

# 平面衝突噴流群による熱伝達制御

学籍番号 80022714 野崎篤志 指導教員 菱田公一 教授

## 1. 緒言

衝突噴流伝熱は物質の加熱や冷却、乾燥といった幅広いプロセスで用いられていることから<sup>[1]</sup>、高度な伝熱制御技術の確立が切望されている。しかしこれまで行われてきた衝突噴流伝熱の制御に関する研究<sup>[2]</sup>は、そのほとんどが単独噴流を対象とし、かつ時間平均諸量の制御に限定され、時空間的な熱伝達制御を試みた例は皆無であった。本研究では同一形状のノズルを平行に配置し噴流群とすることで、噴流間の相互干渉を利用し、ノズル出口の微細なスリットより噴流せん断層を局所的かつ独立に励起することで、熱伝達率分布の時空間制御を行った。

## 2. 実験装置および計測方法

Fig.1 に実験装置の概略を示す。作動流体の水は間隔  $s(=36\text{mm})$  離れた2つの二次元ノズル(幅  $B=10\text{mm}$ 、アスペクト比 10:1)から平面噴流群として噴出し、ノズルから  $H(=40, 80\text{mm})$  下流に設置された加熱平板に衝突する。加熱平板は発泡ポリスチレン板に厚さ  $20\mu\text{m}$  のステンレス箔を短冊状に貼り付けて作製し、直流通電加熱により等熱流束  $q_w$  を発生する伝熱面とした。中央のステンレス箔の裏面に熱電対をよどみ点から  $10\text{mm}$  間隔で設置し、計 11 ケ所の壁面温度計測を行った。Fig.2 に本研究で用いた励起装置および励起方法について示す。ノズル出口において噴流せん断層に周期的かく乱を与えるために、スピーカーの膜面振動をシリンジおよびエリコンチューブを介してノズル出口に設置した幅  $p=0.5\text{mm}$  のスリットへと伝える。4 つのスピーカーには正弦波電圧を印加し、スピーカー間の位相差  $\phi$  は任意に設定することが出来る。これにより噴流せん断層に任意の位相差を持った励起を行うことが可能である。座標系は2つのノズルの中央を原点として、ノズルを横切る方向に  $x$ 、噴流流れ方向に  $y$ (壁面から離れる方向を  $y^*$ )を取り、それぞれの方向の速度成分を  $u, v$ (平均流速は  $U, V$ )とした。本研究の実験条件を Table 1 に、励起条件を Table 2 に示す。レイノルズ数  $Re_B(=V_0 B/\nu)$  はノズル出口平均流速  $V_0$  とノズル幅  $B$  を、ストローハル数  $St(=f_{ex} B/V_0)$  は励起周波数  $f_{ex}$  とノズル出口平均流速およびノズル幅を代表値として求めた。励起強度  $A_{ex}(=p \cdot M_{ex}/B \cdot M_0)$  は噴流主流の運動量  $M_0$  と主流を流していない場合にスリットより噴出する流れの運動量  $M_{ex}$  の比として定義した。励起パターンは Table 2 に示すように4つのモードを用い、スリット間の位相差  $\phi$  は  $0, 45, 90, 180[\text{deg}]$  とした。速度計測には PIV を用いた。各条件について計測を 60 秒間行い、1/30 秒間隔の時系列データ約 2000 枚から統計量を算出した。また熱伝達率を評価するためにヌセルト数  $Nu_B(=hB/\lambda)$  を用いた。 $\lambda$  は水の熱伝導率であり、熱伝達率  $h$  は熱電対により得られた壁面温度から算出した。

## 3. 非励起平面衝突噴流群の熱伝達特性および流動構造

非励起時の平面衝突噴流群の局所ヌセルト数分布を Fig.3 に、平均速度ベクトル図を Fig.4 に示す。Fig.3 より両衝突距離において局所ヌセルト数はノズル直下部分で極大値を、よどみ点で極小値を取る鞍状分布となる。単独衝突噴流では  $H/B=8$  付近で最大熱伝達率が得られると報告されているが<sup>[3]</sup>、衝突噴流群では  $H/B=8$  の方が  $H/B=4$  に比べて熱伝達が抑制されている。これは Fig.4 の平均速度ベクトル図に示すように左右の壁面噴流が衝突しノズル方向への流れとなって再循環領域を形成しており、この再循環領域に伴う逆流により噴流が減衰するためである。また、壁面により加熱された壁面噴流同士がよどみ点付近で衝突することにより、滞留が生じるために熱伝達が抑制され、鞍状の分布を形成する。

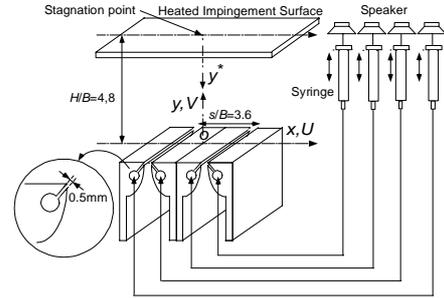


Fig.1 Experimental apparatus and coordinate system.

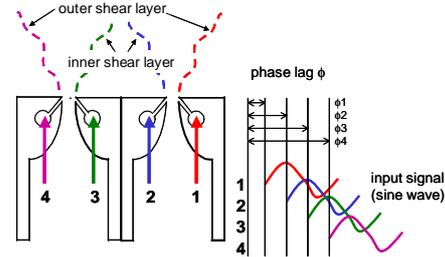


Fig.2 Schematic of excitation system and excitation method.

Table 1 Experimental conditions.

Nozzle spacing	$s/B$	3.6
Reynolds number	$Re_B$	500, 1000
Nozzle-to-plate distance	$H/B$	4, 8
Wall heat flux [ $\text{kW/m}^2$ ]	$q_w$	4.8
Strouhal number	$St$	0.22, 0.67, 1.0
Excitation amplitude	$A_{ex}$	$4.8 \times 10^{-3}$ ( $St=0.22$ )
		$14.5 \times 10^{-3}$ ( $St=0.67$ )
		$24.2 \times 10^{-3}$ ( $St=1.0$ )

Table 2 Excitation conditions; four excitation patterns and phase setting ( $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ ), -: no excitation.

Full excitation mode	(0, 0, 0, 0), (0, 90, 180, 270), (270, 180, 90, 0)
Single-sided excitation mode	(-, -, 0, 0), (-, -, 0, 45), (-, -, 0, 90), (-, -, 0, 180)
Outer excitation mode	(0, -, -, 0), (0, -, -, 45), (0, -, -, 90), (0, -, -, 180)
Inner excitation mode	(-, 0, 0, -), (-, 0, 45, -), (-, 0, 90, -), (-, 0, 180, -)

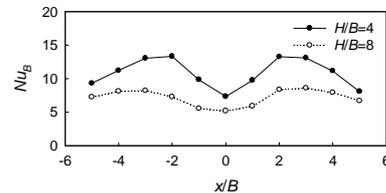


Fig.3 Effect of  $H/B$  on the local  $Nu_B$  distributions for  $Re_B=500$ .

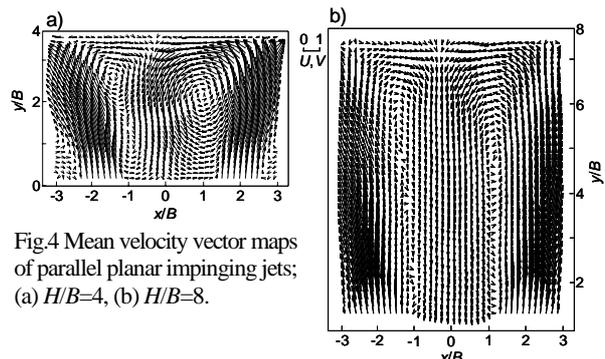


Fig.4 Mean velocity vector maps of parallel planar impinging jets; (a)  $H/B=4$ , (b)  $H/B=8$ .

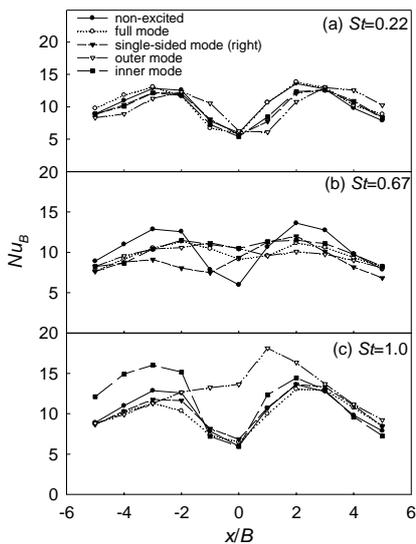


Fig.5 Effect of excitation patterns in phase on the local  $Nu_B$  distributions for  $Re_B=500$ ,  $H/B=4$ .

#### 4. 励起による熱伝達特性の変化

$H/B=4$ ,  $Re_B=500$  において位相差がない場合の励起パターンによる熱伝達率分布の変化を Fig.5 に示す.  $St=0.22$  では励起の効果認められず,  $St=1.0$  でも Outer mode を除き顕著な分布形状の変化がない.  $St=0.67$  では励起パターンによって様々な分布形状が得られ, Full mode では分布の均一化, Outer mode および Inner mode ではよどみ点付近の熱伝達促進, Single-sided mode では励起した側の熱伝達促進が得られた. Fig.5 より励起するストローハル数として  $St=0.67$  を用いることで, 励起パターンにより時間平均的な熱伝達率分布形状の制御が可能であることが示された. Fig.6 に Full mode で励起した場合において位相差  $\phi$  が熱伝達率分布へ与える影響を示す.  $H/B=8$  では位相差に関係なく平坦な分布を取るが,  $H/B=4$  では位相が進んでいる方の熱伝達が促進されていることから, 位相差  $\phi$  の影響が局所熱伝達へ与える効果は衝突距離が小さいときに有効であることが分かる. Fig.7 に右側の噴流のみを励起した Single-sided mode における衝突距離の影響および  $H/B=4$  における位相差  $\phi$  の影響について示す. Single-sided mode では励起した噴流側の熱伝達が促進され, Full mode の位相が進んでいる方の熱伝達促進と同様の効果が得られる. また位相差をつけた場合, 分布形状の変化はないが熱伝達率が增加することが分かる. Fig.6, 7 より位相差をつけた場合の Full mode と右方を励起した Single-sided mode では, Fig.8 の示すように位相が進んでいる方の噴流および励起された側の噴流の壁面噴流が発達し, 左方の噴流が壁面へ到達するのを妨げるために, 右方では熱伝達が促進され左方では熱伝達が抑制される.

#### 5. 平面衝突噴流群の時空間熱伝達率分布制御

Single-sided mode では励起した噴流側の熱伝達促進が得られることを用いて, 両側の噴流を 10sec 間隔で交互に励起し, 局所熱伝達の時空間制御(predetermined active control)を試みた. Fig.9 に非励起時および predetermined active control 時の時系列壁面温度コンター図およびノズル直下である  $x/B=\pm 2$  における温度変動を示す. コンター図の横軸が時間である. また温度は濃淡で表しており, 色の濃い所は温度が高いことを示す. 非励起時はよどみ点で高温流体が滞留しており, ノズル直下の  $x/B=\pm 2$  で温度の変動はほとんど見られない. predetermined active control を行うと, コンター図より温度の低い白い領域が  $x/B=\pm 2$  付近に交互に現れていることが分かる.

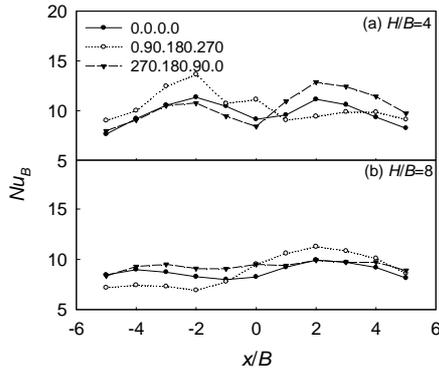


Fig.6 Effect of phase lag  $\phi$  under full excitation mode for  $St=0.67$  on the local  $Nu_B$  distributions.

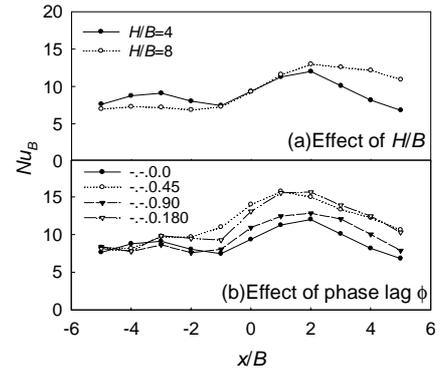


Fig.7 Effect of single-sided mode (right) for  $St=0.67$  on the local  $Nu_B$  distributions.

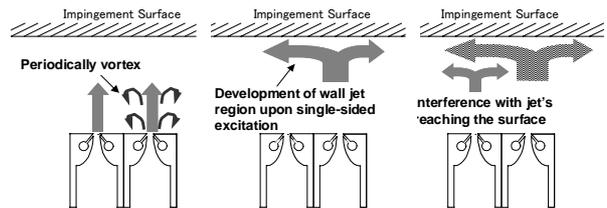


Fig.8 Schematic of flow diagrams under full excitation mode out of phase or right-side excitation mode for  $H/B=4$ ,  $St=0.67$ .

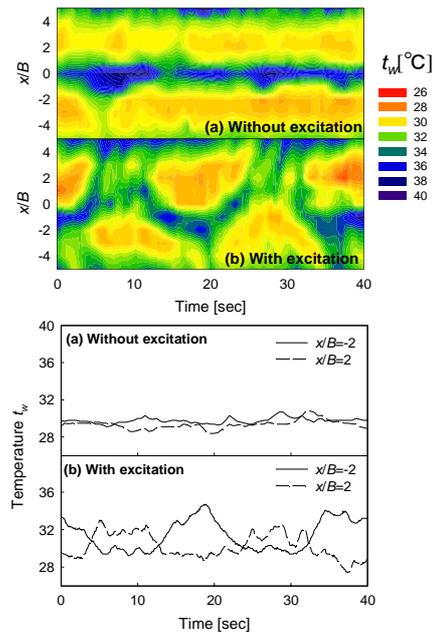


Fig.9 Predetermined active control by exciting the one-side jet alternatively at time interval 10sec; surface temperature contour maps and temperature variations at  $x/B=\pm 2$ .

#### 6. 結言

本研究の励起装置・方法は局所熱伝達の制御に有効であり, 特定のストローハル数  $St$  において励起パターンおよび位相差  $\phi$  を変化させることで時間平均的な熱伝達率分布形状を制御することができる. また比較的長い時間スケールでは局所熱伝達の時空間制御も可能であることが示された.

#### 参考文献

- [1] Martin, H., *Adv. Heat Transfer*, **13** (1977), 1.
- [2] Viskanta, R., *Exp. Thermal & Fluid Sci.*, **6** (1993), 111.
- [3] Gardon, R. & Akfirat, J., *Int. J. Heat & Mass Transfer*, **8** (1965), 1261.