

## 高発熱素子の高圧噴流空冷に関する基礎検討

日大生産工(院) ○梅澤 秀泰 日大生産工 松島 均

### 1. 緒言

近年、各種電子機器の高速・高性能化に伴い、CPUなどの発熱素子における発熱量が増大しており、その効率的な冷却が求められている。従来、発熱素子の冷却にはファンによる筐体内の強制通風が利用されているが、CPUの発熱は時々刻々変化しており、過剰な風量になっている場合がありうると考えられる。必要ときに必要な量だけ冷却する事が出来れば大規模システムの場合の冷却に要するコストを削減できる可能性がある。そこで本研究では冷却媒体として高圧空気をを用い、CPUなどのスポット的な高発熱素子の冷却を想定した衝突噴流冷却に関して実験的に検討を行った。本研究では、そのための基礎検討として非圧縮空気の場合と比較し、圧縮空気を用いた際の冷却特性について検討を行った。

### 2. 実験方法

**2.1 空気流動部** 本研究で作製した実験装置の概要を図1に示す。空気を最大圧力 1.0MPa, 0.8MPa の2台の圧縮機で圧縮されたこの圧縮空気は空気タンクに一度貯蓄され、質量流量計、圧力計を經由してノズルから伝熱面に噴射させる。ここで、空気流量は 10~120L/min、圧縮圧力を 0.1~0.8MPa、伝熱面からノズルまでの高さを 1.0mm, 10mm, 50mm と設定して実験を行った。なお、流量はノズルから噴出された後、大気圧まで減圧された状態での値である。すなわち、同じ流量では各ノズルにおいての噴出後の流量が同一であることを意味する。

**2.2 空気噴射口および発熱素子** 空気を噴出させるノズルおよび発熱素子を図2に示す。ノズルには噴射口径 1.0, 2.0, 3.0mm の3種類を使用した。ノズルは銅製であり、噴射口に熱電対を装着し、噴射直前の空気温度を測定する。発熱素子は 10mm 四方の銅ブロック(厚さ 2.0, 3.0, 5.0mm)を上から順に重ね、図で示す位置に熱電対を半田付けし、さらにセラミックヒータ(発熱量 5W)を取り付けた。

**2.3 熱伝達率の計算** 各実験で得たデータから各ノズル径における熱伝達率を求める。熱伝達率の算出式を以下に示す。

$$Q = hA \Delta T \quad (1)$$

ここで、Q: 熱量(W),  $\Delta T$ : 温度差( $T_1 - T_2$ ) (°C),  $T_1$ : 発

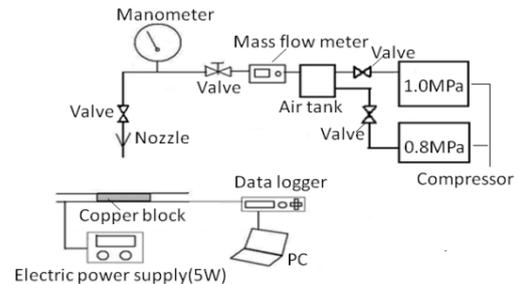


Fig. 1 Experimental apparatus

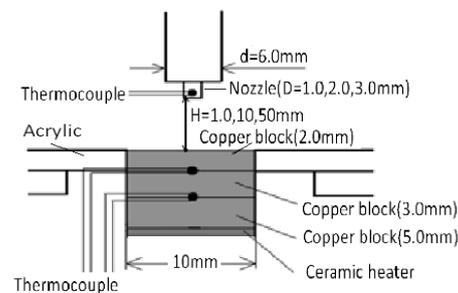


Fig. 2 Injection nozzle and heater element

熱素子の表面温度(°C),  $T_2$ : ノズル噴射部での空気温度(°C), A: 発熱素子の表面積( $m^2$ )である。

### 3. 実験結果と考察

図3~5は、実験結果をヌセルト数に変換したものを縦軸、レイノルズ数を横軸にとりその関係性をグラフにしたものである。なお、それぞれの図において圧力別、高さ別、ノズル別に整理し、それぞれのパラメータにおける関係性を考察した。また、非圧縮空気におけるヌセルト数と比較するために Martin の式<sup>1)</sup>を基にした式(2)で表される次の簡略式<sup>2)</sup>を利用し、非圧縮空気における推測値(Predictive value; Pred.)として算出し、実験値(Experimental value; Exp.)と比較した。ここで、Nu: ヌセルト数, H: ノズル高さ, D: ノズル径,  $Re_d$ : レイノルズ数である。

$$Nu \cong 0.5 \left( \frac{H}{D} \right)^{-0.3} \left( \frac{A_{jet}}{A} \right)^{0.35} \cdot Re_D^{0.667} \cdot Pr^{0.42} \quad (2)$$

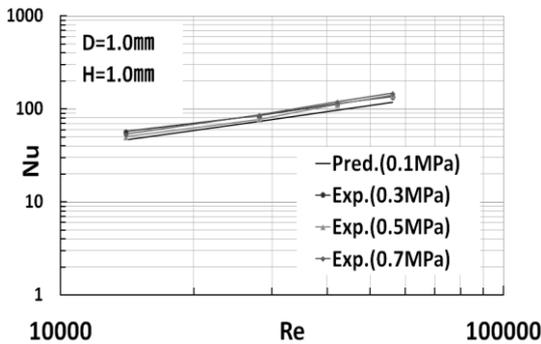


Fig. 3 Relation between Nu and Re  
(Effect of Pressure)

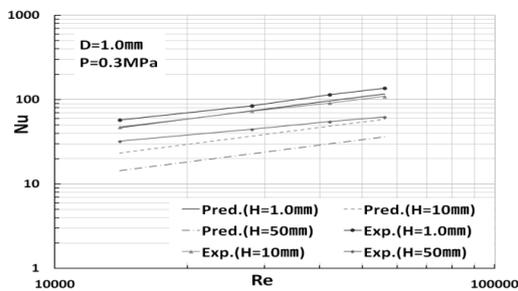


Fig. 4 Relation between Nu and Re  
(Effect of Nozzle Height)

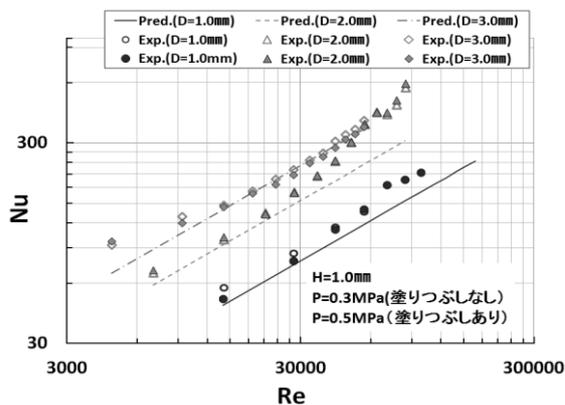


Fig. 5 Relation between Nu and Re  
(Effect of Nozzle Diameter)

図3は、ノズル径1.0mm、ノズル高さ1.0mmでの各空気圧力に対するヌセルト数とレイノルズ数の関係を示す。図3より圧力の違いに関わらず実験値はほぼ同じ値を示した。また、ヌセルト数の値は実験値の方が推測値よりも20%程高いが、その勾配を見ると推測値とほぼ等しい。これにより、本実験で行った範囲では圧縮する圧力にあまり依存せず、高圧噴流は非圧縮空気と同様にレイノルズ数の0.667乗にほぼ比例する事が分かった。図4はノズル径1.0mm、空気圧力0.3MPaにおいてノズル高さを変化させた場合の結果である。図4より、ノズルの高さが高い程ヌセルト数は小さくなる事が分かる。更に高さが高くなる程

推測値との差が大きくなる。これは高さが高くなるに連れて噴流の当たる伝熱面が相対的に小さくなり、平均熱伝達を求める予測式での誤差が大きくなったためと考えられる。

図5は、ノズル径の違いによるヌセルト数とレイノルズ数の関係である。図5より、いずれのノズル径及び圧力においても基本的にはヌセルト数はレイノルズ数の0.667乗に比例していることが分かる。更に特異点として、ノズル径が2.0mmの場合、レイノルズ数が約30000においてヌセルト数が急上昇する現象が見られた。なお、この時0.3気圧及、0.5気圧の違いにおけるNuへの影響はほとんど見られなかった。図6は、空気圧力0.5MPa、ノズル高さ1.0mmで求めた各ノズルでの熱伝達率と流量の関係である。予測値は噴流における熱伝達率の流速依存性(流速の0.667乗に比例<sup>2)</sup>)を考慮した際の予測値(10L/minでの実測値を基準)である。これを見るとノズル径が1.0mm及び3.0mmの場合、流量によらず実測値と予測値はほぼ一致している。ノズル径が2.0mmの場合、空気流量が60~100L/min以上の領域で熱伝達率が急上昇しており、予測値との間で大きな差が生じている。これは、空気流量60~100L/minにおいて、断熱膨張など何らかの現象が生じ始めた影響によるものと考えられる。なお、図中における熱伝達率の最大値約7700[W/m<sup>2</sup>K]を基に冷却能力を推測すると、 $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  ( $T_1=75^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2=35^{\circ}\text{C}$ )とした場合、表面積0.012[m<sup>2</sup>]の高発熱素子において約31 [w]相当の熱量を冷却することができる計算になる。

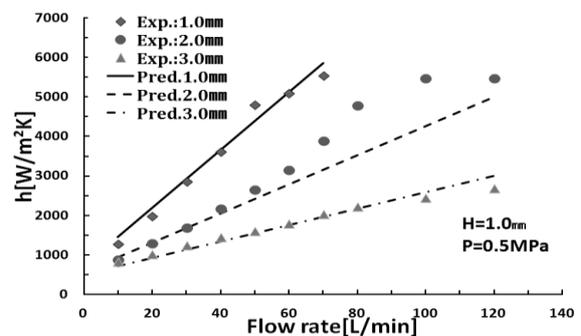


Fig. 6 Relation between h and Air flow Rate

#### 4. 結論

本研究では、冷却媒体として高圧空気を用い、CPUなどのスポット的な高発熱素子の冷却を想定した衝突噴流冷却に関して実験的に検討を行った。その結果、高圧縮空気を用いて冷却する際、その熱伝達率は非圧縮の空気と同様にレイノルズ数に依存し、噴流の流速の0.667乗に比例する事が分かった。また、今回の実験では、ノズル径2.0mmにおいて空気流量60~100L/min以上で、常圧の噴流から予測されるよりも高い熱伝達率となった。これは、圧縮空気が噴射された後に生じた断熱膨張など何らかの現象による影響と考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) Martin, H., "Heat and Mass Transfer Between Impinging Gas Jets and Solid Surfaces", Advances in Heat Transfer, 13, pp. 1-60 (1977)
- 2) Heat Transfer Handbook, John Wiley & Sons, 999
- 3) 社河内敏彦, 噴流工学, 1巻-3号 (2006), 107