



# 仰臥位の VR ユーザに対する姿勢錯覚を誘発可能な 回転せん断刺激提示ベッド型システムの基礎検討

岩崎晃大<sup>1)</sup>, 平尾悠太郎<sup>1)</sup>, 萩森大貴<sup>1)</sup>, ペルスキアエルナンデス モニカ<sup>1)</sup>, 内山英昭<sup>1)</sup>, 堀江新<sup>2)</sup>, 清川清<sup>1)</sup>

Kodai IWASAKI, Yutaro HIRAO, Daiki HAGIMORI, Monica PERUSQUIA-HERNANDEZ, Hideaki  
UCHIYAMA, Arata HORIE, Kiyoshi KIYOKAWA

- 1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, {iwasaki.kodai.ii3, yutaro.hirao, m.perusquia, hideaki.uchiyama, kiyo}@is.naist.jp, daiki.hagimori@naist.ac.jp)
- 2) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, a.horie@kmd.keio.ac.jp)

**概要:** 仰臥位を VR 体験に活用するためには、仰臥位のままで立位を認知させる感覚を提示することが課題である。そこで本研究では、仰臥位から立位への遷移を模倣した視触覚刺激を提示することで立位錯覚を誘発し、姿勢認知を一致させることを試みる。触覚刺激には回転せん断刺激を用いる。本稿では、仰臥位から立位への姿勢遷移の第一歩として、仰臥位から座位までの姿勢錯覚を誘発するために試作したベッド型システムについて報告する。

**キーワード:** 姿勢錯覚, せん断刺激, 仰臥位 VR

## 1. はじめに

仰臥位は身体的負荷が低く身体能力に依存しないという点で、Virtual Reality (VR) を体験する際の姿勢として有効である。一方、エンターテインメントやソーシャルコミュニケーションといった分野の多くの VR コンテンツでは、VR 内のアバターは立位であることが一般的である。このようなコンテンツを仰臥位で体験すると、姿勢における感覚の不一致が問題となり、没入感や臨場感が低くなることが報告されている [1]。よって、仰臥位を VR 体験に活用するためには、仰臥位を認知させる感覚のマスクングや、立位を認知させる感覚の提示の実現が課題である。

これまでの研究では、仰臥位から立位への遷移を模倣した VR 映像や [2]、それと同期して椅子をリクライニングさせることで姿勢認知を一致させる試みがなされてきたが [3]、いずれも十分な効果は得られていない。その一因として、触覚情報の不足が考えられる。人は視覚・前庭・触覚・内臓感覚から姿勢を認知しているが [4]、先行研究では主に視覚と前庭感覚のみが提示されていた。しかし、触覚は人が姿勢を認知する際に重要な、身体がどこで支えられているかという支持基底面の把握に役立つ。このため、姿勢認知を一致させるためには触覚情報にも注目すべきである。

そこで本研究では、VR 空間における姿勢遷移中にユーザの背面に回転せん断を用いた触覚刺激を提示することで、姿勢認知の変容を拡張することを提案する。本研究の第一ステップとして、仰臥位から立位への姿勢遷移の最中に含まれる座位までの遷移に注目する。本稿では、仰臥位から座位への遷移による姿勢認知を検証するために試作したベッド型システムの構成や制御方法について報告する。試作シ

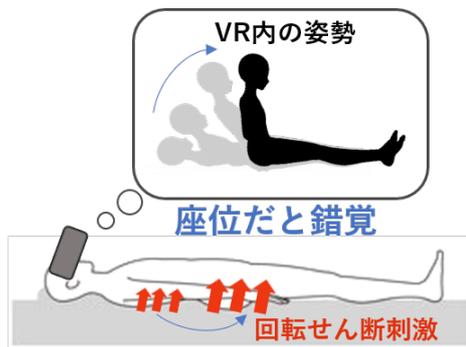


図 1: 試作システムの仕組み

ステムの仕組みを図 1 に示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 回転せん断刺激

皮膚のせん断刺激は、皮膚表面の接線方向の変位により法線方向の力覚を誘発できる。また、静的な変位の提示は振動刺激で実現できない、定常的に身体にかかる力の分布を提示できることが期待されている。これを用いた装置として、回転せん断刺激に基づく分布触覚提示装置がある [6]。刺激素子として回転モータを採用しているため、制御が比較的容易であり、モータの選択や配置によっては身体の様々な部位および範囲に応じた設計が可能である。せん断刺激として回転刺激を用いることで、並進への変換を行う必要が無く、装置の小型化に貢献している。

本研究では、仰臥位のユーザの身体背面に対して触覚刺激を提示するため、重力方向に反発した力を生み出す必要



図 2: 装置の構成

がある。この力を身体の下から押し上げることで生み出そうとすると、装置が大型化することが考えられる。これに対して回転せん断刺激は押し上げる必要がなく、むしろ重力を利用することで、身体背面を接触子に押し当てられるため、十分なせん断刺激を提示できる。以上の理由から、本研究では触覚刺激として回転せん断刺激を採用する。

### 2.2 起き上がり動作における体圧分布変化

仰臥位から座位までの起き上がり動作には、4つのパターンがある [7]。一つ目に、体幹を側臥位まで回旋し両上肢で床面を押して起き上がる側臥位パターン、二つ目に、体幹を軽度回旋し肘を介して起き上がる on elbow パターン、三つ目に、体幹を対称的に屈曲し両上肢で床面を押して起き上がる push パターン、四つ目に、体幹を対称的に屈曲し両上肢を前方に伸ばしながら起き上がる reach パターンがある。本研究では、システムの複雑化を避けるために身体背面への触覚提示に限定し、上肢で身体を支える必要のない reach パターンを想定した体圧分布の変化を模倣する。

この動作において、動作開始直後は肩甲骨部に、動作が進むにつれて仙骨部・座骨部へと体圧中心が移動することが知られている [8]。さらに、人の身体背面は背骨を中心に湾曲しているため、仰臥位時に体圧がかかりにくい部位が存在する。特に腰椎部が浮くため、起き上がり動作においても体圧がかかりにくい。本研究では、起き上がり動作時に身体の各部位にかかる体圧の時間的変化を参考に、これらを模倣した触覚刺激の提示を行う。

## 3. ベッド型システム

本稿で検討するシステムは、モータの位置が固定され背部（肩甲骨部）から臀部（座骨部）にかけて安定した回転せん断刺激を提示できるベッド型システムとする。装置の構成を図 2 に示す。

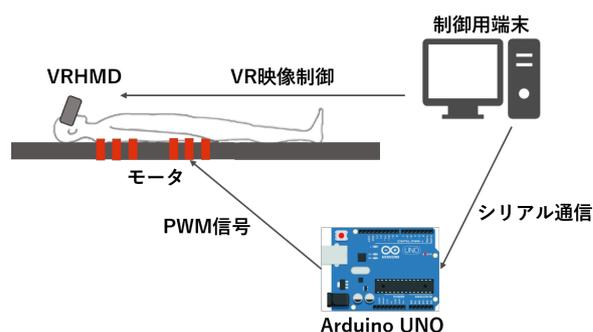


図 3: 装置の制御システム

### 3.1 装置の構成

本装置は、身体背面を覆えるほどの範囲に埋め込んだサーボモータに Futaba の RS204MD を採用し、これを支えるための 3D プリントされたハウジング機構およびスポンジで構成される。スポンジにはポリウレタンフォームを、各モータの先端にはアスカー硬度 25 のクロロプレンゴムスポンジを用いた直径 30mm 円形の接触子を固定することで、身体と装置の接触箇所に負荷がかからないようにする。VR シーンを再生するヘッドマウントディスプレイ (HMD) には、仰臥位で装着した際に後頭部への圧迫が少ない Meta の Meta Quest 2 を採用する。

### 3.2 装置の制御方法

本装置の制御システムの概観を図 3 に示す。制御用 PC からシリアル通信を行うマイコンボードに Arduino UNO を採用し、これに PWM 信号を送信することで各モータ列を制御する。Unity (2022.3.0f1) を用いて作成された VR シーンは制御用 PC で管理し、これに応じて HMD に投影される映像が再生され、各モータ列が回転する。

### 3.3 モータの配置・回転方法

堀江らの回転せん断刺激に基づく分布触覚提示装置の設計指針を参考に [6]、モータは接触子の中心間距離が 60mm になるように格子状に配置した。一つのモータ列は数珠繋ぎに接続された 4 つのモータから構成されており、全体としては、背部に 3 列、臀部に 3 列の計 24 個から構成される。

起き上がり動作が開始してからの経過時刻とそれに応じた各モータ列の回転角度の関係を図 4 に示す。モータの回転速度は、配置と同様堀江らの研究を参考に、1 秒間に 100° 回転させる。

動作開始初期は全てのモータ列が順回転し、背部・臀部ともに回転せん断刺激が加わる。動作が進むにつれて背部のモータ列が逆回転し、初期回転位置まで戻ることによって回転せん断刺激が無くなる。臀部のモータ列は動作終了時まで順回転し続け、終了後はその回転位置で静止するため、臀部には回転せん断刺激が加わり続ける。以上のように、起き上がり動作に応じた体圧変化を模倣しつつ、動作終了後は座位状態の特に座骨部の体圧を模倣することで、座位だと錯覚させるを試みる。

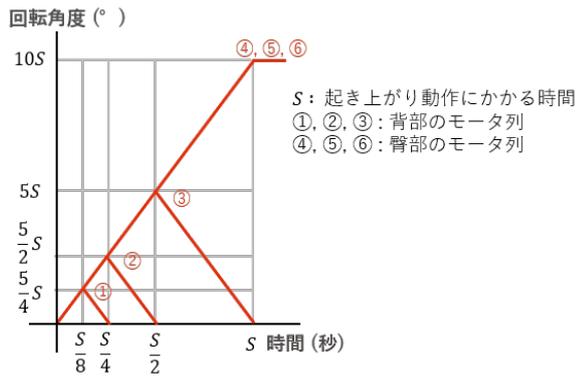


図 4: 起き上がり動作からの経過時刻とそれに対応した各モータ列の回転角度

### 3.4 VR シーン

ユーザの起き上がり動作に対する行為主体感を高くするために、コントローラのボタンを押している間だけ仰臥位から座位までの姿勢遷移を模倣した VR シーンを再生する。仰臥位における鉛直上向きの視界からピッチ方向に  $90^\circ$  回転することで座位への姿勢遷移を模倣する。また、一般的に起き上がり動作は仰臥位から座位までおよそ 2.4 秒で行われるため、本研究で検討する回転運動もこの秒間で行う。

## 4. まとめ

本稿では、仰臥位で VR 体験を行うユーザに対して、座位への姿勢遷移を模倣した視触覚刺激を提示するシステムの設計について検討した。もし、本システムが仰臥位の VR ユーザに座位錯覚を引き起こすことができれば、立位錯覚を引き起こす第一ステップとなる。また、デスクワークのような座位で行う VR 体験の没入感や臨場感を上げる可能性がある。今後は被験者実験を行うことで、本システムが有効であるかどうか確かめる。さらに、座位から立位への姿勢遷移を模倣した触覚刺激と組み合わせることで、仰臥位で立位だと錯覚することができるかどうかを確かめる。

### 参考文献

- [1] Saint-Aubert, J., Cogné, M., Bonan, I., Launey, Y., & Lécuyer, A. (2022). Influence of user posture and virtual exercise on impression of locomotion during VR observation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(8), 3507-3518.
- [2] Nakamura, J., & Kitazaki, M. (2024, March). Enhancing Virtual Walking in Lying Position: Upright Perception by Changing Self-Avatar's Posture. In *2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 837-838). IEEE.
- [3] Luo, T., He, Z., Cai, C., Han, T., Pan, Z., & Tian, F. (2022, October). Exploring Sensory Conflict Effect Due to Upright Redirection While Using VR in Reclining & Lying Positions. In *Proceedings of the 35th*

Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (pp. 1-

- [4] St George, R. J., & Fitzpatrick, R. C. (2011). The sense of self-motion, orientation and balance explored by vestibular stimulation. *The Journal of physiology*, 589(4), 807-813.
- [5] Horie, A., Nagano, H., Konyo, M., & Tadokoro, S. (2018). Buttock skin stretch: Inducing shear force perception and acceleration illusion on self-motion perception. In *Haptics: Science, Technology, and Applications: 11th International Conference, EuroHaptics 2018, Pisa, Italy, June 13-16, 2018, Proceedings, Part II 11* (pp. 135-147). Springer International Publishing.
- [6] 堀江新, 下林秀輝, 齊藤寛人, & 稲見昌彦. (2020). 回転の皮膚せん断変形に基づく分布型触覚ディスプレイの設計. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 25(4), 402-411.
- [7] 梁川和也, 吉田忠義, & 藤澤宏幸. (2014). 背臥位から長坐位までの起き上がり動作における運動パターンと所要時間の分析. *理学療法の歩み*, 25(1), 29-33.
- [8] 高見正利, 奥英久, & 中島咲哉. (2002, November). 8A42 起き上がり姿勢と体圧分布. In *福祉工学シンポジウム講演論文集 2002.2* (pp. 51-53). 一般社団法人 日本機械学会.