

## 高輝度 LED 照明装置の技術課題

LEDに関する誤解が広く蔓延しておりますので、それを訂正し、LED照明装置がどのような発展・普及をするかについて、平成18年9月時点での展望を行ってみました。

LEDに関する最大の誤解は、「LEDは発熱しない」というもので、これは明確に間違っています。正解は、「他のどんな発光デバイスよりも多く発熱する」です。

### 1. 「既存の電気・光変換デバイスの原理と変換効率」

電気エネルギーを可視光に変換する装置を「ライト」と呼び、LEDもその仲間です。この可視光変換率は、電力1Wあたりから発生する全光束（ルーメン）で表します。

あらゆる原理のライトの中で、一番変換効率がよいものは低圧ナトリウムライトです。これはナトリウム蒸気を放電励起し、電子が元軌道に戻る際に光を出します。（励起される物質が違うだけで、水銀灯やHIDや、メタルハライドライトも含め放電管は全て同じ原理です）。

ナトリウム蒸気の場合、残念なことに出てくる光が単色光であり、このライトで照らすと、全てのものが同じ色に見えるモノクロームの世界が現れます。業界用語では、「演色性が悪い」といわれます。このため屋内照明には今後とも使えそうにありません。

次に高効率なものが、蛍光灯です。これは、水銀蒸気を放電励起して発光させますが、紫外線（UV光）しか出てきません。それでは照明に使っても真っ暗なままですし、みんな皮膚ガンになってしまいます。そこで、ガラス管の内面に蛍光体を塗布し、UV光を吸収させて、ここから可視光を輻射する仕組みです。可視光変換率は、現在100～120ルーメン/W 程度の変換率です。消費した電気エネルギーの何%が、可視光のエネルギーに変換されたかを示す「エネルギー変換効率」で表現すると約20%程度です。

白熱球やハロゲンライトはフィラメントを加熱して光を得る熱輻射です。可視光変換率は10～15ルーメン/W の値です。

LEDは、日亜化学工業が現在出荷している最新のもので、52ルーメン/W 程度です。メーカーの開発スケジュールでは100ルーメン/W ぐらいまでが視野に入っており、この時点で、効率的には蛍光管に追いつくこととなります。放電管やフィラメント電球の光変換効率がほぼ上限に達していると考えられるのに対して、LEDのほうはまだ発展途上であり、今後変換効率がどの程度まで向上するものかはよく分かっていません。

照明用として期待されるハイパワー高効率型のLEDは、ほとんどが白色で、今後ともそれが続くはずですが、白色LEDは、RGBなど複数の単色光LEDを混色しても作れますが、最新のLEDではこの方式はあまり使われません。青色（日亜）、UV（豊田合成など）のLEDの上に、蛍光体を混ぜたモールド樹脂（シリコン）を被せ、LED光による励起と蛍光体の発光で白色を作ります。

### 2. 「光にならなかったエネルギーの行方」

ここで考えていただきたい問題は、可視光にならなかった電気エネルギーの行方です。

フィラメント球では、可視光にならなかったエネルギー（95%以上）の大半を、赤外線輻射として外部に直接捨てます。従って、こういう種類のライトは、放熱対策を行う必要がありません。また、構成材料が、ガラス、タングステン、黄銅などで、熱に弱い部分がなく、放熱のためにコストをかける必要がありません。故に、大変安く製造できます。価格は光量や消費電力に関係なく、1個50円程度です。大手家電メーカーの製品の中では最も安い分野の製品です。製造コストは極限まで下げられており、新規参入できる余地はほとんどありません。

蛍光灯の場合、消費電力の内、可視光に変換されて出てくる光は約20%、それから、30%が赤外線として輻射されます。残りの50%は、管で直接熱になります。従って点灯中は手で触れないほど高温になりますが、構成材料が金属とガラスあるいは無機物質などであり、熱で壊れることはありません。この場合も放熱のためにコストをかける必要はありません。現在の市販品は、極めて低価格の大手家電製で占められており、新規参入の余地はありません。

LEDの場合には、熱収支の事情がこれらの既存デバイスと大きく異なります。エネルギー変換効率は現状で20%、数年後には30%に到達しそうですが、可視光しか出しませんので、残りの70～80%のエネルギーは、LED素子部で直接熱になります。

ところが、LEDは熱に弱いデバイスであり、メーカーの動作保証温度は-10～+85 程度です。温度上限に近づくと輝度が下がり、これを超えると破損します。また、温度上限付近で使うと、4万時間程度といわれる寿命が保証されなくなります。このため、LEDライトの場合には、性能を維持し寿命を保証するために、動作中のLED温度を50 程度以下とするために積極的に冷却する必要があります。

### 3. 「熱の捨て方」

例えば、効率が蛍光灯と同じLEDを使った、消費電力が40WのLED電球があると考えてください。この場合には全光束は蛍光灯と同じですが、配光特性が違っているのでLED電球の方がより明るく感じられるはずですが、この電球は熱的には36Wのヒータと同じものです。ただし、その加熱部温度を50℃に維持しなければ壊れてしまうという困ったヒータです。つまり36Wの熱をどこかに捨てる機能を持たなければ、ライトにはならないわけです。

この程度の温度では、デバイスからの赤外線輻射はほとんどありません。従って、LEDが直接接触している電子基板への伝熱に頼ることになります。LEDが実装される基板をアルミ製にし、基板をさらに大きな放熱部に連結します。

放熱部からの放熱は、通常、空気への伝熱に頼ります。伝熱量は、空気層との接触面積（要するに放熱部の表面積）と、両者の温度差に比例して増えます。空気の流れがないと、表面付近の空気温度だけが上がり、伝熱が行われなくなりますので、放熱部の周辺には積極的に空気流を作る必要があります。

これは、ファン・ブローアを使うと簡単ですが、このモータ寿命がLEDよりも短くては意味がありません。しかしながら、小型DCモータの寿命はそれほど長くありません。放熱部の周辺に熱対流が発生するようにその形状を工夫するだけで済めばそれが最適です。

ただし、天井壁に埋め込まれたダウンライトなどでは、下向き円錐状空間にライト部が入るため、放熱形状を工夫しても空気対流は起こりません。

ハイパワーLEDを高密度に実装した、高輝度型ライトでは、ファンでも追いつかなくなります。より能動的な熱移動のため、ペルチエ素子や、ヒートパイプを用いた製品例もあります。ただし、家庭用照明装置としてそのように複雑で高コストの放熱部を持つライトが普及するという見込みはありません。

今回発表された東芝製のE26ソケットLEDランプは消費電力2.2Wです。内部にAC-DC変換と電圧降下のためのDC-DC変換、および定電流駆動回路を内蔵しておりその部分での電力消費がありますので、LEDでの消費電力は1W程度だと思います。従って発熱量も大したことはないので、ボディーや半透明のドーム部分がプラスチック製となっています。

県庁北側入り口に試験設置したものは、消費電力6Wです。このクラスでは、プラスチックボディでは放熱が追いつかないため大きな放熱フィンを持つアルミダイキャスト製のボディを用いています。それでも、白熱球の20W相当の明るさしかありません。（以前よりだいぶ暗く感じるはずですが）

牟岐東漁協は、白熱球の40W相当の明るさを持つ9WクラスのLED作業灯を試作しましたが、これには、上のものより大径化（60mm）した縦型フィンを持つアルミ砂型鋳造ボディが必要でした。これでもまだ放熱は追いついていません。日亜化学製最大輝度（42ルーメン、当時）LEDを6個使用しています。

### 4. 「照明装置光源の主流となるために」

LEDライトが、蛍光灯20W程度のクラスの明るさを持つようになった時に（効率が同程度になれば、そのLEDライトの消費電力も20Wのはずです）、その価格が十分に安ければ、それが既存照明装置に置き換わる時代が始まるのかもしれませんが。それはどの程度の価格でしょうか。

今年の8月に、20W蛍光灯置き換え型のLEDライトが1万円程度で販売されます。製造原価を5000円としますと、その半分はLED購入費で、残りがボディや放熱部、駆動回路のコストです。LEDの価格は今後も下がり続けるでしょうが、例えそれが0円になったとしても、残りの部分のコストはそれほど下がる要因はありません。従って、20W蛍光灯相当のライトが、市価5000円程度。皆さん買いますか？

効率が同じなら、CO2発生量も同じです。水銀は使いませんが、構造が複雑な分だけ、リサイクルコストは高くなるはずですが。従って、予想できる範囲内に於いて、LEDライトが蛍光管に置き換わる見込みは無かろうと考えられます。では、実際には何が起るのでしょうか。

現状でのLEDライト側のアドバンテージは、

10倍程度長寿命であること、

LEDは小さいデバイスなので、照明装置を薄型にできること、

導光板と組み合わせると面発光させることができること、

極めて高速にON/OFFできそれが寿命に一切影響しないこと

などです。

は、街路灯やロビーの天井など、球切れ交換時のコストが高い場合に有効になります。高所作業車や高所作業員の経費は大変高いので、蛍光灯がいかに安かろうと問題になりません。また、管交換を前提として照明装置を設計・製造しなくても良いために、照明装置の構造を非常にシンプルにできますし、防塵・防水性

を与えることも簡単にできます。

では、照明装置の厚みを考慮して建築設計をしなくても良いため、天井高さを有効に使えます。室内側を発光部、天井裏側を放熱部とすることで、天井パネル取付工事の一部として施行できます。その使用を前提として建築設計を行えば、建築コストを削減することができそうです。

アクリル板など、光透過率の高い板材の端面に光源を配置し、板の片面をショットブラストや印刷などで光が拡散反射する加工を施すと、全面が一様に発光する面光源が得られます。これは現在、携帯電話の液晶バックライトなどに使われており、今後はノートPCや、大型の液晶TVなどのバックライト用として、徐々に大型化しています。もちろん、LED以外の光源でも導光板による面光源は作れますが、LEDが最も小さい発光デバイスであるために、導光板を薄く(従って安く)することができます。

LED直接光や白熱球は点光源で、蛍光管は線光源です。居住空間やワークスペースに於いては、視野内に大きな輝度勾配があることは望ましくありません。LED導光板照明なら天井全体を一様に軟らかい光で発光させることが可能です。このような環境下では、強い影はできず机やPC画面にも、照明の写り込みがありません。もちろん、拡散透過板をと蛍光管を組み合わせても同じ面光源はできますが、LED+導光板の方が圧倒的に薄くできます。

現在の放電管は調光(明るさ)制御ができません。間引き点灯を行うには、電気配線のコストがかさみます。LEDの調光は、駆動電流や電圧の制御でも行えますが、通常は、パルス点灯させてそのデューティ比(ON時間とOFF時間の比)を変化させて発光量(=発光時間)を変えます。その方が安く、かつLEDの温度が下げられ、従って長寿命化できるからです。この調光制御は、センサー類と組み合わせて使うと高い付加価値が作れます。

#### 「光センサーとの組合せ」

例えば、光センサーと組み合わせて、環境の明るさに応じて自律的に輝度を変えられる照明装置が作れます。

昼間に点灯し、夜に自動点灯するとかの単純なものではありません。昼間でも、晴れているときは輝度を下げ、太陽に雲がかかると少し明るくなる。あるいは、窓の近くのものには輝度を下げて、窓から遠い位置ではより明るくなり、結果として、室内のどこでも、一様な明るさが保証できる。そういう制御が、光センサーを組み込んだLEDライトでは容易にできます。ライト単体の機能なので取付工事が高コストになることもありません。

#### 「赤外線センサーとの組合せ」

人がいない部屋で照明装置を点灯する必要は普通ありません。赤外線人体センサーをLEDライトに組み込めば、近くに人がいる場合にだけ明るくなり、遠ざかれば輝度を下げよう機能を付加することができます。これは、廊下の照明装置としてかなり有効ではないでしょうか。

普段は薄暗く最小限の明るさを確保しておいて、人が近づいてくればゆっくり明るくなり遠ざかればゆっくり暗くなる、というような制御が、ライト単体で自律的に行えます。これを廊下照明に使えば、明るさが歩く人についてくるようなSF的な廊下が作れます。ちなみに、LEDは、発光していないときには光センサーとしても機能しますし、赤外線光源もLED化されています。

結局、 から までのような機能を包含し、LED照明装置として取付・施工法も含めて専用設計され、さらに、単体でのインテリジェント化などにより、照明機能に対する社会の考え方が変わっていくようになって初めて普及が始まるのではないのでしょうか。既存の照明装置を置き換えていくような形での普及の仕方は無かるうと考えています。

上に書いたような機能は、技術的には現在でもの技術で全て実現可能ですので、十分なコストをかければ、そのようなインテリジェント照明を持ったモデルルームを作ることは可能です。