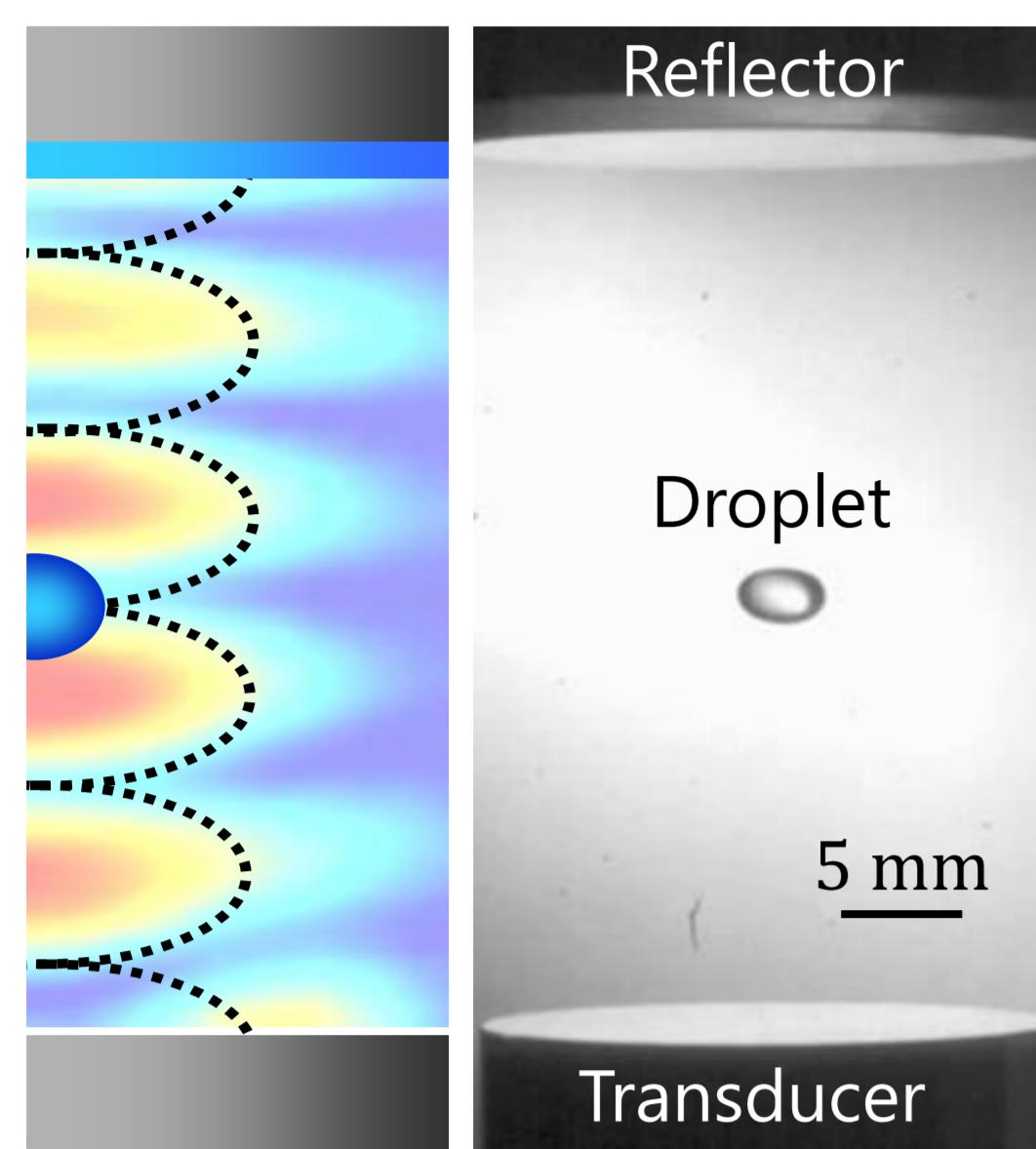


浮遊液滴への角運動量付与技術の開発

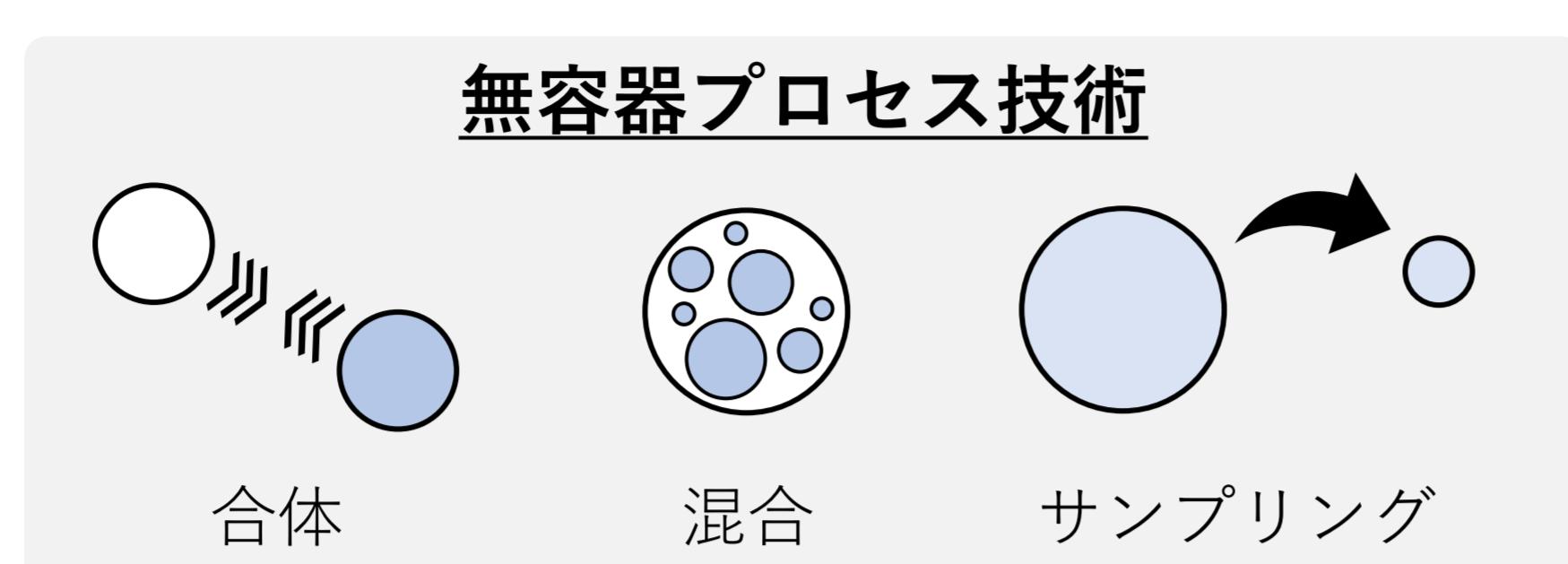
○岡野 敬大¹, 金子 晴子², 伏見 龍樹², Asier Marzo³¹筑波大院 ²筑波大 ³Public University of Navarra筑波大学
University of Tsukuba

研究背景

- ◆ 音場浮遊法：音響定在波を形成し、放射圧力による浮遊を実現する技術



無容器プロセスの実現に向けて、
液滴の混合性能向上が要求される



非接触による流体操作が可能
>> 接触壁に起因する問題を回避

- ✓ 不均質核生成
- ✓ 壁面からの不純物混入 …etc.

→ 液滴への角運動量付与を活用した
新たな混合手法を提案

目的とアプローチ

- 浮遊液滴に対する角運動量付与システムの開発
- 浮遊安定性と付与可能な角運動量の検証
- 液滴内部流動の可視化計測

液滴に対する角運動量付与が浮遊挙動および内部混合に及ぼす影響を検証する

結言

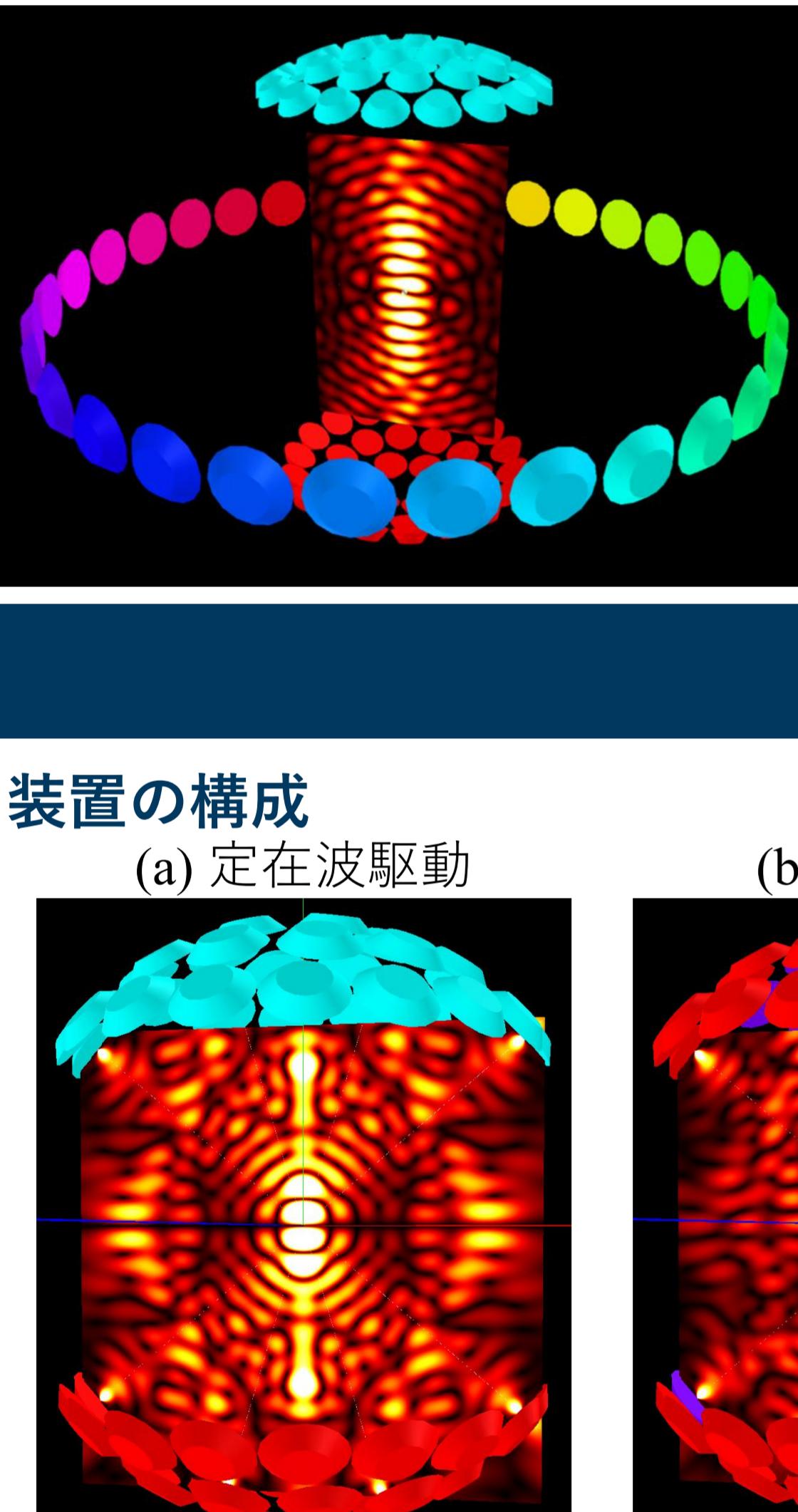
- ✓ 超音波フェーズドアレイを活用した二通りの角運動量付与システムを開発した。
- ✓ 両装置について固体粒子での動作検証を行い、浮遊を維持した状態で数千rpm程度の回転を誘起可能であること、入力電圧や音響場のスイッチング周波数に依存して付与角運動量が変化することを確認した。
- ✓ スイッチング音響場に浮遊する液滴の界面では、超音波の振幅変調に起因する界面振動の発現を確認した。
- ✓ 液滴内部では液滴の変形に伴う複雑な流動場が形成されており、液滴混合プロセスへの応用可能性が示唆された。

装置① 浮遊装置と角運動量付与装置の同時駆動

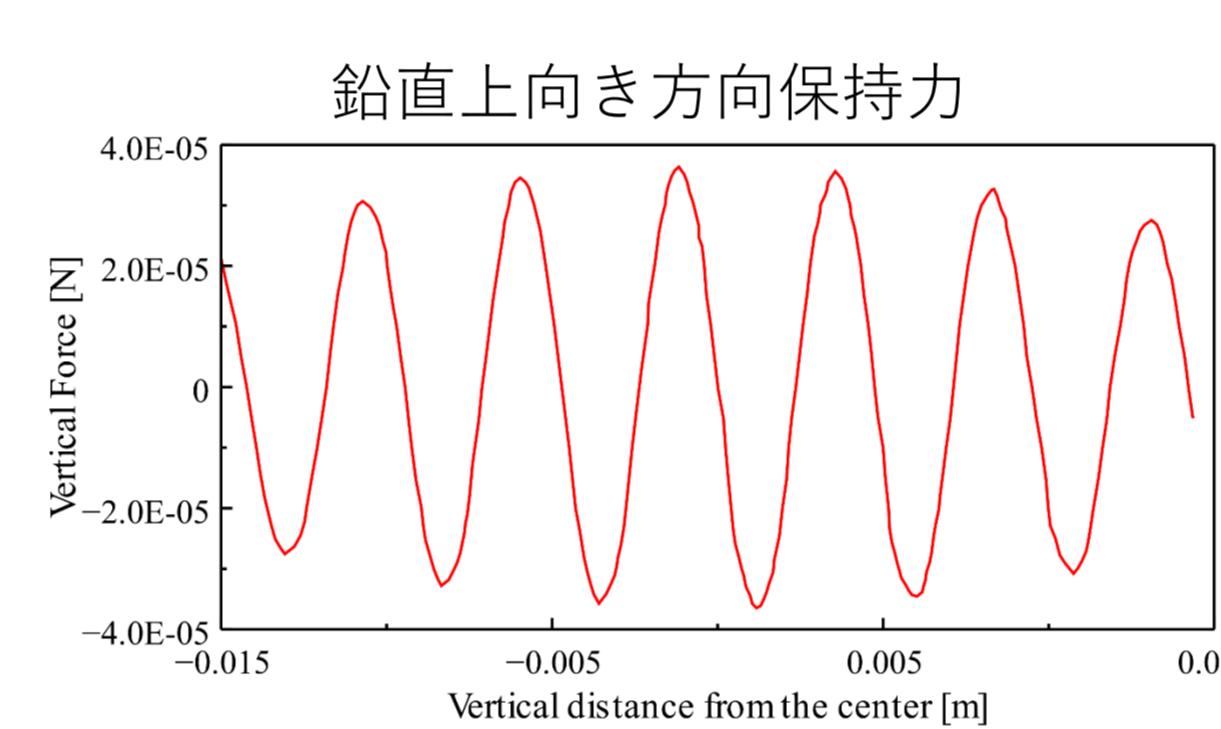
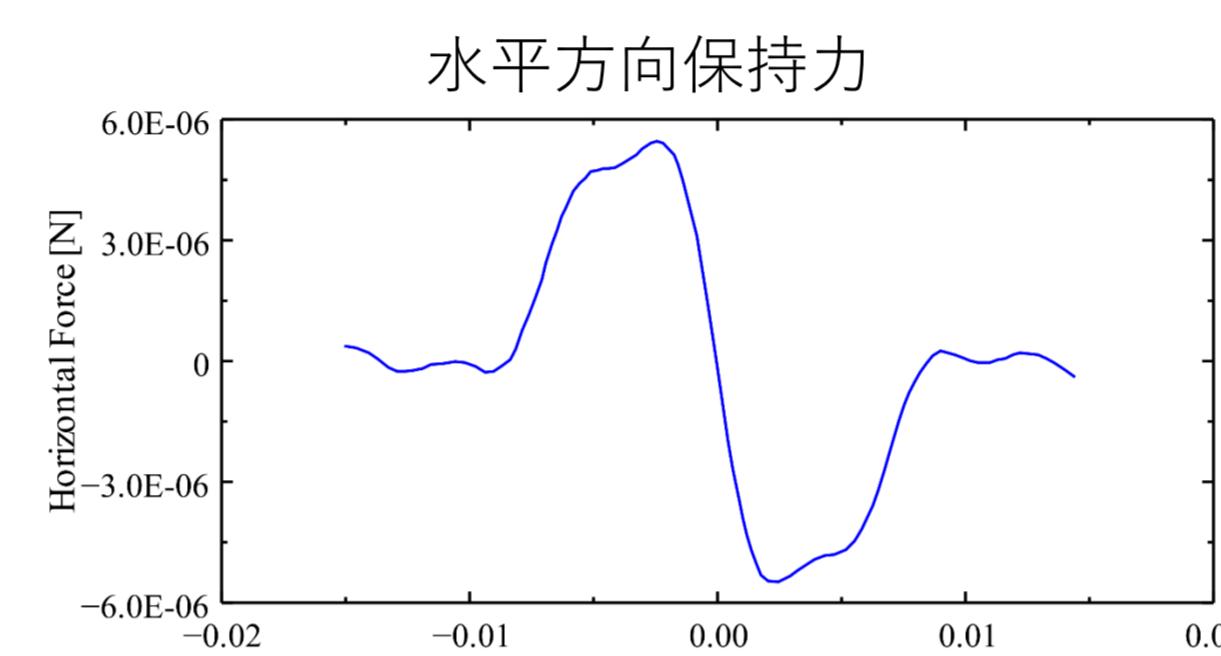
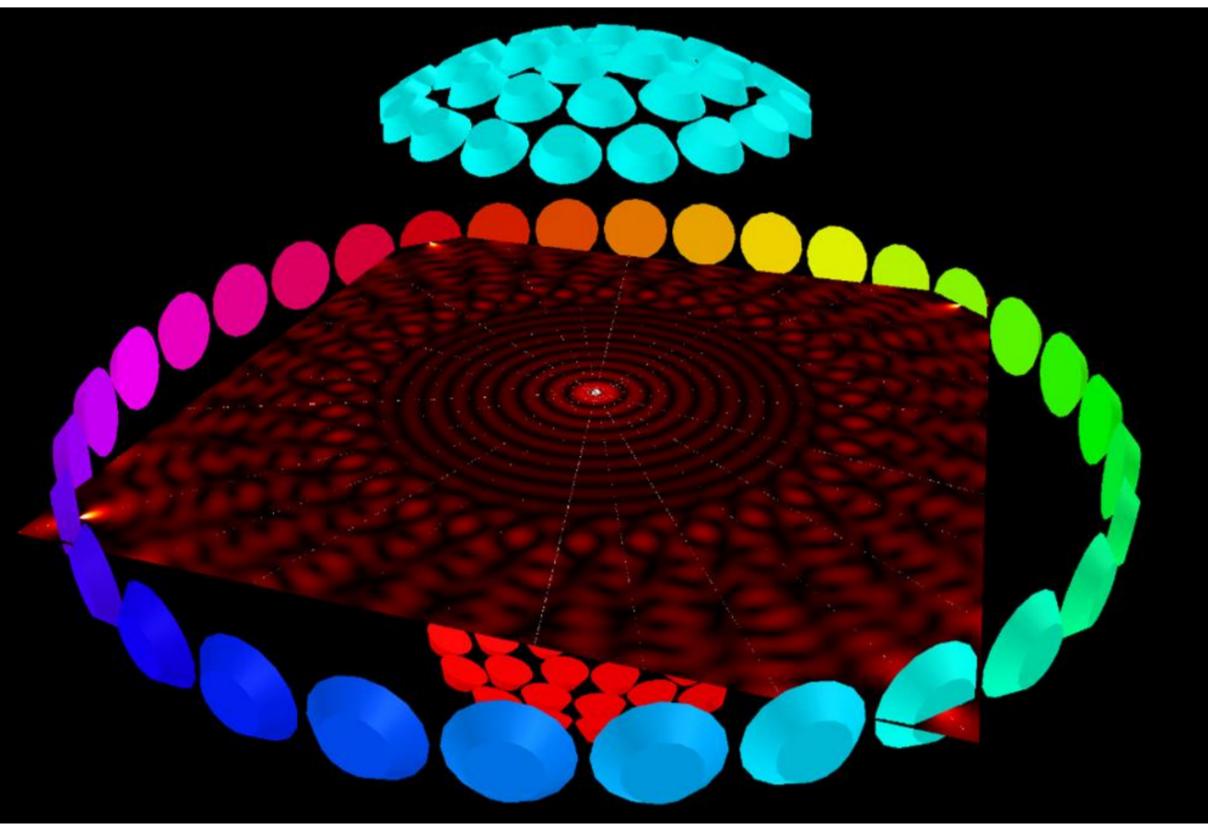
◆ 装置の構成

- ボウル状アレイによる定在波形成で物体浮遊を維持
- リング状アレイによるボルテックスビームで角運動量を付与
- 同時駆動では音響場が干渉し、鉛直方向分布が左右非対称化
>> 各装置のスイッチング駆動により安定を図る

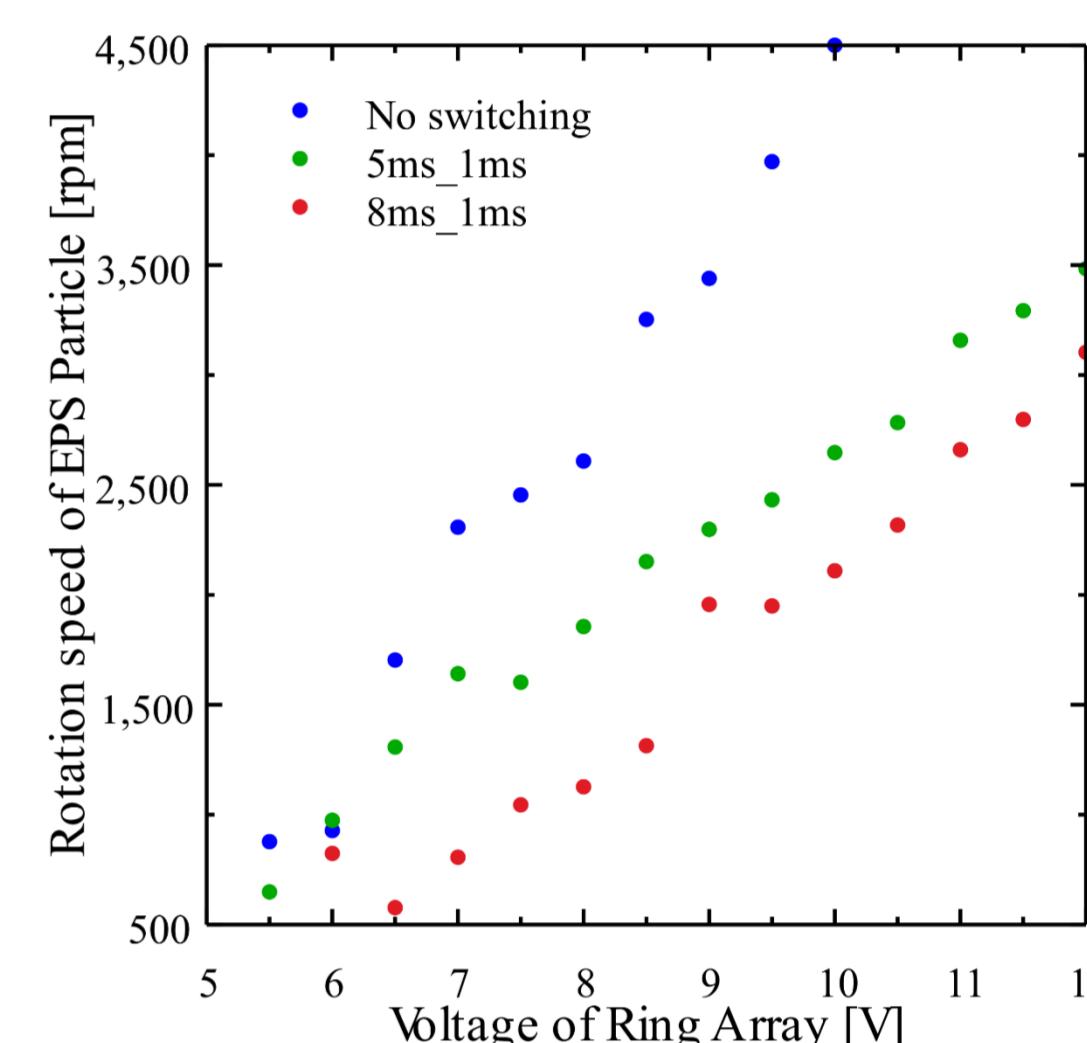
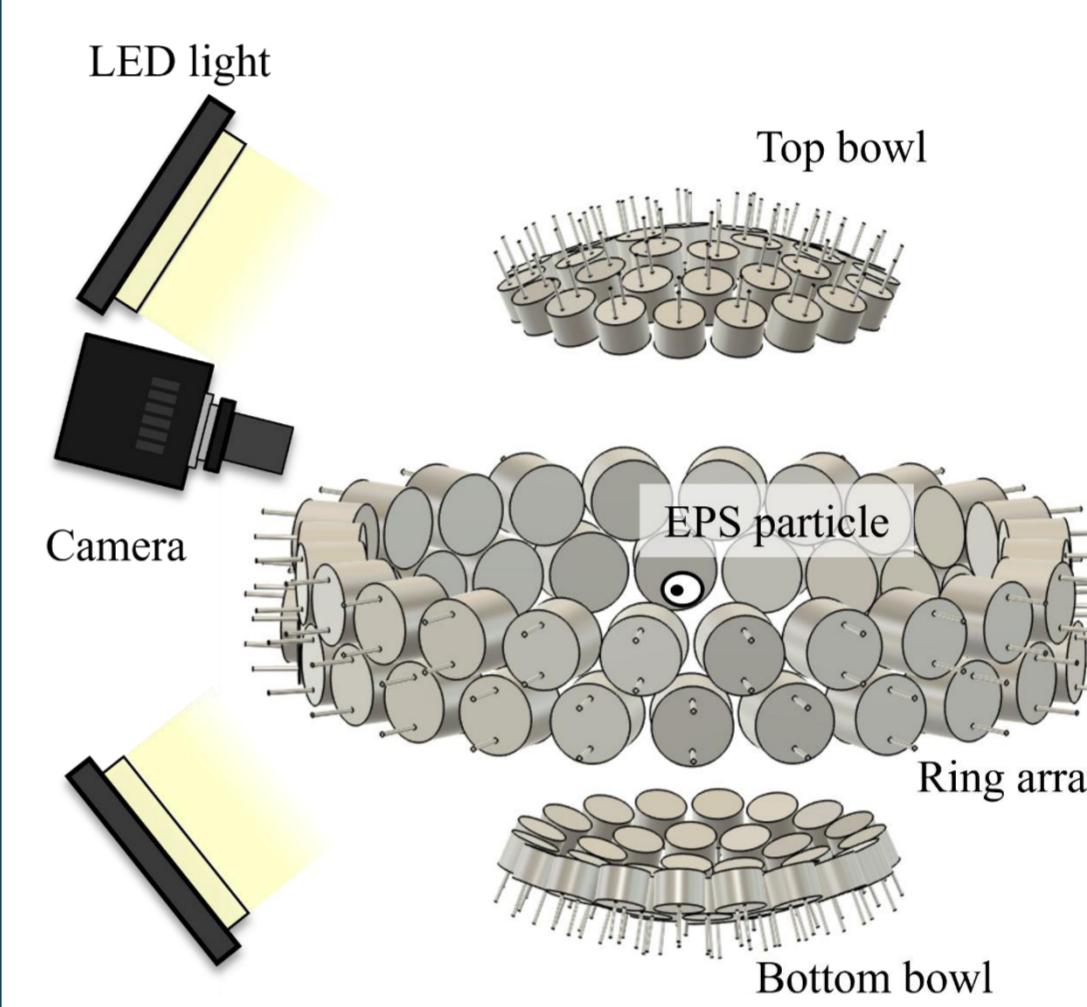
(a) 鉛直断面音響場分布



(b) 水平断面音響場分布



◆ 固体粒子を用いた動作検証

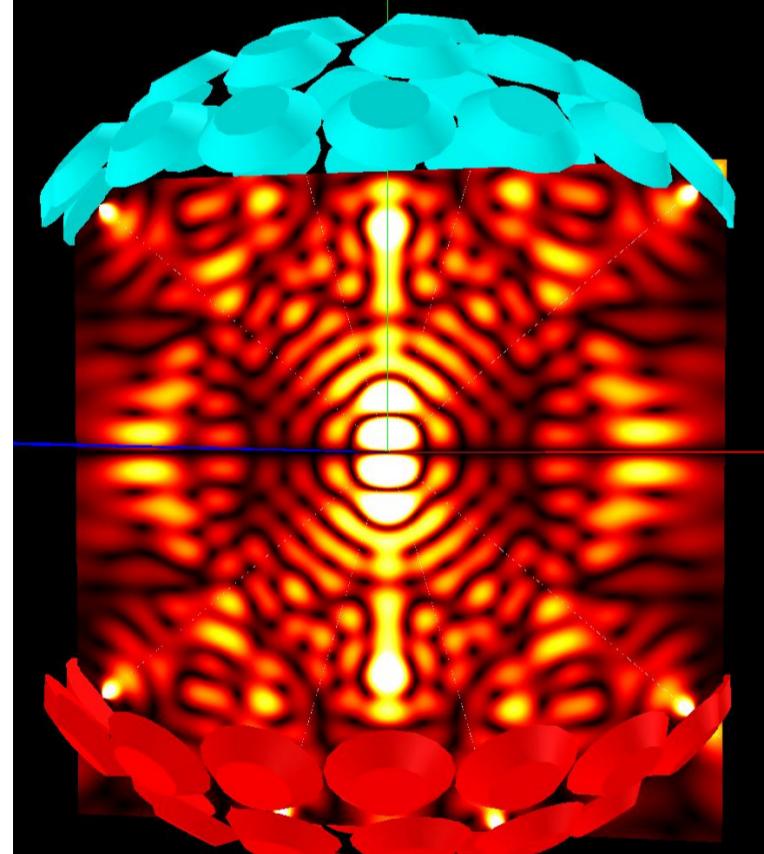


- 入力に対して回転速度は線形に増加
- 無スイッチング条件で回転速度が最大となり、有スイッチング条件では定在波駆動時間の増加に伴い回転速度が低減

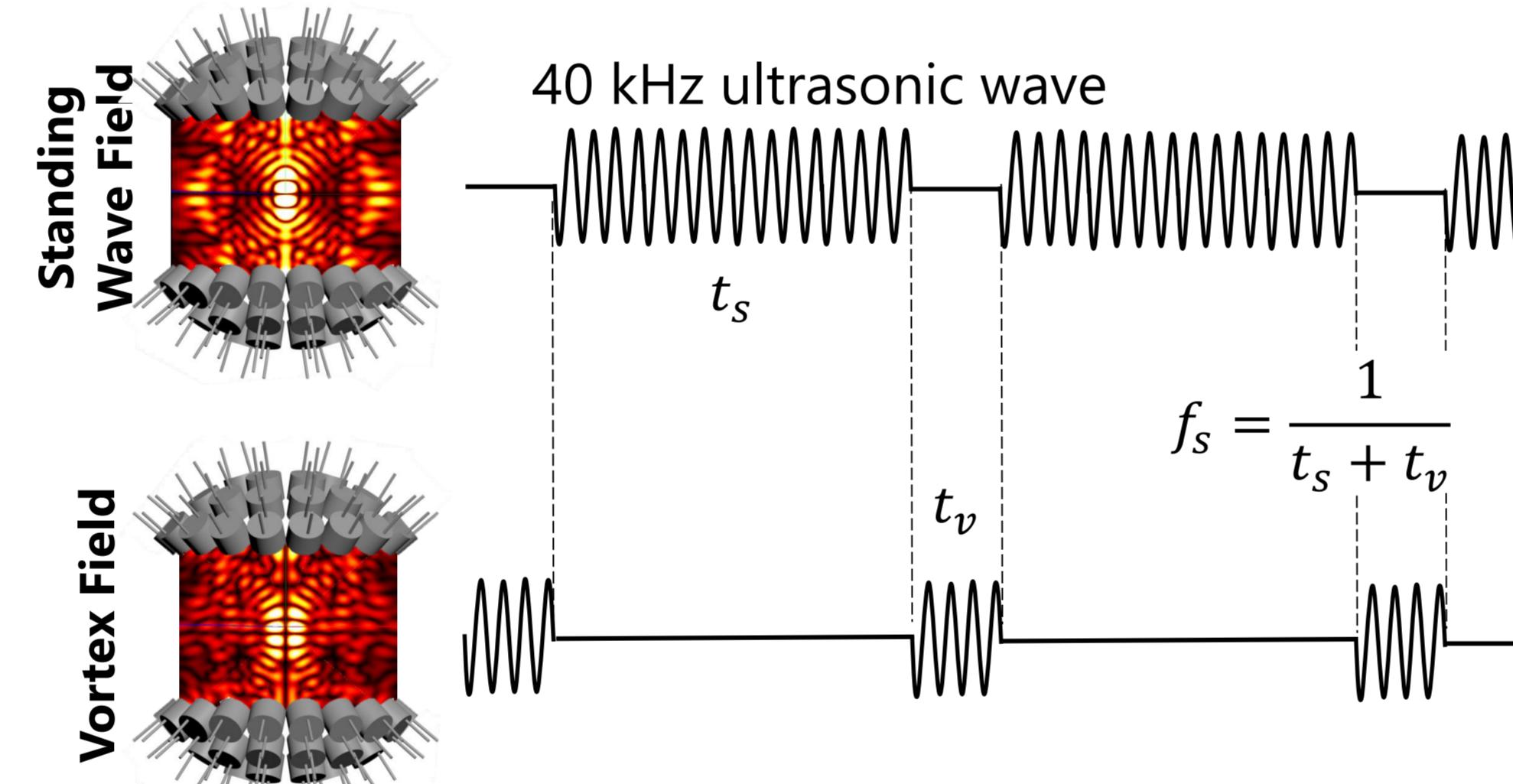
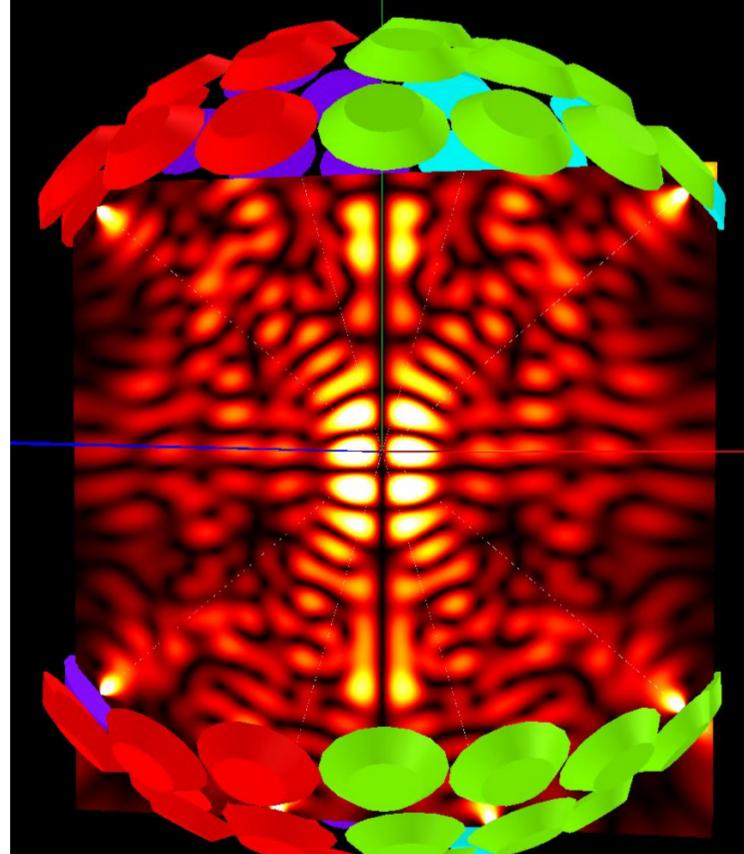
装置② 単一装置による高速音響場スイッチング

◆ 装置の構成

(a) 定在波駆動

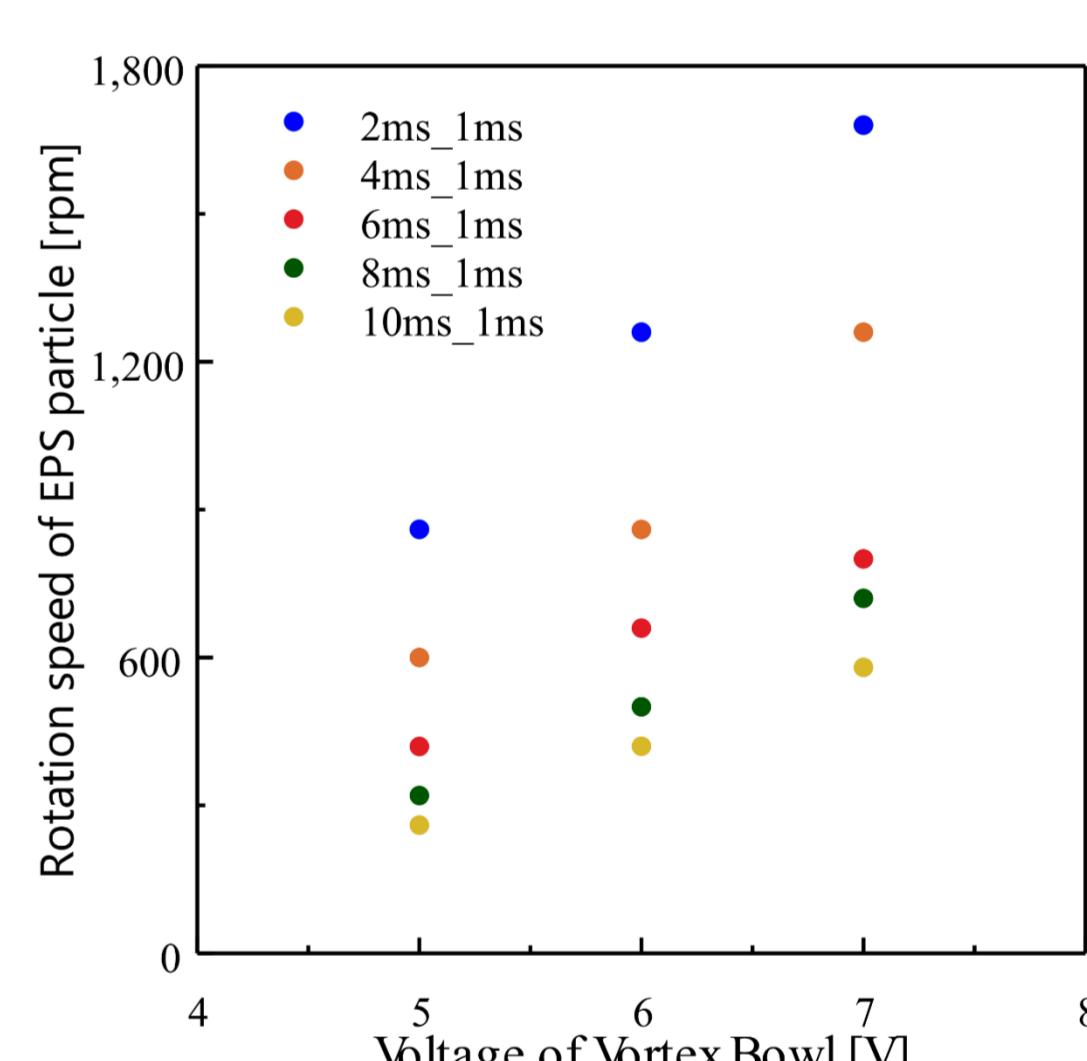
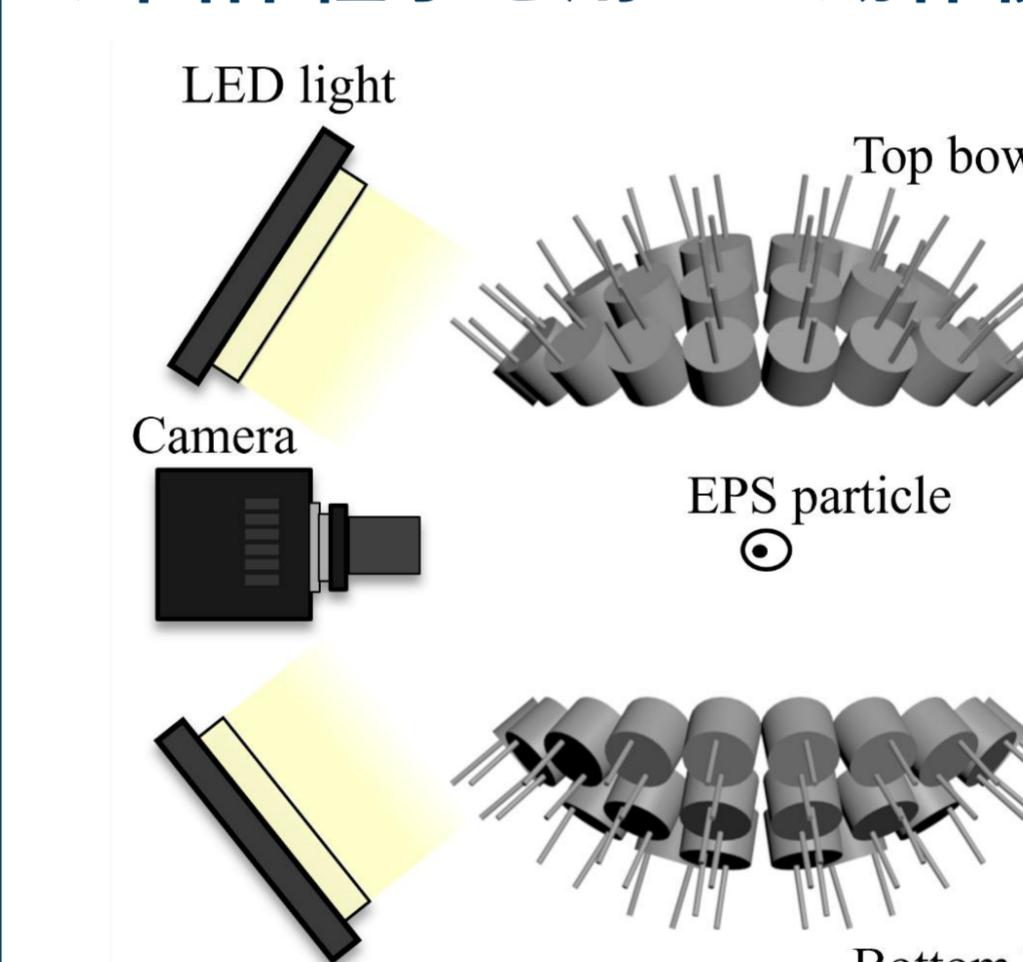


(b) 渦場駆動



- 上下の振動子群を4セクションに分割、位相差を制御することにより定在波場と渦場の形成が可能
- 液滴浮遊のための定在波場と角運動量付与のための渦場を数十から数百Hz程度で高速スイッチング

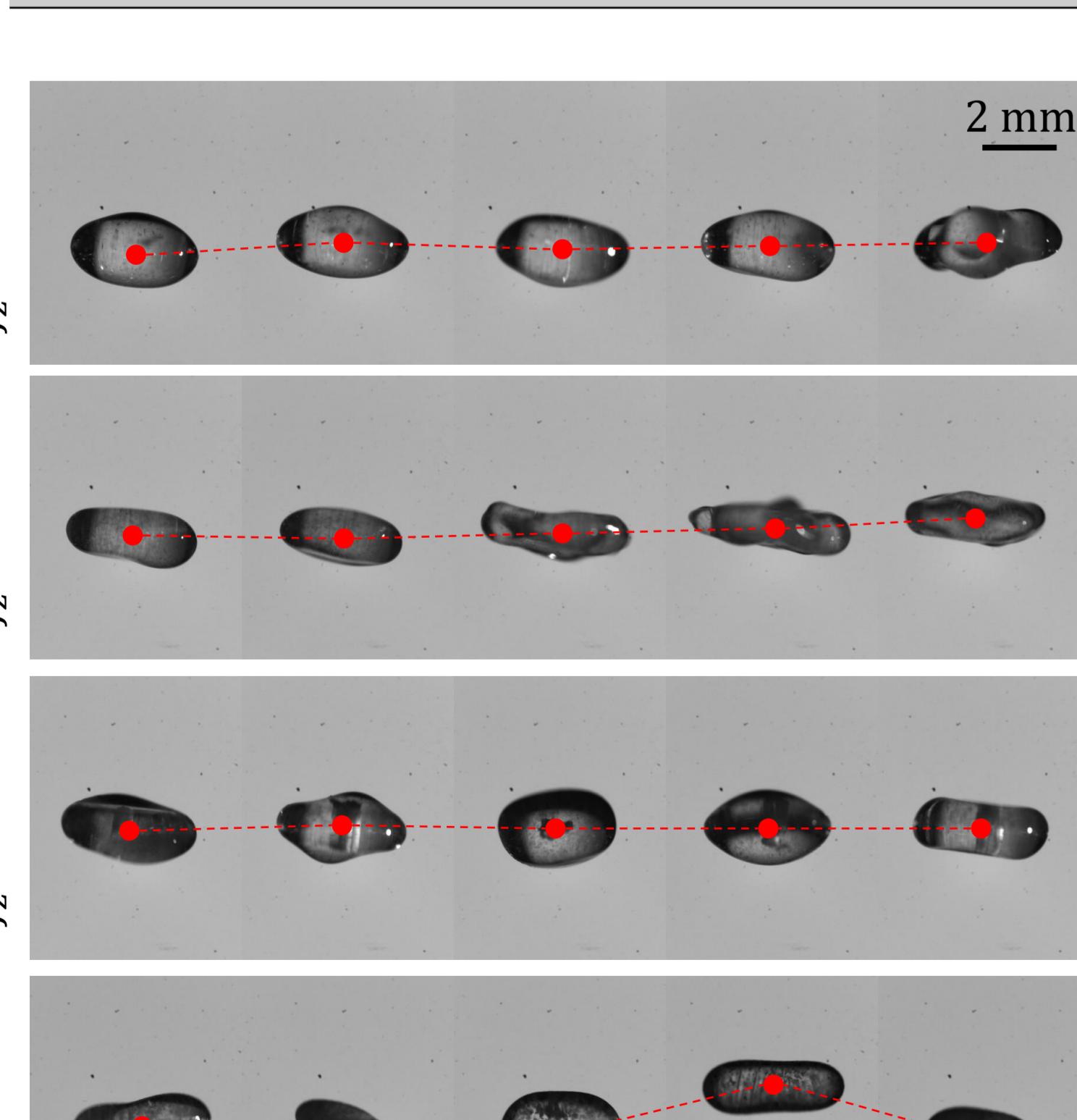
◆ 固体粒子を用いた動作検証



- 入力電圧に対して回転速度は線形に上昇
- 定在波駆動時間の増加に伴い回転速度は低減

◆ 液滴の浮遊安定性

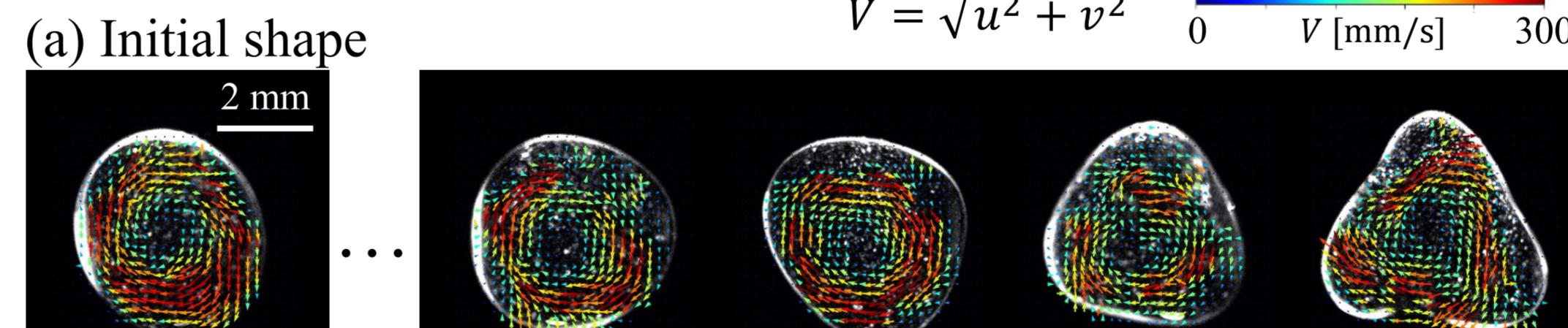
Standing wave signal t_s [ms]	4, 6, 8, 10
Vortex field signal t_v [ms]	1
Field switching f_s [Hz]	91, 111, 143, 200



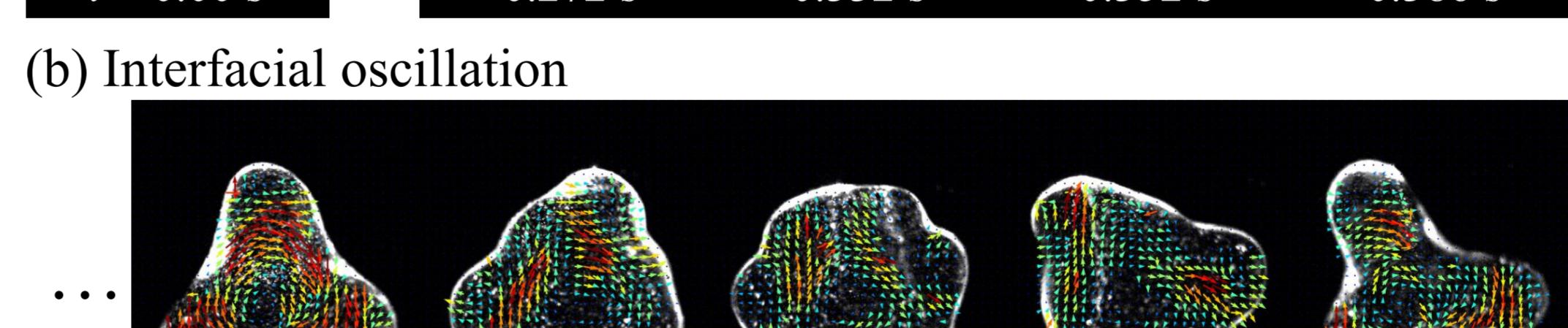
- スイッチング周波数を変更した際の液滴位置の時間的変動をプロット
- 定在波が復元力的に作用することで、水平・鉛直方向ともに周期的な重心位置変動を確認

◆ 液滴内部流動の可視化計測結果

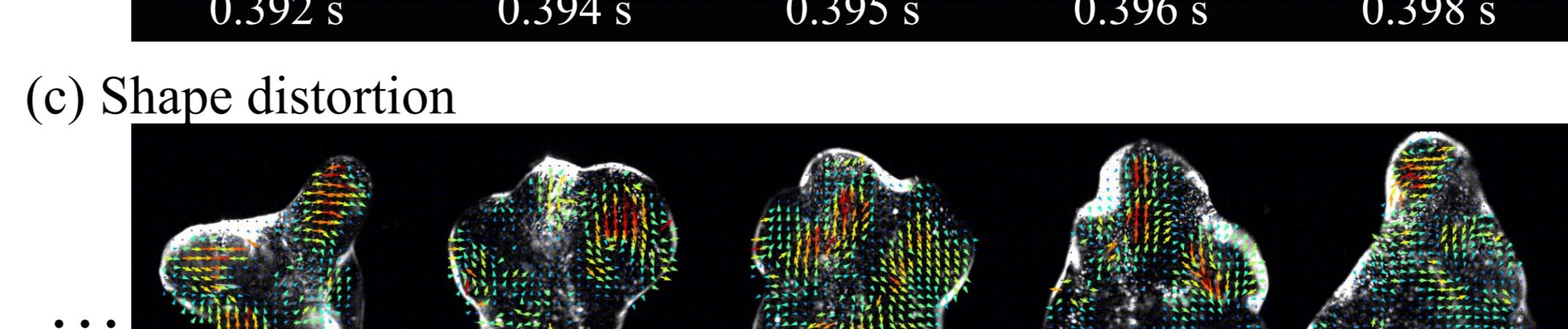
(a) Initial shape



(b) Interfacial oscillation

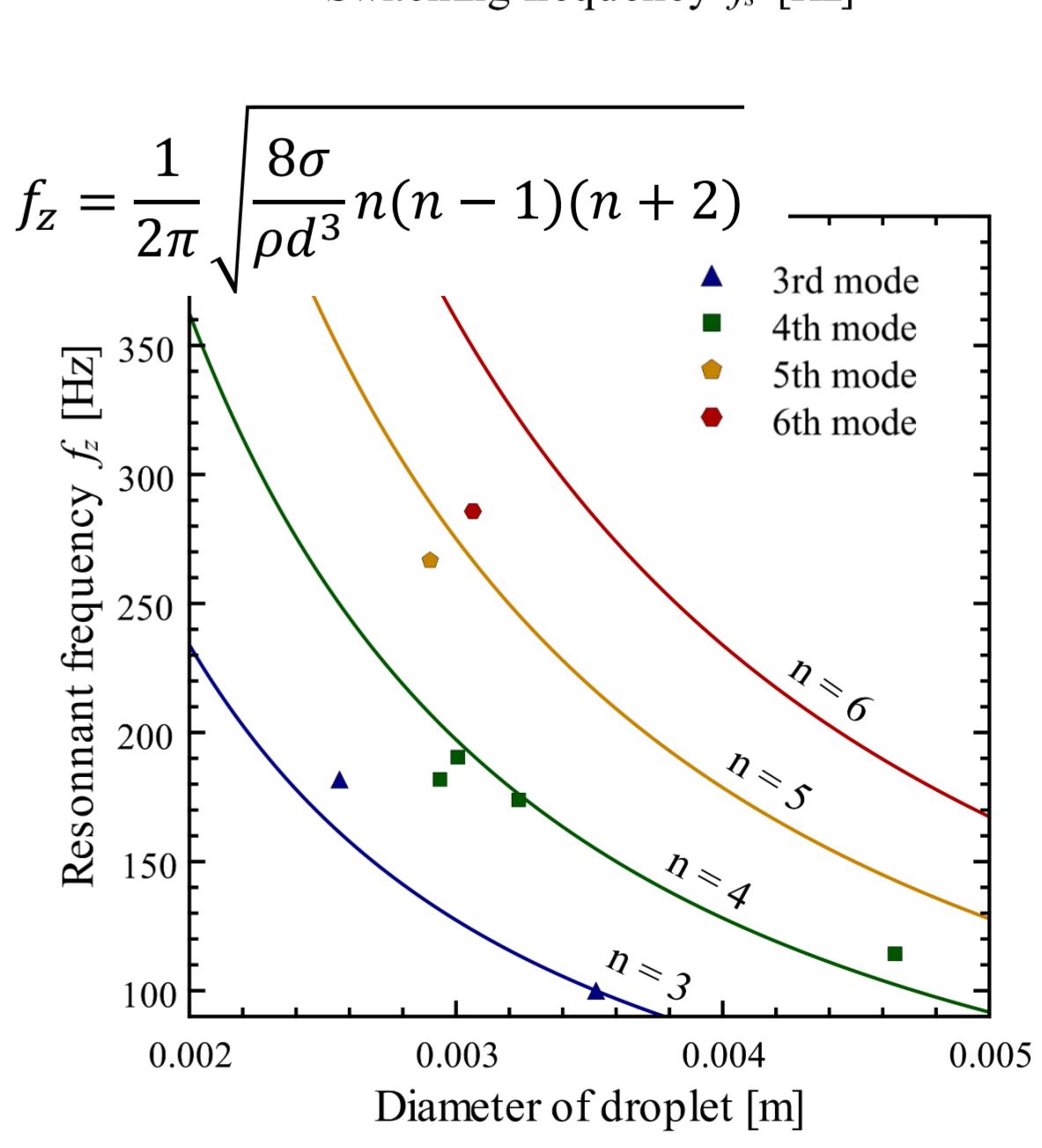
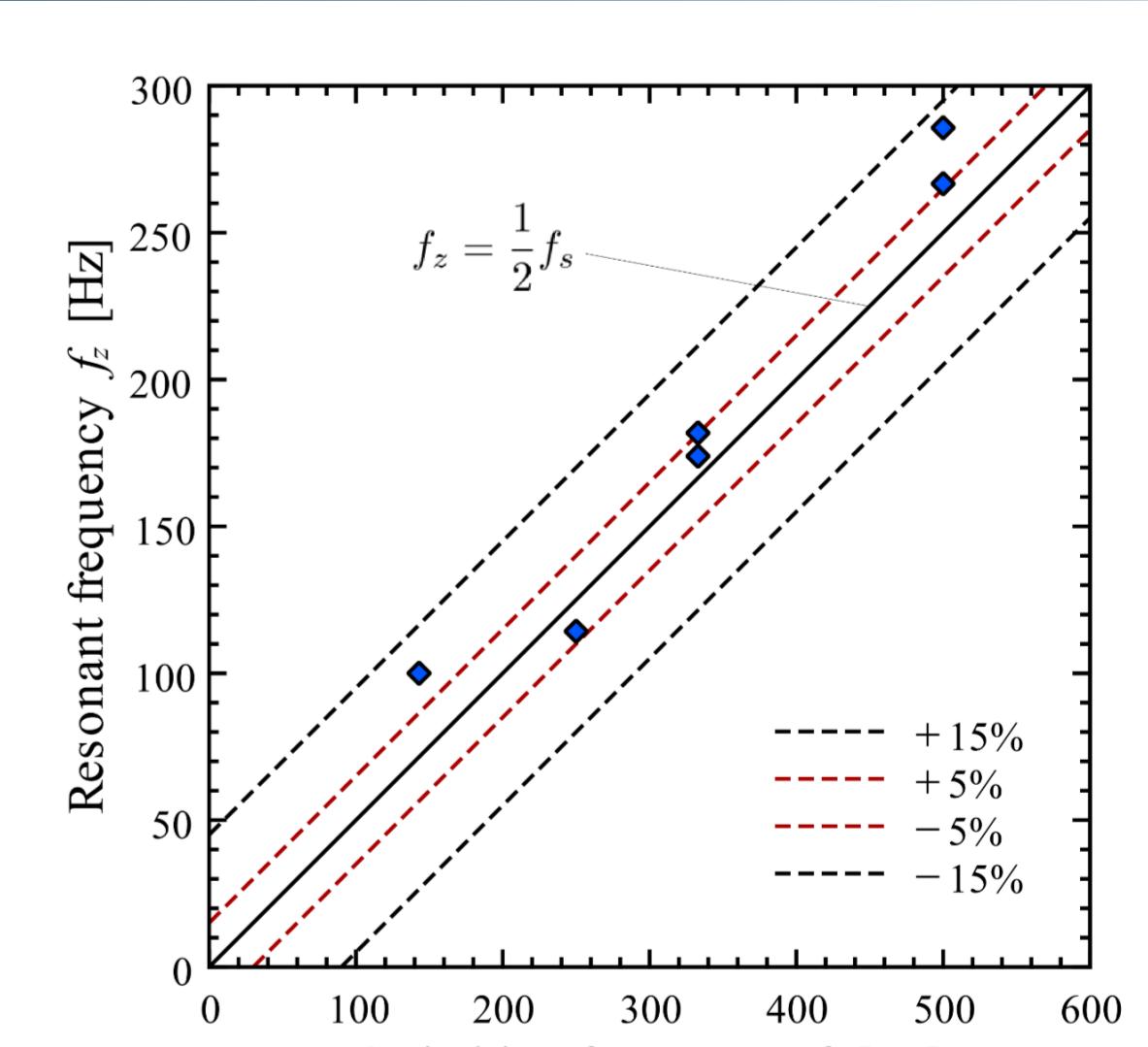


(c) Shape distortion



- 定在波と渦場のスイッチングに起因する界面モード振動が発現
- 界面振動の共振周波数は音響場スイッチング周波数の約半値
- 振動モードの次数はRayleighの理論式とおおよそ一致
- 回転による慣性と界面形状変形の相乗効果により、液滴内部の流動場は複雑化

>> 液滴内部の混合促進に対する寄与が期待



[1] B. Andrade et al., Rev. Sci. Instrum., Vol.89, 125105 (2018).

[2] A. Watanabe et al., Sci. Rep., Vol.8, 10221 (2018).