

## ヘッドランプの小型軽量化に貢献する高効率 LED の開発

和田 聡<sup>\*1</sup>, 荒添直棋<sup>\*2</sup>, 古関正賢<sup>\*3</sup>矢羽田孝輔<sup>\*4</sup>, 渡邊宗隆<sup>\*4</sup>Development of High Efficiency LEDs  
that Contribute to Reduced Headlamp Size and WeightSatoshi Wada<sup>\*1</sup>, Naoki Arazoe<sup>\*2</sup>, Masakata Koseki<sup>\*3</sup>Kosuke Yahata<sup>\*4</sup>, Munetaka Watanabe<sup>\*4</sup>

## 要旨

現在、多くの照明製品で白色 LED が利用され一般的になっている。車載照明においても、内装製品を中心に搭載が拡大している。また、LED の高効率化が進み、高効率、高信頼性、高色品質がもめられるヘッドランプ用の光源として、既存光源からの置き換えが急速に進んでいる。ここでは、ヘッドランプ用光源を取り巻く状況と、豊田合成のヘッドランプ用 LED に適用した技術について報告する。

## Abstract

White LEDs are used in many illumination products and have become common today. In vehicle illumination, progress has been made mainly in interior decoration products. LEDs are becoming more efficient, and they are rapidly replacing existing light sources in headlamps that demand high efficiency, high reliability, and high color quality. Here we report the circumstances for headlamp light sources, and the technology applied in our LED headlamps.

## 1. はじめに

CO<sub>2</sub> 排出量削減のため、化石燃料使用量を低減できる FCV, PHV, EV などの電気を動力源としたクルマのシェアが今後伸びていくことが予想されている。車載照明製品において、消費電力の低減による燃費、電費向上のため、LED 化が急速に進んでいる。また、LED の高輝度化による光源の小型化によりヘッドランプの設計自由度が向上し、より複雑なデザインを実現できるようになった。光源の発光効率と発光面積の関係を図-1に示す。発光効率が高いほど同じ明るさを出すのに必要な消費電力が小さくなり、発光面積が小さいほど輝度向上によるヘッドランプの小型化が優位となる。

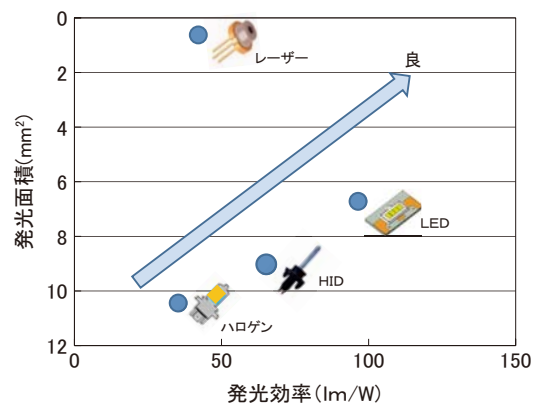


図-1 ヘッドランプ用光源の位置づけ

光源の LED 化による光源サイズの小型・高効率化によって灯体デザインの自由度が向上し、主に高級車を中心に LED 化が進んでいる。更にヘッドランプ用 LED の発光効率が向上するのに伴い、HID やハロゲンからの置き換え適用が拡大している (図-2)。

\*1 電子デバイス開発部 デバイス開発室

\*2 電子デバイス開発部 デバイス企画室

\*3 車載照明技術部 照明技術室

\*4 TS オプト株式会社 技術部

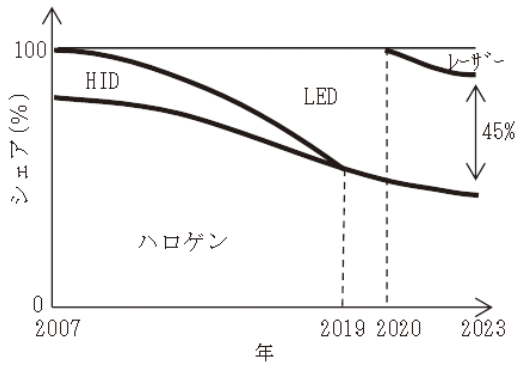


図-2 ヘッドランプ用光源シェア予測

ハロゲンはLEDに対し安価な点、メンテナンスが容易な点で優位性があるため、LEDへの置き換えは緩やかに進行すると予想される。

## 2. ヘッドランプを取り巻く状況

LEDの高効率、高輝度化に伴い、デザイン性に加え、ADB（アダプティブドライビングビーム）に代表される、光を当てたくない場所を部分的に遮光するような機能をヘッドランプで実現することにLED光源が貢献している。

ヘッドランプの小型化に伴い、ヘッドランプが占有していた領域へDRLやグリルなどの配置が可能となり、フロント周りのデザインが大きく変化してきている。また、自動運転化に伴い、各種センサーがフロント周りに配置されることによるスペース確保の点より、ヘッドランプ小型化のトレンドは続くと考えられる。

次に、ヘッドランプのデザインについて、大きく2つに分類することができる（図-3）。複数のレンズを組み合わせる多灯式と一つのレンズで構成する単灯式がある。多灯式はデザイン性向上とADB等高機能化に有利なため、主に高級車を中心に普及が進んでいる。単灯式は一つのLEDでハイビームとロービームを実現する、バイファンクション方式が主となっている。バイファンクション方式は部品点数が少ないため、灯体コストが低減でき、普及価格帯の車への採用が進んでいる。

〈単灯式ヘッドランプ〉



〈多灯式ヘッドランプ〉

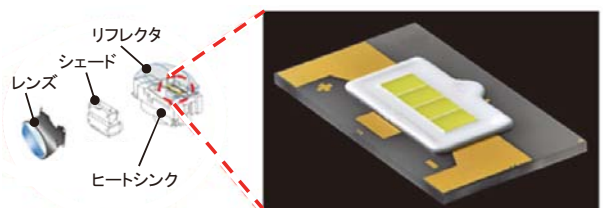


図-3 ヘッドランプのデザイン

今回、豊田合成より製品化されたバイファンクションヘッドランプ用LEDについて、取り組みを紹介する。

## 3. TGの取り組み事項

バイファンクションヘッドランプの構造を図-4に示す。LEDを冷却するヒートシンク、ロービームを実現するためのシェード、法規に適合する光の分布を作り出すレンズとリフレクタで形成される。



開発したヘッドランプ用LED

図-4 バイファンクションヘッドランプ構造

バイファンクションヘッドランプ用LEDは、ハイビームとロービームに求められる明るさを1つのLEDで実現する必要がある。このため、必要な明るさを確保するために大きな電流を流す必要がある。結果、LEDの発熱が大きくなるため、LEDを冷却するためのヒートシンクや冷却ファンの使用が必要となる。LEDの冷却は信頼性確保に大きく影響する。

また、白色LEDは一般的に、青色LEDと蛍光体（黄色）を組み合わせている。この青い光と黄色い光を一定の割合で混色しないと、ヘッドランプで照らされた部分が色わかれをおこし、均一な白色光にならない。以上より、ヘッドランプ用LEDに求められる特性としては、以下の3つがあげられる（図-5）。

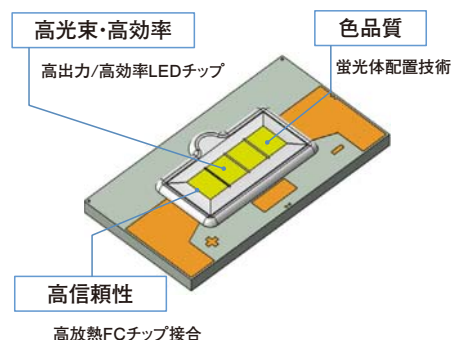


図-5 ヘッドランプ用LEDに求められる特性

- ・ 高光束・高効率 (明るさと発熱量低減)
- ・ 高信頼性 (放熱性確保)
- ・ 色品質 (色むら抑制)

上記に対し、LED チップとパッケージにおいて豊田合成で取り組んだ技術検討内容を紹介します。

### 3-1. LED チップ技術

ヘッドランプ用光源として LED チップに要求されるポイントとして『小発光面積 (小さいチップ面積) で高光束である⇔光束密度が高い』ことがあげられる。

$$\begin{aligned} \text{光束密度} &= \text{光束} / \text{チップ面積} \\ &= \text{投入電力} \times \text{発光効率} / \text{チップ面積} \\ &= \text{電流} \times \text{電圧} \times \text{発光効率} / \text{チップ面積} \\ &= \text{電流密度} \times \text{発光効率} \times \text{電圧} \end{aligned}$$

であり、光束密度を高くするためには、(A) 電流密度を上げる (B) 発光効率を上げるという 2つの手法がある。

以下に、(A) (B) 2つの手法それぞれに行った対策について述べる。

#### (A) 電流密度を上げる

電流密度を上げることによる懸念点は、単位面積あたりの発熱量が増加することにより、LED チップの温度が上がることである。LED チップは温度が上がると発光効率が低下するため、できるだけ放熱をよくする必要がある。

ここで、LED チップの実装方法に着目すると、大きく 2種類に分類することができる。一つは、フェイスアップチップ (FU) と呼ばれるもので、もう一つは、フリップチップ (FC) と呼ばれるものである。この二つの構造を図-6 に示す。

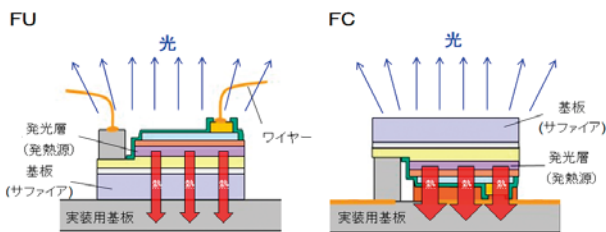


図-6 FUとFCの構造

FUにおいては、熱抵抗が高いうえに、数百 $\mu\text{m}$ 厚のサファイア基板を通して熱を実装用基板に逃がす必要がある。一方、FCでは、数 $\mu\text{m}$ 厚の金属である電極を通して熱を実装用基板に逃がせばよいため、放熱性はFUに比べてよい。

チップの温度を比較したデータを図-7に、明るさを比較したデータを図-8に示す。

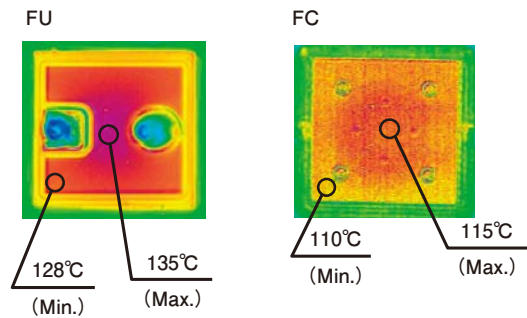


図-7 FUとFCの温度比較

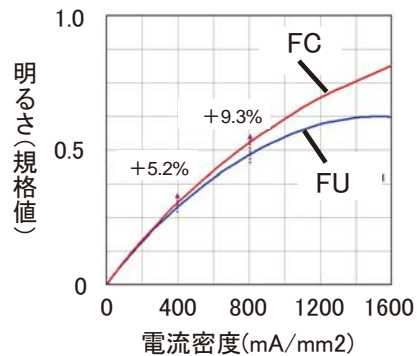


図-8 明るさの電流密度依存性

液晶のバックライトのように、一般的な電流密度での用途では、実装性からFUが選択されるが、今回ヘッドランプ用途では電流密度を上げるために、FC構造とした。

#### (B) 発光効率を上げる

LEDでは、光は発光層で生まれるが、その際、四方八方に向かって進む。FCでは、この光をできるだけロスすることなく、サファイア基板面から取り出す必要がある。図-9に示すとおり、反射膜で光の吸収(ロス)が発生する。明るさを向上させるためには、反射膜に反射率の高い材料を用いる必要がある。

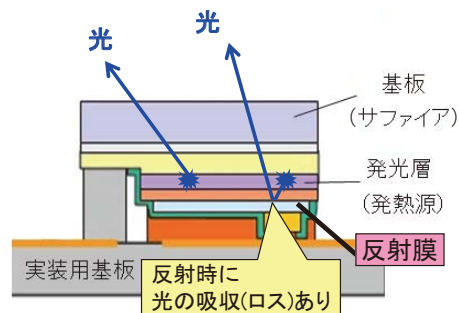


図-9 FC光取り出し

代表的な金属の反射率を図-10に示す。

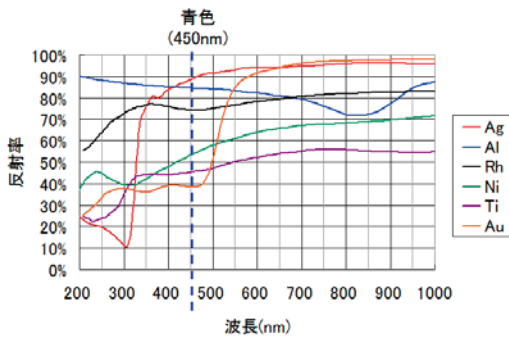


図-10 代表的な金属の反射率

反射膜としては、青色（450nm）での反射率が高いことが望ましく、最も反射率が高い金属が Ag であり、次に Al, Rh と続く。従来、Al を反射膜として使用した FC を量産化してきたが、Ag のマイグレーションの問題を材料や構造の工夫で解決した。Ag を使用することにより、更なる明るさ向上を図った。Al から Ag への変更による効果を示したデータを図-11に示す。結果として、8% 明るさを向上することができた。

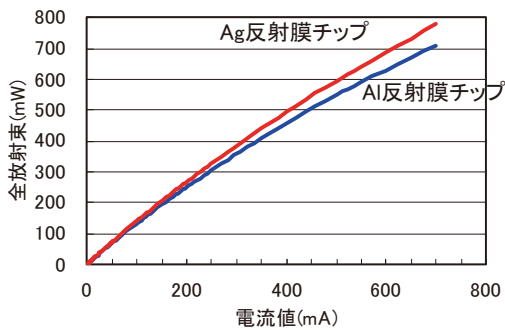


図-11 Ag 反射膜チップの全放射束

### 3-2. パッケージ技術

図-12にLEDパッケージの構造を示す。基板にLEDチップを接合し、接着材で蛍光体をチップ

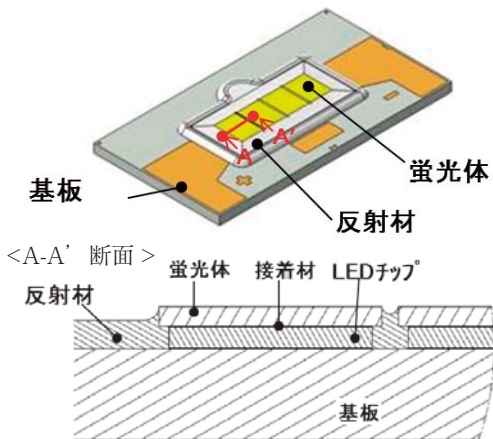


図-12 パッケージ構造

上へ固定する。LEDチップ及び蛍光体外周に反射材を形成している。

ヘッドランプ用LEDのパッケージに要求されるポイントとして『高放熱性』と『色むら抑制』があげられる。『高放熱性』については、LEDチップからの熱を効率よく放熱させるチップ面接合技術、『色ムラ抑制』には小粒径蛍光体を適用した。

#### (A) 高放熱性の確保

放熱性は、材料の接合面積、厚み、熱伝導率で決まり、熱抵抗という指標で評価され、熱抵抗が低いほど放熱性は向上する(式-1)。

$$\text{熱抵抗}(\text{C/W}) = \text{熱伝導率}(\text{W/m}\cdot\text{K}) \times \frac{\text{厚み}(\text{m})}{\text{面積}(\text{m}^2)} \quad (\text{式-1})$$

これより、熱抵抗を下げるためには、

- ①厚みを薄くする
- ②接合面積を広げる
- ③熱伝導率を上げる

という3つの手法がある。

今回、①厚みを薄くする、②面積を広げるという2つの手法をはんだによるチップ面接合により実現し、熱抵抗を下げることによりLEDチップ温度の低減を図った。図-13にLEDチップの接合面積とチップ温度の結果を示す。

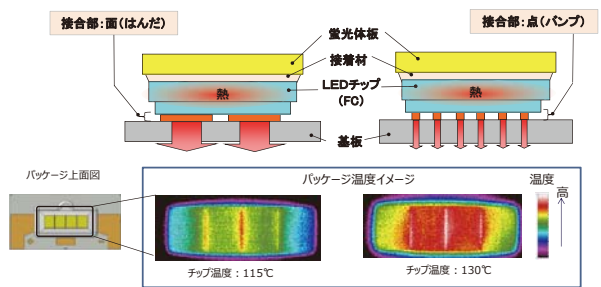


図-13 LEDチップ接合部形態と温度の関係

はんだによるLEDチップ実装により、薄く、広い面積での接合が可能になった。FC構造とはんだ接合の組み合わせにより、チップ温度を低減できる、放熱性の高いパッケージ構造を実現した。

#### (B) 色ムラの抑制

図-14に白色LEDの断面模式図を示す。LEDチップから出る青色光は蛍光体にあたり黄色光に変換されるものと、ベース材料を透過して青色光として取り出されるものに分かれる。この青色光と黄色光が一定の割合で混色されることにより白色光となる。

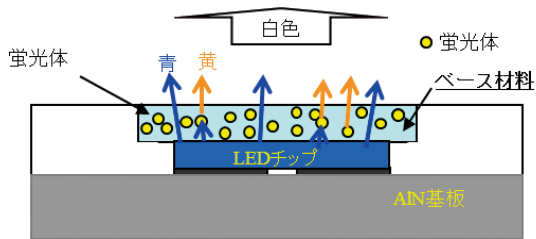


図-14 白色LEDの構造模式図

色ムラは、青色光と黄色光の割合が変化することで発生する。全体から均一の割合で青色光と黄色光が出ることにより、色ムラは改善される。

色ムラと蛍光体粒径の関係を調査した。結果を図-15に示す。本試験結果より、蛍光体の粒径が小さくなるほど色ムラが小さくなるのがわかる。

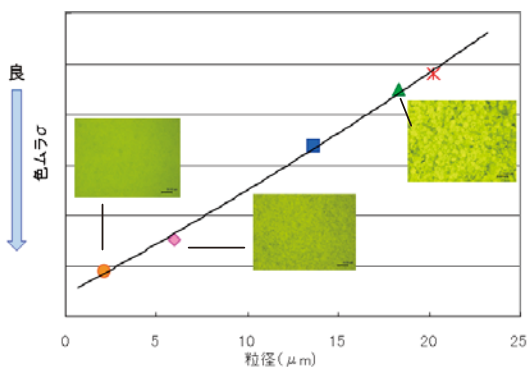


図-15 色ムラと蛍光体粒径の関係

メカニズムを図-16に示す。蛍光体のベース材料部(透明)を通り抜けてくる青色光と黄色光の比率で白色光をつくるため、黄色光を発生させる蛍光体の量は青色光に対し一定にする必要がある。蛍光体の粒径が大きいと青色光の抜ける領域が大きくなるため、色の差が大きくなる(図-16(左))。蛍光体が小さくなれば、図-16(右)に示すように青色と黄色の分布が緻密になり、色の差が小さくなる。これより、色ムラを抑制することが可能となる。

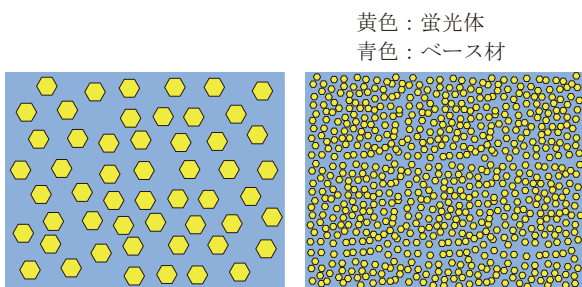


図-16 蛍光体粒径と色の見え方(模式図)  
(左) 蛍光体粒径大 (右) 蛍光体粒径小

#### 4. まとめと今後の進め方

ヘッドランプの動向及び、LEDの高効率化に対し適用した技術について述べてきた。

高効率LEDの適用による省エネ化によって燃費、電費の低減が実現され、光源の小型化によってヘッドランプデザインの自由度が上がり、様々な表現が可能となった。豊田合成では今後も環境にやさしく安全なクルマ社会に貢献できるように、LEDチップ、LEDパッケージの開発を推進していく。

#### 参考文献

- 1) 成田 巧, 伊藤 優輝, 下西 正太, 豊田合成技報, 57, 20 (2015)
- 2) 中田 尚幸, 荒添 直棋, 篠田 大輔, 豊田合成技報, 57, 14 (2015)

#### 著者



和田 聡



荒添直棋



古関正賢



矢羽田孝輔



渡邊宗隆