

## 自発光式道路鋏を用いた可視光通信による歩行支援システムの検討 Navigation System using Visible Light Communication with LED Road Studs

西本 凌<sup>†</sup> 大村 成勲<sup>†</sup> 三谷 全哉<sup>†</sup> 小山 彩月<sup>†</sup>  
Ryo Nishimoto Nariisa Omura Masaya Mitani Satsuki Koyama

大柴 小枝子<sup>†</sup> 木谷 庸二<sup>†</sup> 北口 紗織<sup>†</sup>  
Saeko Oshiba Yoji Kitani Saori Kitaguchi

### 1. はじめに

現在、両目での矯正視力が 0.05~0.3 未満の弱視者は日本国内に約 30 万人おり[1]，高齢化社会では増加している。弱視者の約 7 割が外出に消極的であり[2]，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。現状の歩行支援システムでの位置情報取得には，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，また，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。

我々はこれまで，既存の照明として自発光式 LED ボラードに着目し[3]~[4]，可視光通信を用いた歩行支援システムについて報告を行ってきた。可視光通信とは目に見える光（波長域 380~780nm）を用いた通信であり，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利点がある。また，既存の照明を通信インフラとして利用できることから，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。

本研究では，自発光式道路鋏を利用し歩行支援することを検討する。自発光式道路鋏とは歩車道に設置する小型照明であり，ボラードに比べて設置が容易で，町中のいたる場所に設置できるメリットがある。歩行支援方法についてまず検討を行う。次に，健常者を対象とした自発光式道路鋏の視認性評価実験を行い，健常者の歩行の妨げにならない LED の輝

度を検討する。さらに，得られた輝度条件で，自発光式道路鋏を用いた，可視光通信の通信可能エリアの検討を行ったので報告する。

### 2. システム構成



図 1 自発光式道路鋏を用いた歩道支援システム

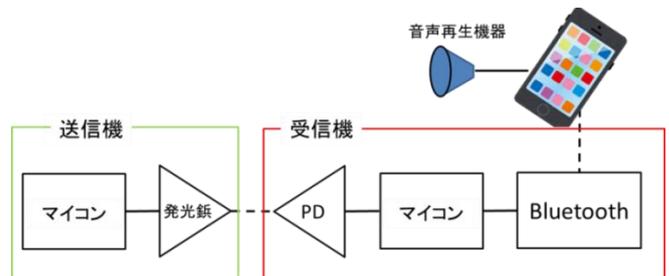


図 2 発光鋏を用いた歩行支援システム構成図



図 3 受光システムイメージ

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

図1に、目標とする発光鋏を用いた歩行支援システムを示す。音声を使って危険を通知すると同時に発光鋏からの光を使って視覚的に歩行エリアやルート案内することを想定している。通信システム構成図を図2に示す。送信機はマイコンと発光鋏からなる独立した構成となっている。マイコンの部分で発光鋏の固有IDを載せた電気信号を作成し、LEDによって光信号として送信する。発光鋏に近づいた際に、受信端末に含まれるPDが光信号を受信し、Bluetoothによって音声再生機器に固有IDを送信することで音声案内する構成となる。

音声情報の再生方法は、以下の通りである。(図2)

- ①障害物に取り付けられた発光鋏は光を変調することによって 発光鋏の固有IDデータ送信
- ②発光鋏に近づいた際に、身につけた端末のPDで光信号を受信し、IDデータに対応する情報を取得
- ③取得した情報に基づく音声の再生

### 3. 受信端末のデザイン

受信端末は主に受光部とスピーカーの2つの要素により構成されており、デザイン・設計する上でのポイントは、主に次の4点が挙げられる。

- ・受光部とスピーカーは一体になっていること。
- ・歩行している状態で、装着しているデバイスの受光部が進行方向に向き、発光鋏からの可視光データを受信することができること。
- ・装着することで歩行の妨げにならないこと。
- ・デバイスの見た目や案内音声による音漏れなど、他人からの印象、影響への配慮ができていないこと

以上の点を踏まえた上で受信端末のデザインを3パターン提案し、プロトタイプを試作した(図4)。それぞれの特徴を以下に示す。

#### ①コード式

スピーカーと受光部がコードで繋がっており、受光部は服に取り付ける。また、スピーカーには耳をふさがないイヤホンを使用する。

#### ②首かけ式

スピーカーと受光部が一体になっており、首に掛けて装着する。

#### ③クリップ式

スピーカーと受光部が一体となっており、クリップにより服や鞆などに装着する。

いずれの受信端末においても、装着時の高さは、地面から120~140cmになることを想定している。

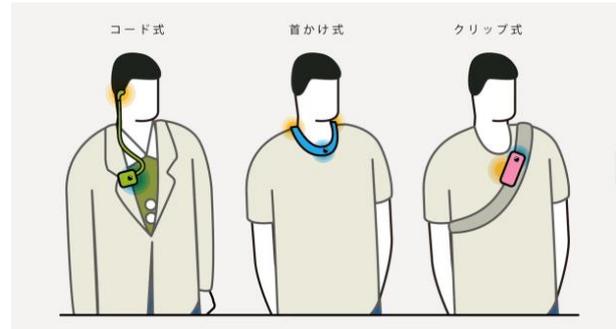
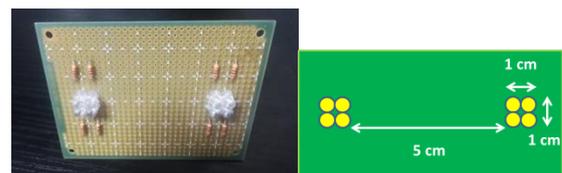


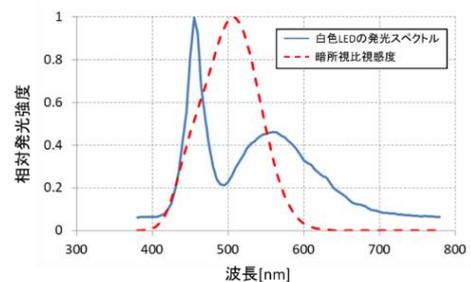
図4 提案する受信端末のイメージ図

### 4. 発光鋏

自発光式道路鋏は地面と水平方向に沿った方向に光を照射するものである。図5に試作機と、搭載した白色LEDの発光スペクトルを示す。発光部は8個の砲弾型白色LED(OSW54K5B61A)から構成される。



(a)



(b)

図5 自発光式道路鋏プロトタイプ(a)とLEDの発光スペクトル(b)

自発光式道路鋸に搭載する LED としては、白色 LED を選択した。これは、白色の光は様々な波長の光を含んでおり、色覚障がいのある人にとって認識しやすいためである。また、LED は低消費電力であり、電池駆動で製品化しやすい利点がある。図 6 に発光鋸の点滅パターンを示す。周期 3 Hz で 10 ms の閃光時間内に送信データに基づく光パルス列を発光することで ID データ通信を行う。発光鋸は、発光パルス列の ON - OFF 時間を変えることで、7 段階に明るさを変化させることが可能である。各パターンのパルスのオン時間を表 1 に示す。オン時間が長いほど明るくなる。

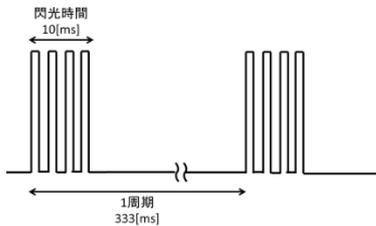


図 6 発光鋸の点滅パターン

表 1 発光パターン

	パルスのオン時間[ $\mu$ s]
発光パターン1	250
発光パターン2	450
発光パターン3	850
発光パターン4	1250
発光パターン5	1650
発光パターン6	2050
発光パターン7	2500

## 5. 発光鋸の輝度についての印象評価実験

歩行支援システムで用いる発光鋸の選定を踏まえ、健常者の歩行の妨げにならない輝度を探ることを目的とした視認性評価実験を行った。実施場所は水平面照度約 20~30 lx の屋外で、被験者は健常者 7 名である。また、実験は完全に陽の落ちた夜間に実施し、印象評価方法として 7 段階の SD 法を用いた。

### 5.1. 実験方法

7 名の被験者には図 7 の歩道モデルに示したように、発光鋸の横を直進歩行時に発光鋸の光から受け

た印象評価してもらった。なお、実験の際に、被験者に発光鋸を直視することなく、前を向いたまま歩くように指導を行った。評価項目を表 2 に示す。

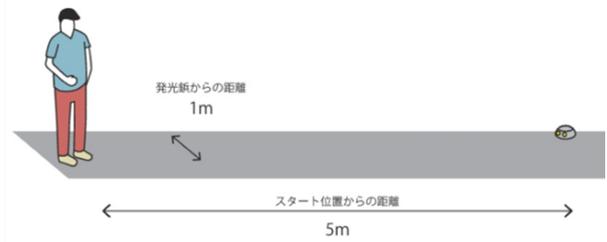
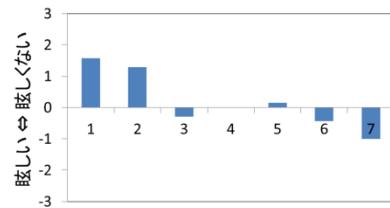


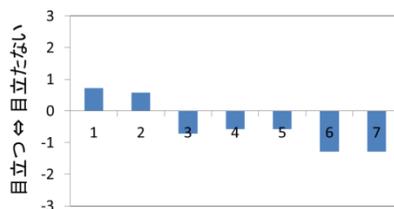
図 7 実験方法

表 2 評価項目

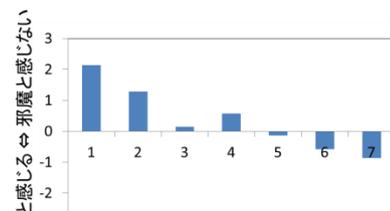
眩しい-眩しくない	ちらつく-ちらつかない
明るい-暗い	はっきり-ぼんやり
好き-嫌い	派手-地味
安心-不安	静かな-うるさい
不快-不快でない	激しい-穏やかな
親しみやすい-親しみにくい	目立つ-目立たない
頼もしい-頼りない	主張が強い-主張が弱い
親切な-不親切な	邪魔と感じる-邪魔と感しない



発光パターン  
(a)



発光パターン  
(b)



発光パターン  
(c)

図 8 印象評価実験結果

## 5.2. 実験結果

被験者の回答結果からサンプルごとに平均値を算出し、SD プロフィール図を作成した。その中から、「目立つ」「眩しい」「邪魔と感じる」について注目して解析した。結果を図 8 に示す。パターン 1, 2 は「目立たない」という傾向が得られた。これは、発光鋸の視線誘導としての目印の役割もあるが、目立たないことで歩行中に視認出来ない恐れがある。一方で、パターン 6, 7 は「やや眩しい」「やや邪魔と感じる」と感じることから、健常者の歩行の妨げになると考えられる。したがって、パターン 3, 4, 5 が発光鋸の発光パターンとして適していると考えられる。

## 6. 発光鋸を用いたシステムの通信エリア検討

ここでは、視認性の評価実験の結果から得られた発光強度で通信可能なエリアについて検討を行う。

システムの通信エリアの目標仕様としては、

- 現在検討中の受信端末は胸の高さに装着するものであるため、120~140 cm の高さで受信可能であること
- インタビュー結果[3]により、弱視者は歩行案内が必要な箇所から 2 m 離れた位置で音声案内を求めていることから、発光鋸から 2 m 離れた位置で受信可能であること

以上の目標仕様を考慮した上で通信可能エリアについて検討する。

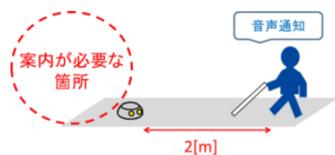


図 9 音声通知のタイミング

### 6.1. 高さ方向の検討

本システムの受信端末は 120~140 cm の高さで装着することを想定している。そこで、発光鋸に搭載する LED の半値角  $\theta$  と通信エリアをシミュレーションによって検討した。なお、シミュレーション解

析では、LED からの受信電圧の距離特性は、距離の逆二乗に比例し、LED の発光強度の角度特性がガウス分布であると仮定している。

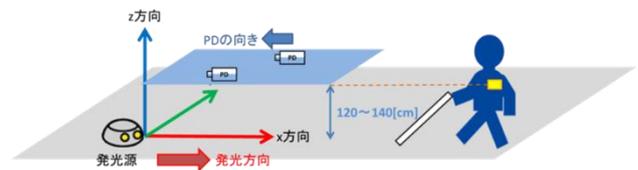


図 10 発光鋸の座標系

図 10 に本シミュレーションで用いた座標軸を示す。発光鋸を原点として発光方向を x 方向、高さを z 方向としている。y=0 cm として APD を発光鋸に向けて歩いたときの xz 平面における APD 受信電圧のシミュレーション結果を図 11 に示す。一般的な砲弾型 LED の半値角、30 deg と 60 deg について検討した。先行研究より、APD 受信電圧が 30 mV 以上のときに受信可能としている。発光鋸から 2 m の地点において、半値角 60 deg の LED では 140 cm の高さまで受信可能であるが、30 deg の LED では高さ 70 cm までしか受信できない。本システムの受信端末は 120~140 cm の高さで装着することを想定しているため、発光鋸に搭載する LED の半値角は 60 deg 以上必要であることが判った。

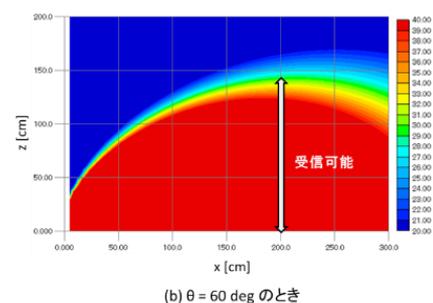
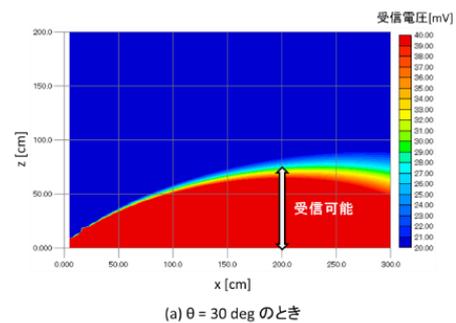


図 11 y=0 cm のときの xy 平面の APD 受信電圧

## 6.2. 通信可能エリアの検討

次に、受信端末を装着した場合を想定したシミュレーションを行う。受信端末の装着位置を高さ ( $z=120$  cm) として、受信端末に搭載された APD の受光面を①発光源に向けた場合と、② $-x$  軸方向に固定した場合について、受信電圧の  $xy$  平面上におけるシミュレーション結果を図 12 に示す。発光源から  $x=200$  cm の位置について、①では  $y$  が約 70 cm まで受信可能であるが、②では  $y$  が 30 cm 程度で信号が受信できない。このことから、APD の向きが受信感度に大きく影響していることがわかった。

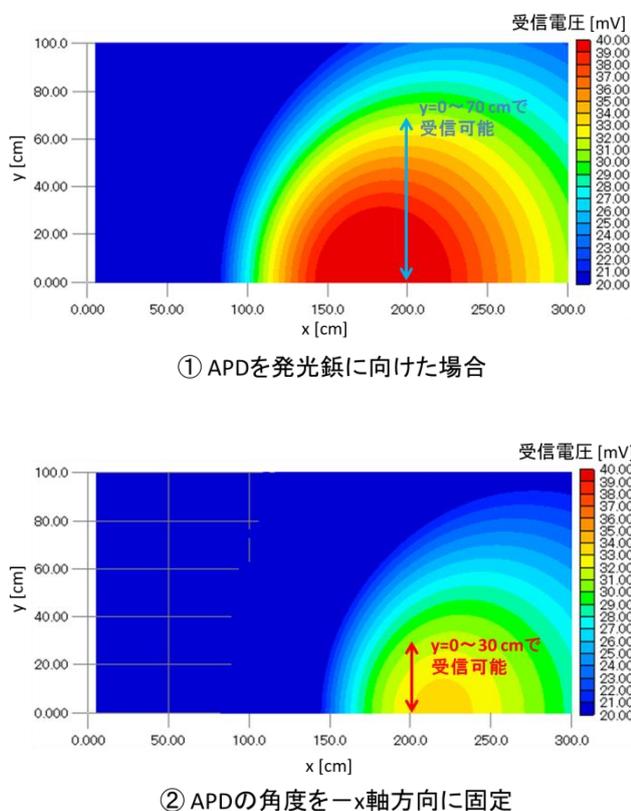


図 12 高さ 120 cm における  $xy$  平面の通信可能エリアのシミュレーション

## 7. まとめ

本論文では、自発光式道路鋏を用いた可視光通信による歩行支援システムの検討を行った。最初に、弱視者と高齢者のインタビュー結果に基づき、自発光式道路鋏を用いた歩行支援システムの構成を提案

し、弱視者と高齢者のユーザビリティを考慮した受信端末のデザインを提案した。そして、提案した歩道モデルにおいてシステム実現の検討を行った。

まず、発光源の輝度に関する視認性評価実験を行った。実験結果より、健常者にとって歩行の妨げにならない輝度を明らかにした。次に、健常者にとって妨げとならない輝度での自発光式道路鋏からの通信エリアについてシミュレーション解析を行った。半値角 60 deg の白色 LED を用いることで発光源から 200 cm で受信可能なことを明らかにした。受信端末を身体に装着した場合 APD の角度は固定されてしまうため、適切な APD の角度を設定することで受信感度を改善させることが今後の課題である。

### 謝辞

本研究は京都工芸繊維大学 COC 事業による地域貢献加速化プロジェクトにおいて行われたものである。

### 参考文献

- [1] 厚生労働省, “平成 28 年生活のしづらさなどに関する調査”, 2016.
- [2] 柳原崇男, 北川博巳, 齋藤圭亮, 三星昭宏, “ロービジョン者の視覚機能と外出時の歩行問題の関係に関する研究”, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.2, 2008.
- [3] 小原友里 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 3 冊分, RJ-005, pp.33-38, 2014.
- [4] 伊木俊介 他, “可視光通信を用いた歩行支援システムの構築”, FIT2015, 第 3 冊分, RJ-005, pp.63-68, 2015.