

# ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導

鈴木亮太<sup>†1</sup> 中村優介<sup>†2</sup> 福田悠人<sup>†2</sup> 小林貴訓<sup>†2</sup> 久野義徳<sup>†2</sup>

**概要:** 動く縞模様などの視覚刺激によって運動感覚を引き起こし、歩行を誘導する研究が行われている。我々は、この視覚誘導性自己運動知覚(ベクション)を個人用移動体の誘導に応用すべく予備的な検討を行った。本稿では、個人用移動体の誘導に向けて、様々な視覚刺激を提示し、その効果を検証した。

## Induction of Personal Mobility Using Vection

RYOTA SUZUKI<sup>†1</sup> YUSUKE NAKAMURA<sup>†2</sup> HISATO FUKUDA<sup>†2</sup>  
YOSHINORI KOBAYASHI<sup>†2</sup> YOSHINORI KUNO<sup>†2</sup>

**Abstract** In recent years, several approaches of inducing walking direction using visual cues like flowing stripes, which called Vection, have been proposed. In this paper, we report a preliminary investigation about application of such Vections for inducing Personal mobilities. We conducted an experiment that wheelchair users asked to move straight using some patterns of controlling interfaces and wearing HMDs, which show visual effects. As a result, it was shown that there is possibility of induction of Personal mobilities using Vection.

### 1. はじめに

電動車椅子やセグウェイなどの個人用移動体(パーソナルモビリティ)の普及が始まっている。そのため、日常環境でパーソナルモビリティと歩行者が共存し、適切に動くための技術や方法論の確立が急務となっている。パーソナルモビリティの一つであるセニアカーは、高齢者の移動を支援し、高齢者の社会参画を促進することが期待されているが、車道を走る、路肩に寄り過ぎて転落するなどの危険な運転を高齢者がしばしば行ってしまうことが問題視されている。普及にあたり、このような問題が顕在化すれば、死亡事故などの重大事故も多発することが考えられるため、早急に解決すべき重要な課題である。

我々は、事前に作成した地図を用いて自己位置を推定し、目的地まで自律移動できるロボット車椅子を開発してきた[1]。我々の調査では、廊下などの通路を走行する場合、障害物を避けたあとにもとの経路に戻るよりも、たとえ壁に近くてもその位置で通路に沿って進んだほうが、ロボットの動作として適切であることが分かっている。これは、移動ロボットの進路変更が搭乗者や周囲の歩行者に予期できないために、乗り心地の悪化や通行人とのすれ違いがスムーズにできないという問題に繋がるためであり、同様の問題が、実際に人が操縦するパーソナルモビリティの場合についても起こると考えられる。

この問題に対し、パーソナルモビリティの移動方向を事前に伝達する方法が第一に考えられる。近年乗用車の自動走行技術が商業的にも注目され、それと同時に安全な自動

走行を実現するためドライバーや周囲の人とのコミュニケーションを行うシステムが研究されるようになってきた[3, 4]。しかし、これらは交通ルールが定められ、進路方向が非常に限られた状況下で運用されるものであり、自由な進路変更や非常に近接した範囲での周囲の歩行者との共存が望まれるパーソナルモビリティには適さない。

一方、パーソナルモビリティの搭乗者の操作を誘導する方法が考えられる。例えば路肩に寄り過ぎたので方向転換をしなければならぬという状況で、搭乗者が特別に意図することなく道の中央方向に進行方向を変更するよう搭乗者の操作を誘導することができれば、安全に移動を行うことができ、利用者の行動範囲を拡張できる(図1)。これは搭乗者の意図を妨げることなく搭乗者の無意識的な操作を拡張する、新たなパラダイムである。

移動の誘導の事例として、動く縞模様などの視覚刺激による運動感覚(ベクション)を引き起こし、歩行を誘導する

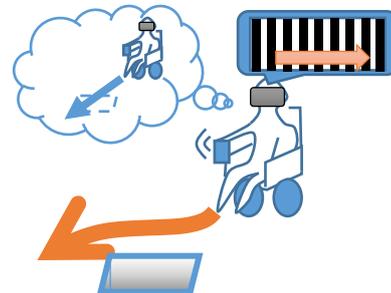


図1 操作の誘導による安全な移動

Figure 1 Safety move through induction of control.

<sup>†1</sup> 産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
<sup>†2</sup> 埼玉大学  
Saitama University

研究が行われている。ベクションとは、視覚刺激により実際にはその運動をしていないにも関わらず身体に錯覚的移動感覚が生じる現象のことをいう。一般的に、動く柄柄や一方方向に様に流れる点群のような視覚刺激により、その動きと逆方向に運動知覚が発生することが知られている。ベクションは、高速道路に設置された縞模様によりドライバーの速度感覚を制御することで安全な運転を促すなど、実際の問題にも活用されている。また、工学の分野でもベクションを利用したシステムの提案が行われ始めている。例えば、吉川らは、白黒の縞模様が歩行方向と垂直に流れるようなベクション場を生成する装置を設計し、このベクション場により歩行の移動方向を誘導可能なことを示した[5]。Tanikawaらは、周辺視野にオプティカルフローを表示するヘッドマウント型の装置を開発し、歩行方向を誘導する実験を行いその効果を検証した[6]。またベクションの強度は疲労度や歩行・走行動作の差異などの身体的状態に関係することが明らかにされている[7]。パーソナルモビリティでは搭乗者は操縦桿などの操作インタフェースにより間接的に移動を行うため、操作インタフェースの形態についても検討する必要がある。本稿では、ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導に向けて、様々な視覚刺激をパーソナルモビリティ搭乗者に提示し、その効果を実験により検証した。

## 2. 視覚刺激と操作インタフェースの関係性の調査実験

実験では、パーソナルモビリティである電動車椅子に搭乗した上で、視覚刺激を与えることで操作を誘導できるかどうかを調査する。また、身体操作との関係を明らかにするため、異なる操作インタフェースと視覚刺激の組み合わせによる誘導の効果を調査する。

### 2.1 視覚刺激

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)(Oculus Rift DK2)の下部に、水平画角 180 度のカメラ(Buffalo BSW180ABK)を取り付け、その映像が HMD に表示される。さらに、図 2 に示すエフェクトにより視覚刺激を与える。なお、本実験で用いたプログラムのフレームレートはカメラのフレームレートである 30fps である。また、以下で用いる値の単位は、断りが無ければ HMD の水平視野の幅を 1 とした時の比である。

#### (a) 横に流れる縦縞

白黒の縦縞が、左から右に流れる。本稿では、周期幅  $W = 16/512$ 、1 フレームの移動量  $v = 1/512$  である。

また、視野の中心に近づくほど、エフェクトは透明になり、カメラ映像が見えるようになる。具体的には式(1)により不透明度  $\alpha$  を算出し、カメラ画像とアルファブレンディングした。ここで、 $r$ 、 $c$  はそれぞ

れ視野中心からの縦位置、横位置である。また、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$  は透明領域の大きさや形状、変化量の大きさを調整する定数である。本稿ではそれぞれ 0.8、0.5、3、 $-96/255$  である。また、 $\alpha$  はさらに 0 から 1 になるようにクランプ処理をする。

$$\alpha_{r,c} = \delta \sqrt{\left(\beta \frac{r}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{c}{\gamma}\right)^2} + \varepsilon \quad (1)$$

#### (b) 視界の傾き

カメラ映像が視線の方向軸周りに徐々に右回転していく。一定の角度(本稿では 30 度)まで回転する。本稿では、1 フレームに 0.5 度回転する。

#### (c) 視野の欠け

右から左へ、徐々にカメラ映像が消えていく。一定の位置(本稿では中央)まで視野が欠ける。本稿では、1 フレームに 0.005 欠ける。



(a) 縞

(a) Flowing stripe



(b) 傾き

(b) View rolling



(c) 欠け

(c) View deflection

図 2 視覚刺激

Figure 2 Visual cues.

### 2.2 車椅子操作インタフェース

本稿では、電動車椅子(ヤマハ発動機 タウニジョイ X)にデフォルトで取り付けられている操縦桿と、Wii リモコンを用いた車両のハンドルを模した操作インタフェースについて比較する。

車椅子の操縦桿は、手すりの先に取り付けられている。

前後左右に倒すことで前後進・回転ができ、また倒す大きさで速度が変化する。

Wii リモコンを用いた車両のハンドルを模した操作インタフェースは、図3のように乗用車のハンドル操作と同様に、左右に傾けることで回転が行え、またボタンを押す間最大速度を目標速度にして前進する。速度制御はオプション品のアカデミックパックを介して、ノート PC から目標速度を入力することにより行われる。

なお、本稿で用いた車椅子の速さは人間が遅く歩行する程度である最大 0.865m/s に設定した。

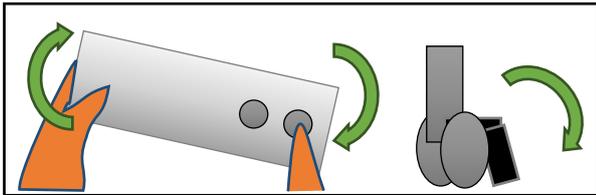


図3 Wii リモコンによる操作インタフェース

Figure 3 Controlling interface using Wii remote.

### 2.3 実験設定

普段車椅子を利用していない大学生 27 人 (男性 12 人:女性 15 人) を対象に実験を行った。各被験者は、(2 種類の視覚エフェクトの組)×(2 パターンの操作方法)の計 4 回を体験した。視覚エフェクトの組は、(縞・傾き)、(縞・欠け)のうちどちらかである。各パターンのケース数は、(縞・操縦桿)=(縞・Wii リモコン)=27、(傾き・操縦桿)=(傾き・Wii リモコン)=14、(欠け・操縦桿)=(欠け・Wii リモコン)=13 である。操作の不慣れさによるバイアスを排除するため、それぞれの操作インタフェースを各 2 分ほど事前練習していただいた。実験中は、HMD を装着してもらい、それぞれの組み合わせにつき、車椅子で約 10m 前方に移動するよう指示した。実験時の様子とコースを図4に示す。実験開始時はエフェクトのないカメラ映像を投影しておき、被験者が車椅子を前進させるのと同時に視覚刺激を加えた。移動の様子を記録するため、部屋の隅にカメラを設置し、また移動軌跡を記録するため、レーザー測域センサを部屋の横の壁際に設置した。また、各移動の後に乗り心地や操作感、誘導の自覚についてインタビューを行った。

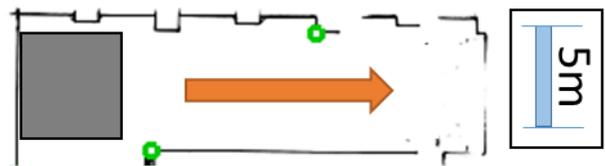


図4 実験の様子とコース

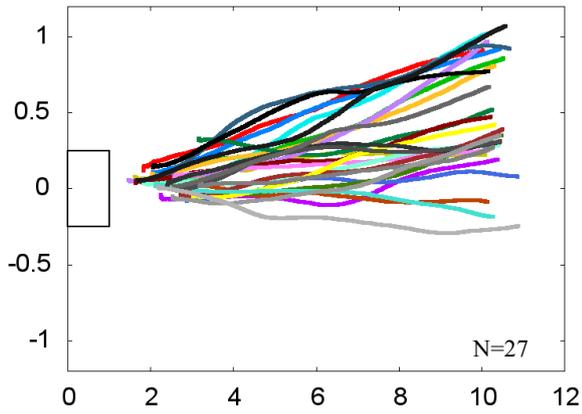
Figure 4 Experimental scene and course.

### 2.4 実験結果

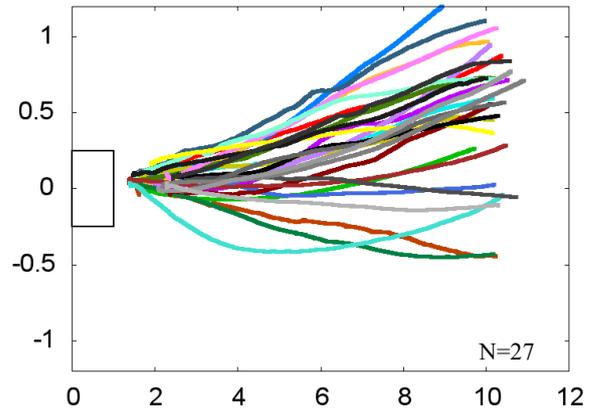
実験結果を図5に示す。なお、グラフ中の矩形は車椅子のおおよその形状を示し、また進行方向は右方向である。

まず、視覚刺激の種類による差を比較する。縞の視覚刺激により、個人差があるが、多数の被験者が左に寄って移動しており、右方に寄って移動する被験者は少数であった。また、誘導される程度は個人差に開きがあり、軌跡が扇状に一樣に分布している様子が見られる。縞の動く方向と逆に誘導されたのは、先行研究で多く用いられた動く点群や縞柄のようなオプティカルフロー刺激によるものと同様に、動くエフェクトが背景として固定しているように認識され、カメラ画像が縞と逆の方向に流れていると錯覚することによりベクションが発生したものと考えられる。

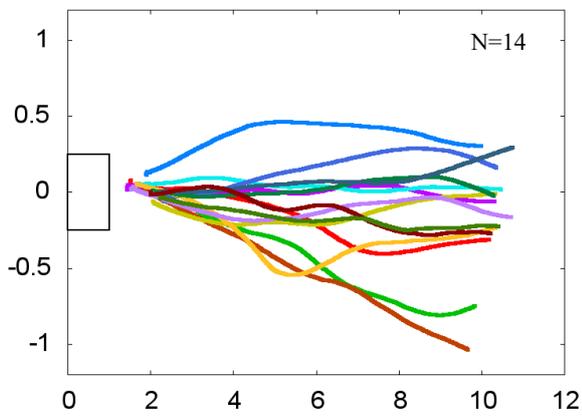
他の二つの視覚刺激については、多数の被験者が縞の場合と逆の右方向に寄って移動しており、軌跡の分布は縞の場合と同様に一樣に分布している。右方向に誘導された理由としては、それぞれ別の要因によるものと考えられる。傾きによる場合は、全体の視界が右に傾くことにより身体が右方に傾いているというベクションが発生していると考えられる。一方、欠けによる場合は、欠けていく視野の中心に進行方向を収めようとして、身体を欠けている方に回転させることにより、進行方向が欠けたほうに誘導されたという、ベクションの定義とは異なるメカニズムが働いたと考えられる。また、欠け・Wii リモコンのパターンのう



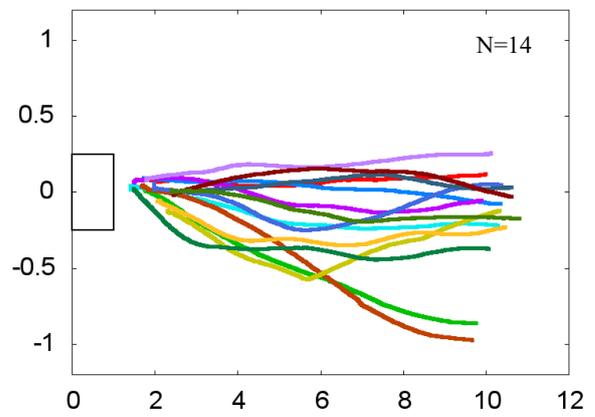
(a) 縞・操縦桿  
(a) Flow stripe + Joystick



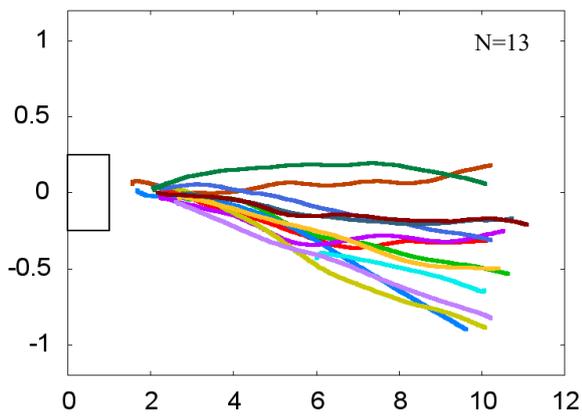
(b) 縞・Wii リモコン  
(b) Flow stripe + Wii remote



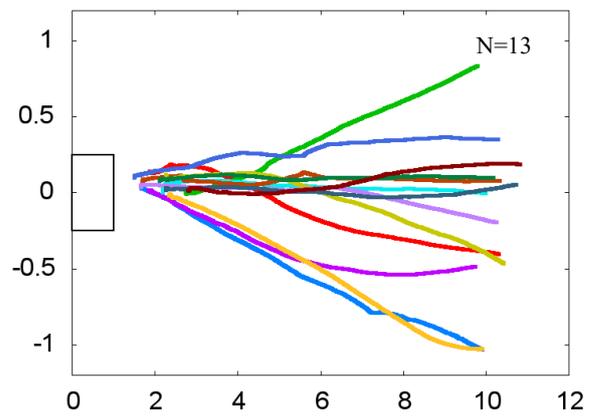
(c) 傾き・操縦桿  
(c) View rolling + Joystick



(a) 傾き・Wii リモコン  
(d) View rolling + Wii remote



(e) 欠け・操縦桿  
(e) View defection + Joystick



(f) 欠け・Wii リモコン  
(f) View defection + Wii remote

図 5 視覚エフェクト×操作方法に対する被験者の軌跡 (単位: m)

Figure 5 Trajectories of experimentees by visual cues x maneuvering methods.

ち、一人の被験者が左に大きく寄って移動しているが、事前に行った予備実験でのインタビューによれば「黒いところが迫ってくるような感じ」により欠けていない方に誘導されたケースがあり、同様のことが起こった可能性がある。

図6は、各実験設定におけるゴール地点での中央からのずれの平均と標準偏差である。ずれの方向には差があることが分かるが、ずれの大きさに大きな差はないことがうかがえる。実験後のインタビューでは、視界を傾ける刺激ではパーソナルモビリティを操縦する上でストレスに感じるといった意見を得た。一方、動く縞の刺激ではまっすぐ進んだつもりだったが実際には左右に寄っていて驚いたという意見が多かった。視覚刺激の種類によっては、利用者に負荷が少ないパーソナルモビリティ操作の誘導を実現できる可能性がある。

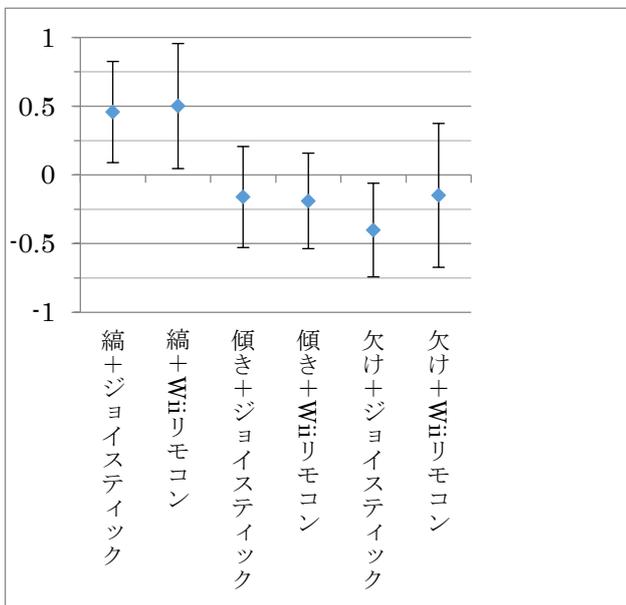


図6 左右のずれ量の平均・標準偏差

Figure 6 Average and standard deviation of amount of gaps from center.

### 3. おわりに

パーソナルモビリティが普及しつつあるが、安全な利用のための枠組みの整備が急務である。動く縞模様などの視覚刺激によって運動感覚(ベクション)を引き起こし、歩行を誘導する研究が行われている。本稿では、ベクションをパーソナルモビリティの安全な誘導に応用すべく予備的な検討を行った。電動車椅子の走行中に、動く縞柄、傾く視野、欠ける視野の視覚刺激を与えた結果、個人差はあるが左右一方に進行方向を誘導される様子が見られた。また、インタビュー結果から、動く縞柄の視覚刺激を用いることで違和感の少ない誘導の実現可能性が示唆された。

今後は、視覚刺激、操作インターフェースの種類を増やして実験を重ね、ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導における両者の関係性について明らかにしていく。また、車椅子以外のパーソナルモビリティへの適用可能性について検討を行っていく。

### 参考文献

- [1] 鈴木亮太, 新井雅也, 佐藤慶尚, 山田大地, 小林貴訓, 久野義徳, 宮沢怜, 福島三穂子, 山崎敬一, 山崎晶子. 複数同伴者とのグループコミュニケーションを考慮した複数ロボット車椅子システム. 電子情報通信学会論文誌. 2015, vol. J98-A, no. 1, p. 51-62.
- [2] Rimón, E. and Koditschek, D. E.. Exact Robot Navigation using Artificial Potential Functions. IEEE Trans. on Robotics & Automation. 1992, vol. 8, no. 5, p.501-518.
- [3] Bandyopadhyay, T., Zhuang Jie, C., Hsu, D., Ang Jr., M. H., Rus, D., Frazzoli, E., Intention-Aware Pedestrian Avoidance. Proc. the 13th International Symposium on Experimental Robotics. 2013, p. 963-977.
- [4] Watanabe, A., Ikeda, T., Morales, Y., Shinozawa, K., Miyashita, T. and Hagita, N.. Communicating Robotic Navigational Intentions. 2015, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), p. 5763-5769.
- [5] 吉川博美, 蜂須拓, 福嶋政期, 古川正紘, 梶本裕之. 歩行誘導における自己運動を用いたベクション場の設計. 2010, バーチャルリアリティ学会大会論文集, p. 14-17.
- [6] Tanikawa, T., Muroya, Y., Narumiand, T. and Hirose, M., Reflex-Based Navigation by Inducing Self-motion Perception with Head-Mounted Vection Display. 2012, Proc. 9th International Conference of Advances in Computer Entertainment (ACE 2012), p. 398-405.
- [7] Seno, T., Abe, K. and Kiyokawa, S., Wearing Heavy Iron Clogs Can Inhibit Vection. 2013, Multisensory Research, vol. 26, p. 569-580.