

ユビキテル

——演奏者の存在感を提示するバーチャルフィンガードラマー——

中島武三志

インタラクティブメディア学科

Ubiquitel: A Virtual Finger Drummer Displaying the Presence of Performers

NAKAJIMA Musashi

Department of Interactive Media

(Received October 31, 2017; Accepted December 21, 2017)

キーワード：身体性、存在感、音楽演奏メディア、ユビキタスコンピューティング

Abstract

The presence of performers is of great worth in performing arts, including music. On the other hand, various techniques have been devised so that we can easily enjoy music regardless of time or place so far. Although such technology is specialized in recording and reproducing audio signals in music, it is insufficient to display the presence of performers. As a foothold to display the presence of such performers, several studies have been attempted to transmit the presence of a human being to a remote place by using a robot that imitates the appearance, motion, and texture of an actual human being. This paper aims to achieve both the convenience of digital music performance media and displaying the presence of performers, and proposes a virtual finger drummer named “Ubiquitel”, which displays the presence of performers by several rhythm tapping devices simulating real fingers. Then, from feedback obtained through exhibition activities of the prototype, this paper shows that having a physical entity as a part of the body and imitating the performance played a major role in displaying the presence of performers.

1 はじめに

音楽をはじめとした舞台芸術は、演者と観客の存在感や、両者のインタラクションによって生み出される独特の一体感が一つの価値である。このような芸術の創造支援には、人のインタラクションの本質を解明し、演者と観客の存在感や一体感を生み出すことが不可欠である。三輪は演奏者不在の、異なる場所で録音され複製された音楽を“録楽”と呼んで区別しており、人間の手によって演奏され、その場で聴かれる“音楽”の重要性を唱えている¹⁾。また、Smallは音楽作品を自律的存在ととらえる西洋近代の音楽観を批判しており、「ミュージッキング」という概念を通して、音楽の本質的な意味は作品や楽譜にあるのではなく、それを実践する行為にこそ存在するという主張を多角的に展開している²⁾。このように、音楽は単なる音響信号の伝達だけではなく、人間による主体的、能動的、対話的な活動としても解釈されている。

一方で、時間や場所を問わず手軽に音楽を楽しむための様々な技術がこれまでに考案されてきた。近年の電子工学や情報工学分野における急速な発展に伴い、コンピュー

タをはじめとする電子機器を音楽の記録や演奏へと応用する動きが活発に広まっており、音楽鑑賞の面では、携帯音楽プレーヤーや音響情報の圧縮技術により、時間や場所を問わず音楽をより手軽に聴取できるようになった。また、音楽演奏や制作の面では、シンセサイザによって従来の楽器では表現できなかった新たな音色を生み出すことや、DAW (Digital Audio Workstation) によって演奏者や楽器が存在しなくても楽器演奏を音響信号として再現することなども可能となった³⁾。こうした音楽情報処理技術は、音楽における音響信号の記録・再現に特化することで、音楽行為における身体や時間、場所などに関する制限から解放してきたと言える。しかしながら、演奏者の存在感を提示することは不十分であった。

そうした演者と観客の存在感や一体感を提示する足がかりとして、身体表現に着目したメディアに関する研究が進められている。これらの研究では、遠隔地であっても演者と観客の存在感や一体感を生み出すメディアの創出を目的としており⁴⁾、中でもロボットの動作や質感を利用することで、遠隔地にいる人間の存在感を再現する研究が報告されている⁵⁾。このような人間の身体性は、人間の存在感や一体感を提示する手段としての有効性が

示されている。音楽演奏を支援するメディアにおいても、実体を持つロボットの動作や質感を利用することで演奏者による身体表現を観客に提示できれば、演奏者の存在感が感じられ、より一体感のある音楽体験に繋がられる。そこで本研究では、デジタル音楽演奏メディアの利便性と演奏者の存在感提示を両立することを目指し、“環境に遍在する擬似身体”という概念を導入する。すなわち、音楽演奏において欠かせない演奏者の身体を模した造形物（擬似身体）によって、まるでそこに演奏者がいるかのような存在感を提示する。また、演奏者自身によって与えられた演奏情報を基に擬似身体を駆動することで、実際の発音体を発音させ音楽を生成する。さらに、任意の時間や場所で擬似身体による演奏を可能とするために、あらゆる発音体に対し演奏者の擬似身体が遍在する環境を構築し、時間や場所、身体の制限から解放する。Weiserは“Ubiquitous Computing”⁶⁾という概念を提唱し、コンピュータが環境に遍在し、任意の時間や場所で所望の情報をやり取りできるというコンピューティングの未来像を提案している。本研究は、この概念を演奏者の存在感という情報へと応用し、実体を持つ演奏者の擬似身体を環境（発音体）に遍在させることで、任意の時間や場所で演奏者の実在感を示す音楽演奏メディアの実現を目指す。

その一端として、ここでは“指”が物質を“叩く”行為に着目し、演奏者の存在感を提示するバーチャルフィンガードラマー「ユビキテル」を提案する。ユビキテルは、実在する人間の指を模したリズム叩打装置であり、ユーザの指によるタップ演奏を記憶し、演奏する。また、複数のユビキテルを用いて複雑なリズムを合奏することや、任意の素材に載せることで様々な音色の演奏をさせることが可能である。人の手指は物を巧みに操るという役割とともに、対象の物理情報を取得する重要な役割を持つと言われており⁷⁾、“叩く”行為は、環境に存在する多くの物質を発音させることが可能であり、特別な学習を必要としない比較的シンプルな行為である。そのため、より多くのユーザが演奏者としてこのメディアを利用するのに適している。このような理由から、本研究では“指”による“叩く”行為を採用する。

次章以降では、本研究と関連する研究について概観し、人間の指による叩打音を再現する機構について検討する。次に、試作品の展示活動を通じて得られた体験者のフィードバックをまとめ、本作品の持つ表現性について考察する。

2 関連研究

本研究は、実体を持つ指型演奏装置によって演奏者の

存在感を提示することを目指す。本章ではそうした機械式自動音楽演奏装置や、ロボットによる人間の存在感提示に関するこれまでの研究について論じ、本研究の位置付けを示す。

機械式の自動音楽演奏装置は古くから存在し、今日でもオルゴールやパンチカード式のオルガニート、自動演奏ピアノなどが親しまれている。18世紀のスイス時計職人であったJaquet-Drozは、オートマタと呼ばれる機械式人形がオルガンを演奏する作品を製作しており⁸⁾、実際の演奏者がいなくても音楽を鑑賞可能にしている。他にも、KintzingとRoentgenはマリー・アントワネットの依頼を受け、チェンバロを演奏する人形装置を製作している⁹⁾。その後、ロボット技術の発展に伴って音楽演奏を行うロボットが登場した。梶谷らによる、リコーダとバイオリンとチェロの演奏を行うロボット“MUBOT”⁹⁾や、菅野らによる、楽譜を読み取りキーボードを演奏するロボット“WABOT-2”¹⁰⁾などがその例である。こうした音楽演奏ロボットに関する研究は、人間の様々な行為を再現する人間型ロボット研究の一環として位置付けられており、本研究が目的とする演奏者の存在感提示とは異なっている。そのため、実際の人間の動きを模倣しているが、必ずしも見た目や質感などは再現されていない。

人間の身体性を応用し、人間の存在感や一体感を提示するメディアに関する研究として、渡辺は音声対話におけるうなずきや身振りなどの身体的リズムの引き込みをロボットやCGキャラクタのメディアに導入した「心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC (Embodied Communication System for Mind Connection)」を開発し、このシステムを通じて対話者相互の身体性の共有や、一体感を生み出している¹¹⁾。また、三輪らは、演者と観客が共に同じ場所に存在しているような共存在感を提示する手段として「身体の影」に着目し、離れた場所にいる人々の人影を互いに別の空間の対応する位置に送り合う影システムを開発している。さらに、このシステムによって互いの存在が身体的に関係付けられ、共存在感や距離感が生成されることを示している¹²⁾。他にも、ロボットを用いた存在感提示に関する研究として、石黒らは実際の人間の見た目や動き、質感を模倣したアンドロイド Geminoid¹³⁾を開発しており、人間の存在感を遠隔地へ伝達することを目指している。同様に、高橋らはライブビデオストリーミングにおいて、実際の人間の腕を模した拍手装置によって、視聴者が撮影現場にフィジカルな拍手を遠隔伝送するシステムを開発し、装置の動作と音を通じて、撮影現場に視聴者の存在感を提示できたことを報告している¹⁴⁾。特に高橋らによる研究は、

ロボットの動作によって人間の存在感を遠隔地に提示する点で本研究と深く関係しており、本研究は同様の手法で音楽演奏者の存在感を提示することを試みる。一方で、本システムの特徴は演奏者のための自動音楽演奏メディアとして演奏行為を簡単に記録できる点や、複数の装置を任意の素材に配置することで演奏者の身代わりとして演奏行為を拡張する点にある。

3 ユビキテルの提案

本研究では、実在する人間の指を模した叩打装置が、ユーザ自身の指による演奏を記憶・演奏することで、演奏者の存在感を提示するバーチャルフィンガードラマー“ユビキテル”（図1）を提案する。本章ではユビキテルの概要と、システム構成、叩打機構の制作過程、制御方法について述べる。

3.1 システムの概要

“ユビキテル”は、実在する人間の指を模したリズム叩打装置であり、ユーザの指によるタップ演奏を記憶し、演奏する。また、複数のユビキテルを用いて複雑なリズムを合奏することや、任意の素材に載せることで様々な音色の演奏をさせることが可能である。本システムの特徴をまとめたものが以下の5項目である。

- 指の叩打時刻、強弱からなる演奏情報の記録・伝送
- 本物の指に近い見た目、質感、動き
- 指の腹と爪によるリアルな叩打音の再現

- 複数の装置による合奏表現
- 任意の素材（音色）を用いたリズム表現

“ユビキテル”の名称には、複数の意味が込められている。一つは“遍在”を表す“ubiquitous”であり、環境内の任意の場所に配置し、任意の素材を発音体として演奏できることを表す。もう一つは本研究が身体の一部として着目した“指”であり、演奏する身体を象徴している。さらに本作品が電動装置であることから、平賀源内による静電気発生装置“エレキテル”になぞらえ、ユビキテル（Ubiquitel）と命名した。

3.2 システムの実装

ユビキテル本体は、指の形をした叩打機構と、ネットワーク通信と叩打機構の駆動制御を行う電子回路部分に分かれる。システム構成は図2のとおりである。本章では、これらの製作過程について述べる。

3.2.1 ユビキテル本体の製作

その場に演奏者がいるかのような存在感を示すため、実際の人間の指を模倣し、人間の肌の質感に近い軟質ウレタン素材を用いた指の造形物を製作した。はじめに実際の指の型を取るため、短時間で硬化する型取り材（アルジネート印象材）によって一時的に指の石膏モデルを用意し、この石膏モデルを用いて繰り返し利用可能なシリコン型を制作した。シリコンの型は、以下の手順で制作した。

1. プラスチック製ブロックで容器を作成し、容器の半分ほどまで粘土を敷く。

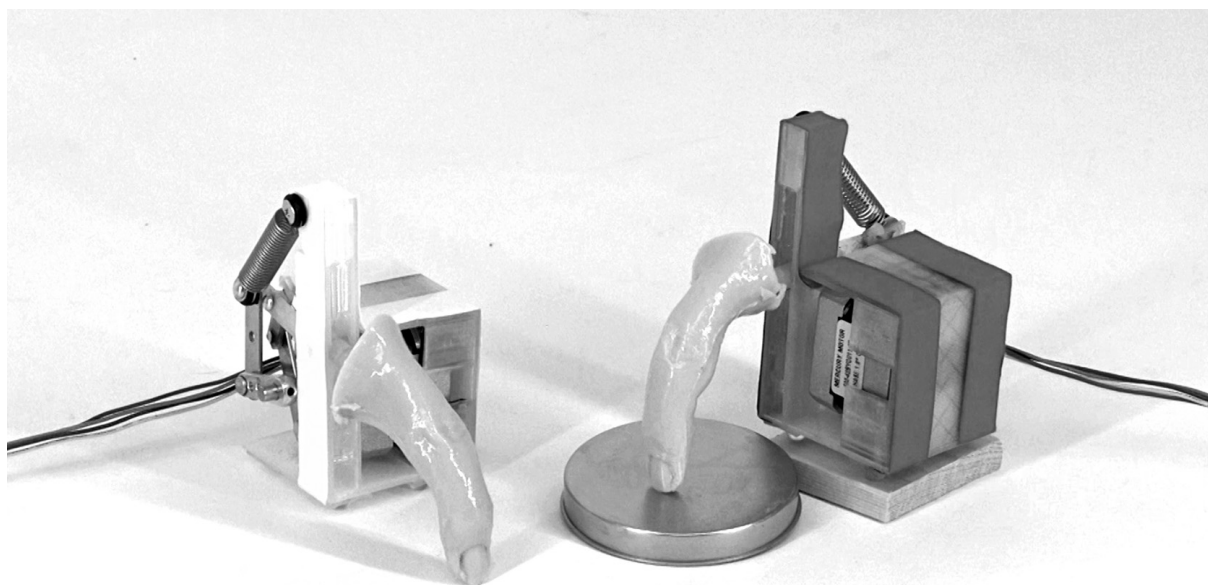


図1 ユビキテルの外観

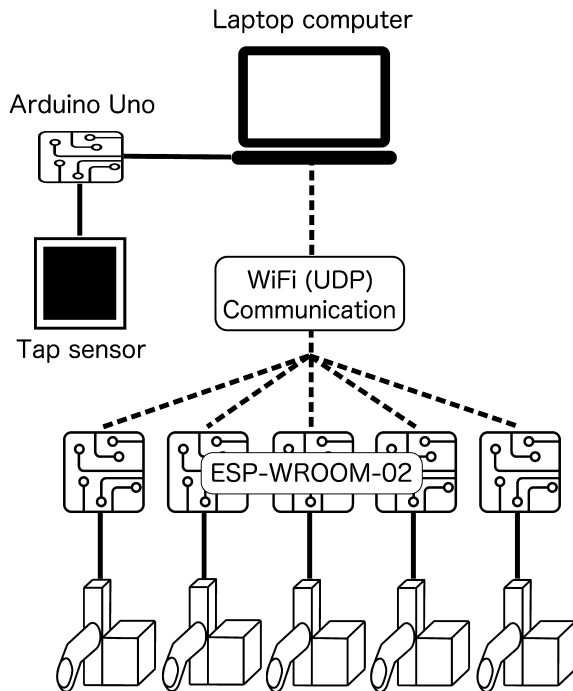


図2 システム構成

2. その粘土に指の石膏モデルと、指の素材を流入する空洞をつくるための円柱を半分ほど埋め込み、粘土と石膏モデルの表面に離型剤を塗布する。
3. その上に型となるシリコンを流入し、1日ほど置く。
4. シリコンが硬化したら、粘土と石膏モデルとシリコンを容器から取り出す。
5. シリコンと石膏モデルから粘土を取り除いたのち、シリコンを底にして再び容器に入れ、離型剤を表面に塗布する。
6. 再度シリコンを流入し、硬化させれば、半分に分割されたシリコン型が完成する（図3）。

次に、シリコン型を用いて指の造形物を製作する過程について述べる。造形物の質感を本物の指に近づけるために軟質ウレタン樹脂を用いるが、素材が柔らかいため十分な叩打音を生み出すことができない。そこで、実際の人間の指のような爪と骨による硬質な叩打音を再現するため、以下の方法で指の先端部分にプラスチックのパーツ（以下、先端チップ）を軟質ウレタン樹脂内に埋め込んだ。

1. ネイルチップ（付け爪）をシリコン型の爪の部分にあてがい、シリコン型に差し込む形で固定する。
2. 3Dプリンタで作成した指の先端部分に埋め込むチップをネイルチップと接着する。
3. 指を曲げるパーツ（関節部分）を挿入する空洞をつくるため、直径7mmのパイプを用意し、この

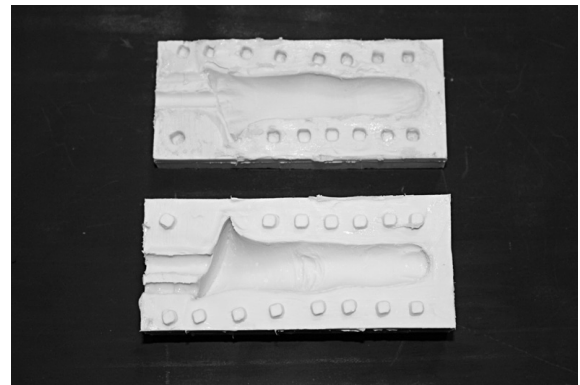


図3 指のシリコン型

パイプの先端部分で爪と先端部分のパーツを固定する。

4. シリコンが硬化したら、粘土と石膏モデルとシリコンを容器から取り出す。
5. この状態でもう一方のシリコン型を被せ、外れないように固定する。
6. この状態で軟質ウレタン樹脂を流入し、1日ほど置いておく。
7. シリコン型から指の造形物を取り出し、表面のタック（ベタつき）や劣化を抑制する表面コート剤を塗布し、1日ほど置いておく。
8. 空洞を作るためのパイプを引き抜く。

3.2.2 叩打機構の概要

叩打機構は大まかに指の骨と関節に相当するパーツと、叩打運動を生み出すステッピングモータ、モータの回転運動を指の振り下ろし運動に変換するレバー類、叩打運動に伴って関節を曲げるワイヤ、これら全体を支える土台のパーツからなる。指はステッピングモータによって上方に振り上げられ、その際にワイヤが緩み、指が伸びた状態となる（図4）。その後、強弱情報に基づいた角度まで指を振り上げた状態でモータの駆動力を0にし、バネの力で振り下ろす。振り下ろす動作に伴って関節を曲げるワイヤが引っ張られ、指が曲がった状態で叩打する（図5）。振り下ろし時にステッピングモータではなくバネの力を利用したのは、ワイヤを引っ張るために必要なトルクで回転させるには回転速度を下げる必要があり、結果として叩打音が弱まってしまうためである。

3.2.3 演奏情報の通信

ユビキテル本体はネットワーク上のノードとして、リズム情報の管理を担うハブからデータを受信し、演奏する。一方、ハブはリズム入力装置を持ち、ユーザからのリズム情報を受け取ったのち、ノードに送信する。通信はWi-Fiを用いて行い、ハブとノードにはそれぞれ、ラッ

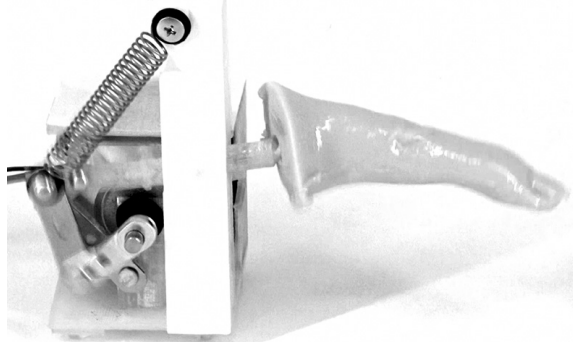


図4 指を振り上げた状態

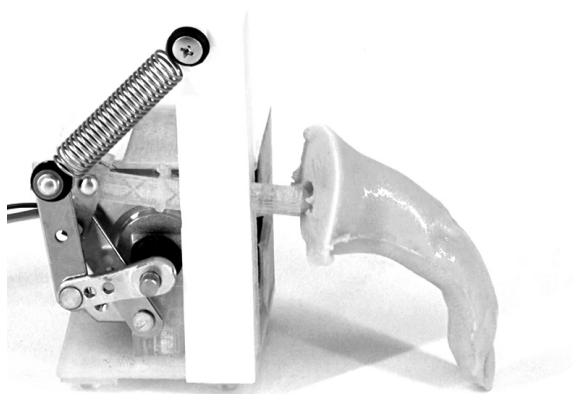


図5 指を振り下ろした状態

ブトップコンピュータ (Macbook Air)、小型 Wi-Fi モジュール (ESP-WROOM-02) を用いた。

3.2.4 ハブの動作

ハブはユビキテル専用 Wi-Fi ネットワーク上のノードを検出し、リズム演奏の管理を行う。また、ユーザからの入力を受け取るタップデバイスを持ち、あらかじめ指定されているノードに対しリズム情報を送信する。ユーザがリズムを入力するデバイスは小型マイコンの Arduino と圧力センサからなり、サイズは 50 mm × 50 mm × 10 mm である (図 6)。他にも、あらかじめ用意した独自形式のリズム情報ファイルを読み込み、複数のノードに一斉送信し、同期再生する機能も用意した。

4 展示活動と考察

本作品の表現性や利便性について、多くの体験者からのフィードバックを得て考察することを目的とし、展示活動をおこなった。本章では過去に行った展示の概要、展示内容の詳細について述べ、鑑賞者からのフィードバックや展示の際に確認された課題等を考察する。

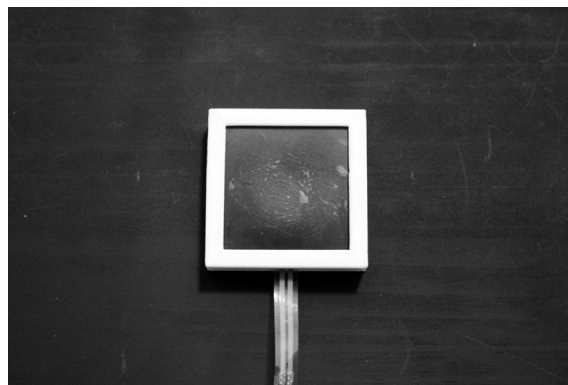


図6 タップ入力センサ

4.1 展示の概要

本作品の目指す「演奏者の存在感」という表現性と、リズム情報の記録と再現を簡便に行えるデジタル音楽演奏メディアとしての利便性について、多くの体験者からフィードバックを得て考察することを目的とし、これまで「東京デザインウィーク 2016¹⁵⁾」、「SICF18 (Spiral Independent Creators Festival 18)¹⁶⁾」、「真夏のデザインフェスタ¹⁷⁾」の 3 つの展示イベントにて展示活動を行った。「東京デザインウィーク 2016」は、建築、インテリア、プロダクト、グラフィックなど様々な生活デザインとアートが集まるクリエイティブイベントであり、2016 年 11 月 1 日から 6 日の 6 日間にかけて開催された。「SICF18」は、アート、デザイン、プロダクト、ファッション、映像、音楽など様々なジャンルの若手クリエイターを紹介する公募展形式のアートフェスティバルであり、2017 年 5 月 6 日と 7 日の 2 日間開催された。

「真夏のデザインフェスタ」はオリジナルの日用雑貨、工芸品、アクセサリ、絵画、マルチメディア作品などが展示されるアートイベントであり、2017 年 8 月 5 日と 6 日の 2 日間開催された。図 7 は実際に展示された作品の様子である。

4.2 展示内容

展示のために 5 体のユビキテルを用意し、そのうち 4 体をデモリズム音楽演奏用に、残りの 1 体を体験者によるリズム入力・再生用に設定した。デモリズム音楽は 4 本のユビキテルによる 3 分程度の楽曲である。それぞれのノードにはあらかじめ異なるリズム情報が割り当てられ、アンサンブルを奏でる。リズム入力・再生用のノードには、体験者が任意のリズムを記録でき、ユビキテルがそのリズムを再現する。体験者が入力デバイスをタップすると記録が始まり、最後のタップから 2 秒が経過するとハブがそれまでのリズム情報をノードに送信する。ノード側はこのリズム情報を受信し、繰り返し叩打を続

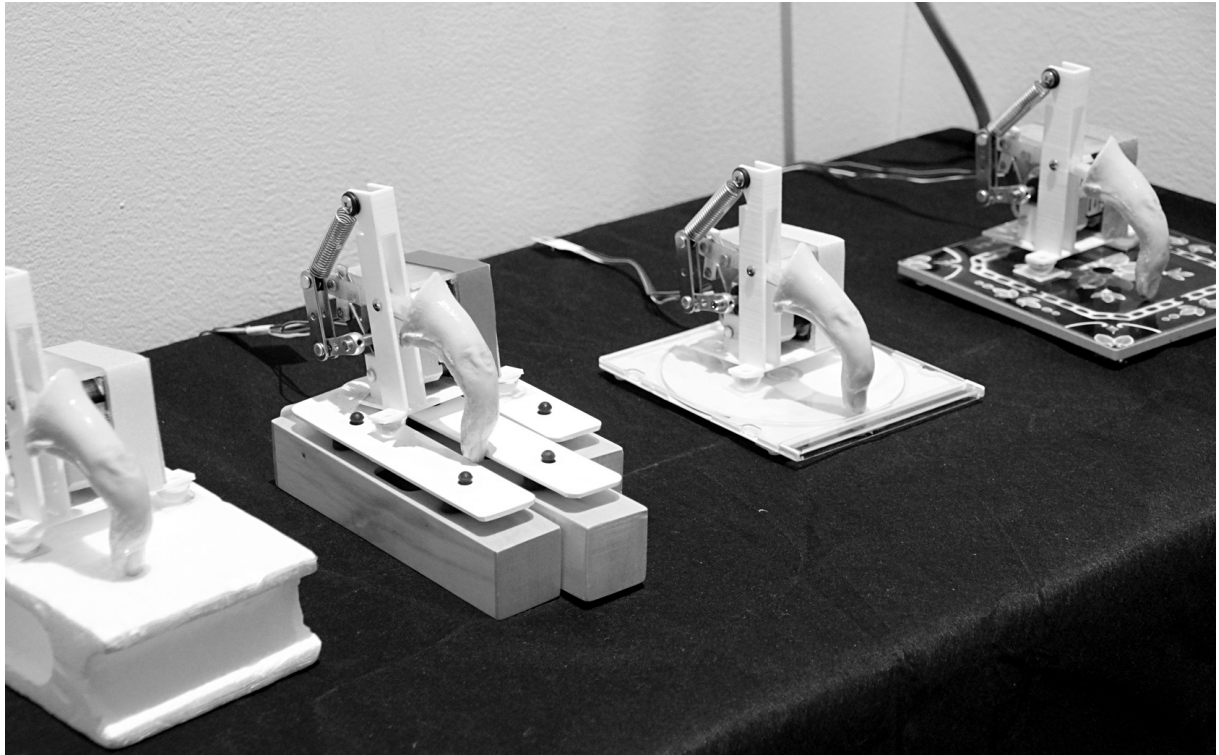


図7 作品展示の様子 (SICF18)

ける。再びユーザからの入力を受信すると、新たなリズムで叩打を続ける。展示内容は上記のとおりで、それぞれのユビキテルに叩打させる素材の組み合わせに若干の違いがあったものの、全ての展示会場において基本的に同一であった。

ユビキテルに叩打させた素材は、以下の5つである。音色が比較的異なる素材を選定基準とした。

- CD ケース (1 辺13 cm)
- アルミ容器のフタ (直径5 cm)
- 陶製タイル (1 辺15 cm)
- 玩具の鉄琴
- 発泡スチロール

4.3 体験者からのフィードバックと課題

展示中、鑑賞者に対し口頭で作品の意図について説明を行い、一部の鑑賞者はリズムを入力する体験もおこなった。その中で、鑑賞者とリズム入力体験者からコメントや意見を受け取った。

鑑賞者によるコメントは、ポジティブな第一印象を示す感想が多かった。例を挙げると、「シュール」、「すごい」、「見ていて飽きない」、「可愛い」といった意見であった。こうしたコメントから、打楽器演奏を自動で行う玩具等は数多く存在するにもかかわらず、装置がリアルな指の形状をしていることで非現実性が生じ、作品としての強烈な印象を与えていたことがうかがえる。また、複

数のユビキテルが同一のリズムで一斉に叩打している瞬間に目を留める鑑賞者が数多く見られ、一斉に叩打する際の連帯感や一体感が鑑賞者にとって印象深く映ったと推察される。一方、他の意見として、「気持ち悪い」という意見も得られた。この意見に関しては、作品のリアリティと深く関係していると考えられる。すなわち、見ただ目が本物の指と酷似しているため、卓上でリアルな指が動いているという現実とかけ離れた状況に違和感が生じ、「気持ち悪い」という意見に繋がったと考えられる。

リズム情報の記録・再現に関しては、使用方法の説明を受けた多くの体験者が実際にリズムを入力することができた。入力されたリズムを再現するユビキテルを見て驚く体験者が多く、「指の形をした装置が自分自身の行為を真似る」という体験自体が新鮮であったことを示している。また、「可愛い」というコメントからもわかるように、指のリアルな造形や、ユーザが伝えたリズムを受け取り、それを真似しようとするユビキテルの姿に愛着を感じていたことが示唆される。すなわち、あらかじめプログラムされた単なる機械の応答がまるで「生命体の意志」による反応のように感じられ、愛着に繋がっていたとも解釈できる。このように、生命体が音楽を演奏しようとする意志とも言える、「演奏者の存在感」と密接に関わる感覚を提示できていたことが示唆された。

体験者によって入力されたリズムは、単純なリズムだ

けでなく細かく連打するリズムや、とても長いリズムなど様々であった。比較的単純なリズムに対してはあまり問題は見られなかったが、中には正確に再現されなかったリズムもあり、演奏行為が反映されていると感じられなかった体験者も見られた。ユビキテルが正確にリズムを再現できなくなった現象として、途中のリズムが抜け落ちてしまったり、入力者による感覚的な強さとユビキテルの再現する叩打強度に隔たりがあった。これらの現象に対しては以下の原因が考えられる。

- 叩打間隔が短すぎてモータ回転速度の限界を超えた。
- センサを叩く位置や叩き方でセンサの感度が変わった。
- 入力されたリズムデータが正しく送信されなかった。

ハードウェア上、叩打間隔には限界があり、叩打強度を大きくするにつれて限界叩打間隔も大きくなる。そのため、強弱情報を犠牲にしてリズム情報を優先するなど妥協策を検討することが必要である。センサの感度に関しても、叩き方や叩く位置によって感度が変動しにくいセンシング方法について、より細かな検討が必要である。また、システム全体を通じて挙動が不安定になる場面があり、プログラムの修正を進めていく必要がある。

そのほか、長時間の展示活動中にハードウェアのトラブルもいくつか発生した。主なトラブルの内訳は以下のとおりである。

- 指の関節を曲げるワイヤの切断
- 関節パーツの破損
- ワイヤを引っ張るパーツの破損
- 軟質ウレタン樹脂の劣化、亀裂

ハードウェアのトラブルは基本的に耐久性の問題であり、パーツの材質や形状、その他を改良してゆくことが求められる。

以上を総合すると、体験者からのフィードバックより、指の造形のリアリティやリズム演奏を行う生命体としての存在感、複数装置の合奏による連帯感を提示できていたことが示唆された。リズム入力は多くの体験者に問題なく実行できたが、リズムの内容によっては正しく再現できていないと感じられる場面があった。また、ハードウェアの耐久性にも問題があり、デバイスのさらなる改良が課題である。

4.4 今後の展望

今後の展望としては先述したデバイスの改良に加え、女性や子供、年配者など、より多彩な種類の指を製作し、より演奏者の特徴に沿った存在感やリアリティを伝えられるようにしてゆくことが考えられる。他にも、現在は

ローカルの Wi-Fi ネットワークでのみ運用しているが、インターネットを通じて様々な遠隔地での演奏を行い、ユビキテルによる音楽演奏体験を本研究の目指す“遍在する擬似身体”の概念へと近づけてゆくことが課題である。

5 おわりに

本研究では、デジタル音楽演奏メディアの利便性と、演奏者の存在感の提示を両立することを目指し、“環境に遍在する擬似身体”という概念を導入し、演奏者の存在感を提示するバーチャルフィンガードラマー“ユビキテル”を提案した。さらに本作品の具体的な製作方法について検討を行い、作成した試作品の展示活動を実施した。

展示イベントでの体験者は、リアルな指の形をした装置が卓上で動くという非現実的な光景に対し、強烈な印象を受けていたことが分かった。また、指の造形のリアリティやリズム演奏を行う生命体としての存在感、複数装置の合奏による連帯感が提示できていたことが示唆された。これより、身体の一部としての物理的実体を持つこと、および演奏動作の模倣が、演奏者の存在感提示において大きな役割を果たしていたと言える。

今後は様々な種類の指を作成したり、インターネットを通じた遠隔地での演奏などを通じて、本研究の目指す“遍在する擬似身体”の実現へ向けてさらなる改良を進めてゆきたい。

参考文献

- 1) 三輪眞弘。音楽とメディア・アート、または、「録楽」の未来 (RYUICHI SAKAMOTO 坂本龍一)。美術手帖：monthly art magazine, Vol. 69, No. 1053, pp. 88-91, 2017.
- 2) 佐野靖。クリストファー・スモール著 野澤豊一・西島千尋訳 ミュージッキング。音楽教育学, Vol. 43, No. 1, pp. 51-52, 2013.
- 3) 青柳龍也、小坂直敏、平田圭二、堀内靖雄、後藤真孝、引地孝文、平野砂峰旅、松島俊明。コンピュータ音楽—歴史・テクノロジー・アート。2001.
- 4) 渡辺富夫。情報技術が支えるアートとコンテンツの世界—Art with Science Science with Art—: 2. 身体性メディアによるメディア芸術創造支援。情報処理, Vol. 48, No. 12, pp. 1327-1334, 2007.
- 5) 坂本大介、神田崇行、小野哲雄、石黒浩、萩田紀博。遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性。情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 12, pp. 3729-3738, 2007.
- 6) Mark Weiser. The computer for the 21 st century. *Scientific american*, Vol. 265, No. 3, pp. 94-105, 1991.
- 7) 田中由浩、佐野明人。触知覚メカニズムと指・皮膚構造。バイオメカニズム学会誌, Vol. 38, No. 1, pp. 47-52, 2014.
- 8) Kara Reilly. *Automata and mimesis on the stage of theatre history*. Springer, 2011.
- 9) 梶谷誠。オーケストラ楽器の自動演奏 (<小特集>自動演奏)。

- 日本音響学会誌、Vol. 41, No. 6, pp. 396-401, 1985.
- 10) Shigeki Sugano and Ichiro Kato. WABOT-2: Au-tonomous robot with dexterous .nger-arm.Finger-arm coordination control in keyboard performance. In *Robotics and Automation. Proceedings. 1987 IEEE International Conference on*, Vol. 4, pp. 90-97. IEEE, 1987.
 - 11) 渡辺富夫。身体的コミュニケーション技術とその応用。システム/制御/情報、Vol. 49, No. 11, pp. 431-436, 2005.
 - 12) 三輪敬之。5. 場の統合による共存在のコミュニケーション技術 (<小特集>コミュニケーション支援)。電子情報通信学会誌、Vol. 89, No. 3, pp. 218-225, 2006.
 - 13) Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. Geminoid: Teleoperated android of an ex-isting person. In *Humanoid robots: new develop-ments*. InTech, 2007.
 - 14) 高橋征資、公文悠人、竹田周平、稲見昌彦。ライブビデオストリーミングにおける拍手マシンを用いた拍手の遠隔伝送。映像情報メディア学会誌、Vol. 66, No. 2, pp. J39-J45, 2012.
 - 15) TOKYO DESIGN WEEK 東京デザインウィーク。
<http://tokyodesignweek.jp/> (2017.8.20閲覧)。
 - 16) SICF — SPIRAL INDEPENDENT CREATORS FESTIVAL.
<http://www.sicf.jp/> (2017.8.20閲覧)。
 - 17) アートイベントデザインフェスタ—Art Event Design Festa—開催情報。
<http://designfesta.com/about-gakuten/> (2017.8.20閲覧)。