Heat Transfer Characteristics of Non-isothermal Two-dimensional Impinging Hot Air Jet with Multiple Nozzles

○学 羽生 敏 (阪市大院)
正 野邑 奉弘 (阪市大)

正 西村 伸也 (阪市大)
正 伊與田 浩志 (阪市大)

Satoshi HABU, Nobuya NISHIMURA, Tomohiro NOMURA and Hiroyuki IYOTA
Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto Sumiyoshi-ku Osaka

Heat transfer characteristics of non-isothermal two-dimensional impinging hot air jet were investigated experimentally with multiple nozzles. Average and local heat transfer coefficients between an impingement plate and two-dimensional impinging hot air jet were measured by using thermocouples mounted in a heat transfer block. The parameters studied were nozzle-to-impingement plate distance ($H/B=2,4,6,8,10$), jet velocity ($U_j=11\text{m/s}, 22\text{m/s}, 28\text{m/s}$), and jet temperature ($t_j=50^\circ\text{C}, 100^\circ\text{C}, 150^\circ\text{C}$). From the results, it was found that influences both of jet velocities and jet temperatures on local Nusselt numbers. Also it was cleared that the high heat transfer coefficients were kept in case of multiple nozzles than that of single nozzle.

Key Words : Impinging Jet, Heat Transfer, Slot Nozzles, Vortex

1. 緒言

衝突噴流とは、通常、ノズルから気流を噴射し、対象物に衝突させるものであり、加熱、冷却、乾燥などの幅広い工業分野において利用されている。特に乾燥分野においては、紙やパルプなどのシート状材料の高温・高速乾燥への試みがなされている⁽¹⁾。

しかしながら、噴流と周囲雰囲気との間に大きな温度差がある、非等温衝突噴流の熱伝達に関する研究は少ない⁽²⁾。

さらに、実用上重要となる、非等温衝突噴流における十分発達した領域や複数のノズルを用いた場合については、その特性が明らかにされていない⁽³⁾。

そこで、本研究では、複数ノズルによる非等温二次元衝突噴流の熱伝達特性を明らかにすることを目的に、気流噴出口が5つある複数ノズルを製作し、これを用いて熱流束測定実験を行った。実験では、ノズル-平板間距離、ノズル出口温度、およびノズル出口流速を変化させた。この結果を、可視化観察および計算による結果等を加えて総合的に検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置の概要

実験装置の概略を図1に、ノズル先端部近傍の拡大図を図2に示す。実験装置は、熱風発生器(竹綱製作所製、TSK-50B)、熱式流量計(東京計装(株)製、TH-1200)、複数二次元ノズル、真鍮製の衝突平板より構成されている。

複数ノズルの寸法は、気流の二次元性および可視化測定の際に必要な光路長を確保することを考慮し、ノズル幅3mm、奥行き100mmとした。また、ノズルピッチは24mmである。よって、ノズル幅を代表長さにとった無次元ノズルピッチ $P(=p/B)$ は8である。ここで、中央のノズルをノズル1とし、そこから外側へ向かってそれぞれノズル2、ノズル3と呼ぶことにする。

2.2 実験方法

実験は、複数ノズルより50、100および150℃の空気を、11、22および28m/sの速度で鉛直下向きに噴出させて行った。このときの室温は約20℃であった。図1に示すように、衝突平板内に直径1mmのT型シース熱電対を鉛直方向に

5mm間隔で4本(水平方向に7ヶ所)挿入し、衝突平板内の温度分布を測定し、その鉛直方向の温度勾配から表面熱流束を計算した。実験条件を表1に示す。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Schematic of multiple nozzles

Table.1 Experimental conditions ($H/B=4$)

U_j m/s	t_j °C	Re_B
11	50	1800
22	50	3500
28	50	4500
11	100	1400
11	150	1100

3. 実験結果および考察

図3に局所熱伝達率の分布を示す。

まず(a)は、ノズル出口温度を50°C一定にしたときの結果である。 $Re_B=3500$ のときは、 $Re_B=1800$ のときに比べてヌセルト数は、 x/B の位置によらず全体的に増加したが、 $Re_B=4500$ のときとはほぼ同じになった。また、レイノルズ数が大きくなるにつれて、ヌセルト数はノズル位置との関係にかかわらず、起伏の小さい分布になっていくことがわかる。ノズル1から3までの区間である $x/B=0\sim16$ の間での平均ヌセルト数 Nu_{av} を求めると、 $Re_B=3500$ のとき27.9、 $Re_B=4500$ のとき28.3となり、 $Re_B=1800$ のときの15.9に比べて約1.8倍にも大きくなった。

次に(b)は、ノズル出口流速を11m/s一定にしたときの結果である。ノズル出口温度が高くなるにつれて、ヌセルト数は極値をもたず単調に減少する分布に近づくことがわかる。また、 $x/B=0\sim16$ の間での平均ヌセルト数は $t_j=50^\circ\text{C}$ のとき15.9、 $t_j=100^\circ\text{C}$ のとき16.5、 $t_j=150^\circ\text{C}$ のとき15.8となり、温度を変化させてもほぼ同じであった。

(c)は、(b)の結果をノズル1、つまり中心位置のノズル真下でのヌセルト数 Nu_B を用いて整理した、局所熱伝達率の相対分布を示したものである。この図より、 Nu/Nu_B が0.8以上を維持する区間は、 $t_j=50^\circ\text{C}$ のとき $x/B=3$ までであるのに対し、 $t_j=100^\circ\text{C}$ のときは $x/B=13$ まで、さらに $t_j=150^\circ\text{C}$ のときは $x/B=17$ までとなった。このことから、ノズル出口温度が高くなるほど、ノズル間でのヌセルト数の減少は小さくなるということがわかる。

最後に(d)は、本実験結果を、同一実験装置を用いて著者らがこれまでにやってきた単一ノズルでの実験結果と比較したものである。この図から、単一ノズルの場合に比べて、複数ノズルの場合にはノズル1真下の高熱伝達を x/B が大きい位置まで維持しているのがわかる。 $x/B=0$ においてヌセルト数はほぼ同じであったが、流下方向に沿ってその大きさは次第に広がり、 $x/B=20$ において差は12にもなった。

4. まとめ

複数ノズルより噴出される高温空気を用いて、非等温二次元衝突噴流の局所熱伝達特性について調べた。その結果、ノズル出口流速が速くなるほどヌセルト数は増大し、ノズル出口温度が高くなるほど、中心位置ノズルからの流下方向に沿って単調に減少していくことがわかった。また、単一ノズルの場合に比べて、複数ノズルの場合では中心ノズル真下の高熱伝達を広い領域において維持しているのが明らかになった。

参考文献

- (1) Seyedein, S.H., Hasan, M. and Mujumdar, A.S., Numerical Heat Transf., 27-1(1995), 35.
- (2) Gardon, R. and Akfirat, J.C., Trans. ASME J. Heat Transf., 88-1(1966), 101.
- (3) 一宮・保坂, 機論, 55-518, B(1989), 3210

(a) $t_j=50^\circ\text{C}$

(b) $U_j=11\text{m/s}$

(c) $U_j=11\text{m/s}(\text{logarithm})$

(d) Comparison of single and multiple nozzles ($U_j=11\text{m/s}, t_j=150^\circ\text{C}$)

Fig.3 Distributions of local Nusselt number ($H/B=4$)