

LED照明の動向と展開

Trends in LED Lighting and Toshiba's Approach

別所 誠 清水 恵一

■ BESSHO Makoto ■ SHIMIZU Keiichi

発光ダイオード (LED) は、省エネのほか、長寿命、小形、軽量、割れない、環境負荷の高い水銀 (Hg) を含まない、赤外線や紫外線の放射が極めて少なく照射物を傷めにくい、などの特長を持っている。これらの特長によりLEDは、白熱電球、蛍光灯、HID (High Intensity Discharge) ランプに続く第4の光源と位置づけられている。最近の技術開発によって、演色性や効率、信頼性が一段と向上して、適用範囲も初期段階のサインディスプレイ^(注1)からダウンライトや防犯灯、ベースライトへと広がっている。今後は更に、大光量が求められる店舗や業務空間、住宅など屋内外の全般照明への展開が急速に進むものと考えられる。

東芝ライテック(株)は、性能向上などの技術開発だけでなく、LED照明の安全や性能の基準作りに積極的に参画するとともに、ユーザーニーズに合った製品を提供することでLED照明を普及させ、環境負荷を低減させている。

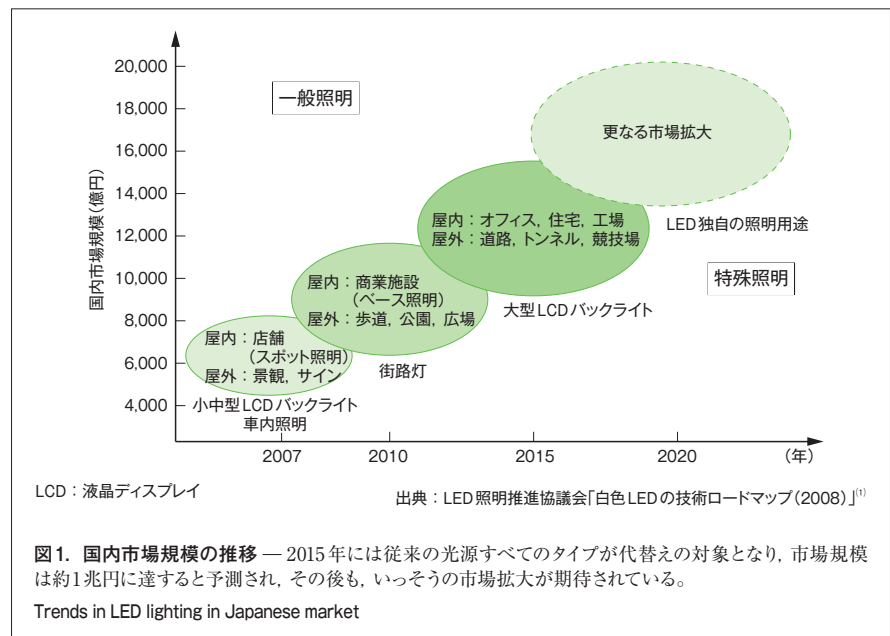
Light-emitting diode (LED) luminaries are regarded as the fourth generation of light sources following incandescent lamps as the first generation, fluorescent lamps as the second generation, and high-intensity discharged (HID) lamps as third generation, due to their excellent characteristics in comparison with conventional light sources including high efficiency, long lifetime, compactness, light weight, no mercury content, and very small infrared and ultraviolet radiation. With the progress of LED lighting technologies, LED lighting is expected to further expand to a wide range of applications from sign and display devices with only small luminous flux, to downlighting, security lighting, and base lighting, and also to general indoor and outdoor lighting applications that require more luminous flux such as retail stores, business facilities, and homes.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has been developing advanced LED products and technologies, and promoting the international standardization of LED lighting to reduce the burden on the environment.

LEDの特長と広がる用途

省エネと長寿命という特長をうたったLED(囲み記事参照)照明が一般照明の分野で急速に普及し始めた。光源開発の歴史の中でLEDは、白熱電球、蛍光灯、HIDランプに続く第4の光源と位置づけられている。既存の光源と比較すると、省エネをはじめ、長寿命、小形、軽量、点光源、多様な光色、点滅特性に優れる、割れない、可視光以外の放射がわずか、低温で特性が低下しない、環境負荷の高いHgを含まない、といった特長がある。これらの優れた特性を生かすことによって、これまで実現できなかった照明ができ、多様な分野で発展することが期待される。

照明分野でのLEDの発展のようすを模式的に図1に示す。实用初期段階では、サインディスプレイのような、一般照



明以外の分野で先行普及していたが、その後、小電力で長時間点灯するような常夜灯や足元灯などの一般照明の

(注1) サインディスプレイ
適切な明るさを確保するための照明装置ではなく、ディスプレイ装置、映像看板などのこと。

LED

LEDとは、Light (光)、Emitting (放射する)、Diode (ダイオード) のそれぞれ頭文字を取った造語で、文字どおり光 (可視光及びその周辺波長の電磁波) を放射するダイオードである。太陽電池は光のエネルギーを電力へ変換する半導体デバイスであるが、LEDはその逆で、電気エネルギーを光へ変換する半導体デバイスである。

LEDは、“ルミネセンス”と呼ばれる発光を伴う物理現象によって、可視光を発生する。LED素子は、p型、n型の2種類の半導体が接合された“pn接合”で構成される。LED素子の発光原理を模式的に図に示す。

LED素子両端に電圧を加えると、LED素子の中で+の電荷を持ちp型半導体中に多い正孔と、-の電荷を持ちn型半導体中に多い電子が移動して電流が流れる。移動の過程で正孔と電子が結合して(再結合と呼ばれる)光エネルギーが発生する。再結合すると、正孔と電子は結合以前に持っていたエネルギーよりも小さなエネルギーになる。そして、バンドギャップと呼ばれるエネルギー差に見合った量のエネルギーが光として放射される。バンドギャップが変われば、放射する光の波長も変わる。

現在では、半導体の材料や設計を変えるこ

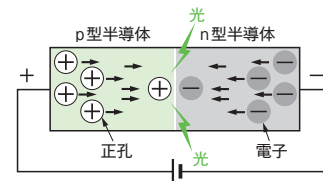


図. LEDの発光原理 — n型半導体の伝導帯では電子が自由に動きまわっている。一方、p型半導体の伝導帯には電子はなく、価電子帯に正孔が存在する。そして、伝導帯と価電子帯との間には、電子も正孔もない“禁制帯”が存在する。ここで、p型に正、n型に負の電圧をかけると(順バイアス)、電子はn型領域からp型領域へ、正孔はp型領域からn型領域へ移動し、接合領域において両者が結びつき、光と熱を発生する。

とにより、紫外線、紫、青、緑、黄、赤、赤外線のように幅広い波長域の光色が得られる。

ニッチ領域へ使用されるようになった。そして、性能の向上とともに、スポットライトや小形のダウンライトのような部分照明の領域に使用されるようになった。今後は更に大光量が求められる店舗や業務空間、住宅など、屋内外の全般照明への展開が急速に進むと考えられる。

実装されて照明器具に組み込まれる。LEDの形態は、実装面から次のように分類できる(図2)。

- (1) リード部品形 (砲弾形)
- (2) 表面実装形 (SMD: Surface Mount Device)
- (3) パワー部品形 (パワーLED)

リード部品形は、プリント基板の部品挿入穴にLEDのリード線を通してはんだ付けを行う比較的初期の実装形態のタイプである。LED素子のパッケージ自体にレンズ効果があるため、その形状から砲弾形と呼ばれる場合も多い。

SMDは、プリント基板に部品挿入穴を設けずに導電パターンに直接はんだ付けして実装するタイプである。

一般照明用としてLEDを利用する場合は、表示用に比べて大光量が必要である。光量の増加に伴いLEDから発生する熱量も増加するため、放熱器を取り付けられたLED素子がパワー部品形で、パワーLEDとも呼ばれる。

LEDの種類

LEDの構造

LEDは、トランジスタやICと同様の電子部品で、通常はプリント基板などに

LEDの発光色

一般照明用としては白色光が必要なので、複数の色の光を混色して白色とするが、通常用いられる白色化の方式は次の3種類である(図3)。

- (1) 青色発光LED + 緑色発光LED + 赤色発光LED
- (2) 近紫外線又は紫外線発光LED + RGB (赤、緑、青) 発光蛍光体
- (3) 青色発光LED + 黄色発光蛍光体

(1)の方式は、3色のLEDチップから放射される光を混合して白色光を作るものである。見た目には白色光が得られても、スペクトルで見ると放射エネルギーのない波長域があるので、照明として用いたときに物の色の見え方が不自然になることもある。一般には、品物を照らす照明ではなく、光を直接見せるディスプレイなどに用いられている。

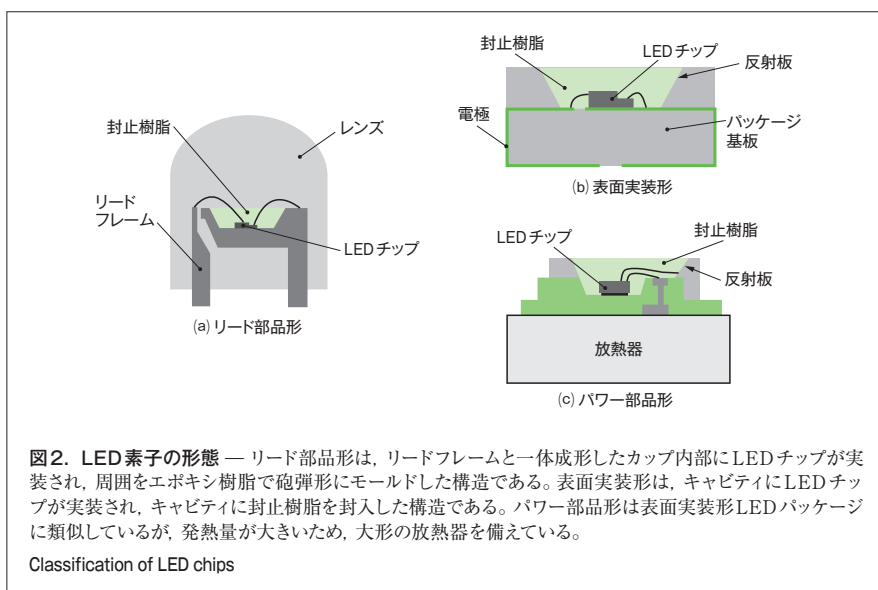
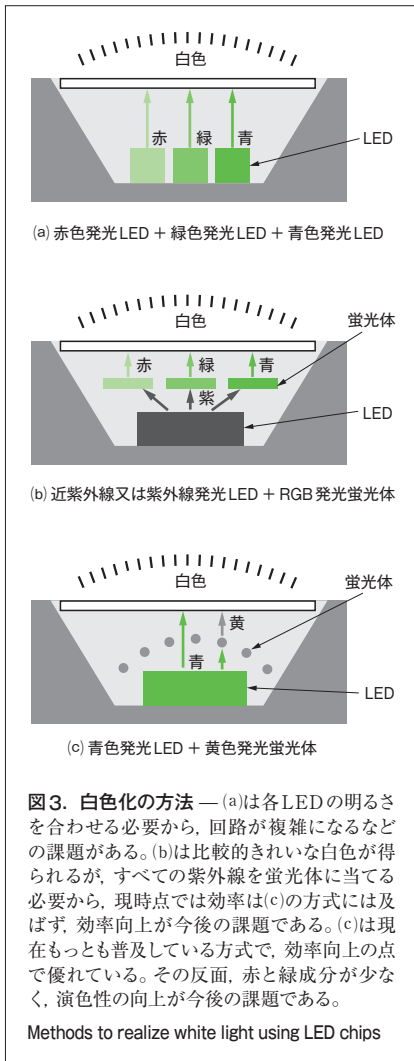


図2. LED素子の形態 — リード部品形は、リードフレームと一体成形したカップ内部にLEDチップが実装され、周囲をエポキシ樹脂で砲弾形にモールドした構造である。表面実装形は、キャビティにLEDチップが実装され、キャビティに封止樹脂を封入した構造である。パワー部品形は表面実装形LEDパッケージに類似しているが、発熱量が大きいため、大形の放熱器を備えている。

Classification of LED chips



(2)の方式は、3波長形蛍光ランプと同じ原理であり、青色より波長の短いLED光源を用い、RGB発光の蛍光体を励起させるものである。一般に、LEDの発光波長は、温度や電流に依存して変化し、蛍光体の塗り方により製造ばらつきが生じ白色光の色合いも変化する。この方式では、LEDの発光波長が変化しても、蛍光体による発光のバランスは変化しにくいので、色のばらつきを小さく管理できる特長がある。

(3)の方式は、青色発光のLEDと、青色光で励起されその補色に当たる黄色発光蛍光体とを組み合わせたものである。現状では、効率が(1)や(2)の方式より高く、もっとも普及している。色の再現性を示す平均演色評価数 (Ra) が約70である。最近ではこの方式に赤や青、

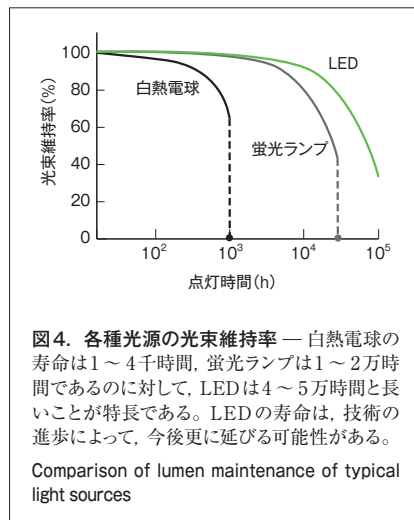
緑の成分を補い、演色性を高める技術も開発されている。

LEDの特性 (効率及び寿命)

LEDは、従来の光源のように断線によって不点灯となることはほとんどないが、点灯時間に伴い使用材料の劣化などにより光量が減退していく。一般照明に用いる光源では、不点灯又は初期光量の70%に減退した時間を寿命と定義するが、LEDでもこの定義を取り入れる方向で標準化が進められている。白熱電球、蛍光ランプ、及びLEDについて、点灯時間と光量の変化(光束維持率)の関係を模式的に図4に示す。

実際のLEDの寿命は、構造や使用材料、放熱条件によって大きく異なるが、砲弾形の白色LEDでは、定格電流を流した場合、約1万時間である。光束減退の原因は、パッケージに使用されているエポキシ樹脂の透過率が、光と熱の相乗効果により減退するためなどである。これに対して、セラミック容器に耐久性の優れたシリコン樹脂で封止された素子の場合、4万時間以上の寿命が得られている。

このように温度上昇は劣化を加速させるため、LEDモジュールや照明器具設計では、放熱に留意する必要がある。4万時間の寿命を確保しようとした場合、現在の技術レベルでは、LED素子の動作温度を約100℃以下に抑える必要が



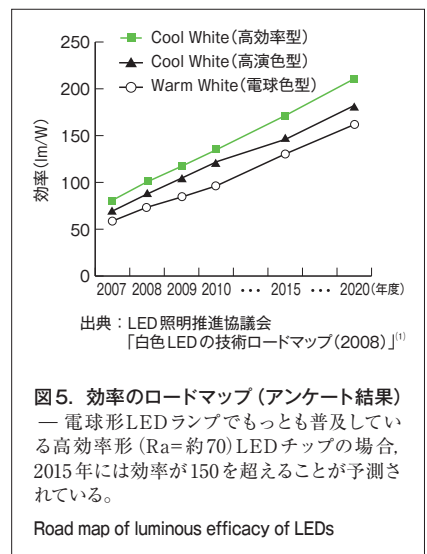
あるが、更に高温でも寿命を確保できるような技術開発が進められている。

LEDの性能指標

照明用の光源を評価するうえでもっとも重要な指標が効率である。光源の効率は1Wの電力を投入したときに得られる光束(光量)をルーメン(lm)という単位で測った数値で表す。理論的な効率の限界値は、まったく損失がなく、人の目のもっとも感度が良い波長555nmの光に変換した場合の683lm/Wという値である。照明用光源は単色光ではなく、多くのスペクトルを含んだ白色光が必要なので、理論限界は300lm/W程度に低下する。

LED照明推進協議会が2008年に発表した効率のロードマップ(図5)では、2009年に100lm/Wを超え、2015年には150lm/Wに到達する見込みである。

小形の素子では150lm/Wの製品が既に発表されている。また、1個の素子から100lm以上の光束が得られるパワーLEDでも100lm/Wクラスの製品が市場に流通するようになり、ロードマップは現実のものとなっている。効率が優れた光源として屋内照明用に広く使われている高周波点灯専用蛍光ランプの効率が110lm/Wであることから、LED照明は蛍光ランプの効率を追い越すことが確実とみられている。



一方、白熱電球のような色調のものや、色の再現性(演色性)を改善したタイプは、効率を優先したタイプに比べ20～40%程度効率が低下するので、適切な使い分けが必要になる。また、LED照明器具の総合効率は、電源回路の効率や照明器具の光学的性能、LED素子の温度上昇による光量低下などが総合的に積算されたもので、LED素子単体の効率よりも低い値になる。LED照明の性能を検討する場合は、LED素子単体ではなく照明器具の総合効率で比較することがたいせつである。

LED照明器具の品質及び安全設計

■安全基準と標準化

LED照明を普及させるためには、LEDの特性改善に期待するだけでなく、安全に使用者の要望に沿って使用できる環境を整える必要がある。

通常の照明器具は、強制力を持った電気用品安全法(PSE法)の対象になっており、一定の安全性を確保した製品以外は製造や販売ができない仕組みになっている。ところが、ほとんどのLED照明器具は、電気用品の対象から外れているので、現在のところPSE法の適用はない状況にある。PSE法の理念から考えると、商用電源から電力が供給され、一般の人が広く利用する電気製品は規制の対象として扱うべきことは明白である。したがって、LED照明器具も今後電気用品に指定されることは確実と考えられるが、現在のところ、十分な安全性確認を行って採用を判断することが望ましい。

商品レンジの広さについて言うと、LED照明は、既存の光源と比べて、設計の自由度が大きいため、全光束や、色温度、調光手段など、商品レンジが大きくなる。したがって、従来のランプをLEDで置き換える場合には、消費者が要求するLEDランプを正しく提供する手段が従来にも増して重要である。

この意味で、安全や性能に関する基

準と試験方法の基準の整備は不可欠で、(社)日本電球工業会及び、(社)照明学会、(社)日本照明委員会、(社)日本照明器具工業会などの照明関連団体は相互に協力しながら、IEC(国際電気標準会議)とも連携を図り、国際規格に整合したJIS(日本工業規格)原案の作成を精力的に進めている。例えば、LED照明器具の測光方法の規格作成については色などの照明ソフトの専門家との協力が不可欠なので、前記の照明関連団体のほかに、CIE(国際照明委員会)や、NIST(米国標準技術研究所)、IEA(国際エネルギー機関)などとも連携し、国際的な枠組みを形成しながら規格の作成を進めている。

国際規格は、基本的にはIECが中心となって制定することになる。しかし、地域規格、例えばANSI(米国規格協会)規格やEN(欧州統一)規格、わが国のJISなどの制定と整合には時間が掛かる。そのため、Zhaga^(注2)などのコンソーシアムが有力メーカー相互の協力によって設立されて活動を始めており、短期間での規格制定が期待されている。

■信頼性

LEDの寿命は主に、パッケージに使用されている材料が光と熱の相乗効果などにより劣化することに起因する。また、前述のように、劣化は温度上昇により加速する。そのため、LED照明器具を取り付ける場合、特に断熱施工では、仕様書や取扱説明書に記載された施工条件を守り、照明器具からの放熱を妨げないように留意する必要がある。

LED照明器具の寿命を決める部品はLED素子だけではなく、LED素子にエネルギーを供給する電源部も十分な寿命を確保することが欠かせない。東芝ライテック(株)は、電子安定器を設計し製造してきた長年の経験を生かして、部品

(注2) Zhaga
“ザガ”と呼ぶ。当社をはじめ世界の照明関連主要企業9社により、LEDモジュールと駆動回路のインターフェースの標準仕様の確立及び推進を目指す協会。

選定及び回路設計を行っており、LEDの長寿命に対応した信頼性の高い電源をLED照明器具に組み込んでいる。

■LEDと熱

LEDは熱が出ない光源と思われているが、これは必ずしも正しくない。LEDから放射される光には紫外線や赤外線はほとんど含まれないため、照射物の温度が上がることはない。しかし、電気的な入力のうち光に変換されなかった分は、すべてエネルギー損失となり、LED素子の温度を上昇させる。効率100lm/Wの青色発光LED+黄色発光蛍光体方式の場合に、電気エネルギーがどのような割合で光に変換されるか試算した例を図6に示す。

■高調波及び力率

従来のLED照明器具は、消費電力が数W以下の小容量のものが多く、LED器具が発生する高調波はほとんど問題とされていなかった。しかし、今後LED照明器具が普及し、1系統の電源に接続される器具台数が増加するとともに、1台当たりの消費電力も増加していけば、高調波に対する配慮が重要になる。

当社は、後述する2,000lm級ダウン

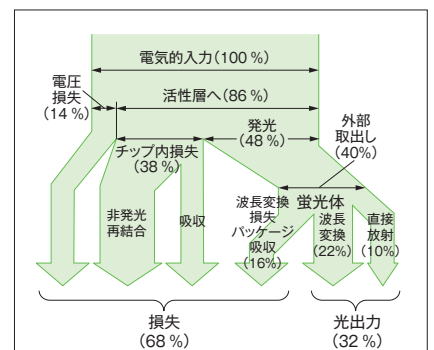


図6. 白色LEDのエネルギー収支(代表例)
— 入力を100とした場合、光出力は32である。この比率はHIDランプの場合には約30、蛍光ランプでは20台、白熱電球では約10なので、LEDの光変換効率は、既存の光源よりも高い。今後、チップ内損失、パッケージ吸収などの改善により、光への変換効率が更に向上することが期待されている。

Energy balance of typical white LED

ライトや、防犯灯、ベースライトなどではPFC (Power Factor Correction) 回路を採用して、その高調波はJIS C 61000-3-2に規定されるクラスCの25 Wを超える照明機器に適用される限度値よりも十分に低い値にしている。また同時に、力率もほぼ100%となるようにしている。

LED照明器具

■特長

LEDには前述のように、従来の光源にはない特長があり、照明器具設計の自由度が向上し、特長のある照明器具が実現している。

●省エネで長寿命

LED照明は、従来の器具と同等の明るさを保ったまま、大幅な省エネを実現することができる。消費電力が少ないのでランニングコストが低く、初期投資は高いものの、トータルコストでは既存の光源よりも経済的である。また、消費電力の少なさが、二酸化炭素(CO₂)排出量の削減に結びついて、“環境に優しい新照明”と評価されている。

白熱電球の寿命は1千時間、電球形蛍光灯ランプの寿命は6千時間程度である。これに対して、LEDの寿命は約4万時間(通常の使用方法では約10年)と長く、長時間交換せずに使い続けることができる。そのため、照明器具を高所に設置したり地中に埋め込んだりするなど、交換の負担が大きい場合には特に適している。

●小形

従来の照明器具は、光源から放射された光を反射板などを利用して、配光(光の分布)調整をしていた。白熱電球や蛍光灯ランプは発光部の寸法が大きく、配光調整に必要な反射面の寸法が大きくなる。それに対してLEDは、発光部が小さく、また、それ自体にかなりの指向性があるため、器具側の配光調整機構を小形化できる。更に、電源と接続するための口金が不要であり、照明器具を小形で薄くすることができる。

器具が小形で薄形になると、狭いスペースや、器具の背面に梁(はり)や設備のある場所など、今まで器具が設置できなかった場所にも設置できる。また、照明器具の存在を感じさせないようにデザインできる。建材との一体化や、器具の特性と設置パターンの多様化などにより、住空間や店舗などでは、設置場所にこれまで以上に調和する光空間を実現できる。

●物を傷めにくい

光の影響で品質が劣化しやすいものへの照明は、従来、非常に困難であった。例えば、絵画に至近距離から光を当てると、光の中にごく微量に含まれている紫外線により、退色が早くなる。LEDの光は紫外線をほとんど含まず、従来の光源と比べると、退色抑制効果が大きい(同一照度で比較)。そのため、絵画や文化財の照明に適した光源となっている。

また食品の場合、品質の劣化の大きな要因は熱である。LEDの光は熱(赤外放射)をほとんど含まないため、至近距離から食品を照射しても、同一照度で比較した場合、品質劣化の進行は従来光源に比べて遅い。

このような特長により、美術館や、店舗、生鮮食品売場などでの照明にLEDを安心して使うことができる。

●虫が集まりにくい

虫には“さう光性”と呼ばれる光に集まる習性がある。ただし、虫はすべての波長の光に反応するのではなく、人には見えない青から紫外線の範囲の波長に敏感に反応する。LEDの光は紫外線をほとんど含まないため、従来の光源に比べて虫が集まりにくいという特長がある。そのため、虫の死がいなどで照明器具周辺が汚れにくく、より清潔できれいな状態を保つことができる。

■最新のLED照明器具

最新のLED照明器具について述べる。

●ダウンライト

白熱電球ダウンライトは器具光束が



図7. 2,000 lm級LEDダウンライト LEDD-20001MW-LS9 — コンパクト蛍光灯ランプ(FHT 42W)も優れた高効率光源であるが、今回開発したLEDダウンライトでは、更に省エネ性が向上した。総合効率80 lm/Wは業界最高レベルで、消費電力及びCO₂排出量は約38%低減できる(年換算で約1.4 t)。寿命はFHT42Wの1万時間に対し、今回開発したLEDダウンライトでは4万時間である。
2,000 lm-class LED downlight



図8. LED防犯灯 LEDK-70941W-LS8 — 防犯灯は、夜間でも安心して安全に歩ける快適な街作りに貢献する照明器具で、近年LED防犯灯への取替えや増設の要望が増加している。
LED security light

400~500 lm程度が主力である。図7に示す製品の消費電力は26 Wであるが、器具光束は42 W形コンパクト蛍光灯ランプを用いたダウンライト相当の明るさ(2,080 lm)を実現しており、この器具に置き換えることによって、商業施設などにおける省エネ化に貢献することができる。この器具は、高さを80 mmに抑えた設計をしているので、天井裏に梁やダクトがある場合でもほとんど制約を受けずに設置できる。

●防犯灯

LEDは光源が小さいため、配光制御が容易である。図8に示す製品は、この配光制御性を生かして、道路に沿って効率よく光を飛ばすように設計したもので、設置間隔35 mまででは、防犯灯の照度基準クラスBを満足する。従来の水銀灯ランプ100 Wクラスと比較して1/3以下の電力で同等の照度を達成している。

●ベースライト

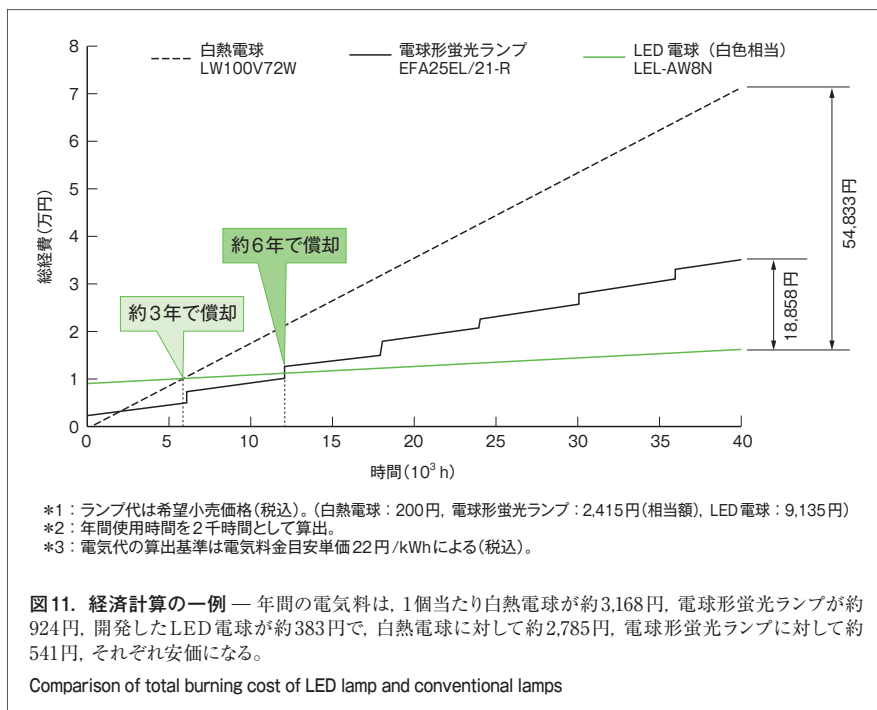
図9に示す製品は、高効率LED、高効率電源、及び高効率反射板を組み合わせて、器具光束3,200 lm、総合効率84 lm/Wを達成している。小規模の店舗照明などに好適な照明器具である。ベースライトではほとんどの場合に蛍光灯が使われており、LED化はほかの分野よりも遅いと思われていた。しかし、効率の良いLED照明は、商用周波数で点灯するコンパクト蛍光灯や直管蛍光灯を上回る効率を得られており、リニューアルによって高効率化が推進できる。

●LED電球

図10に示す製品は8.7 Wの消費電力であり、光色が白色の場合で全光束と効率はそれぞれ810 lm, 93 lm/W、電球色の場合で600 lm, 69 lm/Wである。いずれも業界最高の明るさと効率を達成している(注3)。



(注3) 2009年10月16日現在、当社調べ。



また、電球色相当では、Raが80で、家庭のリビングやホテルの居室などでも違和感なく使用できる。既設の白熱電球と交換するだけで、省エネと長寿命化を実現できるので、手軽な省エネ手段として好評を得ている。

●経済計算の一例

8.7 WのLED電球の点灯コストを既存のランプと比較した例を図11に示す。ランプ代(希望小売価格相当額)を含んだ総経費では、年間2千時間使用した場合、白熱電球に対しては約3年、電球形蛍光灯に対しては約6年で償却できる。LED電球の定格寿命である4万時間まで使用した場合、白熱電球に対して約54,800円、電球形蛍光灯に対して約18,900円も経済的になる。

今後の展望と取組み

2009年度は、LED照明製品が各社から一般照明の分野へ一気に市場投入された。2010年度以降も、省エネ及び、蛍光灯やHIDランプなどに使用されているHgの使用規制、低価格化などが光源のLED化を後押しするものと考えられる。LEDの特長をうまく活用す

ることにより照明の質の向上と環境負荷の低減を両立させることで、社会に大きく貢献できると考える。

当社は、東芝グループの総力を結集して省エネNo.1の商品をスピーディーに開発し、グローバルな視点で、時代の要請に答えていく。

文献

- (1) LED照明推進協議会. 白色LEDの技術ロードマップ(2008). <<http://www.led.or.jp/data/roadmap.htm>>. (参照2010-06-17).



別所 誠
BESSHO Makoto

東芝ライテック(株) 技術本部 研究開発センター 主査。ハロゲン電球、HIDランプ、LEDランプの開発などに従事。照明学会専門会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



清水 恵一
SHIMIZU Keiichi

東芝ライテック(株) 技術本部長。放電灯点灯用インバータなどの研究開発を経て、LED照明製品の開発に従事。照明学会専門会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.