

# 柔軟壁面の強制振動によるカオスの混合シミュレーション

## Chaotic flow in a forced oscillating flexible container

- 横山 真男, 東洋大, 埼玉県川越市鯨井 2100, a-a@cello-maker.com  
 望月 修, 東洋大, 埼玉県川越市鯨井 2100, mochizuki@toyonet.toyo.ac.jp:  
 Masao Yokoyama, Toyo University, Kujirai 2100 Kawagoe, Saitama  
 Osamu Mochizuki, Toyo University, Kujirai 2100 Kawagoe, Saitama

Flow patterns in a two-dimensional flexible container vibrated by a periodic force were investigated numerically for chaotic mixing of  $\mu$ -TAS (Total Analysis System). Several modes of vibration were tested for the chaotic flows induced inside the circle container. The synthetic forced vibrations of the rotation of node/antinode positions and the mode vibrations produced asymmetric flows and chaos. The largest Lyapunov exponent indicating degree of chaos became high near the wall and it increased with an increase in frequency ratio of rotation to mode vibration. We proposed the method of effective mixing in the micro container according to our simulation results.

### 1. はじめに

柔軟な壁面をもつ二次元円形容器に振動を与えた場合にどのような流れ場が容器内に誘起されるのかを検証した。多様な非線形振動パターンを柔軟容器に与えその内部流動の特徴を把握し、その応用として粘性流体の流れ場のカオス性に着目した試料の混合問題に適用した。カオス的かどうかの判定手法として、容器内部にパーティクルを置いてその軌跡を追跡し得られた軌跡をポアンカレプロットとリアプノフ指数を用いて評価した。その評価結果より、柔軟に変形する円形容器を振動させることで内部にカオス的な流れが誘起され、微量の試料の混合（攪拌）に活用できることを示す。

### 2. シミュレーション結果

弾性壁面をもつ柔軟な円柱形容器に、壁面の各点を法線方向に周期  $T_V$  で単振動する mode vibration とさらにその振動位置を時計回り(周期  $T_R$ )に回転を重ね合わせた synthetic vibration を与えた。Fig.1 に mode vibration と synthetic vibration の場合の円柱の変形と内部流れ場の一例 (Mode4) を示す。mode vibration では振動の腹にあたる凸に変形している箇所では法線方向内外に向かって周期的に流れ、容器中央を中心としたサドル流れとなる。一方 synthetic vibration では右回りの振動位置の回転により、振動の腹においてさらに右方向に軸がずれた流れになっている。これにより壁周辺では mode vibration の流れとは異なり円周方向の流れが生じることにより、パーティクルを置くと円内を回転して移動していく。

Fig.2 は synthetic vibration により小円の液滴が混合される様子をシミュレーションした例で、初期位置  $(x/R, y/R) = (0, 0.2), (0, 0.5), (0, 0.8)$  に微小半径  $0.05R$  の小円領域の液滴（試料）が時間と共に変形していく様子を周期  $2T_V$  ごとにプロットしたものである。小円の領域はパーティクルの集合で表現しておりパーティクルの初期間隔は  $0.01R$  である。図より、法線方向の振動に加え右回りの回転を与えているために、右回りに円内を回転移動しながら初期の小円から崩れ各パーティクルが離れていくように変形する。回転によりパーティクルの位置は離れていき、特に壁の近くでは試料はより拡散して混ざりやすかった。

Fig.3 は円内の領域を最大リアプノフ指数の値で色分けした図である。円内の各位置を出発したパーティクルが 10 周期経ったときに最大リアプノフ指数がいくらになったかを示しており、空間的なカオスの度合いの分布を示す。緑の領域(薄いグレー)は最大リアプノフ指数が 0 を示しその位置に置かれたパーティクルはカオス的な移動ではないことを意味する。黄色から赤い領域(濃いグレー)は最大リアプノフ指数が正であることを示し、カオス的に拡散している位置を示している。a) の mode vibration ではほぼ全

域で緑でありモード振動のみでは攪拌が起きにくいことがわかる。回転を加えていき垂直方向の振動に対して回転振動数の比が 0.5 になった c) のあたりから壁面周辺のリアプノフ指数が高くなる傾向が見られた。回転が加わりその回転周波数の比率が、振動周波数に比べて高くなるにつれて攪拌に効果的であることが分かった。

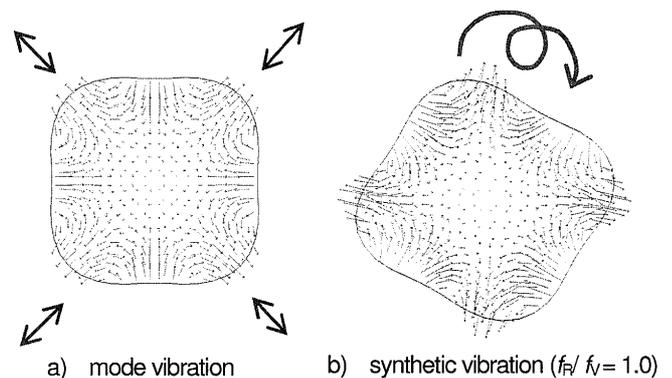


Fig. 1 柔軟に変形する容器内部の混合 a)モード振動と b)合成振動(モード振動+回転), モード 4, 振幅  $A=0.1R$

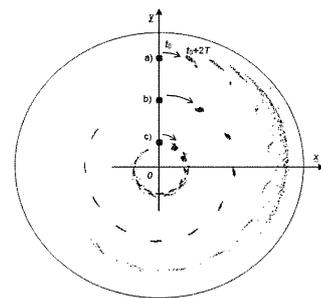


Fig. 2 synthetic vibration による小領域の液体の攪拌 初期位置 a)  $y/R=0.2$ , b)  $0.5$ , c)  $0.8$ , mode 3,  $2T_V$  間隔でプロット

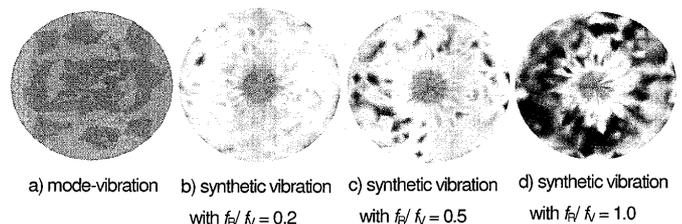


Fig. 3 最大リアプノフ指数の分布 (mode 3,  $10T_V$ )