A501 感温液晶懸濁液による2熱源からの サーマルプルームの可視化

一宮 浩市 (山梨大工)

Visualization of Thermal Plumes from Two-heat Sources by Liquid Crystal Suspensions

Koichi Ichimiya

Yamanashi University, Takeda-4, Kofu, Yamanashi 400-8511

The flow and temperature visualization of thermal plumes from two-heat sources in a rectangular vessel was simultaneously performed by using liquid crystal suspensions. Two-heat sources (constant temperature) were set with 50 mm pitch on the bottom surface. Side walls were insulated thermally. Scattered light from the liquid crystal suspensions was transformed by using regression equation of relative brightness. The two dimensional behavior of the flow and the temperature distribution on the cross section were obtained by illuminating vertically and horizontally. Two thermal plumes were generated and moved vertically. They were distorted to the center and combined each other. Two large recirculation flows were constructed between side walls and thermal plumes. Additionally, high temperature layer was generated near the upper wall.

Key Words : Natural Convection, Thermal Plume, Thermosensitive Liquid Crystal, Thermal Stratification

1. 緒言

閉じられた空間内の自然対流の研究は、室内冷暖房の促進、電子機器の冷却等に関する基本特性を把握する上で重要である。さらに都市の温暖化（ヒートアイランド現象）を基礎的に検討する上でも有益である。Hillerら¹⁾は立方体中の自然対流について2つの相対する面に温度差を与え、その他の面は断熱としたときの実験および計算を行っている。Hamadyら²⁾は回転する密閉容器内の自然対流について上下面を加熱・冷却したときの実験を行っている。Bragaら³⁾は長方形密閉容器内の水の最大密度近くでの過渡的自然対流について左右壁に温度差を与え実験と計算の比較を行っている。著者ら⁴⁾は単一熱源からのサーマルプルームについて仕切り板を有する容器を使用して実験的に検討している。

本研究では直方体密閉容器内の2熱源から生じるプルームの発生段階から干渉するまでの温度分布や干渉特性、3次元性、さらにプルームが容器上面に衝突したときの挙動について定量的、定性的に評価検討を行った。

2. 実験装置および方法

実験装置の概要をFig.1に示す。実験装置は試験容器、恒温装置の流動装置、温度測定系から構成されている。試験容器は200×100×100[mm]の亚克力製直方体容器で実験装置の中央に設置された。下壁加熱部は幅10[mm]のアルミニウム製で奥行き全体に渡り、容器幅中央を境に50mm間隔で設置されている。加熱部内部は温水を循環させることにより等温を維持している。上壁は一様加熱としてサーマルプルームの衝突による熱伝達を評価した。側壁は断熱条件としている。

容器内の媒体はシリコン油で感温液晶粉末(RW30型、粒子径50~100 μ m)を0.02重量%の割合で混入させて感温液晶懸濁液とした。シリコン油と感温液晶粉末の比重はほとんど等しく、数時間程度は感温液晶粒子の浮遊が維持された。感温液晶懸濁液より発せられた色光を3台のCCDカメラで輝度分布としてとらえ、温度に変換する方法として相対輝度(R/S, G/S, B/S)(但し、S=R+G+B)による回帰式法を使用した。

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Color and temperature distributions for $Gr=1.69 \times 10^6$ Fig. 3 Color and temperature distributions for $Gr=9.18 \times 10^6$

実験条件としては、加熱面温度=24.5~63℃、初期温度=22~23℃、 $Gr=(0.5 \sim 9.8) \times 10^6$ である。

3. 実験結果および検討

Fig.2およびFig.3 にグラスホフ数 $Gr(=g\beta h^3(T_w-T_o)/\nu^2)$ の相違による、正面からのサーマルプルームの昇上状況を示す。各図において上図が色分布、下図が等温線である。 $Gr=1.69 \times 10^6$ (Fig.2), 9.18×10^6 (Fig.3) である。Fig.2 では加熱開始後 $t=1$ 分程度では高温熱源からほぼ垂直に2本のプルームが昇上しているが、 $t=1.5$ 分では中心側に湾曲しながら昇上している。昇上流を補うように中心付近、側壁付近から下降流が生じている。グラスホフ数が増大すると温度差の影響で昇上速度が増加し、 $t=0.5$ 分で明確な茸状プルームが中心線を対象に昇上する。 $t=1$ 分では、 $x=25 \text{ mm}$ 位で2本のプルームが合体

感温液晶懸濁液による2熱源からのサーマルブルームの可視化

Fig. 4 Color and temperature distributions at $Z=10 \text{ mm}$ for $\text{Gr}=9.7 \times 10^6$

Fig. 5 Color and temperature distribution at $Z=50 \text{ mm}$ for $\text{Gr}=9.7 \times 10^6$

Fig. 6 Color and temperature distribution at $Z=90 \text{ mm}$ for $\text{Gr}=9.7 \times 10^6$

Fig. 7 Nusselt number on upper wall ($Gr=9.1 \times 10^6$)

し、ほぼ1本のプルームとして上昇し、上壁付近に高温層が形成される。2本のプルーム間では双方の上昇流のため加速されて圧力が減少し、さらにプルームと側壁間の循環流のためプルームが中央に湾曲し、合体に至る。

Fig.4, Fig.5, Fig.6 に、 $Gr=9.7 \times 10^6$ に対する、容器の高さ方向の、それぞれ底面付近 ($z=10\text{mm}$)、中央付近 ($z=50\text{mm}$)、上面付近 ($z=90\text{mm}$) のプルームの断面挙動を示す。同時に等温線を示す。容器の底面付近 (Fig.4) では $t=1$ 分後、壁面温度はほとんど一定であるが、壁面付近の高温プルーム (青色) が幅方向に小間隔で現れ、中心側に移行している。その周囲で黄緑色が $y=70\text{mm}$ から $y=130\text{mm}$ まで及んでいる。 $t=4$ 分になると高温部領域 (青色) が拡大し、 $y=100\text{mm}$ を中心に紺色部が点在している。この状態では2プルームが合体している。温度にして 26°C を越えている。容器高さ方向の中央付近 (Fig.5) では、 $t=1.5$ 分後、高温の青色部が単発的に幅方向に現れ、間隔を狭めながら上昇する様子がうかがえる。容器の上面付近 (Fig.6) では、サーマルプルームが上壁面に衝突する直前の様子が現れている。 $y=100\text{mm}$ 付近を境に高温部が幅方向に伸張し、流動が y 方向に変化していることがわかる。このように容器断面内の流体の挙動が観察され、正面からの観察を考慮すると3次元の挙動がうかがえる。

Fig.7 に上面におけるヌセルト数 Nu の y 方向分布を示す。 Nu は中央部では低いが、 $t=20$ 分以上では上面上ほとんど変化ない。Fig.8 に平均ヌセルト数の時間的变化を示す。図によると時間に対し曲線的変化を示している。

Fig.8 Mean Nusselt number on upper wall ($Gr=9.1 \times 10^6$)

4. 結 論

直方体容器内の2熱源から生じるサーマルプルームの干渉、過度状態を感温液晶懸濁液を使用して可視化し検討した。さらに上面に感温液晶シートを接着しサーマルプルームが衝突したときの熱伝達を評価した。

参考文献

- 1) Hamady, F.J., Lloyd, J.R., Yang, K.T. and Yang, H.Q., "A Study of Natural Convection in a Rotating Enclosure", Journal of Heat Transfer, Vol.116 (1994), pp.136-143.
- 2) Hiller, W.J., Koch, S.T., Kowalewski, T.A. and Stella, F., "Onset of Natural Convection in a Cube", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.36, No.13 (1993), pp.3251-3263.
- 3) Braga, S.L., Viskanta, R., "Transient Natural Convection of Water Near its Density Extremum in a Rectangular Cavity", International Journal Of Heat and Mass Transfer, Vol.35, No.4 (1992), pp.861-874.
- 4) 一宮浩市、藁科博章, "仕切られた容器内で生じるサーマルプルームの感温液晶による可視化", 可視化情報三重講演会講演論文集, Vol.18, Suppl. No.2 (1998), pp.85-86.