

3次元振動子アレイを用いた集束超音波の応用

Application of focused ultrasound using a three - dimensional transducer array

高橋 翔一郎
指導教員 渡辺 裕二

拓殖大学 工学部 電子システム工学科 渡辺 (裕) 研究室

本研究では、複数の超音波を集束して物質を浮遊させる技術を探求することを目的とする。具体的には、超音波の力を利用して物体の浮揚、水を飛沫に変換、さらには蝋燭の火を消す実験を行う。本研究を通じて、これらの技術の産業や医療分野における新しい応用を探ることを目指す。

キーワード：超音波, 振動子アレイ, 超音波浮揚, 集束超音波,

1 はじめに

1.1 背景

先行研究において、超音波の定在波を利用して物体を下から上に浮かせる技術が探求されてきた。この技術は物体を非接触で浮かせることに成功している。私は微小物体の浮揚から超音波を集束することで同様のことができると考えた。具体的には、浮揚の安定性や制御性を向上させるだけでなく、集束超音波による物体の操作性をさらに高めることで、この技術が持つ新しい可能性を探求する [1]。

1.2 目的

本研究の目的は、超音波を利用した物体の浮揚技術に焦点を当て、「集束超音波の力」を活用することで、従来技術の応用範囲を広げることである。具体的には、浮揚の安定性や制御性の向上に加え、集束超音波による物体の操作性を高めることで、新たな応用の可能性を探求する。この研究の進展により、産業や医療分野を含む多様な分野での集束超音波技術の基盤の構築を目指し、実用化を促進する。

2 理論

超音波での浮揚は先行研究からできることがわかっている。その原理である、振動子アレイを複数用いて周波数 40[kHz] (波長 $\lambda=8.6$ [mm])

定在波を発生させ、4.3mm 感覚に発生する音の節に微小物体を乗せる方法で研究を進める [2]。

- ・音速 v は約 343m/s
- ・周波数 f は 40kHz

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{40,000} \approx 0.008575\text{m}$$

3 実験方法

3.1 超音波浮遊

まず、半球型の構造物に振動子アレイ (SPL社製 UT1007-Z325R) を取り付け、振動子が中心に向かって合成波を形成するように設計する。この構造の概要を図 1 に示す。

次に、出力を発振器から可変抵抗器を介してパワーアンプに接続し、最終的に 20V の電圧を出力する。この電圧により、超音波を発生させる装置を使用し、装置の上方向に向けて合成波を生成させる。合成波の節に微小物体を浮かせることができるかを確認する。その後、装置を 360°回転させながら、物体が合成波の影響を受けて落下しないことを確認する。

3.2 液体の微粒化

次に、構造物の真ん中にパイプを設置し水がでるようにした。水がパイプから出ると、超音波の集束によって液体が微粒化され、細かい飛沫が生成される。

3.3 超音波が炎に与える影響

蠟燭を等間隔に配置し、構造物の上部、側面から超音波を照射することによって、力が加わっている場所を観察する。この実験では、超音波の集束による影響を明確に可視化するため、蠟燭の炎の動きや変化に注目する。



図1 3次元振動子アレイ

3 結果

器具を上方向に向けたときに、超音波による浮揚を確認することができたが、下方向に向けて平面から物体を拾い上げることは確認できなかった。しかし、上方向に浮揚した直径 5mm の発泡スチロールの球体を、安定した状態で 360° 回転させることができた。このとき、球体を下向きに安定した状態から徐々に平面に近づけたところ、球体落ちてしまった。このときに理解したことは、反射面が近づくほど浮揚が安定しなくなることが分かった。

安定時の物体から振動子までの距離は 5.8～6.8cm であり、7～8波長の位置に集まることもわかった。

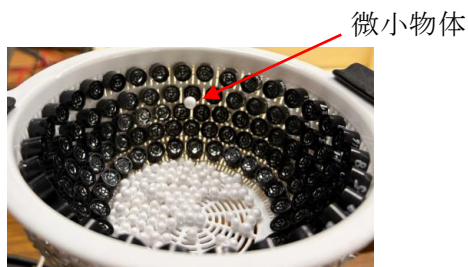


図2 微小物体の合成波での浮揚

水を微粒化することに成功したが、均一性が欠け、一部の水滴がただ零れ落ちる現象が見られた。また、パイプは音場の焦点から少し離れた位置に設置することで、より効果的に微粒化できることがわかった。

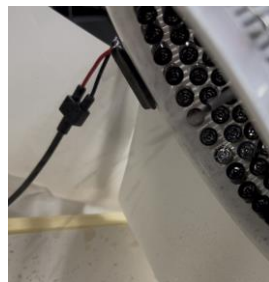


図3 液体の微粒化



図4 超音波の炎に与える影響

蠟燭に上部から超音波を照射した際、炎が押しつぶされるように火が消える現象が観察された。超音波の照射距離を増加させた場合、炎が風に揺られているかのように大きく揺れる様子が確認された。この結果は、超音波の強度や照射位置が炎の挙動に与える影響を示唆している。

4 今後の課題

振動子アレイをどの方向に向けても微小物体の相対的な位置を保持できた。このことから下方向に向けて平面から物体を拾い上げるために、まず床面から浮かせた微小物体を保持したまま持ち上げるのが今後の課題である。

液体を均一に微粒化させるためには、液体を押し出す力を安定させることが重要である。また、他の計測方法を模索し、微粒化の精度を向上させる必要がある。

蠟燭の炎を特定の位置だけ消すためのアプローチも検討したい。具体的には、超音波の照射角度や強度、照射位置を調整し、ターゲットとなる炎に対して効果的にアプローチする方法を模索する。

参考文献

- [1] 株式会社アクセル, 発見! 超音波で物体を「空中に浮かせる」実験キット, トランジスタ技術, 巻 11, 2022 号, pp44-48,
- [2] 大久保寛, 完全非接触で微小物体を拾い上げる空中音響ピンセットを開発, 東京都立大学, 東京, 2022.