



Is Now Part of



**ON Semiconductor®**

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at  
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf). ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

# AN-9071\_JA

## スマートパワーモジュール、モーションSPM® 45 シリーズ

### 熱性能情報

#### 熱抵抗

##### 概要

半導体デバイスの特性は、温度により大きな影響を受けます。その接合部温度が上昇すると、特性は通常状態から変化し、不良率は指数関数的に高くなります。従って、パッケージの放熱設計はデバイス開発段階、及び使用されるアプリケーション環境において大変重要になります。

デバイスの放熱特性を理解する上で、一般的に熱抵抗の概念が導入されます。熱抵抗とは、二つの異なる表面の温度差を、その2点間を流れる熱量で割ったものと定義されます。半導体デバイスにおいて、二つの異なる温度とは、接合部温度 $T_J$ と、基準温度 $T_x$ であり、熱量の流れは、動作しているデバイスの電力損失になります。基準点の選び方は任意ですが、通常、最も高温になり、ヒートシンクが取り付けられるデバイスの裏面が選択されます。これを、接合部-ケース間熱抵抗 $R_{\theta JC}$ と呼びます。基準点が大気であれば、接合部-大気間熱抵抗 $R_{\theta JA}$ になります。両者ともにデバイスの放熱特性を調べるのに用いられます。 $R_{\theta JC}$ は通常ヒートシンクを伴う場合に使用され、一方、 $R_{\theta JA}$ はそれ以外の場合で使われます。図1にSPMにおけるヒートシンクを用いた場合の接合部から大気までの熱回路網を示します。

破線で示した $R_{\theta CA}$ は、その値が十分に大きいため無視することができます。

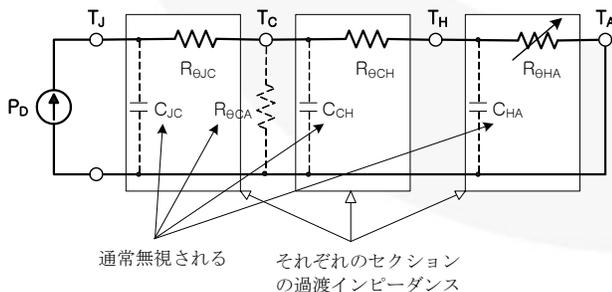


図1. ヒートシンク使用時の過渡的熱等価回路

SPMの熱抵抗は次式で定義されます:

$$R_{\theta JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D} \quad (1)$$

ここで、 $R_{\theta JC}$ (°C/W)は接合部-ケース間熱抵抗、 $P_D$ (W)、 $T_J$ (°C)、 $T_C$ (°C)、はそれぞれ、デバイスあたりの電力損失、接合部温度、基準点ケース温度です。 $T_C$ を $T_A$ (大気温度)で置き換えると、接合部-大気間熱抵抗 $R_{\theta JA}$ は次のようになります:

$$R_{\theta JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} \quad (2)$$

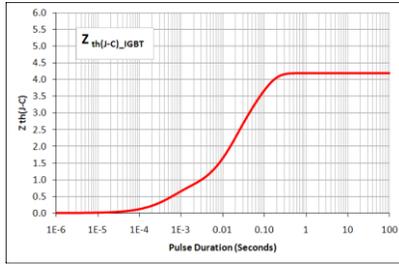
ここで、 $R_{\theta JA}$ はヒートシンクを含むSPM全体の放熱特性を表し、その値は各種の熱抵抗、即ち $R_{\theta JC}$ 、 $R_{\theta CH}$ 、 $R_{\theta HA}$ の直列接続の和になります。

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CH} + R_{\theta HA} \quad (3)$$

ここで、 $R_{\theta CH}$ 、 $R_{\theta HA}$ は、それぞれパッケージとヒートシンク間に用いられる熱伝導グリスによる接触熱抵抗、及びヒートシンクの熱抵抗を表します。式(3)より、 $R_{\theta JC}$ を小さくすると同時に、アプリケーション上では $R_{\theta CH}$ 及び $R_{\theta HA}$ を極力小さくすることが、SPMの電力伝達能力を最大化する上で重要であることが分かります。もし $R_{\theta CH}$ と $R_{\theta HA}$ をゼロに、そして $T_C$ をある一定の大気温度 $T_A$ に固定できたとすると、それは無限大のヒートシンクを取り付けたことになります。通常、 $R_{\theta CH}$ の値は、グリスの厚さに比例するため、組立工場の技術に支配されます。一方、 $R_{\theta HA}$ は最適なヒートシンクを選択するなど、ある程度対応することが可能です。

実際のアプリケーションでは、電力損失 $P_D$ は周期的であるため、図1に示したようなRC過渡応答の等価回路を考慮すべきです。パルス状の電力損失では、等価的な熱コンデンサが接合部温度の上昇を遅らせる効果をもたらす、マイクロミニDIP SPMでは、より重い負荷を許容できることとなります。図2から図6に、FNA40560、FNA40860、FNA41060、FNA41560、FNB43060Tそれぞれの熱インピーダンス・カーブを示します。熱抵抗は約1秒以内で飽和領域に達していま

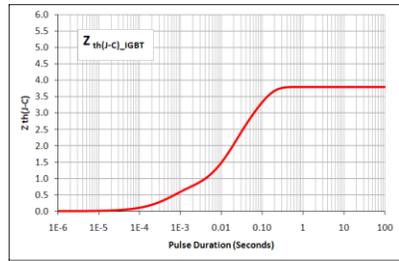
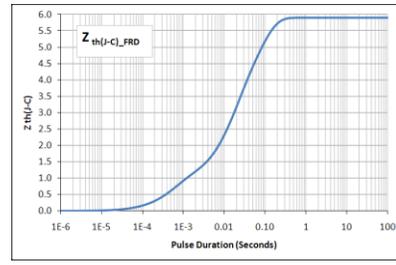
す。他のモーションSPMに関しても同じような特性を示しています。



パルス幅 (Sec)

図 2. FNA40560 熱インピーダンス・カーブ

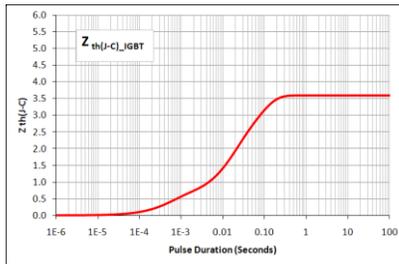
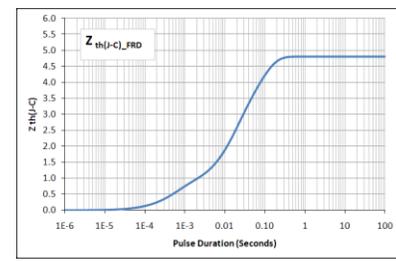
パルス幅 (Sec)



パルス幅 (Sec)

図 3. FNA40860 熱インピーダンス・カーブ

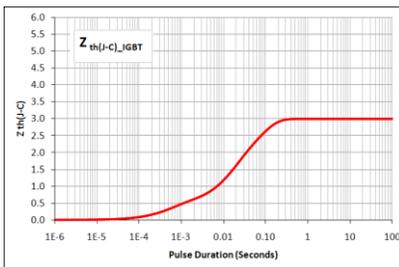
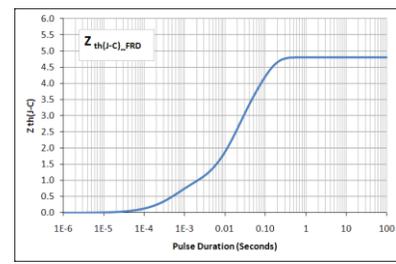
パルス幅 (Sec)



パルス幅 (Sec)

図 4. FNA41060 熱インピーダンス・カーブ

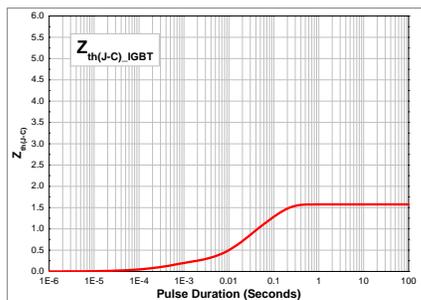
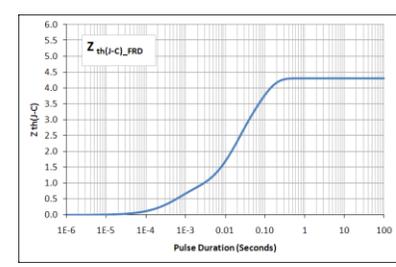
パルス幅 (Sec)



パルス幅 (Sec)

図 5. FNA41560 熱インピーダンス・カーブ

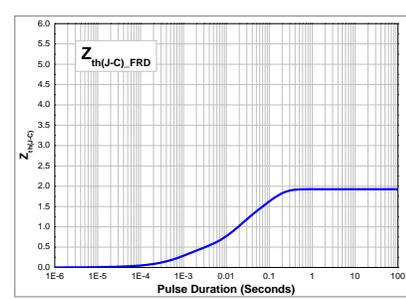
パルス幅 (Sec)



パルス幅 (Sec)

図 6. FNB43060Tx 熱インピーダンス・カーブ

パルス幅 (Sec)



日本語アプリケーションノートはあくまでも参考資料として提供されています。  
製品のご検討およびご採用に際しましては、必ず最新の英文アプリケーションノートにてご確認をお願いいたします。

## 測定方法

熱抵抗の測定では、 $T_J$ 、 $T_C$ (または $T_A$ )、そして $P_D$ をそれぞれ測定する必要があります。 $T_C$ 、 $T_A$ 、及び $P_D$ は直接測定することが可能ですが、接合部温度 $T_J$ だけはそれが出来ません。接合部温度の測定には、電気テスト法(The Electrical Test Method)が広く採用されています。電気テスト法は接合部順方向電圧と接合部温度との関係を利用したものです。これは半導体接合部固有の電気熱特性によるもので、一定の順方向電流(センス電流)を与えた場合、順方向電圧と接合部温度の間にほぼニアに変化する関係があります。この順方向電圧を温度感知パラメータ(TSP)と呼んでいます。図7にダイオード接合を用いて、順方向電圧と接合部温度との関係を測定する概念を示します。被測定デバイス(DUT)は、所定の温度に熱する必要があるため絶縁性の液体の中に浸します。

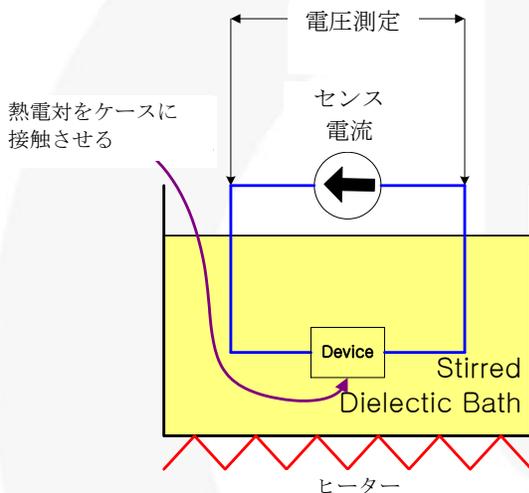


図7. 絶縁性液槽を用いたTSP 測定の概要

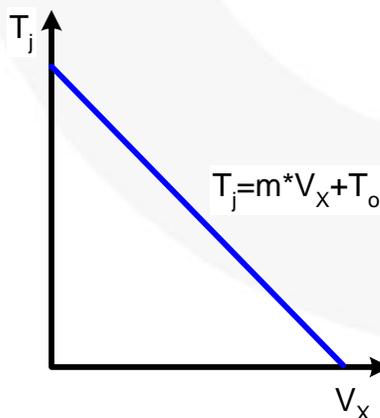


図8. 一定センス電流におけるTSP 特性の例

DUTが、高温になった液体とともに熱平衡に達した時、センス電流が接合部に加えられ、温度の関数となる接合部に発生する順方向電圧を測定します。センス電流は、それ自身がDUTに熱を加えることがないように、DUTのタイプにもよりますが、例えば、1mA、10mAのような十分小さい値に設定します。測定は特定の温度範囲において、指定された温度ステップで繰り返し行われます。図8に標準的な測定結果を示します。与えられた温度での接合部温度と順方向電圧の関係は次式のようにになります：

$$T_J = m * V_X + T_O \quad (4)$$

傾き  $m$  ( $^{\circ}C/V$ )と、温度の縦軸切片  $T_o$  ( $V$ )により、この直線関係が数値化されます。傾きの逆数は、しばしば"Kファクタ ( $V/^{\circ}C$ )"と呼ばれることがあります。ここでは $V_x$  ( $V$ )がTSPになります。半導体では、図8に示す直線の傾き  $m$  は常に負の傾きを持ち、順方向電圧は温度の上昇と共に減少します。このような手順で式(4)を求めることを、校正法とよんでいます。

熱抵抗の測定において接合部温度は、校正法に従い、指定されたセンス電流が与えられた時の順方向電圧を測定し、式(4)によって推定することが出来ます。TSPはデバイスにより異なり、中には、ダイオード電圧としてのTSPを持たないものもあります。そのような場合は、トランジスタの飽和電圧、或いは、IGBTまたはMOSFETのゲート・ターンオン電圧をTSPとして利用することも可能です。

## 測定手順

熱抵抗測定は、まずDUTに既知の電流及び電圧による連続した電力を加えることから開始します。この連続パワーによりDUTは熱せられ、熱平衡の状態に至ります。デバイスを熱する一方、連続したサンプリングパルスでTSP、言い換えれば順方向電圧、即ち、接合部温度をセンスします。TSPのサンプリング期間では、式(4)を得た校正法で使用した電流と同じ値のセンス電流を供給します。TSPをセンスする一方、加えられた電力は、 $T_J$ を十分に上昇させるよう調整する必要があります。測定精度を高める為に、 $T_J$ が基準温度に比べ約 $100^{\circ}C$ 程度高くなるよう、十分高い温度になるまで電力を加えます。標準的な電力とサンプリングパルスの例を図9に示します。



図9. SPM-IGBT の $R_{Jc}$  測定に使用される供給電力とサンプリングパルス波形の例

TSP サンプルング期間は、次の電力供給サイクルに至る前に接合部が冷却されることがないように短時間でなくてはなりません。図9に示した供給電力とセンスパルスの波形では、そのデューティ・サイクルは99.9%であり、実質上、連続的に電力が加えられていると判断できます。図10から、ほとんど全ての電力がDUTに供給されているのが分かります。

$T_j$  が熱平衡に達すると、その値を、基準点の温度 $T_C$ と、供給パワー $P$ と共に記録します。測定値と、式(1)を使って接合部-ケース間熱抵抗 $R_{\theta JC}$ が推定できます。ここで、 $R_{\theta JC}$ は、理想的な周囲環境、即ち、温度制御された無限大のヒートシンクに取り付けられた状態における、デバイスの熱放能力を表しています。

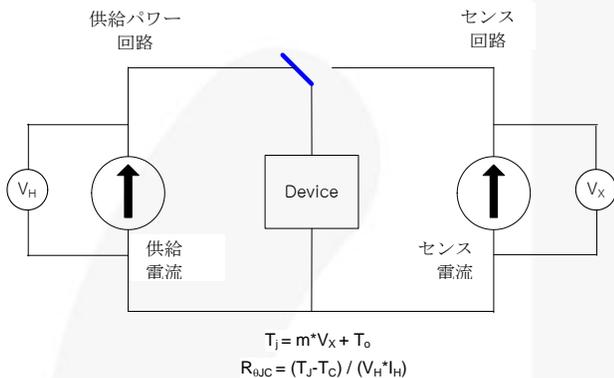


図 10. 熱抵抗測定方法の概要

図11にSPMの熱抵抗の測定環境を示します。SPMは、大きな熱容量を持つヒートシンクに取り付けられ、SPMとヒートシンクの間にはエアギャップを防ぐため熱伝導グリスを塗ります。

ヒートシンクの中を通して熱電対を入れ、温度を測定するSPMの裏面に押し付けます。基準温度をどの位置で測定するかについて厳密に決まりはありませんが、最も温度の高い部分を測定することが理想です。このケースでは、SPMの中央、もしくはヒートシンクの中央にしています。

図11に示すように、熱電対と基準になる測定点との間は、十分な熱伝導性を維持して接触させることが重要であり、熱伝導グリスを塗り、適度な圧力を加え固定する必要があります。

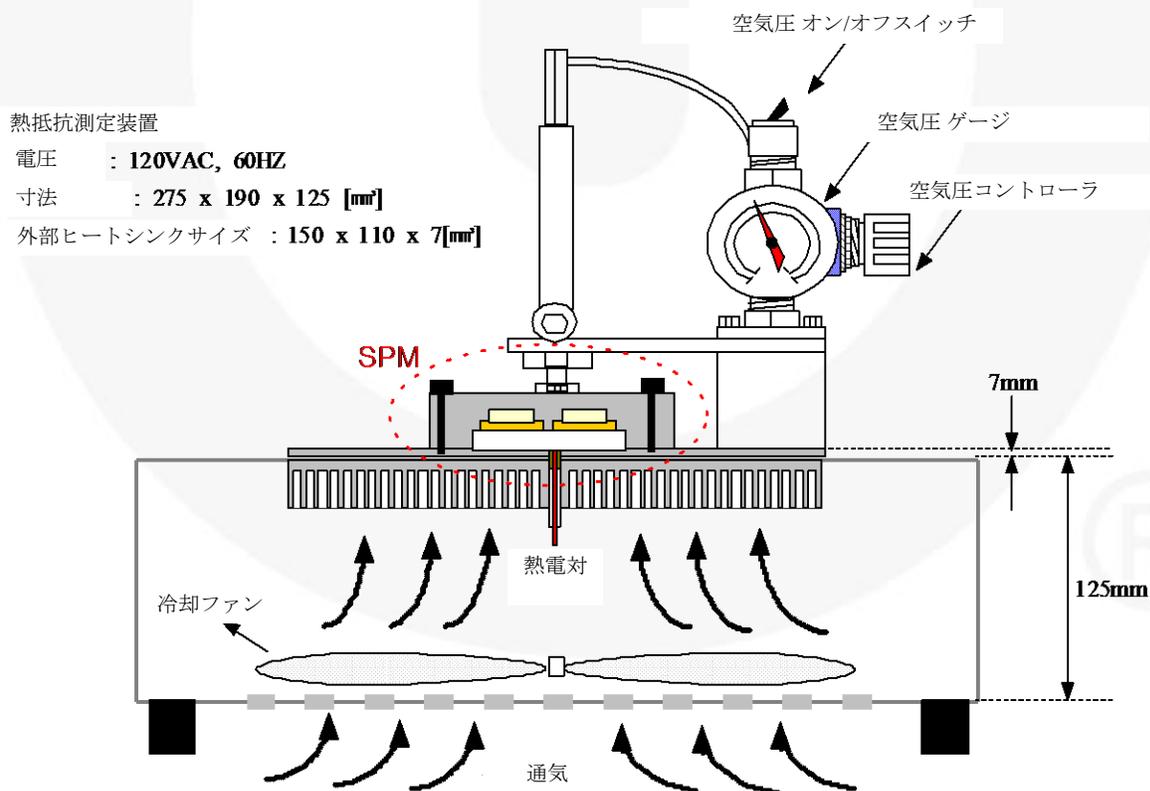


図 11. SPM熱抵抗測定環境

## 実効負荷電流

標準的な条件で電力損失シミュレーションを行った結果を、“実効負荷電流 vs. キャリア周波数特性”として図 12 に示します。条件は：

### シミュレーション条件

$V_{PN}=300V$ ,  $V_{CC}=V_{BS}=15V$ ,  $V_{CE(SAT)}$ ,  $E_{SW(ON,OFF)}=typ.$ ,  
 $T_J=150^{\circ}C$ ,  $T_C=125^{\circ}C$ ,  $R_{\theta(J-C)}=Max.$ ,  $M.I.=0.9$ ,  $P.F.=0.8$ ,  
 PWM=3相 連続PWM 変調,  
 60Hz 正弦波出力

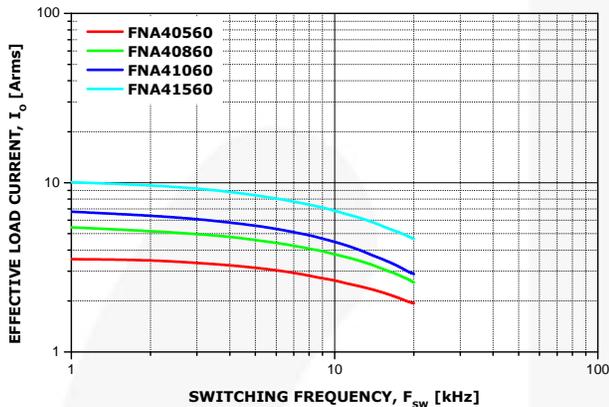


図 12. 実効電流 対 キャリア周波数特性

注:

- 上記の特性は制御回路、或いはモータドライブ方式の違いによって異なる結果になります。

図 12 は、 $T_C=125^{\circ}C$ の条件で動作しているインバータの例です。接合部温度 $T_J$ が平均 $150^{\circ}C$ （マイクロミニDIP SPMが安全に動作する最大温度）に達した時の出力可能な実効電流 $I_o$ を示しています。

## ヒートシンク デザインガイド

ヒートシンクを選択する際には、スペース、実使用での電力損失、ヒートシンクに対するコスト、ヒートシンク周辺のエアフロー状態、設置個所等、多くの制約があります。このアプリケーションノートでは、実際のアプリケーションの見地からヒートシンクを選択する上での、いくつかの制約について分析してみます。

### 洗濯機向けヒートシンク

図 13 に示すタイプのヒートシンクは、洗濯機のような自然対流のアプリケーション環境で使用され、その電力損失はSPMの中で数100msの周期でハイ/ローを繰り返すドライブ特性を持っています

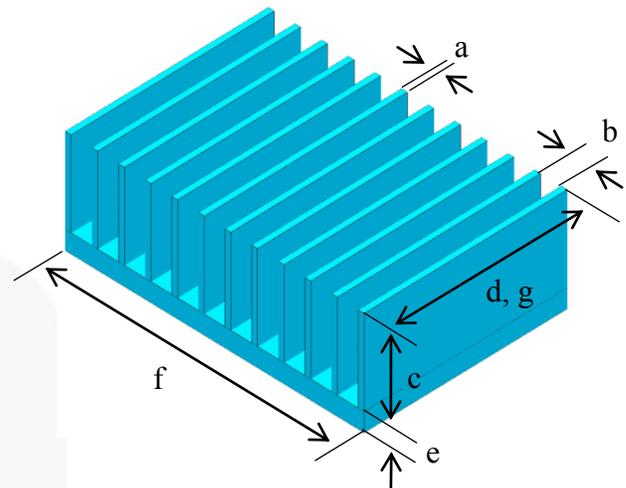


図 13. 洗濯機向けヒートシンク例

注:

- a = フィン厚, b = フィン間隔, c = フィン高さ, d = フィン長, e = ベースプレート厚, f = ベースプレート幅, g = ベースプレート長。

図 14 から 図 17 までは、ヒートシンクを設計する際の、ヒートシンク-大気間の熱抵抗 $R_{\theta HA}$ の分析結果を示しています。この結果は、フィンのスペース、フィン/ベースの長さ、フィン/ベースの幅によって大きく異なります。最適なフィンスペースの値は、図 14 に示すように、ベースのサイズが $73 \times 53 \text{mm}^2$ の時、約4mm から 5mm となることに注意が必要です。フィンスペースを大きく取ると、全体のフィン数を減らすことになり、結果的には全体の放熱面積を減少させます。これに対し、フィンスペースを小さくすると、隣り合ったフィンの中で空気の対流が阻害され、熱抵抗を増加させる結果になります。即ち、フィンスペースは4mm から 5mm を境に、この値以上でも以下でも、熱抵抗を増加させることとなります。フィンを厚くすると、全体のフィン数が減り、放熱面積が減ることになり、結果として熱抵抗は増加します。

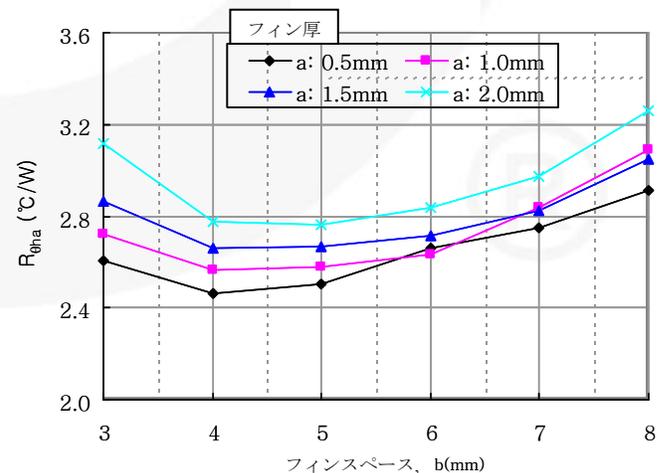


図 14. フィンスペースを変化させたときの $R_{\theta HA}$   
 (定数:  $c=21\text{mm}$ ,  $d=53\text{mm}$ ,  $e=4\text{mm}$ ,  $f=78\text{mm}$ ,  $g=53\text{mm}$ )

図 15 及び図 16 は、ベースプレートの長さや幅が、熱抵抗に与える影響を示しています。図 15 では、長さを150%増加させた場合、即ち79.5mm (53mm×1.5)にすると、熱抵抗は85% ( $\approx 2.3$  °C/W)減少しています。さらに200% (53mm×2=106mm)まで長くすると、78% ( $\approx 2.09$  °C/W)の減少になります。これに対し、図 16 に示すように、ベースプレートの幅を変化させた場合、150% (78mm×1.5=117mm)及び200% (78mm×2=156mm)にした時の熱抵抗は、それぞれ、79% ( $\approx 2.144$  °C/W)、70% ( $\approx 1.88$  °C/W)に減少しています。従って、熱抵抗を下げるには、長さよりも幅を大きくした方が効果があることが分かります。

図 17 に、フィンの高さを変化させたときの熱抵抗の変化を示します。

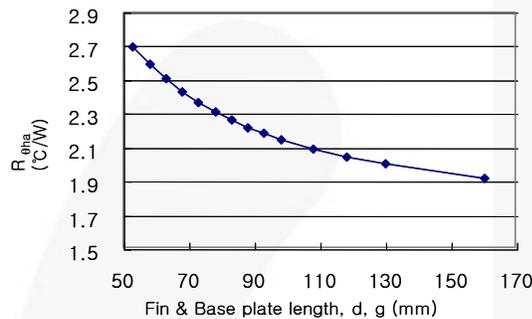


図 15. ベースプレート長を変化させたときの $R_{\theta HA}$ の変化  
(定数:  $a=1.5$ mm,  $b=5.45$ mm,  $c=21$ mm,  $e=4$ mm,  $f=78$ mm)

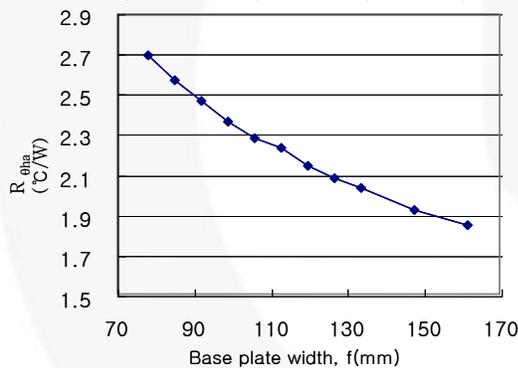


図 16. ベースプレート幅を変化させたときの $R_{\theta HA}$ の変化  
(定数:  $a=1.5$ mm,  $b=5.45$ mm,  $c=21$ mm,  $d=53$ mm,  $e=4$ mm,  $g=53$ mm)

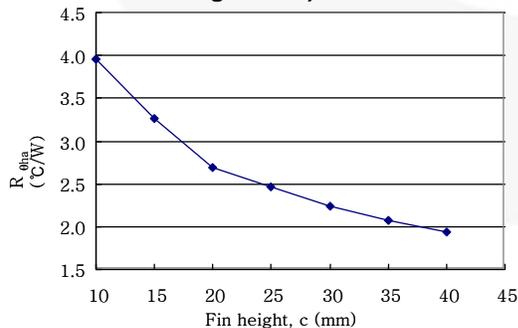


図 17. フィンの高さを変えた時の $R_{\theta HA}$ の変化  
(定数:  $a=1.5$ mm,  $b=5.45$ mm,  $d=53$ mm,  $e=4$ mm,  $f=78$ mm,  $g=53$ mm)

## エアコン向けヒートシンク

エアコンのアプリケーションに用いられるインバータでは、SPMにおける電力損失は、洗濯機に使われているインバータとは異なり連続的になります。通常、SPMにはファンを用いた強制空冷のヒートシンクが使われます。図 18 に一般的にエアコンシステムに使用されるヒートシンクの形状を示します。

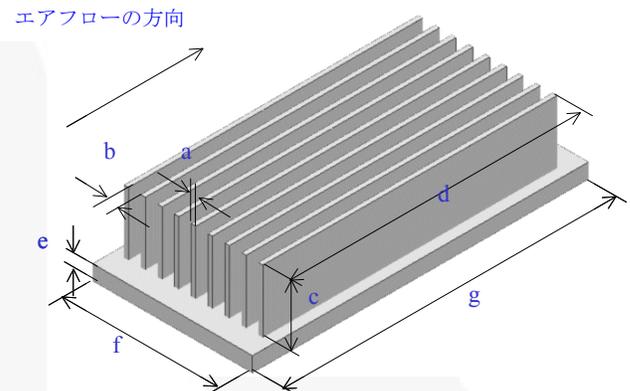


図 18. エアコン・アプリケーション向けヒートシンクの例  
(定数:  $a=2$ mm,  $b=6$ mm,  $c=30$ mm,  $d=140$ mm,  $e=7$ mm,  $f=76/100$ mm,  $g=160$ mm)

図 19 にエアフローが熱抵抗 $R_{\theta HA}$ に与える影響を示します。基準となる自然対流での熱抵抗が、それぞれ1.4°C/W および1.6°C/W である2種類のベースプレートを用いて測定しています。ここでは、コストに見合った適切なサイズのヒートシンクを使用した結果、風速約2m/sの強制空冷の条件では、熱抵抗を約1/3にまで、さらに、風速5m/sでは、85% ( $\approx 0.25$  °C/W)にまで減少させています。

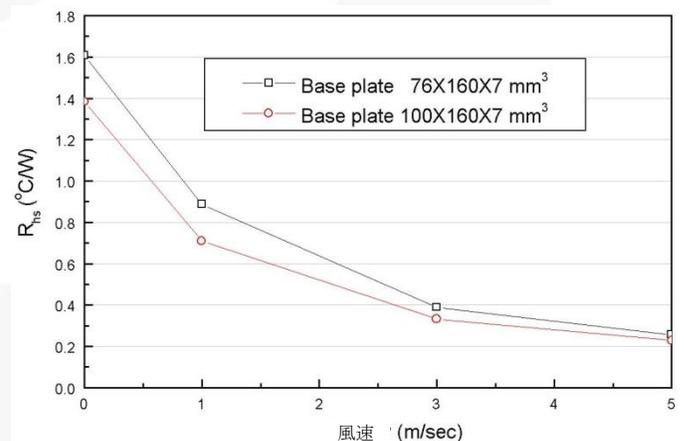


図 19. 風速を変えた時の $R_{\theta HA}$ の変化

## 関連資料

[FNA40560 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNA40860 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNA41060 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNA41560 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNB40560 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNB41060 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNB41560 – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[FNB43060Tx – Smart Power Module Motion SPM® 45](#)

[AN-9070 - Smart Power Module Motion SPM® 45 User Guide](#)

[AN-9072 - Smart Power Module Motion SPM® 45 Mounting Guide](#)

[Motion Control Design Tool](#)

### 注意事項

フェアチャイルドセミコンダクタは、本書に記載したすべての製品に対して、信頼性、機能、及びデザインを改善する為に予告なしに変更する権利を所有しています。また、フェアチャイルドはここに記載した製品或いは回路の使用及び応用に起因するいかなる債務を負うものではなく、また、当社の特許権または第三者の権利に基づくライセンスを許諾するものではありません。

### 生命維持装置への使用について

フェアチャイルドセミコンダクタの製品はフェアチャイルドセミコンダクタコーポレーション社長の書面による承諾がない限り生命維持装置または生命維持システム内の重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、

1. 生命維持装置または生命維持システムとは、(a) 外科的に体内に埋め込まれて使用されることを意図したもの、(b) 生命を維持或いは支持するもの、(c) ラベルに表示された使用法に従って適切に使用された場合にその不具合が使用者に重大な損傷をもたらすことが合理的に予想されるもの、をいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持装置或いは生命維持システム内のあらゆる部品を指し、これらの不具合が生命維持装置或いは生命維持システムの不具合の原因に、またはその安全性および効果に影響を及ぼす原因になるものと合理的に予想されるものをいいます。

ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf). ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

## PUBLICATION ORDERING INFORMATION

### LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA  
**Phone:** 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
**Fax:** 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
**Email:** [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

**N. American Technical Support:** 800-282-9855 Toll Free  
USA/Canada  
**Europe, Middle East and Africa Technical Support:**  
Phone: 421 33 790 2910  
**Japan Customer Focus Center**  
Phone: 81-3-5817-1050

**ON Semiconductor Website:** [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)  
**Order Literature:** <http://www.onsemi.com/orderlit>  
For additional information, please contact your local  
Sales Representative