

音場浮遊液滴の微粒化の可視化計測

Visualization measurement of atomization of acoustically levitated droplet

青木皓平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

音場浮遊法は、無容器処理によって容器壁による不均一核生成および汚染を防止することができるため、材料処理、生物学および医学の分野で幅広い用途を有する。しかしながら、浮遊液滴には界面変形や微粒化などの動的挙動が生じる。その非線形かつ動的な現象が障壁となり、安定制御条件が解明されたとは言い難い。本研究の目的は、浮遊液滴の浮遊安定性を向上させることである。本研究では、表面張力の異なる液滴の微粒化および凝集過程を高速度カメラで観察した。表面張力が異なることにより、微粒化形態が異なることを確認したので、その結果を報告する。

キーワード：音場浮遊、液滴、界面不安定性、微粒化、凝集

1. 緒言

音場浮遊法はホーン - リフレクタ間に音響定在波を形成することにより、液滴を非接触保持することのできる技術の一つである。^[1,2]この浮遊法は、無容器処理によって容器壁による不均一核生成および汚染を防ぎ、過冷却状態を可能にする無容器プロセッシングとしての応用が期待されている。しかしながら、液滴には音響放射圧と液滴自身の自重とのつり合いで浮遊することが起因して、界面変形や液滴の内外部流動などの非線形挙動の複雑さゆえに、安定制御条件が実験的に解明されたとは言い難い。

本研究では音場浮遊液滴に生じる微粒化および凝集過程を解明し、浮遊安定性を向上させることを目的としている。

2. 実験装置および実験方法

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可視化観測体系を示す。まず関数発生器から発生する正弦波信号を増幅器、電力計を介して超音波振動子へ入力する。振動子に接合されているホーンより超音波が発生し、上部に設置されているリフレクタによって反射されることで、ホーン - リフレクタ間に音響定在波を形成さ

せる。その節付近にシリングによって試験流体を注入することで保持する。浮遊させた液滴の動的挙動は高速度カメラを用い、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にて処理した。また、液滴が浮遊している際に、テスト部内の音圧を短時間に上昇させ、液滴界面に生じる音響放射圧を増加させることで液滴を微粒化させた。

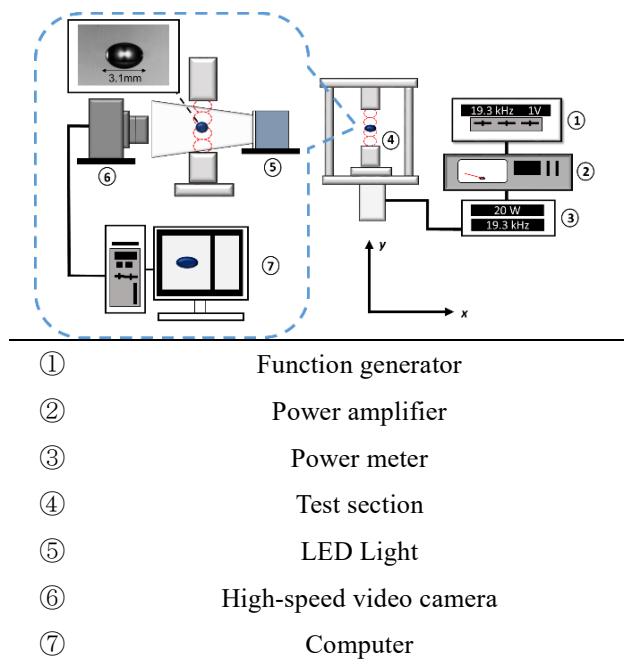


Fig. 1 Schematic of experimental setup

3. 実験結果および考察

3.1 浮遊液滴の微粒化過程

Fig.2 に水、エタノールの微粒化過程を可視化観測した結果を示す。まず、いずれの液滴も初期形状から界面変形をし始め、水平方向に広がりアスペクト比が上昇していく。その後、液滴は界面が突出していき($t=1 \text{ ms}$)やがて微粒化に至った($t=0 \text{ ms}$)。エタノール液滴では他の液滴に比べ、微粒化粒子が細粒化していることが確認された。これはエタノール液滴が他の液滴に比べ、表面張力が低いことが起因していると考えられる。これより、流体物性の異なることにより液滴の微粒化過程に変化が見られることを確認した。

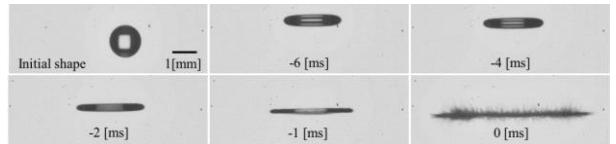
3.2 浮遊液滴の凝集過程

Fig.3 に示すように、微粒化により飛散した液滴が音響定在波の節付近に凝集することが確認された。これは音場による復元力に起因して液滴が中心に引き寄せられたことにより、液滴同士が合体し凝集したのだと考えられる。

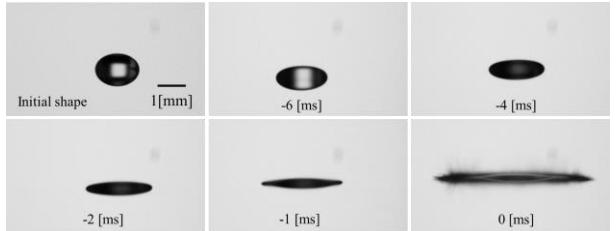
微粒化前の初期液滴と微粒化した後の液滴の体積の比較を、式(1)を用いて捕集比率として算出を行った。その結果を Fig.4 に示す。

$$CE = (d/d_0)^3 \quad (1)$$

ここで、 d は微粒化後の液滴径、 d_0 は初期液滴径である。水(R36,R ∞)、エタノール(R36)では、 d_0 の増加に伴い捕集率は減少傾向を示すことが確認された。これは、液滴は音響放射圧と試料自身のつり合いにより浮遊していることから、小液滴の方が音場内に留まりやすいことが起因していると考えられる。このことから微粒化形態が捕集率に影響を及ぼすことが示唆された。また、リフレクタの形状が捕集率に影響を及ぼすことが確認された。これは、R ∞ では R36 と比較して並進運動を誘発する攪乱力が大きく、R36 ではその力が小さために並進運動の発生が抑制されていることが捕集率に影響を及ぼしていると考えられる。



(a) Water ($d=1.5 \text{ [mm]}$, $\Delta P=0.57 \text{ [kPa]}$)



(b) Ethanol ($d=1.5 \text{ [mm]}$, $\Delta P=1.58 \text{ [kPa]}$)

Fig.2 Effect of liquid properties on atomization of droplets

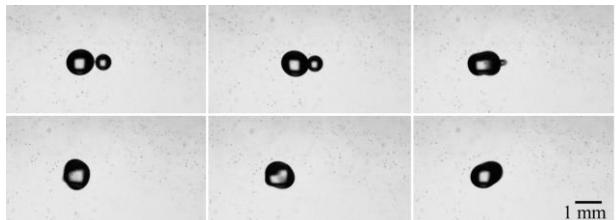


Fig.3 Aggregation process of water droplets

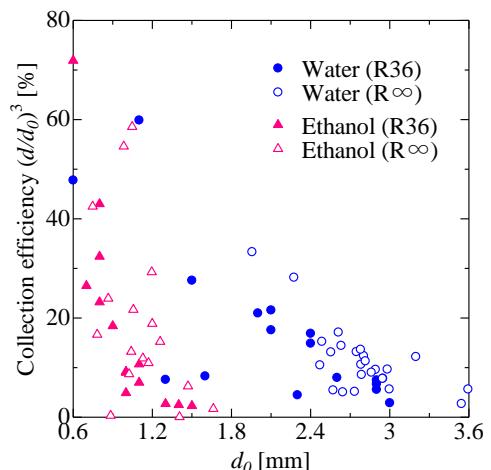


Fig.4 Collection efficiency of droplets after aggregation

参考文献

- [1] Foresti, D., et al., PNAS, Vol. 110, No. 31, 12549-12554 (2013).
- [2] Yarin, A.L., et al., J. Fluid Mech., Vol. 356, 65-91(1998).