

## 442 電光掲示板内電子機器の冷却に関する実験的研究

## Experimental Study on Cooling Characteristics of Heat Generating Devices in Electro-Luminescence Board

デビッド・ミドルトン ((株) NICS) 寺井 孝之、北原 洋一 ((株) 新陽社) 正 鈴木 淳 正 岸浪 紘機 (室蘭工大)

D. Middleton (NICS Co. Ltd.) T. TERAJI, Y. KITAHARA (SHIN-YOSHA Co. Ltd.) J. SUZUKI, K. KISHINAMI (Muroran I.T.)

The efficient cooling on semi-conductors of the electronic devices has been becoming important in recently developed computer industry. This paper describes the cooling problem on heat generating semi-conductor components (DC source) in electronic-luminescence board (LED) used as the destination indicator in JR station, to make a level up of the reliability and durability of the devices. The cooling approaches employed here are involved the natural/forced convection of air in the opened duct covering with the radiator fins enclosed in the board, backside of which is the DC sources. Particularly, fan motor on-off control cooling system is introduced depending on the temperature of the bimetal sensing.

Cooling characteristics of the heat generating DC source semiconductor device by the present approaches are cleared.

Key Word; Cooling on Semiconductor Devices, Natural or Forced Convection Cooling by Fan Motor on-off Control

## 1. 緒言

現在、多様な分野に使用されている電子機器は「小型軽量・高密度高性能化」の方向にある。したがって電子機器の内部は、発熱密度(単位容積当たりの発熱量)が高くなり、電子機器本来の性能低下、耐寿命性などの問題を引き起こし熱対策が大きな問題となっている。電子機器を冷却する方法は、その熱密度の増加に応じて「自然空冷」→「強制空冷」→「液冷」→「沸騰冷却」へと移行させるのが一般的である。そのため、発生する熱を効率よく外部に放散させ、機器内部の温度が部品の安全温度以下に下がるように設計・対策することが高い信頼性と高耐久性を保証し高性能化の必須条件となっている。<sup>(1),(2)</sup>

本研究では、JR駅構内で見られる発車時刻、行き先などを表示する密閉型LED表示盤に注目して、高温条件下における対寿命性と確実作動性の向上を目的として、伝熱的手法を用いた電子機器の冷却実験を行い、主に直流安定化電源の作動温度の低減を追求したものである。現在は、密閉形筐体自体を放熱器としているため、筐内に設置されても真夏の炎天下では冷却能力が不十分となり、電源部の発熱により高温化し、他素子部の誤作動などの他、電解コンデンサ自体の寿命低下をもたらすなどの問題を発生している。

ここでは、密閉形LED表示盤の高温条件下における作動安定性および電源部耐寿命性向上の観点から、内部直流電源部の発熱を吸収する放熱フィン全体をカバーで覆い、それを外部との通風管と貫通させ、筐体自体からの放熱に加え筐体内部を貫流するアルミパイプによる自然対流空気の煙突効果による冷却、またはファンを用いた強制通風による冷却能力の向上を図り、実験を行った。さらに、本LED表示盤の強制ファン冷却は効果が著しく電子機器寿命延長と信頼性の向上につながるが、ファンと駆動モーターのメンテナンスなどの問題も併発する。このため、ファンモーターの耐寿命性の向上を目指してバイメタル素子による二位置制御の冷却実験を行って明らかにした結果について報告するものである。

## 2. 実験装置および方法

図1に本実験装置の概要とLED本体内部の構造と直流電源部(60W)の強制ファン冷却の概要を示す。実験装置は密閉型LED表示盤、温度測定装置そして信号出力装置で構成されている。また、表

示盤内部は主電源部(電源部I, 60W)、副電源部(電源部II)、プリント基板収納箱(CPU本体)さらに発光発熱表示素子部(LED)などから成り、パワートランジスタと電解コンデンサ主構成要素とする主電源部の発熱は5mm厚アルミ基盤を介して放熱フィンから外部と貫流するアルミ導管(25×50mm)の強制ファン通風により、残りを密閉形筐体自体を放熱器として放熱されている。勿論、ファンを撤去/停止すれば自然対流通風冷却となる。密閉型LED表示盤内の各部分に30箇所銅-コンスタンタン熱電対を取り付け、各条件毎の各部温度を測定した。

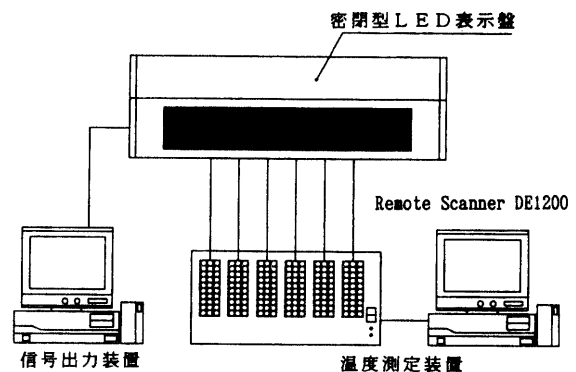
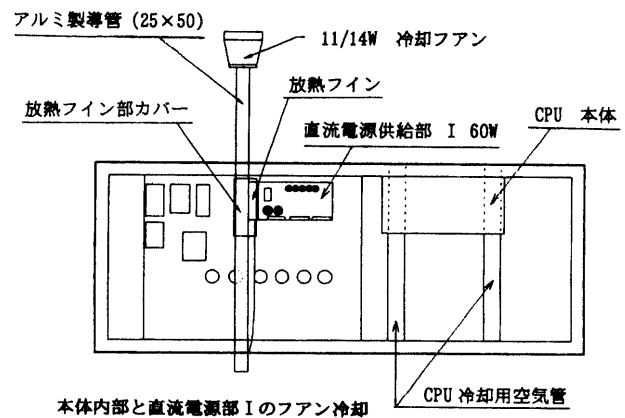


図1 本実験装置概要

**バイメタルを利用したサーモセンサーによるファンの制御**

直流発熱電源部の強制ファン通風冷却において冷却効果は著しいが、連続運転では11Wファンモーターの寿命が5000hrのためメンテナンスの問題が生ずる。このためファンモーターの対寿命の向上と駆動電力の省エネを目的としてバイメタル2素子による二位置制御のシステムを組み上げた。図2に高温低温制御バイメタル2素子の概要を示す。温度調節はねじの上下で行い、温度センサーとして放熱フィンに設置した。図2に示すインバーとアンバー両側の不銹合金の成分は次の通りである。

- 低膨張率側(インバー) : 36Ni-Fe 合金
- 高膨張率側(アンバー) : 22Ni4Cr-Fe 合金

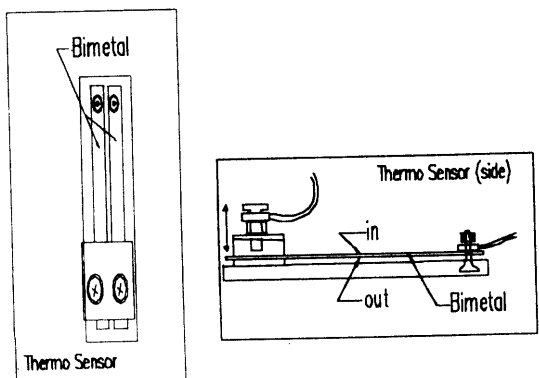


図2 バイメタルを使用したサーモセンサー概要

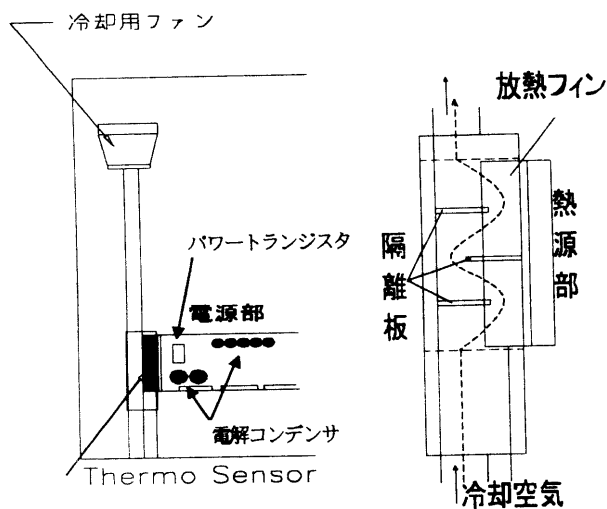


図3 強制ファン冷却の概要

図4 放熱フィン冷却部

図3は電源部の放熱フィン部と冷却導管ダクトと強制ファン(11W)の結合状態を示すが、5mm厚アルミ基盤上のパワートランジスタの発熱と直流定電圧化の電解コンデンサの発熱を背部放熱フィンから導管を通して外部へ放熱する構造である。図4は放熱フィン部と導管の結合状態を示すが、図示の様に隔離板を挿入することで空気流の冷却効果を著しく向上させている。

**リレースイッチを使用したファンモーターの2位置制御**

図5は低温高温バイメタル2素子とリレースイッチを組み合わせたファンモーター二位置制御自己保存回路の概要を示す。図より低温側が繋がっても高温側サーモがオンとならねばファンは回らない。高温側が入ると初めて電磁石の電流回路が通じ、鉄片がリレーされてAの部分の3つの回路が繋がり冷却ファンが回る。ファンの冷却により高温側サーモはオフとなるが低温側サーモの回路が保存されているため電磁石の通電が保持されてファンは回りつづける。さらに温度が下がり低温側サーモが切れると電磁石への回路が切れてファンが止まる。また、リレー回路に時計をつなぐことで、ファンと時計が連結して、ファンの稼動した積算時間が得られる。

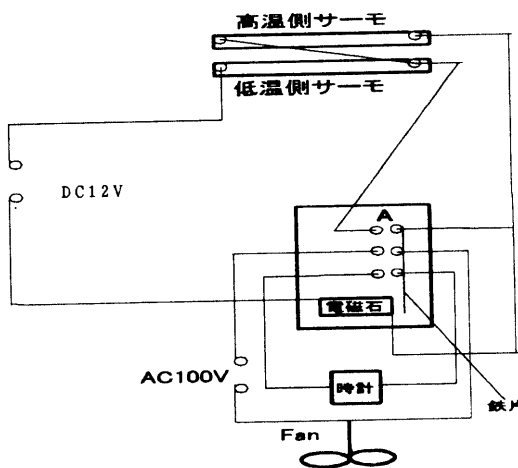


図5 リレースイッチを用いた二位置制御自己保存回路

**3. 実験結果および検討・考察**

表示盤の点灯負荷パターンは、上段のLEDを3秒間赤色で、続いて緑色で点灯させ、次に下段を同様に点灯させ、それを繰り返す赤ベタ・緑ベタの電光パターンとして実際の使われ方よりも厳しい条件とした。予備実験(自然対流冷却)により実験開始後約3時間で表示盤内は平衡温度に達するため、実験時間を4時間とし、安定した室温状態にある時間帯に行い、外気温との差で各部の温度上昇の程度を表し冷却効果の指標とした。表1に本実験の諸条件を示す。

表1 実験条件

番号	実験条件
A	放熱パイプとカバーのみで、自然対流させた状態。
B	Aの状態、放熱パイプに外部ファンを取り付け、強制冷却をさせたもの。
C	Bの状態、隔離板をつけた場合。
D	Bの状態、一位置制御サーモを取り付けた
E	Bの状態、放熱パイプに外部ファンを取り付け、放熱フィン温度差約1.1[K]に設定した二位置制御サーモを設置。
F	Eの状態、隔離板を取り付けた場合。
G	Fの状態、放熱フィン温度差2.2[K]にした場合。

図6に、実験AからGまでの各実験条件での実験時間150minから240minの電解コンデンサの平均温度を示す。実験B、Cは、放熱パイプ上部に冷却ファンを設置して四時間連続稼働したものである。実験Cは放熱フィン間に図4に示した隔離板を設置し冷却効率増を試みたもので、B条件より平均で約1[K]の降下となり、いずれも自然対流冷却Aに比べて9[K]以上の冷却効果が得られた。次に、ファンモータの寿命対策(5000時間の寿命)と必要以上の利用頻度をできるだけ避けるために、バイメタルを使用したサーモセンサーによるファンの制御を行なった(実験D)<sup>(4)</sup>。この実験ではB,Cの条件並みの冷却効果を得る事が出来たが1素子のバイメタルを用いたファン制御では応答性が過敏となり切り替えの時間間隔が短くファンモータの耐用性が逆に問題となった。そこで図5に示す2素子のバイメタルと自己保存回路を用いた二位置制御を行なった(実験E,F,G)。実験Eは放熱フィンに隔離板をつけずに高温と低温サーモの温度差を約1.1[K]とした条件であり、最初のうちはファンのONとOFF時間の比が同じく、最後の段階では冷却に時間がかかりファンのオフ時間1に対してオンが5.5程にもなり4時間中ファンの稼働時間は2時間37分(モータ稼働率65.4%)に達した。そこで、実験Fでは実験Eと同じ条件で放熱フィン間に隔離板を設置した場合で、コンデンサの平均温度は3.4[K]上昇したが冷却の効率が上がりファンの稼働時間を1時間42分(42.5%)にまで短縮することが出来た。実験Gは実験Fと同じで低温と高温のサーモの温度差を2.2[K]にした場合である。Fの結果に比し1[K]温度降下を得るが、実験Eと同じく4時間のうち2時間28分間ファン(61.7%)が稼働する結果が得られた。

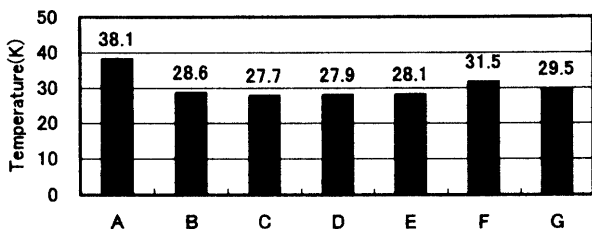


図6 各実験条件での電解コンデンサ温度

図7にはこの場合(F)の各部温度の時間特性を示すが、パワートランジスタ部が最も温度が高く、続いて放熱フィン部そして電解コンデンサの順となり、二位置制御冷却ファンの効果が確実に表れている。図8には自然対流冷却A、ファンによる強制対流冷却C、同じく1位置制御D、そして2位置制御Fにおける電解コンデンサ温度の過渡特性を与えている。図よりC,D,F,A順に冷却効果の高いことが認められ、2位置制御の結果は若干全体の温度を上げて15~20秒間隔で確実にファンモータのON-OFFを繰り返し、省電力と耐久性の向上に寄与している。図9はファンによる強制冷却実験における隔離板を設置した(C)と取り外した(B)条件でのコンデンサ温度を比較した場合である。隔離板の設置で1[K]の温度降下が、自然対流冷却では隔離板の効果はより強く表れる。

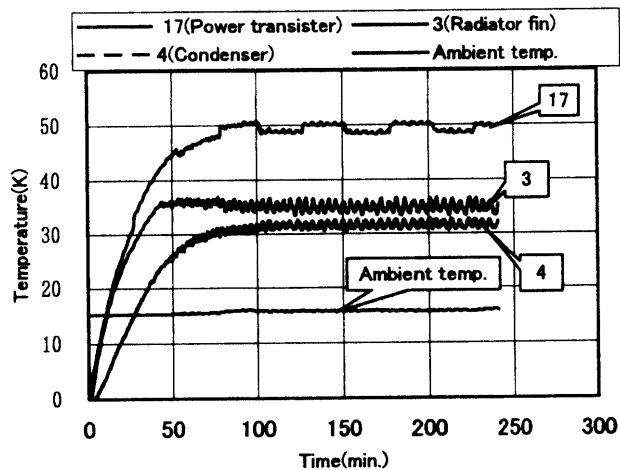


図7 電源部Iの過渡温度 実験F

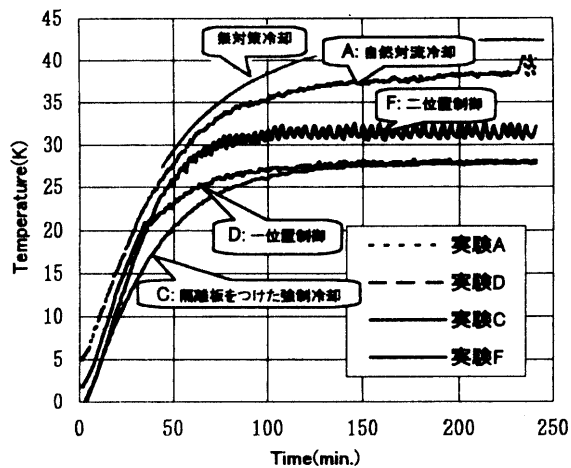


図8 実験A,C,D,Fの各コンデンサ温度

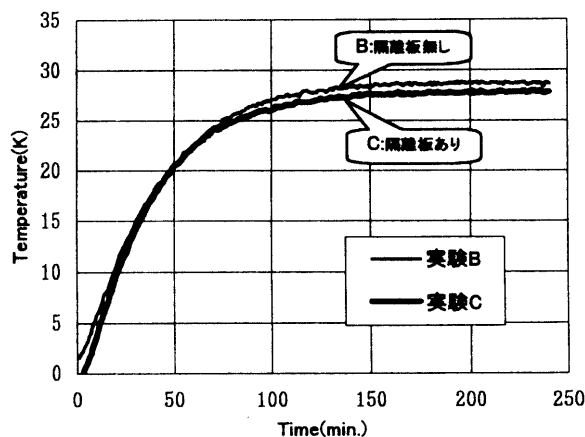


図9 実験B,Cのコンデンサ温度

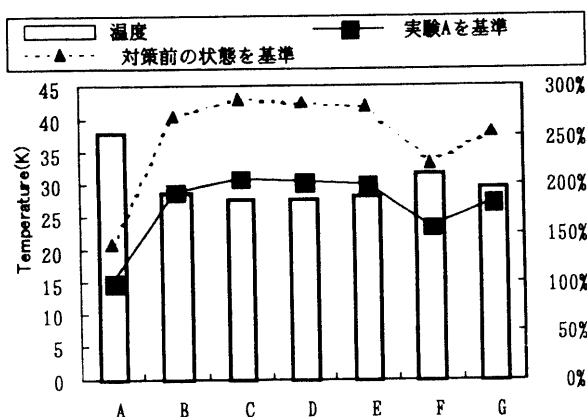


図10 電解コンデンサの寿命の向上

### 電解コンデンサの寿命推定

2素子サーモセンサーによりファンの動作範囲を広げて2位置制御すれば、基本的にファン稼働時間が短縮されて省電力につながりファンの寿命は長くなる。それに伴い、筐体内部の温度平均は高くなるため、電源部の寿命は逆に短くなる。

アレニウスの10[K]則により、周囲温度が10[K]上がるごとに電解コンデンサの寿命が約半分になる。<sup>1),2)</sup>

簡便アレニウスの10[K]則は

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_1 - T_2}{10}}$$

ここで、

$L$ : 使用温度での推定寿命  $L_0$ : 最高使用温度での有効寿命

$T_1$ : 最高使用許容温度 (密閉形筐体自体を放熱器とした対策前の状態でのコンデンサ温度: 42.4[K])

$T_2$ : 各条件でのコンデンサの使用温度

本実験で、それぞれのデータを密閉形筐体自体を放熱器とした対策前の状態での電解コンデンサ (室温との温度差: 42.4[K]) の寿命を基準とした場合、自然対流冷却実験 A の状態での電解コンデンサ (室温との温度差: 38.1[K]) の寿命を基準にした場合の2ケースについて、寿命向上率をそれぞれ点線と実線で与えて図10に示す。隔離板を設置したファンモーターの稼働時間が長い実験 C, D, E では実験 A を基準にした場合 200%を超え、対策前と比較すると280%まで寿命を延ばすことができる。一方ファンの稼働率の低い、従って省電力でモーターの耐久性の向上する実験 F では実験 A と比較して 158%のコンデンサの寿命向上となり対策前の状態と比較すると 221%になる。

一方、対策前の状態と自然対流冷却実験 A を比較するとコンデンサの耐久性は139%に向上することになり、ダクトの煙突効果を含めた本論で提案する放熱フィン列間に隔離板を設置する自然対流冷却方式はファンモーターとメンテナンス不用であることなど簡易性と経済性を考えあわせ、極めて有効である。

いずれの場合も LED 表示板自体の温度が冷却効果に順じて低下しているため、LED 自体の寿命延命効果が認められる。

## 4. 結言

本研究は近年大きな問題を提起している電子機器の冷却問題と関連して、密閉型 LED 表示盤の冷却問題を自然/強制対流などによる伝熱的手法と二位置制御によるファンモーターの制御法などを適用することにより実験的な解明を試みたものである。

以下に本実験により得られた結論を示す。

(i) 最も有効な冷却効果の得られた条件は強制ファンによる連続冷却実験 C であり、放熱フィン部で約 2.4[K]、電解コンデンサで約 1.0[K]、パワートランジスタでも約 1.0[K]の温度降下が得られた。従って、自然対流と比べて強制対流はファンモーターの電力と耐久性等の問題を提起するが、非常に高い冷却効果が期待できる。

(ii) コンデンサの寿命計算よりファンの稼働時間が長ければ長いほどコンデンサの寿命は延びるがファンモーターの寿命上の問題が浮上してくる。二位置制御によるファンの制御は、常にファンを回している時より当然筐体内部の平均温度は上昇しコンデンサの寿命がちぢむが、ファンモーターの寿命上の諸問題はこれでは著しく軽減される。今後は、ファンの寿命と電源部の寿命の両面から最適点を探すべきである。

(iii) 放熱フィンに取り付けた隔離板の設置は、本来なら冷却に利用されない空気もフィン部に貫流させる事となり、実質的な流量の増加につながった。強制対流による電源部の冷却効果は著しいが、本隔離板は実験 E と F の比較より二位置制御におけるファンの回転時間の短縮に大きく貢献している。今後は、更に本数を増やす、形状を変えるなどの処置をすることで、今以上の冷却効果も期待できる。

(iv) 他の手法としてヒートパイプを機器内部の高温部分または放熱フィン部に接触させ、外部に熱を効率良く放出させることもメンテナンスフリーの立場から検討すべきである。

### 参考文献

- [1] 荒木庸夫 著 「電子機器設計」 日刊工業新聞社
- [2] 伊藤健一 著 「アースと熱」 日刊工業新聞社
- [3] 中 健二 著 「平成11年度室蘭工科大学士論文」