芸繊維大学 津田研究室
（サステイナビリティデザイン研究室）

佐々木美海
（フード3Dプリンタワークショップ講師）
京都工芸繊維大学 津田研究室
（サステイナビリティデザイン研究室）

[Author]

Tomohiro Inoue
KYOTO Design Lab,
Kyoto Institute of Technology
FabLab Kitakagaya

Karin Nakayama
(Food 3D Printer Workshop Instructor)
Kyoto Institute of Technology,
Tsuda Laboratory
(Sustainability Design Laboratory)

Miku Sasaki
(Food 3D Printer Workshop Instructor)
Kyoto Institute of Technology,
Tsuda Laboratory
(Sustainability Design Laboratory)



［目次］

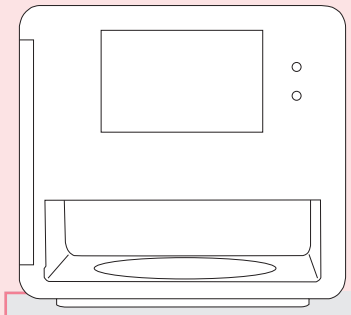
準備
54 用意する道具
用意する素材

作り方の手順
55 事前準備
56 フード3Dプリント
58 レンジ

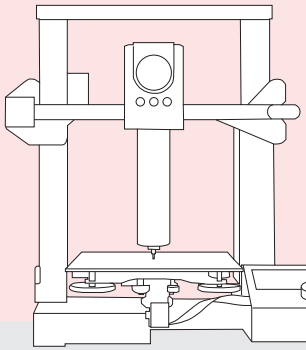
[Contents]

Preparation
54 Tools to prepare
54 Materials to prepare

Steps to making
55 Preliminary preparation
56 Food 3D printing
58 Microwave



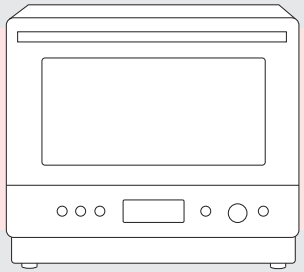
代表機体1
Natural Machines社
FOODINI
［$6000｜2025年時価］
—
Representative models
Natural Machines
FOODINI
$6000
(market price in 2025)



代表機体2
LuckyBot ONE
Food 3D Printer
［4,477 CNY｜2025年時価］
—
Representative models
LuckyBot ONE
Food 3D Printer
4,477.00 CNY
(market price in 2025)

フード3Dプリンタ
食べ物（主にペースト状のもの）を素材にノズル先端から吐出し積層していくことで3D造形することができる3Dプリンタ。

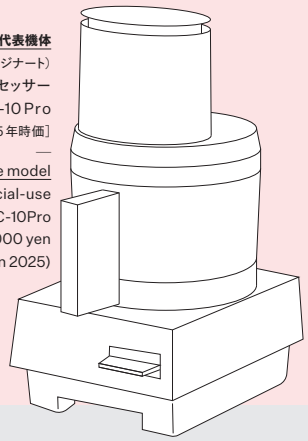
Food 3D printer
A 3D printer that can create 3D objects by extruding food (mainly in paste form) from the nozzle tip and layering it.



代表機体
SHARP RE-WF275
［49950円｜2025年時価］
—
Representative model
SHARP RE-WF275
49,950 yen
(market price in 2025)

オーブン
使用する食材に応じてフード3Dプリントの前後で粘土調整や、仕上がりの焼き上げをする時にオーブンを使用する。

Oven
Depending on the ingredients used, an oven is used to adjust the clay before and after 3D printing, and to bake the finished product.



代表機体
Cuisinart（クイジナート）
業務用フードプロセッサー
DLC-10 Pro
［48000円｜2025年時価］
—
Representative model
Cuisinart Commercial-use food processor DLC-10Pro
48,000 yen
(market price in 2025)

フードプロセッサー
フード3Dプリンタで出力する食べ物は全てペースト状にしなければならない。その素材を粉砕するためにフードプロセッサーは必須である。（フードプロセッサーを使わない場合、野菜に応じて食材を煮詰めることでペーストを作ることも可能。）

Food processor
All the food that is output by the food 3D printer must be made into a paste. A food processor is essential for grinding the material. (If you don't use a food processor, you can make a paste by boiling down the ingredients according to the vegetables.)

Recipe

これまでに利用したことがある素材を以下にあげる。

スイートポテト
●材料 お湯だけのマッシュポテト、牛乳、バター
比較的レファレンスも多く出力しやすい。

Sweet potato
●Ingredients mashed potato made with just hot water, milk, and butter
There are relatively many references, and it is easy to print.

ゆべし
●材料 にんじん、枝豆、紫キャベツ、オーサワの米粉、水、上白糖
今回はゆべしに挑戦した。京都的であり、茶菓子としてもバリエーションが作れそうだったのが選出理由である。

Yubeshi
●Ingredients carrot, edamame, purple cabbage, rice flour from Osawa, water, granulated sugar
This time, we tried making yubeshi. The reason we chose this recipe was because it is very Kyoto-like, and it seemed like we could make variations of it as tea snacks.

チョコ
●材料 チョコ
比較的レファレンスが多いがFoodini単体だと温度調整ができないため、出力時に吐出が安定しない。チョコを出力するのはLuckyBot がよい。

Chocolate
●Ingredients chocolate
There are relatively many references, but because Foodini alone cannot adjust the temperature, the discharge is not stable when printing. LuckyBot is good for printing chocolate.

作り方の手順

フード3Dプリンタ（Foodini）を使って、
にんじん、枝豆、紫キャベツ味のゆべしを作る。

［STEP1］ 事前準備
［STEP2］ フード3Dプリント
［STEP3］ レンジ

Steps for making

Using the Food 3D printer (Foodini), we made yubeshi with carrot, edamame, and purple cabbage flavors.

[STEP1] Preliminary preparation
[STEP2] Food 3D printing
[STEP3] Microwave

STEP 1

事前準備

1. 粉砕
にんじん、枝豆、紫キャベツを別々にフードプロセッサーにかけて粉砕する。



2. 冷凍
タッパーに入れて冷凍室に入れて保存する。

Preliminary preparation

1. Grinding
Grind the carrots, edamame, and purple cabbage separately in a food processor.

2. Freezing
Put them in a Tupperware container and store in the freezer.



STEP 2

フード3Dプリント

1. 調合

●材料（2カートリッジ分）

野菜ペースト 50g、米粉 50g、水 75g、砂糖 30g
材料を計量して耐熱ボールの中に入れる。
※本記事では、電気窯による酸化焼成を実施する。



ワークショップこぼれ話
はじめにクックパッドのゆべしのつくり方を参照しながら、調合の度合いを調整していきました。全くおなじ調合だと硬すぎたので水を少し多めにいれてアレンジしました。

2. 混錬

耐熱ボールの中に入れた材料をへらを使って混錬する。また出力できる粘度に調整するため、電子レンジで複数回温めて硬度をチェックしながら調整する。
（600w 30秒温めるを3セット）
＊ボールを傾けても材料が流れない程度の硬さ



ワークショップこぼれ話
混錬しただけだとよい粘度にならず、試行錯誤した結果、電子レンジで温めることで粘度を調整するにいたりました。

Food 3D printing

1. Preparing

●Ingredients (for 2 cartridges)

50g vegetable paste, 50g rice fl our,
75g water, 30g sugar
Measure the ingredients and put them in a heat-resistant bowl.

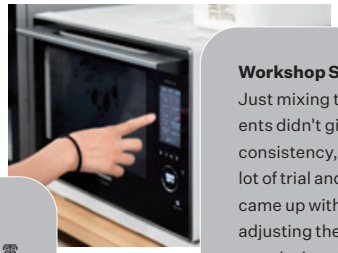
Workshop Side Story
At fi rst, I referred to the instructions for making yubeshi on Cookpad to adjust the degree of Preparing. The dough was too hard when I used the exact same ingredients, so I added a little more water to adjust the consistency.



Cookpad参考リンク/Cookpad Reference Link

2. Mixing

Mix the ingredients in the heat-resistant bowl using a spatula. To adjust the consistency to a suitable level, heat the dough in the microwave several times and check the consistency as you go along. (30 seconds at 600W, 3 sets)
*The consistency should be such that the ingredients don't flow out when you tilt the bowl.



Workshop Side Story
Just mixing the ingredients didn't give the right consistency, so after a lot of trial and error, we came up with the idea of adjusting the consistency by heating it in the microwave.

3. 装填

材料に空気が入らないようにカートリッジに装填する。
＊充填完了後、カートリッジの後ろを手で押して材料が出るか確認をすると良い。



4. 造形

Foodiniにカートリッジを装填し、カートリッジの中のペーストをピストンで押し出して積層していくことで3D造形する。
　Foodiniの場合、カートリッジ5つを搭載できるので、味の違うペーストを積層させていくことができる。またノズルサイズがいくつか（0.8mm、1.5mm、4.0mm）かあり、それを選択することで多様な解像度での出力が可能になっている。

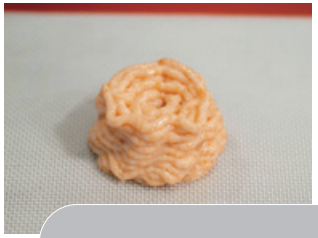
ワークショップこぼれ話
今回の素材では、ノズル穴からなかなかペーストが吐き出せず、最終的にはノズル口径を4mmにすることでうまく造形することができました。

3. Loading

Load the ingredients into the cartridge so that no air gets in.
* After loading is complete, you can check that the ingredients are coming out by pushing on the back of the cartridge with your hand.

4. Modeling

Load the cartridge into Foodini, and push the paste inside the cartridge out with the piston to create a 3D model.
　With Foodini, you can load fi ve cartridges, so you can layer diff erent pastes with diff erent fl avors. There are also several nozzle sizes (0.8mm, 1.5mm, 4.0mm), and you can choose from these to output at various resolutions.



Workshop Side Story
With the materials we used this time, it was diffi cult to get the paste to come out of the nozzle hole, and in the end we were able to successfully create the model by changing the nozzle diameter to 4mm.



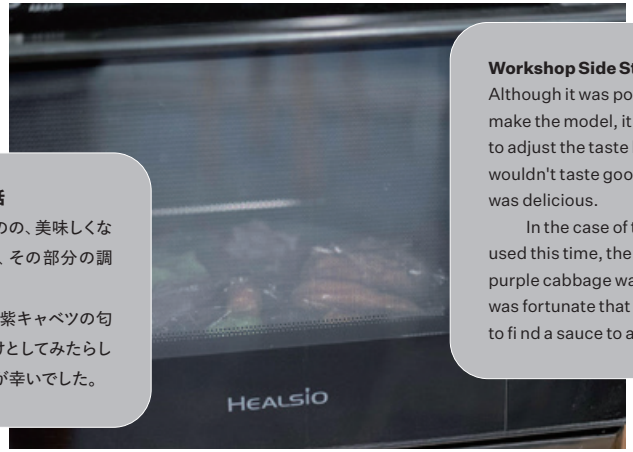
STEP 3

レンジ

霧吹きをしてサランラップで
包んだあとにレンジで温めると完成する。

Microwave

After spraying it with water and wrapping it in cling fi lm, heat it in the microwave to fi nish.



ワークショップこぼれ話

造形できたのはいいものの、美味しくないと食べられないので、その部分の調整が大変でした。

今回の素材の中では紫キャベツの匂いがきつく、その味づけとしてみたらしのたれを見つけれたのが幸いでした。

Workshop Side Story

Although it was possible to make the model, it was diffi cult to adjust the taste because it wouldn't taste good unless it was delicious.

In the case of the material used this time, the smell of purple cabbage was strong, so it was fortunate that we were able to fi nd a sauce to add flavor to it.









石津優子

このワークショップは、学術的な活動から離れて久しい私にとって、非常に刺激的で特別な経験となりました。

この企画のきっかけは、堀川さんとの雑談でした。普段はBIM関連のソフトウェア開発に携わっており、デスクワークが中心ですが、お誘いいただいたことで、7年ぶりに実験的なデジタルファブリケーションに触れる機会となり、とても楽しい時間を過ごすことができました。企画段階では、参加者にとって充実したワークショップになるか不安に感じることもありましたが、無事に成果物が完成し、参加者の笑顔を見てほっとしました。

できるかわからないことに挑戦したり、触れたことがないツールに触れながら学ぶ機会は、意識的に作らないとなかなか得られません。その点で、ワークショップという集団学習を通じて楽しく学べたことは、非常に貴重な経験でした。

異なるバックグラウンドや興味を持つ参加者が集まり、デザインを考え、土をこね、釉薬をつくり、3Dプリンタの動きを見守り、焼き上がりを待つ——その一連のプロセスを通じて生まれた交流がとても印象的でした。改めて、デジタルファブリケーションとプロシージャルデザイン、そして伝統技術の融合の可能性を強く感じました。

Houdiniワークショップは、慣れるまで抽象概念の理解が難しく、Clayワークショップは、準備や機材の手配、時間の確保が必要で、開催する側にとってハードルが高いものですが、知識や経験を持ち寄ることで実現できたことを誇りに思います。

この本が、これから同じような挑戦をする方々の一助となれば嬉しいです。

最後に、このような素晴らしい機会を与えてくださった講師陣の皆さま、参加者の皆さま、FabCafeの皆さま、D-labの皆さまに、心から感謝を申し上げます。

堀川 淳一郎

今回のワークショップは、石津さんと井上さんと私の3人で企画しました。私は主に、石津さんのデジタルデザインレクチャー部分でチューターとして参加させていただいたのですが、実のところ、クレイ3Dプリンタについては経験がなく、どれほどお力になれるか少し不安もありました。

ただ、D-Labにはすでにプリンタが数台あり、石津さんと井上さんは使用経験があるとのこと。さらに今回はG-Codeの生成をスクラッチからやってみるという課題があったので、これは私もぜひ一度経験しておくべきことだろうと思ったのを覚えています。さらに、釉薬がけからの本焼きやお茶会まで行うという話に発展し、自分自身これは参加者としてぜひ参加したいというワークショップになったかと思います。教育者の端くれとして、そしてあわよくば参加者としても、今回楽しく参加させていただきました。

結果的に自分自身学ぶことの多いワークショップだったかと思います。クレイ3Dプリンターを使ったワークショップは今回初でしたが、参加者と一緒にデジタルデザインから3Dプリンティング、釉薬掛けまで横断的に体験したことで、今後デザイン的にもワークフロー的にも挑戦したい課題が見え、まだまだ面白くなりそうという方向が見えたので、ぜひまた開催できたらと思います。最後に本書を読んで、自分でも同じようなワークショップを開催してみたいという人が一人でも増えたら何よりです。

Yuko Ishizu

This workshop was a very exciting and special experience for me, as I have been away from academic activities for quite some time.

The impetus for this project came from a chat with Mr. Horikawa. Normally, I am involved in BIM-related software development and work mainly at my desk, but the invitation gave me the opportunity to experience experimental digital fabrication for the first time in seven years, and I had a great time. During the planning stage, I sometimes felt uneasy whether the workshop would be fulfilling for the participants, but I was relieved to see their smiling faces when the deliverables were successfully completed.

It is difficult to get a chance to learn by trying something you are not sure if you can do, or by experiencing tools you have never used before, unless you make a conscious effort to create such an opportunity. In this respect, being able to enjoy learning through the group learning experience of the workshop was an extremely valuable experience.

Participants with different backgrounds and interests gathered together, thought about the design, kneaded the clay, made the glaze, watched the 3D printer in action, and waited for the firing to begin - the exchange that took place through this series of processes was very impressive. Once again, I strongly felt the potential for the fusion of digital fabrication, procedural design, and traditional techniques.

The Houdini workshop is difficult to understand abstract concepts until you get used to them, and the Clay workshop is a hurdle for those who organize it, as it requires preparation, equipment, and time, but I am proud that we were able to make it happen by bringing our knowledge and experience together.

I hope this book will help those who are going to take on similar challenges in the future.

Finally, I would like to express my heartfelt thanks to all the lecturers, participants, FabCafe staff, and D-lab staff for giving us such a wonderful opportunity.

Junichiro Horikawa

This workshop was planned by Ms. Ishizu, Mr. Inoue and myself. I mainly participated as a tutor for the digital design lecture given by Mr. Ishizu, but to tell the truth, I had no experience with clay 3D printers, so I was a bit worried about how much help I could be.

However, D-Lab already has several printers, and Ms. Ishizu and Mr. Inoue had experience using them. Furthermore, this time we had the task of trying to generate G-Code from scratch, and I remember thinking that this would be something I should definitely experience once. The workshop also evolved into a discussion of glazing, firing, and even a tea ceremony, and I think it became a workshop that I myself would have loved to attend as a participant. As an educator, I enjoyed participating in the workshop, both as a participant and as an educator.

As a result, I think I learned a lot from the workshop. This was the first time for me to participate in a workshop using a clay 3D printer, but through experiencing everything from digital design to 3D printing and glazing with the participants, I was able to see issues that I would like to challenge in terms of design and workflow in the future, and I think it will be interesting to see where it goes from here. I hope we can hold this event again. Finally, I would be more than happy if even one more person reads this book and wants to try holding a similar workshop themselves.

井上智博

本ワークショップは前職からお付き合いのある堀川さん、石津さんから話があって実施しようという運びになりました。実に10年振りの共演です。ただその時にそれを万全に受け入れる体制があったかというとそうではありませんでした。本学の共有工房にセラミック3Dプリンターが設置されていて私は利用することができた(思えばあのときはまだ未熟だった、)けど、セラミック3Dプリンターを利用できる学生はほぼいないし、そもそも陶芸を大学の授業として専門的に学べないということもわかりました。大学の名前の中に工芸があるのにそれを学べないのは悲しい。使命感に火がつくのを感じました。そんな状態からどうワークショップを作ることができるのか?自分一人の力だと限界があります。知り合いの専門家に助けを求めます。諏訪蘇山さん、潮さん、お二人のアドバイスを聞いてワークショップの骨格を作っていきます。必要物品のリストアップから始まって、3Dプリンターで出力して焼成するだけではない、そのあとの工程の釉薬の奥深さ、陶芸の面白さを話してもらいました。講師陣にお二人を迎え、ワークショップの内容にさらに私たちも実験的に経験したいことを追加していきます。その骨格に肉付けしていく部分を本学の興味ある学生を巻き込み一緒に実験していくことで共通知を蓄積して、その経験のある学生達のサポート、そして講師陣により本ワークショップを開催することができました。

あらためて振り返るとそれまで共に試行錯誤して積み上げていったそのプロセスが非常に重要であり、そしてそこでできた関係性が財産であると思いました。皆様本当にありがとうございました。感謝しかありません。

本書は、そのリサーチ、仮説、検証のなかで失敗にまみれながらも前に進んでいったそんな私たちの記録です。ものづくりしたい、ワークショップを企画したいという方への支援になればと思います。そして一緒に企画したい。学びたい。そんな人たちを繋ぐ媒体になればいいなと思っております。

Tomohiro Inoue

This workshop was proposed by Mr. Horikawa and Mr. Ishizu, who have known each other since their previous jobs, and we decided to hold this workshop. In fact, this is the first time in 10 years that we have worked together. However, we did not have a system in place at the time to fully accommodate the workshop. There was a ceramic 3D printer in the shared studio at the university, which I was able to use (I was still inexperienced at that time), but I found out that almost no students could use the 3D printer and that they could not study ceramics professionally as a university course in the first place. It's sad that crafts are in the name of the university and we can't learn them. I felt my sense of mission ignited. How can we create a workshop from such a situation? There are limits to what you can do on your own. I will seek help from experts I know. Ms. Sozan Suwa, Ms. Ushio, and I listened to their advice and created the framework for the workshop. Starting with a list of necessary items, they talked about the depth of the glazing process and the fun of ceramics, which is not just outputting and firing on a 3D printer, but also the process after that. With the two of you as instructors, we will add to the content of the workshop what we also want to experiment and experience. We were able to accumulate common knowledge by involving interested students of our university in the process of adding flesh to the skeleton of the workshop and experimenting together, and we were able to hold this workshop with the support of the students and instructors who had experience in this area.

Looking back, I think that the process of trial and error that we went through together up to that point was extremely important, and the relationships that we formed were an asset. Thank you all very much. I have nothing but gratitude.

This book is a record of our research, hypothesizing, and testing, and how we moved forward despite our many failures. We hope it will be of assistance to those who want to make things or plan workshops. And we want to plan together. We want to learn. We hope it will be a medium to connect such people.

諏訪蘇山(四代)

35年ほど前に3DCGを学んだ私にとって、画面上に閉じ込められていた造形物が粘土の造形物として現実世界に現れ、釉薬によって彩られ作品となる過程を体験できたことは、大変興味深いものであった。

CGの世界から離れ、焼き物の世界に身を置いている間に、3Dモデリングソフトも3Dプリンターも驚くべき速さで進化し、焼き物の世界に近づいて来た。

今回、様々な経験を持つ方々と、その可能性を探れたことに感謝しつつ、このツールを使って、更に完成度の高い作品を作る方法を模索していきたいと思う。

Suwa Sozan (4th generation)

For me, who learned 3DCG about 35 years ago, it was very interesting to be able to experience the process of clay modeling, where the modeling that was confined to the screen appeared in the real world as a clay modeling and became a work of art after being colored with glaze.

While I have been away from the world of computer graphics and immersed in the world of ceramics, 3D modeling software and 3D printers have evolved at an amazing speed, bringing us closer to the world of ceramics.

I am grateful to have had the opportunity to explore the possibilities with people who have a wide range of experience, and I look forward to exploring ways to use these tools to create even more highly finished pieces.

潮桂子

今回のワークショップを開催するにあたり、陶芸家の諏訪蘇山さんからお話を繋いでいただき、元々クレイ3Dプリンターに興味があったので、体感してみたいという思いもありご一緒させていただきました。

しかし日程スケジュールをお聞きした際は、これはスケジュール的に無理だなと正直思いました。

陶磁器には乾燥や焼成にある程度時間がかかるので、通常行っているワークショップでも焼成に関してはその場では出来ず、ある程度時間をいただき後日解説と共に郵送という形をとっていました。その為、焼き上がった作品を参加者と共に体感する事は難しかったのですが、今回のワークショップでは、それらを参加者と共に全て体感できたという所に大きな意味があるように思いました。

最初のデザイン設計から最後まで全てを一緒に体感する事により、フレッシュな状態でお互いに気付いた部分を共有し、感動を分かち合えるという、正にワークショップの本髄ではないかと思いました。これもひとえに、D-labの井上さんはじめ、講師陣の皆さん、FabCafeの皆さん、事前準備を手伝ってくれた学生さん、タイトなスケジュールに真剣に楽しんで参加してくださった参加者の皆さんのおかげだと思っております。新しいワークショップのモデルがここにひとつ出来たように思います。

ひと昔前、陶磁器は最先端技術といわれ研究開発が盛んに行われていましたが、今では比較的身近にあるものへと変化しています。Houdiniや3Dプリンターは正に現代の最先端技術にあたるものであり、今回間近で皆さんの成果を拝見し、その技術の幅広さや奥に秘めた可能性を多く感じ感慨深いものがありました。また今後の展開をとても楽しみにしていきたいと思います。

Keiko Ushio

When we decided to hold this workshop, we were connected by ceramic artist Suwa Sozan, and since I was originally interested in clay 3D printers, I wanted to experience them firsthand, so I agreed to work with him.

However, when I heard about the schedule, I honestly thought it would be impossible.

Ceramics take a certain amount of time to dry and fire, so even in our regular workshops, firing is not done on the spot, but rather sent by mail with explanations at a later date, after some time is given. Therefore, it was difficult to experience the finished pieces together with the participants, but this workshop was very significant in that we were able to experience all the processes together with the participants.

By experiencing everything together, from the initial design to the final design, we were able to share what we noticed with each other in a fresh state and share our impressions, which I thought was the very essence of the workshop.

I think this is thanks to Mr. Inoue of D-lab, all the lecturers, the FabCafe staff, the students who helped with the advance preparations, and all the participants who seriously enjoyed participating in spite of the tight schedule. I think we have created a new workshop model here.

A decade ago, ceramics was considered a cutting-edge technology, and research and development was active, but now it has become something that is relatively familiar. I was deeply moved by the breadth of the technology and its hidden potential. I am very much looking forward to the future development of this technology.

Editor and Graphic Design: Haruka Iwami / Karuhami

