

音場浮遊法を用いた非接触流体マニピュレーション

Contactless liquid manipulation using acoustic levitation

中 瑞希¹⁾

指導教員 長谷川 浩司²⁾

1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 混相流工学研究室

2) 工学院大学 工学部 機械工学科 混相流工学研究室

キーワード：音場浮遊, 液滴, 安定性, フェーズドアレイ

1. 緒言

音場浮遊法は任意の空間内に音響定在波を形成することで物質を空中で非接触保持することのできる技術の1つである。^[1,2]この手法は容器壁に起因する不均一核生成および汚染を防ぐことに加え、物体の制御および搬送・合体などの無容器プロセスングとして応用が期待されている。

現在、フェーズドアレイによる物体の浮遊位置の制御は可能になりつつある^[1]。一方で、液滴など流体の制御において、液滴における界面変形や流動など超音波に起因する並進運動^[3]やアスペクト比の変化など動的挙動が存在する。これらの現象は液滴の制御時における空中保持や搬送時において液滴の落下に繋がる要因となり得るため、安定浮遊条件の解明は本技術を実用化する上で必要不可欠である。

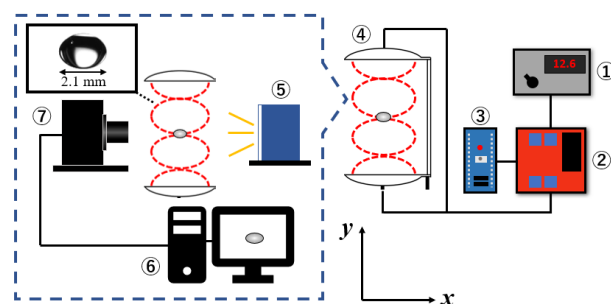
本研究では対面型フェーズドアレイを用いて液滴制御を阻害する動的挙動を実験的に解明し、浮遊液滴の制御を行うことを目的とした。本報では制御時における浮遊液滴の動的挙動を実験的に観察し、定量的に評価および検討した結果を報告する。

2. 実験装置概要および実験方法

Fig.1に本研究で用いた実験装置の全体概要図および浮遊液滴の動的挙動の可視化観測体系を示す。

まず、変圧器によって供給電圧を変化させ、マイコンおよびドライバーから正弦波信号を対面する複数の超音波振動子に入力する。両面のフェーズ

ドアレイに設置された複数の振動子から超音波が発生することで、音響定在波による音圧が形成される。その節付近にシリンジによって試験流体を注入することで試験空間中に浮遊・保持する。液滴の制御時においてはマイコンにおける端子配列を変更することで、予め作成した3パターンの位相差のある正弦波信号を規則的に生成させ、音響定在波の焦点位置の制御を行うことが可能となる。焦点位置に追従する形での液滴の移動制御を行う。試験流体にはシリコンオイルを使用した。浮遊させたシリコンオイル液滴の動的挙動は高速度カメラを用いてバックライト法により撮影し、得られた画像群をコンピュータ上でMATLABを用いて画像処理を行った。本研究では超音波振動子への入力周波数を40.0 [kHz]とし、入力電圧は7.0 [V]~12.6 [V]の範囲で変化させ、実験を行った。



- | | |
|---|-------------------------|
| ① | AC adapter |
| ② | Driver controller |
| ③ | Micro computer |
| ④ | Test section |
| ⑤ | LED light |
| ⑥ | Computer |
| ⑦ | High-speed video camera |

Fig.1 Schematic of experimental setup.

3. 実験結果および考察

3.1 シリコンオイルの安定浮遊領域

Fig.2 にシリコンオイルの安定浮遊領域を示す. 図中の横軸は液滴径, 縦軸は入力電圧を示している. また, 図中のプロットで浮遊液滴の安定状態(●), 浮遊液滴の微粒化(○)を示す. Fig.1 より, 液滴径が 1.7~2.1 [mm], 入力電圧が 11.0 [V]の条件で液滴の安定浮遊が確認された.

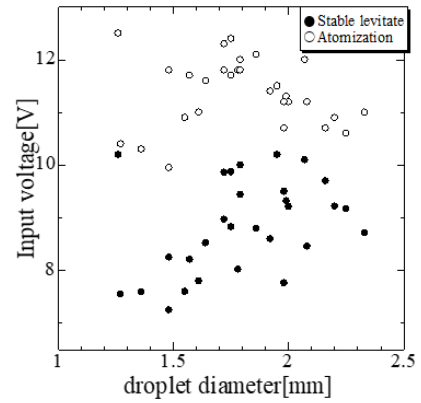


Fig.2 Levitation conditions of droplet.

3.2 時間ごとにおける液滴の移動軌跡と扁平率変化

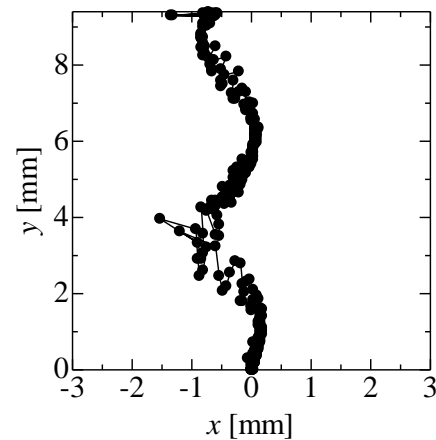
Fig.3(a)に 0~3.0 [s]間における液滴の移動軌跡, Fig.3(b)に移動時の液滴画像を示す. Fig.3(a)の図中における横軸は x 方向, 縦軸は y 方向の液滴の重心位置の移動軌跡を示している. 図より, 液滴の制御時において, y 方向に移動するに伴い, 縦方向への並進挙動を伴いながら移動の様子が確認された. また, x 方向に対しても並進しながら上昇する様子が確認された. これは液滴の制御時の音圧形成位置の移動において, 液滴に働く復元力や超音波を起因とした界面変形による保持位置の不安定化が影響していると推測される. また, Fig.3(b)における液滴の挙動から, 液滴は周期性を伴いながら上昇の様子が確認された. 焦点位置の移動時のプログラムに依存したシステムの要因と推測される. Fig.3(c)に 0~3.0 [s]における液滴のアスペクト比の変化を示す. 横軸は経過時間, 縦軸にアスペクト比を示している. アスペクト比は扁平時の液滴の長軸 b , 短軸 a としたとき, 式(1)で定義した.

$$AR = \frac{b}{a} \quad (1)$$

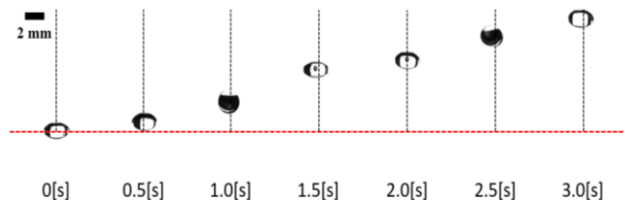
図よりアスペクト比の時間変化が確認された. これは, 液滴の制御は音響定在波によって生成される音波の焦点位置を移動させて行う際に, 焦点位置の移動速度が液滴の移動速度に対して速く, 液滴が周囲音場の影響を受けた結果, 浮遊液滴のアスペクト比に変化が生じたものと推測される.

参考文献

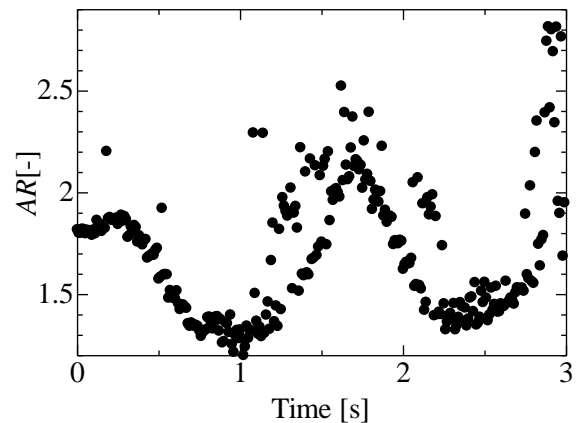
- [1] Watanabe, A. et al., *Sci. Rep.*, 8(1), 10221 (2018).
- [2] Foresti, D. et al., *PNAS*, 110(31), 12549 (2013).
- [3] Hasegawa, K. et al., *AIP Adv.*, 9(3), 035313 (2019).



(a) Movement trajectory of levitated droplet.



(b) Snapshot of droplet transportation.



(c) Time series of aspect ratio of droplet.

Fig.3 Levitation characteristic of droplet.