

可視光通信による視覚障がい者 歩行支援システムの挙動分析

横山 裕章¹・藤田 素弘²・鈴木 弘司³

¹学生非会員 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)
E-mail:ciq13575@stn.nitech.ac.jp

²正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:fujita.motohiro@nitech.ac.jp

³正会員 名古屋工業大学大学院准教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:suzuki.koji@nitech.ac.jp

視覚障がい者のための交差点横断支援システムとして可視光通信システムが開発されている。既存研究では目隠しをした晴眼者に対して、信号機や専用受光器に技術的な加工を施すことにより一定の効果がみられたが、実際の視覚障がい者に対しての効果はまだ確認されていない。それを検証すべく視覚障がい者を対象に歩行実験を行った結果、信号機や専用受光器に技術的な加工を施した状態で使用すると、信号灯器から比較的近い位置からの誘導の際に横断時間の短縮という効果を発揮することがわかった。今後の課題として、信号機から遠い距離での誘導における横断時間の短縮や受光性能の向上が挙げられる。

Key Words : *Traffic safety, Traffic surroundings, Measures for disadvantaged people of Transportation*

1. はじめに

視覚障がい者にとって大きな障壁の一つである交差点では、これまでに音響信号機や点字ブロック、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)の敷設などの取組が行われてきた。しかし、音響信号機には夜間使用に制限があることやエスコートゾーンには重交通量での早期性能劣化の問題などがあり、これらのシステムは利用者の横断支援に対するニーズに必ずしも合致しているとは言い切れない。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)が開発されている¹⁾。

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、横断タイミング等の音声案内情報を、スピーカーを通じて入手できる。本システムでは受光器のレンズ面が灯器の方向から逸れて信号機の光を受光できない時は雑音が聞こえ

ることから、利用者は情報を受信できている間は信号機の方向を理解できる。

先行研究^{2), 3)}より、信号機や受光器に技術的加工を施すことによつて、疑似全盲者(目隠しをした晴眼者)に対する本システムの有用性は概ね確認された。しかし、実際の視覚障がい者を対象にした検証は行われていない。そこで、本研究では技術的加工を施した本システムが実際の視覚障がい者に対してどの程度効果があるかを検証することを目的に、歩行実験を行いその結果を分析する。

2. 既存研究の結果

(1) 受光範囲

本システムの受光器(図-1)の受光範囲は図-2の扇形のようにになっている。この扇形は、受光器を信号機に対し正面の向きにした状態から左右に回転させることにより音声情報を聞き取ることができる領域を表している。扇形のうち音声が鮮明に聞こえる領域を「クリア領域」、受光レンズ面が信号機と正しく向き合わず雑音が混じる領域を「雑音領域」と定義し、「クリア領域」+「雑音領域」=「限界領域」とする。

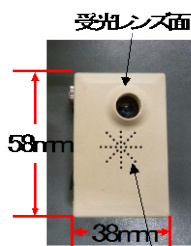


図-1 受光器 (星和電機製)



図-3 素材貼付時受光器

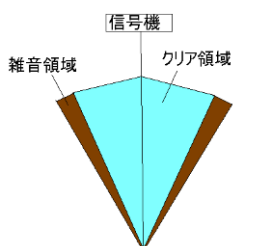


図-2 受光範囲

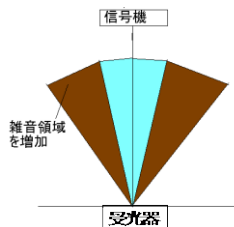


図-4 素材貼付時受光範囲

(2) 受光器加工

本受光器は、システム利用者が信号機からの光を受信しやすいように、クリア領域を広くし、雑音領域を狭くするように設計してある。その結果、受光器が信号機の方向を正しく向かず、ずれた方向を向いても音声鮮明に聞こえ、歩行者は方向がずれたまま進み、場合によっては横断歩道幅員を超える横断歩道外横断を発生させていた。特にシステムに不慣れた利用者では信号機の方向を正しく向かず大きくずれて歩く恐れがあると考えられる。

既存研究ではこの課題を解消するため、限界領域は減らさずクリア領域を狭めて雑音領域を増加させることを考えた。クリア領域を絞れば、信号機の正しい方向を精度良く見つけられるようになる。さらに、雑音領域（雑音はするが音声情報は聞こえる領域）を増加させることによって、受光器の方向が信号機に対し少しでもずれば雑音が聞こえるようになり、システム利用者は誤った方向を向いていることを早期に認識して修正できるようになる。その方法として、図-3のように受光レンズ前面に小円形の穴を開けたものを貼り付けるなどして、図-4のような受光範囲になる素材を検証した。その結果、中央に直径4mmの円を開けた「ポリプロピレン」という素材(図-5)を受光レンズ前面に貼り付けたもの(以下、「ポリプロピレン4mm」)が図-4に近い形の受光範囲になることがわかった。

そしてその効果を確かめるため晴眼者である名古屋工業大学学生8名を対象に、実際の横断歩道を構内で再現した実横断歩道(図-7)において歩行実験を行った。学生に目隠しをした状態で可視光通信を利用した幾つかのケースで横断歩道を横断してもらったところ、「ポリプロピレン4mm」のケースは歩行者を横断開始から横断完了まで、信号機に正しく向かいながら精度良く誘導



図-5 ポリプロピレン



図-6 反射鏡を貼りつけた底

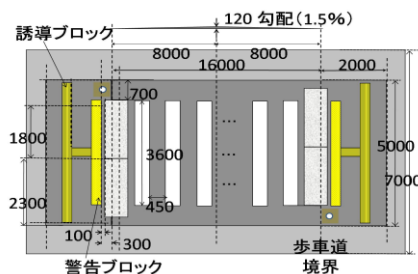


図-7 実横断歩道構造(単位: mm)

できることが示された。

(3) 底加工

別の課題として、歩行実験中の被験者(疑似全盲者)が横断完了直前の位置になると立ち止まってしまう現象がみられた。これは実験の際被験者は受光器を額の位置に装着しており、完了直前の位置に立つと受光器と信号機との仰角が大きくなり、正しく向かい合わず可視光を受光しづらくなったことが原因と考えられる。そこで既存研究では、信号機の底部分に反射鏡シートを貼り付けることにより(図-6)、信号機からの光を反射させ真下に落とし込むことで受光をしやすくした。その結果、疑似全盲者に対して横断完了直前での課題が改善された。

3. 視覚障がい者を対象とした歩行実験

(1) 実験概要

前章で述べた受光器加工、底加工の効果が実際の視覚障がい者に対してもあるかを確かめるため、歩行実験を行った。2010年7月、9月、11月にそれぞれ視覚障がい者を5名ずつ計15名を招き、彼らに受光器を取り付けたゴーグルを装着し、実横断歩道上で可視光通信を利用して横断歩道を往復してもらった。なお、被験者には事前に可視光通信システムの概要と受光器や受光範囲の詳細(クリア領域と雑音領域での音声情報の聞こえ方の違いを確認する等)を説明している。被験者は合計4または5往復しており、その往復毎のケースを表-1に示す。表中の「音響」は、可視光通信を利用せず音響信号機を頼りに歩行するというもので、被験者の歩き方の癖などを参考にするために歩行してもらった。「可視光のみ」「可視光のみ1回目」「可視光のみ2回目」は底や受光器に何も加工を施していない状態で可視光通信を利

表-1 歩行ケース

	1往復目	2往復目	3往復目	4往復目	5往復目
7月実験	音響	可視光のみ	庇加工	庇+受光器加工	音響
9月実験	可視光のみ1回目	庇加工	庇+受光器加工	可視光のみ2回目	音響
11月実験	可視光のみ1回目	庇加工	庇+受光器加工	可視光のみ2回目	音響

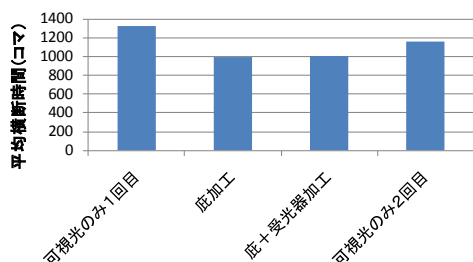


図-8 平均横断時間 (コマ)

表-2 平均横断時間 t 検定

可視光のみ1回目	庇加工	t値
1320	996	1.81
可視光のみ1回目	庇+受光器加工	
1320	999	1.72
可視光のみ1回目	可視光のみ2回目	
1320	1160	0.69
庇加工	庇+受光器加工	
996	999	-0.03
庇加工	可視光のみ2回目	
996	1160	-0.89
庇+受光器加工	可視光のみ2回目	
999	1160	-0.82

単位:コマ

用して歩行してもらおうというものである。「庇加工」は庇に反射鏡シートを貼り付けた状態で可視光通信を利用した歩行、「庇+受光器加工」は「庇加工」に加え受光器のレンズ面にポリプロピレン 4mm を貼り付けた状態で可視光通信を利用した歩行である。また、横断完了後にヒアリングによる使用感評価を行った。

なお、7月の実験では最初に「音響」により音の出る方向を認識しながら歩行したため被験者は信号機の大まかな位置をイメージできている。9月の実験では「音響」は最後に行ったため被験者は信号機の位置を全くイメージできていない。11月の実験でも「音響」は最後に行ったが、事前に被験者に信号機の位置を詳細に教えたため大まかなイメージはできている状態である。

(2) 全横断の分析結果

全被験者のデータより求めた平均横断時間の結果を図-8、表-2に示す。なお、30コマ=1秒となっている。結果より、「庇加工」と「庇+受光器加工」の平均横断時間が短くなっており、横断時間の短縮に効果があることがわかる。また、使用感評価のアンケート項目とその結果を表-3、図-9に示す。点数は5段階評価で低いほど評価が高くなっている。結果より、質問③において「庇+受光器加工」の平均点数が最も低いことがわかる。つまり、「庇+受光器加工」は横断完了直前での使用感評価

表-3 アンケート項目

音の方向を見つけるのは簡単だったか ①横断を始める前 ②横断途中 ③横断完了手前	1.非常に簡単
	2.やや簡単
	3.どちらともいえない
	4.やや難しい
	5.非常に難しい

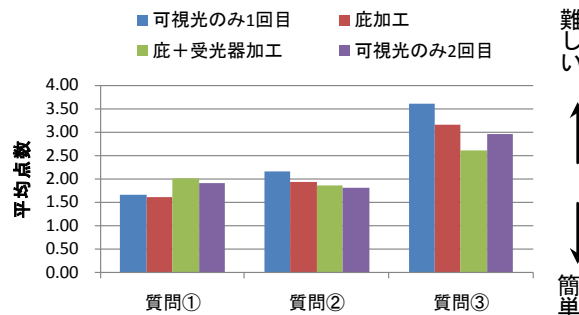


図-9 アンケート結果

の改善に効果があるといえる。

(3) 中間地点以降横断の所要時間の分析結果

「庇+受光器加工」は横断完了直前での評価が高いものの横断を始めるときの評価は低い。これは受光器加工では受光器の開口部を絞ることになり、信号機から遠い横断開始地点付近では受光性能が落ち雑音が多くなってしまふからである。そこで信号機から近い地点である横断中間地点から横断完了地点までの受光性能を比較するために、中間地点から完了地点までの横断時間の平均を求めた。その結果を図-10、表-4に示す。結果より、「庇+受光器加工」での平均横断時間が最も短く、「可視光のみ1回目」、「庇加工」と比べてそれぞれ差があるといえることがわかった。よって、受光器加工をすることは受光性能が確保されている中間地点から横断完了手前までの横断時間の短縮に繋がるといえるため、受光器加工では受光性能の向上が可能といえる。

4. 重回帰モデル

(1) 全横断の重回帰モデル

横断時間に影響を与える要因を探るため、全横断時間を目的変数に重回帰分析を行った。使用した変数と、その分析結果をそれぞれ表-5、表-6に示す。結果より、帽子を着用、音の方向を探す際に顔が下を向く、音を探す際に首を振る速さが速い、9月の実験、照度（歩行時

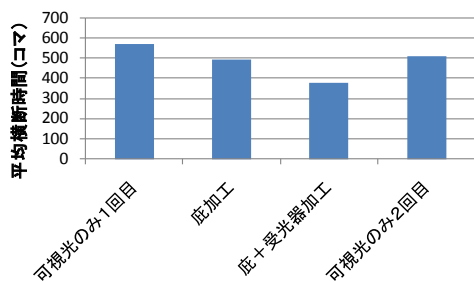


図-10 平均横断時間 (コマ)

表-4 平均横断時間 t 検定

可視光のみ1回目	庇加工	t値
572	495	0.81
可視光のみ1回目	庇+受光器加工	
572	377	2.37
可視光のみ1回目	可視光のみ2回目	
572	507	0.50
庇加工	庇+受光器加工	
495	377	2.03
庇加工	可視光のみ2回目	
495	507	-0.11
庇+受光器加工	可視光のみ2回目	
377	507	-1.50

単位: コマ

の周囲の明るさ) が大きい項目に当てはまるほど横断時間が増加するといえる。逆に横断完了直前に足や白杖で歩車道境界の段差を確認する, 歩行順番 (回数) が大きい, 庇を加工している, 視覚障がい発症後の年数が長い項目に当てはまるほど横断時間が減少するといえる。これらの結果から, 信号機の位置把握 (9 月実験) や照度・発症後の年数だけでなく, 利用者の歩行挙動やシステムの使い方も横断時間に大きく影響することがわかった。よって, 利用者の本システムの使い方を改善することが横断時間の短縮に繋がるといえる。

(2) 中間地点以降横断の重回帰モデル

3(3)で述べた中間地点以降での横断時間を目的変数にした重回帰分析の結果を表-7 に示す。結果より, 変数は減ったものの全データの場合と同様の結果となった。あまり有意な変数ではなかったがポリプロピレン 4mm を使うことで横断時間が減少することがわかった。よって重回帰モデルからも, 受光器加工は受光器性能が確保できる範囲での誘導に効果を発揮することがわかる。

5. おわりに

本研究では, 技術的加工を施した可視光通信システムの有用性を実際の視覚障がい者に対して検証した。得られた知見として, 庇加工, 受光器加工はともに横断時間を短縮する効果があることがわかった。また, 利用者の歩行挙動が横断時間に影響を与えることもわかった。

表-5 重回帰分析使用変数

目的変数	全横断時間	横断開始から完了までの所要時間(コマ)
説明変数	上向き	信号機の方向を探すときに上を向いたか(ダミー変数)
	下向き	信号機の方向を探すときに下を向いたか(ダミー変数)
	白杖段差確認	白杖を利用して段差を確認したか(ダミー変数)
	足段差確認	足で段差を確認したか(ダミー変数)
	首振り速さ	首を振る速さ(0=全く振らない, 1=ゆっくり振る, 2=素早く振る)
	帽子の有無	(ダミー変数)
	歩行順番	何回目(何ケース目)の歩行か(1~4)
	行き	(ダミー変数)
	照度	lux
	ポリの有無	(ダミー変数)
	庇加工の有無	(ダミー変数)
	レンズ面高さ	cm
	信号機位置認識	(ダミー変数)
	7月実験	(ダミー変数)
	9月実験	(ダミー変数)
	発症後年数	年数

表-6 重回帰モデル (全横断時間)

R	R2 乗		
0.786	0.618		
	標準化係数	t	有意確率
帽子の有無	0.20	2.38	0.02
下向き	0.24	3.49	0.00
足段差確認	-0.38	-5.11	0.00
首振り速さ	0.23	2.85	0.01
歩行順番	-0.07	-1.02	0.31
庇加工の有無	-0.09	-1.32	0.19
9月実験	0.19	1.77	0.08
発症後	-0.09	-1.05	0.30
照度	0.07	0.97	0.33
白杖段差確認	-0.04	-0.57	0.57

表-7 重回帰モデル (中間地点以降横断時間)

R	R2 乗		
0.592	0.350		
	標準化係数	t値	有意確率
帽子の有無	0.29	3.37	0.00
足段差確認	-0.24	-2.71	0.01
首振り速さ	0.39	4.39	0.00
ポリの有無	-0.11	-1.29	0.20

そのため利用者に素早く横断してもらうには, 音を探す際に首をゆっくり動かす, 歩車道境界の段差を足や杖で確認する癖をつけるなど, 本システムの効果的な使い方の練習を事前にしてもらうことが必要であるといえる。課題として, 受光器加工は遠い距離では受光性能が落ち使用感評価が下がることがわかったため, この受光性能を改善するさらなる方策を検証する必要があるといえる。

参考文献

- 1) SUZUKI,K,FUJITA,M,HAYASHI,Y,andFUKUZONO,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
- 2) 藤田素弘, 鈴木弘司, 横山裕章, 渡邊雄太, 福菌一幸, 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 IITS シンポジウム 2010 Peer-Review Proceedings, 査読有 2010, 43-48
- 3) 横山裕章, 藤田素弘, 鈴木弘司, 可視光通信を用いた視覚障がい者歩行支援システムの受光特性の改良評価, 第42回土木計画学研究講演会, 2010, 4ページ (CD-ROM)