

基板上の実装された電子部品の発熱量測定

Measurement of Heat Production of Electronic component on a Circuit Board

○正 梶田 欣 (名市工研) 岩間 由希 (名市工研) 国峯 尚樹 (サーマルデザインラボ)

Yasushi KAJITA¹, Yuki IWAMA¹ and Naoki KUNIMINE²

¹ Nagoya Munic. Indus. Res. Inst., Rokuban, Atsuta-ku, Nagoya 456-0058

² Thermal Design Lab., Iwaoshi, Takasaki-shi, Gunma 370-0044

Three dimensional numerical analysis is utilized for thermal design of electronic devices. In this calculation, heat productions of electronic component are needed for input values, and they have an important consequence for prediction accuracy. But, it is often the case that the values are imprecision, because it is not well defined to measure or calculate the values at the moment. We developed a measurement method that is used a heatsink with cooling fan and a heat flow sensor. A heat production for a top of the electronic component is measured by the heat flow sensor. Total heat productions are calculated according to a correction algorithm. This measurement is executed in the state that electronic circuit is operated.

Key Words: Heat Flow Sensor, Heat Production, Thermal Design, Circuit Board, Correction Algorithm

1. はじめに

電子機器は小型・高速化のために部品が高密度実装されており、故障・不具合抑制のためには熱対策が必要不可欠である。その手法としてシミュレーションを活用した熱設計の需要が増している。3次元のモデル化の手法や入力値である熱物性値に関する研究は進んでいるが、重要な入力値である消費電力に関してはほとんど検討されておらず、不明瞭な値を使っている例が多く見られる。

電子部品は動作内容によって消費電力が異なるため、仕様書からは実用的な情報は得られない。また、回路基板に実装された各電子部品は他の部品と連動して動作するため、必要な部品だけを取り出して個別に動かしながら消費電力を測定することはできない。回路基板上的配線は微小で複雑であるため、そこから電源ラインを引き出して電流計で測定することは困難である。また、その方法ではインピーダンスが変わり回路が動作しない場合がある。特定のマイクロプロセッサに関しては消費電力推定式を利用する方法が報告されている⁽¹⁾、多くの部品に対して汎用的に使うことは困難である。そこで、前回の報告では水冷式あるいは空冷式のヒートシンクを測定対象の部品上面に取り付けて、温度上昇から簡易的に発熱量を推定する方法について述べた⁽²⁾。この方法は直接測定が困難な基板側への放熱量を部品上面の放熱量の変化から推測することに特徴があり、汎用性が高く実用であった。しかし、この方法は室温と部品上面の温度を熱電対でそれぞれ測定しており、室温変動や熱電対の精度について課題があった。そこで、本研究では熱流センサを用いて直接熱流を測定し、測定精度の向上と高速化を検討した。

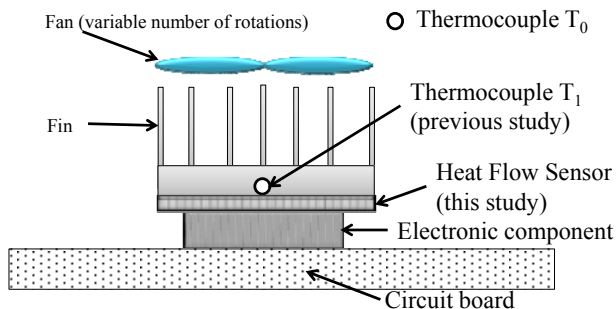


Fig.1 Measurement principle

2. 測定原理

Fig.1 のように基板に実装された電子部品の上面にヒートシンクと空冷ファンを密着させ、ここで吸熱する。このとき吸熱量 Q [W]とする。ところで、発熱量の一部は基板側へ移動するため、この吸熱量は電子部品の発熱量とは一致しない。特に昨今の電子機器は基板への放熱を前提に設計されることが多く、基板への熱移動を無視することは好ましくない。そこで、これを考慮した補正が必要になる。

ここで、電子部品からの放熱経路を Fig.2 のような熱回路網で考える。電子部品の表面温度を T_1 とし、ヒートシンク側の熱抵抗を R_f 、電子部品表面から基板を介して大気温度 T_0 までの熱抵抗を R_b とする。

電子部品の発熱量を Q_t 、ヒートシンク側への熱量を Q_f 、基板側への熱量を Q_b とする。これらの発熱量には次の関係が成り立つ。

$$Q_t = Q_f + Q_b \quad \cdots (1)$$

ここで Q_f は直接測定することができるが、熱抵抗 R_b が基板により異なり不明なため、 Q_b を求めることができない。そこで、 R_b は直接測定せずに、ファンの回転数を変化させてフィンの熱抵抗 R_f を意図的に変え、得られる Q_f の変化から R_b を推定する。式(1)を温度と熱抵抗で表すと

$$Q_t = Q_f + Q_b = (T_1 - T_0)/R_f + (T_1 - T_0)/R_b \quad \cdots (2)$$

となり、ここでの未知数は Q_t と R_b の2つである。ここで、ファンの回転速度を変えれば R_f が変化し、結果として T_1 が変化して次式のようになる。

$$Q_t = Q'_f + Q'_b = (T'_1 - T_0)/R'_f + (T'_1 - T_0)/R_b \quad \cdots (3)$$

ただし、ファンの回転速度変化による T_1 の温度変化は小さいため、電子部品の発熱量と基板から大気への熱抵抗に温度依存性はないと仮定している。その結果、未知数2つに対して方程式が2つとなり代数方程式を解くことが可能

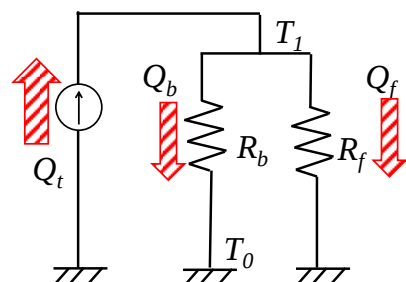


Fig.2 Thermal network of the measurement system

になる。ただし、実際には測定誤差等の問題があるため、熱抵抗は3回以上変化させて最適な Q_f を求めたほうがよい。

これまでは Q_f を求めるためにヒートシンクに熱電対を埋め込み T_1 を測定し、室温 T_0 との温度差にあらかじめ測定したヒートシンクの熱抵抗 R_f を乗算していた。しかし、この方法ではヒートシンクの中に埋め込む熱電対の位置によって差が生じやすく、また、測定中に室温 T_0 が変動するため、その変化に T_1 が追従しにくく、得られる Q_f の測定精度が十分ではない場合があった。

そこで、本研究ではヒートシンクと電子部品の間熱流センサを入れ、この熱流センサによって直接吸熱量 Q_f を測定する。熱流センサにはデンソー製 RAFESPA を使用した。このセンサは従来の熱流センサと比較して感度が高く、熱抵抗が小さいという特徴がある。

3. 熱流測定結果

3.1 応答速度

ヒートシンクに埋め込んだ熱電対で温度を測定し、あらかじめ測定した熱抵抗をかけて熱流を求める方法は、ヒートシンクの熱容量が大きいいため、過渡的な測定が難しい。しかし、本研究で用いた熱流センサは厚さ 0.26 mm と薄く熱容量が小さいため、応答速度の向上が予想される。そこで Fig.1 のような測定系で発熱体にセラミックヒータを用いて比較を行った。□9.1 mm の熱流センサを使用し、 $t=0$ s でヒータの電源を入れ、 $t=200$ s で切った。測定結果の例を Fig.3 に示す。熱電対に比べ応答速度が速いことが確認できた。また、熱流センサはノイズが比較的小さく安定した測定ができることがわかった。このとき室温を同時に測定したが、室温変動が 0.5 °C あり、温度変動の一因になる。しかし、熱流センサはセンサ表裏の温度差から出力するため、室温変動の影響を受けなかった。

また、現段階では定常状態になったときに2節に述べた計算方法により発熱量を求めているが、今後は時間変化の測定結果を利用して周囲の発熱体の影響を除去する方法に取り組む。周囲の発熱体から基板を介して受熱することがあるが、応答が遅れるために原理的には分離可能である。

3.2 発熱体の位置による測定結果の差異

熱電対はヒートシンクの中央に埋め込むため、発熱体の位置が偏っていると温度上昇から熱量を求めるときに誤差が大きくなる可能性がある。そこで Fig.4 に示すように□20 mm の熱流センサに対して□10 mm、□5 mm の発熱体を接触させて熱流と温度の変化を調べた。温度は揺れながら上昇しているが (Fig.5)、熱流は安定している (Fig.6)。定常状態になったときに熱流センサの読み取りの変動は 0.001 W 程度であったが、熱電対は 0.2 °C ほどであった。この温度変動は熱量に変換すると 0.06 W に相当する。

3.3 電子部品の発熱量測定

市場で使用されている製品基板の上にこれらの測定システムを取り付けて (熱流センサは□9.1 mm) IC の発熱量を測定した。2つの IC について本手法を適用して発熱量を求めたところ、0.54 W、0.93 W という結果であった。これらをインプットとして熱解析を行った結果、上昇温度をうまく再現できた。このことから、発熱量は精度よく求められたと推測する。熱電対を使用した場合は 1 W 以下のものは変動が大きく2節の手法で最適解が定まらないことがあり、発熱量求めるのは困難であったが、熱流センサは安定に測定できるため、より小さな発熱量を求めることができた。

4. まとめ

熱流センサを利用して、電子部品の発熱量を測定する手法を考案した。応答速度が速く、室温の影響を受けずに安定した測定ができるという利点を確認した。そして、従来と同様の計算手法を利用して電子部品の発熱量をさらに精度よく求めることができた。

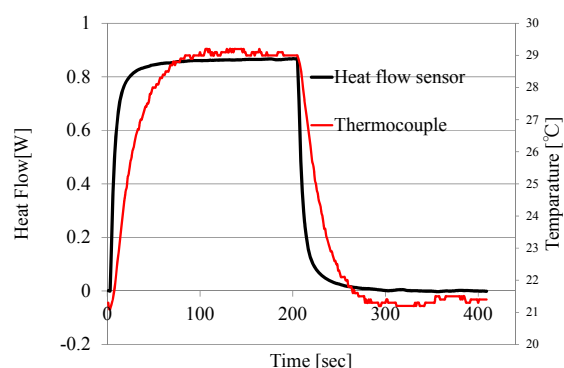


Fig.3 Heat flow and temperature changes

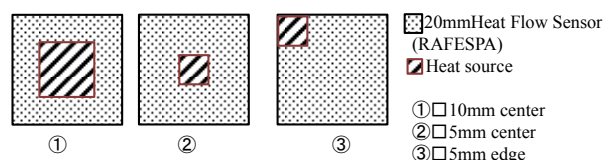


Fig.4 Placement of heat source

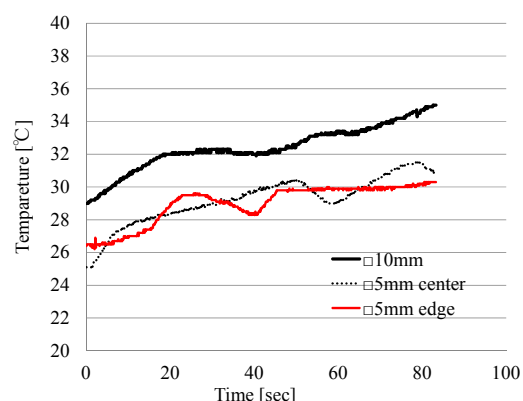


Fig.5 Temperature change

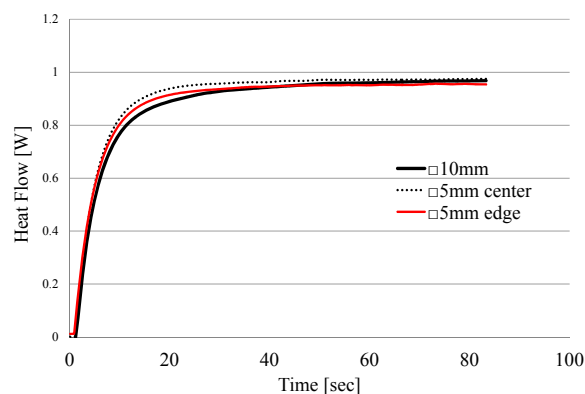


Fig.6 Heat flow change

参考文献

- (1)西, 熱工学コンファレンス講演論文集(2011), 83.
- (2)梶田, 他, 熱工学コンファレンス講演論文集(2012), 247