

10.525 GHz の安価なマイクロ波送受信 モジュール NJR4178J を応用

ドップラー・センサを使った スピード・ガンの製作

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

製作したスピード・ガンの概要

マイクロ波は、電子レンジ、携帯電話などに幅広く利用されています。一般にマイクロ波の機材は高価で、入手も困難であり、基本的な実験ですら敬遠されがちです。そこで今回は入手が容易で、しかも安価なマイクロ波ドップラー・センサ・モジュールを利用して、数字と音で対象物の速度を表示できるスピード・ガン(写真1)を作ってみました。

マイクロ波を使ったスピード・ガンは、ドップラー効果を利用した速度計であり、野球のピッチャが投げる球速の測定、交通違反の取り締まりなどに使われています。このほか、液体の流速や、工場ラインの搬送速度監視など、産業分野にも広く使われています。しかし、いずれも非常に高価(数万~数十万円以上)であり、入手は容易ではありません。本稿は5,000円程度で製作できて、実用性のあるものを目指しました。とはいえ、本格的な測定器に代わるものではなく、ゴルフやテニスの素振り速度の測定や、工程の簡単な速度監視などに使うことを前提としています。

図1が製作したスピード・ガンの概要です。このドップラー・センサ・モジュール(以下、モジュール)には、送信機と受信機が組み込まれています。送信機

から出た電波がボールなどの対象物に当たり、これが反射して同じモジュール内に組み込まれた受信機に入ります。モジュールの出力は、送信周波数と受信周波数の差の周波数を持った信号です。

対象物が動いていると、ドップラー効果により、その速度に比例して周波数が変わります。この信号を増幅してスピーカを鳴らせば、音の高さから速度を判別できます。また、周波数に比例した電圧に変換してテスタなどの電圧計に速度を表示しています。

ドップラー効果とは

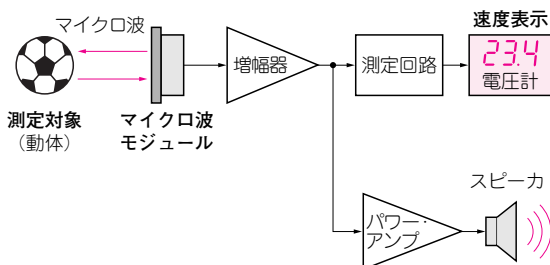
近づいてくる救急車のサイレンは高い音で聞こえ、遠ざかると低く聞こえます。このような現象をドップラー効果と呼んでいます。

今、図2のように、動いている反射物X(ここではボール)のまえに、静止している波源S(周波数 f_1 Hz)があるとします。ボールが一定の速さ v m/sでSの方に近づいているとき、ボールからの反射波の周波数 f_2 Hzは次のようにして求められます。

今、波の速度を c m/sとすると、点 A_0 で反射した波は、1秒後には距離 c mだけ進んで点Bに到達します。その間にボールXは距離 v mだけ進んで点Aにきます。したがって、反射した波はA~B間つまり距離 $(c-v)$ mの間に押し縮められます。また、この1秒間に点 A_0 に達した波の数は、



〈写真1〉 バドミントン用ラケットの素振り速度を測定中の本機



〈図1〉 製作したスピード・ガンの構成(速度表示だけでなく、ドップラー・シフト音を聞くことができる)

見本

$$f_A = \frac{f_t (c + v)}{c} \dots\dots\dots (1)$$

ですから、反射波の波長 λ_r は、

$$\lambda_r = \frac{c - v}{f_A} \dots\dots\dots (2)$$

と計算できます。以上から点Sにおける反射波の周波数 f_r は、

$$f_r = \frac{c}{\lambda_r} = f \frac{c + v}{c - v} \dots\dots\dots (3)$$

となります。周波数の変化分 f_d を計算すると、

$$f_d = f_r - f_t = \frac{2vf_t}{c - v} \dots\dots\dots (4)$$

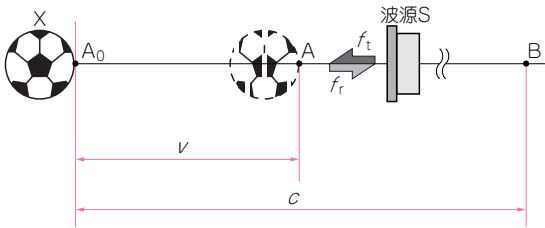
ですが、 $c \gg v$ ですから、

$$f_d = \frac{2vf_t}{c} \dots\dots\dots (5)$$

と近似できます。 f_d は「ドップラー・シフト」と呼ばれます。例えば $v = 60 \text{ km/h}$ の場合は、 $f_t = 10.525 \text{ GHz}$ 、 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ですから、

$$f_d = \frac{2 \times 60 \times 10^3 \times 10.525 \times 10^9}{60 \times 60 \times 3 \times 10^8} \doteq 1169 \text{ Hz}$$

となります。図3はこれをグラフにしたものです。



〈図2〉 反射物が動くときのドップラー効果

マイクロ波ドップラー・センサ・モジュールの概要

写真2にモジュールの外観、表1に主な仕様を示します。これは自動ドアのセンサなどに应用されています。

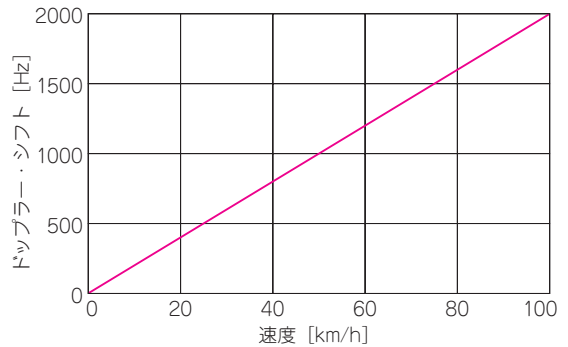
右のプリント基板面にはマイクロストリップ・アンテナ(パッチ・アンテナ)のパターンが見えます。右が送信側、左が受信側です。各矩形パターンの長手方向の寸法が $\lambda/2$ です。発振周波数 $f = 10.525 \text{ GHz}$ の波長 λ [m] は、光速を $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とすると、

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.0 \times 10^8}{10.525 \times 10^9} \doteq 0.0285 \dots\dots\dots (6)$$

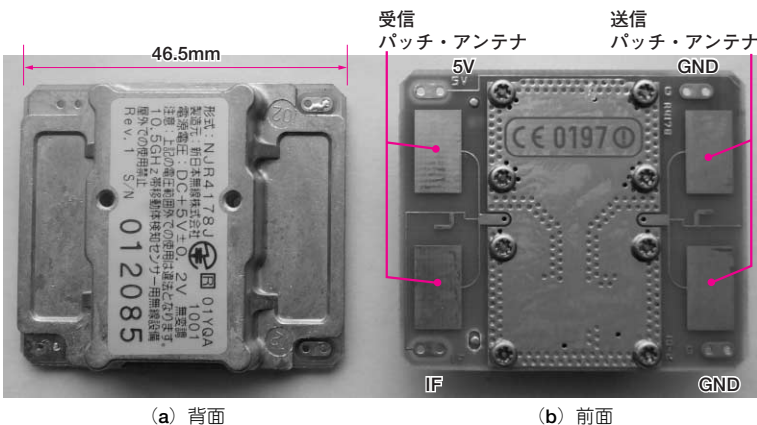
となって約 28.5 mm ですから $\lambda/2 = 14.2 \text{ mm}$ ですが、プリント基板の誘電率に応じた短縮効果により、実寸は約 11 mm となっています。

このパッチ・アンテナは、図4のようにパターン面に対して垂直方向に指向性があります。

図5がモジュールの内部構成で、測定物からの反射波 f_0 と発振器 f_s の信号を混合し検波して、差の周波数 $f_s - f_0$ を出力します。なお、このモジュールは電波法の技術基準適合認証済みであり、免許申請などは不要



〈図3〉 物体の速度とドップラー・シフト



(a) 背面 (b) 前面

〈写真2〉 マイクロ波ドップラー・センサ・モジュール NJR4178J [新日本無線株]

〈表1〉 NJR4178J の主な仕様

項目	仕様
中心周波数	10.525 GHz \pm 5 MHz
出力	7 mW
動作電圧	+ 5.0 \pm 0.2 V
消費電流	30 mA _{typ}
使用条件	日本(屋内のみ)