

大出力・高効率な LED 照明装置の開発

石川 光祥 矢島 聡
奈良 勉 岡本 太郎 *1
朴 鍾國 *2 河東 和浩 *2

概 要

省エネルギーの観点から LED 照明が注目されている。現在、家庭用の出力が小さい LED 照明が一般的であり、産業用の大出力の LED 照明は LED が発光時に発生させる熱によって、LED そのものの効率や寿命を低下させる問題が発生している。そのため、大出力・高効率な LED を使用することが困難で、大出力照明装置普及の隔たりとなっている。したがって、効率的な放熱機構の開発によって、大出力・高効率な LED 照明装置を実現できることが考えられる。放熱に際してファン等の駆動部を用いた強制冷却では、消費電力を底上げするだけでなく、LED より駆動部の寿命が短いため、照明装置の寿命が駆動部に縛られてしまうといった懸念がある。したがって、駆動部を用いない自然冷却での放熱機構が求められている。

本研究では、熱伝導効率のよいヒートパイプに着目し、LED から発せられた熱を効率よく放熱フィンに伝達することで駆動部がない放熱機構の構築を行った。FL160 は特徴的な放熱機構の構築によって電源を含んだ固有エネルギー消費効率 100 lm/W を達成すると共に、小形で大出力の照明装置を構築することに成功した。

Development of high efficiency and high power LED lightning

Abstract

Recently, use of light-emitting diode (LED) has been focused on energy saving. LED lighting for industrial use is generally higher power than that for domestic use. LED lighting for industrial use present challenges because of decreased efficiency and lifetime due to heat from LED chips. The spread of high power LEDs is inhibited by the difficulties of developing high efficiency, high power LED. Heat dissipation using fans with shorter lifespans than the LEDs not only increases energy consumption but also shortens LED lifespan. In this study we focus on a fanless heatsink in order to develop a high efficiency, high power and compact LED lightning.

In this study, we have developed a fanless high power LED lightning, using heat pipe technology. This lightning, named FL160, is kept temperature under 83°C at the LED chip. FL160 achieved 100 lm/W efficiency and created a compact and high power lightning device.

キーワード: 大出力 LED 照明

*1 株式会社高環境エンジニアリング

*2 SOLECO 株式会社

§1. はじめに

省エネルギーの観点から LED 照明が注目されている。現在、家庭用の出力が小さい LED 照明が一般的であり、産業用の大出力の LED 照明は LED が発光時に発生させる熱によって、LED そのものの効率や寿命を低下させる問題が発生している。そのため、大出力・高効率な LED を使用することが困難で、大出力照明装置普及の隔たりとなっている。したがって、効率的な放熱機構の開発によって、大出力・高効率な LED 照明装置を実現できることが考えられる。放熱に際してファン等の駆動部を用いた強制冷却では、消費電力を底上げするだけでなく、LED より駆動部の寿命が短いため、照明装置の寿命が駆動部に縛られてしまうといった懸念がある。したがって、駆動部を用いない自然冷却での放熱機構が求められている。

§2. 本研究の目的

本研究では、小形かつ高効率な照明装置を構築するため、高効率かつ大出力である LED 素子を高密度に配置し、そこから発せられる熱を効率的に放熱機構へ伝達し、ファン等の駆動部を用いない放熱機構の構築を目的とした。放熱機構として、効率的な熱伝導機構であるヒートパイプに着目した。

大出力 LED 照明装置に適用させることによって駆動部のない放熱機構の構築を目的とした。

§3. ヒートパイプの原理

図 1 にヒートパイプの原理を示す。図の下部は熱源あるいは高温部、上部は冷却あるいは低温部である。白矢印は動作液の蒸気、黒矢印は動作液の流れである。

ヒートパイプは高温部において動作液が熱を吸収して蒸発し、その動作液蒸気がパイプ内を低温部へ移動する。低温部で冷却された動作液蒸気は液体となり、高温部へ移動する。このように温度差があることによってヒートパイプ内で動作液が循環し熱の移動が起こる。

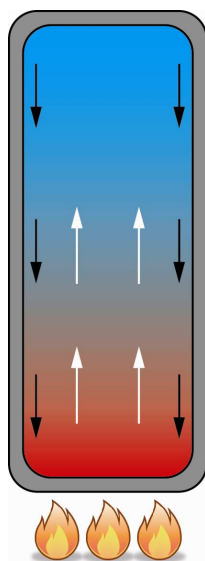


図 1 ヒートパイプ原理

動作液の循環方法として、毛細管現象やウィックを用

いたヒートパイプが主流であるが、本研究では、照明装置の大きさから、ヒートパイプの径を大きくし、重力にて動作液を循環させることとした。

§4. LED 素子について

本研究では、CREE 社の XM-L LEDs 素子を用いた (図 2)。本研究の目的でも示しているが、高効率のみならず、小形の照明装置の開発を行っており、大出力の LED 素子を用いることとした。

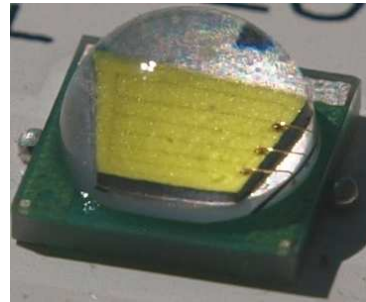


図 2 CREE 社 XM-L LED

CREE 社から発表された XM-L LED の発光スペクトルでは、450 nm 付近の青色部分と 600 nm 付近の黄色部分に大きなピークのある典型的な白色 LED であることがわかる。黄色部分のピークは青色成分に励起された蛍光体の発色である。肉眼ではほぼ白色に感じる。この二つのピークの組み合わせで色温度は 2600 K から 8300 K まで、変化する。色温度が低いほど暖色系に、高いほど白色系に見える。演色性(Ra)はほぼ 70 である。本機に使用されたものはこのうちでも、効率の高いほうである 5500 K 付近のものを選別している。

XM-L LED の発光効率と動作温度の関係では、LED の素子温度が 25℃の時の発光量を 100%とし、相対表示されている。動作温度が高いほど発光効率が低下することを示されている。

次に素子の性能を表 1 に示す。

表 1 XM-L 性能

サイズ	5*5	mm
最大電流	3	A
最大消費電力	10	W
標準電圧	3.1	V
配光角度	125	°
熱抵抗	2.5	°C/W

メーカーカタログによると温度条件 25℃下において至適条件(2.9 V、700 mA)での最小光束は 280 lm と公表されている。また、メーカーから出されている設計シミュレーションによると本研究の使用条件における照明器具の全光束は 14,500 lm (48 V、2.8 A 条件下)と算出された。本 LED 素子は、出力が大きいため、発熱量も大きく放熱が困難で、放熱が不十分で素子が高温にさらされると、機器寿命が著しく損なわれることがあるため、他の LED 照明装置での採用はわずかである。

§5. 高効率 LED 照明装置の性能評価

5.1 LED 照明装置(FL160)の構築

本研究で開発した LED 照明装置 FL160 は、LED 基盤、筐体、電源からなる。以下に各パーツを示す。

- LED 基盤

XM-L16 個を直列で配置したものを 1 ポートとして、2 ポートを並列で搭載した基盤を設計した(図 3)。LED 基盤は $\phi 120$ mm とし、放熱に支障がない程度まで密度を高くする配置設計とした。並列回路であるため、回路がアンバランスとなり、いずれかのポートが過負荷とならないように抵抗を設置した。

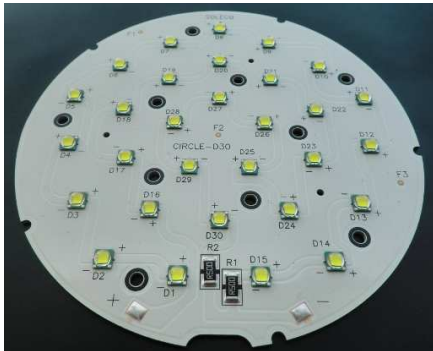


図 3 LED 基盤

- 筐体

筐体は、熱伝導を考慮してすべてアルミニウム合金製とした。LED 基盤を固定する筐体は、全体がヒートパイプとなっている特徴的な構造とした。これは、LED から発せられる熱を基盤面全体から熱を受け取る構造としたものである(図 4)。ヒートパイプに放熱用のフィンを取り付け、冷却部とした。

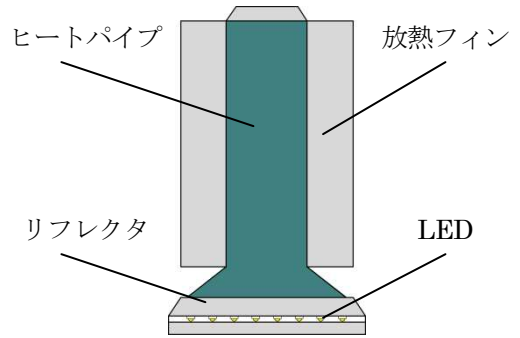


図 4 筐体断面図

筐体の外形寸法は $\phi 160 \times 267$ mm、放熱フィンは 37.5×200 mm が 32 枚となっており、重量は 2.7 kg となった。FL160 の全景を図 5 に示す。



図 5 FL160 全景

- DC 電源

LED は直流動作となるため、交流電力を直流電力へ変換する電源が必要である。本照明装置では、ミンウェル社の HLG-185H-48A(図 6)を用いて試験を行った。本電源は、入力電圧 90-305 VAC とコンセントからも電源を取ることが可能な点、効率が 94% と高いことから選定した。



図 6 AC-DC 電源

5.2 FL160 の性能検証方法

FL160 の性能検証は、消費電力、放熱性能および照度計測を行った。検証方法を以下にまとめる。なお、本試験は、自然放熱で行うため、無風の条件下で試験を行った。

・ 放熱性能検証試験

放熱性能は、T 熱電対を用いて計測を行った。計測ポイントは、LED 基盤中心および外側、リフレクタ、ヒートパイプ下部、中部、上部の 6 箇所で行った。計測したデータはデータロガーにて回収した。LED 基盤に熱電対を設置する際に、LED 素子に熱電対が接触して損傷しないように設置した。電源入力 160 W (48 V、3.3 A) で測定間隔は 10 秒と設定し、連続点灯試験を行った。

・ 消費電力計測

消費電力は、AC-DC 電源の出力および機器全体での電力を計測した。電源の出力は、シャント抵抗を用いて電流を計測し、電圧計で電圧を計測し、計測した電流、電圧から消費電力を算出した。機器全体の電力はクランプメーターを用いて計測を行った。

・ 照度計測

照度計測は、照度計を用いて縦横 1 m ピッチで直射水平面照度を計測した。計測に際して反射の影響のない場所および機器が安定した状態で行った。

5.3 FL160 の性能評価

放熱性能試験を行った結果、基盤中心が最も高い温度となり、約 70°C であった。ヒートパイプ上部が最も低い温度となり、約 65°C であった(図 7a)。両者の温度差は 5~6°C 程度であり、基盤からヒートパイプへの熱伝導およびヒートパイプの熱伝導が十分に機能していることが示された。LED1 素子当たり 5 W 入力しており、用いた LED 素子の熱抵抗は 2.5°C/W であることから、LED 素子部の温度は 85°C 以下を保つことができた。CREE 社のカタログから 25°C 条件下との相対光束は 85% となり、性能が十分に出せる条件に設定できていることが示された。

図 7b に試験開始 5 時間までを拡大したグラフを示す。試験開始 30 分程度で安定状態となり、その後大きな変化が少ないことがわかる。開始時から LED 基盤とヒートパイプの温度差は小さく、ヒートパイプが効率的に機能していることがわかる。

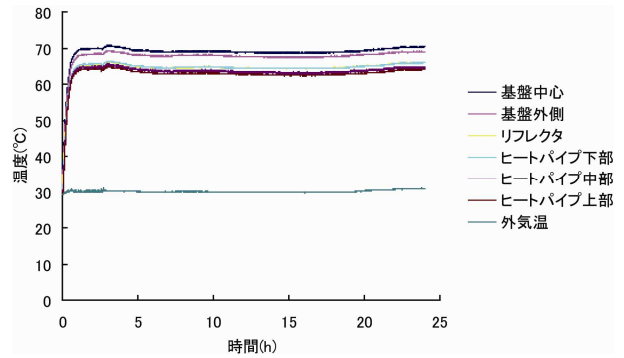


図 7a 放熱性能試験結果(0-24 h)

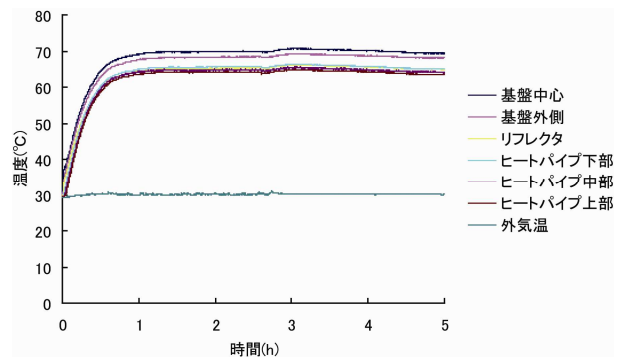


図 7b 放熱性能試験結果(0-5 h)

図 7 では 24 時間までの結果を載せているが、試験は 138 時間連続で点灯試験を行った。試験終了時点での LED 基盤の温度とヒートパイプの上部での温度差は 6°C であった。したがって、過負荷での条件においてもヒートパイプは効率よく放熱し、安定的に稼働しており、ヒートパイプの大きさ、形状が最適化されていることが示された。

試験環境は無風としているため、ヒートパイプが放熱した際に発生する上昇気流のみで放熱をしており、外気温 30°C の条件においても LED 素子を著しく劣化させる条件にはなっていない。夏季の工場の屋根部(照明装置の設置場所)付近では 50°C 以上になることもまれではない。本試験では環境温度は約 30°C であることから、環境温度が 50°C 程度の条件下において LED 素子の温度は 105°C 程度となることが予測される。これは、前述している 25°C 条件下との相対光束で 80% を下回らない条件である。しかしながら、これは無風の条件であり、通常の使用環境とは異なることが予想される。

図 8 は、試験中に扉の開閉で不慮に通風されてしまった際の結果である。外気温は比較的一定であるが、基盤温度、ヒートパイプともに 5°C 程度低下していることが確認された。通常の使用環境では、換気をおこなっており、無風の状態で使用することがほとんどなく、夏季に高温となる場所であ

っても換気によって風が流れる条件で使用されれば十分な性能を発揮することが示唆された。

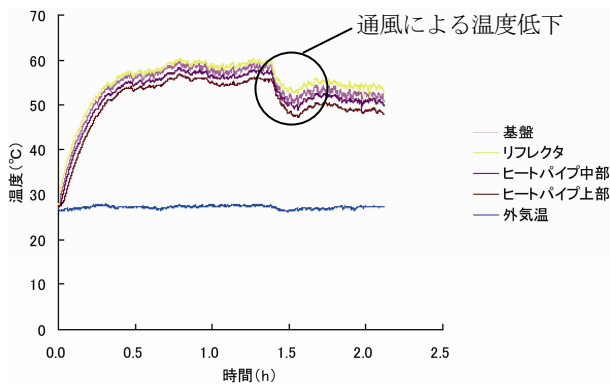


図 8 通風による温度低下

放熱性能試験の条件(入力 160 W)において、LED 素子の温度は 100°C以下となることが示されたが、折半屋根の工場等に設置する場合、より高温の環境下に設置されることが予測される。製品の安全性、寿命のことを考慮すると、入力電力を下げる必要がある。したがって、安全率を約 80%として、入力電力を 132 W (48 V、2.8 A)とした。このときの総消費電力は、142 W であった。電源効率は、93%と至適条件の効率より低下した。本条件で CREE 社の設計シミュレーションで全光束を計算した結果、気温 25°Cにおいて 14,500 lm であった。したがって、本 LED 照明装置では、電源込みでの固有エネルギー消費効率は 102 lm/W となった。本装置で使用した LED 素子の至適条件(0.7 A、2.9 V、25°C)での効率は 128~138 lm/W であり、使用環境下および電源を含んだ固有エネルギー消費効率が 100 lm/W を超えることができたのは、放熱性能がヒートパイプへの熱伝達が効率的に行われたことが要因であると示唆される。

照度試験結果を図 9 に示す。LED 素子の配光角度が 120° と広いと、直射水平面照度分布でも広がっていることがわかる。400 W 水銀灯と比較すると直射水平面照度では少し低い値となっているが、通常の設置においては、照明装置をいくつも配置するため、周辺の照明装置との関係で照度は 400 W 水銀灯と同等と考えることができる。しかしながら、狭いところでの設置については壁面を照らしてしまいロスとなるため、今後はレンズ等による集光方を検討する必要がある。

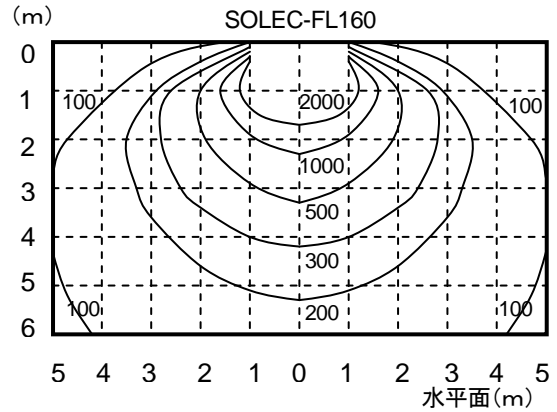


図 9 直射水平面照度分布 (lux)

LED を導入したものの水銀灯と比較して暗いという意見を聞くことがあるが、これは水銀灯と同等の明るさが機器から出ていないためである。水銀灯はランプの光束に器具(笠)効率を掛けたものが光束として表され、水銀ランプの初期光束は 400 W タイプで約 22,000 lm で器具効率が 65%程度であり、400 W 水銀灯器具の初期光束は 14,300 lm となる。同様に 250 W 水銀灯で計算すると、約 9,000 lm となる。したがって、水銀灯の代替として LED 照明を選定する際には、これらの光束を上回ることが最低条件となる。LED 照明が注目されているが、水銀灯の光束に達していないにもかかわらず、それ以上や同等と表示している器具があるため、上記の値を目安に選定する必要がある。

§5. まとめ

LED 照明装置に適用した熱伝達機構および効率的な放熱機構の構築により、高効率で大出力の LED 照明装置を構築できた。

- ① 熱伝達機構および放熱機構を効率よく稼働させることによって LED 基盤面と放熱器の上部との温度差が約 5~6°C 程度になった。
- ② LED 素子の温度を 100°C 以下に抑えることができたため、長寿命および安定的な照明装置を構築できた。
- ③ 電源を含んだ総固有エネルギー消費効率で 102 lm/W を達成した。
- ④ 水銀灯と同等の明るさで消費電力を 60% 以上削減できた。
- ⑤ 自然換気程度の風で LED 基盤、放熱フィンともに 5°C 低下することが確認された。

以上の結果より、LED から発せられた熱をヒートパイプへ効率よく伝達させ、放熱できる放熱器を構築できた。この放熱器によって、高効率、長寿命を達成し、小形で大出力の LED 照明装置を構築できた。

本技術は株式会社フジタ、SOLECO 株式会社、株式会社高環境エンジニアリングの 3 社共同開発である。

参考文献

- 1、CREE 社: XLamp XM-L LEDs データシート
- 2、社団法人照明学会編: 大学課程 照明工学(新版)、オーム社
- 3、LED 照明推進協議会編: LED 照明ハンドブック、オーム社
- 4、社団法人照明学会編: 照明ハンドブック、オーム社
- 5、トランジスタ技術編集部: 高輝度/パワーLED の活用テクニック、CQ 出版社

ひとこと

LED 照明装置は省エネルギーの照明として期待されているが、使用すると予想より暗いという意見や長寿命と知っているが、すぐ壊れたという話を耳にする。これは、選定した照明の全光束の差や駆動部があること、電源に過負荷をかけている等の問題があることが多い。本 LED 照明装置を大空間の工場や倉庫への適用によって省エネ社会へ貢献していきたいと思っています。



石川 光祥