G051056

振動する液面上に保持された液滴の保持位置と液面波形の関係瀬尾 亮太^{*1} 中井 唱^{*2} 後藤 知伸^{*2}**Relations between Surface Wave Profile of Oscillating Liquid Pool and
Position of Droplet Held on the Surface**Ryota SEO^{*1}, Tonau NAKAI^{*2} and Tomonobu GOTO^{*2}^{*1} Tottori Univ. Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering
4-101, Koyama-minami, Tottori, Tottori, 680-8552 Japan

It is known that a droplet is held on the vertically vibrating pool of the same kind of liquid. When the frequency of oscillation is at the resonance of the apparatus, the droplet is found to a certain position on the pool regardless of the initial dropped position. In this case, the lifetime of a droplet is as long as several hours, perhaps because of the larger amplitude of vibration acceleration than the gravity as previously reported. Then we investigated waveform at the resonance frequency to clarify the relationship with the position where the droplet is retained. The amplitude, phase, and average displacement of the surface of oscillating pool were measured by a laser displacement meter and FFT analyzer. The average displacement is relevant to the position of a droplet, while the amplitude and phase are not; in the distribution where the regression plane of the average displacement is subtract, its minimum position is almost the same as the retained droplet.

Key Words: Liquid Droplet, Oscillatory Flow, Wave, Surface wave pattern, Liquid pool

1. 結 言

噴水などの水滴が落ちるところをよく見ると、水滴が水面とは一体化せずに、球形をとどめたまま水面を動き回る様子を観察できることがある。この現象は図1のように滴と液面との間に薄い空気層が存在し、その空気の圧力が液滴の重力を支えているために一体化が妨げられているからであると言われている。その空気層は厚さが数 μm 程度あり、それが徐々に薄くなり一体化する⁽¹⁾。

Fig 1: A droplet floating on the liquid surface

液面を振動させてその上に液滴を落とすと、静止した液面に比べて寿命が延びるということや、液滴が非常に小さいときや液面の振動数が低い時に重力加速度より大きい加速度で液面を垂直に振動させた場合に液滴を液面に保持できることが示されている⁽¹⁾⁽²⁾。先行研究⁽³⁾では液面の振動数や振幅をかえて液滴の保持時間の調査が行われた。この研究は振動数が 150~300Hz の範囲で測定を行い最大寿命が 15 秒であることが確

^{*1} 学生員, 鳥取大学 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)

^{*2} 正員, 鳥取大学 工学部

E-mail: ryoota.23.s@gmail.com

認められている。本研究では先行研究(3)よりも低い振動数で、液滴の保持位置や保持時間を調査している際に、先行研究(3)では確認されることのなかった液滴が長時間保持(保持時間は5時間以上)するという現象を見ることができた。また液滴はどこに滴下しても一体化せずに液面上のある決まった場所に移動し保持されている。そこで本研究では液面の振幅、位相、平均変位を測定し保持位置との関係を調査した。

液滴の保持時間や動きを自由に操作することで、将来的に毒性のある液体や液面に接触すると性質が変わってしまう液体を液面に接触させずに運ぶことができる新しい流体輸送装置に応用できるのではないかと考えている。

2. 実験方法・装置

2・1 実験装置

まず図2に示す装置のスピーカー(エレコム MS-87BK)の振動板にパソコンから正弦波を加え振動させる。それによって、その上に取り付けた液体入りのシャーレ($\phi 34\text{mm} \times 10\text{mm}$)を振動させる。そして、その上にスタンドに固定した注射器から液滴を落とす。

2・2 寿命の測定方法

液滴が長時間保持するための振動数を調べる。まずシャーレに液体をいれ、正弦振動を加える。シャーレ中央の液面から適当な高さの位置に注射針の先端を固定して液滴(直径2mm)を落とす。液滴が注射針から離れ液面に落ちた瞬間から、液面と一体化し液滴が消えるまでの時間を寿命とする。そしてその寿命が30秒以上のとき、その時の振動数で「液滴が保持可能」と判定する。

Fig 2: Experimental setup.

2・3 液面の振幅の測定方法

Fig 3: Measurement of surface wave pattern by a laser displacement meter.

(a) schematic view, (b) measurement points of the amplitude and phase.

液面の振幅はレーザー変位計(KEYENCE 社製 LK-G35)を用いて測定した。図3(a)に概略図を示す。レーザー変位計はサンプリング周期を $500\mu\text{s}$ とし蓄積点数を1024点とする。シリコンオイルの入ったシャーレを振動させ、そのときの液面の変位を測定し、振動の1周期分の最高点と最下点から液面の振幅を求めた。計測場所は

図 3(b)に示す. 液滴はいつもシャーレの中央から数 mm ずれて保持されていて, 液滴の保持位置を原点(x, y)= $(0, 0)$ として $(-4, -4)$ から $(4, 4)$ まで計 81 点, 1mm 間隔で測定を行う. 予備試験として装置の共振振動数を FFT アナライザーを用いて調べる. 入力正弦波とレーザー変位計の出力の伝達関数を取得し, 20Hz から 80Hz まで 10Hz 毎に調べる. 入出力信号の FFT アナライザーへの接続方法は図 4 に示す.

2・4 位相の測定方法

液面の位相は FFT アナライザーを用いて入力正弦波とレーザー変位計の出力の伝達関数を取得し計測する. 測定場所は液面の振幅と同様に図 3(b)上で液滴の保持位置を原点(x, y)= $(0, 0)$ として $(-4, -4)$ から $(4, 4)$ まで計 81 点, 1mm 間隔で測定を行う.

Fig 4: Signal flow chart of measurement of the transfer function

2・5 液面の平均変位の測定方法

液面の平均変位とは, 液面が静止している時の液面を基準点(0)とし, 液面に鉛直振動を加えた時の基準点からの距離の平均のことであり, レーザー変位計を用いて測定した. 液面の振幅の測定と同様にシャーレを振動させ, そのときの液面の変位を測定し, 測定結果から得られた振動の数周期分の全点を平均しその値を平均変位とする. 測定場所は液面の振幅と同様図 3(b)上で液滴の保持位置を原点(x, y)= $(0, 0)$ として $(-4, -4)$ から $(4, 4)$ まで計 81 点, 1mm 間隔で測定を行う.

3. 実験結果

3・1 保持可能な振動数

液面の高さを 4mm に固定し振動数を変化させ液滴が保持可能かどうか調査した. 振動数 20Hz~80Hz の範囲で 10Hz ごとに確認したが, 振動数が 50Hz のときのみ長時間保持することができ, 他の振動数の場合は保持が出来なかった.

3・2 液面の振幅

文献(1)により, 液面の振動加速度が重力加速度よりも大きいとき液滴が保持できることが分かっており, 50Hz 付近で長時間保持するのは装置の共振により液面は大きな振幅が生じているのではないかと考え, まず共振振動数を調べた. 結果を図 5 に示す. 振動数が 48.75Hz で変位計のスペクトルがピークを示した. 以下では 50Hz で測定を行った. 振動数が 50Hz の時の液面の振幅を図 6 に示す. 振幅分布を見ると, 保持位置(0, 0)で特に特徴はなく液面の振幅が液滴の保持位置に起因していると考えにくい. 図 6 の右下の水色の部分は計測が出来なかった場所で測定値を $0\mu\text{m}$ としている. また今回の実験で液滴の保持位置(x, y)= $(0, 0)$ での液面の振幅は $328\mu\text{m}$ であり, 振動加速度は 32.3m/s^2 である. 重力加速度よりも大きな振動加速度であることがわかる. つまり先行研究(1)で示されている結果と同様に液滴を保持できていることが確認できる. 先行研究との比較は 3.5 節で説明する.

Fig 5: Resonance frequency

Fig 6: Amplitude of the surface

3・3 液面の位相

3.2 節と同様の条件で液面の位相を図 7 に示す. 3° 程度の僅かなばらつきは生じているが, 全体的に位相のずれは小さく領域全体がほぼ同位相で振動していると考えられる. 図 7 の右下の赤色の部分は図 6 同様測定できない場所で測定値を 0deg としている. よって, 液面の位相が液滴の保持位置に起因していると考えにくい.

Fig 7: Phase of the surface

3・4 液面の平均変位

液面の平均変位を測定した結果を図 8(a) に示す. 液滴の保持位置では特徴は見られなかった. これについては原因が分からない. そこで「液面の平均変位」を最小二乗法を用いて平面近似をする. そして「液面の平均変位」と「近似平面」との差をとる. この処理をすることで「近似平面からの距離」が分かる. この処理を行ったものを図 8 に示す. 液滴の保持位置は周辺と比べると値が小さくなっている. つまりその部分では周辺と比べて凹んでいることが分かる. 液滴の保持位置は測定範囲内で重力ポテンシャルが極小である.

Fig 8: (a) Average of displacement, (b) Distance to plane

3・5 先行研究との比較

Couder らは振動数があまり小さいときに液滴が保持する条件として液面の振動加速度が重力加速度よりも大きいことを提案している(1). 振動数毎に振幅を変化させながら液滴の保持の判定を行った結果を図9に示す. 振動数が 50Hz の場合, 液面の振幅が最小で $328\text{ }\mu\text{m}$, 最大で $650\text{ }\mu\text{m}$ の範囲での保持が確認できた. この実験は Couder らが示した条件を満たして保持されていると考えられる. しかし先行研究(1)で示されている保持可能な振幅の下限より約 $200\text{ }\mu\text{m}$ 大きく, これは一体化する何らかの要因が存在していることが考えられる. また振動数が 50Hz 以外の場合は保持できないので振幅の測定は行っていない.

Fig 9: Comparison with previous studies

4. 結言

本研究では「振動する液面上に保持される液滴の保持位置についての液面状態との関係」について調査した. 振幅, 位相の測定結果を見ると液滴の保持位置での目立った特徴は見られず保持位置には影響が薄いと考えられる. 液面の平均変位の観点から見ると, 液滴の保持位置は保持位置周辺よりも低い位置にあり凹んでいる. つまり液滴の保持位置は重力ポテンシャルが極小である.

また先行研究との比較をし, 液滴が長時間保持できたのは振動数 50Hz が装置の共振振動数であることに より, 重力加速度より大きな振動振幅が発生したことが主な理由であると考えられる.

文 献

- (1) Y. Couder et al., From Bouncing to Floating :Noncoalescence of a Fluid Bath, Phys.Rev. Lett. 94,p. 177801.
- (2) D. Terwagne et al., Lifetime of a bouncing droplet. Phys. Rev. E94. 056311 (2007).
- (3) 上野 貴浩 日本機械学会 中国四国学生会 第 38 回学生員卒業研究発表講演会(2008/3/6). 講演番号 612.