

浮遊液滴への角運動量付与技術の開発

SATテクノロジー・ショーケース2026

■ はじめに

本実験で用いる音場浮遊法は、地上重力環境下において無容器状態を実現させる手法の一つであり、超音波の圧力を利用して物体を空中浮遊させる。小型の超音波振動子をアレイ状に配置した超音波フェーズドアレイでは、各振動子から出力する超音波の位相を適切に制御することで、浮遊液滴の三次元的な輸送や、複数液滴の合体・混合などが実現される^[1]。また、液滴の混合に関しては、超音波の振幅変調を用いて液滴界面にモード振動を誘起することで、流動を促進する手法が知られている^[2]。

このような無容器状態での非接触流体制御は、コンタミネーションや不均質核生成などといった、容器壁面に起因する問題を抑制できる利点を持つことから、材料分野や分析化学分野等への応用が期待されている。一方で、本技術の実用化に向けては、液滴混合の効果や効率といった観点で課題が残されている。

そこで本研究では、液滴混合力のさらなる向上を目的とし、液滴への振動誘起と回転付与を組み合わせた新たな混合手法を提案する。浮遊液滴への角運動量付与を実現する超音波フェーズドアレイの開発を行い、動作検証を行った。液滴の変形や内部流動に着目した可視化計測を実施し、振動誘起と回転付与が液滴浮遊挙動に及ぼす影響を調査した。

■ 活動内容

1. 浮遊液滴への角運動量付与システムの開発

図1エラー! 参照元が見つかりません。に本実験で用いた実験装置および計測体系の概略図を示す。浮遊装置は対向型に配置した計72個の小型超音波振動子と音響場制御回路で構成される。各振動子から周波数40kHzの超音波を出力することで、テスト部内に音響定在波を形成し、液滴の浮遊を実現させる。また、回転方向の位相差を有する信号を各振動子に入力し、テスト部内にボルテックスビームを形成することで、液滴への角運動量付与を行う。これら2つの異なる音響場を高速で切り替えることにより、液滴浮遊を維持しながら回転を付与し、なおかつ振幅変調時と同様のモード振動を液滴界面に発現させる。

2. 液滴内部流動の可視化計測

計測体系について述べる。液滴赤道面に水平にシート状レーザーを照射し、液滴内部に分散させたトレーサー粒子の散乱光を上部に設置したハイスピードカメラで撮影す

る。取得した画像群に対してPIV処理を施すことで、液滴水平断面内の2次元流動場を算出した。

図2に、浮遊液滴のPIV解析結果を示す。液滴は浮遊初期において球形で剛体的に回転し、その後、液滴界面に振動モードが発現した。さらに、時間の経過に伴い回転と界面振動が組み合わさり、複雑な形状変化を伴った。PIV計測により得られたベクトル場より、回転による流速分布の形成や、変形による局所的な渦の発生が確認される。これにより、液滴内部での流動場が促進されると推察され、液滴内部混合への寄与が示唆された。

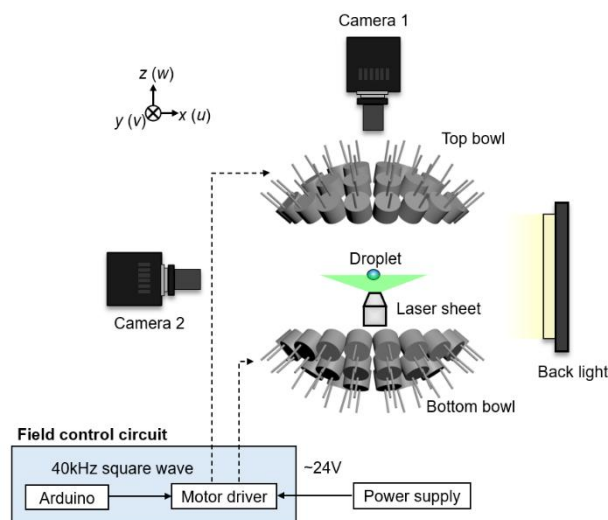


図1 実験装置および計測体系

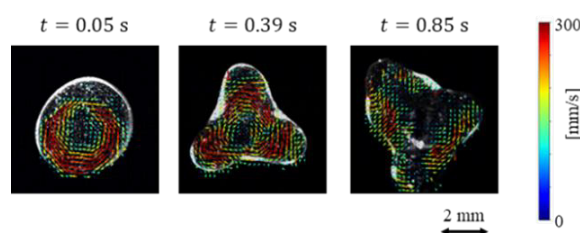


図2 回転・変形時の赤道面内部流動

■ 参考文献

- [1] B. Andrade *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 89, 125105 (2018)
- [2] A. Watanabe *et al.*, Sci. Rep., 8, 10221 (2018)

代表発表者 金子 暁子(かねこ あきこ)

所属 筑波大学システム情報系
構造エネルギー工学域

問合せ先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
TEL: 029-853-5113
kaneko@kz.tsukuba.ac.jp

■キーワード: (1) 超音波浮遊
(2) 液滴
(3) 角運動量

■共同研究者: 岡野敬大(筑波大院)
伏見龍樹(筑波大)
Asier Marzo (Public University of Navarra)