



素子温度の計算をする前に

知っておきたいこと

通常、トランジスタは使用すると発熱します。

その熱を無視することはできません。

ご使用にあたっては、トランジスタの発熱を計算して、
安全に、安定して使用することが求められます。

そこで、トランジスタをより安全に、安定してお使い戴く
ために、この様な資料を用意致しました。
何卒、ご活用ください。

トランジスタの素子温度を算出してみよう！



素子温度の計算方法

トランジスタが使用可能かどうかの判定は、下記の手順で行います。

検証① ([使用可否判定②](#))

電流・電圧が一瞬たりとも絶対最大定格を超えてないか？

検証② ([使用可否判定③](#), [使用可否判定④](#))

安全動作領域 (SOA) を超えてないか？

検証③ ([使用可否判定⑥](#))

素子温度が 150°C を超えてないか？

→ ここでは、検証③について詳しい考え方を説明します。(主に熱に関する内容です。)
検証①,②につきましては、別紙『[使用可否判定方法](#)』をご参照ください。

ジャンクション温度の計算方法 1：周囲温度から (基本)

ジャンクション温度の計算方法 2：周囲温度から (過渡熱抵抗)

ジャンクション温度の計算方法 3：ケース温度から

関連ページ：ジャンクションーケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ について (詳細)

関連ページ：代表的なパッケージの抵抗値 (参考値)

素子温度が 150℃を超えてないか？

トランジスタの素子は常に 150℃以下である必要があります。(推奨温度は 100℃以下)
150℃を超えると寿命が極端に短くなり、最悪の場合は劣化や破壊する可能性があります。

バイポーラの素子はP型とN型の接合部が最も高温のため、まず最初に
ジャンクション温度：Tj を考えます。
また、デジトラもバイポーラと同様にジャンクション温度：Tj を考えます。
MOSFET の場合はチャネル部分が最も高温なので、チャネル温度：Tch を考えます。
Tj も Tch も熱計算の上では全く同じものと考えてもよいので、以下では Tj に
ついて考えます。(もちろん、Tj を Tch に置き換えても同じ事が成り立ちます)

ジャンクション温度の計算方法 1：周囲温度から（基本）

ジャンクション温度（またはチャネル温度）は、周囲温度や消費電力から計算することができます。
熱抵抗の考え方から、

$$T_j = T_a + R_{th(j-a)} \times P$$

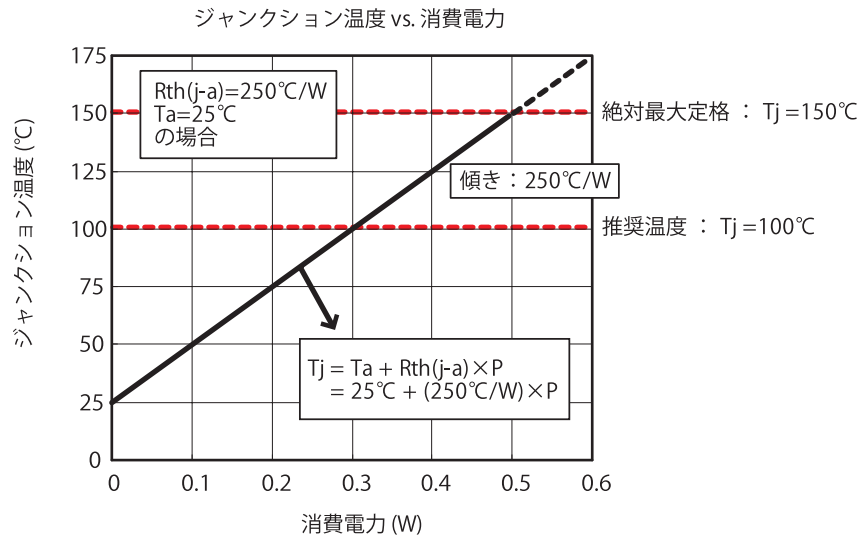
Ta : 周囲温度(測定を行った部屋の室温)
Rth(j-a) : ジャンクション-雰囲気間の熱抵抗 *
P : 消費電力 **

となります。

*Rth(j-a): ジャンクション-雰囲気間の熱抵抗は実装する基板によって異なりますが、弊社標準の
基板に実装したときの値を別紙『[パッケージの熱抵抗一覧](#)』に示します。
Rth(j-a)の値は個々のトランジスタによって異なりますが、パッケージが同じであればほぼ近い
値になると考えられます。

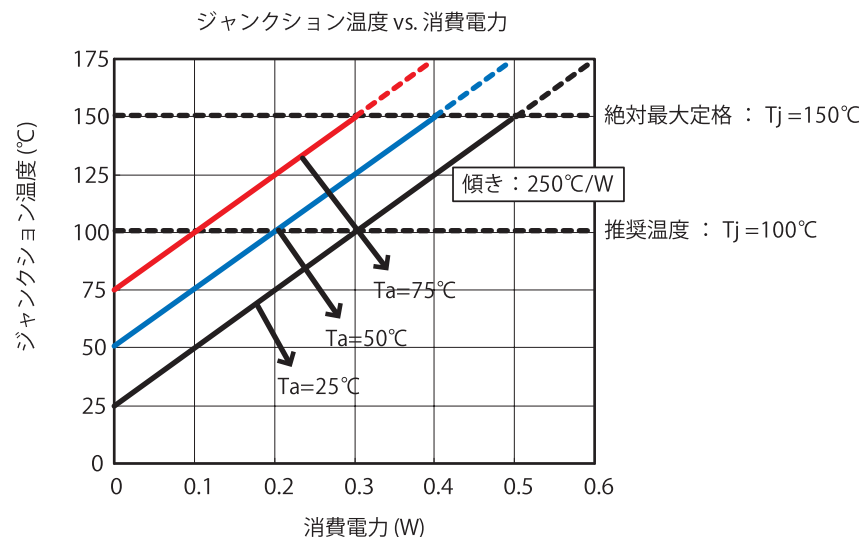
**消費電力が一定でなく、時間変化している場合は平均消費電力で近似的に計算します。
(平均消費電力の求め方は別紙『[使用可否判定方法](#)』参照)

例として、 $R_{th(j-a)}$ が $250^{\circ}\text{C}/\text{W}$ で周辺温度が 25°C のときの、消費電力とジャンクション温度の関係を示します。



消費電力に比例してジャンクション温度が上昇します。そのときの比例定数が $R_{th(j-a)}$ です。
 $R_{th(j-a)}$ が $250^{\circ}\text{C}/\text{W}$ なので、ジャンクション温度は消費電力が 0.1W 増えるごとに 25°C 上がります。
 消費電力が 0.5W のときにジャンクション温度が 150°C になるので、この例では 0.5W 以上の電力をかけられないことがわかります。

次に、 $R_{th(j-a)}$ は同じく $250^{\circ}\text{C}/\text{W}$ で、周囲温度が変化した場合を考えます。



周囲温度が 25°C のときは 0.5W
 周囲温度が 50°C のときは 0.4W
 周囲温度が 75°C のときは 0.3W

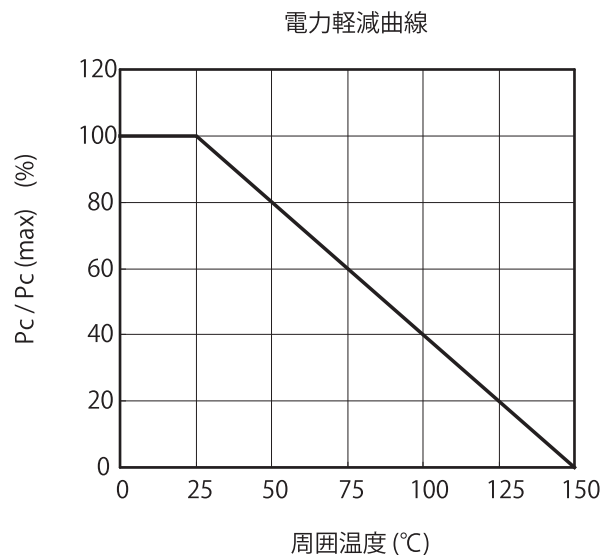
のときにそれぞれ、
 ジャンクション温度が 150°C になることが分かります。

つまり、同じ印加電力でも周囲温度が上がるとその分ジャンクション温度が上がるので、印加できる電力が小さくなります。熱抵抗だけでなく、周囲温度によっても最大消費電力が影響を受けます。
 周囲温度が 150°C のときに印加できる電力はゼロになるので、

$$100\% \div (150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) = 0.8\%/^{\circ}\text{C}$$

の割合で最大消費電力が小さくなることが分かります。

この関係を示したのが、次の電力軽減曲線です。

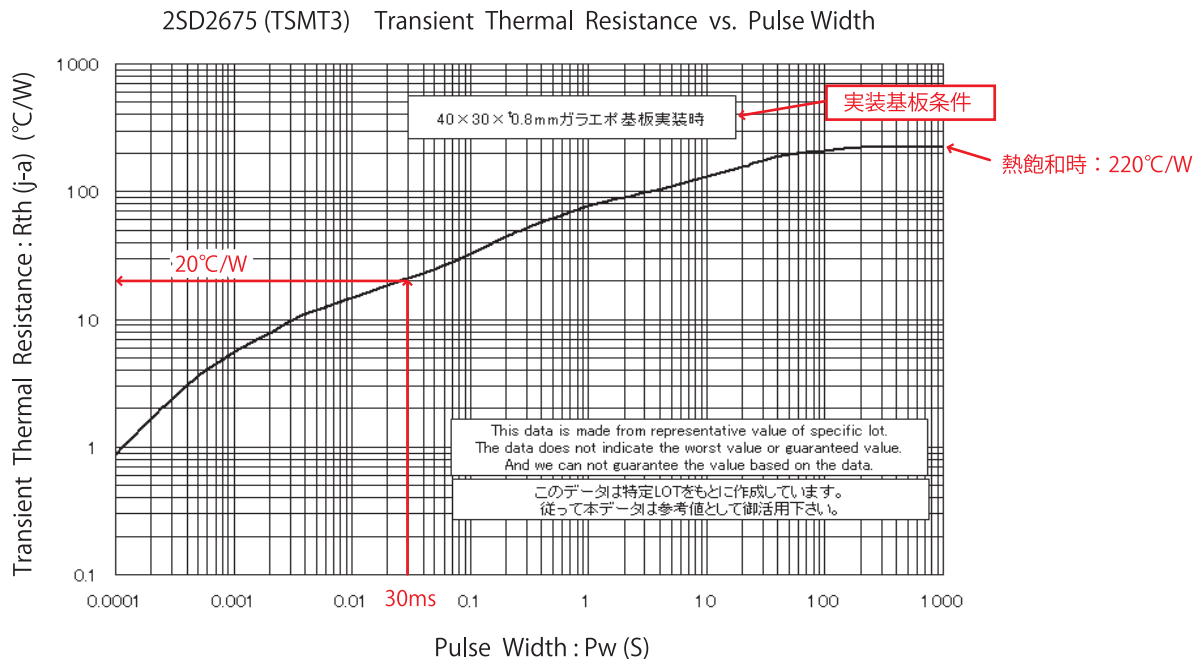


電力軽減曲線は軽減率がパーセンテージで示してあるので、全てのパッケージに当てはめることができます。例えば、MPT3 パッケージでは 25°C のとき最大印加電力は 0.5W ですが、0.8%/°C の割合で印加できる電力が小さくなっていき、50°C では 80%(20% 減) の 0.4W に、100°C では 40% (60% 減) の 0.2W になります。

ジャンクション温度の計算方法 2：周囲温度から（過渡熱抵抗）

今までの例では、電力が連続的に印加されるときの場合を考えました。次に、瞬間的な電力印加による温度上昇を考えます。瞬間的な電力印加による温度上昇は、過渡熱抵抗を用いて計算します。

過渡熱抵抗データの例（2SD2675）



このグラフは、過渡的な熱抵抗（過渡熱抵抗）を示しています。

横軸がパルス幅、縦軸が熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ となっており、印加時間が長くなるにつれてジャンクション温度が上昇し、200 秒くらい経つと熱飽和して一定の温度に達することが分かります。

例えば、印加時間が 30ms では $R_{th(j-a)}$ は 20°C/W なので、周囲温度 25°C で 3W の電力を 30ms の間印加するとジャンクション温度は

$$\begin{aligned} T_j &= T_a + R_{th(j-a)} \times P \\ &= 25^\circ\text{C} + (20^\circ\text{C/W}) \times 3\text{W} \\ &= 85^\circ\text{C} \end{aligned}$$

になることが分かります。

瞬間的な電力が単発で印加される場合はこの計算でジャンクション温度を求めることができます。

ジャンクション温度の計算方法 3：ケース温度から

ケース温度からジャンクション温度を求めることもできます。

先ほどの $R_{th(j-a)}$ の代わりに $R_{th(j-c)}$ で計算すると、

$$T_j = T_c + R_{th(j-c)} \times P$$

T_c : ケース温度*
 $R_{th(j-c)}$: ジャンクション-ケース間の熱抵抗
 P : 消費電力**

となります。

*ケース温度は、弊社では標印面の最高温点の温度を放射温度計で測定しています。

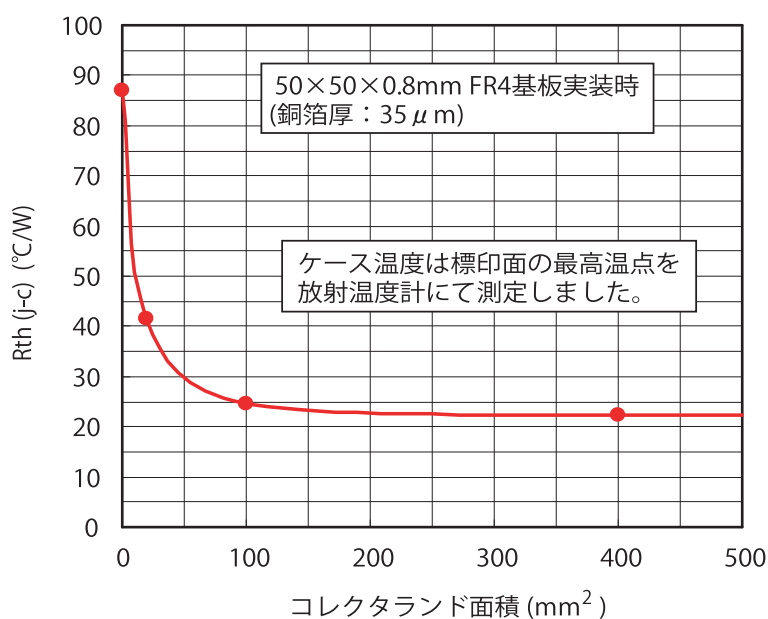
ケース温度は測定方法によって大きく変わりますのでご注意ください。

** 消費電力が一定でなく、時間変化している場合は平均消費電力で近似的に計算します。

ただし、特に $R_{th(j-c)}$ の値は実装している基板や半田付けなどの放熱条件によって大きく変化するので、弊社標準基板での測定値がお客様の基板では当てはまらないことが多いのでご注意ください。たとえば、同じ電力を印加している場合でも基板の放熱性が優れているとケース温度は低くなります。

その例として、基板のコレクタランド面積が大きくなるにしたがって $R_{th(j-c)}$ が小さくなる例を示します。(コレクタランドの面積・厚さ・材質のほか、基板の材質、大きさ、配線サイズなどによっても $R_{th(j-c)}$ は変化します。)

2SD2673 (TSMT3) $R_{th(j-c)}$ vs コレクタランド面積



このように、 $R_{th(j-c)}$ の値は基板条件などによって変化しやすく、しかも正確なケース温度測定も難しいので、ジャンクション温度を推定する方法としてはあまりお勧めできません。

([ジャンクション - ケース間熱抵抗 \$R_{th\(j-c\)}\$ について\(詳細\)](#) をご参考下さい)

関連ページ：ジャンクション-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ について（詳細）

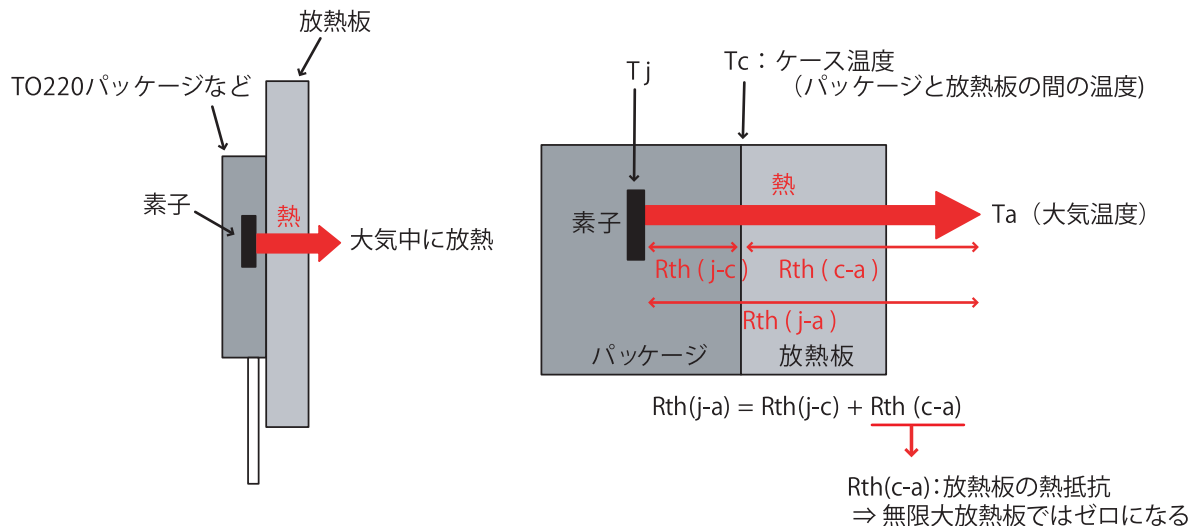
もともと、ジャンクション-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ は TO220 パッケージなどの自立型デバイスを放熱板に固定して使用する場合に使う値です。

この場合、ケース-放熱板間が主な放熱経路なので、その経路の途中にあるケース温度を計測することによってジャンクション温度を正確に求めることができます。

特に、理想的な放熱性をもつ放熱板（無限大放熱板）を使用すると想定する場合は放熱能力を無限大と考えて、ケース温度 = 大気温度として扱い、($T_c=25^\circ\text{C}$ などと表現します)

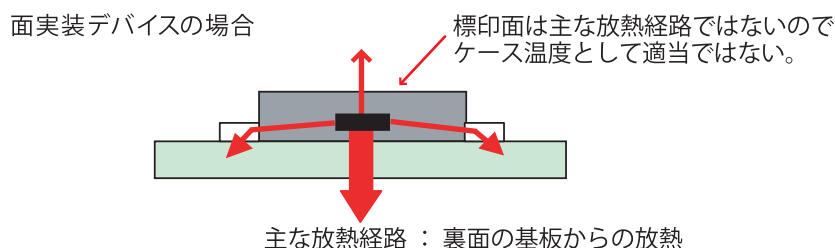
ケース温度 = 25°C として計算することがあります。

(無限大放熱板の熱抵抗： $R_{th(c-a)}=0$ なので、 $R_{th(j-a)}=R_{th(j-c)}$ となります。)



しかし、面実装タイプのデバイスの場合はデバイスの下基板からの放熱が主な放熱経路なのでその部分のケース温度を測定するのは困難です。

デバイスの標印面の温度を測っても、放熱量全体に比べて標印面からの放熱の割合はかなり小さいため、ジャンクション温度を推定するための値としては適しません。



しかしながら、面実装品についても $R_{th(j-c)}$ の値を知りたいという要求は多いため、弊社標準基板に実装して標印面温度を測定し、 $R_{th(j-c)}$ の値を提出している場合がございます。

このときの $R_{th(j-c)}$ は弊社標準基板に実装した場合の、特別な条件での値になります。

弊社標準基板と異なる基板に実装した場合は、標印面からの放熱の割合が変わってしまうため、 $R_{th(j-c)}$ の値が変わり、ジャンクション温度を推定することはできません。

関連ページ：代表的なパッケージの抵抗値 (参考値)

- ・このデータは特定 LOT の測定をもとに作成しています。従って、本データは参考値としてご活用下さい。
(保証値や最大・最小値ではありません。)
- ・Rth (j-a) は、実装基板やはんだ付けによる放熱条件や温度測定方法によって大きく変化しますので、あくまでも参考値としてご活用下さい。

パッケージ	VMT3	EMT3	EMT5	EMT6	TUMT3	TUMT6
実装基板						
FR4 基板寸法 (unit : mm)	20×12×0.8	20×15×0.8	20×15×0.8	20×15×0.8	20×12×0.8	15×20×0.8
Rth (j-a) / Rth (ch-a)	833℃ / W	833℃ / W	1042℃ / W	1042℃ / W	313℃ / W	313℃ / W
備考	—	—	1 素子のみ動作時	1 素子のみ動作時	—	1 素子のみ動作時
パッケージ	UMT3	UMT5	UMT6	SMT3	SMT5	SMT6
実装基板						
FR4 基板寸法 (unit : mm)	20×12×0.8	20×15×0.8	15×20×0.8	20×12×0.8	20×15×0.8	20×15×0.8
Rth (j-a) / Rth (ch-a)	625℃ / W	1042℃ / W	1042℃ / W	625℃ / W	625℃ / W	625℃ / W
備考	—	1 素子のみ動作時	1 素子のみ動作時	—	1 素子のみ動作時	1 素子のみ動作時
パッケージ	TSMT3	TSMT5	TSMT6	SOP8	MPT3	CPT3
実装基板						
FR4 基板寸法 (unit : mm)	30×15×0.8	20×15×0.8	20×15×0.8	20×20×0.8	12×20×0.8	12×30×0.8
Rth (j-a) / Rth (ch-a)	250℃ / W	250℃ / W	250℃ / W	160℃ / W	250℃ / W	125℃ / W
備考	—	1 素子のみ動作時	1 素子のみ動作時	1 素子のみ動作時	—	—
パッケージ	SST3					
実装基板						
FR4 基板寸法 (unit : mm)	20×12×0.8					
Rth (j-a) / Rth (ch-a)	625℃ / W					
備考	—					