

音場浮遊液滴に生じる微粒化挙動および凝集挙動の実験的検討

Experimental investigation of atomization and aggregation behavior in acoustically levitated droplet

新村勇氣¹⁾, 青木皓平²⁾

指導教員 長谷川浩司²⁾

研究協力者 阿部豊³⁾

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

3)筑波大学大学院 システム情報工学研究科

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、液滴を浮遊することが可能な非接触技術の1つである^[1,2]。この浮遊法は材料創製分野などで、不均一核生成を防ぎ、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^[3]。しかしながら、液滴には音響放射圧と液滴自身の自重のつり合いにより浮遊することが起因して、界面変形や微粒化などの動的挙動が確認されており、無容器プロセスに影響を及ぼすことが懸念されている^[1,2]。

本研究では音場浮遊液滴に生じる微粒化挙動および凝集挙動のメカニズムを実験的に解明し、浮遊安定性を向上することを目的としている。本報では浮遊流体の流体物性である表面張力および粘性に着目し、それらが微粒化挙動や凝集挙動に及ぼす影響を実験的に検討、評価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。まず関数発振器にて発振された正弦波信号を超音波振動子に入力する。超音波振動子に接続された下部ホーンから超音波を発信し、リフレクタで反射させることによりホーン-リフレクタ間に

音響定在波を形成する。液滴はシリングにて注入し定在波の節付近に浮遊する。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を行い、得られた画像群をコンピュータにて処理を行った。また、液滴が浮遊している際に、テスト部内の音圧を上昇させることにより液滴を微粒化させた。本報では表面張力および粘性が浮遊液滴の界面変形および微粒化挙動に影響を及ぼす影響に着目し、試験流体には純水に加え、密度は同程度で表面張力と粘性の異なるエタノールとグリセリンを用いた。

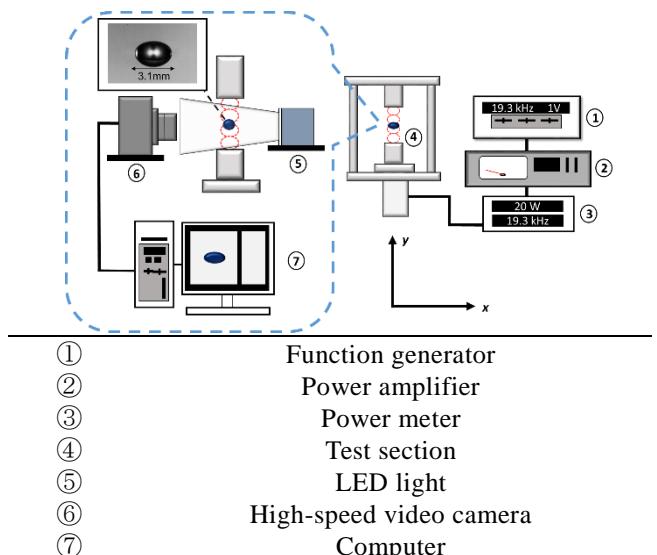


Fig.1 Schematic of experimental setup.

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、グリセリンの微粒化過程の可視化観測結果を示す。まず、いずれの液滴も初期形状から界面変形をし始め($t = -5$ ms), 水平方向に広がりアスペクト比が上昇していく($t = -3$ ms)。その後、液滴赤道面から界面が突出していく($t = -1$ ms), やがて微粒化に至った($t = 0$ ms)。エタノール液滴では他の液滴に比べ、微粒化径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。一方で、グリセリン液滴では液滴全体が微粒化せずに膜状となり、突出した界面で局所的な微粒化が起こるなど、微粒化形態に相違が見られた。この影響に関しては、グリセリンの粘性が非常に高いことが原因として挙げられる。これらの現象から流体物性の相違により微粒化過程に変化が見られる結果となった。

3.2 浮遊液滴の凝集過程

Fig.2 に示すように、液滴は微粒化後に一部の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。微粒化後に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小液滴が合体していき、再度 1 つの小さい液滴を形成し再浮遊した。飛散した液滴が凝集しきる時間は Fig.2 に示すように水液滴が 187 ms、エタノール液滴は 126 ms、グリセリン液滴は 230 ms であった。また、微粒化前の初期液滴と微粒化して凝集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 Table 1 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。水液滴の捕集比率は 18 %、エタノール液滴では 28 %、グリセリン液滴では 19 % となった。凝集後の液滴径の大きさは、浮遊させた初期液滴径および音圧の上昇幅の相違により変化する考えられるため、今後は微粒化後の凝集過程を系統的に評価していく必要がある。

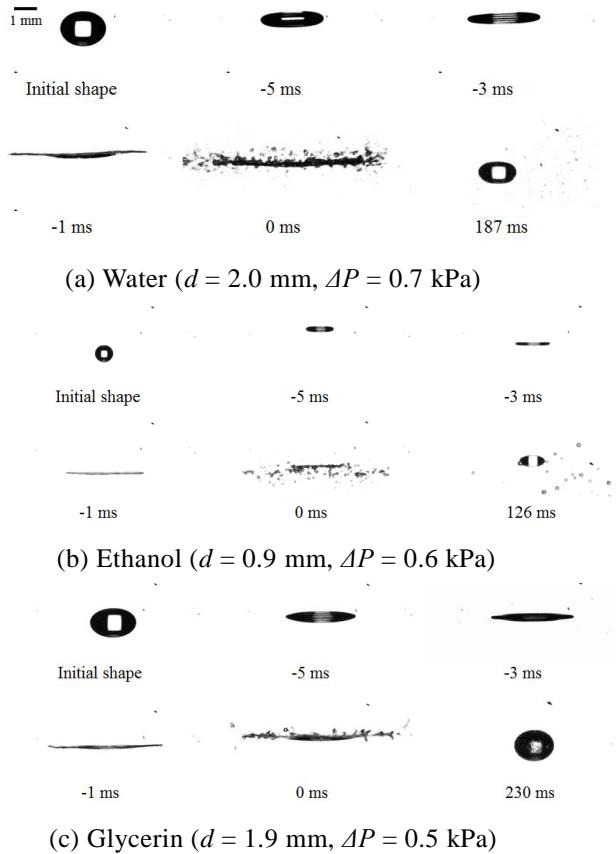


Fig.2 Effect of liquid properties on atomization process of droplets.

Table 1 Droplet size before and after the atomization.

Droplet	Diameter [μm]		Droplet collection efficiency [%]
	Before	After	
Water	2.0	1.2	18
Ethanol	0.9	0.7	28
Glycerin	1.9	1.1	19

参考文献

- [1] Yarin, A. L., et al., *Int. J. Multiphase flow*, Vol.28, 887–910 (2002).
- [2] Foresti, D., et al., *PNAS*, Vol.110 (31), 12549-12554 (2013).
- [3] Xie, J. W., et al., *Int. J. Phys. Rev. E*, vol.66, 061601 (2002).