



# 足底力覚提示による運動認識に関する検討

A study on motion recognition with a plantar haptic display

大谷拓也<sup>1)</sup>, 高西淳夫<sup>2)</sup>

Takuya OTANI, and Atsuo TAKANISHI

1) 早稲田大学 理工学術院総合研究所 (〒162-0044 東京都喜久井町 17, t-otani@aoni.waseda.jp)

2) 早稲田大学理工学術院 (〒169-8555 東京都大久保 3-4-1, contact@takanishi.mech.waseda.ac.jp)

**概要:** 人間の足底の力触覚は人間の皮膚感覚の中でも鋭敏な箇所の一つであり、運動時にも活用されていることが知られている。足底を対象とした力触覚提示は運動感覚再現に有効であると考えられる。実際に忠実に力覚提示をすることが出来れば擬似的な情報提示を自身の感覚と整合させるよう学習する必要がなくなるため、演者らはこれまでに運動時と同等の鉛直床反力を足底に印加する提示装置を開発してきた。本稿では、足底力覚提示のみによりさまざまな運動を識別できるかを検証し、ある程度の動作判別が可能である可能性が示唆された。

**キーワード:** 力覚提示, 足底

## 1. はじめに

バーチャルリアリティにおける没入感の向上などを目的として手部などへの力触覚提示は数多く行われているが、人間の足底の力触覚は人間の皮膚感覚の中でも鋭敏な箇所の一つであり、運動時にも活用されていることが知られている[1, 2]。手部を対象とした力触覚提示は主に作業時の感覚再現に有効であり[3]、足底を対象とした力触覚提示は運動感覚再現に有効であると考えられ、足底触覚提示手法が研究されてきた[4-6]。他の部位と比べ足底は人間の自重程度の大きな力を受けるため、これを忠実に提示すると装置の大型化によりモビリティを損なうため、振動の程度を変えるなどの擬似的な手法が提案されている。一方演者らは、実際に忠実に力覚提示をすることが出来れば擬似的な情報提示を自身の感覚と整合させるよう学習する必要がなくなるため、提示装置により同等の力を足底に印加することも有効であると考えられる。

演者らはこれまでに、直動機構を用いた足底力覚提示装置を開発し、歩行時の鉛直方向の足底力覚提示により、複数の他者同士で異なる歩行時の足底力覚の遷移を体験できるかを検証してきた[7]。本研究では、さらに広範な運動を対象とし、足底力覚情報のみにより運動を識別できるかを検証したため報告する。

## 2. 足底力覚提示実験

本稿では、足底力覚提示によって運動の判別がどの程度可能であるかを検証する。足底力覚提示には、演者らがこ

れまでに開発した足底力覚提示装置を用いる[7]。

### 2.1 実験装置

使用者の体重の影響を受けないよう、使用者が椅子に座った状態で装置の上に両足を置き足部と大腿部を固定する形態をとり(図 1)、足裏の刺激受容器が集中している 4 か所の特徴点(親指・拇指球・小指球・踵)をそれぞれ直動機構により押し力を印加する。また、各直動力再現ユニットは個々人の足サイズに合わせられるように、水平位置を調整可能とする。直動力再現ユニットは、人の歩行時に足裏にかかる力を印加できるように、ブラシレス DC モーターとボールねじを用いた直動機構を用いる(図 2)。足裏と接触する部分には圧力センサを搭載し、印加力を測定して力フィードバック制御を行うことで目標の印加力を実現する。

### 2.2 実験方法

本実験では、足底力覚情報のみにより、動作の識別が可能かを検証した。実験は、健康な男性被験者 7 名に対して行った。本実験で対象とする動作は、前歩き、後ろ歩き、その場足踏み、その場面脚跳躍、その場片脚跳躍、段差昇り、片足スクワットの 7 種類とした。その場片脚跳躍では地面と接地する足底、段差昇りでは後脚、片足スクワットでは立脚の足底力覚情報を用いる。具体的な実験の手順は、まず被験者が椅子に座った状態で足底力覚提示装置を装着し、親指、拇指球、小指球、踵を刺激できるように刺激点の位置を調整する。被験者にアイマスクおよびヘッドフォンを装着し、実験者の足底の親指、拇指球、小指球、踵には圧力センサを装着しておき、実験者が 7 種類のうちいず

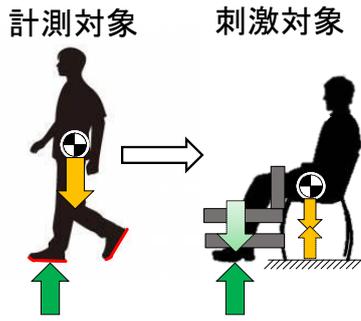
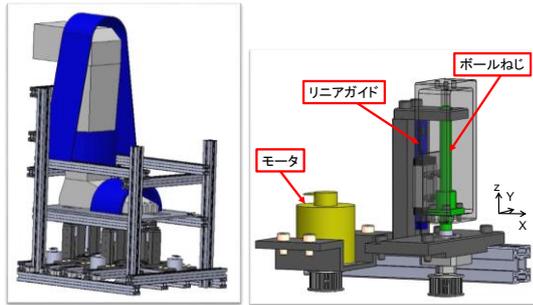


図1 装置概要



(a) 機構全体 (b) 直動力再現ユニット

図2 足底力覚提示装置 CAD

れかの動作を3回行うことで、足底刺激を被験者に与える。足底刺激を受ける被験者は7種類の運動のいずれかが行われることを事前に知っており、自身が受けた足底刺激から実験者の動作を推定する。これを1被験者につき10回連続して行った。試行の割り振りにおいては、10回の内ははじめの7回は、各動作を1回ずつランダムに行い、残り3回は7種類の動作のうちから3つをランダムに出題した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 結果

実験結果として、被験者別の正答率および動作別の正答率をそれぞれ表1、表2に示す。被験者別に見ると最低でも60%以上の正答率となり足底力覚情報のみによりある程度の動作判別が可能である可能性が示唆された。

#### 3.2 考察

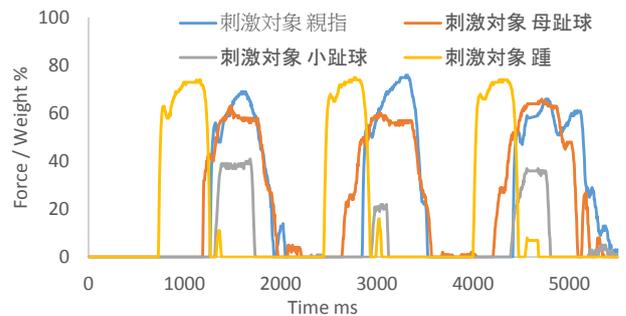
動作別判別率について考察すると、前歩きおよび後ろ歩きについては100%、爪先接地跳躍・段差昇りについては90%と高い正答率が確認できた。これは、今回の7種類の動作のうち、刺激を与えた4点の力が順番に変化していくため特徴を識別しやすい動作であったためであると考えられる。前歩きや後ろ歩きに関しては、踵から爪先、爪先から踵のように足底内での圧力中心の移動が明確であり(図3(a), (b))、段差登りや片脚跳躍は踵を接地せず、爪先接地跳躍は着地のため指や母指球の床反力が大きい。一方、その場足踏み、足底接地跳躍、片足スクワットに関しては正答率が低かった。片足スクワットに関しては全動作中唯一実験時間中ずっと立脚し続ける動作であるという

表1: 被験者別正答率

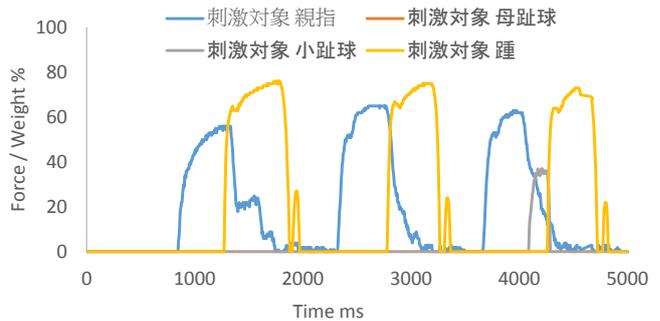
被験者	正答率 %
A	60
B	70
C	80
D	60
E	90
F	80
G	90

表2: 動差別正答率

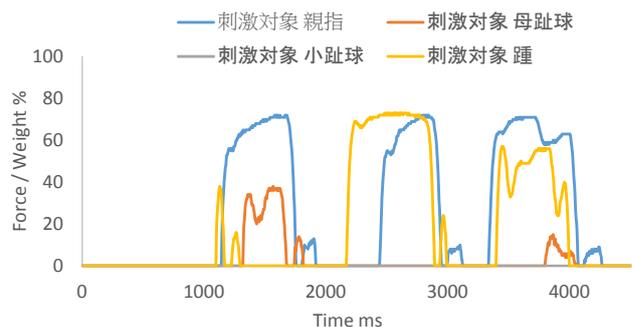
動作	正答率 %
前歩き	100
後ろ歩き	100
その場足踏み	50
足底接地跳躍	45
爪先接地跳躍	90
段差昇り	90
片足スクワット	56



(a) 前歩き



(b) 後ろ歩き



(c) その場歩き

図3: 各実験における提示力

特徴があるにも関わらず正答率は高くない。これは、その場足踏みや足底接地跳躍、片足スクワットはそもそも運動として日常的に行うものではないためであると考えられる。自身の動作時のイメージがはっきりとしていない運動は比較が困難である可能性があり、実際に、これら3つの動作は3回提示した際に、他の動作に比べて各回に大きな違いがある。また個人によって所作が異なる可能性もあるので推定精度が下がることが考えられる。所作が各人で異なるとすれば、今回の実験者が提示した7種の運動のうち、一部は一般的だが、残りはそもそも一般的でないことも考えられるため、異なる実験者の運動時のデータを提示することで、検証を進める。

#### 4. 結論と今後の展望

本研究では、足底力覚提示装置を用いた際に前歩き、後ろ歩き、その場足踏み、その場両脚跳躍、その場片脚跳躍、段差昇り、片足スクワットの7種類の運動を識別できるかを検証した。

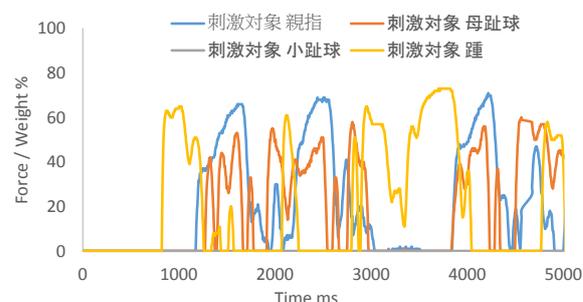
本研究では、基礎的な実験を行うため、片脚のみの装置としたため、両脚間での重心遷移を感じ取ることなどは出来ない。今後は、基礎検討を進めるとともに、両脚への拡張を進める。

#### 謝辞

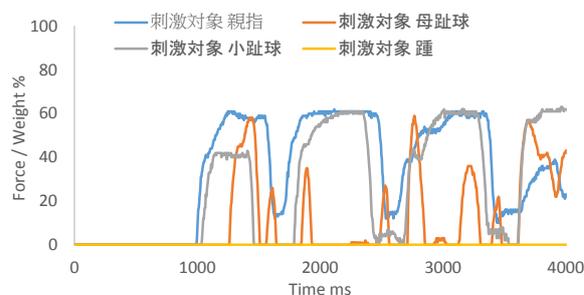
本研究は早稲田大学理工学術院総合研究所および早稲田大学ヒューマノイド研究所、早稲田大学ヒューマンパフォーマンス研究所、早稲田大学次世代ロボット研究機構の下で実施された。また、本研究で用いられた3DCADはソリッドワークス・ジャパン株式会社より提供され、ケーブル・コネクタは大電株式会社より提供された。各社・官公庁に感謝する。

#### 参考文献

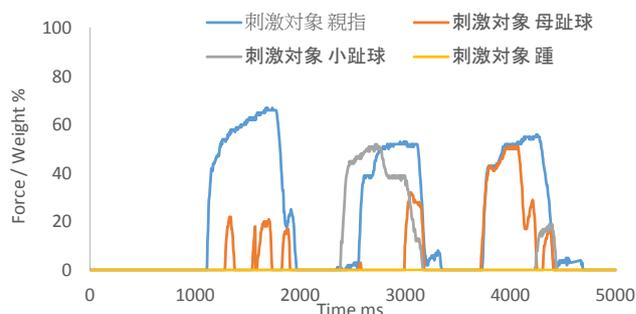
- [1] 桐山希一：“足底圧の動的変化を指標とした健常成人の歩行制御および片麻痺歩行に関する研究”，医療保健学研究，vol. 3，2012.
- [2] 竹内弥彦：“足底各部の機械受容感覚刺激が足圧中心移動範囲に及ぼす影響”，理学療法学，vol. 29，No. 7，pp. 250-254，2002.
- [3] 桂誠一郎，大西公平：“バイラテラル制御による力覚の伝達と再現”，電気学会論文誌，vol. 123，no. 11，pp. 1371-1376，2003.
- [4] 久米祐一郎，白井暁彦，津田元久，畑田豊彦：“足裏への皮膚振動刺激による情報伝達”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，vol. 3，no. 3，1998.
- [5] 雨宮智浩，池井寧，広田光一，北崎充晃：“歩行を模擬した足底振動刺激による身体近傍空間の拡張”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，vol. 21，no. 4，pp. 627-633，2016.
- [6] Luca Turchet, Paolo Burelli, Stefania Serafin：“Haptic Feedback for Enhancing Realism of Walking Simulations”，IEEE Transactions on Haptics，vol. 6，no. 1，pp. 35-45，



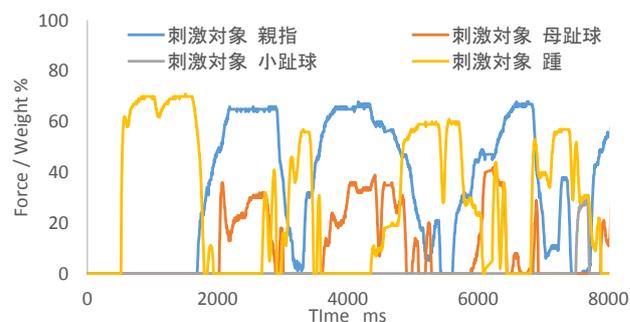
(d) 足底接地跳躍



(e) 足先接地跳躍



(f) 段差登り



(g) 片足スクワット

図 3: 各実験における提示力

- [7] 大谷拓也 他，“直動機構を用いた足底力覚提示装置の開発”，第37回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2019，(発表予定).