

**道路政策の質の向上に資する技術研究開発  
【研究終了報告書】**

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)		北海道大学大学院工学研究院		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6] 交通事故 [副領域] 該当せず	公募タイプ	タイプII ハード分野	
③研究経費 (単位:万円) <small>※端数切り捨て。 ※該当する研究期間のみご記入下さい。</small>	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
		1,000	719	517	2,236
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。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 (※平成31年3月31日現在)			
岡嶋 克典		横浜国立大学大学院・環境情報研究院・教授			
浜岡 秀勝		秋田大学・工学資源学部・教授			
江湖 俊介		岩崎電気(株) 新技術開発部・開発企画課・課長			
小林 正自		照明学会・専門会員			
⑤研究の目的・目標					
市街地における道路上の横断歩行者を「明」で見せるためのプロビーム道路照明灯具を研究開発する。歩道を含めた道路全体を均一に明るくする配光とする一方、反対側からの車両や歩行者などにまぶしさを感じさせない配光となる照明装置とする					

## ⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

平成28年：理想プロビーム配光設計の決定

- ・プロビーム道路照明の要件整理（交通事故減少効果検証）（浜岡）



- ・プロビーム道路照明の配光設計を光学シミュレーションで検討（江湖、岡嶋、小林）
- ・既存の照明を用いた模擬プロビーム灯具によるテストコースでの視認性評価・光学測定の実施（全員）



プロビーム配光設計（2案）の決定

平成29年：プロビーム配光の比較検討

- ・プロビーム配光を可能とする道路灯の試作（2案）（江湖、岡嶋、小林）
- ・プロビーム道路照明の配光（2案）を実現した灯具によるテストコースでの視認性評価・光学測定の実施（全員）

平成30年：プロビーム配光によるプロトタイプ道路灯の試作と光学計測

- ・プロトタイプ道路灯の試作（江湖）と光学計測（テストコースでの検証）（全員）
- ・研究開発全体のとりまとめ（全員）

## ⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

### 1) 平成28年度研究成果に対する中間評価で指摘を受けた事項

1. 既存照明とプロビーム照明を組み合わせた設計手法を検討していただきたい。
2. 歩行者の移動や車両の走行を勘案した動的な実験を検討する必要がある。
3. 従来のトンネルでのプロビーム照明使用法とは異なる独自性を期待する。

対応：平成29年度において、既存の照明との接続に関する検討を行い、接続によるデメリットが生じないような対応方法を明らかにした。また、動的な実験として、映像を用いた実験参加者実験を行い、プロビーム道路照明により横断歩行者の発見が早まることを明らかにした。さらに、まぶしさを抑制するためのトンネルでのプロビーム照明とは異なる配光制御の独自性を示した。

### 2) 平成29年度研究成果に対する中間評価で指摘を受けた事項

1. 実用化に向けてさらに検討が進み、道路管理者が本技術を採用するメリットが明らかになることを期待する。
2. 雨天時の路面反射に起因するプロビーム照明のまぶしさについて整理されることを期待する。
3. 実務において道路線形等を考慮した具体的な設計手法が提案されることを期待する。
4. プロビームと従来技術との比較による優劣を含めた性能、プロビームが適する道路条件・設置環境について整理されることを期待する。

対応：平成30年度において、路面を湿潤とした条件でのまぶしさに関する計測を実施し、視認性に大きな影響を与えないことを確認した。道路線形への対応を光学シミュレーションを用いて実施し、本研究で開発したプロビーム道路照明の設置が可能な道路線形の範囲を明らかにした。また、報告書において、道路条件などを加味し、道路管理者がプロビーム道路灯を用いるメリットを記述した。

### ③研究成果

事故分析から車両がヘッドライトをハイビームにして走行できない市街地で、走行車線と対向車線を含めた道路空間全体を明るくして道路上の視対象をその背景より明るく見せる視環境の提供が横断歩行者の視認性を高め事故軽減に寄与すると言えた。視対象を背景より明るく見せることは、ヘッドライトの見え方と協調するメリットもある。プロビーム道路灯はこのような視環境を実現する方法の一つであり、車両の進行方向に光を発する道路照明である。プロビーム道路灯は、図1に示すように車両の進行方向に向かう光を発する。ヘッドライトと同様に視対象が背景よりも明るくすることでドライバーは道路上の視対象を視認する。

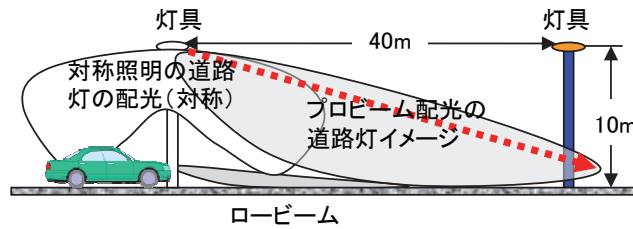


図1 プロビーム配光の道路灯イメージ

プロビーム配光の道路灯において鉛直面照度分布は、道路のどの断面であってもほぼ同じレベルであり、自車線のみならず対向車線側の鉛直面照度も高くなる特徴を持つ。しかし、プロビーム配光の道路灯には、対向車線の車両や歩道の歩行者がまぶしさを感じるデメリットが懸念される。このため、対向車のドライバーや歩行者がまぶしさを感じないように、配光を細かく制御する新技術による灯具を開発する必要がある。

そこで、本研究では、道路照明基準を満たすプロビーム配光を持つ道路灯の具体化を検討し、まぶしさを抑制しつつ道路空間全体の鉛直面照度を高くするプロトタイプを開発した。プロトタイプを設置する道路環境は、横断歩行者事故分析で得られた結果を踏まえて、市街地における両側に歩道のある往復2車線道路とした。世界的に、市街地におけるプロビーム配光の道路灯はこれまで検討された調査研究はなく、プロビーム配光のメリットを活かしデメリットを最小限にする灯具を一から開発する必要がある。そこで、本研究では市街地に設置可能なプロトタイプを開発すべく、段階的な技術検討を3年間に渡り行った。平成28年度にプロビーム配光の道路灯のメリットに関する効果検証を行い、平成29年度には平成28年度の成果をベースにプロビーム配光の道路灯の光学的目標仕様とそれを実現するための光学設計を検討した。平成30年度の最終年には供用中の道路に設置可能となるプロビーム配光を持つプロトタイプ道路灯を制作した。

プロトタイプの光学系は、平成29年度に開発した灯具と同様、特性の異なる3種類のレンズ（ビーム角：狭角 $8^\circ$ 、中角 $16^\circ$ 、広角 $28^\circ$ ）を用いることとし、これらのレンズを使用して配光がこれまでに検討してきたプロビームの理想的な配光案に近似するよう光学シミュレーションを利用して光学設計を行った。プロトタイプの光学設計では、灯具組立て時の施工性に配慮し、各レンズとも2個を1ユニットとする構成とした。プロトタイプを構成するユニット数とユ

赤：狭角 $8^\circ$ 、緑：中角 $16^\circ$ 、青：広角 $28^\circ$

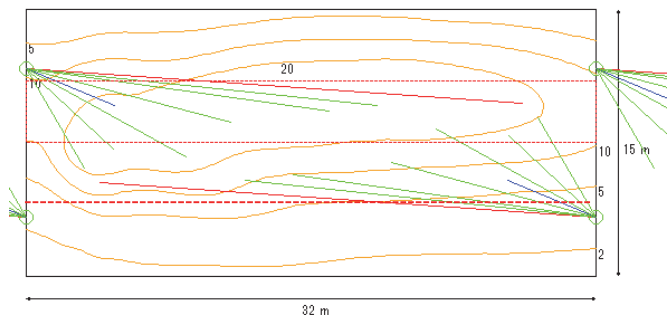


図2 プロトタイプの鉛直面照度分布（高さ0.8m）と3種類のレンズの照射方向平面図

### ③研究成果 (つづき)

ユニット個々の照射角 (以降、エイミング角という) は、光学シミュレーションを繰り返し行うことで明らかにした。プロトタイプは、8ユニットで構成した。各々のユニットの角度 (平面図) を図2に示す。設計したプロトタイプの光学性能は、道路照明施設設置基準・同解説の性能指標を満足することを確認した。

試作したプロトタイプの灯具の外寸と写真を、図3に示す。また、プロビーム配光では、ドライバ方向 (灯具の背面) への意図的な照射はないが、灯具が発光することによりドライバへの光学的誘導効果が得られることを期待して、背面にフロストガラスを採用し器具内の散乱光がドライバから見えるよう工夫した。

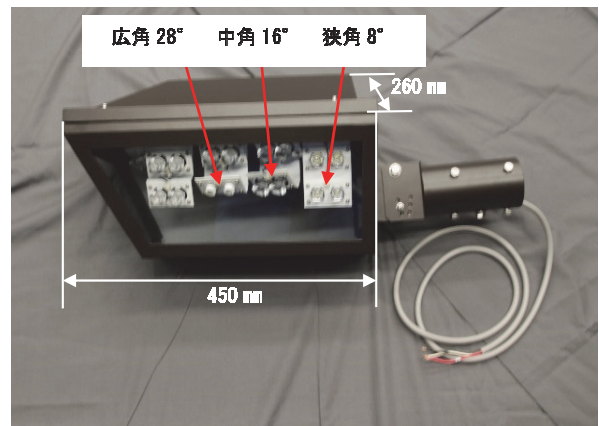
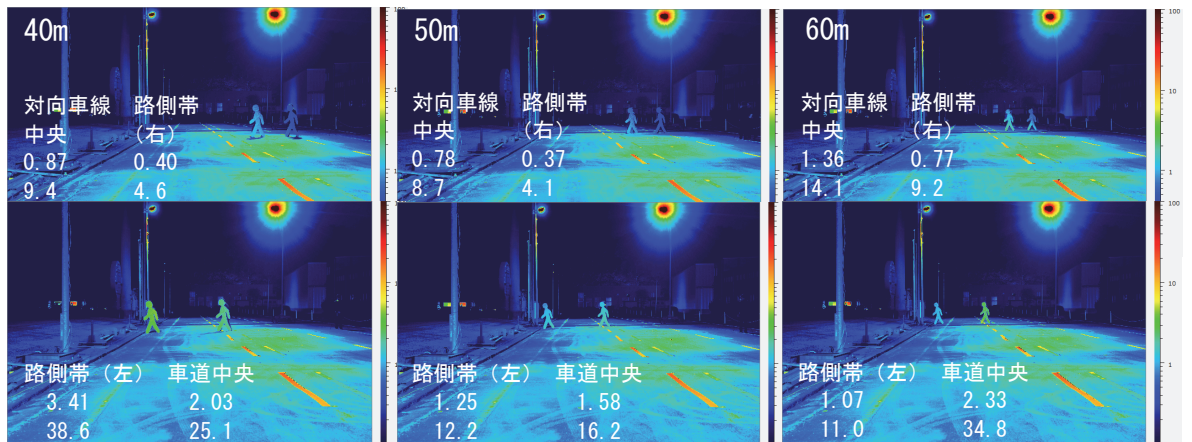


図3 プロトタイプの外観とサイズ

テスト走路にプロトタイプを設置することから、道路空間の鉛直面照度を均質に高めることができ、ドライバから見たときの左右からの横断歩行者を早期に発見できることを明らかにした。図4にデジタルカメラの画像を用いた模擬歩行者の輝度分布を示す。図中に示した鉛直面照度 (高さ0.8m) の数値は3.2~38.6 lxとなった。過去の主観評価結果と鉛直面照度の結果を踏まえると路側帯 (右) に置いた視対象以外は「やや見えにくい」以上の視認性評価となると言えた。ただし、路側帯 (右) など、対向車線側の鉛直面照度が若干低く、改良の余地が残った。また、ドライバのTI値を低く抑えれたが、歩道における歩行者のTI値が高く、配光の修正を行うべきと言えた。

本研究ではプロビーム配光を持った道路灯のプロトタイプを開発し、その性能をテスト走路で検証し、有効性を明らかにした。この灯具を市街地の横断歩行者事故が多い区間あるいは夜間の乱横断が多い区間に設置し、鉛直面照度を高めた効果を検証する必要がある。



注1 : 路面輝度画像のスケールは 0.1~100(cd/m2)(青色のとき暗く、赤色のとき明るい)

注2 : 上段 : 輝度(cd/m2)、下段 : 鉛直面照度 (lx) (高さ 0.8m)

図4 デジタルカメラの画像を用いた模擬歩行者の輝度分布

### ⑨研究成果の発表状況

- 1) 草竹 大輝, 萩原 亨, 浜岡 秀勝, 江湖 俊介, 轟 麻起子, 岡嶋 克典, 小林 正自: 街路におけるプロビーム道路照明の視認性評価に関する基礎的研究、交通工学論文集、2017年 3 巻 2 号 A\_84-A\_91.
- 2) 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、2018年 4 巻 3 号 A\_10-A\_17.
- 3) 萩原 亨, 浜岡 秀勝, 江湖 俊介, 岡嶋 克典, 小林 正自: テストコースにおけるプロビーム道路灯の視認性に関する研究、交通工学論文集、2019 年 5 巻 2 号 p. A\_134-A\_141.
- 4) Hagiwara,T., Kusatake,D., Kouko,S., Todoroki,M., Hamaoka,H., Okajima,K., Kobayashi,S., Fundamental Visibility Assessment for Probeam Road Lighting, Transportation Research Board 97th Annual Meeting, 2018.1.
- 5) Hagiwara,T., Kouko,S., Hamaoka,H., Okajima,K., Kobayashi,S., Visibility Assessment of Pro-beam Road Lights at a Test Track, Transportation Research Board 98th Annual Meeting, 2019.1.

### ⑩研究成果の社会への情報発信

道路照明施設を担当する関係者を対象に、プロトタイププロビーム道路灯の見学会をテストコースにて実施した。

- 1) 日時: 2018年11月8日
- 2) 参加者: 埼玉県・道路環境課 (2名)、国交省・道路局・道路交通安全対策室 (1名)、国総研・道路交通安全研究室 (4名)、大宮国道・交通対策課 (2名)
- 3) 見学会の内容
  - ・会議室にて開発の背景, コンセプト, 効果について説明後, 実験道路にて見学会を実施した.
  - ・実験道路では, プロビーム照明と従来 (対称) 照明を交互に点灯し, 横断歩行者の見え方, 道路空間の明るさ感などを体験していただいた.
- 4) 見学会での参加者のご意見
  - ・走行車線だけでなく, 路側帯付近においても歩行者の見え方が良好だった.
  - ・対向車線に入るとまぶしい. 逆走対策に使えるそう.
  - ・歩道部からのグレアは気にならない.
  - ・近年, 一般道には連続照明を設置していないので, プロビーム道路灯を設置できる機会が少ない.
  - ・交差点照明として使いたい.

## ⑪研究の今後の課題・展望等

本研究ではプロビーム配光を持った道路灯のプロトタイプを開発し、その性能をテスト走行で検証し、有効性を明らかにした。光学シミュレーション・実験参加者による視認性評価・様々な条件での光学計測・映像による動的条件での検証などから、プロトタイプのプロビーム道路照明を実際の市街地で安全に高い視認性をドライバに提供できると言えた。しかし、実際の市街地には広告のネオンなど様々な光源があり、それらの影響までは明らかになっていない。市街地において横断歩行者事故が多い区間あるいは夜間の乱横断が多い区間に設置し、鉛直面照度を高めた効果を多角的に検証する必要がある。このとき、プロトタイプのプロビーム照明設置によるデメリットが見られたときには、それらを解消するための新たな配光に関する改良が今後の課題となる。

また、プロビーム道路照明の効果が、横断歩行者対策以外において最も期待される箇所として、交差点がある。交差点周辺にプロビーム道路照明を設置することから、ドライバの進行方向となる交差点手前から交差点内および交差後の横断歩道付近までの広範囲における鉛直面照度が高くなる。車両と横断歩道およびその周辺における歩行者との事故の抑制に加え、右左折車の減速による追突事故などの車両間で発生する事故の抑制に貢献できる可能性がある。本研究では交差点の形状にマッチした配光まで検討していない。様々な交差点の形状に合わせたプロビーム配光を持った道路灯具設計が今後の展望となる。

## ⑫研究成果の道路行政への反映

プロビーム道路灯を街路に設置することにより、以下の5つの効果を期待できる。

- ①夜間においてドライバの前方の視対象を「明」で見れる灯具を開発した。このため、昼間の視環境に近くなり、夜間であってもドライバは、前方の視対象の特徴を読み取れる。昼間に近い視環境となることから、夜間の横断歩行者事故の特徴であるドライバの右から横断してくる横断歩行者事故を減らすことが見込まれる。
- ②夜間における自転車（灯火が貧弱）の車道走行を支援できる。自転車は、前方が暗い車道を走行することに恐怖感を持っている。プロビームにより前方の道路空間が明るくなり、安心して走行できる。また、自転車の背後が明るくなり、ドライバからの被視認性も向上する。
- ③トンネル照明ではプロビームによる照明が実際に設置され、速度の安定や追突事故の減少などに貢献している。市街地の道路および交差点にプロビーム道路灯を設置することから、車両間の追突事故の減少および交差点における歩行者事故の減少に貢献できる。
- ④道路空間全体が明るくなることから、街路周辺のネオンの影響を受け難くなり、安定した視環境を確保できる。また、防犯効果も見込め、歩行者が安心して街路を利用できるようになる。
- ⑤車両の前方が「明」となり、その範囲も拡大することから、車載カメラセンサがその性能を発揮しやすくなる。

### ⑬自己評価

研究目的の達成度 評価：達成できた。

理由：目的とした供用中の道路でドライバの進行方向の鉛直面照度を高くできるプロビーム道路照明（プロトタイプ）を開発できた。

研究成果 評価：達成できた。

理由：3年間の研究成果の各々の段階で、本研究における成果を発表し、研究論文としてそれらが採択された。米国の交通運輸学会においても発表論文として採用され、国際的にもプロビーム方式の道路照明のメリットが認知されるに至った。

今後の展望 評価：不十分。

理由：プロトタイプとなるプロビーム道路照明を開発でき、その展望を示すことはできたが、プロトタイプの灯具を実際の道路に設置し、その効果を検証するに至っていない。

道路政策の質の向上への寄与 評価：達成できた。

理由：世界ではじめて市街地で使うことのできるプロビーム配光を持った道路灯具を開発した。夜間における視認性を高めることが道路設計において必要なとき、選択できる道路灯を増やすことに寄与できた。

研究費の投資価値評価 達成できた。

理由：研究の最終年度となる3年目において供用中の道路に設置可能なプロトタイプのプロビーム道路照明を作成できた。レンズとLEDの組み合わせによる灯具を新たに開発し、テストコースでの数回の実験を経て適切な配光を見出したことからプロビーム道路灯を実現するに至った。