Vol.2017-UBI-55 No.6
Vol.2017-ASD-9 No.6
2017/8/24

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

渡辺 博文[1,a)]　榎堀 優[2]　米澤 朋子[3]　間瀬 健二[2]

概要：視覚障碍者の多くは白杖を用いており，歩行誘導ブロックがある場所では，それと併用して移動している．しかし，歩行誘導ブロックは駅などの頻繁に利用される公共施設においても一部にしか敷設されておらず，多くの道路や建物内では十分な誘導が行えていない．そこで我々は，白杖先端へ衝撃刺激を提示し，壁や歩行誘導ブロックの感触を仮想的に再現することで，十分な誘導が行えていない場所でも，視覚障碍者を支援するシステムの実現を目指している．本稿では，晴眼者 5 名 (目隠し・耳栓を着用) を対象とし，壁や歩行誘導ブロックの再現度合い，および，仮想的な壁を用いた歩行誘導の実現可能性について検証した結果について述べる．結果，感触の再現度は 1-5 点のマグニチュード推定法で平均して 3 点に満たない低いスコアとなったが，歩行誘導は可能であるという結果が得られた．

Watanabe Hirofumi[1,a)]　Enokibori Yu[2]　Yonezawa Tomoko[3]　Mase Kenji[2]

1. はじめに

現在日本の視覚障碍者数は約 31 万人にのぼる [1]，視覚障碍者の多くは白杖を用いており，壁に沿って歩いたり，視覚障碍者用誘導ブロック (以下，点字ブロック) がある場所ではそれと併用して移動している．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．そこで我々は，白杖先端へ衝撃刺激を提示し，壁や点字ブロックの感触を仮想的に再現する (以下，仮想壁，仮想点字ブロック) ことで，既存の白杖の利用方法を大きく変えることなく，ナビゲーション機能を果たすシステムの構築を目指している．本稿では，白杖先端への衝撃刺激提示による壁や点字ブロックの再現度合い及び，仮想壁を用いた歩行誘導の実現可能性について調査した．

2. 関連研究

視覚障碍者の歩行支援技術は，歩行誘導と歩行経路上の障害物検知との 2 つに大別される．

歩行経路上の障害物検知には超音波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 [11] 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．

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 [4], [5]．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碍者を先導して誘導した [4]．Avila らは，ドローンの飛行音によって視覚障碍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碍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 [5]．

検知した障害物を元に歩行経路を生成し，視覚障碍者を誘導する研究に森らの研究 [6], [7], [8] がある．森らは，人間の錯覚を利用した疑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疑似的な牽引力を生み出すものである．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，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，歩行誘導できた．

[1] 名古屋大学
[2] 名古屋大学大学院情報学研究科
[3] 関西大学大学院総合情報学研究科
[a)] watanabe@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

© 2017 Information Processing Society of Japan

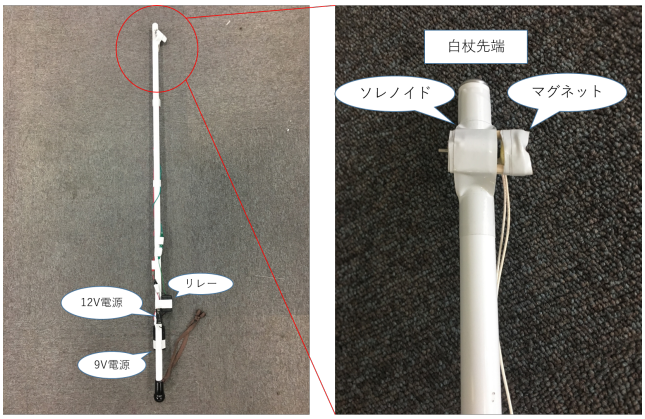


図 1: 提案デバイスのプロトタイプ
Fig. 1 Prototype of proposed device.



図 2: DC12V ワイヤレスリレーおよびリモートスイッチ
Fig. 2 DC12V Wireless relay and switch.

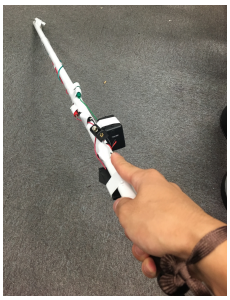


図 3: 白杖の持ち方
Fig. 3 White cane's How to hold.

3. 白杖先端への衝撃刺激提示による歩行支援システム

提案システムは，目的地まで仮想壁で挟まれた経路を生成する．その間を視覚障碍者が白杖を振りながら歩行し，白杖が仮想壁に触れると，白杖先端へ衝撃刺激を提示し，歩行誘導をする．

図 1 にプロトタイプの白杖デバイスと白杖先端部分を示す．白杖先端にソレノイドを取り付け，ソレノイドに鉄芯が吸着することによって衝撃刺激を提示する．リレーを一人称視点の画像処理等で得た適切なタイミングで制御することで衝撃刺激を提示する．プロトタイプデバイスに取り付けられたリレーは市販の DC12V ワイヤレスリレーであり，図 2 に示す．

また，白杖が仮想壁に触れるたびに衝撃刺激を提示する必要があるが，ソレノイドは一方向への移動のみをサポートするため，一度衝撃刺激を提示した場合，再度の衝撃衝撃提示が行えない．そのため，ソレノイドから適切な距離にマグネットを取り付けることで，ソレノイドに電圧がかかっていない場合には自動的に鉄芯がマグネットに引き戻るされるようにした．

4. 衝撃刺激の認識及び再現度合いの検証

白杖先端へ衝撃刺激を提示し歩行誘導を行う上での検証課題として，システム利用者が衝撃刺激を認識できるか，その衝撃刺激が実際の壁や点字ブロックを再現できているか，の 2 点がある．そこで衝撃刺激の認識及び再現度合いの検証実験として，以上 2 点について調査した．

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に，以下の実験条件を定めた．

4.1.1 被験者

大学研究室内より，以下の条件を満たす人物を被験者とした．

- 晴眼者
- 年齢が 21 から 25 の間
- 右利き

4.1.2 白杖の持ち方

白杖の持ち方を被験者で統一させるため，以下を定義した．

- 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．

例を図 3 に示す．

4.1.3 白杖の振り方

白杖の役割として以下の 3 つがある．

- 安全の確保 (前方の障害物や危険の防御)
- 歩行に必要な情報 (段差の歩道の切れ目等のランドマーク) の収集
- ドライバーや他の歩行者への注意喚起

歩行の基本操作には，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」と離れた 2 点をタッチしながら歩く「タッチテクニック」がある．スライドテクニックには，地面の凹凸に敏感に対応できる効果が，タッチテクニックでは音で周囲に自分の存在を知らせる効果が高い．白杖利用者は場面ごとに使い分け，それぞれの方法を組み合わせた「タッチ・アンド・スライド」という振り方もある．

この振り方を参考にし，以下の 3 種の振り方を定義した．

(i) 地面に設置させながら左右にスライドさせる (スライドテクニック)
(ii) 地面を左右交互にタップする (タッチテクニック)
(iii) 仮想壁および仮想点字ブロックに触れる方向に振るときは地面の上を接地しながらスライドさせ，その逆方向に振るときは地面をタップする (タッチ・アンド・スライド)

4.1.4 触覚以外の知覚の制限

提示された衝撃刺激の再現度の検証実験であるため，被

© 2017 Information Processing Society of Japan

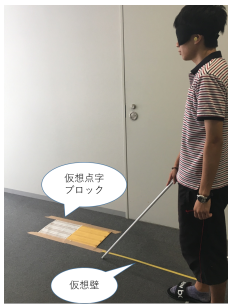


図 4: 仮想壁および
仮想点字ブロック
Fig. 4 Virtual Wall and
Virtual Braille block.

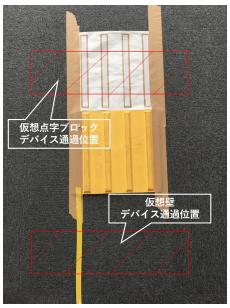


図 5: デバイス通過位置
Fig. 5 Passage position of device.

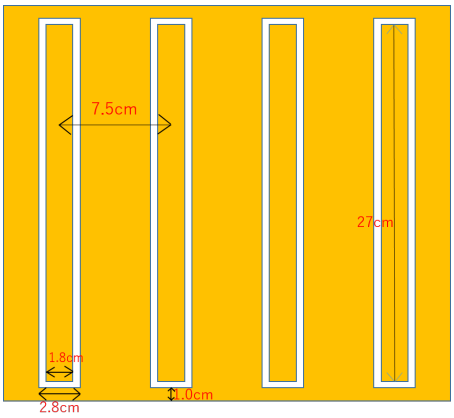


図 6: 仮想点字ブロック縮尺
Fig. 6 Scale of virtual braille block.

験者にはアイマスク及び耳栓を装着させ，触覚以外の知覚を制限した．以下に今実験で用いたアイマスク及び耳栓を示す．

- PLEMO 立体型睡眠アイマスク (55%ポリエステル,45%ナイロン)
  正しく装着することで，限りなく光を遮断できる
- MOLDEX 使い捨て耳栓 (発泡ウレタン)
  正しく装着することで，限りなく音を遮断できる

4.1.5 衝撃刺激の提示タイミング

本来ならば画像処理などでシステム利用者および白杖の位置を把握し，適切なタイミングで衝撃刺激を提示する必要がある．しかし，本プロトタイプデバイスを用いた実験では，提示された衝撃刺激による感触再現度と歩行誘導可能性に注力したため，提示タイミングは人力で行った．デバイスが仮想壁に触れたタイミング，実際の点字ブロックの突起部分と同位置の仮想点字ブロック部分に触れたタイミングを実験者が目視で判断し，図 2 に示したスイッチを制御することで衝撃刺激を提示した．

4.2 実験手順

4.2.1 白杖利用法の習熟

まず白杖の利用方法について習熟を促すために，ソレノイド等が取り付けられていない一般的な白杖を振り方 (i) で振らせながら図 9 および図 10 で示す廊下を歩かせた．被験者が十分に習熟できたと自己申告をした後に実験に移行した．

4.2.2 仮想壁および仮想点字ブロックの配置

図 4 に示されるように，目隠しと耳栓を装着した被験者を立たせ，被験者の右手側の地面に，仮想壁に見立てたテープと JIS で定められている点字ブロック規格で形作られたテープを貼り付けた．仮想点字ブロックは 30cm の正方形で図 6 の縮尺でビニルテープとガムテープで作成した．

4.2.3 検証手順

仮想壁上をデバイスが通過するよう (図 5) に振り方 (i) で被験者はデバイスを振り，デバイスがテープ上を通過するタイミングで実験者がスイッチを制御することで衝撃刺激を提示した．この衝撃刺激を提示する動作を 5 回行い，これを 1 セットとして計 5 セット行った．セット間には 5 秒の間隔を開けた．5 セット終了した後に振り方 (ii)，(iii) も同様に行った．

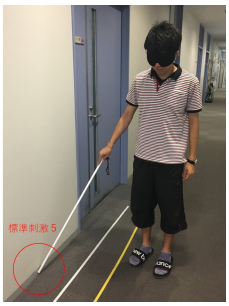


図 7: 標準刺激 5 を提示
Fig. 7 Standard stimulus 5.

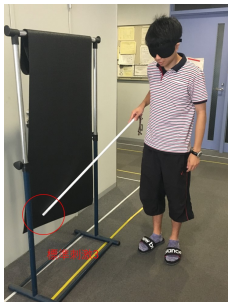


図 8: 標準刺激 3 を提示
Fig. 8 Standard stimulus 3.

次に，仮想点字ブロックに関しても同様の流れおよび同様の振り方の順番で実験を行った．なお，振り方の順番における差異をなくすために，被験者ごとの振り方の順番を以下とした．

- A:(i) → (ii) → (iii)
- B:(iii) → (i) → (i)
- C:(ii) → (iii) → (i)
- D:(i) → (iii) → (ii)
- E:(ii) → (i) → (iii)

4.3 評価方法

主観評価の方法として，マグニチュード推定法を用いた．マグニチュード推定法とは，標準刺激と比較したときの比較刺激の強度を，被験者が数値の形で推定し回答する方法である [10]．本実験では 3 つの標準刺激を提示した．標準刺激提示方法を図 7 と図 8 に示す．

刺激量 1 を空振り，刺激量 5 を実際の壁及び点字ブロックとし，その中間の刺激量 3 としてヨガマットを用意した．

© 2017 Information Processing Society of Japan

表 1: 各振り方における被験者ごとの推定値及び平均の推定値

Table 1 Magnitude estimate of the subject and the average.

振り方	評価項目	被験者					平均
		A	B	C	D	E	
(i)	衝撃刺激の強さ	2	2	3	2	2	2.2
	壁再現度	2	2	2	2	2	2
	点字ブロック再現度	2	2	2	2	2	2
(ii)	衝撃刺激の強さ	2	2	3	2	3	2.4
	壁再現度	2	2	2	2	2	2
	点字ブロック再現度	2	2	2	2	2	2
(iii)	衝撃刺激の強さ	2	2	3	2	2	2.2
	壁再現度	2	2	2	2	2	2
	点字ブロック再現度	2	2	2	2	2	2

使用したヨガマットは図 8 のもので，詳細を以下に示す．

- inFIT ヨガマット ブラック
- 長さ:172cm, 幅 60cm, 厚さ 4.0mm
- 素材:塩化ビニル

壁及び点字ブロックの感触特徴として固い，反発が強いというものがあるため，それら 2 点の特徴において，壁および点字ブロックと接触したときの最高刺激と空振りの最弱刺激の中間値をとれるものとして，ヨガマットを利用した．被験者は 3 種の標準刺激を基準として，白杖先端から得られた衝撃刺激について 1 から 5 の 5 段階で回答した．

4.4 実験結果と考察

マグニチュード推定法を用いて得られた実験結果を表 1 に示す．

4.4.1 振り方による再現度への影響

本実験では，実際に視覚障碍者が用いる 3 種の振り方で調査を行った．その結果，3 種全ての振り方について，5 名の被験者すべての再現度合いに関するマグニチュード推定値が 2 という結果が得られた．3 種すべての振り方で同じ推定値が得られたことから，再現度は振り方に依存しないと考えられる．

4.4.2 白杖先端への衝撃刺激提示による壁感触の再現度

実験結果のマグニチュード推定値から，壁再現度は平均 2 点であった．さらに，被験者ごとの再現度合いに関する推定値を見ても，すべて 2 点であった．2 点というスコアが中間刺激であるヨガマットに至っていないことから，再現度としては低い結果であった．ソレノイド単体での再現度は低く，音や振動などの多刺激提示の併用を検討する必要がある考えられる．

4.4.3 白杖先端への衝撃刺激提示による点字ブロック感触の再現度

実験結果のマグニチュード推定値から，点字ブロック再現度は平均 2 点であった．さらに，被験者ごとの再現度合いに関する推定値を見ても，すべて 2 点であった．2 点というスコアが中間刺激であるヨガマットに至っていないことから，再現度としては低い結果であった．仮想壁と同様に，ソレノイド単体での再現度は低く，音や振動などの他刺激提示の併用を検討する必要がある考えられる．

4.4.4 被験者ごとの衝撃刺激の強さの認識

被験者 5 名中，4 名が振り方 3 種とも同じ値を回答した．被験者 E のみはは振り方 (i)，(iii) を 2 点，振り方 (ii) のみを 3 点とした．振り方 (ii) では他の振り方と比べて強さを大きく感じる可能性が示唆された．しかし，被験者 E へのヒアリングより，被験者 E は振り方 (ii) における実験中に，仮想壁上を通過するようにデバイスを降るのではなく，衝撃刺激を提示された位置に白杖をタップするように無意識に調整を行っていたことがわかっている．その結果，白杖先端から感じる衝撃刺激と，デバイスが地面に触れる衝撃が重なることで，衝撃刺激をより強く感じていたと考えられる．被験者 E の振り方でデバイスを利用するよう指導することで，衝撃刺激の強さが向上すると考えられる．

5. 歩行誘導の実現可能性の検証

白杖先端へ衝撃刺激を提示し歩行誘導を行う上での第 2 の検証課題として，提示した衝撃刺激により歩行誘導ができるのか，がある．そこで白杖先端への衝撃刺激掲示による歩行誘導可能性の検証実験として調査した．

5.1 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に，以下の実験条件を定めた．ただし， 白杖の持ち方 (4.1.2 節)， 触覚以外の知覚の制限 (4.1.4 節)， 衝撃刺激の提示タイミング (4.1.5 節) の 3 点は 4 章の実験と同様とした．被験者は 4 章の実験の被験者 A,B,C である．白杖の振り方は 1 種のみとし，(i) 地面に設置させながら左右にスライドさせる (スライドテクニック) のみとした (4.1.3 節)．

5.1.1 歩行経路

図 9 及び図 10 に示されるように，大学内の廊下の床に仮想壁に見立てたテープを貼り付け，テープ間を歩行経路とした．黄色テープの間隔は 1.0m，白色テープは 1.5m であり，全長が 9m, スタートから 4.5m の位置に左折の曲がり角とした．仮想経路幅の異なる経路を複数用意することで，仮想経路幅の変化による歩行速度などへの影響が見られると考えられた．

5.1.2 デバイスおよび衝撃刺激利用法の教示

白杖先端へ衝撃刺激を提示することで，歩行誘導が行えるのかの調査のために，デバイスと提示された衝撃刺激の利用方法について被験者ごとに統一を図った．そのために衝撃刺激の利用方法を教示するために以下の文章で被験者に説明した．

「地面の上をスライドさせる振り方で，事前練習と同じように仮想壁間を歩行してください．歩行中，仮想壁にデバ

© 2017 Information Processing Society of Japan

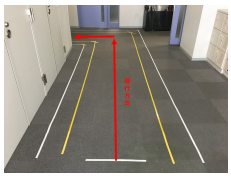


図 9: 歩行経路前半
Fig. 9 Walking route first half.

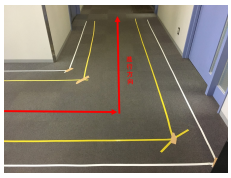


図 10: 歩行経路後半
Fig. 10 Walking route late.

表 2: 各被験者の目的地までの所要時間
Table 2 Goal time of user.

被験者	所要時間 (sec)		増加量 (%)
	経路幅 1.5m	経路幅 1.0m	
A	43.4	47.4	+9.2
B	45.2	48.9	+8.2
C	44.1	45.5	+3.2
平均	44.2	47.1	+6.6

イスが触れる度に衝撃刺激を提示するので，得られた衝撃刺激の位置を繰り返し確認することで仮想壁の位置を把握し，歩行方向の調整を行ってください.」

5.2 実験手順

5.2.1 検証手順

5.1.2 節で述べた「デバイスおよび衝撃刺激利用法の教示」を行い，スタート地点に立たせ歩行を開始させた．曲がり角等では，白杖デバイスが仮想壁に触れるため，実験者がスイッチを制御して衝撃刺激を提示した．そして教示された利用法を用いて進行方向の調整を被験者が行い，目的地を目指した．

5.3 実験結果と考察

被験者は全ての施行で目的地に到達した．さらに，試行中に壁に向かって突き進む，角で立ち往生するといった事例はなく，スムーズに想定通りの歩行を行った．各被験者の目的地までの所要時間を表 2 に示す．

5.4 期待される利用法での誘導可能性

実験結果より，全被験者とも目的地までたどり着くことができた．本実験では，デバイスの利用方法を教示し，デバイスおよび衝撃刺激利用法を統一させた．このことから，期待される利用法でデバイスが用いられた場合，白杖先端から得られた衝撃刺激を元に仮想壁の位置を繰り返し確認することで仮想壁の方向を認識し，歩行方向の調整ができると考えられる．

5.5 仮想経路幅の変化による歩行への影響

仮想経路幅を 1.5m から 1.0m に狭めることにより，全被験者の目的地までの所要時間はすべて増加した．増加した要因として，仮想経路幅が狭まることによってデバイスが仮想壁に触れた回数が増加したためと考えられる．従って，危険な場所や曲がり角等では仮想経路幅を狭め，被験者に仮想壁位置の確認回数を増加させることで安全な歩行誘導に繋げることが可能と考えられる．

6. まとめ

本研究では，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て，仮想的な壁と歩行誘導ブロックの再現度合いおよび歩行誘導に関する一検討を行った．衝撃刺激提示のための器具としてソレノイドを利用し，ソレノイドによる衝撃刺激の強さ及び実際の壁，点字ブロックの再現度合いを調査したが，マグニチュード推定法においてどちらも低い結果となった．白杖の振り方 3 種のうち，振り方による再現度合いへの影響は見られなかったが，振り方の指導によって衝撃刺激の強さ向上の可能性は示唆された．ソレノイドを用いた歩行誘導実験では，間隔 1.5m 及び 1.0m のどちらの歩行経路においても，目的地までの歩行誘導ができた．さらに，仮想経路幅によって目的地までの所要時間の差が見られたため，より安全に歩行させたい位置では仮想経路幅を狭めるべきであるという知見が得られた．以上 2 つの実験によって，白杖先端への衝撃刺激提示によって，実際の壁や点字ブロックの再現度合いは低くとも，歩行誘導は十分に行えることがわかった．

今後は，歩行支援システムの実現に向けて，歩行経路を生成するための障害物検知アルゴリズム手法を考えていき，歩行経路を正しく生成できるようにしていく．

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] Yunqing Wang, Kuchenbecker, K.J.: “Haptic Alerts for Low-hanging Obstacles in white cane navigation”, Haptics Symposium(Hap-TICS), 2012 IEEE,527-532(2012)
[3] 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碍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)
[4] 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)
[5] 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)
[6] 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

© 2017 Information Processing Society of Japan

術研究報告 vol.116,No.511
[7] 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)
[8] 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)
[9] 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)
[10] 岡本安晴: 「計量心理学」, 培風館 （2006）
[11] Pourang Irani Juan David Hincapie-Ramos.Crashalert: “Enhancing peripheral alertness for eyes-busy mobile interaction while walking.”，CHI,2013.

© 2017 Information Processing Society of Japan