

# アプリケーション ノート

面実装チップ型スイッチングレギュレータIC

SI-8000JDシリーズ

第2版 2013年11月

サンケン電気株式会社

## — — — 目次 — — —

## 1. 概要

1 - 1 特長	-----	3
1 - 2 主な用途	-----	3
1 - 3 種別	-----	3

## 2. 製品仕様

2 - 1 外形図	-----	4
2 - 2 定格	-----	5
2 - 3 回路図	-----	7

## 3. SI-8000JD の動作説明

3 - 1 PWM 出力電圧制御	-----	8
3 - 2 入出力電流とチョークコイル電流	-----	9
3 - 3 過電流・過熱保護	-----	10

## 4. 電源の安定性

4 - 1 位相余裕	-----	11
4 - 2 LC フィルタの位相特性	-----	13
4 - 3 レギュレータ IC と LC フィルタの位相特性の関係	-----	14

## 5. 使用に際しての注意事項

5 - 1 外付部品選定上の注意	-----	15
5 - 2 パターン設計上の注意	-----	19
5 - 3 動作波形の確認	-----	21
5 - 4 熱設計	-----	22

## 6. 応用

6 - 1 出力 ON・OFF 制御	-----	23
6 - 2 出力電圧可変	-----	23
6 - 3 スパイクノイズの低減	-----	25
6 - 4 逆バイアス保護	-----	25

## 7. 用語解説

-----	26
-------	----

## 1. 概要

SI-8000JD シリーズは、降圧スイッチングレギュレータに必要な各種の機能と保護機能を備えたチョツパ型スイッチングレギュレータ IC です。僅か 4 点の外付け部品で高精度高能率のスイッチングレギュレータを構成することができます。

### ● 1-1 特長

- ・小型大出力電流 1.5A  
面実装 T0263-5 の外形で、出力電流が最大 1.5A です。
- ・高効率 82% (SI-8050JD Vin=20V/Io=0.5A)  
高効率のため発熱が小さく、放熱器も小型にする事が出来ます。
- ・外付部品 4 点  
入出力コンデンサ、ダイオード、コイルのみでレギュレータを構成できます。
- ・出力電圧、位相補正内部調整済  
面倒な外付部品による出力電圧、位相補正の調整は不要です。
- ・タイミングコンデンサ内蔵型基準発振  
発振周波数設定用の外付コンデンサは不要です。
- ・過電流、過熱保護内蔵  
フの字型過電流保護および過熱保護回路を内蔵しています。 (自動復帰型)
- ・出力 ON/OFF 機能 (立ち上げディレイ時間設定可能)  
出力の ON/OFF 制御も可能です。OFF 時の消費電流も少なくなっています。また外付コンデンサの追加で、起動時に出力電圧立ち上がり速度を遅らせることが出来ます。

### ● 1-2 主な用途

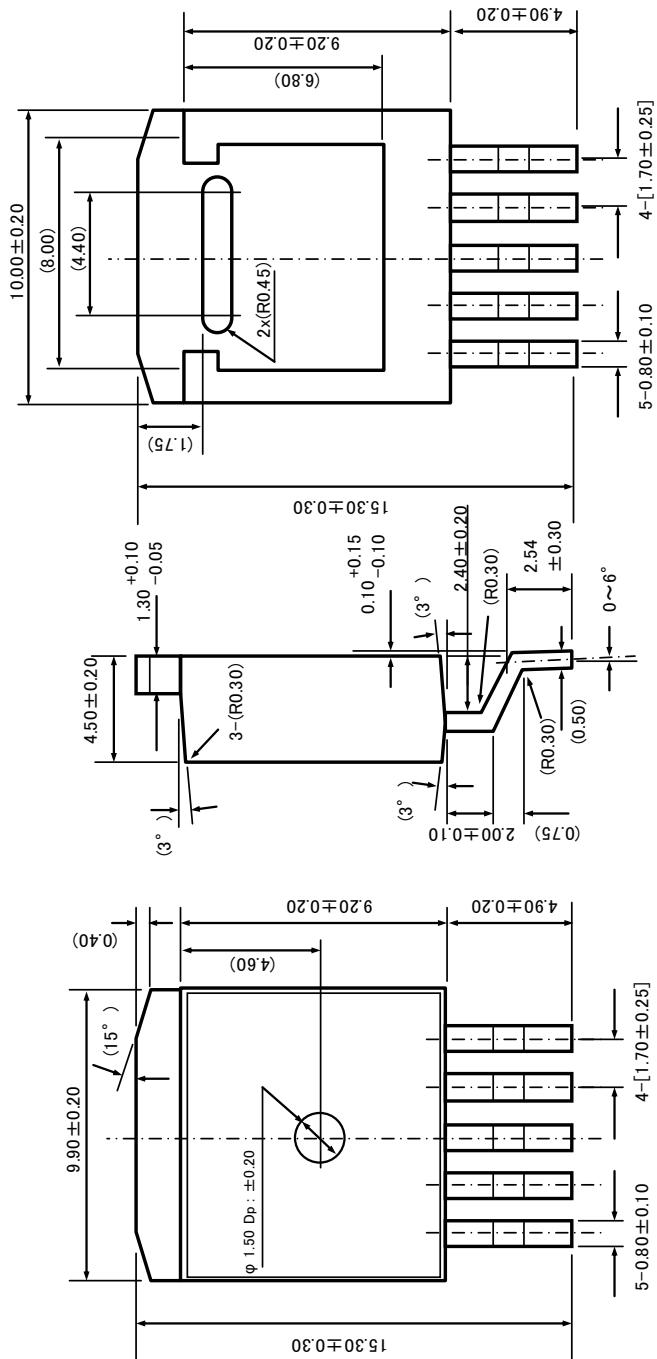
- ・オンボードローカル電源
- ・レギュレータ 2 次側出力電圧安定化
- ・OA 機器用電源
- ・テレコム用電源

### ● 1-3 種別

- ・種別：半導体集積回路 (モノリシック IC)
- ・構造：樹脂封止型 (トランスマーケット)

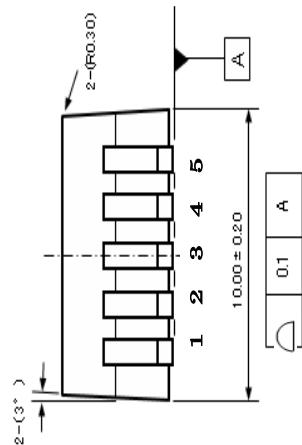
## 2. 製品仕様

### 2-1 SI-8000JD (面実装 : T0263-5) 外形図



- 注記
- 寸法はモールドパリを含まない。
  - ( )内は参考寸法を示す。
  - [ ]内はリードフォーミング後寸法
  - 裏面段差: 0. 8mm MAX
  - 単位: mm

- 端子配列
1. Vin
  2. SWOut
  3. GND
  4. Vos
  5. ON/OFF



製品質量：約 1.48 g

Products Weight : Approx.1.48g

## ● 2-2 定格

ラインナップ		絶対最大定格					
品名	Vout(V)	項目			記号	定格値	単位
SI-8033JD	3.3	入力電圧			Vin	43	V
SI-8050JD	5	無限大放熱時許容損失			Pd1	16.6	W
SI-8090JD	9	放熱板未使用時許容損失			Pd2	1.5	W
SI-8120JD	12	接合部温度			Tj	125	°C
		保存温度			Tstg	-40~+125	°C

### 推奨動作条件

項目	記号	SI-8033JD	SI-8050JD	SI-8090JD	SI-8120JD	単位	条件
直流入力電圧	Vin1	5.3~6.3	7~8	11~12	14~15	V	Io=0~1A
	Vin2	6.3~40	8~40	12~40	15~40	V	Io=0~1.5A
出力電流	Io	0~1.5				A	Vin $\geq$ Vo+3V
動作時接合温度	Tjop	-30~+125				°C	

### 電気的特性

(Ta=25 °C)

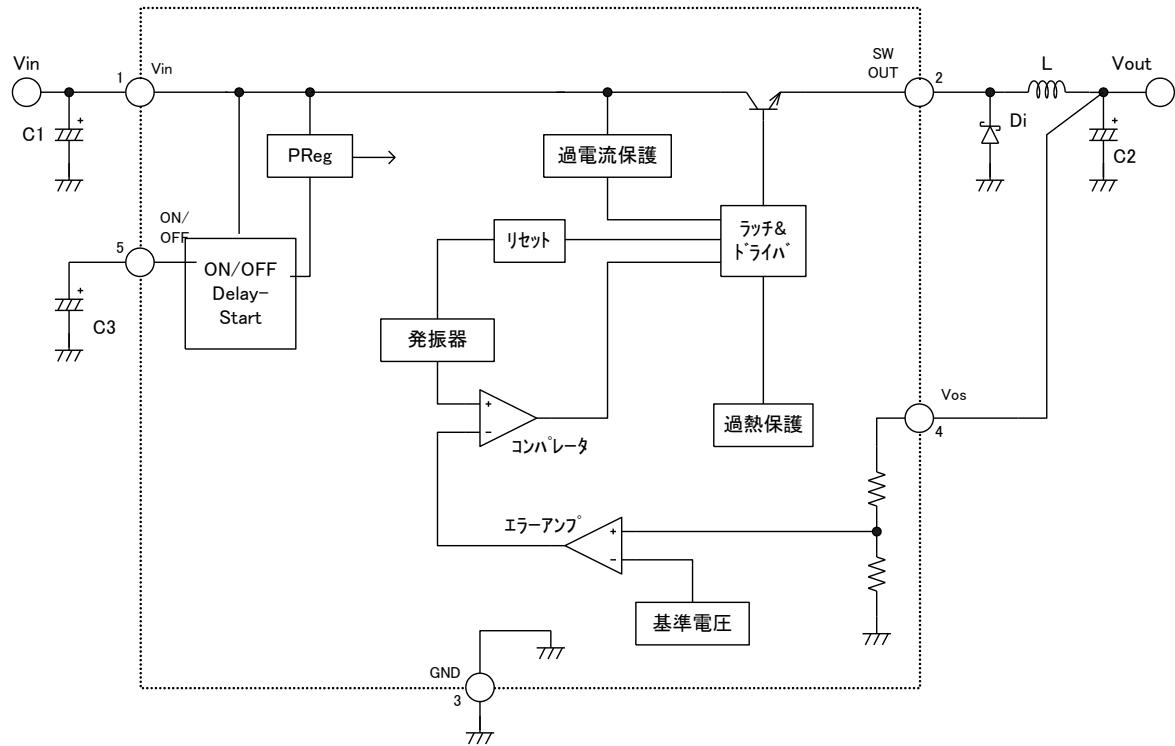
項目	記号	SI-8033JD			SI-8050JD			SI-8090JD			SI-8120JD			単位
		min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	
設定出力電圧	Vin	3.17	3.30	3.43	4.90	5.00	5.10	8.82	9.00	9.18	11.76	12.0	12.24	V
	条件	Vin=15V/Io=0.5A		Vin=20V/Io=0.5A		Vin=21V/Io=0.5A		Vin=24V/Io=0.5A						
効率	$\eta$		77			82			86				88	
	条件	Vin=15V/Io=0.5A			Vin=20V/Io=0.5A			Vin=21V/Io=0.5A			Vin=24V/Io=0.5A			%
動作周波数	f		125			125			125				125	
	条件	Vin=15V/Io=0.5A			Vin=20V/Io=0.5A			Vin=21V/Io=0.5A			Vin=24V/Io=0.5A			kHz
入力電圧対出力電圧 (Iout=0.5A)	$\triangle V_{Li}$		25	80		40	100		50	120		60	130	mV
	条件	Vin=8~30V			Vin=10~30V			Vin=15~30V			Vin=18~30V			
出力電流対出力電圧 (Iout=0.2~0.8A)	$\triangle V_{Lo}$		10	30		10	40		10	40		10	40	mV
	条件	Vin=15V			Vin=20V			Vin=21V			Vin=24V			
過電流保護開始電流	Is	1.6			1.6			1.6			1.6			A
	条件	Vin=15V			Vin=20V			Vin=21V			Vin=24V			

項目	記号	SI-8033JD			SI-8050JD			SI-8090JD			SI-8120JD			単位
		min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max	
出力電圧温度変動	Kt		± 0.5			±0.5			± 1.0			±1.0		mV/°C

## ● 2-3 回路図

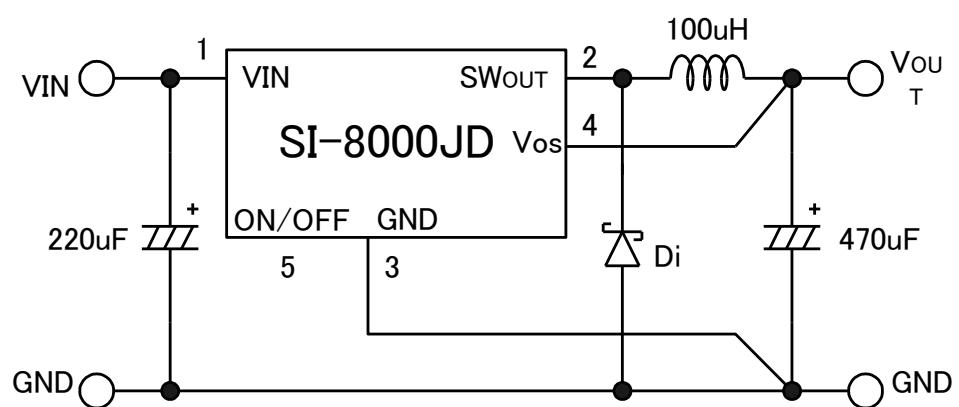
### 2-3-① 内部等価回路図

- SI-8033JD, SI-8050JD, SI-8090JD, SI-8120JD 内部等価回路



### 2-3-② 標準接続図

- SI-8033JD, SI-8050JD, SI-8090JD, SI-8120JD 接続図

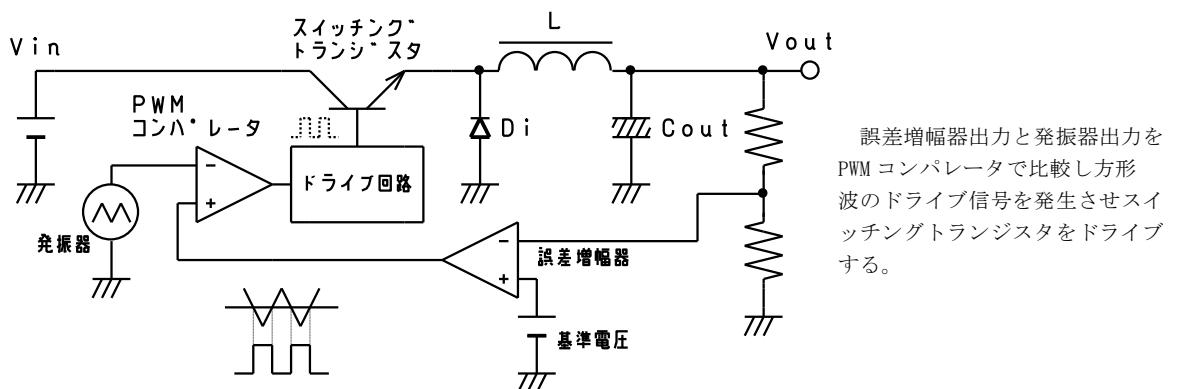


### 3. SI-8000JD の動作説明

#### ● 3-1 PWM 出力電圧制御

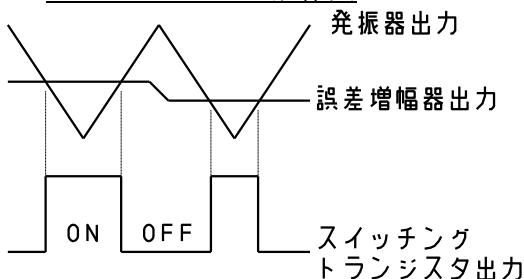
SI-8000JDシリーズは、PWM方式にて出力電圧を制御しており、PWMコンパレータ、発振器、誤差増幅器、基準電圧、出力トランジスタドライブ回路、等を内蔵しております。PWMコンパレータの入力には発振器からの三角波出力( $\approx 125\text{KHz}$ )と誤差増幅器の出力が与えられます。PWMコンパレータは発振器出力と誤差増幅器出力を比較し、発振器出力に対し誤差増幅器出力が上回った時間にスイッチングトランジスタがONになるよう制御しています。

PWM 制御チョップ型レギュレータ基本構成



仮に出力電圧が上昇しようとした場合、誤差増幅器は反転型のため誤差増幅器の出力は低下します。誤差増幅器出力が低下しますと発振器の三角波レベルを下回る時間が増加しスイッチングトランジスタのON時間を短縮させることにより出力電圧を一定に保ちます。

PWM コンパレータ動作図



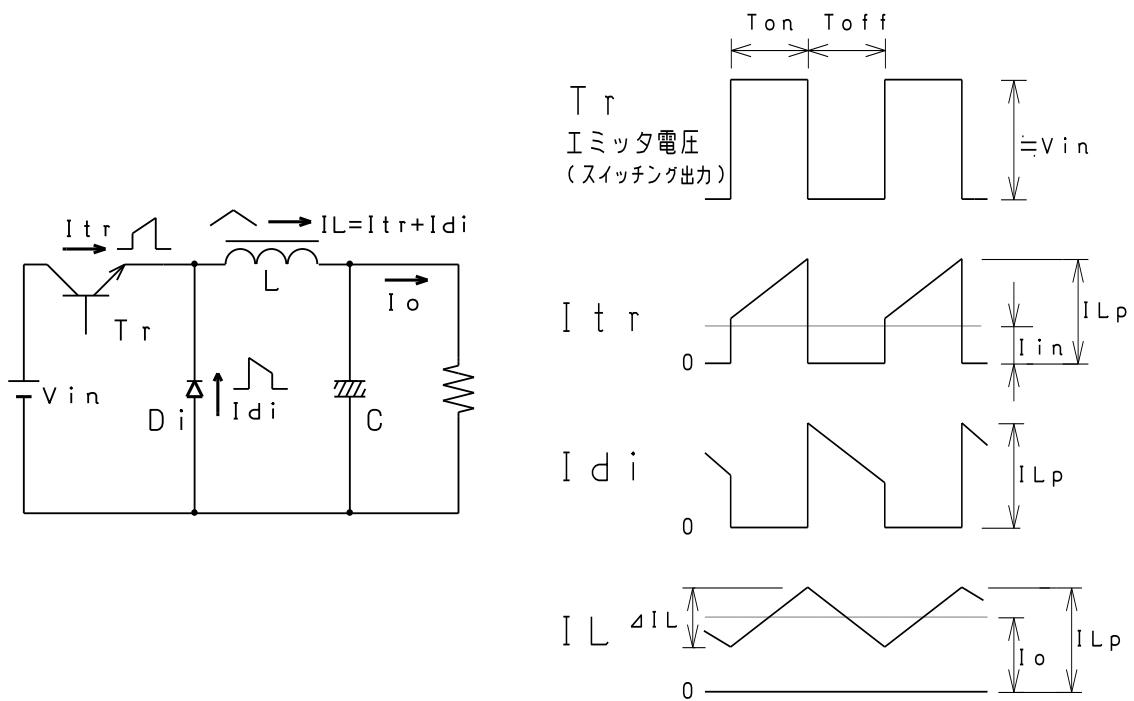
このようにスイッチングの周波数は固定したままで、スイッチングトランジスタのON時間を変化させることにより出力電圧を制御しています。

( $V_{in}$  が高いほどスイッチングトランジスタのON時間は短くなります。)

スイッチングトランジスタの方形波出力は、チョークコイルとコンデンサによるLCローパスフィルターにより平滑され、安定化された直流電圧として負荷へ供給されることになります。

### ● 3-2 入出力電流とチョークコイル電流

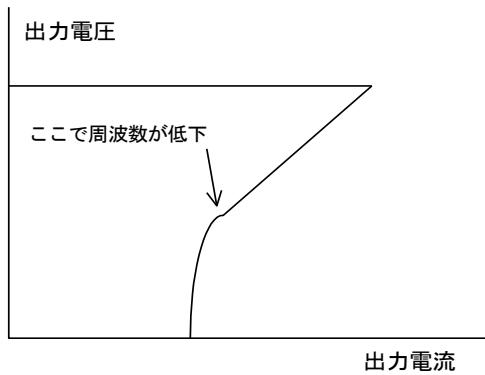
SI-8000JDのスイッチングトランジスタによって作られた方形波出力は、チョークコイルと出力コンデンサで構成されるLCフィルタで平滑される事により、直流出力電圧に変換されます。このLCフィルタの動作はチョッパ型レギュレータの安定動作に大きく影響します。チョークコイルと電流の関係、電流と出力リップル電圧の関係等を以下に示します。



チョークコイルに流れる電流  $IL$  は、三角波の形状を示します。この三角波は2種類の電流成分  $I_{tr}$  と  $I_{di}$  で構成されています。電流  $I_{tr}$  はトランジスタ ON 時に入力側よりトランジスタを通して供給される電流であり、この平均値が入力電流  $I_{in}$  となります。また電流  $I_{di}$  は、チョークコイルに蓄えられたエネルギーがトランジスタ OFF 時にフライホイールダイオード  $Di$  を介して転流された電流です。

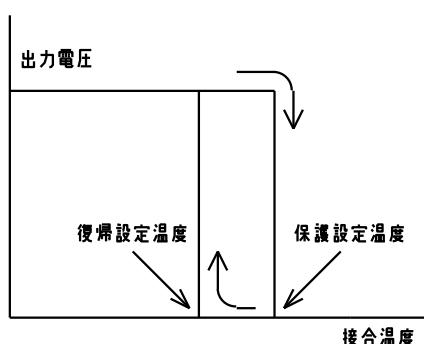
$I_{tr}$  と  $I_{di}$  の合計がチョークコイル電流  $IL$  となります。さらに  $IL$  の重畳している三角波成分は、コンデンサ  $C$  の充放電作用により平滑されますので、 $IL$  の平均値が直流出力電流  $I_o$  となります。

### ● 3 – 3 過電流・過熱保護



SI-8000JDは、フの字型過電流保護回路を内蔵しています。過電流保護回路はスイッチングトランジスタのピーク電流を検出し、ピーク電流が設定値を超えると強制的にトランジスタのON時間を短縮させて出力電圧を低下させ電流を制限しています。さらに出力電圧が定格値の約50%まで低下しますとスイッチング周波数を約40KHzにおとし低出力電圧時の電流増加を防止しています。過電流状態を解除すると出力電圧は自動的に復帰します。

#### 過熱保護時出力電圧特性



過熱保護回路は、ICの半導体接合温度を検出し、接合温度が設定値を超えると出力トランジスタを停止させ、出力をOFFとします。接合温度が過熱保護設定値より約15°C低下しますと自動的に復帰します。

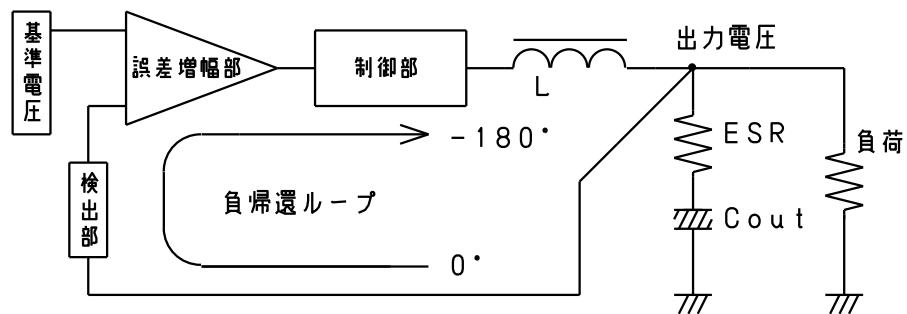
#### ※ (過熱保護特性) 注意事項

瞬時短絡等の発熱に対しICを保護する回路であり、長時間短絡等、発熱が継続する状態での信頼性を含めた動作を保証するものではありません。

## 4. 電源の安定性

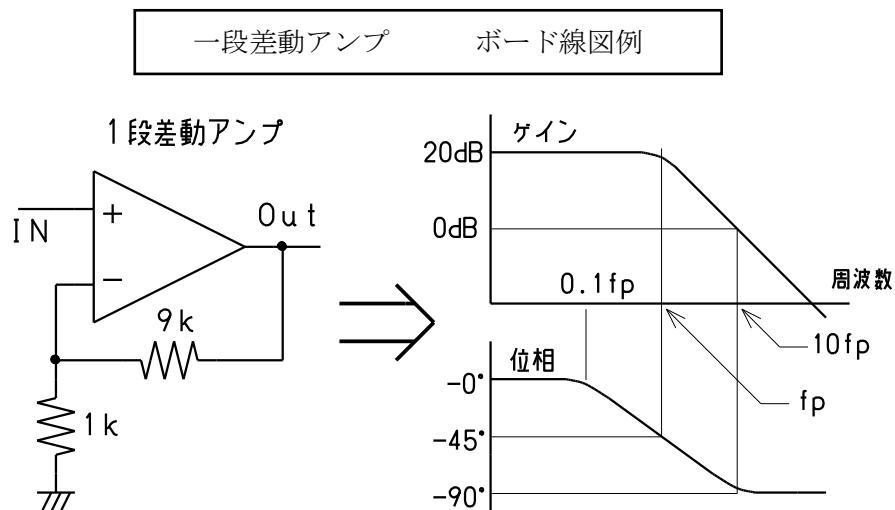
### ● 4-1 位相余裕

PWM制御チョッパ型レギュレータの回路ブロック図を以下に示します。これより PWM制御チョッパ型レギュレータは、あらかじめ設定された基準電圧と、出力電圧を常時比較して出力電圧を制御する負帰還増幅器である事が解ります。したがって出力電圧の変動を誤差増幅器で検出して出力を制御する為の負帰還ループを有しています。



負帰還ループ内の位相は、出力電圧の変動を打ち消すため  $180^\circ$  ずれていますが、さらに 増幅度(ゲイン)が 1 以上の状態において位相が  $180^\circ$  遅れると、位相のずれは合計で  $360^\circ$  に達し、安定動作領域をはずれて異常発振をおこします。これをバルクハウゼンの発振条件といいます。したがって実際の安定化電源ではこの発振条件が成立しないようにしなくてはなりません。

バルクハウゼンの発振条件が成り立つかどうかは、負帰還ループの周波数-ゲイン・位相特性により判定することが可能です。この周波数-ゲイン・位相特性をボード線図と呼びます。



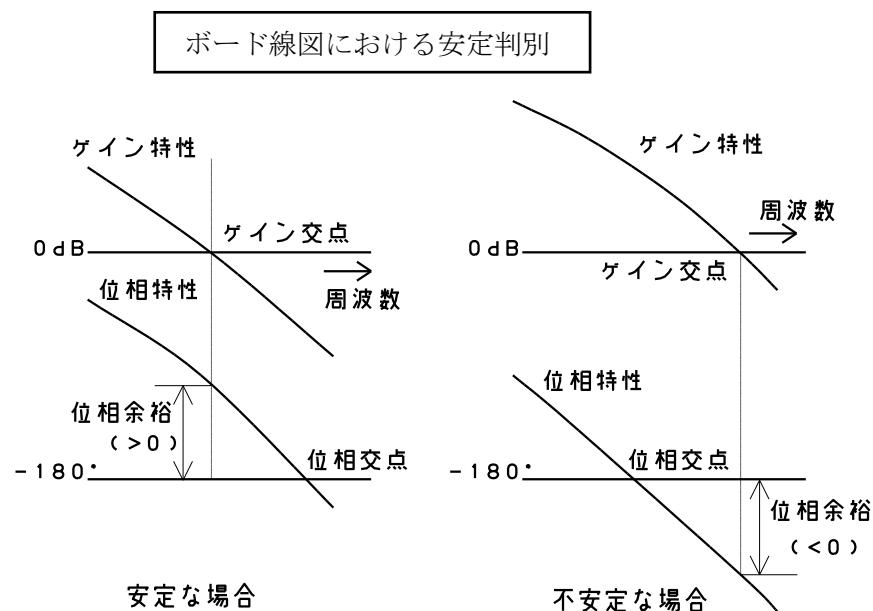
ここでボード線図上において

$\begin{cases} \text{ゲインが } 1 \text{ (0 dB) になる周波数 : ゲイン交点} \\ \text{帰還ループの位相が } -180^\circ \text{ になる周波数 : 位相交点} \end{cases}$

と呼びます。ゲイン交点の周波数において位相が  $-180^\circ$  に達していなければ発振条件は成立しないことになります。そこで

$$\text{ゲイン交点における位相} - (-180^\circ) = \text{ゲイン交点における位相} + 180^\circ$$

を位相が  $-180^\circ$  までどれだけ余裕があるかを示す値として用い、これを位相余裕と呼びます。位相余裕が大きい程、入出力条件や温度等の周囲環境が変化しても異常発振を起こしにくくなります。したがって安定動作を保つためには十分な位相余裕を見込んでおく必要があります。



## ● 4-2 LC フィルタの位相特性

チョッパ型レギュレータの位相余裕は、出力平滑用LCフィルタの位相特性に、大きく左右されます。LCフィルタの位相特性は、理論上は二次遅れ要素の特性を示します。これはコイルのインダクタンスLとコンデンサの容量Cの組み合わせにより特定の周波数で共振を起こし、共振点より高い周波数では、位相が最大180°遅れることになります。

共振周波数  $f_{LC}$  は

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

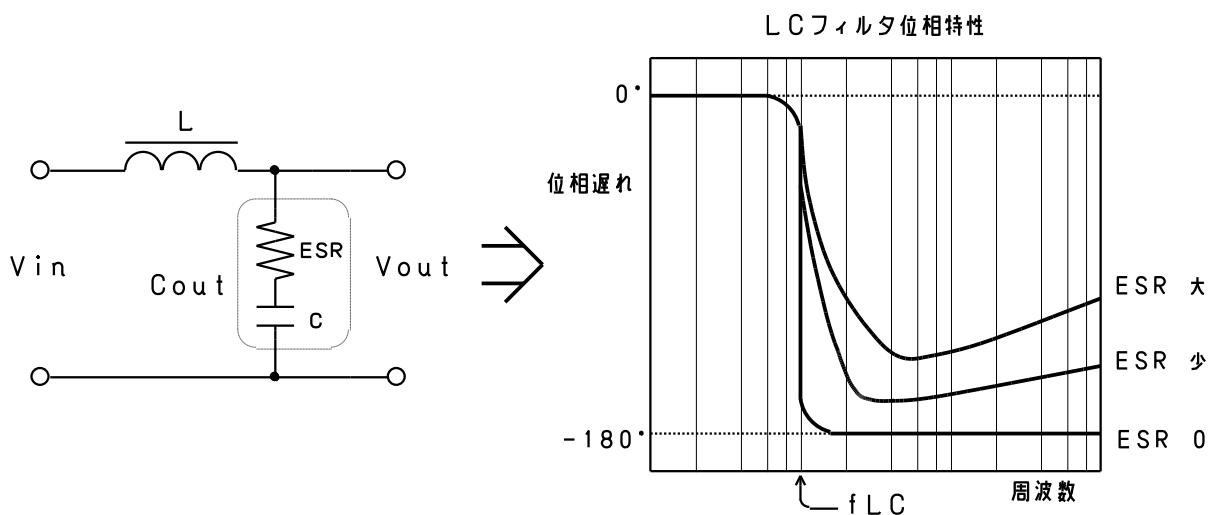
位相特性は

$$\begin{cases} \text{共振周波数 } f_{LC} \text{ より低い周波数の位相特性は: } 0^\circ \\ \text{共振周波数 } f_{LC} \text{ より高い周波数の位相特性は: } -180^\circ \end{cases}$$

となります。

したがって出力平滑用LCフィルタが理論通りの位相特性を示すとなると、このフィルタの部分だけで位相遅れは-180°に達し、レギュレータとしての位相余裕は0°になってしまいます。

しかし現実のLCフィルタにおいてはコンデンサの等価直列抵抗(ESR)の影響により、LCフィルタの位相遅れは180°より少なくなります。よって、この等価直列抵抗の位相補正効果により、レギュレータとしての位相余裕を確保することが出来ます。ESRが大きい場合、LCフィルタの位相遅れは小さくなりますが、LCフィルタの減衰率の低下によるゲイン上昇のための位相余裕低下、出力リップル電圧増大による異常発振発生の可能性があるため注意が必要です。



一般的に、出力LCフィルタにタンタル・コンデンサや積層セラミック・コンデンサのようなESRの非常に小さいコンデンサを用いますと、フィルタ部分の位相遅れが大きくなります。よって位相余裕確保の面からは、出力フィルタには電解コンデンサの使用が適当です。

### ●4-3 レギュレータICとLCフィルタの位相特性の関連

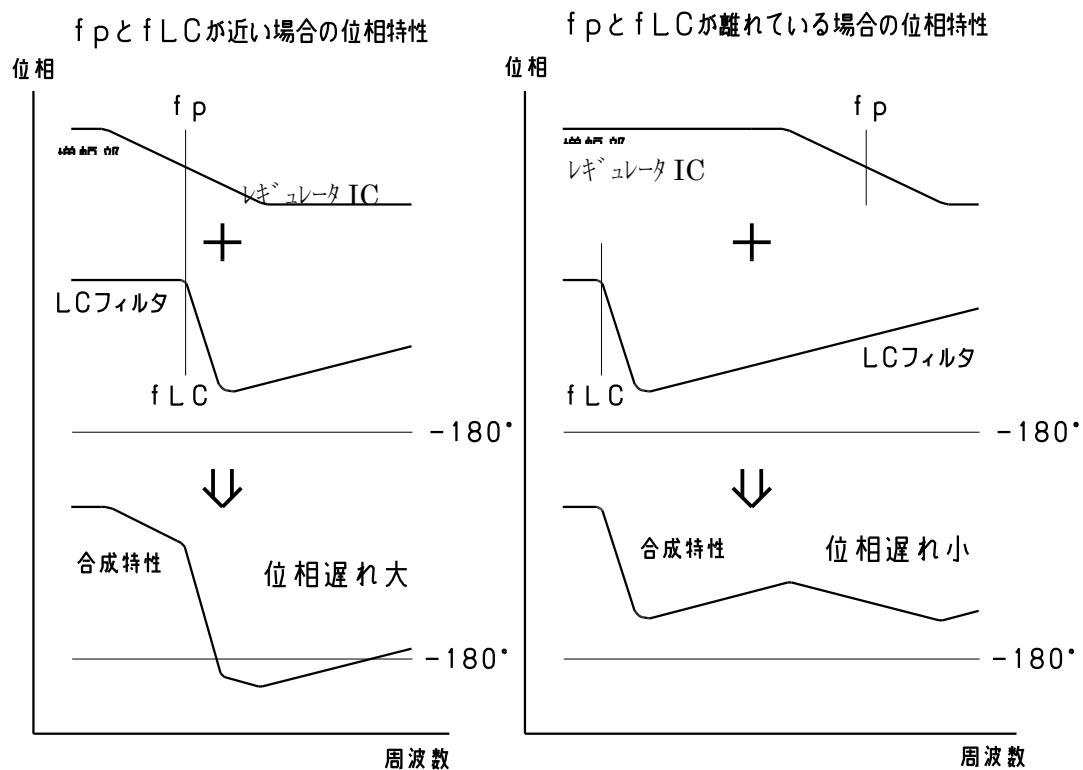
チョッパ型レギュレータの位相特性は、レギュレータICの位相と、LCフィルタの位相特性で決まってしまいます。そこで両者の特性の関連が重要になります。

レギュレータICの位相遅れの要因としては、一般的に出力段や誤差増幅器の遅れとなり、周波数が高いほど位相遅れは大きくなります。これに対し、LCフィルタの場合、LCフィルタの共振周波数  $f_{LC}$  以上では、周波数が高いほど位相遅れは小さくなります。従って、レギュレータICのゲイン低下開始周波数  $f_p$  と、LCフィルタの共振周波数  $f_{LC}$  が接近していると、両者の位相遅れが集中するためレギュレータの位相余裕が少なくなってしまいます。一般的に  $f_{LC}$  が低い程、位相余裕が増える傾向があります。

$f_{LC}$  を下げるには、以下の式よりコイル容量もしくは、コンデンサ容量を上げることが必要です。

共振周波数  $f_{LC}$  は

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



各レギュレータICのアプリケーションに記載されているLCフィルタの定数において、コイルのインダクタンスやコンデンサの容量を、推奨値より極端に小さくしますと、LCフィルタの共振周波数  $f_{LC}$  が上昇して位相余裕が減少する危険があるので注意が必要です。

## 5. 使用に際しての注意事項

### 5-1 外付部品選定上の注意

#### 5-1-① チョークコイルL

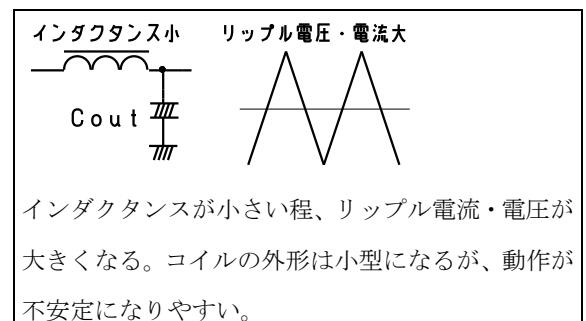
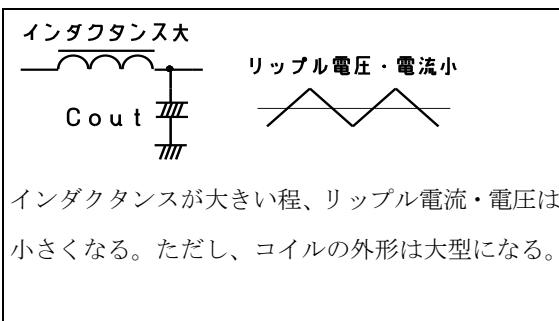
チョークコイルLは、スイッチングトランジスタOFF時に負荷側に電流を供給しており、チョッパ型スイッチングレギュレータの中心的役割を果たしています。レギュレータの安定動作維持のため、飽和状態での動作や、自己発熱による高温動作等の危険な状態は回避しなくてはなりません。チョークコイル選定のポイントとしては以下の事項が挙げられます

a) スイッチングレギュレータ用であること

ノイズフィルタ用のコイルは、損失が大きく発熱が大となりますので使用をさけてください。

b) インダクタンス値が適正であること

チョークコイルのインダクタンスは、大きいほどコイルを流れるリップル電流が減少し出力リップル電圧が小さくなりますが、コイルの外形は大型になります。逆に小さなインダクタンスとすると、スイッチングトランジスタやダイオードを流れるピーク電流が増大して損失が増加し、リップル電圧も大きくなり安定動作確保の上で好ましくありません。



仕様書に示すインダクタンス値は、安定動作に適した目安の値ですが、また次式によって適当なインダクタンス値を求めることもできます。

ここで、 $\Delta IL$  はチョークコイルのリップル電流値を示し、大略下記の目安に従って設定します。

- ・使用出力電流が SI-8050JD の最大定格(1.5A)に近い場合：出力電流×0.2～0.3 倍
- ・使用出力電流が大略 0.5A 以下の場合：出力電流×0.5～0.6 倍

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \cdot V_{out}}{\Delta IL \cdot V_{in} \cdot f} \quad \text{--- (1)}$$

例えば  $V_{in}=25V$ .  $V_{out}=5V$ .  $\Delta IL=0.3A$ . 周波数=125KHz とすると

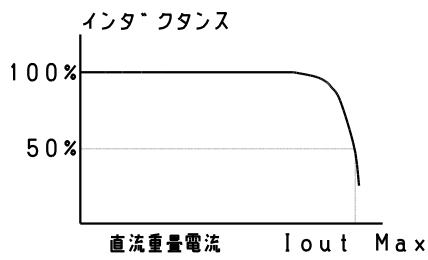
$$L = \frac{(25-5) \times 5}{0.3 \times 25 \times 125 \times 10^3} \doteq 106\mu H$$

となりますのでインダクタンスが約 100 $\mu$ H のコイルを選択すればよいことになります。

## c) 定格電流を満足すること

チョークコイルの定格電流は、使用する最大負荷電流より大きくなくてはなりません。負荷電流がコイルの定格電流を越えると、インダクタンスが激減し、ついには飽和状態となります。この状態では、高周波インピーダンスが低下し、過大な電流が流れますのでご注意ください。

## d) 直流重畠特性が良いこと



チョークコイルを流れる電流波形は、三角波に負荷電流に等しい直流電流が重なっています。コイルのインダクタンスは、この重畠している電流の増大にしたがって低下する傾向にあります。インダクタンスが定格値の 50 % ダウンするまでは使用可能ですので、コイル選択の目安にして下さい。

## e) ノイズが少ないこと

ドラム型のような開磁路型コアは、磁束がコイルの外側を通過するため周辺回路へノイズによる障害を与えることがあります。なるべくトロイダル型や EI 型、EE 型のような閉磁路型コアのコイルをご使用下さい。

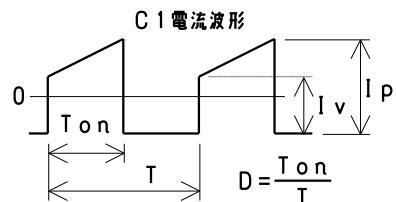
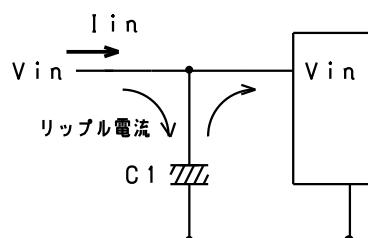
5-1-② 入力コンデンサ C 1

入力コンデンサは、入力回路のバイパスコンデンサとして動作し、スイッチング時の急峻な電流をレギュレータに供給しており、入力側の電圧降下を補償しています。従って極力レギュレータ I C の近くに取り付ける必要があります。また、AC 整流回路の平滑コンデンサが入力回路にある場合には、入力コンデンサは平滑コンデンサと兼用とすることができますが、同様の配慮が必要です。

C 1 選定のポイントとして次のことが挙げられます。

## a) 耐圧を満足すること。

## b) 許容リップル電流値を満足すること。

C 1 の電流の流れ

入力コンデンサのリップル電流は負荷電流の増加に伴って増大する。

これら耐圧や許容リップル電流値を、オーバーしたりディレーティング無しで使用した場合、コンデンサ自身の寿命が低下（パンク、容量の減少、等価インピーダンス増大、等）するばかりでなく、レギュレータの異常発振を誘発する危険があります。従って、十分なマージンをとった選択が必要です。なお入力コンデンサに流れるリップル電流実効値  $I_{rms}$  は下記の式で求められます。

$$I_{rms} \approx 1.2 \times \frac{V_o}{V_i n} \times I_o \quad \text{--- (2)}$$

例えば  $I_{out}=1.5A$ .  $V_{in}=20V$ .  $V_o=5V$ . とすると

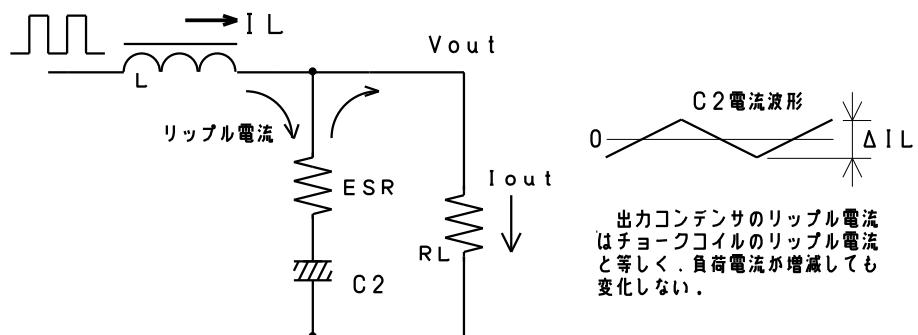
$$I_{rms} \approx 1.2 \times \frac{5}{20} \times 1.5 = 0.45A$$

となりますので許容リップル電流が、0.45A より大きいコンデンサを選ぶ必要があります。

### 5-1-③ 出力コンデンサ C 2

出力コンデンサ C 2 は、チョークコイル L と共に LC ローパスフィルターを構成して、スイッチング出力の平滑コンデンサとして機能しています。出力コンデンサにはチョークコイル電流の脈流部  $\Delta IL$  と等しい電流が充放電されています。従って C 2 選定のパラメータとしては入力コンデンサと同様に、耐圧及び許容リップル電流値に十分なマージンをとった上で満足する必要があります。また、その他のポイントとして、直流等価抵抗 (ESR)、容量となります。以下に選定の注意点を示します。

#### C2 の電流の流れ



#### ◇許容リップル電流

出力コンデンサのリップル電流実効値は、下記の式で求められます。

$$I_{rms} = \frac{\Delta IL}{2\sqrt{3}} \quad \text{--- (3)}$$

例えば  $\Delta IL$  を 0.5A としますと

$$I_{rms} = \frac{0.5}{2\sqrt{3}} \doteq 0.14A$$

となり許容リップル電流が 0.14A 以上のコンデンサが必要になります。

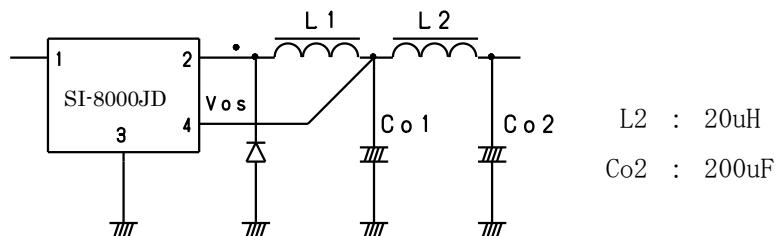
## ◇直流等価抵抗 (ESR)

安定動作のため ESR は適切な値を選ぶことが必要です。ESR が過大な場合には、出力リップル電圧増大による異常発振、一方、過少な場合は位相余裕の不足となります。出力リップル電圧は、チョークコイル電流の脈流部  $\Delta IL$  (=C 2 充放電電流) と ESR の積で決まり、出力リップル電圧としては、出力電圧の 0.5~1%程度(例:  $V_{out}=5V$  で 0.5%の場合: 25mV) にて良好な動作となり、出力電圧リップルの求め方は(4) (5) を参照願います。ESR は温度で変化し、特に高温時には ESR が低下することから注意が必要です。

$$V_{rip} \approx \frac{(V_{in} - V_{out})V_{out}}{L \cdot V_{in} \cdot f} ESR \quad \text{---(4)}$$

$$V_{rip} \approx \Delta IL \cdot ESR \quad \text{---(5)}$$

また、ESR が極端に小さい場合(約 10~20 mΩ 以下)位相遅れが大きくなり、異常発振となる可能性があります。このため、出力コンデンサにタンタルコンデンサや積層セラミックコンデンサを単体で用いることは適当ではありません。但し低温(<0 °C)で使用される場合には、電解コンデンサと並列にタンタルコンデンサや積層セラミックコンデンサを接続すると出力リップル電圧の低減に有効です。更に、一層出力リップル電圧を小さくするには、下図に示すように、LC フィルタを一段追加し π 型フィルターを構成するのが効果的です。



このように、出力コンデンサ C 2においては、耐圧及び許容リップル電流が満足されれば、容量より ESR の方が動作安定度に与える影響が大きい事にご注意ください。出力コンデンサのレイアウトについては、IC より離れた場所に配置した場合、配線抵抗等で擬似的に ESR の上昇と等価となるため、IC 近傍の配置を推奨します。

#### 5-1-④ LC フィルタ定数選定例

上記内容を踏まえた、チョークコイルのインダクタンス、出力コンデンサの容量、ESR の算出方法について、以下に示します。以下の値は目安となり、多くの場合、インダクタンス、出力コンデンサ容量大のほうが、安定動作となります。

サンプル：SI-8050JD、条件：入力電圧  $V_{in} : 24V$ 、出力電圧  $V_o : 5V$ 、出力電流  $I_o : 0.5A$

##### ①チョークコイルのインダクタンス L

チョークコイルリップル電流  $\Delta IL = I_o \times 0.5 \sim 0.6 \Rightarrow 0.3A$  とする。

$$L = \frac{(V_{in} - V_o)V_o}{\Delta IL \cdot V_{in} \cdot f} = \frac{(24 - 5)5}{0.3 \cdot 25 \cdot 125000} \approx 101\mu H \quad L: 100\mu H \text{ とする。}$$

##### ②出力コンデンサ ESR

出力リップル電圧  $V_{rip} = 5V \times 0.5\% = 25mV$  とする。

$$V_{rip} = \Delta IL \cdot ESR \quad ESR = \frac{V_{rip}}{\Delta IL} = 83.3m\Omega$$

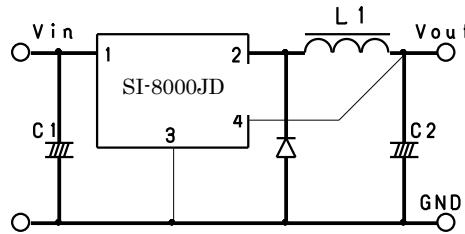
#### 5-1-⑤ フライホイールダイオード・Di

ダイオード Di は、スイッチングオフ時にチョークコイルに貯えられたエネルギーを放出させるための物です。フライホイールダイオードには必ずショットキーバリアダイオードを使用して下さい。一般の整流用ダイオードやファーストリカバリダイオード等を使用した場合、リカバリ及びオン電圧による逆電圧印可により IC を破壊する恐れがあります。

## ● 5-2 パターン設計上の注意

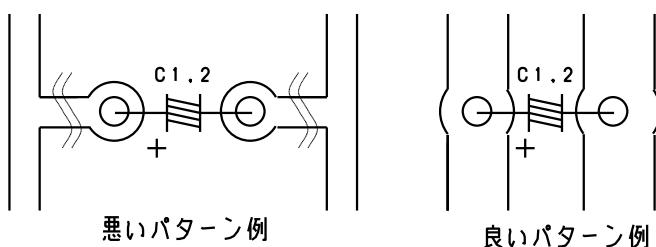
### 5-2-① 大電流ライン

接続図中の太線部分には大電流が流れますので、出来る限り太く短かいパターンとしてください。



### 5-2-② 入出力コンデンサ

入力コンデンサC1と、出力コンデンサC2は、出来る限りICに近づけてください。入力側にAC整流回路の平滑コンデンサがある場合には、入力コンデンサと兼用にする事が可能ですが、距離が離れている場合には、平滑用とは別に入力コンデンサを接続する事が必要です。また入出力コンデンサのリード線には、大電流が高速で充放電されるので、リード線の長さは最短としてください。

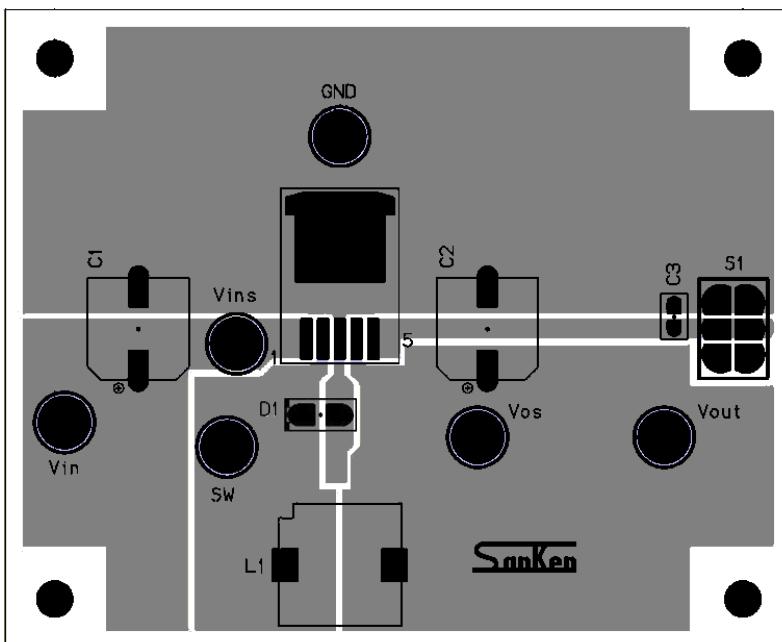


コンデンサ部分のパターン  
引き回しにも同様の配慮が  
必要です。

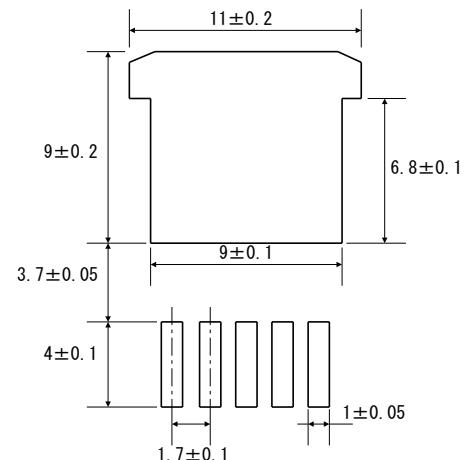
### 5-2-③ センシング端子

出力電圧センシング端子V<sub>os</sub>は出来る限り出力コンデンサC2に近い所に接続してください。(V<sub>os</sub>端子流入電流は0.5mA程度です。)遠い場合、レギュレーションの低下、スイッチングリップルの増大により異常発振の原因となる事がありますので御注意ください。

推奨パターン



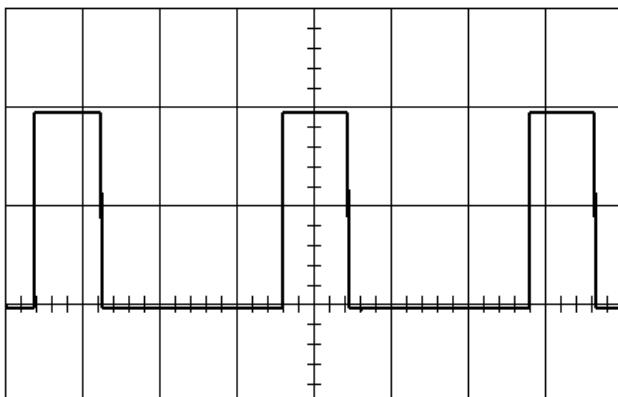
推奨ランドパターン



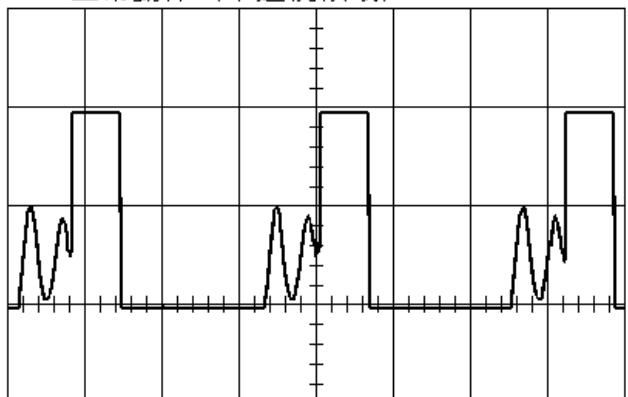
### ● 5-3 動作波形の確認

スイッチング動作が正常であるかどうかは S I - 8 0 0 0 J D の 2 - 3 端子間波形 (SwOut 波形) にて確認できます。以下に正常動作時及び異常発振時における波形例を示します。

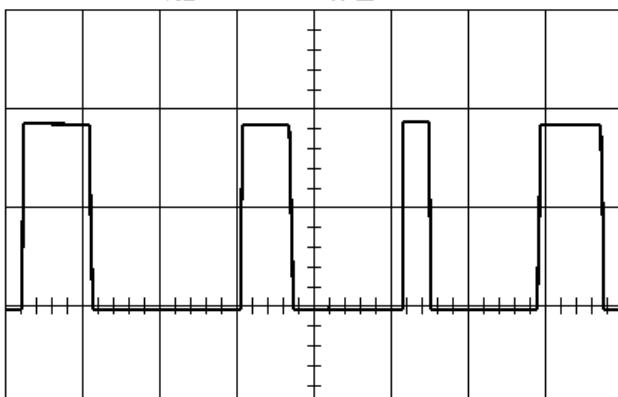
1. 正常動作（連続領域）



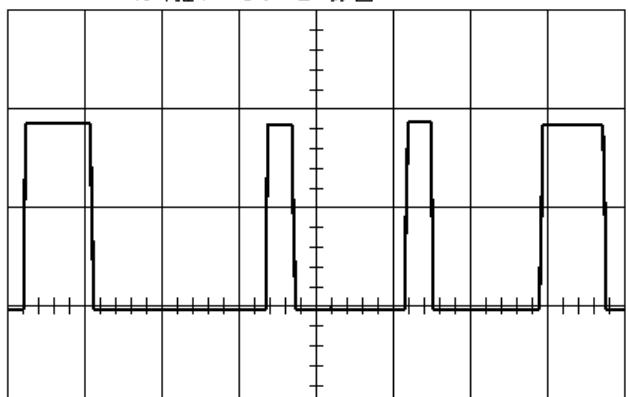
2. 正常動作（不連続領域）



3. C1 が離れている場合



4. C2 が離れている場合



連続領域は、チョークコイルを流れる電流に、三角波に直流成分が重畠している領域であり、不連続領域は、チョークコイル電流が少ないためチョークコイルを流れる電流が断続的になる（ゼロになる期間が発生する）領域です。したがって負荷電流が多い場合は連続領域に、少ない場合は不連続領域になります。連続領域ではスイッチング波形は通常の方形波の形状となり（波形 1）、不連続領域ではスイッチング波形に減衰振動が発生しますが（波形 2）、これは正常な動作であり問題はありません。

I C と C1, C2 が離れていると、上の波形（3, 4）にみられるように、スイッチングの ON・OFF 時間が乱れるジッタが発生します。前述のとおり、C1, C2 は I C の近くに接続することが必要です。

## ● 5-4 熱設計

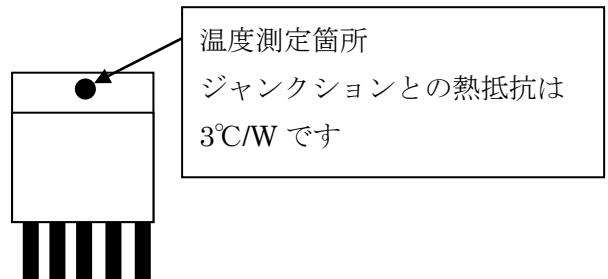
面実装タイプの SI-8000JD の場合、実装基板に残された銅箔へ放熱する事になりますので、銅箔面積や基板の素材、銅箔層数などに大きく左右されます。

SI-8000JD の裏面システム部分は 3 番ピン (GND) とインナーフレームでつながっており、裏面システム部分に直接つながっている GND パタンを大きく取る事で放熱性が向上します。

ジャンクション温度を確認する場合は、図に示すシステム部分の温度を測定し以下の式で算出する事で確認ができます。

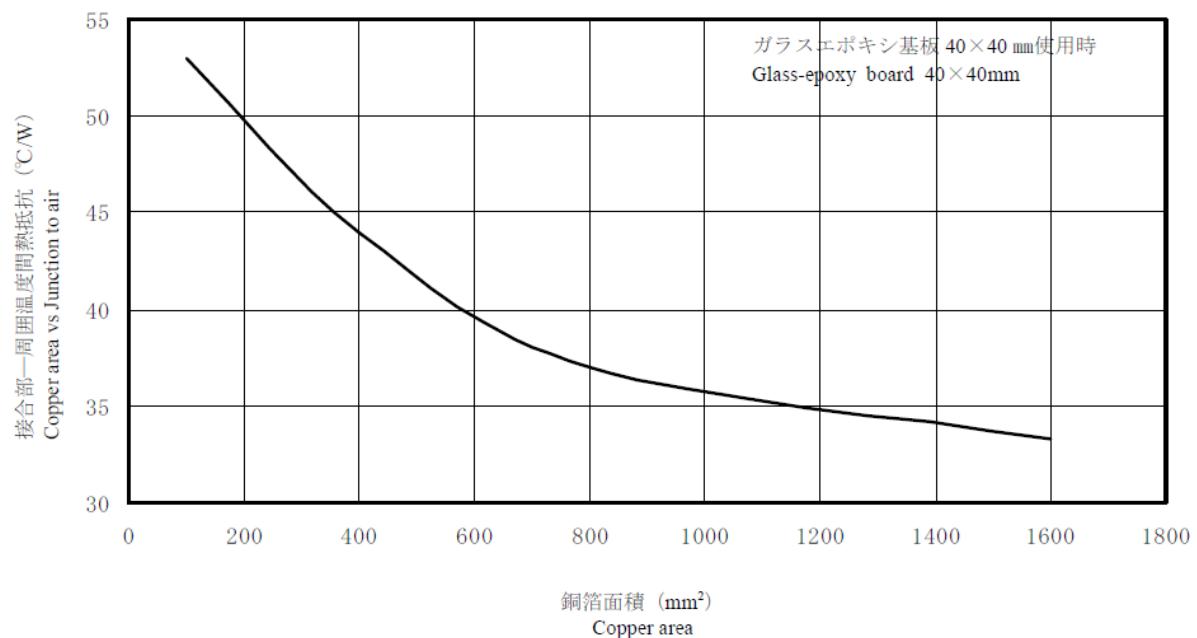
$$T_j = T_c + P_d \times 3^\circ\text{C}/\text{W}$$

\*  $T_c$  : 実測システム温度



参考データ (片面銅箔基板での銅箔面積 vs 热抵抗データ

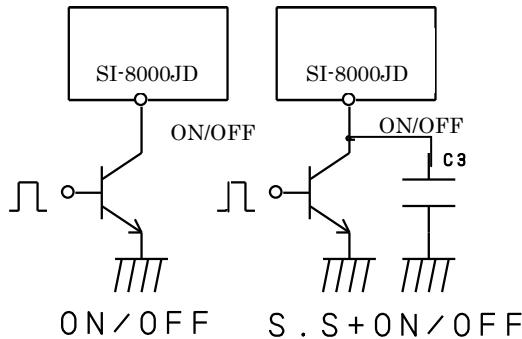
ガラスエポキシ基板上銅箔面積 vs 接合部一周囲温度間熱抵抗 (代表値)  
Copper area vs Junction to air (Typical)



## 6. 応用

### ● 6-1 出力の ON・OFF 制御

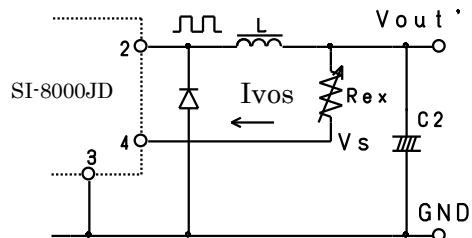
5番端子を用いて、出力 ON・OFF 制御が可能です。オープンコレクタ等のスイッチにより、5番端子を Lo レベルとすると出力は停止します。また立ち上がりディレー時間設定との併用も可能です。ON・OFF 端子は I C 内部でプルアップ済みですので外部からは電圧を印加しないで下さい。



### ● 6-2 SI-8033JD, SI-8050JD, SI-8090JD, SI-8120JD 出力電圧可変

4番・Vos 端子に抵抗を追加することにより出力電圧を上昇させる事が出来ます。  
(降下は不可)

#### ● 6-2-① 外付抵抗 1 本による出力電圧可変



出力電圧調整抵抗  $R_{ex}$  は、次式により求まります。

$$R_{ex} = \frac{V_{out'} - V_{os}}{I_{Vos}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$V_{os}$  : 製品設定出力電圧

$V_{out'}$  : 可変後出力電圧

$I_{Vos}$  :  $V_{os}$  端子流入電流  $\approx 527 \mu A$

※  $R_{ex}$  は、温度補償されませんので、出力電圧温度特性は低下します。また  $I_{Vos}$  は I C の製品によって最大±20%のバラツキがあります。従って出力電圧のバラツキ範囲が拡がりますので、正確な出力電圧の合わせ込みには半固定抵抗が必要です。

以下に  $R_{ex}$ 、 $I_{Vos}$ 、 $V_{os}$  のバラツキを考慮した、出力電圧バラツキ範囲を示します。

i 最大出力電圧( $V_{out'} MAX$ )

$$V_{out'} MAX = V_{os MAX} + R_{ex MAX} \times I_{Vos MAX}$$

$V_{os MAX}$  : 設定出力電圧の最大値。仕様書の電気的特性に示す、設定出力電圧の MAX 値を入れてください。

$R_{ex MAX}$  :  $R_{ex}$  の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

$I_{Vos MAX}$  :  $V_{os}$  端子の最大流入電流。 $658 \mu A$

ii 最小出力電圧( $V_{out'MIN}$ )

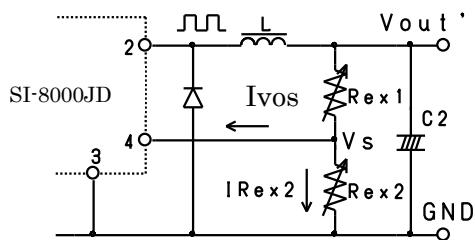
$$V_{out'MIN} = V_{osMIN} + R_{exMIN} \times I_{vosMIN}$$

$V_{osMIN}$  : 設定出力電圧の最小値。仕様書の電気的特性に示す、設定出力電圧の MIN 値を入れてください。

$R_{exMIN}$  :  $R_{ex}$  の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

$I_{vosMIN}$  :  $V_{os}$  端子の最小流入電流。439  $\mu$  A

● 6-2-② 外付抵抗 2 本による出力電圧可変



出力電圧調整抵抗  $R_{ex1}, 2$  は、次式により求まります。

$$R_{ex1} = \frac{V_{out'} - V_{os}}{S \cdot I_{Vos}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$R_{ex2} = \frac{V_{os}}{(S-1) \cdot I_{Vos}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$S$  : 安定係数

$R_{ex2}$  に電流をバイパスさせる事により、①の方法よりも温度特性及び出力電圧バラツキ範囲は改善されます。安定係数  $S$  は、 $V_{os}$  端子流入電流  $I_{Vos}$  に対する  $I_{Rex2}$  の比を示しており  $S$  を大きくする程、温度特性と出力電圧バラツキは改善されます。（通常 5~10 位）

以下に  $R_{ex1}$ 、 $R_{ex2}$ 、 $I_{Vos}$ 、 $V_{os}$  のバラツキを考慮した、出力電圧バラツキ範囲を示します。

i 最大出力電圧( $V_{out'MAX}$ )

$$V_{out'MAX} = V_{osMAX} + R_{ex1MAX} \left( \frac{V_{osMAX}}{R_{ex2MIN}} + I_{VosMAX} \right)$$

$V_{osMAX}$  : 設定出力電圧の最大値。仕様書の電気的特性に示す、設定出力電圧の MAX 値を入れてください。

$R_{ex1MAX}$  :  $R_{ex1}$  の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

$R_{ex2MIN}$  :  $R_{ex2}$  の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

$I_{VosMAX}$  :  $V_{os}$  端子の最大流入電流。658  $\mu$  A

ii 最小出力電圧( $V_{out'MIN}$ )

$$V_{out'MIN} = V_{osMIN} + R_{ex1MIN} \left( \frac{V_{osMIN}}{R_{ex2MAX}} + I_{VosMIN} \right)$$

$V_{osMIN}$  : 設定出力電圧の最小値。仕様書の電気的特性に示す、設定出力電圧の MIN 値を入れてください。

$R_{ex1MIN}$  :  $R_{ex1}$  の最小値。抵抗の許容差より求めてください。

$R_{ex2MAX}$  :  $R_{ex2}$  の最大値。抵抗の許容差より求めてください。

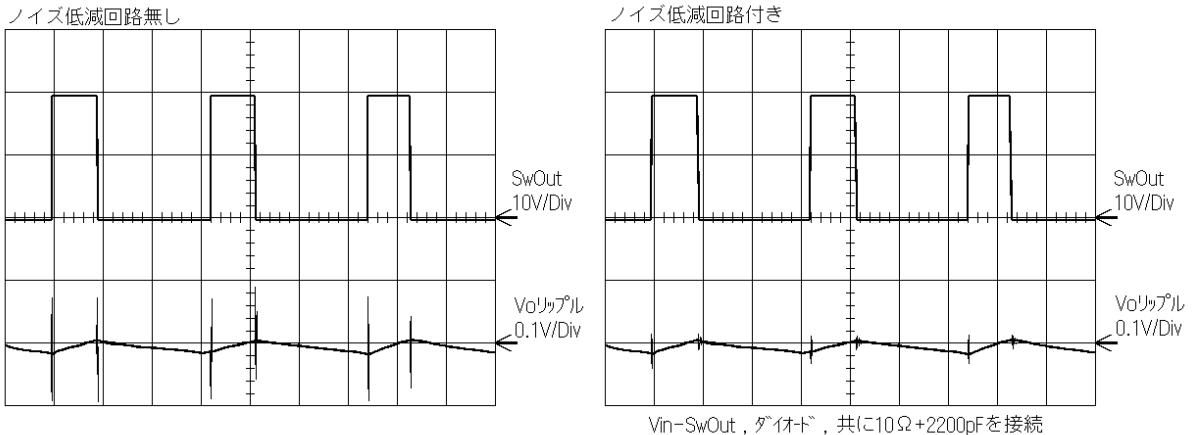
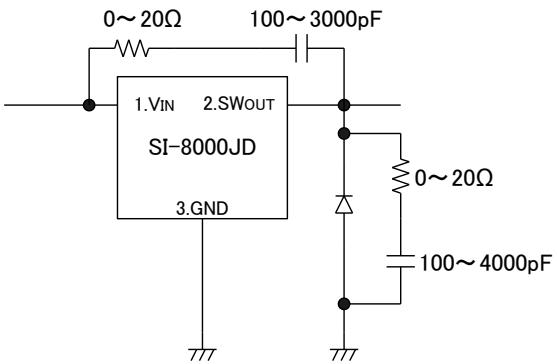
$I_{VosMIN}$  :  $V_{os}$  端子の最小流入電流。439  $\mu$  A

### ● 6-2-③ 出力電圧可変時の注意事項

出力電圧を可変させた場合の懸念点としましては、リギュレーションの悪化、出力電圧温度係数の増加が想定されます。また大幅に可変させた場合は、コイル電流増大による、過電流保護電流低下が想定されることから、コイル容量値上昇が必要となる場合があります。以上の点から、出力電圧の可変上限としましては、設定出力電圧+5V 以内でのご使用を推奨致します。尚、出力電圧の可変下限としましては、設定出力電圧の MAX 値となります。

### ● 6-3 スパイクノイズの低減

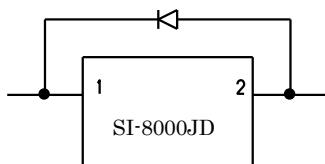
スパイクノイズを低減させるには、SI-8000JD の出力波形及び、ダイオードのリカバリータイムを、コンデンサで補正する方法がありますが、共に効率が弱冠低下しますので注意して下さい。



※オシロスコープにてスパイクノイズを観測される際には、プローブの GND リード線が長いとリード線がアンテナの作用をしてスパイクノイズが異常に大きく観測されることがあります。スパイクノイズの観測に当たってはプローブのリード線を最短にして出力コンデンサの根本に接続して下さい。

### ● 6-4 逆バイアス保護

バッテリーチャージ等、入力端子より出力の電圧が高くなるような場合には、入出力間に逆バイアス保護用のダイオードが必要となります。



## 7. 用語解説

### ・ジッタ

異常スイッチング動作の一種で、入出力条件が一定にも関わらずスイッチングパルス幅が変動する現象であります。ジッタが発生すると、出力のリップル電圧ピーク幅が増加します。

### ・推奨動作条件

正常な回路機能を維持するために必要とされる動作条件を示すもので、実使用においては当条件内とする必要があります。

### ・絶対最大定格

破壊限界を示す定格であり、瞬時動作及び定常動作において、一項目かつ一瞬たりとも規格値を超えないように配慮する必要があります。

### ・電気的特性

各項目に示している条件で動作させた場合の特性値規格であります。動作条件が異なる場合には、規格値から外れる可能性があります。

### ・ PWM (Pulse width modulation)

パルス変調方式の一種で、変調信号波（チョッパ型スイッチングレギュレータの場合、出力電圧）の変化に応じて、パルスの幅を変えて変調する方式であります。

### ・ ESR (Equivalent series resistance)

コンデンサの等価直列抵抗値を示します。コンデンサに直列に接続された抵抗と同等の作用を示します。

## ！注意

- 本書に記載されている内容は、改良などにより予告なく変更することがあります。ご使用の際には、最新の情報であることをご確認下さい。
- 本書に記載されている動作例および回路例は、使用上の参考として示したもので、これらに起因する当社もしくは第三者の工業所有権、知的所有権、その他の権利の侵害問題について当社はいっさい責任を負いません。
- 本書に記載されている製品をご使用の場合は、これらの製品と目的物との組み合わせについて使用者の責任において検討・判断を行って下さい。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体製品では、ある確率での欠陥、故障の発生は避けられません。部品の故障により結果として、人身事故、火災事故、社会的な損害等を発生させないよう、使用者の責任において、装置やシステム上で十分な安全設計及び確認を行ってください。
- 本書に記載されている製品は、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）に使用されることを意図しております。ご使用の場合は、納入仕様書の締結をお願いします。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、火災・防犯装置、各種安全装置など）への使用をご検討の際には、必ず当社販売窓口へご相談及び納入仕様書の締結をお願いします。極めて高い信頼性が要求される装置（航空宇宙機器、原子力制御、生命維持のための医療機器など）には、当社の文書による合意がない限り使用しないで下さい。
- 本書に記載された製品は耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載された内容を文書による当社の承諾無しに転記複製を禁じます。

### ご注文に際して

ご注文数量は、100個の整数倍で  
ご指定くださいますようお願いいたします。