

パワーMOSFET／IGBT とは

平均損失と接合部温度 T_J の計算方法

目次

目次	2
1. 概要	3
2. 平均損失の計算方法	3
3. 接合部温度 T_J の計算方法	4
3.1. ケース温度から計算する方法	4
3.2. 過渡熱抵抗特性から計算する方法	5
3.3. 重ね合わせの理を使用した計算方法	6
3.3.1. 連続パルス	7
3.3.2. 不規則パルス	10
注意書き	11

1. 概要

本資料ではパワーMOSFET/IGBTの平均損失と接合部温度 T_J の計算方法について説明します。

2. 平均損失の計算方法

実際の波形を近似波形に変換した場合の平均損失の計算方法について説明します。ブロックごとの平均損失を合計し、トータルの平均損失を算出します。

図 2-1 に近似波形の例を示します。

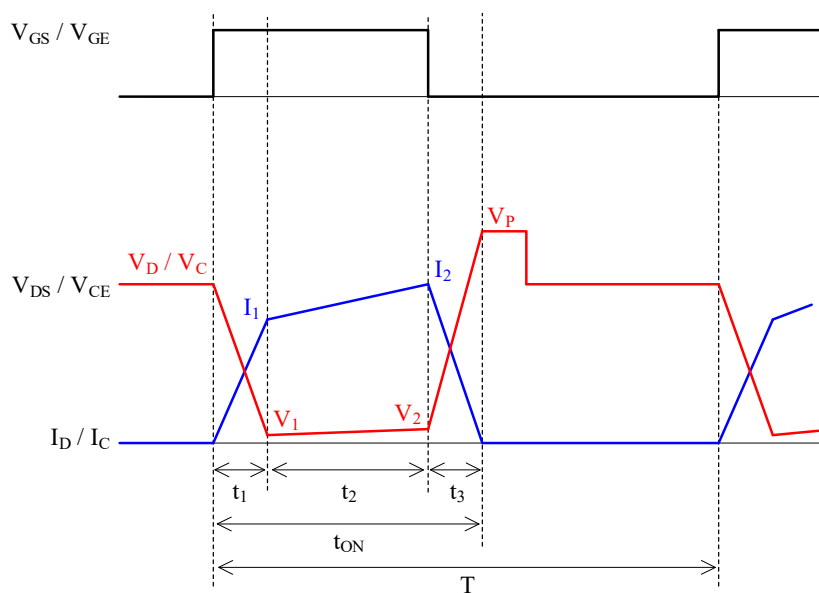


図 2-1 近似波形例

ここで、

t_1 : ターンオン時のスイッチング損失時間

t_2 : 飽和時の損失時間

t_3 : ターンオフ時のスイッチング損失時間

t_{ON} : オン時間

T : 周期

t_1 期間の平均損失 P_1 は以下の式で計算できます。

$$P_1 = \frac{t_1}{6T} (V_C I_1 + 2V_1 I_1)$$

t_2 期間の平均損失 P_2 は以下の式で計算できます。

$$P_2 = \frac{t_2}{6T} (2V_1 I_1 + V_1 I_2 + 2V_2 I_2 + V_2 I_1)$$

t_3 期間の平均損失 P_3 は以下の式で計算できます。

$$P_3 = \frac{t_3}{6T} (V_P I_2 + 2V_2 I_2)$$

よって、トータル平均損失 P_{ON} は以下の式で計算できます。

$$P_{ON} = P_1 + P_2 + P_3$$

3. 接合部温度 T_J の計算方法

3.1. ケース温度から計算する方法

パワーMOSFET/IGBT が動作しているときの損失とケース温度 T_C の実測値と、データシートの電気的特性に記載されている熱抵抗 $R_{\theta JC}$ から接合部温度 T_J を推定します。

図 3-1 に、熱抵抗 $R_{\theta JC}$ の概念図を示します。温度の規定位置は、パッケージや製品で異なります。

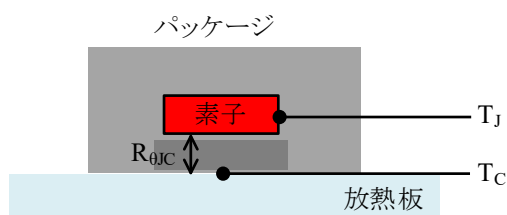


図 3-1 熱抵抗 $R_{\theta JC}$ の概念図（ケース温度）

図 3-1 の記号の意味は以下のとおりです。

T_J : 接合部温度

T_C : ケース温度

$R_{\theta JC}$: 接合部とケース間の熱抵抗

T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = P \times R_{\theta JC} + T_C$$

ここで、

P : パワーMOSFET/IGBT の損失 (W)

$R_{\theta JC}$: 接合部とケース間の熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

T_C : ケース温度 ($^{\circ}\text{C}$)

例として、 $P = 0.6 \text{ W}$ 、 $R_{\theta JC} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 、 $T_C = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の場合、 T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = 0.6 \times 20 + 80 = 92 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$

3.2. 過渡熱抵抗特性から計算する方法

瞬間的に電力印加した際の T_J は、過渡熱抵抗データから推定します。 T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = P \times r_{\theta JC} + T_C$$

ここで、

P : パワーMOSFET/IGBT の損失 (W)

$r_{\theta JC}$: 接合部とケース間の過渡熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

T_C : ケース温度 ($^{\circ}\text{C}$)

図 3-2 に、過渡熱抵抗特性例を示します。例えば単発の矩形波 100 ms を印加した場合、 $r_{\theta JC}$ は $2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ と読み取れます。

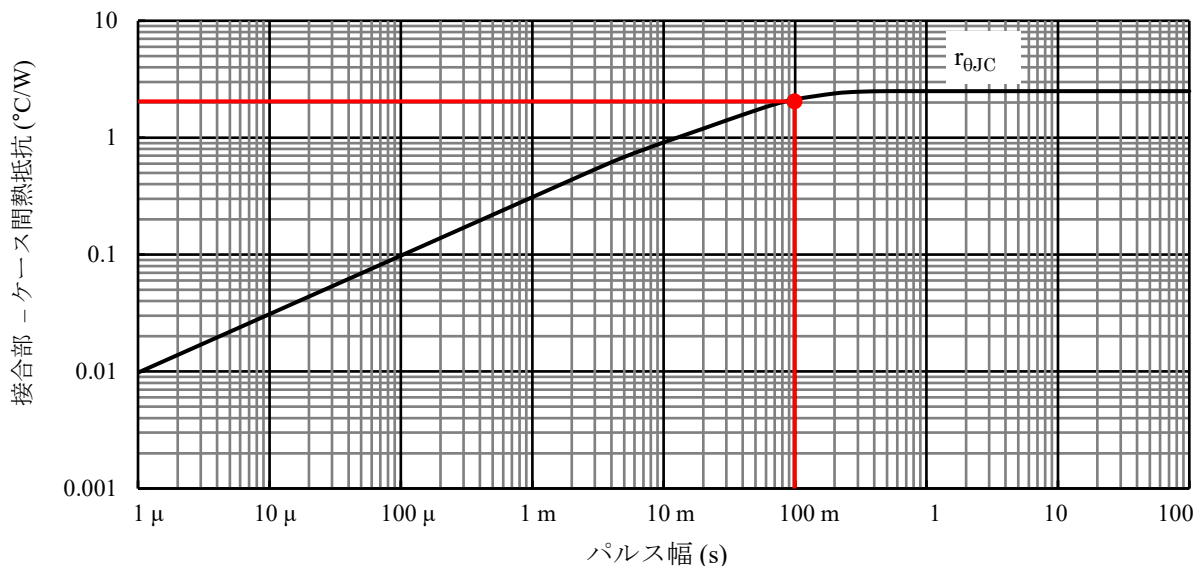


図 3-2 過渡熱抵抗特性例

例えば $P = 0.6 \text{ W}$ 、 $r_{\theta JC} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 、 $T_C = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の場合、 T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = 0.6 \times 2 + 100 = 101.2 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$

3.3. 重ね合わせの理を使用した計算方法

規則的な方形波の電力損失がパワーMOSFET/IGBT に生じた場合と、不規則な方形波の電力損失がパワーMOSFET/IGBT に生じた場合の接合部温度 T_j の算出方法を示します。このような電力損失波形の場合、各期間の熱抵抗をデータシートの過渡熱抵抗特性グラフから読み取り、重ね合わせの理を使用した算出方法が、容易で有効です。

3.3.1. 連続パルス

図 3-3 の (A) に示すように、規則的な方形波の電力損失がパワーMOSFET/IGBT に生じた場合の接合部温度 T_j の算出方法を示します。図 3-3 の (B) と (C) に示すように、電力損失を近似し、重ね合わせの理を使用することで T_j を算出します。

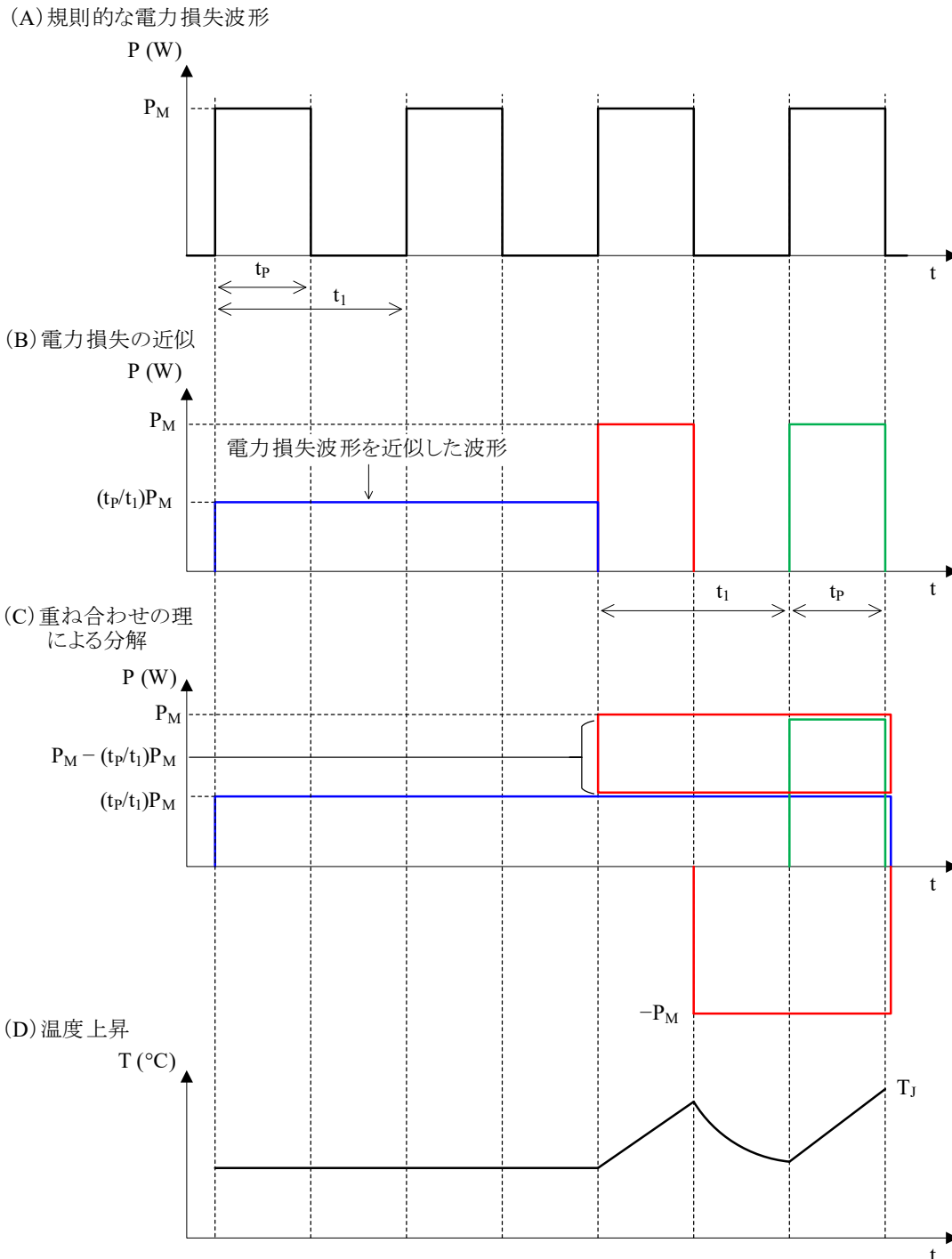


図 3-3 重ね合わせの理

次に、図 3-3 (C) のブロックごとに、接合部温度を算出します。

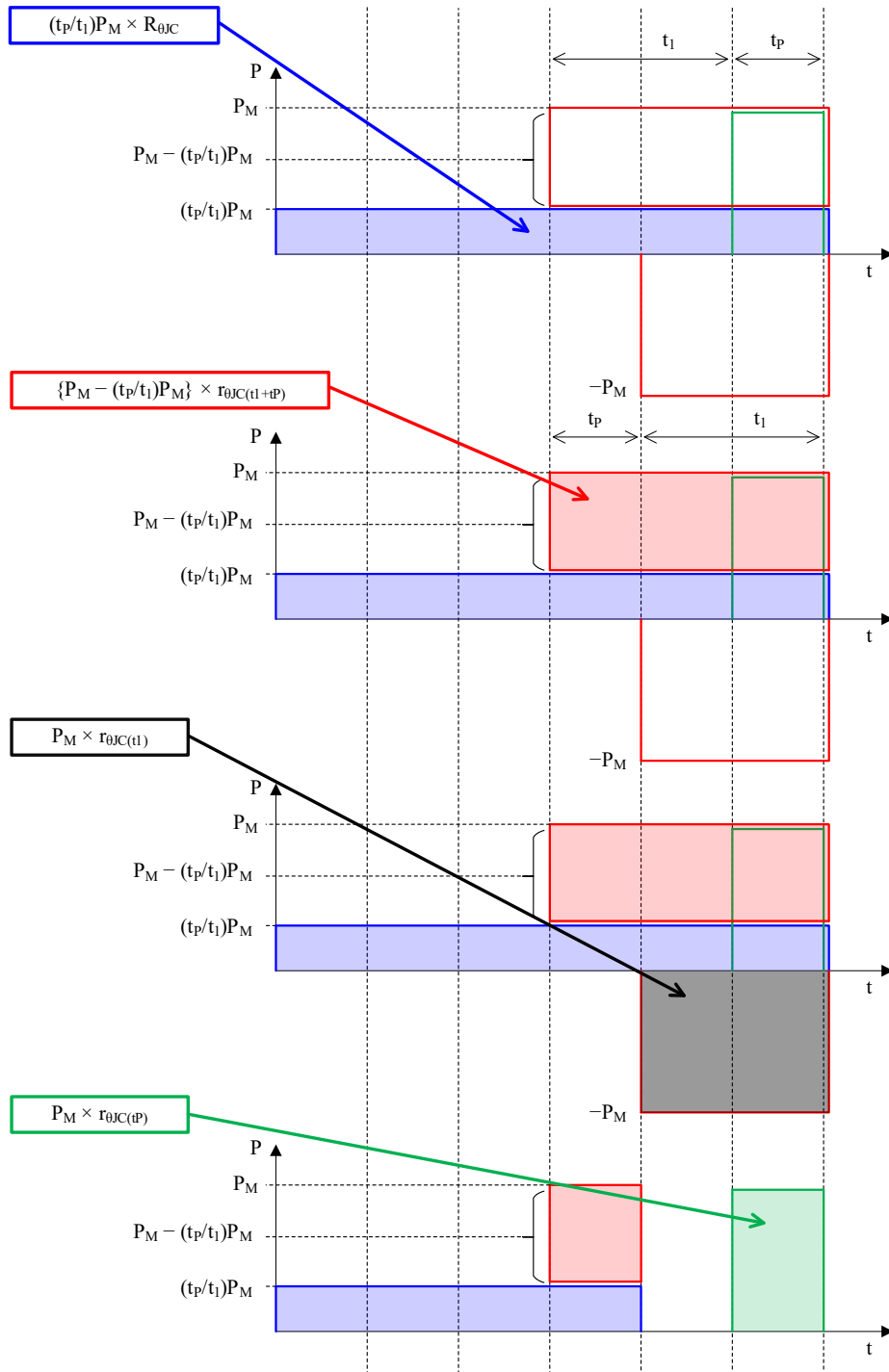


図 3-4 各ブロックの T_J

よって、重ね合わせの理を使用した場合の T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = T_C + P_M \times \left\{ \left(\frac{t_p}{t_1} \right) \times R_{\theta JC} + \left(1 - \frac{t_p}{t_1} \right) \times r_{\theta JC(t_1+t_p)} - r_{\theta JC(t_1)} + r_{\theta JC(t_p)} \right\}$$

ここで、

T_C : ケース温度 (°C)

P_M : 平均電力損失 (W)

t_1 : 周期 (s)

t_p : パルス幅 (s)

$R_{\theta JC}$: 全期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t_1+t_p)}$: t_1+t_p 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t_1)}$: t_1 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t_p)}$: t_p 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

3.3.2. 不規則パルス

図 3-5 の (A) に示すように、不規則な方形波の電力損失がパワー-MOSFET/IGBT に生じた場合の接合部温度 T_J の算出方法を示します。図 3-5 の (B) に示すように、重ね合わせの理を使用し、ブロックごとの接合部温度 T_J を算出します。

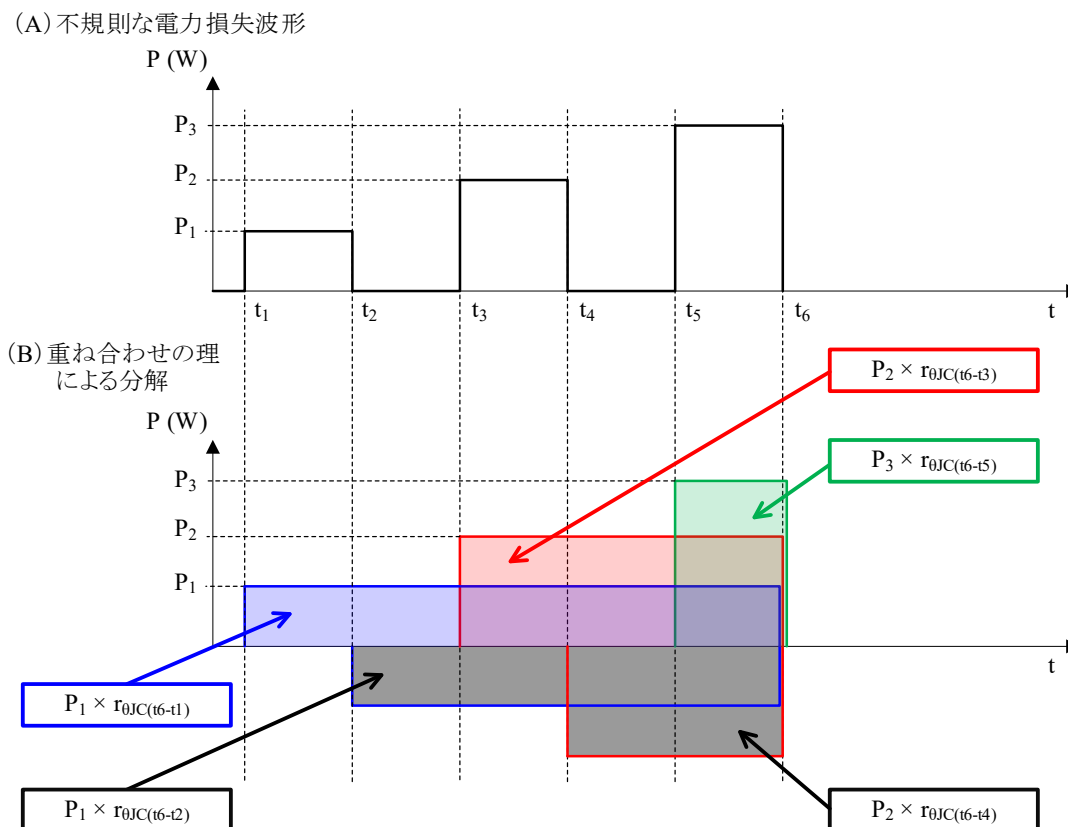


図 3-5 重ね合わせの理

よって、重ね合わせの理を使用した場合の T_J は以下の式で計算できます。

$$T_J = T_C + P_1 \{ r_{\theta JC(t6-t1)} - r_{\theta JC(t6-t2)} \} + P_2 \{ r_{\theta JC(t6-t3)} - r_{\theta JC(t6-t4)} \} + P_3 \{ r_{\theta JC(t6-t5)} \}$$

ここで、

T_C : ケース温度 (°C)

$P_1 \sim P_3$: 各パルスの電力損失 (W)

$r_{\theta JC(t6-t1)}$: t_6-t_1 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t6-t2)}$: t_6-t_2 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t6-t3)}$: t_6-t_3 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t6-t4)}$: t_6-t_4 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

$r_{\theta JC(t6-t5)}$: t_6-t_5 期間の接合部とケース温度間の熱抵抗 (°C/W)

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものであります。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製
- 品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口を確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておられません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したのですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。

DSGN-CJZ-16003