

白色LEDの超高輝度発光技術の開発

白色LEDの冷却技術に関する研究

小池 明, 中濱久雄, 倉本丈久^{*1}, 大賀 誠, 古川 昇

Development of Ultra-High-Brightness White LED Substrates

The Technology for cooling White LED Substrates

KOIKE Akira, NAKAHAMA Hisao, KURAMOTO Takehisa, OHGA Makoto and FURUKAWA Noboru

We propose a cooling system for the ultra-high-brightness white LED(Light Emitting Diode) substrate on which LED elements are densely mounted. Although an LED is one of the most efficient light sources, a certain part of the electric energy is converted into heat, and the heat may damage the LED itself. The job of the cooling system is to keep the LED substrate from overheating by transferring this heat to the air. With the help of the cooling system, the LED substrate achieved a very high light intensity of 10,000mcd/cm².

白色LED(発光ダイオード)素子を高密度に集積した超高輝度LED基板を冷却するシステムを開発した。LEDは高効率の光源であるが、高密度集積すると熱で破壊される恐れがある。そこで、LED基板を効果的に冷却することにより、10,000mcd/cm²という高輝度を達成した。

キーワード：高輝度LED, 白色LED, 白色発光ダイオード, 冷却技術

1. 緒 言

大型の道路標識等の標識は、照明としてこれまで蛍光灯やメタルハライドランプが使われてきたが、消費電力が大きく、寿命が短いという欠点がある。これに対し、白色LEDは、消費電力が小さく、寿命が長い、現状では輝度が不足している。

高輝度LEDの世界市場は、2000年に10億ドルを越えた¹⁾。そして、材料の開発・進歩により、その高輝度化が進んでいる。しかし、従来の白色LEDランプを用いる限り、光源の高輝度化にも限界がある。

LED素子を基板上に高密度集積すれば高輝度にできると考えられるが、LED自身からの発熱により素子や基板が破壊されたり、劣化が進むという、大きな問題がある。

そこで、本研究では、白色LED素子を高密度集積することによる発熱量を計測・評価し、素子を効果的に放熱・冷却する技術を開発すること、そして、白色LED基板を面発光標識に応用することを試みた。

2. 発熱および冷却の原理

発熱体の単位時間あたりの温度上昇率 dT/dt は、

$$dT/dt = (W_0 - W)/C$$

で表される。ここで

W_0 : 単位時間あたりの発熱量 [cal/s]

W : 単位時間あたりの放熱量 [cal/s]

C : 熱容量 [cal/K]

$C = cM$ c : 比熱 [cal/K·g], M : 質量 [g]

である。

このことから、

- 1) 発熱量と放熱量の差が大きいほど、温度上昇は大きくなる。
- 2) 熱容量が大きいと温度上昇は緩やかになる。
- 3) $W_0 = W$ になれば、温度は上昇しなくなり、定常状態となる。

と考えられる。

また、シュテファン=ボルツマンの法則より、黒体はその表面の単位面積当り単位時間に出す放射エネルギー E は、

$$E = \sigma T^4$$

である。ここで、

T : 黒体の絶対温度,

σ : シュテファン=ボルツマン定数,

$$\sigma = 5.67032 \text{ [J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4\text{]},$$

である。よって、単位時間あたりの放熱量 W [cal/s] は、

$$W = 4.186 \times S \sigma (T^4 - T_0^4) + Q$$

となると考えられる。ここで、

S : 有効表面積 [m^2],

T : 物体の絶対温度 [K],

T_0 : 周囲の絶対温度 [K],

Q : 対流(自然対流+強制対流)による放熱量 [cal/s]

である。

したがって、

1) 物体と周囲との温度差が大きいほど放熱量は大きくなる。

2) 有効表面積が大きいほど、放熱量は大きい。

と考えられる。そこで、 T が低い値で、 $W_0 = W$ となる(定常に達する)ためには、

①有効表面積 S を大きくする。

②対流による放熱 Q を大きくする。

とすればいいので、

1) 強制対流させる(ファンの風を当てる)こと、

2) 放熱フィンを、風が通りやすい形状にすることが有効であると考えられる。

3. 発熱実験

3.1 実験用基板の試作

チップLED基板が未完成の間は、その発熱を模擬するため、同等の消費電力となる抵抗を熱源とした。図1に示すとおり、チップLED (3.6V, 20mA) が2mmピッチで185個集積した消費電力に相当する抵抗を基板に実装した。この場合、消費電力は、

$$3.6 \text{ [V]} \times 20 \text{ [mA]} \times 185 = 13.3 \text{ [W]}$$

となる。

試作した基板を写真1に示す。

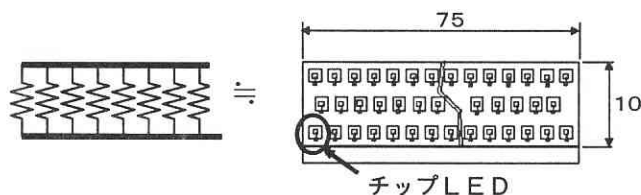


図1 チップLED基板と等価な抵抗回路

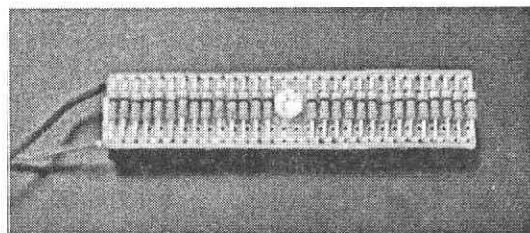


写真1 試作した抵抗基板

3.2 放熱フィンの取り付け

写真1で示した基板に、図2に示すとおり、放熱用フィンを取り付けた。熱伝導を良くするため、基板を介して、抵抗を1mm厚銅板に直接ハンダ付けした。

また、材料の凹凸による隙間を埋め、絶縁、熱伝導を良くするため、シリコングリス、熱伝導性両面テープ、シリコンラバーシート等を充填した。

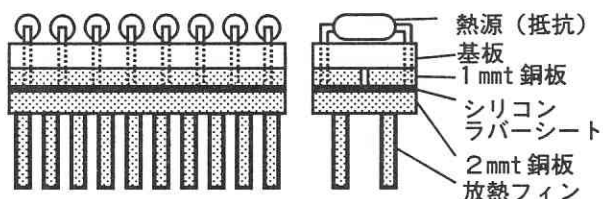
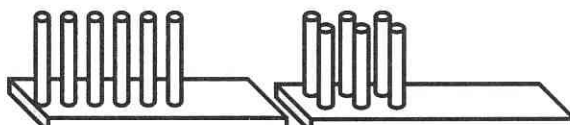


図2 試作した抵抗基板および放熱フィン

3.3 フィンの配置及び本数と冷却効果

図3に示す、①～③の3通りのフィン配置での冷却効果を実験により検証した。



- ①棒状フィン(銅φ3×30mm)6本直列
②棒状フィン(銅φ3×30mm)6本密集
③上記①および②の併用(棒状フィン12本)

図3 棒状フィンの配置

なお、用いた棒状フィンの材質は、無酸素銅である。この実験結果を図4に示す。フィン配置の違いによる熱源(抵抗)温度の有意な差は認められず、フィンの本数が多いほど冷却効果が高いといえる。

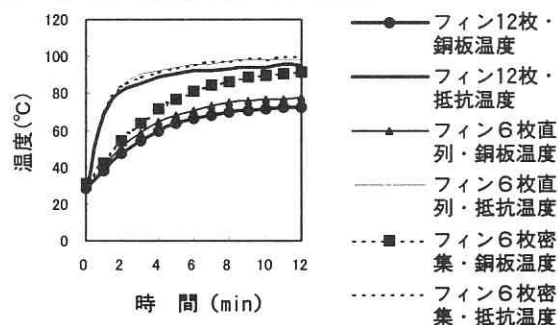
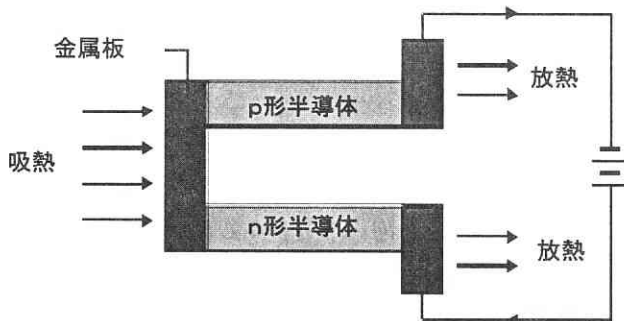


図4 棒状フィンの配置と冷却効果

3.4 ペルチェ効果とその応用

ペルチェ素子による冷却の原理を図5に示す。種類の異なる二つの導体を直列につなぎ、直流電流を流したとき、導体のつなぎ目で、熱の発生または吸収が起こる現象をペルチェ効果という。



(C) 1998-2000 Hitachi Digital Heibonsha

図5 ペルチェ効果

前述の抵抗基板にペルチェ素子のみを貼り付け、放熱板を取り付けない状態で温度を測定した結果を図6に示す。ペルチェ素子自身も発熱するため、十分に放熱しなければ、かえって温度が上がってしまうことがわかる。

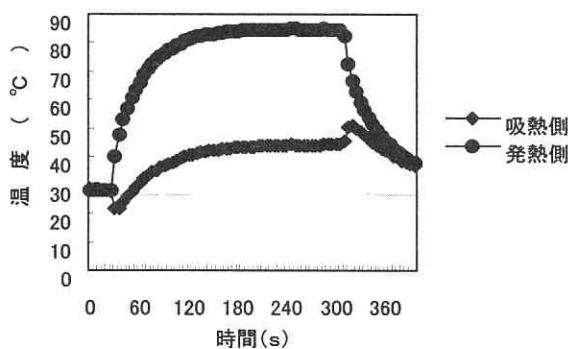


図6 抵抗基板およびペルチェ素子の実験結果

また、抵抗基板にペルチェ素子と十分な放熱板(280mm×180mm×1mm銅板および280mm×180mm×5mmアルミニウム板)を取り付けた状態で温度を測定した結果を図7に示す。このように十分な放熱ができれば、かなり大きな冷却効果が期待できる。

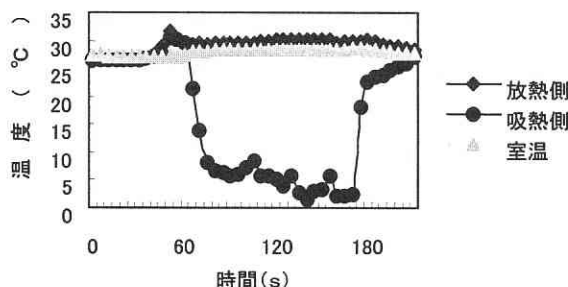
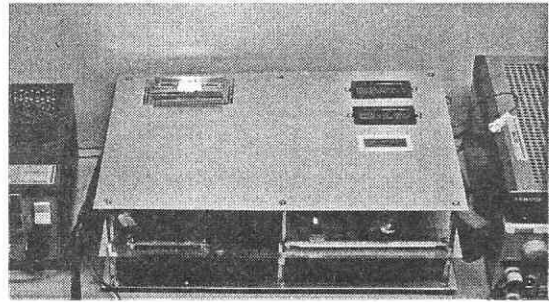


図7 大きな放熱板があるときのペルチェ素子の効果

次に、ペルチェ素子によるLEDランプの冷却効果を写真2に示す実験装置で検証した。



製作：(株)システムインテグレイトラボ

写真2 ペルチェ素子によるLEDランプの冷却実験

このときのLEDランプの温度変化を図8に示す。

ペルチェ素子の電圧は5.0V、電流は1.0Aほどであるが、十分な冷却効果を得ることができた。

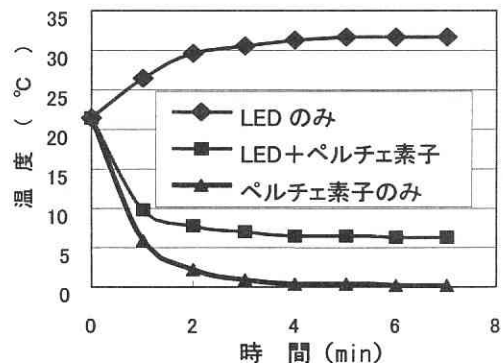


図8 ペルチェ素子によるLEDランプの冷却効果

3.5 筐体内装着状態を模擬した実験

本研究では、白色LED基板を面発光標識として応用することを想定している。この場合、図7に示した実験のような大きな放熱板を取り付けることはできず、限られた空間内で放熱・冷却させる必要がある。

そこで、実際に標識として使われる状態、すなわち、筐体に囲まれ、わずかに通気スペースがある状態を模擬し、図9に示す装置により放熱冷却効果を検証した。

なお、この実験では、図10に示すアルミニウム一体型ヒートシンクを用いた。発光前及び発光後の面発光装置を写真3に示す。

LEDを発光させたときのチップLED基板の温度変化を、図11に示す。定格消費電力で送風がない場合でも、最高温度は60℃程度に抑えられており、メーカーが保証するLEDの上限温度(100℃)よりも低い。送風がある場合は、約30℃までしか温度が上昇しない。このように、試作した面発光装置は十分な冷却効果があるといえる。

3.6 LED基板の輝度測定

試作したLED基板の照度を写真4のとおり測定し、輝度に換算したところ、10,000mcd/cm²であった。

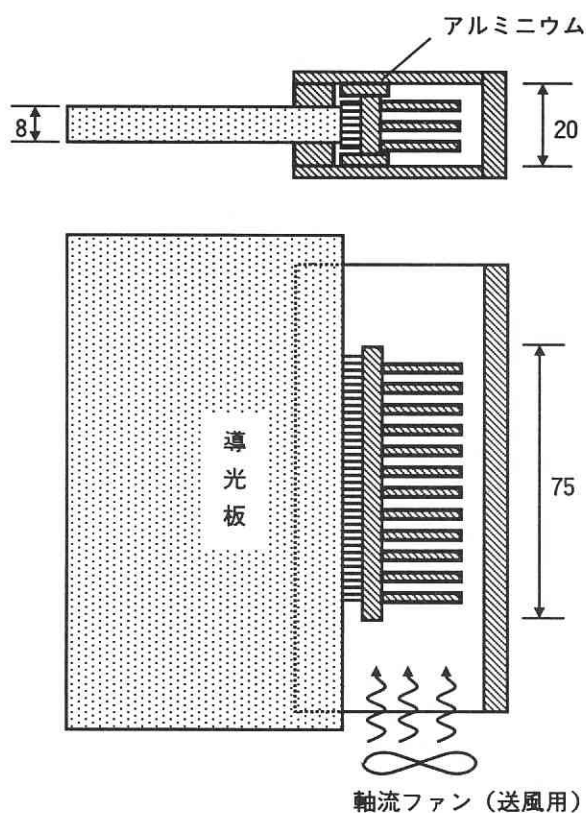
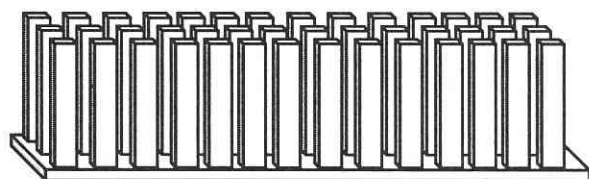


図9 LED基板による面発光装置



フィン形状：3mm×21mm×2mm
フィン枚数：縦3枚×横15枚

図10 アルミニウム一体型ヒートシンク

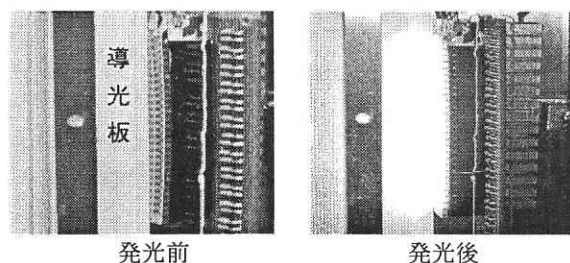


写真3 LED基板による面発光装置

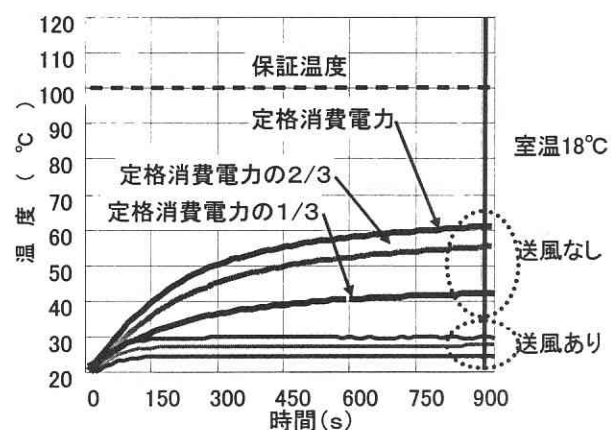


図11 LED基板の温度変化

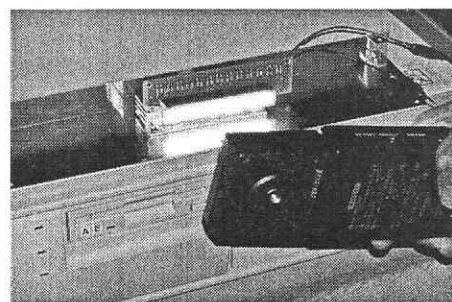


写真4 LED基板の輝度測定

4. 結 言

高密度集積した白色LED基板の発熱・冷却特性を解明し、効果的に冷却することにより、10,000mcd/cm²という高輝度を達成した。

今後は、LED基板にレンズ系を付加して配光曲線を改良し、デューティ点灯制御などを取り入れて、消費電力を削減し、さらなるコストパフォーマンスの向上を図っていく予定である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導頂きました広島工業大学工学部田中武助教授、ご協力頂きました榎荒川、エクセル㈱、㈱システムインテグレイトラボに深く感謝いたします。

文 献

- 1) Strategies Unlimited: "High-Brightness LED Market Review and Forecast 2001", Strategies Unlimited(2001).