



# 搭乗感覚共有システムにおける VR 酔いの 低減手法に関する研究

## VR Sickness Reduction Method for Ride Sensation Sharing System

森田 翼<sup>1)</sup>, 梨木 玲穂<sup>2)</sup>, ヤエム ヴィボル<sup>1)</sup>, 雨宮 智浩<sup>3)</sup>, 池井 寧<sup>3)</sup>

Tsubasa MORITA, Reon NASHIKI, Vibol YEM, Tomohiro AMEMIYA, and Yasushi IKEI

1) 東京都立大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {morita, yem}@vr.sd.tmu.ac.jp)

2) 首都大学東京大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, nashiki@vr.sd.tmu.ac.jp)

3) 東京大学大学院 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {amemiya, ikei}@vr.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** これまで遠隔共同作業のための搭乗感覚共有システムを開発したが, 本稿では改良型として前庭感覚提示用電動回転椅子を電動車椅子に変更した構成を提案する. 本システムは現地の運転手が Segway を操縦し, 遠隔の専門家が電動車椅子上で現地映像を見て作業に参加することで, 協力しながら高度な作業を遂行可能である. 開発した電動車椅子は 2 自由度の前庭感覚刺激提示が可能である. この車椅子を使用してフィードバックのための予備実験を実施した. 結果, 参加者は並進方向の加速度を直進移動映像に対して 60% に調整し, VR 酔いが 54% 抑制された.

**キーワード:** 搭乗感覚共有, 前庭感覚フィードバック, VR 酔い, 共同作業, テレプレゼンス

## 1. 序論

5G 時代を迎えて, リアルタイムにあたかも遠隔地にいるかのように体験者に感じさせるためのテレプレゼンス技術は広く研究されている[1][2]. 遠隔地に対する作業では, 通信の遅延や映像品質の低下により, ロボット等の遠隔操作に支障が生ずる. また, 現地のカメラロボットが空間を自由に移動することで多様な作業が遂行可能となるが, 遠隔のカメラが運動する映像は, 視覚と身体感覚が一致せず VR 酔いが誘導される.

本研究では, 実空間の体験と同様に視覚情報が統合できるように, 視点の運動に整合した他の感覚情報を観察者に与えることで, 感覚の統合過程を補正する入力設計することを目的としている. これまで, 遠隔共同作業における VR 酔いを軽減するために, 搭乗感覚をフィードバックする回転椅子を用いた構成を提案してきた[3]. 本稿では, 改良型として DC モータを取り付けた車椅子を前庭感覚のフィードバックに利用する構成を提案する. そして, 新たに表現可能となった並進方向の加速度フィードバックの有効性について行った予備実験の結果を報告する.

## 2. 搭乗感覚共有システム

これまで本研究では, 遠隔共同作業のための搭乗感覚共有システムを開発してきた[3]. 図 1 に示すように, 観察者は HMD を装着して電動車椅子に座りながら, 遠隔地の Segway からの全方位の立体的な視界と音声を得ることで,

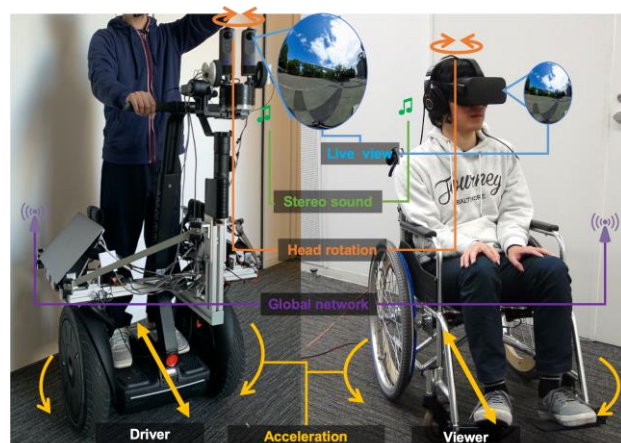


図 1: 搭乗感覚共有システム  
移動型カメラシステム (左), 前庭感覚ディスプレイ (右)

Segway の遠隔搭乗者となる.

### 2.1 前庭感覚ディスプレイ (電動車椅子)

従来の構成からの改良として, 前庭感覚ディスプレイを電動回転椅子から電動車椅子に変更したことで, Yaw 回転方向 1 軸だけの 1 自由度の表現だけでなく, 並進方向 1 軸を加えた 2 自由度の表現が可能となった. 電動車椅子はそれぞれの車輪に取り付けた DC モータにより, Segway の走行に対応する並進・旋回運動刺激を前庭感覚に与えている.

これまでの本研究の予備実験により, 他律的な視野回転に対応する身体の回転をフィードバックすることで, VR

酔いが低減することが分かっている[3]. 本稿では新たに表現可能になった並進方向についてのフィードバック量を決定するため、立体映像と電動車椅子の並進の関係について予備的に評価し、VR 酔い軽減に対する並進運動刺激の有効性を示す。

### 2.1.1 加速度提示理論

移動型カメラシステム (Segway) と前庭感覚ディスプレイの加速度, 速度, 変位の軌道設計を図 2, 図 3 に示す. これは, 1 秒の時に  $1.96\text{m/s}^2$ , 8 秒の時に  $-1.96\text{m/s}^2$  の加速度提示を仮定したものである. 本システムは, Segway の加速度のみを前庭感覚ディスプレイで再現しているため, 等加速時には加速度が 0 となり急停止する. 安全のために停止補助加速度 (図 3 中は 0.2) を設けている.

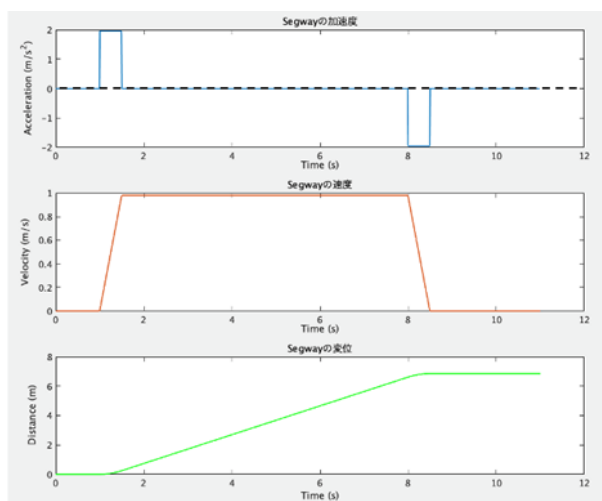


図 2: Segway の加速度 (上)・速度 (中)・変位 (下), 横軸は時間

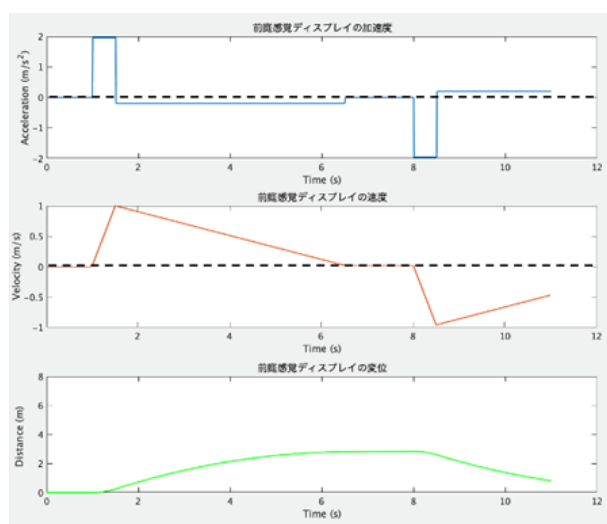


図 3: 前庭感覚ディスプレイの加速度 (上)・速度 (中)・変位 (下), 横軸は時間

## 3. フィードバック設計のための予備実験

### 3.1 前庭感覚ディスプレイの加速度提示量の調整

#### 3.1.1 実験目的と実験参加者

本実験では, Segway に搭載したカメラ加速度に対して前庭感覚ディスプレイで観察者が受ける加速度の適合量を求める. 平均年齢 22.2 歳の大学生 11 人が実験に参加した.

#### 3.1.2 提示刺激

視覚刺激は本大学構内の廊下を Segway で直進した映像を記録したものであり, 15 秒間に 3 回の加減速が含まれる. 撮影と同時に加速度の計測を行い, 計測結果から映像中の最大加速度を 3 水準 {3.32, 2.21, 1.09 ( $\text{m/s}^2$ )} とした.

#### 3.1.3 前庭感覚ディスプレイの適合加速度の調整

設定した視覚刺激に適合する加速度フィードバック量を実験参加者に調整させた. 図 4 は, Segway に搭載したカメラから記録した映像の 3 水準の加速度に対して調整された加速度をプロットしている. カメラ加速度の 61% が加速度の適合量として適していることがわかった.

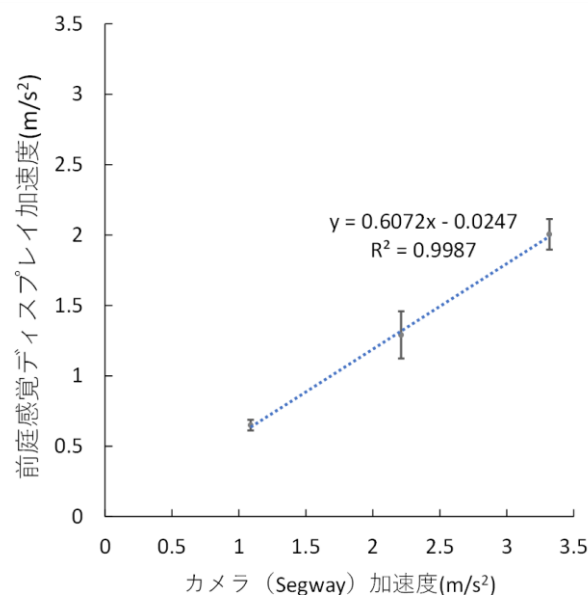


図 4: カメラ (Segway) と前庭感覚ディスプレイの加速度の関係

### 3.2 前庭感覚ディスプレイの評価実験

#### 3.2.1 実験目的・仮説及び実験参加者

直進移動映像と前庭感覚ディスプレイにより調整された前庭感覚刺激を提示し, VR 酔い等への効果を計測する. 平均年齢 22.3 歳の大学生 11 名が実験に参加した.

#### 3.2.2 実験条件と手順

3.1 節で設定した 3 水準の視覚刺激及び適合する前庭感覚刺激 2 水準 (有無) の計 6 水準の刺激を以下の手順で提示する.

- I. 実験参加者は HMD とヘッドホンを着用し, 前庭感覚ディスプレイに座る
- II. 6 水準の中から 1 つをランダムで 15 秒間提示する
- III. SSQ[4]について評価する
- IV. II-IIIを 6 水準分繰り返す

### 3.2.3 実験結果

SSQ-TS の分散分析の結果、前庭感覚刺激の有無に主効果( $p<.01$ )があった(図 5)。したがって、開発した前庭感覚ディスプレイで、直進移動映像の加速度に対応した前庭感覚刺激を提示すると、VR 酔いが 54% 低減されることがわかった。

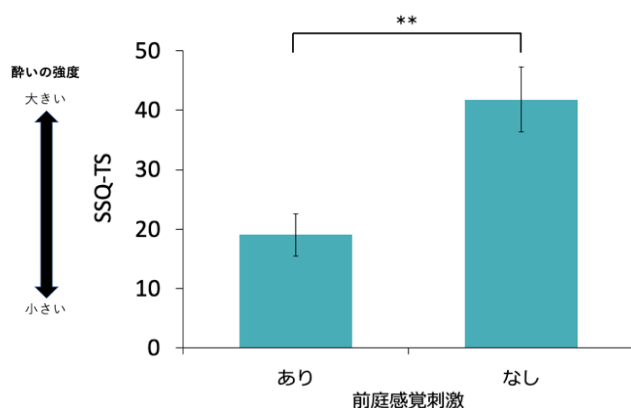


図 5: 前庭感覚刺激の有無に対する SSQ-TS, (\*\* $p<.01$ ),  $n=11$

### 3.2.4 考察

VR 酔いの低減は、視覚映像の加速度知覚に対応する前庭感覚刺激の提示によって、視点運動の統合過程が補正されたためと考えられる。適合する前庭感覚への加速度提示量が、映像の加速度より小さい理由として以下が考えられる。視覚のオプティカルフローでとらえられる加速度を前庭感覚の大きさに対応させる関係についての定量的な知識を持たないこと、能動的運動を行っていない実験参加者には感覚減衰が生じないため、加速度が大きく感じられることなどがある。これらは前庭適合加速度が小さいことと矛盾しない。

## 4. 結論

遠隔共同作業のための搭乗感覚を共有するテレプレゼンスシステムの改良として、開発した電動車椅子を前庭感覚提示に利用する構成を提案した。予備実験の結果、直進移動映像の加速度の 60% 程度を提示することが適していることがわかった。直進移動映像の体験時に、この条件で

前庭感覚刺激を提示することで、54% の VR 酔い低減効果が見られた。

今後は、搭乗感覚共有システムのリアルタイム映像に対して、前庭感覚刺激を提示することにより、リアルタイムの遠隔体験における統合過程の補正を行い、実用的な使用局面での利用を可能とすることである。さらに、提案した搭乗感覚共有システムが遠隔共同作業において有効であるかを検証する必要がある。

**謝辞** 本研究は、総務省 SCOPE(191603003), JSPS 科研費 (JP18H04118, 18H03283), SCAT, JKA などの支援により実施された。ここに謝意を表する。

### 参考文献

- [1] Fernando C. L., Furukawa M., Kurogi T., Hirota K., Kamuro S., Sato K., Minamizawa K., Tachi S.: TELESAR V: TELEExistence surrogate anthropo-morphic robot. ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies (2012).
- [2] Kasahara S., Rekimoto J.: JackIn Head: Immersive Visual Telepresence System with Omnidirectional Wearable Camera for Remote Collaboration. ACM VRST'15 (2015), pp.217-225.
- [3] 森田翼, ヤエムヴィボル, 雨宮智浩, 池井寧: 遠隔共同作業のための搭乗感覚共有システム, 日本バーチャリアリティ学会第 24 回大会論文集, p.3B06, 2019.
- [4] Kennedy R. S., Lane N. E., Berbaum K. S., Lilienthal M. G.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. The International Journal of Aviation Psychology. Vol. 3, (1993), pp.203-220.