

# 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

“Vection Field” for Pedestrian Traffic Control

吉川博美<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>2)</sup>, 福嶋政期<sup>2)</sup>, 古川正紘<sup>2)3)</sup>, 梶本裕之<sup>2) 4)</sup>

Hiromi YOSHIKAWA, Taku HACHISU, Shogo FUKUSHIMA,

Masahiro FURUKAWA and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 人間コミュニケーション学科

2) 電気通信大学大学院 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {yoshikawa, hachisu, shogo, furukawa, kajimoto}@kaji-lab.jp)

3) 日本学術振興会特別研究員 PD 4) 科学技術振興機構さきがけ

**Abstract:** Today in general traffic field, visual signs and audio cues are used for pedestrian control. As the pedestrians need to acquire and recognize them, time delay between cognition and action occurs. To cope with this problem, some wearable devices were proposed that control the pedestrians intuitively. However, attaching and removing the devices are cumbersome and not practical. In this study, we propose a new visual navigation method for pedestrians using “Vection Field”, where the optical flow is presented on the floor. The optical flow is presented by using lenticular lenses. The lenticular lens, that is the passive optical element, generates the visual stimulus based on the pedestrian’s movement without electrical power supply. In this paper, we designed a basic visual stimulus and evaluated principle of our proposed method for the directional navigation. The results revealed that the optical-flow composed of stripes and random-dot pattern both displace pedestrian’s pathway significantly.

**Key Words:** lenticular lens, navigation, vection

## 1. はじめに

現在の歩行誘導には場所を示す記号や矢印, または音声による案内が用いられている. これらの情報は間接的であるため, 情報の呈示, 歩行者の情報取得と意味の解釈, それに基づいた歩行者の行動, といった過程を必要とする. そのため情報が呈示されてから歩行者が行動に移るまでに時間を要する.

こうした中, 歩行者を直接的に誘導するという目的で, 直感的に運動を誘発する感覚呈示によって歩行者に方向を呈示するウェアラブルな装置が考案されている. 前田ら[1]は, 両耳の後ろに装着された電極を介し前庭器官に電気刺激を行うことで平衡感覚に作用させる方法を提案し, 歩行誘導技術として応用している. また小島ら[2]は, 耳が触覚的に敏感であることに着目して, 耳を牽引することで方向提示が可能であることを明らかにし, 歩行誘導を試みた.

このように従来の直感的な誘導には前庭感覚や皮膚感覚を刺激することで重心動揺を誘発し, その結果歩行が誘導される手法が着目されてきた. そのため歩行者はこれらの感覚提示装置の着脱を必要としたが, 装置の着脱は歩行者にとって負担になると考えられる.

一方で, 体性感覚より視覚による手がかりの方が, 我々

が身体の姿勢を制御する際に優勢に働いていることが知られている. J.R.Lishman ら[3]は, 体性感覚と視覚との間に矛盾を生じさせる実験を行ない, 身体を制御する上で体性感覚より視覚の方が優勢であることを証明した. そこで我々は直感的かつ装置の着脱を必要としない歩行誘導手段として視覚誘導性自己運動感(ベクション)に着目した. 歩行誘導の手段としてベクションを用いた先行研究として, 吉田ら[4]は歩行者に Head-Mounted-Display(HMD)を装着させ, 歩行者の運動に応じてオプティカルフローを周辺視野に呈示することで歩行誘導を試みた. しかしシステムに入力される歩行者の運動が複雑で予測不可能なものであったため, 安定した視覚刺激を呈示することが困難であった.

そこで本稿では, 動的な視覚効果を完全無電源で得られ, 環境設置に向く視覚提示手法としてレンチキュラレンズに着目する. このレンチキュラレンズを用いて歩行誘導に有効な視覚刺激を床面へ広範囲に呈示することで, 歩行が誘導される空間「ベクション場」を提案する(図 1). ベクション場からの視覚刺激が歩行者の進行方向と垂直に交わる方向に移動することで, 歩行者は誘導される.



図 1 ベクシオン場の完成想定図

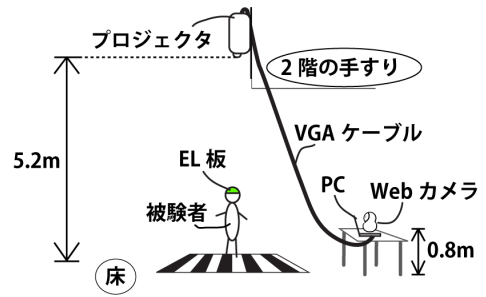


図 2 実験設備の模式図(正面図)

レンチキュラレンズとは、断面が半円状であるレンズが無数に並んだシートである。レンチキュラレンズの下に格納された画像をレンチキュラ画像と呼び、レンチキュラ画像の見え方はレンチキュラレンズへの視線の角度に応じて変化する。このレンチキュラレンズという受動素子を用いることで、歩行者の動きに応じた視覚刺激が完全無電源で生成される。そのため、歩行者の運動を検出する必要がなく、歩行者は装置の着脱も必要としない利点がある。

そこで本稿ではまず、レンチキュラレンズ実装のための視覚刺激を設計するために、適切な視覚刺激を求めることを目的とした歩行誘導実験を実施した。

## 2. 視覚刺激による歩行誘導実験

本実験ではプロジェクタと頭部位置計測システムを用いて、頭部位置の変位に応じて動的に移動するレンチキュラレンズによる視覚刺激のシミュレーションを行った。そして頭部位置によって変化する視覚刺激による手法が歩行誘導に有効であるかを検証した。

### 2.1. 実験設備構成

実験設備の模式図を図 2、図 3 に示す。2 階の手すりにプロジェクタを固定し、1 階の床面に視覚刺激を投影した。床面からのプロジェクタの高さは 5.2m であり、投影面の面積は 3.2×2.3m であった。被験者には Electro-Luminescence (EL) 板を固定したヘルメットを着用させ、高さ 0.8m の台に固定した web カメラ (Logicool 社製 QCAM-200R, 30fps, 30 万画素) によって EL 板の位置座標を取得することで被験者の頭部位置を計測した。Web カメラで取得した動画から EL 板の位置追跡を行うために、CamShift 法を用いた。頭部位置は次節で述べるように、視覚刺激の妥当性を示すための歩行誘導実験に用いた。

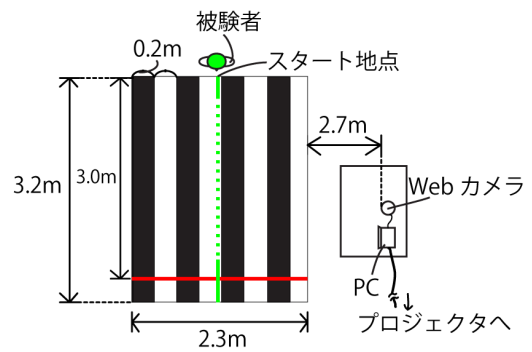


図 3 実験設備の模式図(上面図)

### 2.2. レンチキュラレンズモデルの定義

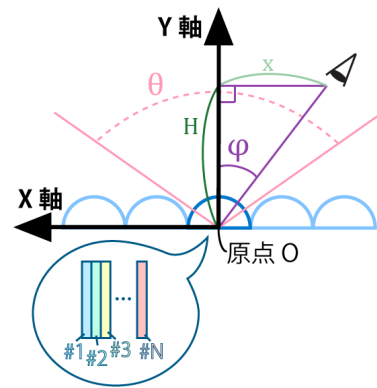


図 4 レンチキュラレンズモデル

図 4 に示すように、床面から視点の高さが  $H$  である観測者が原点  $O$  を水平方向に  $x$  離れた位置から見ていと仮定する。このとき  $Y$  軸と視線との間の角度を  $\varphi$  とすると、 $\varphi$  は次のように表される。

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}(x/H) \quad (1)$$

レンチキュラレンズの下には #1 から #N のレンチキュラ画像が格納されており、#1 から #N までの 1 周期のレンチ

キュラ画像を見るために必要な角度を  $\theta$  とする. このときに任意のレンチキュラ画像  $\#n$  を見るための条件式は

$$\{(n-1)\theta/N \leq \varphi < n\theta/N \mid N \in \mathbb{Z}, 1 \leq n \leq N\}$$

で表わされる. ただし  $Z$  は任意の整数とする. これを  $n$  について整理すると,

$$(N/\theta)\varphi < n \leq (N/\theta)\varphi + 1 \quad (2)$$

となる. よって, 観測者から原点  $O$  に見えるレンチキュラ画像  $\#n$  は  $\varphi$  によって決まる. また(1), (2)より,

$$\begin{aligned} (N/\theta) \tan^{-1}(x/H) < n \\ n \leq (N/\theta) \tan^{-1}(x/H) + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

となる. 本実験では,  $N$  と  $\theta$  を一般的なレンチキュラレンズを用いることを想定して  $N=15$ ,  $\theta=30^\circ$  とし, 頭部位置は  $H=160\text{cm}$  に固定した.  $x$  には, 前節で述べた web カメラで計測した被験者の頭部位置の水平方向の変位を代入した.

### 2.3. 視覚刺激

レンチキュラレンズでの実装を考えた際, 前節のモデルから明らかのように, 歩行者には複数周期のレンチキュラ画像が呈示される可能性がある. したがって, 視覚刺激は周期的なパターンをもつことが望ましい. そこで, 周期的パターンを生成しやすい縞模様と, ベクシオン研究において広く利用されているランダムドットを用いた(図 5). 縞模様は縞の幅を 1 本当たり 20cm に設計した. ランダムドットは, 2.5cm 四方のドットが投影面に 2%の密度で占めるものを設計した. 被験者の頭部位置に応じて変化する視覚刺激は, 被験者が前方へ進むと被験者から見て左方向に動くように設計した.

設計した視覚刺激の妥当性を検討するために, 比較実験を行った. 本稿で想定しているレンチキュラレンズ実装では, 頭部位置の移動に応じて視覚刺激が左右方向に移動することを想定している. そこで, 設計した視覚刺激が被験者の頭部位置に応じて動くものと, 静止した状態のものをそれぞれ用意した. したがって, 視覚刺激は全 4 種類であった.

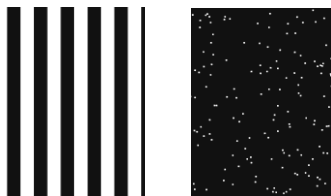


図 5 縞模様およびランダムドット

## 3. 実験手順

### 3.1. 実験環境

本実験は, 9 名で行われた予備実験よりベクシオンが生

じやすかった男性 3 名, 女性 3 名で行った. 被験者の平均年齢(標準偏差)は  $24(\pm 2)$  歳, 平均身長(標準偏差)は  $165(\pm 11)\text{cm}$  であった.

本実験は, 投影面の照度が最も暗かった地点で  $0.90\text{lx}$ , 最も明るかった地点で  $12.0\text{lx}$  である場所で行った. それぞれの視覚刺激を呈示した時の投影面における代表輝度を表 1 に示す.

表 1 投影面における代表輝度 [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

	白色部	黒色部
縞模様	12.8~18.8	0.535~1.30
ランダムドット	8.38~16.6	0.154~0.356

### 3.2. 実験手続き

図 3 で示したように, EL 板を固定したヘルメットを着用した被験者はスタート地点に立ち, 投影面上の緑色の中心線に身体を中心を合わせた. その後, 被験者の歩行中には中心線は非表示にされた. 被験者はスタート地点から 3m 先の赤いラインを注視しながら歩行し, 赤いラインを越えたらその場で立ち止まるよう指示された. また被験者には普段の速度で歩行するよう予め伝え, その際に体の力を抜きまっすぐ歩くように指示した.

被験者が赤いラインを越えて立ち止まった後, 実験者は投影面の中心線を再表示させ, 中心線から被験者の位置までの距離を測定した. なお, 中心線から左方向を正と定義した. 実験者は被験者の歩行時間を計測するために, 歩行開始の合図を出した.

1 名の被験者につき, 並進運動する縞模様・ランダムドットをそれぞれ 5 試行, 静止した縞模様・ランダムドットをそれぞれ 2 試行, 計 14 試行が行われた. 視覚刺激はランダムな順番で呈示された. 実験の様子を図 6 に示す

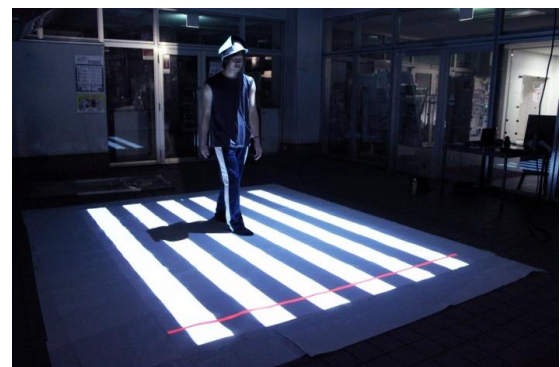


図 6 実験の様子

## 4. 実験結果

被験者の平均歩行速度(標準偏差)は  $0.70(\pm 0.10)\text{m/s}$  であった.

視覚刺激に縞模様を用いた際の実験結果を図 7、ランダムドットを用いた際の実験結果を図 8 に示す。縦軸は中心線から被験者が停止した地点までの距離を示し、エラーバーは標準偏差を示す。

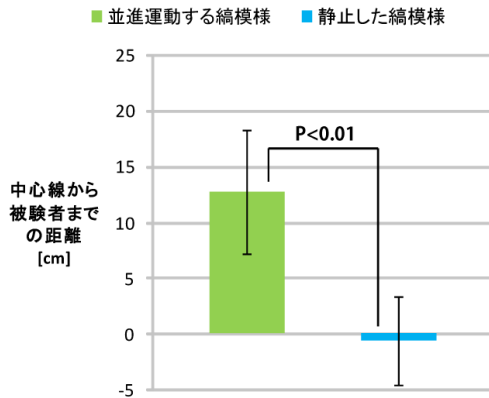


図 7 実験結果：並進運動する縞模様の歩行誘導効果

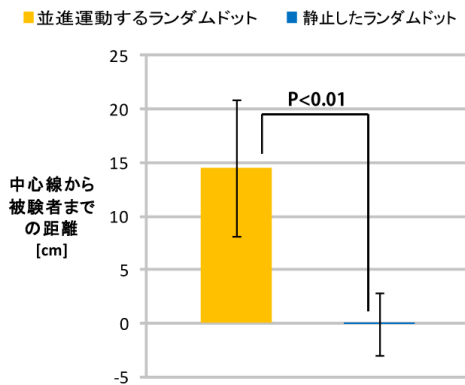


図 8 実験結果：並進運動するランダムドットの歩行誘導効果

図 7 および図 8 より、並進運動する視覚刺激によって被験者が左方向に誘導され、静止した状態の視覚刺激では中心線からのずれが小さいことが分かる。また t 検定より、縞模様とランダムドットそれぞれにおいて並進運動する視覚刺激と静止した視覚刺激で被験者の歩行誘導効果に有意差があることが認められた ( $p < 0.01$ )。一方で並進運動する縞模様とランダムドットの間には有意差は認められなかった。

## 5. 考察

実験の結果、被験者全員が視覚刺激の並進運動方向に誘導された。これは視覚刺激が動くことで被験者にベクションが生じ、歩行方向に影響を与えたためと考えられる。したがってベクションを用いた本手法が歩行誘導に有効で

あることが示唆された。

また、「並進運動する視覚刺激から左方向へ誘導される力を感じたが、逆らおうと思えば逆らってしまうほどの力であった」との内観報告があった。したがって並進運動する視覚刺激から歩行者に与える力は歩行者の進行方向を強制するものではなく、かつ誘導する上では十分なものであったと考えられる。

他に「歩行の際、注視していた赤いラインに近づくほど誘導される」、「足が視界に入ってくるとより誘導される」といった内観報告があった。前者は赤いラインに近づくとき視線は次第に真下を向いていくので、中心視野に占める視覚刺激の割合が大きくなり、被験者により強いベクションが生じていたためと考えられる。また後者は、身体の一部が視界に入ることによって視覚刺激の変位に身体を合わせようとしたため、より誘導されたと考えられる。これは体性感覚よりも視覚の方が身体姿勢の制御に優位な影響を及ぼすという知見[3]と一致する。

また「ランダムドットを呈示された際、乗り物酔いのような感覚が生じた」との内観報告もあった。これは、レンチキュラ画像が#N から#1 に移る際、レンチキュラレンズとランダムドットの特長上、オブティカルフローが突然大きくなってしまふことが原因の一つと考えられる。

## 6. おわりに

我々はレンチキュラレンズによるベクションを用いた歩行誘導手法を提案した。本稿では被験者の頭部移動に応じて並進運動する視覚刺激をプロジェクタより投影することで、レンチキュラレンズを模擬した視覚刺激の歩行誘導効果の検証実験を行った。その結果、ベクションによる歩行誘導が有効であることが示唆された。

今後は周期性を持つパターンを生成しやすく、歩行者にも不快感を与えにくい縞模様を採用してレンチキュラレンズでの「ベクション場」の実装を試みる。また縞模様の幅や輝度変化に着目して、これらのパラメータが歩行誘導にどのような効果を及ぼすかを検証する。

## 参考文献

- [1]前田太郎, 安藤英由樹, 渡邊淳司, 杉本麻樹:「前庭感覚電気刺激を用いた感覚の提示」バイオメカニズム学会誌, 2007, vol.31, no.2
- [2]Y. Kojima, Y. Hashimoto, H. Kajimoto, “Pull-Navi,” Emerging Technologies Session, ACM SIGGRAPH, 2009.
- [3]J R Lishman, D N Lee: “The autonomy of visual kinaesthesia”, Perception, 1973, vol.2, p.287-294
- [4]吉田俊明, 竹中毅, 伊東道生, 上田完次, 飛嶋隆信:「オブティカルフローの提示によって引き起こされる自己運動感覚を用いた歩行の誘導」, 情報処理学会 CVIM [2006-CVIM-152], 2006, pp.125-128