

<研究課題>歩行者優先のための注意喚起機能を付加した無信号横断歩道施設に関する研究

代表研究者 日本大学大学院理工学研究科 博士後期課程 吉村 暢洋
共同研究者 日本大学理工学部 教授 小早川 悟

【抄録】

信号機のない横断歩道での歩行者優先を高める対策のひとつとして米国で整備されているRRFB(角型閃光式警告灯)が有効であるのか検証を行った。宮城県仙台市の単路部無信号横断歩道で社会実験を行った結果、RRFBを設置していない時期と比べて運用4か月間後の車両の譲り率は15.2ポイント増加した。しかし、横断歩行者の利用率が低かったため閃光が車両の譲りを向上させたとは言い切れない結果であった。

1. 研究の目的

横断歩道における車両の歩行者優先に大きな社会的関心が寄せられている。歩行者の横断機会を確保するために交通信号機を設置する考え方もあるが、わが国は人口減少による交通実態の変化や財政難などにより信号機に頼らない持続可能な交通安全施設の検討が進められている。無信号横断歩道における標準的な交通安全施設は、横断歩道の存在を示す横断歩道標識と道路を横断するための歩道範囲を定めた横断歩道標示から構成され、さらに交通規制の実効性を高める方法として、オーバーハング式横断歩道標識、カラー舗装、注意看板などがこれまで整備されてきた。

ここで海外の横断施設に注目すると、米国では横断歩道標識の支柱に取り付け可能な閃光式のライトを用いて運転者に注意喚起を促すRectangular Rapid Flashing Beacons(角型閃光式警告灯、以下「RRFB」と称する。)を横断歩道の交通安全対策のひとつとして採用しているが、わが国では閃光を用いた横断施設の整備効果については明らかにされていない。そこで本研究では、宮城県仙台市の単路部無信号横断歩道にRRFBを設置して閃光が歩行者優先を促す効果を有するのか検証を行うことを研究の目的とする。

2. 研究方法と経過

2-1 実験で使用したRRFBの仕様

使用した機器は、米国Tapco社製の押ボタン式RRFBとした。図1に示すとおり、ライトバーは、横断歩道標識下部に取り付けた。電源は、支柱上部にソーラーパネルを固定し蓄電池へ給電する独立電源である。また、通信機能により上り線に設置した押ボタンを押した際には、図2の下り線に設置したRRFBも同時

に閃光するように設定した。光り方は、米国で採用されている左右交互および左右同時点滅を800msで1周期とするWig-Wag + Simultaneous方式とした。Wig-Wagとは、図3右の左側ライトが点滅をした後、続けて右側ライトが点滅することを繰り返す方法である。また、Simultaneousとは、左右のライトを同時に点滅させる方法である。

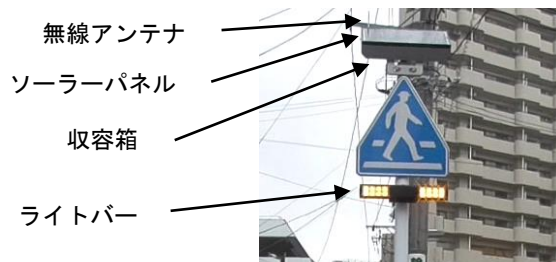


図1 RRFBの構成部品



図2 RRFBの設置状況



図3 押ボタンと点滅パターン

2-2 実験期間と周知方法

実験開始前にRRFBの設置工事を行い、運

用期間は4月4日から8月8日までの4か月間とした。RRFBの利用方法を周知するため、図4(a)の掲示板4枚を実験終了まで図5の青四角で示す沿道施設物に取り付けた。運転者に対しては、東方向・西方向各1箇所に図4(b)の掲示板を図5の赤四角の位置に取り付けたが、時間の経過とともに閃光による注意喚起が受け入れられるのかを把握するため、運転者向けの掲示板は実験開始1週間後に撤去した。



(a)歩行者向け (b)運転者向け

図4 掲示板



図5 実験用平面配置図

2-3 調査概要

調査は運用前調査としてRRFBを設置した1か月前に1回実施した後、運用開始日から1か月後と4か月後にそれぞれ1回行った。調査は平日5日間とし、調査時間は午前9時から午後4時までの合計7時間とした。観測方法はビデオカメラによる撮影とし、仙台市が所管する街路灯と宮城県警察の標識用鋼管柱を利用して、ビューポール(株式会社道路計画)と呼ばれる高所ビデオカメラ装置(30fps)を合計3台取り付け付けた。分析対象の車両は、運用前後の調査ともに東方向を走行する車両とした。また、歩行者の横断待機位置を運転者から見て左側をnear-side、右側をfar-side、両側をboth sidesに分類した。車両が歩行者に対して横断機会を譲るべき事象を判定するため、横断待機エリア(縦:1.5m, 横:3.0m)を映像上に描画し、歩行者が同エリアで横断待機した時点を基準に調査を行った。

3. 研究の成果

3-1 車両の譲り率とRRFB利用率

図6に、調査箇所の譲り率の推移を示す。運用前の譲り率34.7%を基準とすると、運用1か月後が39.1%、運用4か月後は49.9%と運

用前と比べ運用4か月後の譲り率は15.2ポイント増加した。しかし、RRFBを利用した歩行者の割合は、運用1か月後で6.4%、運用4か月後も6.2%とほぼ利用されない結果であった。図7の閃光の有無別にわけた譲り率では、閃光したほうが閃光しないときと比べて比率は高かったが、サンプル数の偏りが大きいため評価することが難しかった。

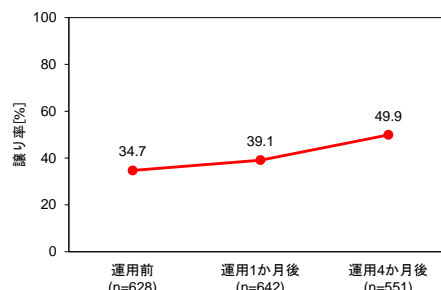


図6 譲り率の推移

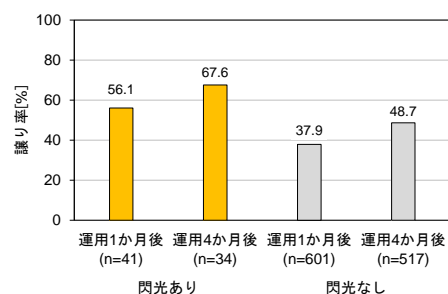


図7 閃光有無別での譲り率

3-2 調査員による実験

1か月目の観測結果を受けて、調査員がRRFBを閃光させて横断を行う実験を実施した。実験方法は、東方向と西方向の歩道上に配置した図8(a)の指示役2名が車両の横断歩道到着予想秒数を歩行者役に無線機で伝達し、図8(b)の歩行者役は指示された秒数に合わせて押ボタンに接近し閃光させるという方法で行った。以上の実験方法により合計295件の閃光した状況での車両挙動を撮影したため、以降の分析では、RRFBを利用した住民サンプル(運用1か月後:n=41, 運用4か月後:n=34)と調査員サンプル(n=295)を合算して閃光あり群(n=370)として扱う。



(a)上り線の指示役 (b)歩行者役

図8 調査員による実験の状況

3-3 車種別分析

6車種にわたる観測車両の構成割合は、3回の調査とも普通乗用車が60%以上を占めて最も多く、その次にタクシーであった。残り4車種では、小型貨物車、二輪車または普通貨物車、バスの順に高かった。次に、調査時期別の閃光なし群と閃光あり群にわたる6車種の譲り率の推移を図9に示す。閃光がない場合、運用前と比較して二輪車以外の四輪車5車種では譲り率が増加傾向であった。閃光があった場合では、小型貨物車を除いた四輪車の比率は4か月後閃光なし群と比べ譲り率は上回っていたが、反対に、小型貨物車と二輪車は下回る結果であった。

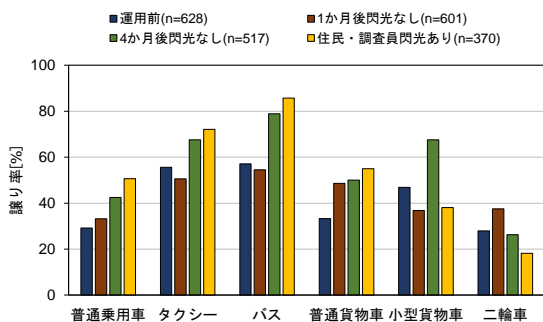


図9 6車種別での譲り率

3-4 歩行者の横断位置別分析

歩行者の横断位置を near-side、far-side、both sides に分類して車両の譲りに違いがあるのか分析を行った。図10は、調査時期別の閃光なし群と閃光あり群にわたる both sides を除いた near-side と far-side での譲り率を示している。結果として、4群全てで near-side の譲り率は far-side に比べて高く、far-side に立つ歩行者のほうが車両に譲られにくい傾向であった。

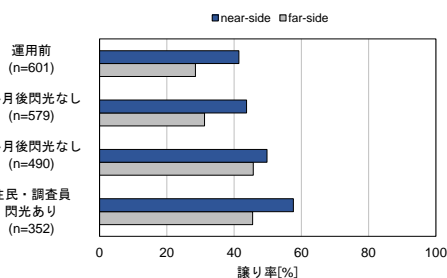


図10 横断位置別で譲り率

3-5 走行区間と譲りの分析

歩行者が横断待機エリアに進入した時点とRRFBの閃光が開始した時点とを基準とした車両の走行区間を調査し、横断歩道までの距離によって譲り率が異なるのか分析を行った。調査方法は、図11のように横断歩道標示端部から

上流30mまでを1区間5mに分割して走行区間を設定した。図12に、走行区間別での譲り率を示す。結果は、4群全て横断歩道に接近するほど譲り率は低下した。閃光なしの3群間で比較すると、運用前と運用1か月後と比較して運用4か月後の比率は0~5m区間を除き増加した。閃光あり群では、30m以上で閃光したときが63.1%と最も高く、横断歩道から遠いほど閃光による譲りの効果は高い可能性があることが示された。

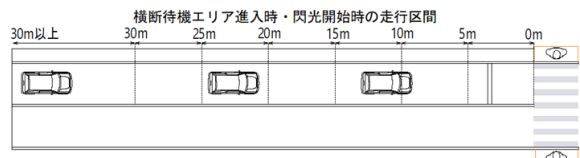


図11 走行区間の設定

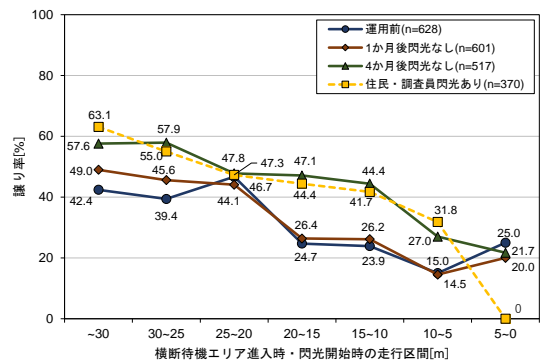


図12 走行区間別での譲り率

3-6 車両速度と譲りの分析

閃光の有無と車両速度の違いにより譲り率に差があるのかを検証するため、サンプル数が最も多い横断エリア進入時・閃光開始時の走行区間が30m以上の車両を対象に分析を行った。車両速度は、横断歩道上流35mから30mの断面を通過する5m区間平均車両速度とした。図13は、速度の階級を5km/h刻みとして閃光なし群と閃光あり群にわたる譲り率の結果である。最頻値の速度は、4群とも30~35km/hであったが、4か月後では制限速度40km/hを超える車両も多く観測された。譲り率は、4群と

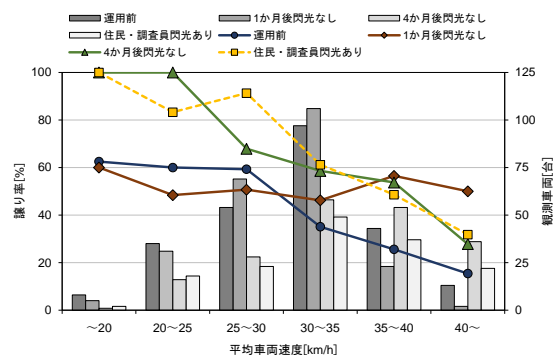


図13 車両速度別での譲り率

も速度が高い車両ほど譲り率は下がる傾向であった。閃光なしの群間で比較すると、運用前と運用 1 か月後よりも運用 4 か月後のほうが一部区間を除き高かったが、走行位置別での結果と同様に 4 か月後閃光なし群と閃光あり群の傾向に違いは見られなかった。

3-7 閃光による車両の譲りに関する要因分析

RRFB の閃光が車両の譲りに影響を与える要因を明らかにするためこれら複数の状況を同時に検討できる二項ロジスティック回帰分析により推定を行う。二項ロジスティック回帰モデルでは、運転者の目的変数(閃光があった場合に譲る、譲らない)を選択する確率 P_y は式(1)で表される。

$$P_y = \frac{1}{1 + \exp\{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k)\}} \quad (1)$$

ここで、 b_k はパラメータ推定値、 x_k は説明変数の実測値である。

表 1 に、ロジスティック回帰分析の結果を示す。歩行者の横断前状況と閃光による譲り挙動の関係については、係数が有意であった歩行者数では「単独」より「複数」いた場合で閃光したほうが譲りに影響を及ぼしやすいという結果であった。横断位置については、符号条件から車両に対し「far-side」で RRFB を作動させた歩行者のほうが「near-side」と比べて影響は低かったが有意差は認められなかった。車両の走行状況では、係数が負値で有意であったのは、「二輪車」、「車群走行」、「車両速度の増加」の場合に閃光の効果は低くなる可能性があることがわかった。次に、係数が正值で有意であった閃光開始区間では、パラメータ比により閃光開始時の車両の走行位置が横断歩道から離れているほど車両の譲り挙動を促しやすいことがわかった。

3-8 まとめ

本研究では、閃光が歩行者優先を促す効果を有するかについて事前事後の調査から分析・評価を行った。事前調査のデータと比較した結果では、閃光があった場合の譲り率は増加傾向にあることを把握した。ロジスティック回帰モデルを用いて行った閃光が車両の譲りに与える影響に関する要因分析では、閃光開始時の走行位置が横断歩道から離れているほど影響は大きいことが示された一方、閃光の効果が小さくなる要因として、車種では四輪車より二輪車、

表 1 ロジスティック回帰モデル

説明変数	係数
横断位置ダミー (far-side : 1, near-side : 0)	-0.33
歩行者数ダミー (複数 : 1, 単独 : 0)	1.59**
路上駐車ダミー (有 : 1, 無 : 0)	-0.87
車種ダミー (二輪車 : 1, 四輪車 : 0)	-2.91*
走行状況ダミー (車群走行である : 1, 車群走行でない : 0)	-1.04*
閃光開始区間ダミー [20~10m] (横断歩道上流20~10mで閃光 : 1, それ以外 : 0)	1.33*
閃光開始区間ダミー [30~20m] (横断歩道上流30~20mで閃光 : 1, それ以外 : 0)	2.37***
閃光開始区間ダミー [~30m] (横断歩道上流30m以上で閃光 : 1, それ以外 : 0)	3.22***
閃光開始時の平均車両速度[km/h] (5m区間平均速度)	-0.13***
切片	2.00
McFaddenの疑似決定係数	0.217
的中率[%]	71.72
サンプル数	343
χ^2 (df)	159 (1)***

*:P<0.05, **:P<0.01, ***:P<0.001 (P値はWald統計量による)

走行状況では車群走行と車両速度が影響することが示唆された。

4. 今後の課題

分析結果より、わが国でも RRFB を横断歩道に付加することにより車両の譲り率を向上させる交通安全施設になる可能性があることがわかった。しかし、今回実施した社会実験では横断歩行者の RRFB の利用回数が少なかったため、今後は RRFB の認知度を高めていく必要があるといえる。また、運用 4 か月後では閃光した場合と閃光がなかった場合との差はあまり大きくなかったことから、閃光が車両の譲り挙動を促す効果を有するとの結論を得るには至らなかった。

今後の課題として、今回は日中の調査であったが、閃光がより目立つ夜間での効果検証を行っていく必要がある。また、道路交通環境が異なる場所、特に、横断歩道長が長い箇所や規制速度が高い箇所での実証研究を積み重ねていき、RRFB による安全対策が有効な道路交通環境について明らかにしていく必要がある。

5. 研究成果の公表方法

本研究の成果は、第 43 回交通工学研究発表会において発表した(2023年8月9日)。現在は、審査付き論文に投稿中である。

以上

A Study on Unsignalized Crossing Facilities with Rectangular Flashing Beacons for Increasing Drivers Yielding to Pedestrians

Primary Researcher: Masahiro YOSHIMURA
Doctoral Program in Transportation Engineering,
Graduate School of Science and Technology, Nihon University

Co-researchers: Satoru KOBAYAKAWA
Professor, Nihon University

Abstract

We conducted an experiment to assess the effectiveness of Rectangular Rapid Flashing Beacons (RRFB), a measure implemented in the United States to enhance pedestrian right-of-way law at crosswalks. The results of the verification conducted in Sendai City showed that after four months of operation with RRFB installed, the rate of drivers yielding increased by 15.2 points compared to the period when RRFB was not installed. However, due to the low actuation, it cannot be stated that the flashing lights significantly improved drivers yielding.

1. Aim of Research

Yielding to pedestrians at unsignalized crosswalks become a major concern in Japan. Although some local communities have been requesting the traffic signals to ensure that pedestrians have the opportunity to cross safely, fewer are not being equipped with traffic signals. As background, declining population has been changed traffic conditions and the country's financial difficulties have led to a policy of reducing traffic signals in Japan, so Japanese traffic authorities discuss about sustainable traffic safety crosswalks facilities alternative to traffic signals.

Generally, crosswalks consist of signs and markings. Additionally, overhead crosswalk signs, colored pavement, and warning signs, have been installed over time. Focusing at crossing facilities in the U.S., they employ Rectangular Rapid Flashing Beacons (referred to as "RRFB") alternative to signals. Specifically, flashing lights can be attached to the pole of crosswalk signs to alert drivers. However, the effectiveness of flashing lights in crossings has not been established in Japan. Therefore, the aim of this study is to investigate whether RRFB has an effect in improving pedestrian right-of-way law.

2. Method of Research & Progression

2-1 Specifications of the RRFB

The equipment used in the experiment was the push-button RRFB manufactured by Tapco in the U. S.. As shown in Figure 1, the light bar was mounted under the crosswalk sign. Power was supplied independently via a solar panel which charged a battery. Additionally, a communication feature was set up so that pressing the button on the upstream side would simultaneously activate the downstream side RRFB. The flashing pattern followed the Wig-Wag + Simultaneous method, with the Federal Highway Administration (FHWA) specifying an 800ms cycle for left-right alternating and simultaneous flashing(Figure 2).

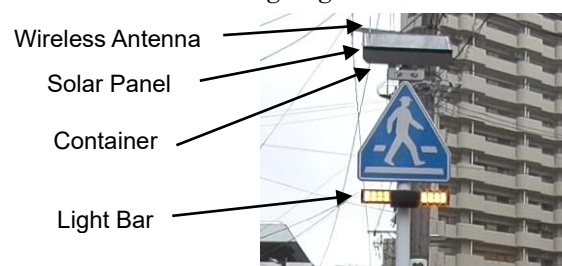


FIGURE 1 : The Components of RRFB



FIGURE 2 : Push Button and Flashing Pattern

2-2 Notification Method

We installed RRFB before the start of the experiment, and the experimental period was set for four months from April 4th to August 8th. In order to inform RRFB, we attached four notice boards as shown in Figure 3(a) to roadside facilities indicated by the blue rectangles in Figure 4 until the end of the experiment. We also installed the notice boards for drivers at the positions indicated by the red rectangles in Figure 4 as showed in Figure 3(b). However, the notice boards for drivers were removed one week after the experiment started.



(a)For Pedestrians (b)For Drivers
FIGURE 3 : Notice Board

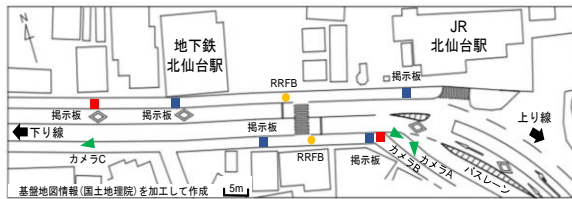


FIGURE 4 : Experimental Site Plan

2-3 Survey Overview

The survey was conducted once before the installation of RRFB, and one month and four months after installation. The survey took place over five weekdays with a total of seven hours of observation each day. The observation method was the use of a total of three elevated video camera devices known as 'viewpoles,' each recording at 30 frames per second (fps). The vehicles included in the analysis were those traveling in the eastward direction. Additionally, pedestrians waiting positions were categorized as 'near-side' for the left side when viewed from the drivers, 'far-side' for the right side, and 'both sides' representing pedestrians positions on both sides of the road.

3. Results of Research

3-1 Yielding Rate and Actuation Rate

Figure 5 illustrates the changes in yielding rates at the experiment site. Using the pre-installation yielding rate of 34.7% as a baseline, the yielding rate increased by 15.2 percent point four months after installation. However, the percentage of pedestrians using RRFB was quite low, standing at 6.4% one month into its operation and dropping slightly to 6.2% after four months of operation. As shown in Figure 6, the yielding rate was higher when RRFB was flashing compared to when they were not, but due to significant sample size imbalances, it was difficult to evaluate the effectiveness of flashing lights and drivers yielding behavior.

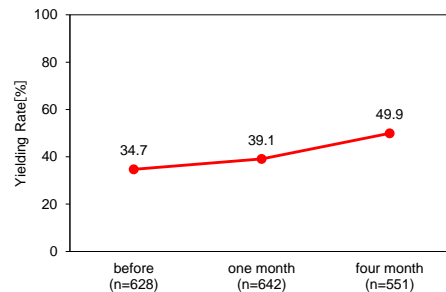


FIGURE 5 : Yielding Rate Trend

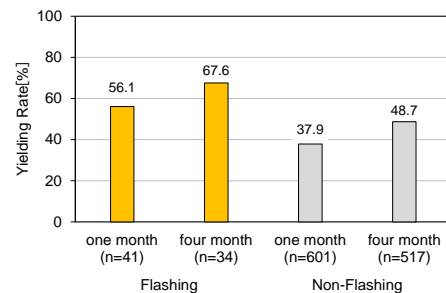


FIGURE 6 : Yielding Rate by Presence of Flashing

3-2 Staged Pedestrian Protocol

Based on the first month observations, we conducted an experiment in which the investigators themselves activated RRFB (referred to as Staged Pedestrian Protocol). The method involved two signalers initially stationed on the sidewalk for communicating the estimated arrival time to staged pedestrians who push button via wireless devices. The staged pedestrians, in turn, approached the pushbutton for activating the RRFB according to the specified time.

3-3 Vehicle Types and Yielding Behaviors

The ratios of observed vehicles categorized

into six vehicle types showed that regular passenger cars were the most prevalent, accounting for over 60%, followed by taxis. Figure 7 illustrates the changes in the yielding rates of the six vehicle types, divided into groups with and without flashing lights. In cases without flashing lights, there was an increasing trend for the five vehicle types (excluding motorcycles) compared to their pre-installation rates. In cases with flashing, the proportion of four-wheeled vehicles (excluding compact delivery trucks) exceeded the yielding rates four months after the event compared to the group without flashing lights.

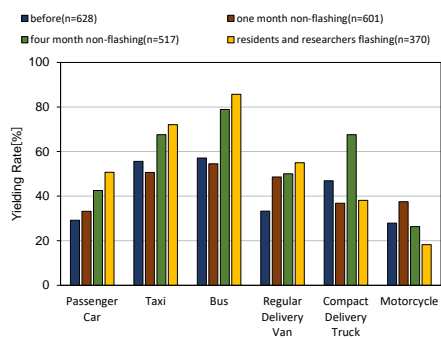


FIGURE 7 : 6 Vehicle Categories

3-4 Crossing Locations and Yielding Rate

Figure 8 depicts the yielding rate for pedestrians crossing locations on sidewalks such as near-side and far-side, excluding both sides, divided into groups with and without flashing lights for different survey periods. As a result, in all four groups, the yielding rate on the near side was higher than that on the far side, indicating a tendency for pedestrians on the far side to be less likely to be yielded to by drivers.

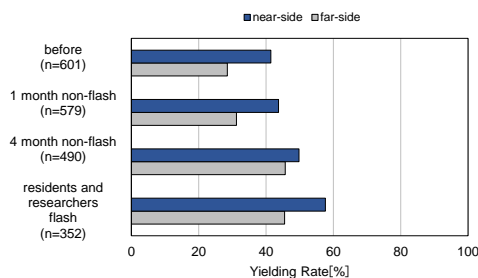


FIGURE 8 : Crossing Locations

3-5 Diving Section and Yielding Behavior

We analyzed whether the yielding rate differed based on the distance to the

crosswalk, when pedestrians entered the waiting area for crossing or the onset of a flashing of the RRFB. The survey method involved dividing the area from the end of the crosswalk markings upstream to 30 meters into segments of 5 meters to establish travel segments. Figure 9 presents the yielding rate for different travel segments. The results indicated that all four groups approached the crosswalk, the yielding rate decreased. When comparing the three groups without flashing, the ratios for the operation four months increased except for the 0-5m segment. In the group with flashing, the effectiveness of yielding due to a flash of RRFB was highest at 63.1% when flashing lights started at 30 meters or more.

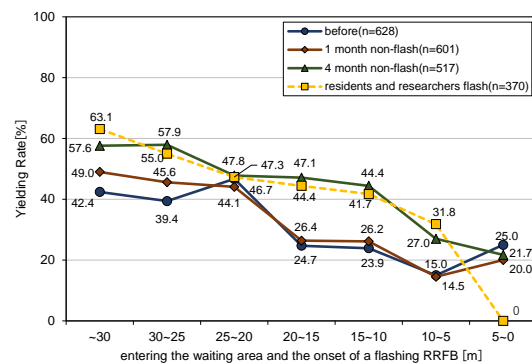


FIGURE 9 : Travel Segment

3-6 Vehicle Speed and Yielding Behavior

We conducted an analysis of vehicles with a travel distance of 30 meters or more at the time of the flashing to examine whether there is a difference in yielding rates based on the vehicle speed when the flashing occurred. Figure 10 presents the results of yielding rates, categorized into groups with and without flashing lights, with speed classes in 5 km/h increments. The mode speed for all four groups was 30-35 km/h. The yielding rates in all four groups tended to decrease as vehicle speed increased. When comparing the groups without flashing lights, the yielding rates were higher after 4 months of operation than they were before the operation and one month into the operation, with the exception of some sections. However, there were no significant differences in the trends between the groups without flashing lights and the groups with flashing lights after four months.

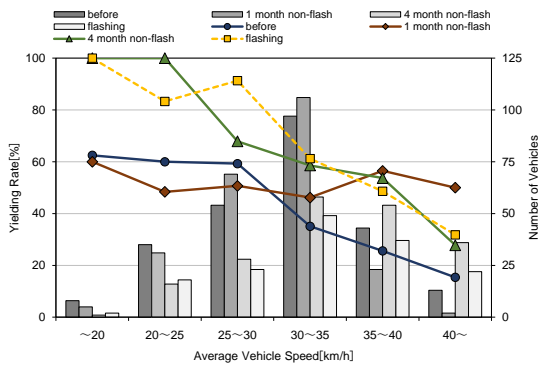


FIGURE 10 Yielding Rate by Vehicle Speed

3-7 Factor Analysis of Drivers Yielding

To assess the factors influencing drivers yielding behavior in response to RRFB flashing, an analysis is conducted using binomial logistic regression. In the binomial logistic regression model, Equation (1) represents the probability (denoted as P_y) of a drivers response variable, which indicates whether they yield when flashing is present or not.

$$P_y = \frac{1}{1 + \exp\{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k)\}} \quad (1)$$

Table 1 shows the results of the logistic regression analysis. Regarding the relationship between pedestrian characteristic and yielding influenced by RRFB, it indicated that when there were more pedestrians, the presence of flashing had a more significant impact on yielding behavior, especially when there were "multiple" pedestrians compared to "solo" pedestrians. When it comes to the crossing position, pedestrians who activated the RRFB on the 'far-side' relative to the 'near-side' demonstrated a slightly lower impact, although no significant difference was observed. In terms of vehicle driving conditions, the results showed that the impact of flashing lights was less pronounced and statistically significant when the partial regression coefficients were negative for scenarios involving 'motorcycles,' 'platooning,' and 'increased vehicle speed.'

Next, regarding the flashing start interval with positive and significant coefficients, it was observed that the further the vehicle's position from the crosswalk at the onset of

flashing, the more likely it was to encourage yielding behavior, as indicated by the parameter ratios.

Table 1 : Logistic Regression Model

Independent Variable	Partial Regression Coefficient
Crossing Position Dummy (far-side : 1, near-side : 0)	-0.33
Numeber of Pedestrian Dummy (Multiple : 1, Solo : 0)	1.59**
On-Street Parking Dummy (Yes : 1, No : 0)	-0.87
Vehicle Type Dummy (Motorcycle : 1, Four-Wheel Vehicle : 0)	-2.91*
Driving Condition Dummy (Platooning : 1, Non-Platooning : 0)	-1.04*
Flashing Onset Interval Dummy [20~10m] (Upstream 20~10m : 1, Otherwise : 0)	1.33*
Flashing Onset Interval Dummy [30~20m] (Upstream 30~20m : 1, Otherwise : 0)	2.37***
Flashing Onset Interval Dummy [~30m] (Upstream more than 30m : 1, Otherwise : 0)	3.22***
Average Vehicle speed at the Onset of Flash [km/h] (Average Speed over a 5-meter Interval)	-0.13***
Intercept	2.00
McFadden's Pseudo R-Squared	0.217
Accuracy Rate[%]	71.72
Sample Size	343
χ^2 (df)	159 (1)***

** : P<0.05, ** : P<0.01, *** : P<0.001

4. Future Area to Take Note of, and Going Forward

Based on the analysis results, it has been determined that installing at pedestrian crossings has the potential to enhance the yielding rate of vehicles, making it an effective traffic safety feature. However, the difference between when it was flashing and when it wasn't flashing was not significantly large, which led to the conclusion that there was no clear effect of flashing on the yielding behavior of vehicles. As a future task, it is necessary to conduct an assessment during nighttime. Furthermore, it is essential to accumulate empirical research in different road traffic environments. This will help clarify the effectiveness of RRFB safety measures in various road traffic settings.

5. Means of Official Announcement of Research Results

The results of this study were presented at the 43rd Transportation Engineering Research Presentation Meeting on August 9, 2023.