

高輝度LEDを用いた省エネルギー・小型ダウンライト

Energy-Efficient Compact Downlight Using High-Brightness LEDs

中川 有士* ・ 田島 裕亮* ・ 水川 宏光** ・ 増永 正文**
Yuji Nakagawa Yusuke Tajima Hiromitsu Mizukawa Masafumi Masunaga

LED ダウンライトにおいて、高輝度シングルチップLEDを採用するとともに、ロスを抑える配光制御が可能な反射板とLEDの温度上昇を抑える効率的な放熱体の開発によって、1/2ビーム角度40°と器具光束1715 lmの光学性能と埋込穴径100 mmに取り付け可能な小型化を実現した。これにより、従来の蛍光灯42形を搭載した埋込穴径125 mmのダウンライトと同等の明るさで、約35%の電力削減を達成している。

また開発品の電源ユニットは、昇圧チョップ回路の採用によりボルトフリーとするとともに、回路の短絡や開放などの異常状態を検知する出力電圧検出回路を設けて器具の安全性を高めている。

The use of high-brightness single-chip LEDs, the development of a loss-suppressing distribution-controll reflector and high-efficiency heat sink for suppressing LED temperature rise have enabled an LED downlight with 1/2 beam spread angle of 40°, optical performance of 1715 lm of luminous flux, and miniaturizing to the size of 100 mm diameter mounting hole.

As a result, the developed downlight achieves the same brightness as the previous downlight using a 42 W fluorescent lamp requiring a 125 mm diameter hole, but reduction of energy consumption by approximately 35%.

In addition, the power supply unit of the developed product is free from voltage restrictions by adopting a boost type chopper circuit along with increased safety of the fixture by using an output voltage detection circuit for sensing electrical fault such as short circuit and open circuit.

1. ま え が き

CO₂の削減義務を先進各国に課した京都議定書が2005年2月16日に発効され、1990年を比較対象とした温室効果ガス排出量を2008年から2012年までの5年間で大幅に削減する目標が定められた。これに伴い、建築物のエネルギー消費のなかでボイラ等の熱源機器の次に多い照明設備においても省エネルギー光源が注目されている。

照明業界では省エネルギー光源であるLEDの高出力化に伴い、既存光源である白熱灯や蛍光灯からの切替が急速に進みつつある。なかでも、埋込形照明器具であるダウンライトにおいては、高照度・小口径（φ150以下）化への要望が強まっている。

従来の省エネルギー光源であるコンパクト形蛍光灯を用いた場合、小口径であるダウンライトでは光源の大きさから構造的に光束の限界が定まる。たとえば、埋込穴φ100

mmのダウンライトでは20 Wクラスの光源が限界となる¹⁾。

一方、LEDを用いる場合は光源のサイズが小さいことから複数個搭載することで光束の確保が可能であり、従来光源と同じ埋込穴径においても得られる光束はより多くできる。

しかし、LEDの搭載数の増加と1個当りの高出力化に伴う発熱量の増大により、器具構造による放熱性の確保が必要となるため、現状ではコンパクト形蛍光灯42形相当の光束を実現する器具サイズは埋込穴φ125～150が主流となっている。

そこで筆者らは、小型で高効率な高輝度シングルチップLEDを搭載し、高効率な反射板を開発することにより、コンパクト形蛍光灯42形相当の1700 lmクラスの明るさと埋込穴φ100 mmの最小径クラスを実現するとともに、電源電圧100～242 Vに対応できる電源一体型のLEDダウ

* 照明事業本部 ナショップ・調光システム事業部 Nashop & Lighting Control System Division, Lighting Manufacturing Business Unit

** 照明事業本部 照明総合技術センター Lighting Research & Development Center, Lighting Manufacturing Business Unit

ンライトを開発したので報告する。

2. 開発目標と課題

2.1 目標値

白熱灯に比べて省エネルギー光源であるコンパクト形蛍光灯 42 形ランプを使用したダウンライトと同等以上の明るさと省エネルギー性能、およびそれを下回るサイズ等の目標を設定する（表 1）。

このダウンライトと同等以上の器具光束を達成するとともに、配光形状を規定する 1/2 ビーム角度 40° の既存光源では実現できない光学性能を達成する必要がある。

表 1 目標値

	目標値	蛍光灯 ダウンライト	白熱灯 ダウンライト
光源種類	LED	コンパクト形 蛍光灯 6 本管形 42 形	シリカ電球 150 形
埋込穴径 (mm)	100	125	175
器具光束 (lm)	1700	1696	1608
電源電圧 (V)	100~242	100~242	100
消費電力 (W)	28	43	150
発光効率 (lm/W)	61	39	11
1/2 ビーム角度 (°)	40	—	—
点灯寿命 (h)	40000	10000	1000

2.2 課題

目標の仕様を満足するコンパクトな LED ダウンライトを実現するための二つの課題について以下に述べる。

2.2.1 高出力化

コンパクト形蛍光灯 42 形以上の明るさと集光させた配光形状であるビーム角度 40° を埋込穴径 100 mm で実現するには、この大きさのなかにより多くの LED を配置し、配光形状の制御を行いながら必要光束を得るための高効率反射板の開発が必要となる。

次に LED の出力光束に影響する二つの特性を以下に示す。

(1) LED 温度－相対光束特性

温度上昇により、相対光束が低下する（図 1）。

(2) LED 電流値－相対光束特性

印加する電流値の増大により、相対光束が増加する（図 2）。

所望の光束を得るために、これらの特性を考慮して LED の電流と温度を決定する必要がある。

2.2.2 長寿命化

前述の高出力化のために必要な相対光束となることに加え、LED の光束維持率が 70 % になるまでの点灯寿命 40000 時間以上を満たすことができる温度にまで下げる必

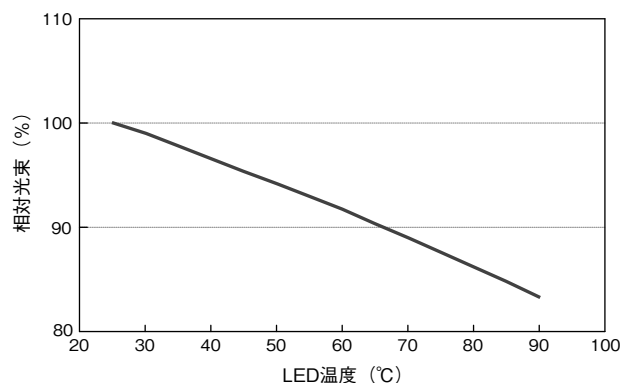


図 1 LED 温度－相対光束特性

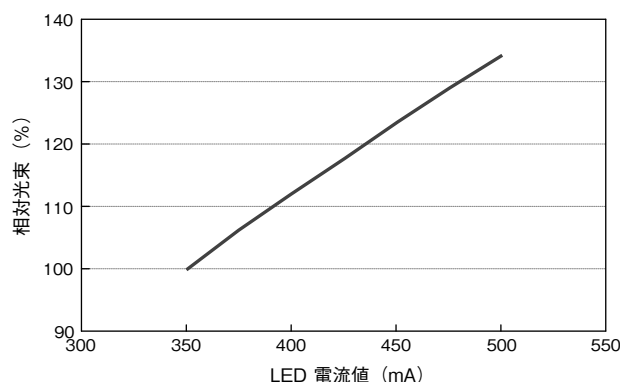


図 2 LED 電流値－相対光束特性

要がある。

LED が組み込まれる部分の構成は図 3 のようになり、LED で発生した熱の多くはプリント基板、放熱シート、本体へと伝わって放熱される。

このため、効率的に放熱できる本体が要求される。

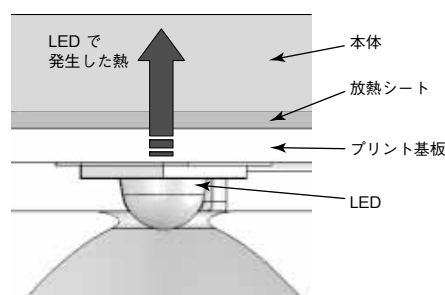


図 3 LED からの放熱

3. 高効率反射板

埋込穴径 100 mm に対応するダウンライトにおいて、中に配置する 18 個の高輝度シングルチップ LED 用の高効率反射板を開発する。

反射板を高効率化するには、プラスチック基材へアルミニウム蒸着処理を施して高い反射率を得ることと、反射板形状により配光制御を行いながら反射による光ロスを極力抑制することが必要で、そのためには以下のポイントが挙

げられる。

- (1) LED から発光する光のロスを抑える。
- (2) 反射ロスが発生しない直接光を多く器具外へ出すために反射板高さを低く抑える。
- (3) 反射光を制御して配光性を向上させる反射面を形成する。

(1) については、LED は表面実装型となっており、基板の反射板側に回路パターンが形成される。そのため、反射板のアルミニウム蒸着反射面は最小絶縁距離（図 4 の a）として器具外への光束のロスを最小限に抑える。

(2) および (3) については、LED の単独配光形状（図 5 (a)）から求められる照射光の角度を制御することで極力反射面が少なくなるように反射板高さ（図 4 の b）を抑える。これらの値は光学解析シミュレーションで求める。LED の単独配光に対し、反射板を設けると配光形状が制御できる（図 5 (b)）。反射板の各寸法パラメータを変化させて $1/2$ ビーム角 40° となる配光形状を導き出し、これに基づいて製作した反射板でも目標を達成している（図 6）。

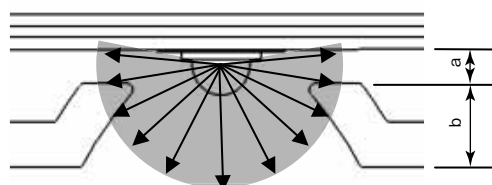
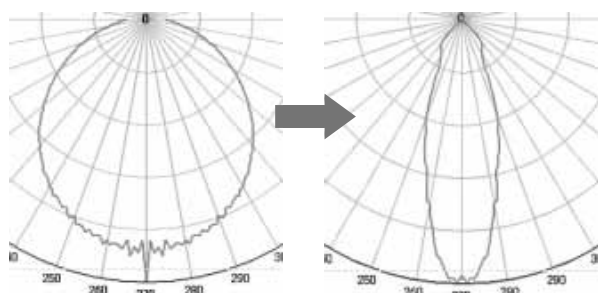


図4 LEDの発光と反射板形状



(a) LED 単独配光 (b) 反射板制御配光

図5 LED単独配光と反射板制御配光

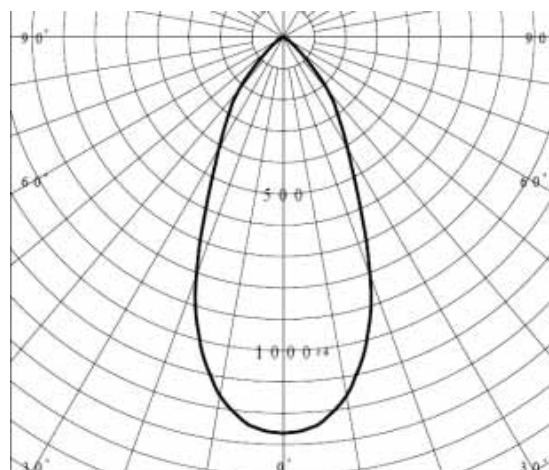
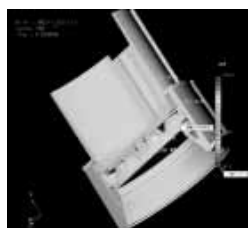


図6 配光測定結果

4. 放熱体構造

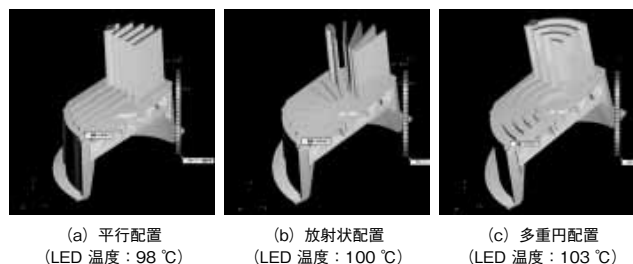
試作した構造モデルによる温度推移の実験結果をもとに熱解析シミュレーション上で必要な各パラメータを設定して得られる結果と、先の実験結果とはよく一致している（図 7）。



測定部	温度相対値	
	試験値	解析値
LED	100	100
反射板	93	96
本体	78	86

図7 構想モデルによる解析結果

そこで容積がほぼ一定で casting 可能な形状であり、かつ温度上昇により空気の流れに違いが出るように平行配置、放射状配置、および多重円配置したフィンにおいて解析する。この結果から、平行配置のフィン形状がもっとも放熱効果が高いことがわかる（図 8）。



(a) 平行配置 (LED 温度：98℃) (b) 放射状配置 (LED 温度：100℃) (c) 多重円配置 (LED 温度：103℃)

図8 フィン形状によるLED温度

この形状を元にフィンの高さ寸法を変化させてLED温度の解析を行い、設定した温度となる寸法を導き出す（図 9）。

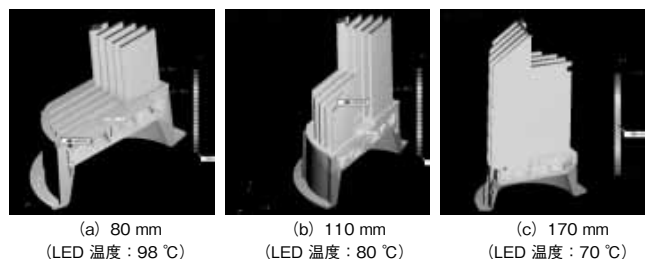


図9 フィン高さによるLED温度

以上の結果をもとに放熱体を製作し、開発品へ組み込んで温度確認を行う。

以上の結果から求めた寸法の放熱体を組み込んだ試作品においても、設定した温度を満足することを確認している。また、第3章で述べた反射板と組み合わせた光学性能は表2のとおりとなり、目標器具光束を達成するとともに、埋込穴径 100 mm 用器具に搭載可能となる放熱体の小型化を実現している（図10）。

表2 光学性能測定結果

	目標値	測定値
器具光束 (lm)	1700	1715
1/2ビーム角度 (°)	40	40

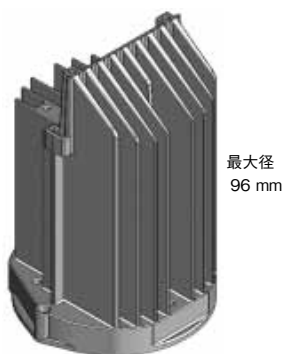


図10 小型化した放熱体

5. 電源回路

開発した高輝度シングルチップLED用電源ユニットの主な目標性能を以下に示す。

- (1) 定格入力電圧 100 ~ 242 V に対応できる V (ボルト) フリー機能付き。
- (2) 電源回路効率は 0.85 以上。

5.1 基本回路構成

図11に電源ユニットの基本回路構成を示す。点灯部は非絶縁型降圧チョップパ構成でローサイドスイッチング型、制御電源はIPDを用いた降圧チョップパ方式を採用することにより小型・高効率化に配慮している。

また、Vフリーを実現するために昇圧チョップパ回路を採用している。異常検出回路は出力電圧をモニタすることで、LEDユニット部の断線異常や器具未結線を検出して電源ユニットの発振を停止させる。

5.2 Vフリー機能

降圧チョップパ回路の前段を昇圧チョップパ回路とすることにより、入力電圧が 100 V、200 V、242 V のいずれの場合でも降圧チョップパ回路に供給される電圧は一定となり、Vフリーを実現している。

また開発品のLED電流は大光量を得るために比較的大きく設定されていることから、降圧チョップパ回路のチョークサイズが大きくなる傾向にある。このため開発した電源ユニットは降圧チョップパ回路の動作周波数を 75 ~ 110 kHz 程度の比較的高い周波数にすることで、インダクタンスを小さくして回路を小型化している。

なお異常検出に関しては、以下の2点に配慮している。

- (1) LEDユニットのパッケージ内のワイヤ断線。
- (2) 想定外の使用によるLEDチップの破壊。

これらの異常に際し、出力電圧が上昇すると即座に発振を停止させ、入力商用電源を切らなければ復帰できない

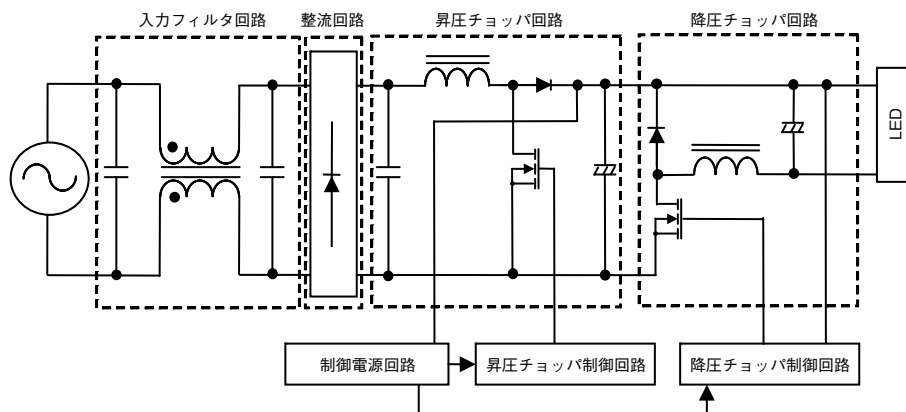


図11 基本回路構成

ようにして安全性を高めている。

6. 開発品の概要

開発したLEDダウンライト（図12）の消費電力は28 Wとなり、白熱灯150 Wと比較し約80 %，蛍光灯42形と比較して約35 %の電力削減を達成している。

これにより、年間3000時間点灯の条件において、150形白熱灯ダウンライトと比較して1台当り約203 kg，また42形蛍光灯ダウンライトと比較して約25 kgのCO₂排出量削減が可能となり、環境負荷低減に寄与できる。

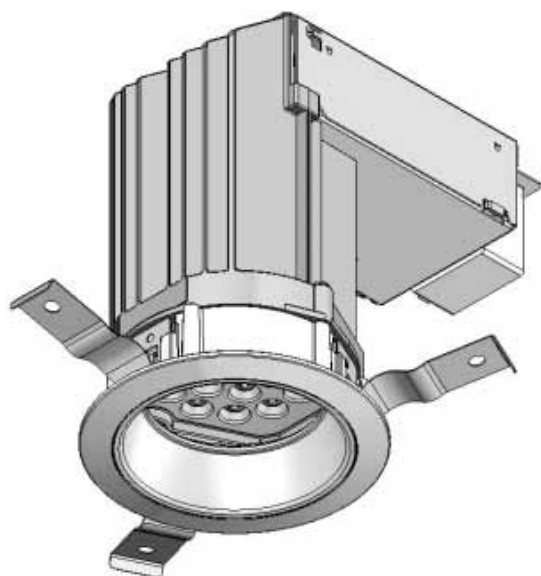


図12 省エネルギー・小型LEDダウンライト

7. あとがき

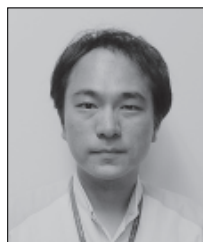
LEDダウンライトにおいて、高輝度シングルチップLEDを採用するとともに、ロスを抑える配光制御が可能な反射板とLEDの温度上昇を抑える効率的な放熱体の開発によって、1/2ビーム角度40°と器具光束1715 lmの光学性能と埋込穴径100 mmに取り付け可能な小型化を実現した。これにより、従来の蛍光灯42形を搭載した埋込穴径125 mmのダウンライトと同等の明るさで、約35 %の電力削減を達成した。

また開発品の電源ユニットは、昇圧チョッパ回路の採用によりボルトフリーとするとともに、回路の短絡や開放などの異常状態を検知する出力電圧検出回路を設けて器具の安全性を高めている。

*参考文献

- 1) 中辻 光彦, 松原 敏夫, 笹川 知宏, 小寺 隆介, 飯田 史朗, 杉本 浩: 高効率コンパクト形蛍光灯ダウンライト, 松下電工技報, Vol. 55, No. 3, p. 54-61 (2007)

◆執筆者紹介



中川 有士

ナショップ・調光システム事業部



田島 裕亮

ナショップ・調光システム事業部



水川 宏光

照明総合技術センター



増永 正文

照明総合技術センター