



対向型収束超音波を用いた浮遊液滴の微粒化メカニズム

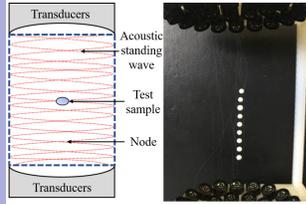
○中 瑞希¹, 長谷川 浩司²

¹工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

²工学院大学 工学部 機械工学科

研究背景

音場浮遊法の概要

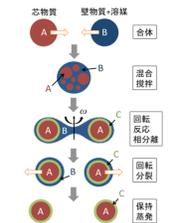


音場浮遊法

任意の空間内に音響定在波を発生させ、音圧分布を形成させる

試料は定在波の節付近で浮遊可能

音場浮遊法の応用例



非接触状態での試料(液体・固体)の移動制御、混合等を行うことを目的とし、バイオ・分析化学・創薬への応用が期待されており、音場内での高精度な液滴制御が求められる。

音場浮遊液滴に生じる非線形ダイナミクス

動的挙動

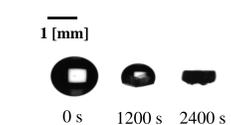
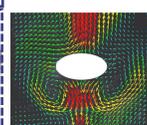
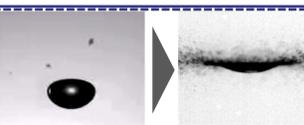
界面変形・微粒化挙動
並進運動・回転

音響流

液滴内外部流動

熱・物質輸送

蒸発・凝固



高精度な一連の非接触制御に向けて、これらの現象の発生機構や相互作用を理解する必要があるものの、実験的知見が乏しく、安定制御条件が未解明。

研究目的

課題

音場浮遊液滴の高精度な非接触制御に向け、浮遊安定性を向上する必要があるものの、液滴に生じる界面変形や微粒化挙動の発生条件が未解明である。

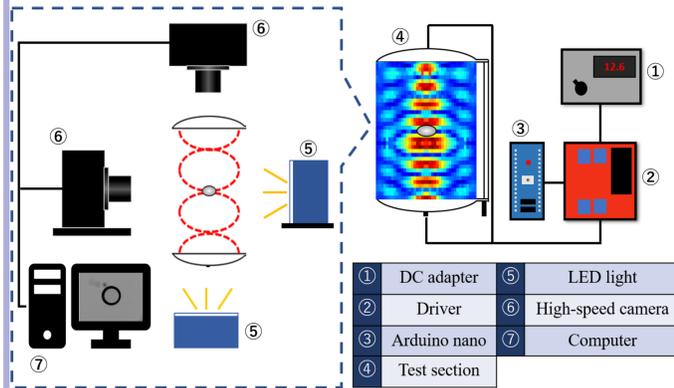
目的

音場浮遊液滴に生じる界面変形や微粒化の不安定挙動を解明し、非接触流体制御の安定性向上の実現

アプローチ

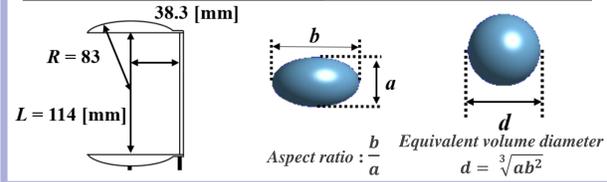
- ✓ 浮遊液滴の微粒化挙動の詳細可視化観測
- ✓ 微粒化径分布の測定
- ✓ 不安定性理論(KH不安定性)との理論比較

実験装置



実験条件

Number of transducers	72
Distance of transducers L [mm]	114
Input frequency [kHz]	40
Wave length λ [mm]	8.65
Initial droplet diameter [mm]	1.2 - 2.3
Initial aspect ratio [-]	3.0
Temperature[°C]	25 ± 3
Humidity [%]	50 ± 5



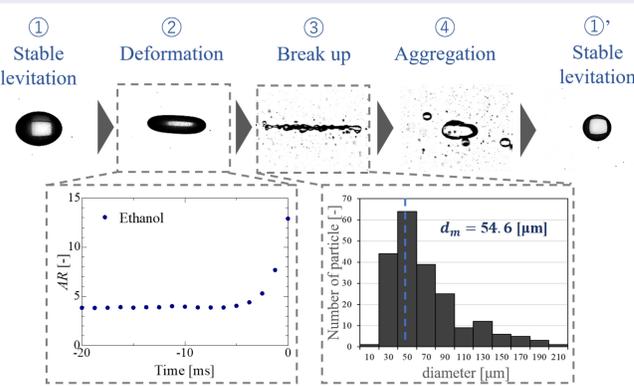
浮遊試料の物性値 (25°C)

Sample	Density [kg/m ³]	Surface tension [mN/m]	Viscosity [mPa·s]
Ethanol	785	22	1.1
Ethanol(50wt%)	914	29.7	2.4
Silicone oil(10 cSt)	935	21.3	10.0

Ref.) 機械学会編, 流体の熱物性値集 (1983)

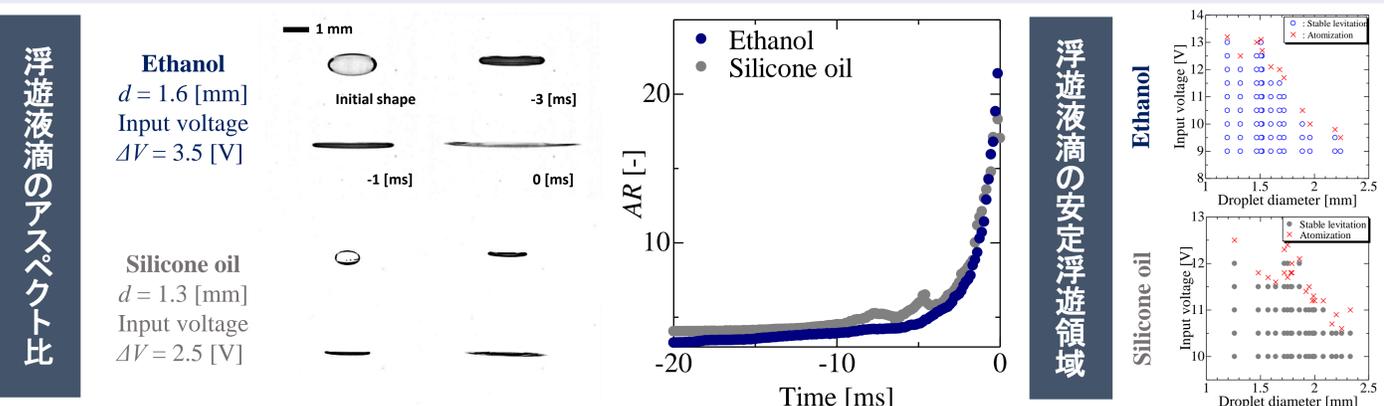
実験結果および考察

微粒化プロセス



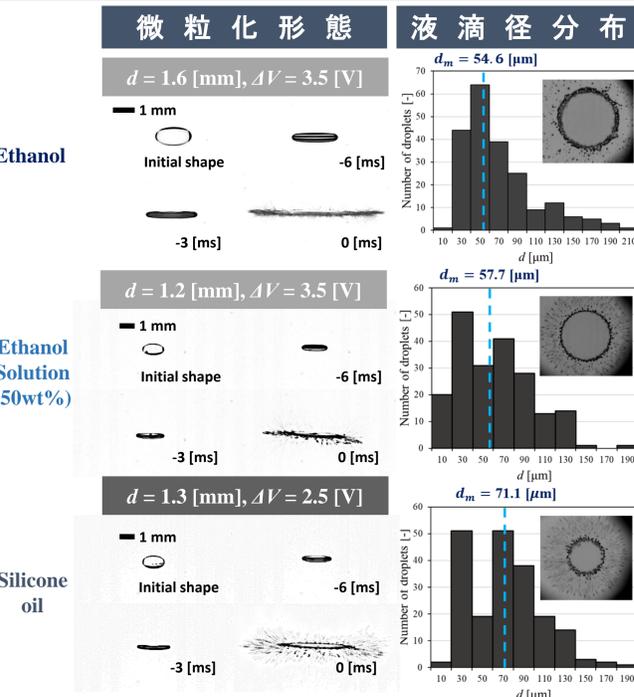
液滴は球状で浮遊し、音圧の上昇とともに扁平形状に変化した後、微粒化に至る。微粒化後に音場を起因とする復元力により液滴が凝集し、小液滴の合体を経て、再度1つの液滴を形成・浮遊する。

流体物性が微粒化形態に及ぼす影響



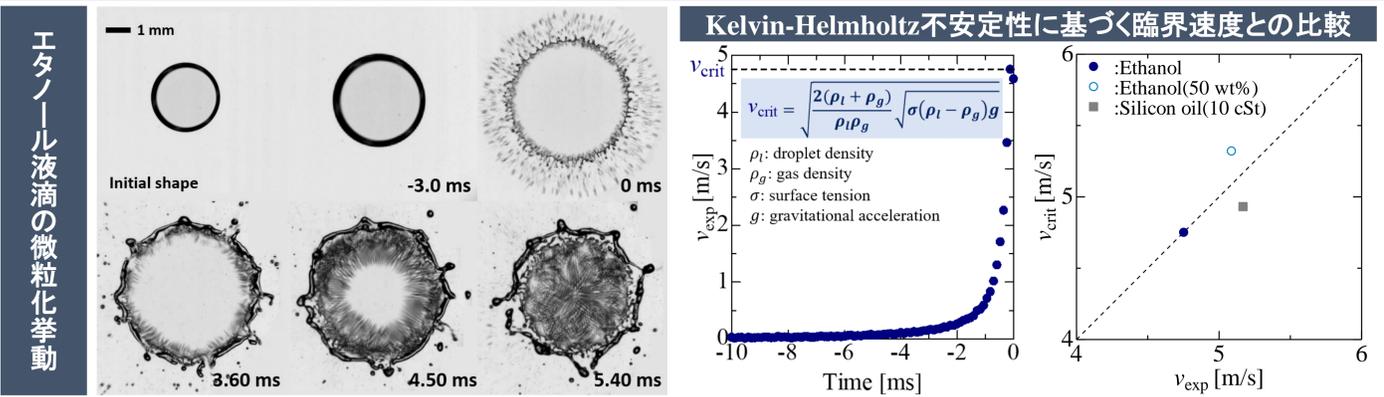
- ◆ 印可音圧の上昇後、液滴は水平方向に拡大(アスペクト比ARが上昇)した後、赤道面で界面が突出し($t=-1$ [ms]), 非線形的な界面変形を伴い、微粒化に至った($t=0$ [ms])。
- ◆ 印可音圧の上昇および液滴径の増加に伴い、液滴は微粒化(界面不安定化)する傾向が確認された。
- ◆ 流体物性が音場浮遊液滴の浮遊領域に影響を及ぼすことが確認された。

各液滴の微粒化形態



- ◆ 流体物性が音場浮遊液滴の微粒化形態に影響を及ぼすことを確認した。
- ◆ 全ての液滴で幅広い液滴径分布が確認された。

界面拡大速度の可視化観測結果と理論の比較



- ◆ 微粒化メカニズムに明らかにするために、液滴上部から微粒化過程を観測した。
- ◆ 微粒化直前($-1 \leq t \leq 0$ [ms]), 液滴赤道面における界面の成長速度は急激に増加した。
- ◆ 各液滴の微粒化直前の界面速度は、Kelvin-Helmholtz不安定に基づく臨界速度と良好な一致を確認した。

まとめ

- ◆ 流体物性が音場浮遊液滴の浮遊領域および微粒化後の液滴径分布に影響を及ぼすことを確認した。
- ◆ 微粒化直前($-1 \leq t \leq 0$ [ms]), 液滴赤道面における界面の成長速度は急激に増加した。
- ◆ 微粒化直前の界面速度とKelvin-Helmholtz不安定に基づく臨界速度を比較した結果、両者の良好な一致を確認でき、浮遊液滴の微粒化条件の予測可能性が示唆された。