

## メイカソンを活用した視線入力デバイスを用いた機器の物理的操作系の開発

会員 東海大学 工学部 大友高行

ファブラボ品川 濱中直樹

ファブラボ宮崎 β 鈴木ゆかり

一般社団法人 ICT リハビリテーション研究会 林園子

### 1. はじめに

近年、3Dプリンタの低価格化や個人制作の規模での電子工作の普及に伴い、各地にデジタルファブリケーション機器を備えたファブスペースが開設されている。なかでも“ファブラボ”と呼ばれる米国発祥のオープンな市民工房のネットワークは、“背景や専門分野の異なる人々の交流の場”として各地で地域コミュニティを育てている<sup>1)</sup>。

それらのファブスペースを利用した取り組みのひとつにメイカソン(Make-a-thon)がある。メイカソンは Make と Marathon を掛け合わせた造語で、短期間に集中して行うものづくりのイベントを指している。そのなかでも、一般社団法人 ICT リハビリテーション研究会とファブラボ品川は、障害当事者や支援者など困難を抱える人々をニードノウア(Need Knower)として迎えるメイカソンを、“インクルーシブ・メイカソン”と呼び、多くの参加者を集めてきた<sup>2)</sup>。元はイスラエルの NPO 団体 TOM (Tikkun Olam Makers) が 2014 年頃から取り組み始めたもので、ニードノウアをチームの中心にすえ、様々なスキルや職種の人々がひとつのチームとなり、試作と検証を早いスピードで行うラピッドプロトタイピングの手法を用いながら困難を解決に導こうという試みである<sup>3)</sup>。メイカソンで得られたプロトタイプやプロダクトを作製するためのデジタルデータはオープンソースのものとして世界中に共有されていることも大きな特長である。

2021 年 1 月中旬から 2 月下旬までの約 1 ヶ月間において、2020 TOM メイカソン TOKYO が開催された<sup>4)</sup>。本稿ではこの中で取り組まれたものづくりの作製過程の一つを紹介する。

### 2. TOM メイカソンで取り組んだ課題

今回の TOM メイカソンの課題の一つに、デュシェンヌ型進行性筋ジストロフィー（以下、DMD）のニードノウアが持つ“電子音楽の機器を実際に演奏したい”というニードがあった。これまでにニードノウアは PC 上で電子音楽の演奏は実現できている。しかし、PC 内で操作が完結することは視覚的な面白みがないこと、物理的に機器を操作して音楽を演奏したいという要求があった。今回はこの課題の実現を検討した。

ニードノウアは DMD にて身体機能全廃の状態である。随意的に動かすことのできる主

な身体部位は左母指と、眼球を含めた顔面の筋肉であるため、圧電素子式入力装置である PPS スイッチ（パシフィックサプライ株式会社）と視線計測デバイスである Tobii Eye Tracker 5 (Tobii LLC) による入力機器を普段から使用している。Tobii Eye Tracker 5 は HeartyAi と呼ばれる視線マウスアプリと組み合わせることで、PC のディスプレイに表示されるマウスポインタの操作を眼球の動きのみで行える<sup>5), 6)</sup>。これらの入力機器と視線マウスアプリを組み合わせることで、ニードノウアは PPS スイッチでマウスクリックを行い、視線の動きでマウスポインタを動かし PC を操作できる。電子音楽機器については、ニードノウアが直接操作することはできないため、左母指と視線のみで操作する PC を中心とした操作系を構築する必要がある。

演奏する対象の機材にはニードノウアの希望から図 1 に示す Groovebox と呼ばれる電子音楽機器 MC-101 (Roland Corp.) を採用した<sup>7)</sup>。MC-101 の入力インターフェースはフェーダー、ツマミ、ボタンで構成されており、これら进行操作することで多様な演奏が行える。



図 1. Groovebox MC-101

MC-101 の操作方法について、3D プリンタ MEGA-S (ANYCUBIC) のアクチュエータを利用しマニピュレータとして使うことを検討した<sup>8), 9)</sup>。3D プリンタはコンピュータ数値制御に用いられる G-Code 言語によって動作する。今回構築する操作系では、PC に入力されたマウスクリックと移動するマウスポインタの軌跡（マウスジェスチャ）の組み合わせによって、G-Code で記述された命令を生成する。生成された命令はシリアル通信を介して PC から 3D プリンタへ転送される。3D プリンタは G-Code の内容に従ってアクチュエータを駆動し、MC-101 への入力を行う。これら機器及びソフトウェアを組み合わせた操作系の全体を図 2 に示す。USB カメラは 3D プリンタによって MC-101 を操作している様子をニードノウアが観察するために用いる。

3D プリンタによる MC-101 への入力を容易にするため、いくつかのアタッチメントを追加した。3D プリンタのノズルには長さ 50mm、直径 5mm の棒状のアタッチメントを取り付けた。また、MC-101 については、フェーダーとツマミに対して、“-” 状と“+” 状の先端を持つアタッチメントをそれぞれ取り付けた。3D プリンタの外観および 3D プリンタと MC-101 に取り付けたアタッチメントを図 3 に示す。これらアタッチメントは従来の用途としての 3D プリンタを用いて造形した。

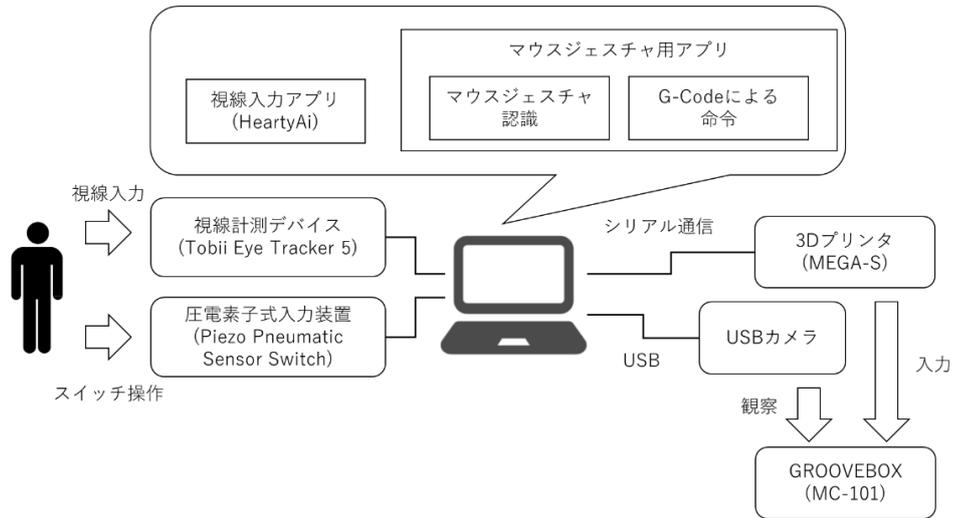


図 2. 圧電素子式入力装置と視線計測デバイスによる MC-101 操作系の全体図

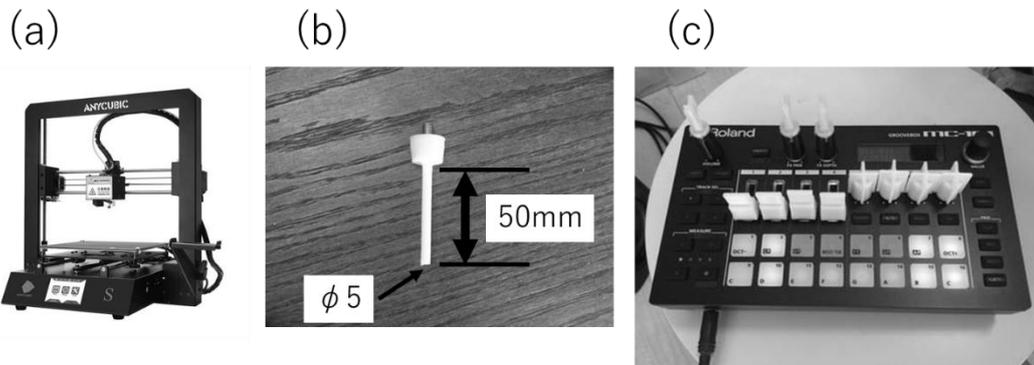


図 3. (a) マニピュレータとして使用する 3D プリンタ “MEGA-S” (ANYCUBIC の HP より引用)  
 (b) 3D プリンタのノズルに取り付ける長さ 50mm、直径 5mm の棒状のアタッチメント  
 (c) “-” 状と “+” 状の先端を持つアタッチメントを取り付けた MC-101

### 3. マニピュレータとマウスジェスチャ用アプリの作成

今回のメイカソンでは、マウスジェスチャの認識と G-Code で記述された命令の生成を一つのアプリにまとめ、マウスジェスチャ用アプリとして作成した。図 4 にマウスジェスチャ用アプリの GUI を示す。GUI に表示された MC-101 の操作盤上でマウスを動かして、マウスジェスチャを認識させる。GUI には 3D プリンタのノズルの現在位置を指す円を表示しており、クリック時のマウスの位置とマウスジェスチャの組み合わせで 3D プリンタ

## 医療福祉技術の動向

への動作指示を設定する。

マウスジェスチャの認識は、図 4 に示した GUI 上の MC-101 を表示している側において、移動するマウスポインタの軌跡を用いる。クリック時点のマウスポインタの位置およびその後の移動で得られたマウスポインタの軌跡を組み合わせ、3D プリンタへ転送する動作内容を生成する。図 5 にクリック動作とマウスポインタの移動によって変化する位置情報を組み合わせたマウスジェスチャの認識方法と、対応する動作指示のフロー図を示す。図 5 に示す動作指示 A は MC-101 の任意のインタフェースへ入力を行う前の位置合わせ、動作指示 B はボタンへの押し動作、動作指示 C は直線移動または円弧移動を行わせることで MC-101 のフェーダーまたはツマミのボリュームを調整する。今回作成する操作系では異なる 3 つの動作指示を用いて MC-101 の各インタフェースへの入力を実現できる。図 5 のマウスジェスチャのフロー図に対応する 3D プリンタのノズルの動作例を図 6 に示す。



図 4. マウスジェスチャ用アプリの GUI。上側 (MC-101 表示側) でマウスジェスチャを認識し、下側 (USB カメラ表示側) で 3D プリンタの動作の様子を観察する。マウスポインタ周辺の円は MC-101 の直上にある 3D プリンタのノズルの現在位置を指す。

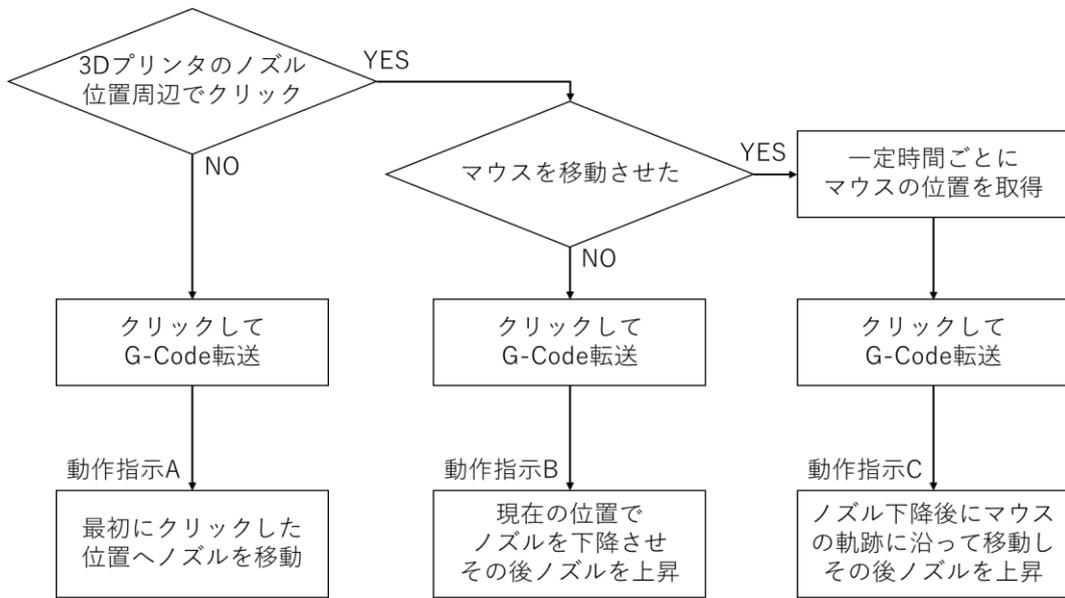


図 5. マウスジェスチャのフロー図

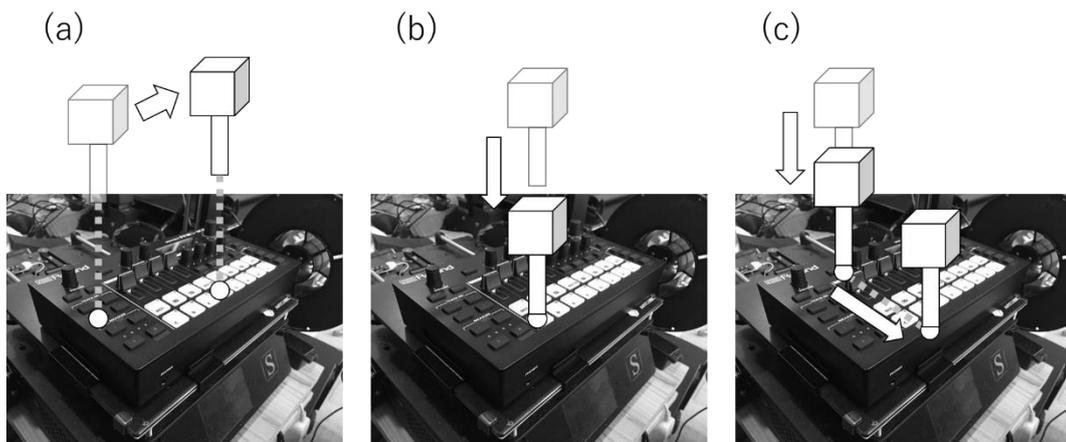


図 6. 図 5 に示すマウスジェスチャのフロー図に対応する 3D プリンタのノズル動作例  
 (a) MC-101 直上にあるノズルが指定した位置へ移動する、(b) ノズルが直下のボタンを押す、(c) ノズルが下降した後にマウスポインタの軌跡に沿って移動する。

これまでに述べたマウスジェスチャ用アプリを含めた操作系を用い、2021年2月27日に開催されたオンライン TOM メイカソンの発表ではニードノウアが操作した 3D プリンタによる MC-101 の演奏が実際に行われた。



図 7. TOM メイカソンで行われた演奏の様子（ニードノウアの PC からキャプチャした画像）

#### 4. 今後の開発方針と将来展望

今回、TOM メイカソンにおいて圧電素子式入力装置と視線計測デバイス、3D プリンタを組み合わせた操作系を構築し、デモンストレーションとして DMD を呈するニードノウア自身により電子音楽機器 MC-101 の演奏が行われた。さらに本操作系の開発を進めていくための方針を本項で検討する。

今回のような視線計測デバイスを用いた機器への操作の場合、手指で直接触れることはないために触覚的に操作をしている感覚は得られない。一般的な楽器の演奏にも触覚は必要な情報であるため、電子楽器である MC-101 においてもフェーダーやツマミを動かす速さや調整を行う時間的な判断、ボタンを押下する時機などで触覚に頼る機会が生じる。また、インタフェースへの過剰な負荷による破損を避ける際にも触覚は大きな役割を果たす。今回構築した操作系を基に、インタフェースから得られる触覚をどのように手指へフィードバックさせるかについて検討する。

##### 4.1 空気圧を用いた触覚の動的変化

3D プリンタの造形物と慣性計測装置を組み込んだ、指先へ触覚フィードバックを与えるデバイスの開発が報告されている<sup>10)</sup>。ポリ乳酸フィラメントで印刷された造形物とラックピニオン機構で固定された指先に対して、造形物の中に空気圧を注入することで凹みや固さ、柔らかさなどの様々な感覚フィードバックを与える。この感覚フィードバックの変化と慣性計測装置で得られた指先の動きの軌跡を組み合わせることで、指に対して触れている物体の感覚の違いを伝達できる。この技術は本操作系に適用することで、ニードノウアの手指に対してインタフェースに触れている感覚を提供できる。また、この技術はイン

タフェースへの安全性の確保にも利用できる。本操作系でフェーダーが可動できる範囲を越えて操作を行った場合、フェーダーへ物理的な過負荷を与えてしまい、その結果フェーダーの破損が起こり得る。触覚の動的変化を導入することで、フェーダーを可動範囲の限界まで動かしてもなお操作しようとした場合に異なる触覚フィードバックを手指に与え、ニードノウアに操作の中断を促すことができる。触覚フィードバックの提供は、感覚を頼りにした操作も行えるため、音楽機器を演奏している没入感にも繋がると期待できる。

### 4.2 ベルトを用いた垂直およびせん断応力の印加

ツマミを回す行為は、2つの指で挟んだ後にツマミに対して互い違いの方向へせん断応力を与えることで実現できる。2個の小型モーターで巻き上げることができるベルトを指腹に取り付け、2個のモーターの回転方向の制御によって、指腹に垂直方向の力およびせん断方向の力を提供するデバイスが報告されている<sup>11)</sup>。モーターによって巻き上げることができるベルトを指腹の周囲に巻き、モーターを回転させて指腹の周囲を締め付ける。2個のモーターの回転方向を一致させるまたは互い違いにさせることで、ベルトが指腹に与える力の方向を指腹に対してせん断方向または垂直方向に変えることができる。また、モーターはエンコーダが取り付けられているため、指腹に与える力の大きさも調整できる。このデバイスを取り付けた2本の指を用いて物体を持ち上げたとき、それぞれのデバイスに組み込まれている2個モーターの方向を調整させて、より強い力でつまみ上げている感覚や、物体が本来持つ重量よりも重い感覚を指腹に与えることができる。

今回構築した操作系では3Dプリンタのノズルに取り付けた1本の棒状アタッチメントでツマミの回転を操作するため、ツマミに“+”状の先端を持つアタッチメントを取り付けて回転操作を補助していた。将来、2本の棒状アタッチメントでツマミを挟んで回転させる操作系を構築したときに、ニードノウアの2本の指にこのデバイスを取り付けて自身の指でツマミを回している感覚を提供できると考えられる。

### 4.3 仮想空間上の物体からの把持力フィードバック

仮想空間上で物体を掴んだときの感覚を機械式の外骨格構造で表現した“Dexmo”と呼ばれるデバイスが報告されている<sup>12), 13)</sup>。小型のサーボモーターとリンクロッド機構を用いて、仮想空間上における手指が物体に接触したときに現実の手指へも力のフィードバックを与えることで、物体を掴んでいる感覚を与える。このデバイスを用いて、Unityで作成されたアーチェリー射的を射抜くビデオゲームによる評価が行われた。籠から矢を取り出して弓に設置し弦を引いて矢を的に向けて射るまでの一連の動作を行うゲームについて、ユーザーがこのデバイスを着用した場合と着用しなかった場合の比較を行った。その結果、デバイスを着用した場合の方が的を射るスコアが高いことを統計的に示した。

現実の物体を掴むといった行為で得られる力の感覚を再現するデバイスは、本操作系のボタンを押した際に得られる弾性的な反発力を手指に与えることに期待できる。また、このような反発力はピアノなどの鍵盤楽器やギターなどの弦楽器を演奏した際に得られる触

覚フィードバックをニードノウアの手指に提供できる可能性がある。

### 5. まとめ

今回、2020 TOM メイカソン TOKYO のイベントにおいて、ニードノウアが持つ音楽機器を実際に操作したいという要求に対して 3D プリンタをマニピュレータとした操作系を構築した。TOM メイカソンは我々が見過ごしている課題を見出し手頃な解決法を構築する上で有効な取り組みであるだけでなく、個人単位で抱える課題をきっかけに、より一般的な開発へ展開できる可能性を持つ。

### 参考文献

- 1) 田中浩也, ファブラボから見る「ソーシャル・ファブリケーション」の可能性, サービノロジー, 2017, vol.4, no.1, p.24-31.
- 2) 林園子, 「共創」をリハビリテーションに活用する - 3D プリンタを使ったインクルーシブメイカソン -, リハビリテーション・エンジニアリング, 2020, vol.35, no.2, p.68.
- 3) <https://tomglobal.org/>, (参照 2021-04-25).
- 4) <https://www.makeathon.tokyo/>, (参照 2021-04-25).
- 5) <http://heartyladder.net/wp/>, (参照 2021-04-25).
- 6) <http://sam-eatlab.blog.jp/archives/13815226.html>, (参照 2021-04-25).
- 7) <https://www.roland.com/jp/products/mc-101/>, (参照 2021-04-25).
- 8) 黒木優人, 他, Functgraph の応用と機能生成の考察, Conference on 4D and Functional Fabrication 2020, 2020-10-15, Online.
- 9) <https://www.anycubic.com/>, (参照 2021-04-07).
- 10) A. Tzemanaki, et.al., Design of a Wearable Fingertip Haptic Device for Remote palpation: Characterisation and Interface with a Virtual Environment, 2018, vol.9, art.62, doi: 10.3389/frobt.2018.00062.
- 11) K. Minamizawa, et.al., Gravity Grabber: Wearable Haptic Display to present Virtual Mass Sensation, 2007, ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies, p.8.
- 12) X. Gu, et.al., Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR, 2016, CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, p.1991-1995, doi: 10.1145/2858036.2858487.
- 13) <https://www.dextarobotics.com/>, (参照 2021-04-25).