

# 足底面へ圧力分布をもたらす新たな力触覚提示デバイス (112102001)

Novel haptic device which can generate pressure distribution on sole

## 研究代表者

菊池 武士 大分大学工学部

Takehito Kikuchi Faculty of Engineering, Oita University

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

## 概要

本研究では、超臨場感バーチャルリアリティシステムの一つの要素として足底面への力触覚を提示可能な新規なデバイスを開発し、これを応用した仮想空間歩行システムを構築した。この目的を達成するために、大きく分けて下記の 3 つの項目について調査、研究を行った。

- (1) 足底部の力触覚が外環境を理解するのに必要な部位と応力を調査し、モデル化を行った。
- (2) 機能性材料の一種である磁性エラストマーを用い、新規な力触覚提示デバイスを開発した。
- (3) 視聴覚ディスプレイ、センサシステム等を追加し、仮想空間歩行システムを構築した。

## 1. まえがき

視覚、聴覚に続く第三の情報提示手段として、近年、力触覚提示に関する研究開発が盛んにおこなわれている。ヒトが外界からの力触覚情報を得るために主に使用する部位は無毛部であり、手指、手掌、足底などがこれにあたる。この中で従来の研究では手指に関する特性評価、デバイス開発が中心であった。これは、手指の感覚分解能が最も高く、実用上も最も有効と考えられていたからである。大脳一次体性感覚野の領域面積は手指に関する部位が最も大きく、このことが高い感覚分解能を持つ一因である。これに対し、足底部は対応する体性感覚野が狭く、感覚分解能も手指に比べれば相対的に低い。

しかしながら日常的に経験するように、我々は足底部からの感覚入力が無ければ正常な歩行すらできない(足が痺れた時など)。逆に、正常時であれば分厚い靴底を介してでも点字ブロックの種類と提示方向を識別することができる。足底部からの感覚入力はヒトが外部環境を理解し、正常に運動することに必要不可欠であるにも関わらず、どのように情報を取得し、それを利用しているかに関してほとんどわかっていない。もしこれらの理解と応用が進めば、足底部からの力触覚を提示する新しい力触覚提示デバイスを実現することができ、超臨場感コミュニケーションシステムの新しいコンポーネントとして新分野を創生することができる。そこで本研究では、足底部の力触覚特性を理解し、力触覚提示を実現するデバイスを開発することによって超臨場感コミュニケーションシステムに応用することを目的とした。

本提案研究の一つの特徴として、触覚提示インタフェースとして機能性材料の一種である磁性エラストマー(Magnetic-field Sensitive Elastomer, 以下、MSE)を使用した。MSE は近年開発された新しい材料であり、外部磁場によって硬さ(粘弾性特性)を 200 倍以上変化させることができる。電磁石への電流量によって硬さを様々に変えられるため、機構的なシステムに比べて部品点数や製作コストを大幅に低減できると考えた。

本研究においては、上記概要に示した通り研究の目標を大きく三つに分けて調査・研究を実施した。以下では各項目の成果について報告する。

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2-1. ヒト足部の触覚機能の評価およびモデル化に関する検討

健常被験者はヘッドマウントディスプレイを装着し、ピンクノイズを鳴らすことで視覚・聴覚ともに遮った。実験指示はすべてディスプレイ内で文字情報を提示した。床素材として、形状の異なるサンプル群(平面、点型点字ブロック、線型点字ブロック(縦)、線型点字ブロック(横))、硬さの異なるサンプル群(木板、フローリング、マット、カーペット)、傾斜角の異なるサンプル群(平面、5度、10度、20度)を準備した。足部の関連感覚として足底面の圧力覚、振動覚、足関節の角度変化の3つを仮定し、装具、足底板等を用いてそれぞれの感覚を単独、もしくは複数を阻害し、それぞれの阻害パターンに対して実験を実施した。被験者は各阻害パターンに対して受動的に各床素材を足底部に押し付けられる。この時、足部の感覚のみを使用して異なる床サンプルの中から正しいと思われるサンプル名を回答した。各阻害パターンに対して Steel-Dwass の多重比較法によって p 値を求め、有意水準 5%以下で有意差を認めることとした。

実験結果より、床面形状の認知に対して圧覚情報が大きく寄与しており、その他の感覚入力はほとんど影響していないことが明らかとなった。また、床素材の硬さに対する認知機能に対しても圧覚が一部寄与していることも考えられる結果となった。刺激時間の長さについては、基準刺激 1 秒を境にして大小のグループ間に有意差が確認された。地面に傾斜がない平坦な場合と傾斜がある場合の比較に関しては足底面の圧力覚の有無が大きく影響していることが分かった。しかしながら、傾斜がある中で 5 度、10 度の差の知覚には足関節の運動覚が強く影響していることが分かった。以上の結果をまとめて、図 1 に示す足部の認知モデルを提案した。

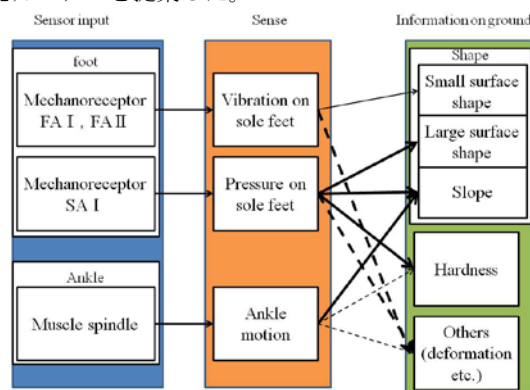


Fig.1 Cognitive model of floor with foot sense

## 2-2. 磁性エラストマー (MSE) を用いた新規な足部用圧力分布提示デバイスの開発

足底圧分布提示デバイスの作成には、足底部に圧力変化をさせる構造が必要である。本研究では、デバイスの小型化が期待できる磁性エラストマー (MSE) に注目した。MSE は、高歪変形可能なエラストマー素材に磁性粉末を混合しただけのシンプルな構造であり、優れた耐久性と耐環境性、大きな弾性変化を有する。

本研究では、2種類のデバイスの試作を行った。2次試作機では、各部位の圧力覚を個別に提示できるよう図2のようなピン型ハプティックユニットを複数個配置する方式とした(図3)。ピン型ハプティックユニットは、完全受動型の触覚提示ユニットであり、ピンの側面をMSEシートではさみ、ここに磁場を印加することでその接触面における摩擦抵抗を制御する。

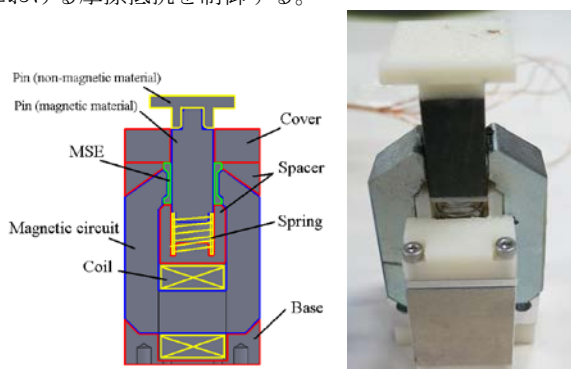


Fig.2 Haptic controllable unit with MSE

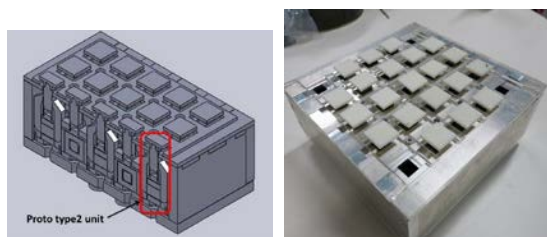


Fig.3 Haptic interface with MSE unit

## 2-3. 足部の力触覚提示デバイスを用いた超臨場感コミュニケーションシステムの構築

大規模、詳細なCGモデルを短時間で構築でき、容易にシステムに取り込むための仮想環境構築システムを開発した。仮想環境構築システムはいくつかの市販のソフトウェアと独自に開発したソフトウェアおよびそれぞれのデータ変換を行うための独自スクリプトからなる。

次に、仮想環境構築システムと前節で開発した足底圧分布提示デバイスを応用して超臨場感バーチャルリアリティシステムを開発した(図4)。仮想都市環境の視覚、聴覚提示としてヘッドマウントディスプレイを使用した。視覚が遮断された状態において安全に歩行を実施するために安全装置(フレーム)を開発した。このフレームには無線式力センサを内蔵し、歩行中の免荷量やその中心位置を計測可能とした。これらの情報は仮想都市内を歩行する歩行者の歩行動作分析に使用可能であることが実験的に確認された。開発した触覚提示装置はフォースプレート上に置かれ、その上に使用者が乗って足踏み時の圧力変化を再現する。

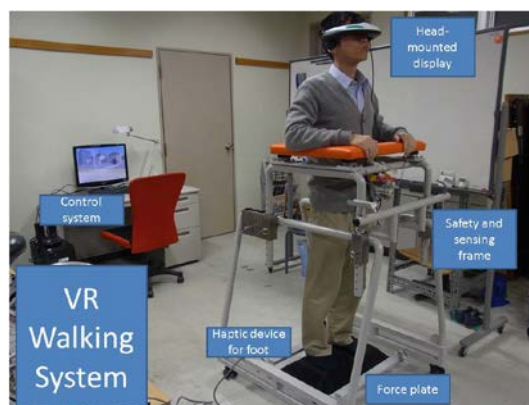


Fig.4 VR Walking System

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

研究期間においては開発されたシステムに対して工学的な評価を中心に実施した。本システムを使用時の心理的効果、リハビリ学的効果等に関しては今後実施する必要がある。現在、本研究で得られた成果を活用して高齢者・障害者福祉に活用するための基礎的な検討を科学研究費補助金にて実施中である。

## 4. むすび

本稿では、SCOPE若手ICT研究者育成型研究開発(112102001)の3年間の取り組みに関して報告した。足底面へ刺激を与えるハプティックインタフェースは新規なインタフェースとして超臨場感コミュニケーションシステムの構成要素に加えられる可能性は十分にある。その心理的、リハビリ学的効果等をさらに明らかにして有効性の検証を進める必要がある。

### 【誌上发表リスト】

- [1] Takehito Kikuchi, "Contribution of senses of foot for identification of shape, elasticity and tilt angle of ground", Proceedings of the 23th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, no.16, (2013.12)
- [2] Takehito Kikuchi, Yasunobu Masuda, Kento Amano, Tetsu Mitsumata, Suguru Otori, "Haptic Interface with Magnetic Field Sensitive Elastomer", Journal of Mechanics Engineering and Automation, Vol.3, No.3, pp.146-151 (2013.3)
- [3] Yasunobu Masuda, Takehito Kikuchi, Wataru Kobayashi, Tetsu Mitsumata, Suguru Otori, Design of Unit for Haptic Device on Foot, Proceedings of The 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.1709-1714, (2012.12)

### 【申請特許リスト】

- [1] 大分大学, 菊池武士, 酒井紘平, 歩行訓練用安全装置, 2014-049237, 2014年3月12日
- [2] 大分大学, 菊池武士, 安齋健一, 座位保持用変形ベルト, 2014-040981, 2014年3月3日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www2.hwe.oita-u.ac.jp/kikuchilab/>