

# 全身触覚における鎖骨部位の有効性と評価

櫻木 怜<sup>†1</sup> 池野 早紀子<sup>†1</sup> 岡崎 龍太<sup>†1,2</sup> 梶本 裕之<sup>†1,3</sup>

**概要:** 音を含んだコンテンツ体験において、全身への触覚呈示によって「自己が環境に囲まれている」という没入感を実現する手法が数多く提案されてきた。しかしこれらは身体広範に振動を呈示するため、振動子の数が多くなってしまい、装置が大掛かりになるという問題を生じやすい。我々は以上の問題点を解決する手法として、鎖骨部位へ振動を呈示することにより全身の骨を伝播して身体広範に振動を呈示する手法を提案した。本稿では音楽とともに振動を身体各部に呈示した際の主観評価を行い、鎖骨部位の優位性をユーザが主観的に知覚する振動の「心地よさ」と音楽コンテンツへの影響に関する検証した。

## The Validation of Effectiveness of Clavicle for the Whole Body Tactile Display

REI SAKURAGI<sup>†1</sup> SAKIKO IKENO<sup>†1</sup>  
RYUTA OKAZAKI<sup>†1,2</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1,3</sup>

**Abstract:** There are numerous proposals of the whole body tactile displays that aim to improve the sense of immersion of audio contents. However, these devices commonly have problems, such as huge setups due to numerous actuators. To address this issue, we propose to use clavicle parts for presenting the vibration so that the vibration is transmitted to larger part of the body. We conducted an experiment to validate effectiveness of the position by subjective evaluation.

### 1. はじめに

音を含んだコンテンツ体験において、全身への触覚呈示によって「自己が環境に囲まれている」という没入感を実現する手法[1][2]が数多く提案されてきた。これらの全身触覚呈示デバイスは身体広範に振動を呈示するための振動子が数多く必要となる。そのため大型化しやすく、また高重量、高拘束性といった問題を生じやすい。振動子の数や装置重量の削減を目的として、大面積の剛性可変のクッションと振動体を組み合わせ全身に触覚呈示する手法も開発されている[3]が、着脱の煩雑さや拘束性といった問題はまだまだ解決されていない。これに対して我々は軽量・小型、また着脱の容易な全身触覚呈示手法として、ユーザの骨を介して身体の広範囲に振動を呈示するという着想に至った。骨は剛体として人体に広範囲につながっているため、骨に呈示された振動は別の骨を伝わって体内、体表へと伝達されることが期待される。また骨の一部は突起として体表に非常に近い部分に存在するため、振動子を骨に密着させることは容易だと考えられる。

これまでに我々は、上半身に存在する骨を対象として、骨への振動呈示によって体内への振動呈示が可能であること、また上半身の中では鎖骨が最も簡便かつ効率よく振動を体内へ伝達可能であることを検証し、振動呈示デバイス

を開発した[4]。しかし前回の検証では振動の伝達効率のみに着目しており、骨への振動呈示によって聴覚コンテンツに対する印象がどのように変化するかは検証されず、また上半身以外の部位への振動呈示も考慮されていなかった。

そこで本稿では、前稿で着目した鎖骨とそれ以外の複数の部位に振動呈示を行い、ユーザが主観的に知覚する振動自体の「心地よさ」および音楽コンテンツへの影響に関して検証を行った。

### 2. 振動呈示実験

本実験では触覚呈示を行う際に振動が全身に感じられやすく、また装着がしやすいと考えられる部位を抜粋した。その部位に振動を呈示した際に生じる快・不快感、体内への振動の広がり具合、振動が追加されたことによってコンテンツから受ける印象がどのように変化したかをアンケート形式で回答する実験を行った。

#### 2.1 実験装置

実験装置はPC、デジタルオーディオアンプ(MUSE, M50)、振動子(アクーヴラボ、パイプロトランデューサ Vp2 シリーズ Vp210)で構成され、振動子を各部位に設置することで身体に振動を呈示した。

振動信号はPC音源出力から出力された信号をLとRに分岐させ、L側の信号はステレオ-モノラルプラグによりモノラル化してノイズキャンセリング機能付きヘッドホン(BOSE, Quiet Comfort3)から出力を行い、R側の信号はアンプを介して2つの振動子から振動として出力される。これにより、振動子からの振動の振幅をヘッドホンの音声とは独立して調整することができる。

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications  
<sup>†2</sup> 日本学術振興会特別研究員  
JSPS Research Fellow  
<sup>†3</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
Japan Science and Technology Agency JST Presto

## 2.2 振動呈示部位

振動を呈示する部位として、鎖骨を含めた4箇所を選定した。全身触覚呈示を行う際に一般的に良く用いられる部位として臀部、また一般的な音に関する骨伝導に用いられ、かつ耳に距離が近い頭部、人体で最も触覚に対して敏感である指先を包括する部位として手掌部を選定し、比較を行った。

## 2.3 呈示刺激

呈示刺激には通常の楽曲を使用した。楽曲の違いによる感じ方の差を観察するため、楽曲は3種類のジャンル（ロック、トランス、クラシック）から一般的な知名度が高いものとして Jailhouse Rock(Elvis Presley), Technologic(Daft Punk), 新世界より(ドヴォルザーク)を使用した。

振動刺激の呈示には振動子を2つ使い、選出した4箇所の部位において背骨を挟んで左右対称になるように振動を呈示した。

鎖骨に振動を呈示する際には専用の首かけ式のデバイスを用いた(図1)。デバイスの先端に振動子を設置することで、被験者が手を離れた状態でも自然に左右の鎖骨部分に振動子が乗り、振動を感じられるようにした。また、振動子単体の重さでは装置を押し付ける力が弱いため、振動子の上に100g重の錘を載せて振動子が鎖骨部分に適度に押し付けられるようにした。



図1 鎖骨への振動呈示の様子

臀部に振動を呈示する際には柔らかい椅子の上に振動子を並べ、尻の最も盛り上がった部分に振動子が当たるように腰掛けさせた。手に振動を呈示する際には被験者の両手に振動子を1つずつ握り込ませた。この時握り方は被験者に任せた。頭に振動を呈示する際には被験者の左右のこめかみ辺りに振動子が当たるよう位置を調整し、手を離れた状態でも位置がずれないように、布製のゴムバンドで留めて振動子を固定した。(図2)



図2 頭部への振動呈示の様子

## 2.4 実験方法

本実験では身体の複数箇所に振動を呈示するため、振動子より感じられる振動の強さを部位ごとに統制する必要がある。そのため試行を3つのフェイズに分割した。第一フェイズで被験者は、振動子から感じる振動の強さが「明瞭かつ不快でない」強さとなるようにPCのボリュームとデジタルオーディオアンプのダイヤルを調整した。調整時間は約10秒間あり、その間第二、第三フェイズで流れる音楽と同じ音源から切り出した音源がスピーカーと振動子から呈示された。第二フェイズでは3種類のジャンルの楽曲の1曲が呈示された。このとき、振動子から振動は呈示されず、ヘッドホンからの音のみ呈示を行った。第三フェイズでは第二のフェイズで呈示された曲を身体に装着した振動子とヘッドホンから、それぞれ振動と音を呈示した。被験者には第二、第三フェイズで呈示された音楽を比較させ、その違いから受ける印象の変化を7段階リッカート尺度により回答させた。なお音楽の音量と振動子の振動振幅は第一フェイズでのみ調整でき、第二、第三フェイズでは変更することはできなかった。

被験者に回答させた設問は次の3つである。第一に「振動の心地よさ」、第二に「音楽を全身に感じたか」、第三に「振動による音楽体験の心情変化」を評価させた。これを1試行とし、全体で楽曲3つと部位4つの組み合わせにより被験者1人に対して全12試行を行った。

被験者は6人(22~24歳、男性6人)であった。

## 2.5 実験結果・考察

図3、図4、図5は選定した4箇所の体部位(鎖骨部、臀部、手掌部、頭部)・3楽曲における被験者の感じ方を7段階リッカート尺度で回答させた結果である。黄色のボックスは第三四分位数から中央値、青色のボックスは中央値

から第一四分位数を表し、緑色のラインは中央値を表す。縦軸は各設問に対する被験者の回答、横軸は各楽曲における測定部位を表す。またエラーバーは最大値・最小値を表す。

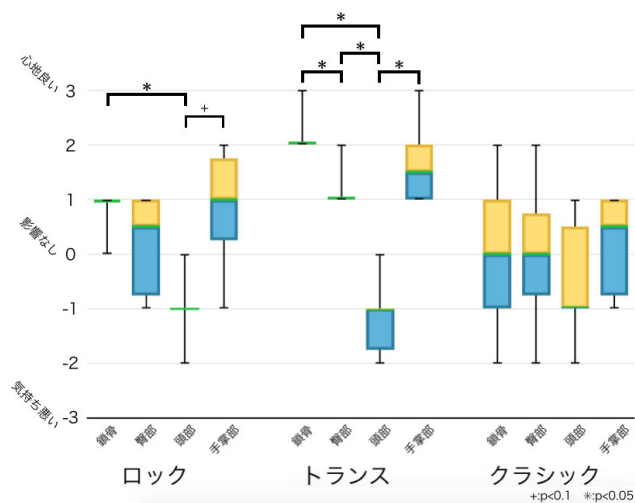


図 3 設問 1 における被験者の回答

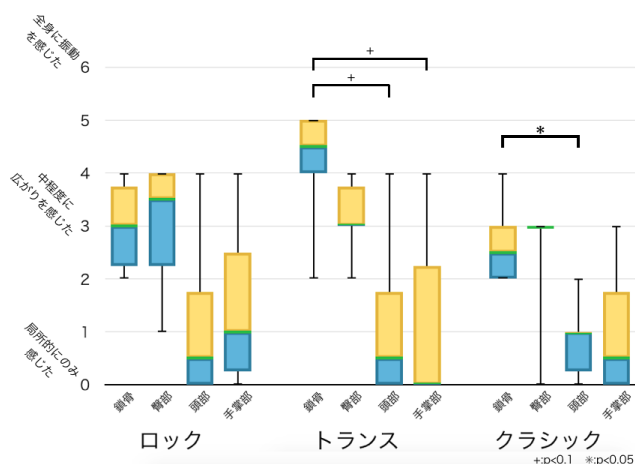


図 4 設問 2 における被験者の回答

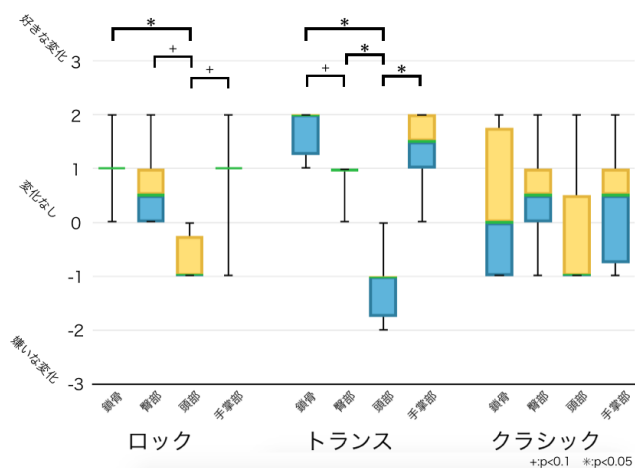


図 5 設問 3 における被験者の回答

部位及び楽曲のちがいで評価に変化が生じたかを検証するため、多重比較 (Steel-Dwass 法) を用いて統計処理を行った。

設問 1 「振動の心地良さ」についてはロックとトランスにおいて頭部が極めて不快であるという結果が出た。頭部に設置した振動子により頭蓋骨全体が揺らされ、平衡感覚に影響が出たために不快感が生じたからであると推測される。これに対して鎖骨部と手掌部は不快感が少なく、特にトランスにおいては心地よいという結果であった。

鎖骨部分の評価が高かったのは、鎖骨部分における振動呈示では骨を伝達してより広範囲に振動が広がることで、振動が分散され振動を呈示することによる負担がほかの部位に比べて少なかったからと考えられる。設問 2 「音楽を全身に感じたか」については、クラシックとトランスにおいて、鎖骨部では全身への振動の広がりを感じやすく、頭部と手掌部ではほとんど振動の広がりを感じないという結果であった。頭部と手掌部で評価が低かったのは、鎖骨や臀部への振動呈示の際よりも単純に振動を広範囲に伝える体部位が少ないからであると考えられる。設問 3 「振動による音楽体験の心情変化」については、ロックとトランスにおいて頭部では印象が悪くなり、トランスにおいて鎖骨では印象が良くなるという結果であった。頭部での評価の低さは設問 1 と同様の理由であると考えられる。

以上の実験結果から、身体内部に振動を効率的に呈示可能で、かつ衣服を着た状態でも襟元から容易に露出でき、体験者に与える不快感が最も小さい鎖骨部分に対して振動呈示を行うことは理にかなっていると言える。また本実験では 3 種類のジャンルの楽曲を使用した。各設問における高い評価はトランスに偏っていた。これは本実験で用いたトランスの楽曲が重低音を多く含んでいたためであると考えられるが、この点においては更なる調査が必要である。

### 3. おわりに

本稿では、臨場感の増幅を目的として音楽と同期した振動を鎖骨部分へ呈示する手法の考察と振動知覚実験を行い、他の体部位と比較した。結果として鎖骨部分への振動呈示はユーザに不快感を生じさせにくく、骨を伝達させた振動の全身触覚呈示における呈示箇所として優れていることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) P. Lemmens, F. Crompvoets, D. Brokken, J. van den Eerenbeemd, and G.-J. de Vries. A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing. Proceedings of the IEEE World Haptics Conference, pp. 7-12, 2009.
- 2) M. Karam, C. Branje, G. Nespoli, N. Thompson, F. A. Russo, and D.I. Fels. The emoti-chair: an interactive tactile music exhibit. Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) Extended Abstracts, pp. 3069-3074, 2010.
- 3) Y. Kurihara, M. Koge, R. Okazaki, H. Kajimoto : Large-Area Tactile Display Using Vibration Transmission of Jammed Particles. IEEE Haptics Symposium, 2014.
- 4) 櫻木, 池野, 岡崎, 梶本 : 鎖骨を介した振動伝播による体内触覚提示. エンタテインメントコンピューティング( EC2014).