

低学年向け導入実験テーマの一検討 -電磁波検出器の製作-

草間裕介*¹ 高矢昌紀*¹ 望月孔二*¹

A Study on an introductory experiment for the lower grades

-Fabrication of a simplified electromagnetic wave detector-

Yusuke Kusama*¹ Masanori Takaya*¹ Koji Mochizuki*¹

Abstract: In this paper, fabrication of a simplified electromagnetic wave detector known as a coherer detector was examined for an introductory experiment for the lower grades of college of technology with an almost zero level of knowledge in the area of electrical and electronics engineering. Appending a transmitting and receiving antenna to the conventional coherer was considered in addition to the replacement of highly-used motor or fairy lights by a super luminosity LED. Some interesting antennas based on the student original idea were obtained.

Key Words: introductory experiment, electromagnetic wave, coherer

1. はじめに

これまで高専における専門工学実験は、主に高学年である高専3年生から高専5年生までの3年間(理工系大学低学年に相当)の間に実施されることが多かった。しかしながら、理科離れや工学離れ(特に電気系学部の人気低迷)が叫ばれている中[1]、専門工学についてあまり知識を有していない高専1年生が戸惑うことなく、専門性の高い電気電子工学実験にスムーズに興味を持てるような、移行期に相当する導入実験テーマが必要と考えられる。

幸いにも、最近では小中学生の理科教育支援に各種関係機関からの助成金が設けられる等の対策が施されているため、小中学生向けの理科実験教材はかなり充実している[2]-[5]。また、電子工作に特化した各種実験キットも充実している[6]-[11]。そこで、本校電気電子工学科においてもこれらの理科教材を最大限に活用して、高専1年生を対象とした効果的な導入実験テーマについて検討している。

本報告では、数多く公開されている理科実験の中からコヒーラ[5]を選択し、これにアンテナ機能を付加して通信とアンテナの基礎を学習できる導入実験テーマを検討することを目的とする。本報告の構成は次のようである。まず1章では本報告の背景と目的を述べ、2章ではコヒーラの原理について解説する。3章では製作方法について順を追って解説する。4章では実験結果について述べる。そして5章で総括する。

2. 原理

金属粉に高周波を加えると直流抵抗が激減する性質は、19世紀末に仏のブランリーによって発見された。発見当時は、電磁波によって発生した電気力が金属粉末同士を密着させるためと考えられ、「密着する」=cohereの意味から「コヒーラ」または「コヒーラー」と呼ばれるようになった[12]。この発見は高周波の到来を検出する検波器として直ちに実用化され、真空管や半導体の発見以前は通信機に使われた。実際の導通メカニズムは後述のように説明されているが、当時の考察に因んだ名前が現在まで残っている。

アルミなどの金属粉の周囲には瞬時に酸化膜が形成され、この酸化膜が絶縁体の役割を果たして相当量の直流電



図1. コヒーラの原理

*¹電気電子工学科:

流の導通を阻害する。図 1 上は簡単のために 2 個のアルミブロックが薄い酸化膜を介して緩やかに接触しているモデルを示している。ここで図 1 下に示すように、外部から強い高周波パルスを加えると、薄い酸化膜に高周波の高電圧が瞬時的に加わる。アルミ内部の自由電子はこの瞬時電圧によって酸化膜内部に飛び込み、酸化膜内部の束縛電子を弾き飛ばす。弾き飛ばされた束縛電子は別の束縛電子を弾き飛ばすということを繰り返し、本来絶縁体であった酸化膜に電流経路が形成されて短絡状態となる。この電流経路を使って電池による直流電流が継続的に流れるようになる。即ち、外部から与えた高周波パルスは直流電流を流すためのきっかけとなっている。さらに、外部から強い機械振動を与えると、アルミブロックの間に僅かな隙間が生じ、再び酸化膜が形成されて導通を阻害することができる。

3. 製作

図 2 に本実験の製作回路を示す。従来の検出回路ではモータや豆電球が良く使われているが、本実験では高輝度 LED を使用し、電磁波の到来を視覚的かつ直感で感じることができるようにしている。さらに高周波源と検出回路に送受信アンテナを付加し、検出回路と高周波源がある程度離れていても電磁波の検出ができるように工夫している。以下、検出回路と送受信アンテナに分けて説明する。

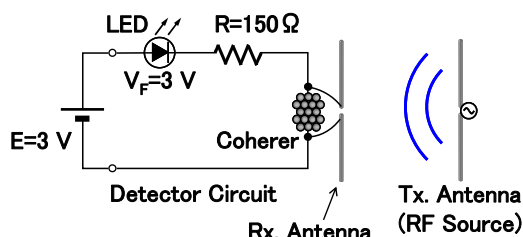


図 2. 回路図

3. 1. 検出回路

図 2 左側の検出回路はコヒーラ、電池、LED と電流制限抵抗から構成される。コヒーラ検波器の簡易製作方法は幾つかの文献に掲載されており[2][5]、本報告もこれらの解説と重複するが、一貫性を保つために全ての製作工程を順に説明する。

検出回路の主要部分となるコヒーラは電極とカップに入れた複数のアルミ玉で構成される。まず、アルミホイルを長さ約 15 cm に切り、折りたたんで約 1.5 cm 幅の帯を 2 本作る (図 3 参照)。そしてアルミ帯の片方がカップの底につくように入れ、2 本を向かい合わせにして電極にする (図 4 参照)。最後にアルミホイルを約 10 cm 四方に切り、これを丸めて直径 7 mm ほどの玉を複数作る。玉をカップの半分くらいまで入れる (図 5 参照)。ワニ口クリップを電極に接続すれば、コヒーラ部分は完成である。

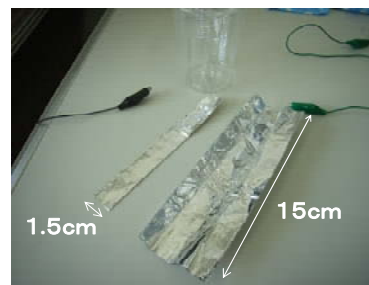


図 3. 電極の製作 1 アルミホイルを長さ約 15 cm に切り、折りたたんで約 1.5 cm 幅の帯を 2 本作る。



図 4. 電極の製作 2 アルミ帯の方端がカップの底につくように入れ、2 本を向かい合わせにして電極にする。



図 5. コヒーラの製作 アルミホイルを約 10 cm 四方に切り、これを丸めて直径 7 mm ほどの玉を複数作る。玉をカップの半分くらいまで入れる。

次に、LED 点灯回路は LED と電流制限抵抗から構成される。本実験では表 1 に示す特性の LED と電流制限抵抗を使用した。この LED の順方向電圧は $V_F=3.0-3.4$ V、最大電流は $I_F=100$ mA であるが、これを上限で使うと LED 発熱の問題に加えて、コヒーラに機械振動を与えても LED が消灯せず常時点灯状態になってしまうことが分かった。そこで、導通電流をできるだけ少なくするために、電源電圧を下げた電流制限抵抗を大きくするように調整した。予備実験では電流制限抵抗 $R=150\Omega$ 、電源電圧 $E=3$ V にすることにより、微弱な振動で LED が消灯すること

表 1. LED 特性と電流制限抵抗および電源電圧の値

発色	LED 緑
順方向電圧	$V_F=3.0-3.4$ V
照度	18000 mcd
順方向電流 (Max)	$I_F=100$ mA
電流制限抵抗	$R=150\Omega$
電源電圧	$E=3$ V (アルカリ乾電池 2 本)

を確認した（表 1 下参照）。また、デジタルマルチメータで電流制限抵抗 R の端子電圧を測定し、実際に流れている電流を求めたところ、 $I=2\text{ mA}$ 程度の電流でも十分に LED の点灯を確認できることが分かった。言い換えると、この程度の導通電流があれば、高輝度 LED を検出回路に用いてもコヒーラとして十分機能する（机を叩いて振動を与えると LED が消灯する）ことが分かった。図 6 に送受信アンテナを除いた検出回路のみの概観を示す。

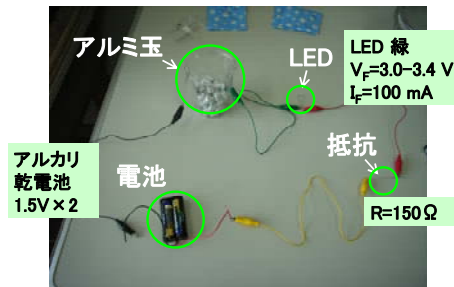


図 6. 検出回路の製作例

3. 2. 送受信アンテナ

図 6 の検出回路のコヒーラ部分にチャッカマン（予め錐などで穴をあけてガスは抜いておく）を近づけて点火スイッチを押すと LED の点灯が確認できる。そして、机を叩くなどしてコヒーラ部分に機械的な振動を与えると、前述の原理で LED が消灯する。チャッカマンは内部の圧電体回路でパルス状の高電圧を発生させているので、幅広い電磁スペクトルを発生させる電圧源と言える。そこで、この電圧源を給電点にしたアンテナにより、高周波を選択的に空間へ放射させることができる。厳密にはアンテナの入力インピーダンスや反射係数、バランなど専門的な課題はあるが、本実験では 1 年生を対象としているためそこまで立ち入る必要はないと考える。

製作するアンテナは基本的な半波長ダイポールアンテナ（ $1/4$ 波長モノポールアンテナでも可）である。図 7 左に示すように、チャッカマンの構造は、ガスを噴出する中心の細い筒が同軸線路の内導体に相当し、外側の筒が外導体に相当する。（実際にガスを抜いたチャッカマンで点火スイッチを押すと内導体から外導体に向かって放電する様子が確認できる。）そこで、図 7 右のように内導体と外導体を延伸してダイポールアンテナエレメントを作る。ただし、この形状では外導体とエレメントとのハンダ付けが

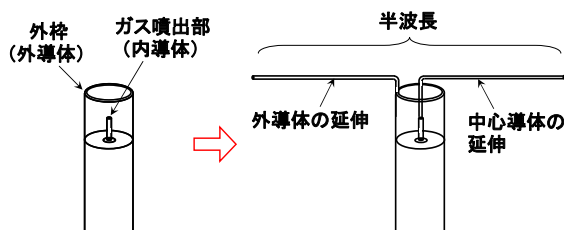


図 7. チャッカマン送信アンテナの製作

必要となり面倒である。（内導体についてはガス噴出部に直径 0.5 mm 程度の穴が開いているので、針金または銅線をガス噴出部に差し込むだけで十分な電氣的接触が得られる。）そこで簡単のために、図 8 のように片面アルミ箔を糊付けした段ボール又はスチロールボードをチャッカマンの外導体に貫通させ、内導体に差し込んだ針金のもう一方を、アンテナギャップを介して反対側のアルミ箔に差し込む。このようにすれば、ハンダ付け不要で図 7 と同じようなダイポール形状が製作できる。

受信アンテナはさらに簡単な構造で、図 9 に示すようにギャップだけを付けたダイポールアンテナをコヒーラの電極の上に置くだけでよい。

以上製作に必要な準備品のリストを表 2 に示す。予備実験では、100 円ショップ等の安いチャッカマンでは LED が点灯せず、量販店のメーカー品だと LED が点灯することが分かった。これはチャッカマンの圧電体の出力電圧が原因と考えられる。

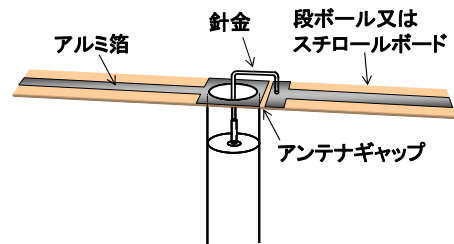


図 8. チャッカマン送信アンテナの簡易製作

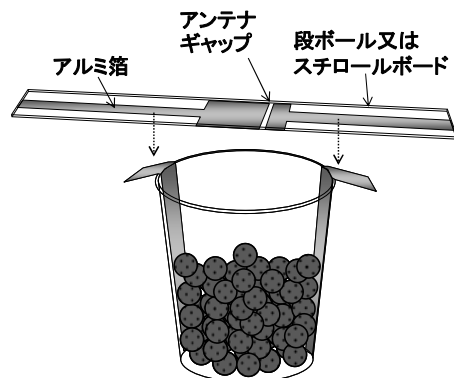


図 9. 受信アンテナの製作

表 2. 製作に必要な備品リスト

チャッカマン	×1
紙コップまたは透明カップ	×1
アルミホイル	×1
ダンボールまたは加工が容易なパネル等	×1
針金 10 cm	×1
ワニ口クリップ付きの配線	×4
LED	×1
カーボン抵抗	×1
単 3 電池	×2
電池ボックス	×1

4. 実験

実験は1班6人程度のグループに分けて実施した。まず、始めの15分程でコヒーラの原理、電磁波の性質、ダイポールアンテナと偏波についてスライド[13]を用いて基本事項を説明した。そして最も基本的なダイポールアンテナを製作し、アンテナを付加することで電磁波の伝送距離が飛躍的に伸びることを確認させた。次に各班でオリジナルのアンテナを考案して製作し、どの程度まで飛距離が伸びるか競技実験を行った。実験風景の一例を図10に示す。原理はともかく、長波を意識したと思われるダイポールアンテナやクロスダイポール、八木アンテナやパラボラアンテナなど学生独自の知識を活用した面白いアイデアが幾つも見られた。優勝グループはおおよそ2.5～3 mの距離で伝送に成功した。



図10. 製作アンテナによる伝送実験

5. まとめ

本報告では、数多く公開されている理科実験の中からコヒーラを選択し、これにアンテナ機能を付加して通信とアンテナの基礎を学習できる導入実験テーマを検討した。検波回路には従来のモータや豆電球に替えて、高輝度のLEDを使用し、電磁波の到来を視覚的かつ直感で感じることができるよう改良した。そして本校電気電子工学科1年生を対象に、コヒーラの原理、電磁波の性質、アンテナと偏波について基本事項を説明した上で実験を行った結果、学生独自の面白いアイデアに基づくアンテナが幾つも見られた。今後の専門実験へのかけはしとなれば幸いである。

参考文献

- [1] 日経エレクトロニクス: “問題は理系離れではなく、電気系離れ” <http://techon.nikkeibp.co.jp/>
- [2] 愛知県総合教育センター: “理科の広場 高等学校物理” <http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/>
- [3] 滝川: “理科の実験まるわかり BOOK” 成美堂出版.
- [4] 左巻健男: “中学生理科の自由研究 2” 成美堂出版.
- [5] ニュートンムック: “子どもと遊べる科学の実験” ニュートンプレス, pp.14-17.
- [6] エレキジャック: “電子工作推進マガジン” CQ 出版.
- [7] 電子工作マガジン: “チャレンジ電子工作大作戦” 電波新聞社.
- [8] 秋月電子通商ホームページ: “組み立てキット” <http://akizukidenshi.com/>
- [9] マルツパーツ館ホームページ: “電子工作キット” <https://www.marutsu.co.jp/>
- [10] ELEKIT: <http://www.elekit.co.jp/product/>
- [11] 電子キット: <http://denshikit.web.fc2.com/>
- [12] ウィキペディアフリー百科事典 “コヒーラ検波器”
- [13] 草間裕介 <http://www.cn.kagawa-nct.ac.jp/~kusama/>

