

情報電子工学演習における創造型ものづくり教育

渡邊 壮一*

(平成 18 年 10 月 31 日受理)

Manufacturing Research Activities on the Courses of “Exercise in Information and Electronics Engineering”

Soichi WATANABE

This paper shows the aims and current results of the “Manufacturing Research Activities” within the courses of “Exercises in Information and Electronics Engineering I to IV” at the department of Information and Electronics Engineering. The purposes of these courses are strengthening the abilities of creativity, activity and understanding capability while taking care the observation minds for science. The activities begin from simple manufacturing trainings using familiar materials. But the final results are not known and we will notice scientific aspects step by step. I will introduce two topics that are held in the courses, “A Solar Car” and “A Crystal Radio Set”. In the theme of a solar car, every student prepares all materials except a solar panel and a motor by himself and makes up a solar toy car from scratch. The completed ones were rich in variety and having some good ideas. In the theme of a crystal radio set, the situations where the prospective characteristics were not acquired were frequently encountered. However, this theme was very effective as what teaches a student how scientific equations are important in manufacture.

1. はじめに

近年，理科離れが叫ばれている．この状況は工科系大学においてきわめて重大である．情報電子工学科では，開学時より 2～3 年のすべての学期に実験科目を導入している．しかし，規定の課題はこなすものの，実験中の各種事象に，指摘されないと気づかない，または，気づいてもそれを深く追求しようとしぬい学生が見受けられるといった問題は，以前より大きくなってきている．

情報電子工学科では，2001 年のカリキュラム改編において，必修科目として情報電子工学演習（1 年前期）と情報電子工学演習（3 年後期）を新設した．この科目の目的は，意思疎通能力，基礎学力，そして，実験および報告書作成能力の強化であり，この点において大きな成果を得た．

* 情報電子工学科 助教授

性と波動性の二重性や、人間の視覚感度との関係のために、やや複雑な単位となっている。演習では、測定の容易性からルクスメータによる照度測定を行い、利用可能な光エネルギーについて検討させている。

地球の軌道上で得られる太陽光エネルギーは、太陽に垂直な平面に対して 1.37kW/m^2 程度である。この値は、太陽が放射する光エネルギーを、地球 - 太陽間の距離を半径とする球面で割ることにより求まる。地表では、大気による反射や吸収による減衰を受けるため、数百 W/m^2 である。一般的な太陽電池の発電効率は、十数%であることから、例えば縦横 10cm のパネルの発電能力は、直射日光下で数百 mW と計算される。

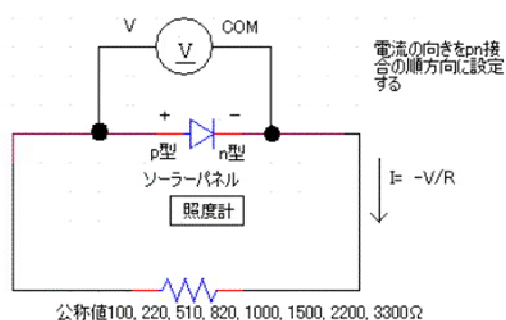
実際のルクスメータによる測定結果では、日中の直射日光下で、 80 キロルクス (klx) 程度、一般的な屋内で 0.5klx 程度であった。屋内では、縦横 10cm のパネルの発電能力は、数 mW 程度であり、外部光源なしに、自走するソーラーカーの製作は困難であることがわかる。このため、演習では屋外または外部光源を使用している。

このように、ルクスメータによる測定は、単純ではあるが、そこから、人間の視覚や太陽のエネルギーなど多くの科学への道が続いていることが体感できる。

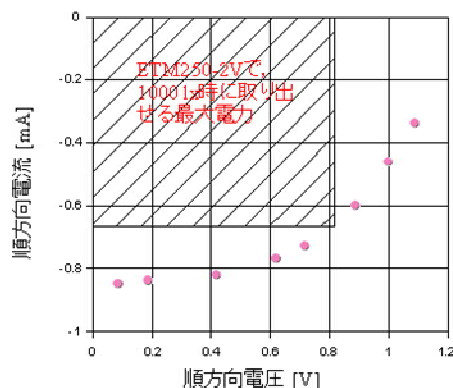
2.2.2 太陽電池

太陽電池による発電では、シリコンのバンドギャップ 1.17eV を超える光子のエネルギーが必要である。光子のエネルギー $E = h\nu$ から計算すると、波長が $1.06\ \mu\text{m}$ 以下の光のみが発電に寄与する。幸運にも、太陽光では、発電に寄与できる波長成分が多くを占める。太陽電池は、拡散電位を起電圧の源としており、無負荷時の 1 セルあたりの起電圧は、光の強度によらずに約 0.5V である。この現象は、半導体のミクロな振る舞いと、起電圧というマクロな振る舞いをつなぐものである。

図 1 に、 $52\text{mm} \times 17\text{mm}$ のセル 4 個を直列にした太陽電池 (ETM250-2V 秋月電子通商販売) を用いた簡単な実験回路と実験結果を示す。



(a) 実験回路図



(b) 測定結果

図 1 ETM250-2V 特性測定

ここでは、負荷の抵抗値を変えながら、太陽電池パネルの発電電圧と電流を測定している。実験時の照度は 1klx である。また、電流の向きは、pn 接合の順方向を+方向としているため、発生する電流は負の値となっている。4セル構造から、起電圧の最大値は 2V である。1klx 時に得られる最大電力は、実験結果より 0.5mW であり、これは、光強度から推定される値に一致する。

2.2.3 DCモーター

この演習では、DCモーターとして、株式会社タミヤが販売するソーラーモーター02を使用する。このモーターの仕様は、無負荷時の動作電圧が 0.4 ~ 1.5V、電流が 25 ~ 30mA、回転数が 380 ~ 1280rpm である。ここでは、図 2 に示す簡単な測定で、モーターの効率を測定し、太陽電池パネルを接続した場合の出力について評価する。

ここでは、モーター1を電動機、モーター2を発電機として動作させ、モーター1で消費する電力と、モーター2で発生する電力から効率を算出する。モーター1, 2の巻線抵抗はともに 4.2Ωであった。モーター2で発生する電力は、モーター2の巻線および負荷抵抗で消費する電力値を計算した。表 1 に、電源電圧を 1.5V としたときの、負荷抵抗の値に対するモーターの入出力電力を示す。

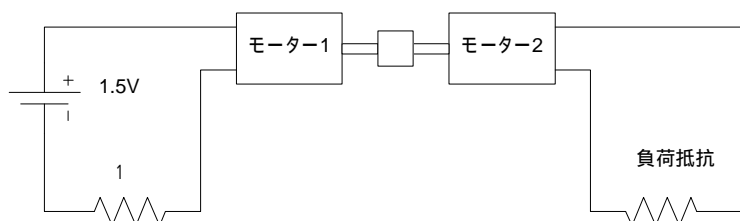


図 2 DCモーターの効率測定

表 1 モーターの入出力電力 (電源電圧 1.5V)

負荷抵抗 [Ω]	モーター1の入力電力[mW]	モーター1の入力電力[mW] (巻線抵抗の消費分を除く)	モーター2の出力電力[mW] (巻線抵抗の消費分を含む)	回転数 [rpm]
1	238	102	52	666
10	166	105	51	876
1M	100	80	-	1164

ここで、モーター1, 2が同特性であると仮定すると、このモーターの漏れ磁界等による損失は、巻線抵抗の消費分を除いた入力電力が 100mW のとき、約 25mW であることがわかる。

この実験は、モーター2個を対にしただけの簡単な測定ではあるが、これらの結果からソーラーカーの照度に対する加速性能、登坂性能の限界値が計算でき、ここから、最適な変速比を得ることもできる。

2.3 ソーラーカー作品

図3にソーラーカー作品の一部を示す。身の回りの素材を組み合わせた、アマチュア的な作品ではあるが、注意深く見てみると、学生の作品には随所に工夫が見られる。作品例のように、軽量でありながらパネルやモーターの重量を効果的に支える団扇や、それ自体は軟弱なストローを加工して必要な強度を出す工夫などは興味深い。



図3 ソーラーカー作品例

3. 工学基礎テーマとしての鉱石ラジオの製作

ラジオの製作は電子工作の定番であり、多くの学生がラジオの製作経験を有している。しかし、一般に市販されているキットでは部品点数が多すぎるために、動作原理についてじっくりと考察することが困難である。本取り組みでは、できるだけ部品点数を少なくし、かつ、重要な部品を自作することで、ものづくりと理論の検証を一体化した講義を行う。各部品を動作原理を理解しながら自作して組み上げる、ラジオとして文献[1]のペットボトル鉱石ラジオは最適である。

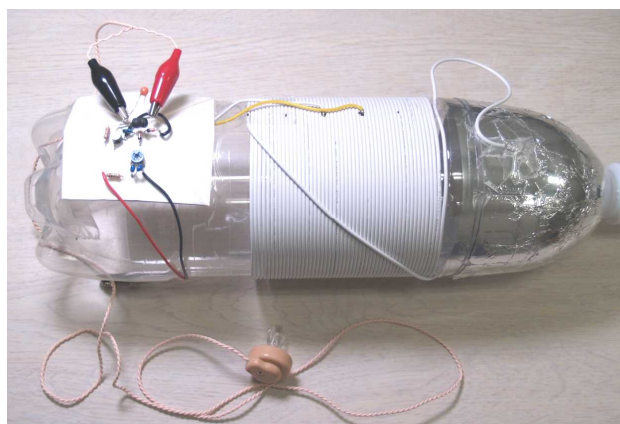


図4 ペットボトルラジオ

図 4 は、文献を元にして若干の変更を行ったペットボトルラジオである。右側のアルミホイルが同調用のバリコンで、中央の巻線が同調コイル、左側の回路は 1 石の増幅回路である。

各学生は、初めに上記のようなペットボトルラジオを製作し、その後、学んだ知識と経験を生かして独自のラジオを製作する。

電磁波は、1864 年にマクスウェルが存在を予想し、1888 年にヘルツがその存在を確認した。120 年余り経過した現在、我々はテレビ、携帯電話、無線タグなど、電磁波を当然のように利用するようになった。しかし、一方で、高度に完成した製品群に慣れてしまったために、電磁波に対する興味・関心は逆に低下したおそれがある。

ここで製作するラジオは、非常に原始的であるが故に、製作していくにつれて、次々と電気の不思議な性質に気づく機会に遭遇する。以下ではラジオ製作に関して著者が考える科学への入り口について示す。

3. 1 科学的視点で見たラジオ

3. 1. 1 音と電気

音は空気の振動で、空気の振動を電圧または電流の変化（電気信号）に変えるものがマイクであり、電気信号を空気の振動に変えるものがスピーカーである。この電気信号を実感するために、クリスタルイヤホンを用いた糸電話は好都合である。クリスタルイヤホンは、外力により電荷が現れたり、また、電圧により変形する素材を用いて、電気信号を音に変える。このクリスタルイヤホンを 2 つ用意し、互いに接続しただけで、片方をマイク、他方をイヤホンとした電気による糸電話が可能になる。発生した電圧は、オシロスコープで確認することが可能であり、各種母音、子音の電圧波形を見ることができる。

電気による音声の通信は、1876 年の電話機の発明により始まった。簡単な実験ではあるが、この実験に関連した発明が数多く存在する。

3. 1. 2 同調回路

同調回路は、トランポリンのように、ある固有周期の励振エネルギーを蓄える回路である。この固有周期の逆数を同調周波数という。コイルとコンデンサを用いた同調回路では、コイルに蓄えられる電磁エネルギーとコンデンサに蓄えられる静電エネルギーを交換し合うことで振動電流が発生する。同調時に、コイルの両端に発生する電圧は、励振電圧の $Q = \omega L / R$ 倍となる。ここで、 Q は、Quality Factor、 L はインダクタンス、 R はコイルの抵抗分、 ω は同調時の角周波数である。

ペットボトルラジオの製作でもっとも重要なのが、このコイルおよびコンデンサ（バリコン）の製作である。

3.1.3 同調コイル

図4で、ペットボトルに巻きつけられた導線がコイルである。このコイルは導線を円筒状に均一に巻いたコイルでソレノイドコイルいう。単純な構造ではあるがここにも多くの発明が潜んでいる。一例としてソレノイドコイルのインダクタンスを挙げる。ソレノイドコイルのインダクタンスは、長岡係数 k を用いて次式で計算できる。

$$L = \frac{k\mu S n^2}{l} \quad (1)$$

ここで、 μ は透磁率、 S はコイルの断面積、 n はコイルの巻数、 l はコイル長である。

講義では、同調に必要な L の値を $200\mu\text{H}$ 程度に設定し、式(1)から逆算することで巻線に必要な線の長さを計算している。実際に製作し、LCRメーターで測定すると、その値は周波数 1MHz 程度以下での測定では計算値に近いことが確認できる。しかし、周波数が 2MHz 以上になると、巻線間の容量によりインダクターとして使用することができなくなる。コイルの作りやすさとAM放送の帯域が一致しているのは偶然とはいえないであろう。さらに、踏み込んでコイルの Q を考えてみるとここにも不思議な現象が潜んでいる。導線の材質が銅であれば、巻線の直流抵抗 R_{DC} は銅の導電率から計算できる。しかし、LCRメーターで Q を測定すると、表皮効果の影響で、 $\omega L/R_{DC}$ で計算した値とは大きく異なることがわかる。

このように、ペットボトルに巻線を巻くだけと考えていた単純な作業も、進めるにつれて導線の形状や巻き方の工夫が必要であることに気づく。このような事例は、ものづくりの最中に次々に新しい難問が姿を現す典型であろう。

3.2 製作上の工夫

ものづくりでは製作上の機転もきわめて重要である。図4のペットボトルラジオでは、1石の増幅回路として、レフレックスラジオ回路を参考にしている。回路は、ユニバーサル基板に半田付けすることもできるが、ここではエコロジーを意識して、牛乳パックの底を利用した。何か良いものがないか、身の回りのものを見渡して、これだと感じたときの喜びはものづくりの醍醐味であろう。また、もう一点、つまらないことではあるが、導線をアルミホイルに密着させるにはどうすればよいかということも面白いテーマである。著者は、導線の上からテープにアルミホイルに貼り付ける際に、導線の周りに小さく切ったアルミホイルを巻きつけてからテープで止めた。

4. まとめ

理科離れが叫ばれるようになって久しいが、それは、ある意味で科学に対する飽食の時代といえるかもしれない。現在では、我々が欲しいと思うよりも早く、最新機器が次々と押し寄せてきている。この状況下では、新しいものに対応していくだけで非常に多くの労

力がかかる。このため、一方で、じっくりと“もの”を観察する時間は減少してしまったのかもしれない。本演習によって、身の回りには多くの新発明の種が潜んでいることを多くの学生に感じてもらえることを期待している。

参考文献

[1] 岡田敏美, ペットボトル鉱石ラジオの解体新書, 電子情報通信学会誌, Vol.87, No.8 pp.669-673, 2004年8月