

電波実験の工夫と考案

鈴木秀則

筑波大学システム情報工学等支援室
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

情報学類 3 年生を対象とした主専攻実験のテーマのひとつである「通信システムの基礎」は「光伝送の基礎」、「電波の実験」、「能動 RC フィルタ」の 3 つのテーマの実験を行っていて、そのうち電波に関する実験の紹介をする^[1]。電波の実験は電波の散乱、反射を防止する専用の実験室で行うのが理想であるが、学生実験では普通の部屋で実験を行っているため理想に近い測定データを得ることは難しい。そのため実験がよい環境で行えるよう様々な工夫を試みた。

1. はじめに

電波は電界と磁界の波から出来ていて、実験では電界、磁界それぞれについて検波器を使用して測定を行っているが、実験で使用する電波は微弱なため増幅器を送信機と検波器の間に置いて測定している。送信機から発射された電波は実験室中を反射して飛び交い、検波器で測定される電波は合成された値となる。電波の強度は距離の 2 乗に反比例するので、反射された電波が検波器に届く距離を長くするように様々な角度に反射させるような障害物を置いたりして工夫している。しかし実際測定してみると、電界に関しては理論に近い値が測定できるが、磁界は理論に近い値を測定するのは難しく、メーターの針がなかなか一定値にならないなどストレスを感じる学生もいるようである。

筆者は 10 年以上電波実験に携わってきたが、ドップラーレーダー実験では最近機器の劣化と思われるノイズ等が入って、測定機器のオシロスコープの波形に歪みと揺れが目立ってきて測定しにくい状況が出てきた。その問題を解決するため、ノイズの周波数成分をカットするフィルタを製作したところ非常に良い結果が得られた。

2. 実験の概要

通信システムの基礎実験は週 2 回（各 2 限）行われているが、そのうち電波実験には 6 回分割り当てられ、以下の項目についての測定を行う。

1. 検波器の特性
2. ホーンアンテナの放射特性
3. 反射、透過
4. 回折
5. 回折による干渉
6. 反射による干渉
7. ブラグ反射
8. ドップラーレーダー

これらの測定のため、実験には以下のような装置や図 1 に示すような機材を用いて行う。

- ・送信機・・・ガンダイオードにより 10.5 GHz の電波を発振し、ホーンアンテナから垂直偏波（電界）を出す。
- ・検波器・・・電界と磁界の 2 種類ある。
- ・増幅器・・・検波器の出力が小さいので検波器と電流計の間に増幅器を接続して測定する。
- ・電流計・・・検波器からの信号を測定する。
- ・金属板・・・アルミ板製で電波の反射、回折、干渉の実験に用いる。
- ・金属格子・・・絶縁体の枠に等間隔に金属棒をとりつけてある。反射、透過の実験に用いる。
- ・プリズム・・・パラフィン製で全反射の実験に用いる。
- ・半透過板・・・塩化ビニール製の板で反射の実験に用いる。
- ・結晶モデル・・・一面玉 9 個の正立方体でブラグ反射の実験に用いる。
- ・オシロスコープ・・・ドップラーレーダーの実験に用いる。

実験は受講生が多い場合は 1 セットあたり 2～3 名で行う。受講生が少ない場合、グループでの実験を希望する学生もいるが、理解を深めてもらうためにも出来るだけ 1 人で実験を行うように指導している。

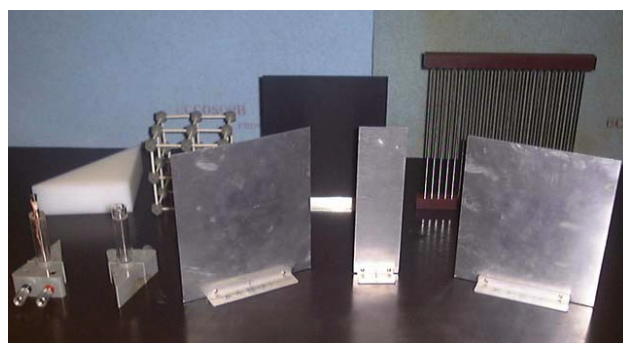


図 1. 実験に使用する機材

3. 実験補助装置の製作

3.1 実験台

検波器の特性、ホーンアンテナの放射特性を測定する実験では送信機と検波器の距離と角度を少しずつ変化させて行うが、その時に配線コードを引っ張

ったりするため角度と距離がずれて検波器の位置調整に手間取る事が多い。実験机に定規と分度器を描いてそれに沿って検波器を置く方法で測定をしていたが、コードを引っ張っても検波器がずれないように図 2 に示すような実験台を製作した。学生には実験台の使用は自由に行っているが、全員実験台を使用した方が容易に測定出来ると好評で、特に角度を変化させた場合の誤差は少なくなっていると思われる。

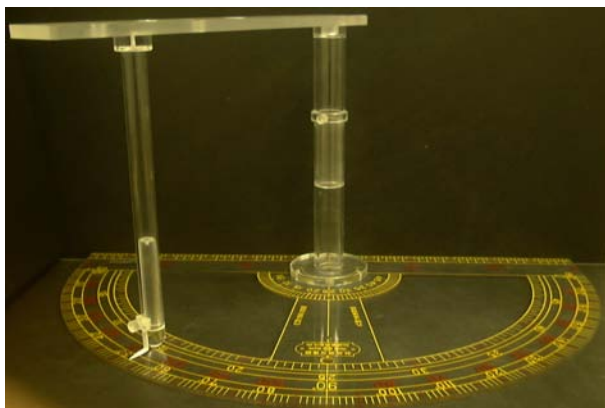


図 2. 実験台

3.2 電波吸収材の効果

送信機から検波器に向けて発射された電波は検波器以外のところにも飛んで行き、部屋の中で反射された電波がまた検波器が拾うことになり、実験の測定中に電流計の針がなかなか一定にならない。また、同じ実験をしても 1 回目のデータと違った測定値を検出することも多い。

検波器の特性の測定結果を図 3 と図 4 に示す。グラフの最大値、最小値はメーターの揺れを表している。電界よりも磁界の方が影響が大きく、電界では検波器の角度が 5 度の時に 70~80 μA 、磁界では 0 度の時に 77~84 μA の間の値となった。このデータは通常学生実験で行っている実験室でのデータだが、この部屋よりもっと狭い部屋で実験すると、誤差はさらに大きい結果となった。電波の強度は距離の 2 乗に反比例するため、角度をつけて障害物をいくつか設置して、部屋の中で反射された電波が検波器に届く距離を出来るだけ長くして、反射電波の強度を弱める工夫などをして実験をしていたが、退職された指導教員の電波研究室から譲渡された縦横約 60 cm、奥行き約 30 cm の図 5 のような誘電体の電波吸

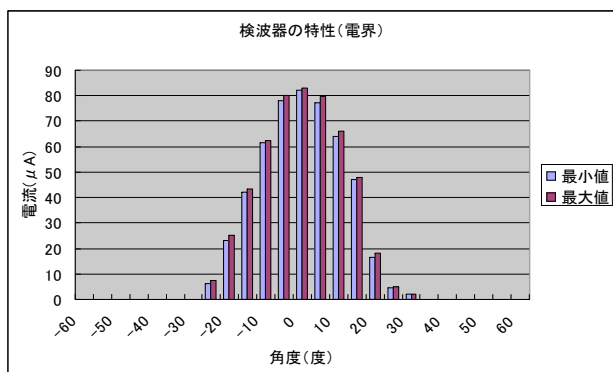


図 3. 電界の測定
角度が 5 度の時に 10 μA 程度の揺れが出た。

収材を複数個組み合わせることでその効果を確かめる実験を行った。影響が大きい磁界の測定結果を図 6 に示す。角度が 0 度のときに $\pm 1 \mu\text{A}$ 程度の揺れが出たが、電波吸収材を横だけでなく上にも置いたり工夫して組み合わせることにより、メータの揺れはほとんどなくなり、電波吸収材の効果は非常に大きいことが実証された。電界ではメータの揺れは全くなかった。

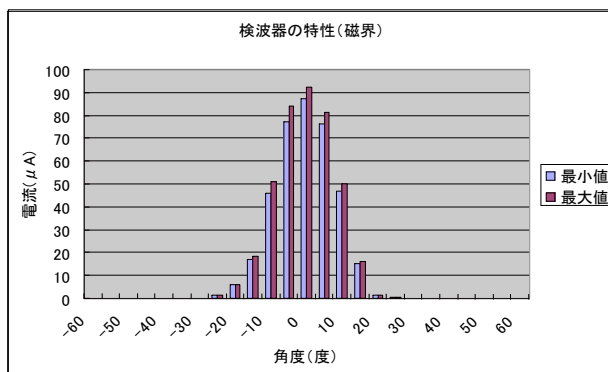


図 4. 磁界の測定
磁界では電界以上にメータの揺れが大きかった。

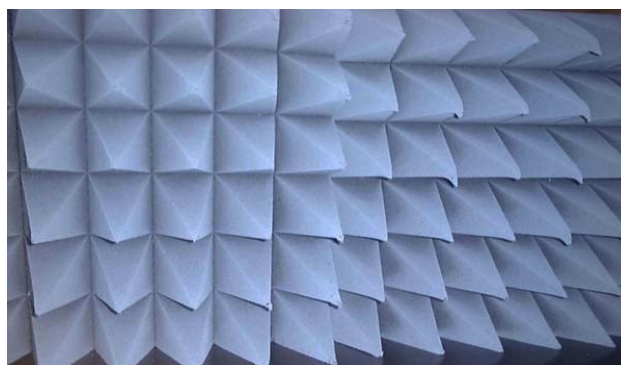


図 5. 電波吸収材

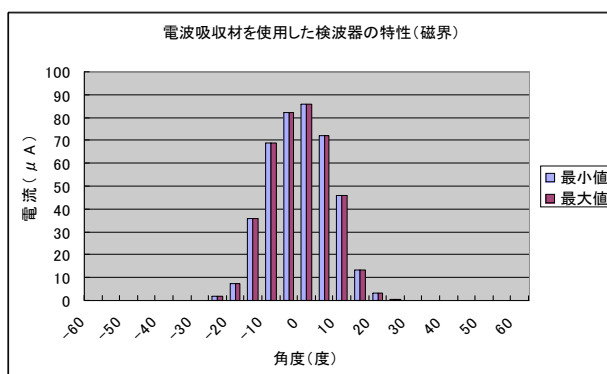


図 6. 電波吸収材の効果
電波吸収材を使用して測定すると電界、磁界ともメータの揺れは殆んどなくなった。

3.3 フィルタの製作

ドップラーレーダーの実験を図 7 に示す。実験は 10.5 GHz の連続正弦波を送信し、同時に低周波発振

器から 200 Hz の正弦波をスピーカーに加え、オシロスコープからスピーカーのコーンの振動する速さを測定する実験を行っている。数年前までは送信機とスピーカーの距離をうまく調整すればきれいな波形がオシロスコープに出力されていたが、最近ノイズが混じるようになり、出力波形の周期が読み取りにくいという学生からの意見が出されていた。波形は図 8 に示されるように 1 kHz のノイズの他に波形が揺れて静止しないため、その周期（スピーカーのコーンの速度）を読み取るのが難しかった。最初はスピーカーからの反射をよくするために別のスピーカーに変えてみたり、スピーカーに張るアルミホイルを別の金属に変えたりしてみたが、状況はあまり改善しなかった。静止しないのは電源からのノイズということが判明して、200 Hz をピークに 50 Hz と 1 kHz の周波数をカットするバンドパスフィルタを製作して実験してみたところ、図 9 に示すように 1 kHz のノイズはカットされ波形の揺れもなくなり、鮮明に安定した波形がオシロスコープに出力された。フィルタはオペアンプ、抵抗、コンデンサから構成さ



図 7. ドップラーレーダー実験

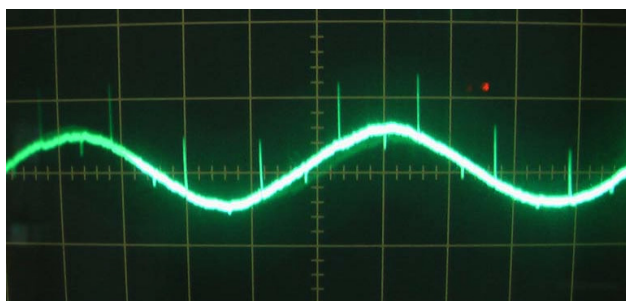


図 8. フィルタ挿入前の波形
波形は静止せず約 1 kHz のノイズも観測された。

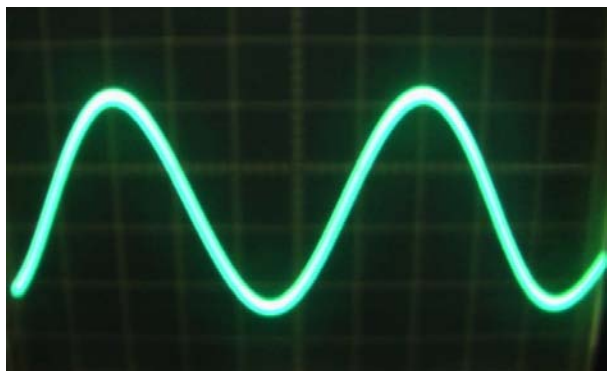


図 9. フィルタ挿入後の波形
波形は静止して 1 kHz のノイズもカットされた。

れた能動 RC フィルタと呼ばれるもので直流電源を使用するため、電源の極性を間違えてもオペアンプなどの素子が破壊されないよう工夫している。

図 10 にフィルタの周波数特性のグラフを示す。200 Hz を中心にして 50 Hz 以下と 1 kHz 以上は十分にカットされているのがわかる。

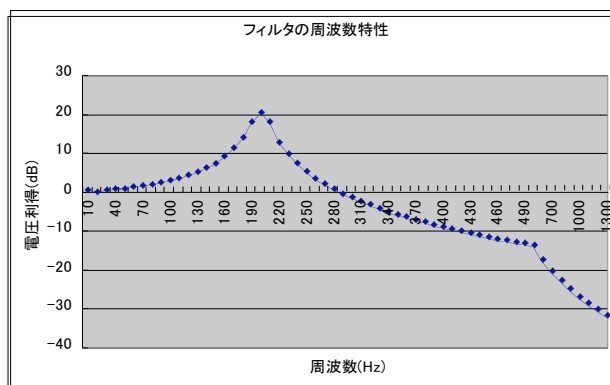


図 10. フィルタの周波数特性

4. まとめ

電波実験を受講した学生が実験終了後に提出するレポートを見ると、感想のようなものは書いてあっても考察がなかったり、結果のグラフはただ線が引いてあるだけで縦軸、横軸は何を表しているのか不明なレポートもあり、実験は真面目に行っているにもかかわらず減点された採点評価をみると残念に思うこともあり、指導にあたってはこのような点も注意していきたい。

電波実験を学生に指導するにあたり、受講した学生の意見や感想などをもとにいろいろな装置を製作したり工夫して学生が測定しやすい環境を整えてきた。これからも実験環境の整備に学生の声を聞いて装置等の改良、工夫に心がけていきたい。

情報学類実験ではソフトウェアを選択する学生が多くハードウェア系を選択する学生が少なくなっているのが現状であるが、卒業して社会人となると、大学のような実験設備が整ったところでハードウェア機器に接する機会は少ないと思われるので、もっと多くの学生にハードウェア系の実験を選択してほしいと願っている。

謝辞

本報告にあたり、ご指導いただいたシステム情報工学研究科知能機能システム専攻・根本承次郎教授、同研究科コンピュータサイエンス専攻・庄野和宏講師に感謝いたします。また実験台、フィルタの製作にあたってご協力いただきましたシステム情報工学等支援室の中島孝技術専門官、小野雅晃技術専門職員、中山勝技術専門職員に感謝いたします。

参考文献

- [1] 筑波大学情報学類実験 [通信実験] テキスト (1992)16-29.