

◆ 第4章

発熱に配慮して効率良く駆動するために パワーLEDの特性と駆動方法

塚本 勝孝/延原 高志
Katsutaka Tsukamoto/Takashi Nobuhara

第3章では、順電流が数十mAの高輝度LEDについて説明した。第4章では、順電流が数百mAと高いパワーLEDの諸特性と駆動の基礎について解説する。パワーLEDを安定して動作させるためには、放熱構造についてもしっかり検討する必要がある。
〈編集部〉

パワーLEDといっても、内蔵されているチップは、通常のLEDと大きな違いはありません。大電流による発熱を効率良く逃がすための放熱構造をもっているだけです。

表4-1に白色パワーLEDの電気的特性の一例を示します。動作電流は350mAと、通常のLEDの10倍以上ですが、このときの V_F は3.5V付近です。つまり、電圧に対する電流の変化も通常のLEDと比べて大きくなります。

図4-1にこのパワーLEDの順電圧-順電流特性を示します。また、図4-2に示すように V_F はジャンクション温度が上がると低下します。

電気的特性で注意するポイントは以下ようになります。

- (1) V_F のばらつきが大きい
- (2) 順電圧-順電流特性の傾きが大きい
- (3) 大電流のためジャンクション温度が高くなりやすい
- (4) ジャンクション温度が上がると V_F が低下する

● 定電圧駆動は不可能

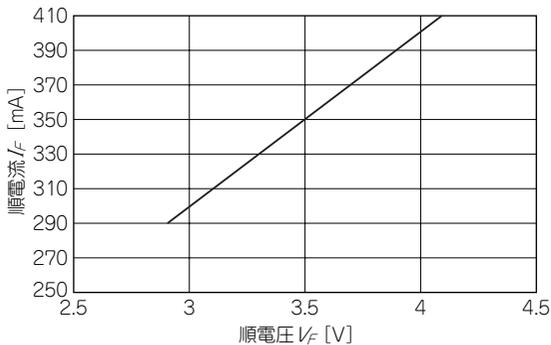
実際にパワーLEDをドライブするにはどうしたらよいでしょう。 V_F のばらつきについては、電源電圧の調整や電流制限抵抗で対応可能ですが、そのほかの3項目の特性は相互に影響し合うため非常にやっかいです。

仮に、電源電圧や電流制限抵抗でLEDに印加する電圧と電流を3.5V/350mAに調整したとします。このまま一定電圧でドライブすると、

- ① ジャンクション温度が上昇
- ② V_F が低下(一般的には $-2\text{ mV}/^\circ\text{C}$)

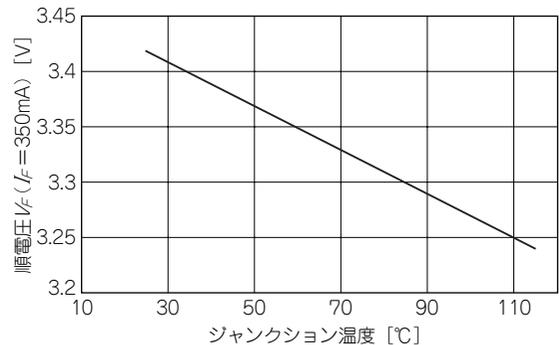
〈表4-1〉 パワーLEDの主な電気的特性(LUXEON Star LXHL-MW1C, Philips Lumileds社)

順方向電圧 V_F [V] ($I_F = 350\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)			絶対最大定格		
最小	標準	最大	順方向電流 [mA]	パルス順方向電流 [mA]	ジャンクション温度 [°C]
2.79	3.42	3.99	350	500	135



〈図4-1〉 パワーLEDの電圧-電流特性

電圧に対する電流の変化が、高輝度LEDに比べると大きい。



〈図4-2〉 パワーLEDの温度-順電圧特性

ジャンクション温度が上がると V_f は低下する。

③電流が増加(仮に100℃になると350 mA → 370 mA)

④さらに電流が増加しジャンクション温度と電流値とも最大定格を越える

⑤寿命が短くなる(最悪の場合破壊に至る)

という過程をたどることになります。

したがってパワーLEDのドライブには、

(1)適正な放熱設計

(2)状況に応じた電流制御

の2点が不可欠ということになります。

パワーLEDの放熱設計

パワーLEDは他のパワー・デバイスと同様に、ジャンクション温度を絶対最大定格以下にすることが必要となります。

このためパワーLEDは、アルミ・ベース基板に実装し、さらにヒートシンクに取り付けて使用します。ここでは、熱抵抗によるヒートシンクの選定方法を解説します。

● 熱抵抗とは

まず、熱抵抗とは何でしょう。熱抵抗 R_{θ} は $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ という単位で表され、熱の伝わりにくさを数値化したものです。温度差 $[\text{^{\circ}C}]$ を電位差、発熱量 $[\text{W}]$ を電流に読み替えると、熱抵抗は抵抗値ということになり、オームの法則とまったく同じ手法で計算できます。

● ヒートシンクの熱容量を計算する

それでは、LUXEON Star (Philips Lumileds社)の1Wタイプを例に、必要なヒートシンクの容量を算出してみましょう。条件は以下のように設定します。

周囲温度 $T_A = 60^{\circ}\text{C}$

ジャンクション温度 $T_j = 120^{\circ}\text{C}$ (135℃の絶対最大定格の90%)

発熱量 $P_d = 1.2\text{ W}$ (3.42 V × 350 mA)

絶縁シートおよびシリコン・グリスの熱抵抗の合計値 $R_{\theta g} = 2.5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$
 ジャンクションから大気までの熱抵抗 $R_{\theta J-A}$ は、

$$R_{\theta J-A} = (T_J - T_A) \div P_d = 50\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

図4-3から、

$$R_{\theta J-A} = R_{\theta J-S} + R_{\theta S-B} + R_{\theta B-A} + R_{\theta g}$$

なので、ヒートシンクの熱抵抗は、

$$R_{\theta B-A} = R_{\theta J-A} - (R_{\theta J-S} + R_{\theta S-B} + R_{\theta g})$$

LuxeonStarのデータシートによると、

$$R_{\theta J-S} + R_{\theta S-B} = R_{\theta J-B} = 20\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

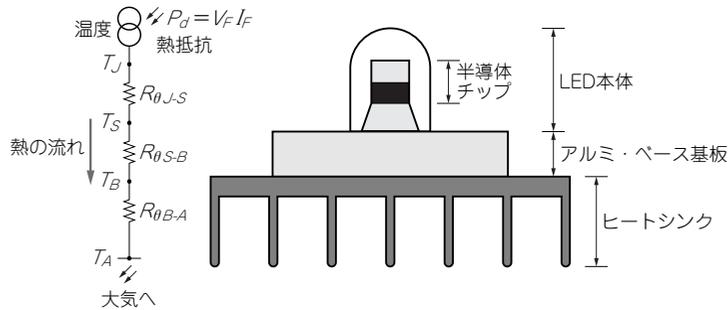
なので、

$$R_{\theta B-A} = 50 - (20 + 2.5) = 27.5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

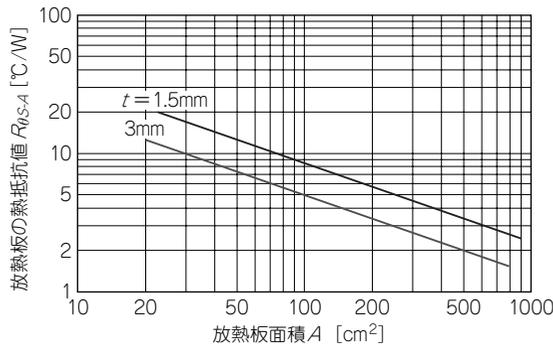
となります。

目安ですが、厚さ1.5mmのアルミ平板に必要な面積は、図4-4から20cm²弱となり、5cm角程度が必要であることがわかります。

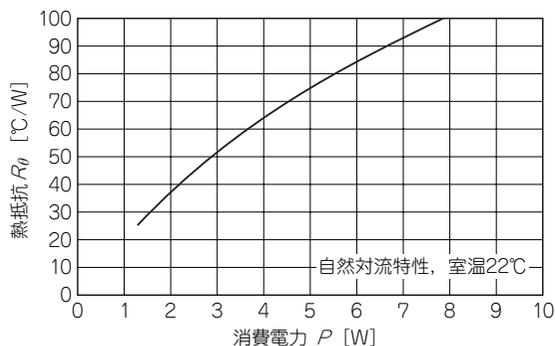
ヒートシンクを使用する場合は、ヒートシンクの熱抵抗から選択できます。図4-5はK3030-10B [株川手] のデータです。1.3Wで25.95[°]C/Wです。写真4-1はこのヒートシンクに1WのLUXEON Starを取り付けたところです。取り付けにはサンハヤトの「固まるシリコン」を使いました。



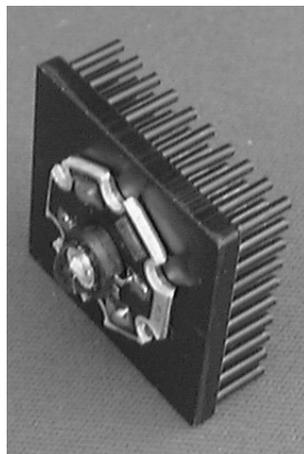
〈図4-3〉 パワーLEDの熱抵抗モデル



〈図4-4〉⁽³⁾ アルミ平板の熱抵抗



〈図4-5〉 ヒートシンク K3030-10Bの熱抵抗特性 (株川手)
1.3 Wで25.95 °C/Wである。



〈写真4-1〉 ヒートシンクを取り付けたパワーLED

● 実装後のジャンクション温度の確認

放熱設計後、ジャンクション温度やトータルの熱抵抗($R_{\theta J-A}$)が設計通りであるかどうかの確認は重要です。しかし、直接的にジャンクション温度を測定することは困難です。ここでは外部からジャンクション温度および熱抵抗を推定する方法について紹介します。

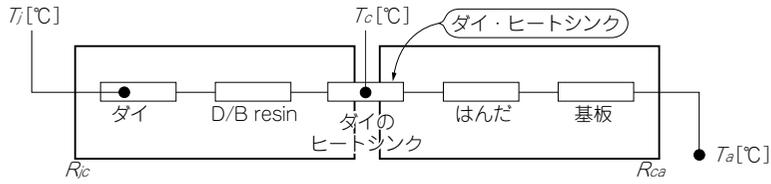
① T_c 測定による T_j の算出(日亜化学工業製NCCW022の場合)

図4-6はNCCW022の熱抵抗モデルおよび外観です。図4-6からわかるように、 T_c は直接測定できます。また、NCCW022の場合、図4-7に示すように T_j と T_c にはある程度の幅をもった一定の関係が確認されています。図4-7のグラフに示すように、一般的な基板に実装した場合、その傾きはおよそ1.5~2の範囲に入ります。この傾きは使用するベース基板やヒートシンクによって多少は変化しますが、常識的な設計の範囲では、誤差の範ちゅうであると考えられます。

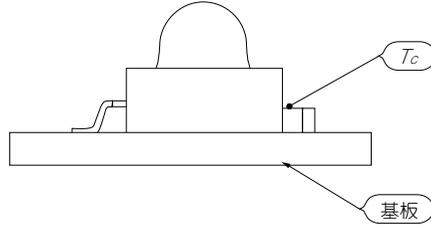
たとえば、外気温 T_a が25 °Cで100 mAを流したとき、 $T_c = 35$ °Cになったとすると、 $\Delta T_c = 35 - 25 = 10$ °Cです。図4-7のグラフから $\Delta T_j = 15 \sim 20$ °Cと読み取れ、外気温25 °Cを加えて $T_j = 40 \sim 45$ °Cと見積もります。このように、 T_c と T_j の関係が示されている場合は、比較的簡単に T_j の推定が可能です。

② V_F 測定による T_j の推定

一般的にLEDの V_F は、 T_j が高くなると低下します。図4-8は V_F の温度特性の一例です。この特性は個々のLEDにより変わりますが、以下の手法で導きだすことが可能です。まず、一定の周囲温度の環境に、電圧および電流を加えずに放置します。十分時間がたっていれば $T_a = T_j$ となります。この状態で発熱を極力抑えるよう十分短いパルス駆動で定電流駆動させ、 V_F を測定します。次に周囲温度を変え、十分時間がたってから再度、パルス駆動で V_F を測定します。このように V_F を何点か測定すれば、 V_F の温度特性が得られます。この特性が得られれば、 V_F から T_j を推定できます。例えば図4-8のような特性が得られた場合、 V_F が3.7 Vであれば、 T_j が約50 °Cであると推定できます。

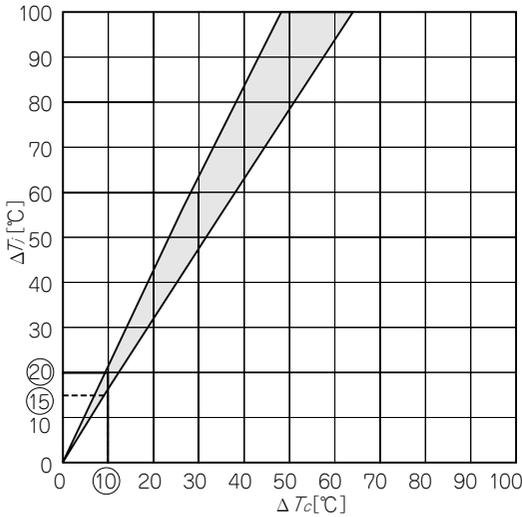


(a) 熱抵抗モデル



(b) T_c と基板の位置

〈図4-6〉⁽¹⁰⁾ 白色チップLED「NCCW022」の熱抵抗モデル
 T_c は直接測定可能.

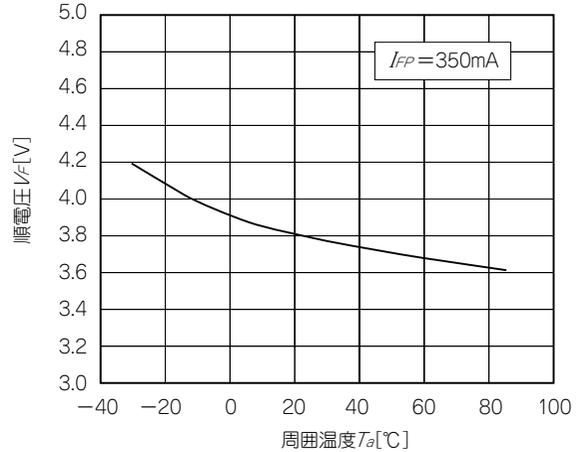


〈図4-7〉 ジャンクション温度 T_j とヒートシンクの温度 T_c の関係
 傾きはおよそ1.5~2の範囲に入る.

③ $\Delta V_F / \Delta T_j$ による $R_{\theta J-A}$

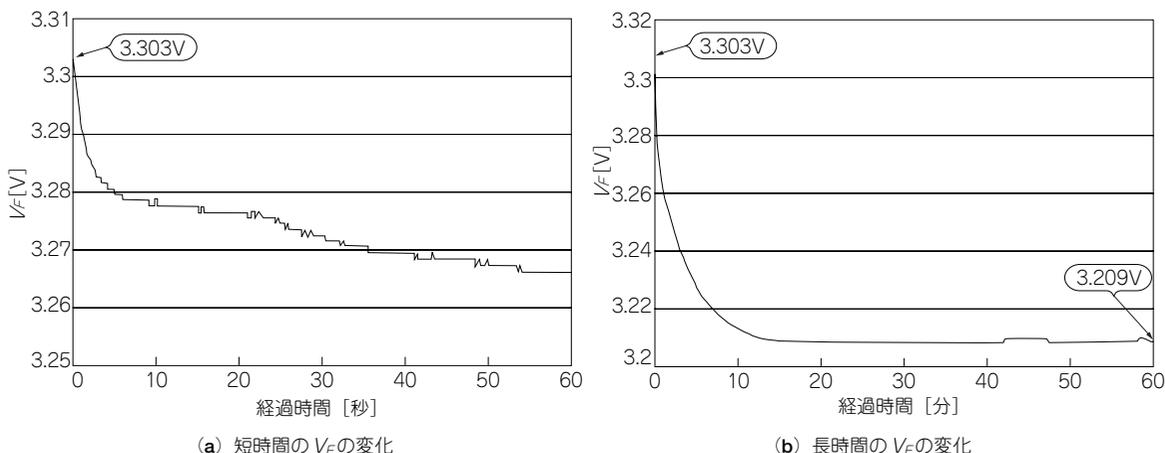
Philips Lumileds社の「LUXEON Star」のデータシートには、図4-9に示すように、 $\Delta V_F / \Delta T_j = -2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ という数値が示されています。この数値を使って T_j の変化量が分かれば、熱抵抗 $R_{\theta J-A}$ を推定できます。

例えば、写真4-1のLED基板を宙づり状態にして、定電流回路で一定の電流を供給します。供給電流は1 WパワーLEDを使用しますので350 mAとします。図4-10(a)は電源投入直後の V_F の変化を示しています。急激にジャンクション温度が上昇し、 V_F が低下することが分かります。よく見ると2段



〈図4-8〉 LEDの周囲温度と順電圧 V_F の関係
 周囲温度が高くなると V_F は低下する.

発光色	順電圧 V_F [V]			動抵抗 R_D [Ω]	順電圧温度係数 $\Delta V_F / \Delta T_J$ [mV/ $^{\circ}\text{C}$]	接合面基板間の熱抵抗 $R_{\theta J-B}$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
	最小	平均	最大			
白	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
ワーム・ホワイト	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
緑	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20
シアン	2.79	3.42	3.99	1.0	-2.0	20

〈図4-9〉⁽¹¹⁾ LUXEON Starの V_F の温度特性〈図4-10〉 パワーLEDの V_F の時間変化(実測値)

階になっていますが、これはアルミ基板とヒートシンクで2段階に放熱しているためと考えられます。

図4-10(a)から分かるように、初期の V_F の低下は非常に急激です。このため、正確な値を得るのは困難です。この実験では手持ちのデータ・ロガーのサンプリング・レートを最小の100 msにし、数回測定した内の最大値を採用しました。これにより得られた初期値は $V_{f(\text{start})} = 3.303$ [V] でした。

図4-10(b)は長時間での V_F の変化を示しています。十分時間が経過すると V_F は一定になり、 T_j も安定することが分かります。このとき、周囲温度が変化すると V_F も変化するので、正確に測定するために恒温槽を使用します。約1時間後の $V_{f(\text{end})} = 3.209$ [V] でした。この結果、 $V_{f(\text{start})} - V_{f(\text{end})} = 94$ [mV] ですので、 $\Delta T_j = 94$ [mV]/2 [mV/d $^{\circ}\text{C}$] = 47 $^{\circ}\text{C}$ と求まります。このときの投入電力は、 $P = 3.209$ [V] \times 0.35 [A] = 1.12 [W] となり、よって $R_{\theta J-A} = 47/1.12 \div 42$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] となります。

$R_{\theta J-A}$ の理論値は $R_{\theta J-B} + R_{\theta B-A} = 20 + 26 = 46$ [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] です。簡易的な計測で理論値通りとはいきませんでしたが、初期の V_F の計測精度を高めることと、周囲温度を安定化(または補正)することで、誤差は小さくできると考えます。