

## レーザヘッドライト

高橋 幸司

研究開発本部 基盤技術研究所

次世代の自動車ヘッドライト用光源として、半導体レーザと蛍光体を用いた新規の高輝度光源を提案しています。集光されたレーザ光を用いて小さな蛍光体を励起することにより、従来の光源を大きく上回る高輝度で発光する白色光源を得ることができ、それによってヘッドライトの投光光学系の大幅な小型化、斬新な外観デザインを可能にします。本稿では、この新しい光源の特徴について解説すると共に、ヘッドライトをイメージして試作した小型投光器「レーザヘッドライト」の構成と特性について示します。

### 1 はじめに

2007年に白色LEDが自動車用ヘッドライト光源として搭載されて以来、近年においては普及価格帯の車種においても白色LEDが搭載されるに至っています。LEDヘッドライトには、ハロゲンランプやキセノンランプなどの従来の光源には無い、低消費電力・長寿命・瞬時点灯性に加え、設計自由度の高いプラスチック製光学部品が使用できるなどの種々の特徴があります<sup>1)</sup>。特に日本においては低消費電力ヘッドライトとしてエコカーを中心に普及が進み<sup>2)</sup>、欧州においては独特のデザインにより先進的なイメージを与えるヘッドライトとしてプレミアムカーを中心に普及が進んでいます<sup>3)</sup>。

一方で、白色LEDの次の時代を担うヘッドライト用光源についてはほとんど議論が行われていません。我々は、ヘッドライト用の白色LEDにおいては、青色LEDのチップサイズによって決まる発光面積が比較的大きく、輝度（単位面積あたりの明るさ）を従来の光源に対して圧倒的に高くすることが容易でない点に光源としての限界があると考えています。本稿では、次世代のヘッドライト用光源として半導体レーザと蛍光体を用いた新しい高輝度光源

を提案し、以下にその特徴を述べます。また、ヘッドライトをイメージして試作した小型投光器「レーザヘッドライト」<sup>4)</sup>の特性について示します。

### 2 レーザと蛍光体による高輝度光源

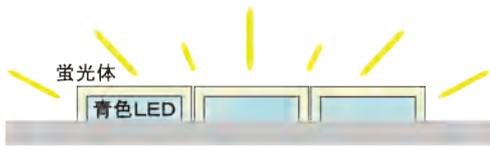
小さな発光点、狭い放射角を特徴とする半導体レーザは、出射されるレーザ光をレンズなどを用いて小さな領域に集光することができます。ここでレーザ光の集光点に蛍光体を配置して励起すれば、小さくて明るい白色光源を得ることができます。

このようにして得られる白色光源の最も大きな特徴は、白色発光ダイオードと比較し、本質的に高輝度な光源を得るのに適している点であると言えます。白色発光ダイオードは、青色発光ダイオードの半導体チップが蛍光体で覆われた構成である為、複数個の白色発光ダイオードを並べれば大きな光束（明るさ）を得ることができるものの、同時に発光面積も大きくなる為輝度（単位面積あたりの明るさ）は変わりません（図1(a)）<sup>5)</sup>。一方で半導体レーザと蛍光体を用いた白色光源においては、レーザ光を集光することにより励起光の光密度を高めることができる上に、複数のレーザ光を

蛍光体上に重ねて集光することで励起光の光強度も高めることができるので、発光面積を変えずに光束と輝度とを同時に大きくすることができます（図1(b)）。つまり、明るい光を放つ、より小さな光源を得ることができるようになると言えます。必要な光束を得る為の光源の面積が小さくなれば、その小さな面積に応じた小型の光学系で投光を行うことができるようになります<sup>5)</sup>、小型・軽量、更にはそれに伴うデザイン性に優れた外観のヘッドライトを設計することが可能になります。このように、特に高輝度であるという点において、レーザと蛍光体を用いた新規の白色光源は、白色LEDを含む従来の光源よりも優れた光源であると言えます。

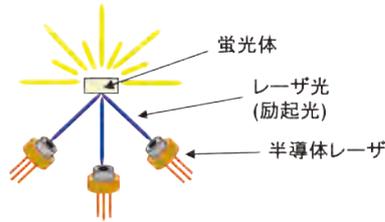
また、レーザ光は光ファイバーを用いて蛍光体まで導光することができます<sup>6)</sup>、発光部（蛍光体）と発熱部（半導体レーザ）・電源部の分離によるメリットを利用することも可能と考えられます。

先の展開としては、他車に眩しさを与えないハイビームとも言える可変配光型走行ビーム（ADB, Adaptive Driving Beam）<sup>7)</sup>、明るくしたい部分だけ選択的に明るくするMarking Light<sup>8)</sup>などのヘッドライトの将来技術に対して、レーザなら



(a) 白色LED

・1個の白色LEDにより光束F、輝度Lの白色光が発生する場合、白色LEDをN個用いると、光束はF×N、輝度はLのまま。



(b) レーザで励起された蛍光体

・1個のレーザにより光束F、輝度Lの蛍光が発生する場合、レーザをN個用いると、光束はF×N、輝度もL×Nとなる。

図1 白色LEDとレーザ励起された蛍光体との比較

られた吸収型フィルタ（図3には図示されていません）から構成されます。図3における紫色の点線は蛍光体を励起する為の複数のレーザ光が蛍光体に向かって集光される様子を示しており、黄色の点線は蛍光体から発せられた白色光がリフレクタにより反射されて投光される様子を示しています。光学設計には光線追跡法による光学シミュレーションを用い、各部の構成の最適化を行っています。

各部の詳細は次のようになります。

励起用レーザモジュールは、波長405nmで発振する複数の半導体レーザが収められた半導体レーザ搭載部と、半導体レーザから発せられた

ではの特徴を活かし、より安全な夜間走行を実現する為のヘッドライトの実現へ貢献することもできると考えられます。

### 3 「レーザヘッドライト」試作機の概要

#### (1) 構成

「レーザヘッドライト」の基本構成を図2に模式的に示します。蛍光体を励起する為の半導体レーザ、半導体レーザを集光する為の集光光学系、半導体レーザによって励起されることで白色光を発する蛍光体、白色光を投光する為の投光系、レーザ光の外部への放出を防止する為のフィルタから成ります。

実際の試作機の要部の形状・配置を図3に示します。試作機は、図2の基本構成における半導体レーザ部と集光光学系部とが一体化された新規の励起用レーザモジュールと、レーザで励起されることによって白色光を発する蛍光体、蛍光体から発せられる白色光を投光する投光系として機能するパラボラリフレクタ、パラボラリフレクタの開口部に設け

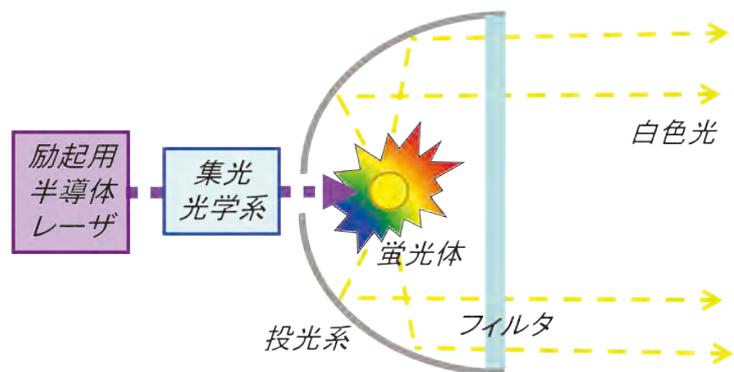


図2 基本構成

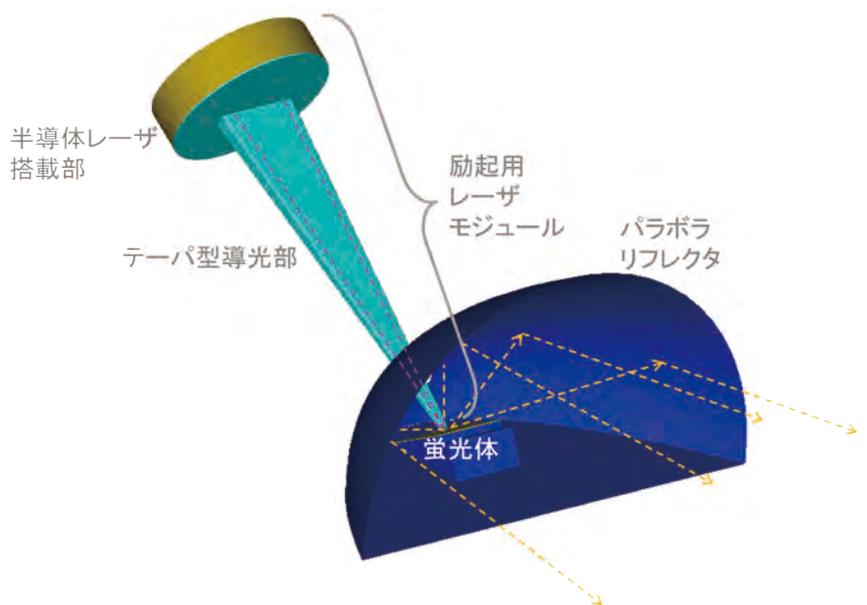


図3 試作機の構成

レーザー光を導光しながら集光する透明なテーパ型導光部から成り、導光部の先端からは集光されたレーザー光が放出されます。導光部の先端は、任意の形状・サイズで作ることができます。

小さくて明るい白色光源を得る為には、複数のレーザー光を束ねた上で集光し、蛍光体を励起する必要があります。励起用レーザーモジュールにおいては、透明なテーパ型導光部により複数のレーザー光が導光部内で混ざり合い、導光しながら集光され、導光部の先端においては分布が均一化されたレーザー光が射出されます。我々は、このように分布が均一化されたレーザー光で蛍光体を励起すると、局所的に蛍光体が発熱することがなく、均一化されていない（例えばガウシアン分布を有する）レーザー光で励起する場合と比較して高い効率で大きな光束を得ることができ、かつ蛍光体の劣化が小さくなることを見出しています。

蛍光体としては、複数種類の蛍光体粉末を混合し、波長405nmのレーザー光での励起により白色光を発するように調整しました。白色光の色度は、用いる複数の蛍光体粉末の材料の選択と配合の調整によって決めることができ、自動車用のヘッドライトとして要求される色度に合わせることができます。

投光部には、高さ30mmの半円形の開口を有するパラボラリフレクタを用い、高い効率で狭い投光角での白色光の投光が行われるように最適化を行いました。

パラボラミラーの開口部にはレーザー光の波長である405nmの光をカットする為の吸収フィルタを設けています。蛍光体で白色光に変換されなかった過剰なレーザー光は、レーザー光の波長に対して不透明な材料から成るフィルタとリフレクタによってユーザからアクセスすることがで

きない空間に閉じ込められ、自然放出による白色光のみ外部に投光される構成としています。

## (2) 特性

集光されたレーザー光で励起された蛍光体は光源サイズを非常に小さくすることができる為、パラボラリフレクタの焦点位置に配置すると平行光に近い狭角での白色光の投光が実現されることが期待されます。

暗室にて、試作機から25m先に設置したスクリーンに投光を行い、スクリーン上の照度分布を測定した結果を図4に示します。試作機は中心の光度が最大となるように光学設計された結果、パラボラリフレクタの開口面積が小さいにもかかわらず半値全幅約1.6°の狭角で白色光が投光されています。狭角での効率的な投光を行うことができれば、これを広げて任意の投光分布を得ることは設計上容易であり、自動車用のヘッドライトの規制に合わせることも可能になります。また、図4にはシミュレーションによって得られた結果と実験結果とが対比して示されており、光線追跡法により実際の投

光特性が精度良く再現されていることがわかります。

試作機の白色光源部においては、38 [W] の入力電力時に400 [lm] の光束と58 [Mcd/m<sup>2</sup>] のピーク輝度が得られています。試作機の全体構成および各部においてはまだ開発課題が残されており、特に発光効率と全光束については改善の余地があるものの、この試作機により、半導体レーザーと蛍光体によって得られた高輝度白色光源が固体照明の投光応用に適したものであることが示されたと考えられます。なお、レーザーで励起された蛍光体における発光点の輝度については、その後の検討の結果、更に数倍の向上が可能であることがわかっています。特に高輝度である点において、LEDや他の光源を大きく凌駕する優れた光源になり得ると言えます。

## 4 最後に

次世代の自動車ヘッドライト用光源として、半導体レーザーと蛍光体を用いた新規の光源を提案し、白色LEDとの比較により本質的に高輝度化に適した構成であることを述べ

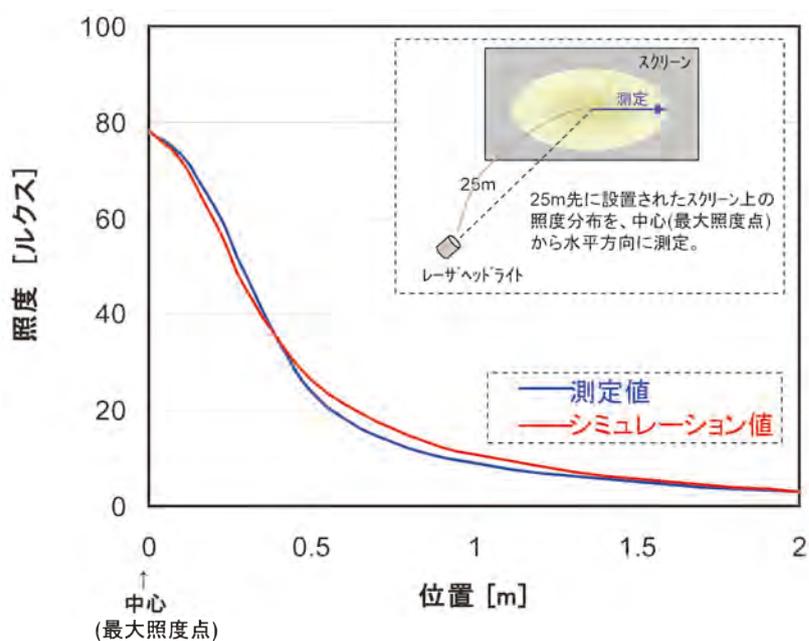


図4 試作機の投光パターン

ました。本光源により、ヘッドライトの光学設計を著しく小さくすることができ、それによって従来の光源では実現できない革新的な外観を持つヘッドライトのデザインが可能になることが期待されます。実際、モーターショー等で見られる多くのコンセプトカーにおいては独特のユニークな形状のヘッドライトがデザインされており、「レーザーヘッドライト」によってそのようなユニークなデザインを具現化することができる可能性を持っていると言えます。また、本光源とパラボラリフレクタを組み合わせた投光器「レーザーヘッドライト」を試作し、高輝度光源としての特徴である小型投光系による狭角投光が可能であることを示しました。

一方、半導体レーザーと蛍光体との間を光ファイバーで繋いだ場合に

は、発光部（蛍光体）と熱源・電気系統（半導体レーザー及びその放熱器、駆動回路）を分離することができ、LEDヘッドライトに用いられているような大きくて重い放熱器をヘッドライト内部に持たない独特の小型・軽量投光ユニットを提案することもできます。

なお、本技術の用途は必ずしも自動車用ヘッドライトに限られるものではなく、固体照明による種々の投光用途へ展開することができると考えられます。特に光源が小さいことによってもたらされる光学系の小ささや、狭角での投光が実現できる点において、有望な次世代光源になり得ると言えます。

本開発に係る光学シミュレーションについては、シャープ欧州研究所と共同で検討を推進しました。

## 参考文献

- 1) 佐々木勝, "自動車用LEDヘッドランプ", OPTRONICS, No.5, (2009), p.105-110.
- 2) "世界で最も省エネのLEDヘッドランプを実現", 日経 Automotive Technology, 2011/05号, p.117-120.
- 3) S.Berlitz, "Next LED Head Lights", 9th International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany (2011).
- 4) Koji Takahashi, Yoshiyuki Takahira, Yosuke Maemura, Katsuhiko Kishimoto, Rina Sato, Shigetoshi Ito, Yoshitaka Tomomura, Hidenori Kawanishi, James Suckling and David Montgomery, "Laser headlight for Next Generation Automotive Lighting", 9th International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany (2011).
- 5) 佐々木勝, "白色LEDの自動車照明への応用", 応用物理, 第11号, (2005), p.1463-1466.
- 6) 成川幸男, 長濱慎一, 玉置寛人, 向井孝志, "GaN系発光素子を用いた高輝度白色光源の開発", 応用物理, 第74巻, 第11号, (2005), p.1423-1432.
- 7) B.Reiss, "Adaptive Driving Beam with LED? Beam pattern expectations", 9th International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany (2011).
- 8) Schneider, "Markinglight: Safety enhancement by Markinglight Systems and their technical implementaton", 9th International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany (2011).