

義手のエンターテインメント性の拡張を目指した 義手楽器「MusiarM」の開発

畠山海人^{†1} 中村開^{†2} 金箱淳一^{†3} 南澤孝太^{†4}

概要: 義手は、その機能を通して日常生活を豊かにするための器官になり得るが、これまでの義手に関する研究では機能面に関する開発に主眼が置かれ、自己を表現するエンターテインメント性に着目した提案は少ない。本研究では、義手による楽器演奏を実現し、義手のエンターテインメント性の拡張、及び義手利用者の楽器演奏に対するモチベーションを向上させることを目的とした「MusiarM」を開発した。

本研究では、当事者の身体的特性を、その人のみが持ち得る「価値」として引き出し、楽器を身体の一部として機能させることを目標に、当事者、エンジニア、義肢装具士との対話を通して試作した。制作したプロトタイプを、今まで障害によって楽器を思う通り演奏できない、または普段演奏を行わない片腕前腕欠損の当事者に使用してもらった。ユーザビリティテストの結果、MusiarMを用いることで、当事者の演奏行為への興味を喚起し、演奏表現を楽しむことができる可能性が明らかになった。

キーワード: 義手、楽器、音楽、エンターテインメント、上腕、前腕、演奏表現

MusiarM: Development of a prosthetic instrument improving the entertainment with prosthetic hands

KAITO HATAKEYAMA^{†1} HARUKI NAKAMURA^{†2} JUNICHI KANEBAKO^{†3}
KOUTA MINAMIZAWA^{†4}

Abstract: Prosthetic hands can become organs to enrich daily life through its function. However, the past research on prosthetic hands focuses mainly on developing functions. There are few proposals focusing on entertainment for prosthetic hand users. In this research, we developed “MusiarM”, the prosthetic instruments, in order to extend the entertainment of prosthetic hands, and improve the motivation of prosthetic hand users for the performance.

“MusiarM” was designed with the handicapped, engineers, prosthetist. We see the physical characteristics of handicapped person as the unique value that the person can possess, and made instruments as a part of the body. We asked handicapped people who can not play musical instruments or do not usually play, to use prototypes we made. As a result of the test, it is revealed that using “MusiarM” enhances the prosthetic hand users' interest for performance, and even generates the new expression way for them to enjoy performance.

Keywords: artificial arm, instrument, music, entertainment, upper arm, forearm, Performance expression

1. Introduction

人は自分の身体を思う通りに動かすことが困難なとき、身体機能をアシストするための技術を発明することで能力を拡張してきた。例えば、義足はパラリンピックなどスポーツの分野で注目を浴びている。現在、パラリンピック男子陸上100mの世界記録は10秒57と、オリンピック金メダリストであるウサイン・ボルトの9秒58に迫っている。また、陸上男子走り幅跳びにおいて、義足選手の記録はオリンピック記録を上回っている。このように、スポーツ用義足は、失った脚部に対し、技術を用いて身体を拡張する一つの形であるといえる。筆者らは、スポーツ用義足のよう、義手使用者が音楽表現を行うための義手楽器を制作し、使用者の演奏能力の拡張を目指す。

これまでの義手は、「自分の腕の代わりとなって、日常動作を支援するもの」を目指し開発されてきた。近年は様々な研究機関や大学で、複数の機能を備えた筋電義手が注目され、開発が行われている。これらの研究の中には、筋電からの複数動作の識別など、技術的な新規性に重きを置くが故に、当事者の

ニーズが十分に把握されないまま、開発が行われている現状がある[1][2]。一般的な筋電義手は、物を把持する、支えるなどのシンプルな動きは可能であるが、滑らかな動き、スピード感のある複雑な手関節の動作などの機能は乏しい。また、身体部位は個人差が大きいため、義肢装具士が経験によって適合を行っているのが現状である[3]。

欠損障害において、先天性と後天性ではボディイメージ(人間が身体について持つ感覚)に大きな違いがある。先天性の場合は、後天性とボディイメージが大きく異なり、右手と左手が同じ長さであるという感覚が存在しない。健常者は先天性当事者に対して、左右を同じ長さにするのを考えるが、先天性の当事者は生まれつき、固有のボディイメージを持っている。そのため、手の機能を義手の先端に持っていくと、実際には作業が困難になる場合もある。このように、先天性や後天性など、利用者が置かれている状況や、ニーズを汲み取って、様々なバリエーションをもつ義手を開発する必要がある。ところが、腕の代わりに機能することを目的としない、エンターテインメント性の高い(音楽やスポーツ、ファッション、芸術表現の)機能を持った義手開発

^{†1} 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Keio University Graduate School of Media Design

は少ない現状がある。

義手は、機能を通して日常生活を豊かにするための器官になり得るが、これまで自己を表現するエンターテインメント性をもった提案は少ない。

本研究では、義手による楽器演奏を実現することで、エンターテインメント性の拡張、義手利用者の楽器演奏に対するモチベーションの向上を目的とする。当事者の身体的特性を、その人のみが持ち得る「価値」とし、楽器を身体の一部として機能させる。

義手楽器の開発方法として、エンジニア、義肢装具士、当事者との対話を通して共にプロトタイピングを行い、実際に当事者に使用してもらうことで得たフィードバックを元に、ディスカッション、アップデートを繰り返していく。

義手楽器の特徴は、個人の身体動作による直接的な音楽の演奏を可能にする点である。直感的なパフォーマンスや、個々に異なる身体モデルを活用した演奏表現を行うための楽器を開発する。普段、人々は音楽演奏を行うための「道具」として楽器を使用してきたが、義手楽器は利用者の「身体」の一部になることを目指す。個々に違う身体モデルに基づいた奏法を引き出すことは、使い手がプロ意識を持つことにつながる。本研究は、義手開発コミュニティの NPO 法人 mission arm japan に所属する当事者、エンジニア、義肢装具士と共に開発を行った。



図1 提案プロダクト「Musiarm」

2. Literature Review

義手の研究分野では、超音波モータを用いた3自由度前腕筋電義手[4]や義手制御を目的とした筋電操作トレーニングシステム[5]など日常動作を支援するための機能や操作性に関する研究が多く見られ、身体を拡張する筋電義手:障害を再定義するテクノロジーの実現を目指して[6]は、身体機能を補完する義手と、身体を拡張する義手について触れ、義手にかかるコスト問題や、筋電義手の識別精度の向上の可能性について記しているが、義手本体を楽器にする研究は少ない。本章では演奏を支援する義手や楽器のレビューを行う。

海外企業ではドラム演奏専用の義手や、ギターのピッキング奏法や弦を押さえる機能を備えた義手の開発が行われ、元々演奏者であった当事者に提供されている[7]。障害者のための楽器演奏補助システムの開発[8]は、両腕および10本指で演奏する木管楽器のサクソフォンの演奏を補助するため、片手でMIDIキーボードを入力装置として操作することでサクソフォン演奏ロボットを作動させている。図2にあるスチールギターの演奏者用義手[9]は、左手でバーを持つための義手である。

以上の補助義手や楽器に対し、本研究では楽器を身体の一部とした義手楽器を開発し、当事者による独自の音楽表現の提案を検討する。

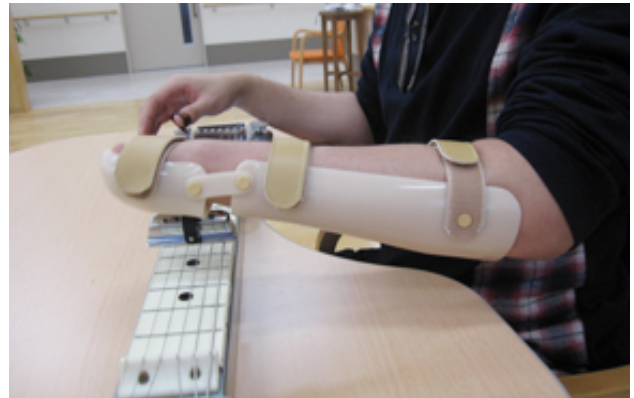


図2 スチールギターの演奏者用義手 [7]

3. Design Concept

義手楽器の制作で重要な点は、当事者と共に開発をすることにある。健常者の当事者に対する考え方は、健常者の身体モデルをベースに導き出されており、この考え方が「健常者が考えた当事者に便利なもの」と「当事者が本当に欲しいもの」の相違を生じさせる一因となる可能性がある。

本稿では「障害」そのものを、その人の持つ身体的「価値」として、引き出し「disability から This ability」を実現する例として、義手楽器を提案する。義手楽器であるからこそ可能となる、直感的なパフォーマンスや音楽表現の可能性を検討する。

4. Prototyping

本論文では、前腕欠損障害者が楽器演奏の際に問題となる「筐体の形状」、「演奏方法」、「質量」、「音楽表現」に着目し、システム的设计を行なった。当事者と話し合いながら演奏方法や機構を決定し、3DCAD によるモデリングを行った。デザイン面では、従来の義手におけるイメージを変えることを検討する。3D プリンタを用いて造形することでサイズやフィット感などの使用感に対して柔軟に対応でき、比較的軽量で製作コストを抑える事が可能となる。今回はトロンボーンのようなスライド機構によって音をコントロールする演奏方法をモチーフとして、スライド機構によって音をコントロールすることとした。

4.1 ハードウェア

義手を MIDI 入力デバイスとして操作するハードウェア部分は、以下のシステム構成(図3)により成り立つ。

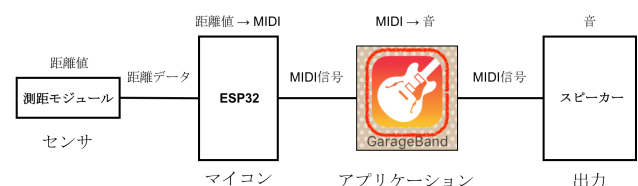


図3 Musiarm システム構成図

本体のスライド部分を移動することによって、距離センサにより測定された距離データが MIDI 信号に変換され、GarageBand等のソフトウェアで演奏が可能である。

義手のスライド部内に距離センサ(シャープ測距モジュール GP2Y0E03)、マイコン(ESP32-DevKitC)、リポバッテリー(LiPo3.7V 300mAh)を配置し、スライドによる距離の変化量をセンサで読み取り、マイコン部で MIDI 信号に変換する。Bluetooth を使用し、変換された MIDI 信号を無線で GarageBand に送り、MIDI 信号を音に変換する。通信が無線化され、スタンドアロンデバイスとなっていることで、より自由な演奏表現を行える。

4.2 開発フロー

当事者とアイデア出しを行い、スライド式機構により音を奏でる形に決定した。スライド式機構を取り入れる上で、レールとスライド用パーツ、スライド部を保持する両端、義手として前腕欠損の欠損部に装着するためのソケットを検討した。また当事者のコメントを考慮し、インパクトのある外形デザインを制作した。距離センサやバッテリーの配置の検討、また、3D プリンタでの造形サイズには限界があるため、パーツ分けをした。はめ込みやネジ穴を設けるなどの詳細設計も含め、デザイン作業を Autodesk Fusion360 上で行った。詳細な設計内容は以下のとおりである。

1. トロンボーンのような吹奏楽器をモチーフとし、スライドで音階を変更できるように機構の設計・管体デザインを行った(図4)。スライド部には距離センサと基盤、バッテリーを配置できるように設計を施した。この時、バッテリーと基盤、センサをそれぞれ接することのないように配置した。これはバッテリーや基盤の動作時に生じる発熱の緩和やショートなどの故障を防ぐ目的がある。
2. スライド部を固定し、スライド用パーツが外れないよう、両端部の設計・デザインを行なった。片端部にはスピーカーを入れ、もう片端部にはソケットを取り付けられるよう設計を行った。ソケットと別にし、ユーザに応じて変えることで誰もが装着可能になる。
3. 外観にインパクトをもたせるため、スライド機構部の上部に装飾部品を取り付けた。また、各パーツに模様を入れることでデザイン性の向上を図った。
4. 造形時間や使用時の破損、大きさなどを考慮し、全体を細かく切り分けた(図5、6)。組み立てやメンテナンス、故障時の修理などを行えるよう、パーツごとにネジ穴や、噛み合わせ、はめ込み部などの設計を施した。
5. 義手は身体に直接装着することから、軽量であることが重要である。各パーツの肉抜きを行い、軽量化を図ったが、スライド部には移動スペースに長さが必要なため、一般の義手(700g~800g)と比べて重くなった。そこで、身体の負荷を軽減させ演奏時の安定性を高めるため、ギターなどに用いられるストラップの取り付け穴を装飾部に取り入れた。
6. ソケット部は、ユーザの断端部の3D スキャンデータ(図7)

を Fusion360 内に読み込み、義肢装具士と当事者を含めて設計を行った。ソケットの内部は二重構造を用い、外からの衝撃を吸収する役割を担っている。装着面は肘関節部全体を包み込むようにし、装着時に肘の曲げ伸ばしを自由に行えるよう、入口が大きくなっている。内側には、クッション材となるシート(ビタフォーム15)を貼り、ソケット後部に4つの穴を開けることで、長時間の装着による蒸れを軽減させている。



図4 Musiarm 完成モデル

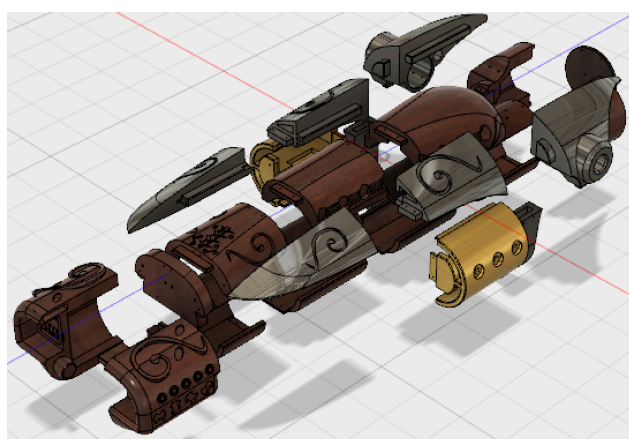


図5 Musiarm 分割モデル



図6 Musiarm 造形物パーツ

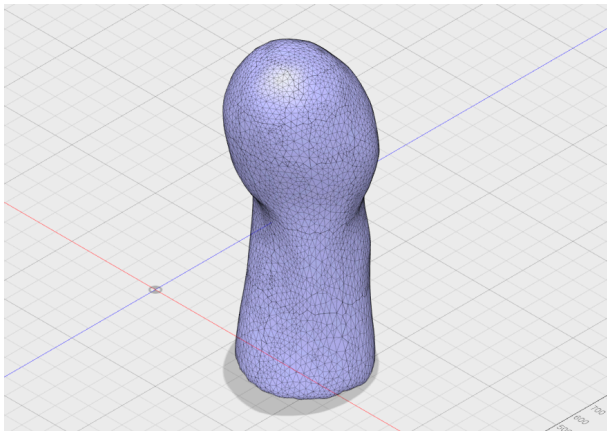


図7 断端部3Dモデル

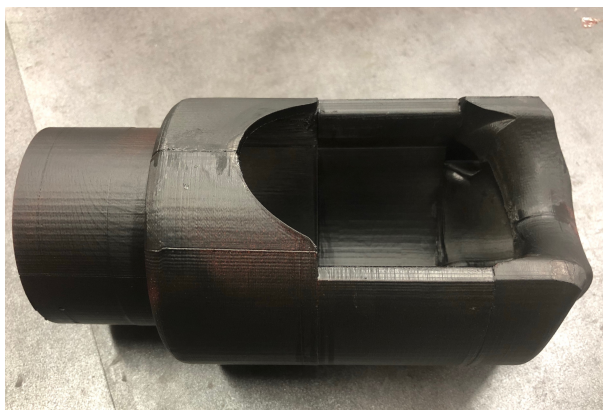


図8 ソケット部パーツ

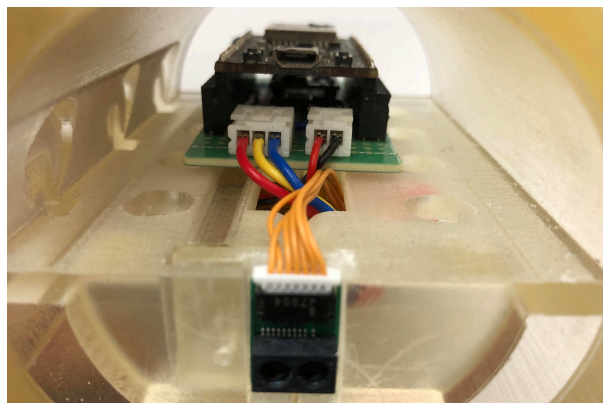


図9 センサと電子制御部



図10 Musiarm 完成品

5. Usability Test

開発した義手楽器は、2017年11月3、4日に神奈川県で開催された「KMD Forum」、2017年11月7日から13日まで渋谷ヒカリエ ハチにて2開催された「超福祉展(図11)」、原宿の丘体験会(図12、図13)で体験型展示として出展され、健常者、当事者、企業、多くの人々が体験した。

次節では、体験者の様子とフィードバックを記す。

5.1 体験者の様子・フィードバック

・先天性前腕欠損の小学3年生の男児

今回の義手楽器は成人男性サイズであったため実際に装着はできなかった。しかし、楽器に触れること自体が初めての体験であり、色々な楽器の音を鳴らすこと、スライドによる音の変化を長時間楽しんでた。子供の両親も、演奏に夢中になる子供の姿に喜びを感じていた。

・先天性前腕欠損の男性(MAJ 山本さん)

今回の主なターゲットユーザである。実際に装着し体験してもらった。スライド部を手で一定の位置に固定し、腕を動かすことでバイオリンを弾くような身体動作で演奏を行っていた。プロダクトのデザインや奏法を気に入り、自身の好きな楽器の音色を見つけ喜ぶ姿が見て取れた。「また使用したい、是非練習して上手になりたい」などの肯定的な意見が得られた。また、スライド用パーツのサイズをはじめとした、多くの改善要望を得ることができた。

・後天性前腕欠損の男性

山本さんとは異なり、欠損のある方の腕を固定し、片手でスライド部を操作して演奏していた。「私用の義手楽器が欲しい、バンドが組めたら良いですね」といった肯定的な感想や、筐体の重さに対する指摘を得た。

・超福祉展に参加していただいた健常者や企業の人々

義手業界や研究、当事者の現状について興味を持つ人が多く見られた。

新しい奏法のアイデアや外形のデザインに合う音色の選定に対するコメントの他、筐体の軽量化を進める意見が当事者よりも多かった。

5.2 まとめ

3つの展示会及び体験会を通して、下記の5つが多くコメントとして挙げられた。

1. 義手楽器の軽量化
2. スライド機構の改善
3. 別バージョンの義手楽器開発
4. 演奏できる楽器の種類に限りがある
5. マッチする楽器の音色がある

健常者の使用時に比べ、当事者が使用したときは装着の安定性が向上し、滑らかな演奏体験を行うことができ、操作に馴れるまでの時間が短かった。一方、健常者も長時間使用することにより、安定した持ち方や、演奏のコツを発見し、パフォーマンス能力の向上が見られた。



図11 超福祉展の様子



図12 原宿の丘体験会の様子



図13 原宿の丘体験会の様子

6. Conclusion

本研究では、義手楽器を用いることで、義手のエンターテインメント性の拡張、義手使用者に対する楽器演奏の機会の提案を目指し、当事者と共に義手楽器の開発を行い、展示会、体験会で実証実験を行った。

実験の結果から、今まで障害によって楽器を思う通り演奏できない、または演奏を行わない片腕前腕欠損の当事者が義手楽器を用いることで、演奏に興味を示し、楽しめる可能性が明らかになった。また、本システムを用いることで健常者も楽器演奏が容易になる可能性がある。今後は、健常者の使用も考慮したソケットの開発を進める。

また、体験者のフィードバックから、筐体の軽量化、持ちやす

い形状や大きさ、機能の拡張などが課題として挙げられる。今後も当事者や義肢装具士、エンジニアと共に意見交換を重ねながら、操作性の向上や演奏力豊かな義手楽器を目指して開発を進めていく。最終目標として、義手楽器によるバンドやオーケストラを結成し、ライブ、演奏会などの場で実際にパフォーマンスを行えるよう、演奏方法や外形の異なる新しい義手楽器を開発していく。

謝辞

本実験の実施には、NPO 法人 Mission Arm Japan 当事者の山本邦光をはじめ、当事者、エンジニア、義肢装具士の方々に協力を頂いた。本研究は JST ACCEL Embodied Media Project の一環として実施された。

Reference

- [1] 筋電義手開発のための義手に対する意識調査
産業技術総合研究所 電子情報通信学会技術研究報告:信学技報 101(130) 2001.6.22 p.75~82
梶谷 勇、樋口 哲也
- [2] STI Horizon, Vol.3, No.2 文部科学省科学技術・学術政策研究所発行 筋電義手にみられるものづくりと研究開発の新たな仕組み:
<http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STIH3-2-00083.pdf> (Access 2017.11.17)
- [3] 健常手の運動機能に近い前腕筋電義手開発の為の機能探索に関する実験的研究:
樋口凱、昆恵介、野坂利也、早川康之、敦賀建志
北海道科学大学研究紀要(2016年)
- [4] 超音波モータを用いた3自由度前腕筋電義手:
伊藤宏司、永岡英明、辻敏夫、加藤厚生、伊藤正美
計測自動制御学会論文 Vol.27, No.11, 1281/1289 (1991)
- [5] 義手制御を目的とした筋電操作トレーニングシステム:
辻敏夫、福田修、大塚彰、金子真
電子情報通信学会論文誌 2000/10 Vol.J83-D-II No.10
- [6] 身体を拡張する筋電義手:障害を再定義するテクノロジーを目指して:
粕谷昌宏、加藤龍、高木岳彦、伊藤寿美夫、高山真一郎、横井浩史、
https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/58/12/58_887/html-char/ja/ (Access 2017.2.4)
- [7] 科学の進歩でハンデを乗り越える。ここまで進んでいる楽器演奏用の義手:
<https://www.m-on-music.jp/0000006083/>
(Access 2017.11.17)
- [8] 障害者のための楽器演奏補助システムの開発:
柳田紀之、高島俊、法政大学大学院工学研究科紀要(2015年3)
- [9] 義肢装具の特殊な義手製作とリハビリテーションの知識:
http://www.kousaikai.or.jp/support/knowledge/s_prosthetic_hand.html (Access 2017.11.17)