

安全横断支援のためのLED発光式道路鏡による 横断歩行者注意喚起システムに関する検証

鈴木 一史¹・田中 淳²・泉 典宏³・金澤 文彦⁴

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地) E-mail: suzuki-k92td@nilim.go.jp

²正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail: tanaka-at@oriconsul.com

³非会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail: izumi@oriconsul.com

⁴正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地) E-mail: kanazawa-f87bh@nilim.go.jp

本研究では、安全不確認・歩行者優先無視等に起因する歩行者事故の防止を目的に、誘目性の高いLED発光式道路鏡により横断歩行者の存在をドライバに注意喚起する横断歩行者注意喚起システムについて検討している。本検討は、長野県飯田市のラウンドアバウト型交差点において、(公財)国際交通安全学会および長野県飯田市が協働で実施中の社会実験に国土技術政策総合研究所が参画することで実施されたものであり、ラウンドアバウト型交差点をフィールドとしたときのシステムの検出性能、利用者の受容性、システムの有効性等について、ビデオ観測調査、アンケート調査、アイマークレコーダ調査等により検証を行った。その結果、利用者からは比較的高い受容性が得られるとともに、歩車間の危険な交錯が減少する等の効果がみられた。

Key Words : crosswalk safety, in-pavement flash warning system, effectiveness, ITS

1. はじめに

交通事故当事者の状態別死者数において、平成20年を境に、歩行中の死者数が自動車乗車中の死者数を上回り最多¹⁾となったように、歩行者事故対策が急務となっている。これら歩行中の交通事故死者の7割弱は高齢者であり、横断中の事故が高い割合を占めることから、歩行者の安全横断支援は一層重要な課題といえる。これら歩行者事故の要因として、ドライバにおける歩行者の見落とし等の安全不確認や歩行者優先意識の低下などが考えられ、ITS技術を用いたドライバへの注意喚起情報の提供が有効といえる。一方、これら注意喚起情報の提供にあたっては、慣れや過度な情報提供による陳腐化によって効果低下の問題があり、適切なタイミングで効果的な方法によりドライバに注意喚起を行うことが求められる。

そこで本研究では、安全不確認・歩行者優先無視等に起因する歩行者事故の防止を目的に、誘目性の高いLED発光式道路鏡(発光鏡)により横断歩行者の存在をドライ

バに注意喚起する横断歩行者注意喚起システムについて検討を行う。本検討は、長野県飯田市のラウンドアバウト型交差点において、(公財)国際交通安全学会および長野県飯田市が協働で実施中の社会実験²⁾に国土技術政策総合研究所が参画することで実施されたものである。本稿では、本システムの検出性能、利用者の受容性、システムの有効性等について検証した結果について報告する。

2. 横断歩行者注意喚起システムの概要と検証方法

(1) システムの概要

本研究で検証対象としたシステムの概要を図-1に示す。本システムは、歩行者が横断歩道両脇に設置されたセンサを通過すると同時に、路面に埋め込まれた発光鏡が点滅し、ドライバに注意喚起するものである。これにより、ドライバに横断歩行者の存在を知らせることで、ドライバに早めの減速行動を促すとともに、ドライバの歩行者優先意識の向上にも寄与することが期待される。さらに

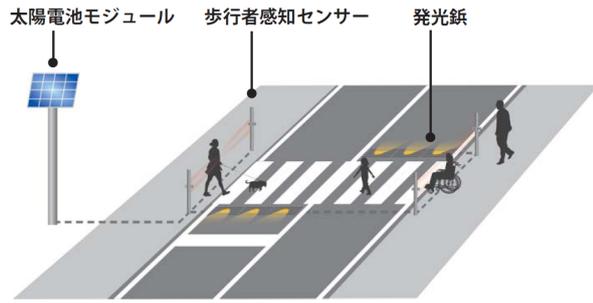


図-1 横断歩行者注意喚起システムの概要²⁾

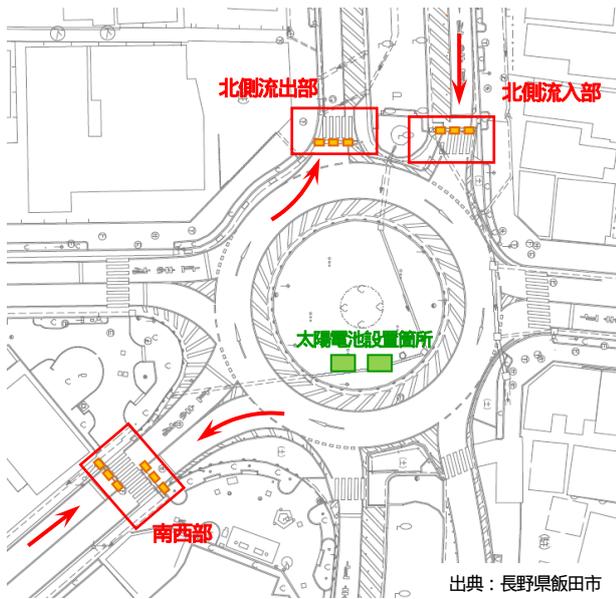


図-2 実験対象交差点とシステムの設置箇所

本システムでは、必要となしのみ注意喚起を行うために、反対側のセンサで横断終了を検出すると同時に注意喚起が止まる仕組みとなっている。

(2) 社会実験の概要とシステムの設置方法

社会実験は、(公財)国際交通安全学会および長野県飯田市の協働により、平成23年11月7日(月)から平成24年1月12日(木)までの67日間にわたり、同市吾妻町のラウンドアバウト型交差点において実施された。実験対象交差点の概略図およびシステムの設置箇所を図-2に示す。システムは図-3に示すように北側の流入部および流出部、南西部の3箇所にて1基ずつ合計3基設置され、発光鏡は実験期間中の設置条件変更への対応等を考慮して、取り替えが容易なグレーチングにはめ込む形で設置された。センサは図-4のように横断歩道の端部両脇に設置され、検出部は横断者の横断開始・終了を的確に判定できるようにダブルセンサとなっている。実験時の発光鏡およびセンサの設置条件等は表-1の通りとした。これらシステム作動時の発光鏡の点滅状況を図-5に示す。なお、実験内容を交差点利用者へ周知するため、図-6のように説明パネルや案内看板の設置、チラシ配布のほか、住民説明会等が随時実施されている。



(a) 北側流入部 (b) 北側流出部



(c) 南西部

グレーチングに埋め込まれた発光鏡

図-3 発光鏡の設置状況



図-4 センサ柱の設置状況と検出部

表-1 システムの設置・作動条件等の設定値

設定・設置条件		北側流出部		北側流入部		南西部	
発光鏡	設置個数	3個	4個	3個	2個	3個×2	
	点滅間隔	75回/分		120回/分			
	最長点灯時間	30秒					
	明るさ	夜間は昼間(最大値)の1/10の輝度					
	設置角度	最大18°		横断歩道に対して平行			
	設置間隔	1.0	1.1m	0.9	1.8m	0.9, 1.1m	
センサ	検出方法	光電センサ					
	検出部の設置高さ	約1.0m					
	車道からの離隔距離	1.7~1.8m	1.4~1.5m	1.0~1.1m			
横断歩道	幅員	3.0m					
	長さ	4.9m	4.7m	7.9m			

表中のにおいて、実験期間中の11/28に発光鏡の設置間隔・個数を変更し、11/30の早朝に発光鏡の点滅速度の変更を実施している。



(a) 昼間 (b) 夜間

図-5 横断者検出時の発光鏡の点滅状況



(a) 説明パネルの設置

(b) 案内看板の設置

図-6 実験期間中の利用者への周知方法

(3) システムの検証方法

検証にあたっての調査は、事前・事後の比較に加え、システム導入の直後および一定期間経過後の影響を確認できるように導入前(事前)、導入直後(事後1回目)、導入3週間後(事後2回目)の3回に分けて実施した。各調査では、(1)システムの横断者検出性能、(2)利用者の受容性(認知・理解度、発光鉢の視認性、ネガティブチェック)、(3)システムの有効性(安心感、安全確認動作、交錯発生状況の変化)等の観点から検証するため、表-2に示す調査を実施した。なお、調査の実施にあたっては、対象交差点の歩行者交通量が比較的小さいことから、検証に十分なサンプル数の確保を目的として、調査員(ダミー歩行者)を調査中に巡回させている。

3. システムの検証結果

(1) システムの横断者検出性能

システムの横断者検出性能について検証するため、誤報・欠報の発生状況について、ビデオ観測により確認した。本システムは、歩行者・自転車が横断歩道を横断中にドライバーへ注意喚起することが目的であるため、ここではシステムの欠報および誤報を以下のように定義した。

欠報： 歩行者・自転車が横断歩道上に存在するのに発光鉢が発光していない
 誤報： 発光鉢が発光しているのに歩行者・自転車が横断歩道上に存在しない

ここで、調査期間中の各箇所における横断者交通量の時間帯別推移を図-7に示す。6:30～18:30の合計12時間で北部、南西部いずれも150～200人程度の交通量である。時間帯別では、南西部の事後1回目の夕ピーク、北側流入部の事後2回目のオフピークで増加傾向にあることを除き、朝ピーク30～40人/時、夕ピーク20～30人/時、オフピーク10人/時程度で推移しており、各調査において全体的な傾向に大きな変化は生じていない。

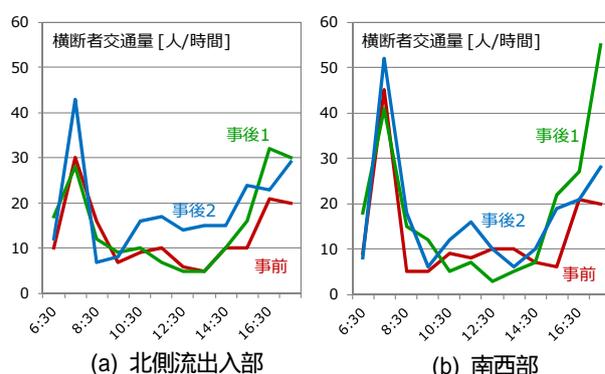
観測された欠報・誤報の発生状況を表-3に示す。ここで対象サンプルとは、横断歩道両端のセンサを通行した横断者であり、乱横断等により横断歩道外を通行した横断者は対象外とみなし、欠報・誤報からは除いている。

欠報については、事後1回目、事後2回目において同程度に生じており、全体では1%未満に収まっている。欠報が生じたケースとして、図-8に示すように、横断を終了した歩行者と横断を開始する歩行者が同時にセンサを通過することで、横断開始と判定されない場合がある。

誤報については、事後1回目において数%程度生じたものの、事後2回目においては北側流出部で2回発生したのみであり、全体で1.3%という結果となった。誤報が生

表-2 各調査の概要および実施日時

観測方法	事前	事後1回目	事後2回目
ビデオ観測調査 車両の軌跡・速度、歩行者との交錯等を観測	10/27(水)～28(木) 6:30～19:30 10/28はAMのみ	11/8(火) 6:30～19:30	11/29(火) 15:30～18:30 11/30(水) 6:30～19:30
走行調査 4名のドライバーについて運転挙動、安全確認挙動等を観測	10/27(水) 13:00～19:00 10/28(木) 6:30～11:30	11/8(火) 6:30～19:30	11/29(火) 15:30～18:30 11/30(水) 6:30～19:00
アイマークレコーダ調査 5名のドライバーについて視線の動きを観測	-	-	11/30(水) 6:30～19:00
アンケート調査 地元住民等の利用者へ調査票を配布し、実験に対する評価等を収集	-	-	ポスティング 11/30(水) 現地配布 12/1(木)
その他	・住民意見交換会時における簡易アンケート 12/1(木) ・関係者への現場意見聴取 12/2(金)		



(a) 北側流入部 (b) 南西部
 図-7 横断者(歩行者・自転車)の交通量の推移(6:30～18:30)

表-3 欠報・誤報の発生状況

調査	事後1回目			事後2回目			計
	北側流出部	北側流入部	南西部	北側流出部	北側流入部	南西部	
対象サンプル	151	145	171	160	160	147	934
欠報	理由 同時に通過	1	1	1	0	0	3
	理由 その他・不明	0	0	1	1	1	4
	欠報率[%]	0.7	0.7	1.8	0.6	0.6	0.7
誤報	理由 横断者なし	0	0	0	2	0	2
	理由 同時に通過	0	2	4	0	0	6
	理由 その他・不明	0	1	2	0	0	3
	誤報率[%]	0.0	2.3	3.9	1.3	0.0	0.0

観測時間帯はいずれも6:30～19:00(乱横断またはダミー歩行者の場合を除く)



(a) 北側流出部 (b) 北側流入部

図-8 欠報が生じたケース

じたケースとして、欠報と同様、同時にセンサを通過した場合に加え、横断歩道の脇を歩いていた歩行者がセンサに触れて作動してしまった場合などがある。

表-4 アンケートの配布数および回収結果

配布方法	配布数	回収数	回収率
ポスティング(11/30)	633	200	31.6
現地配布(12/1)	1,522	405	26.6

回収方法：郵送(平成24年1月12日(木)までに回収)

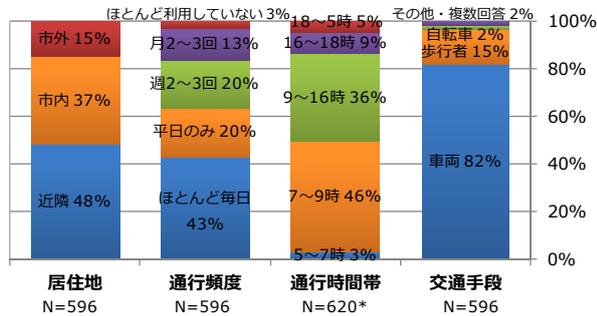


図-9 アンケート回答者の属性

(2) システムに対する利用者の受容性

利用者の受容性等については、主に交差点利用者および地元住民へのアンケート調査等により確認を行った(表-4参照)。回答者の属性は図-9に示す通りであり、約50%が近隣住民、80%近くが対象交差点を週2~3回以上通行しており、通行時間帯は7~9時で46%、通行手段は車両が82%、歩行者が15%となっている。以下では、これらのアンケート結果等にもとづき評価を行った。

a) システムの認知・理解度

図-10に利用者におけるシステムの認知・理解度と発光時の交差点通行経験の有無を示す。対象交差点にシステムが設置されていることを認知している人は全体の約54%、そのうち横断歩道上に横断者がいるときに発光銃が点滅することを理解している人は約65%、発光銃が発光しているときに交差点を通行した経験がある人は約60%であった。また、走行調査時に被験者へ別途実施した簡易アンケートでは、9名中3名が、発光中の通行1回目からシステムの意味を理解し、残り6名は、しばらくしてから理解できたと回答しており、周知の無い状態では理解度に差がみられた。

b) 発光銃の見やすさ

発光時に対象交差点を通行した経験のあるドライバ(通行手段に「車両」と回答した人をドライバとみなした)からみた発光銃の見やすさの回答結果を図-11に示す。「見にくい」と回答したドライバは時間帯に関係なく一定数存在している。見にくい理由として、「夜間は明るい、昼間は暗すぎる」「設置位置、角度が見づらい」などの意見が挙げられた。発光銃の見やすさには、発光銃の明るさだけでなく、点滅間隔、設置の位置・間隔・角度・個数等が総合的に関係していると考えられる。

c) ネガティブチェック

発光銃は高輝度LEDを用いており、誘目性が高いことから、ドライバが必要以上に注視する懸念がある。そこ

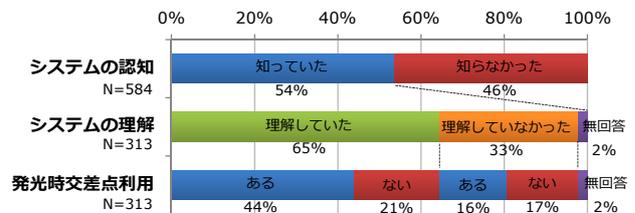


図-10 システムの認知・理解度と発光時の交差点通行経験

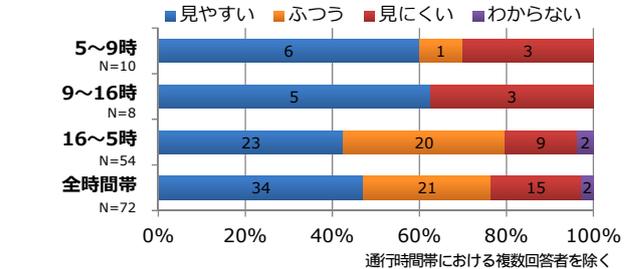


図-11 通行時間帯別の発光銃の見やすさ (車両のみ)

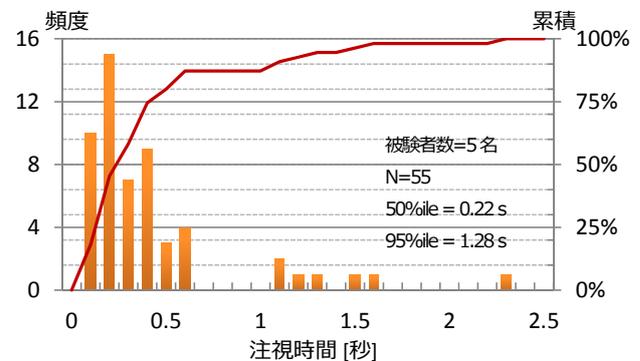


図-12 走行調査被験者における発光銃の注視時間分布

でアイマークレコーダにより、発光時の注視状況を確認した。図-12に走行中の発光銃の注視時間分布を示す。注視時間分布の50パーセンタイル値は0.22秒、95パーセンタイル値でも1.28秒となっている。また、1.5秒以上となったケースでは、横断歩道から十分離れた地点から眺めるように注視していたり、歩行者確認後に横断歩道前で停止したのち注視したケースなど、危険な注視には該当しないことから、問題は生じていないといえる。

一方、発光銃が発光していないときの安全確認動作に関するアンケート結果では、歩行者・ドライバの9割以上が「今まで通り安全確認を実施する」と回答しており、過度にシステムへ依存する傾向にはないと推察される。

(3) システムの有効性

a) 利用者の安全確認動作の変化

システム設置による歩行者・ドライバの安全確認動作の変化の回答結果を図-13に示す。「以前より確認するようになった」との回答は、システムの意味を理解していない利用者では約50%であるが、システムの意味を理解している利用者では約60%に向上しており、システムの意味を理解している利用者ほど安全確認に注意を払っていることが推察される。なお、歩行者とドライバでは

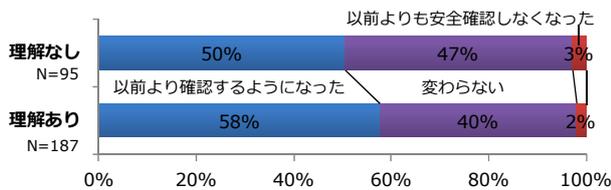


図-13 理解度別のシステム設置による安全確認動作の変化

安全確認動作の回答に差はみられなかった。

b) システムによる利用者の安心感

図-14は、システム設置による安心感を発光時の通行経験の有無別に示したものである。歩行者、ドライバーのいずれも約60%が安心と回答し、特にドライバーの場合は発光時の通行経験があるほど安心感が高まる傾向にある。

c) システムによる安心感と利用者の安全確認動作の関係
システムによる安心感と利用者の安全確認動作の関係を図-15に示す。安心感が高い人ほど「以前より確認するようになった」との回答割合が増える傾向にあり、安心感が高まるにつれ安全確認にも一層の注意を払っていることが推察される。

d) 歩行者と車両との交錯発生状況の変化

システム設置前後における歩行者と車両との交錯発生状況を観測した結果を図-16に示す。ここでは、全ての歩行者横断に対し、車両が影響していると考えられるものを交錯として抽出し、抽出された交錯について歩行者が先行する場合を安全側、車両が先行する場合を危険側とする5パターンに類型化しカウントした。

全箇所・全時間帯での比較：図-16(a)より、事後において車両が先行するケースが減少し、歩行者・車両が一時停止した場合でも歩行者が先行するケースが増加する傾向にあり、全体的に安全側にシフトしている。

北側の流出部と流入部の比較：流出部(同図(b-1))では、事後に車両が先行するケースが減少するものの、事後2回目は横ばい傾向にある。一方、流入部(同図(b-2))では、事後に車両が先行するケースが減少し、歩行者が先行するケースが増加する傾向にある。この要因として、流出部では環道と横断歩道との距離が短く、発光鉾を視認しても高い速度のまま環道から横断歩道に進入することになり停止しづらいのに対し、流入部では遠くから発光鉾を視認できることで早めに減速態勢に入れることから、流入部で特に効果が現れやすくなったと考えられる。

南西部の昼間と夜間の比較：南西部の昼間(16:00以前)(同図(c-1))では、事後2回目において交錯時に歩行者に譲る傾向があるものの、全体的に大きな変化はみられない。一方、夜間(16:00以降)(同図(c-2))では、車両が先行するケースは減少傾向にある。この要因として、夜間では視認性の高さから効果が発現する一方、昼間においては特に南西部で環道と横断歩道が離れており、ドライバーは横断歩道よりも環道手前の一時停止に気を取られが

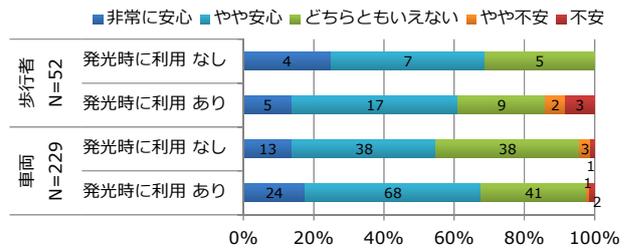


図-14 発光時の交差点通行経験別のシステムによる安心感

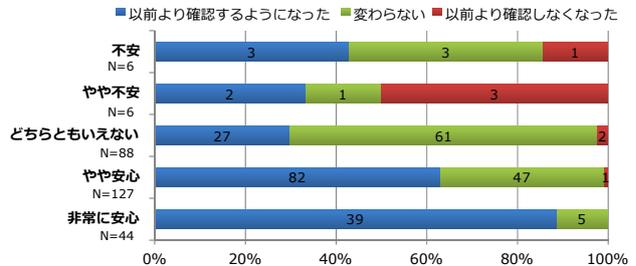
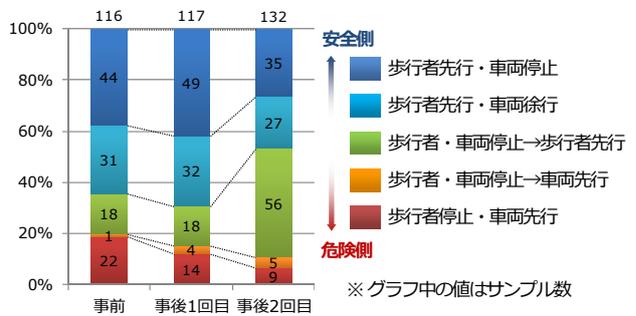
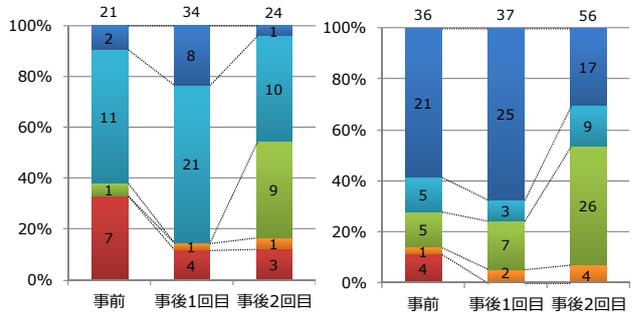


図-15 システムによる安心感と利用者の安全確認の関係

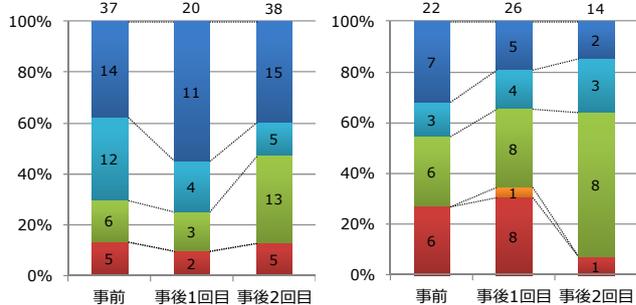


(a) 全箇所・全時間帯 (6:30 ~ 19:00)



(b-1) 北側流出部・全時間帯

(b-2) 北側流入部・全時間帯



(c-1) 南西部・昼間(16:00以前)

(c-2) 南西部・夜間(16:00以降)

図-16 事前・事後における歩行者と車両との交錯発生状況
ちとなり、発光鉾に気づきにくいことで、効果が十分に発現しなかったものと推察される。

以上より、サンプル数の制約から必ずしも信頼性は十

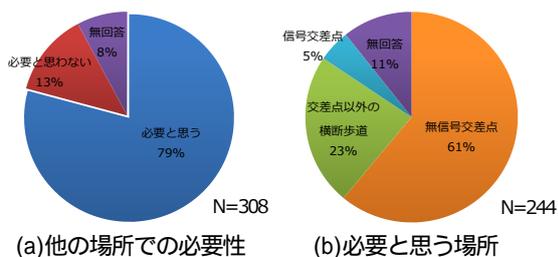


図-17 システムの他の場所への設置要望

分に高いとはいえないものの全体的に安全側にシフトしており、遠くから視認が可能な流入側および視認性の高い夜間において、特に高い効果が発現したと考えられる。

(4) システムの他の場所への設置要望

利用者からのシステムの他の場所への設置要望等のアンケート結果を図-17に示す。システムが他の場所にも必要か(同図(a))については約8割が「必要と思う」と回答し、そのうち必要と思う場所(同図(b))については「無信号交差点」が約6割、単路部横断などの「交差点以外の横断歩道」が約2割であり、信号の設置されていない横断部での設置要望が多い結果となった。

4. システムの他地域展開にあたっての留意点

本システムを他地域等へ展開する上での留意点および今後の検討課題について以下のように整理した。

- 設置場所・交通条件**：本システムは無信号交差点のほか、特に車両の動線が直線的な単路部においても適用可能性は高いと考えられる。一方、本実験でも乱横断するケースが見受けられたことから、ガードパイプ等の設置により乱横断を防ぐ等の対策も併せて必要である。また、自転車交通への対応は今後の検討課題である。
- 発光鉢の視認性**：発光鉢で用いられているLEDは指向性が高く、角度が僅かにずれるだけで視認性が大きく変化する。今後、天候・気象条件等に応じた視認性について、設置角度・照度等の観点から検証が必要といえる。
- システムの認知・理解度の向上**：今回の実験では、システムを認知・理解している人は全体の約36%(認知度54%×理解度65%)であり、かつ発光時に通行経験のある人は全体の約15%(36%×44%)にとどまる。効果の発現にはシステムの認知とともに、正しく理解してもらうことが重要であることから、わかりやすい周知方法について工夫が必要と考えられる。また、今回の実験期間は2ヶ月程度であり、認知・理解が浸透することで、さらに高い効果が得られた可能性がある。
- フェールセーフの観点**：今回は誤報・欠報の多くがセンサを同時通過した場合に生じていたが、現状のセンサの検出原理では、誤報・欠報をゼロにすることは難し

い。特に歩行者交通量が多く同時通過が生じやすい場所では、横断開始のみを検出し一定時間経過後に消灯する方法、あるいは横断者の存在を面的に検出できる画像センサ等の活用が有効と考えられる。一方、発光鉢による情報提供は、あくまでも注意喚起に過ぎないことから、過信せずに、安全確認はドライバ・横断者自身の判断が基本であることを改めて周知することも必要といえる。

e) システムの導入・維持管理の容易さ：単路部横断歩道のような事故多発箇所としては抽出されにくいもののシステムの高い効果が期待される箇所への展開を考えると、導入が容易なようシステム導入コストの低廉化が必要である。また、耐久性とともに維持管理が容易で、舗装補修後にも速やかに復旧可能なシステムが求められる。

5. おわりに

本研究では、LED発光式道路鉢により横断歩行者の存在をドライバに注意喚起する横断歩行者注意喚起システムについて、ラウンドアバウト型交差点をフィールドとしたときのシステムの検出性能、利用者の受容性、システムの有効性等について検証を行った。アンケート結果より、利用者からは比較的高い受容性が得られ、システム設置により以前より安全確認するようになった利用者が増加し、かつ安心感が高まったとの回答結果が得られた。また、ビデオ観測結果より、歩車間の危険な交錯が全体的に減少する等の効果が示され、特に夜間や直線的な区間において効果の発現が高い傾向がみられた。

今後の課題として、発光鉢の視認性向上とともに、導入コストが安価かつ維持管理が容易なシステムへ改良することが挙げられる。また、設置にあたってはシステムの効果を十分に発揮できるよう、設置環境および利用者の安全確認挙動等の実態に留意するとともに、これらを考慮したシステム適用条件について精査が必要である。

謝辞：本研究は、(公財)国際交通安全学会および長野県飯田市が協働で実施する社会実験に国土技術政策総合研究所が参画することで得られた結果の一部である。本研究の実施にあたっては長野県飯田市および(公財)国際交通安全学会H2303プロジェクト(プロジェクトリーダー：名古屋大学大学院・中村英樹教授)の関係者、(株)キクテックをはじめとする多くの皆様より多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- (公財)交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション、自動車と歩行者の事故、No.83, 2010.
- (公財)国際交通安全学会 H2303 プロジェクト・ホームページ：http://www.iatss.or.jp/2012/01/h2303.html