



立位着座可能なアシストスーツを用いた疲労感の少ない VR 歩行 インターフェースの開発

吉田翼¹⁾, 川島嵩之²⁾, 杉上雄紀¹⁾, 雨宮智浩¹⁾, 鳴海拓志¹⁾

1) 東京大学 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {tsubasa, amemiya, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp, yuki.sugiue@hnl.t.u-tokyo.ac.jp)

2) 一般社団法人 Ignite Your Ambition (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 2 号館 7 階 71D4, info.23on2@ignite-your-ambition.com)

概要: VR 空間内の歩行では VR 酔いと空間的制約の解消を目指してきたが、既存手法は VR 酔いの抑制や長時間の体験において疲労しやすいという課題がある。そこで、本研究では立位のまま着座可能なアシストスーツを用いた歩行インターフェースを提案する。重心移動により移動、回転とジャンプが可能なインターフェースを実現し、従来の手法と比較して疲労度および VR 酔い、操作性を評価する実験計画を示す。

キーワード: ロコモーションインターフェース, アシストスーツ, 立位, VR 歩行

1. 序論

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の使用において、空間的制約を回避しながら VR 酔いを引き起こさずに連続的な歩行を行うことは課題とされてきた。ルームスケールベースの実際に歩く手法は VR 酔いが発生しにくい反面、移動に物理的な制約を受ける。一方、ルームスケールを使用しない手法では空間的な制約を受けない反面、VR 酔いが発生しやすく不快感を伴う VR 体験になってしまう。

この課題を解消するため、VR 空間における移動 (VR locomotion) の研究ではこれまで多くの手法が検討されてきた。具体的には、トレッドミル [1] を用いたものや視触覚インタラクションを用いた Redirected Walking[2]、振動刺激や身体揺動で疑似的に歩行感覚を再現するもの [3, 4] などが挙げられる。これらの多くは実際の空間の移動なしに歩行感覚を与えるもので、視覚から与えられる自己運動感覚 (ベクション) と合致するような身体感覚を起こすことを目的としている。

一方で、これらの歩行インターフェースには VR 酔いの他に、移動する際の重心の不安定感や長時間の体験時の疲労といった課題がある。この課題は消費者が長時間の VR 体験を快適に楽しむ上で重要な課題であり、エンタテインメントの他にも教育現場や観光といった分野で活用が進む HMD にとっても、この課題の解決は新たなコンテンツの可能性を切り拓くと考えられる。

そこで本研究では、長時間の VR 体験に耐えうる疲労感の少ない歩行インターフェースを開発することを目的に、下肢を支える機能を持つアシストスーツに着目し、VR 酔いと疲労を低減できる歩行インターフェースを開発する。

2. 関連研究

Boletsis (2017) は、2014 年から 2017 年までの実証研究を対象としたシステマティックレビューに基づいて、VR locomotion の手法をモーションベース、ルームスケールベース、コントローラーベース、テレポートベースの 4 つの明確な類型に分類することを提案している [5]。本章ではこれらの分類のうち、連続的な移動を実現する手法であり、空間的制約と VR 酔いの両方を解消しようとする手法としてモーションベースに分類される研究について取り上げ、これらと比較した本研究の意義について述べる。

2.1 立位 Walk-In-Place 型 VR 歩行インターフェース

立位姿勢でのモーションベース型 VR 歩行インターフェースとしては、Wilson らの Myo アームバンドを活用したシステムなどが挙げられる [6]。このシステムは慣性計測装置 (IMU) を搭載した Myo アームバンドを足首に装着し、IMU のデータをもとに足踏みを検出し、VR 空間内での移動操作を行えるようにするシステムである。このシステムは大規模な装置なしに VR 酔いを軽減可能であるが、長時間の体験における疲労や、速度の制御が難しいといった課題が残されている。

また、商業の分野では Virtuix 社の Omni One や KAT VR 社の KatWalk などが展開されている。これらは全方向トレッドミルの上で足を滑らせることにより足踏み移動をより歩行に近い動作に落とし込むことを可能にしているが、同様に疲労ゆえに長時間の体験には不向きであることが課題となっており、またハーネスや腰部につけるサポーターでは重心の安定性が不十分であるという課題も抱えている。

2.2 着座重心移動型 VR 歩行インターフェース

着座姿勢で身体動作をもとに VR 歩行を行うモーションベース型 VR 歩行インターフェースとして、Kitson らの

表 1: 立位型と着座型の効果と課題

	立位型	着座型
VR 酔いの低減	○	△
移動速度の操作性	△	×
長時間の体験における快適性	×	○
重心の安定性	×	○

SwivelChair が挙げられる [7]。これはオフィスチェアを前後に傾けて移動を行い、左右に回転させることで方向転換が可能な VR 歩行インターフェースである。SwivelChair は椅子の快適性を備えつつ、前後の重心移動が前後移動に直感的に対応しており VR 酔いを低減する効果がある。一方で、移動における速度の調整が難しいという操作精度上の課題や意図せず傾きによる入力を行ってしまう問題、前後の傾きで移動する際の静止点が分かりにくいといった課題が残されている。また、回転に際しては「左右に動くと少し気分が悪くなる。気分が悪くならないように回転するときは目を閉じようとする」といった VR 酔いを引き起こしたケースも報告されている。回転時に視覚から生じる回転ベクションは VR 酔いに強く影響することが知られているが、Zielasko らが指摘する通り [8]、着座姿勢での体験では立位に比べ頻繁に仮想的な回転が必要となることで VR 酔いの生起に繋がることが示唆されている。

2.3 本研究の意義

前述の通り、これまでのモーションベースの VR 歩行インターフェースに関する研究では、モーションベースの手法により一定程度 VR 酔いの低減を実現している。一方、立位型と着座型という姿勢別に整理するとこれらの歩行インターフェースはそれぞれ以下の表 1 のような課題を抱えている。

このように、立位型では長時間の体験における疲労と重心の不安定性、着座型では意図しない操作検出といった移動速度の操作性とそれに伴う VR 酔いの低減効果に課題が残されている。これを踏まえ、本研究では立位姿勢のまま着座姿勢と同様に重心を支えることが可能なアシストスーツを用いて、立位と着座を切り替えつつ重心移動によって移動入力を行える VR 歩行インターフェースを開発する。これにより、VR 酔いの低減効果と操作精度、長時間の体験における快適性および重心の安定性を同時に解消することを目指す。

3. システム構成

本研究では、一般的なロコモーション動作を備えたインターフェースとして、以下の機能を持つ VR 歩行インターフェースを開発する。

- 水平方向の重心移動による前後移動
- 腰部回転による左右回転



図 1: アシストスーツ アルケリス FX を用いた立位着座姿勢

● 垂直方向の重心移動による跳躍

本研究では、下肢を支える機能を持つアシストスーツとして、アルケリス株式会社が製造・販売している「アルケリス FX スティックタイプ」を用いる。このアシストスーツは膝部分と大腿部背側にサポーターが付いており、着用状態で屈伸を行い重心を下ろすと、中腰姿勢のまま着座したような安定感が得られ、立位着座姿勢になることが可能となっている。本稿で提案するシステムは、このアシストスーツをベースに Bluetooth 通信および制御を担う M5Stack およびセンサを装着することで VR 歩行インターフェースとするものである。

3.1 水平方向の重心移動による前後移動前後移動

本システムでは、膝部と大腿部のサポーターにかかる圧力と膝部の回転角・加速度を用いて前後の移動を行う。具体的には、片足を身体の正面方向に出している姿勢で前方に体重をかけることで前方に移動し、後ろ側の足に体重をかけることで後方に移動する。前後の足にかかる体重のバランスを変えることで移動速度の強弱を調節することが可能で、サポーターを使用せずに両足で身体を支え切ると完全に静止することが可能である。なお、使用者の体重や足の開き方、骨格によってセンサ値が変わってしまうことを防ぐため、キャリブレーションにより移動速度は調整される。

3.2 腰部回転による左右回転

本システムは進行方向を変更するための回転機能を備えている。VR 酔いを防ぐため、装着者自身が立位姿勢になり身体を左右に回転させることが望ましいが、素早く進行方向を変える際には回転の機能を使用することができる。回転の際には腰部を素早くひねることで捻った方向に回転する。これは腰部に取り付けられた IMU で実現されており、角速度が閾値を超えた際に回転する。



図 2: アシストスーツに取り付けられたセンサおよび制御用 M5Stack

3.3 垂直方向の重心移動による跳躍

本システムは、既存の歩行インターフェースが備える移動と回転の機能に加えて、跳躍機能を備えている。この機能はアシストスーツの持つ重心支持機構を活用したもので、装着者が重心を下ろし立位着座姿勢になった後、素早く身体を持ち上げ立位姿勢に移ることで跳躍することが可能である。予備実験の結果、VR 空間内での跳躍の距離は 20 m 程度まで違和感なく跳躍可能で、跳躍の距離よりも跳躍時の移動パターンが VR 酔いの生起に関係している可能性が示唆されている。

4. 結論

本稿では、下肢を支える機能を持つアシストスーツを用いた VR 酔いと疲労を低減できる歩行インターフェースを提案した。提案システムは立位姿勢のまま着座姿勢と同様の体重支持が可能であり、またその機構を利用した安定した重心移動が可能である。これにより、立位姿勢でも安全性を確保しつつ、疲労感と VR 酔いの低減が可能であると考えられる。

今後はコントローラのスティックを用いた移動と着座重心移動型インターフェースを用いた移動との比較実験を行い、

提案システムの有用性に関する検証と立位姿勢が VR 酔いに及ぼす影響について調査を行う予定である。

謝辞 本研究は、アルケリス株式会社および JSPS 科研費 (25K03162) の支援を受けた。機材提供のご協力を頂いたアルケリス株式会社・代表取締役 藤澤秀行氏、外岡学志氏に深謝の意を表します。

参考文献

- [1] Sanghun Pyo, Hosu Lee, and Jungwon Yoon. Development of a novel omnidirectional treadmill-based locomotion interface device with running capability. *Applied Sciences*, Vol. 11, p. 4223, 05 2021.
- [2] Qi Sun, Anjul Patney, Li-Yi Wei, Omer Shapira, Jingwan Lu, Paul Asente, Suwen Zhu, Morgan Mcguire, David Luebke, and Arie Kaufman. Towards virtual reality infinite walking: dynamic saccadic redirection. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 37, No. 4, July 2018.
- [3] 雨宮智浩, 北崎充晃, 池井寧. 上下揺と旋回の受動的身体揺動による疑似歩行感覚の生成. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 4, pp. 371–376, 2019.
- [4] Tomohiro Amemiya, Yasushi Ikei, and Michiteru Kitazaki. Remapping peripersonal space by using foot-sole vibrations without any body movement. *Psychological science*, Vol. 30, No. 10, pp. 1522–1532, October 2019.
- [5] Costas Boletsis. The new era of virtual reality locomotion: A systematic literature review of techniques and a proposed typology. *Multimodal Technologies and Interaction*, Vol. 1, No. 4, 2017.
- [6] Preston Wilson, William Kalescky, Ansel MacLaughlin, and Betsy Williams. Vr locomotion: walking $\hat{z}$ walking in place $\hat{z}$ arm swinging. pp. 243–249, 12 2016.
- [7] Alexandra Kitson, Abraham Hashemian, Ekaterina Stepanova, Ernst Kruijff, and Bernhard Riecke. Lean into it: Exploring leaning-based motion cueing interfaces for virtual reality movement. pp. 215–216, 01 2017.
- [8] Daniel Zielasko and Bernhard Riecke. Sitting or standing in vr: About comfort, conflicts, and hazards. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 44, , 02 2024.