

粘性加熱を伴う併進振動平板間流れの解析

Stability of flow with viscous heating between parallel plates subject to a translational oscillatory boundary motion

○安部 良, 京大工, 京都市左京区吉田本町, E-mail: r.abe@nowake.kuaero.kyoto-u.ac.jp

永田 雅人, 京大工, 京都市左京区吉田本町, E-mail: nagata@nowake.kuaero.kyoto-u.ac.jp

Jonathan Wylie, 香港城市大, Kowloon Tong, Hong Kong, E-mail: wylie@math.cityu.edu.hk

Ryo Abe, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Masato Nagata, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Jonathan Wylie, City University of Hong Kong, Kowloon Tong, Hong Kong

We investigate the effect of viscous heating on the stability of flow between parallel plates subject to a translational oscillatory boundary motion. The linear stability analysis is performed by Floquet theory numerically. It is found that the basic state loses its stability to perturbations of longitudinal roll type and that synchronous solutions are expected to bifurcate from the critical point. We obtain nonlinear solutions of secondary state by direct numerical simulations.

1. はじめに

粘性加熱 (viscous heating) とは, 流体が流動するときに流体同士の摩擦によって自ら発熱する現象である。粘性係数の大きい流体では, この粘性加熱が流れの速度・温度分布に大きな影響を与えることから, 高分子加工やトライボロジーなどの分野への応用が考えられている。粘性加熱が流れの安定性に与える影響については数多くの研究がなされている。

本研究では, 粘性加熱が併進振動平板間流れの安定性に与える影響を調べるため, フロケ理論による線形安定性解析と直接数値シミュレーションによる非線形解析を行った。

2. モデル

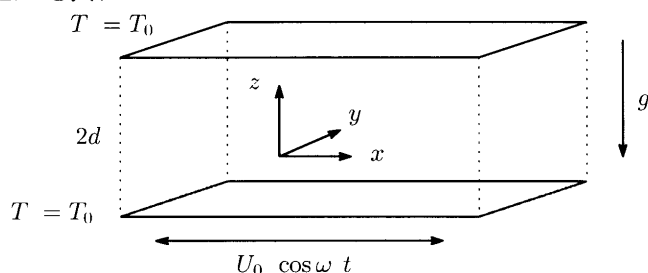


Fig. 1 The physical configuration.

Fig.1 のように, 間隔 $2d$ の二つの無限に広い水平平行平板の間に非圧縮性ニュートン流体を満たし, 下側の平板に水平方向に正弦振動 $U_0 \cos \omega t$ を与えることにより流れを駆動する。二つの平板の温度は共に $T = T_0$ に保たれている。また, 重力加速度を g とし, 重力は z 方向下向きに働いているとする。

3. 線形安定性解析

このシステムを支配する方程式は, 連続の式, 運動方程式, エネルギー方程式の3式である。鉛直方向に働く浮力の効果を表すために, プジネスク近似を用いる。流れを決定する無次元数をそれぞれ, レイノルズ数 $R = U_0 d / \nu$, $\omega = \omega / d^2$, プラントル数 $Pr = \nu / \kappa$, ブリンクマン数 $Br = g d / (c \rho \beta \Delta T)$ と定義する。ここで, ブリンクマン数 Br は, エネルギー方程式における拡散項に対する散逸項の大きさを表す。

併進振動平板間流れは, 粘性加熱を無視する場合 ($Br = 0$) にはあらゆる微小擾乱に対して線形安定であるのに対し, 粘性加熱を考慮する場合 ($Br \neq 0$) には線形不安定な領域が存在した。

$Pr = 0.1 \sim 1000$, $Br = 0.001 \sim 1000$ の範囲の Pr , Br について, ω を変化させながら安定性を調べたところ, 縦渦擾乱

($m = 0$, $n \neq 0$) が最も不安定となることが分かった。また, このときの中立状態でのフロケ乗数は $\mu_m = (+1, 0)$ であり, 分岐する解はすべて振動と同周期 (synchronous) の解であると予想できる。

Fig.2 に, $Br = 0.01$ の場合の様々な Pr に対する中立曲線 R_c と β_c を示す。

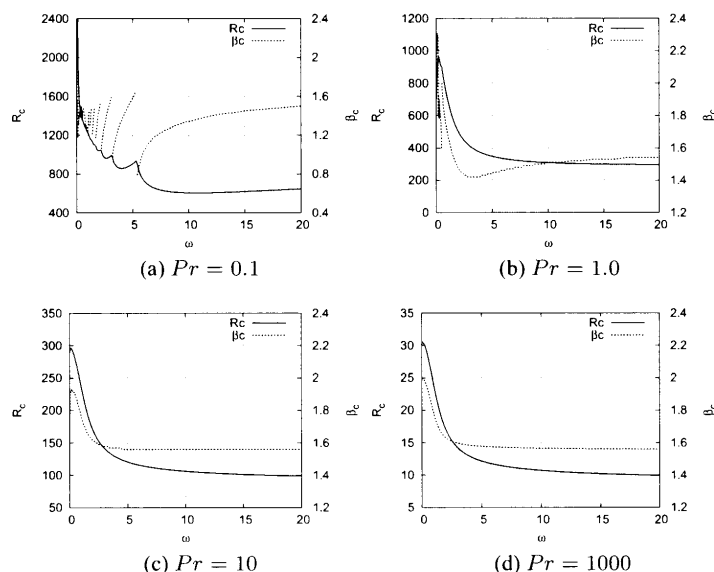


Fig. 2 The neutral curves for $Br = 0.01$.

4. 直接数値シミュレーション

Fig.3 に $Pr = 1000$, $Br = 0.01$ の場合の様々な ω に対する熱量輸送の分岐図を示す。線形安定性解析から予想される通り, $Pr = 1000$ における二次流れは同周期解であった。

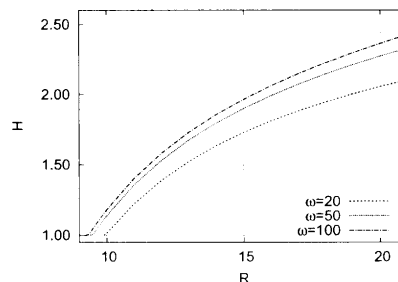


Fig. 3 The bifurcation curve for $Pr = 1000$, $Br = 0.01$.