



前庭感覚提示可能な HMD の開発

山口倫尚¹⁾, 吉澤誠²⁾, 杉田典大¹⁾

1) 東北大学大学院 工学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05, <https://www.eng.tohoku.ac.jp/>)

2) 東北大学 サイバーサイエンスセンター (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05, <https://www.eng.tohoku.ac.jp/>)

概要: ヘッドマウントディスプレイは、臨場感や没入感を得られやすい利点がある一方で、使用によって VR 酔いなどを生じさせることが確認されている。VR 酔いの主な原因として、視覚や聴覚と前庭感覚の不一致が酔いを誘発するという感覚不一致説がある。著者らは、この感覚不一致を低減させることで VR 酔いを抑制することを目的として、映像に合わせた前庭感覚を与えることができる新たなタイプのヘッドマウントディスプレイの開発を行い、基本的な特性を調べる実験を行った。

キーワード: VR 酔い, 前庭感覚, 頭部揺動

1. 導入・研究背景

1.1 研究背景

近年、高性能なヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) が次々と登場するなど、バーチャルリアリティ (以下 VR) 環境が生活の中に浸透しつつある。特に視覚提示に関しては高精細で極めてリアリティが高いものも存在する。このような高精細な VR コンテンツは高い臨場感や没入感を得られやすい利点がある一方で、ユーザーによっては「VR 酔い」といった症状を生じさせることが報告されている [1]。VR 酔いとは視覚的動揺病の一つとされており、VR コンテンツを利用する際に誘発される吐き気や胃のむかつきなどの乗り物酔いに似た症状を指す。VR 酔いの原因として最も有力な説は「感覚不一致説」であるが、これは生体が受けている複数の感覚の間で情報の矛盾があるとその処理に大きな負荷がかかり、これが不快感や不調につながるという説である [1]。HMD を用いて VR コンテンツを利用する場合に当てはめると、視覚では動きを知覚しているのに対し、実際の身体は動いていない (前庭感覚で動きが知覚されない) ために感覚の不一致が生じると考えられる。

感覚の不一致と酔いの関係性については、能動的視聴と受動的視聴の差異が映像酔いに与える影響を調べた研究がある。この研究では、HMD の映像に合わせて頭を動かす「能動的視聴」と頭を動かさずに視聴する「受動的視聴」について酔いと臨場感の比較を行い、「能動的視聴」を行うことで映像酔いを軽減し、かつ臨場感を向上させるという結果が得られた [2]。しかし、能動的視聴は映像を見た上で被験者が自ら頭を動かすため、映像と前庭感覚とにずれが生じ、人によってはより重度な酔いを誘発する可能性がある。また、能動的視聴と受動的視聴の比較を行っているが、それぞれ頭部を静止させている状態と運動している状態であるため厳密な比較にはなっていないなどの問題点が挙げられる。

これに対し、HMD を用いる際に、何らかの機構を用い

て映像 (視覚刺激) に合わせた前庭感覚刺激を外部から頭部に与えることができれば、感覚の矛盾が解消され、酔いを低減させることができると考えられる。さらに、前庭感覚を知覚する感覚器は耳の奥、つまり頭部にのみ存在していることから、身体全体を動かさなくても頭部のみを動かすことで前庭感覚を提示することが可能であると考えられる。

外部から前庭感覚を提示する方法に関しては、牧浦らの研究がある [3]。この研究では、4 本のワイヤを用いることで映像の動きに合わせて頭の動きを制御する頭部揺動呈示装置を開発した [3]。ワイヤの伸縮により水平面内の一般的な運動を模擬しており、モーションベースを用いた場合と比較して臨場感の向上及び酔いの低減が確認された。しかし、装置が大掛かりであることに加えて、視覚ディスプレイとして広視野の映像を球面スクリーンに表示したものをを用いており、スクリーンとの距離や角度が頭の動きによって変化してしまうという問題点が挙げられる。

そこで本研究では、頭部を回転させ、頭部にかかる重力加速度を変化させることで使用者に前庭感覚を提示する手法を提案する。頭部の平行移動に代えて回転を用いることで揺動させる際に必要なスペースが小さくて済み、将来的に装置を小型化できる可能性がある。本稿では、この方式による揺動提示装置の試作機について述べると共に頭部を回転させることで前庭感覚を誘起可能であるかについての検証を行った。

2. 試作機の製作

試作機の製作にあたり、提示する回転運動について考える。人間の頭の回転には、Roll, Pitch, Yaw の 3 つがある。Yaw 回転は頭を左右に振る動きであるが、重力加速度とは関連しないため、試作機では実装しないこととした。また本稿では、残りの Roll 回転と Pitch 回転の内、VR コンテンツ内で最も多い動きである前後方向の動きを提示するための Pitch 回転のみを対象とした。最終的には HMD の拡張

として体に取り付け可能な形を想定しているが、今回は装置の基本的な特性を調べるための試作機であることから、土台を用いて使用者が簡単かつ適切に装着可能な形状にした。図1に本研究で試作した装置（以下、揺動提示装置とする）の概略図を、図2にその外観を示す。本研究で開発した装置では、図1のようにヘッドギアの前後に接続した2本のワイヤをそれぞれモーター（DC-max 26S GB KL 24V, maxon 社製）で引くことで頭を前後に傾けることが可能となっている。モーターの規格を表1に示す。モーターは制御ユニット（EPOS2 24/2 DCX Positioning Controller, Maxon 社製）を通してPCに接続されており、専用ソフトウェア（EPOS Studio）を用いてPCから制御を行う。

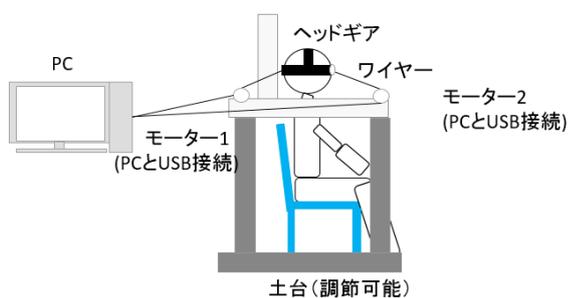


図1: 揺動提示装置の概略図

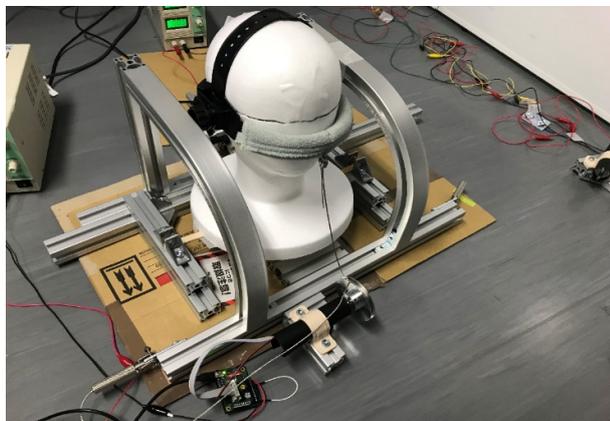


図2: 揺動提示装置の外観

3. 装置を用いた揺動の生成

今回試作した装置を用いて人間の頭を模擬したマネキンを実際に動かしてみたところ、人間が無理せず動かせる範囲 [4] である前屈 60° 、後屈 50° の範囲内を十分に動かすことが可能であった。この際、マネキンは人間の頭部に近い状態にするため内部に重りを入れ、Pitch 方向のみに回転するように軸を取り付けた。また、提示できる加速度については直立状態からの首の傾きを θ とおくと、重力加速度の分力により感じる擬似的な加速度 a は重力加速度を g とすると $a = g \sin \theta$ で表すことができる。一方、一般道を走る車の加速度は最大でも $0.3g$ 程度であることから、首を 17.5

表1: モーターの規格

製品名	DC-max26S ϕ 26 mm
最大連続トルク時の回転数	8100 rpm
最大連続トルク	26.3 mNm
最大連続電流	1.08 A
停動トルク	287 mNm

$^\circ$ 以上傾けることにより車の加減速に伴う前庭感覚を提示可能であると考えられる。

4. 結言

本研究ではVR酔いの原因が視覚と前庭感覚の不一致にあるという説に基づき、HMDを用いてVRコンテンツを利用する際に、映像に合わせた頭部揺動を与えることで酔いを低減できると考え、これを実現するための試作機の製作を行った。機構としては、ワイヤを用いて頭部を傾けることによって頭部にかかる重力加速度を変化させ、分力によって使用者に加速度感を与える方式を提案した。第一段階としてVRコンテンツにおいて最も発生頻度が高いと考えられるPitch回転を与える試作機を製作し、人間の頭部を模擬したマネキンを用いて実際にPitch回転を提示できていることを確認した。

今後の展望として、作製した試作機を用いて実際に加速度感が得られるかについて実験を行うことが必要である。実験を行うにあたり注意する点として、瞬間的に首を揺動させた場合に交通事故におけるむち打ちに似た症状を生じさせる危険性が挙げられる。そのため、医学的見地から示された安全基準に沿った実験のセットアップが必要である。具体的な基準としては、交通事故時に用いられる頭部障害基準値(HIC)を参考にすることなどが挙げられる [5]。以上の点などに注意しながら実験を行い、本研究における提案手法が有用であるかについての検証を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 館・佐藤誠・廣瀬通孝監修, 日本バーチャルリアリティ学会編: バーチャルリアリティ学, pp46-52, 2011
- [2] 高野寛己: 能動的視聴と受動的視聴の差異が映像酔いと臨場感に与える影響に関する研究, 東北大学学士學位論文, 2017
- [3] 牧浦敏則: 頭部揺動を用いた移動感覚の呈示に関する研究, 筑波大学大学院修士學位論文, 2003
- [4] 日本整形外科学会, 日本リハビリテーション医学会: 関節可動域表示ならびに測定法, 日本整形外科学会雑誌, pp240-250, 1995
- [5] 渋谷唯司: 衝突と衝撃 ~加速度と力と人体~ <http://www.waka.kindai.ac.jp/tea/shibue/CollisionandImpact2013.pdf>.