G221

水平二重円管内自然対流の二次元振動流 (二色 L I F 法と P I V 法を用いた可視化同時計測)

Natural Convective Oscillatory Flow in a Horizontal Concentric Annulus (Simultaneous Measurement of Temperature and Velocity with Two-color LIF and PIV)

○ 高田 亮(同志社大) 新井 隆起(同志社大) 正 千田 衛(同志社大) 正 稲岡 恭二(同志社大)

R. Takata, R. Arai, M. Senda, and K. Inaoka

Department Mechanical Engineering, Doshisha University, 1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe, Kyoto

Simultaneous measurement of temperature and velocity has been carried out for natural convective oscillatory flow in a horizontal concentric annulus by using Two-color LIF and PIV. The outer and inner diameter ratio of the annulus was 2.0 and the Rayleigh number was 1.0×10^7 . A counter-rotating eddy comes into existence near the oscillatory buoyant plume and the heat transport mechanism has been discussed based on the characteristics of temperature and velocity fields.

Key Words: Natural convective oscillatory flow, Horizontal annulus, Two-color LIF, PIV, Simultaneous Measurement

1. 緒言

水平二重円管内の自然対流に関して, Powe ら⁽¹⁾は, 管径比によって流れが定常流から非定常流へ遷移するグラスホフ数が異なり, また非定常流には 3 つの流動パターン(二次元振動流, 三次元螺旋流, 二次元セル状流)が現れることを明らかにした.

本研究では, 二次元振動流^{(2), (3)}について, 2 色 LIF 法⁽⁴⁾と PIV 法を用いて速度と温度の可視化同時計測を行い, 非定常な熱流動場の構造を詳細に検討した.

2. 実験装置及び実験方法

テストセクションは, 直径比 $D_o/D_i=2.0$ ($D_o=160$ [mm], $D_i=80$ [mm]), 軸方向長さ $H=500$ [mm]の密閉二重円管である. 内管(銅)はその内面に取付けたラバーヒーターで加熱し, 外管(パイレックスガラス)は冷却ジャケットに水を流すことによって冷却する. 内管と外管の壁温は, 周方向に 4 箇所設置した K 型熱電対で測定した.

Fig.1 Schematic of the optical system

Fig.1 に光学系の概略図を示す. Ar レーザ光(波長 488[nm])をシリンダカルレンズで厚さ 2[mm]のシート状にして, 管軸に垂直な断面に照射する. 温度場の測定は蛍光をダイクロイックミラーで分光し, 光学フィルターを介して 2 台の CCD カメラ(14bit)で撮影する. また速度場の測定は, 粒子の散乱光を CCD カメラ(12bit)で同時に撮影する.

なお実験は Itoh ら⁽⁵⁾が提案した代表長さ L を用いたレイリー数: $Ra=1 \times 10^7$ で行った ($L=\sqrt{D_o D_i / 4 \ln(D_o / D_i)}$).

3. 計測原理

Sakakibara ら⁽⁴⁾は二種類の蛍光物質 Rh110, RhB(添え字 A, B)から放射される蛍光強度の比 v ,

$$v = I_B / I_A = C_B \Phi_B \epsilon_B / C_A \Phi_A \epsilon_A$$

から温度を計測した. ここで, 蛍光強度 I [W/m²], 濃度 C [Kg/m³], 量子収率 Φ [-], 吸光係数 ϵ [m²/Kg]であり, Φ のみが温度に依存する. 本研究では, 基準温度での Rh110, RhB の蛍光強度比 v' を用い, $\xi = v/v'$ から温度を求めた.

PIV 法には直接相互相関法⁽⁶⁾を用い, 検査領域を 32×32 [pixel]として速度を求めた.

4. 結果及び考察

4.1 校正実験結果

Fig.2 に校正実験結果を示す. 横軸が輝度比で, 縦軸が温度 [°C]である. 濃度は RhB を 0.2[mg/l], Rh110 を 0.04[mg/l]として実験した. 本実験における二色 LIF 法による温度場計測の精度は 95%信頼区間で ± 0.35 [°C]である

Fig.2 Calibration of Two-color LIF

4.2 熱電対による時系列温度計測結果

Fig.3 に外管内壁頂点に設置した熱電対(素線径 0.1[mm])で測定した時系列温度を示す. 本実験では約 50 秒の周期で温度が変動している. この周期を Bishop ら⁽³⁾が提案した無次元周期 N_Z で整理すると 4.18 となり, 彼らの結果(3.34)とほぼ合っている ($N_Z = \rho H_i D_i (D_o - D_i) / 4 \mu Z$, H_i : 振幅, Z : 周期).

Fig.3 Signal of Temperature

4.3 温度・速度同時計測結果

Fig.3の温度の時系列データに示した, (a)位相 0, (b) $\pi/2$, (c) π , (d) $3\pi/2$ における温度場と速度場の同時計測結果を Fig.4 に示す. 内管頂点を座標(x, y)の原点としている.

Fig.4(a)より, 内管壁面に沿って左右の温度境界層が発達し, 内管に沿った流れは内管頂部で剥離することが確認できる. この時, 内管頂部の温度が最も高くなる. 内管から外管に向けブルームが上昇して行き, 外管頂部に到達すると, 高温流体が外管壁面に沿って左右に移動している. またブルームの両側に互いに逆向きの循環流(渦)が現れている. この流れにより外管壁面に沿って冷却される流体が, 間隙部中央に巻き込まれ, 高温流体が輸送されている.

a) Phase 0

b) Phase $\pi/2$

c) Phase π

d) phase $3\pi/2$

Fig.4 Distribution of temperature and velocity

Fig.4(b),(d)に示したように, プルームが左右に振動するに伴い, 両側の循環流の大きさも変化する. Fig.4(d)にみられるように, プルームが傾いた側の循環流は間隙部でスケールが大きくなり, 循環の強さは小さくなっている. この循環流はその後, Fig.4(a)の $x=40$ [mm]あたりに存在している弱い循環流となり崩壊していくものと考えられる. このように流れが定常流から非定常流に移移すると, 振動するブルームと誘起された循環流によって熱輸送が促進される.

5. 結言

- 1) 温度場計測の精度は 95%信頼区間で ± 0.35 [°C]である.
- 2) 温度・速度可視化計測により, 内管に沿って温度境界層が形成され, 内管頂部で剥離したブルームは, 外管に向かい上昇する.
- 3) プルーム両側には互いに逆向きの循環流が形成され, 外管頂部で左右に分かれた外管に沿う高温流体が間隙部中央に向かい輸送されている.
- 4) 流れが定常流から非定常流に移移すると, 振動するブルームと誘起された循環流によって熱輸送が促進される.

参考文献

- (1) Powe et al, Journal of Heat Transfer, 91-3(1969), 310-314
- (2) Labonia and Guj, J.Fluid Mech, 375(1998), 179-202
- (3) Bishop et al, Int.J.Heat and Mass Transfer, 11(1968), 1741-1752
- (4) Sakakibara et al, Experiments in Fluids, 26(1999), 7-15
- (5) Itoh et al, Int.J.Heat and Mass Transfer, 113(1970), 1364-1368
- (6) PIV ハンドブック, 可視化情報学会編, 森北出版(2005)