

# 蛍光体を誘導物とする視覚障がい者向け歩行支援システムの提案

藤川真樹<sup>†1</sup> 橋本就<sup>†1</sup> 浏真悟<sup>†2</sup>

**概要:** 著者らは、白杖で触れた場所が何であるかを視覚障がい者に伝えることができる「歩行支援システム」を提案する。このシステムの目標は、視覚障がい者が白杖を用いて5つの場所(2種類の点字ブロック、横断歩道、列車の床、列車の乗降口)を識別できることである。場所の識別手段として、既存のシステムでは電子的なデバイス(パッシブ型RFIDタグ)が使用されているが、提案システムでは化学的な物質(光励起により特定の波長の光を発する蛍光体粉末)を使用する。このシステムの特徴は、蛍光体粉末と材料を混ぜて成形するというシンプルな方法で5つの場所を構築できることである。つまり、RFIDタグを埋設するために必要であった「RFIDタグの適切な数や位置の事前計算」や「工法の変更」が不要となる。著者らは、合成樹脂製の点字ブロックに見立てた試料を作成し、LED光源を用いて蛍光を観測した。その結果、重量比と光のパワーが高く、プローブと試料との距離が短いほど多くの光を観測できること、およびプローブと試料との距離が離れていてもピークを観測できることがわかった。このことは、蛍光体が誘導物として利用できる可能性があることを示している。

## 1. はじめに

視覚障がい者にとって、点字ブロックは自律的な歩行を助ける重要な存在である。当該ブロックはJIS規格をもとにして国際規格化され、現在では150以上の国で使用されている[1]。図1に示すように、点字ブロックは縦横30cmの「誘導ブロック」と「警告ブロック」から構成されており、突起の形状が意味を持っている。棒状の突起は進むべき方向を、点状の突起は「危険な場所(横断歩道など)」や「視覚障がい者を誘導する施設(案内板など)」が近くにあることを意味しており、視覚障がい者は足裏や白杖[a]による触覚で意味を理解する。

点字ブロックは、視覚障がい者にとって重要な存在ではあるが、街中に網羅的に設置されているわけではなく、点字ブロックが敷設されていない場所がある。たとえば、横断歩道が該当する(図2参照)[b]。これは、当該場所に突起物を敷設すると幼児や高齢者がつまずきやすくなるほか、歩行者や車両が雨天時および路面凍結時に滑りやすくなり事故を誘発する可能性があるからである。一方、視覚障がい者にとっては、白杖が触れている場所が横断歩道なのか車道なのかを区別できない状況で、限られた時間内に道路を横断しなければならないため、ストレスと不安を感じやすい場所であるといわれている[2]。

駅プラットフォームにおける乗降口も、横断歩道と同様に視覚障がい者が不安とストレスを感じやすい場所である(図3参照)。なぜならば、以下に示す状況下において、限られた時間内に乗降車しなければならないからである[3]。

(1) 警告ブロックからプラットフォームの端までの距離が統一されていない。(2) 乗降口とプラットフォームとの間

に隙間があり(図4参照)、その幅が乗降口によって異なる。(3) 白杖が触れている場所が「乗降口」なのか「列車の床」なのかを区別しにくい。

白杖は、歩行の助けと妨げになる物体を検知するために使用される。これに加えて、白杖で触れた場所が上記5つの場所(2種類の点字ブロック、横断歩道、列車の床、列車の乗降口)であることを視覚障がい者が認識できれば、ストレスや不安を軽減できる可能性がある。そこで本研究では、視覚障がい者が白杖を用いて5つの場所を識別できるシステムの開発を目標とする。

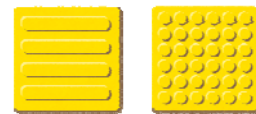


図1 誘導ブロック(左)と警告ブロック(右)



図2 横断歩道と点字ブロック



図3 乗降口と点字ブロック

<sup>†1</sup> 工学院大学  
Kogakuin University

<sup>†2</sup> 青山学院大学  
Aoyama Gakuin University

a 道路交通法第14条により、視覚障がい者は歩行時に白杖を携帯することが義務付けられている。これは、視覚障がい者は最優先で保護されるべき対象であるため、白杖を携帯することによって視覚に障害があることを歩行者や運転手に知らせる必要があるからである。

b 一部の横断歩道には点字ブロックが敷設されているが、その数は少ない。



図 4 プラットフォームと列車との隙間

著者らは以下のながれで論述を展開する。2章では、関連研究の紹介とその課題、課題を解決すべきシステムが満たすべき指標、本論文の前提条件を述べる。3章では、光励起により特定のピーク波長の光を発する蛍光体を誘導物として利用する歩行支援システムを提案する。4章では、蛍光体のポテンシャルを検証するための実験とその結果を述べる。5章で実装に向けた考察を行い、6章で本論文を総括する。

## 2. 関連研究, 指標と前提条件

### 2.1 関連研究

これまでに提案されている歩行支援システムの多くは、RFID タグを使用している。これは、白杖で触れた場所の情報を把握しやすいこと、GPS 衛星からの電波を捉えにくい「地下街」や「建物内」、「高い建物の近く」でも歩行を支援できることが主な理由である。

文献[4]のシステムは、白杖によって3つの情報（点字ブロックの存在とその種類、ユーザの現在位置）を正確に把握するとともに、ウェアラブル端末によって点字ブロックが敷設されていない場所におけるユーザの自立的な歩行を支援する。当該システムでは、点字ブロックの位置情報とその種類を記録したパッシブ型 RFID タグ（通信距離約15cm）を点字ブロックに組み込む。白杖の先端には RFID リーダが組み込まれているため、ユーザは点字ブロックの存在とその種類、現在位置を把握できる。横断歩道のように点字ブロックが敷設されていない場所では、横断歩道の手前に敷設されている警告ブロックから読み取った位置情報と、ウェアラブル端末に内蔵された加速度センサーと地磁気センサーを用いてユーザの移動軌跡を計算する。これにより、ユーザは横断歩道から外れることなく道路を横切ることができる。

一方、このシステムには3つの課題がある。1つ目は、歩行者を横断させるために横断歩道上で一時停止した自動車が発する磁界が、地磁気センサーに影響を与えることである。システムは、ユーザの移動軌跡を正確に計算できなくなるため、ユーザが横断歩道から外れる可能性がある[4]。磁界は、プラットフォームに停車している列車からも発生

表 1 RFID タグを用いたシステムがもつ課題

	文献 4	文献 5
車両から発せられる磁界による影響	ある	ない
プラットフォームと列車の床（文献 4 の場合は車道と横断歩道）の区別	できない	できる
プラットフォーム（文献 4 の場合は横断歩道）を構築する一般的な工法の利用	できる	できない
誘導物の故障リスク	ある	ある

するため、このシステムを乗降口で使用するとユーザがスムーズに乗降できない可能性がある。2つ目は、RFID タグは点字ブロックにのみ埋設されるため、ユーザは横断歩道と車道、列車の床と乗降口を区別できないことである。3つ目は、誘導物として利用される RFID は故障する可能性があるため、ユーザは現在位置を把握できなくなっておそれがあることである。

文献[5]のシステムは、文献[4]の RFID タグよりも通信距離が短い RFID タグを一定間隔で格子状にプラットフォームに敷き詰める方法であり、文献[4]のようなウェアラブル端末を使用しない。RFID タグには位置情報が記録されており、白杖の先端には RFID リーダが組み込まれているため、ユーザは自分のいる場所がプラットフォームの端（危険な場所）なのか否かがわかる。

一方、このシステムには3つの課題がある。1つ目は、白杖が触れている場所の位置情報を確実に得るために、埋設する RFID タグの適切な数や位置を事前に計算する必要があることである[5]。通信距離の短さをカバーするためには埋設する RFID タグの数を増やせばよいが、その数が多すぎると建設コストが高くなる。一方、数が少なすぎると位置情報を確実に得ることができなくなる。2つ目は、事前に計算した位置に RFID タグを埋設しなくてはならないため、プラットフォームを構築するための一般的な工法（アスファルトやコンクリートの打設、コンクリートブロックの設置）が使えず、追加的な工事が必要になることである[c]。3つ目は、文献[4]と同様に、誘導物として利用される RFID は故障する可能性があるため、白杖が触れた場所の情報が得られなくなるおそれがあることである。

表 1 に、2つのシステムの課題を示す。磁界の影響を受けることなく、白杖が触れた場所が1章で述べた5つの場所のいずれかを識別するためには RFID タグを網羅的に敷設すればよいが、横断歩道などを構築するための一般的な工法が利用できないほか、RFID タグが故障するリスクがある。

### 2.2 指標

著者らは、RFID タグを用いることなく、白杖が触れた

c このことは、RFID タグを点字ブロックに組み込むときにも同じことがいえる。

場所が1章で述べた5つの場所のいずれかを識別できるシステムの開発を目指している。具体的には、以下に示す指標を充足するシステムである。

**指標 1:** システムは、車両から発生した磁界の影響を受けることなく5つの場所（2種類の点字ブロック、横断歩道、列車の床、列車の乗降口）を識別できる。

**指標 2:** システムは、5つの場所を構築するための一般的な工法や製法を利用し、追加的な工事やプロセスを必要としない。

**指標 3:** システムは、誘導物を敷設する最適な位置や個数を正確に計算する作業を必要としない。

**指標 4:** 横断歩道や乗降口に埋設する誘導物は、故障するリスクが低い。

上記に加えて、著者らは以下の指標を設ける。これは、文献[4, 5]のシステムが誘導物としてパッシブ型RFIDタグを使用しているためである。

**指標 5:** システムが使用する誘導物は、バッテリーを必要とせず、大量生産が可能である。

### 2.3 前提条件

本節では、議論の範囲を明確にするために以下の前提条件を設ける。

- 本論文では、1章で述べた5つの場所に限定して議論する。
- 著者らは、誘導物として蛍光体を使用したシステムを提案する。このため、4章で実施する実験では蛍光体がつまみポテンシャルの検証にフォーカスし、その結果をもとにシステムの実装に向けた考察を行う。
- 上記の検証を実施するために、実験では1種類の蛍光体を使って実験を行う。

## 3. 提案システム

### 3.1 コンセプト

著者らは、電子的なデバイス（RFID タグ）を誘導物として使用する既存のアプローチとは異なり、化学的な物質を誘導物として使用する。具体的には、特定の波長 A をピークとする光を受光すると、別の波長 B をピークとする光を発光する「蛍光体」を使用する（受光した光から発光のためのパワーを得ることを光励起と呼ぶ）。

蛍光体が発するピーク波長は、蛍光体の組成を化学的に調整することで変更可能である。たとえば、波長 A を受光したときに、ピーク波長 B1 を発光する蛍光体 B1、ピーク波長 B2 を発光する蛍光体 B2、というように、5種類の蛍光体を製造することができる（上記のように単一のピーク波長だけでなく、複数のピーク波長を持たせることも可能である）。これにより、それぞれの蛍光体を5つの場所（2種類の点字ブロック、横断歩道、乗降口、列車の床）に割り当てておけば、光励起によって発するピーク波長を白杖の先端で観測することで、白杖が触れた場所を識別できる。

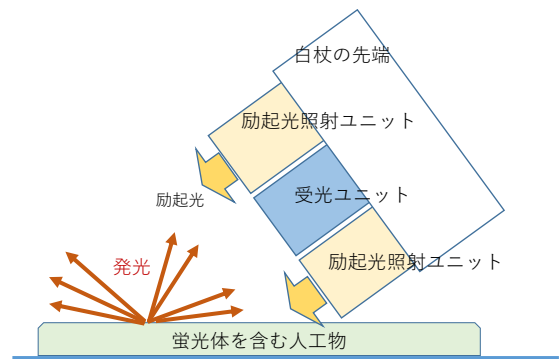


図 5 白杖の先端と誘導物



図 6 蛍光体粉末

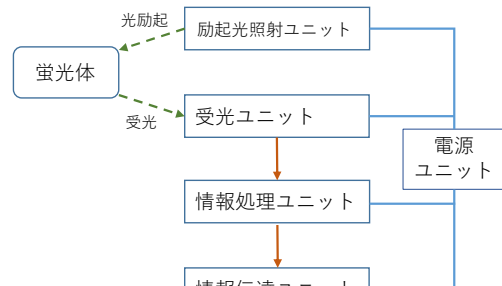


図 7 システム構成

具体的には、図5に示すように白杖の先端に励起光照射ユニットと受光ユニットを取り付け、励起光照射ユニットによる光励起によって観測される蛍光体の発光を受光ユニットにより観測することで実現できる。

5つの場所への蛍光体の埋設は、RFIDの埋設よりもシンプルかつ容易である。具体的には、「蛍光体粉末」とそれぞれの場所の形成に応じた「材料」（合成樹脂やコンクリート、アスファルトなど）を混ぜ合わせて成形することで実現できる。これにより、5つの場所を構築するための一般的な工法や製法が利用できる。

図6に、本論文で使用する蛍光体粉末を示す。当該蛍光体は980nmをピークとする光を受光すると554nmをピークとする光を発する。安定した酸化物であるため酸・アルカリに強く、1,000℃程度の高温を加えても光励起による蛍光機能が失われることがない。また、人体や環境に影響を与えるリスクが低く、蛍光機能は半永久的であることから、提案システムに適した蛍光体であるといえる。これまで、蛍光体は生体イメージング[6]、人工物の真正性検証[7]、商品のトレーサビリティ[8]に使用されてきたが、著者らは蛍



光体の新しい用途として、歩行支援システムの基盤となる誘導物として使用する。

### 3.2 システム構成

図7に白杖のシステム構成を示す。白杖は、励起光照射ユニット、受光ユニット、情報処理ユニット、情報伝達ユニット、電源ユニットから構成される。以下に、ユニットの機能を説明する。

**励起光照射ユニット**：蛍光体を光励起するための光源と、光源から出る励起光を変調するための変調器から構成される。励起光を変調する理由は、観測されるピーク波長が励起光照射ユニットの光に由来することを信号処理ユニットが確認できるようにするためである。これによって、励起光照射ユニットの励起光に由来するピーク波長以外の波長（たとえば、蛍光体が発するピーク波長と同じ波長をもつ外乱光）を受光した際に、場所を誤って認識することを抑制できる。

**受光ユニット**：光を受けるためのフォトダイオードと、受光した光を復調するための復調器から構成される。

**情報処理ユニット**：復調後の光を分析し、白杖が触れた場所を識別するプロセッサと、5つの場所に対応する5種類の発光波長を記憶するメモリから構成される。

**情報伝達ユニット**：白杖が触れた場所がどこであるかをユーザに伝える手段をもつ。たとえば、骨伝導スピーカーやバイブレーターなどがある。

**電源ユニット**：上記4つのユニットを動作させるための電源を供給する。

### 3.3 5つの場所の形成方法

提案システムでは、「蛍光体粉末」とそれぞれの場所の形成に応じた「材料」を混ぜ合わせて成形することで5つの場所を構築するため、これらの場所を構築するための一般的な工法や製法が利用できる。以下に、それぞれの場所の形成方法を述べる。

#### 3.3.1 点字ブロック（誘導ブロックと警告ブロック）

点字ブロックは、大別するとセメント製、磁器製、合成ゴム製、合成樹脂製がある。いずれの場合も、材料を混ぜ合わせたあとに成形するというプロセスがある。3.1節で述べたように蛍光体は安定した物質であるため、材料との混合時や焼成時に蛍光機能が失われることはない。このため、点字ブロックの強度を損なわない程度の蛍光体粉末を材料と混ぜ合わせて成形することにより、点字ブロックの中に蛍光体を含ませることができる。

#### 3.3.2 横断歩道

一般的に、横断歩道はアスファルトまたはセメントで舗装された路面に白色の塗料を塗布することで形成される（塗料は常温では粉末のため、約200℃に加熱して液体にしたあと路面に塗布する）。蛍光体は安定した物質であるため、材料との混合時や焼成時に蛍光機能が失われることはない。このため、塗料やアスファルト、セメントの強度を

損なわない程度の蛍光体粉末を材料と混ぜ合わせて成形することにより、横断歩道全体に蛍光体を含ませることができる。

横断歩道の設置方法として、新規に舗装したあと白色塗料を塗布する方法と、既存の舗装面に白色塗料を塗布する方法がある。前者の場合、以下の方法により横断歩道全体に蛍光体を含ませることができる。

アスファルト舗装は、アスファルトと骨材を混ぜたものを加熱（130～190℃）したあと、これを路面に敷き詰めることで得られる。一方、セメント舗装は、セメントと水と骨材を混ぜ合わせたものを路面に敷き詰めることで得られる。このため、上記の混合物を生成するときに、これらの強度を損なわない程度の蛍光体粉末を混ぜ合わせる。蛍光体粉末を含む白色塗料の塗布は、アスファルトやセメントが硬化したあとに行う。

後者の場合、以下の方法により横断歩道全体に蛍光体を含ませることができる。

通常、舗装面を強化するために、透明なメタクリル樹脂を散布し、これを常温環境下で硬化させる工法が使用される。このため、樹脂の強度を損なわない程度の蛍光体粉末を混ぜあわせたものを路面に散布する。蛍光体粉末を含む白色塗料の塗布は、樹脂が硬化したあとに行う。

これらの方法により、横断歩道全体に蛍光体を含ませることができるため、ユーザは横断歩道と車道を区別できる。カラー舗装とは異なり、上記の方法によって横断歩道の外見が大きく変わることがないため、健常者やドライバーが横断歩道を通過するときに違和感を持つことはない。

#### 3.3.3 乗降口

一般的に、プラットフォームの乗降口はアスファルトまたはセメントにより舗装するか、セメントブロックを敷設することにより構築される。このため、前節で述べた工法を使って乗降口を構築することで、乗降口全体に蛍光体を含ませることができる。

#### 3.3.4 列車の床

一般的に、列車には難燃性の床材が使用されるため、主原料である合成樹脂（ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン）に難燃剤が添加される[9]。このため、難燃剤を添加するときに、床材の強度を損なわない程度の蛍光体粉末を混ぜ合わせて成形することで、列車の床全体に蛍光体を含ませることができる。

## 4. 実験

本章では、3章で紹介した蛍光体をもつポテンシャルを検証するための実験を行う[d]。樹脂製の点字ブロックは、他の3つの場所よりも製造が容易であるため、実験では比

d この蛍光体はピーク波長554nmを発光するが、組成を調整することにより別のピーク波長を発光する2種類の蛍光体を生成できる。それぞれのピーク波長は480nmと661nmである。

較的容易に入手でき、人体や環境に影響を与えるリスクが低く、取り扱いが簡単なエポキシ樹脂を使って蛍光体粉末を混ぜた試料を作製し、これを点字ブロックに見立てて実験を行う。

#### 4.1 実験1 (試料の作製)

はじめに、エポキシ樹脂に対する蛍光体粉末の重量比を変更 (5%, 10%, 20%, 40%) し、直径約 4cm, 厚さ約 4mm の試料を作製した (図 8 参照)。いずれの試料も硬化したが、蛍光体粉末の量が多いほど試料の光沢と透明度が低下することが確認できた。

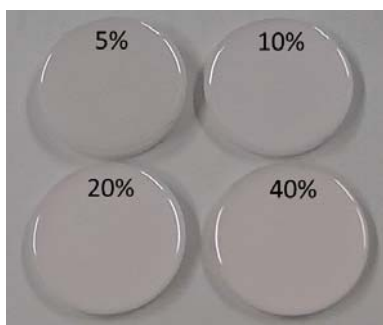


図 8 エポキシ樹脂に蛍光体を添加した試料

#### 4.2 実験2 (ポテンシャルの検証)

白杖が触れた場所を認識するためには、励起光照射ユニットの励起光によって発した光のピークを受光ユニットが観測できなくてはならない。当該ピークについて、どのくらいの量の光を受光ユニットが観測できるかは、励起光のパワー (光源に印加する電流値)、励起光照射ユニットと試料との距離、および蛍光体粉末の重量比によって決定される。このため著者らは、それぞれの関係を調査するために実験装置を構築した。図 9 は実験装置の全体図であり、分光器、パソコン、赤外線 LED (出力 1W, 最大 350mA, 1.1~1.3V)、反射ファイバースプロブ (以下、スプロブ) から構成されている。図 10 はスプロブの先端部を説明する図である。中央のファイバーは受光部、周りの 7 つのファイバーは励起光照射部である。スプロブの直径は 6.5mm である。なお、実験では観測対象となるピークについて、どのくらいの量の光を受光部が観測できるのかを調査することが目的であるため、光の変調と復調は行わない。したがって、外乱光による影響を避けるために試料とスプロブの先端部分は暗箱内に設置した。

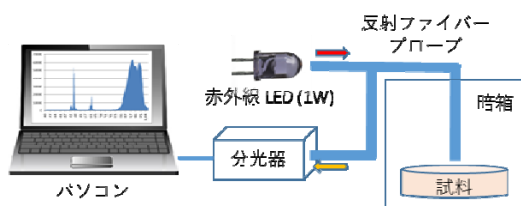


図 9 実験装置

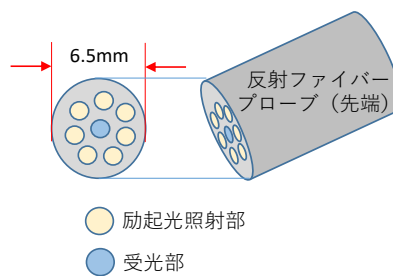


図 10 反射ファイバースプロブ

はじめに、受光部がどのようなスペクトル分布を捉えるのかを観測した。図 11 にスペクトル分布を示す。右のピークは励起光である。左に、554nm をピークとする波長が観測されている。つぎに、スプロブの先端と試料との距離を一定にした状態で、励起光のパワーと蛍光体粉末の重量比を変える。そして、観測対象となるピークについて、どのくらいの量の光を受光部が観測できるのかを調査した。図 12 から図 15 に、励起光のパワーと蛍光体粉末の重量比の関係を現したグラフを示す。縦軸は観測した光の量、横軸は電流である。励起光のパワーと重量比が高いほど、観測される光の量が多いことがわかる。また、スプロブの先端と試料との距離が離れていても、光を捉えられることが分かる。

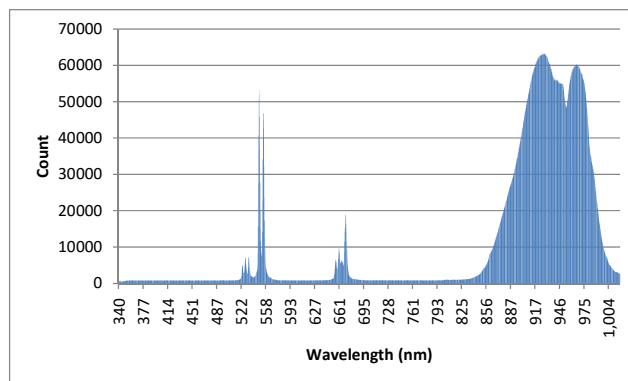


図 11 スペクトル分布

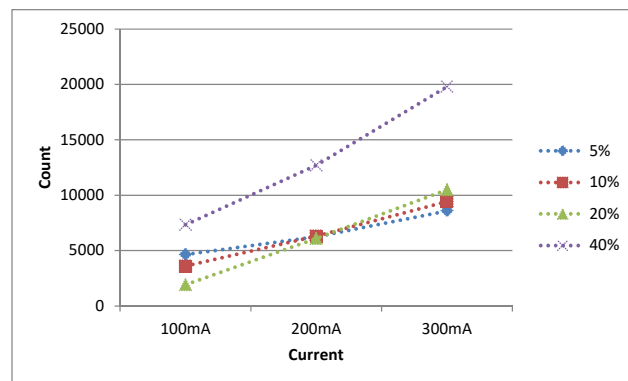


図 12 実験結果 (距離 20mm)

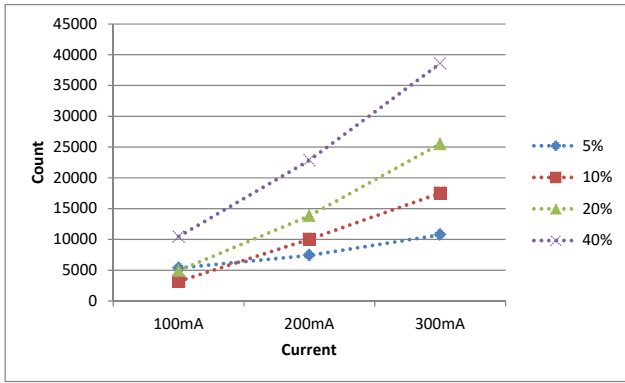


図 13 実験結果 (距離 15mm)

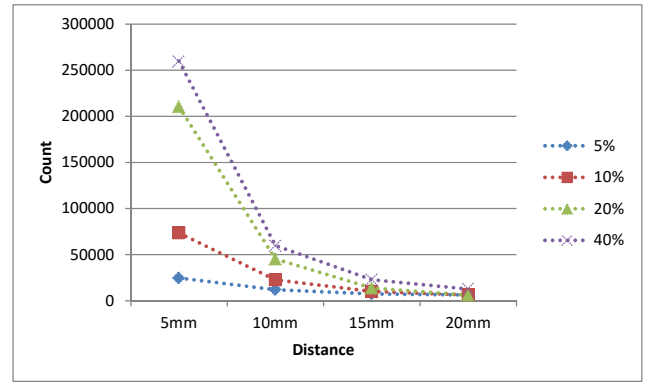


図 17 実験結果 (電流値 200mA)

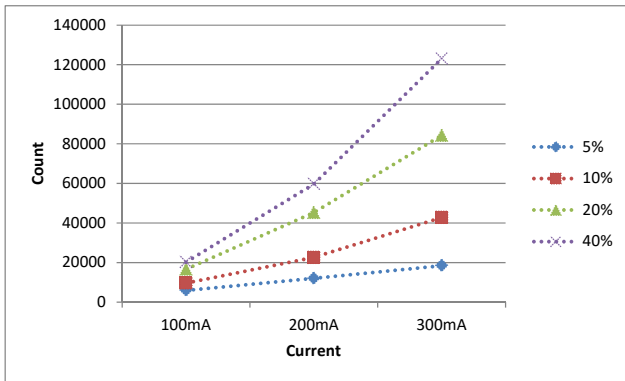


図 14 実験結果 (距離 10mm)

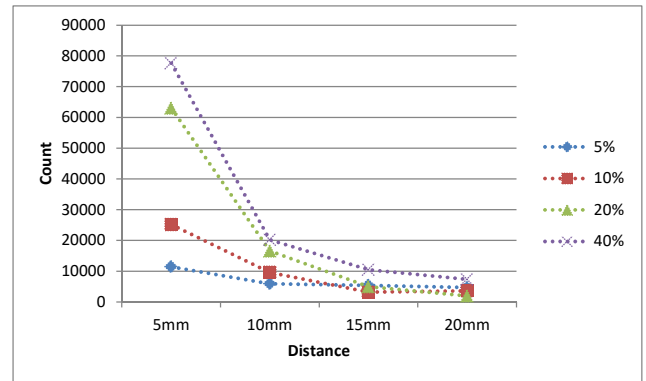


図 18 実験結果 (距離 100mA)

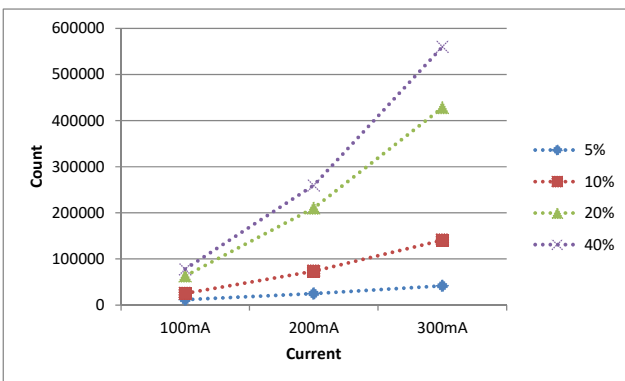


図 15 実験結果 (距離 5mm)

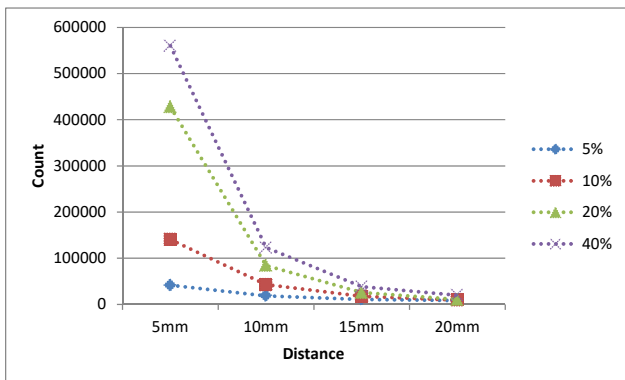


図 16 実験結果 (電流値 300mA)

つぎに、励起光のパワーを一定にした状態で、蛍光体粉末の重量比と、プローブの先端と試料との距離を変える。このときに、観測対象となるピークについて、どのくらいの量の光を受光部が観測できるのかを調査した。図 16 から図 18 に、距離と蛍光体粉末の重量比の関係を示したグラフを示す。縦軸は観測した光の量、横軸は距離である。試料との距離が近く、重量比が高いほど観測される光の量が多いことがわかる。

## 5. 考察

### 5.1 実験結果について

実験 1 では、蛍光体粉末の重量比を変えた試料を作製したところ、重量比が高いほど試料の光沢と透明度が低下することを確認した。これは、成形性（人工物を狙い通りの形にすること）、強度、経済性の低下にも関係する。一般的に、材料に対する添加物の量が多くなると、これらが低下することが知られている[10,11]。推奨される添加量は材料に依存するが、成形性や強度、経済性の観点から可能な限り少量であることが望ましい。3 章では、5 つの場所を構築するときに、強度を損なわない程度の蛍光体粉末を混ぜる必要性を述べたが、具体的な量については更なる実験によって探索する必要がある。なお、実験では重量比 5% の試料からピーク波長が観測できたため、蛍光体のポテンシャルは高いといえる。

実験2では、観測対象となるピークについて、どのくらいの量の光を受光部が観測できるのかを調査した。その結果、重量比と励起光のパワーが高く、プローブと試料との距離が短いほどより多くの光を観測できることがわかった。また、プローブと試料との距離が離れていてもピークを観測できることがわかった。

今回の実験では1Wの赤外線LEDを使用した。当該出力をもつLEDは安価な懐中電灯に使用されていることから励起光照射ユニットは安価に構築できると考えられる。また、ファイバーの直径を大きくすることで、より多くの量の光を観測できるものと考えられる。以上のことから、今回使用した蛍光体もつポテンシャルは高いものと考えられる。

## 5.2 指標の充足

本節では、提案システムが2章で述べた指標を充足していることを述べる。

**指標1:** 提案システムは、車両が発生する磁界の影響を受けるとされる地磁気センサーを使用せず、5つの場所を識別するために光の波長を利用する。なお、電子機器は高周波電磁波(950MHzなど)の影響を受けるとされるが、自動車は約6~23Hz、電車は約300~10MHzという低い電磁波を発生しており、白杖に組み込まれた電子機器が影響を受ける可能性は低いと考えられる(電子機器に電磁波シールドを施すことで、影響を受ける可能性を更に低くできる)。このため、提案システムは指標1を充足していると考えられる。

**指標2:** 提案システムは、5つの場所を形成するために使用される一般的な工法や製法を用いて蛍光体粉末を含ませることができ、RFIDタグを埋設するときに必要となる追加的な工事やプロセスを必要としない。このため、提案システムは指標2を充足しているといえる。

**指標3:** 提案システムは、誘導物(蛍光体粉末)を5つの場所に含ませるために、強度を損なわない程度の量の蛍光体粉末をあらかじめ計量しておく必要はあるものの、文献[4,5]のようにRFIDタグの最適な位置や個数を正確に計算するような厳密な作業を必要としない。このため、提案システムは指標3を充足していると考えられる。

**指標4:** 3章で述べたように、提案システムで使用される蛍光体は安定した物質である。このため、光励起による発光機能は半永久的であり、RFIDタグのような機械的な誘導物とは異なり故障のリスクがない。このため、提案システムは指標4を充足していると考えられる。

**指標5:** 提案システムは、光励起によって蛍光体を発光させるため、パッシブ型RFIDタグと同様に5つの場所に電源を組み込む必要がない。また、蛍光体は大量生産が可能でありRFIDタグと同様に容易に入手できる。このため、提案システムは指標5を充足していると考えられる。

## 5.3 光変調方式

提案システムを実用化するには、屋内外における外乱光に影響を受けることなく、受光した光が光源ユニットから出た光に起因するものであることを白杖が認識する必要がある。現時点では、3種類の光変調方式が提案されている(TDMA方式、FDMA方式、CDMA方式)。

TDMA方式は、光源に取り付けられた複数のライトの点灯・消灯を微小な時間間隔で制御する方式であり、時間間隔が受光ユニットと同期しているため、受光ユニットはどのライトから来た光なのかを認識できる。変調方式がシンプルであるため、変復調回路の規模は小さくて済むが、外乱光の影響を受けやすい。

FDMA方式は、光源に取り付けられた複数のライトそれぞれに割り当てた異なる周波数を用いて各ライトの点灯・消灯を制御する方式である。受光ユニットは各ライトの変調周波数を知っているため、複数のライトが同時に点灯していても、受光ユニットはどのライトから来た光なのかを認識できる。変調方式は複雑であり、変復調回路の規模が大きくなるが、外乱光の影響を受けにくい。

CDMA方式は、光源に取り付けられた複数のライトそれぞれに割り当てた異なる乱数を用いて各ライトの点灯・消灯を制御する方式である。受光ユニットは各ライトの乱数を知っているため、複数のライトが同時に点灯していても、受光ユニットはどのライトから来た光なのかを認識できる。変調方式はシンプルであるため、変復調回路の規模が小さくて済み、外乱光の影響を受けにくい。

それぞれの特徴をまとめたものを表2に示す。CDMA方式は他の方式よりも優位であることから、プロトタイプを製作する際にはCDMA方式を採用する。なお、CDMA方式が適用できる前提条件は、ライトが複数あることである。このため、上記の方式を採用する際には、白杖の先端に複数個のライトを設け、その点灯と消灯を制御する必要がある。ちなみにCDMAは、家電を操作するための赤外線を変調する方法であり外乱光の影響を受けにくいPPM(Pulse position modulation)と組み合わせることで、所要送信信号光パワーを低減可能なことが報告されている[12]。

表2 変復調方式の比較

	TDMA	FDMA	CDMA
変調方式	シンプル	複雑	シンプル
変復調回路	小規模	大規模	小規模
外乱光の影響度合い	大	小	極小

## 5.4 光源部の制御

励起光照射ユニットから出力される光を適切に制御すること(つまり、白杖を適切に使用しているときにのみ励起光を照射すること)は、システム全体の消費電力の抑制につながる。このため、提案システムでは以下の条件がそ



図 19 光を出力する条件

らったときのみ励起光を出力する。

- (1) ユーザが白杖を把持している。
- (2) 図 19 に示すように、白杖の先端が下を向いており、白杖が Z 軸に対してある一定の角度以上傾いている。

上記の仕組みにより、励起光照射部の制御が可能となる(たとえば、(1)は複数の静電容量センサーを白杖のグリップ部分に組み込むことで、(2)は 3 軸センサーを白杖に組み込むことによって、それぞれ実現できる)。

なお、この仕組みを応用すれば、ユーザがトラブルに遭遇した可能性があることを家族などの関係者に伝えることができる。たとえば、白杖を把持しており、杖の角度が Z 軸に対して 0 度である状態が一定時間以上続いた場合には、ユーザが倒れている状態が続いている可能性が考えられるため、ユーザがもつ携帯電話やスマートフォンと連携することで関係者に知らせることができる。

### 5.5 5つの場所の再構築

本論文で示した 5 つの場所は、経年劣化や老朽化によって再構築することがある。このときには、これらに含まれている蛍光体粉末が上記以外の場所に多量に拡散することがないように留意する必要がある。なぜならば、たとえば横断歩道を例に挙げると、蛍光体粉末が拡散した車道部分を横断歩道の一部分であるとシステムが認識してしまうためである。

上記のような誤認識を避けるために、再構築時には大量の粉塵が発生しにくい工法を選択するべきである。また、再構築時に発生する廃材(除去した点字ブロックやアスファルト・セメントの塊)は埋め立てにのみ使用し、再利用しないようにするべきである。

## 6. まとめ

著者らは、白杖で触れた場所が 5 つの場所(2 種類の点字ブロック、横断歩道、列車の床、列車の乗降口)のうちのどれであることを視覚障がい者に伝えることができる「歩行支援システム」を提案した。白杖で触れた場所の情報を

得るために、既存のシステムでは電子的なデバイス(パッシブ型 RFID タグ)が使用されているが、提案システムでは化学的な物質(光励起により特定の波長の光を発する蛍光体粉末)を使用する。

このシステムの特徴は、蛍光体粉末と材料を混ぜて成形するというシンプルな方法で 5 つの場所を構築できることである。つまり、RFID タグを埋設するために必要であった「RFID タグの適切な数や位置の事前計算」や「工法の変更」が不要となる。

著者らは、合成樹脂製の点字ブロックに見立てた試料を作製し、出力 1W の LED 光源とプローブを用いて蛍光を観測した。その結果、重量比と励起光のパワーが高く、プローブと試料との距離が短いほどより多くの光を観測できること、およびプローブと試料との距離が離れていてもピークを観測できることがわかった。このことは、蛍光体が誘導物として利用できる可能性があることを示している。今後、著者らはプロトタイプを試作して屋内外で実験を行い、有効性を検証する予定である。

## 参考文献

- [1] 社会福祉法人 日本盲人会連合：点字ブロックについて、<http://nichimou.org/impaired-vision/barrier-free/induction-block/> (2016 年 7 月アクセス)
- [2] 国際交通安全学会、視覚障害者誘導用ブロック(点字ブロック)の適切な設置のためのガイドブックー間違いやすい設置例を中心にー、2008 年
- [3] 斎藤早希子、大西一嘉：視覚障害者の視点からみた駅ホームの整備課題に関する研究(建築計画)、日本建築学会近畿支部研究報告集、計画系(46)、pp. 141/144、2006 年
- [4] 鶴沼宗利、RFID を用いた歩行者の経路誘導ー視覚障害者向け道案内システムー、情報処理、Vol. 45, No. 9, pp. 918/922 2004 年
- [5] 安田優也、久慈憲夫：駅プラットホームにおける視覚障害者誘導用の検討、計測自動制御学会東北支部第 250 回研究集会予稿集、pp. 1/6 (2009)
- [6] 新岡宏彦、古川太一、橋本守：希土類添加ナノ蛍光体粒子を用いたカソードルミネッセンス・蛍光細胞イメージング、顕微鏡、Vol. 49, No. 1, pp. 59/63 (2014)
- [7] 藤川真樹、小田史彦、森安研吾、瀧真悟、竹田美和：有価陶磁器製品に対する人工物メトリクス適用のための研究、情報処理学会論文誌、Vol. 55, No. 9, pp. 1992/2007 (2014)
- [8] 経済産業省：模倣品対策技術及びその普及に向けた調査報告書、平成 27 年 3 月
- [9] 伊藤幹彌：車両用床材にナノ材料を応用する、Railway Research Review, Vol. 69, No. 10, pp. 24/27 (2012)
- [10] 篠原久典：ナノカーボンの材料開発と応用、株式会社シーエムシー出版、pp. 294/295 (2008)
- [11] 石川浩、富岡芳弘：腐食と劣化(4)：合成樹脂材料の劣化、空気調和・衛生工学、第 79 巻、第 10 号、pp.961/968 (2005 年)
- [12] 大槻知明：PPM CDMA を用いた室内赤外線無線通信方式の特性解析、電子情報通信学会論文誌、Vol. J83-B, No. 7 pp. 970-979、2000.