

定在波音響浮揚の特性評価

2014SC036 小島康宏

指導教員：奥村康行

1 はじめに

超音波の力学的作用の一つとして音響浮揚が知られている。音を垂直方向にある反射板に向けて発することで定在波音場を発生させられる。その音場内に現れる気圧の高い部分と低い部分の間の節に物体が引き込まれて微小物体が空中に保持される。これは波の進行方向に働く音響放射圧と、音圧の節のまわりの力によって起きるものである。

音響浮揚で物体を浮かせようとするとき強力な超音波が必要となるため、複雑な装置が必要となる。先行研究 [2] では一般人にも購入可能な材料を用いた音響浮揚装置を実現可能にした。本研究では浮揚する物体の大きさ（直径）を測定する。

2 先行研究との違い

先行研究 [1] では一般人にも購入可能な材料を用いた音響浮揚装置を実現可能にした。しかし、先行研究では物体を浮揚させることが目的であったため、どの程度の大きさが浮くかはわからなかった。本研究では、先行研究で使用したキットを使い浮揚する物体の大きさ（直径）を測定する。定在波では節と腹が交互に現れ、その間隔は波長の半分である。浮かせられる物体のサイズは、大きい方は波長の 25%程度、小さい方は 1%程度までと言われている [2]。今回、それらを検証する。また、超音波振動子と反射板、下から 50 個の振動子と上から 50 個の振動子で挟む 2 つの測定の仕方では変化があるのかも同時に評価していく。

3 実験に使用するパラメトリック・スピーカー

この章では使用する機材を説明する。

3.1 パラメトリックスピーカー

本研究で使用するパラメトリック・スピーカー実験キット [3] について説明する。これは回路と超音波振動子からなる。狭い範囲にいる人に選択的に音を流すことができる超指向性スピーカーの組み立てキットである。超音波振動子の出力周波数は、 $40.0\text{kHz} \pm 0.1\text{kHz}$ である。本研究では振動子と反射板で実験を行う際は振動子を 50 個使用し、50 個の振動子同士で挟んで実験を行う際に振動子 100 個使用した。50 個の振動子と反射板で実験する際の図を図 1 で示し、50 個の振動子同士で実験する際の図を図 2 で示す。パラメトリック・スピーカーの概要を表 1 に示した。

3.2 パラボラ面に設置した超音波振動子

パラメトリック・スピーカー実験キットの出力する超音波の音圧は弱いため、集束させて焦点を作ることによって音響浮揚させることができるほどの音圧を得る。今回のパラメトリック・スピーカー実験キットは 1 チャンネル

表 1 パラメトリックスピーカー [3]

CPU	PIC16F819 20MHz
超音波発振子	AT40-10PB3 50 個接続
出力周波数	搬送波発振周波数 $40.3\text{kHz} \pm 0.1\text{kHz}$
入力	モノラル 3.5mm にて入力
電源	12VDC

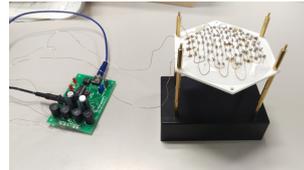


図 1 上 50 個の振動子
下 反射板

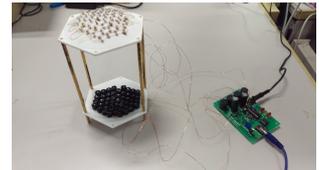


図 2 上 50 個の振動子
下 50 個の振動子

にまとめられているため、振動子の位相を変化させて焦点を変化させ浮揚する物体を制御することは難しい。そこで、振動子を平面ではなくパラボラ面にするることによって、同相で焦点を形成することにした。振動子を乗せるパラボラ面は星貴之氏が作製された物 [2] を使う。

4 実験

この章では、実験環境の説明と結果、その考察を行う。

4.1 測定範囲

実験に使用する浮揚物体（発泡ポリスチレン）の直径は、0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm の 6 つの大きさで測定する。浮かせられる物体のサイズは、大きい方は波長の 25%程度であり、小さい方は 1%程度までと言われている。今回使用する超音波振動子の周波数は約 40kHz である。空気中で伝播する音速 340m/s と考えると、波長の長さは 8.5 mm である。これより、物体の直径は大きくて直径 2 mm から小さくて直径 0.1 mm 程度浮くと考えられる。直径 0.1mm の発泡ポリスチレンを用意することが難しかったため、小さいサイズで直径 0.5mm から大きいサイズで直径 5mm までの発泡ポリスチレンを使用した。

振動子と反射板の距離は、8mm, 16mm, 25mm, 33mm, 41mm, 50mm, 58mm, 66mm, 75mm, 83mm, 91mm, 100mm, 108mm, 116mm, 125mm, 133mm, 141mm, 150mm, 158mm, 166mm, 175mm, 183mm, 191mm, 200mm の計 24 回に分ける。この間隔にした理由は波長が 8.5mm であるのでそれに近い 8mm 間隔で分けることにした。しかし、約 0.5mm の誤差があるため、8mm 間隔で測定していくと誤差が大きくなっていく。誤差を少なくするために間に 25mm 間隔で誤差を埋めた。

振動子と反射板で実験をする際に、反射板はプラスチックを使用した。

4.2 評価方法

浮揚したかどうかの評価の方法として、「振動子と反射板の距離の半分以内で物体が浮揚するか」と「3秒以上浮揚する」の2点を見ることにした。実験方法は、50個の振動子と反射板（プラスチック、50個の振動子）同士で向かい合わせて定在波を発生させる。その中にピンセットで発泡ポリスチレンを入れる。実験風景の図を図3で示す。



図3 実験風景

4.3 実験結果と考察

振動子と反射板（プラスチック）の実験結果を図4に示す。振動子と反射板（プラスチック）の距離が58mm～75mmのとき最大となった。その後急激に下がっていき、振動子と反射板の距離が116mm以上離れると物体は浮かなくなった。距離が58mm～75mmでピークとなったのは、先行研究のシミュレーションで振動子から70mm離れた距離で音圧振幅のピークとなっていたことが結果として出ている。そのためシミュレーションの結果に近い実験結果になった。116mm以上離れた距離だと浮かないのは、反射板との距離が離れば離れるほど音圧が分散してしまうからである。また、距離が離れるにつれて浮揚する物体の最少の大きさが大きくなっていった。この結果より、物体の直径は小さければ小さいほど物体が浮揚しやすいというわけではないという結果となった。

50個の振動子と50個の振動子同士で挟む実験結果を図5に示す。実験結果では、振動子同士の距離が33mm～50mmの間で浮揚させられる物体が大きくなった。しかしその後最初に浮いた大きさに戻った。91mm～200mmの間では浮揚する物体の直径3mmになった。物体の直径3mmの状態では振動子同士の距離が200mm離れても物体は浮揚した。浮揚する物体の最少直径は、振動子同士の距離が8mm～200mmの間全てで物体の直径0.5mm浮いた。

予想では物体の直径2mmまで物体が浮くと考えていたが、直径4mmまで浮揚した。予想より強い力が働いているのではないかと考えられる。そして、物体が小さければ浮きやすいわけではない。小さすぎると物体の周りに働く力が逃げるのではないかと考えられる。50個の振動子同士で挟む場合、浮揚する物体の大きさにあまり変動がなかった。

5 おわりに

実験前の予想では、物体の直径2mmまで浮揚すると考えていたが、今回の実験ではその倍近くの大きさ物体の直径4mm浮揚した。これは、予想よりも強い力が働いているのではないかと考えられる。今回は浮揚する

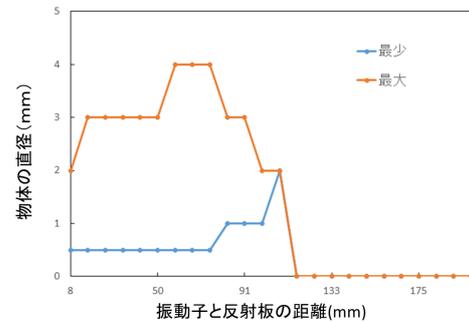


図4 振動子と反射板での実験結果

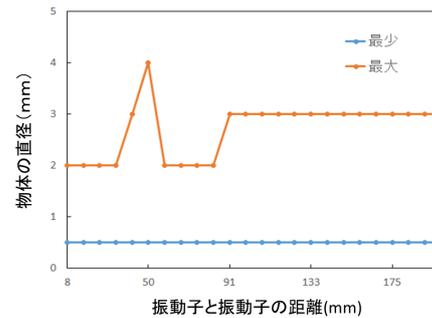


図5 50個の振動子と50個の振動子での実験結果

物体の特性評価を行った。使用したキットが1チャンネルにまとめられているため位相制御をすることが難しかったが、多チャンネル化を行い50個の振動子同士の位相制御を行うことによって物体の移動を行ったりなど幅広い応用ができるのではないかと。

参考文献

- [1] 星貴之, “DIY 音響浮揚装置を作ってみた (第2報),” エンターテインメントコンピューティングシンポジウム, p.100-106, 2015.
- [2] 星貴之, “超音波の話をしよう (13)「音響浮揚いろいろ」,” <https://media.dmm-make.com/item/3853/>, September 2017.
- [3] TriState 株式会社, “TriState-世界初! パラメトリックスピーカー実験キット,” <http://www.tristate.ne.jp/parame.html>, September 2017.
- [4] 河野通就, 星貴之, 寛康明, “音響浮揚による粒子の空中移動制御とインタラクション,” エンタテインメントコンピューティング 2013 論文集, pp. 41-46, 2013.
- [5] Inoue, “雑学ノート音の話 (その2),” <http://hr-inoue.net/zscience/topics/sound2/sound2.html>, September 2017.
- [6] Sound Disposition Lab, “周波数別試験音源,” <http://sound.jp/musicyou/index.html>, September 2017.