

電子工作キットで学ぶ超音波の力学的作用

Learning Mechanical Effect of Ultrasound with Electronic Hobby Kit

正 星 貴之 (名工大)

Takayuki Hoshi, Nagoya Institute of Technology, star@nitech.ac.jp

Acoustic levitation is one of interesting effects of ultrasound. Small particles are suspended in the nodes of a standing wave generated between an ultrasonic transducer and a reflector. The author developed an ultrasonic device with a commercially-available electronic hobby kit, which can be also developed in school and home. This device radiates sufficiently intense ultrasound to levitate small particles to visualize the periodic structure of ultrasonic standing waves. It is small and light, and children can handle it. They can freely insert/remove levitated particles, transfer them by moving the ultrasonic device, visually observing the ultrasonic standing wave. This experience excites their interest in ultrasound and encourages their motivation for further study.

Key Words: Science education, Airborne ultrasound, Acoustic levitation, Standing wave, Visualization.

1. はじめに

科学教育において、音の可視化は学生の興味を惹き、また理解を助けるためしばしば実施される。クラドニ図形 [1] はスピーカーによって駆動される振動板に細かい砂を撒き、板の固執振動パターンに砂が集まる様子を観察するものである。クント管 [2] はスピーカーが取り付けられた透明な管に粒子を封入し、定在波の節に粒子が集まる様子を観察するものである。これらの演示装置は科学館などで展示され、また教育現場や家庭においても製作が比較的容易である。

筆者は、超音波を集束させる装置 [3] を開発し、その応用を探索する研究を行っている。285 個の超音波振動子を適切な位相差をもつ信号で個別に駆動することにより焦点を形成し、そこに生じる強力超音波の非線形作用を利用する。例えば非接触で物体を押すことができる (音響放射圧)。粘性流体に照射すると液面が押されて凹むため、焦点の断面を可視化することができる [4]。また定在波を形成するとその節に粒子が捉えられ空中に浮く [5] (音響浮揚)。これによって定在波の周期構造が可視化される。これらの現象を展示すると人々の興味を惹くことから、科学教育の効果も期待される。しかしこの超音波装置は制御回路が複雑であり、一般人が製作することは困難である。

この困難を回避するため、市販の電子工作キット [6] を用いて音響浮揚装置を製作した [7] (図 1)。同梱の駆動回路は 50 個の超音波振動子を単一の信号で駆動する。振動子を球面に配置することで単一の信号でも焦点が形成されるようにし、キットの駆動回路をそのまま利用できるようにしている。床面との間に定在波を形成すると直径 0.5 mm のポリスチレン粒子が節に捕捉される。研究用の超音波装置より振動子が少ないため出力は小さいが、入手と製作が格段に容易である。

本稿ではこの音響浮揚装置を紹介し、展示会で子供たちに体験させた際の様子について報告する。

2. DIY 音響浮揚装置

本研究で使用する市販の電子工作キットと、超音波を集束させるため製作した球面アレイについて紹介する。

2.1 パラメトリック・スピーカー実験キット

超音波振動子アレイと駆動回路からなる、狭い範囲にのみ可聴音を届けるスピーカー (超指向性スピーカーとも呼ばれる) の組立てキットである。振動子の共振周波数は 40 kHz

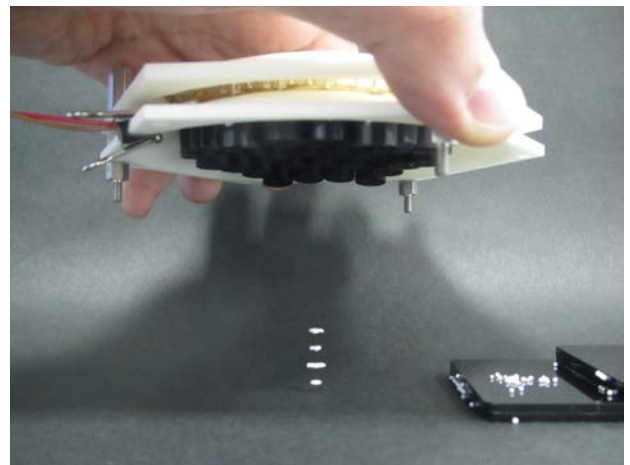


Fig. 1 Acoustic levitation with developed ultrasonic device.

である。振動子アレイは平面基板に直径 10 mm の振動子 50 個を搭載したものであり、同相で駆動されることにより直進性のよい超音波の平面波を出力する。駆動回路はオーディオ入力に応じて超音波を FM 変調する機能を持ち、空気の自己復調作用により変調成分が可聴音として放射される。これにより超音波ビームに沿った仮想的な可聴音の音源アレイが空气中に形成され、結果として可聴音のビームが形成される。

本研究では照射される超音波のみ利用し、可聴音は不要である。そのため駆動回路のボタンを押して周波数調整用の変調なしの超音波を出力させるか、ほぼ聞こえない程度まで可聴音の音量を小さくして動作させる。

2.2 球面アレイ

図 2 に製作した球面アレイの形状と寸法を示す。これに振動子 50 個を搭載し、すべてに共通の信号が送られるよう配線する。曲面の半径は 10 cm であり、この距離で焦点が形成される。径も 10-12 cm と片手で持てるサイズである。

この曲面アレイの 3D モデルデータ [8] を作成し、3D プリントにより製造した。素材は耐熱性とコストからナイロンを選択した。振動子を挿し込んで配線と半田付けすることによって固定した。また、裏に突き出ている振動子の端子が手に触れて怪我を負わせることのないよう、振動子アレイと同じ形状のカバーを被せた。

3. デモ展示

子供が多く訪れる科学技術振興機構サイエンスアゴラにて上述の音響浮揚装置のデモ展示を行った [9]。展示にあたって厚さ 4 mm のアクリル板を積み重ねた階段模型を用意した。この上にポリスチレン粒子を散乱させておく。最上段から定在波を移動させていくと、段を下りるたびに異なる高さの節に粒子が吸い込まれ、定在波が可視化される (図 1)。

ほとんどの体験者がすぐに現象を把握し、多層の音響浮揚を問題なく体験していた (図 3)。振動子アレイを床面と平行にすると多層に成功しやすい、節に捉えられた粒子が多いと次の段への移動時にはじけやすい、などのノウハウを発見的に体得していた。一度遊んだ子供がしばらくして友達を連れて再び訪れたり、小学校低学年と思われる子供が 10 分以上練習している様子も見られた。

4. おわりに

電子工作キットを用いて音響浮揚装置を製作した。これをデモ展示した際の体験者 (子供) の様子を報告した。体験者が長時間滞在したり、自ら試行錯誤するなど、現象に興味を惹かれている様子が確認された。

超音波の力学的作用を目の当たりにして超音波という単語や周期的に浮かぶ粒子が記憶に刻まれることで、将来の学習意欲につながるなど、教育効果が挙げられれば幸いである。

謝辞

球面振動子アレイの 3D モデルデータは福田智弘氏 (名古屋工業大学) により作成された。感謝の意を表し、ここに記す。

参考文献

- [1] 坂上公博: 連載企画 一音の博物館— クラドニパターン, 日本音響学会誌, vol. 65, no. 6, p. 337, 2009.
- [2] 上野佳奈子: 連載企画 一音の博物館— クントの実験による定在波の可視化, 日本音響学会誌, vol. 63, no. 2, p. 116, 2007.
- [3] 星貴之: 非接触作用力を発生する小型超音波集束装置の開発, 計測自動制御学会論文集, vol. 50, no. 7, pp. 543-552, 2014.
- [4] 星貴之: 粘性流体を用いた空中超音波触覚ディスプレイの圧力分布の可視化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 講演論文集, 2A2-B04(1-3), 2013.
- [5] 河野通就, 星貴之, 寛康明: lapillus bug: 音響浮揚操作に基づいた粒子の生物的表現とインタラクション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 19, no. 4, pp. 615-624, 2014.
- [6] パラメトリック・スピーカー実験キット, <http://www.tristate.ne.jp/parame.htm>.
- [7] 星貴之: DIY 音響浮揚装置を作ってみた (第 2 報), エンタテインメントコンピューティング 2015 論文集, pp. 100-106, 2015.
- [8] 振動子アレイ用曲面 3D CAD データ, <http://make.dmm.com/item/273960/>.
- [9] 星貴之: 超音波のちから〜手で感じる, ものが浮く〜, サイエンスアゴラ 2015, Aa-010, 2015.

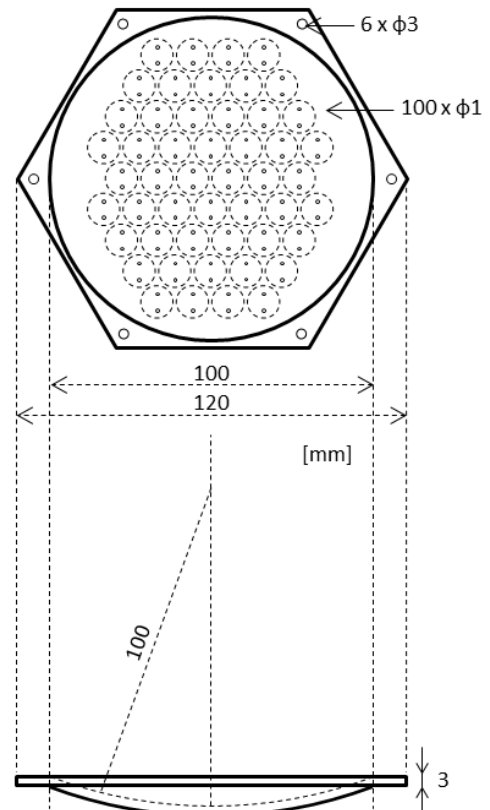


Fig. 2 Dimensions of designed transducer array.



Fig. 3 Demo at Science Agora.