

LED電球における性能の進化と最新技術

Latest Technologies Enhancing Performance of Self-Ballasted LED Lamps

寺崎 光

高橋 雄治

久安 武志

■ TERASAKI Hikaru

■ TAKAHASHI Yuji

■ HISAYASU Takeshi

近年、省エネ意識の高まりに伴い、発光効率の高い電球形LEDランプ（以下、LED電球と呼ぶ。LED：発光ダイオード）の普及が急速に進んでいる。

東芝ライテック（株）は、2002年12月にLED電球 常夜灯形を商品化し、その後、高出力化、高効率化、小形化とともに、ビームの開き（以下、配光角と呼ぶ）の改善など光の質の向上を目的とした商品展開を進めてきた。2015年3月には、電源回路を小形化するために世界で初めて^(注1)GaN（窒化ガリウム）パワーデバイスを搭載したLED電球 ハロゲン電球形を商品化した。また現在、白熱電球を超えるきらめき感を持ったLED電球 一般電球形クリアタイプを開発している。

Self-ballasted light-emitting diode (LED) lamps with high luminous efficiency have been rapidly expanding in the market, reflecting the increased awareness of the need for energy conservation in recent years.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has been developing and supplying various products featuring high power output, high efficiency, and improved light spread and light quality since its release of a night-light type self-ballasted LED lamp in 2002. As part of these efforts, we have developed a gallium nitride (GaN) power device mounted in a control gear for LED lamps, and released a dimmable self-ballasted LED lamp for replacement of 100 W type halogen lamps for the first time in the industry in 2015. We are also developing self-ballasted LED lamps with a clear bulb surpassing the brilliance of tungsten filament.

1 まえがき

東芝の発祥事業の一つである白熱電球の製造と販売を目的とした合資会社 白熱舎が設立されてから、2015年で125周年を迎えた。

東芝ライテック（株）はこれまで照明技術のリーディングカンパニーとして、一貫して光源の高効率化に取り組んできた。石油ショックを契機とした節電意識の高まりを受け、1980年7月には世界初のボール形状電球形蛍光灯ランプを商品化した。その後、2009年2月には省エネ化による地球温暖化防止に貢献するため、業界初のLED電球 一般電球形を商品化した。それに伴い、2010年3月には二酸化炭素（CO₂）排出量の削減に貢献するため、一般白熱電球の製造を中止した。更に、2015年3月には電球形蛍光灯より環境性能に優れたLED電球の普及を推進していくため、電球形蛍光灯の生産を完了した。

2011年に発生した東日本大震災以降、わが国では省エネに対する意識が高くなった。一般家庭における電力消費量の約13%を照明機器が占めていることから⁽¹⁾、照明機器の省エネ化により大幅な消費電力削減が期待できる。2015年現在、白熱電球60W形相当のLED電球は、白熱電球と比較して約85%、電球形蛍光灯と比較して約29%の消費電力削減を実現し

(注1) 照明製品において、当社調べ。

ている。また、LED電球は電球形蛍光灯よりも長寿命で経済的な効果も見込めることから、LED電球の普及が加速している。

ここでは、当社が商品化してきたLED電球の歴史と搭載してきた技術、及び最新技術について述べる。

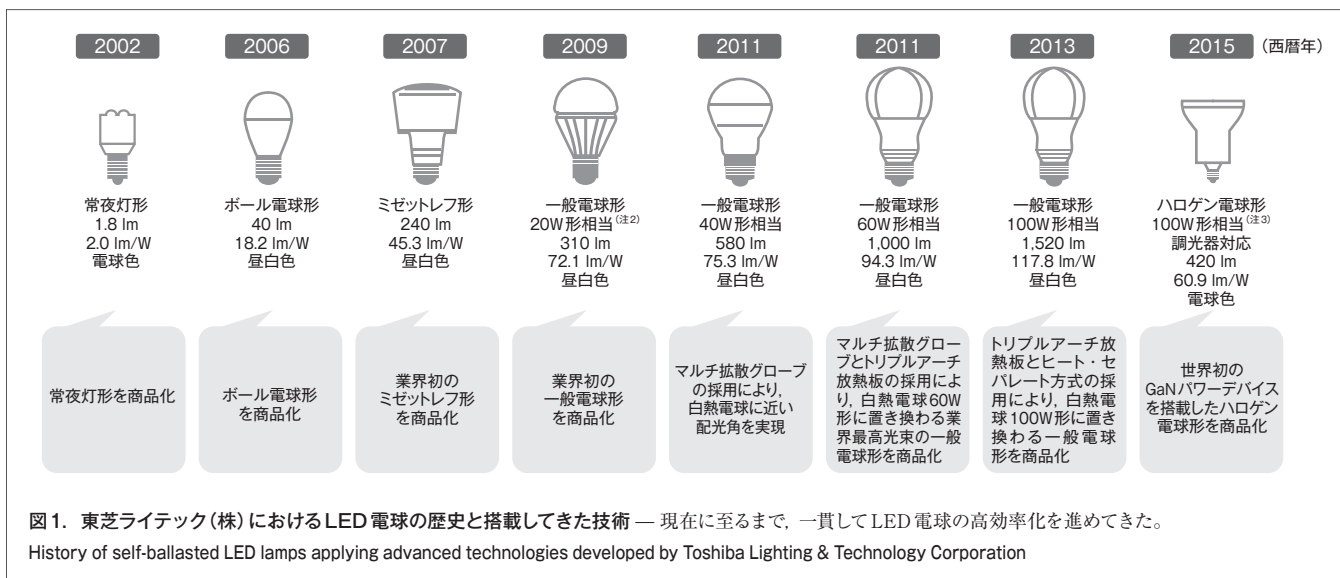
2 東芝ライテック（株）におけるLED電球の歴史

当社は、LED電球において、2002年12月に常夜灯形を商品化してから、2007年12月には業界初となるミゼットレフ形を、更に2009年3月には業界初となる一般電球形20W形相当^(注2)を商品化した。その後、高出力化、高効率化、小形化とともに、配光角の改善など光の質の向上を目的とした商品展開を進め、2011年11月には、業界最高光束の一般電球形60W形相当や、2015年3月には世界で初めて電源回路にGaN（窒化ガリウム）パワーデバイスを搭載したハロゲン電球形100W形相当^(注3)の商品化を実現した。

当社が商品化してきた主なLED電球の商品化年表を、搭載してきた技術とともに図1に示す。

(注2) 当初40W形相当と表記していたが、その後制定されたJIS C 8158（日本工業規格 C 8158）の白熱電球の代替表示の表記方法に準拠。

(注3) 当社製の一般照明用片口金商用電圧反射形ハロゲン電球100W形相当。



3 光学性能と放熱性能の進化

LED電球の発光源であるLEDは、白熱電球や電球形蛍光灯の発光源と比較して、①発光効率が高い、②長寿命である、③点滅動作に強い、などの特長を持つ。高い発光効率、長寿命といった特長を生かすには、適切な放熱設計が必要である。また照明に用いられるLEDは、表面実装型やCOB(Chip on Board)型など構造上の制約から、発光面は一方に限られる。これをLED電球へ搭載すると、白熱電球のような配光角を得ることは難しい。

当社はLEDの特長を生かすため、適切な放熱設計と白熱電球のような配光角の再現に注力してきた。ここでは、白熱電球に近い配光角を実現する光学設計技術と、高出力化を実現する放熱設計技術について述べる。

3.1 広配光化を実現する光学設計技術

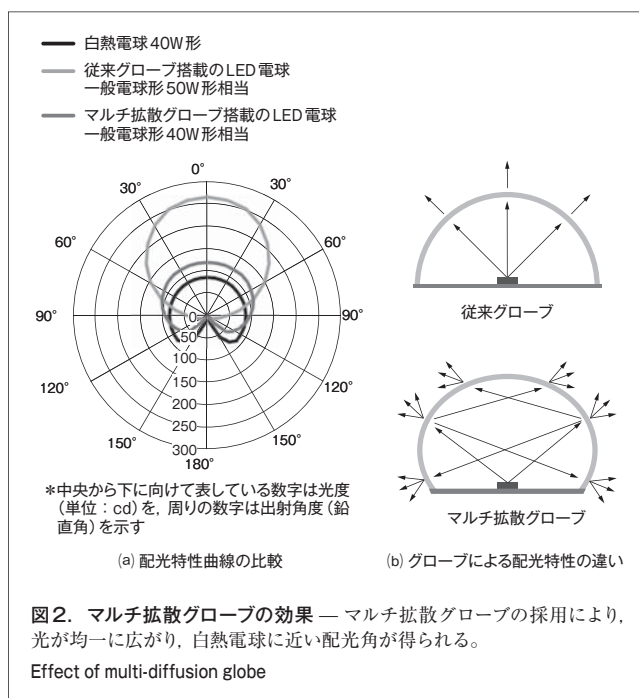
白熱電球40W形の配光角は約300°であり、2009年に商品化したLED電球一般電球形50W形相当の配光角は約120°と、白熱電球に比べて大きく劣っていた。

この課題を解決するために、高い光拡散性を持ち、表面積が大きいマルチ拡散グローブを開発した。マルチ拡散グローブの内壁で光を拡散反射させ、様々な方向に向かわせることで、配光角の向上を図っている(図2)。

図2(a)に示すように、マルチ拡散グローブにより光が均一に広がり、白熱電球に近い配光角を実現した。

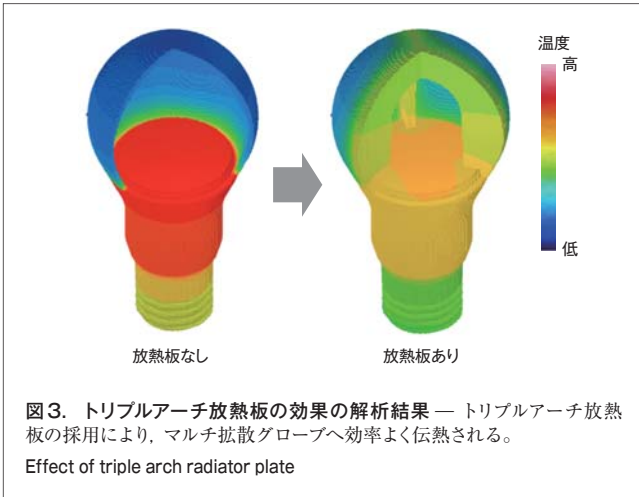
3.2 高出力化を実現する放熱設計技術

LED電球で高い発光効率、長寿命といった特長を生かして高出力化を実現するには、放熱に寄与する部分を大型化する必要がある。しかし、白熱電球や電球形蛍光灯を置き換えるためには、外形寸法をそれらと同等にする必要があり、高出力化の大きな制約となっていた。当社はLED電球の小形化



と高出力化を両立するために、トリプルアーチ放熱板を開発した。トリプルアーチ放熱板は、これまで放熱に寄与していなかったマルチ拡散グローブまで効率よく伝熱させることで、放熱性能を大幅に向上させている(図3)。

トリプルアーチ放熱板の技術確立により、2011年11月に商品化した一般電球形60W形相当は当時の業界最高の全光束である1,000 lmを達成した。2013年10月には全光束1,520 lmを達成し、白熱電球100W形を置き換えるLED電球一般電球形の商品化を実現した。



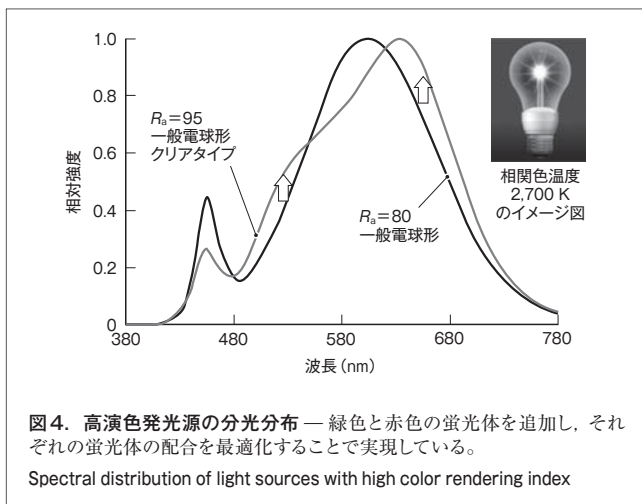
4 光学性能の最新技術

3章で述べたLEDの特性以外に、LEDは白熱電球の発光源であるタングステンフィラメントよりも発光効率が高い。このため発光部サイズを小さくすることができ、理想的な点光源に近づけることができる。

当社は現在、点光源に近づけることで白熱電球を超えるきらめき感を持った、新しいLED電球 一般電球形クリアタイプを開発している。

この一般電球形クリアタイプは発光部が小さいので、きらめき感があるだけでなく、演色性を示す平均演色評価数 (R_a) が非常に高いことも特長の一つである。 R_a は100に近いほど照明される対象物の本来の色を表現することができる。この R_a が高い高演色発光源は、LEDに使用する蛍光体に緑色と赤色の蛍光体を追加し、それぞれの蛍光体の配合を最適化することで実現した (図4)。

一般電球形クリアタイプは、光の質の向上を追求することで顧客の新たなニーズに応えるLED電球を目指していく。



5 点灯回路の最新技術

LED電球は大きく分けて、点灯回路部、発光部、及び放熱部から構成される。白熱電球のような配光角を得るためには、発光部面積の大形化が有効であり、点灯回路部には小形化が要求されている。また、交流電源を最適な直流電圧に変換しLEDを点灯制御する点灯回路には、その他にも回路効率の向上や多機能化が求められている。特に小形・高効率化は、他の電力変換機器と共通の課題である。

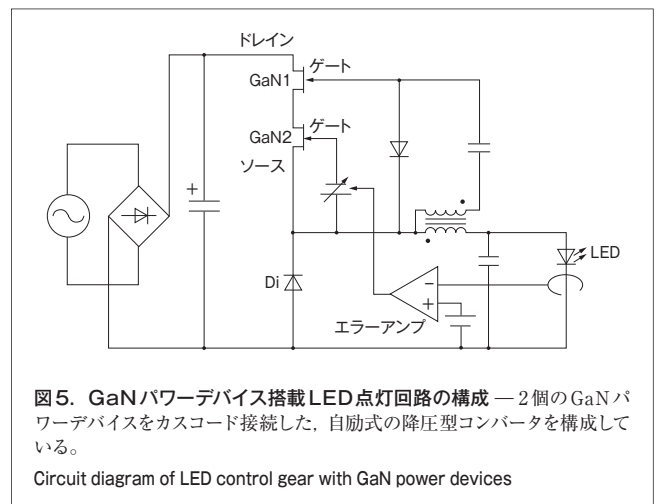
点灯回路の小形化の手段として、動作周波数を高くする方法があり、高速動作が可能なGaNパワーデバイスの採用を試みた。2015年3月には、“GaNパワーデバイス搭載点灯装置”を開発し、位相制御調光に対応した“LED電球 ハロゲン電球形”を世界で初めて商品化した。

ここでは、この点灯装置に搭載した点灯回路の技術について述べる。

5.1 GaNパワーデバイス搭載のLED点灯回路技術⁽²⁾

LED照明用の点灯回路に使用される半導体パワーデバイスは、Si (シリコン) を用いたMOSFET (金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ) が主流である。しかしSi半導体の性能は材料の能力が持つ限界に近づきつつあり、これを組み込む商品の性能も飽和傾向にある。そこで、点灯回路の小形・高効率化を実現する手段として、Siよりも材料特性に優れたGaNパワーデバイスを採用した。GaNは、絶縁耐圧や、オン抵抗、電子移動度など多くの特性で優れている。GaNパワーデバイスは高効率で高速の動作が可能で、Siパワーデバイスよりも高い周波数で動作させることで受動部品を小形化できる。

点灯回路に採用した回路構成を図5に示す。回路方式は降圧型コンバータの構成である。GaNパワーデバイスは、2個のノーマリオン型のFET (GaN1, GaN2) と、高速ダイオード (Di) で構成された専用パワーモジュールである。LED出力の検出回路、エラーアンプ、及び独自の自励式駆動回路により、



LED電流が所定の値となるようにフィードバック制御を行う。

このとき、動作周波数を高くすることで、点灯回路を構成している大形部品のインダクタを小形化した。一般に、スイッチング電源回路の動作周波数を高くすると、インダクタのサイズは小さくなるが、インダクタ用磁性材料の損失は増加する。したがって、高周波域で損失が少ない磁性材料を選定し、インダクタを設計した。回路損失の大半を占めるスイッチング損失とインダクタ損失の和が最小となる条件から、動作周波数はSiパワーデバイスを用いた従来の点灯回路の約10倍に当たる約700 kHzを選定した。当社の従来品と比較して、インダクタ損失を75%に、インダクタの体積を20%にそれぞれ削減できた(図6、図7)。

5.2 位相制御調光技術

LED点灯装置に搭載する点灯回路は、位相制御調光器との電気的条件の不整合によりちらつきや点滅が発生しやすく、更に調光下限域では、LEDを安定して点灯させることが難しくなる。これらの課題に対し、独自の位相制御調光技術である“PREMIUM調光technology”を開発した。位相制御調光回路にマイコンを搭載し、そのソフトウェアによって、調光器種別の判定や、調光器出力状態の検出、LED出力のフィードバック制御などを行っている。これらの技術により、多くのメーカーから発売されている様々な調光器と組み合わせることが可能になった。ちらつきの発生を抑制するとともに、明るさ0~

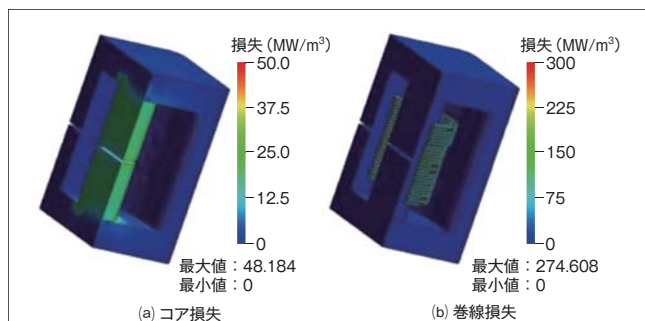


図6. インダクタ損失の解析結果例 — 磁場解析からインダクタの損失を算出し、当社の従来品と比較して、損失を75%にすることができた。

Examples of inductor loss calculation

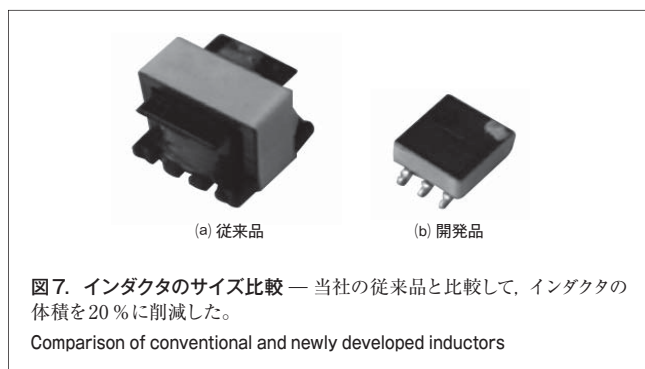


図7. インダクタのサイズ比較 — 当社の従来品と比較して、インダクタの体積を20%に削減した。

Comparison of conventional and newly developed inductors

100%まで安定して滑らかに調光できるようにした。

5.3 GaNパワーデバイス採用の効果

LED点灯回路にGaNパワーデバイスを採用し、動作周波数を従来の10倍に高めることで、受動部品及び点灯回路を小形化した。また、点灯回路と同一基板上に独自に開発した位相制御調光回路を搭載し、基板面積を従来の点灯装置の40%まで小形化した。更に、白熱電球と同等の均斉度とコントラストが得られるように、発光部グロブ及びレンズの最適化設計も実現した。これらにより、既存のハロゲン電球器具への装着を可能にした。

6 あとがき

LED電球は、全光束、配光角、及び調光特性において白熱電球相当の性能を実現した。LEDは、白熱電球では実現できなかった発光部サイズの小型化や分光分布など、多くの可能性を持っている。このLEDならではの特性を生かし、白熱電球を超えるきらめき感や照射目的に適した分光分布など、更なる価値を付け加えることによって、顧客の新たなニーズに応える商品の開発に取り組んでいく。

当社は、わが国で初めて白熱電球を製造してから、常に照明技術のリーディングカンパニーとしての役割を担ってきた。これからも未来のあかりを提供するために、新たなあかりの価値を創造していく。

文献

- (1) 資源エネルギー庁 省エネルギー対策課. “平成22年度省エネルギー政策分析調査事業「家庭におけるエネルギー消費実態について」(調査概要)”. 経済産業省資源エネルギー庁. <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/pdf/h22_bunsekityosa.pdf>, (参照 2015-09-30).
- (2) 大武寛和 他. GaNデバイスを搭載した高効率で小形のLED照明用点灯回路. 東芝レビュー. 69, 11, 2014, p.54-57.



寺崎 光 TERASAKI Hikaru

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター。
LED電球の研究・開発に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



高橋 雄治 TAKAHASHI Yuji

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター
グループ長。点灯回路の研究・開発と推進に従事。照明学会
会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



久安 武志 HISAYASU Takeshi

東芝ライテック(株) 住空間照明機器事業部 住空間技術部。
LED電球の設計・開発に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.