

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	萩原 亨（はぎわら とおる）		北海道大学大学院		教授	
②研究 テーマ	名称	市街地におけるプロビーム道路照明についての研究開発				
	政策 領域	[主領域] 交通事故	公募 タイプ	タイプII		
		[副領域]（該当しない）				
③研究経費（単位：万円）	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計		
※H28は精算額、H29は受託額、 H30は計画額を記入。端数切捨。	930	720	520	2,170		
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
	氏名	所属・役職				
	岡嶋 克典	横浜国立大学大学院・教授				
	浜岡 秀勝	秋田大学・教授				
	江湖 俊介	岩崎電気(株)・新技術研究部・照明技術開発課長				
	小林 正自	照明学会・専門会員				
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）					
	<p>本研究は、市街地における夜間の横断歩行者事故を防ぐことを目的に、ドライバによる横断歩行者の発見を早める方策として、市街地におけるプロビーム道路照明（以下、プロビーム照明）を開発するものである。プロビーム照明とは、道路照明の灯具配光を車両の進行方向に照射する方式であり、歩行者の発見を早めることが期待できる。平成29年度の具体的な目的は以下の2点とした。</p> <p>1) プロビーム照明の最適な配光検討：平成28年度に提案した配光案をもとに、光学シミュレーションと実験参加者による視認性評価実験を実施し、静的状況および走行を勘案した条件でプロビーム照明の視認性評価を行う。これらの結果から、プロビーム照明の最適な配光を明らかにする。</p> <p>2) 灯具開発のための技術的要件整理：最適な配光となるプロビーム照明の灯具を具現化するため、灯具を構成する主要な要素について、機能と要件を整理する。また、現道への導入を想定し、既存照明区間とプロビーム照明区間の緩和区間を含めた設計手法、照明未設置区間とプロビーム照明区間の緩和区間を含めた設計手法について整理する。</p>					

⑥これまでの研究経過

1) プロビーム道路照明の最適な配光検討

①実験用プロビーム灯具の設計と試作

平成28年度の事故分析（プロビーム要件整理）の結果から、夜間の往復2車線の市街地で、ドライバーから見て右からの横断者の視認性を高くすると事故低減に効果的となることが明らかとなった。このため、2車線道路をターゲットとしたプロビーム照明の設計を行った。平成28年度の実験結果で提案された2つのプロビーム配光案（A案、B案）を採用し、灯具を制作した。A案は道路を横断する歩行者を明るくするために鉛直面照度を高めに設定するがドライバーがまぶしさ（グレア）を感じるリスクが想定される配光である。一方、B案は鉛直面照度とグレアのバランスに考慮した配光である。

光学シミュレーションを実施し、路面輝度・鉛直面照度・まぶしさ評価（TI値）を求め、これらの2案を実現できる灯具（図1）を設計した。平成29年9月6日・7日に初期設計の灯具をテストコースに設置し、光学測定および申請者らで評価した。その結果を踏まえ、発光部のLEDを調整し視認性評価実験で用いる灯具（6台）を最終的に試作した。試作灯具は、ビーム角の異なる3種類のレンズ（狭角・中角・広角タイプ）からなる12ユニット（4個のLEDモジュール/ユニット）で構成され、ユニットの点灯・非点灯を組み合わせることでA案とB案の配光を実現できる。

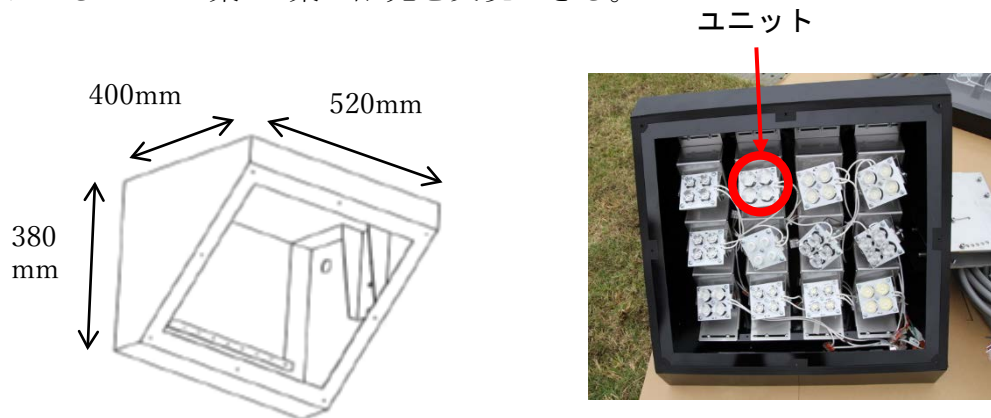


図1 主観評価実験に用いた試作灯具（プロビーム配光）

②テストコースにおける照度計測結果

テストコースに試作灯具を設置して作成した実験環境の明るさを表1に示す。表1より、走行車線の平均鉛直面照度はA案の方がB案より10%程度高くなった。また、対向車線の平均鉛直面照度はA案の方がB案より50%程度高い。対向車線の鉛直面照度がA案は高くなった。

表1 実験環境の明るさ（実測値）

配光案	車線	平均鉛直面照度 [lx]
A案	走行車線	22.3
	対向車線	25.8
B案	走行車線	20.3
	対向車線	16.6

注) 鉛直面照度は0.8m（腰の位置）を測定

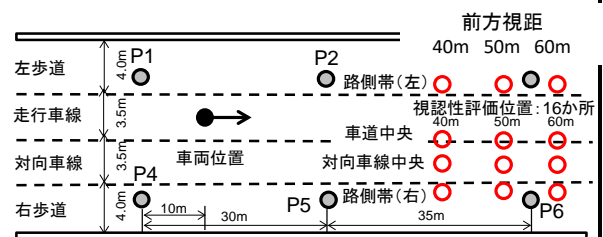


図2 道路空間における視認性評価位置

③ 静止実験の結果

試作灯具を用いて、平成29年10月24日から28日にかけてテストコースで視認性評価実験を行った。視認性評価実験で設定した車線構成・ポール位置・視認性評価を行う車両地点・視認性評価地点（赤○、模擬歩行者地点）を図2に示す。

図2の車両地点に車両を置いたときの前方視距40m、50m、60mにおける実験参加者（16名）による視認性評価の平均値と標準偏差を図3に示す。

前方視距による視認性評価の差異は小さく、安定した結果となった。また、左右方向の視認性評価も、50m・路側帯（右）・B案を除いて「やや見えにくい」以上の視認性評価となった。

平成28年度のプロビーム照明が対向車線中央で、「やや見えにく」と「見えにくい」の間の視認性評価となったことと比べ、対向車線における視認性は高くなった。試作灯具による改良成果を示す結果といえる。

一方、図4に自車線中央の模擬歩行者を見たときのまぶしさ評価の結果を示す。A案の方がB案よりまぶしさ評価は高い結果となった。光学シミュレーションによるTI値（A案：19.3、B案：7.9）を裏付ける結果となった。ただし、A案のまぶしさ評価は、H28年プロビーム照明（TI値：10.6）によるまぶしさは軽減された。

プロビーム照明の配光を改良した試作灯具は、道路空間全体の視認性評価を高める一方、まぶしさを軽減する結果となった。プロビーム照明の配光を検討し、それに対応する灯具を開発することから道路上の歩行者の視認性を高くする新しい照明設計を実証できたと言える。

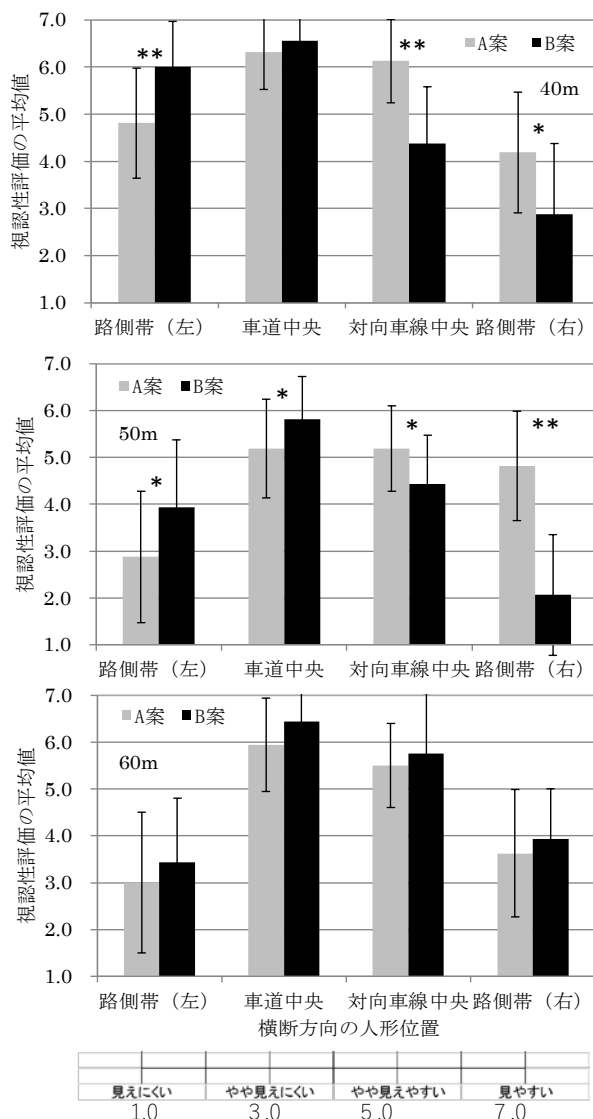


図3 視認性評価の平均値と標準偏差 (n:16)

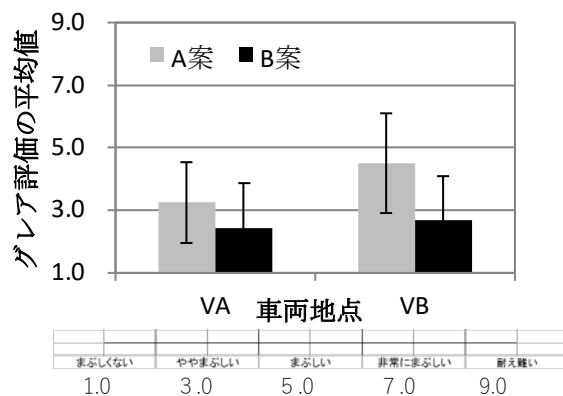


図4 まぶしさ評価結果 (n:16)

④ 走行映像を用いた歩行者発見時間の計測結果

テストコースにて車両を走行させて歩行者の発見を計測する実験は危険が多い。また、視環境を変えながら毎回同じ走行状況を複数の実験参加者で再現することも至難となる。本研究では車内から撮影した横断者の映像を用い、15名の実験参加者が歩行者を発見するタイミングを計測する室内実験を行った。視環境の条件は、A案・B案・ヘッドライトのみの3条件とした。図5の衝突点から72m地点に走行車両(20km/h)が来たとき、右からあるいは左からの歩行者が横断を始める。歩行者はメトロノームを聞きながらほぼ一定の速度で横断する。このような条件で左右からの歩行者を撮影した。

図6は、ヘッドライトのみとB案の映像からカットした画像を示している。歩行者が対向車線のほぼ中央にいるタイミングの画像となっている。ヘッドライトのときは歩行者の足のみしか見えない。一方、B案のときは、歩行者全体を見てとることができる。

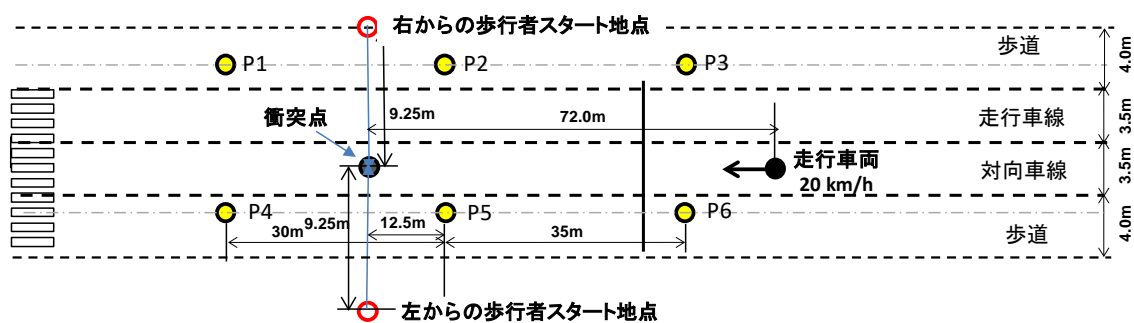


図5 歩行者の横断映像撮影条件



図6 右からの歩行者の画像 (映像からのカット)

室内にて、着席から実際のドライバ席から見た視野と同等となるよう配慮し、撮影した映像をスクリーンに再生した。ドライバの視線は、前方を維持するよう指示した。撮影した映像を再生し横断者を発見したとき、ボタンを押しそのタイミングを計測した。

図7に実験参加者が歩行者を発見したときの平均横断地点を示す。横軸の0mから左右に遠いほど、発見が早いことを意味する。A案・B案のとき右から歩行者の発見位置は、右歩道の中央付近である。ヘッドライトのとき歩行者の発見地点はセンターライン付近となった。また、A案・B案のとき左からの歩行者の発見位置は、左側の歩道の左端付近となった。ヘッドライトのとき歩行者の発見位置は左歩道の右端付近（車道に近い）となった。プロビーム照明により右からおよび左からの歩行者の発見を早くでき、横断してくる歩行者との衝突を防ぐことが可能となる結果となった。ただし、映像のためまぶしきの影響が入っていないことなど、課題は残った。

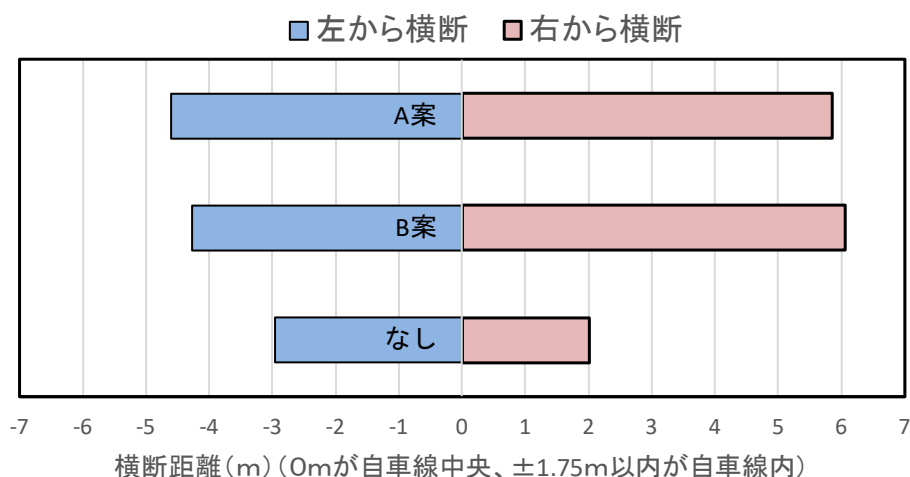


図 7 平均発見時間と標準偏差 (n:15)

⑤まとめ

平成28年度の成果を受けて、プロビーム照明の配光案を2案に絞り込み、それを試作灯具として作成し静止状態の視認性評価と映像による横断歩行者の発見時間計測を行った。A案・B案とも対向車線を含めた道路空間全体の視認性が高く、右からのみでなく左からの横断歩行者の発見時間を高めることを明らかにできた。その中で、B案の静止実験での視認性は対向車線においてA案より低くなったが、映像を用いた右からの横断歩行者の発見時間に両案の差異はほとんどなかった。また、A案よりB案のまぶしきは、軽減されていた。以上から、B案のグレアレベルを多少緩和し、対向車線の鉛直面照度を高めることで効果的なプロビーム照明となると言えた。

2) 灯具開発のための技術的要件整理

・最新の道路照明およびプロビーム照明に関する情報収集

本プロビームの研究開発においては道路照明とその関連技術の最新技術開発動向を調査・収集し、当該開発に取り込めれば有益である。また同時にその背景となる夜間道路交通環境について調査・収集し、理解しておくことも重要である。

TRB第96回年次総会（2017.1）においては①Work shop149C “Walking at Night”; Pedestrian's Perspective, or “The Dangers of the Night-Walkers”、②Visibility Committee、そして③Session 658 “Challenges for Driving and Visibility” の3セッションで当該研究開発に有用な情報を得ることができた。これらの発表事例から我々は我々が進めている研究コンセプトとその具体的照明方式について改めて議論し、当該プロビームの有効性を確認すると共に平成29年度の鉛直面照度とグレア設定に活用した。

① Work shop149Cにおける情報収集結果

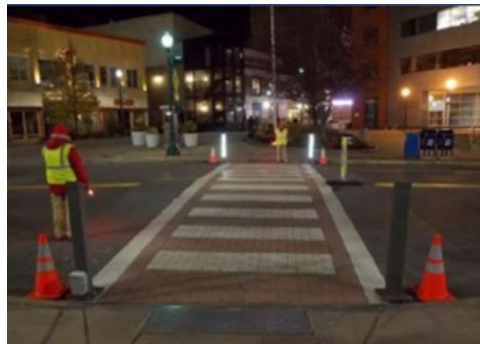
- ・米国では、路上歩行者数は夜間に比べ昼間の方が圧倒的に多いにも関わらず、死亡事故の72%が夜間に発生する。この夜間死亡事故比率は日本に比べ高い。
- ・交通事故の背景原因である歩行者行動の研究は主に昼間の市街地交差点に焦点が当てられており、夜間に関する研究は少なく、その知識も断片化されている。

② Visibility Committeeにおける情報収集結果

- ・現状のポールマウント式道路照明は横断歩行者の提示装置としては最適でないと指摘し、新しい横断歩道照明方式（写真、図8）が紹介された。



(a) 照明例



(b) 横断歩道両岸への照明支柱設置例

図8 ミッドブロック横断歩道照明装置の試験設置例

③ Session 658における情報収集結果

- ・道路の作業現場に設置される工事区間照明用ライトタワーの不快感レベルは鉛直面グレア照度17(lx)で低から高へ遷移する（距離範囲80~20m内）

TRB第97回年次総会（2018.1）では昨年度と同様に①Visibility Committeeが開催されると共に、照明・視認性関連セッションとして②Lectern Session 429“Lighting, Visibility, and Safety”が開催されこれらを聴講・調査した。

① Visibility Committeeにおける情報収集結果

- ・トンネル入口照明の安全評価指数の研究報告がなされた。
- ・道路工事現場作業員の点滅発光ベストの最適点滅・フラッシュ方式の研究報告がなされた。

② Lectern Session 429における情報収集結果

- ・本研究開発で28年度に行ったプロビーム照明について発表した。対称照明方式に対する当該方式の有効性を実験結果から平易に報告した。グレアに関する懸念、実路への設置上の課題などの質問も出され高い関心を集めた。
- ・夜間重大衝突事故に及ぼす街路照度影響の調査結果が報告された。街路照明の照度レベルは4.3lx以下の低照度レベルと比較して4.3lx～8.6lxの照度レベルでは重大衝突事故を有意に減らすことが示された。研究開発しているプロビームの最低照度は10lxを確保しており、夜間重大事故を低減する基本性能を確保していることが外部研究成果からも確認できた。

TRB第96回及び第97回年次総会で最新技術開発動向を調査・収集し、それらの調査結果を当該プロビーム開発に取り込むと共に開発の方向性を確認できた。

一方、国内におけるプロビーム照明の施工例は、高速道路上のトンネル照明に限定され、設計速度に対する平均路面輝度と平均鉛直面照度 (h=0.7m) の目標値は次のように与えられている。

規制速度 100(km/h) の場合：平均路面輝度 9.0(cd/m²)、平均鉛直面照度 90(1x)

規制速度 80(km/h) の場合：平均路面輝度 4.5(cd/m²)、平均鉛直面照度 70(1x)

トンネルの平均鉛直面照度は「規制速度-10」(1x)となっている。市街地に当てはめると、規制速度が40～50(km/h)なので平均鉛直面照度は30～40(1x)となる。しかし、市街地はトンネルとは異なり周囲が暗い（目の感度が高まっている）ため、10～20(1x)で十分な効果が認められた。

・プロビーム照明の緩和区間について

昨年度、非照明環境から照明区間に進入する場合（サービスイン）や、照明区間から非照明環境に移動する場合（サービスアウト）の試験を実施した。その結果、プロビーム照明方式のサービスイン時の器具直下照度が、対称照明方式よりも低く視認性が劣るため照明区間への円滑な導入を可能にする補助照明の設置を検討することが有効と思われる。一方、サービスアウト時は対称照明方式よりもプロビーム照明方式の方が遠くまで光が届き視認性が良いことを確認した。この傾向はプロビーム照明の照明範囲が、対象照明と比較し前進方向にシフトするためである（図9参照）。ドライバにとって急激な照度変化は順応速度の遅い暗順応時には問題となるが、緩やかに鉛直面照度が低下していくサービスアウトは好ましい変化といえる。

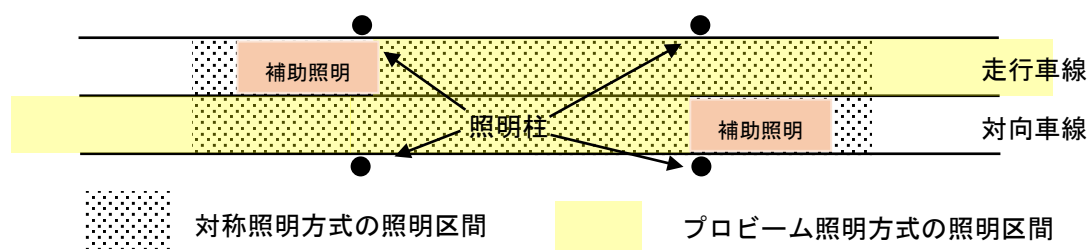


図9 照明区間の変化

・プロビーム照明の配光の要件整理

最適な配光となるようプロビーム道路照明の灯具を最適化するには、平成29年度の検討により、B案のグレアレベルを多少緩和して、その分の光エネルギーで対向車線の視認性レベルを向上させるとより効果的であるとの結論に至った。また、平成28年度と平成29年度の静止実験の結果から、前方視距30mから60mで安定した視認性を提供するには、自転車線中央・中央・右車線中央で10lxから20lx程度の鉛直面照度が必要となることを明らかにしている。これら得られた知見を勘案して所要配光の見直しを行った（図10）。この分布図は、およそ5,500(1m)の器具光束を有する照明器具を灯高8mに向合せ配置したもので、走行車線の鉛直面照度は平均値27.3(1x)、最小値10.2(1x)である。

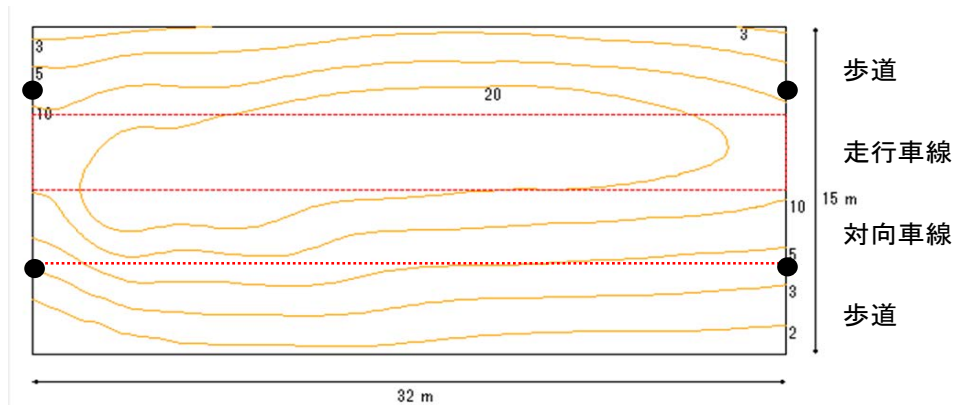


図10 プロビーム照明の鉛直面照度分布図

平成30年度、図10に示す鉛直面照度を実現する灯具を開発するには、照明器具の前面ガラスや照射範囲外への漏れ光などのロスを考慮して器具光束を決定する必要がある。また、対向車線を走行する車両に過度なグレアを感じさせないようにTI値を10%以下に抑えるためには、対向車線上を照射する光束をコントロールすることが課題となる。このためには狭角配光のレンズを採用することが不可欠だが、ビーム角が5°以下になると照度むらが大きくなり視環境が悪化するため、狭角配光の最適解を見極める必要がある

⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文及び国際会議、学会等における発表等があれば記入。)

- ・萩原亨、草竹大輝、浜岡秀勝、江湖俊介、轟麻起子、岡嶋克典、小林正自：市街地におけるプロビーム道路照明の配光に関する研究開発、第37回交通工学研究発表会、2017.8.
- ・萩原亨、草竹大輝、浜岡秀勝、江湖俊介、轟麻起子、岡嶋克典、小林正自：市街地におけるプロビーム道路照明の配光に関する研究開発、交通工学論文集、(搭載決定)
- ・江湖俊介、轟麻起子、萩原亨、岡嶋克典、浜岡秀勝、小林正自：市街地におけるプロビーム道路照明の検討、平成29年度照明学会全国大会、2017.9.
- ・Toru Hagiwara, Daiki Kusatake, Shunsuke Kouko, Makiko Todoroki, Hidekatsu Hamaoka, Katsunori Okajima, Shouji Kobayashi, Fundamental Visibility Assessment for Pro-beam Road Lighting, paper number 18-01159 presented at the 97th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2018.1.

⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等を記入。また、研究期間終了後における、研究の継続性や成果活用の展開等をどのように確保するのかについて記述。)

①スーパーマーケットなどが乱立するモールを横断する道路に3年目に試作した灯具を設置しフィージビリティスタディを検討する。

このようなエリアでは歩道が整備されている一方、交差点間を横断する歩行者が多く、夜間の横断歩行者事故も多い。プロビーム照明の設置効果を比較的短期間に評価できることを期待できる。一方、ネガティブチェックとし、雨などの悪天候下での視認性の悪化・逆方向からの歩行者がカウンタービームとなる影響などを計測し、配光やエイミングなどを継続的に修正する。このような実装を通して、実際の道路に適用可能なプロビーム道路照明としていく。

②高速道路への応用

試作したプロビーム照明は、高速道路のICやSA/PAのオンランプ、オフランプに応用できる。車両の進行方向を照射するため、ランプ付近の様々な標識の視認性が高くなる。また、逆走車にとってまぶしく感じるはずであり、逆走していることに気づく効果も期待できる。

⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

研究経費やリソース条件の厳しい中で、初年度の研究で想定したプロビーム照明の配光の検討とそのメリットの実証をほぼ終えることができた。屋外の実験は、雨の可能性もあり、計画した実験を実施できるか懸念が大きかったが、予備日を使うことで計画した実験の95%程度を実施できた。

昨年度と同様にプロビーム照明による静止状態での視認性の優位性に加え、今年度は走行時の車両からプロビーム照明下で実際に横断する歩行者を撮影し、早期に歩行者を発見できることを実証した。プロビーム照明を開発するとき最重要となる「まぶしさ」と「鉛直面照度による視認性」のバランスさせ、左右からの横断歩行者の発見を早めることができるデータを得たことは、大きな成果と考えている。

次年度の最終年度には、今年度の成果を活用し、実際の街路に設置可能なプロビーム照明の灯具を光学シミュレーションを用いて開発し、街路で利用可能な灯具のプロトタイプを制作する。