



# 下肢運動提示による旋回歩行感覚特性に関する研究

山岡憲太郎<sup>1)</sup>, ヤエム ヴィボル<sup>1)</sup>, 雨宮智浩<sup>2)</sup>, 北崎充晃<sup>3)</sup>, 佐藤 誠<sup>4)</sup>, 池井 寧<sup>2)</sup>

1) 東京都立大学大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {yamaoka, yem}@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, ikei}@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

4) 東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, mkt.sato@vr.sd.tmu.ac.jp)

**概要:** 本研究では, 着座状態の体験者の下肢を運動させる装置により歩行感覚を生成する手法を探求している. 本稿では特に旋回歩行感覚を想起させる下肢運動を対象とした特性を調査した結果を述べる. 直進歩行の表現の場合は進行方向に平行に足を踏み出すが, 旋回歩行表現の場合は踏み出し時に旋回方向へ足を回転させることで旋回歩行感覚が高まることが示された. また, 下肢運動提示において, 身体方位の回転が含まれることで旋回感覚は高まることがわかった.

**キーワード:** 下肢運動提示, 歩行感覚, 旋回歩行

## 1. はじめに

VR (Virtual Reality) 空間への没入体験において視点が移動する場合には, 身体運動の感覚を伴うことが必要であり, それによってこそ VR 酔いの発生機序の回避に寄与しうる. また, 他者の体験知の追体験の場合は, 過去の身体感覚の再現が必要となる. 本研究では人間の身体活動の基礎となっている歩行運動の感覚の生成手法を開発している. 本手法は座位の体験者の下肢に運動刺激を提示する[1]のものであり, 立位等よりも低負荷で正確な刺激が提示可能である.

本稿では旋回歩行を表現する手法について述べる. 直進歩行表現にはペダル・スライダ機構を利用してきたが, 旋回歩行の表現では, 座席を中心に下肢をヨー回転させる運動が必要であるため, 回転機構を加えた. これにより片足につき 3 自由度となるが, それらによる合成刺激として最適な運動について検討した結果を述べる.

## 2. 下肢運動提示装置の構成

本研究で構築した下肢運動提示装置を図 1 に示す. 足のピッチ運動を提示するペダル機構と, 前後運動を提示するスライダ機構, およびユニット全体がヨー回転する旋回機構の 3 自由度で構成されている.

### 2.1 ペダル機構

ペダル機構は, 母指球付近を軸として回転させることで, 体験者の踵部を上下に昇降させ, 股関節, 膝・足関節のピッチ方向回転によって下肢の持ち上げ感覚を表現する. ペダルの可動域は, 水平時を  $0^\circ$  とするとき  $-31^\circ \sim +38^\circ$ , 最大回転速度  $360^\circ/s$  である.

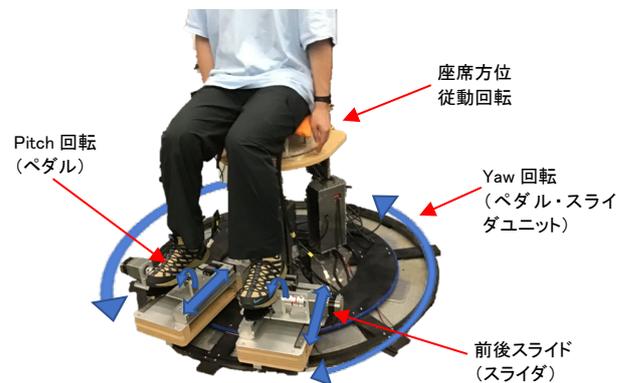


図 1 下肢運動提示装置

### 2.2 スライダ機構

スライダ機構は足を前後方向に並進運動させることで, 体験者の膝関節のピッチ回転の運動を提示し, 踏み出し感覚を表現する構成となっている. ストロークは  $200\text{ mm}$ , 最大速度  $800\text{ mm/s}$  である.

### 2.3 旋回機構

旋回機構は座席を中心とし, ペダル・スライダ部を半径  $495\text{ mm}$  のレール上を回転させて足の方角を変えるもので, 体験者の股関節にヨー方向の運動を提示する. 回転可動域は  $360^\circ$  であり, 最大回転速度  $27.3^\circ/s$  である.

### 3. 下肢運動提示による旋回歩行感覚生成のための運動刺激の評価

#### 3.1 実験目的, 参加者, 刺激

上記の3自由度の運動を組み合わせ、旋回歩行の感覚に適合する刺激提示手法を求める。実験参加者は8名(平均年齢23.3歳)である。

旋回機構とペダル・スライダ機構の運動を組み合わせ、刺激の種類を図2に示す。①旋回運動なし、①9°往復旋回運動、②18°往復旋回運動、③スライダ前方踏み出し時の18°旋回運動、④スライダ後方蹴りだし時の18°旋回運動、⑤一定速度での旋回の6水準を設定した。ペダル機構およびスライダ機構による提示は、直進歩行表現に最適化された振幅量(ペダル:25mm, スライダ60mm)[1]を利用し、すべての刺激条件で提示した。

旋回機構の回転角度は、半径2mの実際旋回歩行時の踏み出し角度から1歩ごとに18°に設定した。また往復旋回運動では予備実験から9°と18°の2種を用意した。⑤では10歩分の時間(7.7s)で90°回転させる。

旋回を含む刺激は、左旋回、右旋回の2通りを用意し、全11刺激を提示した。また、座席は自由に回転可能なテーブルで、下肢の旋回運動に追従して回転した。

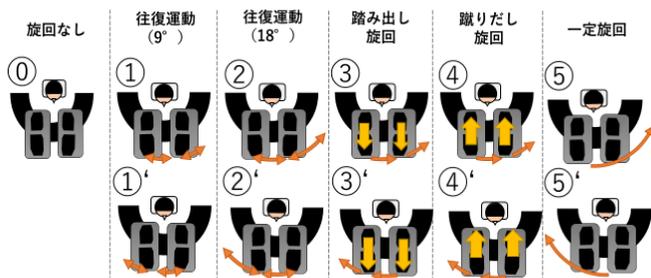


図2 提示刺激

#### 3.2 手法

標準刺激として歩行周期1.4sの直進歩行(10歩)、半径2mの実際旋回歩行(180°旋回)をさせ、その後回転座席に座り、装置のペダル部に足を乗せ、刺激をランダム順で提示する。提示時間は、半径2mの旋回歩行の180°旋回に相当する10歩提示する。視聴覚条件は、閉眼、ホワイトノイズのイヤホン提示である。評価項目は、旋回感覚と歩行感覚(直進、左旋回、右旋回)で、実際歩行の標準刺激と比較してVAS(Visual Analogue Scale)で評価させる。

#### 3.3 結果および考察

旋回感覚の結果を図3、歩行感覚を図4に示す。旋回感覚は100を実際歩行と同等(180°回転)を示し、歩行感覚は100を実際歩行と同等とする。

旋回感覚について、回転方向(左右)と回転刺激条件(5水準)の二元配置分散分析を行った結果、回転方向は有意差はなく同等である一方、回転刺激条件に有意差がみられた。多重比較を行った結果①②と③~⑤の間に1%以下の有意差がみられた。①②の駆動パターンでは座席の回転が生じなかったが、③~⑤では座席の回転が生じた。このことから、旋回感覚は身体方位回転が含まれることで高まる

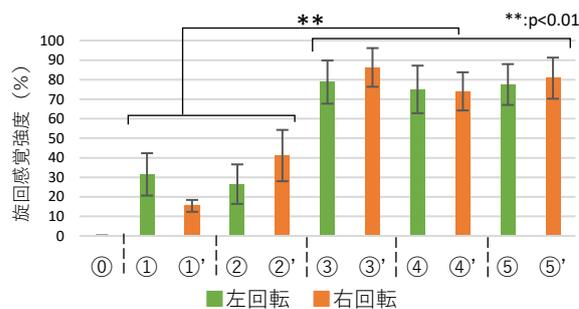


図3 旋回感覚

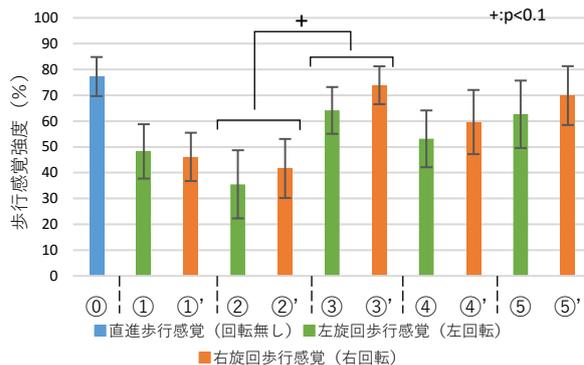


図4 歩行感覚

ことが考えられる。また、実際歩行を半周した場合、身体の方角は180°回転するが、③~⑤の刺激では90°座席(身体)が回転する。しかし、旋回感覚は70~80%となっており、座席の回転量(50%)より知覚された回転量は大きくなる傾向がみられる。

歩行感覚については、回転方向(左右)と回転刺激条件(5水準)の二元配置分散分析の結果、図4からわかるように回転方向に有意差はみられない一方で、刺激条件には有意差が認められた。多重比較によれば、②と③の間に有意傾向が見られ、回転角度が同じ18°でも身体方位が連続的に変化する③の刺激が旋回歩行感覚を高めるのに有効であることがわかる。⑤の旋回歩行感覚が高いのも身体方位の変化を含むためと考えられる。

### 4. おわりに

本稿では下肢運動提示によって旋回歩行感覚を生成する際の刺激の特性について調査した。実験結果より、踏み出し時に旋回運動を加えることで、より大きな旋回歩行感覚を生成できることがわかった。今後は、回転量、振幅量を最適化することで、より高品質な旋回歩行を実現することを目指す。

**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。

#### 参考文献

- [1] Yamaoka K., Koide R., Amemiya T., Kitazaki M., Yem V., Ikei Y.: Rendering of Walking Sensation for a Sitting User by Lower Limb Motion Display, ICAT-EGVE2019, 2019.