



# 直進型トレッドミルによる Locomotion-Interface の評価

Evaluation of Locomotion-Interface with Straight-Walking Treadmill

阪下凌大<sup>1)</sup>, 田中久弥<sup>1)</sup>

Ryota Sakashita, Hisaya TANAKA

1) 工学院大学大学院 工学研究科 情報学専攻 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-27-2, em18003@ns.kogakuin.ac.jp)

**概要:**我々は直進歩行型トレッドミルと肩回転を用いた Locomotion-Interface (LI) を開発している。このシステムを用いて座位姿勢、足踏み姿勢、歩行姿勢で実験を行い、酔いと臨場感を評価した。また、それぞれの姿勢で肩回転とコントローラの条件で実験した。その結果、被験者 6 名が座位姿勢でコントローラ操作を行った場合、SSQ のトータルスコアで約 13 点、トレッドミル上歩行で肩の回転での制御は約 4 点であったため、提案 LI は酔いにくいことが示された。また、IPQ は Space Presence 要素で約 4.2 点、Real 要素で約 3.0 点を得られ、高い臨場感を得られることもわかった。  
**キーワード:** HMD, スポーツ・健康

## 1. 序論

近年の VR コンテンツの発展が見られると共に、VR 酔いの研究も盛んに行われている。VR 酔いとは車酔いに似た症状で、目眩、吐き気などの症状が見られる<sup>(1)</sup>。この症状の発生頻度や症状の程度は個人差があり、酔いが発生しやすい個人は VR コンテンツの利用を控えることがある。しかしながら、今後教育や業務、防災などの VR コンテンツの利用が日常で求められる際には、コンテンツ自体が VR 酔いに考慮されている必要がある。VR 酔いは現実の動作と VR の視覚刺激との矛盾により発生しやすいため、VR コンテンツの視覚刺激と身体感覚情報の統合を助け、臨場感を向上させることで VR 酔いの発生可能性を抑えられると考えられている[1]。

VR コンテンツの視覚刺激と身体感覚情報との統合を助けるインターフェースのうち、特に歩行動作に特化した装置を歩行感覚提示装置 (Locomotion-Interface : LI) と呼ぶ。LI はユーザが自身の歩行動作によって仮想空間の移動感覚を得る装置である[2]。

我々は直進型トレッドミルを利用した LI を開発した。コントローラや定点歩行動作型の LI と比べて、実際に歩く行為があるので身体感覚が実際の歩行に近い。それ故、高い臨場感を得られるため、視覚刺激と身体感覚情報との少なくなると考えた。またこのシステムは実歩行型と比べて、歩行に必要とされる使用空間が少なく済む利点がある。

このシステムの課題は、直進歩行しか出来ないため、操作自由度が低い事であった。そこで我々は、肩の回転の Yaw 軸回転量を計測し、仮想環境 (Virtual Environment: VE) の左右歩行制御に利用した[3][4]。このシステムの酔いを

Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)を利用して評価したところ、被験者全体で 48 点満点中約 6 点を得られ、比較的低い数値だったため、酔いにくい事が示された。

しかしながら、一般的なコントローラ並びに、座位、足踏みなどの制御姿勢と比較していない為、優位性が不明瞭であった[5][6]。そこで他の LI システムを再現し、それらを提案 LI と比較して酔いの程度や臨場感の優位性を評価した。また、酔いの程度を示す SSQ だけでは臨場感の評価をする事は困難である為、臨場感を正確に表現できる指標を利用する必要がある。

そこでこれらの課題を踏まえ、本研究では評価指標に Igroup Presence Questionnaire(IPQ)を加えることで、臨場感の評価を行う。また、他の LI として、座位姿勢と足踏み姿勢との比較を行う事で、歩行姿勢の違いによって臨場感や酔いにどのような影響を与えるのか考察する。

## 2. Linear-Locomotion-Interface システムの概要

### 2.1 実験システム

先行研究では、肩の回転量を利用した直進型 LI を開発した。図 1 に LI のシステム構成図を示す。被験者が装着している Oculus 社の Head Mounted Display (HMD) に内蔵されている加速度センサが頭部の回転情報を PC に送り、VE 上の視点の制御を行う。歩行者の正面に設置された Microsoft 社の Kinect は両肩の座標を取得する。取得した座標値はゲームエンジンを含む統合開発環境である Unity が取得する[7]。図 2 は Kinect が計測した肩位置情報から Unity 上で肩の回転量を求める概要図である。Unity は取得した座標値から左肩をベクトルの始点とした回転を計算し、その正接の逆関数を求めることで、肩の回転量を算出する。これにより肩の回転量を算出する。これを毎秒 80~

180 回算出し、歩行者の肩の回転をリアルタイムで取得する。取得した回転量を、現実の肩を±20度回転した時に交差点を約3秒で曲がり切れるように、訓練時に回転量を調整した。そして VE 上のアバターは、アバターの正面方向に対して時速4kmで自動歩行を続ける。また、コントローラは Microsoft 社の Xbox 360 Controller を利用した。

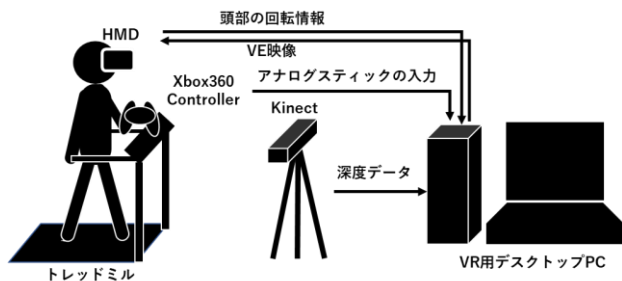


図 1 システム構成

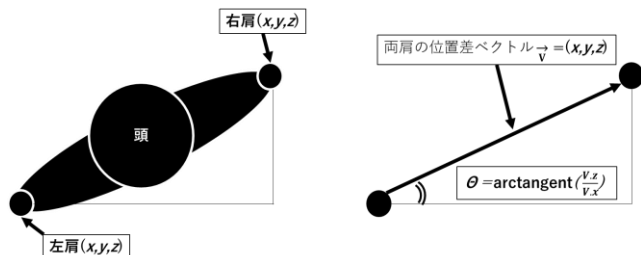


図 2 肩の位置情報から回転角を求める概要図

歩行者が右左折を試みて、肩を回転した時に増減した回転を Unity 上のアバターの回転情報を制御することで VE 内の左右歩行を可能としている。以上の演算で得られる映像を Oculus 社の Head Mounted Display である Rift に投影し、歩行者に映像提示する事で、あたかも VE 内を歩行しているかのような映像を提示する。

## 2.2 仮想環境 (Virtual Environment:VE)

図3は被験者に歩行させた仮想環境の俯瞰図である。被験者のアバターは VE 座標の (0m, 47.5m) 地点を出発し、図3のエリアを歩行する。歩行エリアは155m×110mであり10m×10mの枠が5mの間隔で設置されている、被験者はその隙間を自由に歩行する。

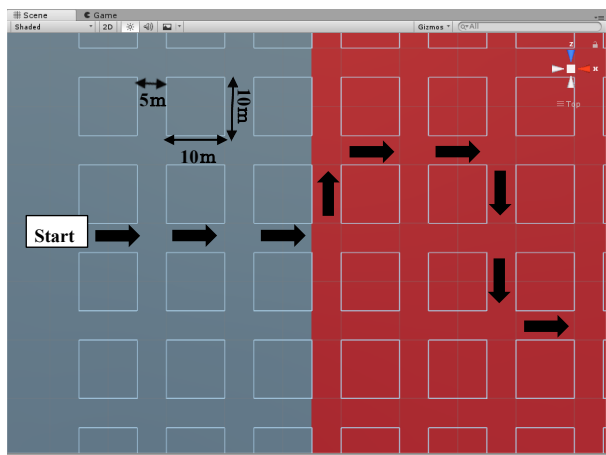


図 3 VE のマップと歩行経路の一例

## 3. 実験内容

実験は、同一 VE をことなる操作方法で歩行した際の臨

場感や酔いを評価する。被験者は20代の男性6名である。被験者には、図3に示した VE を3分間自由に歩行させた。図4は被験者に与えた操作姿勢の様子と制御方法組み合わせの概観である。歩行操作条件は図4の様に①座位姿勢・コントローラ、②座位姿勢・肩回転、③足踏み姿勢・コントローラ、④足踏み姿勢・肩回転、⑤歩行姿勢・コントローラ、⑥歩行姿勢・肩回転の6条件を課した。被験者には注意事項として椅子ごと回転することはせず、肩で回転すること、時計、反時計回りに回転し続けられないことを口頭で伝えた。尚、トレッドミルでの歩行条件の際には、トレッドミルの歩行速度を VE と同じ時速4kmに設定した。

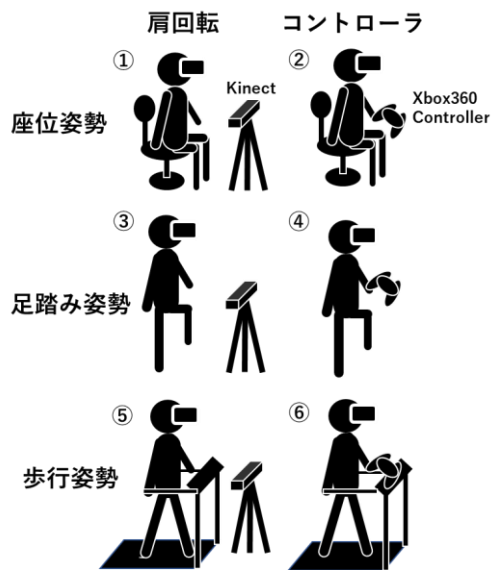


図 4 試行条件

## 4. 評価指標

評価指標にはシミュレーション酔いの程度を測定する、Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)を用いて、操作方法における酔いの程度を評価した[8]。SSQでは疲労感や頭痛などの16項目を、激しく(3点)、中程度(2点)、わずかに(1点)で評価させ、48点満点の点数で評価する。この点数が高いほど被験者が酔っていることを示し、VRコンテンツやLIはこの指標が低いことが望ましい。またLIによるVEへの臨場感を測定する為に、Igroup Presence Questionnaire(IPQ)を用いた[9]。本実験ではIPQ下位項目である「空間の存在感(Space Presence:sp)」、「現実への意識(Involvement:Inv)」、「現実との類似度(Experienced Realism:real)」の3項目の評価軸で評価した。それぞれSPは5項目、Invは4項目、Realは5項目の設定があり、それぞれの平均値を各要素のスコアとして扱う。

## 5. 結果

### 5.1 操作姿勢と酔いの関係

図5はSSQスコアの6名の平均値を示す。横軸はVE移動中の被験者の姿勢の違いであり、縦軸はSSQの合計スコアである。コントローラ課題では、座位姿勢が11.5点、足踏みが9.8点、歩行が5.8点であった。肩回転の操作課題では座位姿勢が13.3点、足踏みが8.3点、歩行が4.0点であった。コントローラ、肩での両制御法において、トレッ

ドミル上歩行の条件が最もスコアが低く、酔わないことがわかった。

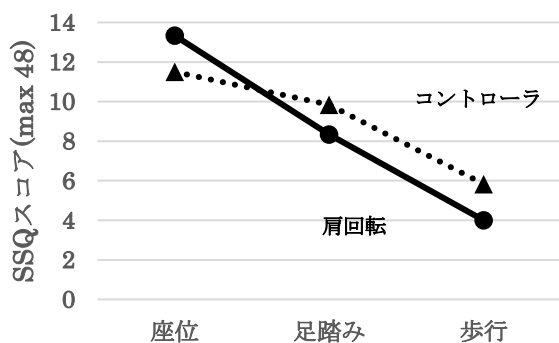


図 5 SSQ のトータルスコア

## 5.2 操作姿勢と臨場感の関係

図 6 に 6 名の IPQ の SP 要素の平均値を示す。横軸は VE 移動中の被験者の姿勢の違いであり、縦軸は IPQ のスコアである。実線はその姿勢において肩の回転量での制御の結果であり、点線はコントローラでの制御の結果である。コントローラ課題における SP スコアは、座位姿勢は 3.2 点、足踏み姿勢は 3.4 点、歩行姿勢は 3.7 点であった。肩回転の操作課題では、座位姿勢が 3.3 点、足踏み姿勢が 3.8 点、足踏み姿勢が 4.2 点であった。肩とコントローラにかかわらず、姿勢が現実歩行に近いトレッドミル上歩行の試行になるにつれて、SP スコアが上昇していることを確認した。

図 7 は 6 名の IPQ の Real 要素の平均値を示す。コントローラ課題では、座位姿勢が 1.8 点、足踏み姿勢が 2.5 点、歩行姿勢が 3.1 点であった。肩回転の操作課題では座位姿勢が 2.2 点、足踏み姿勢が 2.7 点、歩行姿勢が 3.0 点であった。SP 要素同様に歩行姿勢がトレッドミル上歩行になるにつれて点数が上昇しており、現実動作との類似度が高いと回答している事がわかった。

図 8 に 6 名の IPQ の Inv 要素の平均値を示す。コントローラ課題では、座位姿勢が 2.9 点、足踏み姿勢が 2.8 点、歩行姿勢が 2.9 点であった。肩回転の操作課題では座位姿勢が 3.0 点、足踏み姿勢が 3.0 点、歩行姿勢が 3.3 点であった。コントローラ制御におけるスコアはどの姿勢でも大きな変化はなかったが、トレッドミル上歩行における肩での制御でスコアが上昇していた。Inv の項目は VE に没入せず、現実環境に意識が向いていることを示す指標であり、この結果からトレッドミル上歩行において肩での移動制御は現実環境に注意が向くことがわかった。

## 6. 考察

IPQ の結果より、我々のトレッドミル上歩行にて肩の回転量で VE 移動を制御する方法が最も SP の値が 4.2 点と最も高いことがわかった。これにより、本 LI システムが、空間の存在感が最も高いことがいえる。IPQ の Inv スコアは大きな差は無いが、肩回転の操作課題の歩行姿勢が 3.3 点と最も高いことがわかった。Inv スコアは、VR コンテンツを利用して没入しようとしているにも関わらず、現実空間に注意が向いていることを示すスコアである。本来

ならば、臨場感が高ければこの Inv スコアは低い値を取るはずだが、最も高い結果になった。これは、6 つの試行条件の中で最も身体を動かす条件であった為、現実の身体動作へ注意が向いたからだと考えられる。

また、SSQ においても提案手法の肩回転の操作課題における歩行操作が 4.0 点と最もスコアが低く、酔いにくいことがわかった。このことと、前述の空間の存在感が高いことから、身体感覚情報と視覚刺激の矛盾が少なくなったといえる。

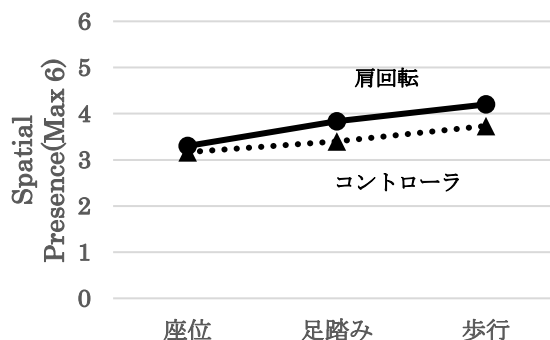


図 6 IPQ の SP 要素のスコア

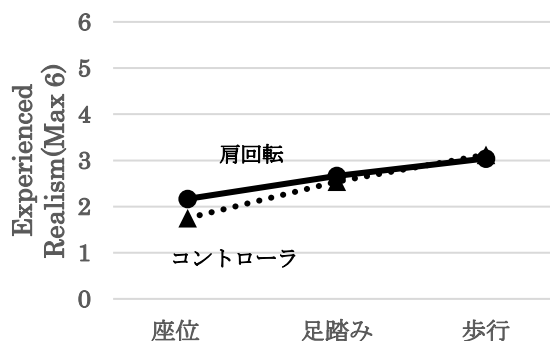


図 7 IPQ の Real 要素のスコア

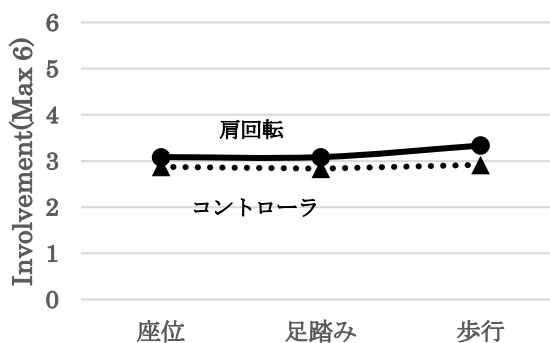


図 8 IPQ の Inv 要素のスコア

## 7. 結論

本研究では直進型トレッドミルを用いた Locomotion-Interface(LI)を他の LI と比較した。評価は酔いのアンケートである Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)や、臨場感のアンケートである Igroup Presence Questionnaire(IPQ)で評価した。結果は提案手法のトレッドミル上歩行で肩回転量での操作が SSQ スコアで 48 点満点 4 点と最も低い値を示し、他の LI より酔いにくいことがわかった。IPQ の下位

項目である Spatial Presence（空間の存在感）のスコアが6点満点中4.2点と最も高い値を示し、提案手法が最も空間への存在感が高く、臨場感のあるLIであると言えた。

#### 参考文献

- [1] 田中信壽, “VR 酔い対策の設計に求められる知見の現状”, 日本バーチャルリアリティ学会第1回大会論文誌, Vol.10, No.1, pp.129-138, 2005.
- [2] 野間春生, “ロコモーションとバーチャルリアリティ”, 計測と制御, Vol.43, No.2, 2004.
- [3] Sakashita R, Tanaka H, “Analysis of Physical Feature in The Course Turn while Walking”, Proceedings of International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), Florida,Orland pp.243-250, Springer.
- [4] Sakashita R, Tanaka H, “Body Turning Feature Measurement for Liner Walking Locomotion Interface”, Proceedings of 24<sup>th</sup> International Symposium on Artificial Life and Robotics(AROB), Beppu, Oita, Japan, p.74 OS14-3, 2019.
- [5] 石原大貴 他, “座位姿勢での擬似歩行運動による歩行感覚提示インタフェース”, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, No.2015, pp.354-356, 2015.
- [6] 岩下克 他, “足踏み動作を用いた移動インタフェースの開発”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-A, No.1, pp.87-95, 2004.
- [7] Unity, ”<https://unity.com/ja>”, 2019/7/19.
- [8] R.S. Kennedy, et al. “Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness,” The International Journal of Aviation Psychology, 3(3), pp.203-220, 1993.
- [9] igroup.org, ”<http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>”, 2019/7/19.