

# 可視光通信を用いた歩行支援システムの構築

## Navigation System using visible light communication

伊木 俊介†    渡邊 弘貴†    紀 宏俊†  
 Shunsuke Iki    Hiroki Watanabe    Hirotoshi Ki  
 村田 佑介†    長井 佑樹†    山崎 洵†    吉久 雅人†  
 Yusuke Murata    Yuki Nagai    Jun Yamazaki    Masato yoshihisa  
 大柴小枝子†    森本一成†    木谷 庸二†    北口 紗織†  
 Saeko Oshiba    Issei Morimoto    Yoji Kitani    Saori Kitaguchi

### 1. 序論

現在、両目での矯正視力が 0.05~0.3 未満であり、視覚を用いての日常生活が難しいとされる弱視者は日本国内に約 20 万人おり、そのうちの約 7 割が外出に消極的であるという問題を抱えている[1]。そのため、視覚障害者が安心して外出できる歩行支援の環境整備が求められている。一方、現状の歩行支援として主に GPS が利用されている。しかし GPS には、屋内や建物の影のような衛星から見えない位置では精度が劣化し歩行支援が難しい、小さな段差を示すような高精度の案内ができないといった問題点がある。そこで本プロジェクトでは、可視光通信を用いた歩行支援システムを構築する。可視光通信とは目に見える光(波長域 380~780 nm)を用いた通信である。可視光通信の利点として、指向性のある LED 光を用いることで通信範囲の限定や通信距離の設定が可能であるため、精度の高い歩行支援を行える点がある。また、既存の照明をそのまま通信インフラとして利用できるという点も挙げられる。このため、低コストでシステムを構築できるだけでなく、屋内や地下の照明に通信機能を組み込むことで GPS では難しい場所での歩行支援を行うことができる。また、信号機を利用することで現在の信号の色を通知するなど、照明の特徴を活かした様々な応用が可能となる[2]~[4]。

我々は既存の照明として自発光式 LED ボラードに着目し、歩行支援システムの構築を提案してきている[5],[6]。

ボラードとは道路や広場などに設置して車の侵入を阻止する杭であり、自発光式ボラードとは、発光先端に発光部を持つボラードである。一般的にボラードは歩道上に約 5 メートル間隔で設置され高精度な歩行支援に向くと考えられる。さらに、自発光式ボラードは視認性が高く、地面に小さな穴を開けるだけの設置が容易である。

今回、自発光式ボラードの発光方式、受信端末のデザイン、想定する歩道モデルに適した通信エリアについて検討を行った。さらに、歩行支援システムのプロトタイプを完成させ、実際に弱視者に使用していただくことで実証実験を行い、システムの有効性および課題を明らかにしたので報告する。

### 2. 想定した歩道モデル

実証実験を行う際に、歩道を想定する必要がある。そこで図 1 に示す一般的な国道を想定して歩道モデルを決め、実証実験を行った。このモデルは、京都市道路構造条例(歩道の幅員 2.0 m 以上、有効幅員 1.75 m 以上のときボラード設置可能)を満たしている。

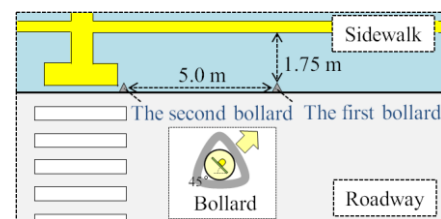


図 1 歩道モデル

信号のある横断歩道があり、その横断歩道までに点字ブロックが設置されている。また点字ブロックからボラードまでの距離は 1.75 m であり、自発光式ボラードは横断歩道の脇から 5.0 m 間隔で設置する。また各自発光式ボラード内の基盤は歩道と車道の境界線から 45° 方向に固定し、歩道方向に光を照射している。

### 3. 調査・実験

弱視者及び健常者を対象とした自発光式ボラードの視認性評価実験を実施した。この印象実験の結果を基に、歩行支援システムに用いる発光方式を決定する。

#### 3.1. 弱視者における評価実験

被験者は 14 名のロービジョン者を対象にボラード印象評価実験を実施した。実験は夜間を設定しているため、外部からの光を遮断した実験室内で日没後に行った。

実験で用いた発光方式のパラメータを表 1 に示す。変調時間が増加する程明るく発光する。本実験では発光色は白色と黄色の 2 種類で実験を実施した。

† 京都工芸繊維大学, Kyoto Institute of Technolog

表 1 発光方式

発光方式番号	点滅回数	パルス幅	コマンド回数	変調時間
1	1回	104 $\mu$ s	8回	29952 $\mu$ s
2	1回	104 $\mu$ s	3回	11232 $\mu$ s
3	2回	4 $\mu$ s	8回	1152 $\mu$ s $\times$ 2
4	1回	4 $\mu$ s	8回	1152 $\mu$ s
5	1回	4 $\mu$ s	3回	432 $\mu$ s
6	1回	1 $\mu$ s	3回	108 $\mu$ s

本実験では歩行時の視認性が重要となるため、歩行しながら被験者にはボラードを見もらった。図 2 のように誘導ブロックを自発光式ボラードから 1.75 m 離れた位置に設置する。被験者は自発光式ボラードの 5 m 手前から自発光式ボラードの 1 m 手前まで誘導ブロック上を歩行する。被験者にはボラードを視認しながら歩行してもらい、歩行終了後に自発光式ボラードの視認性に関する主観評価を実施した。評価方法を表 2 に示す。照明の視認性に関する 3 項目(眩しさ, 明るさ, 好ましさ)の質問に対し 1~5 点の 5 段階で評価を行った。

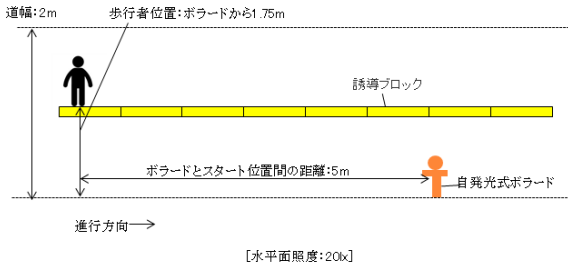


図 2 評価実験方法

表 2 評価方法

	非常に	やや	どちらでもない	やや	非常に	
眩しい	1	2	3	4	5	眩しくない
明るい	1	2	3	4	5	暗い
好きな	1	2	3	4	5	嫌いな

実験結果を図 3 に示す。白色の場合、パターン 1,2 が「眩しく, ちらつき, 好ましくない」と感じた。そのため弱視者が疲れる発光を考慮すると白色のパターン 1,2 は避けたほうがよいと考えられる。一方で白色のパターン 6 は「少し暗い」と感じたことから弱視者にとって照明としての機能を考慮に入れると白色のパターン 6 も避けた方がよいと考えられる。また、白色のパターン 3~5 で「好ましい」との回答を得た。これはパターン 3~5 の発光が弱視者にとって眩しすぎず, 暗すぎない発光であるためと考えられる。

また、黄色の場合にはパターン 3~6 で「暗く, 不安を感じる」との結果を得た。また、発光パターン 1,2 で「少し明るく, 好ましい」との結果であった。

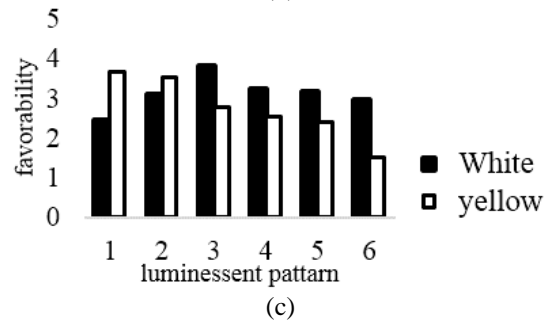
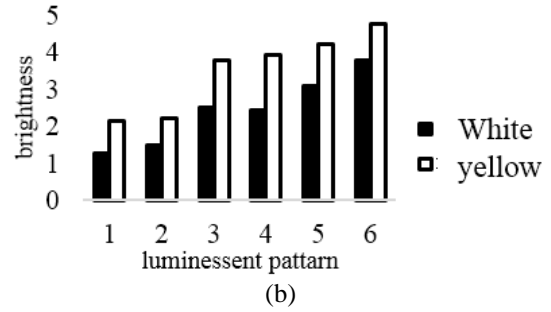
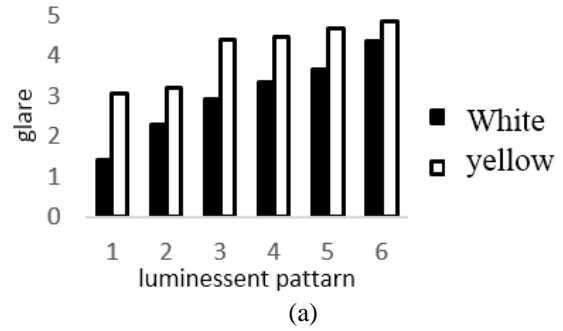


図 3 評価実験結果

(a) 眩しさ (b) 明るさ (c) 好ましさ

### 3.2. 健常者における評価実験

健常者に対しても 3.1 節と同様の実験を実施した。白色, 黄色ともにパターン 1,2 では他の発光パターンよりも「疲れる, ちらつく」と感じた。そのため健常者が疲れる発光を避けるならパターン 1,2 以外が望ましいという結果であった。

### 3.3. 発光方式の検討

前節の実験結果から、弱視者と健常者両方にとって望ましい発光パターンは白色のパターン 3~5 であることがわかった。また白色のパターン 3 と 4, パターン 4 と 5 でそれぞれ差の検定を実施したところ、パターン 3 よりもパターン 4,5 の方が「ちらつかず, 疲れない」ことがわかった。更に通信特性も考慮に入れると、パターン 4 が最も優れた発光方式であるため、以後の実証実験では白色のパターン 4 をボラードの発光方式として採用した。

#### 4. 受信端末のデザイン

完成した基板をもとに受信端末のデザインを行った。デザインをするにあたり、以下の 2 点を心がけた。(1) 弱視者が受信端末の前後と上下を間違えずに持てること (2) 弱視者の手に馴染み、もちやすく、かざしやすい形であること。この 2 点に沿ってデザインスケッチによる造形展開を行い、受信機のデザインの検討を行った。検討の結果、最終的に完成したデザインを図 4 に示す。

弱視者の持ちやすさと扱いやすさに重点を置いてデザインされた受信端末本体のデザインは、まず本体の上から下に向かってテーパがかかっており、上下が明確にわかるようになっている。また、本体は後部から受光部分のある前部にむかって滑らかなカーブを描いており、前後もわかりやすくなっている。そして全体のエッジには大きめの R がとられており、持つ人の手に馴染む優しい形へと仕上がっている。使用の際のイメージを図 5 に示す。

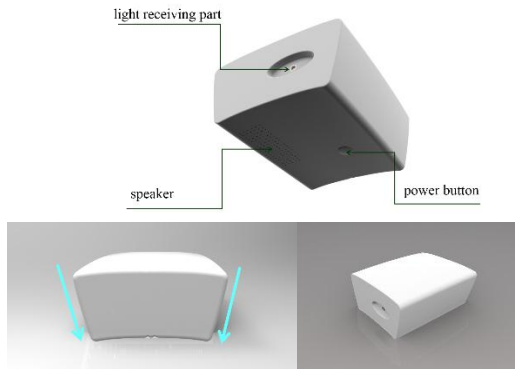


図 4 受信機のデザイン



図 5 受信機使用イメージ

#### 5. 可視光通信

##### 5.1. 作製した送受信機

実証実験に向け送受信機を試作した。送受信機には三菱電機マイコン機器ソフトウェア株式会社の FPGA 対応ラピッドプロトタイプキットである PowerMedusa「MU500-RXSET01」を用いた。搭載 FPGA は ALTERA 社の CycloneTM IV EP4CE30 デバイスであり、搭載マイコンはルネサスエレクトロニクス社の RX210/R5F52108, フラッシュメモリ 512 kB, SRAM 64 kB である。LED 基盤は、図 6 のように 1

回の点滅の間に 2 パルス発光し、閃光時間は 1.25 ms, 閃光休止時間は 5.00 ms である。パルス内に信号を重畳しており、信号の構成は[スタートビット+信号部+信号休止時間]を 1 コマンドとし、発光時間が閃光時間内となるようにコマンドを繰り返す。データ速度は 125 kbps であり、変調方式は 4PPM 方式である。この送信機を自発光式ボラードに搭載した。送信機を搭載した自発光式ボラードを図 7 に示す。この自発光式ボラードは視認性と耐久性を考慮しデザインした[5]。

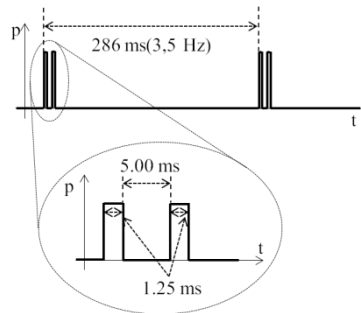


図 6 ボラードの点滅方式



図 7 自発光式ボラード

受信機では APD からアナログ信号を受信し、受信回路基板で信号処理 (HPF で低周波成分をカットした後に 50 倍に増幅し、閾値判定を行って信号を 2 値化)が行われ、マイコンの AD コンバータを用いてデジタル信号化する。デジタル化された信号からマイコンでスタートビットを検出すると信号を読み込み、ID データを読み取る。1 パルス分の信号を検知後、1 パルス中で最も多く検知された ID データに応じた音声を再生する。

#### 5.2. 通信エリア

##### 5.2.1. 弱視者による受信条件の評価実験

弱視者は光を視認できるが、どれ程光の出所を特定できるかは明らかにされていない。本システムでは端末をかざし、光を受光するシステムであるが、弱視者が端末をどれだけかざせられるかを明らかにするために以下の実験を行った。実験の様子を図 8 に示す。自発光式ボラードから 1.75 m の位置に点字ブロックを敷き、点字ブロック上のボラードから 2.0 m 手前の位置で受信機サイズの箱を設置している。この箱の高さは自発光式ボラードの発光部の中心と同じ高さ(地面から 82.5 cm)とした。実験は、部屋の照明を落としてボラードを発光させ、被験者に受信機サイズの箱をかざすよう教示し、実行した。このときの箱の角度を測定した。点字ブロックが敷かれている方向を  $90^\circ$  とし、点字ブロックと垂直方向を  $0^\circ$  とした。被験者は 5 名の弱視者である。自発光式ボラードの発光パターンはパターン 1, 4, 6 を

用いた。実験結果は図9に示す。

プロットは箱の角度を表している。図9中の点線は2.0 m地点で受信機を自発光式ボラード方向に向けたときの角度49°を示している。弱視者の受信機の角度の誤差はパターン6, 1, 4の順で小さくなった。パターン6は最も発光強度が小さいため、場所を詳細に特定できたと考えられる。また発光強度を上げるにつれてボラード内で光が拡散し特定しづらくなると考えられる。誤差が最大となったのはパターン4であり、受信機の角度は15°(誤差34°)となった。

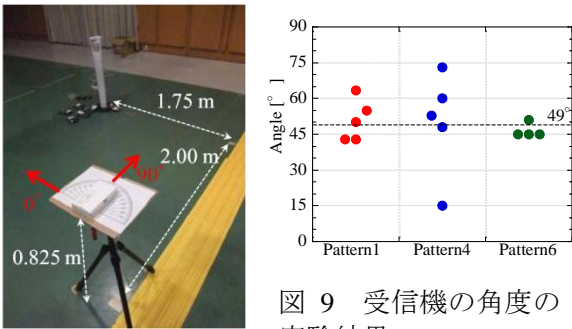


図8 実験の様子

図9 受信機の角度の実験結果

### 5.2.2. 通信エリアの設定

本送受信機での通信エリアを明らかにする。まず想定した歩道モデルにおいて点字ブロック上を歩行したときのAPDでの受信電圧を測定した。実験方法を図10に示す。高さ82.5cmでAPDを固定し、APDの角度 $\alpha$ を0から90°で変えて測定した。実験結果を図11に示す。

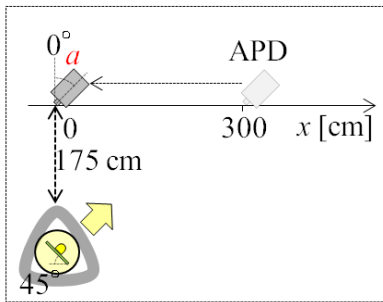


図10 通信エリア実験方法

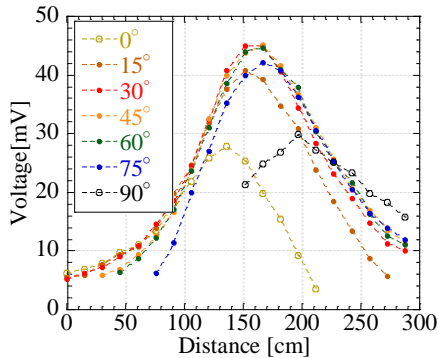


図11 通信エリア実験結果

図11では横軸がボラードから何m手前かを表しており、縦軸が受信電圧を表している。この結果から各地点における受信電圧が15°-75°ではほぼ一致することが分かった。そこで前節の結果を踏まえ、受信機の角度を15°としたとき、自発光式ボラードから2.0 m手前の地点では信号を受信でき、数cm離すと信号を受信できないように受信基盤の閾値電圧を調節した。この受信機を用いてボラード周りの通信エリアを明らかにする。通信エリアは82.5 cmから15 cm間隔で112.5 cmまで高さを変えて、常に受信機を自発光式ボラードに向けたときの信号を受信できる限界のエリアを測定した。結果を図12に示す。

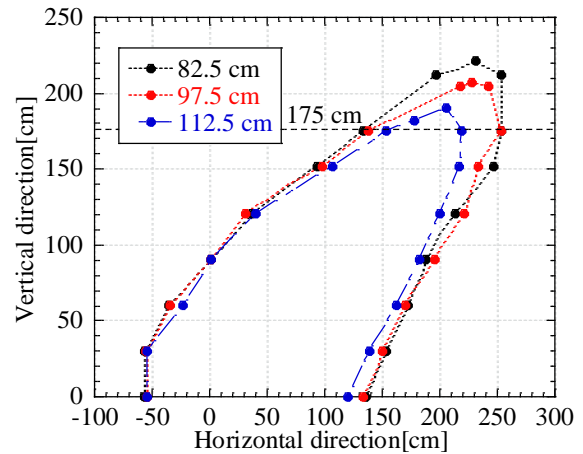
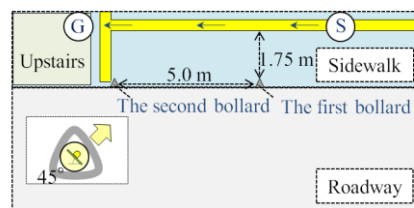


図12 通信エリア

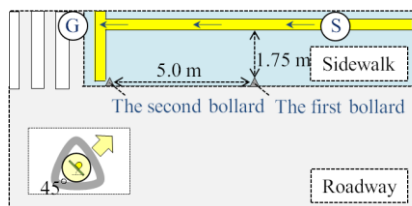
横軸は点字ブロックと平行方向であり、縦軸はその垂線方向である。ボラードは原点に設置されている。図12から垂直方向175 mではどの高さでも自発光式ボラードから1.5 m-2.0 m手前の位置で信号を受信できることが分かった。

## 6. 実証実験

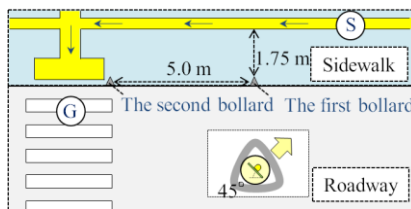
作製した送受信機を用いて実証実験を行った。この実験は京都ライトハウスで行い、被験者は弱視者6名である。実験時想定した歩道を図13に示す。実験は3パターン行った。音声通知内容は昨年度のインタビュー結果に基づいている。1パターン目は図13(a)のようにボラードから1.75 m離れた点字ブロック上を直進してもらい、直進後に階段を想定した歩道である。実験では階段に見立て、段差を設置した。



(a) The type A



(b) The type B



(c) The type C

図13 実証実験の歩道モデル

このとき音声通知は、1度目は「前方に上り階段があります。階段上がって右手方向に市役所があります。」とし、2度目は「間もなく上り階段です。」とした。2パターン目は、図13(b)のように直進後に横断歩道を想定した歩道であり、実験では横断歩道の位置に目印となるように段差を設置した。音声通知は、1度目は「前方に信号のある横断歩道があります。長さは20mです。」とし、2度目は「間もなく横断歩道です。ただ今青信号です。あと15秒で信号が変わります」とした。最後に図13(c)のような京都ライトハウス前の歩道を想定し、実験を行った。横断歩道の位置には先程と同様に段差を設置した。音声通知は、1度目は「7m先左手に横断歩道があります。長さは20mです」とし、2度目は「間もなく左手に横断歩道です。ただ今青信号です。あと15秒で信号が変わります」とした。全ての歩道モデルにおいても受信機を持たない場合と持つ場合で歩行して頂き、インタビューを行った。インタビュー内容は以下の4点である。

#### ①システムを利用した感想

本システムを用いた場合、安心感はあったか。

#### ②通信エリア

ボラードの発光を認知し信号を受信できたか。

#### ③音声通知位置と内容

音声通知位置・内容は適切であったか。

#### ④その他システムの改善点

システムで改善ほしい箇所はあったか。

①については全ての被験者から安心感があつたとの回答が得られた。弱視者は生活において音を頼りにしており、音声での危険通知は非常に有益であることが分かった。また「進行方向も分かり助かる」との意見も頂いた。一方「スピーカーでの音声案内を利用することは恥ずかしい」との意見もあった。

②については「暗い道路だとボラードを認知できるが、車通りの激しい道路では見つけることができない。」「かざすことはできたが、ボラードを見なが

らまっすぐ進むのは難しい。」などと光の存在を認知していれば端末をかざせられるが、光を見つけることやかざしながら歩くことは弱視者にとって難しいとの意見を得た。

③については全員から音声通知位置・内容ともに調度良いという意見が得られた。ただ「システムに慣れてくると必要な音声は少なくなるかもしれない」との意見もあった。

④については「音声の再生速度を自由に調節できるようにしてほしい」「手はあけておきたいから、かざさない方が良い」といった意見が得られた。また、このシステムをバス停や建物の入り口に応用してほしいなどの意見があった。

以上より、全ての被験者からこのシステムを利用することで安心するとの意見を頂き、システムの有効性は証明された。しかし、弱視者が自発光式ボラードを認知するのは難しいことが分かった。そこで実用化に向けては他の電波通信を用いてボラードに近づくと受信機から電子音になるなどの工夫が必要となる。また音声通知位置・内容に関しては適切だとの声が多く聞かれたが、音声の読み上げるスピードについては被験者が自由にカスタマイズできる必要がある。最後に「手をあけておきたい」、「かざしながら歩くのは難しい」との意見から今後はハンズフリーな受光機を作製していく必要がある。

## 7. 結論

自発光式 LED ボラードを用いた可視光通信による弱視者や高齢者のための歩行支援システムの構築を行った。最初に、昨年度の弱視者と高齢者へのインタビュー結果を基に、歩行支援システムの構築を想定する歩道モデルを検討した。本プロジェクトでは、京都市道路構造条例を満たしており、多くの弱視者が利用する歩道モデルを提案した。点字ブロックからボラードまでの距離は1.75mである。そしてシステム実現への課題解決を目指した。

まず、弱視者および健常者に対してボラードの発光方式に関する印象評価実験を行った。実験結果より、システムに最適な発光方式として、白色光を用いた発光方式を採用した。次に、弱視者や高齢者の持ちやすさと扱いやすさに重点を置いて、上下のテーパや後部から前部への滑らかなカーブによって触覚だけで直感的に使うことができる受信端末をデザインした。さらに、想定する歩道モデルにおいて適切に可視光通信を行えるよう通信エリアの検討を行い、ボラードから1.5m-2.0m手前の点字ブロック上において信号受信できる通信エリアを実現した。

以上の結果より、歩行支援システムのプロトタイプを完成させ、実際に弱視者に使用していただくことで実証実験を行った。全ての被験者から安心感があつたとの意見を頂いたことから、本システムの有効性を明らかにした。一方で、手を空けておきたい

等の意見から、ハンズフリーな受信端末が必要であるという課題も得られた。

#### 謝辞

本研究は京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリーによる平成26年度ベンチャーラボラトリー研究プロジェクトカテゴリーⅢにおいて行われたものです。

#### 参考文献

- [1] 厚生労働省 社会援護局障害保健福祉部 企画課, “平成18年身体障害児・者実態調査結果”, p28, 2008.
- [2] 渡邊弘貴 他, “可視光通信を用いた信号機間通信システムの雑音耐性向上による通信可能距離拡大に関する研究”, 信学論(B), Vol.J98-B, No.2, pp.180-187, 2015.
- [3] 渡邊弘貴 他, “可視光通信を用いた路車間通信における通信可能範囲に関する研究”, 照明学会全国大会講演論文集, ROMBUNNO.13-3, 2014.
- [4] 紀宏俊 他, “ボラードを用いた歩行誘導支援に関する検討”, 電気関係学会関西連合大会, G12-4, 2013.
- [5] 伊木俊介 他, “自発光式ボラードによる高齢者・弱視者向け歩行者移動支援システム”, FIT2014 第13回情報科学技術フォーラム, 第3分冊, no.RJ-005, pp.33-38, Sept.2014
- [6] Hirotohi Kii, Yusuke Murata, Saeko Oshiba, Yuki Nagai, Hiroki Watanabe, Shunsuke Iki, Yoji Kitani, Noriaki Kuwahara, Kazunari Morimoto, “ Accessible Optical Wireless Pedestrian-Support Systems for Individuals with Visual Impairment” , Advanced Applied Informatics 2014, p93, 2014