

(28) 視覚障がい者横断支援システムの使用性に関する実証分析

Empirical Analysis on Usability of Crossing Support System for Visually Disabled

松浦一真¹・鈴木弘司²・藤田素弘³・福菌一幸⁴

Matuura Kazuma, Suzuki Koji, Fujita Motohiro, and Fukuzono Kazuyuki

抄録: 本稿では、学生 18 名を後天性の疑似全盲者と想定して、同一被験者による継続実験を名古屋工業大学内にある実横断歩道で行い、可視光通信システムを利用した視覚障がい者横断支援システムに対する慣れの過程を横断特性、歩行挙動の観点から分析した。その結果、本システムの繰り返し利用により、横断不能状態が減り、横断時間も減少することが分かった。また、被験者の類型化をし、各被験者群の横断特性について考察した。さらに、誘導精度の低いグループの被験者に対して追加実験を行い、可視光システムの受光動作に関する情報を与えることにより、システムの誘導精度が向上することを確認した。

キーワード: ITS, 可視光通信システム, 視覚障がい者, 横断支援, 信号交差点, 使用性

Keywords: ITS, VLC System, Visually Disabled, Crossing Support, Signal Crossing, Usability

1. はじめに

わが国では、社会のバリアフリー化に取り組むため、「バリアフリー新法」が平成 18 年 12 月に施行され、また、「バリアフリー・ユニバーサルデザイン推進要綱」が、平成 20 年 3 月に決定されるなど、交通弱者の安全な移動を確保するための各種施策が行われてきた¹⁾。一方、視覚障がい者にとって危険を伴う交差点では、音響信号機や情報通信技術を活用した歩行者支援装置(PICS)²⁾などのバリアフリー対応型信号機の設置や横断歩道上へ敷設される道路横断帯(エスコートゾーン)が整備されてきている³⁾。さらに RFID による誘導システムなどの歩行者 ITS が種々提案されている。しかし、PICS は、交差点への接近といった、横断歩道端への誘導や情報提供は可能だが、横断中の歩行支援が困難であり、音響信号機では騒音の問題から夜間使用に制限があること、また、エスコートゾーンは重交通量での早期劣化などの問題点が指摘されている。そこで、利用者ニーズを満たすことができ、経済的に実現が容易である新たな横断支援手段として、可視光通信システムを利用した視覚障がい者横断支援システム(以下、可視光システム)が開発されている³⁾。

上記の可視光システムでは、通信用の回路を組み込んだ LED 信号灯器を情報発信源とし、利用者の持つ受信端末へ音声情報を送信する仕組みを採用している。つまり、音声情報を可視光というキャリアに変調させ、信号灯器から可視光として発信し、利用者が持つ受光

器でその光を受光し、受光器側の復調回路で再び情報を取り出し、スピーカーやイヤホンなどを通して利用者が音声情報を取得できる通信システムである。

先行研究では、可視光システムによる誘導で 16m の横断歩道を概ね横断させられることが示され⁴⁾、また、横断完了付近における受光困難の問題点への改善や横方向変位の抑制について研究がなされている⁵⁾。しかしながら、システム利用初期段階における適正利用の困難さについては課題とされている。

本稿では、同一被験者による継続的な実験を行うことによって、本システムの使用性や習熟度を歩行挙動および横断特性の観点から分析する。また、分析結果を踏まえ、誘導精度の低い被験者に対して、追加実験を行うことでシステムの使用性向上に関する方策を検討する。

2. 使用性向上プロセスの検証実験

(1) 実験概要

実験に使用する施設は、名古屋工業大学内にある横断勾配(1.5%)や歩車道境界を再現した実横断歩道(横断歩道幅 3.6m, 車道幅 16m)に、可視光通信が可能な歩行者用信号灯器(星和電機製)2 基を地上高 2.6m で設置したものである。

上記施設で、晴眼者にアイマスクを着用させ、後天性の疑似全盲者を想定した同一被験者による継続的な実験を行った。被験者は、学生 18 名(20 代男性 13 名、

1 : 学生会員 名古屋工業大学大学院工学研究科

(〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, Tel :052-735-7962, E-mail : cja13563@stn.nitech.ac.jp)

2 : 正会員 博(工) 名古屋工業大学大学院工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

3 : 正会員 工博 名古屋工業大学大学院工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

4 : 非会員 星和電機株式会社 (〒610-0192 京都府城陽市寺田新池 36 番地)

女性5名)であり、A,B,Cの3グループに分けて2010年6月25日から11月12日にかけて実験を行った。実験の概要を表-1に示す。今回、可視光システム、音響信号機、支援なし(白杖のみ)の3種類の実験を行っている。なお、歩行挙動を調べるため、ビデオカメラによる外部観測を実施している。

(2) 横断特性に関する分析

実験種類別の横断完了可否の割合を図-1に示す。横断完了とは、横断中に横断歩道幅を超える横方向変位が生じたかどうかに関わらず、対岸まで渡ることができた横断を指し、そのうちで対岸に到達した時に歩道幅に収まっていた場合を横断完了(歩道内横断)、横断歩道幅員を超えていた場合の横断を歩道外の横断完了(歩道外横断)と定義する。一方、横断不能とは、自分で渡り終えることができなかった場合を示す。

これより、横断不能については、白杖のみの場合7.0%に対し、音響信号機と可視光システム利用時では、それぞれ0.0%、0.7%とほとんど発生しない。また、歩道外横断も、白杖のみの場合20.8%に対し、音響信号機と可視光システム利用時では、それぞれ5.6%、可視光システム9.4%とあまり発生しないことがわかる。これらより、音響信号機や可視光システムでは、横断支援システムを利用しない場合に比べて、横断完了できる割合が高く、また、音響信号機と可視光システムとの差は小さいことがわかる。

横断ごとの平均横断時間を図-2に示す。これより、可視光システムを利用した横断時間は、最初は80秒であったが、横断回数を重ねるごとに減少し、最終的には30秒ほどに収束している。また、2~3往復程度で30秒以内となった被験者の割合が2割程度であり、7~9往復程度で30秒以内となった被験者の割合は6割程度であった。一方、白杖のみ、音響信号機のケースでは、25秒に収束している。また、5日参加者、3日参加者の結果の比較より、調査日あたりの繰り返し回数は横断時間特性に大きく影響しないといえる。

ここで、可視光システム利用時の横断時間に影響を与える要因を明らかにするため、重回帰分析を行う。分析結果を、表-2に示す。

これより、まず、立ち止まり回数が増加すると、横断時間も増加し、区間ごとの立ち止まり回数の標準化係数の比較より、完了付近の回数が最も大きな影響を与えることがわかる。次に、開始付近で横断歩道幅員を超える回数が多いほど横断時間は増加し、また、横断回数が増えると、横断時間が減少することがわかる。

(3) 誘導精度の低い横断に関する歩行挙動分析

a) 前後で横断時間変動が大きい横断の挙動分析

繰り返し実験のうち、前回横断よりも横断時間が急に増加したケースに着目して、その影響要因を分析する。ここでは各区間の横断時間、歩行軌跡図、ビデオ

表-1 実験の概要

* : 受光器を取り付けたゴーグルとアイマスクを装着し、白杖を利用
, *: アイマスクを装着し、白杖を利用

グループ名(被験者名)(人数)	可視光システム*	音響信号機**	白杖のみ***
A[A1~A5](5)	6横断×5日=30横断(15往復)	6横断(3往復)	5横断
B[B1~B6](6)	10横断×3日=30横断(15往復)	6横断(3往復)	3横断
C[C1~C3](3)	10横断×3日=30横断(15往復)	6横断(3往復)	3横断
C[C4~C7](4)	6横断×5日=30横断(15往復)	6横断(3往復)	5横断

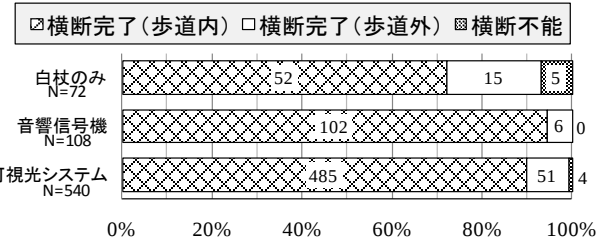


図-1 実験種類別横断完了可否割合

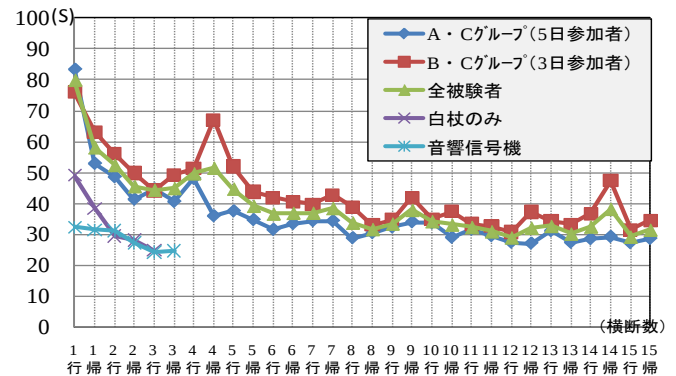


図-2 横断ごとの平均時間

表-2 横断時間推計モデル結果(*: 1%有意) N:540

説明変数		非標準化係数	標準化係数	t
(定数項)		B		
実数値	立ち止まり回数(開始付近)	4.996	0.173	6.752*
	立ち止まり回数(途中)	4.292	0.230	8.459*
	立ち止まり回数(完了付近)	5.579	0.524	19.036*
	横断歩道幅員外回数(開始付近) [横断歩道を超えた回数]	22.825	0.137	5.419*
ダミー変数	横断回数[6~10:1 それ以外:0]	-7.794	-0.129	-4.205*
	横断回数[11~15:1 それ以外:0]	-11.968	-0.198	-6.419*
	横断回数[16~20:1 それ以外:0]	-12.139	-0.201	-6.468*
	横断回数[21~25:1 それ以外:0]	-16.068	-0.266	-8.594*
	横断回数[26~30:1 それ以外:0]	-17.018	-0.282	-9.127*
調整済みR2乗値		0.698		

映像での歩行挙動確認に基づき考察をする。図-3に示すように、被験者 B2 は、横断歩道幅を大幅に外れるまで音声を探る動作をせず、歩道外に外れてしまい、信号機方向の確認をすることが困難であったことや、被験者 B3 は左足の踏み出し量が大いこと右に進む方向が偏るといった特徴的な歩行動作の影響により横断時間が長くなることが確認できた。また、これらのことは横断不能になるケースでも確認できた。

b) 歩道外横断の挙動分析

本項では、本システム利用時の横方向変位量について考察を深める。可視光システム利用時の歩道外横断完了の横断について、横断完了時の横方向変位に影響

を与える要因を明らかにするため、重回帰分析を行う。目的変数は、横断完了時の信号機器軸（x=1.8m）からの横方向変位である。分析結果を表-3 に示し、また、説明変数に関する歩行軌跡線概念を図-4 に示す。

表-3 より、右に角度が大きくなる回数が多くなると、信号機器軸より右の歩道外に外れること、また、開始直後に横断歩道右側にずれると信号機器軸より右方向に外れることが読み取れる。Y 軸からの角度が、位置 2, 3, 5, 6 で大きいと、信号機軸より左に変位すること、また、位置ごとの標準化係数を比較すると、位置 3, すなわち中間付近での角度が大きいと最も大きな影響を与えることがわかる。さらに、照度が 50kLUX より大きいと、信号機器軸より左の歩道外に外れやすいことが示された。

（4）被験者のグループ別による分析

本節では、被験者ごとの横断特性と誘導精度との関係を検証するため、まず、クラスター分析によって被験者の分類を行う。なお、18 名の被験者を対象とするため、階層的クラスター分析のウォード法を用い、また、量的データを扱うためユークリッド平方距離を用いて分析を行う。

分析結果を図-5 に示す。横軸はクラスター間の距離を表し、ラベルは被験者名を表す。説明変数として、地点別の横断歩道中央からの横方向変位の平均値、歩道外横断の場合の最終地点における信号機器側（右側）の割合、歩道外横断回数、横断中の歩道外回数、歩道外横断時の信号機器軸からの横断角度の最大値を用いている。これより、距離が 25 で a と b のクラスターに分離でき、さらに距離が 3 で aa1, aa2, a3 のクラスターに分離できる。よって、被験者は大きく 4 つのグループに分けられる。

次に、4 つの被験者グループの特徴について、様々な横断特性を用いて考察する。クラスター分析に用いた横断特性の各グループの平均値を表-4 の上段に、その他の横断特性を表-4 の下段に示す。なお、各特性の値が大きいグループの数値に網掛けをしている。

まず、横方向変位では、区間によらず a3 の値が小さいことがわかる。aa1 は開始～中間、b は中間～完了直前の変位が大きく、aa2 はどの区間の変位も大きいことがわかる。信号機器側の割合では、b が大きい結果

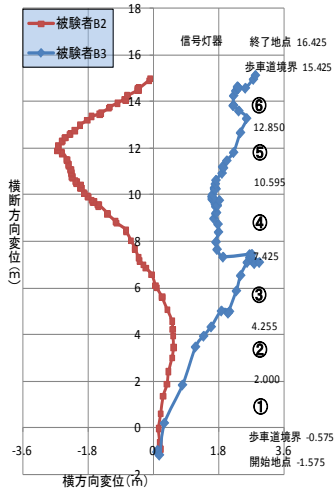


図-3 歩行軌跡図（時間変動）

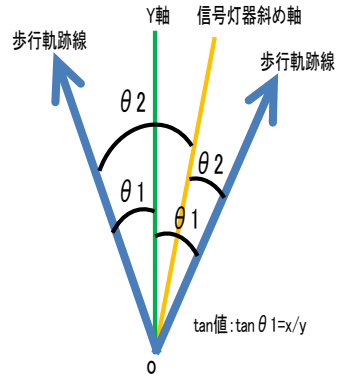


図-4 歩行軌跡線に関する軸の概念図

表-3 横方向変位量推計モデルのパラメータ
推定結果（* : 1%, ** : 5%有意）N:51

説明変数		非標準化係数 B	標準化係数	t
(定数項)		-2.363		-5.760 *
実数値	進行方向角度回数(右側)	1.958	0.890	11.192 *
	[Y軸と歩行軌跡線との角度(絶対値)が 大きい区間を取り出した時の区間の数]			
ダミー変数	開始時進行方向[右側:1 左側:0]	0.852	0.167	2.372 **
	進行方向角度(位置2)[最大:1 それ以外:0]	-0.868	-0.163	-2.492 **
	進行方向角度(位置3)[最大:1 それ以外:0]	-1.388	-0.292	-4.142 *
	進行方向角度(位置5)[最大:1 それ以外:0]	-1.090	-0.227	-3.199 *
	進行方向角度(位置6)[最大:1 それ以外:0]	-0.793	-0.167	-2.613 **
	照度[50kLUXより大:1 それ以外:0]	-0.828	-0.123	-1.861
調整済みR2乗値		0.815		

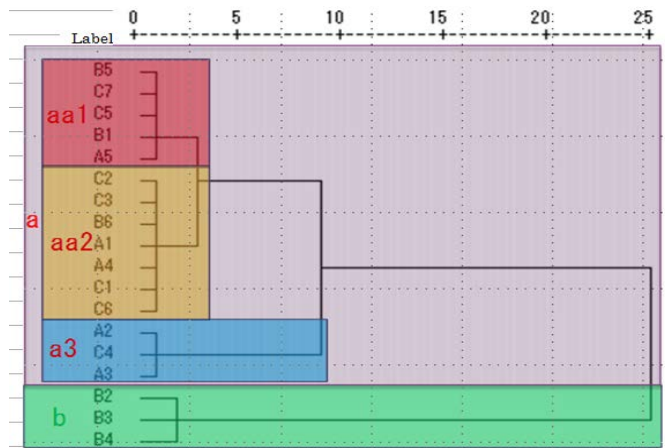


図-5 被験者分類に関するクラスター分析結果

表-4 横断者タイプ別の横断特性(1 横断あたり[信号機器側割合、横断角度最大値を除く])

グループ名	区間別の横方向変位[m]			信号機器側 (右側)割合[%]	歩道外 横断[回]	歩道外[回]	横断角度最大値 (信号機器軸)[tan値]
	開始付近終了時	中間終了時	完了付近終了時				
aa1	0.80	1.53	1.90	68	0.07	0.41	0.26
aa2	0.80	1.61	2.42	66	0.11	0.30	0.40
a3	0.18	0.44	0.76	50	0.01	0.11	0.03
b	0.59	1.46	2.53	79	0.22	0.70	0.39
グループ名	区間別の横断時間[s]				立ち止まり 回数[回]	横断時間の標準偏差[s]	
	開始付近	中間	完了付近	合計		開始付近	完了直前
aa1	11.30	8.49	15.09	34.89	2.16	5.53	7.88
aa2	12.75	10.66	17.65	41.05	2.18	3.29	8.52
a3	9.70	7.50	13.09	30.29	1.53	2.09	4.70
b	14.21	13.27	24.19	52.34	5.68	6.72	19.23

となっている。また、歩道外横断、歩道外回数では、 a_3 が少なく b が多い結果となっている。横断角度では、 a_3 がとても小さい結果となっている。

次に、横断時間では、どの区間でも b が長く、 a_3 が短く、特に完了付近区間でグループ間の数値に差が生じている。立ち止まり回数にも同様の傾向が見られる。横断時間の標準偏差から、どの地点でも a_3 が小さく、 b が大きく、特に完了付近での数値が高いことがわかる。よって、 b は横断ごとに横断時間の差が大きく不安定な歩行をしていることがうかがえる。

以上から、グループの特徴を整理すると、 a_3 は、横方向変位も小さく、歩道外横断や歩道外回数が少なく、横断角度も横断すべき進行方向を向いており、システムの誘導精度が非常に高いといえる。 b は、歩道外横断が多く、また、横断時間が長く、横断によって横断時間の差が大きい不安定な歩行をしており、システムの誘導精度は低いといえる。 aa_1 、 aa_2 の横断形態は似ており、システムの誘導精度は比較的良く、 aa_1 がより良い結果となっている。

3. 情報提供による誘導精度向上の検証実験

(1) 実験概要

クラスター分析の結果から、誘導精度の低い b グループのうち、被験者 B2 と B3 の 2 名に対して、2011 年 5 月 16 日に追加実験を行った。実験の手順は概ね前回同様であるが、前回実験時の横断特性や歩行動作の癖、各区分での可視光システムの受光動作に関する情報を与えることで、情報提供による誘導精度の向上を検証することとした。具体的には、音声情報の取得精度の違いを予め体験してもらうため、晴眼の状態を開始、中間、完了直前区間から各 3 地点の合計 9 地点で予めシステムによる音声情報の聞き取り方、聞こえ方を確かめてもらった。この時、音声情報を確かめながら歩行することを念押しした。また、2. (3) に示した 2 名の被験者の特徴的な歩行動作を意識して歩行するように促した。なお、本実験では一人あたりの横断回数を 10 回と設定した。

(2) 誘導精度に関する分析

前回実験と追加実験のシステムの誘導精度を比較するため、前回実験の最終 10 横断、追加実験の全横断について横断特性を集計した結果を表-5 に示す。ただし、横断時間、立ち止まり回数、歩道外回数は 1 横断あたりの平均値であり、また、横断不能状態、歩道外横断は各全横断に対する割合を示す。

横断時間では、追加実験は前回実験の最終 10 横断と比較して 3 秒程度減少している。立ち止まり回数は微減し、横断不能状態、歩道外横断ともに 0% となっており、歩道外にずれる回数も激減している。

表-5 実験別の横断特性比較

実験名 (横断数)	1横断あたり		
	横断時間(s)	立ち止まり回数(回)	歩道外(回)
前回実験(最終10横断)	47.89	7.70	0.28
追加実験(全10横断)	44.55	4.80	0.10
実験名(横断数)	横断不能状態(%)	歩道外横断(%)	
前回実験(最終10横断)	5	25	
追加実験(全10横断)	0	0	

以上から、前回実験時の横断特性や歩行動作の癖、各区分での可視光システムの受光動作に関する情報を与えることにより、一定のシステムの誘導精度向上を確かめることができた。

4. まとめ

本稿では、視覚障がい者横断支援システムの使用性について、擬似全盲者を想定した継続実験を行い、システムに対する慣れの過程を横断特性、歩行挙動の観点から分析した。その結果、本システムの繰り返し利用により、横断不能状態が減り、横断時間も減少することがわかった。また、開始付近で横断歩道幅員を超えると、横断時間や横断完了時の横方向変位が増加することなど横断に悪影響を与える要因が明らかとなった。さらに、被験者ごとの誘導精度に着目したクラスター分析を行い、被験者の類型化をし、各被験者群の横断特性について考察した。さらに、誘導精度の低いグループの被験者に対して追加実験を行い、前回実験時の横断特性や歩行動作の癖、各区分での可視光システムの受光動作に関する情報を与えることにより、システムの誘導精度が向上することを確認した。

今後は、上記の結果について視覚障がい者の方を対象とした検証実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 内閣府：障害者白書平成 22 年度版，p.5，pp129-130，pp151-152，2010.
- 2) 社団法人新交通管理システム協会，
<<http://www.utms.or.jp/index.html>>，(入手 2010 年 12 月)。
- 3) Koji SUZUKI, Motohiro FUJITA, Yasuhiko HAYASHI and Kazuyuki FUKUZONO: 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, ITS JAPAN, pp.37-45, 2007.
- 4) 鈴木弘司，藤田素弘，渡邊雄太，福園一幸：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, pp19-24, 2008.
- 5) 藤田素弘，鈴木弘司，横山裕章，渡邊雄太，福園一幸，視覚障がい者横断支援システムの誘導精度向上のための改良と実験評価，第 9 回 ITS シンポジウム 2010
PeerReview-Proceedings, pp43-48, 2010.