

◆ 第 1 章

3 端子レギュレータの 基本動作と正しい使いかた

高効率なオンボード・レギュレータを
簡単に実現できる

見本

電子回路は、低電圧/大電流時代に突入しました。いろいろな最新の技術講演を聴いていると、回路の低電圧化はとても急速に進んでおり、5V時代の終焉の観さえあります。これまで電子回路用の電源ICとして、リニア方式の3端子レギュレータは必需部品でしたが、CPUの高速化が電源のありかたを大きく変え、これまでの電源技術では対応できない時代になりました。

本稿では、オンボード電源の定番のリニアIC 3端子レギュレータの動作と特性を徹底研究し、スイッチング方式のステップ・ダウン・コンバータと比較しながら、新時代の高効率レギュレータの回路技術に迫ります。

◆ 1-1 CPUの高速化が電源回路に進化を求めている

超ロング・セラー電源IC「3端子レギュレータ」

スイッチング・レギュレータ時代になった今も、オンボード用の電源回路に最も頻繁に使われているのは、リニア方式のドロップ制御電源です。特に「3端子レギュレータ」と呼ばれる数十W以下の小容量の電圧レギュレータは、実用化されて25年近くになりましたが、その消費数量は一向に減っていません。

この理由は、三つの端子をもつTO・220、TO・3P、TO・3PLの小型パッケージに、**安定化電源に必要なすべての機能を集積しており、よほどのヘマをしないうり動作して、しかも信頼性が高いから**でしょう。リニア方式なのでノイズの発生もとても小さく、安心して他の回路に供給できます。また、ディスプレイ部品を使って作るよりも安価です。

3端子レギュレータの長所をまとめると次のようになります。

- シンプルな構造で誰でも目的の性能を引き出せる
- リニア直列制御方式なのでノイズが出ない
- 低価格である

図1-1

オンボード電源の低電圧化

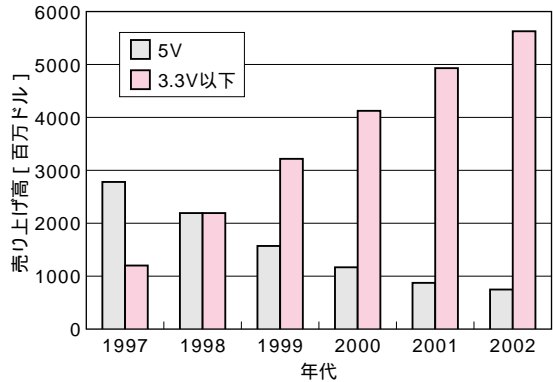
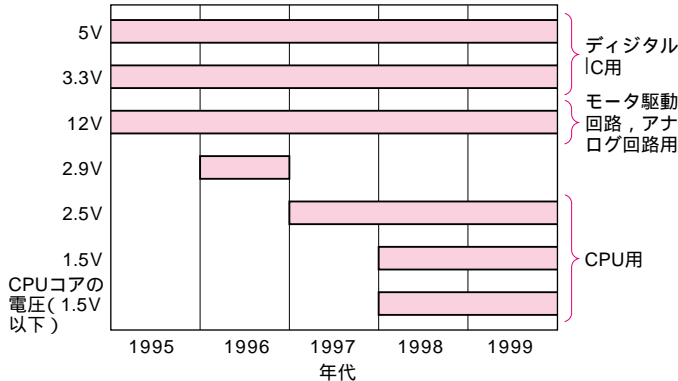


図1-2 ノート・パソコンのマザー・ボードに使用されている電源電圧の変化



数年の間にパソコンの電圧が低電圧化、多出力化している。特にCPUの電源電圧の低下は著しく、ICごとに異なる電圧の電源を供給するようになった。

- 品揃えが豊富で負極性レギュレータもある
- 過熱保護、過電流保護回路を内蔵して安心して使える

では、短所は何でしょうか。

- 変換効率が悪く発熱しやすい。特に入出力間電圧差が大きい場合、発熱が大きくなり使えないことがある
- 放熱対策のためのヒートシンクが大きなスペースを要する
- 入出力間電圧差は一般品で1.4V以上必要

低電圧/大電流時代の到来と3端子レギュレータの限界

3端子レギュレータはロング・セラー商品と言ってよいでしょう。しかし状況が急変し、対応できないアプリケーションが増えてきました。

図1-1は、米国の調査会社が米国内の電気製品の電源の出力電圧がどのように変化していくか、5Vと3.3V以下に分けて予想したものです。これによれば、1997年に5Vが主力だったものが、**2002年には3.3V以下が圧倒的に主流になります**。

もう一つ、図1-2に興味深い資料を示しましょう。あるパソコン・メーカーが、ノート・パソコンに使

われている電源電圧を年代別に整理した図です。1995年には5V、3.3V、12Vの3種類の電源電圧でCPU基板が動作していましたが、1999年になるとCPU駆動用の電源電圧2.5V、1.5Vが加わり6種類に増えています。現在発売されているクロック周波数1GHz CPUのパソコンでは、低電圧/大電流化が進んでおり、出力電圧はさらに多出力化(マルチ化)しています。

このように、デジタル回路の低電圧/大電流化が進んでいますが、後述の理由から**3端子レギュレータは低電圧/大電流を出力するのが得意ではありません**。

◆ 1-2 3端子レギュレータのあらまし

3端子レギュレータとは

図1-3に3端子レギュレータのパッケージの外観図を示します。

3端子レギュレータの「3端子」とは、入力端子(IN)、出力端子(OUT)、グラウンド端子(GND)です。まさに、必要最小限の端子で構成されています。ON/OFF端子や出力電圧可変用端子をもつ製品もありますが、これらも含めて便宜的に「3端子レギュレータ」と呼ぶこともあります。

3端子レギュレータを使用して、電源回路を作ることは難しくありません、安定化に必要な機能のほとんどをIC自体がすでにもっているからです。強いて言えば、入力端と出力端に付加するコンデンサの容量と付けかたに注意することぐらいでしょう。**付加コンデンサは、できるだけコンデンサのリードを短くして、3端子レギュレータの端子近くに配置します**。コンデンサを付加しないと、3端子レギュレータが発振することがあります。ほとんどのアプリケーションにおいてコンデンサを付加する必要があります。

電気を熱に変換しながら入出力間電圧を制御する

図1-4(a)は、高い入力電圧を必要な電圧に降圧する3端子レギュレータの基本動作を説明する図です。このように、高い入力電圧の一部を熱に変換しながら、出力電圧レベルを安定化する電源の回路方式を**リニア方式**と呼びます。電圧を降圧していることから、「**ドロップ**」または「**ステップ・ダウン・レギュレータ**」とも呼びます。3端子レギュレータはリニア方式ドロップの一つです。

電圧を降下させる方法には、いろいろ種類があります。図1-4(b)は、可変抵抗を使って入出力間の電圧を降下させる回路です。12Vの入力電圧から5Vの出力電圧を得るために、可変抵抗VRで出力電圧が希望の値になるように入力電圧をカットしています。

もう一度、図1-4(a)を見てください。**リニア方式のドロップ電源の入力と出力には、必ず V_{dif} の電圧**

図1-3
3端子レギュレータの外観図

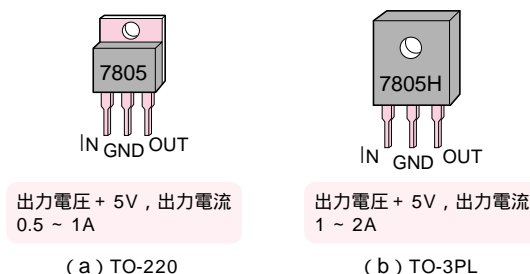
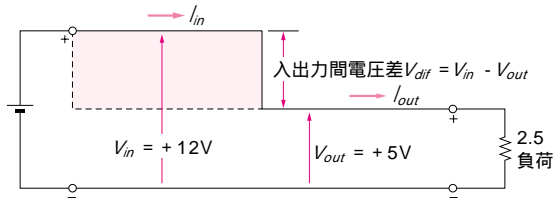
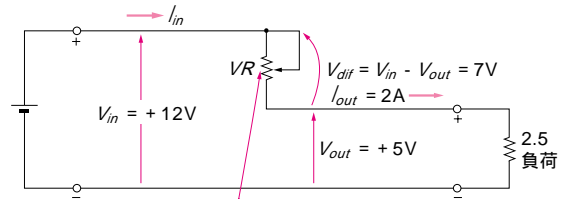


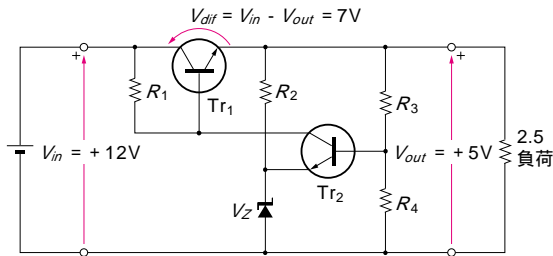
図1-4 リニア方式のドロップ電源の基本動作



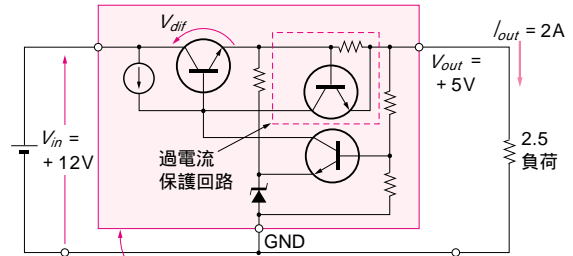
(a) 3端子レギュレータの基本機能は V_{in} を必要な電圧 V_{out} にカット・ダウンすること



(b) 電圧のカット・ダウンは抵抗で電圧を降下させると実現できる



(c) 抵抗では自動制御できないのでトランジスタを使う



(d) 保護回路などを追加すると3端子レギュレータの基本回路が得られる

差が必要で、この差分は熱に変換されます。図1-4(b)の場合は、VRが電圧差 V_{dif} を背負い、差分を熱に変換します。出力電流を2Aとすると、VRが負担する熱量 P_{DVR} [W] は、

$$P_{DVR} = V_{dif} I_{out} = (12\text{ V} - 5\text{ V}) \times 2\text{ A} = 14\text{ W}$$

$$\text{ただし、} V_{dif} = V_{in} - V_{out}$$

となります。10W (= 5V × 2A) の出力電力を得るために、それより多い14Wの電力が犠牲になります。実際には、抵抗値の制御が難しいので、トランジスタを使用して図1-4(c)のように作ります。これに過電流保護回路を追加すると図1-4(d)のようになります。

図1-4(d)に過熱保護回路などを加えて、TO-220やTO-3Pパッケージに収納すると3端子レギュレータになります。

実際の3端子レギュレータの内部動作

3端子レギュレータのカタログをよく見ると、設計に必要な情報が記載されています。図1-5に、実際の3端子レギュレータのブロック図を、図1-6に μPC7805 (日本電気) の内部等価回路を示します。この回路にリニア方式ドロップとしてのすべての機能が入っています。

次に各回路ブロックの機能を簡単に説明しましょう。

誤差増幅器

出力の微小な変動を検出し、これを増幅して制御用のパワー・トランジスタの出力電流をコントロールする差動増幅器です。

図1-5

3端子レギュレータの内部ブロック図

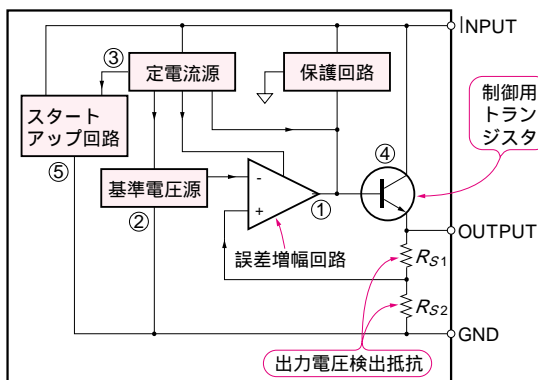
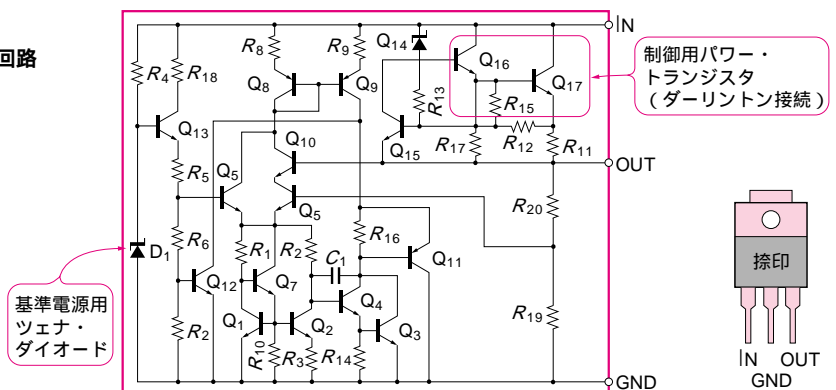


図1-6 (1)

3端子レギュレータの内部等価回路



(a) 実際の3端子レギュレータの内部等価回路

(b) 端子接続図

基準電圧源

定電流駆動したツェナー・ダイオードによる定電圧基準電源です。

定電流源

基準電圧源のツェナー・ダイオードに電流を供給します。ハイ・インピーダンスで基準回路を駆動するとリップルが低減し、温度に対する変動も下がります。誤差増幅器にも電源を供給しています。

制御用パワー・トランジスタ

入力と出力の電圧差を負担し、熱に変換します。信頼性は安全動作領域内での動作マージンとジャンクション温度を下げるための放熱の程度に左右されます。

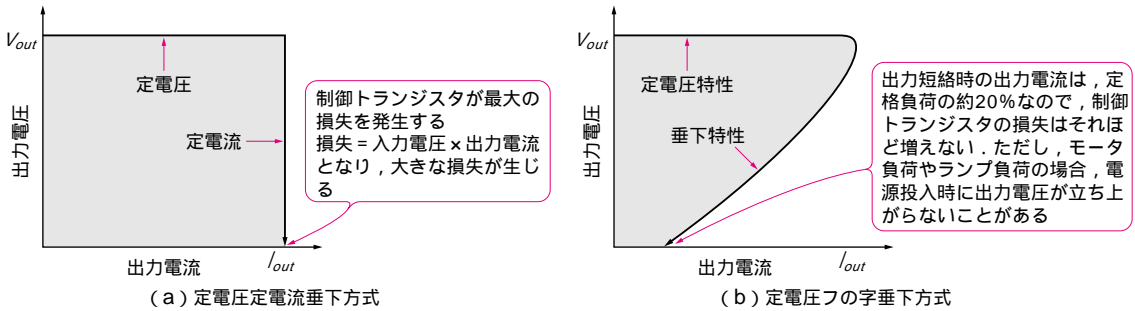
スタートアップ回路

入力電圧が、IC内の各回路が安定動作するのに必要な電圧に立ち上がったのを確認し、起動信号を出力します。

以上の回路のほか、過電流保護回路を内蔵しています。これは、負荷の短絡による過電流を防止する回路です。図1-7に示すように、負荷短絡時の出力電圧の特性の違う2種類の保護回路があります。

また、過熱保護回路も内蔵しています。取り付け不良などで、3端子レギュレータがヒートシンクか

図1-7 2種類の過電流保護回路の動作



ら離れると、パワー・トランジスタが熱で破壊し、負荷を損傷する可能性があります。こんなとき、異常な温度上昇を検知して、出力を遮断します。また、低消費電力機器に適する、出力ON/OFF制御回路を内蔵するものもあります。

◆ 1-3 リニア方式3端子レギュレータは どのくらいの熱処理が必要か

汎用の3端子レギュレータ

ヒートシンクを取り付けないと使えない

3端子レギュレータは、電圧安定化のための機能をIC内に組み込んでいるため、ユーザは発振防止用のコンデンサの配置に気を配る程度で問題なく使いこなすことができます。しかし**熱処理は別**です。3端子レギュレータ内部では、制御用のパワー・トランジスタが入出力間の電圧差を熱に変換していますから、この**制御トランジスタを放熱する必要があります**。

図1-8 3端子レギュレータはヒートシンクに取り付けて使う

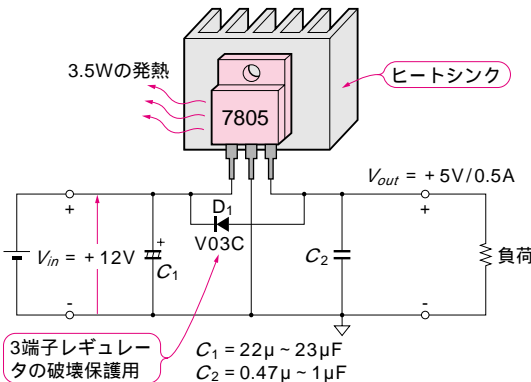


図1-9 (1) 3端子レギュレータ $\mu PC7805H$ の消費電力とヒートシンクの大きさの関係

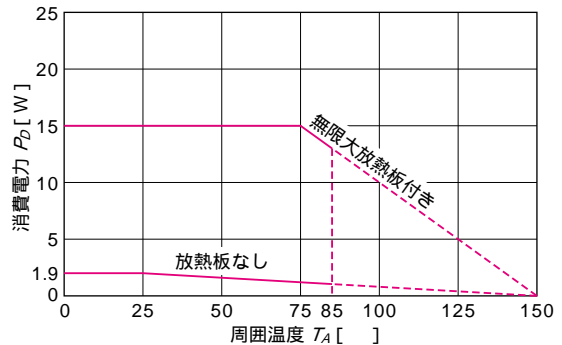


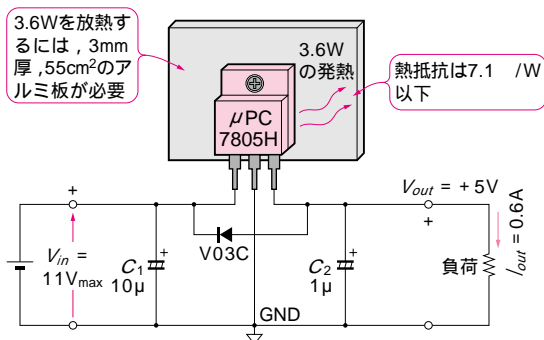
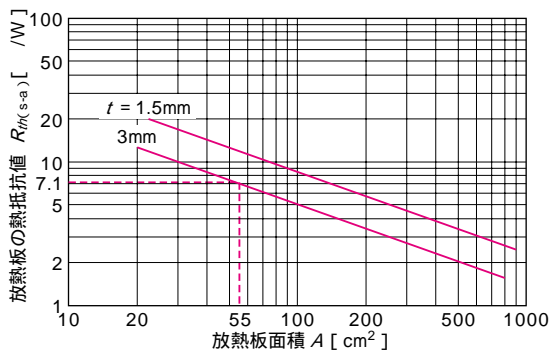
図 1-10 (1) 3 端子レギュレータ $\mu\text{PC7805H}$ の熱設計

図 1-11 アルミ平板の面積と熱抵抗



3 端子レギュレータの変換損失は、図 1-4 (b) に示した可変抵抗によるドロップ電源と同じで、入出力間電圧差に出力電流を乗じた値です。前述のように、3 端子レギュレータに代表されるドロップ電源は、入力電圧を降下するとき、大きな電力を消費しており発熱します。ですから、図 1-8 に示すように、3 端子レギュレータはほとんどの用途においてヒートシンクを取り付ける必要があります。

例えば、入力 12 V、出力 5 V/0.5 A 電源回路を想定して、変換損失 P_{loss} [W] を計算してみると、

$$V_{dif} = 12 \text{ V} - 5 \text{ V} = 7 \text{ V}$$

$$P_{loss} = 7 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 3.5 \text{ W}$$

と求まります。ヒートシンクの必要性は図 1-9 から明らかです。この図は、3 端子レギュレータにどれだけの電力損失を負担させられるかを表にしたもので、どのメーカーのカタログにも記載されています。図は、ヒートシンクがなければ、周囲温度が 50 のとき、1.6 W しか 3 端子レギュレータに負担させられないことを示しています。ヒートシンクなしではほとんど負荷電流を流せません。

無限大の放熱板に取り付ければ、15 W (最大消費電力) を消費できると記載していますが、実際には無限大の放熱板は作れません。最大消費電力とは、ケース温度 T_C を 25 に保つことができたとき、内部のジャンクション温度 T_J が 150 に達する電力ですから、理想使用条件下での限界値と解釈してください。ただし、強制空冷や水冷で放熱する場合は、無限大放熱器に取り付けたときの動作条件に近づきます。

損失電力 3.6 W のときのヒートシンクの面積はどのくらい？

図 1-10 を例に、3 端子レギュレータに取り付けるヒートシンクの大きさを算出してみましょう。まず、設計目標を次にまとめます。

- 3 端子レギュレータ： $\mu\text{PC7805H}$
- 出力電圧 V_{out} ：5 V
- 最大出力電流 I_{out} ：0.6 A
- 最大入出力間電圧差 V_{dif} ：6 V
- 最大周囲温度 T_A ：60
- 最大ジャンクション温度 T_J ：100 (信頼性の基準をどこに設定するかによる)

使用状態でのジャンクション温度 T_J とヒートシンクの熱抵抗 $R_{th(s-a)}$ との間には次のような関係があります。

図1-13 低飽和型3端子レギュレータの出力段にはPNPトランジスタが使われている

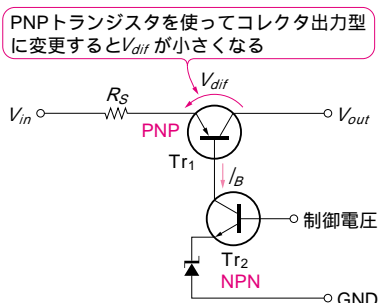


図1-14 低飽和型3端子レギュレータの内部ブロック図

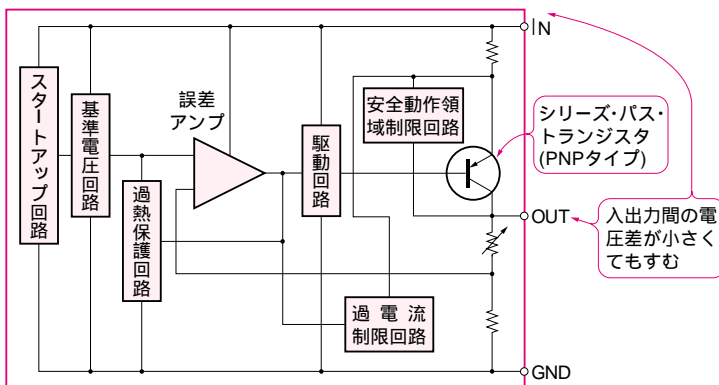
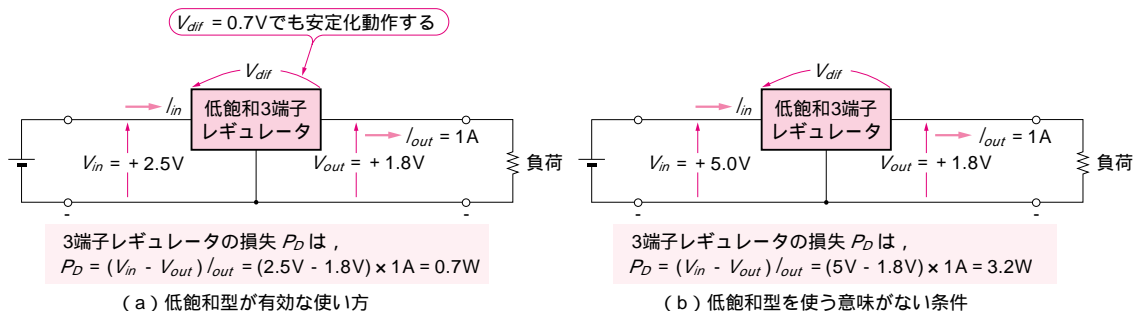


図1-15 低飽和型3端子レギュレータは低電圧入力するとき実力を発揮する



低飽和型 3 端子レギュレータ

必ずしも効率が良いわけではない

図1-6や図1-12に示したように、汎用の3端子レギュレータの出力回路は、NPNトランジスタを二つ使ったダーリントン接続になっています。図1-13に示すように、これらのNPNトランジスタをPNP型に置き換えると、エミッタ・コレクタ間の飽和電圧が小さくなります。汎用の3端子レギュレータは、安定動作するために1.4V以上の入出力間電圧差が必要でしたが、これが1V弱ですむようになります。図1-14は、市販の低飽和型3端子レギュレータのブロック図です。レギュレータの基本構成は、図1-5で説明したものと同じですが、出力段トランジスタがPNPトランジスタに代わっています。

「低飽和型なので損失を低く抑えることができる3端子レギュレータ」というように、雑誌で広告していることがありますが、低飽和型が有効なのは、入出力間電圧差が極めて小さいときだけです。図1-15は、3端子レギュレータを使って出力+1.8V/1Aの電源を実現した例です。3端子に低飽和型を使えば、入力電圧は+2.5Vでも動作し、損失は0.7Wです。しかし、汎用の3端子レギュレータの場合は、入力電圧は3.2V (= 1.8 + 1.4)以上必要で損失は1.4Wになります。入力電圧が5Vの場合は、低飽和で

図1-16 TO-3Pパッケージの外形

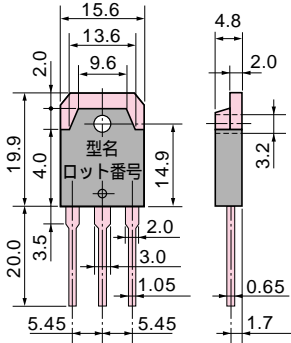


図1-17 (2) TO-3Pパッケージの3端子レギュレータ SI-3052

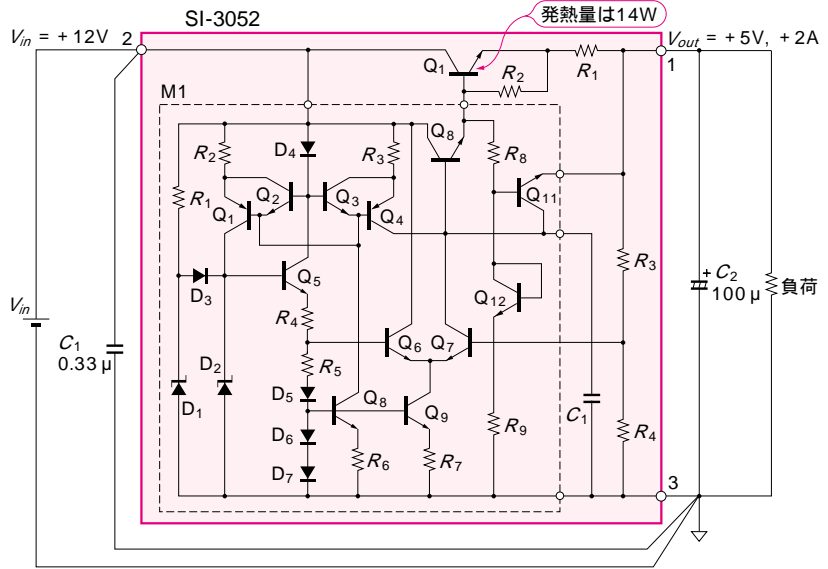


図1-18 ヒートシンクの大きさを決める $T_A \cdot P_D$ 特性

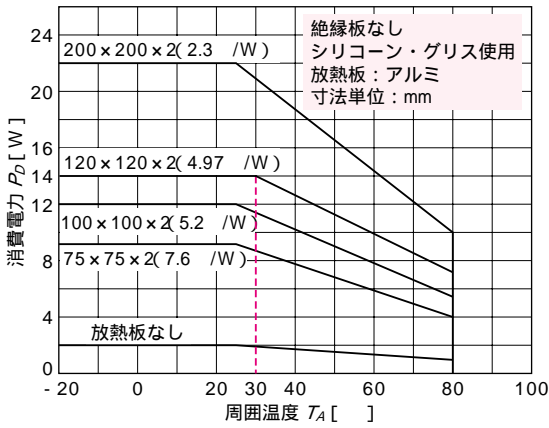
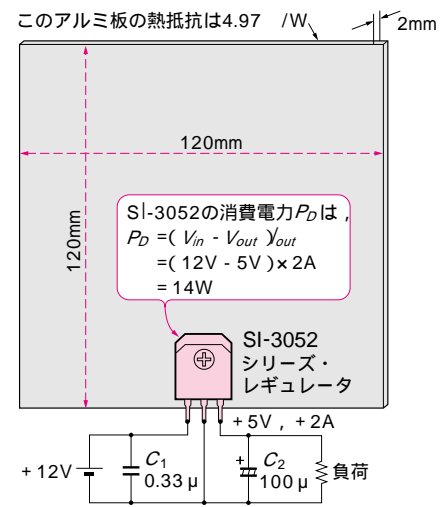


図1-19 3端子レギュレータと必要なヒートシンクの大きさ



あることは無関係になり、低飽和型でも汎用型でも、3.2 Wの電力を消費します。

以上の動作を正しく理解すれば、低飽和型3端子レギュレータを使って低価格で使いやすい電源を作ることができます。