

コンテンツ論文

Antenna : 触覚・視覚を利用した 聴覚情報伝達装置のデザインと社会実装

本多 達也^{*1}馬場 哲晃^{*2}岡本 誠^{*3}

Antenna : Design and Social Implementation of Auditory Information Transmission Devices Using Tactile and Visual Senses

Tatsuya Honda^{*1} Tetsuaki Baba^{*2} and Makoto Okamoto^{*3}

Abstract – Antenna is a device that can be worn on the hair, earlobe, collar, or sleeve, and it transmits sound characteristics to the human body through vibration and light. It can serve as an auxiliary acoustic sensory device for hearing-impaired people, whereas for others, it can serve as a novel acoustic perception device. A condenser microphone mounted on the main body of Antenna acquires the sound pressure and drives the vibration motor and light emitting diode in real-time according to the input signal. This allows the user to perceive various sonic features such as the rhythm, pattern, and strength of sound. Furthermore, by simultaneously controlling several Antenna devices through a controller, a rhythm can be transmitted to each user. In this paper, we present the inclusive design of Antenna for hearing-impaired people, along with the design process of Antenna, which was improved through digital fabrication. Additionally, in this paper, we present case studies regarding the usage of Antenna in a hearing-impaired school and case studies on Antenna's application in the field of entertainment for hearing-impaired people and others.

Keywords : Sound, Tactile, User Interface, Inclusive Design, Digital Fabrication, Deaf, Hearing Impaired

1 はじめに

ろう者（聴覚障がい者）にとって音のリズムやパターン、大きさ等の特徴を知覚することは困難である。そのため、発話練習で自分の声の大きさを調節することや、ダンス練習にて周りとのリズムを合わせることが難しい。また、映画館に訪れた際には内容をテキストなどの視覚情報を頼りに鑑賞しなければならず、スポーツ会場ではその場の声援や盛り上がり等の熱量を感じ取ることが困難なため、健聴者の楽しみ方に倣うだけでは臨場感や一体感が大きく損なわれる。

筆者は大学時代にろう者と出会ったことで手話を学習し、手話通訳のボランティアや手話サークルの立ち上げ、NPO 法人の運営などをろう者と共に行ってきた。デザインやテクノロジーを用いてろう者に音を伝えたいという思いから、2012 年より音をからだで感じ

るユーザインタフェース「Antenna（オンテナ）」[1]の研究をろう者と共に開始した。

2016 年に富士通株式会社へ入社し Antenna プロジェクトを立ち上げ、テストマーケティングを経て 2019 年 6 月に製品化した。さらに、全国のろう学校 118 校中 86 校（2020 年 4 月時点）へ無償配布を実施し、現在では音楽や体育の授業など教育現場で活用されている。

Antenna は髪の毛や耳たぶ、えり元やそで口などに身に付け、振動と光によって音の特徴を身体に伝える装置である（図 1 参照）。ろう者にとっては、音感覚代行装置であり、健聴者にとっては触覚拡張型の音感覚知覚装置である。Antenna 本体に実装されたコンデンサマイクが外部環境音を取得し、入力信号に合わせて即時に振動モータ及び LED を駆動/発光させる。それにより、ユーザは音のリズムやパターン、強弱といった特徴を知覚することが可能である。さらに、コントローラーを用いて複数の Antenna を同時に制御することで、それぞれのユーザに対して任意にリズムを提示することができる。

本論文では、ろう者とのインクルーシブデザイン、及びデジタルファブリケーション技術により改良を重ねた Antenna のデザインプロセスについて述べる。さらに、Antenna を用いたろう学校での活用事例、ろう

^{*1}東京都立大学大学院システムデザイン研究科/富士通株式会社

^{*2}東京都立大学大学院システムデザイン研究科

^{*3}公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

^{*1}Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University / FUJITSU Limited

^{*2}Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University

^{*3}FUTURE UNIVERSITY HAKODATE School of Systems Information Science Department of Media Architecture



図1 音をからだで感じるユーザインタフェース「Antenna」。画中心人物の頭部、右人物の襟元に装着されているのが Antenna の本体。

Fig.1 Antenna : A user interface enables a user to hear sound through his/her body via tactile feedback. Antenna is attached to the head of the person in the center of the figure and the collar on the right side of the figure.

者と健聴者が共に楽しめるエンタテインメント分野での応用事例について報告する。

2 関連研究

2.1 音情報の視覚フィードバック

音の特徴を視覚情報に変換し、ろう者へ提示する研究はこれまでに数多く行われてきた。Gorman は、ヘッドマウントマイクを用いて音方向を検出し、メガネ型ウェアラブルデバイスの内側に設置された LED で音源へと誘導する方法を提案した [2]。また、Hong らは、聴覚障がい者とのコミュニケーションツールとして、音声を文字に変換し、テレビ画面などに表示するアプリケーションを開発した [3]。その他、音を視覚的に伝達する研究は数多く行われている [4][5][6][7]。しかし、日常的に視覚情報に依存して生活をしているろう者にとって、さらに音情報を視覚的に伝達するには視覚への負荷が増大する問題がある [8]。

2.2 音情報の触覚フィードバック

一方、音を触覚情報に変換してろう者へ伝える研究も数多く存在する。坂尻らは、音符を表示する二次元触覚ディスプレイを用いた歌唱支援システムを開発した [9]。また、Urvis はろう者向けに、4つの骨伝導スピーカを圧縮スリーブに取り付けて音楽を伝える装置を提案した [10]。このように、音を触覚に変換して伝達する研究は数多く行われている [11][12][13][14][15]。しかし、これらの装置を装着する場合、手や腕、足などの動作に制限が生じてしまい、手話での会話や身体を動作する際にユーザの負担となる恐れがある。

2.3 身体拡張デバイス

岡本らは、「視覚障がい者や聴覚障がい者といった人々の失った感覚機能を元通りに復元する技術は無いが、残された感覚器官の働きを拡張して新しい感覚手段を獲得することは可能かもしれない」という考えから、身体機能をもっと有効に利用したり、足りないところを補充するユーザインタフェースを実現しようとする取り組みを「FUTURE BODY」と名付けて研究を行っている [16]。岡本らが視覚障がい者と協働して開発した FUTURE BODY Finger (F.B.Finger) は、環境の印象を非接触に理解することができる知覚装置である [17]。赤外線センサと指の運動を利用したユーザインタフェースによって、対象物までの距離、モノの形状、素材の肌理などを理解することができる。視覚障がい者が物体を知覚できるだけでなく、視覚障がいの無いユーザにとっても、ガラスケースに入っているものや遠くにあるものに触れることができるなど、人間の身体を拡張するデバイスである。本研究においてはこのような考えの下、ユーザの機能支援を補完としてではなく、拡張として考え、当事者ユーザであるろう者と共に、新たな聴覚情報伝達装置の開発を試みた。

2.4 インクルーシブデザインプロセス

インクルーシブデザインとは、高齢者、障がい者、外国人など、従来、デザインプロセスから除外されてきた多様な人々をデザインプロセスの上流から巻き込むデザイン手法であり、1990年代初頭ロジャー・コールマンによって基本的な議論がなされてきた用語である [18]。元々は高齢者を対象としたデザイン研究がもととなっているが、ユニバーサルデザインが建築学的な設置を対象とした製品である一方で、プロダクトデザイン分野からのアプローチがインクルーシブデザインの特徴であると言われている [19]。近年ではデジタルファブリケーション環境の向上により、従来の大量生産方式では困難であったマイノリティユーザに対するデザインや社会実装事例が報告されはじめている [20]。一方で当事者課題のみを解決するための研究や製品は数多く存在するものの、当事者以外に対しての利用シーンや当事者との共同体験に関する事例は未だ少なく、本研究のような比較的規模の大きな社会実装事例は稀である。本研究では、「エクストリームを理解することによって、メインストリームを変革することができる」という考えのもと、ろう者と共に作り上げた聴覚情報伝達装置が、ろう者以外の人々に対しても活用される範囲まで対象を広げ、社会実装を行った。この過程において著者らが実施してきた応用事例をケーススタディとして、そのデザインプロセスを明らかにする。

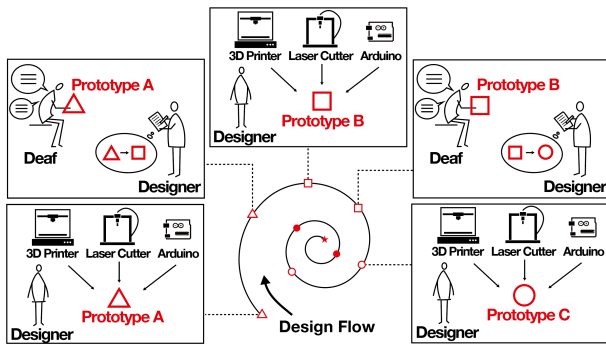


図2 インクルーシブデザインとデジタルファブリケーションを用いた Antenna プロジェクトのメソッドロジー

Fig.2 Antenna project methodology with inclusive design and digital fabrication

3 デザイン検討

3.1 Antenna プロジェクトのメソッドロジー

ろう者にとって最適なユーザインタフェースをデザインするために、インクルーシブデザイン手法の他、3D プリンタやレーザーカッター、Arduino といったデジタルファブリケーション技術 [21] を用いてクイックプロトタイピングを繰り返し行うことで、ろう者の潜在的なアイデアや意見を抽出した (図2 参照)。図2のデザイナーとは筆者のことであり、手話学習の経験と工学的バックグラウンドから、自らろう者への手話でのインタビューと試作機の実装を繰り返し行った。ろう者は、試作したプロトタイプを実際に動作させながら使用感を確かめることで、改良点や改善点について発言した。それぞれのプロトタイプにおける特徴、試作機体験者、インタビュー期間と頻度、試作機実装関係者、ユーザから得られた意見、次の試作機に向けた検討内容について表1にまとめて示す。

3.2 視覚で音を感じるプロトタイプ

はじめに、音情報を視覚に変換してユーザへフィードバックする方法を試みた (表1 Prototype 1 参照)。音の大きさと光の強弱を連動させ、リアルタイムに音情報を視覚でユーザへ伝達する。装置を体験した先天性・聴覚障害等級2級の50代男性からは、「連続的に光が変わるので、リズムが分かる」や「自分の声の大きさが見えて面白い」といった意見を得ることができた。その一方で、音を確認する際には継続して装置を目視する必要があるため、想定以上にユーザへの認知負荷が大きく、日常生活での利用は現実的に困難であることが分かった。

3.3 触覚で音を感じるプロトタイプ

そこで、音情報を触覚に変換してフィードバックする方法を試みた (表1 Prototype 2 参照)。腕に装着された円盤型振動モータが音の入力信号の大きさに合

わせてリアルタイムに駆動する。音が大きくなるほど前腕から上腕に向けて振動が伝わり、腕全体で音を感じることができる。ところが、先天性・聴覚障害等級3級の30代男性からは、「振動モータが直接肌に当たるので蒸れるし、くすぐりたい」や「腕に装着されていると、家事や手話での会話がやりづらくなるのではないか」という意見が出た。

3.4 毛髪で音を感じるプロトタイプ

さまざまな部位をろう者と検討していく中で、毛髪が振動を伝えやすいのではないかと意見を得た。毛髪であれば装置をつけた際にテンションがかかることで振動を知覚しやすく、間接的であるためマヒや蒸れの心配も少ない。また、手話や家事をする際に腕に負担がかかりにくい部位であることから、髪留め型ユーザインタフェースを用いた音伝達装置 [22] を制作した (表1 Prototype 3 参照)。さらに、3D プリンタを用いて外装を設計し、独自基板を設計実装することで、スタンドアロンで動作できるように改良を加えた (表1 Prototype 4 参照)。

3.5 企業でブラッシュアップされたプロトタイプ

企業に入社して Antenna プロジェクトを立ち上げ、プロのデザイナーやエンジニア、ろう者たちと共にユーザにとってより使いやすいプロダクトを目指した。外装面は3D プリンタから切削加工となり、より小型精細化した (表1 Prototype 5 参照)。さらに、Bluetooth を利用して、スマートフォン連携機能の検討を行った (表1 Prototype 6 参照)。しかし、ろう学校の指導者から「複数の生徒に同時にリズムを伝えたい」という意見があり、Bluetooth 通信では複数同時制御の実装が困難であることが分かった。そこで、Zigbee 通信を用いて複数の Antenna を同時に制御することのできるプロトタイプを作成し、テストマーケティングを行った (表1 Prototype 7-1, 7-2 参照)。

3.6 ろう学校での実証実験

神奈川、大阪、茨城のろう学校へ約1ヶ月間の貸し出しを行い、実際の現場でどのように使用されているのか検証した (図3 参照)。ろう学校の教職員からは、Antenna を使用する度にアンケートへ記載することや、定期的なビデオインタビュー調査への協力を得た。その結果、操作の煩雑さ、充電の不便さ、クリップ部分の弱さなどが問題点として挙げられた。さらに、生徒からは「人工内耳をしているため、髪の毛にはつけない」「耳たぶの方がわかりやすい」「襟元に付けたい」といった意見があり、装着方法がユーザによって大きく異なる結果となった。そのため、服や腕、耳たぶなどにつけやすいようクリップ部を変更するなどの改良設計を進めた。

表1 Antenna プロトタイプの変遷. 表左の2014年から右の2017年までの4年間のプロトタイプ変遷を時系列にまとめた.

Table 1 Changes in Antenna prototypes. We summarize the prototype evolution over the four years from 2014 to 2017 in the table on left to right in chronological order.

年	2014	2014	2014	2015	2016	2017	2017	2017
図								
番号	Prototype 1	Prototype 2	Prototype 3	Prototype 4	Prototype 5	Prototype 6	Prototype 7-1	Prototype 7-2
タイトル	視覚を利用して音情報を提示するプロトタイプ	触覚を利用して音情報を提示するプロトタイプ	毛髪で音を感じるプロトタイプ	毛髪で音を感じるプロトタイプ (スタンドアロンタイプ)	毛髪で音を感じるプロトタイプ (小型化タイプ)	毛髪で音を感じるプロトタイプ (Bluetooth通信タイプ)	毛髪で音を感じるプロトタイプ (Zigbee通信タイプ)	コントローラー (Zigbee通信タイプ)
特徴	・音圧に応じて光の強弱がリアルタイムに変化 ・音圧が大きいほどLEDの数が多く点灯	・音圧に応じて振動の強弱がリアルタイムに変化 ・音圧が大きいほど腕の多くの振動モータが駆動	・音圧に応じて振動と光の強弱がリアルタイムに変化 ・クリップ型で毛髪に装着可能 ・レーザーカッターにてアクリル板を切り出し、外装を作成	・音圧に応じて振動と光の強弱がリアルタイムに変化 ・3Dプリンタで外装設計 ・よりアクセサリを意識したデザイン ・スタンドアロンで動作	・音圧に応じて振動と光の強弱がリアルタイムに変化 ・切削加工で外装作成 ・2015年モデルより小型化	・音圧に応じて振動と光の強弱がリアルタイムに変化 ・Bluetoothを搭載し、スマートフォンと通信 ・シンプルモードとBluetoothモードに切り替え可能	・音圧に応じて振動と光の強弱がリアルタイムに変化 ・2段スライドスイッチ ・Zigbee通信 (2.4GHz帯) ・にてコントローラと連携 ・シンプルモードとZigbeeモードに切り替え可能	・複数のAntennaを同時に制御 ・オーディオ、マイクを接続可能 ・3Dプリンタで外装設計
試作機体験者	NPOに所属する先天性の重度の聴覚障がい者を中心に3名程度. 年齢は30代~50代.	NPOに所属する先天性の重度の聴覚障がい者を中心に3名程度. 年齢は30代~50代.	NPOに所属する先天性の重度の聴覚障がい者を中心に5名程度. 年齢は20代~60代.	NPO法人に所属する先天性の重度の聴覚障がい者を中心に10名程度. 年齢は20代~60代.	ろう学校の生徒や聴覚障がい者団体に所属する先天性の重度の聴覚障がい者、難聴者を中心に20名程度. 年齢は10代~30代.	ろう学校の生徒や聴覚障がい者団体に所属する先天性の重度の聴覚障がい者、難聴者を中心に10名程度. 年齢は10代~30代.	全国規模でテストマーケティングを実施. ろう学校の生徒や聴覚障がい者団体に所属する先天性の重度の聴覚障がい者、難聴者を中心に100名程度. 年齢は10代~50代.	全国規模でテストマーケティングを実施. ろう学校の生徒や聴覚障がい者団体に所属する先天性の重度の聴覚障がい者、難聴者を中心に100名程度. 年齢は10代~50代.
インタビュー期間と頻度	1ヶ月間で5回程度	1ヶ月間で5回程度	6ヶ月間で30回程度	1年間で60回程度	1年間で60回程度	6ヶ月間で30回程度	2年間で100回程度	2年間で100回程度
試作機実装関係者	自主制作	自主制作	自主制作	基板実装は電子回路を専門の大学関係者、外装設計はデザインを専門の大学関係者や学生など、計4名ほどの関係者と協働で制作	基板実装は富士通のグループ会社、外装設計は富士通のデザイナー、計10名ほどの関係者と協働で制作	基板実装は試作機開発支援ベンチャー企業、外装設計は富士通のデザイナー、計10名ほどの関係者と協働で制作	基板実装は試作機開発支援ベンチャー企業、外装設計は富士通のデザイナー、計10名ほどの関係者と協働で制作	基板実装は試作機開発支援ベンチャー企業、外装設計は富士通のデザイナー、計10名ほどの関係者と協働で制作
ユーザから得られた意見	「目がチカチカする」 「ずっと見ると疲れる」 「日常的に使いたいとは思わない」	「振動モータが直接肌に当たるので蒸れるし、くすくすした感じが嫌いだ」 「胸に装着されていると、家事や手話での会話がやりづらくなるのではないかと」	「導線が飛び出しているなど、日常的に使うデザインになっていない」 「角があるため、頭につけるのが怖い」	「3Dプリンタの外装であるため、試作機という感じが強い」 「クリップ部分が弱い」	「スマートフォンと連携して、動画や音楽などの音も感じたい」	「複数のAntennaを同時に制御できるようにしてほしい」	「光のON/OFFが切替えられる機能がほしい」 「静かな場所では小さな音にも反応してほしい」 「現在のモードがひと目で分かるようにしてほしい」 「髪の毛以外の部分にも取り付けたい」	「サイズが大きい」 「使い方が分かりにくい」 「充電を簡単にできるようにしてほしい」
次の試作機に向けた検討内容	視覚のみではなく、触覚を用いて音をフィードバックする方法を検討	直接肌に触れず、振動を知覚しやすい部位に装着できる形状変更を検討	スタンドアロンの動作、丸みを帯びた外装設計を検討	全体的な小型化、外装のデザイン性、装着性の向上を検討	Bluetooth機能を搭載し、スマホ連携を検討	Zigbee通信 (2.4GHz帯) を用いて複数のAntennaを制御することを検討	光のON/OFF機能追加、サウンドズーム機能追加、スライドスイッチの改良、クリップの改良などを検討	外装デザインの改良、小型化、マグネットを用いた充電などを検討



図3 ろう学校での実証実験の様子
Fig. 3 Demonstration in a deaf school

4 製品化

4.1 Antenna

Antenna は、髪の毛や耳たぶ、えり元やそで口などに身に付け、振動と光によって音の特徴を、からだで感じるユーザインタフェースである。60~90dBの音圧を256段階の振動と光の強さに変換して音の特徴を伝達する。音源の鳴動パターンをリアルタイムに変換することで音のリズムやパターン、大きさを知覚することが可能である (図4参照)。

Antennaには2つのモードが存在する。1つはシン



図4 オンテナ
Fig. 4 Antenna

ブルモードと呼び、Antenna本体のコンデンサマイクが音を取得し、音圧に応じて振動・発光することにより音の特徴をユーザに伝達する。もう1つはスマートモードと呼び、コントローラーからの電波を受信し、伝送された情報に応じてユーザに音の特徴を伝達する。表1のPrototype 5までは、LEDが必ず点灯する仕様であった。しかし、ろう者から「状況に応じて、光のON/OFFを切り替えたい」という意見を得たため、

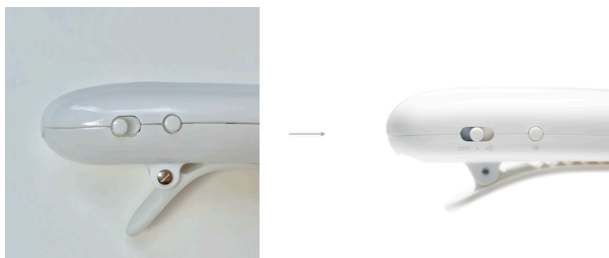


図5 オンテナのスライドスイッチの改良
Fig.5 Improvement of Ontena's slide switch

プッシュスイッチを用いて LED の ON/OFF 機能を追加した。さらに、「静かな場所では小さな音にも反応してほしい」というアドバイスからサウンドズーム機能を実装した。プッシュボタンを3秒間長押しすることにより感度調整をすることが可能である。通常時は80dB~90dBの音圧に対してLEDが青色に点灯するが、サウンドズーム機能がONの場合は60dB~90dBでLEDが緑色に点灯する。振動・発光の256段階の強度に関しては、Antenna そのものがモーター音を発する特性上、厳密に線形ではないものの、感覚的に線形に近い動作となるよう独自の音圧判定アルゴリズムを搭載して配慮を行っている。表1のPrototype 7-1, 7-2では、スライドスイッチは2段階のものを使用していたが、ろう学校の先生から「現在のモードの状態がひと目で分かるようにしてほしい」という指摘を受けた。そこで、3段スライドスイッチを取り入れることにより、OFF/シンプルモード/スマートモードのどちらのモードであるのかをひと目で確認できるように改良を行った(図5参照)。ろう学校でテストマーケティングを行った際、「人工内耳をしているため、髪の毛にはつけない」「耳たぶの方がわかりやすい」といったように、ユーザにより大きく意見が異なる結果となった。そのため、髪の毛だけではなく、服や腕、耳たぶなどにも装着しやすいようクリップ内側をギザギザの形状にして落下しづらくするなどの工夫をした(表2参照)。

4.2 コントローラー

Antenna コントローラーは、通信機能により複数のAntennaを同時に制御することが可能である(図6参照)。表1のPrototype 7-2ではZigbeeを用いていたため、2.4GHz帯での通信であったが、イベント会場など多くの人が集まる場所においては混線などにより上手く通信できない場合があった。そこで、920MHz帯の電波を用いることで混線が少なく、電波の届く半径約50mの範囲であれば何個でもAntennaを制御できるよう改良を行った。無線通信のデータ伝搬遅延は最大70msであるが、発音時の伝搬遅延は50ms未

表2 オンテナのスペック
Table 2 Specs of Antenna

音声入力	内蔵エレクトリック コンデンサマイク(無指向性)
振動モータ	定格最大回転速度(参考値) 約12000 ± 3000rpm
LED	フルカラーLED / 充電表示用: 赤色LED
通信方式	特定小電力無線(920MHz帯) ARIB STD-T108 ※国内使用時
PC接続	USB Full-speed
電源	内蔵リチウムポリマー充電電池
電池容量	200mAh
連続使用時間	約3時間
充電時間	満充電まで約8時間, 90%充電まで約4時間
動作温度	0℃ ~ +35℃
保存温度	-15℃ ~ +50℃
寸法	W65 × D24 × H15 (mm)
重量	18g



図6 コントローラー
Fig.6 Controller

満になるよう独自の通信プロトコルを採用している。

表1のPrototype 7-2では、サイズが大きく使い方が分かりにくいという課題があった。そのため、手のひらサイズまで小型化を行い、片手でも操作しやすいようにデザインを行った(図7参照)。さらに、3段スライドスイッチを取り入れたことで、電源OFF・オーディオ接続する際のAUXモード・マイク接続する際のMICモードの3つのモードのうち、どちらのモードであるのかをひと目で認識できるように改良を行った。上部に設置されたプッシュボタンを用いてリズムを送ることや、マイクやスマートフォンの音源情報を伝える機能も追加した(表3参照)。

4.3 充電スタンド

開発当初、充電時はAntenna本体にMicroUSBを直接接続する必要があった。しかし、ろう学校の指導者からは「授業が終わって充電する際に、何個ものAntennaを何度も抜き差しするのが面倒である」との指摘を受けた。そこで、充電スタンドを作成し、マグネット式の構造を取り入れた(図8参照)。Antenna本

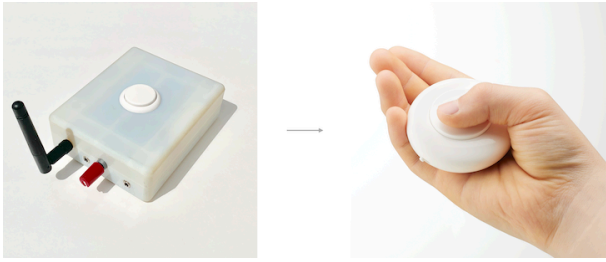


図7 コントローラーの外装設計の改良
Fig.7 Improvement of Controller's product design

表3 コントローラーのスペック
Table 3 Specs of Controller

音声入力	3.5mm ミニステレオジャック (3極) ライン / マイク兼用
LED	フルカラー LED / 充電表示用: 赤色 LED
通信方式	特定小電力無線 (920MHz 帯) ARIB STD-T108 ※国内使用時
電波法認証	工事設計認証 006-000687 工事設計認証 007-AB0237
PC 接続	USB Full-speed
電源	内蔵リチウムポリマー充電電池
電池容量	200mAh
連続使用時間	約 3 時間
充電時間	満充電まで約 8 時間, 90% 充電まで約 4 時間
動作温度	0℃ ~ +35℃
保存温度	-15℃ ~ +50℃
寸法	Φ 60 × H22 (mm)
重量	33g

体を充電スタンドの上部に近づけるだけで、密着して充電することが可能である。さらに、同様の手法でコントローラーも充電可能である。

5 ろう学校での活用事例

5.1 発話練習での活用

ろう者にとって自らの声の大きさを調整することは、音のフィードバックが無い、もしくは小さいために困難な行為である。指導者は通常、自分の喉に手を当てたり、ティッシュペーパーの揺れを利用したり、顔の表情や指の動きを用いたりしながら発話教育を行う。しかし、十分に声が出せない生徒や、興味を示さず直ぐに発話をやめてしまう生徒がみられた。そこで、Antenna を用いて発話教育を試みた。はじめに、Antenna をシンプルモードに設定し、本体のマイクで音を取得して反応する状態とする。指導者が自ら声を発して Antenna が発光する様子を見せた後、生徒に同じように発光させるよう指示を行う。その結果、生徒は以前に比べて積極的に Antenna を発光させよう



図8 充電スタンド
Fig.8 Charging stand



図9 Antenna を用いた発話練習の様子
Fig.9 Voice training using Antenna

と自らの声を出し、声の長さを調整する様子が観察できた。また、声の大きさによって光や振動の強さが変わることを理解するようになり、だんだん大きく、だんだん小さくといった声の抑揚を表現していた (図9 参照)。

5.2 音楽での活用

ろう学校の音楽の授業では、太鼓やリコーダーを用いた授業がある。しかし、聴覚障がいを持つ生徒にとって、太鼓のリズムを全員で合わせることや、リコーダーのタンギングや吐く息の強弱を練習することは困難である。そこで、Antenna とコントローラーを音楽の授業に取り入れ、生徒の反応がどのように変化するか音楽指導者に対してインタビューを行った (図10 参照)。この際、Antenna はスマートモードに設定し、コントローラーのプッシュボタンを押すと、複数の Antenna に同時にリズムを送ることができるようにした。その結果、音楽の指導者からは、

- 生徒に近づいて背中を叩かなくても、離れている場所からリズムを伝えられるため便利である
- 太鼓演奏の際、複数の生徒に同時にリズムを提示することによってリズムを合わせやすくなった
- リコーダー練習の際、ずっと息を吹き続けてしま



図10 Ontenna を用いたリコーダー練習の様子
Fig.10 Recorder practice with Ontenna

う生徒が、タンギングを意識できるようになった

といった意見が得られた。Ontenna を用いることで、音を触覚や視覚を用いてフィードバックできるようになり、生徒がより音を身近に感じられている様子がみられた。

5.3 体育での活用

ろう者にとってダンスを踊る際に課題となるのがリズム獲得である。特に初めての楽曲ではリズムを掴むことが難しい。通常、カウントマンと呼ばれる人が前に立ち、指でカウントを示しながらリズムを提示したり、ミラーリングするような形で指導者がダンスを示すことでタイミングを合わせたりといった指導方法を行っている。ところが、ろうの生徒は常にカウントマンや指導者の様子を目で追う必要があり、回転やしゃがみ込む動作を行う際に、カウントを見失ってしまうことがある。そこで、体育の授業にて Ontenna を用いることで、生徒の反応がどのように変化するのかインタビューを行った(図11参照)。それぞれの Ontenna をスマートモードに設定し、コントローラーを用意する。コントローラーの上部にあるプッシュボタンを指導者が押さえることで、リズムを複数の生徒へ伝える。その結果、体育の指導者からは、

- 全員でダンスのリズムを合わせる際に、カウントが取りやすくなった
- 生徒がいきいきと、リズムカルに踊っているように感じた
- 一人ひとりに対してリズムを的確に指示できるため、指導がしやすくなった

といった意見を得られた。一方で、激しい動きの場合は Ontenna が落下してしまうことや、振動が分かりづらいといった声があった。アタッチメントを作成して腕に密着できるようにしたり、リストバンドの内



図11 Ontenna を用いたダンス練習の様子
Fig.11 Dance practice with Ontenna

側にはめ込んで取れないようにしたりするなど、装着方法を工夫する必要があることが分かった。

6 エンタテインメントでの活用事例

6.1 サッカー観戦での活用

2017年9月30日、等々力陸上競技場にろう者を招き、ナイトゲームにて Ontenna を用いたサッカー観戦体験を実施した。事前ヒアリングから「スポーツ会場での盛り上がりや応援のリズムを感じたい」というろう者の意見があり、Ontenna を用いることで、会場の盛り上がりや一体感を感じられるのか、検証を行った(図12参照)。参加者は、サッカーに興味を持つ先天性の重度聴覚障害者や難聴者を中心とした20代～30代の男性6名であり、参加者には Ontenna をシンプルモードに設定した状態で貸与し、使用方法については事前に教示を行った。Ontenna を用いてサッカー観戦を行ったろう者からは、

- シュートを打ったときの、全体の盛り上がりをこれまで以上に感じられた
- 近くの応援のリズムが分かった
- ペナルティーキックの際には会場全体が静まり返る緊張感が伝わってきた

といった意見が得られた。想定外であったのは、騒音下の会場において、これまで「静かである」ことを感じる事ができなかったろう者が、ペナルティーキックの際に「静まり返る」ということを強く意識することができたという感想を得られたことであった。

6.2 伝統芸能での活用

2017年10月29日、狂言大蔵流の名門であるお豆腐狂言 茂山千五郎家¹協力のもと、地域のろう学校の生徒を招待し、山梨学院大学の文化祭にて Ontenna を用いた狂言鑑賞体験を行った(図13参照)。事前ヒア

¹<https://kyotokyogen.com/>



図 12 Ontenna を用いたサッカー観戦
Fig.12 Watching a soccer game using Ontenna

リングから「演者の声の抑揚や、ステージの音を感じたい」というろう者の意見があり、Ontenna を用いることでそれらを感じられるのか検証を行った。ステージ上にはスクリーンを用意し、セリフを文字で提示することで情報保障を行った。Ontenna はスマートモードに設定し、ステージ中央に設置されたマイクはコントローラーに接続した。マイクから声やステージの足音を取得し、コントローラーを介して観客が装着しているそれぞれの Ontenna へ伝えるようセッティングを行った。また、コントローラー本体のボリューム調整機能を用いて、声の抑揚やステージの足音に反応しやすいよう音量を調整した。参加者は山梨県内のろう学校に通う 10 代の男女の生徒約 20 名であり、事前に使用方法やシステムについて説明を行った。参加したろう学校の生徒からは、

- 声が大きくなると振動が大きくなるのが分かった
- 声の抑揚を感じられた
- ステージの足音まで伝わってきた

といった意見を得た。会場に設置されたスクリーンにセリフが投影されているものの、文字だけでは伝えることの難しい狂言独特の声の抑揚や拍感を Ontenna によって伝えることができた。

6.3 タップダンスイベントでの活用

ろう者にとってタップダンスのタップ音を感じることは難しい。講演やシンポジウムの場合は、文字起こしや手話通訳を用いて文章の内容を通訳できるが、タップ音の場合、リズムやパターンといった音の特徴を文字としてろう者に伝えるのは不得手である。そこで、2017 年 11 月 11 日に渋谷で開催された NPO 法人ピープルデザイン研究所主催のイベント「超福祉展」²にて、タップダンスと Ontenna のコラボレーションイ

²<http://www.peopledesign.or.jp/fukushi/>

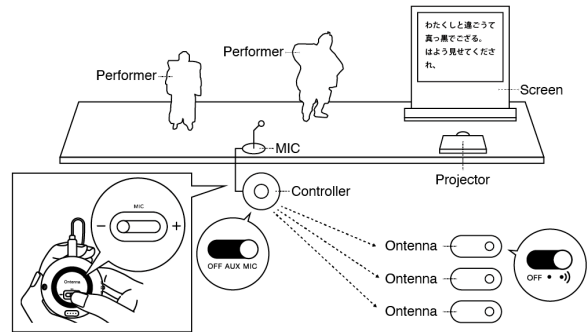


図 13 Ontenna を用いた狂言鑑賞
Fig.13 Watching Kyogen using Ontenna

イベントを行った (図 14 参照)。狂言の時と同様に、タップダンスを行うステージ下にマイクを設置し、マイクはコントローラーに接続した。マイクで取得したタップ音を複数の Ontenna にリアルタイムに触覚・視覚情報として送信する。コントローラー本体のボリューム調整機能を用いて、タップ音のみに反応しやすいよう音量調整を事前に行った。参加者は一般に募集した重度聴覚障害者や難聴者を中心とした 20 代～40 代の男女 20 名の他、ろう者の親や兄弟、外国人や ALS 患者といった健聴者約 10 名も参加を行った。参加者には事前に Ontenna の使用方法とシステムについて教示した。イベントに参加したろう者からは、

- タップダンスのリズムを体で感じる事ができた
- 振動と光がダンスと合っていて楽しかった
- よりタップダンスの迫力を感じられた

といった意見を得られた。さらに、健聴の参加者からは、

- 振動があることでより臨場感を感じる事ができた
- 光による一体感を感じてとても楽しかった
- 新しいエンターテインメントの可能性を感じた

といった反応を得た。異なるバックグラウンドの人々が、Ontenna を用いることで共通の体験を得たことに

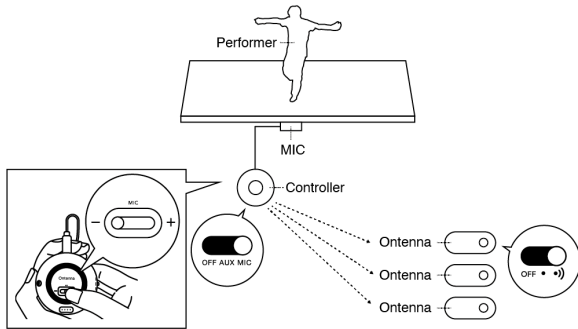


図 14 Antenna を用いたタップダンス鑑賞
Fig. 14 Watching a tap dance using Antenna

より、障がいの有無に関わらず楽しめるイベントとして実施することができた。

6.4 映画イベントでの活用

近年、ユニバーサル映画上映の取り組みが広がっている。ユニバーサル映画上映とは、音声ガイド・シーンガイド・日本語字幕・ミュージックサインなどを用いて障がいを持つ鑑賞者に対して情報保障を行う上映方法のことである。例えば、劇中の雨のシーンでは『雨音』や、音楽が流れていると『♪〜』といった文字がキャプションとして表示される。しかし、ろう者にとって文字として音を認識することはできても、雨がどのくらいの強さで降っているのか、音楽のリズムはどういったものなのかを感じ取ることは困難である。2019年3月13日、テアトル新宿にて映画「Noise」³とコラボレーションする形で、Antennaを用いたユニバーサル映画上映を試みた(図15参照)。Antennaをスマートモードに設定し、コントローラーはAUXモードに設定した後、スマートフォンと接続する。スマートフォン内には、UDCast[23]がインストールされており、UDCastの音声ガイド機能を用いて、事前に作成したAntenna用の振動音源を映像に同期させながら再生することにより、複数のAntennaと映像との連動が可能となる。Antennaに反応させる音は映画監督自身が劇中でより強調させたいものを選択し、雨音・信号機の音・電車の音・ドアが閉まる音・BGMといった音の種類に対して同期させた。振動は映画監

³<https://noise-movie.com/nmwp/>

督と共に一つ一つ制作し、作成の過程ではろう者にも体験してもらいながらアップデートを進めた。上映当日は重度聴覚障害者や難聴者、健聴者など合計約50名の男女が参加し、事前にシステムや使用方法について教示を行った後、上映を開始した。体験したろう者からは、

- 雨のシーンでポツポツやザーザーといった音の強さの違いを感じられた
- 信号機の音のリズムが初めて分かった
- 音楽のリズムを感じる事ができた

という意見を得られた。さらに、共に参加した健聴者からも、「映画の4DXみたいに、振動があることでより臨場感や没入感を感じられて楽しかった」という声が上がった。

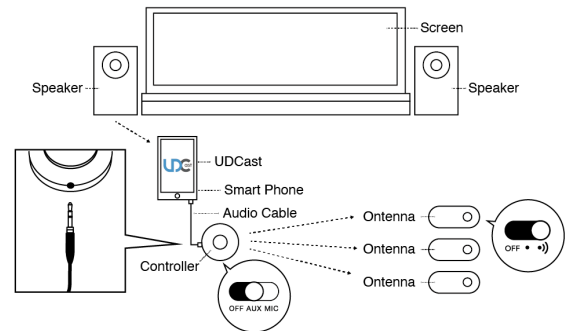


図 15 Antenna を用いた映画鑑賞
Fig. 15 Watching a movie using Antenna

6.5 卓球イベントでの活用

2019年3月8日、日本肢体不自由者卓球協会⁴協力のもと、大阪で行われた第39回ジャパンオープン・パラ卓球選手権大会にて、Antennaを用いた卓球観戦を行った(図16参照)。普段は卓球のラリー音を感じることが難しいため卓球の試合をほとんど観戦しないという地元のろう学校卓球部の生徒やろう団体の人々を招待した。卓球台の下に2ヶ所マイクを取り付け、マイクとコントローラーを接続し、参加者はAntennaを

⁴<https://jptta.or.jp/>

スマートモードに設定した。コントローラーを介してそれぞれの Antenna でラリー音や足音を感じられるように、コントローラーに搭載された音量調節機能を用いて音量のチューニングを行った。大阪府内のろう学校に通う 10 代の男女の生徒約 10 名の他、その家族やパラ卓球関係者など合計約 50 名が参加した。参加者には、事前に使用方法やシステムについて説明を行った。Antenna を用いて卓球観戦を行ったろう者からは、

- ラリー音のリズムを感じられて楽しかった
- 遠くにいたら感じられない音の強弱を感じられて嬉しかった
- ネットにかかったときやサーブのときなど、音のリズムの違いを感じられた

といった意見を得られた。さらに、一緒に参加していた健聴者からも、

- 視覚や聴覚だけでなく触覚があることで、より臨場感を感じた
- 普段は音が小さいリズムを、より強調して感じることができた
- 卓球の試合を普段あまり見に来ないが、こういった仕組みがあると来るきっかけになる

といった意見を得られた。ろう学校に通う親子が 2 人とも Antenna をつけて試合を観戦していたところ、「さっきのシーンの、あの振動が良かったよね」といった会話が生じていた。普段、視覚情報を中心としたコミュニケーションが多い健聴者の母親とろうの子供が、Antenna の振動や光を共通認識として会話を行っており、本装置が聴覚情報における新たなコミュニケーションを誘発していることが観察できた。

7 まとめ

本論文では、ろう者と協働して研究開発を行った音をからだで感じるユーザインタフェース「Antenna」の開発検討と、ろう学校やエンタテインメント分野での Antenna を用いたコンテンツ事例について述べた。Antenna は 2019 年 6 月に製品化、全国のろう学校では音楽や体育の授業等で活用されている。特に、発話教育やリズム教育においては、これまで音を意識しなかった生徒が音に興味を持ち始めたり、リズムを取ることが難しかった生徒がリズムを正確に取れるようになったりという変化が見られた。また、映画・伝統芸能・スポーツ観戦といったエンタテインメント領域で

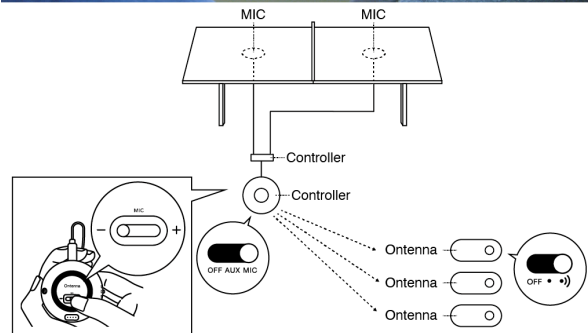


図 16 Antenna を用いた卓球観戦
Fig.16 Watching a table tennis game using Antenna

も Antenna が活用されており、ろう者にとっての新たな鑑賞・観戦体験を創出した。さらに、Antenna はろう者のみならず、健聴者にとっても臨場感や一体感といった付加価値を作り出すものとして有用である可能性を示した。

障がい者は障がいを持っているのではなく、ある特殊能力を持ったスペシャリストである。ろう者の場合は耳が聞こえない代わりに、手話で会話ができたり、表情を用いて感情を伝えることに優れていたり、口の動きだけで相手の言葉が分かったりする。健聴者より優れた感覚を備えており、インクルーシブデザイン手法を用いたことで、ろう者から多様な視座、知見、アイデアを得ることができた。

現在の Antenna は音圧のみに対して反応するため、騒音下では振動し続けてしまったり、同じリズムやパターンの音であれば識別が難しいといった課題がある。今後、機械学習やディープラーニングを用いた音識別機能や、ビジュアルプログラミングを用いたハッカブル機能など、ユーザー一人ひとりに特化した Antenna の機能追加を検討している。Antenna を世界中のろう者へ届けることはもちろん、ろう者と健聴者が共に楽しめる未来を目指し、これからも当事者と共にデザインしてきたいと考える。

謝辞

Antenna の実証実験にご協力いただいた全国のろう学校、ろう団体の方々をはじめ、*Antenna* のエンタテインメント活用にご協力いただいた川崎フロンターレ様、映画「Noise」製作委員会様、茂山千五郎家様、NPO 法人ピープルデザイン研究所様、日本肢体不自由者卓球協会様ならび多くの関係者の皆様、そしていつも支えてくれている *Antenna* プロジェクトメンバーに心から感謝の意を表す。本研究は、JST、CREST、JPMJCR1781 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 音をからだで感じるユーザインタフェース *Antenna*. <https://antenna.jp/>.
- [2] Benjamin M Gorman. Visaural: a wearable sound-localisation device for people with impaired hearing. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*, pp. 337–338, 2014.
- [3] Hsiang-Ting Hong, Tzu-Yu Su, Po-Hsun Lee, Ping-Chun Hsieh, and Mian-Jhong Chiu. Visuallink: Strengthening the connection between hearing-impaired elderly and their family. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 67–73, 2017.
- [4] Richang Hong, Meng Wang, Xiao-Tong Yuan, Mengdi Xu, Jianguo Jiang, Shuicheng Yan, and Tat-Seng Chua. Video accessibility enhancement for hearing-impaired users. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–19, 2011.
- [5] Tara Matthews, Janette Fong, and Jennifer Mankoff. Visualizing non-speech sounds for the deaf. In *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pp. 52–59. ACM, 2005.
- [6] Jordan Aiko Deja, Alexczar Dela Torre, Hans Joshua Lee, Jose Florencio Ciriaco IV, and Carlo Miguel Eroles. Vitune: A visualizer tool to allow the deaf and hard of hearing to see music with their eyes. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, pp. 1–8, 2020.
- [7] Dhruv Jain, Kelly Mack, Akli Amrous, Matt Wright, Steven Goodman, Leah Findlater, and Jon E Froehlich. Homesound: An iterative field deployment of an in-home sound awareness system for deaf or hard of hearing users. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12, 2020.
- [8] 吉本千禎. 指で聴く－医工学への招待－. 北海道大学図書刊行会, 1979.
- [9] Masatsugu Sakajiri, Shigeki Miyoshi, Kenryu Nakamura, Satoshi Fukushima, and Tohru Ifukube. Development of voice pitch control system using two dimensional tactile display for the deafblind or the hearing impaired persons. *NTUT Education of Disabilities*, Vol. 9, pp. 9–12, mar 2011.
- [10] Urvis Trivedi, Redwan Alqasemi, and Rajiv Dubey. Wearable musical haptic sleeves for people with hearing impairment. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp. 146–151, 2019.
- [11] Suranga Nanayakkara, Elizabeth Taylor, Lonce Wyse, and S H Ong. An enhanced musical experience for the deaf: design and evaluation of a music display and a haptic chair. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 337–346, 2009.
- [12] Benjamin Petry, Thavishi Illandara, Don Samitha Elvitigala, and Suranga Nanayakkara. Supporting rhythm activities of deaf children using music-sensory-substitution systems. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–10, 2018.
- [13] Antonella Mazzoni and Nick Bryan-Kinns. Moody: Haptic sensations to enhance mood in film music. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems*, pp. 21–24, 2016.
- [14] 大木美加, 河原圭佑, 蜂須拓, 鈴木健嗣. 特別支援学級における腕輪型デバイスによる呼びかけ応答支援. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 201–210, 2020.
- [15] Mina Shibasaki, Youichi Kamiyama, and Kouta Minamizawa. Designing a haptic feedback system for hearing-impaired to experience tap dance. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 97–99, 2016.
- [16] Makoto Okamoto, Takanori Komatsu, Kiyohide Ito, Junichi Akita, and Tetsuo Ono. Futurebody: Design of perception using the human body. In *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference, AH '11*, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [17] Kiyohide Ito, Yoshiharu Fujimoto, Ryoko Otsuki, Yuka Niiyama, Akihiro Masatani, Takanori Komatsu, Junichi Akita, Tetsuo Ono, and Makoto Okamoto. Fb-finger: development of a novel electric travel aid with a unique haptic interface. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, pp. 65–72. Springer, 2014.
- [18] Roger Coleman. The case for inclusive design-an overview. In *Proceedings of the 12th Triennial Congress, International Ergonomics Association and the Human Factors Association, Canada*, 1994.
- [19] ジュリアカセム, 平井康之, 塩瀬隆之, 森下静香, 水野大二郎, 小島清樹, 荒井利春, 岡崎智美, 梅田亜由美, 小池禎, 田邊友香, 木下洋二郎, 家成俊勝, 桑原あきら. インクルーシブデザイン: 社会の課題を解決する参加型デザイン. 学芸出版社, 2014.
- [20] 馬場哲晃, 島影圭佑, 本多達也, 田中浩也. あなたのためのデザイン: デジタルファブリケーションが可能にする身近な人のための福祉機器プロダクト. Technical Report 12, 首都大学東京, 株式会社 OTON GLASS, 富士通株式会社, 慶應義塾大学, aug 2017.
- [21] Paulo Blikstein. Digital fabrication and ‘making’ in education: The democratization of invention. *FabLabs: Of machines, makers and inventors*, Vol. 4, No. 1, pp. 1–21, 2013.
- [22] Tatsuya Honda and Makoto Okamoto. User interface design of sound tactile. In *International*

Conference on Computers for Handicapped Persons, pp. 382-385. Springer, 2014.

- [23] UDCast - 全てのコンテンツに字幕と音声を. <https://udcast.net/>.

(2020年6月1日受付)

[著者紹介]

本多 達也 (正会員)



2015年 公立はこだて未来大学大学院博士前期課程修了。2016年 富士通株式会社入社。2019年 東京都立大学大学院博士後期課程入学，現在に至る。JST CREST xDiverisy 主たる共同研究者。Antennaプロジェクトリーダー。UI デザイナー。

馬場 哲晃 (正会員)



東京都立大学 准教授。芸術工学をキーワードに、テクノロジーとアートを融合した新しいものづくりを目指している。アートやエンタテインメント，工学等の幅広い分野にて精力的に活動中。

岡本 誠



公立はこだて未来大学教授。筑波大学大学院修士課程修了（デザイン学）し，富士通株式会社総合デザイン研究所を経て，2000年から現職。デザイン学会理事，共創学会理事，グッドデザイン賞選考委員など兼務。最近の研究テーマは，共創や知覚デザイン。