

大光量と低消費電力を実現する 舞台・スタジオ用LED照明器具

LED Lighting Fixtures for Theater and Studio Lighting Systems with High Light Intensity and Low Power Consumption

大野 貴之 徳原 直人 羽生田 有美

■ ONO Takayuki

■ TOKUHARA Naoto

■ HANYUDA Yumi

近年、発光ダイオード(LED)を用いたLED照明器具の普及が進んでいる。しかし、舞台・スタジオ用の演出空間照明では白熱電球の一種のハロゲンランプが主流であり、省電力化の流れに相反し大電力を必要とすることから、大光量のスポットライトのLED化が熱望されている。

東芝ライテック(株)はこれに代えて、従来のハロゲン1 kW相当以上の大光量と演出空間で必須となる高演色、むらの少ない配光、及び静音性を実現し、ハロゲン1 kW器具の置換えが可能なLEDスポットライトを開発した。開発したLEDスポットライトの消費電力は237 Wと、従来のハロゲン1 kWスポットライトに比べて約76%の消費電力削減を図り、大光量と低消費電力を両立させている。

The dissemination of lighting fixtures equipped with light-emitting diodes (LEDs) has recently been expanding in general lighting fields. However, halogen lamps, a type of incandescent lamp, are still the mainstream in theater and studio lighting systems due to their high light intensity of 1 kW class, which is necessary for performance spaces such as medium- and large-scale TV studios. Demand is increasing for LED lighting fixtures with high light intensity and low power consumption to replace these halogen lamps, which have high power requirements.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has now developed LED spotlights for theater and studio lighting systems that provide a light intensity equivalent to that of conventional 1 kW-class halogen spotlights while maintaining a high color rendering index, uniform light distribution, and quiet operation. These LED spotlights achieve a power consumption of only 237 W, approximately 76% lower than that of conventional halogen spotlights.

1 まえがき

近年、環境保護と節電意識の高まりから、一般照明のLED化が急速に進んでいる。しかし、舞台・スタジオ用の演出空間照明はまだまだハロゲン器具が主流であり、消費電力が500 Wあるいは1 kWといった大容量のスポットライトを多く使用している。また使用器具の台数も多いため、ハロゲン器具からLED器具に置き換えることで大幅な省電力化が期待できる。

小規模TV(テレビ)スタジオではハロゲン750 W相当などの小光量LED器具の導入が進んでいるが、大光量が必要な情報番組などの中規模TVスタジオやドラマ制作などの大規模TVスタジオではハロゲン器具を使用している。省電力化のためLED化の要望は強いが、主に使用されるハロゲン1 kW器具の置換えが可能な明るさを持つ演出空間用LEDスポットライトは、これまで存在していなかった。

ハロゲン1 kW相当の明るさをLEDで実現するためには、大光量とともに高演色化と小形化も必要である。これは、スポットライトの光を受ける出演者の肌の色味が自然に見えること、及び天井への器具設置スペースにハロゲン器具と同じ台数を設置できるように同等の器具寸法にすることが重要視されるからである。

東芝ライテック(株)は、演出空間用スポットライトのLED化を進めていくなかで、大光量、高演色、及び小形化を実現するLEDスポットライトを開発し、様々な製品を市場投入している。

ここではハロゲン1 kW相当のLEDスポットライトを実現するうえでキーとなる、高演色で小形のLEDモジュール実装技術、及び大光量に伴う発熱を低減する放熱技術について述べる。

2 要素技術

開発したLEDスポットライトでは、基本構造を担う主要部品の光源、放熱器、及び光学系を刷新した。COB(Chip on Board)形LEDモジュール、ヒートパイプ放熱器、及び集光器に対して、大光量を実現するための最適化設計を実施した。開発した舞台・スタジオ用LEDスポットライトの外観を図1に、主な仕様を表1に示す。

2.1 COB形LEDモジュール

一般に大光量を得るためには、複数の光源を配置して発光面積を広くする方法がとられる。しかしスタジオ用では、撮影の用途によって器具前面に設けた遮光板を用いて、不要な方向に漏れる光を遮断して使用することがある。このとき、発光面積を広げる方法ではきれいに遮光できないため、単一光源にする必要がある。また、発光面積を広くすると集光できなく



表1. 開発したLEDスポットライトの主な仕様
Main specifications of newly developed LED spotlights

項目	形名	
	AL-LED-ASH-L	AL-LED-FSH-L
タイプ	舞台用 平凸レンズタイプ	スタジオ用 フレネルレンズタイプ
消費電力 (W)	237	
平面1/10照度全角 (°)	集光時	21.0
	拡散光時	63.0
相関色温度 (K)	3,050	
Ra	95	
放熱方式	自然空冷	
本体サイズ (mm)	345 (幅)×390 (高さ) 600 (奥行)	345 (幅)×370 (高さ) 470 (奥行)
質量 (kg)	12.3	10.7

なり、必要な照射角が得られないため、発光面積の小形化も重要である。更に、スポットライトの投光面は均斉度も必要であり、むらの少ない配光が求められる。

そこで、COB形LEDモジュールを採用し、大光量、高演色（平均演色評価数Ra95）、及び低色温度（3,050 K）を持つ演出空間用照明仕様の光源を搭載した。COB形LEDモジュールと当社従来モジュールの発光面の比較を図2に示す。

従来はSMD (Surface Mount Device) 形のLEDを格子状に並べて配置していたため、大形化し色むらも生じていた。一方

COB形LEDモジュールは、多数のLEDチップを高密度実装することでむらの少ない配光を実現するとともに、大光量かつ小形化を達成した。また、光量と演色性はトレードオフの関係にあるが、舞台・スタジオ用に必要な明るさと美しく表現できる高演色性を兼ね備えるように、最適化設計を行った。

2.2 ヒートパイプ放熱器

2.1節で述べたように、小形で単一光源のCOB形LEDモジュールを採用したが、大光量に伴う発熱が一点に集中するため、放熱が極めて重要になる。特に高演色、低色温度では、低演色、高色温度と同じ消費電力でも発光量は減り熱への変換量が増すため、発熱量がいっそう増加する傾向が見られた。

これらの問題から、従来のアルミダイカスト製の放熱器では小形化を実現できないことが想定された。また、発熱量が多い場合の放熱手段としてはファン空冷が有効であるが、スタジオではファンの動作音が収録及び演出の妨げとなるおそれがあった。更にファンの動作が停止すると、温度が急激に上昇し器具を破損するなどの可能性も考えられるため、自然空冷にこだわった。

単一光源、高発熱量、及び自然空冷の条件下で最適な放熱器として、ヒートパイプ放熱器を開発した。ヒートパイプ放熱器の外観を図3に示す。

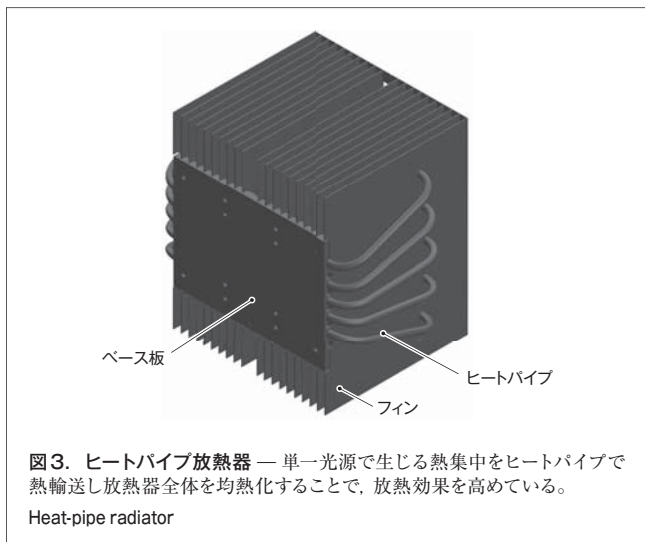


図3. ヒートパイプ放熱器 — 単一光源で生じる熱集中をヒートパイプで熱輸送し放熱器全体を均熱化することで、放熱効果を高めている。
Heat-pipe radiator

ベース板にヒートパイプを配置することにより、ベース板全体に熱を分散させるとともに、ヒートパイプの熱輸送によりフィン後方部へ伝熱することでフィン全体を均熱化させた。これにより、フィンの性能を最大限まで引き出して放熱効果を高めることができ、単一光源による熱集中を緩和させた。また外形寸法は、ハロゲン器具に収まるサイズの208(幅)×200(高さ)×150(奥行き)mmと小形化を実現した。

更に演出空間用LEDスポットライトは、図1に示すように筐体(きょうたい)の側面にアームが付いており、仰俯角(ぎょうふかく)を自由に変えられる。仰俯角が垂直で上向きするとき、ヒートパイプの仕組みにより熱輸送量が著しく低下するので、もっとも温度が上昇する。そのため、ベース板を極力小さくすることでフィンからの熱対流を停滞させないように工夫している。どの仰俯角でも十分な放熱ができるように、演出空間用LEDスポットライトに最適化設計を行った。

2.3 光学系

演出空間用LEDスポットライトは、演出用途に合わせて照射角を変化させる機能が求められる。一般に、LEDの前面にレンズを配置し、光軸に沿ってレンズを前後に動かすことで集光から拡散光まで照射角を変化させる。開発したLEDスポットライトの集光時と拡散光時の内部構造を図4に示す。

従来、光源からの光は拡散状態だったため、集光時には光の多くは筐体に吸収され、レンズへの入射光は少なくなり器具からの出射光は著しく減少していた。また集光器を設けると、光源が擬似的に拡大され集光できなくなるという問題があった。そこで、光源からの光を効率よく器具前方へ出すこと、及び集光を両立させる集光器を開発し光源部の前面に設置した。集光時のレンズ位置(図4(a))において、レンズ全体に光が照射されるように最適化設計を行うことによって、集光した状態で光源から器具前方へ光を取り出す効率は最大25%向上した。

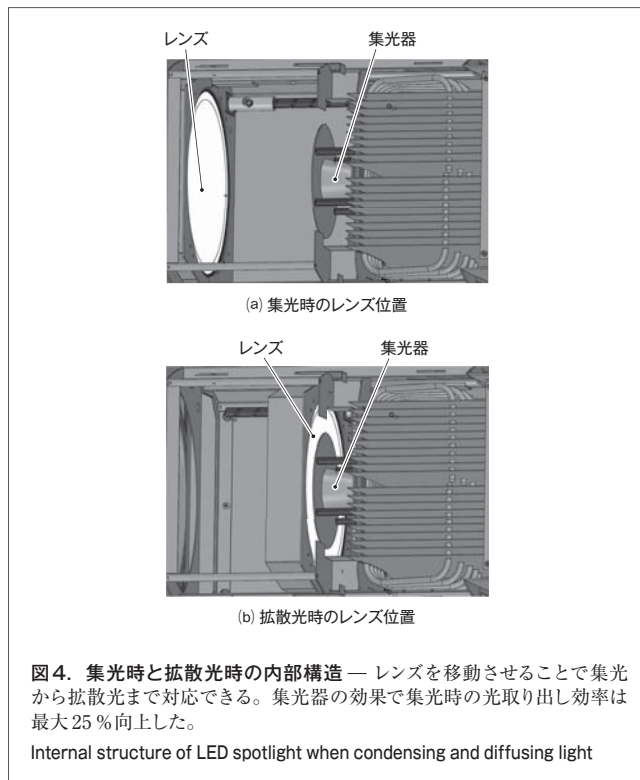


図4. 集光時と拡散光時の内部構造 — レンズを移動させることで集光から拡散光まで対応できる。集光器の効果で集光時の光取り出し効率は最大25%向上した。
Internal structure of LED spotlight when condensing and diffusing light

3 筐体設計

演出空間用LEDスポットライトは、大光量に伴う放熱処理が必要であり、放熱器だけでなく放熱構造を意識した筐体設計が重要となる。これらを考慮して、LEDスポットライトを光源部、放熱部、光学部、電源部、制御部、及び筐体に大別する基本構造とした(図5)。

3.1 放熱構造

一般に放熱器による放熱効果は、搭載される器具の構造や材質などの条件に左右される。演出空間用LEDスポットライトの場合、放熱器の周囲は板金に囲まれており、排熱は板金

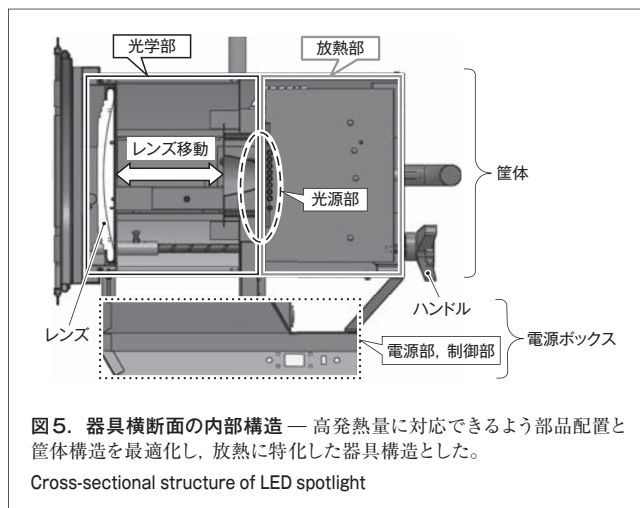


図5. 器具横断面の内部構造 — 高発熱量に対応できるように部品配置と筐体構造を最適化し、放熱に特化した器具構造とした。
Cross-sectional structure of LED spotlight

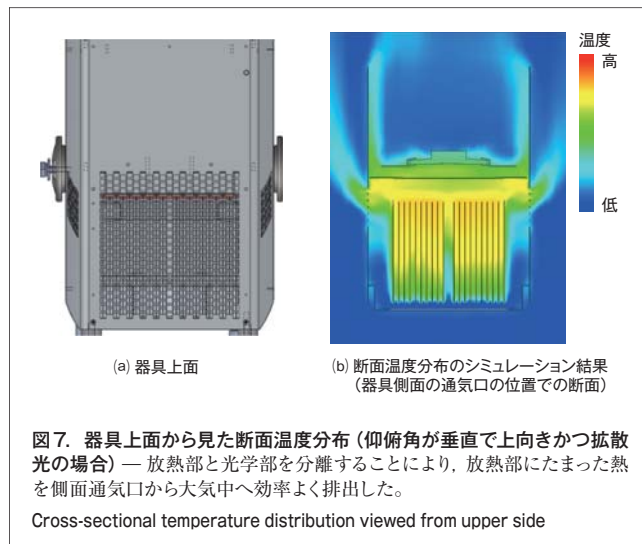
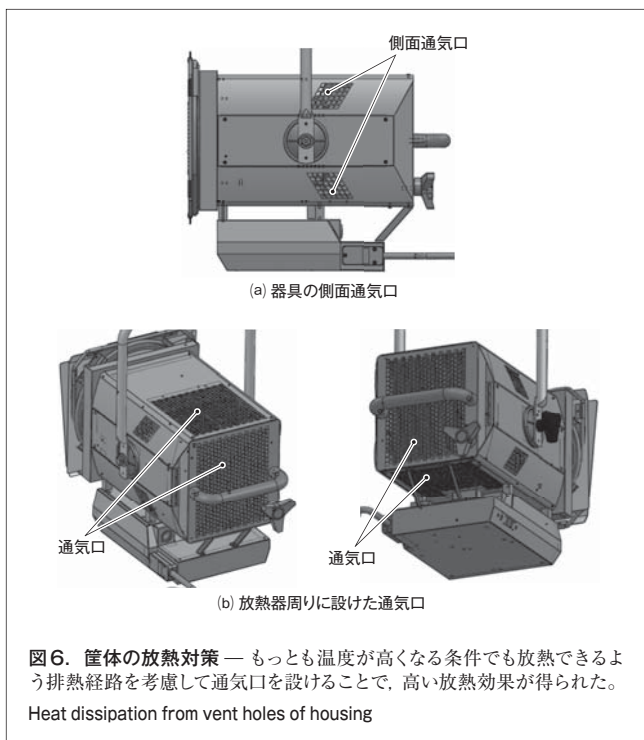
に開けた穴から流入する空気や筐体に伝熱させるしかない。そのため、いかに通気を確保し、排熱をするかがキーとなる。そこで、放熱構造を考慮した筐体設計を行った。

3.2 部品の配置

従来は、発熱源である光源、放熱器、及び電源基板を一体化した構造を採用していた。しかし光源の発熱量増加に伴い、周辺部材である電源回路部品の温度が高くなることが問題であった。そこで電源基板を筐体から分離し、筐体と電源ボックスの間に空間を設けた。発熱源から遠ざけることで熱の影響を受けにくくしただけでなく、放熱器を囲む筐体の下部にも通気口を設け、放熱器からの熱を排熱できる構造とした。また筐体と電源ボックスの間に空気が流れることで、効率よく熱が逃げるようにした。

3.3 放熱部と光学部の分離

開発したLEDスポットライトで温度がもっとも高くなる条件は、仰俯角が垂直で上向きかつ拡散光(図4(b))の場合である。これは、2.2節で述べたヒートパイプ放熱器の性能低下と、レンズが光源に蓋をする状態となって光源の周囲温度が上昇するためである。これらの条件下でもうまく放熱するために、放熱部と光学部の空間を分離する構造を採用した(図5)。放熱器から生じる高温の排熱が光学部に入ると光源の周囲温度が上昇するため、排熱の光学部への流入を防ぎ放熱部にとどまらせた。そして、放熱部にたまった熱は、筐体の側面に設けた通気口を通して大気中に排出させた(図6、図7)。これらにより、放熱器の排熱経路を確保して、光源の周囲温度の上昇を抑制した。



4 あとがき

演出空間用LEDスポットライトの主要部品である光源、放熱器、光学系、及び筐体を刷新することで、ハロゲン1kWのスポットライト相当の大光量を持ちながら、消費電力は237Wと約76%の消費電力削減を実現した。これにより、開発したLEDスポットライトは、平成26年度省エネ大賞 製品・ビジネスモデル部門の省エネルギーセンター会長賞を受賞することができた。

今後、ハロゲン1.5kWや2kW器具の置換え需要が見込まれるため、更なる大光量のLEDスポットライトが求められる。当社は、引き続き主要部品を含めた様々な技術開発に取り組むことにより、大光量の演出空間用スポットライトのLED化を推進していく。



大野 貴之 ONO Takayuki

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター。舞台・スタジオ用照明器具の設計・開発に従事。照明学会会員。

Toshiba Lighting & Technology Corp.



徳原 直人 TOKUHARA Naoto

東芝ライテック(株) システム事業部 システム技術部。舞台・スタジオ用照明器具の設計・開発に従事。照明学会会員。

Toshiba Lighting & Technology Corp.



羽生田 有美 HANYUDA Yumi

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター。屋外用照明器具の設計・開発に従事。照明学会会員。

Toshiba Lighting & Technology Corp.