

# 白杖先端刺激提示による仮想誘導路デザインの検討

渡辺 博文<sup>1</sup> 榎堀 優<sup>1</sup> 米澤 朋子<sup>2</sup> 間瀬 健二<sup>1</sup>

**概要：**我々は、白杖の利用経験を応用できる歩行誘導システムとして、白杖先端への衝撃刺激提示による仮想誘導路の構築を提案している。本稿では、曲線を含んだ経路について、点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように構成した誘導路 Cnt，左右片側のみに仮想的な壁があるように構成した誘導路 LorR(2 種)，左右両側に仮想的な壁があるように構成した誘導路 LR(3 種) の延べ 6 種の誘導路における歩行誘導性を検証した。晴眼者に対する実験の結果，曲線部分のみでは，LorR で曲線路の外側に壁を構成する場合で歩行速度が最も速く，LorR で曲線路の内側に壁を構成する場合で歩行速度が最も遅いことがわかった。しかし，直線から曲線，曲線から直線といった進路の切り替え部分で適切な歩行誘導に失敗することもわかった。一方で，誘導路の左右両側に仮想的な壁を構成しその幅を調節することで，歩行速度を高く保ちたい直線経路，歩行速度を制御したい危険な場所や曲がり角のどちらにも対応できる可能性が示された。

## A Study on Virtual Guideway Design Using Impacts for White Cane Ferrule

HIROFUMI WATANABE<sup>1</sup> YU ENOKIBORI<sup>1</sup> TOMOKO YONEZAWA<sup>2</sup> KENJI MASE<sup>1</sup>

### 1. はじめに

現在日本の視覚障害者数は約 31 万人にのぼる [1]。視覚障害者の多くは，白杖を壁に接触させて得られる刺激を頼りに壁に沿って歩く方法や，視覚障害者用誘導ブロック（以下，点字ブロック）がある場所では，点字ブロックの形状を白杖や足裏を利用して認識することで歩く方法をとっている。しかし，点字ブロックは駅などの頻繁に利用される公共施設でさえ満足に敷設されておらず，多くの道路や建物内には十分に存在しないという問題がある。また，点字ブロックが敷設されていてもブロック上に自転車や障害物があるためにブロックが確認できず，十分な誘導を受けられないという問題や，点字ブロックが連続的に敷設されていないために誘導が途中で途切れてしまう問題が存在する [2]。

そこで我々は，白杖先端への衝撃刺激提示によって，壁や点字ブロックの感触を再現し，仮想的な誘導路を生成して，既存の一般的な白杖の利用方法を大きく変えることな

く，歩行誘導機能を果たすシステムの構築を目指している [3], [4]。[3] では，白杖先端への衝撃刺激提示による壁や点字ブロックの感触再現性は低いものの，歩行誘導は可能であるとの結論を得た。また，左右両側に仮想的な壁（以下，仮想壁）を配置した場合に，仮想壁間の誘導路幅によって歩行速度が変化する等，誘導路の構成方法によって歩行者の動作を制御できる可能性も示した。

[4] では，仮想誘導路構成方法の歩行誘導性への影響を直線経路を対象に検証した。検証した構成方法は，「点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように誘導路を構成した場合 (Cnt)」 「左右どちらかに仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LorR)」 「左右両方に仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LR)」 である。晴眼者に対する実験の結果，Cnt では歩行誘導に難があること，LorR および LR では適切な歩行誘導が可能であることがわかった。さらに，LR では誘導路幅の増減にともない，歩行速度が制御できることが改めて示された。

本稿では，[4] で対象外であった，曲線を含む経路を対象として仮想誘導路構成方法の歩行誘導性への影響を検証するとともに，[4] の結果と合わせて，総合的な仮想誘導路

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院情報学研究科

<sup>2</sup> 関西大学大学院総合情報学研究科

デザインについて分析した。構成方法は [4] と同様、Cnt, LorR, LR の 3 条件とした。LorR については、白杖の持ち手側と逆側の 2 種を検証した。LR については、各自の肩幅、1.0 メートル、1.5 メートルの 3 種を検証した。

晴眼者を被験者として検証した結果、以下の知見が得られた。

- 曲線部分のみならば LorR もしくは LR で弧の外側の壁のみを利用する場合に歩行速度が最も高速
- LR で誘導路幅を調節することで歩行速度制御が可能
- 直線から曲線、または曲線から直線への切り替え部分では、片側だけの壁では刺激提示が行われないことが発生して、刺激探索に時間を要するため LorR より LR が有効

以上のことから、白杖先端への衝撃刺激提示による歩行誘導システムでは、高い歩行速度を許容できる場所では、両側に壁を配置しつつ片側だけの壁を利用するような誘導路幅とする誘導路構成、歩行速度を遅らせたい危険な場所や曲がり角では、両側の壁を利用するような狭い誘導路幅とする誘導路構成が良いという結論を得た。

## 2. 関連研究

### 2.1 既存の歩行支援技術

視覚障害者の歩行支援技術は、歩行経路上の障害物検知と歩行誘導の 2 つに大別される。さらに実際に障害物検知と歩行誘導のそれぞれを実装し、システムとして構築された関連研究も存在する。本節ではそれぞれについて述べる。

#### 2.1.1 歩行経路上の障害物検知

歩行経路上の障害物検知には、超音波センサや距離画像センサを用いた研究がある。周囲の歩行者への衝突に焦点を当てた研究には Juan ら [14] による Crashalert がある。Juan らは、Kinect を用いて前方の映像を画面上部に映し出し、近接するオブジェクトの位置にマーキングを行うことで、前方の障害物を検知し、障害物の方向を提示した。

#### 2.1.2 歩行誘導

利用者を先導する形での歩行誘導には、歩行支援ロボットや歩行支援ドローンの研究がある [7], [8]。森らは、業務用掃除機ほどの大きさのロボットにさまざまなセンサを着けて視覚障害者を先導して誘導した [7]。Avila らは、ドローンの飛行音によって視覚障害者の歩行誘導を試みた結果、約 30 人のエキストラがいる部屋の中でドローンを用いて 20m 先の目的地へ向けて視覚障害者を歩行誘導したところ、一度も壁やエキストラに接触することなく誘導できた [8]。

#### 2.1.3 障害物検知と歩行誘導

検知した障害物を元に歩行経路を生成し、視覚障害者を誘導する研究に森らの研究 [9] がある。森らは、人間の錯覚を利用した擬似的牽引力デバイスぶるなびを利用した、歩行誘導に関する研究を行った。ぶるなびは早い動きには

敏感であるが遅い動きは知覚しにくくなる人間の特性を利用したもので、短時間の大きな加速度と長時間の小さな加速度を周期的に繰り返して擬似的な牽引力を生み出すものである [10]。さらに森らは距離画像センサで障害物を検知し、ポテンシャル関数から生成した歩行経路を利用し [11]、ぶるなびで歩行経路上を誘導するシステムを提案した。その評価実験では、歩行経路が正しく生成された場合、全ての試行で歩行誘導に成功した。B.Ando らの研究 [13] では、超音波センサからのデータ、および加速度計から得られる杖の傾斜角を利用して障害物の検出と位置推定を行い、得られた障害物位置に対応する触覚刺激をアクチュエータを用いてユーザの手のひらに提示し、障害物回避と歩行誘導を行った。結果、障害物の位置推定は 80% 近い精度で行うことができ、障害物を回避するような触覚刺激をユーザに与えることができた。

我々の先行研究 [3] では、白杖先端に提示された衝撃刺激の、実際の壁や点字ブロックの感触再現度や仮想壁を用いた歩行誘導可能性の検証をした。マグニチュード推定法を利用した再現度検証実験では、標準刺激 1, 3, 5 を被験者に提示した。晴眼者に対する実験の結果、全被験者 5 名の平均マグニチュード推定値が 2 点と低いスコアとなった。一方、仮想壁を両側に構成した仮想誘導路での晴眼者に対する実験の結果、2 種類の経路幅とも適切な歩行誘導に成功した。これらの結果から、実際の壁や点字ブロックの感触再現度は低いものの、歩行誘導は可能であるとの結論を得た。さらに、経路幅による歩行速度の変化が見られたことから、誘導路の構成方法によって歩行者の動作を制御できる可能性も示された。

そこで、[4] では仮想誘導路構成方法の歩行誘導性への影響を直線経路を対象に検証した。検証する構成方法として、「点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように誘導路を構成した場合 (Cnt)」「左右どちらかに仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LorR)」「左右両方に仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LR)」の 3 条件を挙げ、晴眼者に対して検証した。結果、Cnt では全被験者 3 名のうち 2 名で歩行誘導に失敗した。LorR では、仮想壁を白杖の持ち手側に生成する場合でも、逆側に生成する場合でも、歩行速度に差異は見られず、全被験者 3 名で適切な歩行誘導に成功した。LR では、全被験者 4 名とも歩行誘導に成功したが、誘導路幅を肩幅とすると歩行誘導に失敗する可能性があることがわかった。さらに、誘導路幅を狭めるにつれて歩行速度が遅くなる傾向が全被験者で見られたことから、誘導路幅を調整することで歩行速度制御の可能性が改めて示された。

## 3. 提案デバイスのプロトタイプ

プロトタイプデバイスを図 1 に示す。本デバイスは [4] で用いたものと同型である。衝撃刺激を白杖先端のソレノ

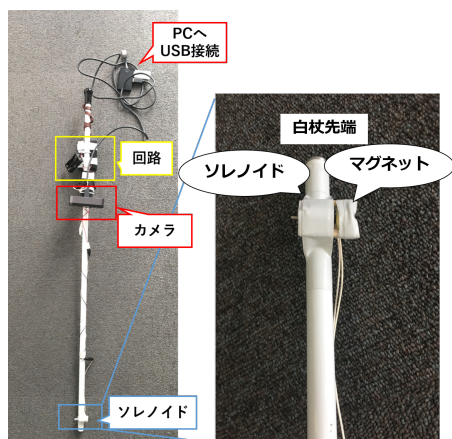


図 1: 提案デバイスのプロトタイプ

イドにて提示する。提示後には、ソレノイドから適切な距離に取り付けたマグネットによって、自動的に鉄芯が引き戻される。また、マーカの画像認識により刺激を自動的に提示できる。しかし、後述する通り、本稿の実験では実験環境の問題から自動提示機能は利用せず、マーカと杖先端の交差を目視で確認して、手動で制御した。使用している機器は以下の通りである。

- カメラ：Logicool BRIO C1000e プロ ウェブカム<sup>\*1</sup>
- 無線式制御モジュール：TWELITE DIP / MONOS-TICK<sup>\*2</sup>

#### 4. 曲線を含んだ経路における誘導路デザインの歩行誘導性への影響検討

本稿で検討した仮想誘導路構成方法は、直線誘導路を対象に検討した [4] と同様に、「点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように誘導路を構成した場合 (Cnt)」 「左右どちらかに仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LorR)」 「左右両方に仮想壁があるように誘導路を構成した場合 (LR)」 である。また、「左右どちらかに仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」 では、仮想壁を白杖の持ち手側に生成した場合と逆側に生成した場合の 2 種、「左右両方に仮想壁があるように誘導路を構成した場合」 では、誘導路の経路幅 3 種の延べ 6 種について検討した。本稿で用いる各誘導路の略称を以下に示す。また、これらの一覧を図 2 に示す (赤丸はシステム利用者)。なお図 2 には左曲線路を示したが、右曲線路については左右対称であるため、右曲線路については省略している。

**Cnt** : 点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように構成した誘導路

<sup>\*1</sup> Logicool BRIO Webcam with 4K Ultra HD video & Right-Light 3 with HDR - ja-jp : <https://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/brio> (Last Access:2018-05-03)

<sup>\*2</sup> モノをつなぐ無線マイコンモジュール TWELITE-トワイライト - MONO-WIRELESS.COM : <https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-LITE/index.html> (Last Access:2018-05-03)

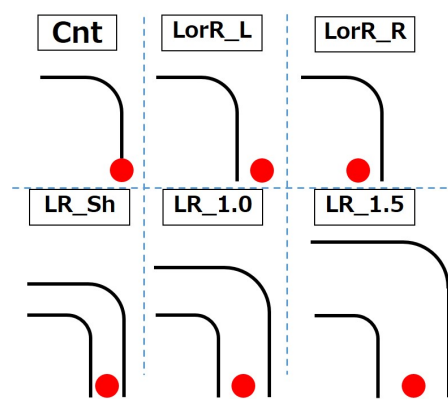


図 2: 計 8 種の誘導路 (左右対称であるため右曲線路については省略)

表 1: 曲線経路実験の被験者情報

| 被験者 | 年齢 | 利き手 | 肩幅 (m) |
|-----|----|-----|--------|
| S1  | 22 | 右   | 0.43   |
| S2  | 23 | 右   | 0.44   |
| S3  | 22 | 右   | 0.44   |



図 3: 白杖の持ち方

**LorR\_L** : 左側に仮想壁があるように構成した誘導路

**LorR\_R** : 右側に仮想壁があるように構成した誘導路

**LR\_Sh** : 経路幅が肩幅で構成した誘導路

**LR\_1.0** : 経路幅が 1.0 メートルで構成した誘導路

**LR\_1.5** : 経路幅が 1.5 メートルで構成した誘導路

表 1 に、本実験での被験者属性 (年齢, 利き手, 肩幅) を示す。

##### 4.1 実験条件

複数の被験者に対して同一の実験環境を提供するため、以下の実験条件を定めた。

###### 4.1.1 白杖の持ち方

白杖の持ち方を統一させるため、以下を定義した。例を図 3 に示す。

- 白杖は右手で持つ。
- 白杖の持ち方は、人差し指を石突側 (白杖先端) に伸ばして、四指で握りこむ。

###### 4.1.2 白杖の振り方

白杖の基本操作には、地面に接地したままスライドさせ

る「スライドテクニック」、離れた2点をタッチしながら歩く「タッチテクニック」、それぞれの方法を組み合わせた「タッチ・アンド・スライド」などがある。本実験では、白杖をスライドすると、床上に設置したマーカに衝突してしまうという問題があったため、白杖の振り方はタッチテクニックのみとした。

#### 4.1.3 触覚以外の知覚の制限

被験者にアイマスクおよび耳栓を装着させ、触覚以外の知覚を制限した。以下に本実験で用いたアイマスクおよび耳栓を示す。

- PLEMO 立体型睡眠アイマスク<sup>\*3</sup>
- MOLDEX 使い捨て耳栓<sup>\*4</sup>

#### 4.1.4 衝撃刺激利用法の教示

本実験では、それぞれの誘導路ごとに衝撃刺激の利用法が異なる。誘導路 Cnt では得られた衝撃刺激の位置が誘導線を表していることから、その衝撃刺激を追うように歩行するのに対し、誘導路 LorR や LR では得られた衝撃刺激の位置が仮想壁位置を表していることから、その衝撃刺激に沿うように歩行する。したがって誘導路ごとに被験者に利用法の教示をした。

#### 4.1.5 衝撃刺激の提示タイミング

[4]の実験では、マーカの画像認識による刺激の自動提示で検証した。しかし、本実験では室内照度の関係などからマーカの画像認識の精度が低く、適切なタイミングでの刺激自動提示が行えない場面が散見された。したがって、マーカと白杖先端の交差を目視で認識し手動で刺激を提示した。

#### 4.1.6 誘導路 Cnt (1 種)、LorR (2 種)での歩行誘導性の検証

誘導路 Cnt, LorR 群の歩行誘導性検証は、大学内の廊下を実験場所とし、図 4 に示す誘導路配置で行った。各誘導路を示す白色のマーカを床に貼り付け、スタート地点・ゴール地点には黄色のマーカを貼り付けた。また、直線部分・曲線部分など各区間の歩行時間を測定するため、各区間の境界を示す部分にマーカを貼り付け、このマーカ上を被験者が通過するタイミングで実験者が時刻を記録した。

Cnt の検証では、まずはじめにスタート地点に被験者を立たせ、アイマスクと耳栓を装着した。装着が終わった後、被験者の前方に仮想点字ブロックがあるとして衝撃刺激を提示しながら歩行させた。スタート地点からゴール地点までの片道を 1 試行とし、右曲線路・左曲線路ともに 4 試行ずつ行った。

LorR の検証では、まずはじめにスタート地点に被験者を立たせ、アイマスクと耳栓を装着した。装着が終わった

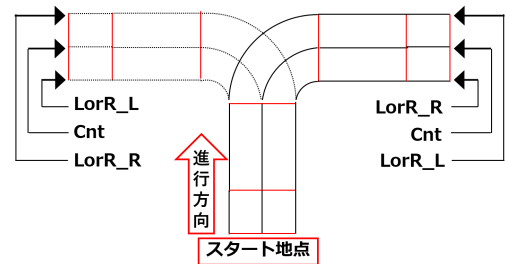


図 4: 誘導路 Cnt, LorR 群の歩行経路

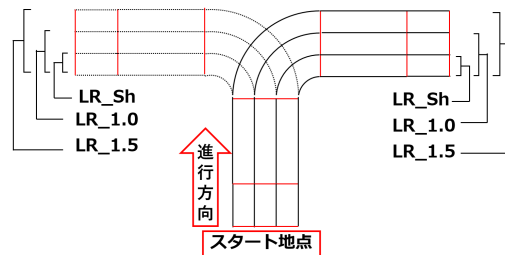


図 5: 誘導路 LR 群の歩行経路

後、片側のみに仮想壁があるとして衝撃刺激を提示しながら歩行させ、LorR\_R または LorR\_L の検証を行った。スタート地点からゴール地点までの片道を 1 試行とし、右曲線路/左曲線路と右側壁/左側壁の組み合わせで 2 試行ずつの計 8 試行検証した。

#### 4.1.7 誘導路 LR (3 種)での歩行誘導性の検証

誘導路 LR 群の歩行誘導性検証は、大学内の教室を実験場所とし、図 5 に示す誘導路配置で行った。第 4.1.6 節と同様に、大学内の教室の床に各誘導路を示す白色のマーカ、スタート地点・ゴール地点には黄色のマーカ、各区間の境界を示すマーカを貼り付けた。肩幅は被験者ごとに異なるため、はじめにそのデータを集めた。得られた各被験者の肩幅に合わせ、LR\_Sh 用のマーカを貼りなおした。スタート地点に被験者を立たせ、アイマスクと耳栓を装着した。装着が終わった後、被験者の両側に仮想壁があるとして衝撃刺激を提示しながら歩行させ、誘導路 LR 群の検証を行った。ゴール地点に到達した後、実験者が被験者の身体を支えながらスタート地点まで誘導し、同様に歩行した。スタート地点からゴール地点までの片道を 1 試行とし、右曲線路/左曲線路と誘導路幅の組み合わせで 3 試行ずつの計 18 試行検証した。また、学習効果を無くすため、検証する誘導路幅の順番を被験者ごとに変えた。

## 4.2 実験経路の寸法と名称

スタート地点からゴール地点までの各区間の距離と名称を図 6 に示す。以降、図 6 内の各区間の名称を用いる。また曲線部分 (C) は、Cnt では半径 100 センチメートルの円、LorR では内側の壁を半径 50 センチメートルの円、外側の壁を半径 150 センチメートルの円とした。LR では内側の

<sup>\*3</sup> 会社概要 : <http://www.iplemo.com/ja/about-us-s1.html>  
(Last Access:2018-05-03)

<sup>\*4</sup> Moldex Japan : <http://www.moldex.com/jp/>  
(Last Access:2018-05-03)

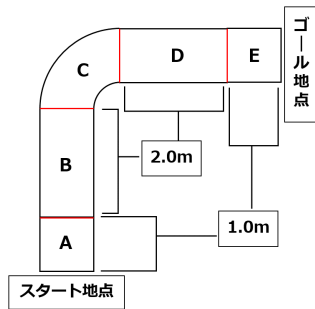


図 6: 区間ごとの距離と名称

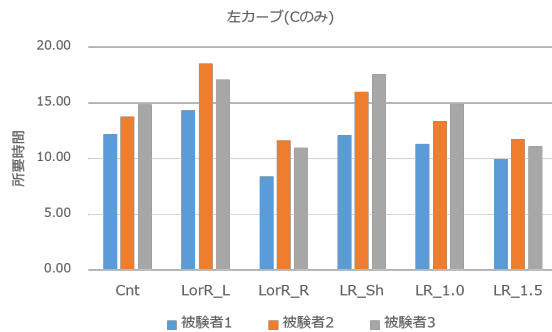


図 7: 区間 C/左曲線路の歩行時間

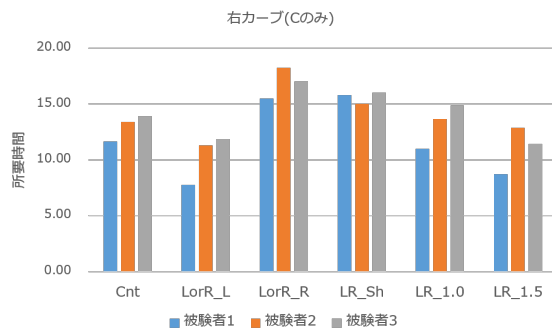


図 8: 区間 C/右曲線路の歩行時間

壁を半径 50 センチメートルの円とし、生成したい誘導路の幅に合わせ、外側の壁の半径を調整した。C の弧長は角度 90 度分とした。

## 5. 実験結果と考察

区間 B, C, D および B+C+D における被験者ごとの平均歩行時間の結果を表 2 に示す。なお、区間 A は歩行開始直後で歩行が安定しないため、区間 E は区間 D の時間計測を正確にするため、分析には用いない。区間 C の歩行時間、区間 B+C+D の合計歩行時間をグラフ化したものを図 7, 8, 9, 10 に示す。

### 5.1 曲線部分のみの歩行時間

図 7, 8 より、曲線部分 (C) のみで最も歩行時間が短いものは、全被験者 3 名とも右曲線路・左曲線路ともに LorR で曲線路の外側に壁を構成する場合であった。対して最も

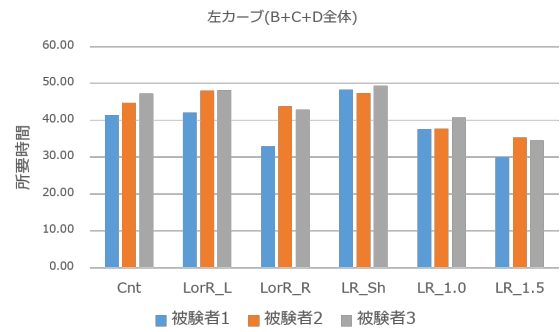


図 9: 区間 BCD/左曲線路の合計歩行時間

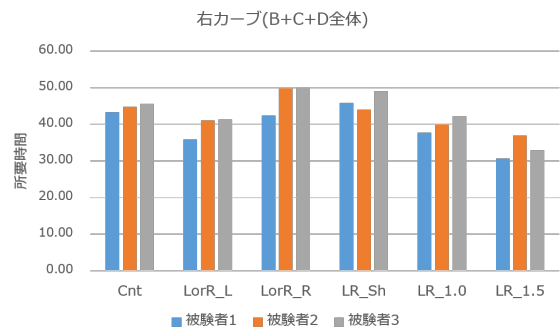


図 10: 区間 BCD/右曲線路の合計歩行時間

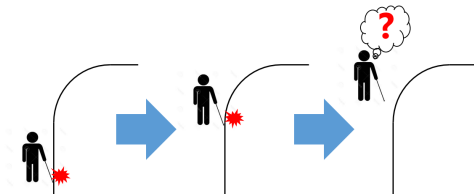


図 11: 内側壁構成での立ち止まり原因

歩行時間が長かったものは、LorR で曲線路の内側に壁を構成する場合であった。また、LR で誘導路幅を肩幅とする場合はそれに次いで歩行時間が長かった。

#### 5.1.1 LorR における外側壁・内側壁による歩行時間の差異

LorR で曲線路の内側に壁を構成する実験中、図 11 の様子が全被験者で見られた。被験者らは提示される刺激に従い、C へさしかかる手前の直線部分を歩行している間は問題なく歩行ができていた。しかし、曲線部分に達すると直線部と同様の白杖の振りをして内側に湾曲した内壁へ白杖が到達せず、刺激が得られなくなり、立ち止まって壁を詳細に探索するなどの動作が見られた。結果として歩行復帰に時間を要したと考えられる。

一方で、LorR で曲線路の外側に壁を構成する場合には、上記のような問題は発生しなかった。曲線部分に達しても外側の壁であれば、直線部と同様の白杖の振り方でも内側へせり出した仮想壁に触れることが可能であり、刺激の提示が行われ進路変更といった適切な歩行誘導に成功したと



表 2: B,C,D および B+C+D の平均歩行時間 (sec)

| 被験者 | 区間  | 仮想誘導路 (左曲線路) |        |        |       |        |        | 仮想誘導路 (右曲線路) |        |        |       |        |        |
|-----|-----|--------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------------|--------|--------|-------|--------|--------|
|     |     | Cnt          | LorR_L | LorR_R | LR_Sh | LR_1.0 | LR_1.5 | Cnt          | LorR_L | LorR_R | LR_Sh | LR_1.0 | LR_1.5 |
| S1  | B   | 11.73        | 13.09  | 10.23  | 19.25 | 11.85  | 9.57   | 13.88        | 13.00  | 12.13  | 18.32 | 12.84  | 11.36  |
|     | C   | 12.18        | 14.34  | 8.41   | 12.10 | 11.31  | 9.96   | 11.66        | 7.78   | 15.49  | 15.79 | 11.00  | 8.73   |
|     | D   | 17.43        | 14.63  | 14.29  | 16.88 | 14.46  | 10.48  | 17.80        | 15.15  | 14.82  | 11.79 | 13.96  | 10.53  |
|     | BCD | 41.34        | 42.06  | 32.92  | 48.23 | 37.62  | 30.01  | 43.34        | 35.93  | 42.44  | 45.90 | 37.80  | 30.62  |
| S2  | B   | 13.42        | 13.35  | 15.62  | 14.76 | 12.34  | 11.08  | 13.64        | 14.73  | 14.56  | 14.29 | 13.72  | 12.04  |
|     | C   | 13.76        | 18.53  | 11.63  | 15.98 | 13.39  | 11.77  | 13.42        | 11.30  | 18.24  | 15.01 | 13.65  | 12.89  |
|     | D   | 17.49        | 16.17  | 16.59  | 16.62 | 12.01  | 12.44  | 17.72        | 15.07  | 17.06  | 14.67 | 12.66  | 11.96  |
|     | BCD | 44.67        | 48.05  | 43.84  | 47.36 | 37.74  | 35.29  | 44.78        | 41.09  | 49.86  | 43.97 | 40.03  | 36.89  |
| S3  | B   | 14.46        | 14.19  | 15.33  | 14.69 | 13.75  | 11.16  | 13.83        | 14.53  | 15.60  | 16.64 | 14.33  | 11.69  |
|     | C   | 14.86        | 17.11  | 10.95  | 17.57 | 14.89  | 11.11  | 13.92        | 11.88  | 17.04  | 16.01 | 14.87  | 11.42  |
|     | D   | 17.90        | 16.90  | 16.55  | 17.09 | 12.12  | 12.19  | 17.89        | 14.89  | 17.34  | 16.51 | 13.06  | 9.86   |
|     | BCD | 47.22        | 48.20  | 42.83  | 49.35 | 40.76  | 34.46  | 45.64        | 41.30  | 49.98  | 49.16 | 42.26  | 32.97  |

考えられる。

### 5.1.2 LR における誘導路幅と歩行時間の相関

表 7, 8 より, 全被験者 3 名とも LR3 種では誘導路幅が狭くなるにつれて歩行時間が減少している。LR\_1.0 から LR\_1.5 には平均 0.83 倍の歩行速度減少があり, LR\_Sh から LR\_1.0 には平均 0.86 倍の歩行時間減少があった。なお, 被験者 1 および被験者 3 では, 誘導路幅が広くなり通常の白杖の振りで両側の壁に触れなくなると, 片側のみの壁を利用して歩行していた。その歩行時間は, LorR で曲線路の外側に壁を構成した場合と比較して, 平均 0.95 倍の差となり, ほぼ同じ値である。一方で被験者 2 は, 両側の壁を利用して歩行する場面も見られ, LorR で曲線路の外側に壁を構成した場合と比較して, 平均 0.92 倍の差となったが, 同じく LorR 外側壁と近い値であった。このことから, 通常の白杖の振りよりも狭い誘導路幅を設定すると, その誘導路幅を狭めるにつれて歩行速度を遅くする歩行誘導ができ, 通常の白杖の振りよりも広い誘導路幅を設定すると, 片側のみの壁を利用した高い歩行速度を保った歩行誘導ができると考えられる。

## 5.2 直線部分も含めた歩行時間

第 5.1 節にて, 曲線部分のみで歩行時間が最も短いものは LorR で曲線路の外側に壁を構成する場合であると述べた。しかし, 図 9, 10 より, 直線部分も含めた B+C+D では全被験者とも LR\_1.5 が最も歩行時間が短かった。

表 3 に各被験者の区間 B, D における LorR 外側壁と LR\_1.5 の歩行時間の差を示す。表 3 より, 区間 B,D ともに LorR よりも LR\_1.5 のほうが歩行時間が短く, 被験者 2 の左曲線路のみを除いて区間 B よりも区間 D のほうが値が大きいため, B+C+D 全体の歩行時間には区間 D のほうが影響を与えていると考えられる。

曲線終了直後の区間 D においては, 図 12 のように, 被

表 3: 区間 B, D における LorR 外側壁と LR\_1.5 の歩行時間の差 (sec)

| 被験者 | 区間 | 左曲線路 | 右曲線路 |
|-----|----|------|------|
| S1  | B  | 0.65 | 1.64 |
|     | D  | 3.81 | 4.62 |
| S2  | B  | 4.54 | 2.69 |
|     | D  | 4.15 | 3.11 |
| S3  | B  | 4.17 | 2.85 |
|     | D  | 4.36 | 5.03 |

験者は曲線部分の終了位置がわからず, 図内赤点線上に壁があると予想し, その延長線上を探索する動作が見られた。しかし実際は, 直線部分に入っており, 結果として刺激の提示が得られずに立ち止まるといった事態が発生した。対して LR では内側の壁からの刺激が得られることで, 進路が切り替わったことがわかり, 早期に歩行進路の修正ができていた。このことから, LR で壁を構成することで, 曲線から直線への進路の切り変わりでも適切に誘導できると考えられる。

一方, 区間 B においては, 歩行時間が短縮されているにもかかわらず, 区間 D にのみ現れる特徴的な動作は見られなかった。特に, 片側のみの壁を利用して歩行していた被験者 1 および被験者 3 には, 区間 B においては LorR 外側壁と LR\_1.5 に歩行時間の差異は見られないと予想したが, 被験者 3 の結果では差異が見られた。区間 B において差異が見られたことについては, 今後の分析課題としたい。

## 6. 適切な仮想誘導路デザイン

先行研究 [4] と本実験で, 直線経路・曲線経路について白杖先端刺激提示における仮想誘導路構成方法の歩行誘導性への影響を検討した。

直線のみを経路における実験では, Cnt では歩行誘導に

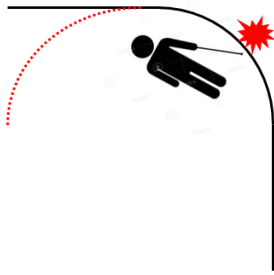


図 12: 区間 C から D への復帰

難があることがわかった。LorR および LR では、どちらも歩行誘導は可能であることが示された。さらに、LR では誘導路幅と歩行速度に相関が見られた。

曲線を含む経路における実験では、LorR では曲線路の内側に壁を構成する場合でも外側に構成する場合でも適切な歩行誘導に失敗する可能性があることがわかった。曲線路の外側に壁を構成する場合では、曲線部分のみでは他の構成方法と比較して最も歩行速度が速いことがわかった。しかし、曲線から直線へと進路が切り替わった際に、曲線部分の終了位置がわからないために、直線部に入っているにも関わらず曲線の延長線上を探索することで刺激が得られず、結果として進路切り替えに時間を要していた。曲線路の内側に壁を構成する場合では、被験者には直線から曲線への進路切り替え部分がわからず、内側に湾曲した内壁へ白杖が到達せず、刺激が得られないために立ち止まるといった事態が発生した。LR では、直線から曲線、曲線から直線への進路の切り替えのどちらでも LorR で発生した問題は見られず、進路の切り替え部分でも歩行が滞る事態は見られなかった。さらに、通常の白杖の振り幅以上である 1.5m を誘導路幅とした場合には、曲線の外側に壁を構築した LorR に近い歩行速度が実現できていた。また、曲線部においても誘導路幅が狭くなるにつれて歩行速度が遅くなる傾向が見られた。

以上のことから、Cnt では直線部において歩行誘導に失敗する場合は、LorR では直線、曲線間の進路の切り替わりで歩行誘導が停止する場合がある一方で、LR ではCnt や LorR で見られた問題は発生しなかったということから、白杖先端への刺激提示による歩行誘導システムでは、誘導路の両側に仮想壁を構成するのが良いという結論を得た。さらに、その誘導路幅を、高い歩行速度を許容できる場所では片側のみの仮想壁を利用するような通常の白杖の振り幅よりも広くし、歩行速度を遅らせたい危険な場所や曲がり角では両側の仮想壁を利用するような通常の白杖の振り幅よりも狭くするのが良いという結論を得た。

## 7. 終わりに

本稿では、白杖先端への衝撃刺激提示による歩行誘導について、仮想誘導路構成方法の歩行誘導性への影響を曲線を含む経路で検討した。仮想誘導路構成方法として、「点字ブロックのように中央に一本の誘導線があるように誘導路を構成した場合」「左右どちらかに仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」「左右両方に仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」を挙げた。さらに、「左右どちらかに仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」については、白杖の持ち手側と逆側の 2 種を検証した。「左右両方に仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」については各自の肩幅、1.0 メートル、1.5 メートルの 3 種を検証した。

曲線を含む経路を対象とし晴眼者を被験者として検証した結果、「左右どちらかに仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」では、曲線路の外側に壁を構成すると曲線部分で最も高速だったが、曲線から直線に復帰する際に時間を要することがわかった。対して曲線路の内側に構成すると、直線から曲線への進路変更で刺激提示が中断され、立ち止まる事態が発生することがわかった。「左右両方に仮想的な壁があるように誘導路を構成した場合」では、誘導路幅を広くし片側のみの壁を利用するような歩行をすることで、曲線部分では曲線路の外側壁のみを利用して高い速度を保った歩行誘導ができると考えられる。また、誘導路幅を狭くし両側の壁を利用するような歩行をすることで、歩行速度制御が可能であると考えられる。今後の課題として、実際に視覚障害者を持つ方に協力を依頼し、提案システムが視覚障害者にとって有用であるかを調査していく。

## 謝辞

本研究は公益財団法人立石科学技術振興財団の助成を受けて行われました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省: “平成 18 年度身体障害児・者実態調査結果”, 厚生労働省 (2008)
- [2] 有本浩太郎: “Evaluation of Tactile Tile Networks for Guiding Visually Impaired Based on Efficiency and Safety”, 土木計画学研究・論文集, 869-876(2005)
- [3] 渡辺博文, 榎堀優, 米澤朋子, 間瀬健二: “白杖先端への衝撃刺激提示による歩行支援システムの実現に向けた仮想的な壁と歩行誘導ブロックの再現および歩行誘導に関する一検討” 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム, 2017
- [4] 渡辺博文, 榎堀優, 米澤朋子, 間瀬健二: “白杖先端刺激提示による仮想誘導路デザインの直線歩行における検討” 研究報告アクセシビリティ, 2018
- [5] Yunqing Wang, Kuchenbecker, K.J.: “Haptic Alerts for Low-hanging Obstacles in white cane navigation”,

Haptics Symposium(Hap-TICS),  
2012 IEEE,527-532(2012)

- [6] 田中 成典, 安彦 智史, 塚田 義典, 平松 祐樹: “距離画像センサを用いた視覚障害者の歩行支援システムに関する研究開発”, 映像情報メディア学会誌 Vol.68, No.7, J265-J275(2014)
- [7] 森 英雄, 松本 諒平, 小林 芳樹, 基常 篤史: “歩行ガイドロボット実用化のための研究開発”, マッチング・ファンド方式による産学連携研究開発事業研究成果報告書 (2011)
- [8] Maruo Avila, Markus Func, Niels Henze: “DroneNavigator:Using Drones for Navigating Visually Impaired Persons” , ASSETS '15Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility Pages 327-328(2015)
- [9] 森 大輝, 入江 英嗣, 坂井 修一: “ドローンを用いた視覚障害者の歩行支援システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告 vol.116,No.511
- [10] T.Amemiya, H.Sugiyama: “Orienting Kinesthetically:A Haptic Handheld Wayfinder for people with Visual Impairments” , ACM Transactions on Accessible Computing,Vol.3,No.2,Article 6,1-23(2010)
- [11] D.H.Kim, S.Shin: “Local path planning using a new artificial potential function configuration and its analytical design guidelines” , Advanced Robotics 20,115-135(2006)
- [12] 森 英雄: “歩行ガイドロボット実用化への道-視覚の役割-”, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 136-9(2003)
- [13] B.Ando, S.Baglio, V.Marletta, A.Valastro: ”A Haptic Solution to Assist Visually Impaired in Mobility Tasks”, IEEE Tracsactions on Human-Machine Systems,641–646(2015)
- [14] Pourang Irani, Juan David Hincapie-Ramos : ”Crashalert : Enhancing peripheral alertness for eyes-busy mobile interaction while walking.”, CHI,2013.