

LED を利用した玄関用照明の開発

中村 怜^{*}，室内 秀仁^{**}，岡本 雅之^{***}

抄 録

現在，玄関灯や門柱灯の光源は白熱球を使用している場合が多く，消費電力やCO₂削減が考慮されていないのが現状である．このような背景から白熱灯照明とLED照明を比べることで，性能や特性，さらにLED化による問題点を明確にした．その結果，玄関照明をLEDに置き換えることで消費電力やCO₂削減，長寿命といったLED自体が持つ特徴と，発光部分の小型化，多彩な色変化によるデザインの優位性から玄関用照明は白熱灯よりLED照明が多くの特長で優れていることが分かった．

1 目的

現在，消費電力やCO₂削減の目的から白熱灯の製造・使用を禁止する動きが活発化している．玄関灯・門柱灯は白熱球を使用している場合が多く，別光源へと変換しなければならないのが現状である．そこでLEDを利用することで価格競争力のある照明を生み出し，既存製品のドアや外壁へ組み込むことで新たな商品への展開を目指した．

LEDの特徴として低消費電力と長寿命が大きな長所として挙げられる．ドアという長期間使用される商品に組み込む以上，LEDの長寿命は玄関用照明として大きな利点である．しかしながら最大の問題としてLED自体が発する熱が製品化に大きな障害となる．ドアや外壁等に組み込んだ商品として考える場合，熱的安全性の確保は最重要課題である．

以上の点から熱的安全性を備えつつ，玄関用照明に使用できる光量を有した電球型照明の開発を行うことにした．電球の口金規格は最も一般的なE26/E27型に決定した．

2 方法

2・1 従来製品の性能測定

日本フネン(株)は本研究を始める前に，他社と共同で制作した玄関用の電球型LED照明が存在したため，その照明性能を最初に測定した．高さ1mの位置に照明を取り付け，照明直下から300cmまで離れた位置での光量を測定し，その後，白熱灯や電球型蛍光灯も測定を行い，3つの照明の光量の比較をした．その結果を図1に示す．

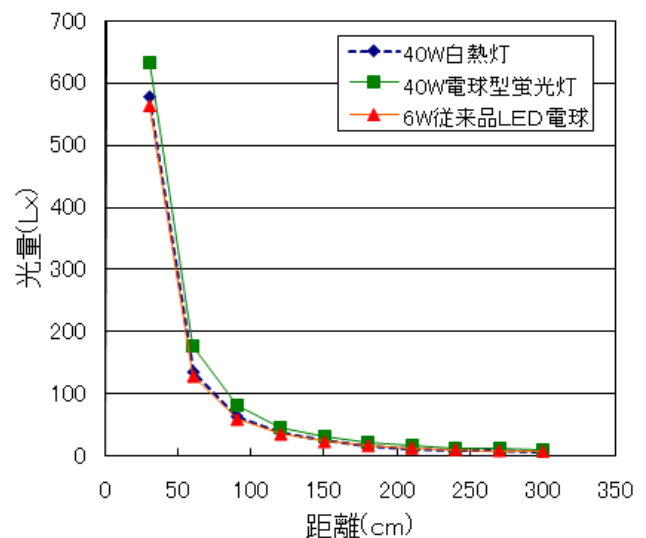


図 1 従来製品の光量比較

グラフから白熱灯と電球型LED照明はほぼ同等の光量を有していることが分かる．しかしながら電球型蛍光灯はすべての範囲で電球型LED照明の光量を上回っており，このLED照明では光量が不足していることが分かる．

またLEDを点灯させる電源について調べてみると定電圧制御の電源回路であった．電圧で制御する一般的な電気用品と違い，LEDの性能を十分に発揮するには電流駆動が望ましい．個々のLEDは電圧値が異なるため，場合によっては電圧で制御すると寿命を確保できないことがある．以上のことから，この電源ではLED本来の性能を十分に出すことが出来ていないこと，LEDの寿命を確保できていないことが分かった．

2・2 新型の電球型LED照明の開発

新たな電球型LED照明を開発するに当たり，日本フネンが共同で作成した電球型LED照明の筐体を利

^{*}企画情報課，^{**}電子機械課，^{***}日本フネン(株)

用することにした。理由としては新たな筐体を作るコストをかけられないこと、筐体材質がアルミで作られているため放熱には適していると判断した。その筐体形状の概要寸法を図2に示す。

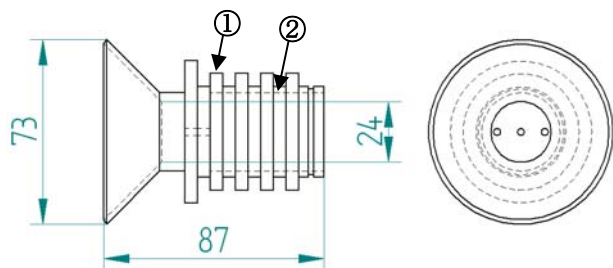


図 2 電球型 LED 照明の筐体

また使用LEDの再検討も行った。LEDの性能の違いを表1に示す。

表 1 LED の諸元表

現状のLED仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・電力: 0.5(W) ・光束: 20(lm) ・サイズ: 3.5x3.5x0.8(mm)
↓	
新たに検討するLED仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・電力: 1.1(W) ・光束: 80(lm) ・サイズ: 6.5x5.0x1.35(mm)

今後、前記に述べた電球型LED照明を旧型、本研究で開発した電球型LED照明を新型と記載する。旧型と新型の使用LEDを比べると光束が4倍になっているのが分かる。LED1個当たりの発光量を増やすことで全体的な性能向上を図った。

しかしながら図2から見て取れるように基板のサイズは直径24mm以下である。新型で使用するサイズはかなり大きくなっておりLED間隔が極めて狭くなった。これは放熱という観点から考えると極めて不利である。さらにLED自体の投入電力も倍増しているため、LEDが発する熱も倍増し、結果として様々な放熱対策を施さなければならなくなった。

LED自体の熱をより多く取り除くためにアルミ基板の選定を行った。さまざまなアルミ基板材料を試し、最もコストと放熱性能のバランスが良いものを採用した。さらにアルミ基板と筐体との密着部分を増やすために熱伝導率1W/mk程度の放熱グリスを

塗った。アルミの熱伝導率は約230W/mkであり、グリスの熱伝導率とは桁が違うため効果が薄いように思われる。しかしながら空気は優れた断熱材であり、数W程度の熱伝導率グリスでも密着させることで空気をなくした結果、大きな熱伝導効果が得られることが分かった。このことから旧型以上にLED自身が発する熱をスムーズに筐体へと熱伝導させることが可能となった。放熱グリス自体は高価格部材だが、使用量自体が少ないため1個当たりの製品コストはそれほど上昇しない。

また熱が筐体を通り口金ソケット部に伝わるため、旧型のソケット材料ではソケット部と筐体の接続部が溶ける恐れがある。そのため新型では材料を熱硬化性樹脂に変更し、熱が加わればソケット部が筐体との接続部を締め付けることで接続強度を上げた。

以上の放熱性・安全性対策を用いたあと防塵防滴のためにLED基板部分を汎用エポキシ樹脂で埋めた。さらに電源に関してもLED点灯用の専用ICを用いて定電流回路電源を作成し、新型に組み込んだ。

2. 3 温度試験

LED内部ある発光素子の温度をジャンクション温度(T_j)と呼び、この温度がLEDの使用できる最大温度を決定する。また T_c はLEDの端子部分の温度である。 T_j を下げる方法は3通りある¹⁾。

1. 投入電力を下げる
2. 環境温度(T_a)を下げる
3. 放熱設計により T_c を下げる

新型照明は光束を増やす目的で使用LEDを変更したため投入電力を下げるのは不可能である。またドアに組み込む性質上、環境温度は想定できない。そのため照明としての熱的安全性を確保するためには放熱設計により T_c を下げるしかない。

またLEDメーカーは T_j の測定にはVf測定法を用いている。Vf測定法とは、あらかじめ温度とVfの関係を測定しておくことで、電流投入時のVfを測定すれば T_j が分かる方法である。しかしながらLEDは封止されているため、設計者には T_j が分からない。そこで T_c を温度測定することで T_j と T_c にはある程度の幅は持つものの、 T_j を推定することができる。その相関関係を示したものが図3¹⁾である。このグラフでは $\Delta T_j = T_j - T_a$ 、 $\Delta T_c = T_c - T_a$ である。

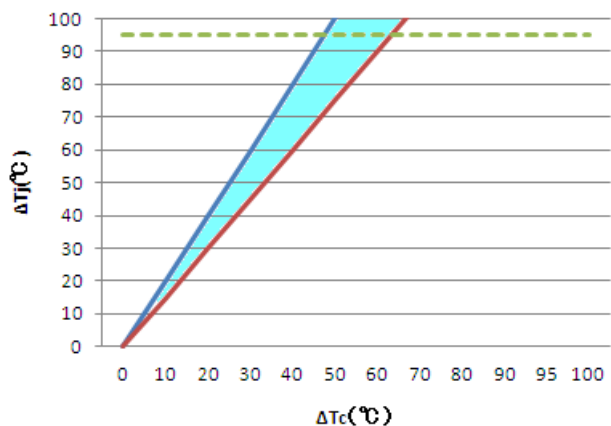


図 3 $\Delta T_j - \Delta T_c$ 相関グラフ

図 3 にある 2 つの直線で囲まれた範囲以下の $\Delta T_j - \Delta T_c$ 関係であれば LED の使用に耐えられる。新型照明に使用した LED 仕様は $T_a = 25^\circ\text{C}$ の環境下のもと $T_j = 120^\circ\text{C}$ 以下、つまり $\Delta T_j = 95^\circ\text{C}$ 以下である。この部分を図 3 に点線で表す。このことから $\Delta T_c = 45^\circ\text{C} \sim 65^\circ\text{C}$ 以下で押さえればよいことが読み取れる。

これを踏まえた上で最初に LED の端子温度 (T_c) を調べた。図 4 は LED と筐体の温度比較結果である。環境温度は $T_a = 25^\circ\text{C}$ で一定とした。

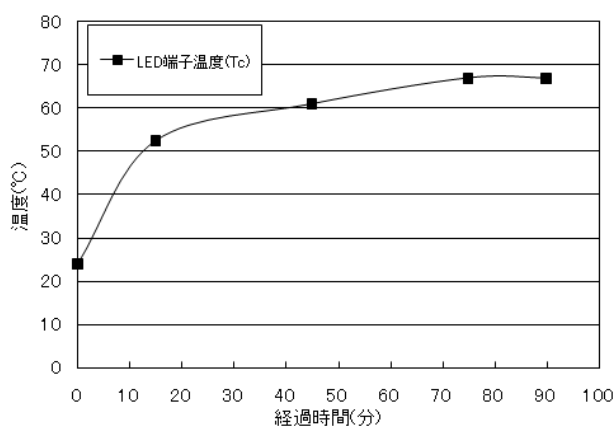


図 4 LED 端子温度の測定

LED 端子温度を見ると点灯開始から最初の 20 分の間に大きく温度上昇しており、LED 自体がかなり発熱していることが分かる。その後、徐々に傾きが小さくなり 80 分以降は $T_c = 68^\circ\text{C}$ で一定になった。上記の式に代入すると新型照明の放熱方法による LED 端子温度は $\Delta T_c = 43^\circ\text{C}$ であるとともに $T_j = 120^\circ\text{C}$ 以下であることから LED 仕様を完全に満たし

ている。

次に LED が発した熱が筐体へきちんと伝わっているかを見る。熱電対による測定部分を決めて時間ごとの温度を測定した。測定部分は LED 基板と筐体を接続する「ねじ」、電源を入れる「ボディ内」、筐体のフィン外 (図 2 の①)、筐体のフィン内 (図 2 の②) の四点とした。

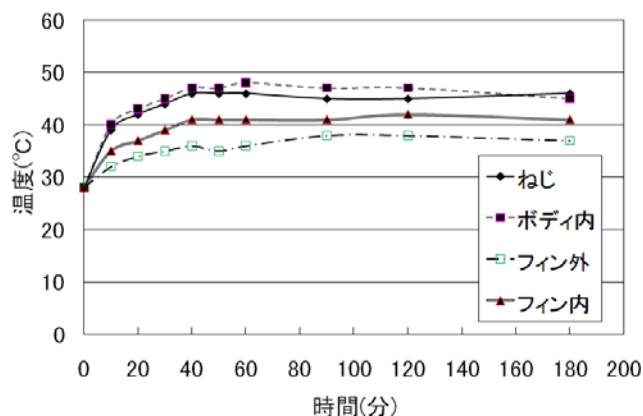


図 5 熱電対による熱測定結果

その結果を図 5 に示す。測定部分の四点とも測定開始 20 分後までに大きく温度上昇していることが見て取れる。これは図 4 の上昇カーブと同じ現象であり、LED が発した熱が筐体へきちんと伝わっていることが分かる。また、ねじの温度上昇は 50°C 以下で止まっており、この程度の温度ではねじを埋めている汎用エポキシ樹脂の熱による劣化は考えられない。筐体内部の温度も 40°C 後半で安定している。つまり電源の環境温度は 40°C 後半であり、そこから電源自体が発する熱が加わることで電源の温度は 50°C 以上と想定される。その結果、電解コンデンサー等の熱に弱い部品が熱破壊される恐れがあるため、これらの部品を高温でも耐える仕様に変更した。最後にフィン外とフィン内の温度差を見ると 5°C 以上の差がある。これはフィンによって空気と接触する面積が増え、その結果、筐体の熱がフィン外から空气中に放出されていると考えられる。

以上の結果から LED 端子温度の仕様を満たしており、かつ筐体内部の温度が 40°C 後半で安定していることから新型照明は熱的安全性を備えていると言える。

2. 4 耐久性試験

次に長期間過酷な環境下で置かれた後、正常に点

灯するかを試験を行った。

筐体材料は表面をメッキで保護してあるもののアルミニウムであり、ドアに組み込む場合に常に腐食・防食を考慮する必要がある。そのため海浜部での使用を想定して「複合サイクル試験機」で腐食加速のためのサイクル試験を行った。二週間の腐食加速試験後、新型照明の再点灯を行い、電源の劣化や配線の腐食などを調べたが問題なかった。

次に「恒温恒湿装置」を使い、気温 80℃湿度 90%の過酷な環境下での耐久試験を行った。その結果、二週間の耐久試験を行った全ての新型照明の LED 光量が著しく減少する現象が発生した。これは過酷な環境下における LED の放熱不足だと考え、逆に温度が低い環境で長期間点灯させたが同じ現象が発生した。このことから熱的原因で LED が劣化したのではなく他の要因であることが分かった。汎用エポキシ樹脂を使った新型照明と使っていない新型照明を恒温恒湿装置で再度試験を行った結果、使っていない新型照明は LED 劣化が見られなかった。これはエポキシに含まれる成分が LED の発光面にあるシリコンを侵食し、シリコンとダイを劣化させるのだと考えられる。この試験の結果からエポキシで埋めた部分を切り抜いた透明アクリル板で代用することにした。

3 結果と今後の予定

上記の改善を行った新型の光量を測定し、電球型蛍光灯と旧型で比較を行った。その結果を図 6 に示す。測定方法は図 1 と同じである。

新型はすべての範囲で光量は他と比べてそんな色なく、特に 100cm までの光量は群を抜いて高い。このためドアや外壁等に組み込む照明としては十分な明るさが得られた。また消費電力も約 5W と激減し、目的の省エネルギーを達成した。寿命も上記の研究結果から約 4 万時間の長寿命が得られたものと考えられる。

しかしながら照明中心から距離が増えるにつれて他の照明との光量の差が小さくなっている。特に 100mm 以上からは差が見られない。これは図 2 のデザイン上、筐体先端に傘がついているため LED 光の広がりを遮断している。そのため他の照明と同等程度の光量しか得られていない。このままのデザイン

ならば玄関灯や表札灯などのスポット的用途の照明として利用することが望ましい。

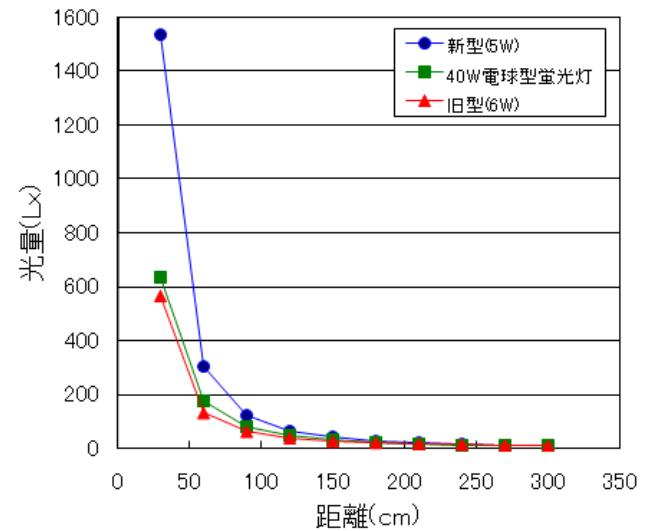


図 6 新型照明の光量比較

そのため今後は新型の性能向上と並行して、距離が伸びても他照明との光量の差が見られる広がりのできる照明の開発、さらに新型よりも小さい筐体と口金を使用した E16 型 LED 照明の開発も行いたいと考えている。

参考文献

1) 日亜化学株式会社：「パワーLEDの放熱設計について」

<http://www.nichia.co.jp/specification/jp/appli/thermal.pdf>