

## LDO の自己発熱の考え方と選択方法

### **概要**

本資料では自己発熱が問題となりやすい 低ドロップアウトレギュレータ ( LDO ) の発熱の理由を解説し、最適な入力電圧の考え方、デバイスの選択について説明をします。

具体例として TCR3DM ( 300mA ) と TCR5BM/8BM ( 2 電源 500mA / 800mA ) を例に熱計算を行い Junction 温度を導きます。

## 目次

1. はじめに.....	3
2. LDO の発熱メカニズムと発熱が及ぼす悪影響 .....	4
2.1 LDO の発熱メカニズム ～熱抵抗について.....	4
2.2 LDO の発熱による様々な弊害 .....	5
3. P チャネル MOS 出力 LDO の熱設計 .....	6
4. 2 電源 N チャネル MOS 出力 LDO : TCR5BM/8BM を用いた最適な熱設計.....	8
5. まとめ.....	9
6. 関連リンク .....	10
7. 製品取り扱い上のお願ひ .....	11

## 1. はじめに

ますます高性能化されるモバイル機器やその他の電子機器には、その高い性能、機能を実現すべく高性能半導体部品など様々な電子部品が数多く搭載されています。しかし、その高性能の代償として、例えばプロセッサ、電源 IC などが高速で動作する場合や、大きい出力電流を負荷に供給する場合には多大な電力を消費してしまいます（電力損失）。そしてこの電力損失は熱として電子機器内に放出され、その発熱源である半導体製品自体のチップ温度を上昇させるのみならず、電子機器の筐体内部という狭い空間の温度も上昇させてしまいます。この場合、発熱源である半導体部品はその自己発熱によるチップ温度の上昇によって動作不良を起こす可能性が高くなり、またその近隣にある他の電子部品も高温に晒されることによって動作不良を起こす可能性が高まります。

電子機器やモバイル機器にとってなくてはならない重要な部品であるリニアレギュレータ（以下 LDO）も、使用法によっては上記のように電力損失によって発熱してしまう部品です。そこで、本アプリケーションノートでは、LDO の発熱メカニズムを明らかにし、LDO が不必要に発熱することなくその性能を最大限に発揮できるような出力電圧と出力電流に対する電源電圧の設定方法、つまり適切な熱設計法について解説します。

CMOS LDO には大きく分けて P チャネル MOS 出力タイプと N チャネル MOS 出力タイプの製品がありますが、当社の P チャネル MOS 出力 LDO の TCR3DM（300mA 出力）と N チャネル MOS 出力 LDO の TCR5BM/8BM（2 電源 500mA/800mA 出力）を例に取り、具体的なチップ温度の計算例を示します。その中で、TCR3DM を含む一般的な P チャネル MOS 出力 LDO と比べて 2 電源 N チャネル MOS 出力 LDO：TCR5BM/8BM が発熱抑制と高性能実現の両立に非常に有利であることを示します。

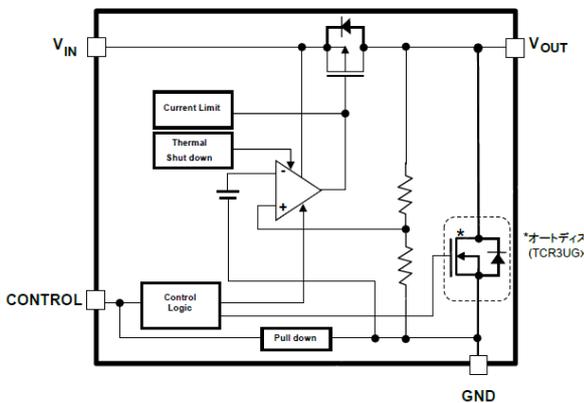


図 1.1 P チャネル MOS 出力 LDO ブロック図：TCR3DM  
TCR3DM ブロック図

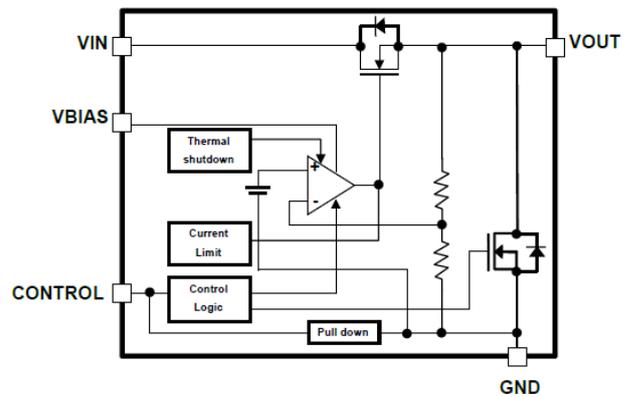
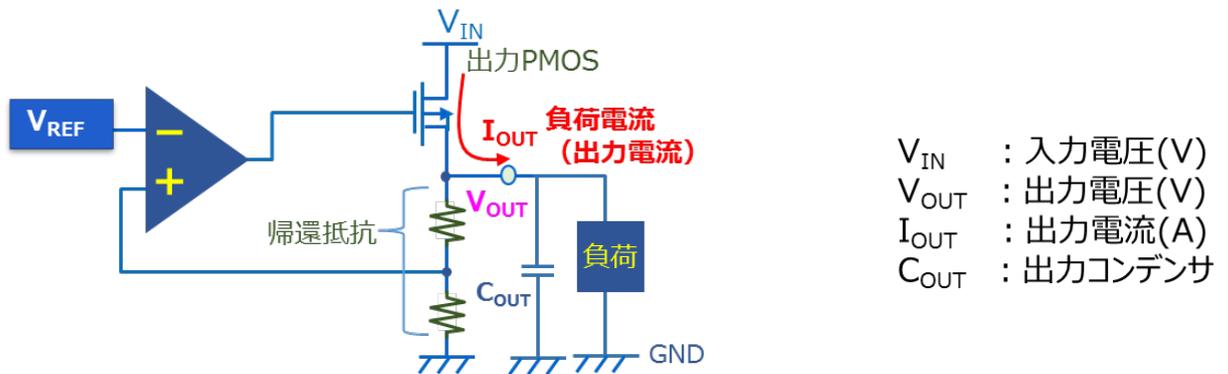


図 1.2 2 電源 N チャネル MOS 出力 LDO  
TCR5BM/8BM ブロック図

## 2. LDOの発熱メカニズムと発熱が及ぼす悪影響

### 2.1 LDO の発熱メカニズム ～熱抵抗について

図 2.1 に一般的な P チャンネル MOS 出力 LDO の簡易回路図を示します。



$V_{IN}$  : 入力電圧(V)  
 $V_{OUT}$  : 出力電圧(V)  
 $I_{OUT}$  : 出力電流(A)  
 $C_{OUT}$  : 出力コンデンサ

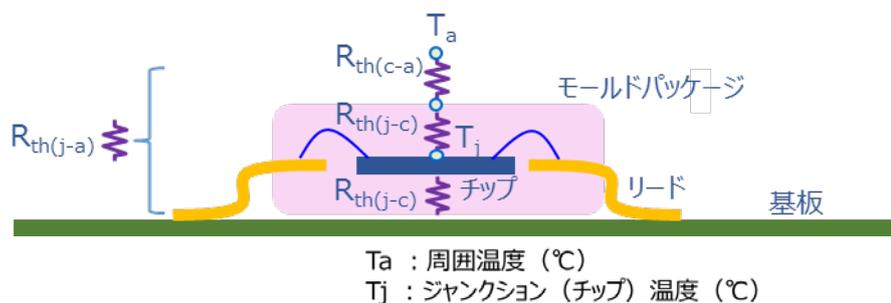
図 2.1 一般的な P チャンネル MOS 出力 LDO の簡易回路図

LDO が負荷に対して電流を供給する場合、LDO には主に下の(1)式の電力損失  $P_D$  が発生します。またこれは、LDO の電力損失のほとんどが出力 MOS トランジスタで発生することを意味しています。

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} \quad (\text{W}) \quad \dots\dots(1)$$

(1) 式から、電源電圧と出力電圧の差が大きく、かつ出力電流が大きい場合に電力損失が大きくなるのが分かり、その電力損失が熱に変換されます。この時、LDO のチップが放熱性の良い環境にあれば、上記の電力損失による熱は速やかに放熱されチップ温度が著しく上昇することはありません。しかし、LDO のチップは一般的に放熱性の悪いモールドパッケージに封入されており、また、モバイル機器などの狭い筐体内に配置されるケースが多いため、その放熱性の悪さからチップ温度が上昇してしまいます。

この、モールドパッケージや LDO の配置される環境も含めた放熱性の悪さは熱抵抗と言われます。以下に、LDO の熱抵抗がどのように存在しているのかを説明します。IC (集積回路) の熱抵抗は図 2.2 のモデルで表されます。



$T_a$  : 周囲温度 (°C)  
 $T_j$  : ジャンクション (チップ) 温度 (°C)

図 2.2 LDO の熱抵抗モデル

図 2.2 における熱抵抗は以下の 2 種です。

- $R_{th(j-c)}$  : チップからモールドパッケージへの熱抵抗
- $R_{th(c-a)}$  : モールドパッケージから大気への熱抵抗

一般的に、周囲温度  $T_a$  からチップ温度を計算する場合は上記の二つの熱抵抗を統合した

- $R_{th(j-a)}$  : チップから大気への熱抵抗

が用いられ、データシートに記載されている許容損失から算出される熱抵抗はこの  $R_{th(j-a)}$  です（単位は  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ）。実際の  $R_{th(j-a)}$  の値は LDO が搭載されている基板からの放熱も含んだ値になるため、基板の大きさや基板の持つ金属面など環境によって変わります。

## 2.2 LDO の発熱による様々な弊害

(1)式で表される電力損失による発熱は熱抵抗  $R_{th(j-a)}$  に妨げられるため、チップ温度は周囲温度より高くなります。チップ温度が上昇した場合、LDO には以下のような不具合の発生が考えられます。

- 1) 絶対最大定格に記載の接合温度（ $150^{\circ}\text{C}$ ）を超えた場合、P 型/N 型の不純物によるキャリア以外に、半導体の価電子帯の電子が熱エネルギーを得て伝導帯に上がり、電気伝導に寄与し始める。その結果、MOS トランジスタが制御不能になる。
- 2) LDO に搭載されている過熱保護機能（サーマルシャットダウン：TSD）が動作し、LDO がシャットダウンされる。この場合、チップ温度が一旦下がり LDO が動作状態に戻るが、発熱の原因が取り去られていない場合は再びチップ温度が上昇し過熱保護が働く。そして動作/停止を繰り返すサイクル動作モードに陥る。
- 3) TDDB (Time Dependent Dielectric Breakdown)、NBTI (Negative Bias Temperature Instability)、エレクトロマイグレーションなど、LDO の信頼性不良の発生確率が熱によって加速され、長期にわたる安定動作が損なわれる。

このように、チップ温度の上昇は LDO の動作不良、信頼性の劣化につながりますので、適切な熱設計が必要となります。次章では、まず P チャネル MOS 出力トランジスタを持つ LDO の熱設計を実際に行ってみます。

### 3. PチャネルMOS出力LDOの熱設計

#### 3.1 PチャネルMOS出力LDO：TCR3DMのチップ温度の計算例

以下に、TCR3DMを例に取り、具体的な数値例を挙げてチップ温度の計算方法を説明します。

チップ温度  $T_j$  の計算式は下の (2) 式です。

$$T_j = T_a + P_D \times R_{th(j-a)} = T_a + (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} \times R_{th(j-a)} \quad (^\circ\text{C}) \cdots (2)$$

例として下記の条件を考えます。

入力電圧  $V_{IN}$  : 3V

出力電圧  $V_{OUT}$  : 1V

負荷電流  $I_{OUT}$  : 200mA

熱抵抗  $R_{th(j-a)}$  : 298 $^\circ\text{C}/\text{W}$  ※データシートの許容損失 : 420mW から算出

(許容損失測定条件)

ガラスエポキシ(FR4)

基板面積 : 40mm x 40mm (両面基板),  $t=1.6\text{mm}$

配線率 : 表面 約 50%, 裏面約 50%

スルーホール : 直径 0.5mm x 24

周囲温度  $T_a$  を 25 $^\circ\text{C}$ 、85 $^\circ\text{C}$ とした場合、それぞれのチップ温度は以下のように計算できます。

$$T_a = 25^\circ\text{C} : T_j = 25^\circ\text{C} + (3\text{V} - 1\text{V}) \times 200\text{mA} \times 298^\circ\text{C}/\text{W} = 144^\circ\text{C}$$

$$T_a = 85^\circ\text{C} : T_j = 85^\circ\text{C} + (3\text{V} - 1\text{V}) \times 200\text{mA} \times 298^\circ\text{C}/\text{W} = 204^\circ\text{C}$$

このように、周囲温度  $T_a$  が高い場合、チップ温度も高くなってしまい、 $T_a=85^\circ\text{C}$  の場合は絶対最大定格接合温度 150 $^\circ\text{C}$  を上回ってしまいます。この場合、チップ温度を下げるには入力電圧を下げる必要があります。

今、入力電圧を 2V にしたとすると、チップ温度は以下ようになります。

$$T_a = 25^\circ\text{C} : T_j = 25^\circ\text{C} + (2\text{V} - 1\text{V}) \times 200\text{mA} \times 298^\circ\text{C}/\text{W} = 84.6^\circ\text{C}$$

$$T_a = 85^\circ\text{C} : T_j = 85^\circ\text{C} + (2\text{V} - 1\text{V}) \times 200\text{mA} \times 298^\circ\text{C}/\text{W} = 145^\circ\text{C}$$

この結果、 $T_a = 25^\circ\text{C}$  でも  $T_a = 85^\circ\text{C}$  でも絶対最大定格接合温度 150 $^\circ\text{C}$  以下に抑えることができます。このように、LDO の入力電圧を下げることによって電力消費を抑え、チップ温度を下げて LDO を定格内で使用することは LDO の代表的な熱設計の手法です。

上記の  $T_a = 85^\circ\text{C}$  の計算例ではチップ温度は  $T_j = 145^\circ\text{C}$  に下がりましたが、絶対最大定格の 150 $^\circ\text{C}$  に近く、一般には高いチップ温度といえますのでさらに入力電圧を下げてデレーティングする必要があります。(デレーティングは絶対最大定格の 80%以下を推奨) しか、入力電圧を低くし過ぎますと、図 2.1 から分かるように、出力 Pチャネル MOS のゲート-ソース間電圧  $V_{GS}$  が小さくなることによって電流駆動能力が悪化し、LDO の諸特性が悪化してしまいます。このような場合、LDO の重要な特性であるドロップアウト特性を考慮して熱設計を行う必要がありますので、以下にそれを説明します。

### 3.2 LDO のドロップアウト特性 ～入力電圧の下限値

LDO の重要な特性にドロップアウト電圧という指標があります。このドロップアウト電圧とは、LDO が規定の出力電流を流している場合において出力電圧を規定値に保つために必要な入力電圧と出力電圧差： $V_{IN} - V_{OUT}$  の最小値を示しています。つまり LDO が正常な動作をするために必要な最小入力電圧を意味します。

下の図 3.1 は P チャネル MOS 出力 LDO : TCR3DM と N チャネル MOS 出力 LDO : TCR5BM の出力電圧  $V_{OUT} = 1.0V$  時のドロップアウト特性です。※ $T_a = 25^\circ C$ 、TCR5BM は  $V_{BIAS}$  (後述) = 3.3V TCR3DM、TCR5BM とも規定の出力が 98% になった時点での入力電圧値からドロップアウト電圧を算出

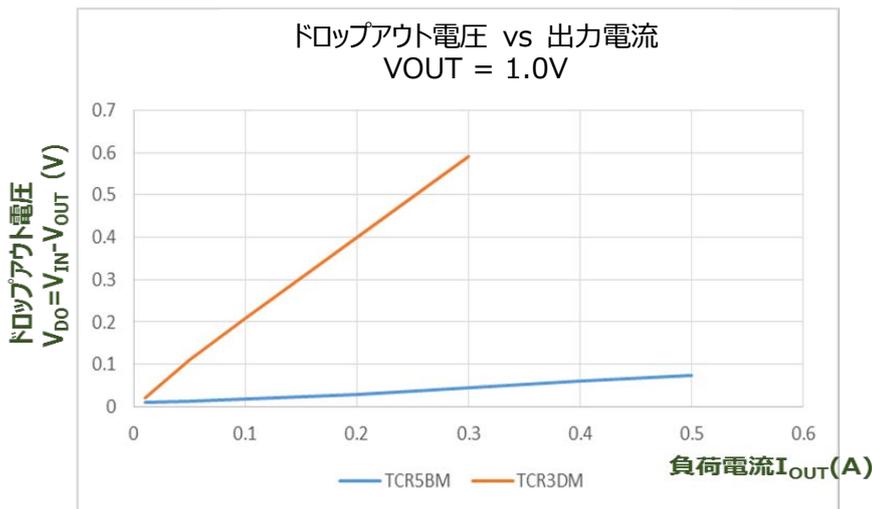


図 3.1 ドロップアウト特性 ( $V_{OUT} = 1V$ 、 $T_a = 25^\circ C$ )

図 3.1 から、TCR3DM は負荷電流 300mA の時にはドロップアウト電圧は 0.6V なので、出力電圧 1.0V に対して入力電圧は 1.6V 以上が必要だと判ります ( $T_j = 25^\circ C$ 、標準値)。発熱を抑えるために入力電圧をこれより低い 1.5V などにした場合は、出力電圧の低下やその他 AC 特性の悪化を招きます。

一方、2 電源 N チャネル MOS 出力 LDO である TCR5BM は負荷電流が 500mA の時でもドロップアウト電圧が約 80mV と大幅に小さく、出力電圧 1.0V に対して入力電圧  $V_{IN} = 1.08V$  でも LDO としての機能、性能を発揮することができます。

このように、P チャネル MOS 出力 LDO は、その電流駆動能力の低さから一般的にドロップアウト電圧が大きい傾向にあります (特に規定の出力電圧が低い場合にドロップアウトの悪化は顕著になります)。従って、発熱を抑えるために入力電圧を下げる場合は、電流駆動能力が高く、ドロップアウト電圧の小さい N チャネル MOS 出力 LDO を使用するほうが有利で、さらに出力 N チャネル MOS を駆動するゲート電圧用に別電源を用意した 2 電源 LDO は非常に有利になります。

次章で 2 電源 N チャネル MOS 出力 LDO の紹介と、それをを用いた場合の適切な熱設計方法を説明します。

#### 4. 2電源NチャンネルMOS出力LDO：TCR5BM/8BMを用いた最適な熱設計

LDO の性能を高く保ちつつ低い発熱を実現するためには 2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO が非常に有利です。図 4.1 に TCR5BM/8BM の簡易回路図を示します。

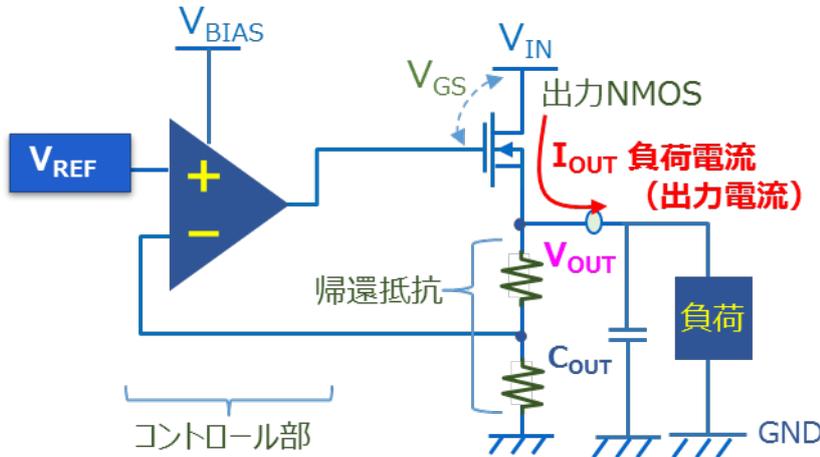


図 4.1 2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO：TCR5BM/8BM 簡易回路図

この 2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO は高い電流駆動能力を持つ N チャンネル MOS 出力トランジスタを搭載していますのでドロップアウト電圧が小さくなっており、入力電圧を低くすることが可能です。

さらに、図 4.1 に示すコントロール部の電源システムを出力 N チャンネル MOS トランジスタの入力電圧  $V_{IN}$  からバイアス電圧  $V_{BIAS}$  として分離しているため、 $V_{BIAS}$  を独立に高くすることによってコントロール回路が生成する出力 N チャンネル MOS トランジスタのゲート電圧を高くすることができ、よりいっそう出力 N チャンネル MOS の電流駆動能力を高くすることができます（コントロール部は消費電流が小さいため  $V_{BIAS}$  を高くしてもほとんど発熱に寄与しません）。

その結果、ドロップアウト電圧がさらに小さくなるため、出力 N チャンネル MOS トランジスタの入力電圧  $V_{IN}$  を P チャンネル MOS 出力 LDO に対して下げることができ、発熱を非常に小さく抑えることが出来ます。このように、TCR5BM は高性能を保ちながら発熱を抑えることが出来ますので、適切な熱設計が容易になります。

以下に TCR5BM の熱設計例を示します。例として下記の条件を考えます。

出力 N チャンネル MOS の入力電圧  $V_{IN}$  : 1.15V ( $V_{IN} - V_{OUT} >$  TCR5BM のドロップアウト電圧とする)

コントロール部のバイアス電圧  $V_{BIAS}$  : 3.3V

出力電圧  $V_{OUT}$  : 1V

負荷電流  $I_{OUT}$  : 300mA

熱抵抗  $R_{th(j-a)}$  : 208°C/W ※データシートの許容損 600mW から算出

(許容損失測定条件)

ガラスエポキシ (FR4)

基板面積 : 40 mm x 40 mm (4 層基板),  $t = 1.8$  mm

配線率 : 各層 約 70 %

この場合のチップ温度は以下のように算出できます。

$T_a = 85^\circ\text{C}$ とすると、

$$T_j = 85^\circ\text{C} + (1.15\text{V} - 1\text{V}) \times 300\text{mA} \times 208^\circ\text{C}/\text{W} = 94^\circ\text{C}$$

となり、周囲温度が高くてもチップ温度を絶対最大定格接合温度  $150^\circ\text{C}$  よりかなり低い値に設定できます。

また、負荷電流が最大の  $500\text{mA}$  の場合でも、

$$T_j = 85^\circ\text{C} + (1.15\text{V} - 1\text{V}) \times 500\text{mA} \times 208^\circ\text{C}/\text{W} = 101^\circ\text{C}$$

と、絶対最大定格接合温度  $150^\circ\text{C}$  に対してマージンのあるチップ温度に収まります。以上のように、2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO は発熱を抑えつつ高性能を発揮するのに非常に有効なソリューションであり、適切な熱設計が容易であることが分かります。

## 5. まとめ

LDO などの半導体部品を含む電子部品の発熱は、電子部品自体の性能悪化、信頼性の劣化はもとより、それらから構成されている電子機器全体へ悪影響を及ぼします。LDO の発熱を抑えるためには入力電圧を低くすることが有効ですが、その場合、弊社：TCR5BM/8BM シリーズのようなドロップアウト電圧が低い 2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO を用いれば適切な熱設計が容易になることと LDO の高性能を両立することが出来ます。

弊社では  $500\text{mA}$  から  $1.5\text{A}$  まで 2 電源 N チャンネル MOS 出力 LDO ラインナップを取り揃えており、様々なアプリケーションに使用可能です。

熱設計に有利な 2 電源の低ドロップアウト LDO 製品

- 500mA LDO：TCR5BMのデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)
- 800mA LDO：TCR8BMのデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)
- 1.3A LDO：TCR13AGADJ のデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)
- 1.5A LDO：TCR15AG のデータシートダウンロードはこちらから → [Click Here](#)

この他 LDO の使用方法については、“ロードロップアウト(LDO)レギュレータ IC アプリケーションノート”をご覧ください。

ロードロップアウト(LDO)レギュレータ IC アプリケーションノートはこちらから → [Click Here](#)

その他 LDO 製品ラインナップはこちらから → [Click Here](#)

### 6. 関連リンク

- 製品のラインアップ (カタログ)
- 製品のラインアップ (詳細)
- 製品のラインアップ (パラメトリックサーチ)
- オンラインディストリビュータご購入、在庫検索
- ロードロップアウト レギュレーター IC の FAQ
- アプリケーションノート

[Click](#)[Click](#)[Click](#)[Click](#)[Click](#)

## 7. 製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。  
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、電力機器、金融関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口までお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。