D209

浮遊液滴の内部流動多次元 PIV 計測

山本 祐司[○](筑波大学院), 藤原 暁子(筑波大学), 阿部 豊(筑波大学)Multi dimensional PIV Measurement of internal flow
in a levitated droplet

Yuji YAMAMOTO, Akiko FUJIWARA and Yutaka ABE

ABSTRACT

Under the microgravity environment, products of new and high quality materials solidified into homogeneous crystal have been the subject of much interest. Usually, a large levitated droplet is utilized for such a containerless processing. However, internal flow appear remarkably when the levitated droplet become large. Elucidation of effect of internal flow of the levitated droplet is required for the quality improvement of new material.

In the present study, the experimental investigation of levitated droplet by ultrasound is conducted under the normal gravity environment. The internal flow structure in the levitated droplets is measured by tree dimensional Particle Image Velocimetry (3-D PIV) techniques, and the dominant factor which induces the internal flow is discussed.

Keywords: Acoustic levitation, Levitated droplet, Internal flow, PIV

1. 緒 言

現在, 宇宙開発技術の向上により微小重力環境を利用した用いた研究が行われつつある。地上とは異なり微小重力環境下では坩堝などの容器を用いずに材料を製造することが可能である。これにより容器壁からの汚染を回避し, 地上環境より高品質な材料が製造できることが期待されている。また, 流体内の温度差や異種材料間の密度差に起因する浮力が働かないため, 対流や沈殿による分離も発生せず地上より静的な環境で材料の製造が可能という利点がある。しかし, 地上より静的な微小重力環境においても, 浮遊させる流体物体自身が大きくなると, スペースシャトルの姿勢制御などの外乱によって浮遊物体内部に流動が発生することが報告されている。この流動は材料製造の均質性に影響を及ぼすことが指摘されており, 新材料製造において内部流動メカニズムの解明が求められている。これまでに液滴の浮遊や水液滴の内部流動観測など様々な研究⁽¹⁾⁻⁽³⁾が行われてきたが, 浮遊物体の多次元内部流動に関する実験的研究は未だ十分であるとは言い難い。

そこで本研究では, 超音波により物性値の異なる物質を浮遊させ, その内部流動を観測した。そして, 得られた観測画像に対し, 多次元 PIV 解析を施すことによって液滴内部の流動に対する物性値の影響を評価することとした。

2. 実験概要

2.1 実験装置

Fig.1 に本研究で使用した実験装置の概略図を示す。実験装置は液滴を浮遊させるテスト部, 超音波の音響定在波を形成させるための超音波発信部, 音圧を計測するための音圧計測部と液滴の内部流動と液滴形状を観測部の計 4 つで構成されている。

実験条件としてはホーン間距離 46 mm, 入力周波数 19.4 kHz, 音圧 1 から 10 kPa で実験を行い, 試験流体は水とグリセリンを用いた。水とグリセリンの物性値を Table.1 に示す。本研究では, 水は低粘性流体として, グリセリンは粘性流体として使用した。

Fig.1 Experimental apparatus

Table 1 Physical Properties

Fluid	Kinematic viscosity	Surface Tension
Water	1.00 mm ² /s	72.8 mN/m
Glycerol	1.01×10 ³ mm ² /s	63.0 mN/m

2.2 実験方法

Fig.2 に本実験で用いた 3 次元内部流動観測の実験方法の概略図を示す。まず、プローブマイクロフォンを用いてテスト部ホーン間に音響定在波が形成されているのを確認する。その後、流体の流れに追従するトレーサー粒子を混入した試験流体をシリンジにより注入し、液滴を浮遊させる。内部流動の観測は液滴の赤道近傍にシートレーザを照射し、その二次元断面を鏡と直角プリズムミラーを用いて上方ハイスピードビデオカメラによってステレオ観測する。また、液滴の外径は横方向からのハイスピードビデオカメラを用いて観測し、上方と横方向のハイスピードカメラは同期観測を行うことにより、内部流動と液滴形状をそれぞれ観測する。

Fig. 2 Experimental set up

3. 実験結果

Fig.3 に浮遊液滴の形状を観測した結果を示す。浮遊液滴は音響放射圧力と重力の影響を受け扁平形状をしていることが確認された。液滴の扁平率は水、グリセリン液滴で各々1.4, 1.5 となる。ただし、扁平率は液滴の幅を高さに割った値と定義する。また、液滴の直径は水、グリセリン液滴で各々4.1mm, 3.9mm であり、浮遊液滴を楕円球と仮定したときの体積等価直径の値を用いている。Fig.4 に Fig.3 と同様の水液滴内部流動観測結果のステレオ画像に対して PIV 技術によって速度ベクトルを算出した結果を示す。この左右の画像の速度の見え方の違いから液滴の赤道面における 3 次元流れを再構成したものを Fig.5(a) に示す。また同様に、Fig.3 のグリセリン液滴の赤道面 3 次元流れを算出した結果を Fig.5(b) に示す。ここで、Fig.5 の速度ベクトルは xy 平面の速度分布を、コンターは z 軸方向速度をそれぞれ示している。

Fig.5(a) より、水液滴において、 xy 平面に沿う流れと赤道面を貫く流れが算出された。つまり、水液滴内部は

複雑な 3 次元流れが発生している。一方、Fig.5(b) のグリセリン液滴は、 z 軸流速はほとんど算出されなかった。また、 xy 平面速度においても剛体的に回転しているような結果となった。

水とグリセリンの表面張力の違いは小さいことから、内部流動構造の違いは粘性の影響が支配的である考えられる。つまり、浮遊液滴の内部流動は物性値、特に粘性の影響を受けることが示唆された。

Fig. 3 Horizontal view of a droplet

Fig. 4 PIV analysis for obtained stereo images of water droplet

Fig. 5 Reconstructed velocity fields of three components in droplet by PIV analysis of a certain moment

4. 結 言

- 物性値の異なる液滴の赤道近傍の三次元内部流動を観測した結果、低粘性流体である水は内部に複雑な流動が発生し、粘性流体であるグリセリンは剛体的な挙動を示した。
- 内部の流動構造の相違は粘性の影響によって発生していることが示唆された。

参 考 文 献

- 1) Anilkumar A. V., Lee C. P., Wang T. G. : Phys. Fluid A, Vol. 5, No. 11, November, pp. 2763-2774 (1993).
- 2) Trinh E., Zwern A., Wang T. G. : An experimental study of small-amplitude drop oscillations in immiscible liquid systems, J. Fluid Mech. Vol.115 (1982) pp. 453-474.
- 3) Abe Y., Yamamoto Y., Hyuga D., Aoki K., Fujiwara A. : Interfacial Stability and Internal Flow of a Levitated Droplet, Microgravity Sci. Technol., XIX/3-4 (2007) pp.33-34.