



VR 空間中の旋回移動のための 気流提示手法に関する研究

A Study of Airflow Presentation Method for Turning Motion in Virtual Reality Environment

鈴木勇仁¹⁾, ヤエム ヴィボル¹⁾, 広田光一²⁾, 雨宮智浩³⁾, 北崎充晃⁴⁾, 池井 寧¹⁾

Yujin SUZUKI, Vibol YEM, Koichi HIROTA, Tomohiro AMEMIYA, Michiteru KITAZAKI, and Yasushi IKEI

- 1) 首都大学東京大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {suzuki,yem,ihei}@vr.sd.tmu.ac.jp)
- 2) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, hirota@vogue.is.ucc.ac.jp)
- 3) 東京大学大学院 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, amemiya@vr.u-tokyo.ac.jp)
- 4) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

概要: 本論文では、旋回移動を伴う視覚刺激に対して、45° 刻みの方向からの気流による皮膚感覚刺激を提示した際のバーチャルリアリティ (VR) 酔い、ベクシオンおよび、旋回感覚について調査した結果を述べている。気流の方向に関わらず VR 酔いは軽減され、特に旋回方向と同方向の 45° からの気流提示には、ベクシオンおよび、旋回感覚を増強させることが示唆された。また、気流提示方向の角度が大きくなるに連れて、進行方向の角度も同様に大きくなっていく傾向があることが示唆された。

キーワード: 気流提示, VR 酔い, ベクシオン, 旋回感覚

1. はじめに

視覚の情報に関しては、高精細で臨場感の高い再現技術が確立しているが、触覚の情報は提示技術が継続的に開発されている。気流は空間に特有の価値を与える五感情報のひとつである。気流を体験空間に有効に配置するためには、気流の場を任意の空間位置に提示することが必要となる。

本研究は、空間体験の基礎となる歩行に伴う気流の皮膚感覚の知覚特性を調査し制御することにより、身体的追体験の臨場感を高めるとともに VR 酔いを軽減させることを目的としている。

現在、乗馬型運動マシンに乗った状態で、前方から強い風を当てることで、皮膚感覚性の前進ベクシオンが得られることが報告されている。[1]また、気流による皮膚感覚刺激を与えることで、鳥のような飛行感覚が得られることが報告されている。[2]

本稿では、気流ディスプレイ 5 つと Head Mounted Display (HMD, HTC VIVE PRO) を用いて、VR 空間での旋回移動における気流による VR 酔いの軽減、ベクシオン及び旋回方向の変化の検証を行った結果を述べる。

2. 気流ディスプレイ

本実験で用いた気流ディスプレイは、気流を生成するサーキュレータ (KL-D992W, Twinbird) のブレード (直径

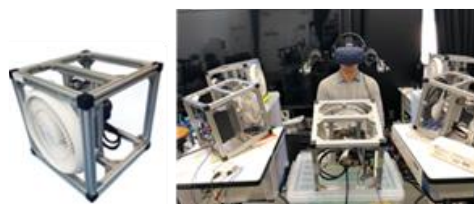


図 1 気流ディスプレイ (左) と実験風景 (右)

16cm), 整流グリル, 速度制御ドライバ (BXSD120-A, Oriental Motor) から構成され, 最大気流速度は正面 0.6m の距離で約 7.0m/s である。

3. 旋回移動における気流提示が与える効果

3.1 目的と手法

旋回移動するために HMD 上に示す VR 空間は、視覚的フィードバックとして回転させる必要がある。このような視覚提示は、容易に VR 酔いを引き起こす。この実験の目的は、VR 空間の旋回歩行時における最適 (酔いを低減

する・歩行感覚を高める) な気流提示方向を調査することである。

3.2 実験参加者と刺激条件

実験参加者は、平均年齢 22.7 歳の大学(院)生 10 名である。

視覚提示は、Unity で作成した 3D 旋回映像 (内側: R=0.7m, 外側: R=1.3) であり、左旋回と右旋回の 2 種類とする(図 2)。顔面への気流提示は、ユーザの顔面から 0.6m の距離から提示する。提示条件は、提示なし、左側 90°、左側 45°、中央、右側 45°、右側 90° の 6 種類である。これらを組み合わせた 12 条件をランダム順に提示する。聴覚は、ホワイトノイズで遮断する。提示時間はそれぞれ 15 秒間とする。



図 2 左旋回(左)と右旋回(右)の映像提示

実験参加者には、VR 酔い、ベクシオン及び旋回感覚について評価させる。VR 酔いについては、映像の不快感に関する数値的評価である SSQ[3]を用いる。ベクシオンについては、グラフ尺度左端は“移動感覚は全くない”，右端は“実際の移動感覚と同等”とする。旋回感覚については、グラフ尺度左端は“旋回している感覚は全くない”，右端は“旋回歩行時と同等”とする。

3.3 実験結果

図 3、4 および 5 は、それぞれ VR 酔い、ベクシオン、および旋回感覚の平均値を示す。各データ分析について ANOVA を実施した。VR 酔い、ベクシオン、および旋回感覚のそれぞれに気流提示の主効果が認められた(VR 酔い、ベクシオン: $p < 0.01$, 旋回感覚: $p < 0.05$)。VR 酔いについては、気流提示なしと他の気流方向の条件との間に有意差が見られた(全て: $p < 0.01$)。ベクシオンについては、進行方向と同方向の 45° からの気流提示(中心から左または右へ 45°)と気流提示なしとの間に有意差が見られた($p < 0.01$)。旋回感覚については、ベクシオンと同様に、

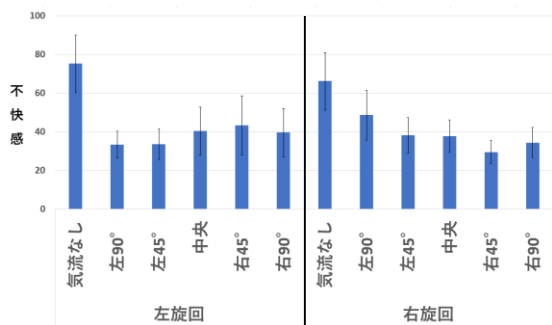


図 3 VR 酔いの実験結果

進行方向と同方向の 45° からの気流提示と気流提示なしとの間に有意差が見られた(左旋回時: $p < 0.05$, 右旋回時: $p < 0.01$)。

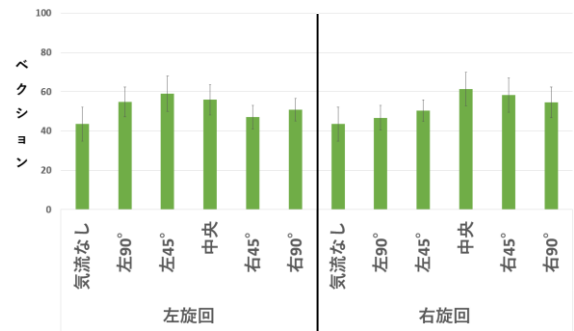


図 4 ベクシオンの実験結果

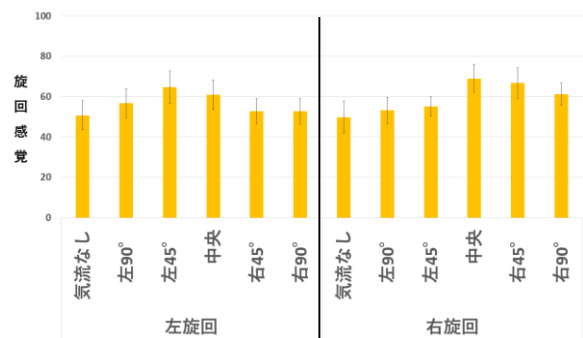


図 5 旋回感覚の実験結果

4. 気流提示方向と進行方向の関係

4.1 目的と手法

3 の実験結果より、気流提示の方向がベクシオン、旋回感覚に違いを生み出すことが示唆された。そこで、気流提示の方向は、身体的な移動方向に関係すると考えられる。この実験の目的は、気流提示の方向の違いによる、進行方向の角度を調査することである。

4.2 実験参加者と刺激条件

実験参加者は、平均年齢 22.3 歳の大学(院)生 10 名である。

視覚提示は、3 の実験の映像と同様である。顔面への気流提示は、ユーザの顔面から 0.6m の距離から提示する。提示条件は、左側 90°、左側 45°、中央、右側 45°、右



図 6 実験風景

側 90° の 5 種類である。これらを組み合わせた 10 条件をランダム順に提示する。聴覚は、ホワイトノイズで遮断する。提示時間はそれぞれ 15 秒間とする。

実験参加者には、身体表面を基準にした際の” 気流が来ていると感じた方向 “と 進行していると感じた方向 “について評価させる。身体表面を基準とした時の正面 180 度に対して、それぞれの評価項目について直線で矢印を記入させる (図 7)。

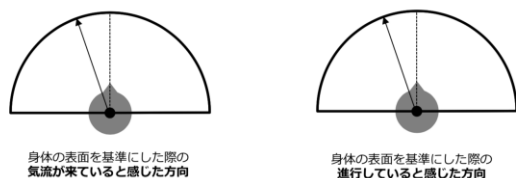


図 7 評価手法

4.3 実験結果

図 8 は、気流の方向 (青)、進行方向 (赤) の角度の平均値を示す (中央から右側を正、中央から左側を負で表す)。各データ分析について ANOVA を実施した。気流の方向、進行方向のそれぞれに気流提示の主効果が認められた (気流の方向 : $p < 0.01$, 進行方向 : $p < 0.05$)。気流の方向については、全ての気流の条件の間に有意差が見られた (全て $p < 0.01$)。進行方向については、左旋回時に左 90° に対して、中央と右 45° の条件との間に有意差が見られた (中央, 右 45° : $p < 0.05$)。右旋回時に右 90° に対して、左 90° , 左 45° および、中央の条件の間に有意差が見られた (左 45° , 中央 : $p < 0.01$, 左 90° : $p < 0.05$)。

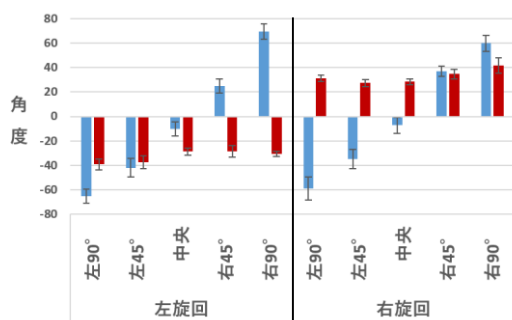


図 8 気流の方向 (青)、進行方向 (赤) の実験結果

5. 考察

旋回移動における気流提示が与える効果に関しては、気流提示は方向に関わらず VR 酔いの軽減に寄与することが示唆された。また、ベクションと旋回感覚は、進行方向と同方向 45° からの気流提示が最も増強させるのに効果的であると考えられる。

気流提示方向と進行方向に関しては、進行方向と同方向 90° からの気流提示が最も進行方向の角度が大きくなることを示された。気流提示方向の角度が進行方向側に向かって大きくなるに連れて、進行方向の角度も大きくなっていく傾向があると考えられる。また、左右の旋回によって進行方向の実験結果が異なった原因として、実験参加者の 70% の利き目が右目であることが関係していると考えられる。利き目と同じ方向に回っている時は、視覚情報が鈍感になり、皮膚感覚が敏感になり、気流提示方向の違いによる効果を受けやすいと考えられる。

6. 結言

本研究の結論を以下にまとめる。

- VR 空間における旋回移動には、方向に関わらず気流提示が VR 酔いの軽減に寄与する。
- 旋回方向と同方向の 45° からの気流提示は、ベクション及び旋回感覚を増強させる。
- 気流提示方向の角度が進行方向側に向かって大きくなるに連れて、進行方向の角度も大きくなっていく傾向がある。
- 利き目が進行方向と同じ場合、皮膚感覚が敏感になり、気流提示方向の違いで効果が出やすくなることが示唆された。

以上より、利き目が原因で左右の旋回についてそれぞれの感覚に誤差はあるが、気流提示方向の違いで進行方向の角度が変化し、ベクションや旋回感覚にも効果を与える。

謝辞 日本 VR 学会の会員各位および論文誌への投稿者各位に感謝する。本研究は、情報通信研究機構イノベーション創出型研究開発#143 ウ 101, 総務省 SCOPE (受付番号 141203019), JSPS 科研費 (JP26240029, JP18055498) の支援により実施されたことに謝意を表す。

参考文献

- [1] Murata K., Seno T., Ozawa Y., Ichihara S.: Self-motion perception induced by cutaneous sensation caused by constant wind. *Psychology*, 5, 1777-1782, 2014.
- [2] Rheiner M.: Birdly an attempt to fly. *ACM SIGGRAPH'14 Emerging Technologies Article No.3.*, 2014.
- [3] Kennedy R. S., Lane N. E., Berbaum K. S., Lilienthal M. G.: Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220, 1993.