

草むら歩行時の脚部に草が当たる感覚の分析と新しい歩行感覚提示手法への応用可能性の検討

豊浦 風羽¹ 畠山 響¹ 佐藤 俊樹²

概要：足や体でかき分けて移動するような状況下では足首よりも上の部位への感覚提示が現実感の高い歩行感覚を得るために必要である。そこで本研究では、「草むら」歩行時の脚部に草が当たる感覚を実際に検証・分析し、新しい歩行感覚提示手法を検討する。検証の結果、草の種類や移動の方法に関わらず、脚部に草が当たる感覚は2パターンであると分かった。足を水平に移動させたときは、線形状から面形状へと変化する接触感覚、足を上下に移動させたときは、面形状の接触感覚が得られることが明らかになった。この分析結果より、シームレスな草の接触感覚の変化を再現した新たな歩行感覚提示手法を提案する。

1. はじめに

足に対する触覚による歩行感覚提示は、足裏や靴等の地面に接地する部位や足首より下の部位に対する手法が様々提案されてきた [2][3][4]。しかし歩行において、室内や都会の舗装路などの何も障害物がない場所を歩行する場合にはこれらの提示手法が有効だと考えるが、例えば我々が「草むら」に分け入った時のように、足や体でかき分けて移動するような状況下においては、足首より下の部位のみへの提示手法では現実感の高い歩行感覚が得られないと考える。本研究では、我々の身近にある「草むら(草原)」の中を歩く状況に着目し、足首より上の部位に対しての草による接触を再現することで、新たな歩行感覚提示を試みる。室内や都会の舗装路を歩くシチュエーションにおいては「草むら」に遭遇する機会は滅多にないと考え、屋外や自然の中が舞台となるビデオゲーム及びVR空間内において草むらは非常に多くの割合を占め、重要な役割を担っている。単に草むらといっても、そこに生える草の種類は様々であり、それぞれ異なる葉の形状、柔らかさを持つ。また草が弱っていたり枯れていたりする等の季節ごとの違いや、実った種子や草の上の虫等の存在もある。さらに雨や朝露などによる濡れ具合のような条件も存在し、足に対する触覚提示方法はこれらの組み合わせにより多種多様である。

草に着目したこれまでの研究においても、草に腕がなぞられる感覚を提示可能な研究は存在するが [1]、本研究が着目する草が脚に当たる感覚を歩行感覚提示に応用する試み

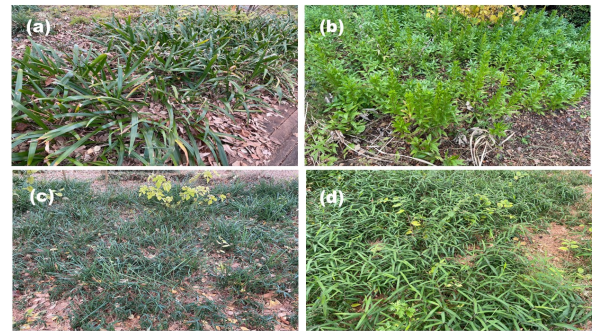


図1 実験で利用した草むら、(a) 丈の高い根生葉、(b) 丈の高い茎生葉、(c) 丈の低い根生葉、(d) 丈の低い茎生葉

とは目的が異なり、歩行感覚を提示するためには、触れた草が脚の後方に流れていく感覚等を作り出す必要があると考える。そこで本研究では、「草むら」歩行時の脚部に草が当たる感覚を分析し、これを用いた新しい歩行感覚提示手法への応用可能性を検討する。これを行うために、本研究ではまず草の中を歩行する際に、草が脚部にどのように接触するかを検証する試みを行った。

2. 実験

今回草の脚部への接触について分析するために、図1のような4種類の草むらを代表的なものとして採用した。歩行感覚歩行感覚提示には、歩行時のスピード、歩行方向に関する感覚が最低限必要だと考える。また、方向転換時の動作などによって生じる感覚の提示要素も考えられる。次に、草むらの中を歩行する場合、草むら独特の提示要素として、草の高さ、草の種類、濡れ具合、種子や草の上の虫といった草以外のものとの接触が考えられる。本研究では、

¹ 電気通信大学

² 北陸先端科学技術大学院大学



図 2 実験装置

これらの感覚提示要素の中で、特に「歩行スピード」、「前後左右への移動」、「方向転換」、「草の高さ」、「草の種類」の要素に着目し、「草が脚に当たる」感覚として提示可能かどうか検証する実験を行った。

2.1 実験方法

実験に使用した装置を図 2 に示す。この装置は、脚部に見立てた透明ポリエスチレンに靴を接着したもので、実際に草むらの中に入れることで脚部に接触する草の様子を、脚部の内側からの視点を透明部分を通してカメラで撮影することが可能である。本研究では、赤い円形の線より上の部分を脚部と見なした。

今回の実験において、この装置のつま先方向を前方とした草むら中の前後左右への水平移動と、歩行運動を再現した装置の運動（上げる、水平移動、下げるの繰り返し）による前後左右方向への移動を行い、その時の草の接触の様子を動画で撮影した。また、片足を軸としてもう片方の足を別の方向に伸ばしてその場で方向変換をする運動の再現のために、実験装置を草むら中で回転させるという運動を行った。これらすべての動作を速く行った場合と遅く行った場合を比較した。同じ動作を 4 回ずつ行い、各試行でカメラの設置位置を脚部の前後左右に変更して撮影した。なお、実験対象とした草むらは、草の丈が高い根生葉と茎生葉、草の丈が低い根生葉と茎生葉の計 4 種類の草が生息する場所である（図 1）。

2.2 実験結果

次に、実験結果を各動作ごとに示す。

2.2.1 前後左右それぞれの方向への移動

実験装置を前後左右に水平移動させた場合の脚部への草の当たり方は、根生葉、茎生葉共にほとんどの葉はまず脚部に緑が触れ、徐々に葉の表面または裏面を脚部へ向けながら接触面積を増やすというものであった。歩行運動を再現した実験装置の運動における脚部への草の当たり方は、実験装置を水平移動させた場合上記と同じ接触の仕方であり、上げる、下げるの動作を行った場合葉の表面あるいは裏面が接触し、徐々に接触面積を増やすというものであ

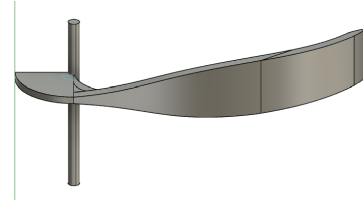


図 3 機構案

た。いずれの場合も接触した草は脚部に対して相対的に進行方向と逆の向きに移動し、葉が脚部から離れていくときは接触面積が徐々に減るのではなく、瞬間的にゼロになった。また、脚部のうち進行方向と逆側の部分は草との接触回数が極めて少なく接触時間が短いことと、前左右方向への移動のときは靴の前側が草を折り曲げるために接触回数が少ないことから、脚部の前側は前後左右どの方向への移動においても脚部の他部分より接触回数が少なかった。

2.2.2 回転運動（その場での方向転換）

根生葉、茎生葉共に靴の前側部分が草を折り曲げるので、脚部の回転方向側はその反対側に比べて草との接触回数が少なく、また接触時間が短かった。脚部への草の当たり方は前後左右への水平移動同様、最初に葉の緑が当たり、徐々に葉の面が触れていくことがほとんどであった。

2.2.3 実験装置を動かす速さによる結果の違い

すべての検証において、実験装置を速く動かした場合の動画の再生速度を遅くすることで、動かす速さによる結果の違いを確認したが、明確な差は見られなかった。

2.2.4 草の高さによる結果の違い

すべての検証において、根生葉、茎生葉は草の丈が高いほど脚部のより高い位置に草が触れるようになり、また接触面積が大きくなり、接触時間が長くなった。

2.3 考察

2 種類の草むらにおける前後左右への水平移動や歩行移動、その場での回転という動作は、脚部に対する草の接触回数や接触時間に差こそあれど、移動中の脚部に草が当たる感覚は、2 パターンである。1 つ目は足を上下に動かしているときに面形状の触覚が与えられるというもの。2 つ目は足を水平方向に移動させているときに線形状の触覚からシームレスに面形状の触覚が与えられるというものである。これらは、光合成を行うために葉の表面積が大きい面を上へ向けているためであると考えられる。また、回転に関しては草が当たる感覚及び接触する回数が少ない脚部の位置が横方向への水平移動と同じであり、向きを継続的に変えながら行われている横移動としてと認識してよいと考える。

3. 触覚提示への応用可能性

触覚提示への応用には、脚部に触れた瞬間は水平方向に

線形状であった葉の触覚が、葉が触れ続けているうちに面形状に変化していき、また葉が離れるときは瞬間的であるというシームレスな面積変化による触覚をデバイスにより再現する必要がある。これが実現できると、上下方向からの面形状の触覚の再現は容易であり、また歩行速度による触覚提示の違いは機構の実行速度によって解決できる。そこで、図3のような形状のものを肌に対して擦るように回転させるという手法を提案する。この形状は、線形状から面形状への移行をシームレスに行い、かつ徐々に湾曲が緩やかになることで脚部への接触面積がシームレスに増加することを可能としている。加えて、回転軸を線形状の部分に近い位置に置くことで、回転するのに応じて擦られている触覚を生み出しつつ、徐々に触れる位置が片方の方向に延びていくことで、葉が触れながら進行方向と逆向きに移動していく触覚の再現まで可能としている。この形状のものを複数個用意し、回転のスピードや回転軸の向きを変化させることで、移動スピードや前後左右といった移動方向の変化の触覚提示を行うことができると考える。

4. 展望

本研究では、草むら歩行時の脚に草が当たる感覚の提示手法を提案した。今後は触れる面のテクスチャや機構自体の素材を変更することで、葉の質感の再現を目指す。また、葉の形状や柔らかさ、濡れ具合などといった今回より細かな視点に立った分析を行い、その実装を行う。

参考文献

- [1] V. Y. Han, A. Boadi-Agyemang, Y. Lin, D. Lindlbauer, and A. Ion. Parametric Haptics: Versatile Geometry-Based Tactile Feedback Devices. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [2] Y. Masuda, T. Kikuchi, W. Kobayashi, T. Mitsumata, and S. Ohori. Design of unit for haptic device on foot. In *2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 1709–1714, 2012.
- [3] H. Son, I. Hwang, T.-H. Yang, S. Choi, S.-Y. Kim, and J. R. Kim. RealWalk: Haptic Shoes Using Actuated MR Fluid for Walking in VR. In *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 241–246, 2019.
- [4] 山岡 憲太郎, ヤエム ヴィボル, 雨宮 智浩, 北崎 充晃, 佐藤 誠, 池井 寧. 下肢運動提示による旋回歩行感覚特性に関する研究. 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. ROMBUNNO.1D2-5, 2020.