

LED照明を用いた誘導システムの活用に関する研究(その2)

Study on Exploitation of Guidance Systems Using LED Lighting Part 2

柳原崇男 北川博巳 大森清博 北山一郎

YANAGIHARA Takao, KITAGAWA Hiroshi, OMORI Kiyohiro, KITAYAMA Ichiro

松本泰幸 (小糸工業 株)

MATSUMOTO Yasuyuki

キーワード:

ロービジョン、誘導システム、LED

Keywords:

Low vision, Guidance systems, LED lighting

Abstract:

Many of people with low vision has walking disability at night in the road environment. In this study, it is proposed the leading system using the marking system by LED (Light Emitting Diode) as a method under low illumination at night for people with low vision. The guidance method makes a bright mark to a road side by the LED lighting installed in the pole. It is installed in a actual sidewalk by using of this LED guidance mark and it is verified the validity of this guiding system. Consequently, it is able to become clear that the LED guidance mark is equipment which offers a safe walking environment at night, and it is able to valid in actual sidewalk.

1 はじめに

現在、わが国の全人口を占める65歳以上の高齢者の割合は、1970年に初めて7%を超え、高齢化した国となった。今後この高齢化比率は、急速に進展し、2025年には人口の28.7%が65歳以上の高齢者となり超高齢社会が形成されるものと予想されている。厚生労働省の調査によると、身体障害者手帳を交付された視覚障害者は、全国で約30万人である¹⁾。障害者手帳の所持に関わらず視覚的に日常生活に困難がある人(ロービジョン者)はさらに多く、日本眼科医学会は日本には100万人のロービジョン者がいる

と推定している²⁾。ロービジョンの原因となる視覚機能の低下や疾患は、一般的に加齢に伴って増加し、人口の高齢化がロービジョン者の数を押し上げる可能性がある。一方、視覚障害は全盲のイメージが強く、そのためロービジョン者に配慮した歩行環境整備はこれからの課題である。

視覚障害者の移動問題を考える上では、全盲者を例にすると、先天盲と後天盲では空間認知の把握方法が違っており、移動に関する感覚特性が違っている。また、ロービジョン者は原因疾患によって視野欠損(中心か周辺によっても違う)、コントラストの感度、明暗による違いなど様々な「見え方」が存在し、医学的・人間工学的な要素からの検討も必要である。また、視覚障害者リハビリテーション分野において、歩行に必要な要素として、「オリエンテーション(定位)」と「モビリティ(移動)」が重要であるともいわれており、多様な特性を配慮した環境整備が必要となる。

そのため、視覚障害者のための歩行支援を有効かつ効果的に整備するためには、視覚障害者の感覚特性(視覚、嗅覚、聴覚、触覚、味覚など)と歩行時の困難さについて、その多様性を把握した上で整備する必要がある。とりわけ、残存視覚を有するロービジョン者はその視覚機能がどの程度使えるかによって、歩行に影響もある。

視覚障害者のための代表的なバリアフリー整備として、視覚障害者誘導用ブロック、音響信号機などがある。さらに近年はIT技術やエレクトロニクス技術を用いた歩行支援・誘導システム開発が進められている段階である³⁾⁴⁾。しかし、夜間には誘導用ブロックは認知しづらく、音声を用いた案内は周囲の家屋への影響などから夜間には停止されている場合もある。当研究所の研究⁵⁾によると、ロービジョン者は晴眼者に比べ暗いところへの対応が苦手であり、

夜間の外出頻度は昼間に比べ約6割減少し、昼間一人で出歩くことが出来る人でも、夜間になるとその約4割程度の人しか一人で出歩くことはできない。つまり、夜間の道路はロービジョン者にとって歩行しづらい環境となっている。これに対処すべくロービジョン者を対象とした色・照明環境に関する研究⁶⁾も実施されている。また、近年では、夜間の誘導用ブロックの視認性を高めるために、LED内蔵誘導用ブロックが研究開発されている^{7) 8) 9)}。LEDは電球に比べ、丈夫で故障しにくく長寿命であり、近年の開発により高い輝度を得ることできるという特徴があるが、LED内蔵誘導用ブロックは、路面に埋め込まれているため、設置や故障時の取替え等に問題があり、普及に向けては課題が多い。

当研究所では、ロービジョン者の夜間歩行を支援するために、小糸工業株式会社と共同で、平成14年から夜間の低い照度下でもロービジョン者が歩きやすくなる方法として、路面からの発光するのではなく、電柱等に取り付けたLED照射装置から光を照射し、道路面に連続したマークを用いた誘導方法を提案してきた¹⁰⁾。そして、平成19年2月に兵庫県東播磨県民局県土整備明石土木事務所の協力を得て、県道明石宝塚線歩道にて、LED照明を用いた誘導システムの実証実験を実施した。そこで、本研究の目的はこのLED照明を用いた夜間歩行支援システムの効果や課題を明らかにすることである。

2 本研究で提案するロービジョン者の夜間誘導方法の概要

本研究で提案するLED誘導マークを用いたロービジョン者の夜間歩行誘導方法は、路面からの発光するのではなく、LED照明を既設の電柱等に添設し、道路面に照射し、道路面に連続したマークを作り出し、これを用いて誘導するものである(図1)。照射装置に用いるレンズ一体型LEDは、鋭角なビーム発光と高い輝度を有し、明るいマークを作り出すことができる。

この誘導方法は、既設の電柱等に添設するため、地中工事もなく、配線工事も低額で済み、維持管理の問題も少ないという利点がある。また、照射装置に用いるレンズ一体型LEDは鋭角なビーム発光を有するため、周囲への光の漏れも少なく、家屋への影響も少ない。

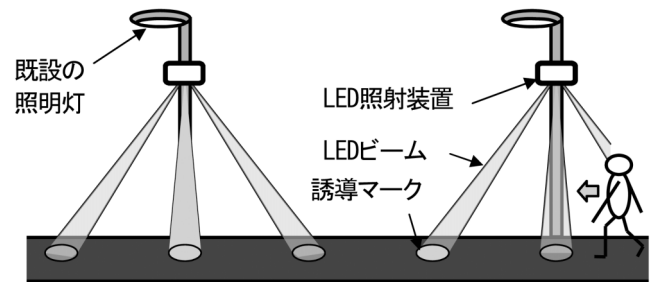


図1 提案する誘導方法
Fig.1 The proposed guidance system

3 実証実験の概要

3.1 実験概要

実証実験は平成19年3月から兵庫県道明石宝塚線歩道にて実施した。概要は以下の通りである。

- ・調査日：平成19年3月～6月の13日間
- ・場所：県道明石宝塚線歩道、設置区間120m
- ・対象者：ロービジョン者21名（男性：15名、女性6名）
- ・誘導装置：LED誘導マーク(図2、3)、埋め込み型LED(図4、5)

本実験では、上記で提案しているLED誘導マークに加え、市販の地面に埋め込むタイプのLEDも併設し、実験を行った。



図1 LED誘導マークのポール
Fig.2 The pole of an LED guidance mark



図3 LED誘導マーク（夜間）
Fig.3 The LED guidance mark (Night)



図4 埋め込み型LED
Fig.4 Embedding type LED



図5 埋め込み型LED（夜間）
Fig.5 Embedding type LED (Night)

3.2 実験方法

実験方法は以下の手順で、LED誘導マーク、埋め込み型LED設置区間において、それぞれの歩行速度、発話データ、有効性等に関するアンケート調査を実施した。実験条件としては、薄暮時（平均水平照度36.87～84.23lx）、夜間（平均水平照度：3.9～10.7lx）の2条件で実験を実施した。また、LED誘導マーク、埋め込み型LEDの有効性を把握するために、誘導システムが設置されていない区間（以下：LEDなし）も歩行してもらった。これらLED誘導マーク、埋め込み型LED設置区間およびLEDなし区間は、県道明石宝塚線歩道の同一步道上にある。以下に、評価方法を示す。

1. 20m区間の歩行（夜間のみ）

LEDなし、LED誘導マーク、埋め込み型LEDの3コースを各2回歩行してもらい、歩行時間、偏軌距離の測定

ここで、偏軌距離とは歩行開始位置と歩行完了位置の差を数値（距離）により表したものである。歩行開始位置を0としている。つまり、偏軌距離は歩行の直線性を示し、偏軌距離が小さいほど直線歩行をしていることになる。

2. 薄暮時、夜間における視認距離、視認時間の測定

3. 薄暮時、夜間におけるLED誘導マーク、埋め込み型LED、LEDなし区間（夜間のみ）の歩きやすさ等に関するアンケート調査

4. 薄暮時、夜間にLED誘導マーク、埋め込み型LED設置区間（各60m）を歩行してもらい、気になった点や意見等の発話データ（往復）の記録



図6 実験風景（夜間）
Fig.6 Experiment scenery (Night)

3.3 設置概要と実験条件

この実証実験では、既設の照明灯にLEDを設置するのではなく、新たな誘導照明灯5基を設置し、LED誘導照明器具を3台装着させた。LED誘導マークの間隔は5mとし、誘導マークの照度は約20～180lxであった。この各地点の照度が一定でない理由は、実験室内と違い他の照明（例えば歩行者用照明灯）の影響を受けているためである。

埋め込み型LEDの設置間隔は2mとし、計30個設置した。表1は実験概要と実験条件を示したものである。

表1 設置概要と実験条件

Table.1 An installation outline and experiment condition

歩行路	①全120m、幅3.5m ②歩行路面はインターロッキングブロック舗装
周辺の照明条件	①薄暮時平均水平面照度：36.87～84.23lx ②夜間平均水平面照度：3.9～10.7lx
埋め込み型LED	①埋め込み型LEDの間隔：2.0m ②埋め込み型LEDと周辺路面の輝度対比：56.25（定点測定）（夜間） 51.65（定点観測）（薄暮時） ③大きさ：10×15cmの長方形
LED誘導マークの器具	①誘導照明灯：LED誘導照明器具3台装柱ソーラー式5基 ②器具の設置高さ：2.5m ③誘導マークの間隔：5.0m ④誘導マーク照度：20～180lx ただし、この区間には通常の歩行者用照明灯が2基設置されているため、純粋なLEDマークの照度ではない。 ⑤誘導マークと周辺路面の輝度対比：35.29～96.00（夜間） 38.01～86.25（薄暮時） ⑥大きさ：直径20cm程度の円形

4 実験結果

4.1 被験者属性

被験者属性を表2に示す。被験者は21名で男性15名、女性6名であった。平均年齢は43.7歳であり、原因疾患としては網膜色素変性症9名と一番多くなっていた。ほとんどの人が、視野障害があり、歩行訓練を受けている人は13名であった。視機能検査は、室内において、視力、視野（小川氏視野計）、コントラスト感度（Vector Vision CSV-1000）、色覚（石原式色覚検査表）を用いて行った。ただし、コントラスト感度および色覚検査においては、ほとんどの被験者が測定不能であった。

図7は被験者の視力を示したものである。視力0.05未満の人が約5割おり、低視力の人が多くなっている。

表2 被験者属性

Table.2 The attribute of subjects

性別	男性15名、女性6名
年齢	平均年齢43.7±13.9歳
障害等級	1級3名、2級14名、3級3名、5級1名
原因疾患（複数疾患者8名）	網膜色素変性症9名、白内障8名、緑内障3名、視神経萎縮3名、黄斑部変性症2名、その他4名
視野障害	なし3名、あり18名（中心欠損2名、周辺欠損16名）
歩行訓練の有無	有り13名、無し8名

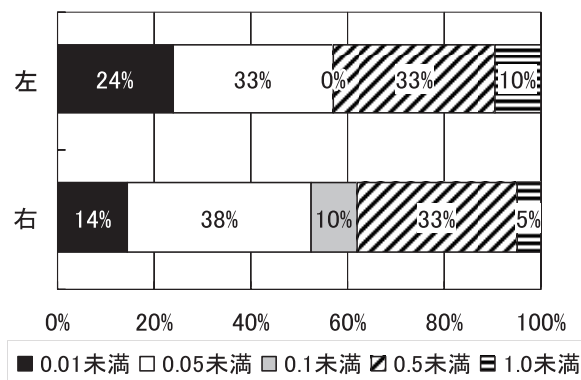


図7 被験者の視力 (n=21)

Fig.7 The subject's visual acuity

4.2 20m歩行における歩行時間と偏軌距離

図8は同じ歩道上でLEDマーク、埋め込み型LED、LEDなし区間20mの歩行時間と偏軌距離を示したものである。歩行時間に関しては、LEDなし（19.93秒）、LED誘導マーク（18.56秒）、埋め込み型LED（17.8秒）となり、埋め込み型LEDが一番早くなっていたが、統計的な有意差はなかった。偏軌距離に関しては、LEDなしに比べて、LED誘導マーク、埋め込み型LEDを用いることによって、より直線的に歩いていることがわかった。分析にはKruskal Wallis検定を用い、下位検定にはMann-Whitney検定を用いた。

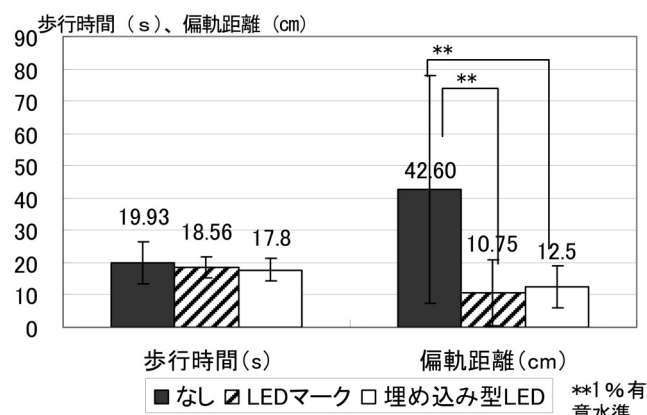


図8 歩行時間と偏軌距離

Fig.8 Walking time and indirect walking

図9は視力と歩行時間の関係を示したものである。これらは21名中11名のデータであるが、視力0.03未満の人にとっては、LED誘導マーク等の歩行支援システムがあることにより、歩行速度が早くなっている。また、図10は視力と偏軌距離を示したものである。こちらも11名のデータではあるが、こちらは視力が高くて偏軌距離は大きくなり、LED誘導マーク等があることにより、より直線的に歩行できていることがわかる。ここでの視力は左右の良い方の視力で分析をおこなった。

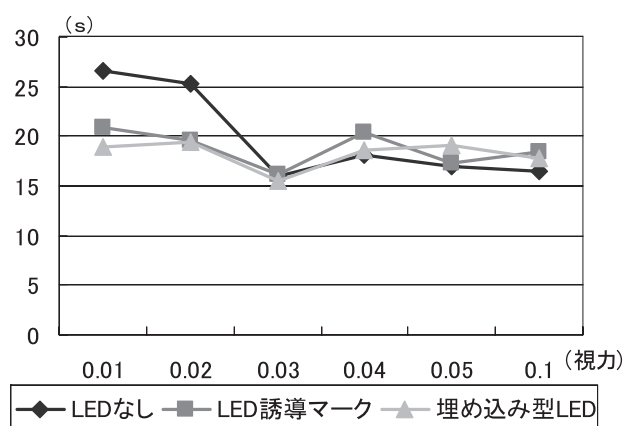


図9 視力と歩行時間 (n=11)
Fig.9 Visual acuity and Walking time

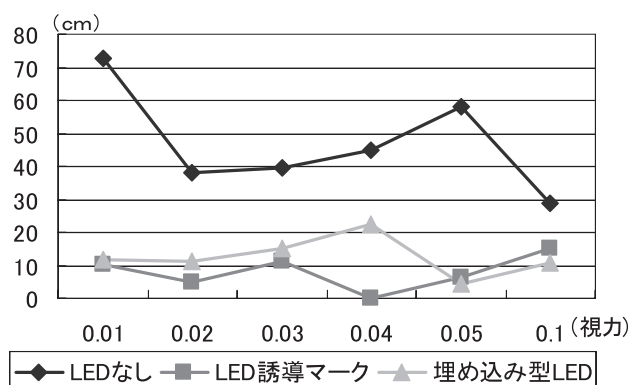


図10 視力と偏軌距離 (n=11)
Fig.10 Visual acuity and indirect walking

4.3 夜間、薄暮時における視認距離と視認時間について

薄暮時、夜間における視認距離および視認時間を測定した。視認距離とはLEDマークおよび埋め込み型LEDがぎりぎり見える距離まで離れてもらい、その距離を測定したものであり、視認時間とはその距離で、一度目線を離してから再び発見するまでの時間を測定したものである。

図11は視認距離を示したものである。薄暮時と夜間を比べると、LEDマーク、埋め込み型LED共に視

認距離が長く、LED誘導マークは1.28倍、埋め込み型LEDは1.16倍となっている。LEDマークと埋め込み型LEDを比較すると、薄暮時では埋め込み型、夜間ではLED誘導マークの視認距離がやや長くなっている。しかし、t検定の結果、有意差が見られたのはLEDマークの薄暮時と夜間の比較のみであった。また、標準偏差も大きく、被験者によってかなりばらつきが生じていた。

図12はそれらと視力の関係を示した図である。相対的に視力が良くなるほど、視認距離が長くなっている傾向にあるが、薄暮時と夜間、LED誘導マークと埋め込み型LEDを比較しても、大きな差はなく、単純な視力だけでは、これらの視認距離を評価するのは難しいと思われる。これらの評価には夜間視力等を考慮すべきではないかと考えられる。

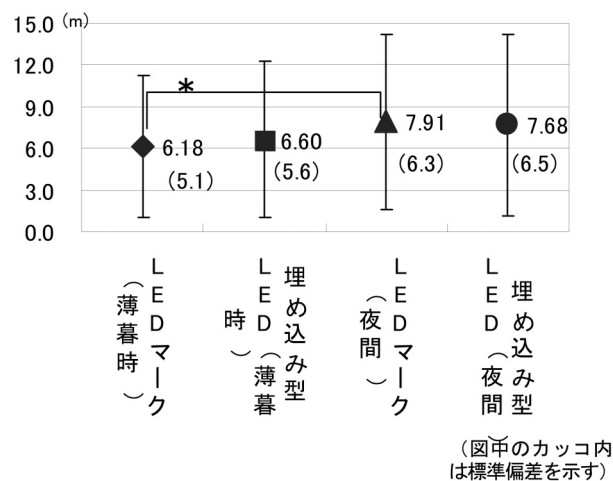


図11 視認距離について
Fig.11 Visible distance

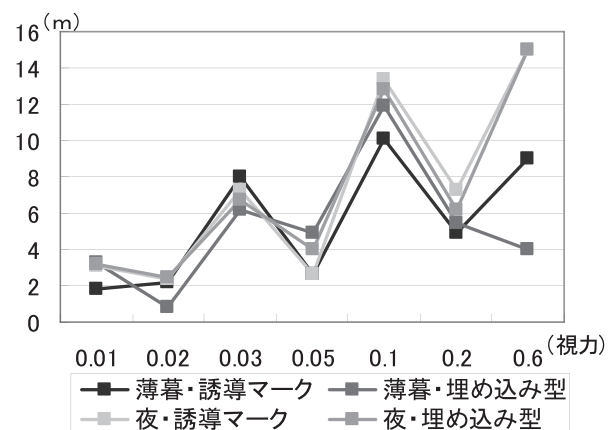


図12 視力と視認距離について (n=18)
Fig.12 Visual acuity and visible distance

図13は視認時間を示したものである。薄暮時と夜間を比べると、LEDマーク、埋め込み型LED共に視認時間は短くなっている。LEDマークと埋め込み型

LEDを比較すると、薄暮時、夜間共にLED誘導マークの視認時間が短い。これはLEDマークの照射面積が大きく、相対的に輝度対比が高いことが考えられる。しかし、薄暮時と夜間、LED誘導マークと埋め込み型LEDの値をt検定したところ、有意差は見られなかった。また、標準偏差を見ると、LED誘導マーク（夜間）の値が他に比べ非常に小さい。このことよりも、夜間においてLED誘導マークの視認性は高いと考えられる。

図14は視力と視認時間について示した図である。こちらは視認距離とは違い、視力が良くても視認時間が短くなることはほとんどなく、視認時間と視力には関係のないことがわかる。また、薄暮時と夜間、LED誘導マークと埋め込み型LEDを比較しても、大きな差は見られなかった。

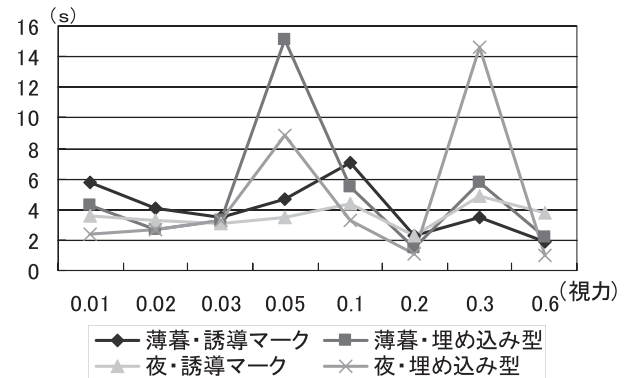


図14 視力と視認時間について(n=18)

Fig.14 Visual acuity and search time

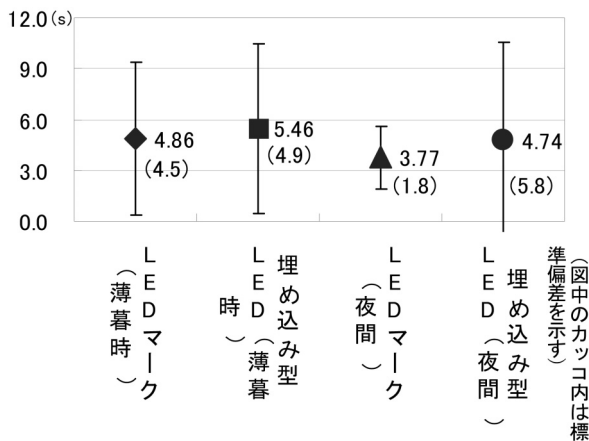


図13 視認時間について

Fig.13 Search time

4.4 夜間における歩きやすさ等に関するアンケート調査

質問項目は、その歩行区間において「歩きやすさ」、「進行方向のわかりやすさ」、「道路面の見やすさ」、「歩行中の心理的負担度」、「LEDの明るさ」について、「非常に」から「まったく」までの7件法にて調査を行った。その結果を図15に示す。「歩きやすさ」、「進行方向のわかりやすさ」、「道路面は見やすい」という設問では、埋め込み型LEDの方が高い評価となり、「心理的負担はあったか」という設問では、心理的負担はLEDのない場合に比べて、埋め込み型LEDがある場合に心理的負担は非常に少なくなっている。LEDの明るさに関して、LEDマークと埋め込み型LEDを比べると埋め込み型LEDの方が高い評価となっている。分析には一元配置の分散分析を用い、下位検定にはボンフェローニの方法を用いた。

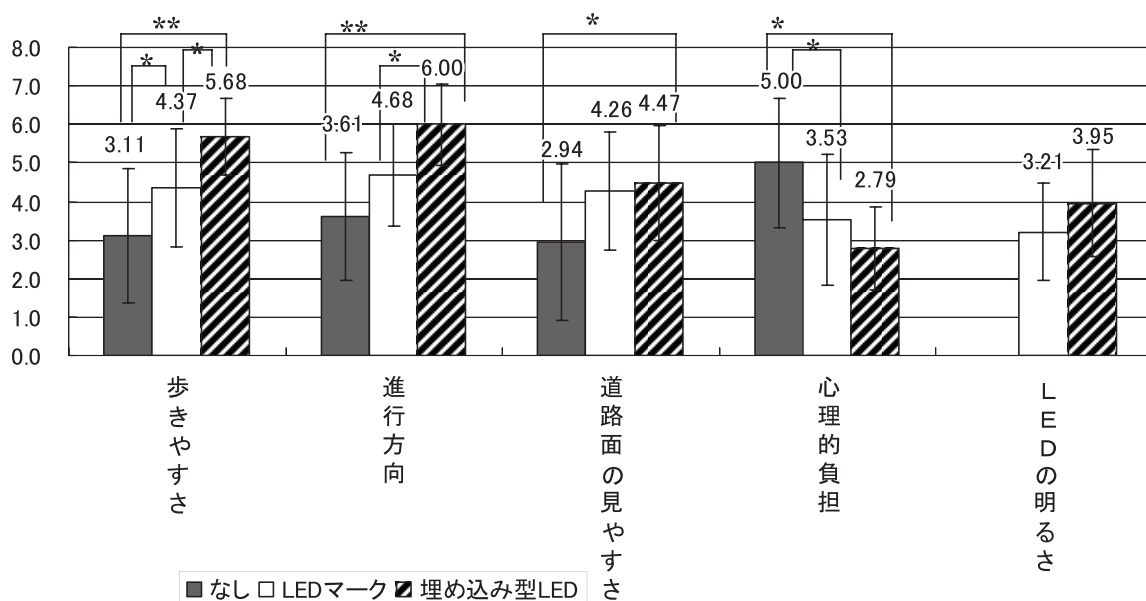


図15 夜間における歩きやすさ等に関するアンケート調査

Fig.15 The questionnaire about the validity of LED systems at night

4.5 夜間と薄暮時における歩きやすさ等に関するアンケート調査

図16は夜間と薄暮時におけるLED誘導マークの歩きやすさ等に関して示したものである。「歩きやすさ」、「進行方向」、「道路面の見やすさ」共にやや夜間の方が高い評価となっている。「心理的負担」においては、夜間の方が心理的にも負担が低い結果となった。夜間の方がLED誘導マークの効果があると考えられる。「LEDの明るさ」は評価点4が「ちょうどよい」という回答になっていることから、夜間、薄暮時ともにやや暗いという評価であった。しかし、夜間、薄暮時の評価には統計的有意差は見られなかった。

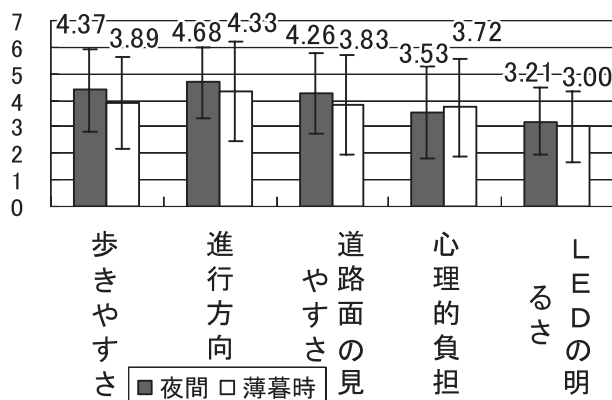


図16 夜間と薄暮時のLED誘導マークの歩きやすさ等について
Fig.16 The validity of the LED guidance mark at night and dusk

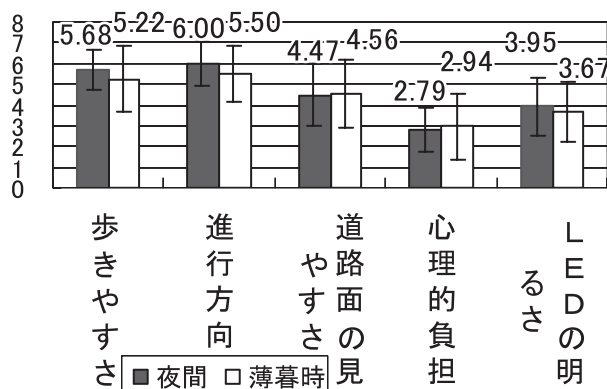


図17 夜間と薄暮時の埋め込み型LEDの歩きやすさ等について
Fig.17 The validity of the embedding type LED at night and dusk

図17は夜間と薄暮時における埋め込み型LEDの歩きやすさ等に関して示したものである。夜間、薄暮時の比較結果はLED誘導マークと同様の結果、夜間の評価が高い。「LEDの明るさ」は評価も夜間、薄暮時ともにやや暗いという評価であった。しかし、

夜間、薄暮時の評価には統計的有意差は見られなかった。

4.6 意見、発話データのまとめ

薄暮時、夜間にLED誘導マーク、埋め込み型LED設置区間（各60m）を歩行してもらい、気になった点や意見等の発話データ（往復）の記録の主の意見を以下に示す。

LED誘導マークに関しては、間隔が広い、明るくしてほしいという意見が多く挙げられた。埋め込み型LEDに関しても、明るさの改善についての意見が多く挙げられていた。

(1) LED誘導マークに関して（薄暮時）

- ・影になって消える
- ・間隔が広い
- ・車のライトで見えなくなる
- ・風景の一部になっているので周りが見えて危険でない
- ・電柱から離れているLEDが見つけにくい

(2) LED誘導マークに関して（夜間）

- ・距離が長いのでもう少し狭めて欲しい
- ・薄暗い時より歩きやすくなった
- ・埋め込み型よりより見やすいが倍くらいの明るさがほしい

(3) 埋め込み型LEDに関して（薄暮時）

- ・周囲の景色を見ることは出来ない
- ・間隔が狭いので歩きやすい
- ・全てが白く見え近づかないと見えない
- ・LEDの光量を増やした方が歩きやすい

(4) 埋め込み型LEDに関して（夜間）

- ・暗くなってもあまり明るくならない
- ・下を向いて歩いてしまう
- ・こちらの方がLED誘導マークより歩きやすい
- ・周りの柵がライトに照らされて光が見にくくなった

5 まとめ

LED誘導マークおよび埋め込み型LEDを実際の歩行空間に設置し、実証実験を実施した。それらの結果を以下に示す。

1) 利用者評価について

LED誘導マーク等のシステムのない場合と比べて、「歩きやすさ」や「進行方向のわかりやすさ」だけでなく、「心理的負担の軽減」にも効果があることがわかった。夜間と薄暮時では、周りが暗い夜間の評価が高いが、薄暮時においてもほぼ同様の結果が得られた。しかし、LEDの明るさについては、LED誘導マークおよび埋め込み型LEDや

や暗いという評価となり明るさの改善が求められている。設置間隔に関しては、埋め込み型LEDが2 m間隔、LED誘導マークが5 m間隔であったが、間隔の狭い埋め込み型LEDの評価が高く、設置間隔が短いほど、誘導性能が高く、心理的負担を軽減することがわかった。しかし、設置間隔が狭いほど、下を向いて歩行するため周囲が見えず、他者との錯綜に関する安全性の問題が生じると考えられる。

2) 行動観察からの評価について

LED誘導マーク等のシステムを用いることにより、歩行速度にはあまり大きな変化はないが、より直線的に歩行できていることがわかった。このことよりも、誘導性だけでなく、より安全な歩行を支援するという効果が見られた。上記の意識調査より、LED誘導マークの設置間隔5 mよりも埋め込み型LEDの設置間隔2 mの方が高評価であるが、歩行速度、偏軌距離ではほぼ同程度の結果となっている。このことよりも、5 m程度の間隔でも誘導性能は高いことがわかる。

3) 設置方法に関する課題

上記の利用者評価からすると、LEDはより明るく、設置間隔は短いほど評価は高くなる。今回のLED誘導マークの最低照度は20lxであり、室内実験¹⁰⁾で得られた必要な照度(90lx)よりもかなり暗くなっていた。これらは現場での設置の難しさもあるかもしれないが、LEDの明るさは日進月歩であり、これらを確保することは今後可能であると考えられる。設置間隔に関しては、設置間隔が短いほど誘導性能は高くなると考えられるが、設置費用および他者との錯綜問題などもあり、今後最適な間隔を研究する必要がある。また、これらのシステムは、薄暮時においてもある程度の効果が見られたことより、道路照明や店舗照明などがある比較的明るい場所であっても設置可能であることと考えられる。ただし、交通量の多い場所では、マーク等の存在が見えなくなる可能性があり、その誘導性能が減少する可能性があることを留意しておく必要がある。

現在、各自治体の移動円滑化基本構想策定においても、夜間のバリアフリー調査などを実施するケースはほとんどなく、夜間の問題点が把握されていない状況である。今後は、これらを把握し、LEDなどの照明をうまく活用した、夜間の歩行支援を考えていく必要がある。

謝辞

本実験は、平成17年度(財)国土技術研究センター研究開発助成を受けて行われたものです。

また、実験に参加していただいた頂いた日本網膜色素変性症協会、国立神戸視力障害センター、神戸アイライト協会、KVS (kinki・ビジョン・サポート)、弱視問題研究会等の団体の皆様に対して心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 総理府編：平成18年版障害者白書 2006
- 2) 日本眼科医会ホームページ：<http://www.gankaikai.or.jp/>
- 3) 国土交通省 自立移動支援プロジェクト推進委員会
<http://www.jiritsu-project.jp/index.html>
- 4) 独立法人新エネルギー・産業技術総合研究開発機構
障害者等ITバリアフリー推進のための研究開発
<http://www.itbarrierfree.net>
- 5) 柳原崇男、北川博巳：LED照明を用いた誘導システムの活用に関する研究－ロービジョン者の視覚特性と歩行特性に関する研究－平成18年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集、pp.32-39,2007
- 6) 社団法人 照明学会：「ロービジョン者を対象とした視環境計画に関する研究調査委員会報告書」 2006
- 7) 上野朋子、赤坂人司、魚住拓司、川上幸二、築島謙次、久保明夫：視覚障害者のためのLED（発光ダイオード）視線誘導灯システムの研究
第25回感覚代行シンポジウム講演論文集、pp87-90,1999
- 8) 魚住拓司、上野朋子、川上幸二、築島謙次、中西勉：視覚障害者のための視線誘導システムの研究開発－LED点字ブロックの開発と誘導効果の検証
第28回感覚代行シンポジウム講演論文集、pp57-60,2002
- 9) 江寄公暢、今泉誠、藤田晃弘、坂口陸男、池田典広：視覚障害者誘導用LEDの視認性に関する検討
日本福祉のまちづくり学会第6回全国大会概要集
pp.95-98,2003
- 10) 谷内、大森、市原、宮崎、北山他：「LED誘導マークを用いたロービジョン者の夜間歩行誘導方法に関する研究」、福祉のまちづくり研究、Vol.8 No.2 pp.33-43,2006