

二輪車の被視認性を向上させる LONG 灯火器システムの研究

Study of "LONG" Lighting System for Enhanced Motorcycle Conspicuity

堤 陽次郎*
Yojiro TSUTSUMI

丸山 一幸*
Kazuyuki MARUYAMA

要 旨

二輪車の距離と速度の評価に関する被視認性を向上させるために Longitudinal Oriented Normative time Gap compensation (LONG) 灯火器システムを提案する。二輪車の灯火器を垂直方向に沿ってより広範囲に配置した。四輪車の右折待機時(左側通行)において、対向二輪車との臨界時間ギャップ(CTG: Critical Time Gap)を測定することにより被視認性を評価した。その結果、本灯火器システムを備えた二輪車は四輪車とほぼ同等の被視認性を持つことを示した。

ABSTRACT

The Longitudinal Oriented Normative time Gap compensation (LONG) lighting system is proposed to enhance conspicuity with regards to the evaluation of motorcycle distance and speed. This system positions motorcycle lamps over a wider range in the vertical direction. Conspicuity was evaluated by measuring the critical time gap (CTG) with an oncoming motorcycle in an automobile waiting for a right turn (in left-hand traffic countries). The results showed that a motorcycle equipped with the LONG lighting system can have approximately the equivalent conspicuity as an automobile.

1. まえがき

英国における二輪車事故分析により他の道路使用者が二輪車を知覚することは容易ではないことが報告されている⁽¹⁾。そこで昼間における二輪車の検知されやすさ(detectability)を向上するために米国では1960年代終わりから前照灯の昼間点灯が普及し始め、日本では1998年に昼間点灯が義務化され、その後欧州でも広く普及していった。これらの施策は被視認性の要素のうち「検知されやすさ(detectability)」を向上させたものでありもう一つの要素である「距離と速度の評価」の向上を主目的とはしていない。2003年度の日本の交通事故統計⁽²⁾から二輪車死亡事故データ(四輪車が第一当事者のもの)を分析した結果、四輪車ドライバの二輪車の「距離・速度誤認」が「見落とし」とともに事故の主たる要因であることがわかった(Fig. 1)。また、Donneによれば、英国でも「距離・速度誤認」による事故は

*二輪開発センター

比較的高い割合であることが示されている⁽¹⁾。我々はこの誤認を低減させるために、距離と速度の評価に関する被視認性を向上させる灯火器システムを提案する。

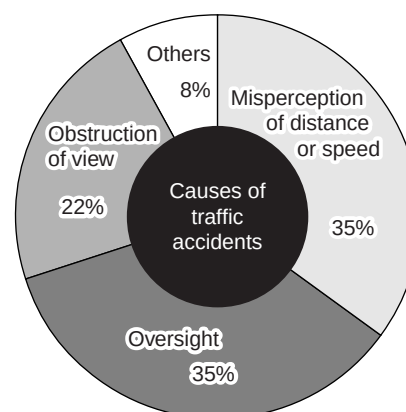


Fig. 1 Analysis of motorcycle traffic accidents in Japan (ITARDA 2003)

2. 基本コンセプト

我々は先の研究で、灯火器システムによってさまざまな車両の被視認性を統一できる可能性を示した⁽³⁾。この研究は一部の車両の被視認性が高いと、その他の車両の被視認性が相対的に低下する可能性があるということから、それを是正するためにおこなわれたものである。二輪車の被視認性は四輪車のそれとほぼ同等になることが望ましいと考えられる。しかしながら、二輪車は四輪車に比べ車体の輪郭が不規則なため、車両の大きさや形状を認識することが難しい。したがって、特に正面から見た場合は前照灯や車幅灯が目立ち、それらを手がかりに距離や速度が認知されていると考えられる。

知覚対象の視野内での高さが水平線から離れているほど近くに感じる。この効果は遠近法の一つである⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。また、人は物体との距離をふ角から判断する説の裏づけが報告されている⁽⁷⁾。通常の二輪車は前照灯や車幅灯が比較的高い位置に配置されており、路面の近傍に目立つものがない。したがって実際よりも遠くに知覚される可能性がある。そこで、路面近傍の低い位置を強調するために、フロントフォーク下部に灯火器を配置した。これにより実際よりも遠くに感じてしまう効果を低減させられることが期待できる (Fig. 2, Fig. 4)。

一方、車両の見かけのサイズが小さいと接近してくるときの網膜上での像の拡大量が小さく、接近する速度を感じ難くなる。接近する車両の見かけのサイズが大きいと、より遠い位置まで接近速度を認知できることを我々は報告している⁽⁸⁾。通常の二輪車の多くはその前照灯や車幅灯は狭い領域に配置されており、これらの網膜上での像は小さいため、速度を認知することが難しい可能性がある。通常の二輪車の車高寸法は車幅寸法に対し比較的大きい。そこで車体の縦の長さを強調するために、車体の低い位置と高い位置、例えばフロントフォーク下部とリヤビューミラー前側に灯火器を配置し、見かけのサイズが小さく認知されることを

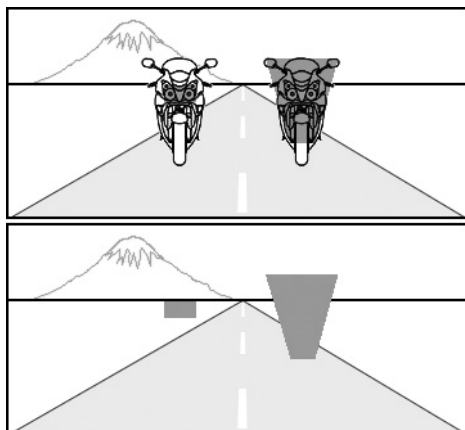


Fig. 2 Principle of enhancing sense of distance

防ぎ、その速度をより認知しやすくする (Fig. 3)。さらに、見かけのサイズが大きいことは、距離認知にも影響を与え、そのサイズが大きいと物体までの距離が近く感じられることが報告されている⁽⁹⁾ (Fig. 2)。

これらの概念を利用し、二輪車の距離と速度の評価に関する被視認性を向上させ、四輪車のそれとほぼ同等にする一手法として、灯火器を逆台形に配置した Longitudinal Oriented Normative time Gap compensation (LONG) 灯火器システムを提案する (Fig. 4)。

3. 評価方法

3.1. 臨界時間ギャップ

右折(左側通行)を開始しようとするとき、その運転者は接近してくる対向直進車両の速度や距離、自分の速度、道路の幅員などを総合的に判断して右折の意思を決定していると考えられる。これら一連の行動は右折時のギャップ・アクセプタンス行動とよばれ、接近してくる車両に対し「これ以上近づいたらもう右折をしない」とする時点から、その車両が右折開始地点を通過するまでの時間は臨界時間ギャップ (CTG: Critical Time Gap) とよばれる⁽¹⁰⁾。いろいろな車両に対してこの CTG を比べると、その車両に対する距離と速度の評価に関する被視認性を定量的に比較することができ

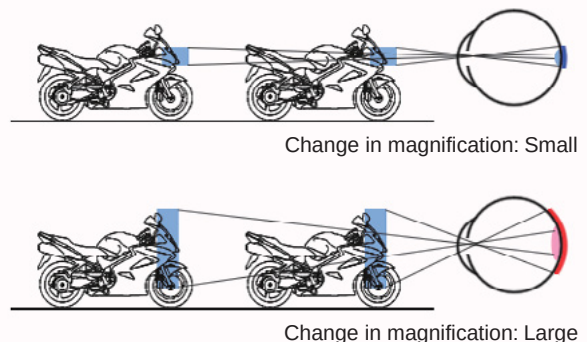


Fig. 3 Principle of enhancing sense of speed, effect of visual size difference projected on retina

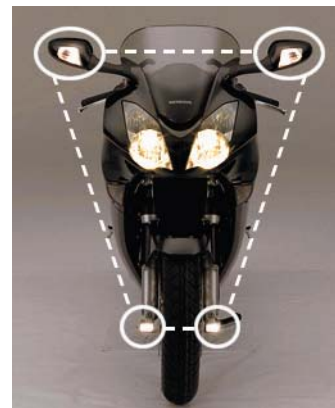


Fig. 4 LONG lighting system

る。LONG 灯火器システムは右折時の CTG を測定することにより定量的に評価される。

Fig. 5 に CTG 測定の手配配置を示す。被験者への指示は「あなたは今交差点で右折待ちをしています。これ以上対向直進車両が近づいてきたら右折を断念すると判断したら、できるだけ早くブレーキペダルを踏んでください」とした。刺激である対向直進車両の速度は日本の幹線道路の制限速度である 60 km/h に設定した。被験者への刺激を統制するために対向直進車両が被験者から 150 m の位置を通過した瞬間から車両の観察を始めさせた。具体的には、被験者には最初前方を見ないように下を向けさせ、車両通過センサからの合図音が聞こえてから前方を観察させた。また、学習効果を最小にするためにブレーキを踏んだらすぐに下を向けさせ車両の観察をやめさせた。被験者の乗り込んでいる車両のフロントグリルにはミリ波レーダが装備されており、刺激車両の速度と距離が 0.1 秒周期で測定される。被験者がブレーキを踏んだ瞬間の刺激車両の速度と距離から CTG を計算により求める。同じ刺激車両に対し連続して 5 回の CTG を測定して、その平均値をその刺激車両の値とした。

3.2. CTG 比

Fig. 6 に夜間における通常の二輪車に対する CTG 測定結果の一例を示す。これらは 3 名分のデータであり、1 名に対し、異なる日におこなわれた三日分の同一二輪車に対する値が示されている。被験者 A, B, C の CTG の標準偏差をその平均値で割った値、変動係数は、0.25, 0.30, 0.21 である。同一被験者の同一刺激車両に対する結果にもかかわらず測定日により大きな変動がある。過去の研究におい

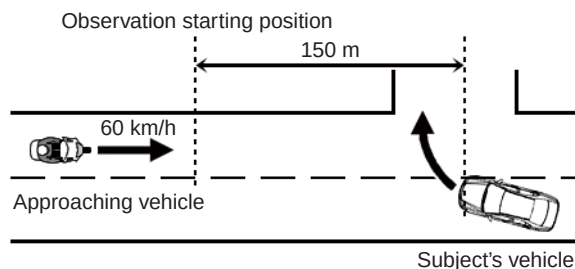


Fig. 5 Schematic plan of right-turn across path scenario, as used in the study

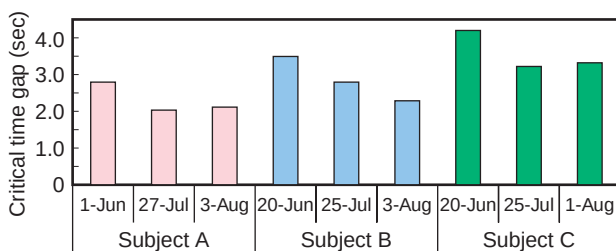


Fig. 6 CTG of ordinary motorcycle in nighttime

ても CTG のばらつきについては指摘されており⁽¹⁾、被視認性を表す変数として CTG を直接採用することは信頼性が足りないように思われる。そこで我々は同一日に測定した四輪車の CTG が二輪車のそれと同じような変動をしていることに着目した。二輪車の四輪車との CTG 比、二輪車の CTG を四輪車の CTG で割り百分率で表したものを Fig. 7 に示す。被験者 A, B, C の CTG 比の標準偏差をその平均値で割った値、変動係数は、0.06, 0.02, 0.10 となり、明らかに測定日による値の変動が小さくなっている。すなわち、同日に測定した四輪車の CTG を基準とすることで、測定日によるばらつきを抑え、安定して被視認性を評価することが可能である。本灯火器の目的は二輪車の被視認性を四輪車のものとほぼ同等にすることであり、四輪車と比較することはこの目的にも合致する。以上より、我々は距離と速度の評価に関する被視認性を評価する変数として同日に測定された四輪車との CTG 比を採用することとした。

4. 被視認性向上効果

4.1. 測定に用いた車両

LONG 灯火器システムによる被視認性向上効果を、実車を用いた CTG 測定により評価する。Fig. 8 に測定に用いた刺激用二輪車の写真を示す。この車両は排気量 250 cm³ のオンロードタイプの二輪車 (Honda XR250 Motard) であり、フロント・リヤともに 17 インチのタイヤが装着されている。この車両の前面にステーを介して LONG 灯火器システ

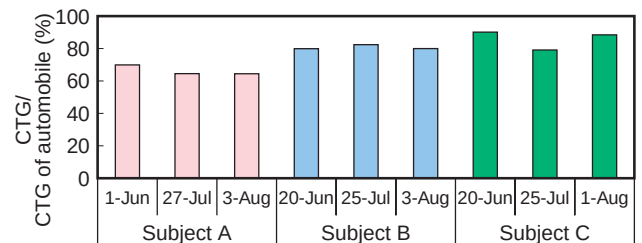


Fig. 7 CTG ratio of ordinary motorcycle compared to automobile



Fig. 8 Motorcycle used for measurement of enhanced conspicuity

ムを装着した。また、LONG 灯火器システムのアップ側には大型の方向指示器(CB1300SF 用)を用い、ロア側には小型の方向指示器(XR250 用)を用いた。ただし発光色を白とするためこれらのレンズはアンバからクリアに変更されている。ロアランプの高さ(H)は225 mm、その水平方向間隔は300 mmとし、アップランプの高さはロアランプとの間隔(S)が950 mmとなる高さとし、その水平方向間隔は750 mmとした。また、LONG 灯火器システムの最大光度を自由に変更できるPulse Width Modulation(PWM)調光回路を装備している。この車両は市販されている多くの車種のヘッドランプとその高さを再現できるように特殊なステータを持っており、1灯式のマルチリフレクタヘッドランプ(55/60W CB1300SF 用)が高さ825 mmの位置に装備されている。Fig. 9に測定に用いた刺激用四輪車の写真を示す。この車両は排気量2000 cm³のミニバンタイプの乗用車(Honda STEPWGN)で車体色は白色である。また、車体幅は1695 mm、車体高は1770 mm、ヘッドランプの高さは800 mm、その間隔は1350 mmである。

4.2. 夜間における向上効果

夜間における二輪車(MC)と LONG 灯火器システムを持った二輪車(LONG MC)の四輪車とのCTG比の平均値をFig. 10に示す。被験者は日常的に四輪車を運転する男女21名(男性18名、女性3名、23歳から52歳)である。エラーバーは最大値、最小値を示している。LONG 灯火器システ



Fig. 9 Automobile used for measurement of enhanced conspicuity

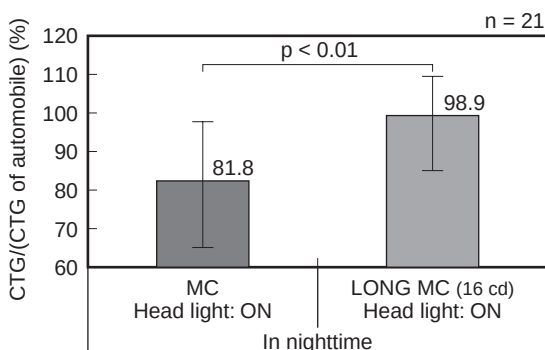


Fig. 10 Enhanced conspicuity in nighttime

ムの四つのランプの最大光度はそれぞれ16 cdに調整されている。この値は二輪車の一般的なポジションランプの光度である。測定された刺激車両はすべてすれ違い用前照灯を点灯しており、その速度は60 km/hである。また、測定をおこなったコースは道路照明により照明されており、その照度は道路表面で約6 lxである。MCのCTG比は81.8%であり、四輪車のそれと比べて約18%小さい。本測定における四輪車のCTGの平均値は4.0秒であり、このCTG減少分は0.72秒に相当する。また、MCに対するCTG比の最小値は約65%であり、このCTG減少分は35%、約1.4秒に相当する。夜間においてMCは四輪車に比べ遅く感じてしまう場合があることが定量的に示されている。次にLONG MCのCTG比を見てみると、その値は98.9%であり、速度感、距離感が四輪車とほぼ同等である。

4.3. 昼間における向上効果

昼間におけるMCとLONG MCの四輪車とのCTG比の全被験者平均値をFig. 11に示す。被験者は日常的に四輪車を運転する男女14名(男性12名、女性2名、23歳から52歳)である。エラーバーは最大値、最小値を示している。MCに関しては、すれ違い用前照灯を点灯しない場合(Head light: OFF)とそれを点灯した場合(Head light: ON)の二条件が測定された。また、LONG MCの前照灯は消灯されており、四つのランプの最大光度はそれぞれ121 cdに調整されている。この値は二輪車の一般的な方向指示器の最大光度である。測定されたすべての刺激車両の速度は夜間の測定の場合と同じ60 km/hである。測定をおこなったコースの天空照度は4410 lxから33500 lxである。この測定は五日間にわたりおこなわれたため、天空照度の変化が大きい。CTG比を求めるために測定された四輪車の前照灯は消灯されている。前照灯を消灯したMCのCTG比は86.5%であり、MC(Head light: OFF)のCTGは四輪車のそれと比べて13.5%小さい。昼間においてもMCは四輪車と比較すると遅く感じてしまう場合があることが定量的に示された。前照灯を点灯したMCのCTG比は93.0%であり、前照灯を消灯したMCから6.5パーセントポイント増加している。これは前照灯を点灯することによる距離感、

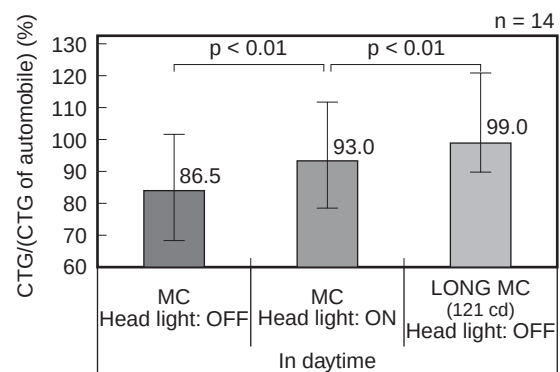


Fig. 11 Enhanced conspicuity in daytime

速度感の向上を示している。しかし、四輪車と比べるとCTGは約7%小さく、前照灯を点灯するだけでは四輪車と同等の距離と速度の評価に関する被視認性を得ることはできない。一方、LONG MCのCTGは99%であり、そのCTGは四輪車とほぼ同等である。LONG灯火器システムは昼間においても二輪車の距離と速度の評価に関する被視認性を四輪車のそれとほぼ同等にまで向上させる可能性が示された。ここで参考までに昼間における四輪車のCTGの全被験者平均は4.0秒であり、同被験者の夜間の平均値は4.1秒とほぼ等しいことを付け加えておく。

5. ランプ配置依存性

5.1. 測定条件

夜間における被視認性向上効果のランプ配置依存性を測定した。ランプ配置のパラメータとしてアップランプとロアランプの垂直方向に関する間隔(S)とロアランプの地面からの高さ(H)を採用した。また、アップランプの水平方向の間隔は750 mmに、ロアランプの水平方向の間隔は300 mmに固定した(Fig. 8)。四つのランプの最大光度はそれぞれ16 cdに調整されている。測定された刺激車両はすべてすれ違い用前照灯を点灯しており、その速度は60 km/hである。測定に用いたコースは道路照明により照明されており、その照度は約6 lxである。

5.2. ロアランプの高さ(H)依存性

CTG比のH依存性をFig. 12に示す。測定に用いられたHは125 mm, 225 mm, 325 mmの三水準である。パラメータSは950 mmに固定されている。被験者は日常的に四輪車を運転する男女16名(男性14名, 女性2名, 23歳から52歳)である。エラーバーは最大値, 最小値を示している。測定されたHの範囲においては、CTG比はほとんどHに依存していない。同時に測定された四輪車のCTGの平均値は4.0秒であり、LONG灯火器システムを持つ二輪車のHが125 mm, 225 mm, 335 mmのとき、それぞれに対するCTGの平均値は3.92秒, 3.94秒, 3.90秒であった。

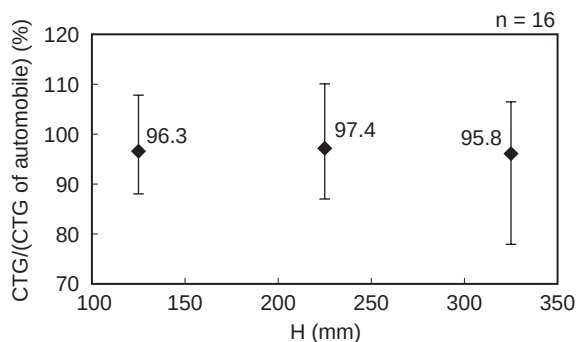


Fig. 12 CTG ratio dependence on height (H) of lower lamps in nighttime

5.3. ロアランプとアップランプの間隔(S)依存性

次にCTG比のS依存性をFig. 13に示す。測定されたSは750 mm, 850 mm, 950 mm, 1050 mmの四水準である。パラメータHは225 mmに固定されている。被験者は日常的に四輪車を運転する男女19名(男性17名, 女性2名, 23歳から52歳)である。エラーバーは最大値, 最小値を示している。Sが750 mmから950 mmまでの領域においては、Sの増加に伴ってCTG比は増加する。LONG灯火器システムの基本コンセプトから見かけのサイズが大きくなれば、速度と距離の評価精度が向上しCTG比が増加することが予測され、測定結果もこれに一致する。

これらの結果から、運転者は右折するときに単独で近づいてくる車両の距離・速度評価には、その車両の目立つ部分の大きさを主に利用していることが推測できる。

6. ランプ光度依存性

夜間における被視認性向上効果のランプ光度依存性を測定した。ランプ配置はH=225 mm, S=950 mmとした。測定されたランプの光度は16 cd, 34 cd, 50 cdの三水準である。測定された刺激車両はすべてすれ違い用前照灯を点灯しており、その速度は60 km/hである。測定に用いたコースは道路照明により照明されており、その照度は道路表面で約6 lxである。被験者は日常的に四輪車を運転する男女19名(男性17名, 女性2名, 23歳から52歳)である。予備実験により水準に対する順序効果が大きいことがわかったので、その影響をできるだけ小さくするために、それぞれの被験者に対しランプ光度の上昇系列(16 cd, 34 cd, 50 cdの順序)と下降系列(50 cd, 34 cd, 16 cdの順序)を測定し同水準の平均値をその代表値とした。CTG比のランプ光度依存性をFig. 14に示す。ランプ光度の増加に伴って、CTG比も増加している。また、ランプ光度0 cdの場合は、LONG灯火システムを持っていないMCと同じであるため、そのCTG比はFig. 10より81.8%程度であると考えられる。ランプ光度が16 cdより小さい領域では、ランプ光度が0 cdに近づくにつれて急速に減少することが予想される。

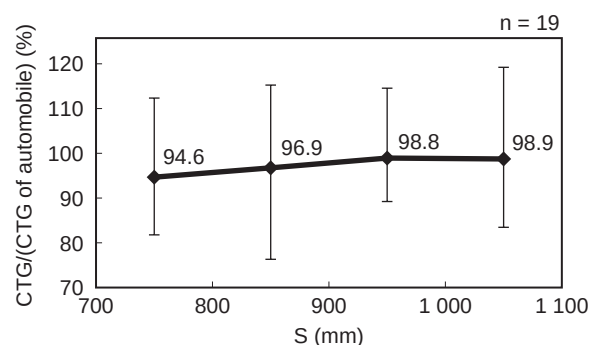


Fig. 13 CGT ratio dependence on space (S) between upper lamps and lower lamps in nighttime

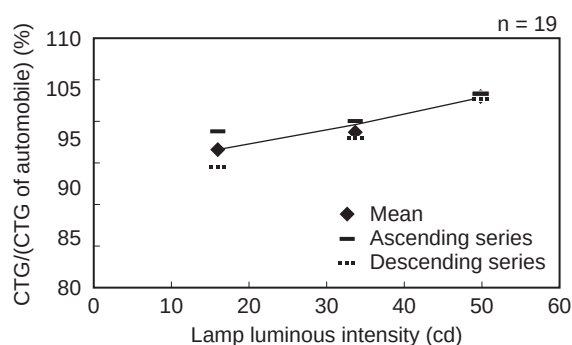


Fig. 14 CTG ratio dependence on lamp luminous intensity in nighttime

7. まとめ

二輪車の距離と速度の評価に関する被視認性を四輪車とほぼ同等まで向上させる一手法としてLONG 灯火器システムを提案する。

- (1) ロアランプとアッパランプの垂直方向間隔を 950 mm とすることにより、二輪車のその被視認性を四輪車とほぼ同等にすることができる可能性が示された。
- (2) 夜間において、ロアランプの高さは向上効果に影響を与えず、ロアランプとアッパランプの間隔が増加すると向上効果は増大する。
- (3) 夜間において、ランプ光度の増加に伴って向上効果は増大する。

今後の課題としては、ランプ光度を変化させることにより灯火器配置の影響がどのように変化するのかを研究する必要があり、今後さらに調査、研究をおこなう予定である。

参考文献

- (1) Donne, G. L.: Research into Motorcycles Conspicuity and its Implementation, Proceedings: International Congress and Exposition, SAE Paper 900749(1990)
- (2) (財)交通事故分析センター: 交通事故統計年報平成 15 年度版(2003)
- (3) Maruyama, K., Uematsu, I., Tsutsumi, Y., Sakamoto, M., Kushida, K.: A Study of New Lighting System for Better Conspicuity of Motorcycle, Review of Automotive Engineering, Vol. 27, No. 4, p. 571-577(2006)
- (4) Gibson, J. J.: The Perception of the Visual World, Houghton Mifflin, 247p.(1950)
- (5) Dunn, B. E.: Relative height on the picture plane and depth perception, Perceptual and Motor Skills, Vol. 21, p. 227-236(1965)

- (6) Epstein, W.: Perceived depth as a function of relative height under three background conditions, Journal of Experimental Psychology, Vol. 72, p.335-338(1966)
- (7) Ooi, T. L., Wo, B., He, Z. J.: Distance determined by the angular declination below the horizon, Nature 414, p.197-200(2001)
- (8) Maruyama, K., Tsutsumi, K., Kushida, K.: A Study of New Lighting System for Better Conspicuity of Motorcycle, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.37, No.5, p.137-142(2006)
- (9) Gogel, W. C.: The absolute and relative size cues to distance, American Journal of Psychology, Vol. 82, p. 228-234(1969)
- (10) Miura, T.: A preliminary study of gap acceptance behavior and its perceptual factors, Bulletin of the Faculty of Human Sciences, Osaka University, Vol.6, p.37-41(1980)
- (11) Ueno, H., Maeda, K., Ochiai, K.: Analysis of Driving Behavior in Right Turns, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.46, No.9(1992)

■ 著 者 ■



堤陽次郎



丸山一幸