

平等院鳳凰堂LED照明ライトアッププロジェクト —時代を超えた威風

LED Lighting Illumination of Phoenix Hall at Byodo-in Temple Expressing Sanctuary's Timeless Grandeur

梶村 俊哉

岡 義郎

別田 惣彦

松下 進

■KAJIMURA Toshiya

■OKA Yoshiro

■BETSUDA Nobuhiko

■MATSUSHITA Susumu

京都府宇治市の平等院は、1994年に世界遺産として登録された「古都京都の文化財（京都市、宇治市、大津市）」の構成遺産であり、国宝の一つでもある鳳凰堂は、水面に映り込むその美しい姿から“水と光の宮殿”と称されている。2012年9月からの平成の大修理に合わせ、鳳凰堂のLED（発光ダイオード）照明によるライトアッププロジェクトが実施された。

このプロジェクトでは、創建時の姿になった鳳凰堂の審美性を照明で追求し未来に残していくために、東芝ライテック（株）は、照明計画を策定するとともに、計画実現のため、超狭角投光器として狭角配光高出力LED小形投光器を開発し、納入した。

LED照明を導入したことにより、消費電力を従来使用していた可動式のハロゲン投光器に比べ約55%削減した。

Byodo-in Temple, located in Uji City, Kyoto, was named a World Heritage Site in 1994 as one of the Historic Monuments of Ancient Kyoto. The Phoenix Hall and several other objects at Byodo-in are also designated as National Treasures in Japan, and the Phoenix Hall is particularly well known for its beautiful appearance reflected on the surface of the scenic pond that lies in front of it. A light-emitting diode (LED) illumination project for the Phoenix Hall was implemented as part of a refurbishment of the hall starting in September 2012.

As a participant in this project, Toshiba Lighting & Technology Corporation formulated the illumination plan with the aim of expressing the beauty of the Phoenix Hall at the time of its establishment by means of lighting, and preserving it for future generations. For this purpose, we developed compact high-output LED floodlights with a narrow-angle light distribution. The use of these LED floodlights has achieved a reduction of approximately 55% in overall power consumption compared with the former halogen floodlights.

1 まえがき

平等院鳳凰堂は、1053年に時の関白 藤原頼通が建立してから約1,000年の歴史を持つ、わが国有数の古刹である。平等院は、1994年に世界遺産として登録された「古都京都の文化財（京都市、宇治市、大津市）」の構成遺産であり、鳳凰堂内には、平安時代の最高仏師である定朝によって制作された国宝の本尊阿弥陀如来坐像が安置されている。

この平等院鳳凰堂のLED（発光ダイオード）照明ライトアッププロジェクトの発端は、平等院の神居文彰 住職が中尊寺金色堂でのLED照明事例を評価され、「現在、平等院は平成の大修理の最中であり、LED照明ライトアップで今までにない鳳凰堂を実現したい。」と、東芝ライテック（株）に熱望されたことによる。住職は照明知識が豊富であり、多岐にわたる要望があった。具体的には、「鳳凰堂ライトアップは常設、LED照明、かつ景観に配慮した小形で」との強い意向と、「水と光の宮殿と称される鳳凰堂の姿が池の水面に映り込み、鳳凰の金色、丹土色（につちいろ：赤茶色）の柱、及び本尊が映えるライトアップが実現できるとすばらしい。」との要望があった。

これらの要望を実現するために、当社の総合力を結集し、このプロジェクトを実施した。また照明計画は、松下進建築・照明設計室が参画して策定した。ここでは、このプロジェクト

の概要と主な照明技術の詳細について述べる。

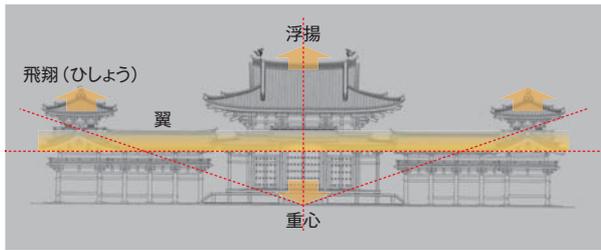
2 照明計画

2.1 基本コンセプト

照明計画の策定にあたり、まず鳳凰堂の建築形状を分析した（図1）。その結果、次の3点が鳳凰堂の大きな特長であると結論づけた。

- (1) Proportion 完璧とも言える比率により、建築物としての完成度の高さは、他に類を見ない。
- (2) Silhouette 鳳凰の飛び立つ姿をイメージさせるシルエットは、均整のとれた造形美の中に有機的な優雅さを感じさせる。また、阿字池の水面への映り込みが、上下感覚を喪失させる。
- (3) Dimension 平面的に捉えられがちな形状であるが、透視図的な見え方に真のプロポーションの秀逸さがある。

次に、最重要となる正面の見え方の検討を進めた。その結果、この鳳凰堂の左右対称性と翼廊の形状が、鳳凰が飛び立つ姿をイメージさせる大きな要因であると考えられた。特に、水平方向に一つの軸を設け、中央はやや重心を低く、翼廊に楼閣を設けて重心を高くさせていることが、浮揚感覚を生じさ



データ提供：松下進建築・照明設計室

図1. 鳳凰堂の形状分析 — 鳳凰堂の建築形状を分析し、特長を抽出した。
Shape analysis of Phoenix Hall

せる見せ方を導いていると思われた。したがって、照明においてもこの特長を生かし、水平方向に光の帯を造るとともに楼閣の光の重心をやや上方に配置することで、両翼が下がらないイメージとした。

2.2 照明設計

左右対称な構造をしている鳳凰堂の特長を生かすため、照明器具も左右対称な配置を基本としたが、昼間の景観を阻害しないように既設ポールを流用し、新設ポールは最低限とした。照射距離が長くても光のめりはりを付けるために、小形の超狭角投光器として狭角配光 高出力LED 小形投光器を新た

に開発した。高い配光制御性能、省エネ、及び長寿命の観点から、光源にはLEDを採用した(図2)。

2.3 CGシミュレーション

複雑な形状の鳳凰堂をライトアップする、高精度な光学シミュレーションを行うために、CG(コンピュータグラフィックス)モデルを作成した。またイメージだけでなく、輝度分布図及び照度分布図による検討も行った。

更に、鳳凰堂の内部についても簡易的なCGモデルを作成し、下から照らした際の陰影のつき方などを確認した。

2.4 照明演出

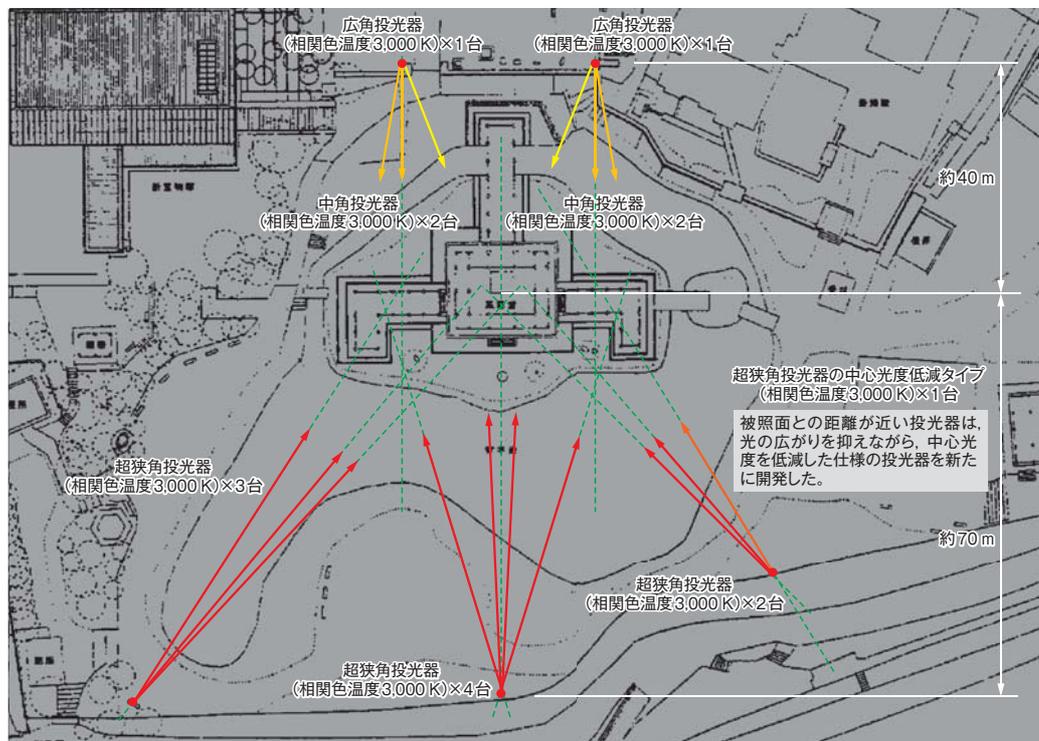
ライトアップは静的な演出を主体とし、明るさを抑えることで、荘厳なイメージを創出した(図3, 図4)。

また、表情の変化を見せる演出及び阿字池の波紋を自然に写す演出の2種類の動的な演出も設定し、時間の経過とともに各ポイントの明るさをゆっくり変化させる照明を実現した。

3 LED光源

2章の鳳凰堂ライトアップ計画に基づき、屋外照明や演出照明を実現するために開発した、長い照射距離においても高い照明率が得られる投光器の光源技術について述べる。

屋外照明や演出照明などで用いられる大光量かつ超狭角配



データ提供：松下進建築・照明設計室

図2. 照明計画 — ライトアップにおける照明器具の配置と照射方向の計画図を作成した。

Illumination plan setting positions and irradiation directions of LED floodlights



写真提供：宗教法人 平等院

図3. 鳳凰堂正面の照明演出 — 夜間における鳳凰堂正面のライトアップでは、明るさを抑えた静かな演出を主体としている。

Illumination of front of Phoenix Hall



写真提供：宗教法人 平等院

図4. 鳳凰堂内部の照明演出 — 夜間でも鳳凰堂内部の阿弥陀如来坐像が映えるように配慮した。

Illumination of interior of Phoenix Hall

光の照明は、限られた狭い範囲の照明エリアに均一な照度が必要になるため、小形化したLED照明器具を実現することが難しかった。一般のCOB (Chip on Board) 型LEDモジュール(以下、一般品と呼ぶ)では、大光量化に伴って光源サイズが大きくなり、狭角配光設計を行うと照明器具サイズが大きくなってしまいう課題があった。そこで独自技術により、大光量の狭角配光向けCOB型LEDモジュール(以下、開発品と呼ぶ)を開発した。

3.1 大光量かつ小形のCOB型LEDモジュールの技術課題

開発品は、高出力かつLED光源サイズが小形であることが特長である。開発品及び一般品の比較を表1に示す。開発品は単位面積から放射される光量(光束発散度)が一般品に比

表1. LEDモジュールの開発品及び一般品の比較

Comparison of commercially available and newly developed LED modules

| 項目 | 開発品 | 一般品 |
|----------------------------|----------------------|---------------------|
| 外観 | | |
| 全光束 (lm) | 15,000 | 10,000 |
| 光源サイズ (mm) | 直径17 | 38(縦)×40(横) |
| 光束発散度 (lm/m ²) | 66.1×10 ⁶ | 6.6×10 ⁶ |
| 断面構造 | | |

べ約10倍であり、小形で狭角配光のLED照明の製品化を可能にしている。

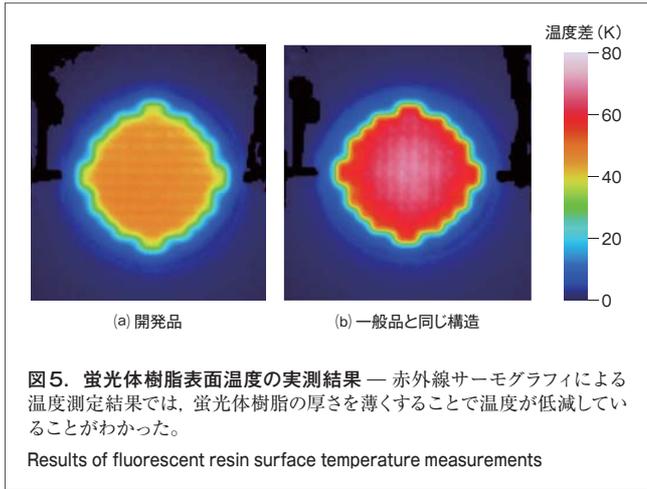
光束発散度を向上させるためには、複数のLEDチップを高密度に実装する必要がある。光源サイズが直径17mmの一般品と同じ構造のLEDモジュールで熱シミュレーションを実施したところ、各LEDチップの発熱で熱集中が起これ、光源中央部のLEDチップがもっとも高温になった。また蛍光体樹脂の内部でも、同様に高温となることがわかった。

次に、開発品におけるLEDチップ及び蛍光体樹脂の温度低減技術について述べる。

3.2 LEDチップ及び蛍光体樹脂の温度低減

3.1節の熱シミュレーション結果から、開発品では熱集中への対策として、LEDチップにフリップチップ構造を採用した。発熱源を放熱経路である基板側へ近づけることが可能になり、ダイボンド材を熱伝導率が高い金属系に変更することで放熱性を改善した。また放熱板の採用により、均熱化を図った。これらにより、一般品と同じ構造のLEDモジュールに対し、熱抵抗を約60%低減し、LEDチップ温度を低下させることができた。

蛍光体樹脂での発熱は、LEDチップから発光される青色光の一部が蛍光体で黄色光に変換される際に損失が生じる蛍光体で発生する。蛍光体樹脂の表面温度の実測結果を図5に示す。一般品の構造では、蛍光体樹脂が厚いため樹脂温度が上昇するが、開発品では蛍光体樹脂の厚さを薄くすることで、放熱経路である基板側にLEDチップを近づけ、放熱性を向上させた。これにより開発品の蛍光体樹脂の温度を低減できた。



4 照明器具

4.1 光学設計

これまでのCOB型LEDモジュールを用いた投光器は、光源サイズのために狭角配光にすることが困難であった。そこで、3.1節で述べた光源サイズが直径17 mmの開発品と反射鏡を組み合わせることで、狭角配光を実現した。

投光器の構造を図6に示す。ビームの集光度合いを示す1/10ビーム角（最大光度に対して1/10になるビームの広がり角度）は、開発品の単体では23°である。これは通常の狭角配光では十分な集光であるが、平等院鳳凰堂の場合は照射距離が約70 mと長いので、照射面が大きくなってしまふ。そこでビーム角をより狭くするため、投光器内に遮光板とルーバを配置することで、1/10ビーム角16°を達成した。ルーバの追加により投光器の光束としては少し低下するが、開発品及び狭角設計技術により、十分なビーム光束及び中心光度を確保できた。



4.2 色温度及び演色評価数

投光器の光色については、鳳凰をはじめとする金具類に施された金の装飾が映える、相関色温度3,000 Kの柔らかなみのある電球色を採用した。また、丹土色に塗り替えられた柱や梁（はり）、及び瓦の濃い黒色を鮮やかな色彩とするため、平均演色評価数 $R_a=95$ の高演色タイプとし、赤色の見え方を示す特殊演色評価数 $R_9=88$ とした。

5 あとがき

2014年10月には、宇治市のイベントで平等院鳳凰堂 LED 照明ライトアップの点灯式が開催された。平等院の神居文彰住職からは、「期待した成果になった。東芝といっしょに仕事ができてよかった。」と、高い評価をいただいた。

また、このプロジェクトで一般社団法人 照明学会より、世界に誇りうる特に優れた業績として、第33回 日本照明賞を受賞した。

2015年は藤岡市助が白熱電球の製造と販売を行う合資会社 白熱舎を創設（1890年）してから125年に当たる。今後も、「世界遺産を維持し、未来に継承させる」というコンセプトのもと、世界の至宝をより美しく照らし、人と環境に調和したあかり文化に貢献していきたい。

平等院では、2015年中はライトアップの一般開放の予定はないとしています。



梶村 俊哉 KAJIMURA Toshiya

東芝ライテック(株) 照明電材事業本部 営業推進部グループ長。先行・開発営業、及びあかり文化プロジェクト推進に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



岡 義郎 OKA Yoshiro

東芝ライテック(株) 照明電材事業本部 施設・屋外第一技術部。屋外照明器具の設計・開発に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



別田 惣彦 BETSUDA Nobuhiko

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



松下 進 MATSUSHITA Susumu

松下進建築・照明設計室代表。
東芝ライテック(株)での照明デザインの業務を経て、2000年から現職。照明学会会員。
Susumu Matsushita Architecture & Lighting Design Labo.