

## 論文

## 赤外線顕微鏡を用いた電子機器・部品の故障診断法

豊島 克久<sup>\*1)</sup> 小林 丈士<sup>\*1)</sup> 原本 欽朗<sup>\*1)</sup>  
 高松 聡裕<sup>\*2)</sup> 西野 義典<sup>\*1)</sup> 三上 和正<sup>\*1)</sup>

## Failure diagnosis of electronic circuit boards and components using infrared microscope

Katsuhisa Toshima<sup>\*1)</sup>, Takeshi Kobayashi<sup>\*1)</sup>, Yoshiaki Haramoto<sup>\*1)</sup>,  
 Toshihiro Takamatsu<sup>\*2)</sup>, Yoshinori Nishino<sup>\*1)</sup>, Kazumasa Mikami<sup>\*1)</sup>

This paper presents a diagnosis of the failure and degradation for electronic components and circuit boards using an infrared microscope. For example, overload tests of electrolytic capacitors, operation tests of printed circuit board relays, and pulsed high voltage tests of carbon film resistors, are demonstrated by measuring the temperature changes corresponding to the degradation of the components. Furthermore the applicability of this to estimate the failure and degradation of components on an electronic circuit board was estimated. The experimental data obtained from this report are useful for technical consultation on the, recently increasing, failure of electronic equipment and components.

キーワード：故障診断，赤外線，信頼性

Keywords：Failure diagnosis, Infrared camera, Reliability

## 1. はじめに

今日，製品の安全性が疑われる事故例が多発しており，企業の存続に関わる重大な問題となっている。例えば，電解コンデンサの劣化による破裂事故，基板に実装された抵抗器の焼損，また電磁スイッチの接点部の磨耗により接触抵抗が増加し，発熱が生じることで発火事故が起こることがある。産技研においても，このような電子機器や電子部品の不具合発生による相談依頼が増加している。しかし，現状の特性測定や目視・拡大観測程度では，対応が困難となっている。

一方，赤外線を用いた電子部品の故障診断については，赤外線温度測定装置の機能向上に伴い，検討され始めている<sup>(1)</sup>。最近では，0.025（30 黒体炉にて）の温度分解能を有し，拡大レンズにより 10 μm の画像分解能を得ることが可能な赤外線顕微鏡が出現しており<sup>(2)</sup>，集積回路などの小型部品においても温度差異をより高精度に捉えることが可能なため，故障部品等の検出や劣化診断等への応用が期待される。

そこで本研究では，先に述べた赤外線顕微鏡などを用いて，回路基板や電子部品等を対象に，非破壊による故障の検出や劣化診断を行い，実験データの蓄積を行った。

## 2. 実験方法

赤外線顕微鏡を用いて，電子部品および電子基板の劣化に伴う発熱観測を行った。電子部品の劣化試験としては，電解コンデンサの過電圧印加，プリント基板用リレーの ON/OFF 繰り返し，カーボン皮膜抵抗（1/8 W）の高電圧パルス印加，等を行った。

また，最終製品の電子基板を対象としたものでは，スイッチング電源基板においてスナバ抵抗値を増加させたときの影響を観測し，さらに，LAN 用ハブの故障品の熱画像観測を行うなど不具合データの収集を行った。尚，赤外線顕微鏡は，TVS-8502（日本アビオニクス社製）を用いた。

## 3. 結果・考察

3.1 電解コンデンサの劣化 図 1 は電解コンデンサの劣化程度に対応した発熱状態を赤外線顕微鏡により観測したものである。耐圧 160 V，容量 47 μF の電解コンデンサにおいて，50 Hz，実効値 67 V の交流電圧を印加し，試料 R-2 では DC 95 V を重畳し，試料 R-3 では AC 成分のみ加え，2 種類の劣化を実現させた（図 2）。

試料 R-2 については，電圧印加の際に，電流値のほかに，試料の内圧上昇に伴う試料頭部の膨張を監視しながら，劣化を進行させた。試料 R-3 については，試料の破裂が生じるまで電圧印加を行った。

発熱の観測は，一定電圧印加（AC 7.1 V + DC 10 V）の条件で行い，劣化程度に対応した発熱差異が示された。

\*1) エレクトロニクスグループ

\*2) 多摩支所

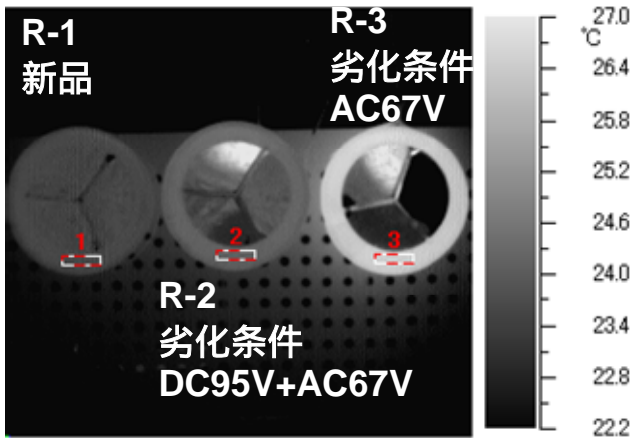


図1. 電解コンデンサの赤外線画像

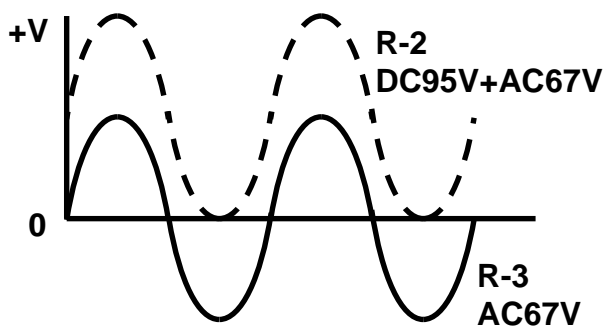


図2. 電解コンデンサの過負荷試験における印加電圧波形 (周波数: 50 Hz)

3.2 プリント基板用リレーの劣化 プリント基板用リレーに定格電圧・電流を印加した状態で、スイッチのON/OFFを繰り返した場合に、接点部の接触抵抗の変化を熱的に検出できないかどうかの検討を行った。つまり、接触抵抗による発熱を検出することで、接触抵抗値の変化を捉えるものである。実験に用いたリレーの定格は、駆動コイルがDC 5 V, 40 mA, 閉閉部がDC 30 V, 5 Aである。また、リレーの閉閉頻度は、1800回/時間として、実験を行った。

図3および図4に示される温度変化は、リレーのON/OFF繰り返し動作を開始してから十分に時間が経過し、駆動コイルの発熱に伴うリレー表面の温度が一定となり飽和したときの値を基準としている。つまり、駆動コイルの発熱分が含まれた状態で温度を計測している。温度の測定は、赤外線顕微鏡でリレー表面の熱画像を捉え、表面温度が最も高く検出された点の温度をプロットしたものである。また、接触抵抗は、接点両端の電位差の測定値から算出した。

図3は、リレーのON/OFF動作を行っているときの10万回経過後におけるリレー表面の熱画像温度、およびリレーの接触抵抗値について示している。さらに図4は、60万回経過後の同様のものである。図3では、接触抵抗値は3 mΩと低く安定しているが、図4では接触抵抗値が安定しておらず、高く計測されることが度々起こり、温度変化としても検出されることが分かる。

図5は、試験前と60万回ON/OFF後における、リレーのX線透視画像である。両者を比較すると、矢印で示される接点部において磨耗が確認できる。図4に示される接触抵

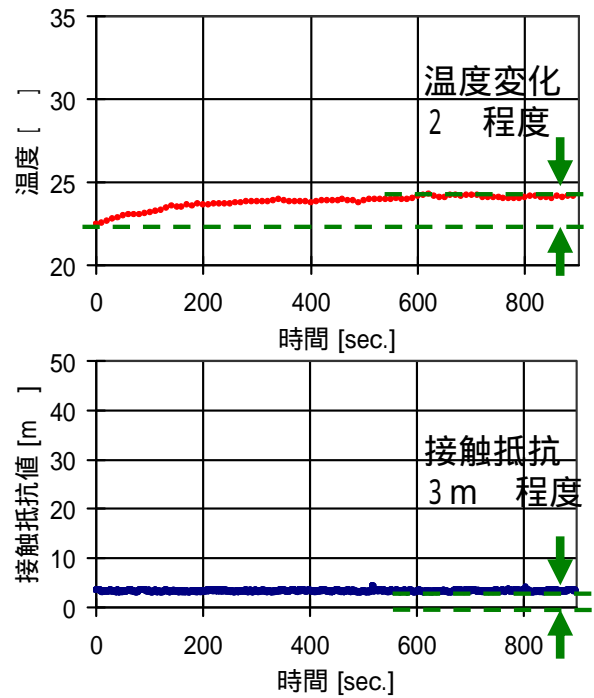


図3. プリント基板用リレーのON/OFF繰り返し試験時の表面温度測定値および接触抵抗値 (10万回ON/OFF後)

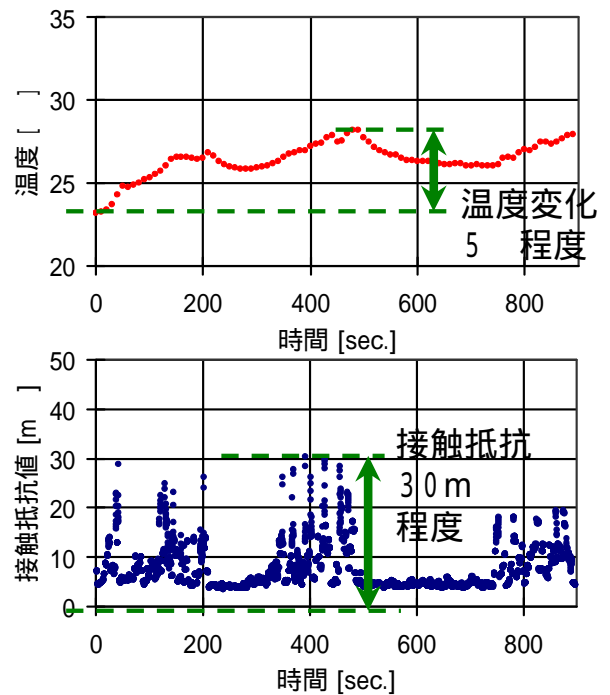
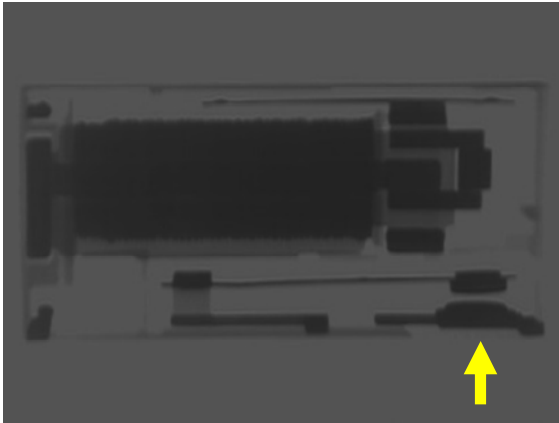
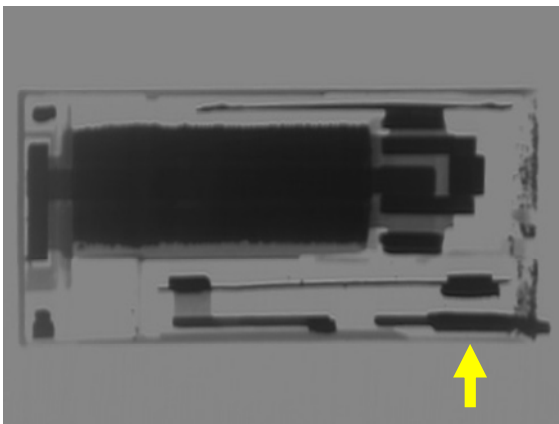


図4. プリント基板用リレーのON/OFF繰り返し試験時の表面温度測定値および接触抵抗値 (60万回ON/OFF後)

抗値の変動は，接点の磨耗の影響により生じたものと推測できる。本実験結果より，リレーの接点劣化は，赤外線顕微鏡により熱的に検出できることが実証された。



(a) 試験前



(b) 60万回 ON/OFF 後

図5. プリント基板用リレーの ON/OFF 繰り返し試験時の X線透視画像

3.3 抵抗器の劣化 赤外線顕微鏡を用いた故障・劣化診断では，発熱体の温度変化を捉える必要がある。本実験では，電子回路における身近な発熱体として，カーボン皮膜抵抗器に着目し，劣化との関係について検討した。

カーボン皮膜抵抗器において定格を大きく超える電圧を連続して印加すると異常発熱により表面に焼損が生じると予測される。部品表面に焼損が観測されれば，内部が劣化している可能性が高いと判断できるので，赤外線顕微鏡をあえて劣化診断に用いる必要がないということになってしまう。

そこで，本実験では高電圧の単発パルスを印加し，抵抗器表面での焼損等を抑え，表面観測では確認できない劣化を実現させることを検討した。劣化による抵抗変化については，印加電圧一定条件での発熱差異を赤外線顕微鏡により観測した。本実験では定格電力 1/8 W のカーボン抵抗器を用いた。

図6は，劣化前のカーボン皮膜抵抗器(公称抵抗値: 91 Ω, 100 Ω および 110 Ω) が抵抗値によってどれだけの温度差異

があるかを測定したものである。測定は，抵抗器をプリント基板上に半田付けを行い，赤外線顕微鏡で抵抗器表面の最高温度を捉え，公称抵抗値 100 Ω のリファレンス抵抗の温度を基準に各々の試料について行った。その結果，同じ公称抵抗値の試料でも検出温度のバラつきがあることが観測された。

図7は，5 msec 幅の単発パルスにおいて電圧を徐々に上げ，カーボン抵抗器に印加した際の抵抗値の変化を示した。本実験では，パルス発振源で出力可能な電圧・電流の制約上，公称抵抗値 100 Ω の試料を用いたが，印加電圧 80 V 付近から抵抗値の増加，すなわち劣化の実現が確認できた。

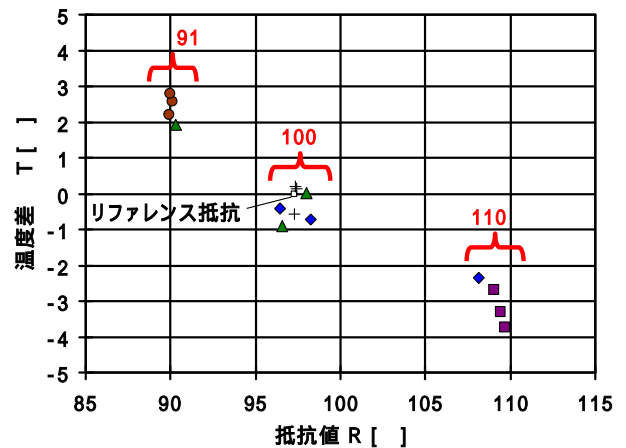


図6. 抵抗器の発熱差異

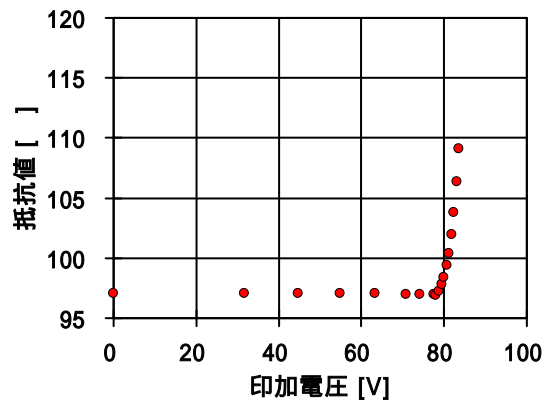


図7. パルス印加による抵抗の劣化実現

図8は，公称抵抗値 100 Ω の3試料をそれぞれ劣化させたときの温度差異の変遷について示した。公称抵抗値が同じ試料でも2程度程度のバラツキの範囲にあるため，複数の試料の中から劣化品を判別するには，少なくとも10%程度の抵抗変化が伴わなければ，判別は難しいと思われる。しかし，各々の試料の劣化の変遷については，2~3%の抵抗変化でも検出可能と判断した。従って，同一試料における劣化変遷を観測する場合には2~3%の抵抗変化率，正常品および不具合品を比較する場合には10%程度の抵抗変化率，のように劣化判定の基準を変える必要があることが本実験結果より示された。

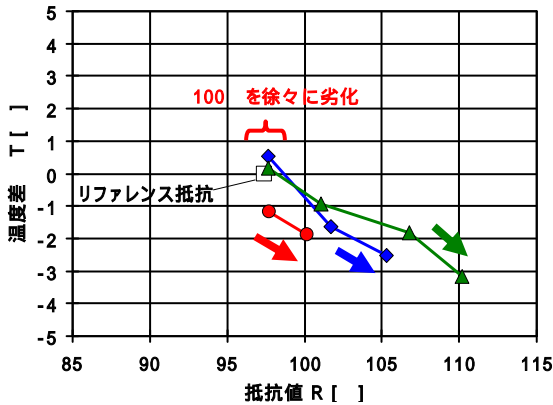


図 8. 抵抗器の劣化程度に対する発熱差異

3.4 基板実装された FET の温度変化の検出 図 9 はスイッチング電源を定格負荷で動作させたときの赤外線顕微鏡画像であり、スイッチング素子として用いられている FET と、過渡的に発生する高電圧から FET を保護するためのスナバ回路を捉えたものである。基板実装された回路部品においても熱的に劣化診断が可能かどうかの検討を行った。

図 10 は、スナバ抵抗値を 2.2 kΩ から 3.0 kΩ に変化させたときの FET 表面の温度応答性である。FET 表面温度の応

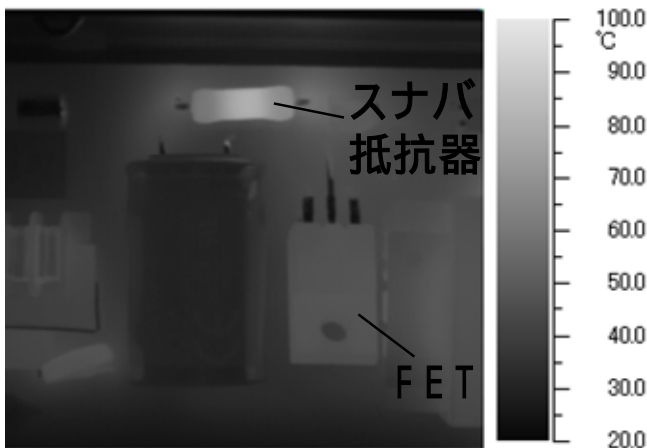


図 9. スwitching電源のスナバ回路

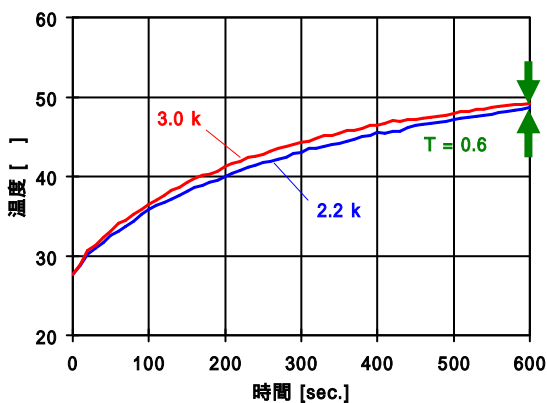


図 10. スwitching素子 (FET) の温度応答性

答性の違いから、スナバ抵抗器の劣化が推測可能であることが実験的に観測できた。スナバ抵抗値が大きくなるとスナバ抵抗器の発熱が小さくなることは別途確認しているが、スナバ回路の機能の低下した分が FET において発熱増加として現れ、温度が上昇したと考える。

3.5 LAN 用ハブの不具合 図 11 は LAN 用ハブの不具合品の内部基板を観測したものであり、焼損した部品の付近が高温に上昇することが観測できた。産技研では、このほか LED 駆動回路や IC の不具合解析に 赤外線顕微鏡を活用した。

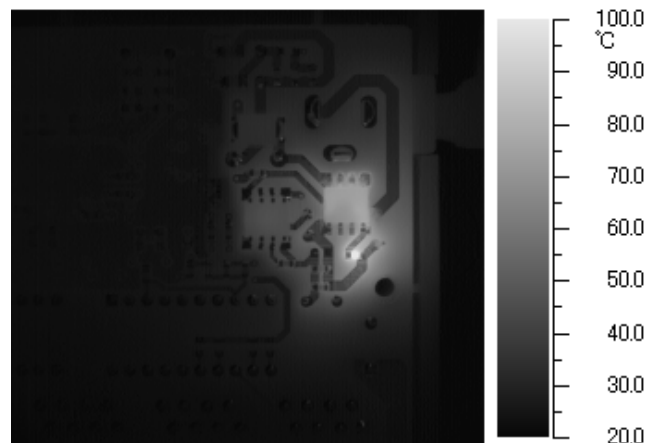


図 11. LAN 用ハブの内部基板 (不具合品)

#### 4. まとめ

赤外線顕微鏡を用いて、電子機器・部品の故障・劣化診断を行い、各種事例における実験データを収集した。

電解コンデンサ、リレー、抵抗器などの電子部品を試験により劣化させたもののほか、故障した実基板について、赤外線観測、X 線透視画像解析 (部品にて実施) を行った。その結果、このような非破壊検査法において、劣化診断が行えることを実証した。

本報告の実験データや観測事例は、産技研での技術相談や機器利用等に活用し、故障や劣化の解析に役立つものとする。

(平成 21 年 7 月 3 日受付,平成 21 年 9 月 8 日再受付)

#### 文 献

- (1) 安達健二:「赤外線温度測定装置を用いた故障部品検査方法の検討」,第 36 回日科技連信頼性・安全性シンポジウム, pp. 277-282 (2006)
- (2) 「赤外線サーモグラフィによる非破壊試験 - 電子部品・基板検査 - 」,日本アビオニクス株式会社技術情報 (2003)