

暗黙的な実世界交通ルール提示に基づく 歩行支援システム

佐々木 裕昭^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要：繁華街などの人通りの多い場所などにおいては、歩行者どうしの接触や互いの進行方向を遮ることによりスムーズに他者とすれ違えないといったトラブルが起こる。そのようなトラブルの原因の一つに、それぞれの場所には暗黙的な歩行時のルールが存在しているにもかかわらず、そのルールを理解していない歩行者が存在することが挙げられる。一方自動車は、道路標示や標識で示される交通ルールに従って走行することにより、安全でスムーズな交通を実現している。そこで、本研究では自動車の交通ルールを歩行者に適用することにより、上記のようなトラブルを回避し安全でスムーズな歩行を実現する歩行支援システムを提案する。提案システムでは、前方のカメラ映像などから周辺の歩行状況を認識し、その状況に合わせて拡張現実感で道路標示などの交通ルールを提示することにより、歩行者の行動を誘導し安全でスムーズな歩行を実現する。評価実験より、前方の映像の画像解析による認識と過去の認識データを用いることで、歩行者周辺の固有な歩行のルールを可視化できることがわかった。

1. はじめに

繁華街やターミナル駅などの人通りの多い場所においては、歩行者どうしの接触などのトラブルがしばしばみられる。例えば、無意識に人の流れに逆らって歩いてしまった場合や、通路の交差部分など様々な方向から歩行者が現れるような場所を歩いている場合には、他の歩行者と接触しやすい。これらのトラブルは、それぞれの場所に存在している固有の歩行時のルールが暗黙的で視覚化されておらず、そのルールを理解していない歩行者によって引き起こされると考えられる。例えば、法律上では歩行者は道路の右側通行を義務付けられているが、これは歩道では適用されず、繁華街などではむしろ左側通行の慣習が根付いている場所が多い。その一方で、図1のように歩行者の動線上の問題で右側通行が奨励されている場所もしばしばみられ、場所によって歩行時のルールは異なると考えられる。結果として、そういった慣習やルールに気づくことができなかつた歩行者は、他者の進路を防ぐなど流れを妨げる。

一方、自動車の交通環境では、多くの台数が隣接して走行することが想定されているため、走行に際しては様々な



図 1 右側通行が奨励されている場所の例

Fig. 1 A case where the right-hand traffic is recommended.

交通ルールが定められている。例えば、道路の屈曲した部分やトンネル内の道路などの危険な場所では、黄色の中央線が引かれ車線のはみ出しを伴う追い越しが禁止されている。また、見通しの悪い交差点の直前には、一時停止を示す道路標示や標識が存在し、運転者は車を一時停止させ安全確認を行うことが義務付けられている。このように、それぞれの道路環境に則した交通ルールが適用されていることによって、自動車は安全でスムーズな交通を実現している。

これまでに筆者らは、図2のようにウインカーやブレー

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきかけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

a) h.sasaki@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@kobe-u.ac.jp



図 2 自動車メタファを用いた歩行者行動可視化システム [1]
Fig. 2 A System for Visualizing Human Behaviors using Car Metaphor[1].

キランプといった自動車の機能を歩行者の身体上に装着し動作させることで、「左に曲がる」「止まる」といった歩行者の行動を周囲に提示するシステムを提案しており [1], 自動車のメタファを用いるこのシステムは以下の特徴をもつことが確認されている。

- 日常生活における経験則的な知識（暗黙知）を利用することにより、自動車のメタファを歩行者の身体上に装着し動作させた場合でも、人はその意味を直観的に認識できる。
- 自動車のメタファを用いることで、文字情報や図形情報といった他の情報提示手法と比較して、直観的に素早く情報を得られる。
- その情報提示の直観性や即時性は、可視化デバイスの装着位置や形状に影響され、実際の自動車と類似するほど高い効果が得られる。

ここで、日常生活において目にする中央線などの自動車の交通ルールも、多くの人がその意味を理解できる。したがって、模倣した道路標示や標識などを歩行者に提示した場合でも、その意味を直観的に理解できると考えられる。歩行者以外では、自動車の交通ルールが自転車の走行に適用されている例が存在し、国内外には車道と同様に中央線や停止線が用いられている自転車専用道路がある。その場所を通行する自転車の運転者は、それらのルールに従って走行しており、免許が必要ない自転車の運転者でも道路標示などの交通ルールを理解できるとわかる。

これらのことから、頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いて中央線などの交通ルールを拡張現実感で提示すれば、システムの利用者はその意味を直観的に理解でき、歩行者どうしの接触などの事故を防ぐことができると考えられる。

そこで本稿では、拡張現実感で周辺の状況に合わせた道

路標示や標識を表示することにより、それぞれ場所に存在する歩行ルールを可視化するシステムを提案する。具体的には、身に着けた前方のカメラの映像から周辺の歩行状況を認識し、その状況に合わせて拡張現実感で道路標示などの交通ルールを HMD を通じて提示することにより実現する。例えば、対面通行のように歩行者の多い場所を歩行するときには、歩行者の流れの境界に黄色の中央線を引き、その両側にそれぞれの流れの進行方向を矢印で提示することで、歩行者が流れに従って歩行するよう促す。通路の交差部分など様々な方向から歩行者が現れるような場所に向かって歩いているときは、一時停止の道路標示や標識、あるいは黄色点滅信号を提示することで、歩行者に歩行速度を緩めて周囲へ注意を向けるように促す。こうして、暗黙的な歩行のルールを可視化することで、安全でスムーズな歩行を実現する。

本稿は次のように構成されている。2 章では関連研究について述べ、3 章ではシステム的设计について説明する。4 章ではシステムの実装について述べ、5 章で評価と考察を行う。最後に 6 章で本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

これまでにも、人の行動の可視化に関する研究は盛んに行われている。例えば文献 [2] では、ユーザが装着したセンサなどの情報機器から得られる情報をもとにユーザの行動を認識してネットワークを通じて集計し、近隣に在住するなど環境の近い他者のデータを Web サイトを通じてユーザに提示するシステムが提案されている。これは、他者の行動を集計して可視化することで協力感や競争感を与える取り組みであり、歩行者の行動をリアルタイムに可視化する本研究とは異なる。

また、提案システムは拡張現実感で周辺の歩行者の行動を可視化し、システムの利用者の歩行を誘導する。拡張現実感を用いた歩行者ナビゲーション手法としては、MapFan eye[3] という iPhone 用アプリケーションがある。Map Fan eye は、iPhone 内蔵のセンサから得られるデータより端末の向きや傾きを認識し、カメラ映像に連動した歩行ラインを拡張現実感で提示する。これにより、直観的に進行方向がわかる。

他にも、公共スペースの混雑緩和や歩行者用ナビゲーションシステムの進行方向の案内を目的とした、様々な歩行誘導手法が提案されている。CabBoots[4] は歩行時の方向案内システムで、内蔵したデバイスで靴の中敷きを傾かせることによって、システムの利用者の進行方向を誘導する。渡邊らは、靴に内蔵した振動モータによって足に刺激を与えることによる歩行誘導手法を提案している [5]。振動刺激による運動の引き込み現象を利用して歩行周期を変化させ、歩行の方向や速度を誘導する。また前田らは、電極による前庭感覚刺激によって歩行を誘導する手法を提案し

表 1 交通ルールにおける道路標示や標識とその意味
Table 1 Road markings and signs with their meanings.

道路標示や標識, 信号	意味
黄色実線の中央線	右側部分にはみ出しての追越禁止 (車線内での追越不可)
白色実線の中央線	右側部分にはみ出しての追越禁止 (車線内での追越可)
白色破線の中央線	右側部分にはみ出しての追越可
一時停止標識	交差点の直前又は停止線の直前で一時停止義務
進入禁止標識	標識方向からの進入禁止
黄色の点滅信号	他の通行に注意して進行可
赤色の点滅信号	停止線の直前で一時停止義務

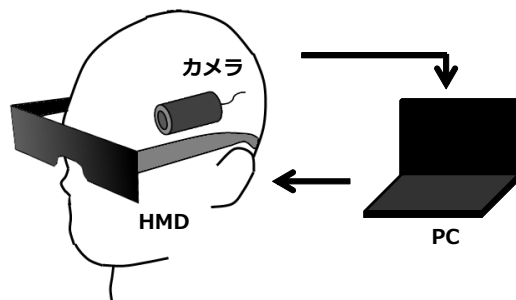


図 3 システム構成
Fig. 3 System configuration.

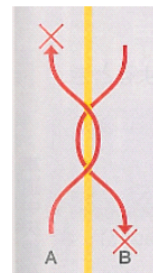
ている [6]. この手法では耳の後ろ部分に電極を装着し, 電流で前庭器官を刺激することにより加速度感を生じさせ, 歩行の向きを誘導する. 小島らは, 頭部に装着したサーボモータで耳を引っ張って頭のバランスを傾けることで, 進行方向を誘導するデバイスを提案している [7]. さらに, デバイスを身に着けることなく歩行を誘導する手法も提案されている. 吉川らは, 視覚刺激の効果を利用した歩行誘導手法を提案している [8]. この手法は, レンチキュラレンズを床面に設置し, それによって生起される視覚誘導性自己運動感覚 (ベクシオン) によって進行方向を誘導する. これらの手法は, デバイスなどの効果によってシステム使用者の意思を伴わずに歩行を誘導する. よって, 道路標示や標識などを用いて歩行者の行動を可視化し, システム使用者に行動を促して誘導する提案システムとは異なる.

3. システム設計

3.1 情報可視化手法

提案システムでは, 拡張現実感で道路標示や標識などの交通ルールを HMD を通じて表示することにより, 周辺の歩行者の行動や歩行ルールを可視化し, システム使用者に提示する. 日常生活においてよく目にする交通ルールを利用することで, 直観的な情報提示ができると考えられる. 自動車における交通ルールの例を表 1 に示す.

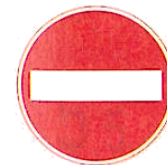
提案システムの構成を図 3 に示す. システムはウェアラブルカメラ, HMD と, 小型 PC から構成される. システム使用者の頭部に装着したカメラで前方の映像を身に着け



黄色中央線



一時停止標識



進入禁止標識

図 4 提案機能に対応する道路標示や標識 [9]
Fig. 4 The corresponding road markings and signs [9].

た小型 PC に入力し, その映像をオプティカルフロー解析することで周辺の歩行者の流れを認識する. そして, 適切な道路標示などの交通ルールを前方の映像に重ね合わせて HMD を通じてシステム使用者に提示する. 以下, 提案システムが提示する具体的な機能を説明し, それぞれに対応する実際の道路標示や標識を図 4 に示す.

- **中央線:** 黄色の中央線と進行方向を示す白色の矢印を提示する. 歩行者の流れの境界に中央線を, それぞれの歩行者の流れの方向に合わせて矢印を提示することで, 歩行者の流れからの逸脱を防げると考えられる.
- **一時停止標識:** 一時停止標識を提示する. 混み合った場所に進入する前に提示することにより, 周囲への更なる注意を促す.
- **進入禁止標識:** 進入禁止標識を提示する. 周辺の歩行者の流れに逆らって歩いているときに提示することで, 流れからの逸脱を知らせる.

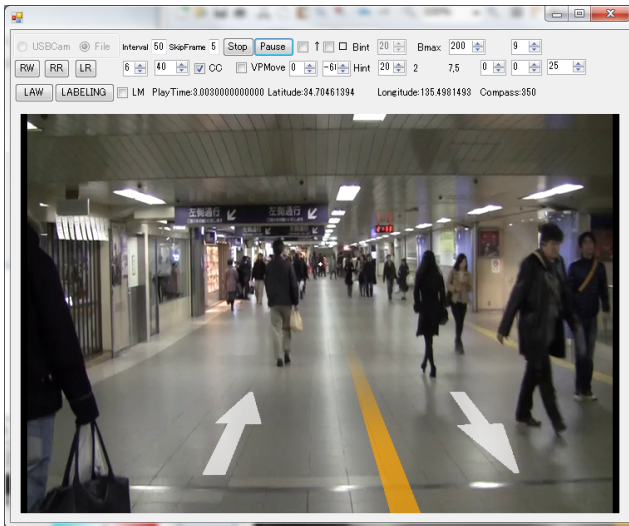


図 5 プロトタイプのスクリンショット

Fig. 5 A screenshot of the prototype application.

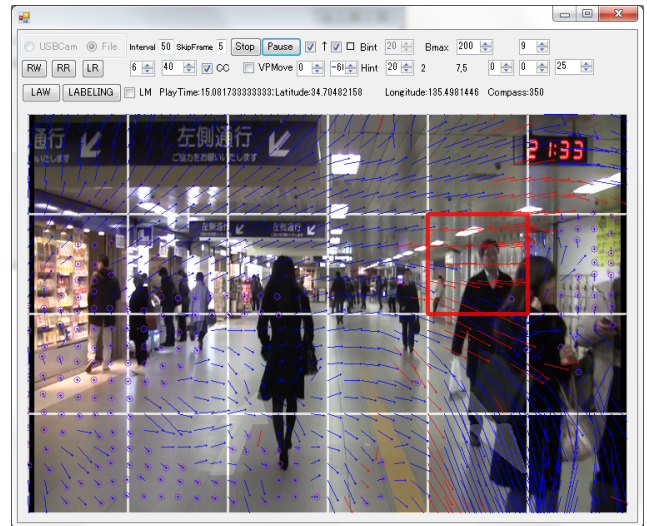


図 6 ベクトル描画モードのスクリンショット

Fig. 6 A screenshot of the drawing vector mode.

3.2 可視化情報のフィードバック

提案システムは前方カメラ映像のオプティカルフロー解析により、リアルタイムで周辺の歩行者の行動を認識する。それに加え、歩行者の行動を認識したときにデータとして記録しておき、その記録を利用することで提示精度の向上を図る。具体的には、映像の解析時に周辺歩行者の行動を認識すると、そのときの経度・緯度・方位の情報を記録しておき、データベースに蓄積する。そのデータベースによって、次回に同一地点を同じ向きに歩いて通過したときに、オプティカルフロー解析では人の流れが検出できなかった場合でも蓄積情報をもとに歩行ルールを提示するなどして、行動可視化の精度向上を図る。近年、屋内の位置情報サービスに関して様々な提案がなされており [10], [11], それらのサービスが普及すれば、現在は正確な位置情報の取得が難しい繁華街のアーケード内や地下街などにおいても、正確な位置情報を取得できるようになると考えられる。

4. 実装

提案する歩行者情報可視化システムのプロトタイプを実装した。実装したプロトタイプアプリケーション画面のスクリンショットを図 5 に示す。プロトタイプシステムでは、頭部に装着した USB カメラよりシステム使用者視点の前方映像を小型 PC に入力し、その映像より、上下左右等間隔に配置された起点を持つオプティカルフロー解析を行う。オプティカルフローを表示した状態の画面のスクリンショットを図 6 に示す。オプティカルフロー解析は Lucas-Kanade 法を用いた。解析で得られたベクトルのうち、その延長が背景の消失点近傍を通り、かつ放射状の向きであり、さらにその長さがシステム使用者の歩行速度を超えているときに、そのベクトルは対向者の動きを表しているとみなす (図 7 の赤色のベクトル)。また、このベクトル

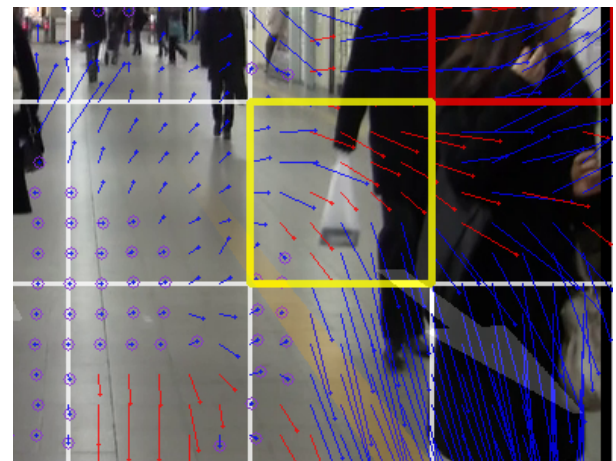


図 7 対向ベクトル (赤色) の例

Fig. 7 Examples of vectors presenting oncoming walker.

ルを対向者ベクトルと呼ぶ。カメラから得られた前方映像を格子状のエリアに分割し、そのエリア内における対向者ベクトルの占める割合が設定した閾値を超えた時に、システム使用者に向かってくる人の流れがそのエリア周辺に存在すると認識する。前方映像の右側かつ下半分の領域内のエリアが、人の流れを認識したとき、センターラインはその流れを妨げないように認識したエリアを避けて撮影者側に描画され、同時に中央線の両側にそれぞれの進行方向を示す矢印が描画される。このアプリケーション画面を HMD 上に表示することで、直観的に周辺の歩行者の流れを可視化できる。

また、評価実験にてシミュレーションを行うため、映像ソースとして動画ファイルを入力する機能を実装した。この機能では、動画撮影時の緯度・経度の位置データと方位データの入力、周辺の歩行者の行動認識データの出力とその行動認識データの入力ができる。データの入出力はすべて CSV 形式にて行う。動画ファイルとその撮影時の位置及び



図 8 動画 No. 1 のスクリーンショット
 Fig. 8 Screenshots of Video No. 1

方位データを記録したファイル, 過去の行動認識データファイルの計 3 つのファイルを入力することにより, 過去の認識データを加味した行動認識のシミュレーションを行うことができる. 具体的には, 過去に対向する歩行者の流れを認識した位置に同じ向きで近づいたとき, そのときの認識状況にかかわらず中央線を提示する. あらかじめ周辺の歩行ルールを可視化することによって, システム使用者に注意を促すことができ, 安全でスムーズな歩行が実現できると考えられる. なお, プロトタイプアプリケーションの開発は Panasonic 社の Let's note CF-SX1(OS: Microsoft Windows 7, CPU: Corei5-2540M(2.60GHz×2), メモリ: 4GB) 上の Microsoft VisualC# 2010 にて行った. また, シミュレーションの実行は DELL 社の PRECISION T3500(OS: Microsoft Windows 7, CPU: Xeon W3530(2.80GHz×4), メモリ: 12GB) 上で行った.

5. 評価実験

提案手法の有用性を評価するため, 過去の認識データを入力しないリアルタイムの認識のみでの場合と, 過去の認識データとリアルタイムの認識の両方を利用した場合で, 対向する歩行者の可視化精度を評価した.

5.1 映像のみを入力したときの評価

実装したプロトタイプアプリケーションは, 入力された前方映像をオプティカルフロー解析することで, システム使用者の右側を歩く対向歩行者を検出し, 前方映像において対向歩行者との境界に中央線を描画する. 本節では, アプリケーションのシミュレーション機能を用いてあらかじめ撮影した歩行者の前方映像を入力し, 過去の歩行ルールのデータを用いない, リアルタイムの認識での対向歩行者の行動可視化精度を評価する.

シミュレーション用の歩行者前方視点の動画は, ターミナル駅構内で撮影したものを用いた. 歩行した通路は幅約 10m, 長さ約 100m の直線で, 異なるタイミングで撮影した 4 本の動画を用意した. そのうちの動画 No. 1 のスクリーンショットを図 8 に示す. 動画内では通路を 30 秒から 36 秒かけて移動し, 15 人から 16 人の歩行者と対向する. 撮影は Canon 社の iVIS HFS21 で行い, 緯度・経度の位置情報と方位情報は撮影後に手動で記録した. 正解デー

表 2 行動可視化の適合率と再現率

Table 2 The precision and recall of visualizing behaviors.

	適合率	再現率
動画 No. 1	65.0(%)	73.6
動画 No. 2	55.4	60.6
動画 No. 3	62.4	57.8
動画 No. 4	60.5	69.0

タのラベリングは手動で行い, 中央線が提示されるタイミングの基準は, 撮影者の右側に向かってくる 1 人以上の歩行者が, 映像中に描画された赤線を超えた瞬間 (撮影者との距離約 10 メートル) から, 画面から消えた瞬間までの間とした. なお, ラベリング時はシステムの認識結果に影響されないうように, 中央線の描画は行っていない.

評価結果を表 2 に示す. それぞれの動画の認識データとラベリングデータ, 対応する動画内のシーンを見比べると, 撮影者の近くをすれ違った歩行者に対しては比較的反応を示すが, 撮影者から離れた位置ですれ違った歩行者に対してはほとんど反応していないことがわかった. この原因としては, 歩行時の振動による映像のブレが挙げられる. 映像がブレると, ブレた方向と反対の方向にオプティカルフローが反応してしまうため, 正しく認識しないと考えられる.

5.2 過去の認識データを入力したときの評価

混雑する時間帯には, 常に歩行者の流れができていてもある. 対向する歩行者の流れが生じやすい場所では, 入力映像より認識した後だけではなく, その場所に移動した時点で中央線を表示することが望ましい. つまり, そのような流れが生じやすい場所において常時中央線を提示し続けられれば, 接触などのトラブルを予防できる可能性がある.

そこで, 入力映像の認識のみで中央線を表示するときと比較して, 過去に認識した記録も利用した場合とでは, 中央線の提示時間がどのように変化するかを調査した.

評価には 5.1 節で用いた 4 つの動画を用いた. 認識データに記録されている位置に記録時と同じ向きで近づいたとき, そのときの認識状況にかかわらず中央線を提示する. あらかじめ No. 2, No. 3, No. 4 の動画をそれぞれ入力したときの認識データを取得しておき, No. 1 の動画のみを入力

表 3 使用した認識データと中央線の提示率

Table 3 Used data and presentation rate of center line.

入力した認識データ	提示率
なし	53.3(%)
No. 2	69.3
No. 2 + No. 3	84.7
No. 2 + No. 3 + No. 4	95.9

表 4 認識データを用いたときの適合率と再現率

Table 4 The precision and recall when using the recognition data.

入力した認識データ	適合率	再現率
No. 2	62.2	89.6
No. 2 + No. 3	55.3	94.0
No. 2 + No. 3 + No. 4	51.9	98.4

した場合と、No. 1 の動画と No. 2 の認識データ、No. 1 の動画と No. 2、No. 3 の認識データ、No. 1 の動画と No. 2、No. 3、No. 4 の認識データを入力した場合の、合計 4 つの場合で動画 No. 1 の再生時間全体における中央線の提示時間の割合の変化を記録した。

評価結果を図 3 に示す。入力する認識データが増えるにしたがって動画中における中央線の提示時間の割合も増えてゆき、3 つの動画の認識データを入力した場合には、動画再生時間の 95 % 以上で中央線を提示した。

これらの認識データを入力したときの適合率と再現率を表 4 に示す。正解データは 5.1 節で得たものを用いた。ここで No. 2 の認識データのみを入力した場合に注目すると、表 2 の認識データ入力なしの場合に比べ、適合率の低下は 2.8 % にとどまる一方で再現率が 16 % 上昇している。これより、過去の認識データの入力の方法次第では、認識データを入力しない時と比べて適合率と再現率のバランスのとれた精度の高い認識を行えることが示唆された。例えば、入力映像に依らない中央線の強制的な表示を、過去の認識データが密集している地点のみで行えば、適合率を維持したまま再現率を上昇させられる可能性がある。

6. おわりに

本研究では、歩行者どうしの接触などの事故を防ぎ、安全でスムーズな歩行を実現するため、自動車の交通ルールを活用した歩行者行動可視化システムを提案し、プロトタイプアプリケーションを実装した。実装したプロトタイプでは、自動車の交通ルールの中央線を拡張現実感で HMD 上に表示することで、歩行者の流れといった周囲の歩行ルールを可視化する。

評価実験により、前方映像の画像解析によって対向する歩行者を認識し、そのデータを蓄積することで、周辺の歩行ルールを予告できることがわかり、さらには過去の認識

データの入力の方法次第では、適合率と再現率のバランスのとれた精度の高い認識を行えることが示唆された。

今後の課題として、可視化する歩行ルールの追加が挙げられる。現在は右側の対向する歩行者の流れしか認識できないが、両側の流れを認識できれば、右側通行が奨励されている場所における歩行ルールの提示が可能になる。加えて、追加の評価を行い、改良を重ねることで提案システムの有用性を高めることを目指す。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 佐々木裕昭, 寺田 努, 塚本昌彦: 自動車メタファを用いた歩行者行動の可視化システム, 情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2012), シンポジウム論文集, pp. 1904-1911 (2012).
- [2] 田仲理恵, T. Tessa-Karina, 小西 琢, 板谷聡子, 土井伸一, 山田敬嗣: 他者行動の可視化による行動促進メカニズムの提案, 第 23 回人工知能学会全国大会, pp. 1-4 (2009).
- [3] MapFan eye, <http://www.mapfan.com/iphone/ar/>.
- [4] Cabboots, <http://www.freymartin.de/en/projects/cabboots/>.
- [5] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎: 靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 5, pp. 1354-1362 (2005).
- [6] 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, Vol. 31, No. 2, pp. 82-89 (2007).
- [7] 小島雄一郎, 橋本悠希, 梶本裕之: 耳を引っ張る歩行誘導デバイスの提案, 第 16 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2008), pp. 1-2 (2008).
- [8] 吉川博美, 蜂須 拓, 福嶋政期, 古川正紘, 梶本裕之: ベクシオン場による歩行誘導手法の提案, インタラクシオン 2011, pp. 1-4 (2011).
- [9] 中部日本自動車学校: すぐわかる。よくわかる。学科教本, トヨタ名古屋教育センター (2004).
- [10] 岡 龍太, T. X. Duc, 新井イスマイル, 西尾信彦: 位置特定インフラ専用無線 LAN アクセスポイントの試作と測位精度制御の検討評価, 第 73 回全国大会講演論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 275-277 (2011).
- [11] WiFiSLAM, <http://www.wifislam.com/>.