

省エネと低コストを実現するLED照明器具

LED Luminaires for Enhancement of Energy Conservation and Cost Reduction

渡邊 博明

戸田 雅宏

齋藤 明子

■ WATANABE Hiroaki

■ TODA Masahiro

■ SAITO Akiko

近年、発光ダイオード(LED)の高効率・高光束化が進み、既存の照明器具が、屋内用、屋外用ともにLED照明器具へ置き換えられつつある。このためには、LEDの特長を生かしながら既存の器具と同等の性能を持つ照明器具が必要である。

東芝ライテック(株)は、様々なLED照明器具の製品化を進めている。今回屋内用照明器具として、店舗用HID(High Intensity Discharge)ランプに代わる小形LEDスポットライトを開発した。LEDの効率の良い放熱を、3次元(3D)-CAD及び熱解析を用いて設計するとともに、また放熱性の高い最適な基板材料を選択することで実現し、約45%の省エネ、約40%の小形化、及び約35%のコストダウンを達成した。

当社はまた、屋外用照明器具としてLED防犯灯を開発した。光学解析を用いてグレア(まぶしさ)を低減する反射板を設計し、水平面照度を上げることで、既存の器具と同じ配置で設置でき、約71%の省エネと3倍以上の長寿命化を実現した。

With the development of high-efficiency and high-luminosity light-emitting diodes (LEDs) in recent years, conventional luminaires for both indoor and outdoor lighting applications are being replaced by LED luminaires. LED luminaires that meet the specifications of conventional luminaires are therefore required.

For indoor lighting applications, Toshiba Lighting & Technology Corporation has developed a compact LED spotlight luminaire for retail stores as an alternative to conventional high-intensity discharge (HID) spotlight luminaires. We designed the LED spotlight using three-dimensional computer-aided design (3D-CAD) and a thermal analysis simulator to help dissipate the heat of the LED efficiently. We also employed a printed circuit board (PCB) made of iron with a high-thermal-conductivity insulating layer suitable for the ceramic package of the LED, to prevent solder cracks caused by differences in the thermal expansion coefficients of the materials. Energy conservation of about 45%, downsizing of about 40%, and cost reduction of about 35% have been achieved.

For outdoor lighting applications, we have developed an LED security streetlight luminaire that can be set at the same intervals as existing streetlight luminaires. This was achieved by both designing the reflector shape using an optical simulator to decrease glare, and realizing high horizontal illuminance. Energy conservation of about 71% and long lifetime more than 300% have been achieved.

1 まえがき

近年、LEDの高効率・高光束化が進み、それに伴って既存の照明器具が、屋内用、屋外用ともにLED照明器具へ置き換えられつつある。

東芝ライテック(株)は、様々なLED照明器具の製品化を進めている。特に施設や店舗向けの照明は、既存光源の中でも比較的効率が高いHIDランプや蛍光灯の置換えを目指すため、省エネ性と経済性が要求される。

ここでは、LEDの特長を生かした照明として、屋内用ではスポットライト、屋外用では防犯灯を例に、光学や熱解析を用いた当社の製品設計技術について述べる。

2 屋内用LED照明器具

2.1 開発の目標仕様

LEDが高出力化した結果、LEDスポットライト(以下、開発

表1. 開発品の目標仕様

Target specifications of newly developed LED spotlight

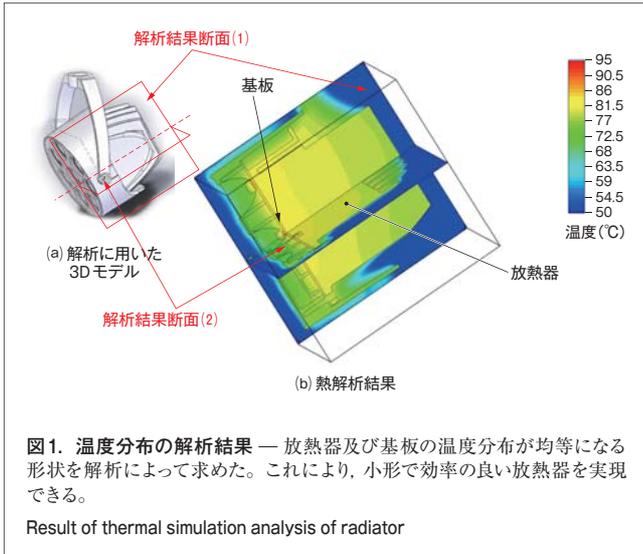
項目	開発品の目標仕様	従来品の性能
灯具サイズ (mm)	φ90×100(約30%削減)	φ100×140
消費電力 (W)	30(約30%削減)	44
調光機能 (%)	約30~100	なし
配光	中心光度 23,000 cd, 1/2ビーム角 10°	

品と呼ぶ)の配光は低ワットHID光源とほぼ同等になり、製品化が可能になった。

従来の店舗用小形HIDスポットライトの置換えを目指すため、次の特長を持つように開発を行った。

- (1) 小形化を実感できるサイズ
- (2) LEDならではの省エネ性
- (3) HID光源では難しい瞬時点灯及び調光機能
- (4) 従来品と同等の配光性能

具体的な目標とした仕様を表1に示す。これらの仕様を実



現するために採用した主な技術として、放熱設計及び基板材料の最適化について、次に述べる。

2.2 放熱設計

目標の配光を実現したときのLEDの発熱量は約21 Wである。これを小形の灯具で効率よく放熱するため、3D-CAD及び熱解析を用いて最適形状を求めた(図1)。ここでは、これまで開発したLED製品とは異なり熱密度が高くなるため、熱伝導率の高い金属基板を採用することを想定した。

開発品では、LEDから金属基板へ伝達した熱を放熱フィンと一体のアルミニウム(以下、アルミと略記)ダイカスト製放熱器へ直接伝え、効率よく放熱させる構造を採用した。放熱フィンの長さ、間隔、厚さなどは放熱性能と重量に影響を与える。器具全体としての意匠を損ねずに放熱効果を確保し、更に、灯具全体の重心バランスを考慮することで照射方向を調整する際の操作性を確保し、フィンの形状を最適化した。

2.3 最適基板の選定

金属基板を選定するときには、放熱特性以外にも、金属基材及び絶縁層の熱膨張係数に注意を払う必要がある。今回採用するLEDはセラミックパッケージであり、金属と比較して熱膨張係数が極めて小さい。このため、点灯と消灯を繰り返すと、熱膨張量が違うためはんだ付け部に大きな応力が繰り返して加わり、クラックを生じる可能性がある。そこで試作品を用いてヒートサイクル試験を行った。その結果、汎用のアルミベース基板を使った場合には、コネクタやコンデンサのリード端子部のはんだにはクラックが発生しなかったものの、LEDセラミックパッケージのはんだ付け部にクラックが発生した。

基材と部品の熱膨張差を吸収するため、金属基板としては前記の汎用アルミベース基板のほか、絶縁層の膨張係数を低減させた低弾性アルミベース基板、及び基材の膨張係数を低減させた鉄ベース基板などがある。更に鉄ベース基板には、絶縁層として低熱伝導率の樹脂を用いたものと高熱伝導率の

表2. 金属基板の種類と比較

Characteristics of various metal-base PCBs

基 材	種 類	はんだクラック	量産性	コスト	熱伝導率
アルミ	汎用	×	○	1.0	1.0
	低弾性	×	○	1.1	1.5
鉄	低熱伝導率	○	△	0.5	0.8
	高熱伝導率	○	△	0.5	0.9

○:良 △:可 ×:不可

*コストと熱伝導率は、汎用アルミベース基板を基準とした係数

樹脂を用いたものの2種類がある。これらの基板を用いた試作品を作り、評価試験を行った。

評価試験の結果を表2に示す。総合的にもっとも良い特性を持つのは、高熱伝導率絶縁層の鉄ベース基板であった。この基板を採用することにより、ヒートサイクル試験ではんだクラックは発生せず、また、はんだ付け部の温度も規格を満足することができた。

しかし、量産するのに必要な集合基板化が、従来のガラスエポキシ基板やアルミベース基板ではできなかったが、鉄ベース基板は現状では対応できない。このため、鉄ベース基板の場合は個片で実装しなければならないために量産性が低下するという課題が残る。今後は、コストダウンに向けて量産性の改善を進めていく。

2.4 開発品の性能

これらの検討の結果得られた開発品の性能を、従来品と比較して表3に示す。開発品は、従来品に比べ約40%の小形化と消費電力約45%の省エネを実現できた。また、器具個々に全光の30%まで調光できるようにして、スポットライトに要求される照明演出効果を発揮できるような設計とした。いずれも目標仕様を満足できた。更に従来品に比べ約65%の低

表3. 開発品と従来品の性能比較

Performances of newly developed LED spotlight and conventional HID spotlight

項 目	開発品 (LEDスポットライト)	従来品 (HIDスポットライト)
外 観		
灯具外形 (径×長さ) (mm)	φ92×85	φ100×140
光源	LED: 8素子 4,500及び3,500 K, Ra85	セラミックメタルハライドランプ35 W 4,200及び3,000 K Ra90及びRa81
中心光度 (cd)	22,500	23,000
器具光束 (lm)	1,450	2,000
1/2ビーム角 (°)	10	10
器具消費電力 (W)	23.5	44

Ra: 平均演色評価数

価格に設定することで、スポットライト市場に転機を与えるコストパフォーマンスの高い性能を実現できた。

開発品では、器具光束が従来品の約70%であるにもかかわらず、ほぼ同等の中心光度が得られる。これは、LEDがより点光源に近く配光制御しやすいためであり、光束をむだなく照射エリアに集光できることを示している。

3 屋外用LED照明器具

LEDの発光効率が高くなるにつれて、大光量を必要としてきた屋外照明へも応用範囲が広がっている。ここでは、屋外照明器具のうち、LED防犯灯器具について述べる。

3.1 防犯灯の要求性能

防犯灯は、夜間の犯罪防止のため歩行者の挙動や姿勢などがわかるように、適切な明るさが必要な照明器具である。このために推奨されている照度基準⁽¹⁾を表4に示す。防犯上、少なくともクラスBの照度が必要とされている。そこで、LED防犯灯では、現在設置されている道路灯と同じ35mの間隔で、クラスBの照度基準を満たすことを設計目標とした。

また、LEDは光源輝度が高いため、照度基準を満たすとともにグレアにも配慮する必要がある。屋外のグレア指標として、CIE (国際照明委員会) 及びISO (国際標準化機構) が規定するGR値⁽²⁾があり、GR値が50以下のときにグレアが許容できる範囲になるとされている。ここでも、GR値を50以下にすることを、第2の設計目標とした。

表4. 防犯灯推奨照度

Recommended illuminances of security streetlight luminaires

項目	防犯照明の推奨照度	
	A	B
クラス	A	B
水平面照度(平均値) (lx)	5	3
鉛直面照度(最小値) (lx)	1	0.5
照明の効果	4 m先の歩行者の顔の概要が識別できる	4 m先の歩行者の挙動や姿勢などがわかる

出典：改正防犯照明ガイド⁽¹⁾

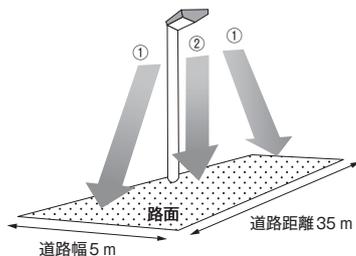


図2. 器具と道路面の模式図 — 光を道路進行方向になるべく遠くへ飛ばし(①)、同時に水平面照度を高くする必要がある(②)。

Coverage area between luminaire and road surface

3.2 グレアと配光制御

3.1節で述べた照度基準とGR値を実現するため、まず理想的な配光形状を検討した。道路面と器具との模式図を図2に示す。設置間隔35mでクラスBを実現するためには、器具からの光を道路進行方向になるべく遠くへ飛ばす必要がある(図2の①)。また、GR値を許容範囲にするためには、器具直下を明るくして水平面照度を高くすることが有効である(②)。これらの点から、理想的な配光として図3に示す形状を導き出した。

更に、配光制御方法として従来はレンズを用いていたが、この方法ではレンズで集光されてグレアが強調されるという問題があった。そこで今回は、反射板を用いた配光制御方法を採用し、光源を大きく見せてグレア感を低減するようにした。

図3の配光形状を反射板で実現するため、光学シミュレーションとタグチメソッドを併用して設計を行った。この結果、最適な反射板形状として図4に示す形状を求めた。

図4の反射板構造は、LEDの周囲4面のうち、3面に反射板を置き、1面を開放した構造となっている。反射面aでは、LEDの光を直進方向(紙面に垂直な手前方向)へと制御し、反射面bでは、反射された光を開放された1面から図の下方へ

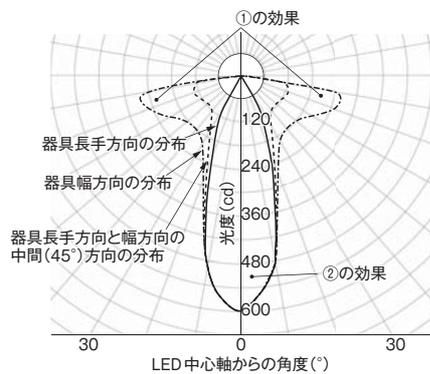


図3. 理想的な配光形状 — この配光形状を実現することによって、照度基準及びGR値の条件を両立できる。

Ideal shape of luminous intensity distribution

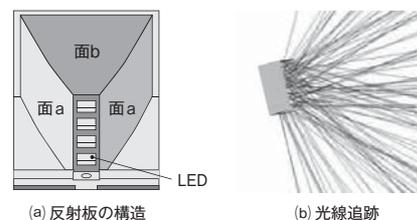
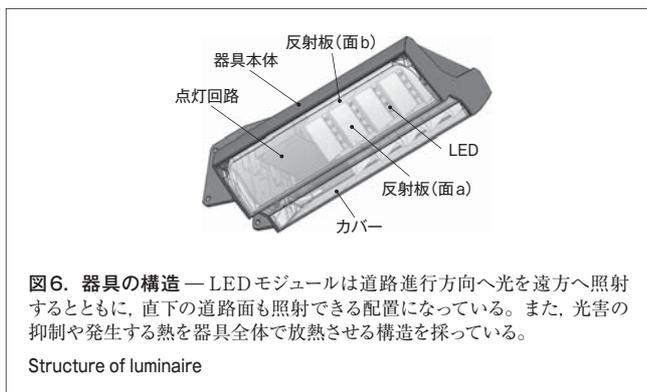
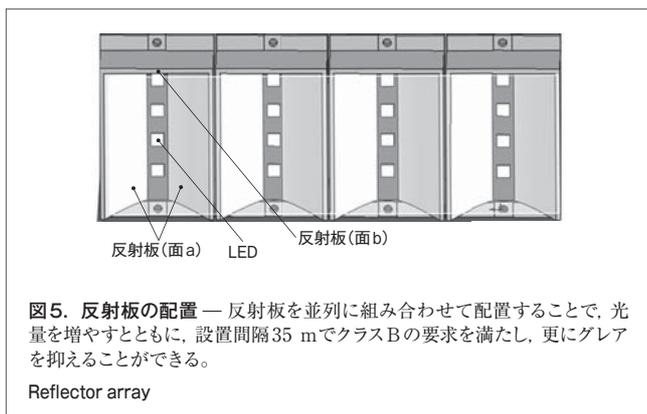


図4. 反射板の構造 — 光学シミュレーションとタグチメソッドを併用して、理想的な配光形状を実現できる反射板構造を求めた。

Structure of reflector



飛ばすことができる。この反射板を、**図5**のように並列に組み合わせて使用することで光量を増やすとともに、設置間隔35mでクラスBの要求を満たす性能となる。更に、**図5**のように反射板を並べることによって、LEDに加えて反射面も光って発光面積が広がることから、見かけ上光源が大きく感じられるようになり、グレアを抑えることができる。

3.3 器具の構造と特長

3.2節で述べた施策を取り入れた器具構造を**図6**に示す。器具本体内に点灯回路と、LED及び反射板から成るLEDモジュールがあり、透光性カバーで覆った構造である。LEDモジュールをV字状に取り付けることで、道路進行方向へ光を遠方照射するとともに、直下近傍の道路面も照射できるように配置している。また、上方への漏れ光を抑え、不要な光で夜空を照らす光害も抑制できる。更に、LEDの温度を低減させるため、LEDから発生する熱を器具本体へ伝え、器具本体全体で放熱させる構造を採っている。LEDの温度を低減させることによって、光量の低下を防ぎ、寿命を延ばすことができる。

LED防犯灯器具の性能を、従来品の水銀ランプ器具と比較して**表5**に示す。器具の光学性能はほぼ同等で、消費電力を約71%削減し、寿命は3倍以上の40,000hを実現した。また、消費電力が下がることによって、年間電灯料金を1灯当たり6,928円削減できる⁽³⁾。

当社は、この器具を防犯灯の用途だけに限らず、カバーをフ

表5. 従来品との性能比較

Performances of conventional security streetlight luminaire and newly developed LED type

項目	LED防犯灯器具 (LEDK-70941W-LS8)	水銀ランプ100W用器具 (HB-10055HC)
器具光束 (lm)	2,427	2,722
消費電力 (W)	33	117
総合効率 (lm/W)	73.5	23.3
寿命 (h)	40,000	12,000
上方光束 (%)	4.6	6.5
年間電気料金 ⁽³⁾ (円)	2,671	9,599

ロストカバーにして均一配光にした製品もラインアップしており、例えば店舗軒下、駐輪場、建物の壁面照射など屋外照明へ幅広く応用している。

4 あとがき

光学や熱解析を用いて器具の最適化を行い、既存器具に対し、LEDスポットライトは約45%、LED防犯灯は約71%の省エネを実現した。

今後、LEDの高効率化と高光束化が進み、LED照明の普及に伴い低コスト化ができ、器具設計のあり方は変化していくと思われる。当社は、省エネと経済性を両立した照明器具の開発を進めていく。

文献

- (1) 日本防犯灯設備協会. 平成17年「改正防犯照明ガイド」. 日本防犯灯設備協会. 2005. 22p.
- (2) ISO/CIE8995-3: 2006. Lighting of work places-Part3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places.
- (3) 東京電力. “電灯料金単価表 公衆街路灯A”. 東京電力ホームページ. <<http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/data/chargelist/chargelist01-j.html>>. (参照 2010-06-10).



渡邊 博明 WATANABE Hiroaki

東芝ライテック(株) 技術本部 LED技術統括部 製品技術部。
LED照明器具の開発・設計に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



戸田 雅宏 TODA Masahiro

東芝ライテック(株) 技術本部 LED技術統括部 製品技術部。
LED照明器具の開発・設計に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



斎藤 明子 SAITO Akiko

東芝ライテック(株) 技術本部 LED技術統括部 製品技術部。
LED光源の開発に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.