

# 視覚障がい者の横断支援のための可視光通信システムの実験評価

Experimental Evaluation of Visible Light Communication System for Supporting Visually Disabled Persons to Cross at Intersections \*

鈴木 弘司\*\*・渡邊 雄太\*\*\*・福園 一幸\*\*\*\*・藤田 素弘\*\*\*\*\*

By Koji SUZUKI\*\*・Yuta WATANABE\*\*\*・Kazuyuki FUKUZONO\*\*\*\*・Motohiro FUJITA\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

わが国では、総合的なバリアフリー施策を推進するため、従来のハートビル法、交通バリアフリー法を統合したバリアフリー新法が平成18年12月に施行されるなど、交通弱者の移動環境向上のため、様々な施策が実施されてきた<sup>1)</sup>。視覚障がい者にとっての大きな障壁の一つである交差点環境への取組では、これまで音響信号機の設置や点字ブロックの敷設が行われており、近年では、横断歩道上への視覚障害者誘導用道路横断帯(エスコートゾーン)の設置が進んでいる。これらに加えて、交通弱者の横断支援システムとして、2001年度以降、歩行者等支援情報通信システムが導入されている<sup>2)</sup>。また、RFIDによる誘導システムなどの歩行者ITSが提案されてきている<sup>例えば<sup>3),4)</sup></sup>。しかし、これらのシステムは利用者ニーズに必ずしも合致しておらず、視覚障がい者の交差点横断時における環境整備は十分なものであるとは言えない。

著者ら<sup>5)</sup>は、視覚障がい者が交差点で必要とする情報として、信号機の存在、灯器の色、横断開始タイミング、横断歩道をまっすぐ歩くことを明らかにしており、これらのニーズを満たす可視光通信機能を活用した横断支援システム(以下、可視光通信システム)を開発している。

本可視光通信システムでは、音声情報を歩行者用LED(Light Emitting Diode)信号灯器からの可視光というキャリアを変調・復調して通信を行っており、利用者が信号灯器の発する光を受光器で受けると、横断タイミングなどの音声案内情報を、スピーカーを通じて入手できる<sup>6)</sup>。本システムでは受光器のレンズ面が灯器の方向を向いていないなど信号機の光を受けられないときは雑音が聞こえるため、利用者は、情報を受信できている間は正しく信号機の方向を向いていることを理解できる。

本システムは、交通信号機に従来の交通整理の目的に加え、情報発信の役割を担わせるもので、信号機に回路を組み込む必要はあるものの、既存システムのように

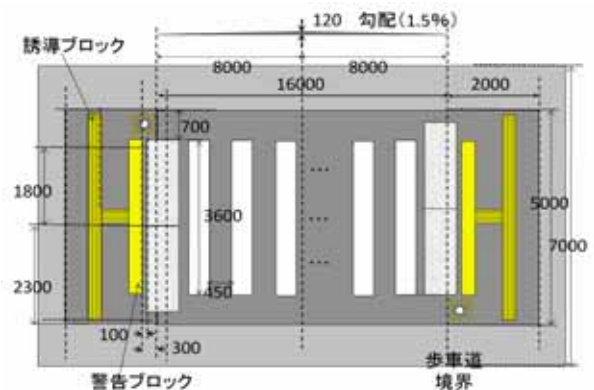


図-1 実験に使用する横断施設の構造(単位:mm)

別途大がかりな装置を設置する必要がなく、既存インフラを利用できるという特徴を持つ。また、音響信号機の持つ周辺住民への騒音、夜間など停止している時間が存在するといった問題点を解消でき、音響信号機のない交差点で有効な情報提供システムとなりうるといえる。

著者らは、これまで被験者10名(うち全盲者3名)による屋内歩行調査ならびに被験者22名(うち全盲者13名)の屋外の模擬横断歩道での歩行調査によりシステムの特徴を分析し、疑似的な横断環境下における可視光通信システムの基本性能を確認している<sup>7)</sup>。

本稿では、横断勾配や歩車道境界を再現した横断歩道(以下、実横断歩道)を設置した、より現実の横断環境に近い状況での歩行調査及びアンケート調査を行い、可視光通信システムの適用性についての評価を行う。

## 2. 実験施設の概要と歩行調査の詳細

### (1) 実験施設の概要

使用する横断施設は、名古屋工業大学構内に歩行者信号機(星和電機製)2基を地上高(信号機下端まで)2.5mで設置し、横断歩道長は往復4車線道路を想定し、16mとしたものである。なお、図-1のように横断勾配、歩車道境界の段差などを再現している。今回、道路の移動円滑化整備ガイドライン<sup>8)</sup>の基準に基づき、歩車道境界に2cmの段差を設け、実際の横断歩道と同様の仕様とするため、横断方向の勾配を1.5%で設計している。

### (2) 歩行調査の詳細

本研究では、(a)全盲被験者による誘導支援実験と(b)

\*キーワード: 視覚障がい者, 可視光通信, 交通弱者対策

\*\*正会員, 博(工), 名古屋工業大学大学院 工学研究科

(名古屋市昭和区御器所町, TEL: 052-735-7962,

E-mail: [suzuki.koji@nitech.ac.jp](mailto:suzuki.koji@nitech.ac.jp))

\*\*\* 学生員, 名古屋工業大学大学院 工学研究科

\*\*\*\* 星和電機株式会社

\*\*\*\*\* 正会員, 工博, 名古屋工業大学大学院 工学研究科

晴眼者にアイマスクをつけて貰うことにより全盲を想定した疑似全盲被験者（以下、疑似全盲者）による誘導支援の2つの調査を実施している。

調査(a)は、2008年3月18日に、表-1に示す属性を有する3名の被験者を対象に、また、調査(b)は、2009年1月19日から21日に、20代男性の11名を被験者として行っている。なお、後述するように、調査(a)において、視覚障がい発症後、発症後間もない被験者に対して本システムによる誘導に課題が生じたため、今回、視覚障がいの発症時期の影響をより詳細に検討すべく、疑似全盲者による実験を実施している。

調査(a)では、図-2に示す受光器を用いて、被験者が信号機からの可視光通信による誘導に従い、横断歩道を横断できるかどうかを検証している。その際、受光器の取付位置は、帽子（旧型受光器）帽子（新型受光器）、腰、白杖の4つを設定し、各位置に対して、被験者に1往復ずつ横断して貰っている。被験者の歩行状況は、ビデオカメラにて撮影し、その映像から歩行速度、進行方向に対する横方向の変位、横断完了手前での横断不能地点の距離などのデータを計測し、分析に用いる。また、各被験者には1横断毎に、横断容易さ、進行方向理解度等の使用感評価(5段階評価)、音声情報・システムの適用性に関する意識に関する質問に、4ケースの横断終了時に個人属性に関する質問に回答をして貰った。なお、本稿では紙面の都合上、使用感評価の詳細については割愛する。

調査(b)では、新型受光器の機器不具合のため、旧型受光器のみを用いて、調査(a)と同様の実験を行う。なお、他の取付位置の適用性を検討するため、受光器をネックレスで胸部付近に取り付けた実験も行っている。

### 3. 全盲被験者の歩行特性分析

本章では、可視光通信システムによる誘導支援の性能として全盲被験者の歩行特性に着目し、横断中の横方向変位、横断困難状態、歩行速度の変化を中心に分析する。

#### (1) 進行方向からみた横方向変位

横断歩道入口からの距離と進行方向に対する横方向変位の関係を図-4, 5, 6に示す。

これらより、被験者 A, C に関しては、横方向変位は横断歩道幅員(2.0 m以内)に収まっているが、被験者 B に関しては横断歩道の幅員を超えている。これは、被験者 B が視力を失ってからまだ間もなく、単独歩行に関して慣れていないことが影響したものと考えられる。

#### (2) 横断中の横断不能実態

どの被験者も信号機の方を完全に見失うことなく、横断困難な状態になることはなかった。

表-1 調査(a)の被験者属性

	性別	年齢	視力	視野状態	発症時期
A	女性	40代	左:0, 右:0.06	狭窄あり	先天性
B	女性	40代	光覚	その他	後天性(1年前まで白線が見えた)
C	男性	60代	全盲	全盲	後天性(12歳)



図-2 調査に使用する旧型受光器(左)と新型受光器(右)

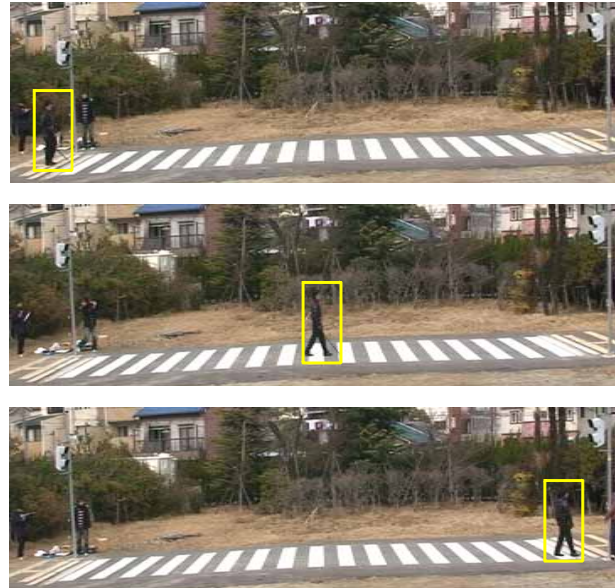


図-3 調査(b)の実験風景（黄色枠：疑似全盲者）

#### (3) 歩行速度変化

横断歩道の入口からの距離と各区分での平均歩行速度(3mごとに計測)の関係を図-7, 8, 9に示す。これらの結果より、横断完了に近づくにつれ、ほとんどのケースで歩行速度が落ちている。これは、横断完了直前になると信号機の光を受光しにくくなることも考えられるが、本調査では歩車道境界の段差があるため、被験者がこの段差を認識し、横断完了に対して慎重に動作していることも要因の1つとして挙げられる。

#### (4) 横方向変位と歩行速度との関係

図-4～図-9から、横方向の変位が大きくなる区間では、平均速度が下がる傾向がみられる。これは、横断歩道の中心から大きくずれたことにより、信号機の光を一時的に受光できなくなり、光を探索するために立ち止まってしまったためと考えられる。

#### (5) 発症時期による歩行特性の比較

前節までの分析より、被験者 B は他の被験者と比べて横方向変位が大きく、歩行速度が低い結果となった。その特性を詳しく分析するため、横断1回あたりの平均立ち止まり回数とその標準偏差の関係を図-10に示す。

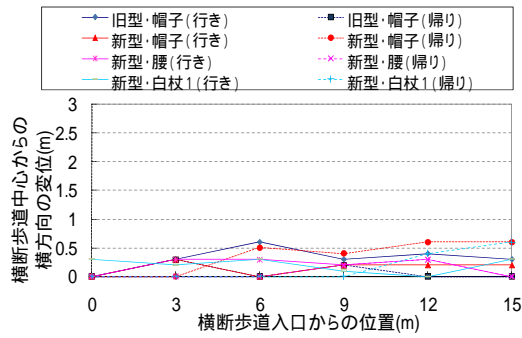


図-4 被験者 A 横断歩道中央からの変位

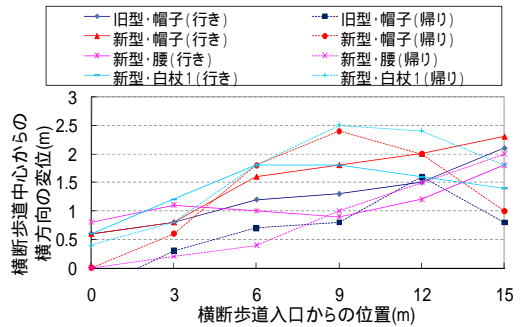


図-5 被験者 B 横断歩道中央からの変位

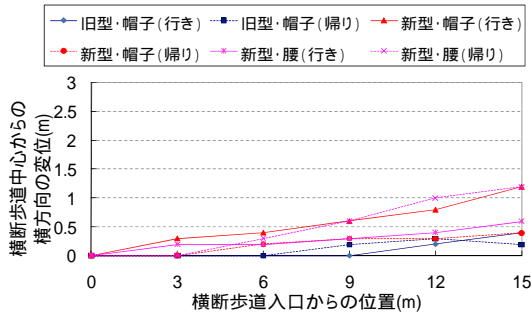


図-6 被験者 C 横断歩道中央からの変位

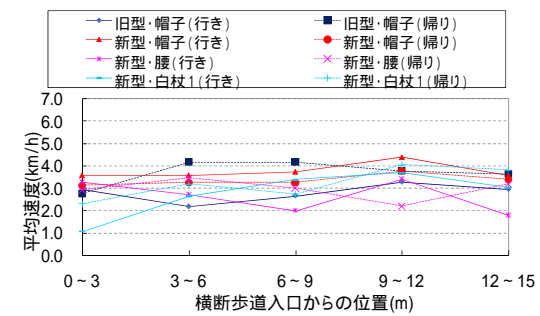


図-7 被験者 A 平均歩行速度

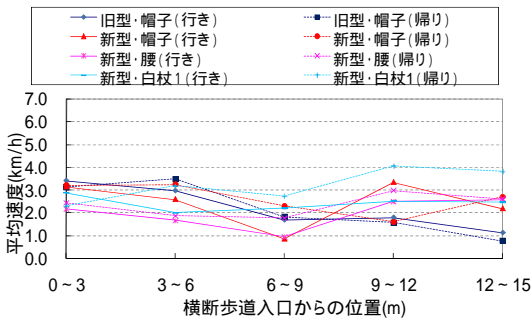


図-8 被験者 B 平均歩行速度

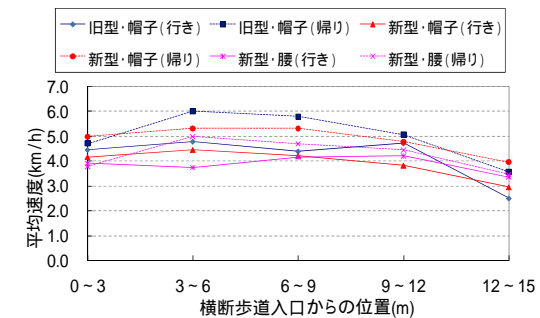


図-9 被験者 C 平均歩行速度

これより、現在歩行訓練中の被験者 B は、立ち止まり回数が他の被験者よりも多く、標準偏差も値が大きくなっている。すなわち、視覚障がい発症後、まもない被験者では、受光器の取付箇所によって立ち止まり回数がばらつく傾向にあることがわかる。この件に関して、発症時期と適切な受光器の取付位置、歩行特性との関連を検討するため、次章に示す疑似全盲者による分析を行う。

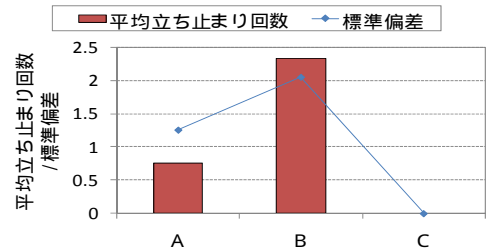


図-10 立ち止まり回数と標準偏差(実横断歩道)

#### 4. 疑似全盲者の歩行特性分析

##### (1) 歩行速度特性

調査(b)における歩行速度特性を表-2 に示す。表中の「通常」は、アイマスクなしで歩行した場合の歩行速度であり、「システム無」は可視光通信システムによる誘導でなく、アイマスクで視界を遮った上で白杖を使用して横断した場合の歩行速度を示す。「帽子」、「ネックレス」、「腰」は可視光通信システムの受光器取付位置で区別して結果を示している。

今回、晴眼者の視界を急に遮った条件下での調査であったため、通常歩行に比べて、全盲状態での歩行速度の低下が著しいことがわかる。また、システム有無の比較

表-2 疑似全盲者の歩行速度特性(単位:m/s)

	通常	システム無		帽子		ネックレス		腰	
		行き	帰り	行き	帰り	行き	帰り	行き	帰り
被験者A	1.24	0.32	0.75	0.25	0.80	0.54	-	0.76	0.74
被験者B	1.67	0.65	0.58	0.35	0.48	0.52	0.70	0.47	0.49
被験者C	1.47	0.82	0.73	0.72	0.72	0.56	0.47	0.60	0.67
被験者D	1.36	0.78	0.76	0.66	0.43	0.32	0.20	0.24	0.24
被験者E	1.38	0.56	0.51	0.53	0.46	0.29	0.38	0.47	0.46
被験者F	-	0.69	0.67	0.38	0.73	0.64	0.82	0.71	-
被験者G	1.26	0.63	0.64	0.42	0.59	0.48	0.52	0.51	0.50
被験者H	1.20	0.63	0.66	0.63	0.72	0.63	0.62	0.67	0.59
被験者I	1.77	0.79	0.96	0.40	0.70	0.40	0.45	0.78	0.52
被験者J	1.35	0.84	0.91	0.72	0.75	0.55	0.63	0.52	0.63
被験者K	1.66	0.78	0.99	0.52	0.51	0.54	0.63	0.68	0.69

より、システム無の方が概ね歩行速度が高い結果となった。これは可視光通信システムを活用し、慎重に歩行した結果を反映したものと見える。

表-3 疑似全盲者の横方向変位の特性 (変位: m)

	システム無						帽子					
	行き			帰り			行き			帰り		
	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散
被験者A	2.82	1.78	0.96	2.01	0.83	0.52	2.09	1.54	0.51	2.28	1.41	0.58
被験者B	0.90	-0.61	0.07	3.73	-1.73	1.89	1.79	0.94	0.36	0.55	-0.34	0.02
被験者C	2.28	-0.72	0.50	1.04	-0.55	0.15	0.12	0.01	0.00	0.89	-0.33	0.13
被験者D	0.21	-0.09	0.00	0.21	0.11	0.00	0.64	0.35	0.07	1.34	-0.87	0.22
被験者E	0.82	0.17	0.11	2.42	-0.70	0.56	0.60	-0.34	0.02	1.53	-0.58	0.37
被験者F	0.60	-0.25	0.04	1.34	-0.47	0.23	1.71	1.22	0.32	1.75	0.94	0.43
被験者G	0.81	0.11	0.12	1.11	0.47	0.09	1.57	0.71	0.21	1.04	0.71	0.09
被験者H	1.07	0.57	0.19	2.78	1.17	0.76	0.65	0.11	0.10	2.34	1.09	0.59
被験者I	0.67	0.19	0.09	2.05	-0.77	0.67	0.76	-0.22	0.06	1.12	-0.19	0.19
被験者J	0.87	0.20	0.09	2.09	-0.84	0.57	1.63	0.93	0.26	1.39	0.73	0.19
被験者K	3.82	1.58	1.82	1.90	1.01	0.27	3.93	1.86	1.62	1.25	0.38	0.37
	ネックレス						腰					
	行き			帰り			行き			帰り		
	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散	最大変位	平均変位	分散
被験者A	1.68	1.07	0.39				0.88	0.22	0.13	0.43	-0.13	0.05
被験者B	1.13	-0.43	0.22	1.75	-0.84	0.43	1.20	-0.79	0.10	2.81	-1.10	0.94
被験者C	0.60	0.20	0.03	0.62	-0.34	0.09	0.83	-0.56	0.05	0.84	0.42	0.04
被験者D	0.51	0.37	0.02	0.85	0.22	0.17	0.85	0.52	0.09	1.02	0.32	0.16
被験者E	4.88	2.56	2.44	1.40	-0.01	0.36	1.16	0.37	0.19	0.81	0.43	0.12
被験者F	0.96	0.32	0.10	0.77	0.49	0.03	0.60	0.33	0.04			
被験者G	1.88	-0.60	0.48	1.66	0.48	0.21	2.79	1.44	0.85	1.92	0.92	0.35
被験者H	0.42	0.07	0.03	1.19	0.74	0.07	0.60	0.26	0.08	1.50	0.94	0.21
被験者I	0.82	-0.53	0.05	0.69	-0.20	0.08	0.96	0.60	0.13	1.74	-0.84	0.34
被験者J	2.77	1.84	0.63	0.33	0.13	0.01	1.07	0.53	0.09	1.82	-0.58	0.53
被験者K	1.54	-0.85	0.25	0.92	-0.48	0.20	0.85	-0.37	0.10	0.80	-0.20	0.17

最大変位の網掛け: 横断歩道中央より左側への変位量, 平均変位の負値: 横断歩道中央より左側への変位を意味する

(2) 横方向変位特性

横断時の横方向変位について, 被験者別, システム有無別, 取付位置別にまとめた結果を表-3 に示す.

これより, システム無に比べて, 可視光通信システムを使用した方が横方向変位の最大値, 平均値が小さくなる傾向にあることが確認された. 可視光通信を利用するケースでは, 概ね横断歩道の幅員 (4m) を超えることなく横断支援できているが, ネックレスにおいて非常に大きな変位を示した結果が存在した. これは歩行により受光器の向きが変わり, 正しく信号の方向を向くことが困難な状況が生じた結果と推察される.

(3) 使用感評価

可視光通信システムの使用感を, 取付位置, 横断位置別に「非常に簡単 (5 点) ~非常に難しい (1 点)」の 5 段階で評価して貰い, 集計した結果を図-11 に示す.

これより, どの取付位置においても横断開始時は使用感評価が非常に高く, 横断完了時点では非常に評価が低くなっている. また取付位置では「帽子」, 「ネックレス」に比べて, 「腰」の評価が低く, 特に横断完了時の評価の差が大きい. これは歩道端に近づくにつれて受光器と信号機との仰角が大きくなるが, 「腰」取付の方がその影響を大きく受けたことによるものと考えられる.

5. おわりに

本稿では, 視覚障がい者の横断支援のための可視光通信システムについて, 全盲被験者, 疑似全盲者を対象とした実験を行い, 性能評価を行った.

その結果, 本システムは, 先天性視覚障がい者の誘導に対する一定の適用性があることが確認できたが, 後天性の視覚障がい者に対しては課題が残ることがわかった.

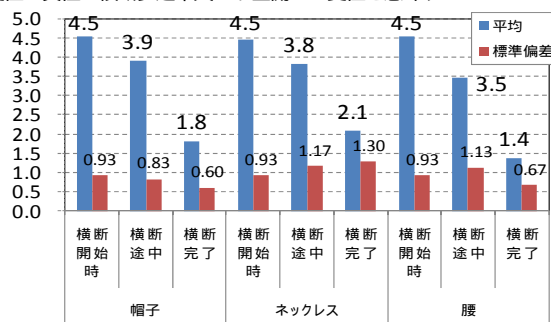


図-11 取付位置別の使用感評価

後天性の視覚障がい者の利用特性を詳細に捉えるべく実施した疑似全盲者での実験では, 横方向変位の観点では概ね横断歩道内での誘導が可能であることが確認できたが, 横断完了手前での使用感評価の低さに課題が残ることがわかった. 今後は受光器, 信号機の仰角の影響による受光の困難さの解消に向け, 詳細な検討を加える.

本研究は, 平成20年度科学研究費補助金 (基盤(C) 20560489) を受けて実施したものである. ここに記して感謝の意を表する.

参考文献

- 1) 内閣府: 障害者白書平成 20 年版, pp124-128, 2008.
- 2) 社団法人新交通管理システム協会ホームページ: <http://www.utms.or.jp/index.html>.
- 3) 鎌田実, 北風晴司, 久良知國雄, 松村孝好, 杉真理子, 長岡康範, 勅使河原元: 障害者等 ITI「リアル」ナビゲート歩行者誘導用統合端末の開発 - 第 4 回 ITS シンポジウム 2005, pp435-440, 2005.
- 4) 森下康之, 杉野勝敏, 田名部淳, 内田敬: 歩行者ナビゲーション (HIT ナビ) システムの誘導成績評価, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, pp193-196, 2003.
- 5) SUZUKI,K., FUJITA,M., HAYASHI,Y., and FUKUZONO,K.: A Study on Visually Impaired Person's Support System Utilizing Visible Light Communication Technology at Signalized Intersections, International Journal of ITS Research, Vol.5 No.1, pp.37-45, 2007.
- 6) 藤田素弘, 林靖彦, 鈴木弘司: 情報通信型 LED 信号機の技術研究, OPTRONICS, 2007(no.10), pp.141-147.
- 7) 鈴木弘司, 藤田素弘, 渡邊雄大, 福蘭一幸: 横断歩道形状を考慮した視覚障がい者の横断支援システムの実験評価, 第 7 回 ITS シンポジウム 2008 Peer-Review Proceedings, pp.19-24, 2008.
- 8) 国土技術セクター: 道路の移動円滑化整備ガイドライン, 362p, 2003.