

# 密閉筐体内の多段水平発熱板の自然空冷技術

Natural Air Cooling for Horizontal Heated Plates in an Enclosure

下山 力生・眞田 明

Rikio SHIMOYAMA and Akira SANADA

キーワード 自然空冷 / 多段水平発熱板 / 密閉筐体 / 電子機器

KEY WORDS Natural air cooling / Horizontal Heated plates / Enclosure / Electronic instrument

## 1 はじめに

電子機器の発熱密度の増大にともない、電子機器の冷却に関する研究が盛んに行われている。その中でも、信頼性、メンテナンス性、静寂性などの観点から自然空冷が注目されている。一方、機能やデザイン上の理由で、発熱素子が搭載されたプリント基板などを水平に複数段配置するケースが増えてきている。しかし、このようなケースについて、発熱体からの放熱メカニズムが十分に解明されていないことから、製品の開発時に熱対策で試行錯誤を繰り返さなければならないのが現状である。

そこで、本研究では、熱設計の設計指針を得ることを目的とし、円筒筐体内に配列された発熱体の自然空冷特性について検討している。ここでは、筐体内の循環空気の流動状態および発熱体の冷却効率に発熱体の配置が及ぼす影響について報告する。

## 2 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置を図1に示す。実験装置は、アクリル製円筒筐体(内径  $R=160\text{mm}$  × 高さ  $H=160\text{mm}$ )、発熱体、および冷却面である銅板から構成される。発熱体は、直径  $100\text{mm}$ 、厚さ  $15\text{mm}$  の断熱材の両表面に二重らせん形状の加工を施した銅箔ヒータ(厚さ  $30\mu\text{m}$ )を接着しており、冷却面から  $h_1(25\sim 80\text{mm})$ 、 $120\text{mm}$  の位置に2段設置した。加熱条件は、それぞれの面に  $1.5\text{W}$  通電することにより等熱流束とした。また、冷却面温度  $T_c$  は  $25^\circ\text{C}$  一定とした。半径方向の発熱体中心からの距離  $r$  における局所発熱面温度  $T_r$  は、熱電対を所定の位置に取り付けて測定した。所定の位置の冷却効率を表す局所熱伝達率  $\alpha_r$  は、放射による熱移動および筐体からの熱損失を差し引いた発熱体片面当たりの発熱量を  $Q$ 、発熱体の表面積を  $A$  として式  $\alpha_r=Q/A(T_r-T_c)$  にて定義した。なお、輻射による熱移動量は、各面の温度および放射率の測定値から熱流体解析ソフト(STAR-CD : DTRM モデル)にて算出した。

流れの可視化計測は、2D-PIV システム(西華産業製)を用いた。筐体内部に充滿させたトレーサ粒子にパルスレーザーを照射し、発光した粒子の輝度分布の移動量から図1に示す範囲において速度ベクトルを求めた。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 筐体内空気流れの可視化

図2(a)に発熱体1段目の冷却面までの距離  $h_1$  が  $80\text{mm}$  の場合の可視化結果を示す。発熱体から冷却面への循環流は、発熱体の中心付近で衝突・合流しながら2段目から1段目へと発熱体に沿って、乱れなく上昇した。

次に、発熱体1段目の冷却面までの距離  $h_1$  を  $40\text{mm}$  と小さくした場合の結果を図2(b)に示す。図2(b)において、上部領域は不安定な状態となり渦が観察された。この渦は時間経過とともに生成や端部から発熱体中心方向への移動を繰り返していた。この原因としては、中間領域の空間高さが大きくなったことから、発熱体2段目上面から発熱体1段目下面への上昇流が大きくなり、中間領域からの流れが上部領域へ流入する。そのため、この上部領域への流入が発熱体1段目上面から冷却面への上昇流と互いに干渉することで渦運動が生成するものと考えられる。また、空間高さが同じである下部領域の流動状態においては、発熱体1段目高さ  $h_1$  の変化に大きな影響を受けなかった。

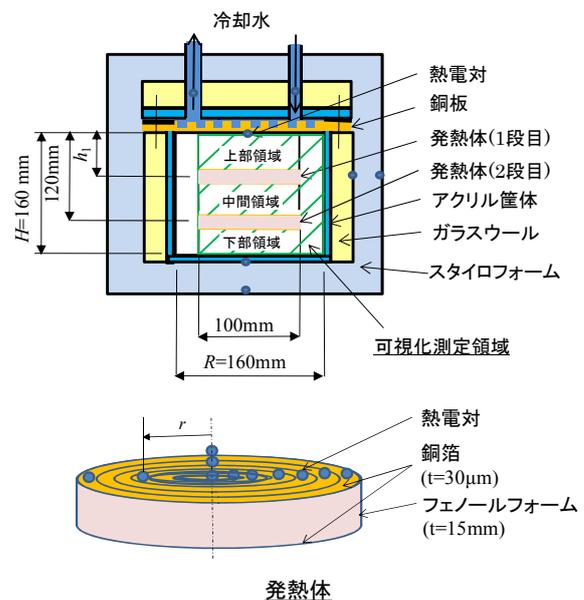


図1 実験装置

### 3.2 熱伝達率

図3に冷却面から発熱体1段目までの距離 $h_1$ をパラメータとした局所熱伝達率 $\alpha_r$ と発熱体中心からの距離 $r$ の関係を発熱体1段目上面について示す。 $h_1=50\text{mm}$ 以下の場合では、 $h_1=60, 80\text{mm}$ と比較して局所熱伝達率 $\alpha_r$ は全体的に増加、特に発熱体中心付近で増大する傾向を示した。これは、図2(b)で考察した渦運動によって冷却面との熱交換が活発になり、熱伝達が促進したものと考えられる。

発熱体1段目の冷却面までの距離 $h_1$ が40mmの場合の発熱体1段目下面および2段目上下面の局所熱伝達率 $\alpha_r$ と距離 $r$ の関係を図4に示す。発熱体2段目上面、および発熱体2段目下面において、いずれの場合においても、局所熱伝達率 $\alpha_r$ は、距離 $r$ の増加とともに単調に増大している。これは、発熱体端部から中心方向へ層流状態で流れていることから、空気温度が管体側面で最も低く中心に向かって上昇しているためと考えられる。一方、発熱体1段目下面では、発熱体中心付近で局所熱伝達率 $\alpha_r$ は極大値を示した。これは、発熱体2段目上面から上昇する過程において、上昇流が周囲空気によって冷却され、発熱体1段目下面中央付近に衝突するためと考えられる。

図5に冷却面から発熱体1段目までの距離 $h_1$ と局所熱伝達率 $\alpha_r$ を面積平均した平均熱伝達率 $\alpha_m$ の関係を示す。発熱体1段目高さ $h_1$ が $45\text{mm} < h_1 < 60\text{mm}$ の範囲では、発熱体1段目上面の平均熱伝達率 $\alpha_m$ は発熱体1段目高さ $h_1$ の減少とともに増加している。この範囲では上部領域の空間高さの低下とともに渦運動が盛んになって熱伝達が促進されていることが考えられる。一方、 $h_1 < 45\text{mm}$ まで小さくすると、中間領域からの上昇流の上部領域への侵入が抑制されるため、平均熱伝達率 $\alpha_m$ は低下する結果となった。また、渦運動が生じない $60\text{mm} < h_1 < 80\text{mm}$ の範囲では、平均熱伝達率 $\alpha_m$ は発熱体1段目高さ $h_1$ の減少とともに上部領域空間が大きくなることから、僅かであるが増大する傾向を示す結果となった。発熱体1段目下面および2段目上面の平均熱伝達率 $\alpha_m$ において、発熱体1段目高さ $h_1$ が増加する場合には、中間領域の空間高さが狭くなり流れが抑制されるため減少した。発熱体2段目下面の平均熱伝達率 $\alpha_m$ についても、発熱体1段目高さ $h_1$ の増加に伴い低下した。これは、発熱体1段目高さ $h_1$ の増加が下部領域の流動状態に大きな影響を及ぼさないが、他の発熱面の熱伝達が低下することから、下部領域を循環する空気の温度が上昇しているためと考えられる。

### 4 まとめ

発熱体の設置高さが自然対流熱伝達に及ぼす影響について検討を行い、管内の空気流動特性および発熱体周りの自然空冷特性を明らかにした。また、循環空気の渦運動を利用することにより熱伝達が大きく促進できることが分かった。

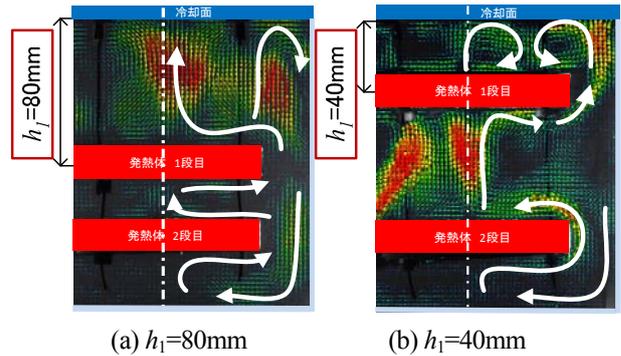


図2 流れの可視化 (発熱体高さ $h_1$ の比較)

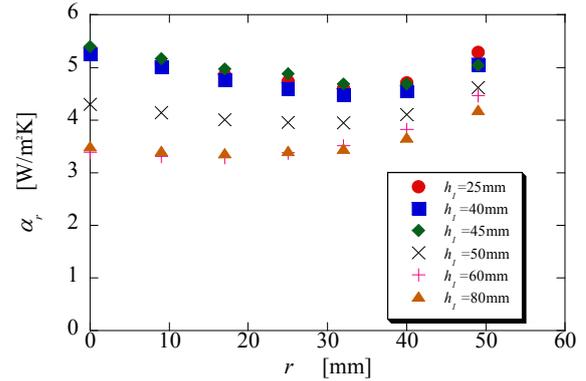


図3 局所熱伝達率と発熱体中心からの距離 (発熱体1段目上面)

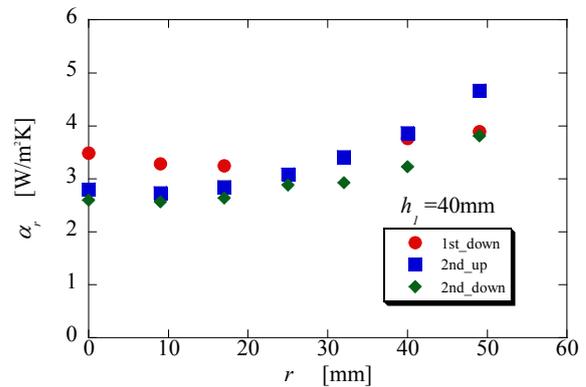


図4 局所熱伝達率と発熱体中心からの距離 (発熱体1段目下面、発熱体2段目上下面)

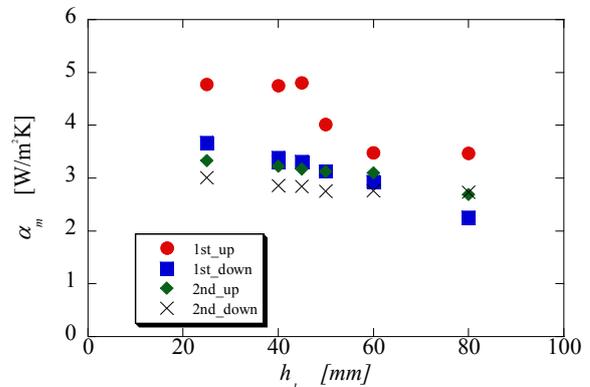


図5 各面の平均熱伝達率と発熱体1段目高さ