

## 高発熱素子のプール沸騰冷却に関する研究

## -ピラミッド形伝熱面の形状適正化-

日大生産工(院) ○森 雄斗 日大生産工 松島 均

## 1 まえがき

昨今の電子機器の性能向上には目覚ましいものがある。しかしそれに伴い、CPU等の電子部品類の小型・高性能化により消費電力、発熱量が増大し従来の方法では冷却不足になっている。近年、次世代冷却方法として沸騰に代表される相変化を用いた冷却方法が注目されている<sup>1)</sup>。そして、伝熱面の表面形状を変化させることでさらに沸騰熱伝達が向上することが期待できる<sup>2)</sup>。一般に沸騰現象の促進方法として、沸騰核の増加等による気泡発生の促進が有効とが考えられるが、微細なピラミッド型の伝熱面を用いた場合、沸騰伝熱を大きく促進させることができることが判明した<sup>3)</sup>。

本研究では、CPUなどの電子部品を模擬した10mm四方の発熱体に対する大気圧下のサブクール状態でのプール沸騰冷却において、発熱体の表面形状を微細なピラミッド型とし、その形状(傾き)と伝熱面方向(水平・垂直)を変化させた際の伝熱性能の変化に着目し、これらの条件に対する伝熱促進効果について検討した。なお、従来の沸騰に関する研究は主として限界熱流束が生じるような高い過熱度領域に着目されていたが、本研究のテーマである高発熱素子の冷却の観点から100°C前後の低過熱度側の値に着目し実験を行った。

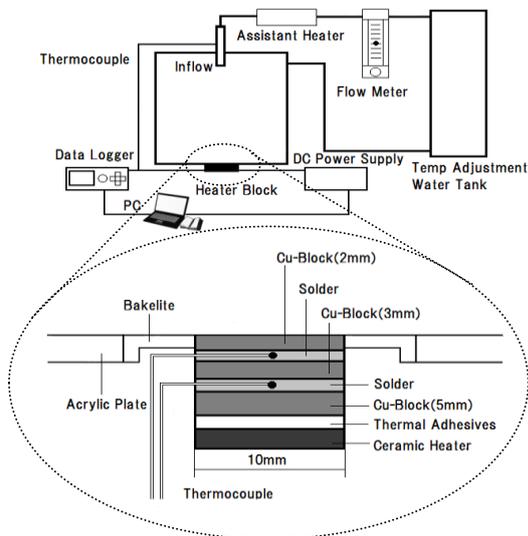


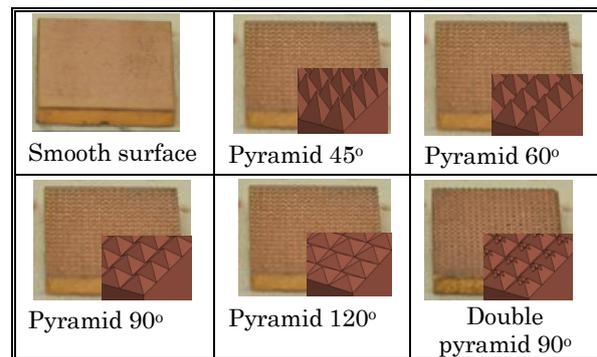
Fig.1 Experimental apparatus

## 2 実験方法および測定方法

Fig.1 に実験装置の全体図と発熱体部分の拡大図を示す。実験装置は、底面にダミーCPUを模擬した10mm×10mmの発熱体を有するテストセクションと恒温水槽からなる。発熱体の構造は、厚さ2mm,3mm,5mmの銅ブロックの間に線径0.076mmのT型熱電対を挟み半田付けしたものであり、銅ブロックとセラミックヒータの間は熱伝導性接着剤で固定した。なお、実験ではヒータ発熱量は後述式の(2)式で定義される過熱度 $\Delta T_{sat}$ が1~10Kになるように調整した。発熱体の表面は平滑面、0.5mm間隔の微小なピラミッド群を形成したピラミッド型(45°,60°,90°,120°)及び90°の加工を2回施した二重ピラミッド型を使用した(Table 1, Fig.2)。また、冷却用流体には純水を用いた(Table 1)。冷却用媒体は恒温水槽によりサブクール度 $\Delta T_{sub}$ が一定になるように調整した。実験に用いたサブクール度 $\Delta T_{sub}$ は20K, 40Kとした。本実験における結果は、熱流束 $q$ , および過熱度 $\Delta T_{sat}$ で評価する。

Table 1 Experimental parameters

Working Fluid	Pure water
Heat transfer surfaces	Smooth surface Pyramid 45° Pyramid 60° Pyramid 90° Pyramid 120° Double Pyramid 90°
Setting	Horizontal, Vertical
$\Delta T_{sub}$	20, 40

Fig. 2 Heat transfer surfaces  
(Pyramid pitch of 0.5mm)

Study on Pool Boiling Cooling of High Heat Generating Devices  
- Optimization of Minute Pyramid-like Surfaces -

Yuuto MORI and Hitoshi MATHUSHIMA

熱流束 $q$ は、ヒータへの入熱量を $Q$ 、伝熱面の投影面積を $A$ として次式により定義した。

$$q = Q/A \quad \dots (1)$$

過熱度 $\Delta T_{sat}$ は水の飽和温度 $T_w$ として次式により定義した。

$$\Delta T_{sat} = T_w - T_{sat} \quad \dots (2)$$

サブクール度 $\Delta T_{sub}$ は、作動流体の温度 $T_{wt}$ を用いて次式により定義した。

$$\Delta T_{sub} = T_{sat} - T_{wt} \quad \dots (3)$$

### 3 実験結果及び考察

Fig3 に沸騰時の様子を示す。ピラミッド型伝熱面では伝熱面向きによらず、ピラミッド底部に形成されるV字溝群から細かい気泡が多数発生・離脱している。

#### 3.1 水平での評価

伝熱面方向を水平に設置した際の $\Delta T_{sub} = 40K$ における、各伝熱面に対する熱流束 $q$ と過熱度 $\Delta T_{sat}$ の測定結果を Fig.4(a)に示す。今回測定した5種類のピラミッド型伝熱面は平滑面と比較し、低過熱度から熱流束が増大しており、 $\Delta T_{sat} = 4K$ 以上では、同一過熱度に対する熱流束が平滑面の2倍以上となることがわかる。また、ピラミッドの傾斜が急であるほど、熱流束が増大する。ピラミッド型は平滑面に比べて窪みが多く沸騰核が増えたため、気泡発生が促進されたためと考えられる。また、ピラミッド型は気泡が素早く離脱するために伝熱性能が高いと考えられる。特にピラミッド型 $45^\circ$ では、 $\Delta T_{sat} = 1K$ から気泡の発生・離脱が極めて盛んであり、 $\Delta T_{sat} = 4K$ において平滑面と比べて約5.4倍熱流束が増大した。なお、ピラミッド型伝熱面を実面積基準で評価すると、ピラミッド型 $60^\circ, 90^\circ, 2$ 重ピラミッド型での伝熱性能が高く、 $\Delta T_{sat} = 4K$ において平滑面に対していずれも約2.8倍増大した。

#### 3.2 垂直での評価

伝熱面方向を垂直に設置した際の $\Delta T_{sub} = 40K$ における各伝熱面に対する熱流束 $q$ と過熱度 $\Delta T_{sat}$ の測定結果をFig.4(b)に示す。この測定でもピラミッド型は平滑面に比べて、高い熱流束となっている。垂直設置の場合、すべてのデータがほぼ同一線上に集約されており、ピラミッドの角度依存性は水平の場合ほど明確でなかった。この場合の平滑面と比較した際の熱流束の増大は $\Delta T_{sat} = 4K$ で約2倍程度であった。伝熱面方向が垂直の場合は、水平設置時に伝熱性能が良かった角度の急なピラミッドほど、側面が壁となり気泡の離脱の妨げとなるため角度依存性が減少し、伝熱性能も低下したと考えられる。なお、実面積基準で評価すると、ピラミッド型 $90^\circ$ での伝熱性能が最も高く $\Delta T_{sat} = 4K$ において平滑面に対して約1.5倍増大した。

### 4. 結言

ピラミッド型伝熱面の寸法・形状と伝熱面方向が沸騰熱伝達へ与える影響について実験的に検討した。

1) 伝熱面方向が水平の際は、ピラミッド型伝熱面において、ピラミッドの傾斜が急であるほど、投影面積基準での熱流束が増大する。

- 2) 伝熱面方向が水平の際の、最も伝熱性能の良い伝熱面はピラミッド型 $45^\circ$ であった。この場合は、 $\Delta T_{sat} = 4K$ において平滑面と比べて約5.4倍熱流束が増大した。
- 3) 伝熱面方向が垂直の際は、ピラミッド型伝熱面は伝熱面方向が水平の場合よりも伝熱性能が低下し、いずれの伝熱面においても平滑面と比べて熱流束の増大は $\Delta T_{sat} = 4K$ で約2倍程度であった。

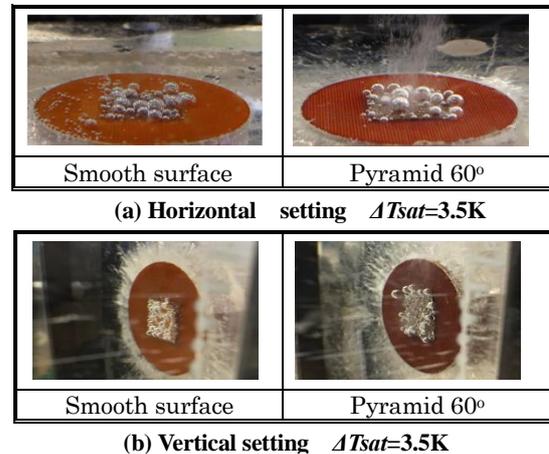


Fig. 3 Bubbles near the heat transfer surface

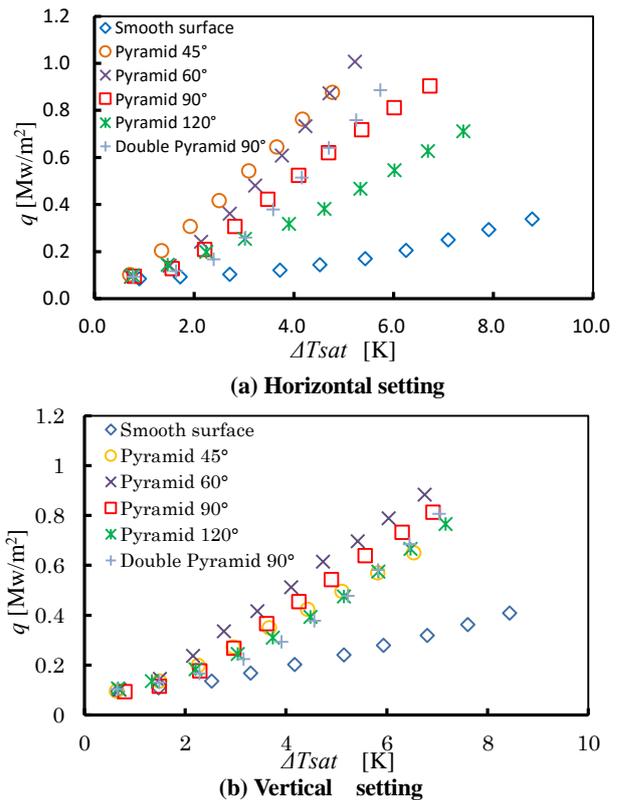


Fig. 4 Boiling curve of minute pyramid-like surfaces

### 参考文献

- 1) 中山恒, 伝熱機器 50 年の進展, 伝熱, 51 巻 214 号 (2012. 1), 30.
- 2) 田中他, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 第 2+3 巻, C223, pp. 339-340 (2011-6)
- 3) 松島他, 伝論, 21-1, (2015), 15-22.