B224 水平面下の発熱物体の自然対流熱伝達に関する実験的研究

Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer from Heat Source under Horizontal Plate

○平岡 正弘 (電業社機械製作所)

亀岡利行 (東電大理工)

Masahiro HIRAOKA¹

Tosiyuki KAMEOKA²

1.DMW CORPORATION,Miyosi-cho,Misima-si,Shizuoka-ken,411-0843

2.Tokyo Denki Univ.,Hatoyama-cho,Hiki-gun,Saitama-ken,350-0311

Abstract

The paper describes experimental results on the fluid flow and heat transfer of natural convection from heat source under a horizontal plate. The ranges of Rayleigh numbers and length of horizontal plate are $8 \times 10^3 < Ra < 9 \times 10^4$ and $30\text{mm} < L < 150\text{mm}$. Temperature and flow fields are visualized by the liquid crystal suspension method. The average heat transfer coefficients are also measured. The results show that those values depend on the length of the horizontal plate.

Key words: Heat transfer, Natural convection, Visualization, Heat source under horizontal plate

1. はじめに

本研究は遮蔽板下に設置した発熱物体からの自然対流熱伝達を研究対象としたものである。このようなモデルの研究は過去の論文を見るかぎりあまりなされていない。このようなモデルの研究があまりなされていない理由として、電子部品などの工業的なものに本モデルのような設置状況があまりなかったためと思われる。しかし近年、電器製品の小型化、携帯化が進み、内部の電子部品自体がいろいろな向きになる事が予想され、本研究のように遮蔽板（プリント基板）の下に発熱体である電子部品がくるケースも予想される。本報告は、これらの現状より発熱物体上部の遮蔽板が、熱伝達、流動状態、温度場にどのような影響を及ぼすか実験的に検討したものである。実験条件としては、作動流体として、シリコンオイルを用い、 $8 \times 10^3 < Ra < 9 \times 10^4$ の範囲において可視化および熱伝達実験を行った。

2. 実験装置および測定方法

図 1 は本研究で用いたテスト装置である。この装置は発熱物体と遮蔽板、それを支える支柱により成り立っている。装置は遮蔽板の一辺長さ $L=0, 30, 45, 60, 120, 150\text{mm}$ の 6 種類のテスト装置を用意した。遮蔽板は正方形で、発熱物体をその中心に設置した。なお、この遮蔽板は底面から 70mm の高さに水平に設置している。

以上のテスト装置は幅 200mm 奥行き 200mm 流体深さ 170mm のプラントル数 $Pr=170$ (温度 40°C) のシリコンオイルに満たされている容器に設置した。この容器の中には、温度場、速度場を可視化するため感温液晶を混濁させている。

発熱物体としては図 2 のような IC 型抵抗を用いた。長さ 21.4mm 、幅 5.8mm 、高さ 2.5mm そして発熱物体と遮蔽板の隙間が 1.25mm である。これに直流安定化電源よ

り通電させる事により等熱流束条件で加熱させた。発熱物体からの放熱量は、熱損失をピンからの放熱のみと考え見積りを行った。

3. 実験結果および考察

3.1 流動状態の可視化

遮蔽板を設置した場合の流動状態を把握するため、感温液晶をトレーサーとして可視化を行った。代表的なものとして、 $L=150\text{mm}$ の遮蔽板による可視化結果を図 3 に示す。白く塗られた部分が発熱物体である。この場

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Heat source

合、まず発熱物体の右下左下より流体が発熱物体の方向に流入し、その後、発熱物体によって生ずる浮力流れは遮蔽板に邪魔され、横方向にゆっくり流れ出す。

3.2 発熱物体周辺の温度分布

遮蔽板がある事により発熱物体近傍の温度分布がどうなるか調べた。まず遮蔽板に一定間隔で設置された熱電対による測定結果を図4に示す。 $L=150\text{mm}$ の遮蔽板を用い、距離 0mm が発熱物体がある位置である。この曲線より、どの熱流束においても発熱物体から約 30mm までは温度勾配が強く、 30mm 以上では温度勾配が小さくなっており発熱物体近傍に熱が局所的に堆積している事が分かる。なお、この温度分布は時間が経過してもほとんど変化しない。

3.3 温度場の可視化

発熱物体近傍の熱の堆積を可視化写真より模式化したものを図5に示す。これは感温液晶の色判別により大ざっぱに高温部と中温部および低温部の3段階に分けて示したものである。これより発熱物体周辺に温度の高い領域を見る事ができ、熱が堆積しているのが分かる。またこの熱の堆積は発熱物体脇に着目すると、上部にいくに従い温度が高くなっている。よってこの熱の堆積は発熱物体全体に均等に影響を及ぼすのではなく発熱物体の上部に強い影響を及ぼす事が分かる。

3.4 遮蔽板の大きさと熱伝達

遮蔽板の一辺長さ L を 30mm から 150mm に変化させて、その時の熱伝達の比較を行った。

図6は、熱流束 q をパラメータとして遮蔽板の一辺長さ L とヌセルト数 Nu の関係を表した図である。この図より本実験範囲内ではどの熱流束でも $L=60\text{mm}$ までは遮蔽板が小さくてもほとんどヌセルト数 Nu に変化が見られないが $L=60\text{mm}$ より遮蔽板が小さくなるとヌセルト数 Nu が増加する事が分かった。

$L=60\text{mm}$ 以下でヌセルト数 Nu が増加する理由としては、熱の堆積の減少が影響している。3.2節にて、発熱物体から 30mm まで熱が強く堆積する事を述べた。従ってその長さに対応する $L=60\text{mm}$ 以下であると、発熱物体から 30mm まで強く堆積していた熱が上部に逃げ、形成されるはずの熱の堆積が形成されない。そのため発熱物体表面温度が上昇せず、ヌセルト数 Nu が増加する。

4. 結論

本実験より以下の結論を得た。

- (1) 遮蔽板を設置した時の流動状態を明らかにする事ができた。
- (2) 発熱物体周辺の温度分布、可視化写真より発熱物体周辺に熱が局所的に堆積し、そしてこの堆積状況は時間が経過しても変化しない事が明らかになった。
- (3) 可視化写真より発熱物体近傍の熱の堆積は発熱物体全体に均等に影響を及ぼすのではなく発熱物体上部に強い熱の影響をもたらす事が確認できた。
- (4) 遮蔽板の一辺長さ L が 60mm よりより大きくなってもヌセルト数 Nu に変化はみられないが、 L が 60mm より小さいとヌセルト数 Nu が増加する。

Fig.3 Flow pattern ($L=150\text{mm}$, side view, Shutter speed=8s)

Fig.4 Effects of the plate on the temperature distribution

Fig.5 Observed temperature field ($L=150\text{mm}$)

Fig.6 Effect of L on Nusselt number