



Motion-Less VR の研究：頭部の設計と VR 酔いに関する事前検討

Research on Motion-Less VR: Design of Head Device with Preliminary Study on VR Sickness

中井凜太郎, 望月典樹, 中村壮亮

Rintaro NAKAI, Noriki MOCHIZUKI, and Sousuke NAKAMURA

法政大学 理工学部 (〒 184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2, hge@hosei.ac.jp)

概要: リアル身体での運動を必要としない身体没入型 VR システム「Motion-Less VR」では, 身体固定状態での関節発揮トルクからバーチャル身体の実現される. このとき感覚矛盾により VR 酔いの発生が懸念されるが, 平常時と同様の身体制御を入力とした際の VR 酔いを検証した研究は見当たらない. そこで本研究では, 頭部運動における Motion-Less VR の設計と, VR 酔いに関する予備的な検討を行う.

キーワード: Motion-Less VR, バーチャルリアリティ, VR 酔い, 運動意図, 視点操作, 運動インターフェース

1. はじめに

近年, VR(Virtual Reality) 技術はますます一般的なものとなり, 様々な分野への応用が進められている. しかし, 現行の VR システムの多くでは入力装置としてモーションキャプチャが用いられており, これによりバーチャル身体の実現はリアル空間で実行可能なものに制限される. そこで, 著者らは, リアル身体での運動を伴わずに運動意図を取得する Motion-less VR[1] を提案している.

しかし, Motion-Less VR ではリアル身体を動かさないという性質上, 体性感覚と前庭感覚の入力において何れも視覚との矛盾が生じ, この矛盾を含んだ感覚情報の対応関係は, 感覚矛盾説 [2] に従うと, 動揺病の一種である VR 酔いを引き起こす可能性がある. 感覚矛盾説では, 過去に経験した (即ち予期される) 視覚, 前庭感覚, 体性感覚情報の対応関係と, 実際に経験する矛盾した感覚情報を含む対応関係が, それぞれ中枢で統合されたのち比較されることで VR 酔いが発生するとされている [3](図 1).

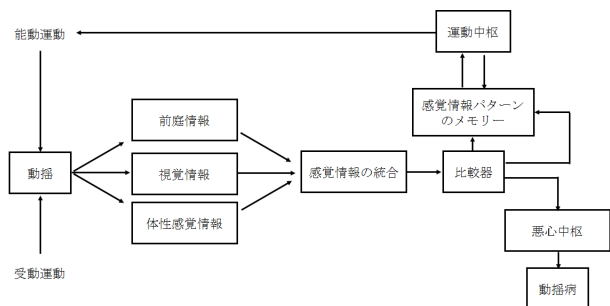


図 1: 感覚矛盾説 ([4]:図 2)

また, Motion-Less VR ではリアル身体の実現自体は生じないが, 通常時と同様に運動意図を伴うモーション入力が可能である. この運動意図と動揺病を関連付けるというアプローチで症状の評価を行った研究がいくつか存在する. 感覚矛盾説の中で, 乗り物酔いを説明するいくつかの理論では, 運動を制御できる人は, そうでない人に比べて動揺病になりにくいとされている [5]. この理論に従い車両運転のシナリオを VR 環境上で行った研究 [6] では HMD のヘッドトラッキング機能と車のハンドルを模したコントローラーにより, VR 空間上の市街地を車で走行することで発生させた VR 酔いと, 他の被験者が操縦した際の VR 酔い, 自動走行の視点移動により発生する VR 酔いを評価している.

現実での車両運転は車両の加速度により, 前庭と視覚が刺激されているのに対し, 体性感覚では身体が静止しているという矛盾により, 酔いが発生する. また, VR での車両運転では, 運転時に得られるはずである前庭への加速度情報が生じないために VR 酔いが発生すると考えられる. 一方, Motion-Less VR では体性感覚と前庭感覚からの入力に矛盾が生じており, このような条件下で運動意図と VR 酔いの関係について調査した研究は見当たらない.

車両運転以外では, 視点操作に対して運動意図と酔いの関係を調査したものがある [7][8]. ただし, これらは視点操作の運動意図を得るための行動が, ゲーム用のコントローラーの操作 [7] であったり, 腕の位置に紐づけてある [8] など, 実際の行動と結びついておらず, Motion-Less 使用下の意図取得と VR 酔いの関係を説明するものではない.

そこで本研究では, 頭部運動における Motion-Less VR を実現する装置を設計し, Motion-Less VR により発生する VR 酔いに関する予備的な検討の中で, 体性感覚と前庭

感覚からの入力に矛盾が生じる場合に運動意図が VR 酔いにどのような影響を及ぼすかについて調査を行う。

2. 提案手法

Motion-Less VR の頭部適用のため、頭部運動を実現するシステムの構築を行う。システムは、身体を固定する筐体、トルクセンサ、コンピュータ、HMD、振動子によって構成される (図 2)。

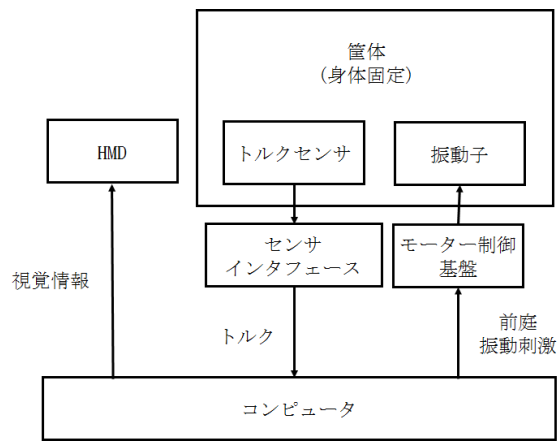


図 2: システム構成図

2.1 回転軸の位置

リアル身体での頭部運動は、脊椎上部の頸椎を回転軸としたロール・ピッチ・ヨーの回転運動に分解できる。頭部を含む弾性を測定し、全身弾性モデルを作成した研究 [9] では、運動の軸中心として、両耳珠点中点と第 7 頸椎点距離の耳珠より 3/4 下方かつ前後径の中点を指定している。本研究でもこれに従い軸の位置を決定する (図 3)。

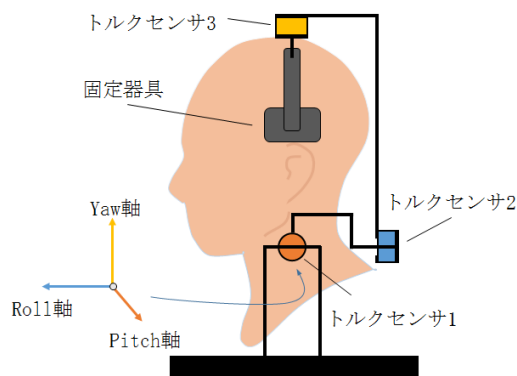


図 3: 回転軸の位置

2.2 トルクからの運動生成

バーチャル身体は剛体リンクモデルで表される。ただし、人体の関節には関節可動域の制限や運動の効率化のため、固有の粘弾性が存在している [10]。そこで、人体を模擬した粘弾性特性を付与した上で、Motion-Less VR システムによりバーチャル身体の運動を生成する。このとき、頸椎の関節の弾性トルク M_K [Nm] は、全身の弾性を調査した研究 [9] に従うと以下の式で近似できる (式 1)。この式と各運動

方向におけるパラメータ (表 1) より、バーチャル身体の各関節に対して弾性特性を付与する。ただし、 θ は関節の曲げ角度 [deg] であり、 $-180^\circ < \theta \leq 180^\circ$ と定義する。

$$M_K = \exp\{k_1(\theta \times \frac{\pi}{180} - k_2)\} - \exp\{k_3(k_4 - \theta \times \frac{\pi}{180})\} \quad (1)$$

表 1: 弾性パラメータ

軸	k_1	k_2	k_3	k_4
roll	2.2	-0.2	2.2	0.2
pitch	2.1	0.0	2.3	0.0
yaw	1.5	0.8	1.5	-0.8

一方、頸椎の粘性トルク M_C [Nm] は腕の粘性を測定した論文 [11] の式を用いる。係数 c は、脱力状態において弾性により発生する振動の振幅が 0.5[deg] を下回るよう設定する (式 2)。

$$M_C = c\dot{\theta} \quad (2)$$

2.3 前庭振動刺激

VR 使用時の感覚矛盾を軽減する手法として、前庭器官への電気刺激 [12] や振動刺激の提示が挙げられる。特に、振動刺激を用いた研究の中には、並進加速の錯覚を発生させる BCV (Bone Conducted Vibration) を、並進加速が生じない視点移動に対しても提示することで、VR 酔いの症状を軽減しているもの [13] が存在する。

この時の BCV は、前庭感覚に信頼性の低い情報が入力されることで、視覚が自己運動の手掛かりとしてより大きく重みづけされるという仮説の元、前庭感覚情報にノイズをかける役割として用いられている。この研究ではロール・ピッチ・ヨー全ての頭部回転運動において一定以上の加速度が検出された場合に振動刺激を提示しており、それによって有意な症状の軽減を行っている。

本研究では先行研究に倣い、振動刺激の周波数 500Hz、250ms のパルス波として頭部乳様突起に提示する。振幅は参加者が不快とならない程度に設定する。

3. 実験

Motion-Less VR の頭部適用による VR 酔いへの影響を調査するための実験設定を行う。

3.1 タスクの設定

実験は次の 4 条件で実施する (表 2)。

Default 条件では Oculus Rift CV1 内蔵のヘッドトラッキング機能、Motion-Less 条件と Coupled 条件では Motion-Less VR により頭部の回転を再現する。加えて、Coupled 条件では実験者の乳様突起に付けられた振動子よりパルス波が出力されることで前庭刺激が発生する。Random 条件は被験者の運動意図を含まない条件として設定され、他の被験者の視点移動を提示する。

表 2: 実験条件

条件	意図	運動	振動刺激
Default	○	○	×
Motion-Less	○	×	×
Coupled	○	×	○
Random	×	×	×

3.2 実験方法

実験では、バーチャル空間で提示されるターゲットをトレースするタスクを課す。ターゲットはピッチ・ヨー方向に対応した回転と、ロール方向に対応した1軸の回転を行う。移動速度は日常生活で見られる 30deg/sec 以下 [14] からランダムに選択される。また、重力方向に影響のあるロール・ピッチ方向と、影響のないヨー方向には、VR 酔いの症状に差が生じると考えられるため、各実験中の運動方向の成分量の統一を行う。また、各条件においてタスクは、ランダムな順番でそれぞれ2回繰り返す。

VR 酔いの症状評価のため、タスク中の姿勢の変化を記録する。また各試行の前後に SSQ でのアンケートが行い、平常時とのスコアの差を VR 酔いの程度とする。

4. まとめ

本稿では、リアル身体の運動を必要としない VR インタフェースである Motion-Less VR の頭部適用と、それを利用した際に生じる VR 酔いの症状評価のための手法を提案した。今後は頭部 Motion-Less VR 装置を完成させた後、実験に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 望月 典樹, 中村 壮亮, "Motion-Less VR: リアル身体の運動を必要としない全身没入型 VR インタフェース", 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会, 6B-09, 2019.
- [2] Reason JT, Brand JJ.: "Motion Sickness", London: Academic Press, 1975.

- [3] 中川 千鶴, 大須賀 美恵子: "VE 酔い研究及び関連分野における研究の現状", TVRSJ, Vol. 3, No.2, 31-39, 1998.
- [4] 武田 憲昭: "動揺病と嘔吐のメカニズム", 耳鼻臨床, 補41, p197 - 207, 1991.
- [5] ARNON ROLNICK, R. E. LUBOW: "Why is the driver rarely motion sick? The role of controllability in motion sickness", Ergonomics, 34:867-879, 1991.
- [6] Yi-Chou Chen, Xiao Dong, Fu-Chen Chen and Thomas A. Stoffregen: "A Structural Equation Modeling Approach to Understand the Relationship between Control, Cybersickness and Presence in Virtual Reality", 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 682-691, 2020.
- [7] Yi-Chou Chen, Xiao Dong, Fu-Chen Chen, Thomas A. Stoffregen: "Control of a Virtual Avatar Influences Postural Activity and Motion Sickness", Ecological Psychology, 24:4, 279-299, 2012.
- [8] 松崎 直幸, 原澤 賢充, 繁樹 博昭, 森田 寿哉, 伊藤 崇之, 齊藤 隆弘, 佐藤 隆夫, 相澤 清晴, 北崎 充晃: "能動的観察による映像酔いの低減", TVRSJ, Vol. 15, No.1, 41-44, 2010.
- [9] 山崎 信寿, 田中 隆之: "関節の抵抗特性を模擬したダミー骨格", バイオメカニズム, Vol. 18, 175-185, 2006.
- [10] 青木 慶, 山崎 信寿: "直立2足歩行における関節受動抵抗の意義, バイオメカニズム, vol. 14, pp. 59-68, 1998.
- [11] 荻原 直道, 山崎 信寿: "身体の構造制約に基づく自然な上肢リーチング動作の生成", 日本機械学会論文集 C 編, Vol.67, pp.216-222, 2001.
- [12] 前田 太郎, 安藤 英由樹, 渡邊 淳司, 杉本 麻樹: "前庭感覚電気刺激を用いた感覚の提示", バイオメカニズム学会誌, 31 巻 2 号 p. 82-89 2007.
- [13] Weech S, Moon J, Troje NF: "Influence of bone-conducted vibration on simulator sickness in virtual reality", PLOS ONE, 13(3): e0194137, 2018.
- [14] 北林 一良, 加納 浩行, 木島 竜吾: "日常生活における頭部運動の解析", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 8, 135-136, 2003.