

## 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

## Accessible optical wireless System using LED bollard

小原 友里<sup>†</sup> 角 夏乃<sup>†</sup> 紀 宏俊<sup>†</sup> 渡邊 弘貴<sup>†</sup> 伊木 俊介<sup>†</sup>

Yuri OHARA Natsuno KADO Hirotohi KI Hiroki WATANABE Shunsuke IKI

村田 佑介<sup>†</sup> 長井 佑樹<sup>†</sup> 穴井 太郎<sup>†</sup> 岩松 直明<sup>†</sup>  
Yusuke MURATA Yuki NAGAI Taro ANAI Naoaki IWAMATSU木谷 庸二<sup>†</sup> 桑原 教彰<sup>†</sup> 森本 一成<sup>†</sup> 大柴 小枝子<sup>†</sup>  
Yoji KITANI Noriaki KUWAHARA Issei MORIMOTO Saeko OSHIBA

## 1. はじめに

急速な少子高齢化社会の進行の中で、豊かで活力のある社会を築き、維持・発展していくためには、身体的状況や年齢、言語等に関わらず、自らの意志で社会のあらゆる活動に参加でき、すべての人が持てる力を発揮して、支え合う「ユニバーサル社会」の実現が必要である。現在、両目での矯正視力が0.05~0.3未満で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、高齢者や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。

現状の歩行支援として主にグローバル・ポジショニング・システム (Global Positioning System, 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GPS衛星から見えない位置で精度が劣化し歩行支援が難しくなること、また、GPSでは地表に沿った方向の位置推定の精度を上げる代わりに高度方向の位置推定を犠牲にしているため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。そこで我々は、既存の照明用発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) を用いた可視光通信による歩行者移動支援システムを構築することを提案する。

可視光通信とは目に見える光(波長域 380nm~780nm)を用いた通信であり、その利点として、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、既存の照明を通信インフラとして利用できるということも挙げられる。このことにより設置コストを低く抑えられるだけでなく、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。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]。

我々は自発光式ボラードを利用し歩行支援することを提案している。[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。発光させることで弱視者や視覚に不安を抱く高齢者に認識しやすくし、夜間の歩行をより安全に支援することを目的に

開発されている。この自発光式ボラードの視認性の高さ、地面に小さな穴を開けるだけの設置の容易さ、また、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ことに着目し、自発光式ボラードを用いた歩行者移動支援システムの構築について検討する。

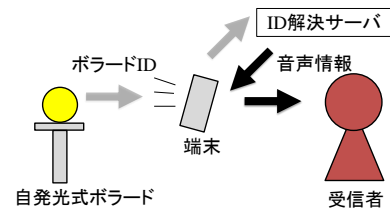


図1 自発光式ボラードを用いた歩行者移動支援システムのイメージ図

自発光式ボラードを用いた歩行者移動支援システムのイメージ図を図1に示す本システムの検討を進めるにあたって、先ず弱視者と高齢者へインタビューを行い、どのような歩行支援(サービス)を提供することが求められているのかを明らかにすることが必要である。そして、システム実現に向けて、自発光式ボラードと端末のデザイン、最適な情報提供の方法、ボラードに搭載されたLEDによる可視光通信についての検討が必要である。

本論文では、はじめに、弱視者と高齢者へインタビューについて述べる。次に、弱視者のための視認性と公共の場に設置するための耐久性を実現するボラードと、触覚だけで利用できる直感的な端末のデザインを行う。また、弱視者が必要としている歩行支援情報の聞き取り調査、および、弱視者を対象とした評価実験から最適な音声通知位置を検討する。最後に、可視光通信における課題解決のため、LEDの発光色とボラードの発光方式に適した変調方式の検討を行い、マイコンを実装した可視光通信試作機を作製、ボラードを識別するためのIDデータを送受信し、データ識別・認識による音声情報の再生を実現したので報告する。

## 2. 弱視者、高齢者インタビュー

可視光通信による歩行者移動支援システムの構築にあたり、具体的にどのような歩行支援が必要かを調べるために弱視者、高齢者へのインタビューを行った。弱視者へのインタビューについては、京都ライトハウスにて、

<sup>†</sup> 京都工芸繊維大学, Kyoto Institute of Technology

男性2名、女性2名を対象に行なった。また、高齢者へのインタビューでは、高齢者ふれあいサロンにて、男性4名、女性6名を対象とした。

インタビュー結果をまとめたものを表1に示す。インタビュー結果より、①「狭い道等での案内」や、「店の入口を教えて欲しい」などの現在地近辺の道案内。また、②「信号の色がわからない」「階段と上り下りの情報が知りたい」などの危険情報の通知。さらに、③「バスの時刻表、行き先、番号が知りたい」などの交通運行情報を提供するもの。以上の情報が共通ニーズとして求められていることがわかる。一方、技術シーズとして、より安全で快適な外出を支援するために、小さな段差や、急な工事等による障害物のような従来のGPSによる歩行支援では対応できない情報を自発光式ボラードにより提供することが可能である。そこで、本研究では、危険情報の通知に焦点を当てる。

表1 インタビュー結果

弱視者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・夜間、街灯が少なく暗いところが歩きにくい</li> <li>・トイレのマーク(色,形),信号の色が分からない</li> <li>・段差,階段(数段のものも含む).特に,上り下りの情報が欲しい</li> <li>・はじめて行く店の入り口が分からない</li> <li>・バスの時刻表が読めない,番号が見えない,経路が知りたい</li> <li>・工事中に移動したバス停の場所が知りたい</li> <li>・行動範囲→市内のバス,地下鉄の範囲なら大丈夫</li> <li>・遠出は車で送ってもらい,アナウンスや知り合いに電話で頼る</li> </ul>
高齢者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・狭い道での案内</li> <li>・公衆トイレの案内が欲しい</li> <li>・天気や観光地での案内が欲しい</li> <li>・バスの時刻表が見にくい,行き先が分からない</li> <li>・行動範囲→用事があれば市外,車が使える方は全国各地</li> </ul>

### 3. ボラード・端末デザイン

#### 3.1 ボラード

ボラード形状においては、「視認性」と「耐久性」の両立を目指した。図2(a)に自発光式ボラードの外観デザインを示す。LEDランプカバーを本体と離すことにより、外からの衝撃がランプカバーに伝わらず、LED発光部が破損しないように配慮した構造とした。

本体形状は、地面に近づくに連れて細くなる形状にすることで、ランプとして機能する部分以外を目立たなくするデザインとした。また、三角形を断面形状のベースとし、ランプの視認性をあげつつ耐久性を担保する3本の支柱によって覆う形状とした。さらに、出来るだけランプの視認性を向上させるため、断面形状を工夫し、すっきりと見せるデザインとした。

人を感知する受光部分を、本体全側面に配置することで、どの方向からでも人感センサーが作動するような構造となっている。

#### 3.2 受信端末

受信端末デザインの最大のポイントは、「触覚だけで利用できる」ことである。ターゲットを視覚障害者としているため、視覚に頼らなければならない操作は適切ではない。図2(b)に受信端末デザインを示す。この受信端末は、ボールペンのように、端末上部をロックすることで、本体が伸縮し、スイッチのオン/オフが切り替わる。こうすることで、スイッチのオン/オフで端末の形状が変化するため、手で触るだけで今スイッチが入っているかを確認することができる。また、端末は両面に受信機を備えているため、表裏を気にする必要もない。音量調節も触覚だけで行えるよう、本体上部の+点字部分を抑えれば音量が増大し、本体下部の-点字部分を抑えれば音量が減少するという直感的なデザインに落とし込んだ。端末全体の雰囲気についても、首からかけても違和感がないよう、出来る限りシンプルな造形でまとめた。



図2(a) ボラードイメージ図

(左：日中消灯時、 右：夜間点灯時)



図2(b) 端末イメージ図

### 4. 音声通知位置の調査実験

本システムは利用者が危険情報を適切に認識し、その情報を元に適切な対応を取れるようにすることで、歩行者移動支援システムを構築する。歩行者にとってどのような情報の通知を望むかを視覚障害者(全盲・弱視)を対象

に聞き取りにて調査した。また、危険情報を通知する位置について視覚障害者(全盲・弱視)を対象に実験により選定した。

### 4.1 音声通知情報

システムを構築する際には、視覚障害者(全盲・弱視)が必要としている情報を過不足なく通知することが重要となる。そのため、階段と横断歩道を危険通知障害物とし、これらについて視覚障害者(全盲・弱視)が必要としている情報を聞き取り調査によってまとめた。その結果を表2に示す。

表2 階段、横断歩道で必要とされる危険情報

	階段	横断歩道
必要としている情報	上り、下りのどちらか 階段の先にあるものの情報 階段の方向	信号の色 信号の色が変わる時間 横断歩道の長さ
必要としない情報	階段の段数 手すりの有無 らせん階段かなど階段の形状 階段が終了したかどうか	横断歩道を渡りきったかどうか

この他に、距離の表現は歩数よりもメートル等の長さ表記の方が良い、また、音声は、少し手前と直前の2段階に分けたほうが良いとの意見を得た。

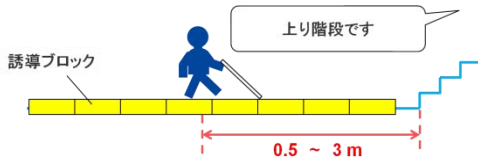


図3 障害物直前の通知位置検証実験模式図

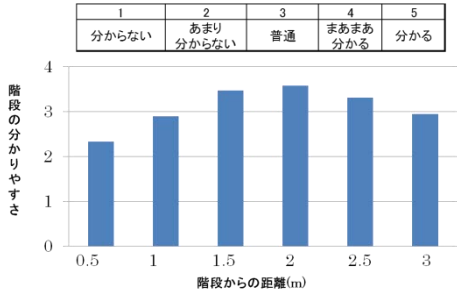


図4 危険情報通知位置ごとの分かりやすさ

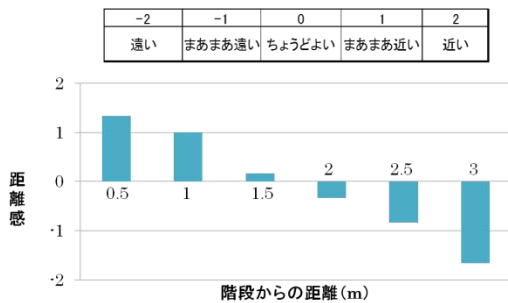


図5 危険情報通知位置ごとの距離感

### 4.2 危険情報の音声通知位置の検討

音声通知についての聞き取り調査の結果に基づき、障害物の少し手前と直前の2段階に分け音声で危険情報を提供するシステムを想定した。そして、全盲、弱視の被験者20名を対象に実際に実験を行い、音声通知位置の検討を行った。

#### 4.2.1 障害物直前の音声通知位置

障害物直前の音声通知位置について実際の音声通知位置を変化させ主観評価を行った。実験の概略図を図3に示す。実験方法は、誘導ブロックに沿い階段に見立てた障害物に向かって被験者に歩行してもらい、音声通知を行う。通知位置を6パターンとし、それぞれの位置における階段の分かりやすさと距離感の2つの評価項目について5段階尺度で、主観評価を行うためアンケート調査を行った。図4に危険情報通知位置ごとの階段の分かりやすさについて被験者が答えた5段階尺度の値の平均値を示す。また、図5に危険情報通知位置ごとの階段の距離感について被験者が答えた5段階尺度の値の平均値を示す。それぞれの5段階尺度より、図4では値が大きければ、図5では値が0に近ければ良好な結果である。したがって、2つのアンケート調査の結果から障害物の1.5~2mの距離で直前の音声通知を行うのが適していると明らかになった。

#### 4.2.2 2段階の音声通知距離の検討

障害物少し手前の音声通知位置と障害物直前の音声通知位置の間の距離について、被験者の希望する位置を測定によって求めた。実験の概略図を図6に示す。この実験では、誘導ブロックに沿い階段に見立てた障害物に向かって被験者に歩行してもらい、ある位置で1度目(障害物少し手前)の音声通知を行う。その後、被験者に2度目(障害物直前)の音声通知を希望する位置で立ち止まってもらい、先の音声通知位置との距離を測定することで、1度目の音声通知位置について求めた。結果を図7に初回と2度目の音声通知位置間の距離を1m間隔のヒストグラムとして示す。この結果より、1度目と2度目の音声通知間の距離は5mが良いと答えた被験者も多かったことが明らかになった。

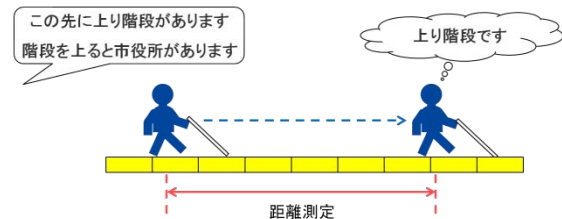


図6 障害物少し手前の通知位置検証実験模式図

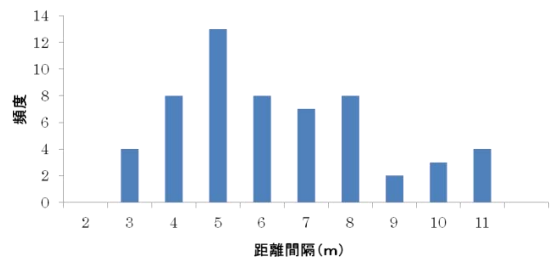
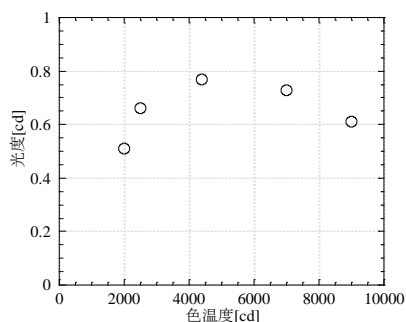


図7 障害物少し手前と直前の通知位置間距離

## 5. 可視光通信

通信機能付きボラードを試作するにあたって LED の発光色の検討及び変調方式の決定を行った。



(オレンジ色 ~ 白 ~ やや青白)

図 8 光度-色温度特性

### 5.1 発光色の検討

一般的な白色 LED 照明は色温度の違いによりその発光色が異なる。色温度が低いほど発光色はオレンジ色に近く、色温度が上がるにつれ白色になり、更に高くなると青い発光色となる。人間の視感度が波長に依存するため、同じ光パワーでも波長(色)によって明るさが異なる。また、フォトダイオード (Photodiode: PD) の光電変換効率も波長によって異なり受信電圧が異なる。そこで色温度を変えて通信実験を行い、発光色依存性を求める。実験方法はフルカラーLEDとPDを用いて行った。フルカラーLEDにより黒体軌跡上で色温度が2000K、2500K、4400K、7000K、9000K(オレンジ色~やや青みがかった白)となる色を再現する。フルカラーLEDとPDを対峙させ、距離を一定とし、PDでの各受信電圧が同じとなるときに各発光色の光度を測定した。結果を図8に示す。この結果から同受信電圧となるときにおいて、2000Kの発光色が最も光度が低くなることを確認した。つまり、従って光度を一定としたときは2000Kの発光色の受信電圧が最も大きくなり、雑音電圧との比を大きくとることが可能なため、通信に適した色である。このことから通信用ボラードの発光色は、オレンジ色が適することが判る。

### 5.2 試作機による変調方式の検討

本システムに用いる自発光LEDボラードは赤外線により人体検知を行い数Hzの周期で点滅発光する。電池駆動を行う場合には、特に、省電力の観点から発光時間を短くする必要があり、短い点灯時間でデータ送信を行うことが要求される。そこで、実際に、マイコンを用いた試作機を試作し、変調方式の検討を行った。

試作した送受信機の構成を図9に示す。マイコンを用いて閃光時間、閃光休止時間等を制御することによりLEDで本研究に用いたボラードの点滅方式を再現する。

送信機では、まず送信するボラード識別用の番号(IDデータ)を作成し、更に1回の点滅中に送信するデータ数を決定する。IDデータはLEDのON/OFFの制御を行うことで、4値PPM、あるいはマンチェスター変調方式のいずれかの変調方式によりパルス信号として送信することができる。このときのパルス出力は実際のボラード

の点滅方式と同様の周期で発生させる閃光内で行われ、スタートビットとIDデータで1コマンドとして送信する(図10)。スタートビットは2~10パルスの間送信モジュールをONに制御し、コマンドの間隔は2~10パルスの間送信モジュールをOFFに制御する。スタートビットとIDデータの間には受信信号の検波を考慮して、閾値判定待機期間を設ける。この待機期間は1 $\mu$ s間隔で設定可能である。更に、1閃光時間内に送信するコマンドは1~10(1回の点滅中に2~20コマンド)である。一方、受信機ではPDにより受信した光信号をデジタル信号情報に変換し、コマンドの再生を行う。

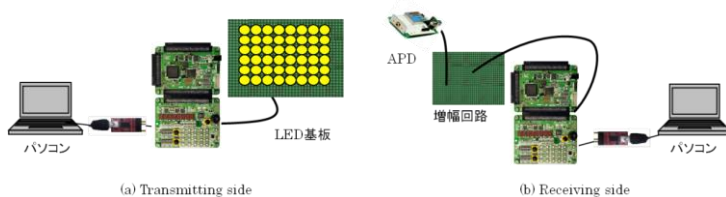


図 9 送受信機構成図

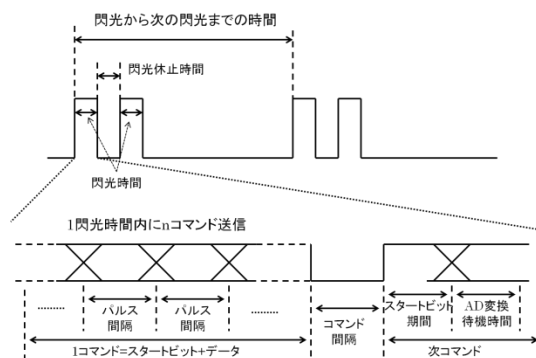


図 10 ボラードの点滅と通信パターン

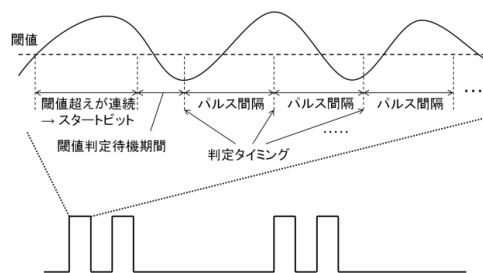


図 11 受信パルスイメージ図

検波イメージを図11に示す。受信信号レベルが連続して閾値を超えたときにスタートビットを受信したと判断する。閾値判定の待機時間経過の後に、パルス間隔で閾値判定を実施し、コマンドを再生する。再生したコマンドによりエラー状態を判定、1回の点滅で受信したIDデータのうち、最も多く受信したパターンIDデータを受信データと決定する。そして、決定されたIDデータに応じてマイコンに書き込んだ音声再生する。今回の実験

では、送信機のパルス速度は 125kbps とし、変調方式は前述の実験により最適と判断した 1 シンボル中に 1 パルス (1 パルス分“明”, 3 パルス分“暗”) の 4 値 PPM を用いた。また、スタートビット長は 2 ビット、閾値判定待機期間は 1 $\mu$ s とし、1 回の点滅中に任意の 16bit のパターンの ID データを 16 回分送信するよう設定した。更に、閾値電圧の調整により最大 2.0m までの通信可能距離を設定した。

### 5.3 試作機による通信実験

通信実験ではマンチェスター符号変調と表 3 に示すような 4 値 PPM 変調方式を検討した。ボラードの光度は人が不快に感じないように決められているので、変調方式を変えても光度が一定になるように LED の個数を設定する。光度は PD での受信電圧の時間積分に依存しており、同じデータを送信したとき 4 値 PPM 変調はマンチェスター符号変調よりパルス数が少ないので、受信電圧を大きくする必要がある。その結果、時間積分に 2 倍の差があるので、4 値 PPM 変調は 48 個、マンチェスター符号変調は 24 個の LED を使用する。1 度の点滅中に同じデータを 16 コマンド送信するように設定し、10 回点滅(160 コマンド)したときのエラー回数を測定し比較する。また、使用する LED の個数を等しくしたとき(受信電圧を等しくしたとき)の比較も行った。なお、受信機は APD を用いており、測定は暗室で行った。

ボラードが 10 回点滅(160 コマンド送信)したときの各変調方式におけるエラー回数を表 4 に示す。なお、距離が近すぎると LED の光を APD がすべて受光できなかったため測定距離は 0.8m からとした。マンチェスター符号 A(LED24 個)は 4 値 PPM と光度を等しくしたとき、マンチェスター符号 B(LED48 個)は 4 値 PPM と受信電圧を等しくしたときである、また、マンチェスター符号 A は受信電圧が低く、1m 以降は受信できなくなった。

4 値 PPM 変調方式はエラー回数にほぼ変化が見られないが、マンチェスター符号変調方式は測定距離が長くなるにつれてエラー回数が増加していくことが確認できる。マンチェスター符号変調より 4 値 PPM 変調のエラー回数が少ないことが確認でき、本システムには 4 値 PPM 変調方式が適していることを明らかにした。

表 3 変調方式

マンチェスター符号変調方式			4値PPM変調方式				
変調前	0	1	変調前	00	01	10	11
変調後	10	01	変調後	1000	0100	0010	0001

表 4 エラー回数の距離依存特性

		各変調方式のエラー回数		
		4値PPM	マンチェスター符号 A	マンチェスター符号 B
測定距離 [m]	0.8	11	61	23
	0.9	7	94	27
	1.0	12	130	32
	1.3	12	×	71
	1.5	12	×	112

### 5.4 通信距離の確認実験

前節の試作機を用いて、暗室にて通信距離を変化させて伝送実験を行い、各距離における受信データを観察した。各距離における適切な受信データの受信回数を図 11 に示す。平均値をプロットし、最大値と最小値をエラーバーで示している。

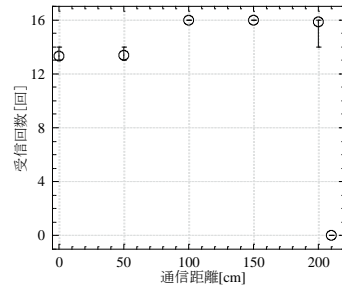


図 11 受診回数－送信距離特性

図 11 より 0cm および 50cm における受信成功回数が、比較的低くなっている。これは、距離が近すぎると発光面積と受光面積の関係から、送信機の全ての LED の光を受光できないため、受光レベルが下がってしまったためである。しかし、1~2m の範囲内では 16 回中 16 回のエラーフリー通信に成功した。この送受信機を用いて、ボラードと LED 基盤の距離が 2m となったときに適切に音声再生されることを確認した。以上より、ボラードの点滅発光に信号を重畳し、受信機で音声を再生するシステムの試作に成功した。

## 6. まとめ

自発光式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者移動支援システムの構築を行った。まず、弱視者と高齢者へ歩行中に危険に感じること等についてのインタビューを行った。そして得られた回答から、階段等の障害物や信号の情報等の危険通知を行うことに焦点を当てることとした。システム実現に向けての課題解決を目指した。まず、断面が三角形の 3 本の支柱により発光部を覆う構造により、弱視者のための視認性と公共の場に設置するための耐久性を実現するボラードと、端末上部をロックすることで本体が伸縮、ON/OFF を切り替える構造の触覚だけで利用できる直感的な端末をデザインした。次に、視覚障害者が必要としている情報について聞き取り調査を実施し、危険情報の通知は 2 段階で行うことを決定した。更に、視覚障害者を対象とした評価実験により、1 回目の音声通知は障害物の 6. 5~7m、2 回目の音声通知は障害物の 1. 5~2m 手前が最も良いことを明らかにした。可視光通信においては LED の発光色とボラードの発光方式に適した変調方式の検討を行った。その結果、発光色は色温度 2000K、変調方式は 4 値 PPM が適していることを明らかにした。そして、マイコンを用いた可視光通信を行う試作機を作製、ID データの送受信による音声情報の再生に成功した。

### 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 25 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, “平成 18 年身体障害児・者実態調査結果”, 2006.
- [2] “光の三原色を用いた可視光多重通信特性の検討” 角 夏乃, 大柴小枝子, 照明学会 2013.
- [3] 西井達也, 大柴小枝子, 西濱瑛太, “符号拡散変調方式を用いたマルチアクセス可視光無線通信に関する検討”, 電子情報通信学会技術研究報告.111(122), 57-61, 2011-07-04.
- [4] 渡邊弘貴, 大柴小枝子, “LED を光源とする可視光無線通信の信号機間通信および路車間通信に関する研究”, 平成 25 年電気関係学会関西連合大会, C-12-3, 2013.
- [5] 紀宏俊, 角夏乃, 渡邊弘貴, 小原友里, 大柴小枝子, 森本一成, “ボラードを用いた歩行誘導支援に関する検討”, 平成 25 年電気関係学会関西連合大会, G12-4, 2013.
- [6] 伊木俊介, 大柴小枝子, “自発光式ボラードを用いた歩行誘導支援システムに関する研究”, 電子情報通信学会総合大会 ISS 学生ポスターセッション, ISS-P-207, 2013.