



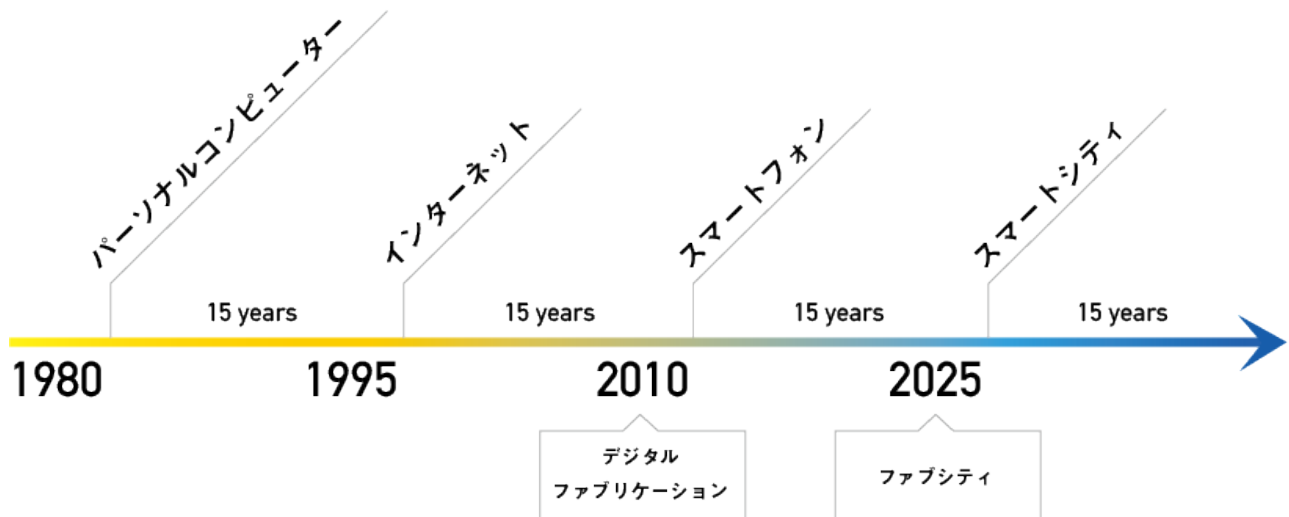
4D Fabrication Lab

Fabbing Our City

Hiroya Tanaka Lab

01 はじめに

「モノ」と「情報」が交差する時代に



15年周期の技術革新

情報技術による社会の革新は、約15年周期で起こっている。1980年の「パーソナル・コンピュータ」、1995年の「インターネット」、2010年の「スマート・フォン」。そして2025年に向けて加速している現在進行形の潮流は、「スマート・シティ」である。

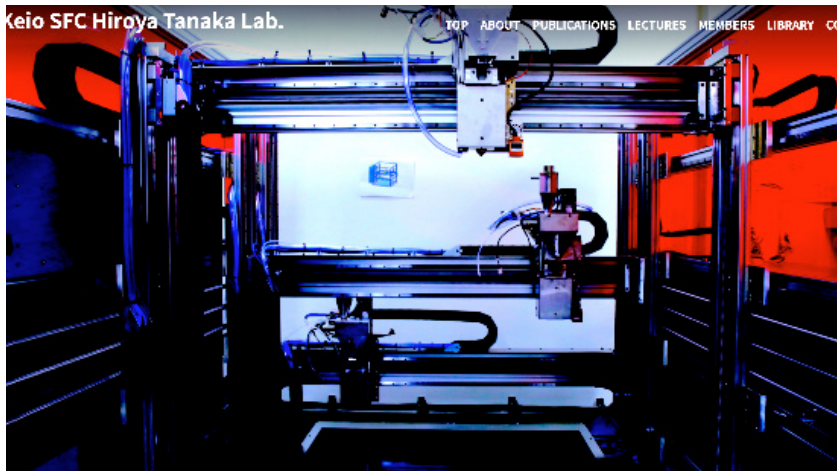
「スマート・シティ」とは何だろうか？ SFCの同僚である中澤仁教授は「情報の持つ力によって、そこにいる人々が幸せになっている街」と定義し、研究員の米澤拓郎さんは「情報技術で最適化された街」と言う。現在、トロント (Google)、広州 (アリババ) を筆頭に米中がデータ駆動都市の先端的な実験を繰り広げ、バルセロナやアムステルダムでは、市民参加に重きを置いたヨーロッパ型のスマート・シティが模索されている。普遍的なモデルは、まだない。いや、それが「都市」である限りは、永遠に「普遍」はないのだと言ったほうがよいかもしれない。都市は、それぞれが唯一無二の文化や歴史が折り重なって

育まれてきた混成体であり、世界にひとつとして同じ都市はない。最終的にも、都市の多様性の数だけ、違ったタイプの「スマート・シティ」が生まれるのだろう。私たちは、日本から、どんなスマート・シティをつくり出せるだろうか。

さて、情報技術による都市の最適化が進んでいくなかにあっても、当然ながら、物質世界が無くなるわけではない。ただ現代は、物質（マテリアル）と情報（データ）が交差する時代であることも、忘れてはならない。まず大事なことは、実は物質性が不要で、「データ」によって代替したほうがよいもの（貨幣や印鑑）と、物質性こそがまさに重要で、変化の時代にあわせたアップデートが要求されるもの（「靴」や「服」、「家」や「乗り物」）とを明確に区別することである。

そして、物質性が重要な「もの」たちに、スマート・シティ時代にふさわしい、新しい機能と、形態と、意味とを与えること。それをデジタル環境

の柔軟性を最大限活かしながら設計すること。これが、2020年以降の田中浩也研究室の重要なミッションとなる。その「手段」となる技術について、これまで過去10年間に渡って徹底的に研究し、磨き続けてきた。



fab.sfc.keio.ac.jp

デジタル・ファブリケーション

冒頭に、2010 年はスマート・フォンが社会に普及した年であった、と書いた。社会史としてはそれで間違いないだろうが、他方、私個人としての2010 年は、「デジタル・ファブリケーション」の研究室として本格的に活動を始めた年でもある。

「デジタル・ファブリケーション」とは、デジタルデータから直接「もの」をつくりだす技術である。いくつもの種類があつて、木工用の CNC 切削機や、ミシンや編み機も「デジタル・ファブリケーション」機器である。ただ、それらのプロ用機器は過去から存在した。もともと大型・業務用だったものが2010 年を境に卓上化・小型化したのだつた。そのことにはもちろん意味がある。ものづくりから比較的遠かった人々にデジタル工作機器が届くようになったからだ。そのような状況の中で、プロからも、そうでない人からも、等しく新しい期待を受けたのが、新登場の「3D プリンタ」だった。3D プリンタは、静かで、ゴミが少なく、危険も少ない。

また、「積層」というメカニズムから、「物体の内部構造を設計できる」という特性が目された。その可能性を広げていく中で、これまでとは違った新しい造形言語が開拓されつつある。「3D プリンタ」は、デジタル工作機械のひとつでありながら、未知の部分が多く、特別なポジションにあつた。

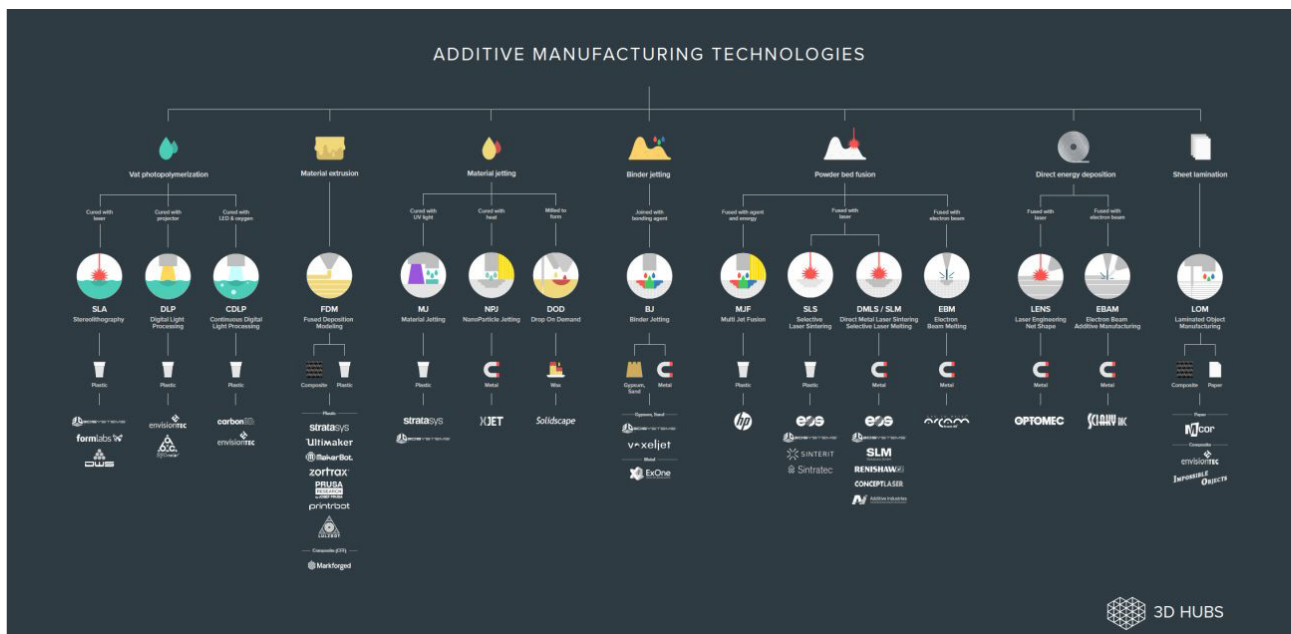
とはいえ2013 年前後、メディアから注目された当時は、使える素材の種類や精度の面で難があつたため、多くは試作目的に過ぎなかつた。しかし、2015 年以降の急速な研究開発によって課題が解決されてきた。現在では、小型のパーツから大型の建築物まで「実用品」を量産で扱える技術にまで成長している。新しい機能性材料も登場し、「4D プリンティング」と呼ばれる、プリント物に動きや表現力をもたせる全く新しい萌芽領域も誕生した。

この「デジタル・ファブリケーション」こそが、スマート・シティ時代の物質的な側面をデザインしていく際に、

最大限に活用すべきツールである。地域によって異なる、都市や街の抱える課題に向き合う際には、情報領域からのみならず、物質領域から問題に取り組むことが有効な場合があるだろう。日本で普通に暮らしている中でも、超高齢化の問題、地球温暖化や異常気象の問題、交通渋滞の問題などは誰もが感じとれるはずだ。それらは普遍的問題ではありながら、同時に、具体的な顕れは地域によって違う姿を見せる。また、価値の転換期にあつては、「まちの豊かさ」の再定義も進められるべきだろう。「スマート化」によって、効率化できる部分は効率化しつつ、他方、それによって生み出された余剰の時間を、住民にとって、より豊かで幸福な（ファビュラスな）方向性に向けていく必要がある。

デジタル・ファブリケーションの可能性を最大化することで実現可能となる、「都市」の物質領域のアップデート。それを通して見えてくる次なる都市像を、私たちは「ファブ・シティ (Fab City)」と呼びたい。スマート・シティが「情報の持つ力によって、そこにいる人々が幸せになっている街」であるならば、ファブ・シティは「デジタル・ファブリケーションの持つ力によって、新たな豊かさが付与される街」と定義できるだろう。サイバーとフィジカルが互いに繋がりがあい、補完しあう時代において、このふたつは双子のような関係になる。デジタル・ファブリケーション自体が、半分はデータを扱い、半分は「もの」を扱う、両生類のような位置づけにある。「情報と半分溶け合った物質」をわれわれはつくりあげていく。

新しい都市のための「X デザイン」



ISO による Additive Manufacturing 技術の体系

慶應義塾大学 SFC の「X デザイン」というプログラムは、従来の伝統的なデザイン領域では扱いきれなかった、未知のデザインを開拓する目的で 2008 年に設立され、昨年で 10 年を迎えた。スマート・シティ時代の物質デザインに求められるのは、まさに「都市にありながらも、いままで誰にもデザインされていなかったもの」に目を向け、新しいデザインを付与することである。プロジェクトによっては、デザインの対象が、これまでも都市にあったものになる場合もあるが、これまでとは違った切り口でのアプローチを探索することが重要になる。それは、靴であっても、建築であっても、家具であっても、乗り物であっても変わらない。どのデザイン領域もいま、これまでのような「大量生産」を前提とした「工業化社会のデザイン」の語法とは根本的に異なる、新しい「デザインの語法」を期待しているのだから。新しいデザインの語法を考えるには、2つの側面からアプローチする必要がある。

3D プリンティング特有の造形技法を引き出し体系化しようとする試みは、「DfAM (Design for Additive Manufacturing)」と呼ばれ、世界中で探索が始まっている。我々も、世界の事例をリサーチしながら、特に田中浩也研究室で長く扱ってきた Material Extrusion 方式について、研究室独自の語法を編み出し、体系化しようとしている。ME 方式は、ISO の定義上、合計 7 つある 3D プリンティングの方式のなかで、(1) 大型化が容易、(2) 複数の材料を組み合わせることで用いることが可能、(3) 低価格のものから高価格のものまでラインナップが豊富で、シームレスに使い分け連携できる、という 3 つの特徴がある。教員(田中浩也)は 2007 年に初めて熱溶解積層法の初期的な機種である RepRap と Fab@Home を導入して以来、長くこの技術と向き合ってきた。国内からも、高性能な 3D プリンタを販売する企業が生まれてきたいま、もっとも必要とされているのは、機械の性能を最

大限発揮するための設計技法(データづくり)の深化とこれまではなかった応用領域の開拓である。

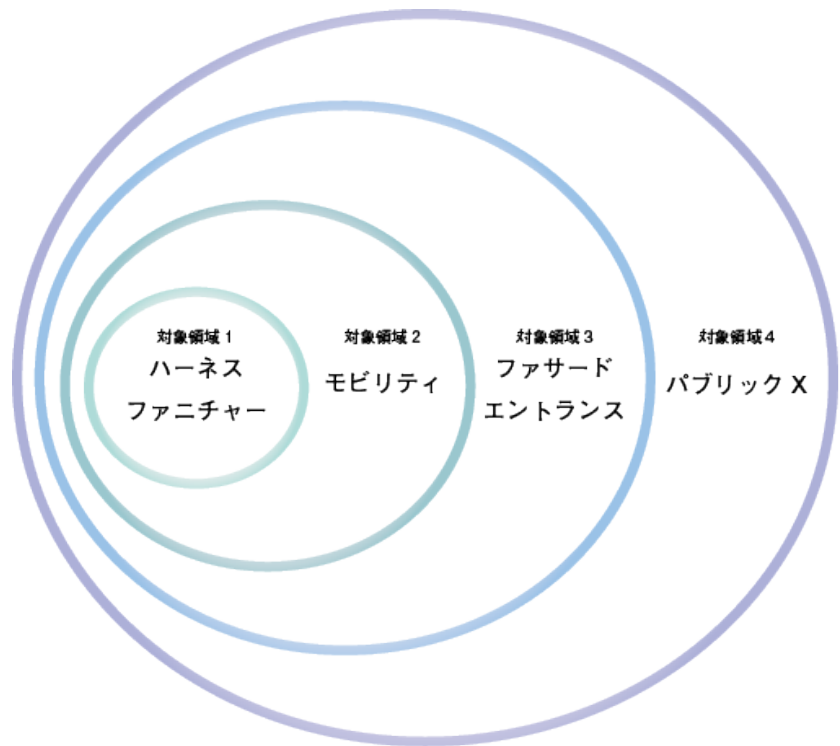
2つのアプローチのうち、対になるもうひとつは、「近未来の都市(スマートシティ)や都市生活」を想像する観点から、ものに期待される機能・性能、そして意味は何か?という「コンテキスト側」を思索(Speculation)していくアプローチである。こちらのアプローチについては、研究室メンバーの興味関心や方向性を編み合わせてきた結果ようやく、特化すべき 4つの主要対象領域が見えてきた段階にある。その4つは以下になる。

1つめの対象領域は、人間や動物が「都市に繰り出すため」の新たな装具(ハーネス)や屋外型家具(ファニチャー)である。これから「新しい都市」をつくるにあたっての最優先課題は、何を差しおいてもまずは「出かけやすく、出かけたくなる」都市空間を実現することに他ならない。こうしたニーズから導かれ、つくられ

る、ひとりひとりの身体にスーパーフィットする装具や、まちのさまざまな部位にアタッチメント可能な家具には、「フィット」という指標をもとにした新しいデザイン言語を確立することが求められるだろう。

2つめの対象領域は、モビリティである。いま、電動キックボードからパーソナル・モビリティまで、「これまでには無かった新しい移動体」がまちに生まれ、そして車は自動運転車へと進化している。そのなかで、デザインにも、かつての工業的なモビリティ・デザインとは異なる、新しい要請が発生しつつある。われわれの研究室で取り組んでいるのは、モビリティに対して、「周辺に対する自己状態表現力」を付与する試みである。無表情だった工業デザインの語法を超えて、より生物的なたたずまいを備え、まちに溶け込み、周辺の歩行者とインタラクションを交わす、「表現する」モビリティとはどのようなものになるだろうか。

3つめの対象領域は、建築の内外をつなぐファサードやエントランスである。単に建物内外を「隔てる」のみならず、動的に内外を「つなぎ」ながら、都市に新たな表情を与えていく役割がある。いま、スマート・フォンが万能のディスプレイとなり、さらにVRやARへと進化していく中、広告やサイネージなどの情報呈示の役割は少しずつデジタル空間側に移行しつつある。つまり物理空間側の役割としては、「情報呈示」の役割は削ぎ落されていくことになる。その移行の末、物理空間に残されるファサードやエントランスの主たる役割は、



田中研が対象とする領域のスケール

微気候を制御するような環境効果であり、自然の光や四季の変化が感じられるような様相のリフレクションであり、視覚のみではなく音・光・匂いを含めた、街全体のアンビエンス（雰囲気）を整えていく役割ようになるのではないだろうか。

最後4つめの対象領域は、都市の公共空間に新たに設置される「まだ名前のないジャンルの人工物＝X」である。「X」は、過去から存在するもので言えば、パブリック・アートに近いが、これからの「X」は、単なる鑑賞用の芸術彫刻ではない。むしろ、微生物をはじめとする都市の见えない生態系を調整するような機能を持ちつつ、遊具としても機能し憩いの場となるような、いくつかの「新しい実用性」を兼ね備えたものになる。人、生物、環境を結びつける交点となり、そ

してそれは、そのまちの個性を示す、新たなシンボルにもなるだろう。それは、現代の蟻塚や貝塚のような存在かもしれない。わたしたちはいま、「X」に「バイオ・スカルプチュア」という名称を与え、最初のプロトタイプをつくりはじめようとしている。

こうした4つの対象領域それぞれが、未来のニーズをその予感とともに先取りしながら、DfAMに基づく技術アプローチと交わらせて展開している。プロジェクトを通じて実際につくりあげたプロトタイプは、順にまちに設置され、日本のスマート・シティの新しい風景の一部になっていくだろう。

02 DfAM

Design for Additive Manufacturing

世界の DfAM

DfAM と は、"Design for Additive Manufacturing" の 頭文字を取った略称であり、3D プリンタ の よう な AM(Additive Manufacturing) 技術の可能性を引き出すためのデザイン手法のことを指す。DfAM は、AM の技術によって提供される設計の自由度が非常に大きいことから生まれており、AM の特色を最大限に活かすためには、整理された DfAM のデザイン言語体系と、それを実現する新たなデザインツールが必要となってくる。

Wikipedia によれば、現在一般的な DfAM の技法は下記の 6 種類である。

Topology Optimization

与えられた空間的制約、材料物性、負荷から最適な形状を求める手法。多くの場合非常に複雑な形状となるため、従来の切削加工では造形が難しかったが、Additive Manufacturing によって実用化された。強度と軽量化が重要な航空機や自動車の分野で多く活用されている。

Multi-Scale Structure Design

微小から極大まで異なるスケールで定義される構造を階層的に合成していく方法。

Multi-Material Design

マルチヘッドのプリンタにより、複数材料を一体で造形することや、混合

比をグラデーションさせることによる傾斜機能材料などが可能。

Design for Mass Customization

積層造形はデジタルで設計されたモデルから直接部品を出力することができる。そのため、カスタマイズ製品を製造する工程・時間を大幅に削減することが可能になった。現在は、設計者またはユーザーが容易にカスタマイズされた製品を入手することを手助けするための設計方法が提案されている。利用方法としては、個人の体の形に合わせたギプスなどが挙げられる。

Parts Consolidation

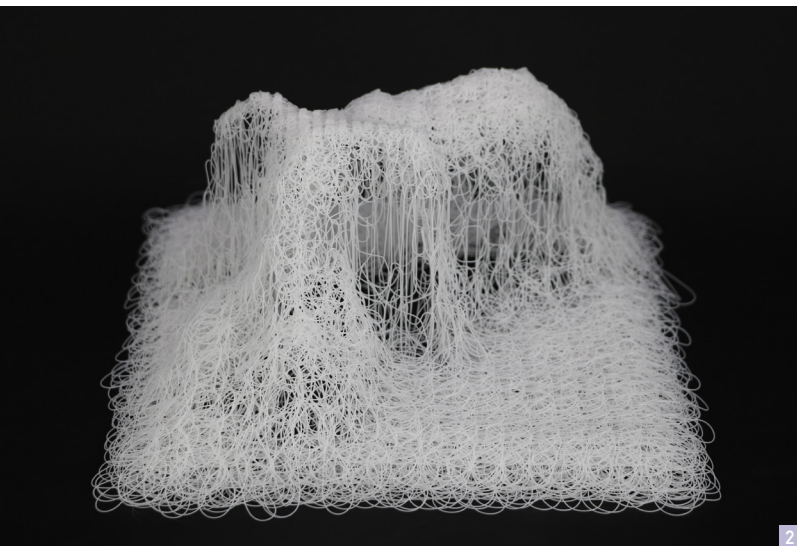
従来、複雑な構造物は、製造および組み立ての容易さのためにいくつかの部品に分けて扱われていた。複数の部品に分け製造したのち、組み立てられるように設計がされている。しかし、積層造形の技術によって、オリジナルにデザインされた構造物を一括で製造することが可能になった。これにより、扱う部品の数が減るだけでなく、製品の機能の向上も期待できる。

Lattice Structure

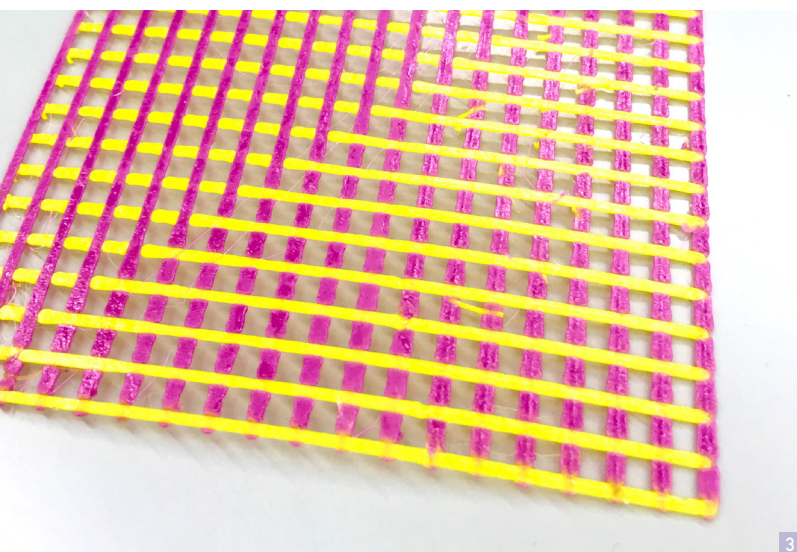
積層造形が持つ自由造形能力により、格子構造などの複雑な内部を持つ造形品の製造が可能になった。格子構造は高強度で、かつ低質量の特徴がある。航空宇宙事業およびバイオメディカル事業への応用が期待されている。



1



2



3



4

田中研の DfAM

田中浩也研究会では、DfAMの技法について、上記の6分類とは違った視点からの整理を試みている。形状を「モデリング」する際に扱う「単位」に着目してみれば、1D(糸)、2D(面)、3D+(立体の内部構造)、4D(動き)の4つに分けて整理をすることができるのである。

1D(糸)

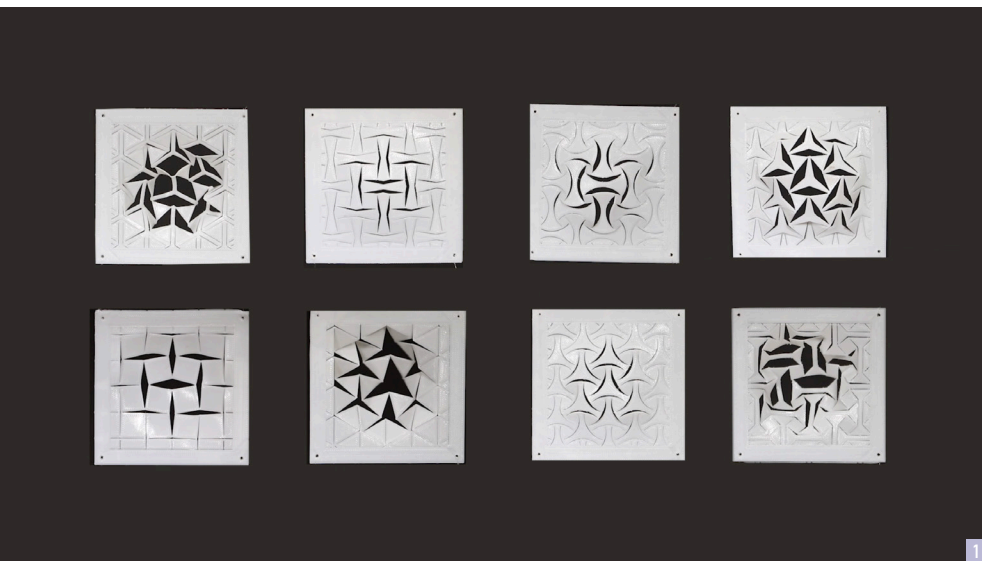
3Dプリントのノズルから吐出される材料は、細い紐状になっている。これを直接制御すれば、物体に毛を生やす、糸を絡み合わせる、縦横と横糸のように織り合わせるのような表現を生み出すことができる。また、紐の太さを直接制御すれば、疑似的な編み物のような外観を生み出すこともできる。

1 物体に毛を生やす (脇本智正) 2 糸を絡み合わせる (名倉奏生) 3 フィラメントを縦横に織る (大日方伸) 4 編み物のようなテクスチャ (木下里奈)

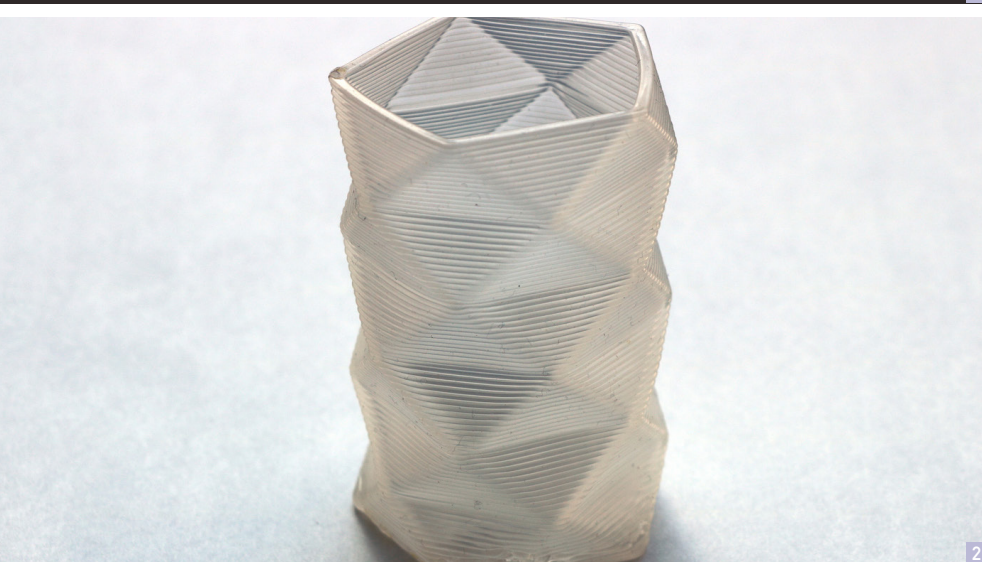
2D(面)

これまでの工業製品の面（サーフェス）はピカピカでツルツルの光沢の美が重視されてきた。他方、生物の体表は、弾力があって柔らかく、小さな孔が空いて汗を排出し、皺がついて「折り曲がり」を支援する。そして小さな鱗や突起は、撥水や空気抵抗などを制御する効果を発揮する。また、虫はサナギから成虫になるときに、中から殻を破り、壊す。こうした生物のような性能を持たせた面（サーフェス）をつくりだすには、工業製品とは異なる引き出しを必要とする。

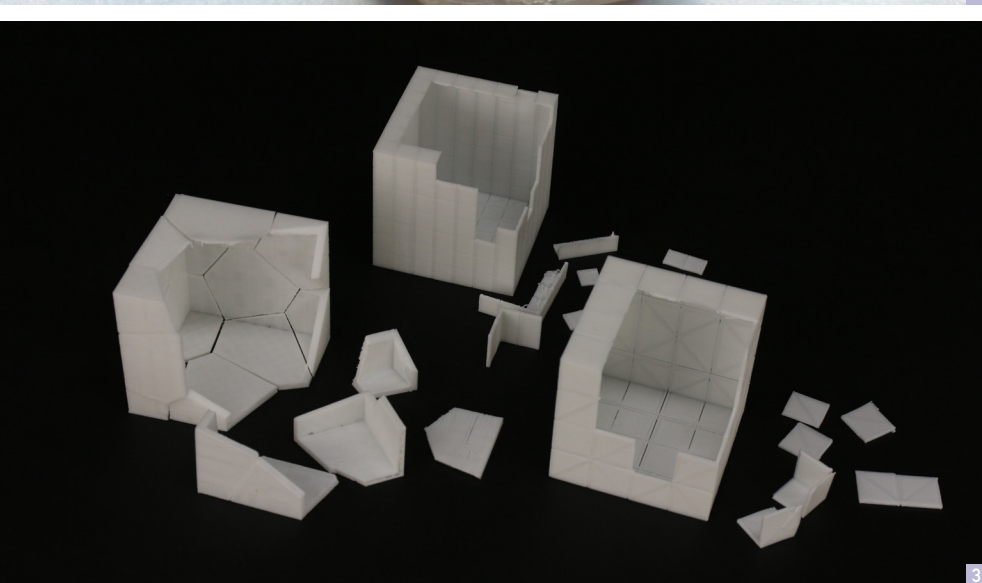
田中浩也研究室では、2次元の小さな孔はオーゼティック・パターンと呼ばれる幾何パターンを与えて開閉が制御される。「折れ曲がり」は、Ron Resch パターンや吉村パターンという折り紙の原理が採用されることが多い。殻のように、意図的に割れやすくする構造を設計する技法も開発された。



1



2

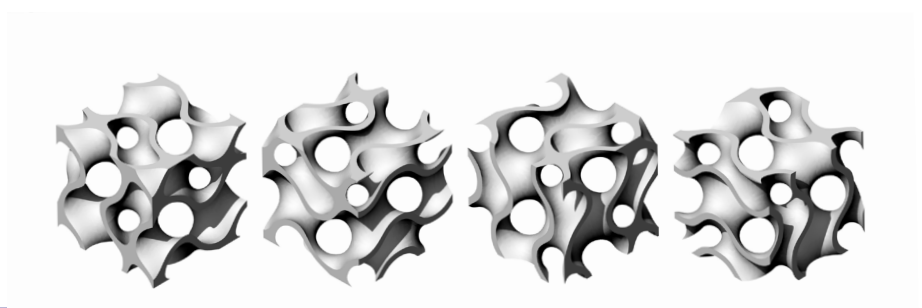
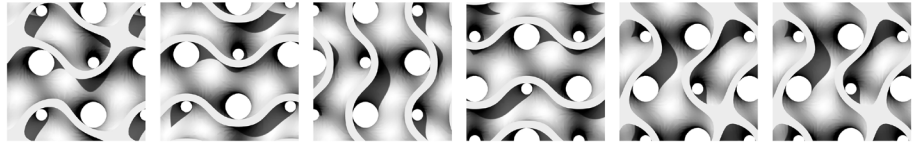


3

1 オーゼティック・パターン（久保木仁美）2 折り紙の3Dプリント（木下里奈）3 殻のように割れやすい構造（若杉亮介）

3D+(立体の内部構造)

「3D（立体）」といえば通常は、外から見た「かたち」のことをイメージする。しかし 3D プリントでは、立体の「内部」の構造までをすべて設計することができる。内部空間のデザインは、表面の殻（あるいは型）の中身を充填するものという意味で、「インフィル・パターン」と呼ばれている。インフィル・パターンのうち、「ジャイロイド」と呼ばれる特殊な 3 次元構造は、3 方向に対して等価な極小曲面のひとつであり、孔をあけて光・水・音・風などの流れをつくりだすさまざまな効果を持つため、広く使われている。他方、ラティスなどの格子モデルは、硬さ・柔らかさが制御しやすい。これをデザイナーが扱いやすくするカタログとして、既存の素材と対応付けた「やわらかメトリック」を構築中である。こうしたインフィル・パターンは、ひとつの立体内部に、部位に応じてそれぞれ違うものを割り当てることもできる。地層のように順に積みかさねていくこともできるし、牛の肉のような 3 次元的な分布も可能だ。



1

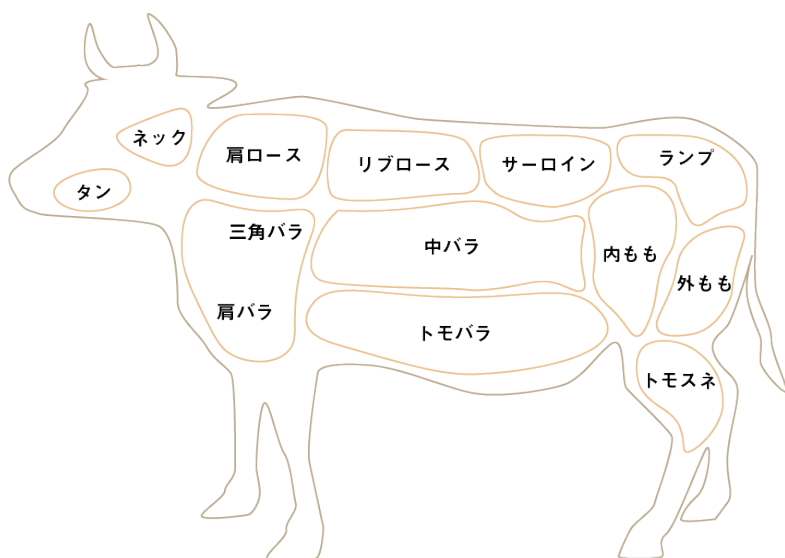
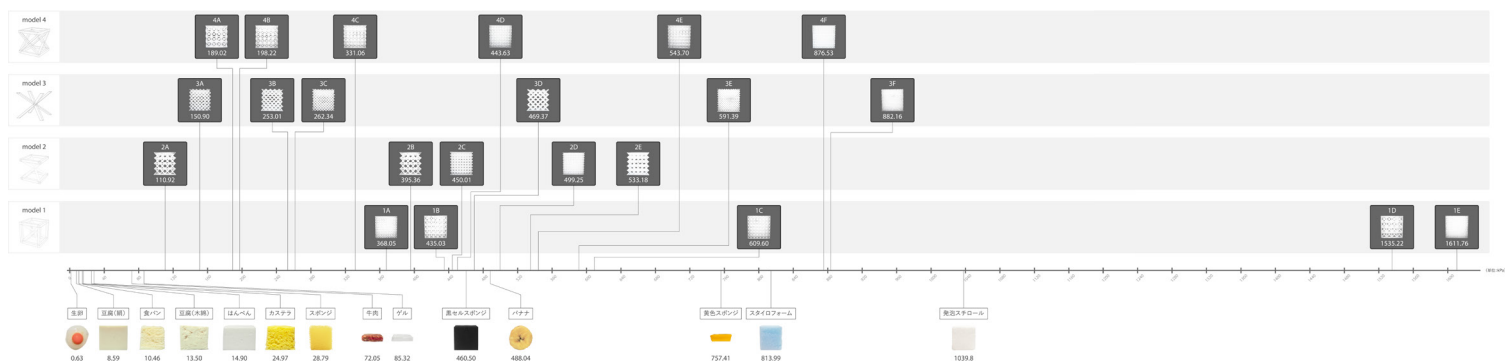


2

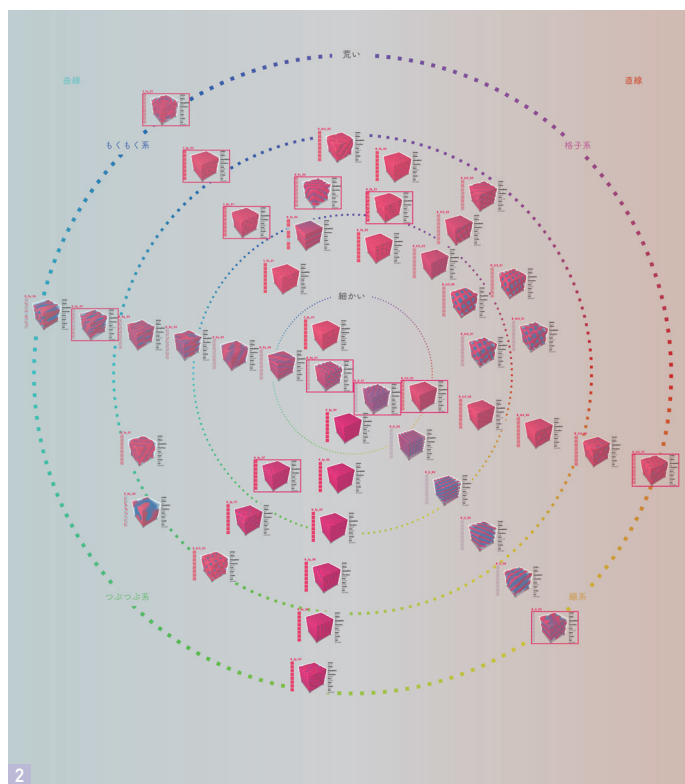
1 ジャイロイド構造 2 ジャイロイド構造のチョコレートへの応用（若杉亮介）

1

3Dプリント可能な構造体を既存物と対応づける「やわらかメトリック」



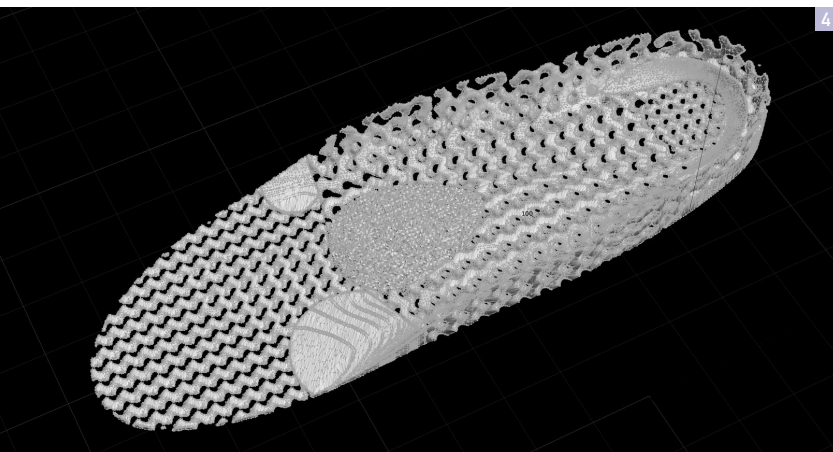
3



2

1 やわらかメトリック (櫻井智子) 2 インフィルパターンカタログ (徳重早織) 3 部位によって異なる肉 4 メタマテリアルをインソールに分布させる

4



4D

3D(立体) に対して、時間軸方向の動きを与えたものを、4D プリンティングという。物質の動きはもっぱら、機能性材料に、なんらかの外部刺激(温度・湿度・磁力・電気など) を与えることで実現される。田中浩也研究室では、株式会社ユニチカおよび株式会社キョーラクの協力のもと、3D プリンタ用の特殊なフィラメントを用いたプロトタイプづくりを先駆的に進めてきた。その中で、複数の機能性材料を組み合わせる複合的に扱えば、その「動き」が、さらに有機的で滑らかなものになることが分かった。田岡菜が生み出した「4D Flower」はその可能性を示したプロトタイプである。4D プリンティングの技法全体は、世界中で今、建築壁や靴といったプロダクトデザインの領域へと応用が進められている。



4D Flower (田岡菜)



DfAM を支える独自開発のツール群

上に述べたような新しいモデリングの技法は、通常の工業用 / 建築用 3D-CAD では十分に扱うことができない。これまでの 3D-CAD で主となる「要素単位」は、「つるつるの面(サーフェス)」か、「内部構造が埋め込まれていない立体の塊(ソリッド)」となっており、それらは、切削や板金を前提とした工業的構造と対応している。これらを要素単位としていては、3D プリンティングの本当の深い特性には踏み込めないのである。こうした従来のつくりかたから脱皮していくために、「脱・工業製品的」な 3D-CAD そのものも自分たちで開発していく必要がある。

研究室ではいくつかの独自ソフトウェアが活用されている。

「糸」を扱うツール /

Fabrix

3D プリンティングの要素単位として、1D (糸) を扱うために教員 (田中浩也) が開発したのが Fabrix と呼ばれるツールである。「糸」は、3D プリンタの動きを制御する G-CODE と呼ばれる言語を直接記述しながら制御する。グラフィックデザイナーが使う Adobe Illustrator のプラグインとして、また、曲面に強い 3D-CAD である Rhinoceros のプラグインとして一般公開されており、日本のみならずオランダでもユーザーコミュニティが広がりつつある。田中研の学生メンバーも、Grasshopper を用いた、Fabrix の派生形を無数に開発しており、G-CODE を直接記述することは研究室の日常となっている。

「折り紙」を扱うツール /

Origamizer

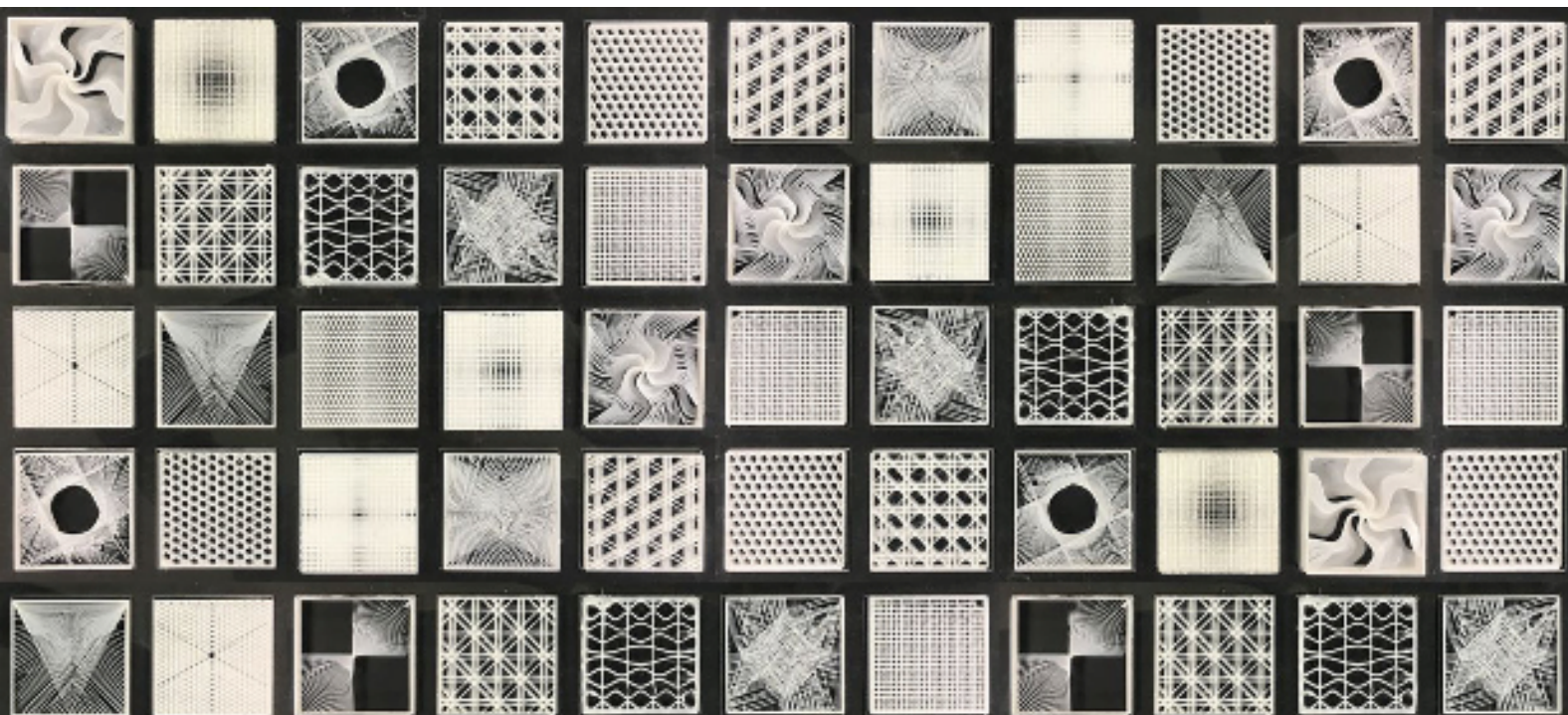
東京大学舘智弘先生が開発した、折り紙用フリーウェア (Origamizer, Free Form Origami, Rigid Origami Simulator) は、田中研でも頻繁に用いられている。今後はオーゼティック・パターンを扱うことのできるツールが期待される。

「内部構造」を扱うツール /

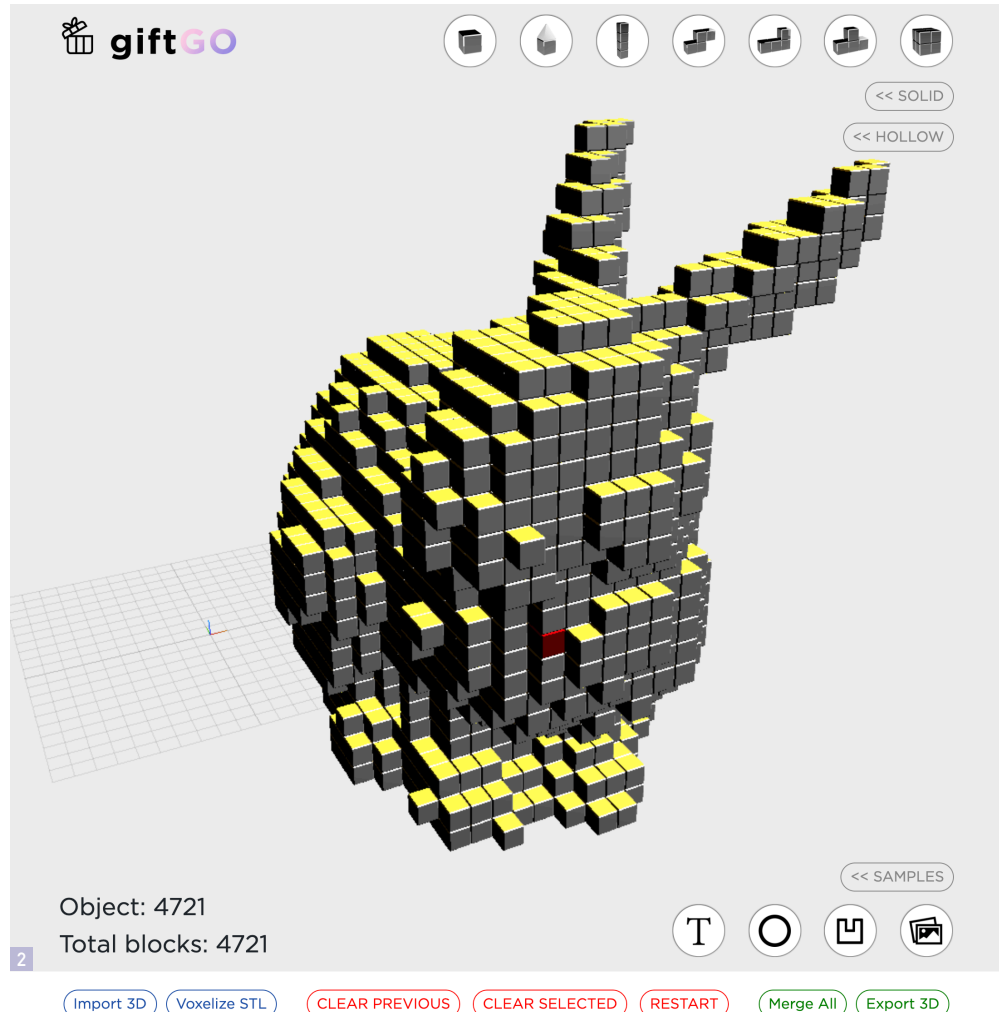
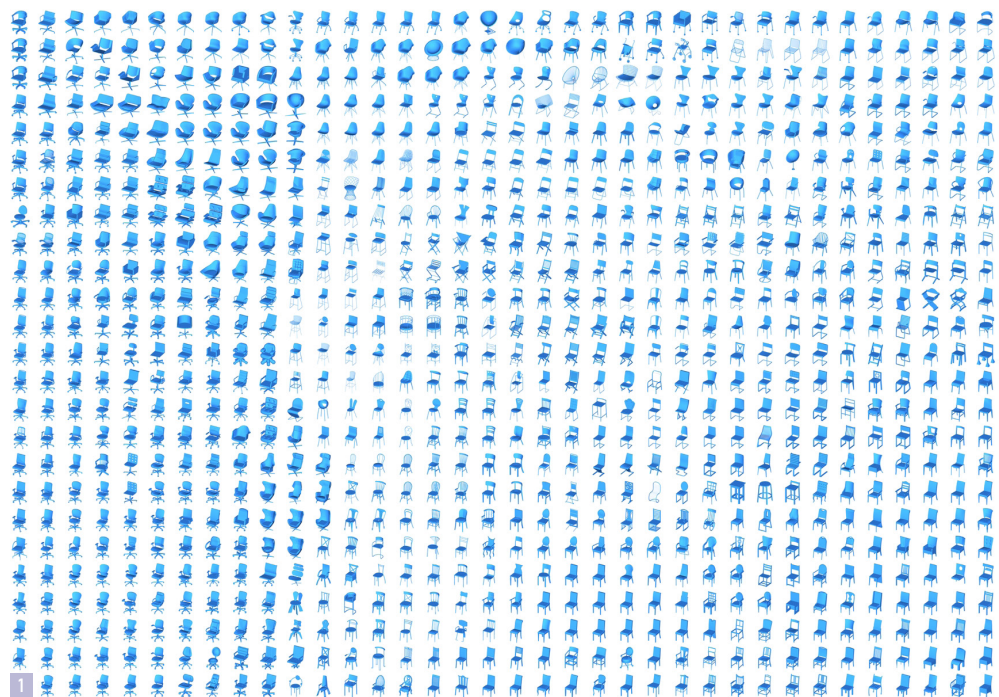
giftGO

物体を内部まで充填された立体として完全に扱うには、まず「ボクセル」と呼ばれる小さな立体の集積として 3D データを扱う必要がある。教員 (田中浩也) は、ボクセル 3D データの標準化を主導し、

Fabrix (<https://www.fabrix.design/>)



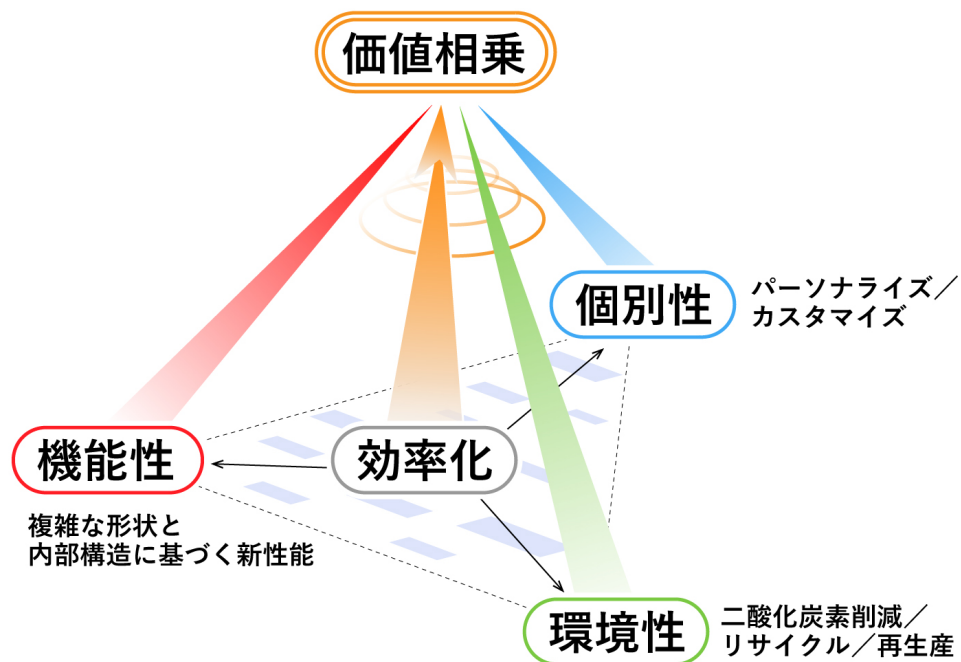
仕様をまとめた .FAV (Fabricatable Voxel) ファイルフォーマットは、2019年11月20日に正式に JIS (日本工業規格) 認定標準となった。こうした新しいファイルフォーマットが「公式」になった際、通常の場合、最初の難題はサンプルデータがないことである。田中研では、世界中からライセンスフリーの 3D データ (多くは STL と呼ばれる、ボクセルではないメッシュ形式のデータ) を約 60 万データ収集してきた fab3d.cc というサービス上で、約 30 万の FAV ファイルを自動変換によって作りだし、公開している。また、ボクセルデータの編集ツールとしては、Rafael Chen が開発した「giftGO」、物理シミュレーションツールとしては、オープンソースソフトをもとに斎藤和行が改良を加えた「VoxFAB」があり、今後は Minecraft などとの連結も計画されている。



1 Fab3d.cc (<http://fab3d.cc>) 2 giftGO (<http://giftgo3dp.com/>)

03 「都市」へ繰り出す 4 つのデザインアプローチ

対象領域 1 / Super-Fit Harness



価値の四面体

3D プリンティング技術がもたらすものづくりの「価値」は、ひとつからでもつくれること（個別性：パーソナライズやカスタマイズ）、新しい性能を実現できること（機能性：DfAM やメタマテリアル）、CO2 削減等環境に貢献し、リサイクルを実現すること（環境性）の3軸で表現できる。これらの価値は、すべて同時期に、多くの人に理解されたわけではない。もっとも早く社会に伝わったのはおそらく「個別性」という価値である。

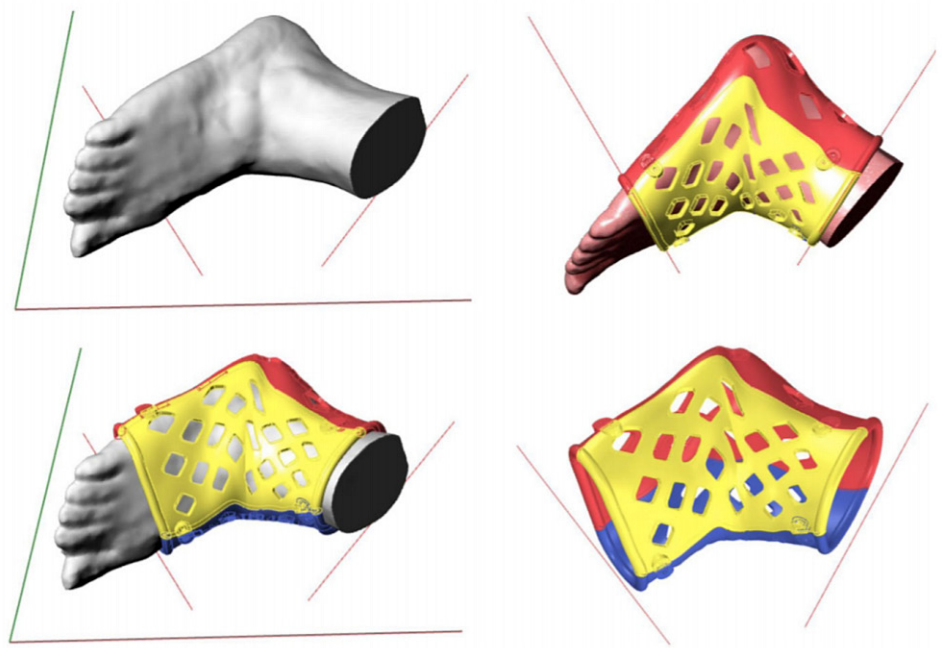
大量生産品ではなく、「ひとつ」からでも複雑な形状がつかれること。

その特性を考えれば、人工歯や人工骨などの「身体」に直結する医療分野から 3D プリンティングの実用化が進んだことはとても自然なことに思える。そしてそれは、身体の中に埋め込む侵襲性のものから、身体を外側から支える非侵襲のものにも広がってきている。ヘルメット、眼鏡、靴、インソール。こうした分野での 3D プリントによる個別オーダーメイドが、すでにビジネスとして登場してきている。

田中浩也研究室でも、各ユーザー固有の「身体」を 3D スキャンし、そ

こから身体にぴったりと装着できる「スーパーフィット製品」の研究が過去から進められてきた。田中研で最初の博士となった Jianyou Li は、「On-demand Digital Customization for Perfect-fit Medical Product -Distributed Design Agent Approach」と題したその博士論文の中で、医療用スプリントと手術用の密閉マスクを例に、3D スキャンデータから 3D デザインデータへ変換する一連の手順をまとめた。

ただ、すべての装着品をこれに倣って、身体を3D スキャンしてぴったりには作ればよいかといえば、そういうわけでもない(ZOZO スーツの失敗を思い出そう!)。もっとも大切な、認識しておくべきことは、身体のかたちは日々小さく変わっているという事実である。痩せることも、太ることもあり、痩けることも、むくむこともある。それは1日の時間帯によっても違う。朝と夜でも、私たちの身体形状は違うのだ。すなわち身体こそが時間軸を持った「4D」の立体なのである。



3D スキャンをもとに設計するハーネス (Jianyou Li)



3D プリントスプリント (林園子)

現在修士課程1年の林園子(作業療法士)が行っている研究のひとつは、3D スキャンをつかわずに、代わりに「形状記憶フィラメント」を用いて、自身で柔らかく成型しながら個別の身体に沿わせることのできる3D プリントスプリントをつくる研究である。まるで服の型紙のように、3次元データを一度2次元の平面パターンに展開した状態で3D プリントにかける。これによって、3D プリント特有の印刷時間の問題も解決している。そして、人の体に触れる側には柔らかい材料が、そして外側には形状を固定する硬い材料が配され、層状に積み重ねて出力される。

オランダでの国際学会の出会いをきっかけに、PUMA 社との緩やかな連携の中で進んでいる 4D Printed Shoes Project は、同じく形状記憶樹脂を用いながら、布の上に直接プリントすることで、足をやわらかく風呂敷のように包み込み、自律的に開いたり締まったりできる靴を開発している。手で紐を結んだり、ほどいたりする手間が無くなることは、高齢化社会ではとても有用に思われる。また、旅行の際にスーツケースに靴を入れて持ち運ぶことを想定し、「折りたたんで」さらにコンパクトになる靴も構想されている。



4D Printed Shoes Project (久保木仁美、森瑞貴、齋藤敬介)



Fab Vet (櫻井智子、佐倉玲)

櫻井智子と佐倉玲は、犬の義足を 3D プリントでつくる Fab Vet というプロジェクトを進めている。コラボレータは、犬の義足を制作する島田旭緒さんと、日本獣医生命科学大学の原田恭治さんである。このプロジェ

クトでは、これまでつくられてきた犬の義足をよく観察し、それを構成していた 8 種類の材料を、内部構造を変えた 3D プリント・メタマテリアルで、順番に代替していくというアプローチをとった。犬の義足でも、地

面に接する部分には硬い材料が、足の断端部分には柔らかい材料が求められ、その中間には適度なクッション性やバウンス感が求められる。こうした要求を、これまでは違う材料でそれぞれ受け止めていたが、3D プリンタであれば内部構造を変えたメタ・マテリアルで受け止めることができる。その結果、材料の種類としてみれば「1 種類の材料」のみでつくれるようになるが、その効果は、医療的な安全性が確認されている材料ひとつ（われわれは JSR 社の Fabrial を長く研究室で使用している。皮膚刺激性テスト、細胞毒性テストに合格しており、生体適合素材として ISO 10993-10 に合格している）を全体に使用できるようになることだ。また、もしも不要になった場合にも、破棄する際に分別が省略でき、リサイクル性が非常に高いものになる。

2019年度秋から研究室に参加している賀下耀介（理学療法士）は、人が高齢になってもよりよく歩けるよう、外骨格型の新しい足用スプリントを構想している。ここではさらに、これまで研究室で扱ってこなかったポイントとして、「バネ」のような、前に向けて弾む効果を3Dプリンティングによって生み出すことが研究の鍵になるような予感がある。



フレイルを減らすためのハーネス（賀下耀介）

このように、さまざまな装具（ハーネス）をデザインする中であって、単に3Dスキャンから3Dデータを作って身体ぴったりあう」という部分だけに頼るのでもなく、それぞれのものに求められる機能や、動き、その使用法・コンテキストまでを考慮に入

れ、メタマテリアルや4Dプリンティングを適切に活用した「スーパーフィット」の探求が、田中浩也研究会のなかで年々蓄積されている。

最後に、「スーパーフィット」の概念は、もはや身体へのフィットだけでなく、よりつつあることに触れよ

う。江口壮哉、矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸のチームは、台風によって切り倒された樹から生まれた「切り株」を、研究室すぐ近くの森の中に発見した。そして、その切り株にぴったりと覆いかぶさるような、新しい「椅子」をデザインしている。この椅子自体が、オーゼティックパターンの効果で、空気がなくてもバランスボールのように柔らかく反発するクッション性を備えている。これまで、街の椅子やベンチといえば、硬いモノが多かった中、この素材感は新しい。今後、こうした仕組みを広げていけば、都市のさまざまな部位を「柔らかい椅子」に変えていくことができるだろう。ゆっくりと「散歩する」都市には、ゆっくりと「腰掛ける」場所が同時に必要になる。これからの研究は、身体を拡張するだけではなく、身体と環境をつなぐ領域へと緩やかに展開していく。

Graft On 屋外空間の新しい座り方（江口壮哉、矢崎友佳子、有田悠作、加藤陸）



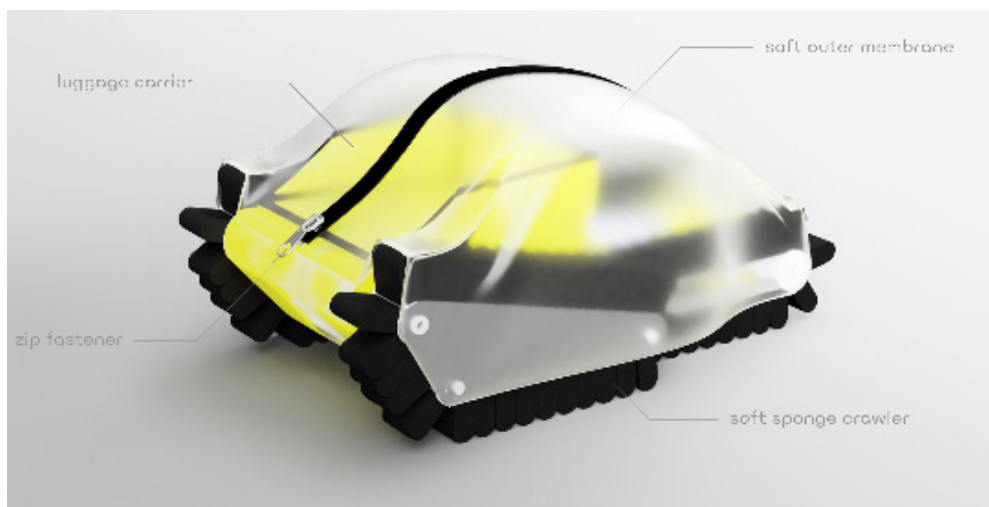
対象領域 2 / Expressive Mobility

都市の中で周囲に対して新しい「表現力」を発する移動体

2つめの対象領域は、モビリティである。いま、電動キックボードからパーソナル・モビリティまで、「これまでには無かった新しい移動体」がまちに生まれ、自動車は自動運転車へと進化している。そして、こうしたモビリティによって運ばれるのは、必ずしも「人」だけではない。荷物を運ぶロボットは多く生まれており、植木鉢を運ぶモビリティも、図書館や自動販売機を運ぶモビリティも、畳やソファを運ぶモビリティも登場しはじめている。ドローンも空中を移動するモビリティだが、輸送手段としても期待されている。あらゆるものは、陸と空の両方で、都市の中を巡回するようになっていく。

SFC にも、モビリティを研究する研究会は存在する。青野真士研究会では、急勾配の階段を荷物を積んで登るアメーバ型ロボットを開発しており、2018 年に田中研に対して「外装をデザインしてほしい」という依頼があった。それに答えて外装をデザインしたのは Rafael Chen であった。時をほぼ同じくして、SFC の同僚である大前学教授との共同プロジェクトがはじまった。大前先生は自動運転の研究者である。数あるプロジェクトを研究室で走らせているが、そのひとつに、郊外や過疎の村の、駅から自宅までのごく短距離—「ラスト・ワンマイル」と呼ばれる—を支えるようなスローな自動運転であった。

よくメディアで取り上げられる、高速道路を走るような自動運転車ではないことが、新たなデザインが必要になるきっかけであった。自動運転車を、人に近い「市街地」に走らせ



Amoeba Energy 株式会社「AE-01」(青野真士 SFC 准教授)

てみると、住民からの不安の声がとても大きかったのだという。新しい技術はいつだって便利だが、同時に「怖さ」や「不安」を引き起こしてしまう。この場合、歩行者に近いところで走るのだから、尚更そうなのだろう。

このような背景があって、大前先生からは、自動運転という技術に相応しい「未来」を感じさせるデザインでありながら、同時に、人々を「安心」させるような外観があるとよいね、という注文を受けた。

「未来的」で「安心」という2つの要件は、簡単には両立しない。人の「安心」という感情は、過去から良く見聞きし、慣れ親しんでいるものに対して生まれやすい。だから、少しレトロな印象や、質感・素材を選択すれば、安心感は実現できるかもしれない。しかしそれでは、「未来感」は醸し出されない。

大前さんからは、「機関車トーマス」のように、車に「顔」のインターフェイスを取り付ける研究アプローチについても聞かせてもらった。それは、

自動運転車が歩行者と接近したときに発生する、次のような具体的な問題に応答するものだった。

自動運転車からすると、取り付けられたカメラやセンサによって、周囲の人がきちんと検知できており、衝突しないような処理動作へと入っている正しい状態であったとする。しかし、「歩行者」の側からは、車が自分を検知してくれているのかどうかを確認する術がない。そのことが歩行者側の不安を引き起こしているのである。すなわち問題の根源は、「コミュニケーション」が「双方向になっていない」ことにある。そこで大前研では、車に「眼」のかたちをしたディスプレイをとりつけ、周囲の歩行者を目で追いかけるような機能を付加していた。それによって、自動車（に取り付けられたセンサやカメラ）が、周りにいる人々を正しく検出できているという「自己状態」を、周囲の歩行者にも表現伝達することができる。

こうしたアプローチはすでに産業界でも採用されている。株式会社

ZMP 社の、宅配型ロボット（コンビニから家までのあいだを、商品を入れて輸送するようなときに使われる）は、正面に「目」がついており、その「目」を使って周囲とコミュニケーションをとりながら、ゆっくりと移動するのであった。

しかし「顔」や「眼」による表現は、歩行者のかなり近くに接近した場合には有効だが、遠くからはなかなか見えないという課題もある。また、横や後ろにいる人に対してはそもそも伝達不能である。360 度に対してモビリティが自身の状態を「表現」するにはどうするか。

そうした中から、江口壮哉と高盛竜馬が考えだしたのが、自動運転車の外装自体が、3つのモードに応じて、空気によって変形することで、360 度いずれの方向に対しても、また少し遠くの人々に対しても、自己状態伝達力を持ちうるというアイデアであった。車を取りうるモード（状態）を、「人間が運転している手動モード」、「人間が運転していない自動モード」、「自動モードであり、かつ、車が周囲の歩行車をセンサやカメラで正しく認識しているモード」の3つに整理し、それぞれのモードにあわせ



ZMP 株式会社による宅配ロボット

て外形が「変形する」ことで、状態を周囲に対して「表現伝達する」。この外装は、最終的に、SFC 研究所所員の湯浅亮平氏の協力もあって、車のエアクッションのような、極限まで柔らかい特殊素材でつくられることになった。万が一ぶつかっても、跳ね返ってしまいそうなくらいのボディで、これが、さらなる安心感を生み出す。映画「ベイマックス」にも出てきたような、ソフトロボットの形態ともいえる。

極限まで柔らかい材料を3Dプリントする技術は、研究室が独自に保有しているペレット式中型3Dプリンタ「ArchiFab TATAMI」(エスラボ)ではじめて可能となったものであ

た。この研究は、江口壮哉と高盛竜馬によって、コンピュータ・ヒューマン・インタラクションの会議 CHI 2019 に採択され、イギリスで国際発表された。その後、「いくつかの『モード』に応じて、その状態変化を、周囲に表現・伝達するモビリティ」という、応用範囲の広い新たな切り口が、他にも波及しはじめた。この動画を見たところとコンタクトがあり、関西電力の iino というプロジェクトとの連携がはじまり、ドイツの BMW 社からも問い合わせの電話があった。

「表現力を持つモビリティ」は、今後のスマート・シティ時代に広く展開しうる大きなテーマなのである。

Morphological Car (江口壮哉・高盛竜馬)



空中を3次元的に移動するドローンもまた、モビリティ同様、周囲に対して「無表情」であるという課題を抱えている。ある日、あなたがまちを歩いていたとして、どこからかやってきたドローンがあなたの周りを360度ぐるっと回って、「一方的に」撮影をされたとしたらどのように感じるだろうか。おそらく、「移動する監視（盗撮）カメラ」のように感じてしまうだろう。

ロボットやドローンを、より人間にとって「ソーシャルな」存在にするためには、インターフェイスやインタラクションの研究が欠かすことができない。しかし、ドローンの場合、重量のかさむパーツを新たにとりつけることは飛行の阻害となり、原理的に不可能という制約がある。考えるべ

きは、ドローンに、極力軽いものを最小限追加するだけで、豊かな「表現」の能力を与えるにはどうすればよいか、という問いであった。

そこに「服を着せる」というアプローチを提案してきたのは松本夕折である。ファッションに関心を持っていた松本は、服を着せることで、ドローンの小さな動きが、大きな揺らめきとして増幅されると考えた。それはまるでしゃべっているようにも、踊っているようにも見えるはずだ。

これまでドローンによる「表現」といえば、夜のライトパフォーマンスがあった。しかしこれは空間中の位置の移動による表現であって、文字やグラフィックを描くことはできても、喜怒哀楽などの「感情表現」を行う時間解像度はなかった。「服を着た」

ドローンは、跳ねたり、震えたり、まるで人間のような反応を表現することができるようになるのだった。

「モビリティ」「ロボット」「マネキン」。言葉で区切られてきた、「もの」のカテゴリ名は、いまどんどん溶けてきている。機能が混ざり、統合されようとしている。すべての「もの」が、まちの新しいプレイヤーとして、再定義されようとしているのだ。そのデザイン原理を明らかにする必要がある。おそらく遠くからでも視認しやすく、動的に変わるその状態が可視化されており、周囲の人と双方向にコミュニケーションが取れる、物理世界の「アイコン」のような概念を発明する必要があるに違いない。

Floating Gestures (松本夕折・水野史暁)



対象領域 3 / Reactive Facade

内外をつなぎ微気候を制御するための新たなファサードやエントランス



EQ House

建築用 3D プリンティングの分野がいま活況を帯びている。セメントやコンクリートを用いる 3D プリントで、住宅や橋をつくるプロジェクトが世界中から発信されてくるのだ。

どの国のプロジェクトなのかまで注視してみると、各国の建築事情が見え隠れすることに気がつく。住宅が不足している国や環境が厳しい国（途上国）では、3D プリントは人手によらずに短時間で住宅を施工できる技術としてとらえられている。これから人口が増加し圧倒的な受容が生まれる国では、コストをかけず高品質の住宅を増やすことに価値が置かれている。オランダではその国土的特徴から、「橋」をプリントする研究が推進され実用に至っている。

日本はどうだろうか。高齢化を迎

える日本では、新築建設需要がゼロになることはないまでもにしても、より優先度が高いのは、約 1/3 の住宅が空き家になるという事態への対応ではないだろうか。また、空き家のみならず空きビルが増えることも予想されている。空き家や空きビルをリノベーションする際、内装を変更することはもちろんこれまで行われてきたが、建築の内外を隔てる厚い壁や窓に対して、デザインによるアップデートを試みることはできないか。ここにまだ残された可能領域があるのではないか。

3D プリントを用いた特殊な建材で、建築の壁面を新たに包み込み、性能や機能、あるいは意味を与えるプロジェクトは散見される。ドイツのミュンヘン大学による、美術館建築

に、特殊な波紋を施したプラスチック壁面を取り付けることで、都市の騒音を抑えて静寂をつくりだそうとする試み。あるいは、スイスのチューリッヒ工科大学による、木の皮に 3D プリントし、湿度が高くなると開き、また乾燥すると閉じる、自律的な環境調節機能を持った窓を作る試みなどである。

2019 年、田中浩也研究会では、メルセデス・ベンツ社のショールームである六本木の EQ House に、長年継続してきた株式会社竹中工務店との共同研究成果を長期設置実験する機会に恵まれた。竹中工務店とは過去数年に渡って、建築のファサード部分に、自然環境と応答する新たな魅力を付与するための「環境呼応パネル」について議論を続けてきた。

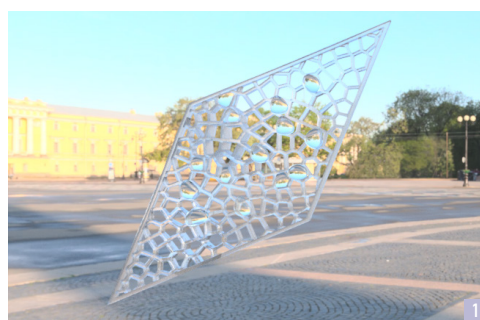


1 Porous Block (徳重早織) 2 Breathing Facade (久保木仁美) 3 Maple Window (田岡菜)
4 Twisted Window Frame (益山詠夢)

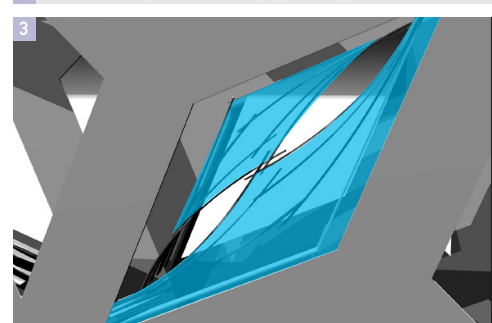
現在設置実験中のプロトタイプは、徳重早織によるジャイロイド構造でつる植物のまきつきをアフォードする「Porous Block」、久保木仁美による、温度に応じて電気を使わずに自動的開閉する窓である「Breathing Facade」、田岡菜による、気温が上がると形状が変わり雨が降ると落下する疑似的な葉である「Maple Window」、そして益山詠夢特任講師による光を拡散させる「Twisted Window Frame」の4つである。

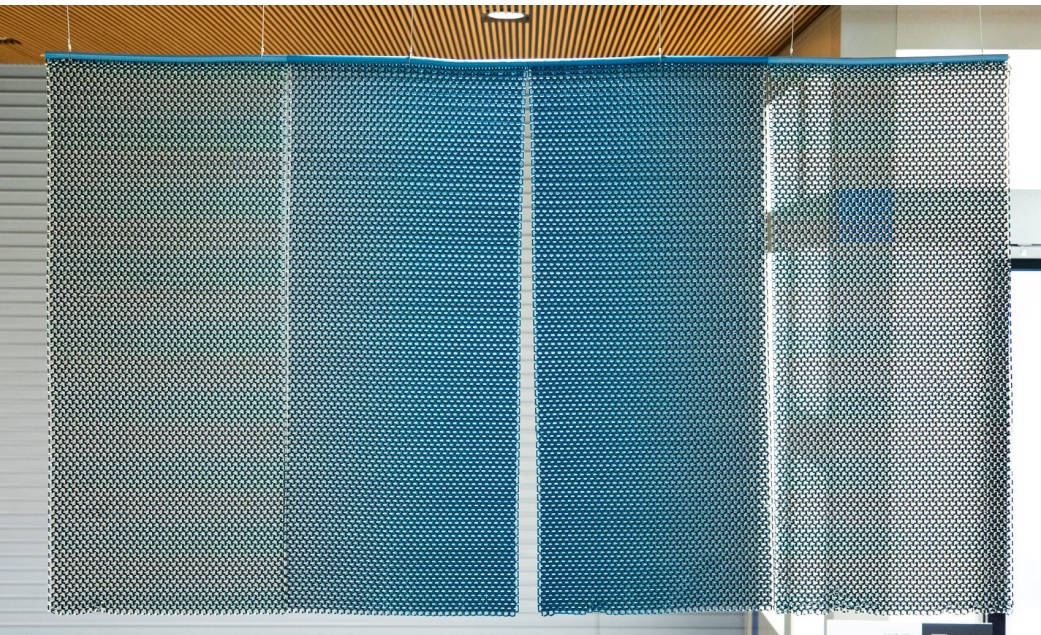
2019 年夏休み特別研究プロジェクトでは、さらにここに初期案として、河井萌による「Shimmering Wall」、名倉泰生による「Sweating Wall」と、青山新の「Warped Wall」が新たな案として加わった。

こうした環境呼応パネルは、四季折々の季節にあわせて虫よけ網を嵌めたり、障子で外部の光を緩やかに制御する日本的な生活文化がどこかに滲み出ているように感じられる。まだ量産の体制には至らないが、もし量産が可能になった未来にはビル一面をこうしたパネルで覆うことも可能だ。都市の新しい風景が現れるだろう。

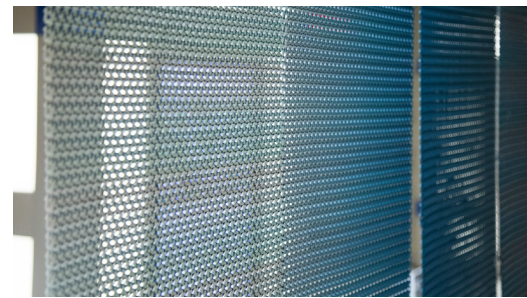
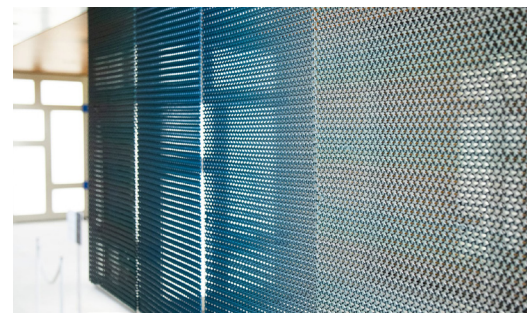


1 Shimmering Wall (河井萌) 2 Sweating Wall (名倉泰生) 3 Warped Wall (青山新)





Color Fab (大日方伸・高盛竜馬・木下里奈)



大日方伸、高盛竜馬、木下里奈のColor Fabチームは、フルカラー3Dプリンタの新たな可能性を探求する中で、物質の内部にまで着色し、見る角度によって外から見える色に変幻自在に変わる機構を発明した。数社あるフルカラー3Dプリンタ装置のなかでも、われわれが連携しているミマキエンジニアリング社の機種の特徴は、屋外型看板にでも使えるインクの耐久性にある。そのことから、この技術を「のれん」に応用し、現在は日本橋に展示中である。

日本の色彩感覚は「重ね色」であり、周辺環境の取り込み、取り合わせによって主体を引き立たせる「借景」の技術にも、色の「対比」が込められてきた。Color Fabチームの取り組みにも、これからは、そのものの色だけでなく、設置される「環境」の色との応答が求められるだろう。

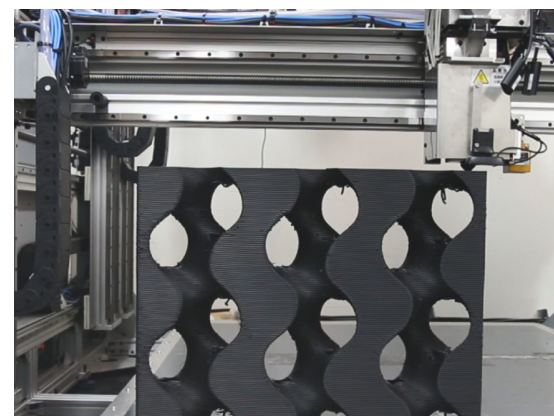
最後に、益山詠夢特任講師が取り組んだ「ジャイロイド孔のある壁面パネル」について触れよう。これについては、物理学者のチームより、静音・吸音効果が期待できるという意見があがっている。さまざまな周波数帯を受け止めて音の反射を抑制する効果がありそうなのだ。こうしたジャンルは「音響メタマテリアル」と呼ばれているのだが、今後、さらに詳細な理論研究が計画されることになった。

微気候を制御するような環境効果が生まれ、自然の光や四季の変化が感じられるような様相のリフレクションが生まれ、さらにこれからは、視覚のみではなく、街全体のアンビエンス（雰囲気）を整えていく役割が期待される。

「4Dプリンティング」の「4D」は、狭義には「時間軸」だが、広義に捉

えれば、かたち＝3次元立体に付随する、もうひとつ別の価値を広く含む言葉としても扱ってよい。それはたとえば、音や光、匂い、そして触覚や味である。そうした新たな価値軸を「かたち」とセットで扱えるようになれば、都市のためのデザイン言語となっていく。無機質なビル群ではなく、より豊かで楽しさに溢れた「風景」が戻ってくるのではないだろうか。

ジャイロイド壁 (益山詠夢)



対象領域 4 / Bio Sculpture

循環の中でまちの生態系を調節する



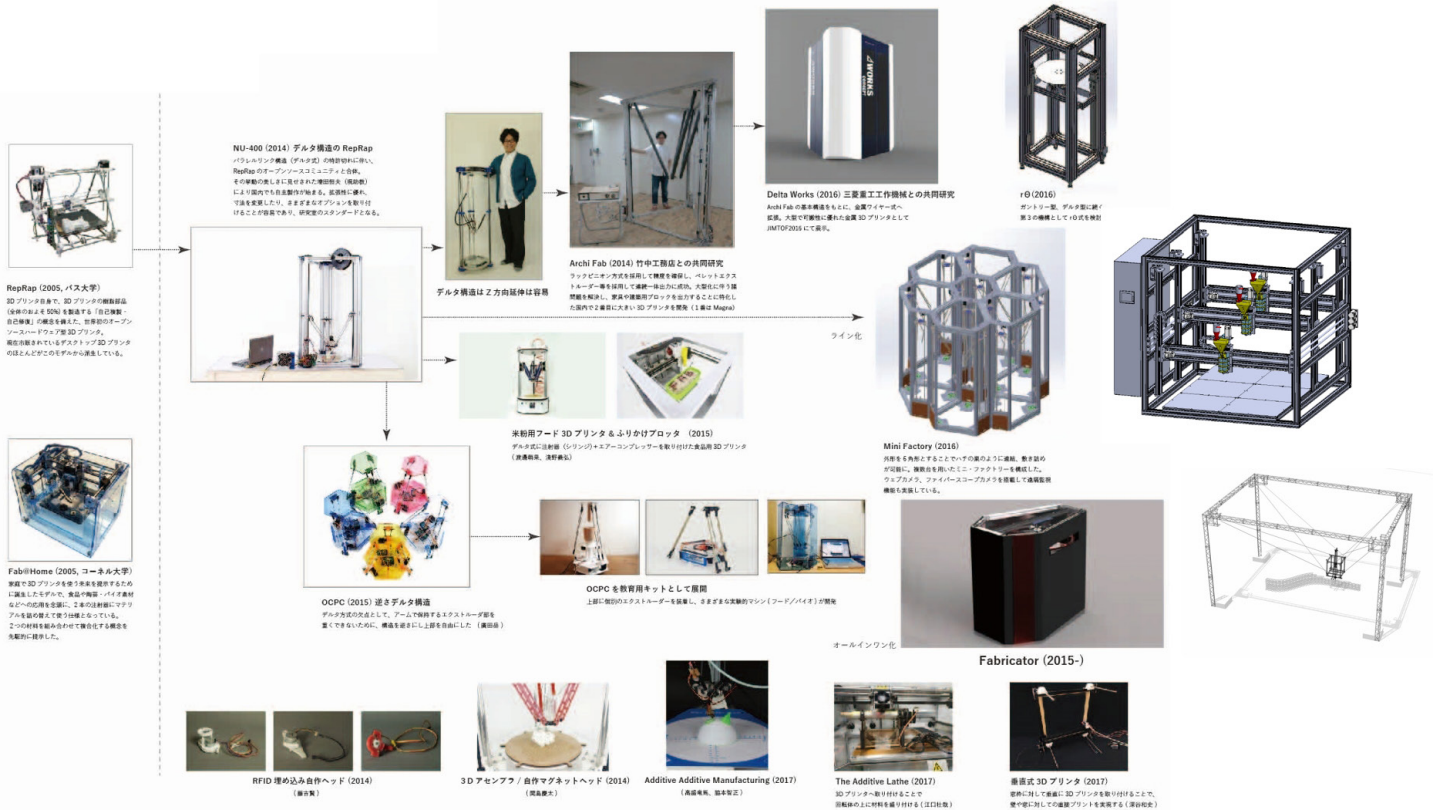
tEnt (田中浩也+久原真人) の野外インスタレーション作品 (2005 ~ 2008)

慶應義塾大学 SFC に田中浩也研究会が発足したのは 2005 年だった。「デジタル・ファブリケーション」に特化する前の 5 年間 (2005~2010) は、私自身のなかでも、SFC で何が可能か、どういうスタイルの研究室をつくればよいか、さまざまな模索が続いていた。その時期の私の関心は、テクノロジーを用いた「メディア・アート」と、都市の公共空間に設置される「パブリック・アート」が融合していく未来についてだった。その 2

つを新しい方法で出合わせるための触媒として、第 3 の要素として「そこにある地域の素材」を用いるという方法を試していた。

当時私はデザイナーの久原真人とともに、環境装置デザインユニット "tEnt" を主宰し、札幌モエレ沼公園、初台 Intercommunication Center、オーストリアのリンツにある Ars Electronica など作品を発表していた。同時進行で、研究室では、「植物」を新たな解釈でインターフェ

イスデザインと組み合わせる研究が進められ、「植物インターフェイスと栽培メディア」プロジェクトは、SFC ではじめて「日本グッドデザイン賞(新領域部門)」を受賞した。



慶應義塾大学における 3D プリンタ研究の系譜

こうした時期を経て、研究室は「デジタル・ファブリケーション」を核として年々の研究成果を積み重ねていく方向に舵を切り、現在に至るのだが、公共空間における環境装置デザインに対する、私自身のライフワーク的な関心が失われたことはなかった。

過去 10 年間、さまざまなタイプの 3D プリンタを開発してきたが、基本的に「大型化」の道を進めてきたのは、心の深いところにパブリックメディアアートのイメージを持っていたからに他ならない。「ひとり」の人間に対応するのではなく、行きかう「多数」の人間に対応する「もの」をつくるには、必然的に、人間の身長よりも大きい、あるスケールを必要とする。

2019 年のいま、研究室では、3D プリンタ装置開発の「最後のプロジェクト」として、「世界最大サイズ」の超大型 3D プリンタ「ArchiFab NIWA」の開発に本格着手している。幅・奥行・高さともに 30m を超える出力範囲を有する。スポーツやライブコンサートなどで、空中からカメラを吊り下げて3次元移動させ、ビデオ撮影する際に使われる「ケーブル・ウィンチ・ロボット」の技術をベースに改良を施している。3D プリンタで重要となる、最短経路探索技術や、材料が硬化することを見越した適切なタイミングでの積層制御は、研究室で開発を行っている。

「ケーブル・ウィンチ」構造を採用

した最大の理由は、2017 年に建築研究開発コンソーシアム「建築分野における 3D プリンタ - 活用展開の可能性に関する研究会」の委員長を務めた際、「建築現場の人手不足」の深刻な問題を聞いたこともきっかけだった。大型 3D プリンティングの分野では、たとえばオランダの TU アイントフォーヘンで、コンクリート 3D プリンタでつくった「橋」をすでにまちに設置している。しかしここで使用された 3D プリンタは、大学構内に置かれたガンツリー型であり、構内から移動させることはできない。プリントされた橋のパーツは大学からトラックで現地まで運んで組み立てられている。3D プリンタならではの

特徴として、パーツの内部構造が適切に空洞化されており、軽量化されている。これにより運搬は多少効率化されている。このことが3Dプリンティングのもたらす効果のひとつであることは間違いがない。型枠をつくらなくてもよいことも、大きな省力化だ。しかし現場に3Dプリンタを直接持ち込んで設置できれば、さらに効果は大きくなる。

現場での直接施行を考えるならば、ロボットアーム型も有力であるが、すでに実用化されており、研究要素は少ないとも思えた。そこで、まだあまり取り組まれていないケーブル・ウィンチ型を開発することとしたのだった。最終的には、未来の建設

現場では、広域の造形はケーブル・ウィンチ式、細部や仕上げ作業は(複数の)ロボットアームと分担させることを企図している。

ただ、30mというスケールでつくられるべきものはなんだろうか?さすがに建築物には巨大すぎる。私は、いまこそ長年の夢であった、未来の「公園」や未来の「広場」をプリントするという研究に本格的に取り組むべきタイミングだと感じた。そんな思いを込めて、この装置を、「ArchiFab NIWA」と名付けた。この装置には、建築関連企業からの問い合わせもある。高度な材料の知識と設備が必要となるコンクリートやセメントの3Dプリンティングの研究

は、企業と連携して進めつつ、SFCでは学生の斬新なアイデアを活かしながら、より自然材料に近いマテリアルに焦点を当て使ってみようと考えていた。そうしたところ、かねてより親交のあった、千葉市でMETACITYプロジェクトを主宰する青木竜太氏から共感を得ることができ、具体的な設置を前提としたプロジェクトが始まることになったのだった。

人工生命(A-Life)の研究者としての顔も持つ青木氏は、人工的な都市環境に、いかにして「生命的」な要素を与えられるかを考えている。それは、単に「自然の要素(樹など)」を植えればよいというものではない。

ArchiFab NIWA





METACITY プロジェクト

自然／人工という問いを超えてしまうような「ありうべき生命」をつくりあげるのが「人工生命」という分野である。

「生命性」について一足飛びに取り組むことはできないまでも、まずは都市における「間接的相互作用」についてしっかり考えてみたいと思っていた。また、人間の営む社会生活と、動植物の生態系のあいだは、それぞれシステムとして循環しているが、それぞれのシステムを繋ぐ、新しい接点のようなものを作り出してみたいのだ。具体的には、微生物をはじめとする都市の见えない生態系を調整するような機能を持ちつつ、遊具としても機能し憩いの場となるような、

複数の「新しい実用性」を兼ね備えたものを提案したい。ここで目指しているものは、パブリック・アートに近い面もあるかもしれないが（暫定的にはそのように呼ばれることもあるだろうし、その説明を用いるときもあるだろうが）、単なる鑑賞用の芸術彫刻とは一線を画すことが重要である。むしろ、人、生物、環境を結びつける交点となりながら、そのまちの個性を示すシンボルにもなるようなものだ。

こうした議論が深まり、名倉泰生、知念司泰、松木南々花、河井萌、青山新らのチームは田中研究室で「バイオ・スカルプチュア」シリーズ第一作となるプロジェクトの企画設計を進

めている。地域の抱える環境問題と、社会的なコミュニティ両方の触媒となり、自然のマテリアルを複数扱いながら、3Dプリンティングならではの新たな工夫を織り込んでいる。まだ設計は初期段階だが、ここから、家具・彫刻・建築・ランドスケープのいずれの要素も含まれるような新しい領域 X が見えてくる予感がしている。社会の課題を解決するためのデザインというより、地球の文化を新たに見つけ出すためのデザインへの第一歩となるだろう。

04 おわりに

「SDGs」そして「地球システムとしての3Dプリンティング」

3Dプリンティングの価値は、「個別性（ひとつからでもつくれること）」、「機能性（メタマテリアルや複合マテリアルによる新しい機能性・性能を発現すること）」、「環境性（CO2削減とリサイクル率向上）」の「3軸」で表現することができる。このフレームは、さまざまな場で説明に使ってきた。そのうち最も早く社会で理解されたのは「個別性」であり、次いで「機能性」に対する理解が進んできた。そして最後に残ったのが「環境性」である。これに関しては、説明の洗練度、理解と受容の度合いの両方において、また端緒についたばかりである。

3Dプリンティングから生まれる環境性能とは何だろうか。複数の材料を接着してつくられてきたこれまでのプロダクトを、3Dプリンティングで、ひとつの材料から導かれるメタマテリアルで代替すれば、分別作業が不要であるからリサイクルにおいて有利であることはすでに述べた。しかし、まだあと2つ、われわれには与えられた課題がある。

ひとつは、社会から回収された歯ブラシや容器をはじめとするリサイクル材に対して、3Dプリンタで新たな付加価値（機能と意味）を与える方法があるかどうか。通常のマテリアル・リサイクルでは、リサイクルをすることによって品質は低下してしまう。マテリアルが劣化をすると、それに伴って、マテリアルからつくられるプロダクトも、美観や品質があまり

問われない製品種へと移行していく。このタイプのリサイクルをカスケード・リサイクルという。リサイクルしてつくられるものは、たとえば工場でものを運ぶ際に使われるプラスチックのパレットや、ゴミ箱、あるいは床のプレートなどである。しかし3Dプリンティングに期待されているのは、リサイクルされたマテリアルの、これまでとは違う、新しい「行き場」を開拓、あるいは発明することなのである。そしてそれは、まだ既存のものづくりには「ない」新しいジャンル＝展開先なのかもしれない。

もうひとつは、3Dプリンティングで使用地の近くでモノを製造することが、従来の工場での生産に比べて、結局どれだけのCO2の削減につながるのかを正確に数値として計算することである。マテリアル生産時の化石燃料の使用、金型生産時の電力使用量、トラックや飛行機、船による長距離輸送による二酸化炭素の排出、それらを3Dプリンティングに移行すれば、いったいどれだけ

減らせるのか。この挑戦は、環境省「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」に採択されて進められることになった。今回最初に対象とすることに決めたのは、樹脂による椅子の分野である。樹脂による椅子は輸送時にかさばるため、スタッキングが重視されてきた。その分、犠牲になってきたのは、デザインの多様性であった。

また樹脂製の家具は、これまでポリプロピレンやポリエチレンでつくられてきたが、これらは石油由来の樹脂である。最近になって、石油を使わず、天然資源であるさとうきびからつくられるバイオポリエチレンが実用化段階に入った。これによって、樹脂をつくる時点で従来に比べて70~74%のCO2削減が見込まれている。さらに、個別化された家具を一品生産するプロセスをトータルで見た場合に、CO2削減がどれだけ変化するかを測るのが、「バイオポリエチレン家具3Dプリント製造実証事業」の大目的である。

Archifab を用いた生分解性家具のデザイン





Fab City の構想

サプライチェーンの大再編

輸送：トランスポートーションから、通信：テレポートーションへ

デジタル・ファブリケーションは、デジタルデータから「直接」ものを製造する技術である。ゆえに、生産にかかる限界費用はほぼゼロに近づく。すなわち、データさえあれば、必要な場所で、必要な時に、必要なものを、必要な人が、必要な量だけ生産する「適量生産」が実現する。これまでの、遠い国の工場で大量生産された「もの」が、長い距離を運ばれて輸入され、短期的な使用の後、近傍で廃棄されてゆくモデルを「PITO (Product In and Trash Out)」と呼ぶならば、デジタルデータがインターネットで共有され、ものが使用されるなるべく近くで、その土地の材料を用いて「製造」され、さらにその材料はリサイクル可能な状態となり循環するという新たなモ

デルは「DIDO (Data In and Data Out)」と呼ばれうる。

3D プリンタが今後も着実に高速化・高性能化し、これまでの工業製品と遜色ない品質を持つようになった近未来には、こうした「ものの地産地消」の状況が顕れる可能性は大いにあり得る。このような技術革新を織り込んだ未来洞察として、オランダの大手金融機関の ING は、「3D プリンティング：世界貿易への脅威」と題されたレポートにおいて、2060 年までに世界貿易の 25% が結果として消失する可能性を具体的に考察している。

これから50年という時をかけて
物質のフローは徐々に最適化されて
いく。

SFC スピリッツの創造

2019年春、特設科目「SFCスピリッツの創造」という学部1年生向け授業で、私が招聘したある教授が、「いま現在は多くの人が同意しないが、おおよそ30年後の未来になって明らかになる大切な真実とは何か？」という問いを投げかけた。その時私は、自分の研究の延長にある、ファブ・

シティの姿のことを考え、ツイートをした。

そのとき、私のツイートに応答し、別の意見を差し込んできたのは、友人でもあり明治大学准教授の渡邊恵太先生であった。

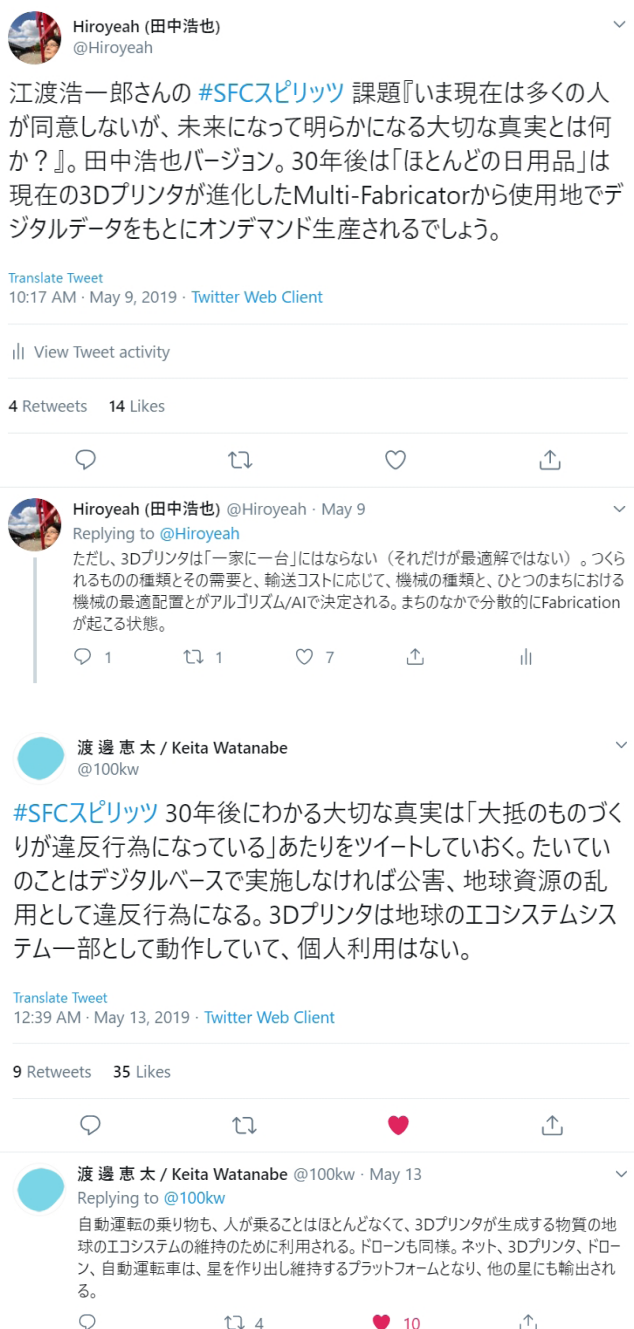
渡邊さんのいう「地球のエコシステムとしての3Dプリンタ」という概念

には、想像力を刺激する何かがある。結局、冒頭に述べたように、われわれには、何をデジタルに置き換え、何を物質に残すのかということの再検討がいま必要とされている。そして、物質をつくる場合にも、「どこから来た、どんなマテリアルでつくり、それは破棄された後、どこへ行くのか」といった、もののライフサイクル全般を視野に入れることがますます必要になるだろう。

ほぼすべてがデジタルデータ化されたあとでも、地球上にはマテリアルが残る。ほぼすべてがAI化されたあとでも、人間には価値をデザインする力が残る。

私は「大抵のものづくりが違反行為になる」という法的な規制が起こるよりも先に、まずは「人間社会や地球環境に対して正しいと思える、もの（物質）の扱い方の事例を、デザイン主導で見せていく」ことに捧げていきたい。そして、「物質」に対して、いままでにはなかった新しい価値—ここでいう価値は、形態、機能、意味の3つが含まれたものだが—を状況に即して与えていくための最適のツールが、デジタル・ファブリケーションであると確信している。

来たるべき2020年代の研究室活動へ向けて、基本的な準備は揃ったようだ。Fabbing our City!



Special Thanks

慶應義塾大学田中浩也研究室
キョーラク株式会社 (“SMP”材料)
ユニチカ株式会社 (“TRF”材料)
株式会社竹中工務店 (環境呼応パネルプロジェクト)
株式会社ミマキエンジニアリング (Color Fabプロジェクト)
エス.ラボ株式会社 (ArchiFab TATAMI)
株式会社エス・アイ・エス (ArchiFab NIWA)
青木竜太 (METACITYプロジェクト)
原田恭治 (Fab Vetプロジェクト)
島田旭緒 (Fab Vetプロジェクト)
PUMA, Inc. (4D Printed Shoes Project)
JAID (Japan Automotive Interior Design) (4D Flower Project)
株式会社テトラフェイス (3Dソフト“Metasequoia”)
株式会社ディー・ティー・ピー (寄付講座「データ社会とビジネスモデル」)

慶應義塾大学SFC研究所ソーシャル・ファブリケーション・ラボ
JSR株式会社 (“Fabrial”材料/ 文部科学省COIプロジェクト)
株式会社富士ゼロックス (3Dボクセルフォーマット「FAV」策定)
株式会社オカムラ (バイオポリエチレン家具3Dプリント製造実証事業)
双日プラネット株式会社 (バイオポリエチレン家具3Dプリント製造実証事業)
TCO2株式会社 (バイオポリエチレン家具3Dプリント製造実証事業)
株式会社ブリヂストン (3Dプリントタイヤプロジェクト)
小田急電鉄株式会社 (未来フィールド開発プロジェクト)
住友商事株式会社 (Hax Tokyo)
ファブ地球社会コンソーシアム

共同研究のお申込み

共同研究をご希望される場合、
下記の連絡先までご連絡ください。
内容を確認の上、後日こちらから折り返しご連絡申し上げます。
tanakalab-sfc@googlegroups.com
SFC拠点: 〒252-0882
神奈川県藤沢市遠藤5322 慶應義塾大学 SFC z303
慶應義塾大学SFC研究所ソーシャルファブリケーションラボ
田中浩也研究室
横浜拠点: 〒231-0023
神奈川県横浜市中区山下町223-1 NU関内ビル2F
慶應義塾大学SFC研究所ソーシャルファブリケーションラボ 横浜拠点

