



# 遠隔共同作業のための搭乗感覚共有システムに関する研究

## Transferring Ride Sensation for Remote Collaborators

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

Tsubasa MORITA, Vibol YEM, Tomohiro AMEMIYA, 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, {morita, yem, ikei}@vr.sd.tmu.ac.jp)

2) 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)

**概要:** 遠隔共同作業のために移動機搭乗感覚を伝達するテレプレゼンスシステムを提案した。本システムはカメラを搭載した電動移動機 (Segway) と、前庭感覚提示用電動回転椅子および Head Mounted Display (HMD) で構成されている。現地のオペレータが Segway を操縦し、遠隔の専門家が回転椅子上で現地映像を見て作業に参加する。本稿では、移動機の回転を前庭感覚に提示する際の回転軌道を検討した予備実験の結果を示す。回転座席の角加速度を調整法で求めた結果、カメラ回転の約半分となった。さらに Virtual Reality (VR) 酔いを抑制するには同相の回転が適切と示された。

**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. はじめに

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が広く研究されている[1][2]。遠隔地に対する作業では、通信の遅延により映像品質が低下するため、ロボット等の遠隔操作に支障が生ずる。また、現地の周囲を見渡すために現地のロボットカメラを高速で回転させると、観察者にはしばしば VR 酔いが発生する。これらはテレプレゼンスシステムにおいて解決すべき課題となっている。

本研究では、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する。本稿では、椅子の回転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

本研究では、遠隔共同作業のための乗車感覚共有システム (TwinCam Go) を開発した (図 1)。本システムは、橋梁などの社会インフラや大型の建築物の保守、大規模プラントの監視などで、現場を走行しながら作業を行う応用を想定している。これまでの研究で、2 台の 360 度カメラ (THETA V) を使用する TwinCam システムが構築されている[3]。これは世界座標系でカメラレンズの方位を一定に固定することにより、頭部回転時の運動ぼけや VR 酔いを軽減する機能を持つ。頭部を素早く回転させた場合でも、見かけの遅延が少なく、運動ぼけもなく、両眼視差を伴った 3D 映像を伝送することが可能となっている。

本研究では、このカメラシステム (TwinCam) をスタビライザを介して Segway に搭載した。図 1 に示すように、観察者は椅子に座りながら遠隔地の全方位の視界を得る



図 1: テレプレゼンスシステムの概観 (TwinCam Go)

ことで、Segway の遠隔搭乗者となる。椅子に取り付けた DC モータにより、Segway の回転に対応する回転運動刺激を前庭感覚に与えている。これにより、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 酔いを軽減することを試みた。この回転フィードバック量を決定するため、360 度カメラと電動回転座席の回転の関係について予備的に評価し、VR 酔い軽減に対する回転運動刺激の有効性を示す。

## 3. フィードバック設計のための予備実験

### 3.1 前庭感覚提示における最適な回転角加速度

本実験の目的は、図 2 に示すカメラの角加速度に対する電動回転座席の最適な角加速度を求めることである。7 人の男子大学生が実験に参加した。実験参加者には、HMD (Oculus Rift CV) で、単一の 360 度カメラ (THETA V, Ricoh) からのライブビューを提示した。カメラはステッピングモータによって振幅 60 度の正弦波軌道で回転させた (図 3)。実験参加者は電動回転座席に座って、コントローラを使用して座席の回転振幅を調整した。3 段階の

カメラの角加速度に対して、座席の角加速度を調整させた。実験中はヘッドフォンでホワイトノイズを提示した。なお、座席とカメラの回転は任意に停止・再開できるようにした。



図 2: 電動回転座席 (左), 360 度カメラ (右)

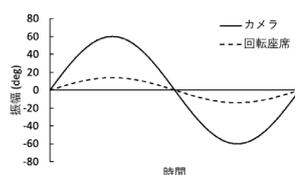


図 3: カメラと回転椅子の波形

調整結果を図 4 に示す。カメラに対する回転座席の最適な角加速度は約半分 (0.54 倍) であることが示唆された。視覚と前庭感覚は密接に関連しており、統合的に処理されるため、この関係は線型写像でないことが予想される。さらに詳細な調査を行い、フィードバック設計を進めることが必要である。

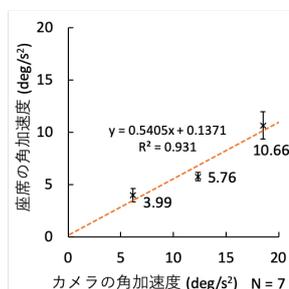


図 4: カメラと座席の角加速度の関係

### 3.2 VR 酔いの抑制効果

VR 酔いの軽減に寄与する前庭感覚へのフィードバック (回転運動) の角度軌道について調査した。10 人の男子大学生が実験に参加した。カメラの回転の振幅は 60 度とし、回転座席の角加速度は 3.1 の結果に基づいて決定した。前庭感覚のフィードバックとして、カメラに対する回転座席の回転条件を無回転・同位相回転・逆位相回転の 3 種類とした。同位相回転はカメラの回転と同じ方向に座席が回転し、逆位相回転は反対の方向に回転する条件である。各条件を提示した後、実験参加者は Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) に回答した[4]。

結果を図 5 に示す。一元配置分散分析の結果、座席刺激の要因は最高度に有意であった [F(2, 18) = 6.2,  $p < .001$ ]。Bonferroni 法による事後検定により、同位相回転と他の条件との間に有意差があると示された ( $p < .05$ )。したがって、

座席の回転方向がカメラの回転方向と同じであれば、画像の回転によって引き起こされる VR 酔いを大きく減少させるのに有効であるといえる。一方、逆位相回転は VR 酔いの軽減に効果がなかった。これは通常、経験することがない前庭感覚刺激であるため、視覚情報の回転と無関係の入力として無視されたと考えられるが、VR 酔いに有効な前庭感覚刺激について、今後、より詳細に調査する必要がある。

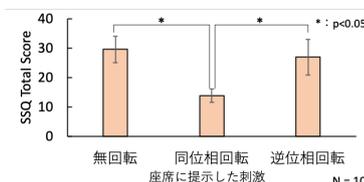


図 5: 前庭感覚フィードバックの条件に対する VR 酔いの強度

## 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を提案した。予備実験の結果、VR 酔いを減少させるために、前庭感覚のフィードバックはカメラの回転に対して約半分の角加速度が適切であることが示された。今後は、VR 酔いの減少に対する前庭刺激の効果の明確化と、電動回転座席の自由度を増やすことを検討している。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、JSPS 科研費 (JP26240029, JP18H04118)、総務省 SCOPE (191603003)、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: TELEXistence 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), 217-225.
- [3] Tashiro K., Fujie T., Ikei Y., Amemiya T., Hirota K., Kitazaki M.: TwinCam: Omni-directional Stereo-scopic Live Viewing Camera for Reducing Motion Blur during Head Rotation. ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies (2017).
- [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), 203-220.