

足底への振動刺激を用いたユーザ定義型の情報提示

情報提示量増加のための足底の情報提示範囲の検証

佐藤 史規^{†1}

概要：ウェアラブル・コンピューティングにおいて情報提示の方法は「視覚」「聴覚」「触覚」が代表的である。特に触覚の情報提示は、多くの注意量を必要とせず常時認識可能であるためウェアラブルデバイスとの相性が良いと考えられる。しかし、一度に伝えられる情報量が少ないため使用される状況は限られている。ユーザが触覚を感じた位置に応じて情報を理解することができれば情報提示量を増やすことができるのではないだろうか、本研究では触覚による情報提示量を増加させる方法としてユーザ定義型に着目し、足底の振動刺激の知覚範囲を検証した。検証の結果、知覚範囲を5つに分けることができると考えられる。

An Analysis of User Perception via Vibration Stimulus Through the Soles of the Feet

An investigation into using the foot sole as an input area for wearable technology

FUMINORI SATO^{†1}

Abstract: Visual, auditory and tactile feedback are representative methods of transmitting information to users in wearable computing. It's assumed that transmitting information via tactile methods is especially suited to wearable devices because it is non intrusive, but easy to understand. However, the situation for its use is limited as the amount of information which can be given at once is minimal. If users can understand transmitted information relating to a specific position where they feel tactile feedback, the amount of information understood by a user should be able to increase. In this study, vibration stimulus was supplied to various areas of the foot sole, and user-defined perceived areas of feedback were recorded. As a result of the investigation, it was concluded that the perceptual range in this area of the body can be divided into five sections.

1. 背景

ウェアラブル・コンピューティングは10年以上前から存在していたが、近年GoogleGlassやAppleWatchなどの登場により再度注目を浴びてきている。ウェアラブル・コンピューティングでの情報提示の方法は「視覚」「聴覚」「触覚」を用いるのが主な選択肢であり、各々に長所短所がある。視覚は一度に提示できる情報量が多いため最も利用されるが、多くの注意量が必要となるため、歩行中などでは使いにくい。聴覚は視覚ほどではないが多くの情報量を提示でき、注意量も少なく提示できる。しかし、雑踏や静寂な場所などでは使いにくく環境に左右される。触覚は情報提示量が少ないが、注意量があまり必要なく、ユーザの周囲の環境に左右されることが少ないため常時取得可能である¹。そのため、ウェアラブルデバイスと相性が良いが、情報量の少なからスマートウォッチのバイブレータのように注意喚起程度で使用されることが多い。触覚を用いた情報提示の研究では、塚田らが開発したベルト型のナビゲーションシステムがある²。これはベルトに8方向に振動モーターを配置しユーザの周囲8方向を提示することでナビゲーションしている。松岡らは頭部への振動刺激を用いた方向情報提示の研究を行って

いる³。これらは実世界の方向情報と触覚情報を対応付けさせることで少ない触覚の情報量を補っている。また、Hapticsの研究では触覚を擬似的に再現する方法がある。視覚と連携させることでテキスト情報を提示することができ表示されているものとどのようにインタラクションすべきか理解することができる⁴。このように何かと連携させることで触覚の情報量を増やすことが可能である。しかし、実世界と連携させる方法は方向情報以外では難しく、触覚の擬似的な再現をするためには、携帯するには難しいくらいの大きな装置が必要であり視覚情報を利用しなくては再現が難しい。これらの方法以外に触覚の情報量を増やす方法としてユーザ定義型が考えられる。予めユーザが触覚を感じる場所に意味を定義し、触覚を感じることで意味を理解する方法である。

本研究では触覚による情報提示量を増加させる方法としてユーザ定義型に着目し、利用が容易な振動モーターを用いて、足底の振動刺激の知覚範囲の検証を行った。まず、ウェアラブルデバイスの形態と足底の優位性について述べる。

^{†1} 株式会社アップアローズ
Up Arrows Inc.

2. ウェアラブルデバイスの形態と足底の優位性

ウェアラブルデバイスには様々な種類があり、眼鏡型、手袋型、腕時計型、指輪型、靴型、ベスト型、ペンダント型、帽子型、イヤリング型などである⁵。ユーザ定義型の情報提示を触覚で利用する条件には3つ考えられ、1つ目は感じている触覚刺激の位置を区別できる程の高い感度の場所、2つ目は振動位置を区別して認識できる程の面積がある、3つ目は刺激される位置がユーザの行動によって変わらないことである。まず1つ目の感度の高い場所について述べる。触覚の空間分解能は場所によって感度が異なり、図1のウェインシュタインの結果によると感度が高いとされている場所は、指、上唇、頬、鼻、母指について足底は10mm~15mm程度になっており比較的鋭敏である。2つ目の振動位置の違いを認識できるほどの面積は上記の感度の高い場所の中で最も足底は面積が広い。3つ目に関しては、上述の感度の高い場所で使用するウェアラブルデバイスは、指輪型と手袋型、靴型である。指輪の場合は1本の指では面積が狭く、すべての指に装着したとしても隣の指との間隔が狭いため指輪が隣の指に触れてしまい誤認識する恐れがある。手袋型の場合は暑い気候や室内では装着しないだろう。靴型の場合は外にいるときは装着している可能性が高い。足底の面積は比較的大きく、装着した際に靴と足底の接合面の位置関係が大きくずれることがないため、個人差が生じにくい。また、靴は他のウェアラブルデバイスに比べユーザに装着負荷を与えることは殆どない。このような理由から、本研究では足底を対象とした。

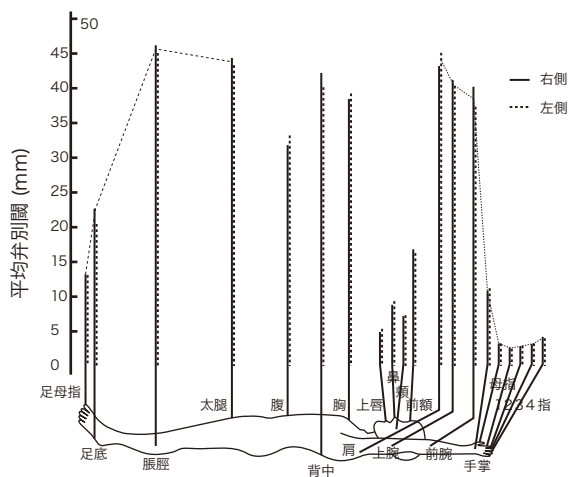


図1: 体表部における触2点弁別間 (Weinstein, 1968)

3. 振動刺激装置

足底への振動刺激を与えるために32個の振動モーターを配置した装置を制作した。靴のソールを想定した固めのスポンジに穴を開け、インソールの範囲内に振動

モーターを10mm間隔で配置した。振動モーターはArduino Mega 2560 R3 で制御し、シーケンサーで振動回数と振動周期を制御した(図2)。

振動モーター (T.P.C製 FM34F) は直径12mm、厚さ3.4mmの薄型のものである。振動モーターの数は32個であり、両足を入れ替えて測定することを想定しデバイスには全部で36個配置した。端子台のところで電圧は3Vになるよう調整しLEDは制御している箇所の確認する際に使用し、実験中は被験者に見えないようにした。

靴型のデバイスを想定した場合に、振動モーターが直接接触すると歩行を妨げることを考慮し、実験ではその上にインソールを配置しその上に足を載せ振動刺激を行った。

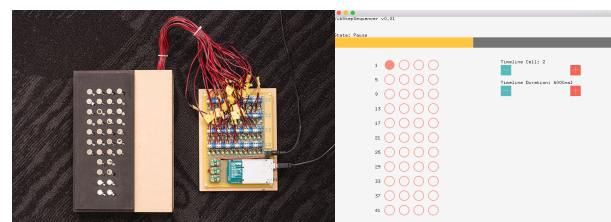


図2: 左: シーケンサー、右: 振動装置

4. 検証実験

本研究では静止した状態での足底への情報提示範囲の検証を行った。ユーザ定義型の情報提示を行う場合に提示できる範囲を明らかにするために、振動刺激装置を用いて振動している位置の正答数を調べ、認識し易い範囲を求めた。被験者は足のサイズ24.5~28.0cmの男性15人である。

4.1. 実験方法

被験者には振動刺激装置の上に立たせ、装置と同じレイアウトが書かれたマークシートを配布し、振動していると感じられるところに印をつけさせた。被験者には事前に同じ振動モーターが1つ、同周期で3回振動することを伝えた。実験は片足ずつ交互に32回を2周し合計128回行うことを伝え、一度振動させた振動モーターも何度か振動する可能性があることを伝えた(図3)。振動の周期は600msecである。

実験者は実験終了後に自由対話を行い、マークシートの回答をまとめた。



図3: 実験の様子、左: 実験時の被験者の様子、右: マークシート

4.2.結果

被験者がマークした位置の合計を表1、2にまとめた。表1は振動させた振動モーターごとに被験者がマークした位置の合計である。緑色は振動させた位置を表しており、赤色はマークした合計数に合わせて彩度を上げている。表2は振動させた振動モーターの接する位置も正答とみなした準正答の合計である。緑色は振動させた位置を表しており、青色は準正答の範囲を表すとともに合計数に合わせて彩度を上げている。

まずは、表1の正答の結果について述べる。正答数が最も高かった位置は両足とも正答-左、右-1の親指の位置で13回であった。その次に多い値は、正答-左-8の10回と正答-左-9の11回、正答-右-12の10回と正答-右-13の10回で、左右どちらも指の付け根に位置するエリアである。また、正答-左-31の踵の内側は11回と高い正答が得られているが、正答-右-31は低い結果になっており左右に違いがある。

次に準正答の結果について述べる。準正答数が最も高かった位置は準正答-左-9の27回、準正答-右-11の28回であった。左右とも7～14は高い結果になっている。準正答-左、右-22～32の土踏まずから踵にかけて準正答数は低い結果となっているが、左の踵は準正答数が高い結果になっている。

最後に、実験終了後の自由対話で得られた主な意見をまとめる。

- (1) 指先に振動モーターが指に当たるとわかりやすい
- (2) 指の付け根はわかりやすい
- (3) 外の側面は振動していることはわかるがどこが振動しているかはわかりにくい、前のエリアか後のエリアかはなんとなくわかる
- (4) 土踏まずのは土踏まずのエリア全体が振動しているように感じられる
- (5) 踵はどの振動モーターが振動しているかわからず下の4つの中心が振動しているように感じる

4.3.考察

上述の実験結果に基づき、足底の振動刺激の認識位置について考察する。まず、自由対話で得られた指先、指の付け根、外の側面、土踏まず、踵について述べる

・指先について

正答が実験結果の中で最も高いのは正答-左、右-1である。不正答の回答は縦にばらつく傾向があり、準正答では準正答-左、右-9の指の付け根より低い結果になっている。正答-左、右-1は親指付近に当たる位置に配置されており、振動モーターと指の位置が合っていると高い正答数になる。しかし、自由対話から得られてたように、ずれてしまうと認識できなる可能性が考えられる。

正答-左、右-2の正答数は低い結果であるが、準正答-左、右-1,2ともに同じ結果であるがスコア自体は低い。人の足は人差し指の長さが親指より長い場合と短い場合があるため個体差があることを踏まえると、つま先

で利用できるエリアは正答-1のみであり、必ず親指に触れるように位置を調査する必要がある。

・指先と指の付け根の間について

正答、準正答-左、右-4のスコアは高く、正答、準正答-左、右-5,6は若干低い。左、右-4は上下にばらついていることから親指か指の付け根に触れている可能性がある。次に述べる指の付け根は認識しやすいため親指と指の付け根を区別するためには微妙な調整が必要になる。左、右-5,6は正答も準正答も低いことから、つま先と指の付け根の境界線として考えられる。

・指の付け根について

正答-左、右-7～14では左-8,9、右-12,13を除き正答数は低い、しかし準正答では左、右-7～14の準正答数は高い傾向にあることから認識に有効なエリアである。正答-左-8,9、右-12,13は左右隣同士であるにもかかわらず正当数が高く区別して認識できていることがわかる。正答-左-7,右-14の回答は30回中29～30回が内側にマークされており、外側の正答-左-10,右-11は30回中27回が外側にマークされている。これらのことから左-8,9、右-12,13の境界線で左右に分けることが可能である。

・外の側面について

正答-左、右-10,14,18,21,24の回答にはばらつきが見られる。準正答では前のエリアの左-10,14は高く、右は全て高い結果が得られている。左右の結果の違いは左足が振動モーターに触れていなかった可能性が考えられる。自由対話で得られている前のエリアか後のエリアの区別については前エリアは指の付け根に当たるため干渉してしまう。後のエリアは左右でスコアが大きく違うが右のスコアが高いことから設置する場所を調整することで利用できる可能性がある。

・土踏まずについて

正答、準正答-左、右-14,25,27の正当数はばらつきが見られ、自由対話で得られたとおり認識が難しいようである。

・踵について

正答、準正答-左、右-29～32は左の準正答数は高く、右は著しく低い結果になった。原因は重心移動が関係していると予測される。被験者は実験中に振動している位置を探すために重心を移動しており、普段の慣れからくる重心移動のしやすさが左右の結果の違いに影響したのではないかと推測した。自由対話からも踵の認識は難しいことが得られており踵全体として使用する必要がある。

以上のことから、足底への振動刺激を用いたユーザ定義型の情報提示に利用できる範囲は、親指を中心とした指先・指の付け根の左右・外の側面の後エリア・踵の5つの範囲であると結論する。いずれも地面との接地面であり、指の付け根の左右と踵は拇指球・小指球・踵という体のバランスを支えるための重要な機能に位置するところである。

4.4. 展望

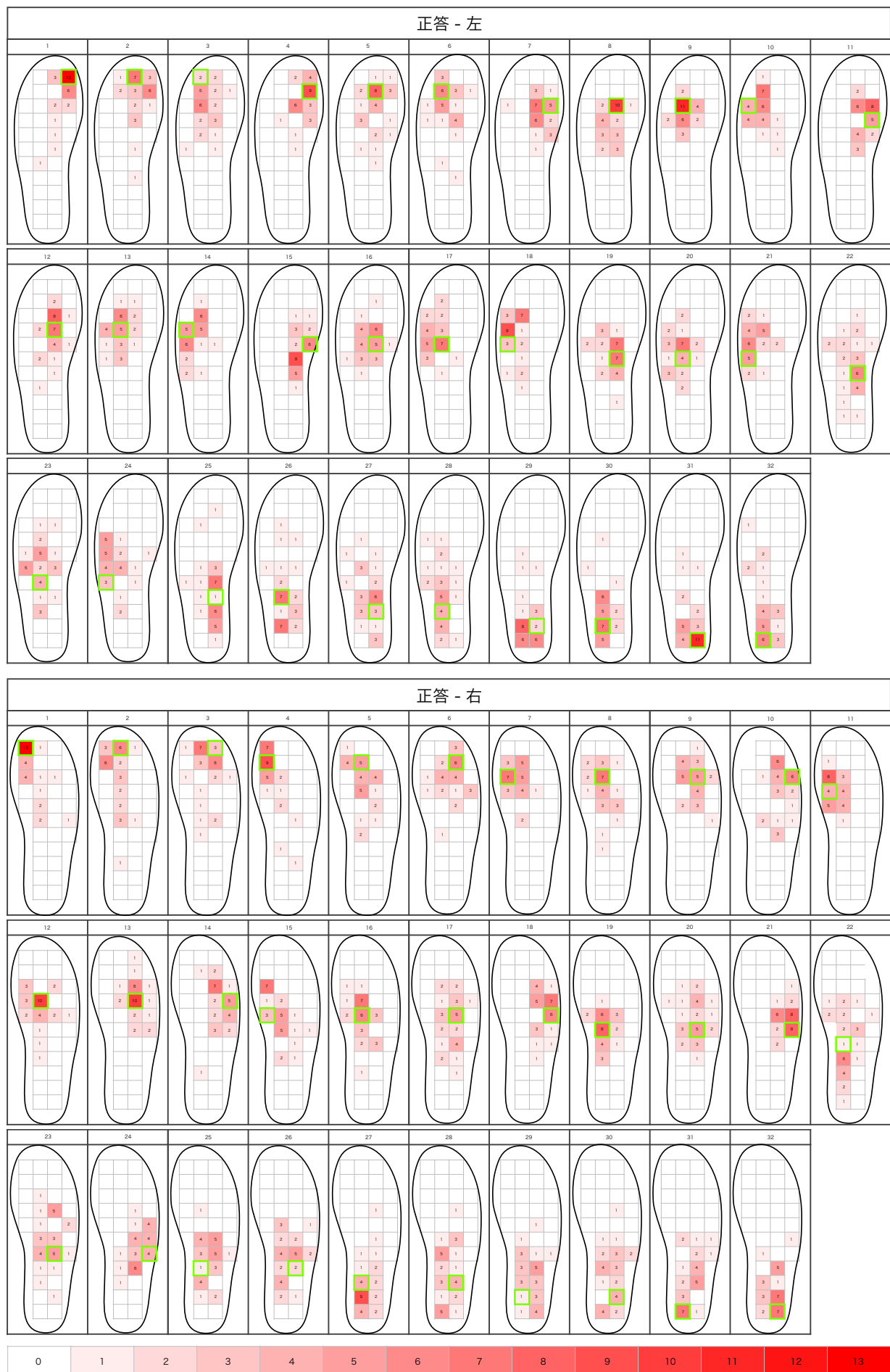
今回は足底の認識を把握するための基礎研究として装置の上に立つ装置にしたが、靴型のウェアラブルデバイスを想定した場合、人は静止している状況だけでなく歩いている状況などが考えられる。今後は本研究に基づいて認識しやすい位置に振動モーターを配置した靴型のウェアラブルデバイスで検証を行う必要がある。また、認識しやすい振動周期の検討、土踏まずのところが隆起しているインソールを使用することで接地面を増やすなどの検証を行う必要がある。

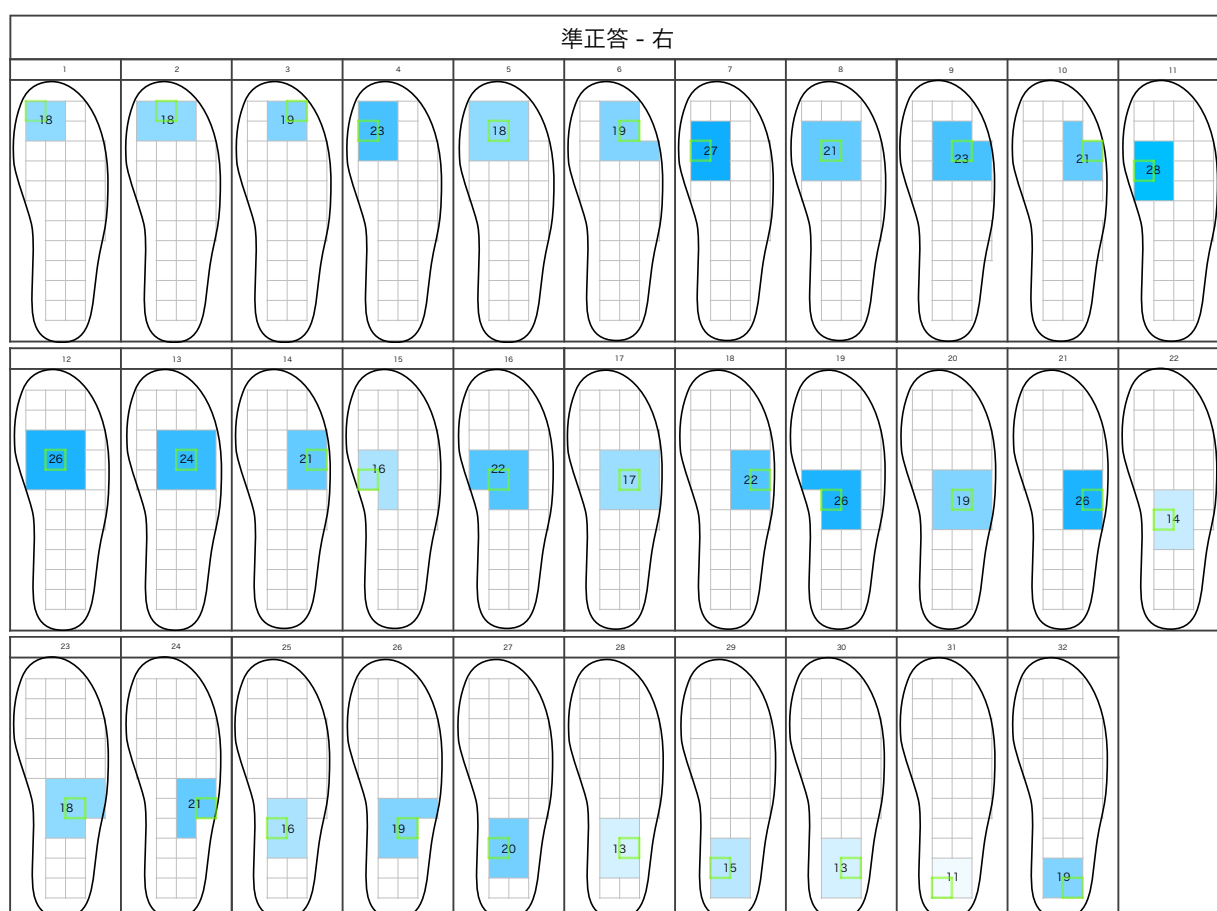
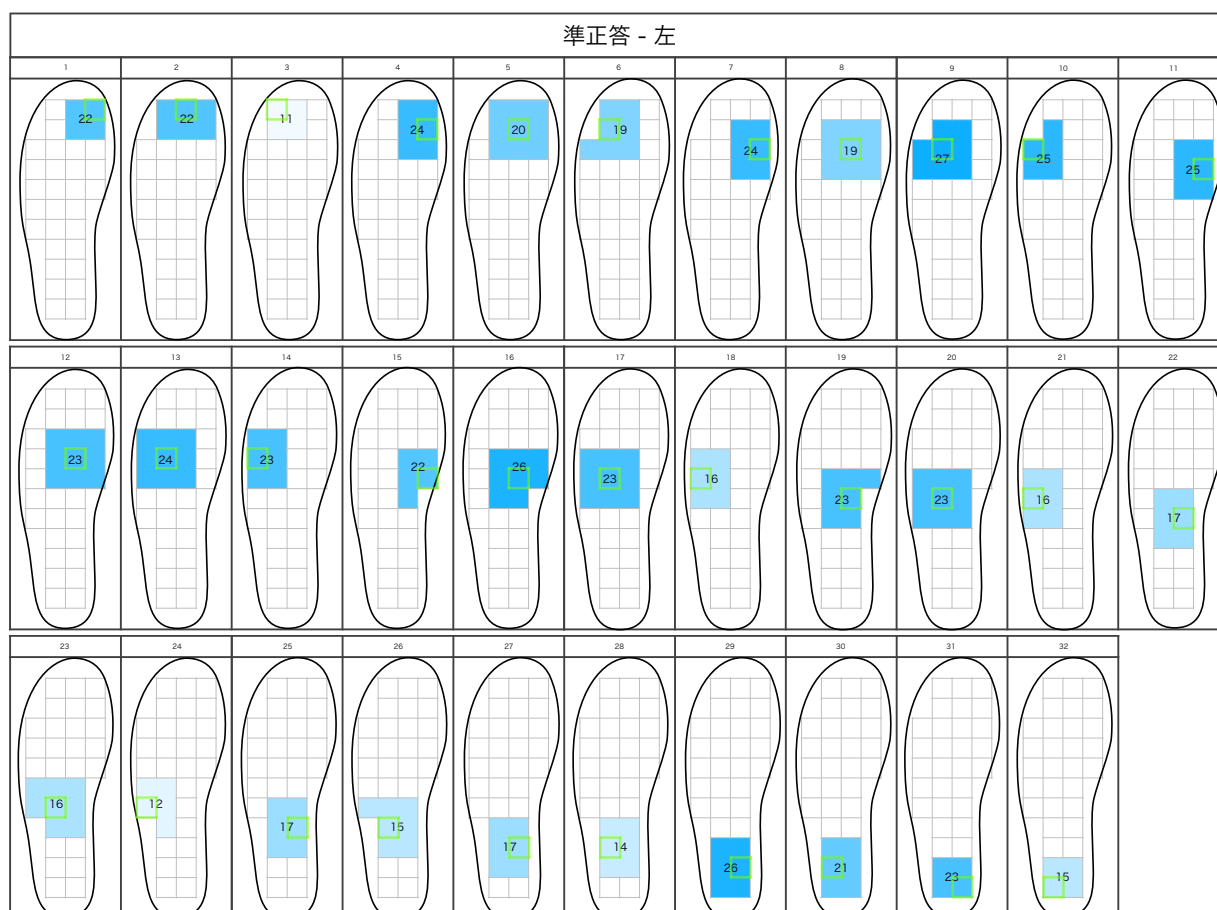
5. 謝辞

実験をお手伝いいただいた株式会社アップアローズの皆様と装置制作にご協力して頂いた友人に感謝申し上げます。

参考文献

1. 塚田浩二, 安村通晃 : Active Belt:触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2649-2658 (2003)
2. 前掲 : Active Belt:触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構
3. 松岡 和宏 鶴田 将之 石井 裕剛 下田 宏 吉川 榮和 : 頭部への振動刺激を用いた方向情報提示手法に関する実験研究
http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/publication/files/1021/PAPER_PDF/HIS_yokou.pdf (2015年12月18日 現在)
4. 嵯峨 智^{1,a)} Ramesh Raskar² : 剪断力による形状とテクスチャの重畳提示手法 情報処理学会 インタラクション 2013 (2013)
5. 前掲 : Active Belt:触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構





10以下	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----