

超音波による大型浮遊液滴の界面変形と内部流動に関する研究

筑波大 阿部豊、日向大輔、粟津茂、山本祐司、青木一義

Study on Surface Deformation and Internal Flow of Large Levitated Droplet by Ultrasonic Wave

Yutaka Abe, Daisuke Hyuga, Shigeru Awazu, Yuji Yamamoto and Kazuyoshi Aoki
University of Tsukuba 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8573
E-Mail: abe@kz.tsukuba.ac.jp

Abstract: The containerless processing conducted by droplet levitation techniques makes it possible to manufacture new materials to conduct non-contact measurement of ultrahigh temperature material properties. It is pointed out that surface deformation and internal flow of the large levitated droplet influences the containerless processing. However, there is few study about surface deformation and internal flow of a large levitated droplet by the acoustic wave. In the present study, surface deformation and internal flow of levitated droplet are investigated by the ultrasonic standing wave under normal gravity environment and under the reduced gravity condition by using the aircraft.

Key words; Containerless Processing, Acoustic Standing Wave, Surface Deformation, Internal Flow

1. 緒言

微小重力環境を利用して熔融材料の無容器過冷却凝固を行う場合、浮遊液滴は出来るだけ大型であることが望まれるが、浮遊液滴が大型になると、それに伴う液滴界面の変形や内部流動の影響が顕著となる可能性がある。本研究では、強力超音波を用いて浮遊させた大粒径液滴の界面変形と内部流動について調べることにした。実験にあたっては地上重力環境において浮遊液滴の界面変形と内部流動を可視観測した上で、航空機を用いた微小重力実験を行って、界面変形と内部流動について可視観測を行った。

2. 実験

2.1 実験装置

Fig.1 に内部流動観測の概念図を示す。実験前に、プローブマイクロフォンを用いてテスト部内の所定の位置の音圧測定を行う。その後、直径 $4\mu\text{m}$ 、比重 1.02 のナイロン粒子をトレーサーとして混入した水液滴を、液滴注入装置を用いて音響定在波の腹の位置に注入して浮遊させる。浮遊状態の液滴の赤道付近水平方向にシートレーザーを照射し、その水平断面を上方からハイスピードカメラによって観測し、同時に横方向からのハイスピードカメラを用いて液滴形状の変化を含む保持の様子を同期観測する。

2.2 航空機を用いた微小重力実験

微小重力実験は、ダイヤモンドエアサービス社の所有する実験用航空機 Gulfstream-II を使用した微

小重力環境において実験した。航空機が放物形の軌道を飛行することにより、放物形の頂点付近において、機内に約 20 秒間の微小重力が発生する。その際の微小重力環境を利用し、水液滴の保持ならびに流動観測実験を行う。

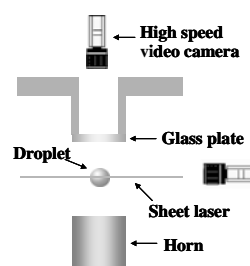


Fig.1 Concept of internal flow observation

3. 微小重力実験結果

3.1 液滴保持実験結果

Fig.2 に微小重力環境下で保持可能であった最大径の水液滴の浮遊の様子を示す。ホーン間の距離は 46mm、下側ホーンへの入力周波数は 19.4kHz、音圧は 2.3kPa であった。水液滴の幅は 9.8mm、厚さは 7.0mm であり、地上重力環境で保持できた液滴に比べてより大きく真球に近い液滴の浮遊が可能であった。Fig.3 に地上重力と微小重力での両環境で行った実験での保持液滴径と音圧の関係を、Fig.4 に保持液滴の扁平率と音圧の関係を示す。液滴径は上下に扁平な液滴を回転楕円体と仮定してそれと等価な体積をもつ球の直径とする。Fig.3 より、保持液滴の大きさは音響定在波の音圧に反比例する傾向が見られた。Fig.4 より、保持液滴の扁平

率は音圧に比例する傾向が見られ、微小重力環境では航空機内通常重力環境に比べて、より小さな音圧でより球形に近い水液滴の保持が可能であることを確認した。

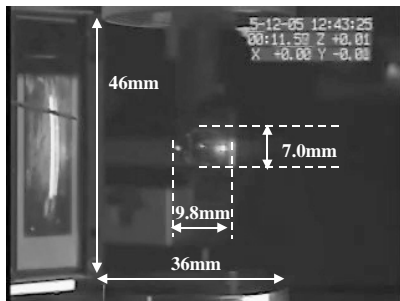


Fig.2 Droplet levitation under microgravity condition

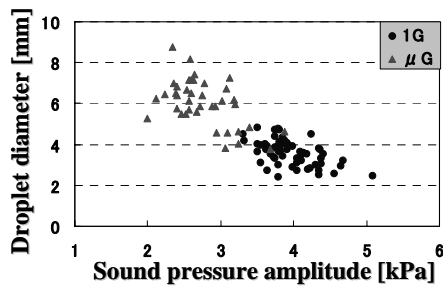


Fig.3 Sound pressure amplitude and droplet diameter

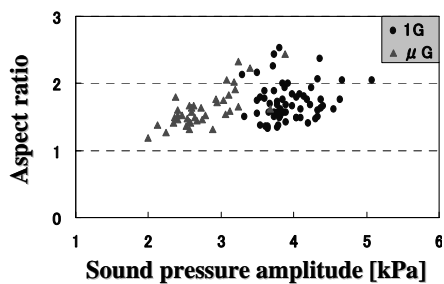


Fig.4 Sound pressure amplitude and aspect ratio

3.2 内部流動観測結果

Fig.5 に微小重力環境下で液滴の水平断面内部流動を上から観測した結果に PIV 解析をして得られた二次元速度ベクトルを示す。この時音圧は 2.6kPa、液滴径は 7.2mm であり、液滴界面に振動は見られなかった。Fig.5 より、液滴は剛体的に回転していることが確認出来る。また、Fig.6 のように液滴界面が振動している場合について同様な PIV 解析を行って得られた二次元速度ベクトルを Fig.7 に示す。この時音圧は 3.4kPa、液滴径は 4.9mm であった。Fig.7 より液滴界面が Fig.6 のように振動する時、液滴中心から界面方向への内部流動が見られた。またこの時、液滴界面付近において非対称で複雑な流れが観測された。

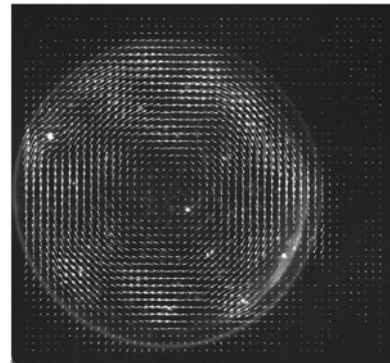


Fig.5 Velocity vector obtained by PIV analysis of the levitated droplet under microgravity condition

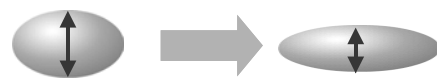


Fig.6 Droplet oscillation

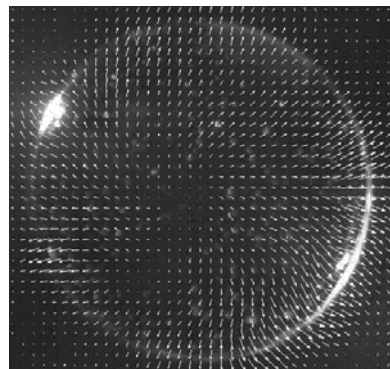


Fig.7 Velocity vector obtained by PIV analysis of the levitated droplet under microgravity condition (oscillating droplet)

5. 結言

- 地上重力環境ならびに航空機を用いた微小重力環境における液滴保持実験を行った結果、音圧が小さくなることでより大型の球形液滴を保持できることを確認した。
- 微小重力環境における浮遊液滴の内部流動観測を行った結果、液滴界面に振動が見られない場合、並進運動があったとしても液滴内部は剛体的に回転していることが分かった。
- 液滴界面に振動が見られた場合、界面振動に対応した内部流動が観測された。この内部流動には界面の変形方向とは一致しない複雑な流れも観測された。

本研究では(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行ったものである。