

演出空間のLED化を可能にする DC 駆動電球形LEDランプ及び調光システム

LED Dimming System Composed of DC LED Bulbs and DC Dimmer for Rendering of Lighting Spaces

斎藤 靖弘 SAITO Yasuhiro 伊丹 和章 ITAMI Kazuaki

劇場やホテルの宴会場など、演出空間の照明には一般にハロゲン電球が用いられており、位相制御によって調光演出がなされている。省エネのためLED（発光ダイオード）電球に交換する場合、位相制御でLED電球を調光すると、位相制御調光器の誤動作でちらつきが発生しやすいことや、点灯・消灯を連続して制御することが難しいといった課題がある。

東芝ライテック（株）は、演出空間をLED化するため、直流（DC）で駆動する専用の電球形LEDランプ（以下、DC LED電球と呼ぶ）と、DC電圧を供給するためのDC調光器盤から成る調光システムを開発した。位相制御調光器盤をDC調光器盤に、ハロゲン電球をDC LED電球に交換するだけで、既設器具・配線を流用して調光システムを運用できる。また、既設照明と同様に、ちらつきのない光出力0～100%（消灯～全光状態）の調光が実現できる。

Halogen lamps commonly used as dimmable lighting in theaters and hotel banquet halls are dimmed by means of a phase-cut dimmer. When existing halogen lamps are replaced with light-emitting diode (LED) bulbs for energy saving, however, certain issues may be encountered. These are the frequent occurrence of flickering caused by malfunctions of the phase-cut dimmer when dimming LED bulbs using the existing dimmer, and the difficulty of continuously controlling the fade-in and fade-out conditions of LED bulbs.

In order to resolve these issues, Toshiba Lighting & Technology Corporation has developed an LED dimming system composed of LED bulbs operated with a DC supply and a dedicated DC dimmer. This LED dimming system has a configuration that allows the use of existing lighting fixtures and wiring by replacing the phase-cut dimmer with the DC dimmer, and the halogen lamps with DC LED bulbs. This system provides a flicker-free dimming function equivalent to that of conventional lighting systems using halogen lamps.

1. まえがき

劇場のホールや舞台、ホテルの宴会場などの演出空間に用いられる照明器具は、建築物と一体化して内装の美しさや芸術性を表現するものや、照明器具自体が文化的、芸術的に高い価値を持つものなど、建築意匠を象徴する設備であることが多い。これらの照明器具には、これまでハロゲン電球が用いられてきた。ハロゲン電球は、小形・軽量に加え、演色性が高く色再現が忠実であり、簡易な装置で質の高い調光演出ができる、などの特長がある一方、発光効率が低く、寿命が短いという欠点がある。

省エネ推進のために、消費電力が大きいハロゲン電球は廃止が求められており、演出空間照明の光源もLEDへの置き換えが望まれている。しかし、このような演出空間の照明器具は象徴的設備であるため、照明器具自体の交換は望まれない。また、交換する場合も、工事期間中は営業運用を停止しなければならないため、できるだけ短期間の工事が求められる。

一方、LED電球は長寿命、高効率などの長所を持つが、安定した調光制御を行うために複雑な機構が必要となることや、演出用途で要求される調光下限域での光出力制御が難しいことなどが、演出空間照明のLED化を阻害している⁽¹⁾。

そこで、東芝ライテック（株）は、演出空間での使用を目的としたLED電球を市場に投入するため、DC電圧で駆動するDC LED電球と、このDC LED電球にDC電圧を供給するDC調光器で構成される、調光システムを開発した。この調光システムは、兵庫県立芸術文化センターのKOBELCO大ホールにて2017年4月から運用が開始され、好評を得ている（図1）。ここでは、開発したDC LED電球、及び調光システムの概要と性能について述べる。

2. 従来の調光方式

ハロゲン電球を調光する位相制御調光方式は、商用電源の導通位相角を制御し、ハロゲン電球に印加する電圧実効値を変化させて調光制御を行うため、一般にトライアックを介して電力供給する。LED電球はハロゲン電球に比べて消

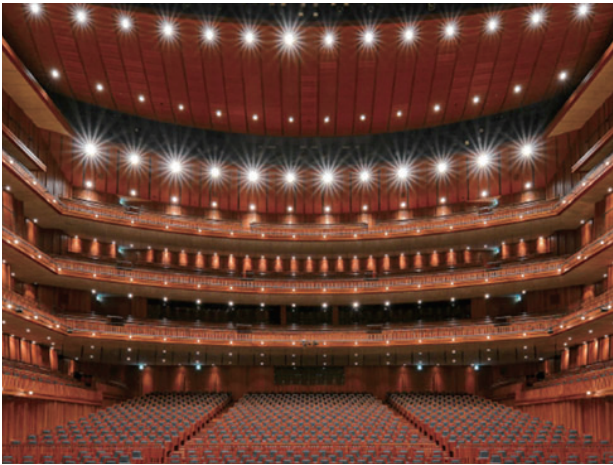


図1. 兵庫県立芸術文化センター KOBELCO大ホールへの導入事例

今回開発したDC LED電球と調光システムを、兵庫県立芸術文化センターのKOBELCO大ホールに納入した。

Introduction of dimming system to Grand Hall of Hyogo Performing Arts Center

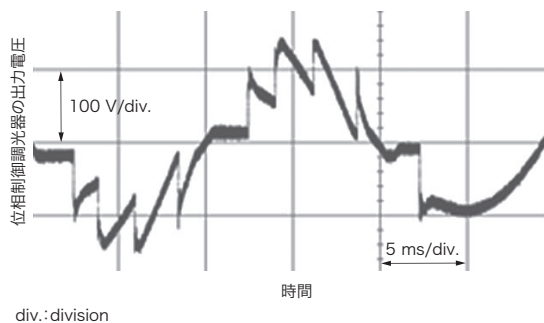


図2. 位相制御調光器が誤動作したときの電圧波形例

位相制御調光器にLED電球を接続すると、調光器の誤動作によって電圧波形にひずみが生じ、ちらつきや点滅が発生することがある。

Example of output voltage waveform of phase-cut dimmer at time of malfunction

費電力及び動作電流が小さいため、導通位相角を制御するトライアックの保持電流を下回り、トライアックが不規則にオン、又はオフする誤動作を引き起こす。こうした誤動作による位相制御調光器の出力電圧波形の例を、図2に示す。このような出力電圧がLED電球に印加されると電源供給が不安定となり、ちらつきや点滅が発生したり、立ち消えなどの不具合が発生したりする。そのため、従来の調光方式とシステム構成をそのまま使って、演出空間照明をLED化することは困難である。

3. 演出空間用のLED電球システム

演出空間用のLED電球システムを実現するために、以下の3点に注力して開発を行った。

- (1) 既設設備の流用 照明器具や配線などの既設設備をそのまま流用し、電球と調光システムの交換だけでLED化できる。
- (2) 優れた調光性能 調光性能として、以下の四つの目標を設定した。
 - ① 消灯から全光に至るまでちらつきや点滅がなく、滑らかに調光できること
 - ② 複数のLED電球や他のLED照明と同時に調光することが多いため、照明機器間の調光カーブが統一されていること
 - ③ LED電球ごとの光出力ばらつきが小さいこと
 - ④ 調光操作に対する光出力変化の追従性が、ハロゲン電球と同等であること
- (3) ハロゲン電球と同等のサイズ ハロゲン電球を使用していた照明器具に装着するため、ハロゲン電球と同等サイズにする。

4. 開発した調光システムの構成と機能

開発した調光システムのブロック図を、図3に示す。この調光システムは、系統数に応じた複数のDC調光器を内蔵するDC調光器盤と、DC LED電球で構成される。

DC LED電球の内部構成を図4に示す。DC調光器が出力したDC電圧値は、調光信号としてマイコンによってLED電流の制御目標値に変換される。LED電流は、制御目標値と一致するようにフィードバック制御される。すなわち、DC LED電球の光出力は、入力されるDC電圧値に応じて変化する。

DC調光器の内部構成を図5に示す。DMX (Digital Multiplex) 信号は舞台照明や演出機器の制御に使用される標準的な通信プロトコルで、DC調光器はこの信号が指定したDC電圧を出力する。更に、系統に流れる電流を監視し、異常時はDC電圧の供給を停止する保護機能も搭載している。

5. 開発した調光システムの特長

5.1 既設設備の流用

開発した調光システムは、位相制御調光器盤をDC調光器盤に置き換え、ハロゲン電球をDC LED電球に交換する

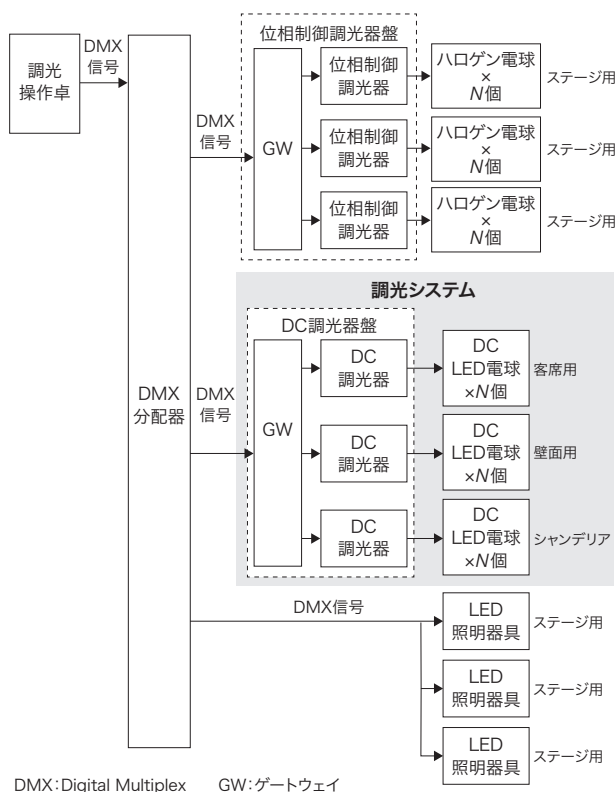


図3. 調光システムのブロック図

開発した調光システムは、DC調光器盤とDC LED電球で構成される。

Block diagram of LED dimming system

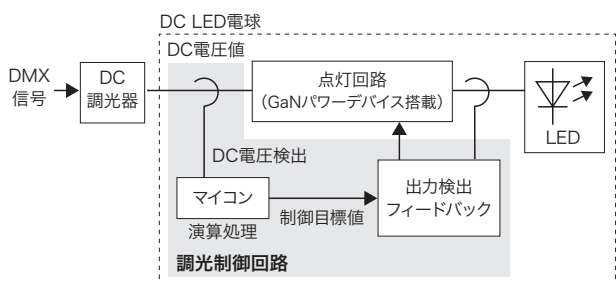


図4. DC LED電球の内部構成

DC電圧を受けてLEDを点灯させる駆動部(点灯回路)と、DC電圧を検出して点灯回路に制御目標値を指示する制御部(調光制御回路)で構成される。

Configuration of DC LED bulb

だけで運用ができるため、既設の照明器具や配線をそのまま流用できる。

5.2 調光性能

5.2.1 光出力0～100%のちらつきのない調光

開発した調光システムは、DC調光器からDC LED電球

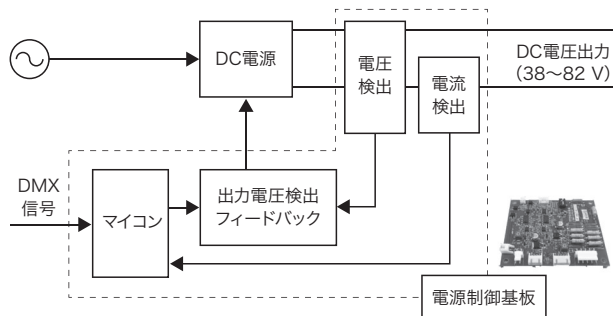


図5. DC調光器の内部構成

DC調光器はDC電源と電源制御基板で構成され、DMX信号に応じたDC電圧を出力する。また、系統に流れる電流を検出して、異常時には系統への出力を遮断する。

Configuration of DC dimmer

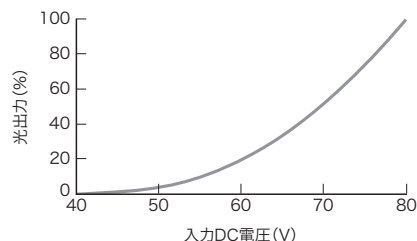


図6. 調光システムの調光カーブ

視感度に合わせて調光カーブ(JATET-Aカーブ)を採用することで、自然な調光演出を実現した。

Dimming curve specified by JATET-A standard of Theatre and Entertainment Technology Association, Japan

に安定したDC電圧を供給するため、DC LED電球にちらつきや点滅が発生することなく、光出力0～100%の範囲で調光することができる。

5.2.2 調光カーブの統一

この調光システムの調光カーブには、演出空間で使用することを想定したJATET-Aカーブ^(注1)を採用し、他の照明機器と調光特性を合わせた(図6)。

5.2.3 LED電球ごとの光出力ばらつき抑制

開発した調光システムには、全光出力及び調光下限域の光出力の両方に対して、DC LED電球ごとの光出力ばらつきを抑制する機能を搭載した。

- (1) 全光出力 この調光システムを劇場やホールなどの広い演出空間に設置する場合、DC調光器とDC

(注1) 公益社団法人 劇場演出空間技術協会(JATET)が定めた劇場・演出空間の技術に関する規格の一つで、調光入力信号と光束比が近似2.3乗の比例関係となる特性。

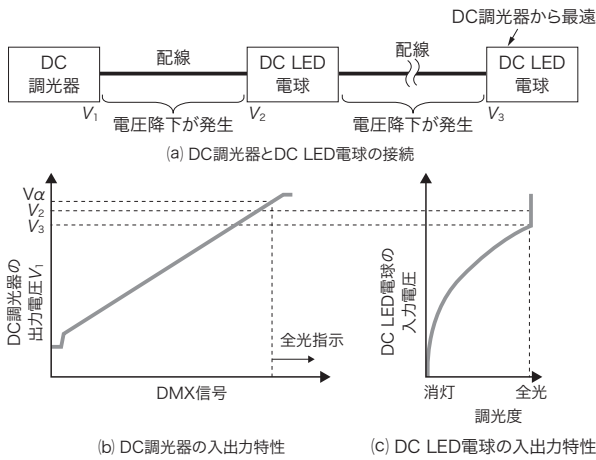


図7. DC調光器とDC LED電球間の配線長による電圧降下の影響低減

配線長による電圧降下が一定値以下であれば、全てのLED電球が全光出力を維持できる。

Reduction of effect of wire length-related voltage drop on dimming characteristics

LED電球間の配線長は電球の設置場所ごとに異なる。配線長が長いほど、また設置台数による電流が大きいため導体抵抗による電圧降下が大きくなり、DC LED電球に入力されるDC電圧は低下する。すなわち、調光信号のレベルがDC調光器が指示した電圧よりも低下するため、光出力も低下してしまう。このため、一つのDC調光器に接続される複数のDC LED電球の光出力が、配置される場所によって異なるおそれがある。特に、全光出力では入力電流が大きくなるため、配線長による電圧降下の影響を受けやすい。

そこで、全光出力を指示した場合に、確実に全てのDC LED電球が全光点灯する方法を検討した。

図7(c)に示すように、DC LED電球は入力電圧が所定値 V_3 以上の場合、全光出力状態を維持するように動作する。DC調光器から最遠のDC LED電球への入力電圧が V_3 のとき(図7(a))、最遠のDC LED電球以外のDC LED電球への入力電圧は V_3 より高いため、全光出力状態を維持できる。DC調光器は図7(b)に示すように、最遠のDC LED電球の入力電圧が V_3 以上を維持できる電圧 V_α を出力電圧として設定する。これによって、DC調光器の出力電圧 V_1 を V_α 以上に設定すれば、DC調光器に接続される全てのDC LED電球を全光点灯させることができる。

(2) 調光下限域の光出力 DC LED電球ごとの光出力

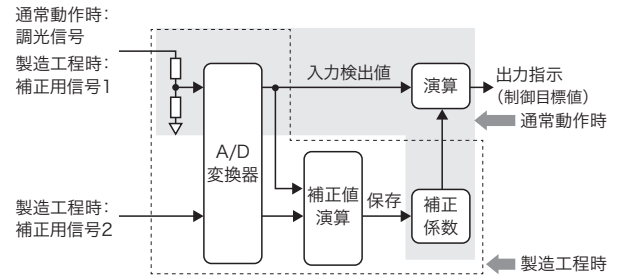


図8. 光出力ばらつき補正処理の制御ブロック図

製造工程時に、二つの電圧を入力し、A/D変換値との差分に基づいた補正係数を求める。通常動作時には、この係数を用いて、DC LED電球ごとの光出力ばらつきを抑制する。

Block diagram of light output variation correction control

ばらつきは、電源回路の部品ばらつきや、A/D(アナログ/デジタル)変換誤差、制御電源電圧のばらつきなどが、主な原因である。これに対して、ソフトウェアによる補正処理によってばらつきの影響を低減し、調光下限域におけるDC LED電球ごとの光出力ばらつきを抑制した。

光出力ばらつき補正処理の制御ブロック図を図8に示す。電源回路の製造工程で、補正用信号1として調光下限のDC電圧、補正用信号2として電源回路内部で正確な制御電源電圧を生成するための基準電圧、の二つの電圧をDC LED電球に入力する。このとき、上記の二つの電圧と、A/D変換値との差分に基づいて、補正係数を算出する。通常動作時は、算出した補正係数を乗じた制御目標値を用いて、LED電球ごとの光出力ばらつきを抑制する。

5.2.4 ハロゲン電球と同等の操作追従性

5.2.1項で述べたように、DC LED電球への調光信号は安定したDC電圧で供給されるため、DC LED電球の制御目標値の演算処理は短時間で実行できる。

DC LED電球と60 Wのハロゲン電球について、消灯から全光に切り替えたときの光出力変化の測定結果を、図9に示す。調光操作に対する光出力の応答時間は、60 Wのハロゲン電球の140 msに対して、DC LED電球は180 msであり、ほぼ同等の操作追従性を実現した。

5.3 ハロゲン電球と同等のサイズ

図4に示した調光制御回路も含めて、ハロゲン電球と同じサイズにするため、点灯回路の小形化が必要であった。点灯回路の小形化の手段として、GaN(窒化ガリウム)パワーデバイスを採用した。高速動作が可能なGaNパワーデバイ

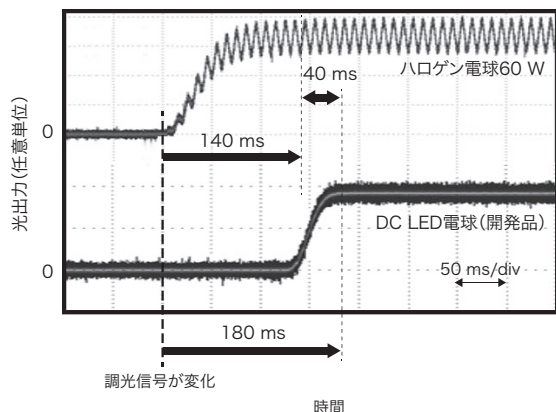


図9. DC LED電球とハロゲン電球の応答特性の比較

DC LED電球の消灯から全光への応答時間は、ハロゲン電球の応答時間とほぼ同等であることを確認した。

Comparison of light output response characteristics of halogen lamps and DC LED bulbs



図10. 回路基板の小形化

点灯回路の動作周波数を高めて受動部品を小形化することで、小形の回路基板に調光制御回路と点灯回路を組み込んだ。

Reduction of size of circuit board in DC LED bulb

スの特長を生かし、点灯回路の動作周波数を高めて受動部品の小形化を図った⁽²⁾。これにより、小形の回路基板に調光制御回路と点灯回路を組み込み、ハロゲン電球と同等のサイズ(図10)と、優れた調光特性を実現した。

6. あとがき

今回開発した調光システムは、既設の電源配線と照明器具の流用が可能で、DC調光器盤とDC LED電球への交換作業だけでLED化が実現できるため、工事期間の短縮が可能となった。

また、DC LED電球への給電は安定したDC電圧であるため、ちらつきが生じにくく、調光カーブにはJATET-Aカー

ブを採用することによって、ハロゲン電球と同等の滑らかな0～100%調光を実現した。DC LED電球の調光操作に対する光出力の応答時間は、60 Wのハロゲン電球の応答時間とほぼ同等であるため、宴会場や劇場などの演出用途への適用が可能である。

更に、GaNパワーデバイスを用いた点灯回路の小形化技術によって、DC LED電球のサイズを従来のハロゲン電球と同等にし、既存照明器具への装着を実現した。

今後、開発した調光システムが劇場や宴会場など、これまでLED化が困難であった市場への普及を進めていく。

文 献

- (1) 斎藤靖弘, ほか, “演出用途電球形LEDランプ調光システムの検討”, 平成29年度 照明学会全国大会論文集, 多賀城, 2017-09, 照明学会, 2017, 01-01 光源・回路, (USBメモリー).
- (2) 高橋雄治, 照明技術開発賞受賞—GaNパワーデバイスを搭載した調光器対応電球形LEDランプ用小形点灯装置, 照明学会誌, 2017, 101, 2, p.89-92.



斎藤 靖弘 SAITO Yasuhiro, D.Eng.
東芝ライテック(株)
研究開発センター
博士(工学) 照明学会会員
Toshiba Lighting & Technology Corp.



伊丹 和章 ITAMI Kazuaki
東芝ライテック(株)
システム事業部 システム技術部
照明学会会員
Toshiba Lighting & Technology Corp.