

LED 熱設計について

1. 熱設計の目的

LED を用いた製品設計を行なう上で、熱の発生に注意が必要です。

LED の使用できる温度はジャンクション温度 (T_j) により決められます。この T_j が最大値を超えると著しい光束低下、場合によっては故障モード(例えば、ワイヤー断線による LED の不灯、等)となるため、最大値を超えないように使用する必要があります。

また、 T_j をできる限り低く抑えることにより製品の寿命を伸ばすことができます。

このことから、LED を使用する上で熱設計が重要となります。

本書は LED の熱設計の考え方を示します。

2. LED の熱経路について

LED から発生する熱について、図1に示す熱経路のイメージ図を用いて説明します。

LED チップから周辺雰囲気の間には、ダイボンド、電極、はんだ、基板を介して熱伝達していると考えられます。

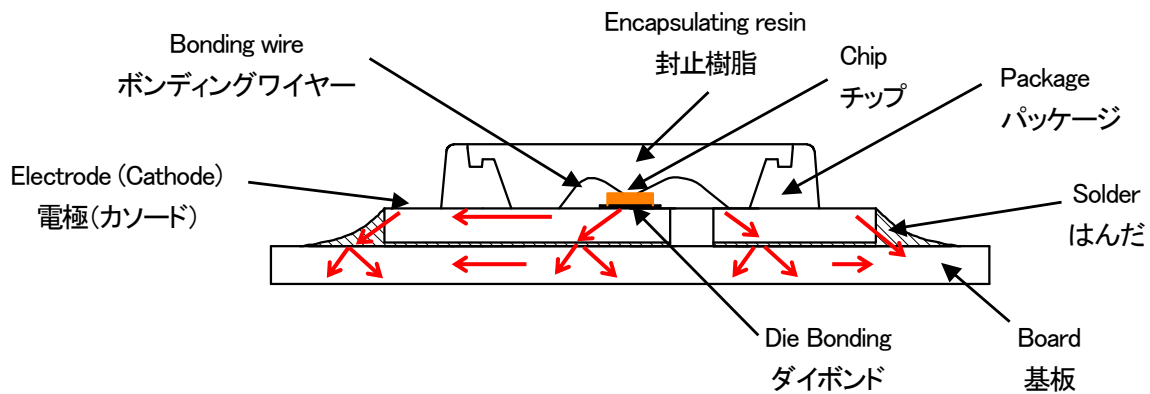


図1 LED 構造と熱経路イメージ図 (例: NS3W183)

ここで、熱の流れを分かりやすくするため、図2にチップからの熱の流れ図を示します。

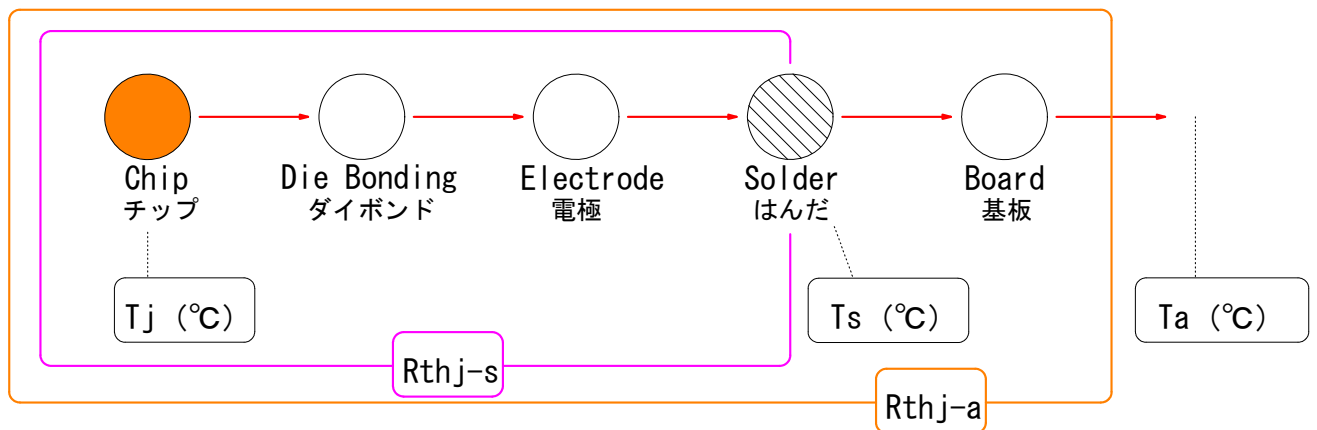


図2 チップからの熱の流れ図

LED チップからの熱の温度勾配を熱抵抗(°C/W)というパラメータで表現すると、次の 2 種類のケースにて T_j の関係式を表すことができます。

(1) LED チップから周辺雰囲気温度(T_a)までの熱抵抗: R_{thj-a} を用いた場合

$$T_j = T_a + R_{thj-a} \times W \quad \text{①}$$

- ・ T_a : 周囲温度(°C)
- ・ R_{thj-a} : LED チップから周辺雰囲気までの熱抵抗(°C/W)
- ・ W : 投入電力(= $I_f \times V_f$) (W)
- (※ I_f : 順電流(A)、 V_f : 順電圧(V))

(2) LED チップからカソード側はんだ接合部温度(T_s)までの熱抵抗: R_{thj-s} を用いた場合

$$T_j = T_s + R_{thj-s} \times W \quad \text{②}$$

- ・ T_s : カソード側はんだ接合部温度(°C)
- ・ R_{thj-s} : LED チップから T_s 測定ポイントまでの熱抵抗(°C/W)
- ・ W : 投入電力(= $I_f \times V_f$) (W)
- (※ I_f : 順電流(A)、 V_f : 順電圧(V))

3. T_j 算出方法

T_j を把握する方法として、(A) T_s 測定により T_j を算出する方法と(B) V_f 測定法による T_j を算出する方法の 2 種類あります。以下に、詳細内容を示します。

(A) T_s 測定による T_j 算出方法

(1) 図3に示すように実装されている LED の T_s 測定ポイント(カソード側)に熱電対を取り付けて LED を点灯させます。点灯させて熱平衡状態に達した時点での温度 T_s 、 I_f 、 V_f を測定します。

※ T_s 測定ポイント及び R_{thj-s} は製品により異なります。弊社仕様書にてご確認ください。

※使用する熱電対は熱の影響を最小限にするため、可能な限り細い熱電対をご使用ください。

また、測定ポイントへの熱電対の取り付けは半田付けで行なうことを推奨します。

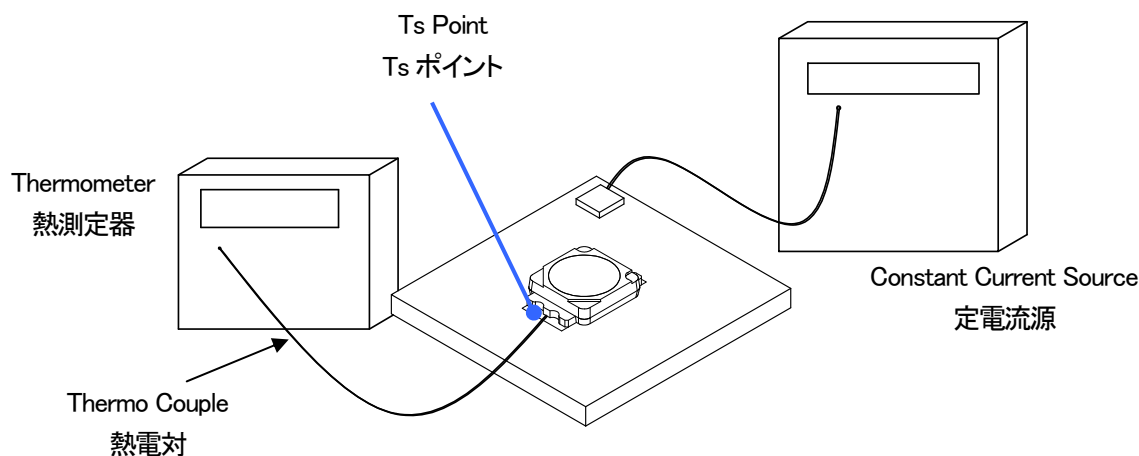


図3 熱測定環境

(2) 測定した T_s と I_f 、 V_f から、②式を用いて T_j を算出できます。

(B) V_F 測定法による T_J 算出方法

(1) 対象とする LED について、恒温槽を用いて周囲温度 T_a ごとの順電圧 V_F 値を測定する。

※測定は無風の環境下にて行ないます、

※測定時は自己発熱による V_F 低下を極力抑えるため、パルス電流にて行います。

(推奨例: パルス幅 10ms 以下、Duty 比 1/10 以下)

(2) (1)の測定結果より、周囲温度 T_a -順電圧 V_F のグラフを作成する。($T_a \doteq T_J$ とみなせます。)

※参考例として、NS3W183 の周囲温度-順電圧特性を図 4 に示します。

(3) 次に無風の環境下にて LED を DC 連続点灯させ、熱平衡状態での LED の V_F 値を測定します。

(4) (2)で作成した周囲温度 T_a -順電圧 V_F 特性グラフを用いて、(3)で測定した V_F 値から T_J を求められます。

【例】 図 5 に示すように、 $V_F = 3.41$ (V) の場合、 T_J は 50°C となります。

Ambient Temperature vs. Forward Voltage

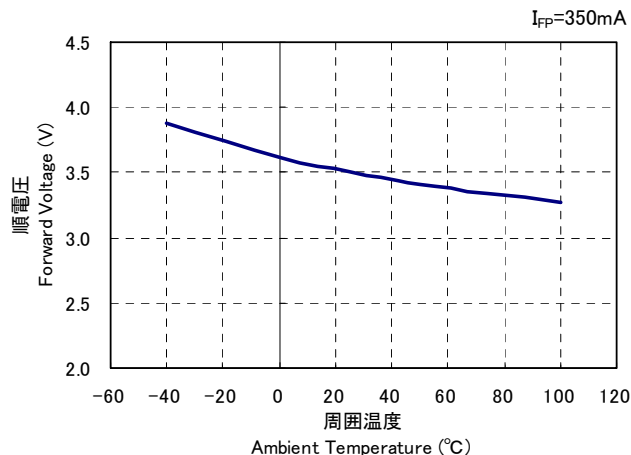


図 4 周囲温度-順電圧特性 (NS3W183)

Ambient Temperature vs. Forward Voltage

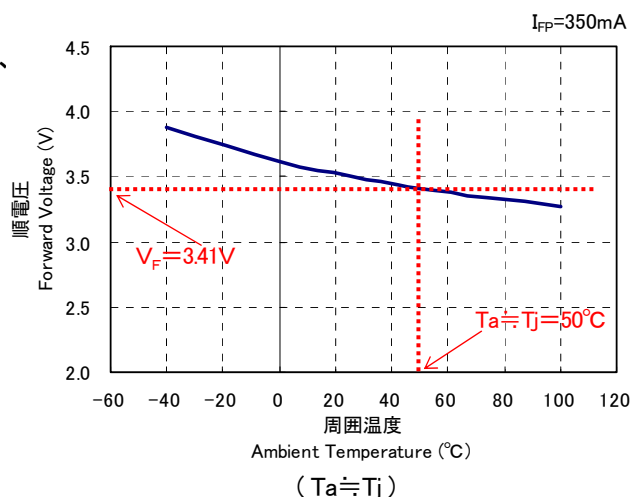


図 5 T_J の算出例 (NS3W183)

4. 熱設計について

製品設計を行なう上で、放熱能力を上げる(熱抵抗を低くする)設計を取り入れることで、 T_J を低くすることができます。

設計例として下記項目が挙げられます。

- (A) 基板材質の選択
- (B) 基板の銅箔面積の最適化
- (C) LED 配置 (LED ピッチ) の最適化
- (D) ヒートシンクの導入

各項目のについての詳細内容を以下に示します。

(A) 基板材質の選択

基板の種類は大きく分けて、図6に示すように樹脂系基板、金属ベース系基板、セラミック系基板に分けられます。

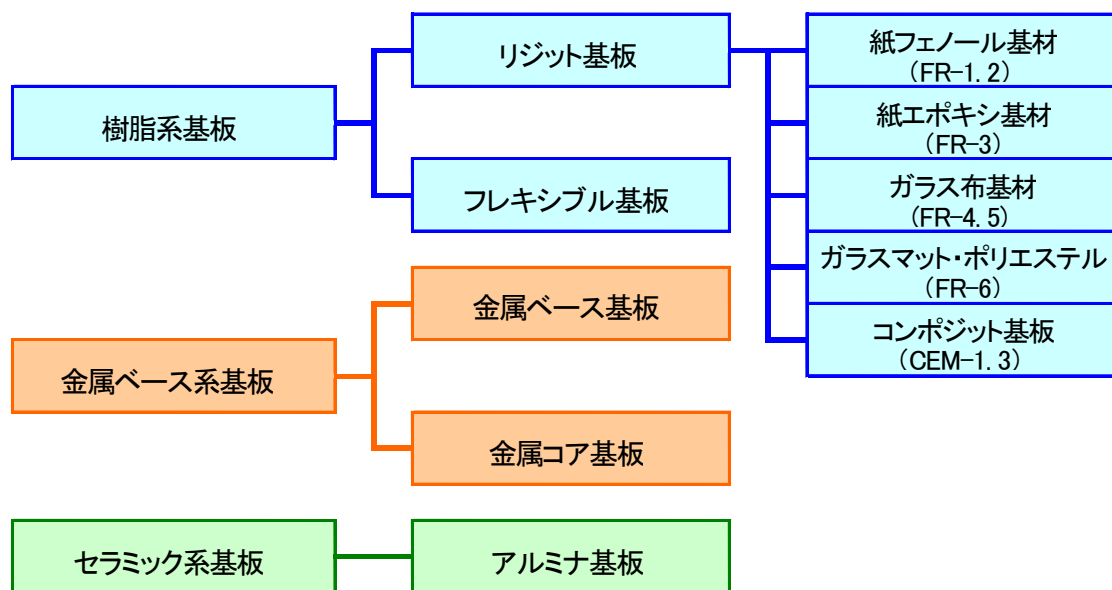
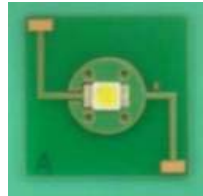
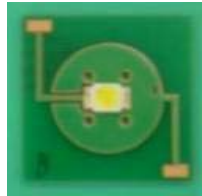
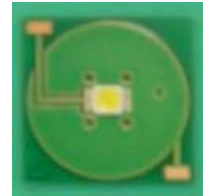
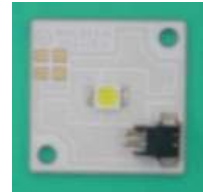


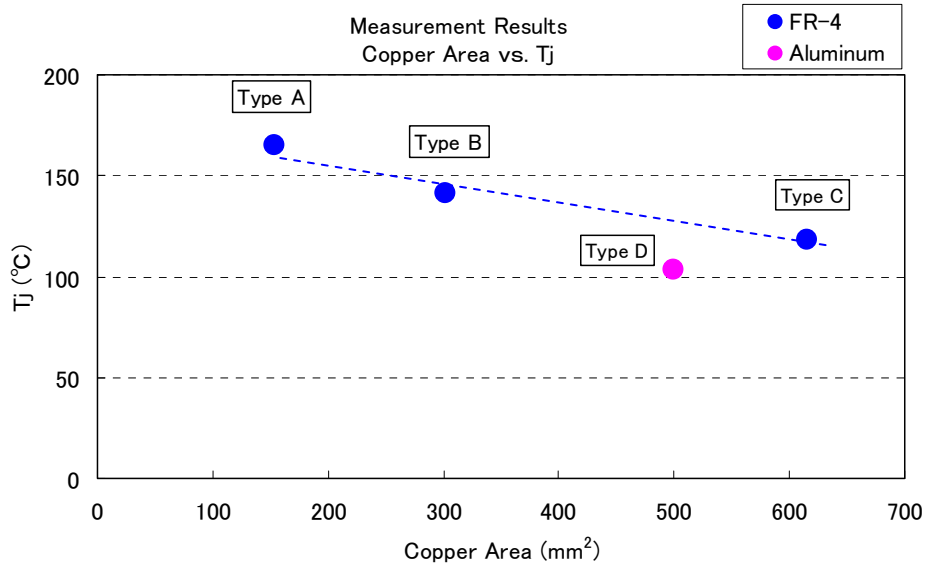
図6 基板分類図

一般的に安価で寸法安定性に優れたガラス布基板 (FR-4) を使用する場合が多いですが、高い熱伝導率を求める場合は金属ベース系基板を使用することで T_j を低くすることができます。参考例として、FR-4、アルミ基板による熱測定結果を表1、及び図7に示します。

表1 NS6W183 熱測定結果

				
	Type A	Type B	Type C	Type D
Main Material	FR-4			Aluminum
R_{thj-a} [$^{\circ}C/W$]	63	50	44	34
PWB Size	30mm × 30mm, t=1.6mm			30mm × 30mm, t=1.7mm
Copper Area Face	154mm ² , t=0.07mm	302mm ² , t=0.07mm	616mm ² , t=0.07mm	500mm ² , t=0.07mm
Copper Area Back	154mm ² , t=0.07mm	302mm ² , t=0.07mm	616mm ² , t=0.07mm	-
I_F (mA)	700			
V_F (V)	3.18	3.24	3.29	3.30
T_s ($^{\circ}C$)	143	118	95	80
T_j ($^{\circ}C$)	165	141	118	103

※Measurement condition : $R_{thj-s}=10^{\circ}C/W$, $T_a=25^{\circ}C$, Thermo Couple: $\Phi 0.076mm$


 図7 NS6W183 熱測定結果（銅箔面積 vs T_j）

この測定結果より同じ基板サイズにて T_j を比較すると、アルミ基板の方が低く、熱的に有利であると言えます。

(B) 基板の銅箔面積の最適化

図8に示すように基板の銅箔パターン面積をできるかぎり広くすることにより、LEDで発生した熱をより多く基板へ放熱させることができます。

表1、図7の測定結果からも分かるように、銅箔パターン面積を大きくしていくことで T_j は小さくなり、熱的に有利であると言えます。

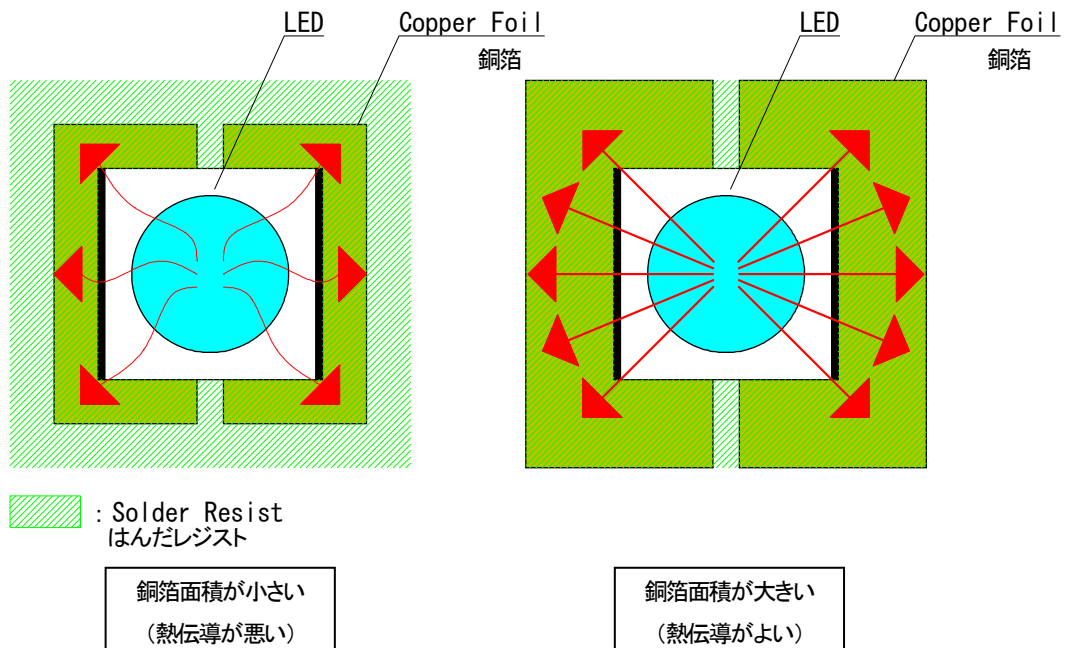


図8 基板の銅箔パターン形状

(C) LED 配置(LED ピッチ)の最適化

図9に示すようにLEDピッチが狭いとLEDから発生する熱が集中して、放熱し難くなります。
 参考例として2×2のLED配置した基板での熱分布シミュレーションを図10に示します。
 シミュレーション結果からも、LEDピッチが狭いと、隣のLED熱の影響により熱がこもり易くなります。
 このため、可能な限りLEDピッチを広くとることでT_Jを低くすることができます。

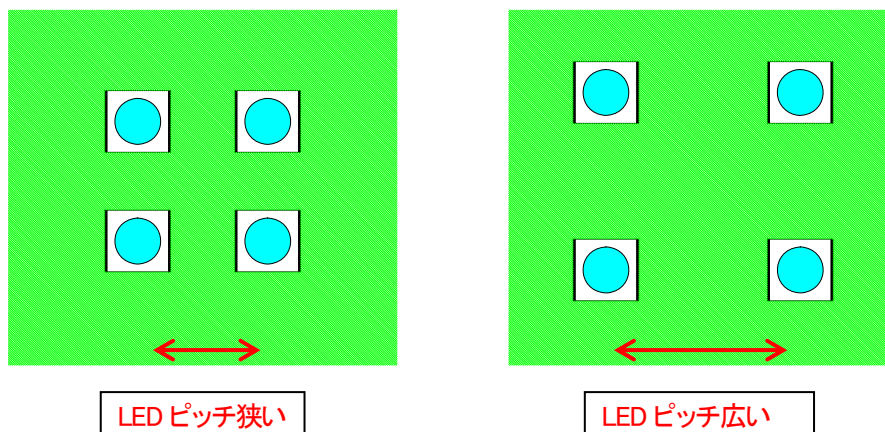


図9 LED 配置図

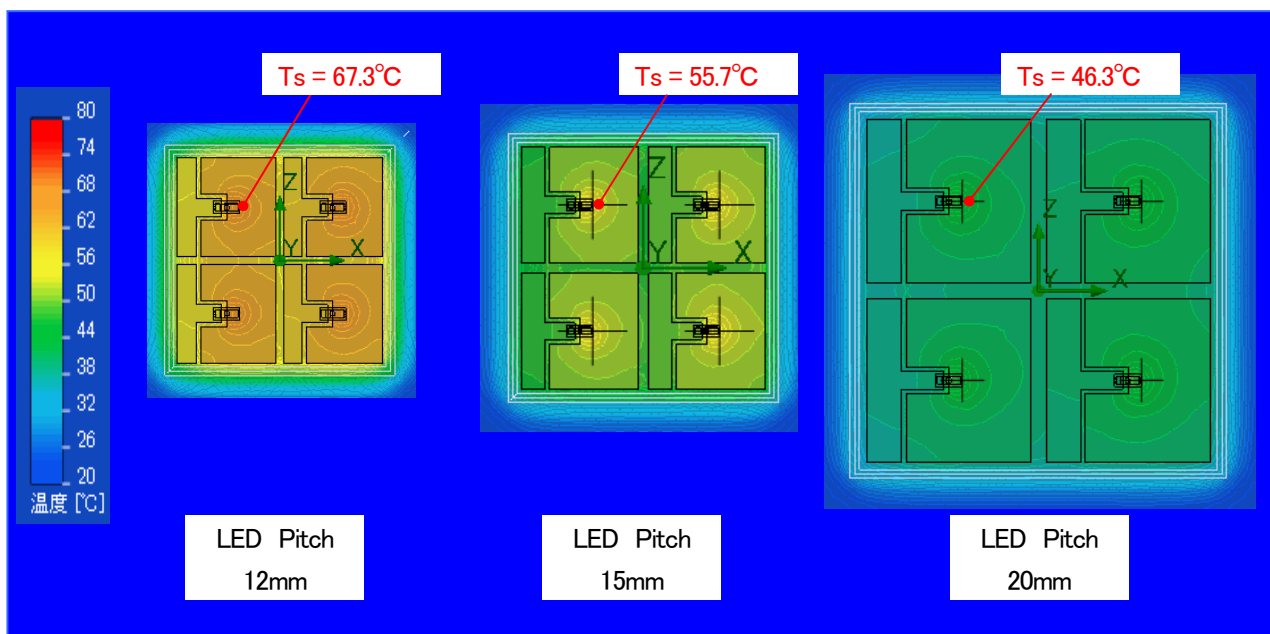


図10 NSSW157 2×2 LED 配置の熱分布シミュレーション結果 (参考例)
 ※基板設計上、銅箔パターン面積はできる限り大きく設定し、パターン間クリアランスを固定しているため、銅箔パターンサイズが異なるシミュレーション結果となります。

(D) ヒートシンクの導入

基板背面側にヒートシンクを設けることで放熱性を高めることができます。

参考例として表 3 にヒートシンク有無による熱測定結果を示します。

この測定結果からもヒートシンク有で R_{thj-a} 、 T_j は低くなり、熱的に有利であることがいえます。

また、基板とヒートシンクとの接続には、熱伝導性の高い両面テープ、放熱シート、又は放熱グリスを用いることでさらに有効となります。図 11 にヒートシンクとの接続例を示します。

表 3 NS6W183 ヒートシンク有無による熱測定結果

	without Heat Sink	with Heat Sink
Main Material	FR-4	
R_{thj-a} [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]	44	32
PWB Size	30mm × 30mm, t=1.6mm	
Copper Area	616mm ² , t=0.07mm	
I_F (mA)	700	
V_F (V)	3.29	3.49
T_s ($^{\circ}\text{C}$)	95	73
T_j ($^{\circ}\text{C}$)	118	97

※Measurement condition : $R_{thj-s}=10^{\circ}\text{C}/\text{W}$, $T_a=25^{\circ}\text{C}$, Thermo Couple: $\Phi 0.076\text{mm}$

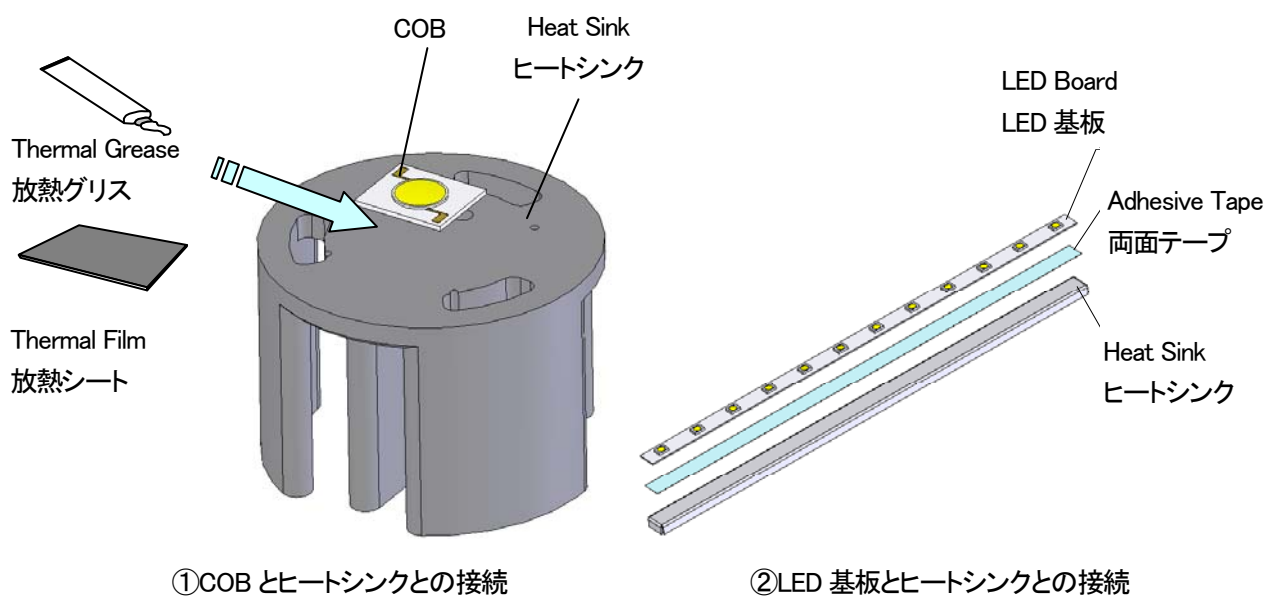


図 11 基板とヒートシンクとの接続例

5. まとめ

本書で紹介しました熱設計例を踏まえて、製品設計を行なうことにより、効率よく LED をご使用頂くことができます。また、製品の信頼性向上にもつながります。