

TO-3パッケージ装着方法の考察

TO-3を適切に装着することは、規定された性能および信頼性を確保なものにするために不可欠です。手順は簡単ですが、この手順を怠ると性能の低下やデバイスへの致命的な損傷を招きます。

パッケージの取扱い

TO-3パッケージは頑丈に密閉されたパッケージですが、不適切な取り扱いをすると損傷を与えます。パッケージのピンを過度に曲げたり、ねじったりするとガラス膜にひびが入り、気密性を失います。ピンをまっすぐにする必要があれば、パッケージの底面に向かってピンだけをラジオペンチで挟み込んで修正して下さい。こうすることによって、作業中のピン根本への応力が緩和されます。

他の起こりうる問題としては、パッケージの底部(フランジ)の湾曲から起こる内部回路基板のひび割れです。これは、パッケージの平らでない表面への装着、圧縮可能な熱パッドの不適切な使用、また装着留め具の締めすぎから起こります。

TO-3ソケット

バー・ブラウンの0804MC TO-3ソケットは、OPA512、OPA541、およびOPA2541のような大電流、大電力製品の要求を満たすよう設計されています。ソケットは、熱グ

リースや錫メッキ加工されたピンを使用しているときでさえも、明白で信頼性のある接触を得られるように頑丈な接触設計が考慮されています。クローズエンドのコンタクトはTO-3のピンの全長を受け入れ、半田およびフラックスによる汚染を防止します。ソケットのボディには、TO-3のケース温度を直接測定することを可能にする穴が中心部にあります。

締め具

TO-3パッケージの装着を行う留め金具は非常に重要なものです。表Iに適切な金具類の組み合わせが示されています。留め金具類の製造元のリストがこのアプリケーションノート最後の部分に記載されています。留め金具の材質としてはステンレス鋼が好ましく、メッキされた銅も十分代用となります。真鍮やプラスチックは留め金具には不適切です。

TO-3パッケージの装着穴は、6-32機械ねじ用に設計されているので、その他のサイズは使用しないで下さい(図1Aおよび図1Bの分解組立図を参照)。ビスなどの留め金具の頭部形状は、パン・ヘッド(なべ頭)が最適な形であり、装着穴を適切に覆うのにふさわしい平坦な輪郭、広い軸受けを備えています。また、この軸受けは広いのですが、溶接してあるTO-3の上カバーの縁に重なるほどは広くありません。

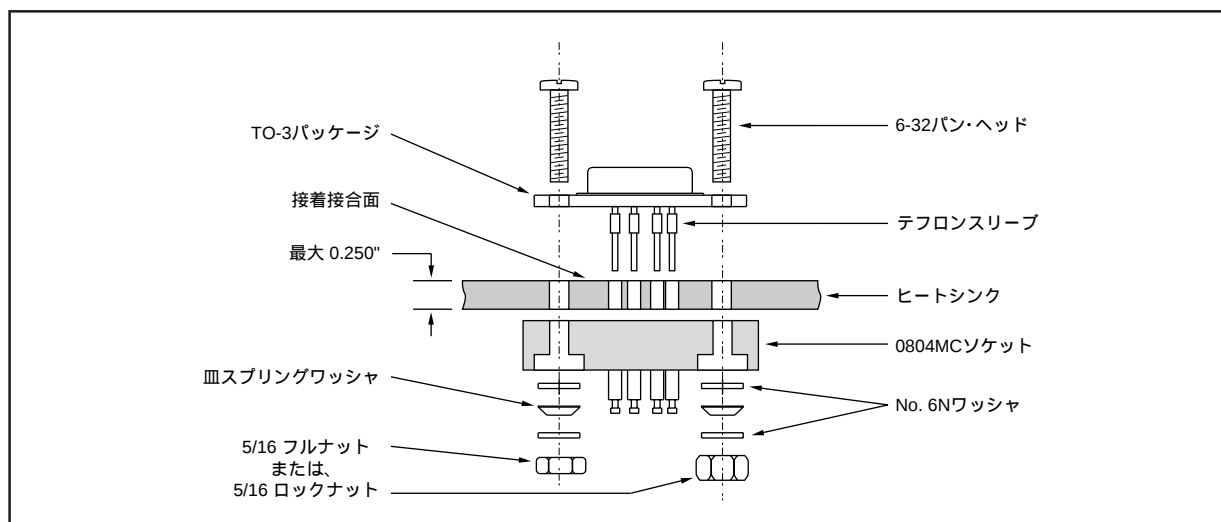


図1A. 0804MCソケットを使用した大電力用途

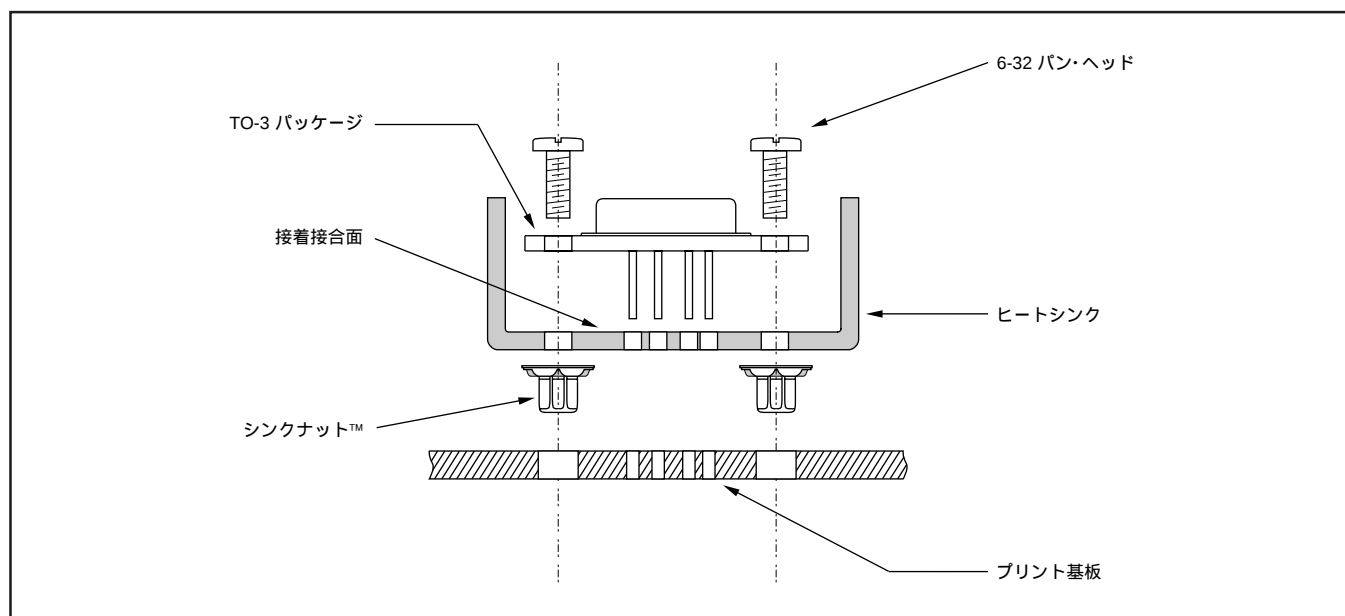


図1B. プリント基板を使用した低電力用途

ん。適切な装着圧力を維持するため、皿スプリング・ワッシャ(円錐圧縮ワッシャとも呼ばれる)を使用して下さい。また、低い熱抵抗⁽¹⁾を達成するには150から300ポンドの圧力が必要ですが、スプリット・リング・ワッシャ(スプリング・ワッシャ)やスター・ロック・ワッシャ(菊座金)は通常50ポンドより小さい値で底をついてしまうので使用しないで下さい。皿スプリング・ワッシャは底がつかないため、パッケージの熱膨張⁽²⁾、または時間の経過にともない生じる可能性のあるソケットの材質のわずかな圧縮も吸収します。スプリング・ワッシャをナットの一部として含んでいるEG&Gウェイクフィールド社のシンクナット™が、円錐ワッシャの優れた代用として使用することができます。皿スプリング・ワッシャは、パッケージのフランジの上ではなく、プリント基板または留め具のヒートシンク側に装着して下さい。皿スプリング・ワッシャの広い方の面が実装表面に付くように装着して下さい。プリント基板または0804MCソケットへの締めつけを行っているときには、皿スプリング・ワッシャが正確に機能するようにNO.6N(小幅)平ワッシャを比較的柔らかい部品に追加装着して下さい。2つの留め具が仕様通りのきつさになるまで、1つずつ交互にゆっくりと締めて下さい。

推奨の締めつけトルクは、6インチポンドで4~7インチポンドの許容範囲を持ちます(0.45~0.79N-m)。

トルクの測定を変えてしまうので、熱グリースでビスなどの留め金具のねじ山を汚染しないで下さい。留め金具を締めすぎるとパッケージや内部基板を損傷し、また緩すぎると熱性能の低下を引き起こすことがあります。通電テストのような環境スクリーニング動作の後では、トルクを与え直すことが必要になることがあります。永久的な装着には完全金属製のロックナットが適しています。ロックナットはプラスチック製の挿入部品とは組み合わせないで下さい。

TO-3ホール形状

TO-3パッケージとヒートシンクの間の装着接合を優れたものにするには、機械で正確に開けられた装着ホール形状(取り付け穴の正確なピッチと配置寸法)が必要になります。パッケージのピン用に単一(大きい直径)の取り付け穴を開けることは絶対にし

	最適	使用可能	不適切
材質	ステンレス スチール	めっきした スチール	真鍮、 プラスチック
留め金具頭	バン	丸、六角形	バインディング、 皿、楕円、トラス、 丸平、ソケット、 六角ワッシャ
ワッシャ	No.6皿ばね ⁽¹⁾ + No.6N皿	No.6N皿	
ナット	5/16"フル、 シンクナット™	1/4"六角ねじり、 1/4"フル	
固定器具	5/16" ロックナット ⁽²⁾	スプリット・ リング ⁽³⁾	星型ワッシャ

注：(1) 推奨のNo.6皿スプリング・ワッシャは、ASMCQ(部品番号24087；直径0.312"；定格初期圧力78lb)から供給されています。
(2) 大電力には全て金属性のものを使用し、伸縮性のある挿入物は使用しないで下さい。
(3) 大電力または温度サイクルのある条件下では使用しないで下さい。

表I. 6-32留め金具

ないで下さい。1本のピンに対し、1つの穴を開けて下さい。図2で図示されているTO-3ホール形状に従って下さい。最高の熱性能を引き出すためには、最小の0.073インチ(#49ドリル)の穴を使用して下さい。これよりも小さい穴は各ピンのガラス膜を損傷することがあります。

ピンがヒートシンクに短絡するのを防ぐため、#18テフロンチューブを使ってすべてのピンを絶縁して下さい。スリーブの長さがヒートシンクの厚さよりもわずかに短いことを確認して下さい。前もってドリルで穴を開けてあるヒートシンクのほとんどは、ピン用に一回り大きな3/32(0.094")の穴が空いているので、ソケットまたはプリント基板を使用している限りピンを絶縁する必要はありません。しかし、パッケージ装着時のセンター出しを容易にするため、最低1組の向かい合っているピンにスリーブをかぶせて下さい。ピンにリード線を直接配線する場合は、使用されている穴の大きさに関係なくすべてのピンを絶縁して下さい。

表面処理がなされたヒートシンクを使用するときは、以下の点に注意して下さい。どのような表面処理がされたかを確認してい

まう可能性があります。ねじ加工された装着穴では装着圧力を適切に制御する皿スプリング・ワッシャやロックナットの使用が不可能になります。

装着熱抵抗

すべての装着準備が適切に行われた場合でも、小さなエアギャップにより装着接合面の熱抵抗は小さくありません。装着部における金属と金属が接触をしている部分の割合は、実際にはわずかです。熱抵抗を最小限に抑えるには、これらのギャップが安定した熱伝導性の物質で埋められなければなりません。表 には、一般的に入手できる材料とその性能が示されています。装着留め金具のトルクの締めつけも熱性能⁽⁵⁾に影響することに注意して下さい。

名称	θ_{CH} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	用途	ヒートシンク 平坦性条件
単純接合	0.5 - 1.0	低電力のみ	平坦性と仕上がりが大きく影響
熱グリース	0.1 - 0.2	大電力	影響小、規格0.004 インチ/インチ(最大)使用可
アルミ箔 ⁽¹⁾ (シリコンが充填 されたアルミナ で加工済み)	0.2 - 0.4	大電力	θ_{CH} を最小にするため 0.001インチ/インチ(標準)を推奨。
アルミ箔 ⁽²⁾ (熱グリースで 加工済み)	0.2 - 0.4	大電力	θ_{CH} を最小にするため 0.001インチ/インチ(標準)を推奨。
カプトン ⁽³⁾ (熱グリースで 加工済み)	0.3 - 0.5	電氣的絶縁	θ_{CH} を最小にするため 0.001インチ/インチ(標準)を推奨。
シリコンゴム (伸縮性)	0.4 - 1.0	電氣的絶縁	本文参照
雲母(未処理)	1.0 - 1.5	電氣的絶縁	雲母はもろく、ひび 割れしがちで不適当。
雲母 (熱グリース付)	0.3 - 0.4		

注：(1) BERGQUIST社から、部品番号QII-8X(0.094インチの穴)で供給されています。
(2) Power Devices社から、部品番号AL-155-10Cで供給されています。
(3) Crayotherm社から、部品番号TO-3-8 CR2-MTで供給されています。製造元のリストは付録を参照して下さい。

表 . TO-3パッケージの熱インターフェースのオプション

システムの熱モデルを把握していると、最適な装着処理ができます。図3に示されている簡易熱モデルを検討して下さい。装着熱抵抗は、 θ_{CH} (ケースからヒートシンク)で表されています。熱抵抗の合計は、 θ_{JA} (接合部から周囲)で表されています。低電力の用途では、 θ_{JA} は30 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 程度でよく、この場合の装着熱抵抗は全体の熱抵抗に対しわずかです。大電力用途では、 θ_{JA} は1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ まで下げることが必要で、低い θ_{CH} を得ることは不可欠になります。例えば、50Wの電力消費では、装着熱抵抗が0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 上ると接合部温度が25 $^{\circ}\text{C}$ も上昇します。

単純装着

低電力用途では、TO-3パッケージをヒートシンクにそのまま装着することができます。高電力用途の場合単純な接合では熱

抵抗がヒートシンク表面の平坦性や仕上がりによって大きく変化するので、熱抵抗に余裕があっても不適切です。

熱グリース

θ_{CH} を最小にするには、適切に機械仕上げされた装着表面の接合部に熱グリースを使用して下さい。これによって約0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ の θ_{CH} が達成できます。時間や温度の変化に依存せず低熱抵抗を維持するためには、適切な留め金具を使用することが不可欠になります。

熱グリース(ヒートシンク・コンパウンドとも呼びます)のメーカはたくさんあります。熱グリースは、きめの細かい酸化亜鉛か、他の熱伝導性の高い絶縁性粒子がシリコン油中に含まれます。また、化学合成物をもとにした流動性物質で構成されたものもあります。ほとんどのグリースは、容器に密閉されていれば半永久的に保存できます。時間の経過とともにグリースが分離することがありますが、使用する前に元のように混ぜ合わせれば効力は変わりません。

熱グリースは金属と金属の接触面を減らすためでなく、エアギャップを埋めるためのものなので多量に使用しないで下さい。グリースは、TO-3パッケージをヒートシンクに対しわずかに回転させても広げることができます。適量を使用し、留め具により適切に圧着すれば、熱グリースはTO-3パッケージの周囲に小さな環状になって見えます。時間が経つとグリースは乾いてしまうことがありますが、装着接合面がしっかり固定されていれば熱抵抗の性能を低下させることはありません。

熱パッド

熱伝導性のパッドの使用は、より清潔で簡素な熱伝導性を向上させる方法です。熱パッドを使用して得られる最小の θ_{CH} は約0.2 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ で、熱グリースを使用したときと同じくらい優れたものになります。熱パッドにはいろいろな種類の材質、製法、そして適応があるので十分考慮して使用して下さい。

基本的には、絶縁型と伝導型の2種類の熱パッドがあります。

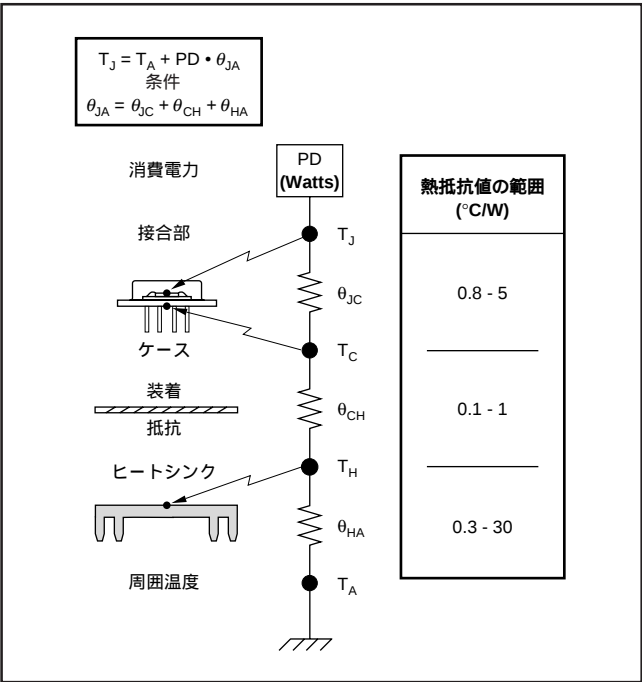


図3. 簡易熱モデル

電気絶縁パッドは、電氣的にパッケージが絶縁されていない、TO-3のディスクリット・トランジスタで使用されるように作られています。一般的に、この種類のパッドは絶縁層でパッドを挟んでいるため、大電力を使用するのに必要な低い θ_{CH} を提供することができません。絶縁されたフランジを持つハイブリッドのTO-3は、絶縁パッドを必要としません。絶縁層を必要とすることなく、熱グリースと同じくらい優れた非常に低い θ_{CH} を達成できる伝導パッドが使用できます。

すべての熱パッドは小さなエアギャップを埋めるのに優れていますが、熱グリースのように流動して表面に適合できないので、0.004インチ/インチの平坦許容度規格を持つヒートシンクに使用する場合は、どの熱パッドを使用しても問題が起こります。したがって、熱パッドを使用する場合は常に、装着範囲を0.001インチ/インチの標準表面仕上げで座ぐりをして下さい。シリコンゴムパッド⁽⁶⁾も表面の平坦性に影響しますから注意が必要です。ほとんどのシリコンゴムパッドは未仕上げな接合面での熱性能を向上させることはありません。このゴムパッドの伸縮性は、フランジの屈曲を招いたり、内部基板にひびを入れたりする可能性があります。また、時間と温度の変化にともない硬化することがあり、留め具が緩くなったり、装着圧力が低下したりします。

図による推奨装着方法

ここで記載されている装着図はTO-3パワー用部品(図4参照)のための、より基本的な動作条件を与えます。これらの条件には、大電力動作、低電力動作、そして無負荷、無信号条件下での機能テストが含まれています。装着の選択として0804MCソケット、個別の丸ピン・ソケットの使用そしてプリント基板への直接半田があります。表 1 に推奨の丸ピン・ソケットが示されています。

製造元	部品番号	ドリルサイズ： インチ(番手)	備考
Cambion	450-3716-01-03	.076 48	底が閉じておりウェーブ・ソルダー可能
Concord	09-9047-1-03	.104 37	耐久性の高い、オープンエンド
SPC Technology	MC76	.089 43	プリント基板へ圧入
Mil-Max	0325-0-15-01-34-27-10-0	.089 43	クローズドエンド、ピン全長受入れ
(製造元のリストは付録を参照して下さい。)			

表 1. 推奨丸ピン・ソケット(ケージ・ジャック)

機能テストおよび無負荷特性試験

室温での機能テストおよび無負荷特性試験を行うには、ヒートシンクは必要でないことがあります。この時の装着方法は非常に簡単です。0804MCソケットを使用する場合は、8本のコンタクト・ピンがすっぽり入る大きな穴を一つドリルで開けることによって、ソケットを直接テスト・ボックス、またはプリント基板に装着することができます。穴の直径は0.63から0.75インチの間にして下さい。コンタクト・ピンを銅被覆や金属製のボックスに接触させ短絡しないよう注意して下さい。ソケットのボディは、皿ねじを使って装着して下さい。電氣的絶縁のためには、

ナイロン製の皿ねじを代わりに使用して下さい。丸ピン・ソケットを使用する場合は、図2で示されているTO-3ホール形状に従って下さい。半田による汚染を避けるため、できる限りクローズドエンド(ピン底部が開口していないもの)の丸ピン・ソケットを使用して下さい。

低電力動作

低電力アプリケーションへの装着設計は、機能テストおよび無負荷特性試験で使用したものの延長で、違いは小さいヒートシンクをTO-3パッケージに取り付けなければならない点です。低電力アプリケーションの熱抵抗の合計(θ_{JA})は、5から30 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ と比較的高くて済むため、 θ_{CH} は高電力での動作に比べるとそれほど重大なものではありません。

ほとんどの場合、TO-3パッケージは単純装着できます。低電力用途のヒートシンクは通常、押し出し加工されたものよりプレス曲げ加工されたものが主で、いくつかはTO-3カバーの周りに圧入することができます。これらは「ローパワー」または「標準」ヒートシンクと呼ばれています(反対に大電力動作に使われるヒートシンクは「ハイパワー」)。これらの種類のヒートシンクの熱抵抗は、寸法、重さ、形状によって3から20 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ の範囲になります。

低電力の装着方法は一般的にプリント基板への実装用に使われています。これらの用途にヒートシンクの製造元はウェーブ・ソルダーが可能な留め具や熱伝導パッド等、色々な付属品を開発していますが、これらの部品は注意して使用して下さい。このアプリケーションノートで具体的に推奨されている内容に従うことは非常に重要です。熱パッドについては、「装着熱抵抗」の部分に記載されています。

プリント基板の用途に使用する留め金具としてシンクナットTMを推奨します。シンクナットTMは、TO-3とヒートシンクの組み合せをボードに直接ウェーブ・ソルダーすることを可能にします。ウェーブ・ソルダーの後には必ずトルクの再調整をして下さい。温度サイクルに関連しない低電力用途では、スプリット・リング・ロックワッシャ(スプリング・ワッシャ)を問題なく使用することが可能です。

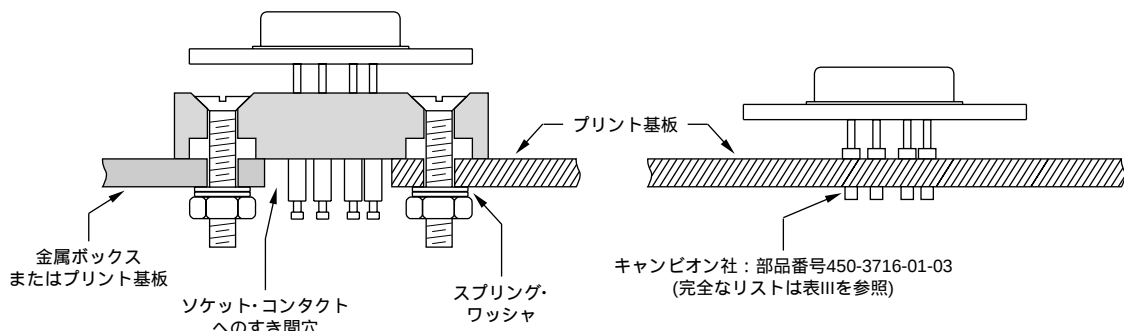
大電力動作

大電力動作の装着方法は、プレス曲げ加工されたものよりも機械加工された大きく重いヒートシンクを使用します。この大きさと重さでは通常、単にTO-3パッケージに取り付けるよりも機器の内部に独立して配置する必要があります。一般的に、このヒートシンクは押し出し加工材の一部を適当な長さに切り取ったもので、しばしば米国では「エクストルード」ヒートシンクと呼ばれています。

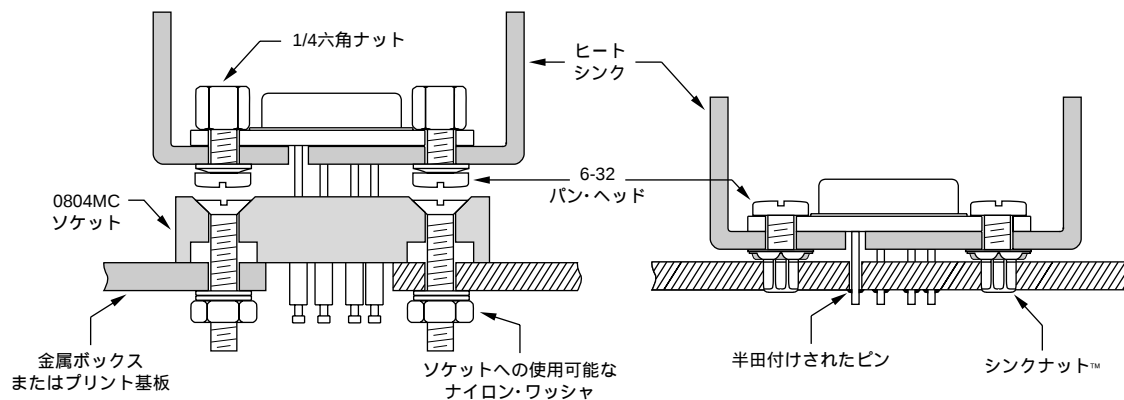
大電力用途

この種類のヒートシンクの熱抵抗は自然対流下の動作で0.4から3 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ の範囲になります。風力のある空気では θ_{HA} は2分の1から3分の2小さい値に減少されることがあります。

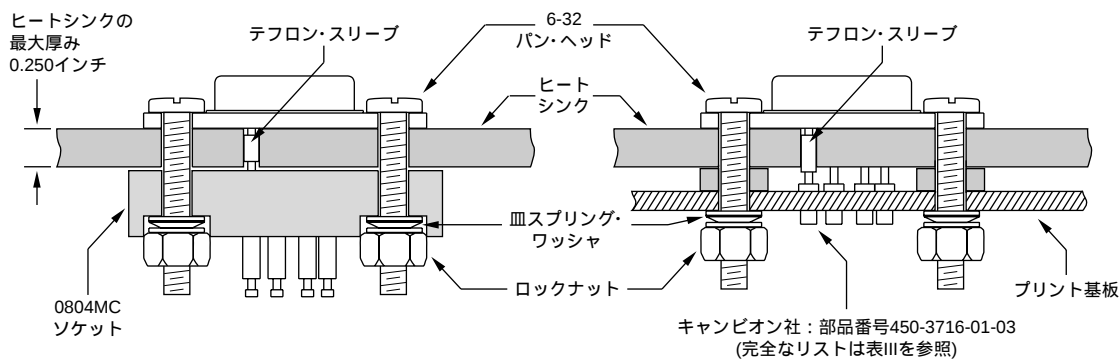
大電力用途では、許容される熱抵抗の合計(θ_{JA})は1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ にまで下がります。この条件下では、低い θ_{CH} を得ることは不可欠になります。優れた装着接合を確実に得るには、推奨の留め金具を使用し、このアプリケーションノートで前述した説明に従って表面の加工を行って下さい。



無負荷用途：PD < 3W (θ_{CA} : 30°C/W)



低電力用途：PD < 25W (θ_{HA} : 3-20°C/W)



大電力用途：PD < 125W (θ_{HA} : 0.4-3°C/W)

図4. TO-3装着例

熱測定および評価

実際の動作条件下でパッケージのケース温度(T_C)を測定し、TO-3の装着方法を検査することは賢明な行動です。これを行うことによって、図3で示されているようにケース温度から半導体接合部温度(T_J)が計算できます。

$$T_J = T_C + PD \cdot \theta_{JC}$$

PDは消費電力の合計(無信号時電力を含む)で、 θ_{JC} は接合部からケースへの熱抵抗(製品データシートに記載)です。計算された接合部温度は、製品データシートで示されている最大許容温度(標準150)よりも低くなければなりません。

真のケース温度はサブストレート直下で、これはピンの中心に位置しています(図5参照)。このケースの裏面が一番安定した測定結果を出力します。ケースの底面を直接測定するには、図2で示されているようにヒートシンクに熱電対用の穴(7)をドリルで開けて下さい。推奨の熱電対はOmega社の高速応答プローブ(部品番号SDX-SET-RT-K-SMP)です。システムが熱平衡を得るのに十分な時間を与えて下さい。プローブの先端に少量の熱グリースを与えると優れた熱接触が得られます。

パッケージのケース温度は、スベード・ラグ型の熱電対を装着用ビス・ヘッドの下に差し込むことによって見積もることも可能

ですが、この方法は、ケースの底面ではなくパッケージの装着フランジの温度を測るため注意を要します。実際にケースの底面は装着フランジよりも高温になります。この温度差は、消費電力や装着熱抵抗等々によって10 にまでなることがあります。大電力用途、少なくとも試作品では、ケースの裏側の温度を直接測定することを薦めます。

参照

- (1) Thermalloy社カタログ#90-HS-11(13頁) 図6および図8
- (2) EG&G Wakefield社カタログ90年4月出版(103頁) “シリーズ115、116、117、118シンクナット”
- (3) Thermalloy社カタログ#90-HS-11(12頁) “テスト結果”
- (4) Thermalloy社カタログ#90-HS-11(9頁) “供給可能仕上がり”
- (5) Thermalloy社カタログ#90-HS-11(13頁) 図6および図8
- (6) Thermalloy社カタログ#90-HS-11(106頁) “テスト方法比較-TO-3シリコンゴム絶縁体”
- (7) オプションの熱電対用の穴は、装着熱抵抗を目立って上昇させることはありません。その差を試験的に測定することはできませんが、コンピューターによるシミュレーションでは0.02 /W以下の上昇が示されています。

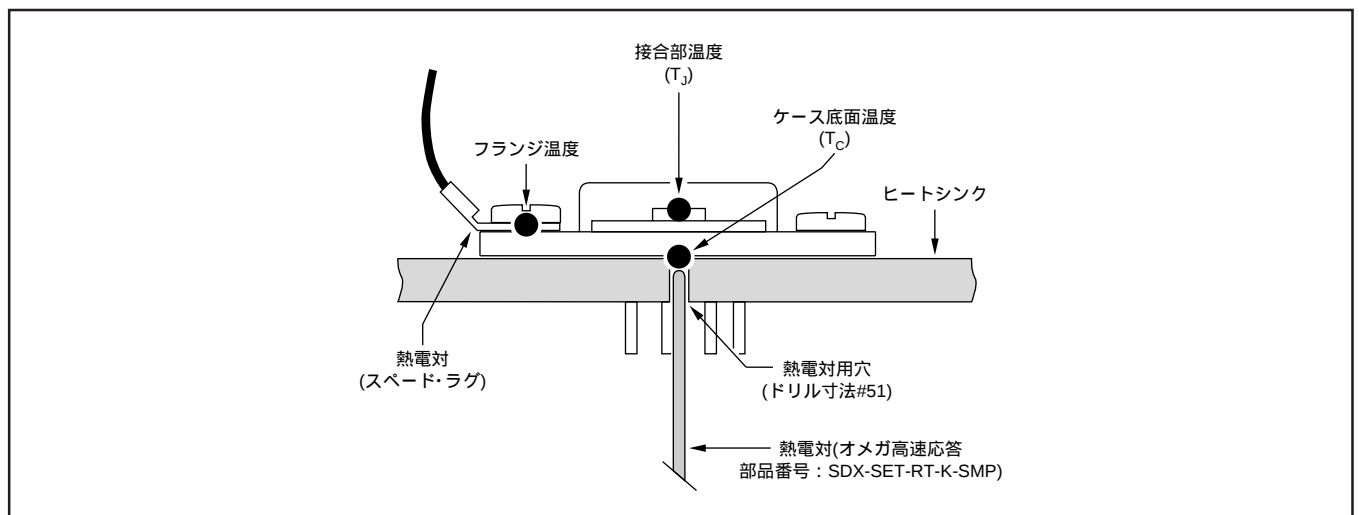


図5. パッケージのケースの熱測定

付録

製造元	TO-3ソケット	ケー ジ ジャック	熱グリース	熱パッド	ヒートシンク	テフロン・ チューブ	留め具	温度測定	組立工具
BURR-BROWN	0804MC								
CTI	×								
CONCORD		×							
Cambion		×							
Mill-Max		×							
NEWARK		×			×		×		
Thermalloy			×		×				
AAVID Engineering			×		×				
EG&G Wakefield			×		×		×		
BERGQUIST				×					
Power Devices				×					
Crayotherm				×					
Alpha Wire						×			
SPC Technology						×			
McMASTER-CARR							×		×
ASMCO							×		
OMEGA								×	

表 . TO-3装着部品メーカー一覧

Alpha Wire Corp. 711 Lidgerwood Ave. Elizabeth, NJ 07207 – 0711 (908) 925 – 8000	CONCORD 30 Great Jones St. New York, NY 10012 (212) 777 – 6571	NEWARK Electronics 4801 N. Ravenswood Ave. Chicago, IL 60640 – 4496 (312) 784 – 5100
ASMCO 19 Baltimore St. Nutley, NJ 07110 (201) 661 – 2600	Crayotherm Corp. 1185 N. Van Home Way Anaheim, CA 92806 (714) 630 – 2696	OMEGA One Omega Drive P. O. Box 4047 Stamford, CT 06907 (203) 359 – 1660
AAVID Engineering, Inc. One Kool Path P. O. Box 4000 Laconia, NH 03247 (603) 528 – 3400	CTI Technologies, Inc. 7855 E.Evans Road, Suite A Scottsdale, AZ 85260 – 3411 (602) 998 – 1484	Power Devices 27071 Cabot Road, Bldg. 114 Laguna Hills CA 92653 (714) 582 – 6712
BERGQUIST 5300 Edina Industrial Blvd. Minneapolis, MN 55435 (612) 835 – 2322	EG&G Wakefield 60 Audubon Road Wakefield, MA 01880 (617) 245 – 5900	SPC Technology 4801 N. Ravenswood Ave. Chicago, IL 60640 (312) 907 – 5181
Cambion Division MIDLAND ROSS One Alewife Place Cambridge, MA 02140 (617) 491 – 5400	McMASTER-CARR P. O. Box 54960 Los Angeles, CA 90054 – 0960 (213) 692 – 5911	Thermalloy, Inc. 2021 W. Valley View Lane P. O. Box 810839 Dallas, TX 75381 – 0839 (214) 243 – 4321
	Mill-Max Mfg. Corp. P. O. Box 300 190 Pine Hollow Road Oyster Bay, NY 11771 – 0300 (516) 922 – 6000	

このアプリケーションノートに記載されている情報は、信頼しうるものと考えておりますが、不正確な情報や記載漏れ等に関して弊社は責任を負うものではありません。情報の使用について弊社は責任を負えませんが、各ユーザーの責任において御使用下さい。価格や仕様は予告なしに変更される場合がありますのでご了承下さい。ここに記載されているいかなる回路についても工業所有権その他の権利またはその実施権を付与したり承諾したりするものではありません。弊社は弊社製品を生命維持に関する機器またはシステムに使用することを承認しまたは保証するものではありません。