



なぎさんぽ

NagiSanpo

松尾 彰太¹⁾, 押見 洋士¹⁾, 窪田 太一¹⁾, 横路 海斗¹⁾, 磯山 直也¹⁾, 内山 英昭¹⁾, 清川 清¹⁾,
Shota MATSUO, Hiroto OSHIMI, Taichi KUBOTA, Kaito YOKORO, Naoya ISOYAMA, Hideaki UCHIYAMA, and
Kiyoshi KIYOKAWA

1) 奈良先端科学技術大学院大学 (〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, {matsuo.shota.mq3, oshimi.hiroto.og6, kubota.taichi.kr8, yokoro.kaito.yi3, isoyama, hideaki.uchiyama, kiyo} @is.naist.jp)

概要: コロナ禍による外出自粛に伴い、リモート会議や出前配達などの外出行為の代替となるサービスが流行した。しかし、旅行などの外出自体を楽しむ行為については、VR などを用いた視覚的体験が中心であり、そのシーン内を実際に歩いているような感覚の提示はできていない。また、足裏に感覚を提示する手法は既に提案されているが、シーンごとの単一の感覚提示に留まっている。そのため現状では、海岸などの、砂や海水といった複数の要因が感触を変化させるシーンへの適用の際に、提示される足裏感覚と理想的な足裏感覚の乖離を生む可能性が高い。そこで、浜の乾いた砂や波打ち際の水分を含んだ砂の触感とその変化を足裏に段階的に提示する手法を提案し、HMD による視覚情報の提示と組み合わせることで、自宅で海岸散歩を体験できるシステムを開発する。

キーワード: 感覚提示, 皮膚感覚, 人工現実感, バーチャルリアリティ

1. はじめに

2020 年は新型コロナウイルスの感染拡大による外出自粛により、リモート会議や出前配達など、外出を必要とする行為の代替となるサービスが流行した。しかし、これらのサービスは、旅行などの外出自体を楽しむことを目的とした行為には適用できない。この問題点に対する解決策として、人工現実感 (VR: Virtual Reality) を用いた仮想的な旅行や散歩体験が挙げられるが、VR を用いた体験は視覚情報の提示のみである。そのため、旅行や散歩体験といった、本来歩行を伴うシーンにおいて、歩行時の足裏感覚を提示しないため、その場にいる臨場感をあまり得ることができない。

この問題について、適切な足裏感覚を加えることでより臨場感が得られるのではないかと考えた。そこで我々は、「外出を目的とした行為」として考えられる具体例の中でも、1 シーン内で砂や水などの複数の要因により幅広い表現を求められる海岸散歩について、適切な足裏感覚の変化を提示し、自宅にいながら海岸散歩を体験できるシステム「なぎさんぽ」を提案する。

2. 関連研究

シーンに応じた地面の踏みしめ感覚の提示について、床面を踏みしめた時に足にかかる力を計測・推定し、土や

氷のような変形する地表を仮想環境で提示する手法が提案されている[1]。しかし、これらの床面を用いる手法では、床面デバイスがある場所のみでしか使用できないことや、広い範囲で使用することを考慮した場合、設備を整えるのに多くの費用や広い場所が必要になる問題がある。

この問題の解決策として、靴底に踏みしめ感覚を提示する機能を組み込んだ靴型デバイスが提案されている。靴型デバイスによる踏みしめ感覚を提示する機能を組み込むことで、場所に限定されることなく自由に歩き回ることができるため、床面を用いた手法に比べて手軽に扱いやすい利点がある。CEREVO 社が開発した Taclim [2]では、音声データから生成した振動パターンにより、砂や芝の感覚を表現する方法が採用されている。Snow Walking [3] では、雪の上を歩いている感覚を提示するデバイスを提案している。このデバイスでは、スライダ機構を用いて、垂直方向の感覚を再現している。また、Real Walk[4]では、磁気流体を用いて、地面の形や触感を再現するデバイスを提案している。しかし、これらの靴型デバイスでは、段階的に踏みしめ感覚が変化するシーンについては考慮されておらず、表現可能なシーンが制限される問題がある。

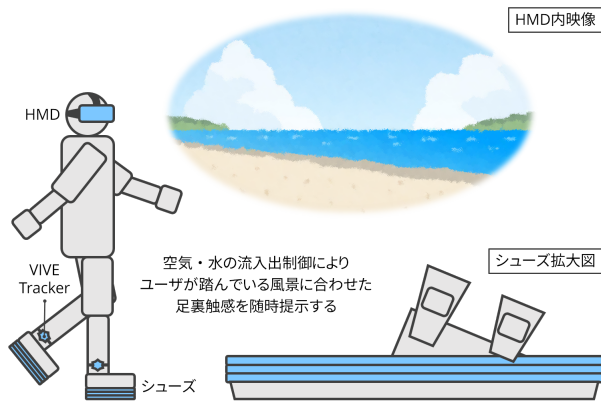


図1 完成イメージ

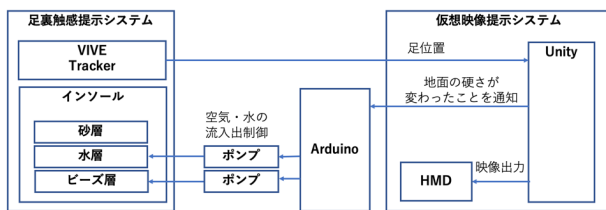


図2 システム構成図

3. 提案システム

我々は、1シーン内で段階的な感覚の変化が生じる「海岸において砂浜から波打ち際へ向かって歩く」シーンに着目し、自宅にいながら海岸散歩を体験できるシステムを提案する。段階的に踏みしめ感覚が変化するシステムを実現するために、提案システムは図1のように、仮想映像提示システムと足裏触感提示システムの2つのシステムで構成される。仮想映像提示システムでは、バーチャル空間上に作成した海岸の視覚的提示を行う。また、足裏触感提示システムでは、3層の異なる素材のインソールによる踏みしめ感覚の再現を行う。

ユーザは視覚的体験をするための頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mount Display) と、踏みしめ感覚を再現するための足裏感覚提示デバイス (以降シューズと表記) を装着する。HMDには、バーチャル空間上に作成された海岸が表示される。バーチャル空間上は移動が可能で、バーチャル空間上に存在する砂や水混じりの砂、海中の砂上をユーザが移動した際に、それぞれの上を歩いているような感覚をシューズから提示する。シューズは砂層、水層、ビーズ層の3層から構成されており、層ごとに空気や水の流入出を変化させ、段階的に異なる触感を足裏に提示する。

3.1 システム構成

提案システムの構成図を図2に示す。システムは、利用者に視覚的情報を提示する仮想映像提示システムと、足裏に歩いている感覚を提示する足裏触感提示システムで構成される。2つのシステムの通信には、Arduinoを用いる。足裏触感提示システム上のVIVE Trackerを用いてユーザの足の位置を取得し、取得した足の位置に合わせて、仮想映像提示システムのUnity上に作成したバーチャル

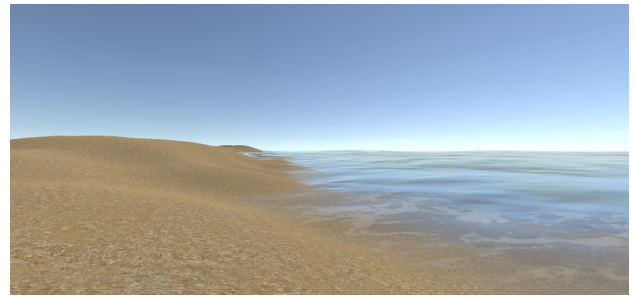


図3 海岸シーンサンプル

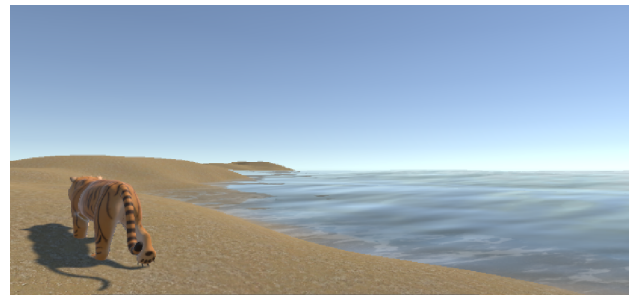


図4 海岸シーンサンプル (ペット表示)

空間に存在する足の位置が変化する。また、バーチャル空間上の足がどこにあるかをArduinoに通知し、ポンプの制御を行う。Arduinoはポンプを介して空気、水の流入出制御を行い、足裏触感提示システム上のインソールの硬さを変化させることで足裏感覚を再現する。

3.2 仮想映像提示システム

提案システムでは、海岸散歩体験をする際、視覚情報をユーザに提示するために、図3のような海岸シーンを、HMDを介してユーザに提示する。足裏触感提示システムに組み込まれたVIVE Trackerから、現実空間上の足の位置を取得し、バーチャル空間上の足の位置と同期させる。また、バーチャル空間上に存在する砂や水混じりの砂、海中の砂上で移動した際、それぞれの上を歩いているような感覚を提示するために、バーチャル空間上の足が地面に触れたことを検知し、そこが海と砂浜の境界部からどのくらいの距離にあるかを算出しArduinoに通知する。

作品を展示する際のスペースを考慮した際、ユーザの移動可能範囲には制限が生じる問題がある。この問題について私たちは、自然にユーザを誘導する必要があると考えた。そこで本システムでは、ユーザを誘導するキャラクターを追加することで、空間の制限を意識させない形で誘導が可能になると考え、図4のようにユーザがペットを散歩させているという設定を追加した。将来的にはリードをつけるなどの効果的な誘導の手法を検討する。

3.3 足裏触感提示システム

砂浜の足裏感覚の段階的な再現のため、シューズのインソールを砂層・水層・ビーズ層の3層で構成する。層を分けることで、層ごとに空気や水の流入出による、段階的な踏みしめ感覚の変化を実現する。



図5 TPU フィルムによる足裏素材サンプル



図6 筒状シリコンの作成サンプル



図7 シリコン素材による足裏素材サンプル

各層の役割は以下の通りである。

- ・ビーズ層：踏み込みの奥行の再現，空気の量で密度を調整し，地面の硬さを表現する
- ・砂層：実際の砂の表面の触感の再現
- ・水層：水混じりの砂を踏みしめた触感の再現

層を形成する袋状素材には複数候補があり，プロトタイプにおいては TPU フィルムを溶着することで作成する方式と，シリコンを袋状に形成する方式について試作と試験を行っている。実際に作成した，TPU フィルムによるインソールのサンプルを図5に示す。体重をかけた踏みつけによる耐荷重試験を行った結果，溶着のみの TPU フィルムでは体重を支えることが難しいことが分かった。また，伸縮する素材ではないため，粒の触感を表現できないこと

が確認できた。

袋状に成形したシリコンを図6，作成した各層のサンプルを図7に示す。ビーズ層に対して TPU フィルムと同様の耐荷重試験を行った結果，ビーズ層の耐久性については良好であった。結果から，少なくとも3分間の体験には耐えることができると考えられる。また，袋状に成形したシリコンは均一に膨張するため，TPU フィルムに比べて破裂しづらいほか，粒の触感が伝わりやすいことが確認できた。プロトタイプ作成時点において，触感の再現，素材の耐久性の観点から考えると，シリコン素材は層を形成する袋状素材として優れていた。しかし，シリコン素材には型の造形が難しいという問題点があることに加え，厚みや型についても調整の余地が大きいいため，より多くの検証が必要と考える。

4. 評価方法

体験の臨場感と本システムの特徴である段階的な表現の変化について，アンケート調査による効果と完成度の評価を行う。実験では被験者に乾いた砂から波打ち際（水中の砂）まで歩いてもらう。その際に4パターンの感覚提示を行う。それぞれのパターンを以下に示す。

- (1) 乾いた砂の感覚（ビーズ層に空気を注入した状態）
 - (2) 水混じりの砂の感覚（ビーズ層の空気を抜き，水層の水を注入した状態）
 - (3) 水中の砂の感覚（ビーズ層に空気を注入し，水層の水を注入した状態）
 - (4) (1)~(3) が連続的に変化する感覚
- それぞれのパターンについて歩行感覚の評価を行い，(1)~(3)の単一の足裏感覚のパターンと(4)の段階的に変化するパターンを比較する。(4)の評価が最も高ければ，連続的な感覚表現を実現できていると判断する。

5. まとめ

本企画では，段階的に足裏の感覚が変化させることに着目し，自宅にしながら海岸散策ができるシステムを提案した。従来手法では，1シーンごとに指定されたパターンの感覚を提示するのみであったが，提案手法では，シーン内で連続して変化する感覚の提示を可能にした。今回は海岸散歩というシーンに限定したが，提案手法の応用により，街中散歩やゲームなどの様々な場面において，足裏に提示できる感覚の幅がより広がることを期待する。

参考文献

- [1] Yon Visell, Alvin Law, Jessica Ip, Rishi Rajalingham, Severin Smith, Jeremy R. Cooperstock McGill University, Montreal, Canada, "Interaction Capture in Immersive Virtual Environments via an Intelligent Floor Surface", IEEE Virtual Reality Conference 2010, (2010).

- [2] CERVO, "Taclim", 2018年1月10日(最終閲覧日:5月31日), <https://taclim.cerevo.com>.
- [3] Tomohiro Yokota, Motohiro Ohtake, Yukihiro Nishimura, Toshiya Yui, Rico Uchikura, and Tomoko Hashida, "Snow walking: Motion-limiting device that reproduces the experience of walking in deep snow," in Proc. 6th Augmented Human Int., pp. 45-48, (2015).
- [4] Tae-Heon Yang, Hyunki Son, Sangkyu Byeon, Hyunjae Gil, Inwook Hwang, Gwanghyun Jo, Seungmoon Choi, Sang-Youn Kim, and Jin Ryong Kim, "Magnetorheological Fluid Haptic Shoes for Walking in VR," IEEE Transactions on Haptics, vol. 14, no. 1, pp. 83-94, (2021).