

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20560489

研究課題名(和文) 視覚障害者の歩行時動作解析と外部からの光通信技術による歩行誘導に関する研究

研究課題名(英文) Walking movement analysis for visually disabled and evaluation of the guidance system using visible light communication technology

研究代表者

藤田素弘 (FUJITA MOTOHIRO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90229013

研究成果の概要(和文)：200字

本研究では、白杖歩行する視覚障害者を、主に可視光通信によって誘導支援することを可能にするための基礎データの蓄積と解析を行い、よって歩行誘導システムの開発を進めることを目的として行った。本研究では、視覚障害者の誘導ニーズ調査からはじめ、交差点横断歩道の誘導支援における視覚障害者の歩行挙動分析といくつかのシステム改善策の提案、屋内歩行実験として地下鉄構内の支援システムの構築と評価を行い、多くの知見を得た。

研究成果の概要(英文)：

In this paper, we developed and evaluated the visible light communication (VLC) systems for the visually disabled persons' movement assist at signalized intersection or at subway concourse by using the result of many surveys. First, it is found that the guidance accuracy was advanced by improvements on the eaves of traffic light, VLC receiver and practice method for users through behavior analysis on subjects. Second, it was developed and analyzed on new VLC system for the visually disabled persons' movement support at subway concourse.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学 交通工学

キーワード：交通工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 視覚障がい者に対する歩行支援には、点字誘導ブロックの敷設など現在さまざまな方法が提案されている。しかし重要な施設では必ずしも十分な誘導がなされていなかったり、また、横断歩道での音響信号機は深夜では音がでないことや大きな交差点では聞き取りにくいなど問題点が指摘されている。

(2) 一方これを補完するものとして、外部発光器からの光通信技術による視覚障がい者への歩行誘導システムは、既に可視光や、近赤外線によるものが提案されているものの、視覚障害者本人の受光端末による受光動作特性と、白杖歩行動作特性の関係を十分に把握できているとは言えず、本研究グループの既存実験による分析からは、ただ単にこの構成のシス

テムを与えたとしても、安全に歩行・横断できるシステムには必ずしもならないことが分かってきた。

(3) この歩行支援システムを機能させるには、十分な訓練を行うか、視覚障害者の受光・歩行動作特性を十分なデータを取って、分析をした上で適格な動作を容易に実現させるシステムデザインを工夫する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 信号交差点の実横断歩道上(実際の段差等を含む)での移動と、平坦な屋内歩道上での移動について十分な実証実験と意識調査を行い、視覚障害者の歩行能力の違い、白杖利用で単独歩行の場合と通信光(可視光)による歩行誘導をした場合などの違いなどの視点において、様々な歩行動作解析より視覚障害者の個人特性及び歩行動作全体に対する理解と支援を考える上での基礎データを蓄積する。

(2) 移動目標地点から出される可視光による歩行誘導技術について、これらの動作解析結果から、正しい方向に、効率的に、移動支援するには、どのような受光端末等の歩行誘導システムのデザインが必要かをそれぞれの実験条件において明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 視覚障がい者の移動と誘導ニーズ調査
- (2) 信号交差点横断歩道の断面形状や受光器設置位置の違いと可視光通信誘導性能比較
- (3) 信号機直下の通信性向上のための底加工
- (4) 誘導性能向上のための受光器改良
- (5) 信号機底と受光器改良後の横断誘導実験
- (6) 繰り返し歩行による利用可能性の検討
- (7) 地下鉄構内の可視光通信誘導実験と評価

4. 研究成果

(1) 視覚障がい者の移動と誘導ニーズ調査
視覚障害者の屋内・屋外歩行時における移動動態と可視光通信誘導のニーズ調査を行った。まず、屋外歩行では信号交差点部での横断支援ニーズが高く、その横断歩道での誘導ニーズとしては大きいものから順に、①信号機の有無情報、②信号機の色情報、③信号機の横断開始タイミングやまっすぐ歩ける誘導支援情報に対するニーズが特に音響信号機がない交差点で高いことが分かった。

次に横断歩道以外のところでの日常生活における移動を中心とする困難さを全盲の方10名にヒヤリングで聞いた結果が表-1のようになった。結果では、「自宅」では困難と感じていることが少なかったので表には掲げていない。一方で、バス利用、鉄道利用ともに「空

表-1 視覚障がい者の誘導ニーズ

移動が困難な項目		回答割合
利 バ 用 ス	空席の場所がわからない	80%
	時刻表がわからない	70%
	行き先がわからない	10%
鉄 道 利 用	線路への転落がこわい	90%
	改札の進入路がわからない	20%
	駅のトイレの場所がわからない	30%
	空席の場所がわからない	90%
	券売機の位置がわからない	20%
そ の 他 の 施 設	初めて行く建物の入り口がわからない	100%
	地下街、地下鉄の出口がわからない	50%
	エスカレーターの昇降位置がわからない	40%
	エレベーターの昇降位置がわからない	20%
	階段の昇降位置がわからない	20%
買い物際に商品が判別できない	70%	
非常口の位置がわからない	40%	

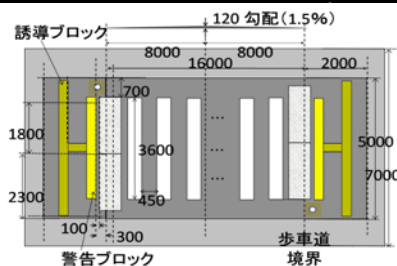


図-1 実横断歩道構造(単位: mm)

席の場所が分からない」、鉄道利用の「線路への転落がこわい」、その他施設の「初めて行く施設の入りがわからない」の3項目は8割以上の方が困難さを回答した。また、自由回答で特に多かった回答として、地下鉄構内で目的地の出口への上り階段がどこにあるのかわからないという意見が多く言われた。以上の内容より、本研究では、可視光通信システムを利用した、信号交差点における横断歩道支援研究と地下鉄構内における出口までの誘導システムの構築を軸として動作挙動解析とシステムデザイン研究を行うこととした。

(2) 信号交差点横断歩道の断面形状や受光器設置位置の違いと可視光通信誘導性能比較

平坦な場所での模擬横断歩道と、横断勾配や歩車道境界を再現した実横断歩道(可視光通信可能な歩行者信号器を東西それぞれ1基設置した学内実験施設:図-1)において、歩行実験を行い、可視光通信による視覚障がい者の横断支援システムの性能評価を行った。ここでは受光器を帽子、腰ベルト、白杖のそれぞれに取り付ける設置位置(図-2)の違いで



図-2(左)帽子型 (中)腰取付型 (右)白杖取付型

も比較した。利用意識調査より、ベルト取付型よりも帽子型受光器の方が、より横断が容易であることがわかった。観測調査より、模擬横断歩道では横断完了直前で横断不能となるケースが多くみられたが、実横断歩道上ではその問題がかなり解消することがわかった。すなわち、横断勾配や歩車道境界の段差の存在によって、被験者は足や白杖から得られる情報で横断完了間近であることを理解できたため、本システムでの横断完了手前での通信困難状況が回避できたといえる。

しかしながら、実横断歩道実験においても、被験者によっては横断歩道の幅員を超える横方向変位もあり、軌道修正できないまま歩き続けるケースが見られ、また、横断完了直前の立ち止まり回数の多さについても課題として残された。これらの解決には、信号機直下の受光困難領域の解消や受光器の受光範囲の改良および歩行練習による方法などが考えられ、歩行実験と挙動分析を通じて以下に研究を進めた。

(3) 信号機直下の通信性向上のための底加工

前節での信号機直下での受光困難領域が存在する問題に対して、歩行者信号器の底部分に反射材を貼付して信号機の可視光を下方方向に反射させる改良を考案し(図-3参照)これが有効であるかどうか検討する。

ここでは図-1の実横断歩道で実験を行うが、歩行者信号灯の信号機下端までの地上高は2.6mである。この研究以降の実験では、研究(2)で最も使用感のよかった頭部(ゴーグル(地上高:1.75m)への受光器装着を考えるものとする。さて信号機の底加工としては表-2のように、(a)反射材無の状態と(b)信号機底部分全面に反射材を貼付した場合、および、右側反射材を底面に対して(c)10°傾斜、(d)20°傾斜、(e)20°傾斜させて貼付したものを工夫した。

表で受光困難領域とは、横断歩道上で信号機からの可視光を受光できない領域の面積を求めたものである。また、領域減少率とは反射材無のケースを基準とした受光困難領域の減少率を示す。また、横断歩道左端での受光距離(図-4)とは、信号機から最も遠い横断歩道左端における横断完了地点から音声情報を聞き取れる地点までの距離を示す。

これより、反射材を貼付することで、横断完了直前の受光困難領域が減少していることがわかり、同改良による受光困難領域の縮小効果が明らかになった。さらに底右側の反射材に傾斜をつけると、受光困難領域はほとんどなくすることができることが分かった。よって反射材を信号機底部分に貼付すること

表-2 貼付位置別受光困難領域

結果 実験条件	受光 困難 領域 [m ²]	領域 減少 割合 [%]	横断歩道 左端での 受光距離 Y[m]
(a)反射材無	1.75	—	2.25
(b)反射材有	1.13	35.4	1.05
(c)底右側反射材を 10°傾斜	0.35	80.0	0.50
(d)20°傾斜	0.05	97.1	0.00
(e)20°傾斜・下貼付	0.11	93.7	0.30



図-4 白杖とつま先との距離



図-3 信号機底への反射材貼付(ケース(e))



図-6 素材貼付時受光器

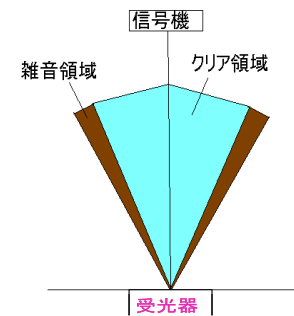


図-5 受光器の受光範囲

は、受光困難領域の解消に有効であるといえる。

(4) 誘導性能向上のための受光器の可聴領域の改良

本システムの受光器では、図-5に示すように、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たときに、音声情報を聞き取ることができる領域が扇形になっており、受光レンズ面が信号機と正しく向き合わないときに雑音が増加する。扇形のうち音声が綺麗に聞こえる領域を「クリア領域」、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」とすると、これまでの実験に使用した受光器では、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いた。その結果、受光器が信号機の方を正しく向かず、ずれた方向でも音声が綺麗に聞こえ、歩行者はずれた方向のまま進んでしまうため、進行方向に対する横方向変位が大きくなってしまいう状況が時々生じており、結果として、

場合によっては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な利用者では横方向変位が大きくなる恐れがあると考えられる。

この課題を解消するため、図-6のように受光レンズ面前面に半透明貼付素材に小円形の穴を開けるなどしてクリア領域を絞り、信号機の正しい方向を精度良く見つけられるようにすることを考えた。一方で雑音領域（雑音はするが音声情報は聞こえる領域）も狭めてしまうと受光器を動かして信号機を探し出すことが困難になる。よって、限界領域は減らさずにクリア領域を狭めて雑音領域を増加させることができれば、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。

この改良に使用する貼付素材は、黒色テープ、偏光板、ポリプロピレン、反射鏡シートである。反射鏡シート以外はクリア領域を確保するために全て直径 4、6、8mm の円の穴をそれぞれ開けており、図-6のようにレンズ面上から被せるように貼付する。反射鏡シートは限界領域を減らさないためのものに面に被せるのではなくレンズ面周りにある筒状の側面に沿って貼付する。

この改良受光器を使った受光領域調査より、ポリプロピレンと反射鏡はともに「雑音領域を減らすことなくクリア領域を変化させる」という貼付素材であることがわかった。

次に、受光器改良の効果をみるために、被験者（アイマスク健常者 3 名）に受光器を取り付けたゴーグルを装着して貰い、実横断歩道上で可視光通信システム（信号機底部分の改良はなし）による誘導を行い、素材毎に横断歩道を 1 往復してもらった。実験時に得られた映像を解析することにより、横断完了地点と信号灯器との横方向距離を求め、素材毎に全被験者の平均値を求めた。これより、サンプル数が限られるものの、クリア領域を狭めることができた「ポリプロピレン 4mm」で横方向変位が有意に小さく、システムにより誘導する効果が比較的高いことがわかった。

(5) 信号機底と受光器改良後の横断誘導実験

上記の研究でおこなった改善である、信号機の底加工と受光器加工を検証するための歩行実験を、(a)2010年7月21日、(b)9月13日、(c)11月4日において名古屋工業大学構内（実横断歩道）で行った。

被験者は各実験日で5名ずつ、計15名の視覚障がい者（ほぼ全盲のかた）である。実

験は、底と受光器の改良をせずに可視光通信システムを用いるケース（可視光のみ）、信号機の底に反射材を貼り付けた改良ケース（底加工）、底と受光器改良（直径4mmの穴を開けたポリプロピレンを受光器に貼り付け）を行うケース（底+受光器加工）および最後に再度、可視光のみの横断をするケースの順番に、白杖を持った状態で横断歩道を各1往復移動してもらった。

実験結果より、各ケースごとに被験者全員の横断時間の平均値を求めた結果、可視光のみ1回目（44秒）、底加工（32秒）、底+受光器加工（33秒）、可視光のみ2回目（39秒）となり、底加工と、底+受光器加工が短くなっている。

横断時間を被説明変数として重回帰分析を行った結果を表-3に示す。

表-3 横断時間と歩行動作挙動との関係分析

	標準化係数	t	有意確率
(定数)		5.94	0.00
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
底加工の有無	-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

変数には必ずしも有意でない変数も含んでいるが、係数の符号関係が重共線性の影響を受けていない範囲で残してある。分析結果より、横断時間を短くする挙動や環境としては、可視光の受光の邪魔になりやすい帽子を被っていないこと、下向きに歩いていないこと、横断完了直前に可視光だけでなく足で段差を確認していること、受光するときの首振りが速くないこと、歩行の順番が遅いこと、信号灯器の底の加工があること、信号機位置の事前説明があること（9月実験）、視覚障がいの発症後の時間が長いこと、照度が高くないことなどが挙げられる。これらの動作を改善していくことや底加工をすることは横断をスムーズにすることになるといえる。

一方、受光器加工は、有意な変数とはならなかった。これは受光器加工をすると中間地点から横断完了地点までは有利に働くが（中間地点以降の横断時間は受光器加工が最もよい結果を示した）、信号機から遠い地点の横断開始地点付近では受光器加工で受光器の開口部を絞ることから受光性能が落ちて雑音が多くなるという欠点が出たことによるため、今後受光性能をさらに改善できれば誘導性の向上も目指せることが分かる。

(6) 繰り返し歩行による利用可能性の検討

ここでは、繰返し横断歩行による被験者の慣れによってどの程度までシステムの利用性が向上するか検討した。研究(5)の実験設備(信号機改良は底部分のみ)を用い、同一被験者に対して15往復程度可視光システムを利用して往復してもらい継続実験を行った。被験者は、後天性の疑似全盲者を想定して、アイマスク健常者18名であり、2010年6月25日から11月12日にかけて実験を行った。実験としては可視光システムとともに音響信号機、システム支援なし(白杖のみ)の3種類の実験を行い、性能比較をしている。

① 後天性の疑似全盲者を想定した実験結果

まず横断途中で迷ってしまい最後まで横断完了できなかった割合は、白杖のみの場合(7.0%)に対し、音響信号機(0件)で可視光(0.7%)となった。

被験者の平均横断時間を図-7に示す。3本の折線のうち、最上段の線は特に横断時間が長かった2名の平均値であり、下段の線は最も横断時間の短かった人(4名)の平均値であり、中段の折線は、それら6名を除いた平均横断時間である。中段の平均的な横断時間をみると、1-2往復(4回)程度の横断で大きく横断時間が下がり、4往復(8回目)くらいで、横断時間が40-30秒程度と、2車線道路(16m)の横断としては問題ない時間に収束している。また下段の折線のように、30-20秒とかなり速く歩くことができる人もいる。しかしながら、上段の折線のように何度繰り返してもときどき長い間立ち止まったり、コースから外れてしまう人も数名存在した。システム設計上はこのような被験者をなくすことが必要である。

② 誘導精度に与える要因と事前説明実験

映像による動作分析によって誘導精度には横断開始直後や完了付近の方向や動作が重要であることが分かったため、特に横断時間が長かった被験者1名(図-7中の1名)に対して、受光動作、情報取得方法における本人の癖等の指摘と指導をおこない、これによって誘導精度が向上するどうかを検証した(追加実験5往復)。この結果、横断時間、立ち止まり回数、横断不能状態回数、歩道外横断回数を本実験の結果と比較すると、いずれも改善し、誘導精度の向上が確認できた。よって、殆ど白杖歩行の経験がなかったアイマスク健常者においても、歩行の癖を適正に指導することで誘導精度を向上させることができることがわかった。

③ 継続実験におけるシステム使用感評価

本実験時に可視光システムと音響信号機の使用感について、使いやすさと安心感の評価をした。その結果、いずれも音響に対して可視光の方が簡単、安心と回答した人が多か

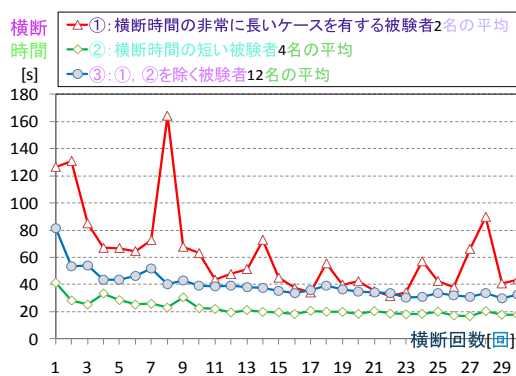


図-7 繰り返し回数と横断時間の関係

った。実験対象とした疑似全盲者の平均的な人にとっては可視光誘導システムの方が情報があり安心感があるようだが、一部の方には使いこなすことが難しくなっていることから、特に癖のある方にも使いやすいシステムとなるように事前の練習方法も考えることが有効であることがわかった。

(7) 地下鉄構内の可視光通信誘導実験と評価

研究(1)で行われたニーズ調査より、自宅内の屋内移動の誘導ニーズは低いが、地下鉄構内における分岐点や出口方向に対する光通信誘導ニーズは高いことがわかった。よって地下鉄構内の誘導に絞って、屋内での可視光通信システムの開発と実験を行った。

ここでは、地下鉄構内での可視光通信誘導実験として2つのタイプを考えた。一つは図-8のように誘導ブロックの分岐点において、被験者の前方においたポールの先に取り付けた光源から斜め下方の被験者がもつ受光器へ、分岐情報(左は4番出口、右は5番出口、直進は6、7番出口方面ですなど)を同時に得られる「分岐点」情報タイプであり、他の一つは、分岐点にいる被験者が実際に出口の方向に受光器を向けたときに向けた方向のみの出口情報(こちらは3番出口ですなど)が得られる「出口」情報タイプである。この2種類の情報提供について幾度も部分的な予備実験と改善を行ったのち2011年1月20日に地下鉄駅構内全体を使って視覚障がい者3名の歩行実験を行った。

実験を行った地下鉄構内地図を図-9に示す。本実験では、一人4回、改札口前の点字案内板から各目的の出口まで歩行をしてもら



図-8 実験の風景

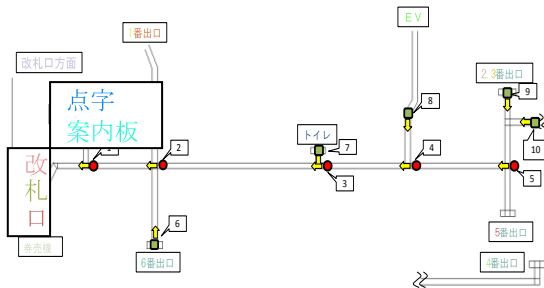


図-9 可視光通信誘導実験を行った地下鉄構内

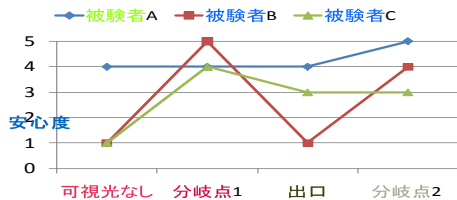


図-10 歩行の安心度

った。1 回目は点字案内板だけを使用（可視光なし）、2 回目は各分岐点で分岐点情報を与える（分岐点 1）、3 回目は出口から分岐点に向けて出口情報を与える（出口）、4 回目は 2 回目と同条件で分岐点情報を与える（分岐点 2）を行った。4 回の歩行での目的出口は異なり初めて歩くことを想定している。

実験結果より、実験全体における被験者の歩行の安心度を聞いた結果を図-10 に示す。結果より、「可視光なし」と「分岐点 2」を比較すると、被験者全員の評価が上がっている。しかし、被験者や実験条件によって評価は異なる。被験者 A は点字案内板だけでもかなり迅速に移動が可能であったため、可視光なしと有りとの差はないが、最も距離の長い分岐点 2 では情報があることで安心度が高い。被験者 B は分岐点情報の評価は高いが出口では低い。これは被験者 B が途中で経路を間違えて次の情報を聞いて引き返したためである。逆に被験者 C は分岐点 1 の評価が高いが、これは分岐点で確実に全方向が取れる方法のほうがよいとしているためである。

これらの歩行実験から、本システムを使用すると被験者の歩行性を向上させたり、また歩行の安心度を上昇させたりできる結果になった。よって本システムは視覚障がい者に対して一定の効果があると考えられる。しかし、「出口」情報のみでは分岐点を見逃してしまい道順を間違えることがあり、「分岐点」情報のみでは 3 方向の情報一度に得るため、立ち止まる時間が長くなるという問題点がある。これを解決するには出口と分岐点情報を両方一度に与えるということが考えられる。その他、実験結果に影響を及ぼす要因として、本システムに対する慣れ、分岐点上周辺での可視光の受光範囲、受光性能、被験者

の歩行能力や点字案内板での道順の記憶力が挙げられる。特に初めての場所では出口と分岐点情報を同時に得られる方が点字案内板を読み取る時間を節約できたり、安心であるという意見も多くあるので、今後も改善を繰り返してより効果的なシステムにしてい

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

①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 ITS シンポジウム 2010 PeerReview-Proceedings, 査読有 2010, 43-48.

②Koji Suzuki, Motohiro Fujita, Yuta Watanabe and Kazuyuki Fukuzono, Performance Evaluation of a Crossing-Assistance System for Visually Disabled Persons at Intersections Considering Actual Road Structure, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Volume 8, Number 1, 査読有 2010,26-35.

③鈴木弘司, 藤田素弘, 渡邊雄太, 福菌一幸, 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, 査読有 2008, 19-24.

〔学会発表〕（計 4 件）

①後藤良輔, 藤田素弘, 鈴木弘司, 地下鉄コンコースにおける視覚障がい者への分岐情報支援に関する研究, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, 2011 年 3 月 4 日, 303-304.

②松浦一真, 鈴木弘司, 藤田素弘, 視覚障がい者横断支援システムの使用性向上プロセスに関する研究, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, 2011 年 3 月 4 日, 325-326.

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 年 11 月 23 日, 4 ページ (CD-ROM).

④鈴木弘司, 渡邊雄太, 福菌一幸, 藤田素弘, 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, 第 39 回土木計画学研究 研究発表会, 2009 年 6 月 13 日, 4 ページ (CD-ROM).

〔その他〕

ホームページ:

<http://doboku2.ace.nitech.ac.jp/keik/kotsu/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤田素弘 (FUJITA MOTOHIRO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90229013

(2)研究分担者

鈴木弘司 (SUZUKI KOJI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 30362320