

モバイル音一触覚表現インタフェースの開発

○河村 和俊 (早稲田大学), 高橋 卓人 (早稲田大学)
三輪 敬之 (早稲田大学), 西 洋子 (東洋英和女学院大学)

Design and Development of Mobile Audio-Haptic Bodily Expression Interface

○Kazutoshi KAWAMURA (Waseda University), Takuto TAKAHASHI (Waseda University)
Yoshiyuki MIWA (Waseda University) and Hiroko NISHI (Toyo Eiwa University)

Abstract: In this research, we focused on sense of sound and touch, and we designed and developed mobile remote communication interface system for co-creative expression. This system can create the sound media by mutual pressure information and present this information by dual vibration. We also report experimental results that suggest this system can support co-creative expression.

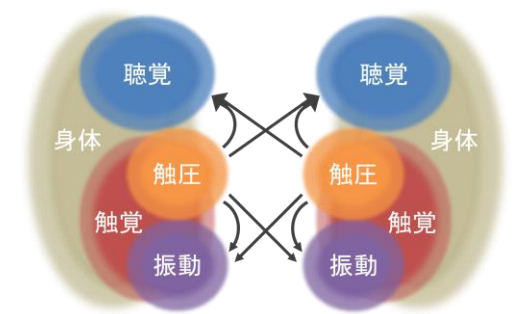
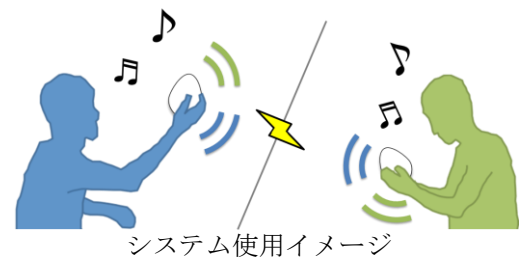
1. 緒言

身体を伴って表現を創りあうことにより、存在的なつながりを自然の世界をも包摂しながら共に生み出し、拡げ、深めていくことを“共創表現”と呼んでいる。また、手と手を直接触れ合わせて即興的に身体表現を創り合う“手合わせ表現”では、“私”と“あなた”の表現から関係性が深化し“私たち”の表現、すなわち共創表現へと深まることが知られている^[1]。このことから、“身体が触れ合う感覚”が共創表現に重要な役割を担っていると考えられる。

また、共創的な表現を目指す活動のひとつに、楽器を用いた音楽セッションが挙げられる。この音楽セッションを、遠隔地間において実現させることを目指した研究がいくつか行われており^{[2][3]}、近年では、NTT 東西が、オーディオ情報を低遅延・高音質で送受信することで遠隔での音楽セッションを実現する、光☆DUETTO と呼ばれるサービスを公開している^[4]。しかし、このような従来のシステムでは音の情報のみを送受信するに留まり、共創表現に重要であると考えられる存在的なつながりを生み出すには至っていない。

そこで、音の表現に“触れ合う感覚”を取り込むことによって、地理的に離れた場所間で、表現で出会い、表現でつながることが可能な新しい共創表現インタフェースの開発を目指すこととした(図1)。具体的には、離れた2地点の表現者がたまご型の装置により繋がり、送り合う人差し指の触圧からメロディを生成して、たまご型装置内のスピーカを介して呈示、さらにそれぞれの触圧から装置内の大小2つの振動モータより振動を呈示する。本インタフェースでは指先の触圧の情報から自身と相手の触圧を振動刺激としてそれぞれ自身にフィードバックすることで触れ合う感覚の再現を試みている。以上のような、2人の触圧により音を創りあ

う共創システムを開発し、離れた場所間での表現を試みたので、以下に報告する。



システム概念図
Fig.1 System image

2. モバイル音一触覚表現インタフェースのデザイン

システムの概要を図2に、開発した装置を図3に示す。本システムは主に、センサ部、装置回路部、音一触覚呈示部、通信一音メディア生成部の4部で構成されており、有線・無線の通信によって情報の通信を行っている。以下に各部の詳細について説明する。

2.1 センサ部

圧力センサの感圧部を人差し指の腹に装着し、装着したまま音一触覚呈示部の把持を可能にするために、図3に示すような革製の素材とマジックテープを用いた専用のベルトを制作した。圧力センサ (TEKSCAN 社

製, Flexi Force) の感圧部の両面に ABS 製のチップを貼り付けることで, 装着時にも感圧部が平面となる. 圧力センサの使用範囲は 0.49~3.43[N]とした.

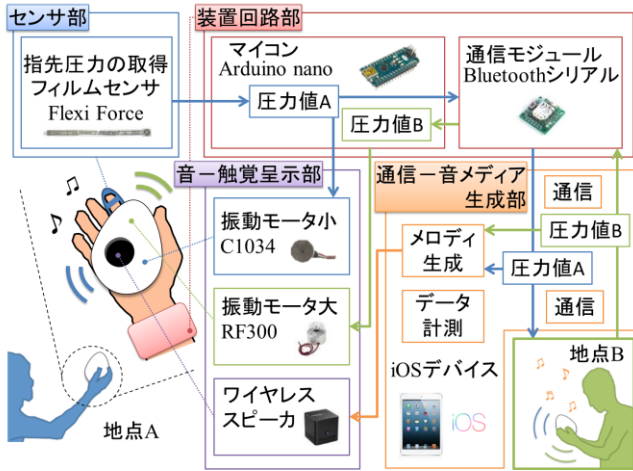


Fig.2 System configuration

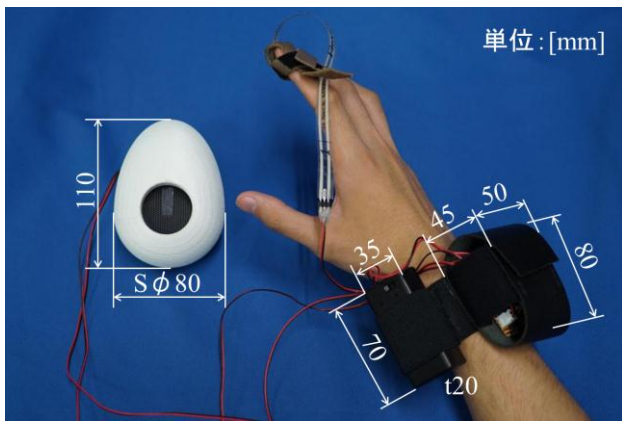


Fig.3 Appearance of the device

2.2 装置回路部

装置回路部はマイコン (Arduino nano) により制御され, 圧力センサの値を取得, Bluetooth シリアル (浅草ギ研社製, BLESerial) による通信一音メディア生成部との圧力値を送受信し, 2種類のモータを制御する. マイコン, Bluetooth シリアル, 振動モータの電源は 9[V] 電池より供給する.

2.3 音一触覚呈示部

音一触覚呈示部は, たまご型の形状の ABS 樹脂により形成されている. 内部には, ワイヤレススピーカー (Anker 社製, ポケットサイズポータブルワイヤレススピーカー) と 2種類の振動モータを搭載している (図4). 振動モータ小 (シコー技研社製, C1034, 重量: 1[g]) は自身の指先の触圧により, 振動モータ大 (uxcell 社製, RF300, 重量: 28[g]) は相手の指先の触圧によりそれぞれ駆動する. 圧力センサへの入力がない場合には振動モータは回転させず, 入力時には, 入力された圧力値に比例した指令値を PWM 制御方式によって各振動モ

ータへ出力し, 制御する.

音一触覚呈示部を固定した際の, 各振動モータへの指令値最小時と指令値最大時の音一触覚呈示部の振動の周波数と最大加速度を, アナログ 3 軸加速度センサモジュール (慈溪博瑞テクノロジー株式会社製, MMA7361) を用いて 20[kHz]のサンプリング周波数で計測したところ, 表 1 のような結果となった. これより, 表現者は, 振動の周波数の違いに加え, 最大加速度の違いにより, 大小 2 つの振動モータの振動の質の違いを感じていると考えている.

また, 振動を呈示する同部分にワイヤレススピーカを搭載し, 音と触覚の呈示を同じ場所から得ることが可能である.

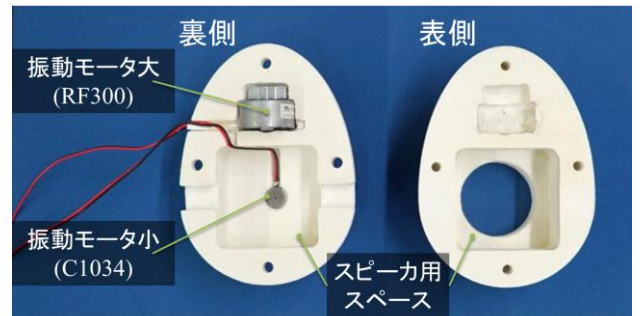


Fig.4 Inside structures of the interface

Table.1 Measurement results of vibration

振動モータ種類	指令値	周波数 [Hz]	最大加速度 [m/s ²]
振動モータ小	最小	116	0.06
	最大	177	0.14
振動モータ大	最小	32	0.27
	最大	44	0.53

2.4 通信一音メディア生成部

通信一音メディア生成部は iOS デバイスで動作するソフトウェアにより制御され, 自身の装置回路部と通信し, 相手の通信一音メディア生成部と通信, 2人の触圧値による音メディアの生成とワイヤレススピーカへの出力を行う. また, 各値の時間変化を, CSV ファイルの形式で保存することを可能とした.

また, 音量と音程の 2 つの値に割り当てられる入力により, 音メディアを生成している. 音量は, 2人の触圧の平均の値により決定し, 設けた閾値によりメロディが再生・停止する. 一方, 音程は, 2人の触圧の差の絶対値により決定する. この音量・音程の値を決定する際のイメージ図を図 5 に示す. 音程の値の取得は, メロディの再生開始と同時に開始され, 1.5[Hz]毎に取得を行う. 1/6[sec]の長さで出力される正弦波の音符 4 つ分をひとつのメロディのまとまりとし, 一度の音程

の値の取得により4つの音の周波数が自動で決定され、一音ずつ順に再生される。

この音符4つ分のメロディにおいて、長三和音の關係に着目して4つの音の周波数を決定する。具体的には、はじめに、1音目の周波数を触圧の差の絶対値により決定する。そして、この1音目を基準の音程とし、2音目の音程を基準音程より半音の4つ分高い音程に、3音目を7つ分高い音程、そして4音目を基準音程の1オクターブ高い音程とし、4つの音を長三和音の關係とした。このような、半音ごとの音程の關係となる複数の周波数を効率よく生成するため、MIDI規格のノートナンバー N より音の周波数 $f[\text{Hz}]$ を算出する式(1)を用いる。この式(1)では、ノートナンバーが1増えるごとに、周波数が半音分大きくなる關係になっている。

$$f = 440 \cdot 2^{\frac{N-69}{12}} \quad (1)$$

このような周波数の生成を自動で行い、4音ごとに音程の値を取得して続けてメロディを流すことを可能にした。

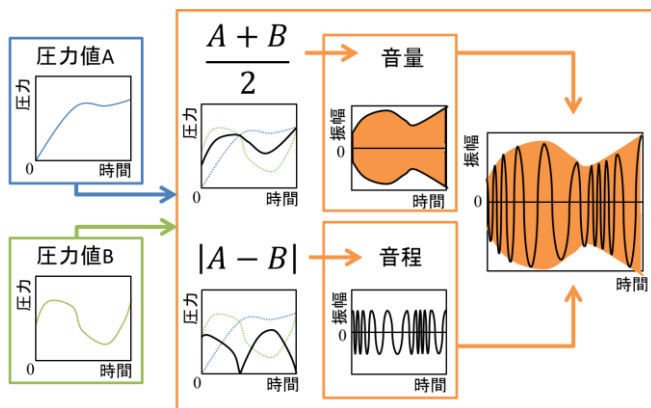


Fig.5 Image of sound generation

2.5 通信手法

本システムを構成する4つの部分は、それぞれ有線・無線の通信によって情報を通信する。まず、有線接続されている部分は、センサ部と装置回路部、音一触覚呈示部内の2つのモータと装置回路部である。一方、無線通信部分は、装置回路部と通信一音メディア生成部、自身と相手の通信一音メディア生成部同士、通信一音メディア生成部と音一触覚呈示部内のスピーカである。装置回路部と通信一音メディア生成部は、BLE (Bluetooth Low Energy) のシリアル通信にて、9600[bps]の速度の近接無線で通信する。さらに、自身と相手の通信一音メディア生成部同士の通信は、Multipeer Connectivity というフレームワークを用いており、Wi-Fi通信とBluetooth通信を併用した近接無線通信により実現している。通信一音メディア生成部と音一触覚呈示部内のスピーカは、Bluetoothの通信にてオーディオ情報を伝送する。

3. 実験条件

離れた場所間の2人に、本インタフェースを用いて60秒間の表現を試みてもらう実験を実施した(表2, 図6)。条件1では音のフィードバックのみ、条件2では両者の振動フィードバックのみ、条件3では音と相手の振動フィードバック、そして条件4では音と両者の振動フィードバックをする、計4条件で実験を行い、各条件について主観調査を行った。

Table.2 conditions of experiments

条件	条件番号	1	2	3	4
音メディア		○	×	○	○
自身による振動フィードバック		×	○	×	○
相手による振動フィードバック		×	○	○	○

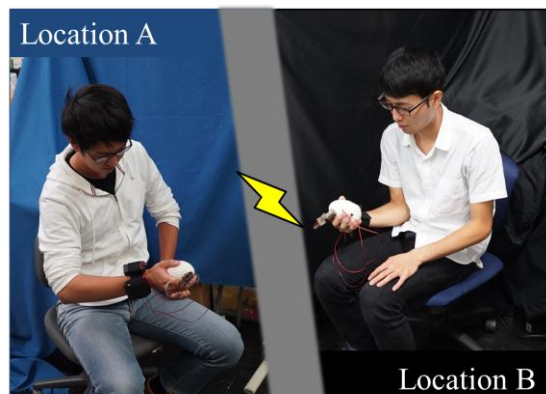


Fig.6 Scenes of experiments

4. 実験結果と考察

各条件で得られたコメントを、表3に示す。条件1の「相手の意図があまり感じとれなかった」などのコメントより、音のみのシステムでは相手の存在を感じることが難しいことが伺える。また、「相手に正しく伝わっているか不安になった」などのコメントから、自身が相手に働きかける感覚も得にくいことが考えられる。条件2の「振動で相手の状態は分かったが、意思が伝わったような感覚はなかった」、「自分と相手の振動の区別がつきつつも、お互いに振動を出し合っているとわからなくなってくる感じが良かった」などのコメントを得た。それらから、自身と相手の振動を感じることにより、そのズレから相手の存在をつかんでいることが示唆される。さらに、条件3の「音と振動があることで、イメージが創出された」、「相手の力を感じている中で、音があることで次のイメージが生まれていった」などのコメントからは、表現の創出の可能性が伺える。しかし、「自分の力がどれだけ相手に伝わ

っているのか心配になった」, 「互いに強く主張し合い, 協調性のない感じがした」などのコメントより, 触れ合う感覚は得られていないのではないかと考えられる. そして, 条件 4 の「自分と相手の存在が対等に感じられた」, 「隣で一緒にやっている感じがした」, 「音から, 広い草原に風が吹いているイメージが湧いた」などのコメントから, 共創的な表現が行えている可能性が伺える. これより, 自身と相手の振動により触れ合う感覚が生まれ, そこに 2 人による音加わることによってイメージの創出が促されていることが推察される.

また, 条件 3, 4 においての表現の際の両者の圧力値の平均値と, 差の絶対値の時系列変化の一例を図 7 に示す.

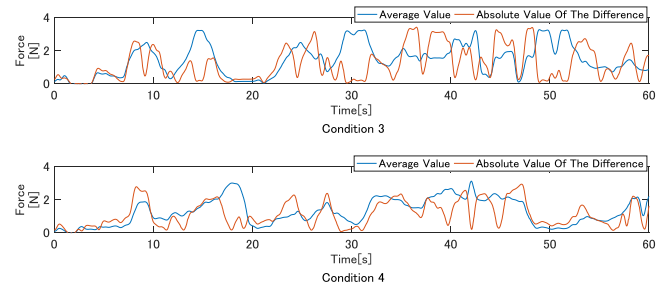


Fig.7 Measurement results of experiments

Table.3 Comments of experiments

実験条件	コメント
条件1	相手の意図があまり感じ取れなかった
	音が鳴り続けていて良く分からなかった
	あまり存在感はなかった
	相手に正しく伝わっているか不安になった
	自分と相手との区別がつきにくかった
	自分の音なのか相手の音なのかわからなかった
	自分以外の何かがあるような感覚だった
	力加減がわからなかった
	イメージを持って音楽を作ることができなかった
条件2	自分の入力わかりやすく, 通信している感じがした
	振動で相手の状態は分かったが, 意思が伝わったような感覚はなかった
	相手の動きを探る感覚がした
	キャッチボールをしているような感覚がした
	自分と相手の区別がしやすかった
	自分と相手の区別がつきつつも, お互いに振動を出し合っているとわからなくなってくる感じが良かった
	相手の存在感のようなものを感じるが, そこからイメージがわいてこない
	相手に合わせようとして, 受動的になった
	一緒に何かしようという感覚が生まれた
条件3	音と振動があることで, イメージが創出された
	相手の力を強く感じることで面白かった
	自分の力がどれだけ相手に伝わっているのか心配になった
	互いに強く主張し合い, 協調性のない感じがした
	相手の力を感じている中で, 音があることで次のイメージが生まれていった
	相手に合わせたリズムに変化を加えてみたりして相手の反応をみていた
	相手の動きや意図を感じながら, 2人で動きをつくることができた
	音の表現に緩急をつけるようにした
	自分の伝えたい音や振動を伝えやすかった
条件4	相手と共に揺れる感覚が生まれた
	積極的に押すと情報量が多くなりすぎることがあった
	自分と相手の存在が感じられ, 一緒につくっている感覚もした
	動作を引き出される感覚があり, 心地よかった
	自分と相手の存在が対等に感じられた
	隣で一緒にやっている感じがした
	両者の振動から繊細さが感じられた
	目指す方向のようなものが共有できたと感じた
	音から, 広い草原に風が吹いているイメージが湧いた
繊細で, そよ風みたいな優雅さがイメージできた	
相手の振動から, イメージが共有できているような感じがした	

5. 結言

本研究では, 音と触覚に着目し, 遠隔で共創表現を行うためのインタフェースの検討とシステム開発を行った. 具体的には, 2人の指先の触圧差から音を生成するとともに, 自身の触圧のフィードバックを, 自身と相手に, 2種類の異なる振動により手のひらに返す, モバイル端末を用いたシステムを開発した. そして, 本インタフェースを用いて, 離れた場所間で, 2人で音をつくりあう実験を実施したところ, 個々人の音表現と私たちの音表現とを区別できないような感覚の触発がおこることを示唆する結果を得た.

謝辞

本研究は, 早大理工学研究所におけるプロジェクト研究「共感的な場の創出原理とそのコミュニケーション技術への応用」, ならびに JSPS 科研費 (研究代表者: 三輪敬之, 課題番号: 16K12482) の支援を受けた.

参考文献

- [1] 三輪, 共創表現とコミュニケーション支援, 計測と制御 51 巻 11 号, pp.1016-1022, 2012
- [2] M. Goto, R. Neyama, Y. Muraoka: RMCP: Remote Music Control Protocol --- Design and Applications ---, Proceedings of the 1997 International Computer Music Conference, pp.446-449, September 1997
- [3] C. Alexandraki, R. Bader: Using Computer Accompaniment to Assist Networked Music Performance, AES 53rd International Conference, London, UK, 2014 January 27-29
- [4] https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20121121_02.html