B131 音響定在波が重なる両端閉止ダクト内熱対流場の可視化計測

Visualization and Measurement of Thermal Convection Flow in a Closed Duct
Excited by Acoustic Standing Wave

○西野 憲二 (埼玉大院) 川橋 正昭 (埼玉大工)
平原 裕行 (埼玉大工) 國場 裕介 (九州大院)

Kenji NISHINO, Masaaki KAWAHASHI, Hiroyuki HIRAHARA, Yuusuke KUNIBA
Dept. of Mechanical Engineering, Saitama Univ., 255 Shimo-Okubo, Urawa, Saitama

Abstract

This paper describes an experimental investigation on unsteady thermal convection flow in a horizontal closed-duct combined with acoustic standing wave induced in the duct. As the amplitude of acoustic standing wave increases, steady circulating streaming caused by nonlinear effect of finite amplitude oscillatory flow appears within every $1/4$ wavelength section. It is called acoustic streaming. On the other hand, the thermal convection flow is characterized by Rayleigh number. In the range of high Rayleigh number, the convection current changes to unsteady and turbulent. When a strong acoustic standing wave is combined to the unsteady or turbulent convection flow, the flow pattern of the convection quickly changes to steady circulating flow similar to the acoustic streaming. PIV technique is applied to quantitative analyses of the resultant flow depending on mode of standing wave, sound pressure, and Rayleigh number. The results show that the resultant flow becomes unstable according to increase of Rayleigh number and at lower mode of oscillation.

Keywords: Acoustic Standing Wave, Acoustic Streaming, Natural Convection, Rayleigh Number

1. 緒言

閉管内気柱振動が共振状態に近づくと有限振幅定在波状態となり、それに伴って2次のオーダーの非線形現象が現れる。この非線形現象は、定常圧力分布、音響流、熱音響効果などである。近年、管内有限振幅波動現象における大振幅圧力変動や熱音響効果などを冷凍機冷媒圧縮機や冷凍機そのものに応用することが検討されており、改めてこれらの非線形現象の詳細な解析が求められている。

著者等は、管内有限振幅波動現象の応用の一つとして高 Ra 数下で水平閉管内に生じている非定常熱対流場に音響定在波を重ねて、対流場を制御することを試みてきた。その結果、非定常対流場に

音響定在波が重なると、急速に流れ場が変化し、音響流と同一形態の安定な循環定常流が生じることを可視化により明らかにするとともに、多重露光 PIV を適用した速度場計測により定量的解析が可能であることを示した⁽¹⁾。しかし、複合流の定量的解析は十分でなく、音圧、定在波モード、Ra 数などに依存して変化する流れ場における流速分布などは十分明らかにされていない。

本報告では、新たに濃度相関法に基づく PIV 法を用い、非定常対流場と音場との複合流について、音圧、定在波モード、及び Ra 数を変化させたときの定量的可視化解析を行った。その結果、音圧を下げると Ra 数の増加に伴い下降流が加熱面まで到達

せず、循環流が弱まる等の傾向が明らかになった。

2. 実験装置及び実験方法

本実験で用いた実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。気柱部は長さ 900mm, 幅 100mm, 高さ 25mm のものを用いた。ダクト側壁及び上壁の材質は、可視化を考慮して厚さ 10mm のフロートガラスとし、加熱面であるダクト下面には厚さ 10mm の銅板を用いた。駆動源としてダクトの一端にドライバユニットを設置し、ファンクションシンセサイザーにより高精度で共振点周波数に調整して駆動する。一方、閉端では圧力変換器により変動圧力が検出され、オシロスコープにより測定される。可視化では、4W アルゴンイオンレーザを用い、シート光によりダクト幅方向中心断面を照明し、ビデオカメラで撮影した。定量的可視化では $10\mu\text{m}$ のエクサンセルを浮遊させて画像記録し、PIV 法により速度回復を行った。

Fig.1

3. 実験結果及び考察

Fig. 2 にダクト 1 において、上下壁温度差 20K (Ra 数: 3.4×10^4) で生じている非定常対流場に、定在波が重なって生じている複合流について得られたベクトル線図を例として示す。図は、圧力振幅 1kPa、ダクト高さ $1/4$ 波長とがほぼ等しくなる 16 次モードの定在波が重なった場合の、約 $1/2$ 波長相当長さの領域についての結果である。この結果は、音響流と対流との強い結合を示しており、セル状の循環流が形成され、中心部はほぼ静止している。

Fig. 3 にダクト 1 において音圧一定のもとで生じ

る複合流の Ra 数による流れ場の変化を、ダクト中心高さ位置の y 方向速度分布で示す。この結果は、 Ra 数の増加に伴い、速度の最大値が増加するとともに、上昇流部および下降流部の幅が狭くなってセル状循環流構造になっていくことを示している。

Fig.2

Fig.3

4. 結言

(1) 複合流において、ダクト高さと波長の $1/4$ の比がほぼ 1 のときに対流と音響流の結合が強まり、その比が減少すると相対的に対流の影響が増加し、複合流が不安定になる傾向が現れる。

(2) Ra の増加は、上昇流の速度の最大値を増加させるが、下降流部の流速増加の割合が上昇流部に比べて小さく、循環流構造を崩す傾向をもたらす。

参考文献

- (1) Kawahashi, M., Tanahashi, M., Arakawa, M. and Hirahara, H., (1995) Visualization and Measurement of Acoustic Streaming Coupling with Natural Convection, A.S.M.E. FED-Vol.229, 281-300.