B 2 1 6

加熱底面を有する閉空間自然対流場に関する実験的研究 —加熱底面に沿った境界層内の PIV 計測—

中田 亮生[○] (阪電通大), 幸長 弘晃 (阪電通大院), 平田 雄士 (阪電通大院)
添田 晴生 (阪電通大), 木村 一郎 (阪電通大), 大西 潤治 (阪電通大)

Experimental Study on Natural Convection in a Rectangular Enclosure with a Uniformly Heated Bottom Surface —PIV Measurement of Flow Distributions in Boundary Layer along Heated Bottom Surface—

Akinori NAKATA, Hiroaki YUKINAGA, Yuji HIRATA
Haruo SOEDA, Ichiro KIMURA and Junji ONISHI

ABSTRACT

Recently CFD simulations have been widely utilized for investigating indoor air environments. However, these quantitative observations are currently unsatisfactory, especially for natural convections in enclosures. By utilizing a scale model of a residential room equipped with a floor panel heating system, this study aims to provide detailed experimental data in order to verify observations made using CFD on natural convection. Here we present results of the PIV measurement in the boundary layer along the heated bottom surface of the test chamber. The test space was a rectangular enclosure filled with water. The bottom surface was uniformly heated and one of the vertical walls was cooled. The Rayleigh Number was kept at a constant value of 3.1×10^{10} . To make the flow near the wall more visible, fluorescent tracers were used. A thin punching plate was set along the measuring plane in order to measure the image distortions caused by the non-uniform temperature field. The distorted image data were used to correct velocity data, and thus more accurate velocity distribution was obtained.

Keywords: Natural convection, Boundary layer, PIV

1. はじめに

閉空間内における自然対流現象は、放射冷・暖房時の室内などの熱・気流環境形成において重要な現象であり、すでに多くの実験が報告され、数値計算の精度検証用データとして参照されている¹⁾。しかし、床暖房を備えた室内空間を想定した水平上向き加熱面を含む系に関する研究例は少なく、特に壁面近傍の詳細なデータについては不十分または精度の向上が望まれるのが現状である²⁾。

そこで本研究では、水を満たした模型室の底面を一様に加熱して自然対流場を実現し、その加熱底面近傍における境界層内の流れ場をPIVによって計測し、予測モデルの検証用データを提供することを目的とした。計測に際し、境界層内の温度勾配が画像の歪み(Distortion)という形で障害となる。そこで、模様の印刷された多孔プレート測定面に挿入して像の歪みを直接測定することによって位

置と速度の補正を行い、従来³⁾よりも信頼性の高いデータを得ることを試みたので報告する。

2. 実験の装置と方法

2.1 自然対流の実験装置

自然対流の実験装置をFig. 1に示す。対流の生じる模型室は水を満たした $400 \times 250 \times 400 \text{ mm}^3$ の直方体容器である。底面はバックライト(厚さ: 30mm)で、表面に厚さ $35 \mu\text{m}$ のステンレスヒーターを貼り付けている。側壁の1つは銅板(20mm)で、冷却水用の溝(断面: $38 \times 10 \text{ mm}^2$)が縦に5本加工されている。その他の側壁と上面は、断熱性の高いアクリルガラス(10mm)である。加熱・冷却面の温度計測のための熱電対を、ステンレスヒーター真下に16本、銅板中に12本挿入した。

625W(熱流束: 1 kW/m^2)の電力をヒーターへ投入し、 10.0°C の冷却水をクーリングポンプから銅板に流入し、安定した自然対流を維持するために24時間以上放置した。加熱・冷却

面の平均温度はそれぞれ 32.8℃と 11.8℃となった。このとき、密閉容器内の自然対流の特徴を表すレイリー数 Ra は 3.1×10^{10} となり、加熱・冷却面の温度差 (21℃) とともに床暖房を想定した一般住宅の一室と同等になる。

Fig. 1 Schematic of Test Chamber

2.2 PIVシステムと計測の方法

計測に使用した PIV システムは、ダブルパルス Nd-YAG レーザー、CCD カメラ、シンクロナイザー、パーソナルコンピュータから構成される。模型室中央の x - z 断面 ($y=125\text{mm}$) における加熱面近傍を計測するため、Fig. 2 に示すようにレーザーシートを照射した。

壁面近傍を効果的に可視化するため、トレーサとして蛍光粒子を用いた。励起波長は 542nm、発光波長は 612nm、粒子径は $3\mu\text{m}$ である。カメラ前方には、透過波長が 560nm 以上のカットフィルターを設置した。ダブルパルスレーザーの照射間隔は 6ms、平均化のために 1Hz のサンプリング周波数で 100 組の画像を撮影した。速度ベクトル解析には FFT 相関法を用いた。

Fig. 2 Layout of Measurement Instruments

3. 壁面近傍における粒子画像の歪み測定

加熱底面近傍では比較的大きな温度勾配があり、屈折率が様々ではない。そのため、撮影される粒子画像は歪み、計測精度が低下する。ここでは像の歪みの影響を補正するため、厚さ 1.5mm のプレートで「ディストーショングリッド」として利用した。プレートには直径 2mm の孔穴が 5mm 間隔で開けてあり、表面にはランダム模様を印刷してある。これを計測面に挿入した。面内には 2 次元性の強い流れが形成される³⁾ため、薄い板を挿入する程度なら、模型室全体の密度成層に大きな変化はないと判断した。

流れ計測の場合と同じ対流発生条件で、計測面に挿入したプレートの模様を撮影した。オリジナルの模様からの歪み (移動量) をベクトル表示した例を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 Result of Distortion Measurement

4. 実験結果

Fig. 3 に示す画像の歪みデータから、位置座標および速度校正値の補正量を算出した。それを適用して得られた速度ベクトル分布の一例を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 Flow Distributions near Heated Bottom Surface

5. おわりに

加熱底面を有する自然対流場の模型室を用いて、加熱底面近傍における境界層内の流れ場を PIV によって計測した。像の歪みを直接測定することによって位置と速度の補正を行い、従来よりも信頼性の高いデータを得た。

あとがき

去る 2006 年 6 月 16 日、ご病気のため享年 65 歳でご逝去されました大西潤治先生の生前のご指導に深く感謝し、ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) Tian Y.S. and Karayiannis T.G.: Low Turbulence Natural Convection in an Air Filled Square -Part 1: The Thermal and Fluid Flow Fields, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.43 (2000), pp.849-866.
- 2) Cooper P.: Air Movement and Stratification in Rooms with Localized Heating of a Wall or Floor, Proc. 5 th Int. Conf. on Air Distribution in Rooms, Vo.2 (1996), pp.373-380.
- 3) Nakata A., Onishi J. et al.: Study on Natural Convection in a Rectangular Enclosure with a Uniformly Heated Bottom Surface -Part 2: Measurement of Flow and Temperature Fields near Wall Regions, FLUCOME'03, (2003) in CD-Rom.