

音場浮遊液滴の蒸発および析出挙動に関する実験的検討

Experimental investigation of evaporation and precipitation behavior of an acoustically levitated droplet

丸山侑太郎¹⁾, 新村勇氣²⁾
指導教員 長谷川浩司¹⁾

- 1) 工学院大学 工学部 機械工学科 混相流工学研究室
2) 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

音場浮遊法は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技術としての応用が期待されている。そこで研究目的は音場浮遊法における析出を伴う試料の蒸発挙動のメカニズムを実験的に解明することである。本報では析出を伴う流体に着目し、高速度カメラを用いた観察および画像処理によって評価をした。浮遊法を用いて流体を蒸発させることで蒸発および析出挙動を確認し、析出時間の推定を行った。析出時間は試験流体の濃度が異なる場合にも同程度になった。この結果には蒸気圧降下が影響している。

キーワード：音場浮遊, 液滴, 蒸発, 析出

1. 緒言

音場浮遊法は任意の空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、不均一核生成を防ぎ、過冷却状態を可能にする製薬技術などでの無容器プロセッシング技術としての応用が期待されている^[2]。しかしながら、この浮遊法は超音波の音圧により試料を浮遊させる方法であるため浮遊液滴周りに流動が生じ、この流動が液滴の物質輸送に影響を与えていることが示されている^[3]。非線形音場と浮遊試料の相互作用による動的挙動や液滴内外部に発生する音響流、またそれらの複合現象に起因する複雑さゆえ、析出を伴う流体の蒸発における実験的知見が乏しいのが現状である。

本研究では音場浮遊法における析出を伴う試料の蒸発挙動のメカニズムを実験的に解明することを目的とし、実験的に検討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。液滴はシリンジにて注入し定在波の節付近に浮遊する。浮遊させた液滴は高速度カメラを用いて撮影した。本研究では入力周波数 19.3 [kHz]とし、室温および相対湿度は 25 ± 2 [°C], $50 \pm 10\%$ とした。試験流体は純水に食塩を溶解した食塩水を使用した。

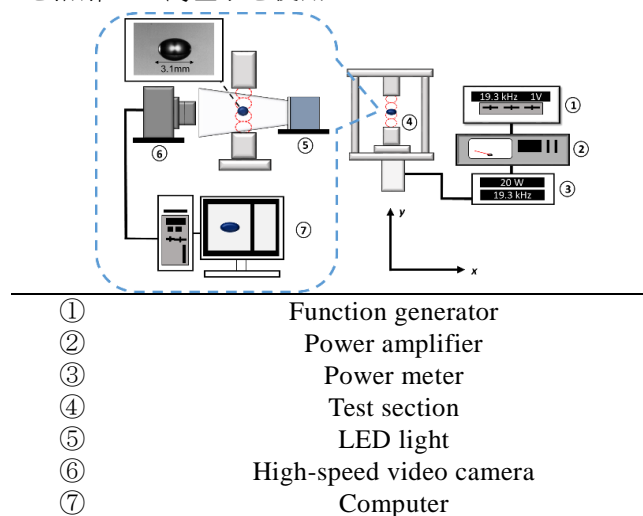


Fig. 1 Schematic of experimental setup.

3. 実験結果および考察

3.1 食塩水の蒸発過程

Fig. 2 に食塩水の蒸発過程を示す。図中の横軸は時間、縦軸は各時間における液滴等価直径を初期液滴等価直径で除して二乗し、無次元面積を示している。約 1020 [s]までは無次元面積は線形的に減少し、それ以後は一定となり無次元面積の減少が確認できなかった。また Fig. 2 の画像は各時間における可視化画像である。食塩水を蒸発していくと約 870 [s]で食塩の析出が確認でき、約 1020 [s]で液相が完全に蒸発したと推定される。以上の結果より食塩は約 1020 [s]で完全に析出したと考えられる。

3.2 食塩濃度が析出時間に及ぼす影響

Fig. 3 に各濃度における析出時間を示す。ここで食塩水濃度は 10wt%, 15wt%, 20wt%, 25wt% とした。図中横軸は食塩の質量パーセント濃度、縦軸には食塩が完全に析出した時刻を表している。また図中の画像は各濃度で完全に析出した時刻における可視化画像の一例である。食塩の濃度が高いほど水の体積が減少するため析出時間が短くなると考えられるものの、濃度によらず析出時間が同程度となった。食塩の濃度が高くなると蒸気圧降下によって蒸発速度が遅くなるため析出時間が短くならず、どの濃度においても析出時間が同程度になったと考えられる。

析出時の可視化画像について、10wt%と15wt%はほぼ球形、20wt%と25wt%は楕円体に近い形で析出している。この形状の違いの原因は、非線形音波によって駆動される内部循環の影響が考えられる。

Fig. 4 に析出前後における食塩の質量の推定を示す。図中の横軸を実験前の食塩の推定質量、縦軸は析出後における食塩の推定質量を表す。計算方法は析出した試料の体積に食塩の密度の積で求めた。析出前後の推定量には差異が生じている。この原因として、質量を推定する際に食塩を球状と仮定しているものの、実際には球状ではないためだと考えられる。

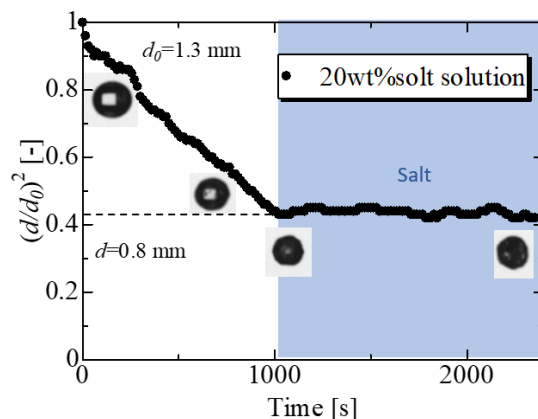


Fig. 2 Evaporation process of salt solution droplet.

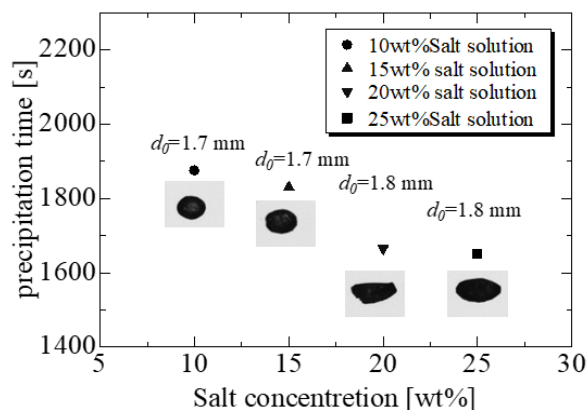


Fig. 3 Comparison of precipitation time of salt solution droplet by concentration.

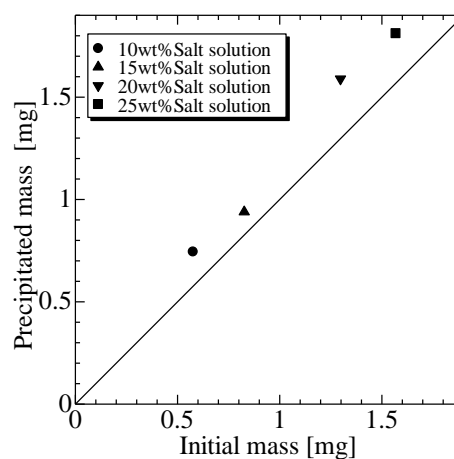


Fig. 4 Estimation of salt mass before and after precipitation.

参考文献

- [1] Yarin, A. L. et al., *Int. J. Multiphase flow*, Vol.28, (2002).
- [2] Foresti, D. et al., *PNAS*, Vol. 110, (2013).
- [3] Yarin, A. L. et al., *J. Fluid Mech.*, Vol. 399, (1999).