

## 大光量と小形化を両立させたLEDロケーションライト

LED Location Light for On-Location Venues Featuring Compactness and High Intensity

近藤 和也 KONDO Kazuya 村田 淳哉 MURATA Junya

演出撮影用ロケーションライトは、持ち運びが可能で、太陽光下でも十分な照度が得られる照明器具である。光源には大光量・高演色のメタルハライドランプが用いられてきたが、発光管内に水銀が封入されていることもありLED（発光ダイオード）化が望まれていた。

東芝ライテック(株)は、COB（Chip on Board）型LEDモジュールを採用し、大出力化に伴う発熱に対して放熱構造の小形化に取り組み、従来のLED照明器具に比べると高温動作となるが、寿命、性能、及びLEDモジュール取り付け構造をトレードオフすることで、小形・軽量のLEDロケーションライトを開発した。消費電力は225 Wで、従来のメタルハライドランプ575 W搭載品相当の大光量を得られる。灯具と電源はそのまま、光源のLEDモジュールだけを交換するサービスを開始した。

Location lights are portable lighting fixtures providing sufficient illuminance for photography and filming in on-location venues, even under sunlit conditions. Metal halide lamps with high intensity and high color rendering are commonly employed as the light source of location lights. Due to the use of mercury in the light-emitting tube of these metal halide lamps, however, demand is increasing for the replacement of such lights by location lights using a light-emitting diode (LED) module.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has developed a small and lightweight LED location light equipped with a high-power chip-on-board (COB) LED module that can withstand higher temperature operation compared with conventional LED modules. This has been achieved by making efforts to reduce the size of the heat sink to cool the LED module and by considering the tradeoff relationships among the lifetime, performance, and attachment structure of the LED module. As a result, the newly developed LED location light has a power consumption of 225 W while outputting light equivalent to that of a location light equipped with a 575 W metal halide lamp. We have now launched a light source exchange service that allows users to change only the new LED module while continuing to use their usual lighting equipment and power supply units.

### 1. まえがき

LED照明は、省電力・長寿命といった特長を備え、住宅や、施設、屋外などの一般照明用としてだけでなく、舞台・スタジオ照明といった演出空間照明用としても幅広く普及してきた<sup>(1)</sup>。しかし、撮影現場では、いまだにHID（高輝度放電）ランプの一種であるメタルハライドランプを搭載した照明器具が使われることがある。575 Wメタルハライドランプ搭載ロケーションライトは、その代表である。ロケーションライトは、機材を撮影現場に持ち出して行われるロケーション撮影や、ドラマや映画のセットにおいて疑似太陽光の演出などに用いられる演出撮影用照明である。メタルハライドランプは大光量・高演色である一方、発光管内に水銀が封入されている。2017年8月に発効された「水銀に関する水俣条約」では、メタルハライドランプは規制対象外とされているが、水銀が環境に与える影響は世界的に懸念されており、LEDへの置き換えが強く望まれている。

近年、LEDの高出力化が進んでいるが、LED照明器具



図1. 開発したLEDロケーションライト

開発したLEDロケーションライトは、灯具と別置き型専用電源から構成されている。

Newly developed LED location light

では、大光量を得るための消費電力の増加に伴い、LEDの発熱を低減するための放熱器も大きくなってしまふ。このため、撮影現場で重視される“大光量”と“持ち運び可能なサイズ”との両立が困難であり、LED化を阻害していた。

表1. 開発したLEDロケーションライトと従来品の主な仕様の比較

Comparison of main specifications of conventional location light equipped with metal halide lamp and newly developed LED location light

項目	LEDロケーションライト (開発品)	メタルハライドランプ搭載 ロケーションライト(従来品)
形名	AL-LED-USL-W (灯具) AL-LED-USL-PS (電源)	AL-UFH-5-4 (灯具) AL-BF-575-N-2 (電源)
投光距離3mでの 照度 (lx)	2,020 (フラッド) 9,570 (スポット)	1,690 (フラッド) 8,960 (スポット)
消費電力 (W)	225	575
相関色温度 (K)	5,800	6,000
Ra	90	90
光源寿命 (時間)	3,000 (LED)	750 (ランプ)
放熱方式	自然空冷 (灯具, 電源)	自然空冷 (灯具) ファン空冷 (電源)
灯具サイズ (mm) (突起部除く)	200 (幅) × 205 (奥行き) × 190 (高さ)	200 (幅) × 220 (奥行き) × 190 (高さ)
質量 (kg)	2.8 (灯具) 3.2 (電源)	4.4 (灯具) 4.1 (電源)

Ra: 平均演色評価数

東芝ライテック(株)は、大光量を維持しつつ、持ち運び可能なサイズまで小形化するため、放熱器を小形化する際に課題となる寿命性能を見極める手法を構築し、大光量と小形化を両立させたLEDロケーションライトを開発した。開発したLEDロケーションライトを図1に、また開発したLEDロケーションライトと従来の575 Wメタルハライドランプ搭載ロケーションライトの主な仕様を表1に示す。

ここでは、LED放熱構造の小形化、LEDロケーションライトの寿命性能、LEDモジュールの取り付け構造、及び開発したLEDロケーションライトの特長について述べる。

## 2. LED放熱構造の小形化

### 2.1 小形化とLEDオーバードライブ

LEDロケーションライトは、575 Wメタルハライドランプ搭載ロケーションライトと光出力が同等でかつサイズの維持を開発目標とした。これにより、LEDロケーションライトの光出力を得るために必要なLEDの消費電力は、概算で200 Wと想定された。一方、目標の灯具サイズから内部に収納可能な放熱器の体積は、 $2 \times 10^6 \text{ mm}^3$ 以下となることが分かった。放熱器の材質は、高い熱伝導率と軽さからアルミニウム材を採用した。放熱器の体積に対するアルミニウム製放熱器の質量とLEDジャンクション温度の関係について、熱シミュレーションで予備検討した結果を、図2に示す。放熱器の目標体積から質量は約1 kg以下、LEDジャンクション温度は110 °C以上となることが分かった。LEDジャンクション温度は、寿命性能を決定する重要なパラメータである。通常、放熱器の体積に制約がある場合、LEDジャンクション温度は投入する電力によって調整する。LED

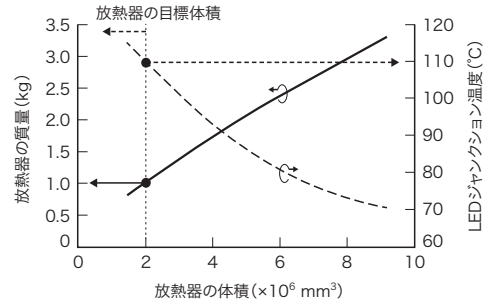


図2. 放熱器の体積・質量とLEDジャンクション温度の関係

放熱器の目標体積に基づく熱シミュレーション予備検討の結果、放熱器の質量は約1 kg以下、LEDジャンクション温度は110 °C以上となることが分かった。

Relationships among volume and mass of heat sink, and LED junction temperature

ロケーションライトは、一般的なLEDの寿命4万時間で設計した場合、消費電力を120 W程度まで下げることになり、目標光量が不足する問題があった。LEDロケーションライトは、演出撮影用の光特性や持ち運びやすさが求められる一方、4万時間といった長寿命は必ずしも要求されない。そのため、通常のLED動作点よりも高い負荷、すなわちオーバードライブでの大光量と小形化の両立を検討した。ただし、従来のメタルハライドランプの公称寿命750時間よりも長い寿命を確保することを前提に、LED高温動作における寿命性能の評価を行い、寿命設計が可能なLED上限温度を検証した。

### 2.2 加速試験による検証

LEDジャンクション温度と寿命の関係を把握するため、加速試験を行った。LEDの寿命予測を行う加速試験の中で、寿命予測法として式(1)のアレニウスモデル<sup>[2]</sup>を用いた。

$$K=A \cdot \exp (-E_a/k_B T) \quad (1)$$

$K$ : 反応速度定数,  $A$ : 頻度因子,  $E_a$ : 活性化エネルギー,  $k_B$ : ボルツマン定数,  $T$ : 絶対温度

$K$ に対して寿命 $L$ は反比例するため逆数を取り、更に自然対数を取ることによって式(2)が得られる。

$$\ln L=(E_a/k_B) (1/T)-\ln A \quad (2)$$

この式(2)を用いることで、活性化エネルギーが不明な場合でも寿命予測ができる。ロケーションライトに使用するメタルハライドランプは、半年から1年で交換するケースが多く、光源寿命は750 ~ 1,000時間と想定した。そこでメタルハライドランプの750時間後の光束維持率を基に、LEDの寿命判定は、初期光束に対する低下の割合、すなわち光束維持率が90 %を下回った時点とした。

### 2.2.1 試験条件

LEDジャンクション温度条件を変えて加速試験を行った。LEDは、COB型LEDモジュールを用いた。LEDモジュールの仕様を表2に示す。試験条件は表3に示すとおり、LEDジャンクション温度を2.1節で述べた110℃より高温に設定した。表3に示すLEDジャンクション温度は、COB型LEDモジュールの基板面温度の計測値及びそこから熱抵抗に基づいて決定した。試験中のLEDジャンクション温度は、ペルチェ素子を用いた冷却ユニットにより、COB型LEDモジュールの基板面温度を一定に保つことで管理した。

### 2.2.2 試験結果

温度加速試験の結果に基づく、試験温度と光束維持率が90%に低下した時間のアレニウスプロットを、図3に示す。アレニウスプロットから、以下の近似式(3)、(4)が得られた。

$$(1) \quad 125 \sim 145 \text{ }^\circ\text{C} \text{ のとき} \\ \ln L = 4651 \times (1/T) - 3.84 \quad (3)$$

$$(2) \quad 145 \sim 180 \text{ }^\circ\text{C} \text{ のとき} \\ \ln L = 7316 \times (1/T) - 10.22 \quad (4)$$

式(3)及び式(4)の傾きの違いから、表2に示したLEDジャンクション温度の絶対最大定格150℃を超えると、寿命状態となるモードに変化が現れることが予想できる。

温度加速試験後にCOB型LEDモジュールの外観を観察した結果、125～145℃の試験品では外観に異常は見られなかったが、180℃の試験品では特に発光面の中央部に

表2. COB型LEDモジュールの主な仕様

Main specifications of COB LED module

項目	仕様
発光径	32.8 mm
全光束	25,000 lm
消費電力	200 W
絶対最大定格電力	525 W
絶対最大定格ジャンクション温度	150℃

表3. 温度加速試験の条件

Test conditions for temperature acceleration tests of COB LED modules

試験番号	試験条件	
	LEDモジュールの消費電力(W)	LEDジャンクション温度(℃)
①	200	125
②	200	135
③	200	145
④	300	135
⑤	400	180

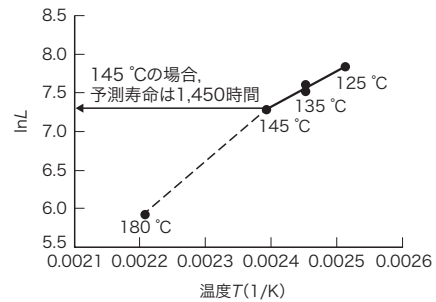


図3. 光束維持率が90%に達したときのアレニウスプロット

LEDジャンクション温度の絶対最大定格150℃を超えると、寿命状態となるモードが変化することが予想できる。

Arrhenius plot in case of maintaining 90% luminous flux rate

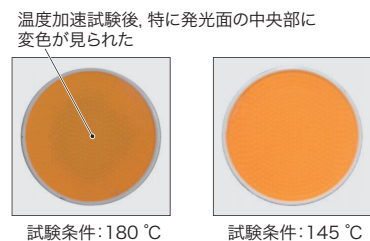


図4. 温度加速試験後のCOB型LEDモジュール

125～145℃では外観上の異常は見られなかったが、180℃では特に発光面の中央部で変色が見られた。

COB LED modules after temperature acceleration tests

変色が見られた。試験品の外観を図4に示す。試験品の変色部を分析したところ、LEDモジュール基板に設けた反射層の一部が壊れ、光反射状態が変わったことが変色の原因であることが確認された。これらの結果から、式(4)の温度範囲では式(3)とは律速条件が異なると考え、この温度領域の寿命設計は不適と判断した。これにより、寿命設計が可能な上限温度を145℃以下とした。

### 2.3 LEDロケーションライトの寿命性能

LEDロケーションライトを実際に試作した評価結果から、LEDジャンクション温度を求めた。想定される使用範囲と設計仕様の範囲から、LEDジャンクション温度は120℃以下となることが確認できた。また、式(3)の外挿により、LEDロケーションライトの寿命は3,000時間と見積もられた。

## 3. COB型LEDモジュール取り付け構造

LEDロケーションライトでは、放熱器を小形化するため、LEDジャンクション温度が従来のLED照明器具よりも高温となる。そのため、放熱器との熱接合が重要である。開発したLEDロケーションライトのCOB型LEDモジュール取り付け構造を、図5に示す。COB型LEDモジュールは、ホ

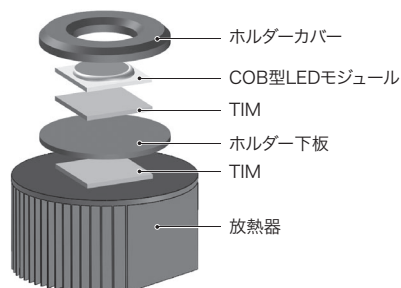


図5. COB型LEDモジュールの放熱器への取り付け構造

密着性を確保するため、ホルダーとTIMを使用して放熱器へ取り付け。

Structure for attaching COB LED module to heat sink

ホルダーを用いて放熱器に固定する方式とした。ホルダーカバーによりLEDモジュールの基板全体を押さえ、熱接合の安定性を確保した。また、ホルダーはセラミックス製とし、使用中における耐熱性と電気絶縁性を維持できる構造とした。更に、COB型LEDモジュールとホルダー下板間、ホルダー下板と放熱器間にはそれぞれTIM (Thermal Interface Material) を挿入し、微小な隙間を無くすことで熱接合界面における熱抵抗を低減した。ここで、TIMは、耐熱性だけでなく、使用中の密着性確保や熱抵抗変化に着目した評価から、材料の選定と厚さを決定した。

#### 4. LEDロケーションライトの特長

開発したLEDロケーションライトは、575 Wメタルハライドランプ搭載ロケーションライトと、同じ光出力及び灯具サイズを実現した。放熱器の小形化に伴い、通常よりもLED動作温度を高く設定したため、光源寿命は3,000時間である。しかし、灯具や専用電源の寿命は数万時間なので、5章で述べるように、光源交換サービスを行うこととした。

専用電源はAC (交流) 100 Vの商用電源で使用できるため、使用場所を選ばず、消費電力は225 Wとなり従来品よりも61%の省電力化を実現した。そのほか、配光制御ユニットを交換式とすることで、様々な配光制御に対応できる。更に、大光量のLED器具は、ファンを用いた空冷式が多いが、ファン動作音が収録や演出の妨げとなるおそれがあるため、自然空冷を採用した。

#### 5. 光源交換サービス

LEDロケーションライトの光源が寿命となった場合、COB型LEDモジュールを交換することで、灯具及び専用電源はそのまま使用できる、光源交換サービスを導入した。サービスの概要を、図6に示す。このサービスにより、新たに器具を買い換えることなく、照明性能を維持できる。LEDロケー

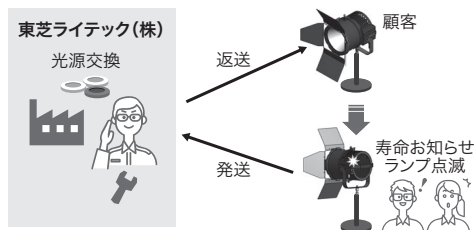


図6. 光源交換サービスの概要

光源が寿命となった場合、COB型LEDモジュールを交換することで、灯具及び専用電源はそのまま使用できる。

Light source exchange service

ションライトの灯具内部に、寿命タイマーを組み込み、寿命時間が近づいてきたら専用のお知らせランプが点滅することで、LEDモジュールの交換を通知する。これにより、寿命時間を超えて使用され、演出中に突然“不点灯”になるリスクを防止するとともに、器具ごとに使用頻度が異なる場合にも、顧客による使用時間管理の手間を軽減できる。また、当社にとっては、交換サイクルの早い顧客との接点が増えるため、顧客からの要望や意見をいち早く取り入れる機会として利用できる。

#### 6. あとがき

開発したLEDロケーションライトは、大光量と小形・軽量化を両立させるため、放熱器の小形化を行った。従来のLEDより高温動作となるが、寿命性能の評価及びLEDモジュール取り付け構造の検討で、3,000時間の寿命を確保した。また、光源交換サービスを導入することで、ロケーションライト照明器具としては数万時間の使用が可能になった。

今後、LEDロケーションライトの更なる機能向上に取り組むとともに、ラインアップの拡充へと開発を進めていく。

#### 文献

- (1) 近藤俊雄. 舞台・スタジオ照明のLED化と納入事例. 電気設備学会誌. 2019, 39, 1, p.30-33.
- (2) LED照明推進協議会編. LED照明信頼性ハンドブック. 日刊工業新聞社, 2008, 203p.



近藤 和也 KONDO Kazuya  
東芝ライテック(株)  
研究開発センター  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



村田 淳哉 MURATA Junya  
東芝ライテック(株)  
システム事業部 システム技術部  
Toshiba Lighting & Technology Corp.