B212

感温液晶を用いた乱流レーリーベナール対流の可視化と計測

藤澤 延行[○](新潟大学), 中嶋 徹(新潟大院)

Visualization and Measurement of Turbulent Rayleigh-Bernard Convection by Temperature Sensitive Liquid Crystals Nobuyuki FUJISAWA and Touru NAKAJIMA

ABSTRACT

The turbulence characteristics in the Rayleigh-Bernard convection of horizontal fluid layer are quantitatively evaluated using thermo-sensitive liquid crystal particles suspended in a fluid. The temperatures are evaluated from the color change of liquid crystal particles using HSI calibration technique and the velocities are evaluated from the PIV analysis of the intensity images. The results are shown by the distributions of temperature, the fluctuating temperature and velocities, which allow the evaluation of statistical properties in the Rayleigh-Bernard convection.

Keywords: Visualization, Measurement, Liquid crystal, Rayleigh-Bernard convection,

1. 緒 論

水平に置かれた流体層の下面を加熱し上面を冷却すると、浮力による不安定効果により流体層内に対流が発生する。レーリー数が十分大きい場合には、流れは乱流となり不規則性を伴う対流パターンが発生する。このような乱流の構造については、数値シミュレーションによる検討により、明らかにされつつあるが、依然として高レーリー数流れでは計算の困難さから不明の点が多く、また、実験的検証も望まれる。一方、このような流れ場の実験的解明には、温度変動、速度変動の同時計測が有効な手段を提供するが、過去の研究では速度場の計測のみが報告されることが多く、更なる実験的検討が必要である。

本研究では、感温液晶トレーサ法による温度速度の可視化にコンピュータ画像処理を適用することで^{1,2)}、乱流レーリーベナール対流の温度場、速度場の定量計測を実施することを目的とする。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

本実験に使用した実験装置測定部の概略を Fig.1 に示す。測定部は、水平断面 400mm x 400mm で高さ 80mm で、装置内には蒸留水が満たされている。測定部下面にはヒーターマットが、上部には水冷却用流路が設けられており、それぞれの壁温は一定温度 35℃、25℃ に設定した。なお、上側壁面の冷却には冷却水循環装置を用い、また、流路構造を 2 重とすることで、流路に沿う温度低下を極力小さくした。

2.2 感温液晶トレーサによる温度速度同時計測法

流体層内の温度場・速度場の測定は、感温液晶トレーサによる可視化と画像計測法を組み合わせることで行った。使用した液晶トレーサは、平均粒径 10 μ m 程度、比重 1.02、呈色温度範囲 30~32℃ のカイラルネマティック液晶である。この液晶を重量濃度で 0.004% 作動流体に加えた。

実験は、測定部中央の垂直断面をメタルハライドランプからのシート光で照明し、その可視化像を正面に置かれたカラー 3 CCD カメラ (768 x 492 ピクセル) で撮影した。このとき、125mm x 80mm の可視化画像が得られる。得られたカラー画像は、H S I カラーフォーマ

Fig. 1 Experimental Arrangement

ットに変換し、別途得られた温度校正曲線 ($H=f(T)$, $S=g(T)$, $I=h(T)$, T : 温度) を適用することで、温度画像を得た。ただし、校正曲線の当てはめには3次のスプラインを適用し、最小二乗近似によって各ピクセルにおける温度の算出を行う。一方、2枚の連続した輝度画像に対し、PIV解析を適用することで、可視化面内の速度場を計測した。ただし、データ処理には輝度差累積法にサブピクセル解析を加えた。ここに、相関領域は 31×31 ピクセルである。

3. 結果および考察

3.1 瞬時の温度・速度場の計測

Fig. 2 は、可視化画像の解析結果として求まる温度場、速度場の瞬時分布の一例である。ただし、レイリー数 $Ra(=g \beta \Delta T h^3 / \nu \kappa) = 1.1 \times 10^8$ である (g : 重力加速度, ΔT : 温度差 ($=10K$), h : 流体層厚さ ($=80mm$), β : 体膨張率, κ : 温度伝導度, ν : 動粘度)。本実験結果から分かるように、下面付近には高温プルームが、上面付近には低温プルームが形成され、これらは反対側壁面付近まで及ぶ。また、同時計測された速度場によると、いずれのプルーム周囲にもプルーム発生に伴う流体運動が認められ、層中央付近では強い3次元流れ場を形成することがわかる。このように、レイリーベナール対流は、2種のプルーム生成を伴う3次元的な組織構造を有するものであり、上下の固体壁付近で強い温度変動が生成されることを示唆する。

Fig.2 Instantaneous temperature and velocity distributions

3.2 温度変動・速度変動分布

Fig. 3 は、可視化画像を解析することで得られた温度変動の垂直方向分布である。ただし、温度変動 σ_θ は、温度スケール θ_* ($=Q/w_*$) で無次元化した (Q : 熱流束, w_* : 速度スケール ($\beta g Q h / 2$)^{1/3})。本実験結果によると、強い温度変動が上下壁面付近に認められるが、コア領域では一様な温度変動分布となることがわかる。同様に求めて速度変動分布の測定結果を Fig. 4 に示す。ただし、水平方向の速度変動を σ_u 垂直方向の速度変動を σ_w として示した。 σ_u は壁面付近に最大値を示すが、 σ_w はコア領域に最大値があり、壁面に接近するほど減少傾向にある。したがって、垂直方向の速度変動は、壁面によるダンピング効果の影響で抑制される。

終わりに、本研究は、科学研究費（基盤 C-2）の補助により行われたことを謝辞とする。

Fig. 3 Fluctuating temperature distribution

Fig. 4 Fluctuating velocity distributions

参考文献

- 1) N. FUJISAWA and R. J. ADRIAN, Three-dimensional Temperature Measurement in Turbulent Thermal Convection by Extended Range Scanning Liquid Crystal Thermometry, J. Visualization, Vol.1(1999), pp. 355-364.
- 2) S. FUNATANI and N. FUJISAWA, Simultaneous Measurement of Temperature and Three Velocity Components in Planar Cross-section by Liquid Crystal Thermometry Combined with Stereoscopic Particle Image Velocimetry, Measurement Science and Technology, Vol.13(2002), pp. 1197-1205.