

## 励起された平面衝突噴流の伝熱機構

### Heat Transfer of a Plane Impinging Jet Excited by Spanwise Periodic Disturbances

○三好 啓史 (筑波大工シ) 金子 順一 (筑波大基工) 正 榊原 潤 (筑波大機能工)

Yoshifumi Miyoshi\*, Junichi Kaneko\*\* and Jun Sakakibara\*\*\*

\*College of Engineering Systems, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8573, Japan

\*\*College of Engineering Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8573, Japan

\*\*\*Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8573, Japan

Wall temperature and velocity of a stagnation region of a plane impinging jet were measured by using thermochromic liquid crystal (TLC) and PIV. The plane jet was excited in time and space by adding suction/blowing type disturbances produced by servomotor-driven injectors. Surface temperature distribution showed unsteady streaks in parallel to a wall jet direction. The lowest spatial-averaged-wall temperature and vorticity intensity on the wall could be realized when the phase angle of the adjacent disturbance-wave train was  $\phi=\pi$ , in which chain-link-fence structures were expected to be formed in the free-jet region upstream of the stagnation region.

**Key Words:** Plane Impinging Jet, Heat Transfer, Thermochromic Liquid Crystal, Particle Image Velocimetry

#### 1. はじめに

平面衝突噴流よどみ域の壁面近傍では、衝突板にそった流れ方向に軸を持つ渦対がある発生間隔を保って発生・消滅する<sup>(1)</sup>。この渦対は壁面に形成される温度境界層の界面更新に寄与するため、よどみ点で高い平均熱伝達率が実現されることが知られている<sup>(2)</sup>。一方、平面衝突噴流の初期せん断層にスパン方向および時間方向に周期的な擾乱を与えることで励起状態の壁面近傍渦度強度が非励起状態の渦度強度を上回ることが報告されている<sup>(3)</sup>。そこで、本研究ではスパン方向および時間方向に周期的な擾乱を加えた平面衝突噴流よどみ域の熱伝達機構を調べ、伝熱制御の可能性を見いだすことを目的とする。

#### 2. 実験装置および実験方法

作動流体の水は回流水槽より整流部および矩形ノズル (幅  $B=30\text{mm}$ , スパン方向長さ  $L=300\text{mm}$ ) を経て、衝突板に衝突する。Fig.1 にノズル、衝突板の概観および座標系を示す。ノズル出口内側 (両側) には矩形スロット (断面  $4\text{mm}\times 1\text{mm}$ ) を  $5\text{mm}$  間隔で設け、矩形スロットはゴム製チューブ (内径  $2.5\text{mm}$ ) で注射筒に接続されている。注射筒は片側 8 個ずつあり、それぞれ独立のサーボモーターで駆動することで、矩形スロットからの吸い込み・吹き出しによる擾乱 (スパン方向波長  $\lambda=40\text{mm}$ ) を噴流の初期せん断層に与えられる。

衝突板は厚さ  $10\text{mm}$  のアクリル板に短冊状のステンレス箔 ( $40\text{mm}\times 200\text{mm}$ , 厚さ  $30\mu\text{m}$ ) を並べて貼り、直流通電加熱した。ステンレス箔には感温液晶 (日本カプセルプロダクツ社製, KW-2328) を塗布してあり、カラーフィルターを通して 3 台のモノクロ CCD カメラで衝突板の壁面 ( $X-Z$  平面) の色彩変化を観測し、壁面温度の測定を行った。感温液晶観測用の光源にはキセノンストロボライトを使用し、タイミングジェネレータを介して 3 台の CCD カメラと同期させた。

また、流動場はよどみ線上の計測面 ( $Y-Z$  平面) に YAG レーザーのレーザーシートを照射し、速度分布を PIV 法

により計測した。

噴流の水温を循環式クーラーにより  $T_0=22^\circ\text{C}$  に保ち、レイノルズ数を  $Re=2300$  (出口流速  $V_0=73.3\text{mm/s}$ ) とした。衝突板は  $H/B=6$  に固定し、一様熱流束  $q=1815\text{ W/m}^2$  とした。噴流の励起に際しては、スパン方向に連続した 4 個の矩形スロットを一単位とし、隣どうしの単位間の時間的位相差を  $\phi=0, \pi/2, 3\pi/4, \pi$  の 4 条件に変化させた。励起周波数  $f=1.10\text{Hz}$ , ストローハル数  $St=0.45$  とした。今回の実験ではノズルを挟んだ左右のせん断層間での位相差は 0 とした。

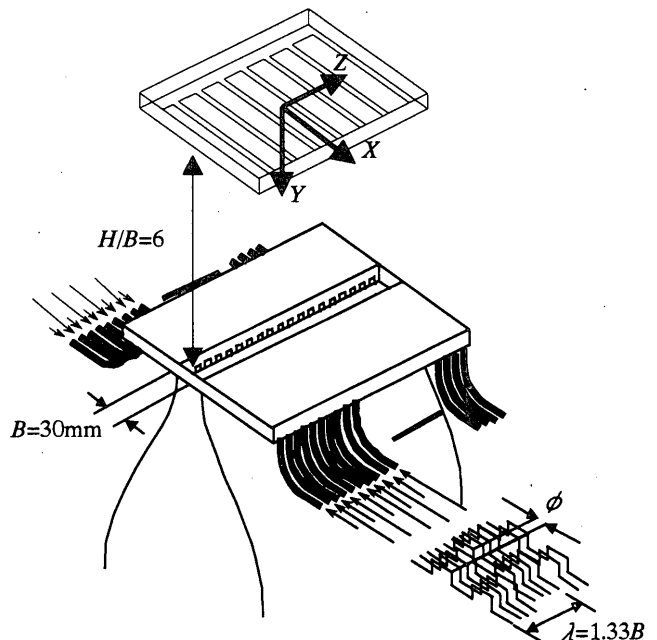


Fig.1 Arrangement of the nozzle and plate

#### 3. 実験結果および考察

非励起時および励起時それぞれの瞬時壁面温度分布を Fig.2 に示す。位相差  $\phi=\pi$  のみ温度スケールを  $22^\circ\text{C}$  から  $23^\circ\text{C}$  としてある。ストリーク状の低温部分がよどみ線を

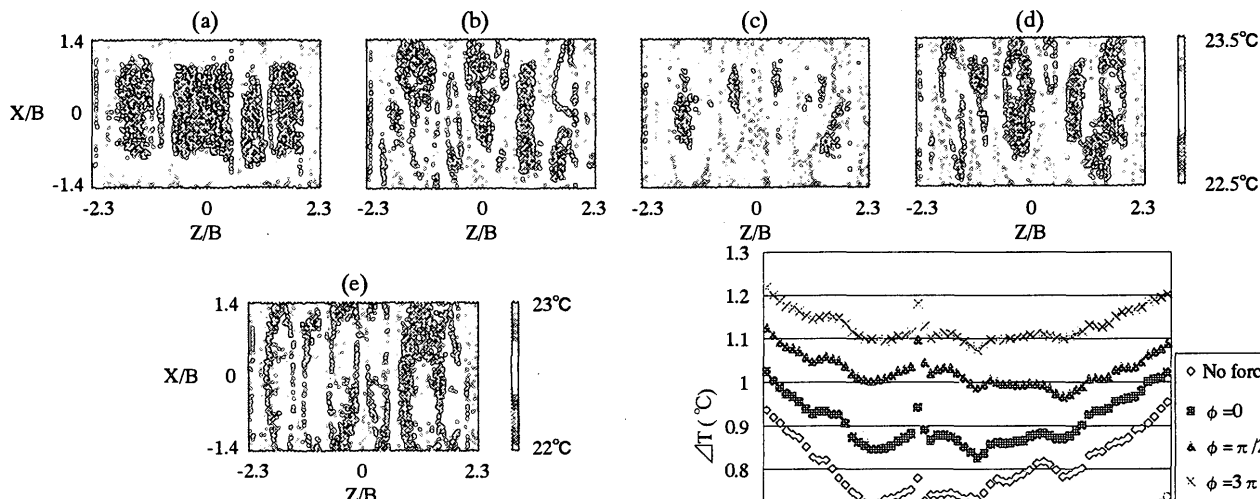


Fig.2 Wall temperature distributions of (a)No forcing, (b)  $\phi=0$ , (c)  $\phi=\pi/2$ , (d)  $\phi=3\pi/4$ , and (e)  $\phi=\pi$

挟んで  $X$  方向に伸び、 $Z$  方向には低温部と高温部が交互に繰り返されて存在している。これは渦対によるスイープ・イジェクション<sup>(2)</sup>に対応するものと予想される。ストリークは非励起時より励起時において明瞭に観察される。

Fig.3 に壁面温度をスパン方向に平均したものをプロットした。ここで  $\Delta T = T_w - T_o$ 、 $T_w$  は壁面温度である。いずれもよどみ線上  $X/B=0$  付近で極小値をとり、また、位相差  $\phi=\pi$  において最も低く、次いで非励起時のそれとなっている。

Fig.4 に平均速度の壁面垂直方向成分  $-V$  を示す。非励起時は噴流の広がりに伴う主流速度の減衰が小さいため、壁面速度勾配が大きい。Fig.2 において非励起時に比較的良好に壁面が冷却されているのはこのためと考えられる。励起時は噴流の広がりにより主流速度が非励起時より減衰するが、位相差  $\phi=\pi$  では Chain-link-fence 構造<sup>(4)</sup>により噴流の広がりが抑制されるため主流速度の減衰が小さい。

Fig.5 に渦度  $\omega_x$  の RMS 分布を示す。非励起時よりも励起時の方が渦度の極大値が大きい。特に、位相差  $\phi=\pi$  のとき衝突板に近づくにつれ急激に渦度が増大している。位相差  $\phi=\pi$  において壁面速度勾配が非励起時のそれよりも小さいにも関わらず、Fig.3 で非励起時より壁面がよく冷却されているのはこの渦度強度が大きいからと考えられる。位相差  $\phi=\pi$  で発生する Chain-link-fence 構造は噴流せん断層において高い  $|\omega_x|$  成分を有しており、これが壁面近傍に移流し  $X$  方向に伸張されることで壁面近傍の渦対の渦度が増大する。

4. 結論

平面衝突噴流の初期せん断層に擾乱を与え、衝突板位置  $H/B=6$  でよどみ域の壁面温度分布の可視化および、流動場の PIV 計測を行った。その結果、励起時位相差  $\phi=\pi$  では壁面速度勾配が非励起時のそれに比べて小さいにもかかわらず渦度強度が最も大きく、衝突面の冷却効果が最大となることが明らかとなった。ただし、冷却効果の大小は  $H/B$  の変化によっては逆転することもあるので、今後、

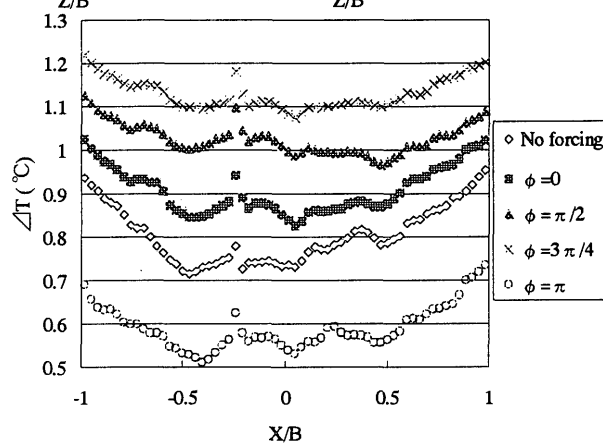


Fig.3 Profiles of temperature variation  $\Delta T$

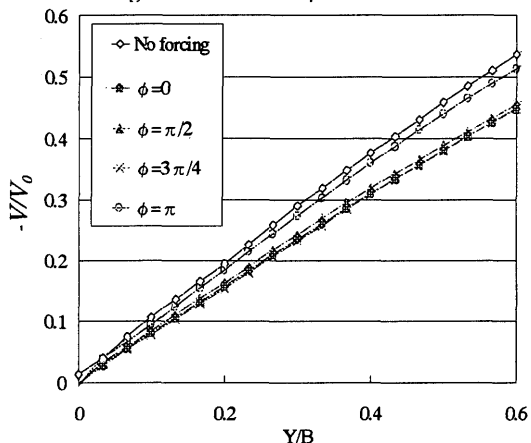


Fig.4 Profiles of mean velocity  $-V/V_0$  on the  $Y-Z$  plane

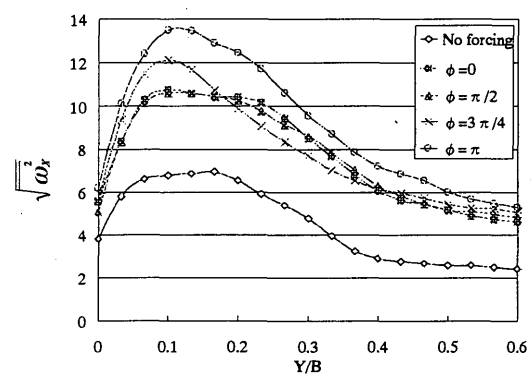


Fig.5 Profiles of RMS vorticity  $\sqrt{\omega_x^2}$  on the  $Y-Z$  plane

$H/B$  においても調べていく必要がある。

参考文献

- (1) 横堀他, 機論 (B 編), 49-441 (1983), 1029.
- (2) Sakakibara et al., *Int.J.Heat Mass Trans.*(1997), 40-13, 3163.
- (3) 安斎・榊原, 熱工学講演会論文集, 99-25 (1999), 101.
- (4) Sakakibara & Anzai, *Phys. Fluids*, 13-6 (2001), 1541.