



Vivid Ground Generator

— VR 空間を足から堪能するハプティクス —

Vivid Ground Generator

— Haptics to enjoy VR space with feet —

澤橋龍之介¹⁾, 増田大貴¹⁾, 小松丈也¹⁾, 石田裕己¹⁾, 清水大雅¹⁾, 大島熙恭¹⁾

Ryunosuke SAWAHASHI, Taiki MASUDA, Jonah KOMATSU,

Yuki ISHIDA, Taiga SHIMIZU and Hirochika OSHIMA

1) 中央大学 理工学部 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, r_sawahashi@bio.mech.chuo-u.ac.jp)

概要: VR 空間において落下感覚や地面感覚に対して力覚フィードバックを加えることによりユーザエクスペリエンスを向上させる装着型下肢力覚提示装置 “Vivid Ground Generator” を開発する. 本装置は, 外骨格部と靴部から構成されている. 外骨格部分により, 水中歩行時の抵抗力を与えることができる. また, 靴装置によりユーザは自由に歩き回ることができ, 地面感覚や落下感覚を提示可能にする. 本企画では, エンターテインメントとして 3D 横スクロールアクションゲームを構築し提案装置を適応する.

キーワード: 落下感覚, 地面感覚, ハプティクス, VR

1. はじめに

近年, VR 技術が発展しており, ヘッドマウントディスプレイ (以下, HMD) を用いることによりユーザは没入感の高い VR 体験が可能となった. しかし, HMD のみでは, 現実世界と同様の触力覚を得られない. そこで, VR 体験の没入感の向上のため, 力覚提示装置の開発が進んでいる.

一般的な力覚提示装置は上肢を対象としたものが多く, 環境設置型や装着型な多種多様なタイプの力覚提示装置が開発されている[1][2][3][4][5][6]. しかし, 現実空間において人間は上肢だけではなく下肢からも力覚を得ている. このため, 下肢に力覚提示を行えば, 上肢への力覚提示だけでは実現できない体験が可能となる. 上肢への力覚提示は主に物体を押したり, つぶしたりするような感覚の提示である. それに対して, 下肢に対する力覚を提示は, ユーザの自重のサポートや, 地面の環境とユーザの身体との相互力の提示など, 重力に起因した感覚が重要になると考える. このような感覚を装置によって実現することにより, エンターテインメントや VR 職業訓練の分野において, より高い現実感や臨場感が得られるだけでなく, より効果的な高所作業者の危険予測教習などへの応用が期待できる.

本企画の目的は, 靴型力覚提示装置 “Vivid Ground

Generator” を開発し, VR 空間において落下感覚や地面感覚に対して力覚フィードバックを加えることにより, ユーザエクスペリエンスを向上させることである. 今回は, エンターテインメントとして 3D 横スクロールアクションゲームを構築し適応する.

2. VR 空間における下肢力覚提示システム

2.1 システム構成

本企画で使用しているシステム構成図を図 1 に示す. VR 映像部と靴型力覚提示装置 “Vivid Ground Generator” の 2 つのシステムから構成しており, 2 つのシステムを TCP 通信によって接続している.

2.2 デモンストレーション環境

デモンストレーション環境を図 2 に示す. ユーザは HMD, Vivid Ground Generator とポジショントラッキング機器(VIVE Tracker)を装着する. ユーザの下肢の位置姿勢は HTC 社のトラッキングシステムにより取得する. ユーザの聴覚刺激については, VR 映像内で BGM を流したり,

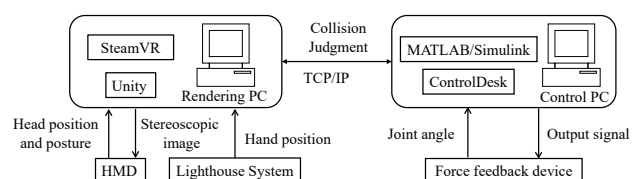


図 1: システム構成

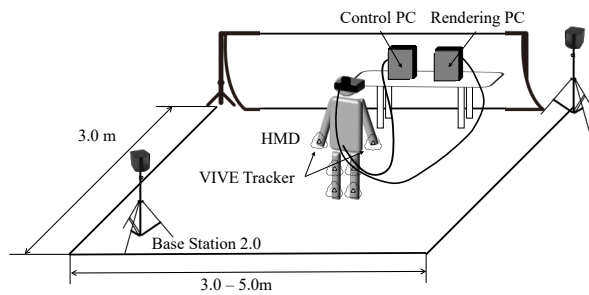


図 2: VR 環境

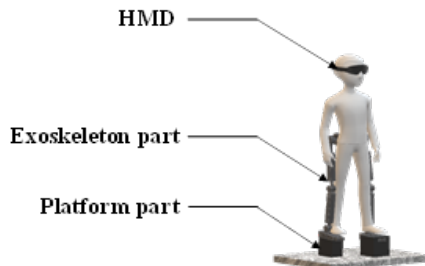


図 3: 下肢装着型力覚提示装置コンセプト



図 4: 靴装置 (MR 型)

ノイズキャンセリングイヤホンを使用したりすることにより、エアコンプレッサ等の外部騒音を遮断する。

2.3 装着型下肢力覚提示装置 Vivid Ground Generator

装着型下肢力覚提示装置の構想を図 3 に示す。本装置は、外骨格部と靴部に分かれている。外骨格部分により、水中歩行時の抵抗力のようにユーザの大腿部や膝関節に抵抗力を与えることができる。また、足底部分は靴のように装着することでユーザは自由に歩き回ることができ、ユーザの足底に力覚を与えることで泥濘や雪の上といった路面状態の上の歩行感覚や落下感覚を提示可能にする。

2.3.1 靴装置

図 4 に示す靴型の装置はアクチュエータとリンク機構により構成する。アクチュエータとしては、磁気粘性流体ブレーキ(MR ブレーキ)およびエアパッドを使用する予定である。また、歩きやすさを考慮してエアシリンダやそれらの複合アクチュエータにより実現する。MR ブレーキはパッシブなブレーキ力を発生する。そのため、落下感覚のみの提示ではこれだけで済む。しかし昇降させる場合は上に足底を持ち上げるためのアクチュエータが必要となる。そのため、エアパッドやエアシリンダといっ

た出力密度の高いアクチュエータを採用する必要がある。



図 5: 外骨格装置

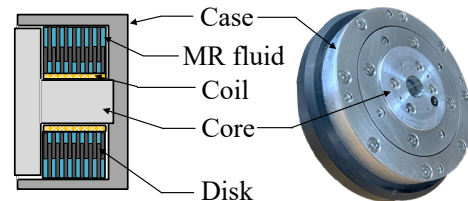


図 6: MR ブレーキの内部構造と外観

2.3.2 外骨格

外骨格装置の外観を図 5 に示す。外骨格装置には膝部と股部があり、どちらの駆動軸にも MR ブレーキを採用している。動作に対するブレーキ力を提示するため、下肢関節の動作速度が大きいほど関節にかかるトルクを大きくしてユーザが身体を動かしにくくするなどの力覚提示が可能である。

2.3.3 磁気粘性流体ブレーキ

磁気粘性流体ブレーキ (以下、MR ブレーキ) の外形図と内部構造を図 6 に示す。磁気粘性流体は磁場を印加することで見かけの粘性が変化する機能性流体である。このため、MR ブレーキにはトルク制御が可能という特徴がある。また、数十ミリ秒単位の応答速度[7]をもつため、VR 映像と力覚提示との遅延が小さく、高出力密度なため小型の装着型装置に適している。

3. 感覚提示手法

3.1 落下感覚

落下感覚提示について、現実空間での落下感覚と同様の落下感覚を仮想空間で実現するには、装置で提示する降下加速度、降下速度、降下高さ等の条件を現実空間における条件と一致させるのが望ましい。しかし、その条件を満たすためには、装置の巨大化に加え、ユーザの危険も増すため、ユーザが装着し仮想体験をするための装置には適さない。そこで、装置で提示する降下パラメータが現実空間と異なる条件下でもユーザに落下感覚を与えるために、バクシオン効果[8][9]と図 7 に示す加速度デザインにより実現する。

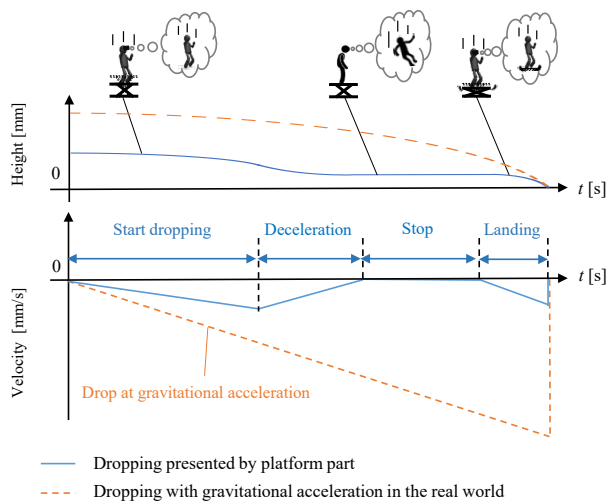


図 7: 下肢力覚提示装置による降下速度のコンセプト

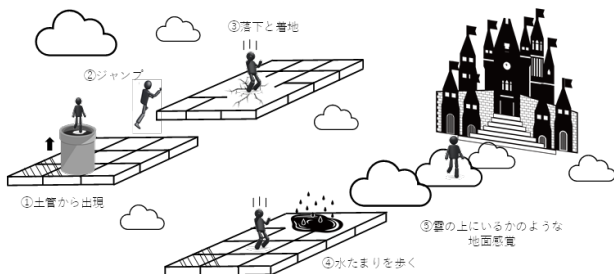


図 8: VR 空間のイメージ図

3.2 地面感覚

3.2.1 水中感覚

水中で身体を動作する場合、水の粘性力と水と接触している身体領域との相互関係を考慮する必要がある。今回は、下肢がどれだけ水中に沈みこんでいるか、その深さと動作速度を基準に抵抗力を算出し、その力に応じた関節トルクを外骨格装置によりユーザの関節に提示する。

3.2.2 雲の上にいるような感覚

雲の上にいる感覚は現実では味わうことのできない感覚である。現在空気の少し抜けたバランスボールに乗る感覚を用いることでこの感覚を表現できると想定している。そのため、空気圧ボールの持つ粘弾性特性を外骨格装置と靴装置により提示し、浮いている感覚を表現する。

4. デモンストレーションの概要

VR 映像側の完成予想図を図 8 に示す。空中にガラスでできた通路があり、上部と下部の 2 つのフロアから構成している。ユーザはスタート (土管) からゴール (城) を目指して進んで行く。

各アクションの詳細な動作とそのときの装置駆動につ

いて以下に示す。

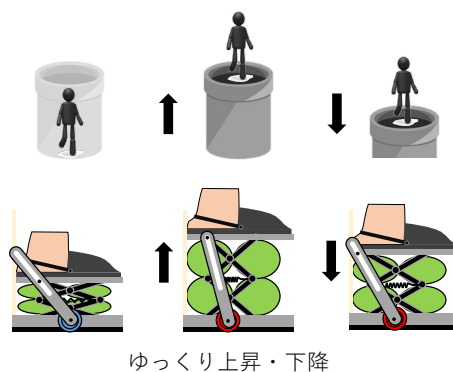


図 9: 土管から出現するときの装置駆動図

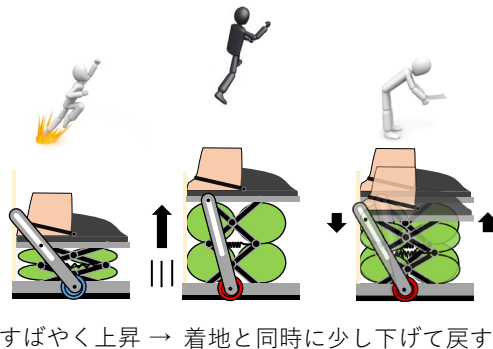


図 10: ジャンプ時の装置駆動図

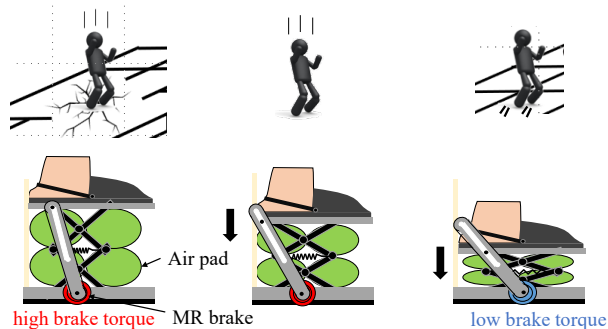


図 11: 落下と着地時の装置駆動図

- ① 土管から出現

図 9 に土管から出現した際のユーザの動作と装置駆動のイメージ図を示す。コンテンツは土管の中からスタートする。足元に板があり、ユーザはその板と共に上昇し、土管の外側に出現する。
- ② ジャンプ

図 10 にジャンプした際のユーザの動作と装置駆動のイメージ図を示す。通路に隙間が空いた場所があり、そこをジャンプして通り抜ける。
- ③ 落下と着地

通路を歩いていると、突然床が割れて落下する。そして 3 秒ほどの落下時間を経て下部フロアに着地する。

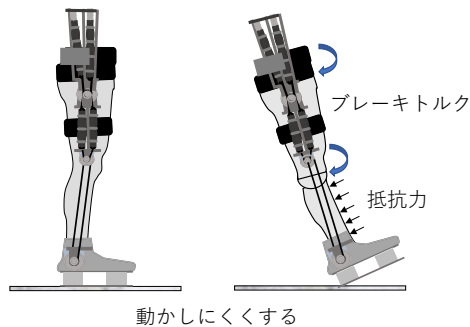


図 12: 水中歩行時の装置駆動図

④ 水中を歩く

コンテンツ上で雨が降り始め、ユーザの歩く先に 20cm ほどの深い水たまりが出来上がる。水中を歩くことになるので、粘性力がはたらくため、歩きにくくなる。

⑤ 雲の上にいるような地面感覚

最後に、雲が連なってできた通路を進む。現実では雲の上に乗ることはできないが、MR ブレーキの見かけ上の粘性や空気の圧縮性を利用してふわふわした感覚を再現する。

5. むすび

VR 空間において落下感覚や地面感覚に対して力覚フィードバックを加えることによりユーザエクスペリエンスを向上させる装着型下肢力覚提示装置 ” Vivid Ground Generator” の構想と力覚提示手法の概要を述べた。

本装置により 3D 横スクロールアクションにおける 5 つの動作に対して力覚提示を行い、没入感を高めることができると推測する。

また、落下や着地動作においては外骨格装置も駆動させることにより動作から得られる没入感の向上に繋がると考える。組み合わせ方についても実験を通して考察する。

参考文献

[1] Y. Onozuka, R. Suzuki, Y. Yamada, T. Nakamura, "An

Exoskeleton Type 4-DOF Force Feedback Device Using Magnetorheological Fluid Clutches and Artificial Muscles," Proc. of 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics2018, pp. 869-874.

- [2] D. Wang, M. Song, A. Naqash, Y. Zheng, W. Xu, Y. Zhang "Toward Whole-Hand Kinesthetic Feedback: A Survey of Force Feedback Gloves", IEEE Trans. Haptics, vol. 12, no. 2, pp.189-204, April-June. 2019.
- [3] B. Lim, K. Kim, D. Hwang, "On the Design of the 5-DoF Finger-wearable Cutaneous Haptic Device", 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Dec. 2017
- [4] X. Gu, Y. Zhang, W. Sun, Y. Bian, D. Zhou, and P. O. Kristensson "Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR," 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, 2016, pp.1991-1995.
- [5] J. E. Deutsch, R. F. Boian, J. A. Lewis, G. C. Burdea, "Haptic Effects Modulate Kinetics of Gait but not Experience of Realism in a Virtual Reality Walking Simulator", 2008 Virtual Rehabilitation, September 2008
- [6] D. Schmidt, R. Kovacs, V. Mehta, U. Umaphathi, S. Köhler, L. Cheng, P. Baudisch "Level-Ups: Motorized Stilts that Simulate Stair Steps in Virtual Reality", Proceedings of CHI 2015.
- [7] B. J. Park, C. W. Park, S. W. Yang, H. M. Kim, H. J. Choi, "Core-Shell Typed Polymer Coated-Carbonyl Iron Suspension and Their Magnetorheology", ERM08, p.102, 2008.
- [8] L. Harris, M. Jenkin, D. Zikovitz, "Vestibular cues and virtual environments:choosing the magnitude of the vestibular cue", Proceedings IEEE Virtual Reality, March. 1999
- [9] J. Freiberg, T. Grechkin, B. Riecke, "Poster: Do walking motions enhance visually induced self-motion illusions in virtual reality?", 2013 IEEE Virtual Reality (VR), March. 2013