

超小型・高機能な LEDヘッドライト用光学モジュール

桑田宗晴* 小島邦子**
諏訪勝重**
大嶋律也*

Compact and High Function Optical Module for LED Headlights

Muneharu Kuwata, Masashige Suwa, Ritsuya Oshima, Kuniko Kojima

要 旨

ヘッドライトの光学系は、LED光源から広範囲に放射される光を集光し、ロービームが上方に飛ばないための境界線(カットオフライン)を持つ配光分布を形成して車両前方に投射する。一般的なプロジェクタ方式の光学系には、ミラーコーティングを施したりフレクタなどの反射面が用いられるが、反射面を用いると反射光路の確保や反射損失によって、光学系が大型化するとともに光の利用効率が低下するという課題があった。また、夜間の安全運転に向けて、運転者の視界確保や視認性向上、前方車両や歩行者への幻惑防止などが求められている。

これらの課題に応えるため、三菱電機は今回、屈折作用と全反射作用だけで所望の配光分布を実現する、独自方

式の“RIR(Refraction surface, total Internal reflection surface, Refraction surface)光学系”を開発した。投射レンズの高さを20mmに小型化するとともに光利用効率を約1.8倍とし、一般的な高さ40~60mmの投射レンズと同等以上の明るさを確保した。また、ロービームでは光が届かない領域の歩行者などを車載センサで検知してスポットビームで照射する機能を開発した。これによって、歩行者などの対象物の早期発見が可能になる。

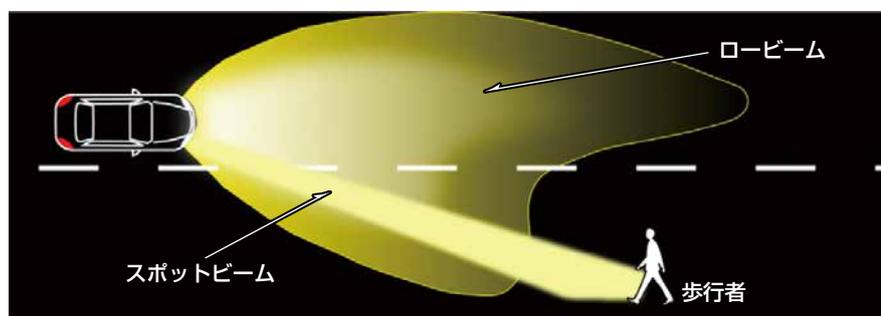
今回開発した超小型・高機能な光学モジュールによって、ヘッドライトのデザイン自由度を向上させるとともに、高度な配光制御によるライティングで安心・安全な夜間走行を支援する。



開発した光学モジュールで実現できる先進的なデザインのイメージ



LEDヘッドライト用光学モジュール



歩行者などを車載センサで検知してスポットビームで照射する機能

LEDヘッドライト用光学モジュールとスポットビーム照射機能

超小型・高機能なLEDヘッドライト用光学モジュールを開発した。独自のRIR光学系によって、従来の課題であった小型化と高効率化の両立を実現するとともに、ヘッドライトのデザイン自由度を向上させた。また、ロービームの届かない遠方の歩行者などを車載センサで検知してスポットビームで照射する高度な配光制御機能を開発した。歩行者などの対象物の早期発見によって、安心・安全な夜間走行を支援する。

1. ま え が き

CO₂の排出削減や燃料消費の抑制といった環境負荷軽減の観点から、自動車の省エネルギー化が求められている⁽¹⁾。ヘッドライトでも軽量化と省電力化が求められるなか、ヘッドライトの光源としてLEDの採用が進み⁽²⁾、現在20%強のLED化率は2025年には50%を超えると見込まれている⁽³⁾。しかし、LED光源の発光面の光強度分布は均一であるため、ヘッドライトに求められる複雑な配光分布を得ることは難しい。そこで、ハロゲンランプなどの従来ランプ光源用とは異なる、LED光源に適した光学系が必要となる。

また、モーターショーで出展されるコンセプトカー等のヘッドライトのデザインは薄型のものが多く見られることから⁽⁴⁾⁽⁵⁾、薄型ヘッドライトの将来需要が高いことがうかがえる。しかしながら、現行のヘッドライト光学系では、配光性能等を満足しつつそのような薄型のデザインを達成することは困難と思われる。これは、ヘッドライトの光学系サイズ(ヘッドライトの開口サイズ)の小型化と光利用効率がトレードオフの関係にあることが主な要因である。

そこで当社は、超薄型のデザインと高い光利用効率の両方を達成することができる新しいヘッドライト用光学系として“RIR光学系”を考案した⁽⁶⁾。RIR光学系は、入射屈折面R(Refraction surface)と全反射面I(Total Internal Reflection surface)、出射屈折面R(Refraction surface)を持つRIRレンズを含む。RIR光学系を適用したヘッドライトは、超薄型デザインと高い光利用効率の両立を可能にし、ヘッドライトのデザイン自由度を向上させるとともに省エネルギーにも貢献できる。

2. ヘッドライト光学系と課題

ヘッドライトの光学系は、LED光源から広範囲に放射される光を集光し、ロービームが上方に飛ばないための境界線(カットオフライン)を持つ配光分布を形成して車両前方に投射する(図1)。一般的なプロジェクタ方式の光学系には、金属蒸着を施したリフレクタなどの反射面が用いられるが⁽⁷⁾、反射面を用いると、反射光路と光学系との干渉回避や反射損失によって光学系が大型化するとともに、光利用効率が低下してしまう。そこで、光学系の小型化と光利用効率の向上が課題となる。



図1. ヘッドライトの配光(ロービーム)

3. RIR光学系

3.1 RIR光学系の概要

先に述べた課題に応えるため、当社は独自の“RIR光学系”を考案した。RIR光学系では、屈折作用と全反射作用だけを利用し、金属蒸着面による反射を用いない。これによって、投射レンズの高さを20mmに小型化するとともに一般的なプロジェクタ方式に対して光利用効率を約1.8倍とし、一般的な高さ40~60mmの投射レンズと同等以上の明るさを確保した。小型化によってヘッドライトの形や配置などのデザイン自由度を向上させ、細目や多灯、1灯タイプなど、二輪・四輪を問わず様々な車種やグレードのヘッドライトに適用が可能である。

3.2 RIR光学系の構成と配光形成の原理

図2にRIR光学系の構成と配光形成原理を示す。RIR光学系は、集光レンズとRIRレンズから構成される。この光学系に特有のRIRレンズは、金属蒸着面による反射面がない中実の屈折材からなり、光の制御には屈折作用と全反射作用だけを利用している。

図2を用いてRIR光学系の配光形成原理について述べる。図はRIR光学系の側面図である。LED光源から出射された光は集光レンズによって集光される。集光レンズには全反射面を含むTIR(Total Internal Reflection)レンズを採用することで高効率な集光が可能になる。集光レンズから出射される光は、RIRレンズのカットオフライン形成部付近に集光される。RIRレンズに入射する光は、最適化された自由曲面形状の入射屈折面によって屈折され、所望の配光分布が形成される。入射屈折面に入射した光は、光路Ray1を通り出射屈折面から投射される。一方、入射屈折面に入射した光の一部は、光路Ray2に示すようにRIRレンズの全反射面で全反射される。このように、光路Ray1の光と光路Ray2の光をカットオフライン形成部近傍で重畳させることで、カットオフライン近傍を明るく照明することを可能にしている。なお、カットオフライン形成部は、RIRレンズの全反射面の終端に形成されたカットオフライン形状の稜線(りょうせん)部のことである。このカットオフライン形成部をRIRレンズの出射屈折面の焦点位置と一致させることで、カットオフライン形成部を含む焦点面上に形成された配光パターンを車両遠方に投影する。

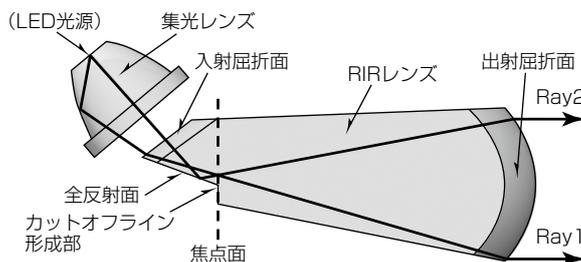


図2. RIR光学系の構成と配光形成原理

3.3 RIR光学系の特長

ここでは、一般的なヘッドライト光学系としてのプロジェクタ方式光学系と比較しながらRIR光学系の特長を述べる。図3に、プロジェクタ方式光学系の構成を示す。プロジェクタ方式光学系は、一般に楕円(だえん)リフレクタ、シェード、投射レンズの三つの光学部品で構成される。LED光源からの光を楕円リフレクタでシェード付近に集光する。シェードは光を遮ることでカットオフライン形状を持つ配光パターンを形成する。最後に、投射レンズによって焦点面上に形成した配光パターンを投射する。プロジェクタ方式光学系では、図の光路Ray3と光路Ray4に示されるような原理的に光を取り込めない領域が存在することに加え、楕円リフレクタの金属蒸着面による反射損失があることから、光利用効率の低下を招いている。

一方、RIR光学系は、集光レンズとRIRレンズの二つの光学部品で構成され、プロジェクタ方式光学系に比べて部品点数が少ないため、光学界面でのフレネル損失による光利用効率の低下を抑えることができる。また、光の反射に全反射を利用しており、金属蒸着面による反射を利用していない。全反射による光の反射率は原理的にほぼ100%であり、高い光利用効率を維持できる。

図4に、プロジェクタ方式光学系とRIR光学系について、投射レンズの高さと光利用効率の関係をシミュレーションした結果を示す。LED光源は同一とし、配光分布が同等のパターンとなるように設計した。図から、RIR光学系はプロジェクタ方式光学系に比べて高い光利用効率を得られていることが分かる。特に、投射レンズの高さが20mmの場合は約1.8倍である。つまり、小型化と高い光利用効率を両立させることが可能である。

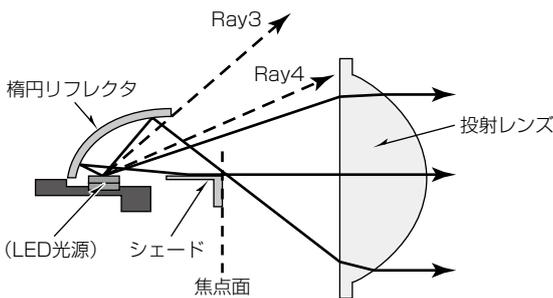


図3. 一般的なプロジェクタ方式光学系

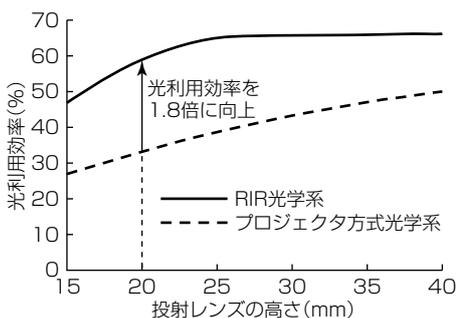


図4. 投射レンズの高さと光利用効率

4. 試作機

RIR光学系を用いた投射レンズの高さ20mmの超薄型ヘッドライト光学モジュール試作機を開発した。図5に試作機の外観写真を示す。左側の3モジュールがロービーム、中央の3モジュールがハイビーム、右側の3モジュールが合計6セグメントのADB(Adaptive Driving Beam)モジュールである。ここでは特にロービームモジュールについて述べる。

ロービームモジュールは、狭配光モジュールと広配光モジュールの2種類で構成される。狭配光モジュールは、配光の中央付近を特に明るく照明するとともに、配光パターンのカットオフライン形状を形成する。広配光モジュールは、水平方向に広がりを持った配光パターンを形成し、路肩を明るく照明する。

表1に試作機のロービームモジュールの仕様を示す。各モジュールの光源には光束600lmの矩形(くけい)LEDを採用した。ロービームは、最大光度が30,400cdで十分な明るさを持つとともに、欧州の配光規格UNECE R123に適合している。図6に試作機のロービームの路面配光分布を示す。3 luxの到達距離が126mであり、遠方視認性の高いロービームを実現している。水平方向の配光の広がりも±40度であり、道路側方でも高い視認性を確保してい

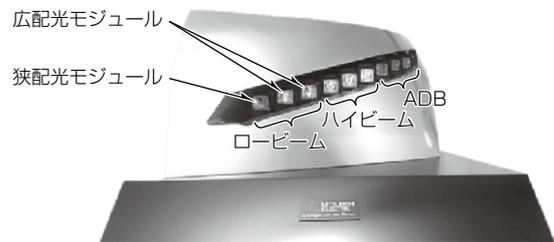


図5. 超薄型ヘッドライト光学モジュール試作機

表1. 試作機のロービームモジュールの仕様

モジュール数	3
光源光束 (lm)	1,800
最大光度 (cd)	30,400
消費電力 (W)	19
3 luxの到達距離 (m)	126
適合法規	UNECE R123

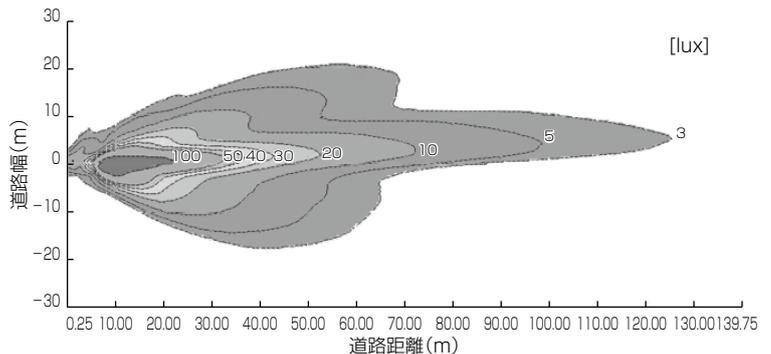


図6. ロービームの路面配光分布

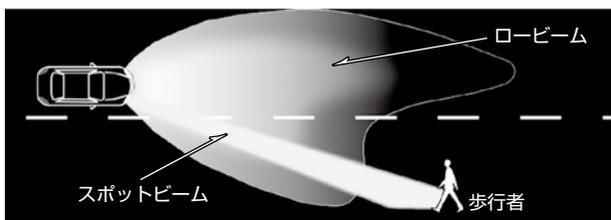


図7. 歩行者などをスポットビーム照射する機能

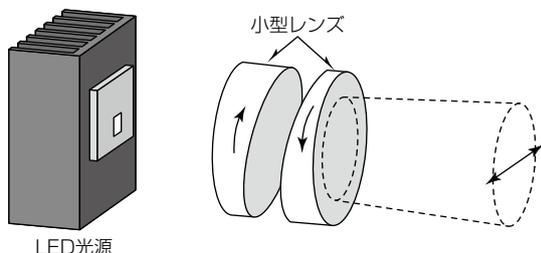


図8. スポットビームモジュールの光学構成

る。投射レンズの高さ20mmで消費電力19Wと、薄型かつ低消費電力でありながら十分な配光スペックを達成した。

5. 配光制御機能

夜間の安全運転に向けて、運転者の視界確保や視認性向上などが求められている。ロービーム走行では、ヘッドライトの光が届かない領域に存在する歩行者などの発見が遅れがちになることから⁽⁸⁾、車載センサで検知した対象物をスポットビームで照射する機能を開発した(図7)。図8にスポットビームモジュールの光学構成を示す。2枚のウェッジプリズム形状の小型レンズを互いに反対方向に同速度で回転駆動することによって、スポットビームを水平方向に走査できる。モジュール全体を駆動させる一般的な方式と比較し、可動範囲を含めたモジュール占有スペースの削減が可能である。

図9に、スポットビーム照射機能を搭載した高機能ヘッドライト用光学モジュールの試作機を示す。投射レンズの高さ20mmのロービーム、ハイビーム、ADBモジュールに加え、スポットビームモジュールを持っている。図10に、高機能ヘッドライト用光学モジュールを搭載したヘッドライト及び車両のデザインイメージを示す。スポットビーム照射機能によって、歩行者などの対象物を早期に発見して夜間の安全運転を支援するとともに、超小型の光学モジュールによってデザイン自由度を向上させることが可能である。

6. む す び

今回開発したヘッドライト用の光学系である“RIR光学系”及びこの光学系を適用した超薄型ヘッドライト用光学モジュールについて述べた。光学部品点数の削減や全反射作用の効果的な活用によって、投射レンズの高さ20mmで

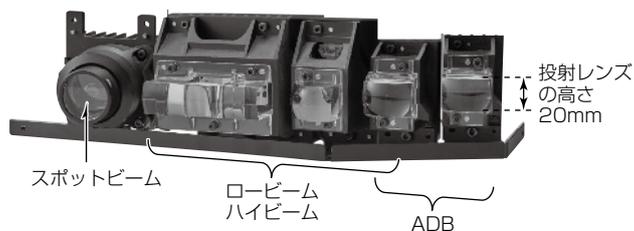


図9. 高機能ヘッドライト用光学モジュールの試作機

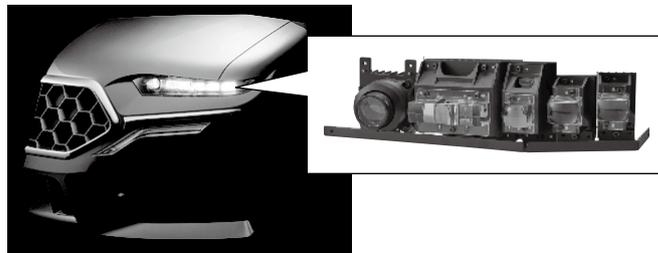


図10. 光学モジュール搭載時のデザインイメージ

消費電力19Wと超小型かつ低消費電力でありながら高い照射性能を持つロービームを実現した。RIR光学系はロービームだけでなくハイビームやフォグランプ、ADBなどの車載用ライティングにも適用が可能であり、様々なデザイン要求にも柔軟に対応できる。また、ロービームの届かない領域に存在する歩行者などをスポットビーム照射する機能について述べた。このような高度な配光制御機能によるライティングで安全な夜間走行を支援する。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：国土交通白書2018, 316～319 (2018)
- (2) ロバート・ボッシュGmbH：ボッシュ自動車ハンドブック, 日本語第3版, 日経BP社, 896 (2011)
- (3) ㈱富士キメラ総研：車載電装デバイス&コンポーネンツ総調査2018「上巻：システム/デバイス編」, 120～121 (2018)
- (4) Bedu, F. : RENAULT Full LED Headlamp Strategy, 11th International Symposium on Automotive Lighting, 3～8 (2015)
- (5) Albou, P., et al. : Very thin headlamp with laser sources, 10th International Symposium on Automotive Lighting, 128～139 (2013)
- (6) Suwa, M., et al. : Development of the RIR Optical System for Ultra-thin Headlights, 6th International Forum on Automotive Lighting, 2～7 (2018)
- (7) ロバート・ボッシュGmbH：ボッシュ自動車ハンドブック, 日本語第3版, 日経BP社, 890 (2011)
- (8) 財交通事故総合分析センター, ITARDA INFORMATION, No.83, 9 (2010)
<https://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info83.pdf>