マイクロ波実験装置の製作

５年Ｂ組　寺川　峻平
指導教員　米田　隆恒

１．要約

電磁波の性質を学習する際、学習者が自らの手で実験を行うことによって、より理解が深まると考えられる。そこで、市販のドップラーセンサモジュールを利用し、高校物理の生徒実験に使えるマイクロ波実験装置を製作した。

キーワード　マイクロ波、実験装置、ドップラーセンサ、教材、多重反射、干渉

２．研究の背景と目的

数年前､私は電磁波の性質に興味を持ち、物理の教科書を読んでそれらを理解しようとした。また、実験によってそれらを確かめたいと思った。しかし、本校にはそのような実験を行うための実験装置が無かったため、自作することにした。

製作にあたり、装置はなるべく単純な構造となるように注意した。これは、部品点数を減らすことで材料費を抑えられること、装置への理解と製作・保守が容易になることを目指したからである。

また、これらの目標は装置を教材として生徒実験に用いるというもう一つの目的にも沿うものであるため、教材としての用途にも留意しながら研究を進めることにした。

３．研究内容

3.1 装置の概要

一口に電磁波といっても、X 線・可視光線・赤外線など、周波数によっていくつかに分類される。製作に使用したドップラーセンサは、マイクロ波と呼ばれる周波数帯域の電磁波を扱うものであり、その波長が数 cm であるため、実験を机の上のスケールで手軽に行うことができる。

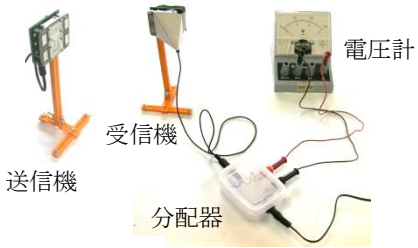

図１　マイクロ波実験装置

今回製作した装置は、送信機・受信機・分配器・電圧計で構成されている(図１)。それぞれの役割は以下の通りである。

・送信機：マイクロ波の送信を行う
・受信機：マイクロ波を受信し、受信強度を出力する
・分配器：受信機へ電源供給を行い、受信機からの出力信号を電圧計へ中継する
・電圧計：受信機の出力電圧を表示する

これらを組み合わせて使用し、受信強度測定を行う。以下に実験例を挙げる。

・物質中のマイクロ波の波長測定
・反射、屈折、回折、干渉などの確認
・透過率の測定

・横波の検証と電場の振動面の測定
・レンズ、フレネルゾーンプレートの実験装置の製作にかかった費用(材料費)はおよそ 9000 円である。性能の差はもちろんあるが、市販の実験装置が数十万円と高価なのに対して非常に安価に製作できた。

3.2 ドップラーセンサ

マイクロ波の発振回路やアンテナの設計・製作は困難であったため、市販のドップラーセンサモジュール(以下ドップラーセンサ)を利用し、その機能の一部を活用することにした。使用したドップラーセンサは新日本無線社の NJR4178(図２)という製品で、本来はその名前の通りドップラー効果を利用した動体検知などに用いられるものである。

マイクロ波はドップラーセンサ内部の誘導発振器(約 10.5GHz)で生成され、送信アンテナから出力される。反射して返ってきたマイクロ波は同じドップラーセンサの受信アンテナで受信され、ドップラーセンサ内部で送信波と混合、検波され出力されるという仕組みである(図２)。ドップラー効果によって受信波の振動数が変化するとドップラーセンサ内部で混合された内部合成波にうなりが生じ、出力信号は送信波と受信波の差の周波数で振動する。

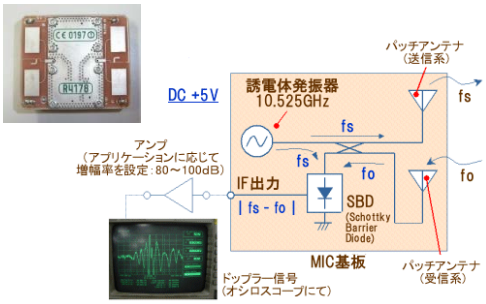

図２　NJR4178
新日本無線 Web サイトより引用

3.3 受信強度測定への応用

２つのドップラーセンサを向かい合わせて静置すると、出力信号④はドップラー効果の有無に関わらず振動する。これは、２つのドップラーセンサの発振周波数の個体差によって送信波①と受信波②の周波数が一致していないためである。今回使用したドップラーセンサの仕様を確認すると、“周波数安定度：±５MHz max.”とある。つまり、異なる２つのドップラーセンサでは、発振周波数に最大 10MHz の差があるということである。このため、出力信号④は最大で 10MHz の周波数を持ちうる。

また、うなり成分④(③)の振幅は受信波②の強度に従って大小に変化する(図３)。

よって、ドップラーセンサを２つ使用し、どちらか一方の出力信号の振幅を測定することによって受信強度測定を行うことができる。

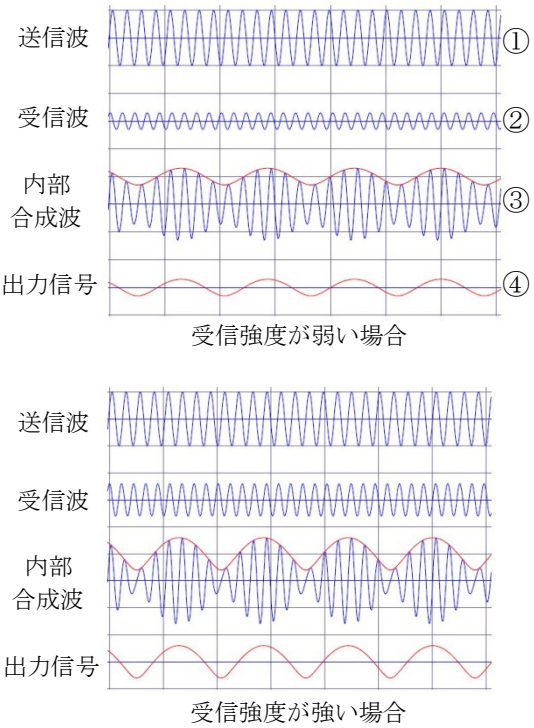

図３　受信強度と出力信号の
振幅(電圧)との関係

3.4 構成

［送信機］

ドップラーセンサ、電源回路とスタンドで構成される。

電源回路はACアダプタからの直流電源を５Vの三端子レギュレータで安定化させてドップラーセンサに供給するだけのものである。送信側ドップラーセンサの信号出力端子は未使用である。

スタンドには田宮模型のユニバーサルアームを利用した。ユニバーサルアームとはスチロール樹脂でできた棒状の工作用構造材で、５mm間隔で穴が開けられており切ったり組み合わせたりといった工作が簡単に行えるという特徴を持つ。これを用いることで、木材やアクリル板などと比べて加工の手間が減り、実験に合わせてスタンドを作り替えたり同じ状態を再現したりといったことが行い易くなった。

設置の自由度を高めるため、電源は受信機側とは別に用意した。

［受信機］

ドップラーセンサ、増幅回路とスタンドで構成される。

増幅回路では、ドップラーセンサの出力信号の振幅を電圧計で扱えるレベルに増幅する。出力信号の中心電圧は0Vではなく受信機の設置位置や周辺環境によって変動するので、コンデンサを直列につないで直流成分をカットし、中心電圧を0Vとする必要がある。その後、ダイオードとコンデンサで負電圧側カット・平滑化し、オペアンプで増幅する。

スタンドは送信機と同じようにユニバーサルアームで製作した。

［分配器］

２芯シールド線で受信機と接続し、増幅回路への電源の供給と増幅回路からの出力信号の中継を行う。配線は図のようになっている。

受信機と分配器を接続するケーブルは図４のように電源とGND線をクロスさせている。こうすることで、分配器側ではジャックの一番奥に、受信機側ではプラグの最後に刺さる端子に電源ラインが引かれることになり、ACアダプタをコンセントに挿したままケーブルを抜き差ししてもドップラーセンサや増幅回路が壊れにくくなる。

ケースには百円ショップのタッパーを用いた。

図４　クロスケーブル

［電圧計］

学校の直流電圧計を用いた。

マイクロ波の受信強度が０のとき、増幅回路からの出力電圧は0Vではない。このため、実験に際しては受信強度０のときの値をオフセット電圧として記録しておき、実験値から引く作業が必要になる。

3.5 多重反射防止シールド

２つのドップラーセンサに何も手を加えない状態で本実験装置を使用し、送信機と受信機を遠ざけて行き、電圧計の値を記録すると、値は単調に小さくなるのではなく

距離が約λ/2変化するごとに極大が現れる。ここでλはマイクロ波の波長であり、空気中では約 28mm である。極大が現れるのは送信機と受信機の間でマイクロ波が反射を繰り返し、干渉しあうためだと考えられる。このままでは不便なので、多重反射が起こらないようにするためにシールドを製作した。

マイクロ波を正面以外へ反射させるために、シールドの形は図５のような四角錐とした。アルミホイルをコピー用紙で挟むようにしてそれぞれ接着し、それを切り抜いて組み立てた。コピー用紙で挟んだのは、加工が簡単になり絶縁にもなるためである。

図５

これを送信・受信用のドップラーセンサそれぞれに装着したところ、出力信号の変動を減らすことができた。しかし、干渉の影響を完全になくすことはできなかったため、定量的な実験を行うときにはこの変動に注意する必要がある。

４．今後の課題

高校３年生の物理の授業で生徒実験に使用してもらったとき、受信機と分配器とをつなぐケーブルが断線してしまうことがあった。また、プラグをケーブルにハンダ付けするのは手間がかかるので、これらを踏まえてケーブルの構造、作り方を見直す必要がある。

また、多重反射防止シールドを改良したい。送信機と受信機のなす角によっては四角錐のシールドが邪魔になる場合がある。そこで、マイクロ波を正面以外の方向に反射するのではなく、吸収してしまう素材を使うことを考えている。

５．参考文献

[1]新日本無線　技術サポート
http://mc.njr.co.jp/jpn/technical/sensor_2.html
[2]RF ワールド　サンプルページ
「ドップラー・センサを使ったスピード・ガンの製作」
http://www.rf-world.jp/bn/RFW05/samples/p126-127.pdf
[3]「電子回路入門講座」見城尚志・高橋久，電波新聞社

６．謝辞

今回の研究において、顧問の米田先生をはじめとして多くの方々にアドバイスをいただきました。また、何人かの友人に実験を手伝っていただきました。この場をお借りして、深くお礼申し上げます。