

大学におけるファブラボの運営と教育研究への利活用に関する研究

槌屋 洋亮[†]

抄録 本研究の目的は、大学におけるファブスペースの運営と教育研究への利活用を促進について検討することである。本稿では、今年度の研究活動内容として、“Fab Academy”への参加を通じたデジタルファブリケーションに関する体系的な知見の整理、および世界ファブラボ会議 (Fab15) への参加を通じたデジタルファブリケーションに関する先端的な実践の調査、以上2つについて報告する。

キーワード : デジタルファブリケーション, ファブラボ, Fab Academy, 世界ファブラボ会議

1. はじめに

本研究の目的は、大学におけるファブラボの運営と教育研究への利活用を促進する人材の育成について検討することである。ファブラボとは3Dプリンターやレーザーカッターなどのデジタル工作機械を取り揃えて広く公開し、誰でも利用できる市民工房である。大学においても、3Dプリンターを導入する学部や研究室が増えており、今後ファブラボ、ないしは機材を自由に利用できる場所の増加が見込まれる。だが、ファブラボを設置しても、学生や教員が使えなければ意味がない。ただ機材を設置するだけでなく、学生・教員が機材の使い方を修得し、教育研究における利活用を促進しなければならない。そのためには、大学においても工作機材の使い方に精通し、教育研究へ積極的に利活用する人材が求められ、その育成が必要となる。ゆえに、本研究ではこれらの人材育成について検討することを目的とし、2019年度は、1) Fab Academy への参加を通じた、ファブスペースの設置と運営、デジタルファブリケーション教育に関する知見の獲得、2) 第16回世界ファブラボ会議 (Fab16) への参加を通じたデジタルファブリケーションの先端的な取り組みについての調査、以上2つの研究内容を進めてきた。

2. Fab Academy 参加報告

Fab Academy[1]は、世界各地のファブスペースから参加できる、「ほぼあらゆるものを作る」ための知識とスキルを得るためのオンラインの講義である。講義は、米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) のニール・ガーシェンフェルド教授によって行われ、Fab Academy のカリキュラム内容は、ニール教授が MIT メディアラボで担当する修士課程レベルの演習科目 “How to Make (almost) Anything” [2] と同等の内容である。Fab Academy は、毎年世界各国から200名以上が参加し、本研究の担当者 (槌屋) も2019年度の Fab Academy にファブラボ鎌倉から参加した。本章では、Fab Academy 参加報告として、その特徴等について述べる。

2.1 オンライン会議ツールを利用した講義

Fab Academy の主軸は、毎週水曜日に行われるグローバルセッションである。グローバルセッションは、全世界60ヶ所以上のファブラボを同時接続し行われる、ニール・ガーシェンフェルド教授による毎週約3時間の講義である。講義時間は毎週水曜日ボストン時間午前9時～12時 (日本時間深夜23時～26時) に行われ、同時時間帯に世界各国のファブラボおよび受講生がオンライン会議ツールを使い、講義に参加する。オンライン会議ツールは Web で動作するものが用いられ、2019年度講義では zoom が採用され

[†] 青山学院大学附置情報メディアセンター

た（図1）。

毎週3時間の講義のうち、前半1時間半は前回の課題レビュー、後半1時間半がその週の授業内容となる。表1に、2019年度のFab Academyのカリキュラムを掲載する。Fab Academyは毎年1月末から6月末に渡って、全20回の講義と最終課題発表を含む半年のカリキュラムである。毎週、特定の機材とソフトウェアを使ったファブリケーション手法が紹介され、あわせて個人課題とグループ課題が出される。講義前半のレビューでは、ニール教授が受講生をランダムに指名し、毎回10名程度の受講生が、後述するドキュメンテーションページを使って、前週のグループ課題・個人課題の成果について発表する。

その他、2週間に1回のペースでRecitations（特別講義）が1時間、毎週月曜日に行われる。特別講義は、世界各国のファブラボの関係者、およびマサチューセッツ工科大学 Center for Bits and Atoms 関係者が担当し、デジタルファブリケーション関連の先端的な取り組み、最新の動向（Fab 2.0, Fab City, Distributed Education, Machine that Makes, Sharing Economy など）についての講義が行われる。また、各大陸の学生が集まって毎週の課題の成果物について発表しレビューを受ける Regional Review Session もあり、東アジア地区（日本・韓国・台湾・中国）は毎週火曜日22時から行われる。そして、全てのグローバルセッション・特別講義については、後日インターネットにて公開される。受講生が講義内容の振り返りに用いることはもちろん、Fab Academyに参加していない人々も閲覧可能である。

表1：Fab Academy 2019年度のカリキュラム

Jan 16	概要説明
Jan 23	Project Management
Jan 30	Computer-Aided Design
Feb 6	Computer-Controlled Cutting
Feb 13	Electronics Production
Feb 20	3D Scanning and Printing
Feb 27	Electronics Design

Mar 6	Computer-Controlled Machining
Mar 13	Embedded Programming
Mar 20	Molding and Casting
Mar 27	Input Devices
Apr 3	Output Devices
Apr 10	Applications and Implications
Apr 24	Networking and Communications
May 30	Mechanical Design
May 8	Interface and Application Programming
May 15	Machine Design
May 22	Wildcard Week
May 29	Invention, Intellectual Property etc.
Jun 6	Project Development
Jun 12 ~ Jun 19	Project Presentations

図1:Zoom による Global Session

2.2 各ファブラボでの課題制作

受講生は、毎回出される課題を各ファブラボの機材を用いて行う。課題制作のためのローカルセッション（約8時間+α）が各ファブラボにて組まれ、各ラボのFab Academyインストラクターによって行われる。Fab Academyのインストラクターを担当するのは、前年度までのFab Academyの卒業生である。

毎週の課題は、原則としてグループ課題と個人課題の2つがある。グループ課題では、各ファブラボで利用できる機材の特性、デザインルール、素材を加工する際のパラメータについて、テストツールを作成

して把握し、その結果を報告する。例えば 4 回目の講義 **Computer-Controlled Cutting** ではレーザーカッターを使用するので、グループ課題で素材 (Cardboard、木板、アクリル板など) を切断・彫刻する際に最適なレーザー出力と動作スピード、切断の際に生じる切り口の幅 (kerf) を調べるツール (図 2) を作成し、検証する。そして、グループ課題で明らかにしたレーザーカッターの特性、パラメータ、デザインルールを用いて、各自個別課題に取り組む。

個別課題では、受講生各自でその週に取り上げられた機材とファブリケーション手法を用いた課題制作を求められる。例えば、レーザーカッターを用いた個別課題では、**Press-fit Construction Kit** を制作するが、これは上述のレーザーカッターの kerf の値を把握していなければ、キットどうしの接合部分の制作が難しい。また、**3D Printing & Scanning** では積層型 3D プリンターでなければ制作できないものを制作しなければならず、その場合も 3D プリンターの特性を把握していなければならない。

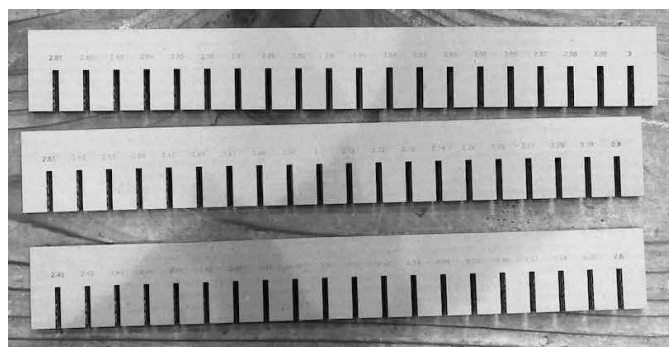


図 2 : レーザーカッターの Kerf を把握するためのテストツール

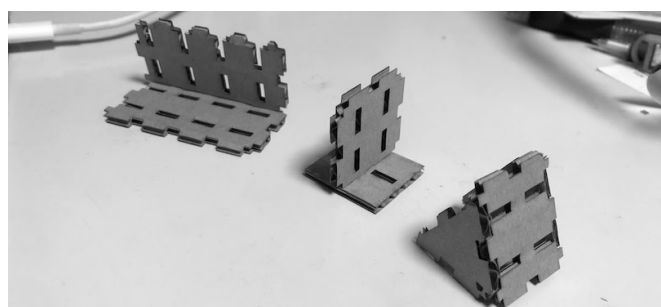


図 3 : Cardboard の Press-fit Construction Kit 作例

2.3 ドキュメンテーションサイト

Fab Academy の受講生は、毎週の課題作品とその全ての制作プロセスを、英語でウェブサイトに合わせて翌週の授業までにアップロードしておかなければならない。前述のグローバルセッションにおける課題のレビューは、受講生が用意するドキュメンテーションサイトを使って行われる。また、ドキュメンテーションサイトは後述の制作課題の評価を受ける際の資料にもなる。**Fab Academy** では受講生の課題をアップロードして管理するための場所として **GitLab** サーバーが用意されており、受講生 1 人 1 人のリポジトリが提供されている。受講生は第 2 回目の講義 (**Project Management**) において **Git** の使い方について学び、各自のウェブサイトを立ち上げる。**Web** サイトの制作に際しては特に制約は無いが 2019 年度から **Static Site Generator** の利用が推奨されており、受講生のリポジトリにはあらかじめ **MkDocs** のテンプレートが用意されている。受講生は毎週の課題の制作プロセスを **Web** ページにまとめ、指定のリポジトリへアップロードすると、**Gitlab CI/CD** を使って自動的に **Web** の公開領域へコピーされる。

受講生各自の **Web** サイトは、クラスページからリンクが貼られ、過去の **Fab Academy** および **MIT** の **How to Make (Almost) Anything** の受講生のページとともに、全世界へ公開される。この理由は、**Fab Academy** に参加できない世界中の人々にも知識をオープンにしておくためである。また、ニール教授は講義中に、ドキュメンテーションの重要性として以下の 5 つを挙げる。

1. 自分がやっていることを記録することで、学びに役立つ
2. 評価する側が、受講生の進捗具合を把握し、評価するため
3. 仕事、学校、ファンディングの際に、自分の作品のポートフォリオとして
4. 後から見返すことができる、自分の知識のアーカイブとして

5. 自分自身が、友達や後輩にやり方を教える際に参照するものとして

2.4 MTM Weeks

上述の通り、受講生は毎週グループ課題と個別課題が課されるが、後半に行われる機構設計 (Mechanical Design) と機械設計 (Machine Design) の週は、ファブラボからの受講生全員で取り組むグループ課題のみが課せられる。これらの週は Fab Academy の中でも MTM (Machine That Makes) Weeks と称され、各ラボでグループを組み、「何かをつくる機械」を制作する (図4)。

この週ではグループワークでの各自のパートについてドキュメンテーションにまとめ、加えて制作物を紹介する1分間のショートムービーの制作が求められる。課題レビューは各ラボごとに行われ、各グループ2分程度で制作した機械についてプレゼンテーションを行い、フィードバックを受ける。制作する機械については基本的には自由だが、何かを生み出すもの (例えば文字や絵を描画する、3D造形物を出力する、パンケーキの生地を出力する、など) が推奨される。

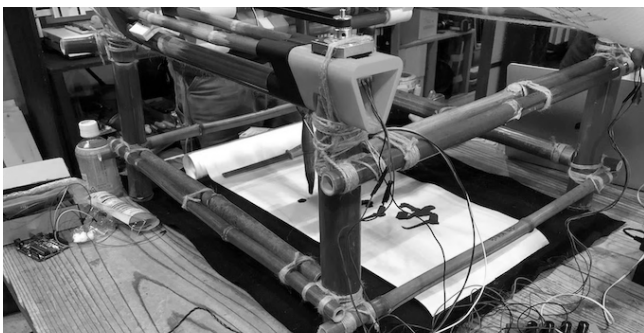


図4：2019年度ファブラボ鎌倉の受講生で制作した竹をフレームとした書道マシン

2.5 Final Project

受講生は毎週の課題制作に加えて、最終課題制作 (Final Project) を進めなければならない。最終課題制作では、受講生自身のアイデアをもとに半年を通じて学んだ技術を総合的に組み合わせ、世の中に無いプロダクトの設計・制作をほぼ1人で行う。初

回の授業で、早速最終課題で何を作るのかのラフスケッチの提出を求められ、第3回目の Computer-Aided Design の週で具体的な制作物を、CAD ソフトを使って設計することが求められる。そして、各回の課題制作は、最終課題の制作に向けた動作検証等を行うことを推奨される。もちろん、最終課題は途中で修正、抜本的に変更してもかまわない。

4月中旬 (講義が半分終了した段階) で、最終課題の具体的なプロポーザルの提出を求められ、最後の6月中旬に1分間のショートムービーと1枚のスライドを作成し、最終制作物のプレゼンテーションを行う (図5)。最終制作物の完成度については特に求められないが、以下の要件を満たしている必要がある。

1. 2D と 3D のデザインを含めること
2. 加算・減算両方のファブリケーション手法を含んでいること (加算は 3D プリンターなどの使用、減算はレーザーカッター・CNC などの使用)
3. マイコンを搭載したオリジナルの電子回路基板を制作すること
4. 上記電子回路基板を制御するプログラムを制作すること
5. その他、授業で取り上げたスキルをなるべく多く統合すること



図5：最終課題プレゼンテーションスライド例

2.6 課題の評価と卒業要件

各課題の評価は、公開されている Fab Academy 2019 Assignments and Assessment[3]に基づいて行われ

る。各課題の評価は、Assessment に記載されている項目を満たしているかチェックされ、全てを満たしていなければ課題のクリアにはならない。たとえば、3D Scanning and Printing の課題の場合は以下の要件を満たしている必要がある。

1. 3D プリンターをテストすることで何を学んだかを示す。
2. 3D プリントする制作物をどのようにデザインして、実際の制作物を紹介する。あわせて、制作物が何故減算的アプローチ（レーザーカッターなど）では制作できないのかを述べる
3. 3D スキャンした結果を示すこと
4. 3D プリントとスキャンを行う過程で実際に生じた問題と、それに対する解決策を述べる
5. 制作の際の CAD のデザインファイルをアップロードすること。あわせて、最終制作物の写真あるいは動画（hero shot）を掲載すること

評価は Fab Academy オリジナルのシステム (nueval) を通じて行われる (図 6)。受講生は、各週で課題制作が終わったら、nueval 上にてその旨を評価者へ連絡する。評価は、まずは各ラボの Fab Academy インストラクターが行う。各ラボのインストラクターの評価をパスすれば、その課題は Global Evaluator に送られ、評価を受ける。Global Evaluator の評価をパスしたら、その課題は完了になる。Global Evaluator を務めるのは、基本的には Fab Academy インストラクター歴 3 年以上か、あるいは Fab Lab Network で積極的に活動し、成果を出しているファブグル (Fab Guru) である。

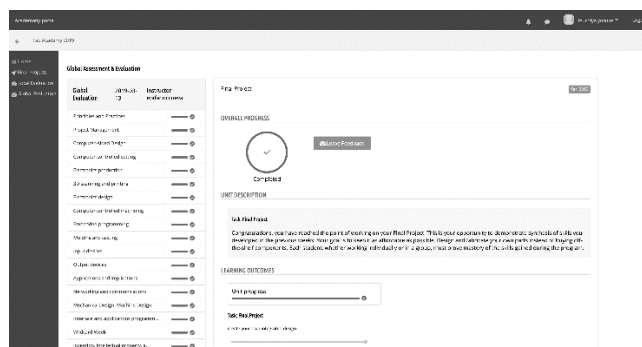


図 6 : Fab Academy 評価システム (nueval) の画面

Fab Academy の卒業要件は、最終課題を含めた全ての課題制作を行い、全てのドキュメンテーションを完了し、Global Evaluator からの評価をパスすることである。また、最終課題のプレゼンテーションを行うことである。4 月末に、まず Global Evaluation を始めるかどうかの判断を求められ、継続が困難の場合はまずここで脱落する。続いて、6 月中旬に最終課題制作物のプレゼンテーションを行い、その翌週までに全ての課題の提出を完了する。Global Evaluator からの評価は 7 月初頭までに完了し、7 月中旬までに卒業が発表され、後述の世界ファブラボ会議にて Fab Academy の卒業式が行われ、修了証 (Fab Diploma) が授与される。

3. Fab15 参加報告

世界ファブラボ会議は、毎年 7 月最終週から 8 月冒頭にかけて開催される、全世界のファブラボ関係者、研究者、企業関係者、各国政府関係者や国際機関が集まり行われる国際会議である。2005 年にボストンで第 1 回の世界ファブラボ会議 (FAB 1) が開催されて以降、2019 年度までに 15 回開催されている。開催地は毎年異なり、先進国から開発途上地域まで幅広い地域で開催されている。会議ではシンポジウム、研究発表、そして多数のワークショップから構成され、それぞれでデジタルファブリケーション関連の先進的な取り組みや、ファブラボとソーシャルイノベーション、教育関連などについての先進的な事例などが紹介される。

今年度、エジプトのエルグーナとカイロにて 2019 年 7 月 28 日～8 月 2 日までの間に開催された第 15 回世界ファブラボ会議 (Fab 15) [4] に参加したので、その内容について報告する。

3.1 プログラムの構成・特徴

世界ファブラボ会議は、毎年概ね 7 日間の日程で行われる。各日とも午前中はシンポジウム、午後は研究発表・ワークショップ・企業ブースなどでの展示が行われる。世界ファブラボ会議は、毎年 1000 人以上が参加する大規模の会議であるが、今年度はエジプトでの開催ということで、出身地域によってはビザの問題で参加ができないところが多く、結果的に今年度の参加者は 600 名程度であった。

会議の各日、午前中のシンポジウムでは、世界各地のファブラボの共通課題となるトピック (Industry、Economy、Fab City、Design、Education など) がとりあげられる。中には先端的な研究事例の紹介も行われ、例えば 2 日目に行われた Industry のセッションでは、2019 年 7 月に MIT で発表された "Tiny motor can "walk" to carry out tasks" [5] について、実際に開発に携わった研究者によるプレゼンテーションも行われた。午後は、リサーチペーパーの発表とワークショップが中心であり、リサーチペーパーの発表は Accept されたペーパー 7 本が発表された。また、ワークショップは 1 日あたり 20 本以上行われ、後述の Super Fab Lab でのハンズオン型ワークショップからグループワークを主体としたものまで、多岐にわたる。

3.2 Super Fab Lab

世界ファブラボ会議の特徴の 1 つは、会場に常設される Super Fab Lab である (図 7)。これは、会議の期間中に、多数の工作機械を設置し、デモンストレーション、ワークショップなどで利用するためのものである。取り揃えられる機材は、ファブラボインベントリー (各ファブラボで推奨される機材のリスト) に載っているものがほとんどであり、たとえばレーザーカッターであれば Trotec Speedy 100 もしくは

Speedy 400 が、小型 CNC であれば Roland MODELA MDX-20、3D プリンターであれば Prusa RepRap などがそれぞれ 2～3 台、他に 3D プリンターについては地元のファブラボ自作によるもの含めると 10 台以上用意され、他にも UV プリンターや熱プレス機なども設置され、会議参加者は自由に利用することができる。

この Super Fab Lab の機材を利用して様々なワークショップが開催される。また、Super Fab Lab の機材を使ってその場で中型の CNC ルータを制作するなどのデモンストレーションが行われ、参加者と機械制作を通じた交流を図る試みも行われていた (図 8)。

図 7 : Fab 15 の Super Fab Lab の様子

図 8 : Super Fab Lab で行われていた CNC ミリングマシン制作のデモンストレーション

3.3 ワークショップ

世界ファブラボ会議のもう 1 つの特徴は、会議中に開催される多数のワークショップである。特に、前述の Super Fab Lab の機材を利用したハンズオン型のワークショップが多数開催される。全世界のファブラボ関係者が一堂に会する国際会議だからこその特徴であるといえよう。ここでは、Fab 15 で開催され

たハンズオン型ワークショップの概要を、いくつか紹介する。

3.3.1 Machine That Makes Machine

ファブラボ発の工作機メーカーはたくさんあるが、従来のメーカーが生産して、消費者が買うという構図は相変わらず続いている。この現状に対して、ソフトウェアでのオブジェクト指向設計のように、ハードウェアもモジュールにして組み合わせるように設計すれば、ファブラボの機械を用いて工作機を制作することが可能となる。本ワークショップは、前述の MTMM (Machine That Makes Machine) [6]を提唱する、ワシントン州立大学の Nadya Peek のインストラクションにより、実際に MTM で機械制作を実践する。このワークショップは全部で4日間の日程で行われ、4日掛けて上述のコンセプトのもとに設計された Tool Changeable Core XY Plotter の制作を行った (図 10)。

図 10 : Machine That Makes Machine のワークショップで制作した Tool Changeable Core XY Plotter

3.3.2 Projection Mapping By Raspberry Pi

本ワークショップでは、プロジェクションマッピングコンテンツの制作ツールである Open Frameworks を Raspberry Pi で利用する方法について習得する。ワークショップを主催する Krisjanis Rijniek は、ofxPiMapper[7]の開発者として知られており、ファブラボヘルシンキ (ノルウェー) のマネージャでもある。

Krisjans もまた、2018 年度の Fab Academy をファブラボバルセロナ (スペイン) から参加した卒業生で

ある。そして、このワークショップは彼の Fab Academy での最終課題制作物 (uMap: ofxPiMapper をコントロールするためのデバイス[8]) と関連しており、彼自身曰く、Fab Academy の最終課題の成果をワークショップの形で公開しているということである。Fab Academy での最終成果物を進化させ、世界ファブラボ会議にて紹介するというケースは多い。

3.3.3 Hands on Softrobotics

2017 年から始まった Fabricademy (Textile Academy) [9]は、Fab Academy の思想をテキスタイル、ファッション、マテリアル分野に特化して取り組む学際的な教育プログラムである。日本からも 2019 年度に初めて卒業生を輩出した[10]。本ワークショップは、Fabricademy にてソフトロボティクスの講義を担当する Adriana Cabrera (ファブラボ・カンプリントフォルト (ドイツ)) による、やわらかい素材や銅糸を用いたファブリケーション手法を体験するものである。具体的には、シリコン剤を用いた鋳造形成 (Molding & Casting) によるロボットアームの制作手法、クッキングペーパーとビニールシートで制作したアクセサリを、空気圧の制御で動作させる手法について紹介された。

本ワークショップの興味深いところは、ソフトロボティクスに対してデジタルファブリケーションとテキスタイルというアプローチから展開しているところである。主催者の Adriana は、自然に存在する植物や生物の、柔らかに持続可能な構造体を、義肢や義足の制作やウェアラブルデバイスに応用できないか、という観点を追求し、その成果がこのワークショップで紹介されている。Adriana 自身も 2016 年度の Fab Academy の卒業生であり、最終課題制作物は柔らかな素材を用いた障害者向けの義手[11]である (図 11)。

への参加を踏まえて、大学においてデジタルファブリケーションの教育研究への利活用を行える人材育成について検討してゆく。具体的には、Fab Academy のカリキュラム・システムを取り入れたデジタルファブリケーション講習会や、Fab15 にて紹介された先端的なデジタルファブリケーション手法を体験するワークショップの企画を進めてゆく。

参考文献

図 11 : Softrobotics ワークショップの様子

4. まとめと今後の展望

Fab Academy はファブラボを運営する、ファブマスターとなるための知識とスキルを修得するための、半年間の速習カリキュラムである。実際に、世界各地のファブラボの多くは、Fab Academy か、ニール教授による MIT の講義 How to Make (Almost) Anything の卒業生によって運営されている。半年の講義で行わなければならないことは多岐にわたり、そのカリキュラムは世界トップレベル教育機関の授業内容と同等である。Fab Academy への参加は、スキル修得系の授業の設計方法、課題設計、評価方法、週 3 時間の講義の構成方法、課題制作物のドキュメンテーションを評価対象とすることの重要性など、大変参考になるノウハウを得ることができた。

また、世界ファブラボ会議への参加により、MTM やテキスタイルファブリケーション、ソフトロボティクスなど、デジタルファブリケーションの先端的な取り組みについて、その推進者本人が紹介するワークショップに参加することができた。また、ワークショップ主催者との意見交換から、紹介されたファブリケーション手法の背景、応用分野などについても知見を得ることができた。総じて、世界ファブラボ会議への参加を通じて、今後ワークショップを主催する際に、大変参考になる知見を多く得ることができた。

今後は、Fab Academy および世界ファブラボ会議

- [1] Fab Academy <http://fabacademy.org/>
- [2] MAS.863/4, 140/6.943 How to Make (almost) Anything <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.19/>
- [3] Fab Academy 2019 Assignments and Assessment <http://fabacademy.org/2019/docs/FabAcademy-Assessment/>
- [4] Fab 15 <http://fab15.fabevent.org/>
- [5] Tiny motor can "walk" to carry out tasks. MIT News, July 2, 2019. <http://news.mit.edu/2019/micro-robots-walk-0702>
- [6] Nadya Peek. Making Machines that Make: Object-Oriented Hardware Meets Object-Oriented Software, Ph.D. Dissertations at Massachusetts Institute of Technology, September 16. <http://infosyncratic.nl/peek-making-machines.pdf>
- [7] ofxPiMapper <https://github.com/kr15h/ofxPiMapper>
- [8] uMap <http://archive.fabacademy.org/2018/labs/barcelona/students/krisjanis-rijnieks/final-project/>
- [9] Fabricademy <https://textile-academy.org/>
- [10] 河原淳「ファブリカデミー報告記」マッシモ・メリニッキ編, 高崎拓哉訳『ファブラボのすべて』BNN 新社 2020 年 272-275 頁.
- [11] My Orthotics <http://archive.fabacademy.org/archives/2016/fab-labkamplintfort/students/124/18.10.FinalResults.html>