14 二次元密閉空間内の感温液晶粒子による可視化実験

宇都宮大学工学部 秋山 光庸、浦井 勇[○]、杉山 均、池崎 昭

Visualization Experiments on the Natural Convection in A Square Cavity
by Liquid Crystal Capsules

M.Akiyama, I.Urai, H.Sugiyama and A.Ikezaki

Isotherms of the natural convection in a square cavity have been obtained via an image processing which captured by means of the liquid crystal capsule method. Also provided have been the results of the flow pattern plotted by pearl pigment particles. The results of isotherms and flow patterns have been compared with the solution for the same parameter with a simple Boussinesq approximation. The purpose of the present paper have been to confirm the thermal field visualization by the liquid crystal capsule method and to provide a guideline in developing a new computer program code for such a flow field experimented.

1. はじめに

スーパーコンピュータと数値解法の同時進展がきょう体内や室内の流動分布予測を可能にしつつある。数値解析は境界条件を変えるだけで、室内のみならず、建物周囲や物体周り流れなど広範囲に適用でき、かつ、流れの詳細を一挙に解析できる魅力的な長所を有している。ここで扱う正方形密閉空間内自然対流については古くから数値解析が数多くなされ、計算精度と計算コストの観点における、解析手法改善のベンチマークテストとして重要な地位を占めるに至っている。

しかしながら、流れ及び温度の初期及び境界条件や物性値の温度依存性などに関して、数値解析は、実際の場合を表現できるかと言う問題が、層流の場合に於てすら吟味すべきこととして残されている。ここに模型実験による数値解析の検討の必要性が考えられる。

本研究の特長は、次の通りである。(1) 今日までの研究では流体には主として空気や水が用いられて比較的熱物性の変化の小さいものが扱われていたが、ここではシリコン油を用いることにより温度依存性の効果を観察する。(2) 熱電対による壁温測定とあいまって、感温液晶粒子による液温分布の可視化を行なう。(3) 測定温度分布を画像処理し等温線を得る。(4) パール顔料混入による流動観察をする。(5) 数値解析との比較検討を行なう。

2. 実験装置及び方法

本実験装置は、二次元密閉空間内の上下壁を断熱とし、側壁に温度差が生じた場合の自然対流温度分布を検討したものである。Fig.1に供試空間を示す。寸法は50mm×50mm×480mmで、二次元性を保つために奥行き方向に断面一辺の9.6倍の長さが取られている。温度差

Department of Mechanical System Engineering, Utsunomiya University

2753 Ishii-cho, Utsunomiya City 321, Japan

を与える側壁は内側より、銅板、シースヒータ、アクリル板の三重構造になっており、自動温度調節器によりシースヒータの電源をON/OFFさせ設定温度に保つ。アクリル板の上下にはガラスウールを詰めて供試空間との温度差を無くしている。測定断面は中心部分であり、壁温測定のため、熱電対が上下壁には9点、側壁には各1点、計20点埋め込まれている。可視化に際しては、測定断面の下壁に5mm～10mmのスリットを設け、スライドプロジェクターを光源とした。

温度分布の可視化にはシリコンオイルに0.02%の感温液晶粒子、粒跡線の可視化にはパール顔料をそれぞれ混入して使用した。

Fig.1 Test section

Fig.2 Schematic diagram of image processing system

3. 画像処理

本実験では液晶の色を色分解光学フィルターで各成分に分解、計測し、それより温度を算出するRGB法を試みた。これは温度分布をパターンとしてとらえ、可視化された情報で定量的に計測できる点で有効な手段である。温度を換算する一次回帰式は、次のものを使用した。ここで、 $(R + G + B)$ は、フィルターをかけない輝度レベルであり照明の不均一を補正するものである。

$$T = \frac{a R}{(R + G + B)} + \frac{b G}{(R + G + B)} + \frac{c B}{(R + G + B)} + d \quad (1)$$

Fig.3に使用した画像処理システムを示す。各色の二次元輝度分布はCCDカメラから入力した後、画像処理装置内で $100 \times 100 \times 256$ 階調のデータに変換し(1)式に既知の温度と輝度を代入し係数を決定し温度分布を求める。

4. 結果と考察

実験は、 $Ra = 1.79 \times 10^5$ の条件で行なった。Fig.3に液晶による温度分布写真を、そのR(赤)G(緑)B(青)各成分をFig.4-(abc)にそれぞれ示す。Fig.5(abc)は、フィルターをかけない輝度分布(Fig.6)で補正したものである。これによってR,G,Bの各輝度成分が人の目に感ずる分布により近いものになっている。これらFig.5から求めた等温線をFig.7(a)に、ほぼ同条件の数値解析の結果をFig.7(b)に示す。中心付近の等温線が水平、平行になり、ほぼ一致しているが上下壁付近には違いがみられる。Fig.7(a)の温度分布は、上下壁が完

Fig.3 Photograph of liquid crystal

Fig.4 (a) Red intensity

Fig.4 (b) Green intensity

Fig.4 (c) Blue intensity

Fig.5 (a) Revised red intensity

Fig.5 (b) Revised green intensity

Fig.5 (c) Revised blue intensity

Fig.6 Intensity distribution

Fig.7 (a) Isotherms by RGB method

Fig.7 (b) Isotherms by calculation

Fig.8 (a) Path line by experiment

Fig.8 (b) Stream line by calculation

全伝熱の場合に近く、実験条件が満たされていないためと思われる。しかしながら求められた温度分布 (Fig.7(a)) は、壁付近を含め Fig.3 の写真とよく一致しており RGB 法は、断面全体が一挙に定量化できる方法として有効である。

次にパール顔料をトレーサとした粒跡写真を Fig.8(a) に、数値解析からの流線を Fig.8(b) に示す。渦が二つに分かれ形としては似かよっているが、渦の位置が、実験では左下と右上に分かれているのに対し、数値解析では、左上と右下に分かれている。この差の原因としては、シリコン油の物性値 (動粘度や密度) の熱依存性が大きいことが考えられる。

5. まとめ

シリコン油を流体とした二次元正方形と見なせる密閉空間内自然対流の実験を行ない、可視化画像処理技術と、実際現象を表現する数値解析モデルについて考察し次の結論を得た。

(1) 液晶粒子法により温度分布を可視化し、それを画像処理することによって等温度線を示した。またパール顔料に依って流動パターンを可視化した。

(2) 物性値一定、断熱上下壁の条件による数値解と比較して、温度分布及び流動パターンとも違いが観察された。これは、シリコン油の温度による物性値変化が大きいこと、及び意図的には断熱非加熱とした上下壁が、実際には壁面に沿って熱伝導があり、且つ不完全断熱であることに依る。

本研究を遂行するにあたり、御示唆、御援助を賜った日本原子力研究所、秋野詔夫氏、並びに功刀資彰氏に感謝致します。

参考文献

- (1) 秋野他、流れの可視化、VOL.3、p.40(1983)
- (2) 功刀他、機論(B)、VOL.53、p.241(1987)
- (3) 秋野他、流れの可視化、VOL.7、p.235(1987)