

# 手作りスピードガン

6班 石山溪也

## 1. はじめに

バドミントンは最速の競技と言われており、そのスマッシュのギネス記録は 493 km/h である。しかし自分のスマッシュの速度を測る機会はない。高校の物理の授業でスピードガンの原理を習ったので自分の手でスピードガンを作りたいと思った。バドミントンのスマッシュは、初速はとても速いが、シャトルは羽でできているため空気抵抗が大きい。そのため相手に届くまでにかかなり減速している。野球のピッチャーが投げる球の速度も一定ではなく、減速しているはずである。速度測定を連続的にを行い、測定開始から終了までの対象物の速度をグラフとして取り出せるスピードガンを作ることが目的である。またどうしたらスピードガンの精度を向上させられるかを調べる。

## 2. 原理・実験方法

音速を  $V$  m/s、対象物が速度  $u$  m/s で向かってくるとする。 $f$  Hz の音波を出すと、対象物が受ける音波の振動数  $f'$  は

$$f' = \frac{V+u}{V} f \quad (1)$$

である。スピードガンで観測する対象物で反射した音波の振動数  $f''$  は

$$f'' = \frac{V+u}{V-u} f \quad (2)$$

である。<sup>1)</sup>

これを  $u$  について解くと

$$u = \frac{f'' - f}{f'' + f} V \quad (3)$$

となり、 $V$  と  $f$  を定め  $f''$  を測定することで対象物の速度  $u$  を求めることができる。

スピードガンで測定した速度が正しいか調べるために、背景にメジャーを置き、対象物の運動をハイスピードカメラで撮影する。コマ送りで映像を見て、算出した速度を正確な速度とし、スピードガンで測定した速度と比較する。速度を測定する際に物体がスピードガンにぶつかってしまうと、故障の原因になりかねないので図1のような測定方法を考案した。はじめは波が反射しやすいと考えられる平らな面を動かし速度を測定する。測定できることが確認されたら、最終的にはバドミントンのシャトルの運動を測定することを目標にした。

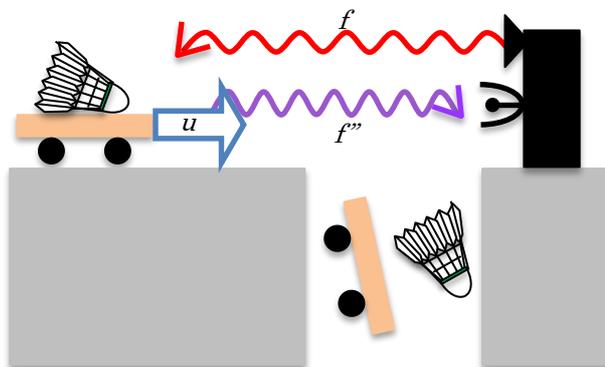


図1 測定方法および最終目標

## 3. 製作

スピードガンには周波数  $f = 40$  kHz (= 40000 Hz) を出すことができる超音波スピーカを選定した。回路とプログラムを組んだところ、スピーカから出る周波数はスピーカに印加する電圧の周波数であることが分かった。ファンクションジェネレータをスピーカにつなぐことで様々な周波数の音波を出すことができた。

マイクは 10 kHz~65 kHz の周波数の音波を感知できるものを使用した。

マイクから入力した波形を図2に示す回路によりオペアンプで増幅し、Arduinoに接続した。実際に作成した回路の写真を図3に示す。

周波数を特定する際、FFT（高速フーリエ変換）を行い、ピークとなる周波数を特定した。<sup>4)</sup>

音速は  $V = 331.5$  m/s とする。式 (3) に  $f$  と  $V$  を代入し、単位を km/h に変換すると

$$u = 1193.4 \times \frac{f'' - 40000}{f'' + 40000} \quad (4)$$

となる。特定した波形の周波数  $f''$  を式 (4) に代入し、速度を求める。

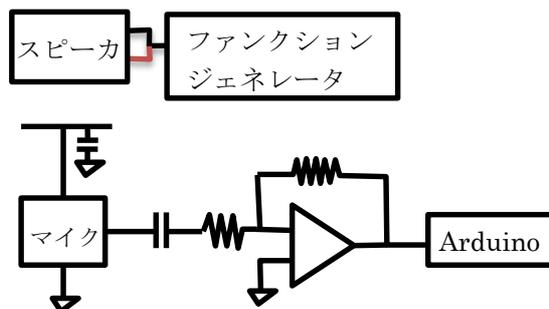


図2 回路図

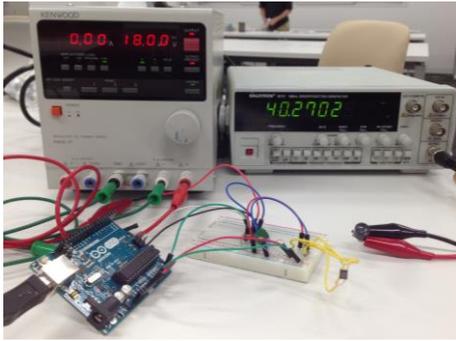


図3 完成図

#### 4. 考察

周波数を測定するプロセスやドップラー効果について調べることで、精度を上げる方法がいくつか分かった。

##### 4.1 超音波

人間が聞くことのできる周波数の音は拡散しやすく、そのため減衰もしやすい。一方、人間には聞くことのできない超音波は直進性が良く拡散しにくいいため、減衰も小さい。反射波の周波数を測定しやすいように、スピードガンには超音波を使用すると良い。<sup>2)</sup>

##### 4.2 コンピュータの処理速度

Arduino について調べていくうちに、周波数を測定する仕組みが分かった。周波数を特定する際、波形から一周期を探し出さなくてはならない。多くの点を取れば、それだけ正確に周波数を特定できるが、コンピュータの処理速度には限界がある。そこで周波数を特定するのに最低でも一周期あたり四点は取りたい。周波数が高すぎると図4のように違う周波数を測定してしまう可能性があり特定できなくなってしまう。つまり低い周波数の方が測定しやすいことがわかる。<sup>3)</sup>

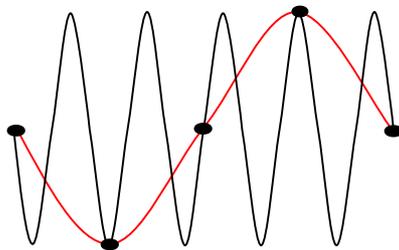


図4 波形の特定

##### 4.3 測定方向

物体が近づいてくるとき、式(2)から周波数が大きくなるのがわかる。逆に物体が遠ざかっていくときは、 $u$  が  $-u$  になるので周波数は小さくなる。スピードガンの精度向上および測定可能な周波数の領域拡

大をしたければ、物体が遠ざかる方向に測定すれば良いことが分かった。そのため物体が遠ざかる方向を正の方向とすると式(3)は

$$u = 1193.4 \times \frac{40000 - f''}{40000 + f''} \quad (5)$$

となる。

#### 4.4 運動速度

スピーカから超音波マイクに、さまざまな周波数の音波を直接入力したところ、周波数にそれぞれ対応する数値を出力することができた。しかし感度があまりよくないため、近距離でしか観測できなかった。マイクをスピーカに近づけたり遠ざけたりしながら観測したところ、周波数の値に変化が見られた。このことからドップラー効果が起きていることが確認できた。しかしスピーカをゆっくり動かしたくらいでは周波数の変化は見られなかった。式(2)から分かるように、測定する物体の運動は速い方がドップラー効果が顕著に現れ、速度を測定しやすいことがわかった。

#### 5. 結論

スピードガンとして速度を測ることは出来なかったが、FFT を実行することができた。もっとプログラミングについて知識があれば実現できた。

野球のピッチャーが投げる球の速度は、球審の後ろから測定することが多いので物体は近づく方向で測定されている。また数十メートル離れた地点から測定できている。今回マイクやスピーカは小さなものを用意できたので簡単に持ち運びできるスピードガンを作りたかった。しかしマイクのオペアンプやスピーカにつなぐファンクションジェネレータが必要であった。そのため持ち運びできるようなサイズのもの出来なかった。販売されている製品の凄さを思い知るとともに、自分で考えたテーマを実現することが非常に困難であることを痛感した。

#### 参考文献

- 1) 松本洋介, セミナー物理 I + II 2010, 第一学習社
- 2) 超音波の性質  
<http://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi01/acsto03/tyouonnpa1.html> (2014/12/21/23:04)
- 3) Arduino Utility ライブラリ  
<http://ehbtj.com/electronics/arduino-utility-library/> (2014/12/21/23:08)
- 4) Arduino で FFT  
<http://jiwashin.blogspot.jp/2014/01/arduinofft.html> (2014/12/21/23:10)