

# 工学の基礎としての「物理・化学実験」の実践

The practice report of “Experiment of Physics and Chemistry” as the basis of engineering

水野貴敏, 黒田 潔, 川森重弘

Takatoshi Mizuno, Kiyoshi Kuroda, Shigehiro Kawamori

玉川大学工学部エンジニアリングデザイン工学科, 194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1

Department of Engineering, College of Engineering Design, Tamagawa University,

6-1-1 Tamagawagakuen Machida-shi Tokyo 194-8610

## Abstract

The students in college of engineering have learned the background knowledge of the expertise through the subjects of experiments in physics and chemistry. In the subject “Experiment of Physics and Chemistry”, the students learn the basics of experimental data analyses such as the knowledge of significant digits and how to draw graphs, experiment with four themes in physics and five themes in chemistry, and experience making a radio. The details of the contents in the subject are introduced in this article.

Keywords: physics experiment, chemistry experiment, making a radio

## 1. はじめに

「工学」という言葉を、広辞苑で引くと「基礎科学を工業生産に応用して生産力を向上させるための応用的科学技術の総称」<sup>1)</sup>とある。ここでいう基礎科学には、もちろん物理学や化学が含まれる。したがって、かつての日本の大学では、理学系の学部・学科に限らず工学系の学部・学科においても基礎教育の一環として、初年次から物理学実験や化学実験が当たり前のように行われていた。しかし、時代も変わり、現在では工学部だからと言って必ずしも物理学実験や化学実験を受講するとは限らなくなってきた。大手予備校・河合塾の入試情報サイト Kei-net<sup>2)</sup>によると、関東地方の1都6県のいずれかにキャンパスがある大学で、純粋に「工学部」の名を冠した学部を設置している私立大学は、本学を含み16大学あり、76学科が存在している。その各大学のホームページを調査した結果、物理学実験と化学実験の両方を開講している学科は36学科、物理学実験だけを開講している学科は13学科、化学実験だけを開講している学科は1学科、一科目で物理学と化学の両方の実験を行う科目を開講している学科

が6学科、どちらも開講していない学科が20学科ある。

本学工学部でも以前は工学部共通基礎科目として科目「物理学実験」と科目「化学実験」が4学科全てで開講されていた。しかし、2004年度以降のカリキュラムでは「化学実験」が閉講となり、「物理学実験」を開講する学科も、工学部4学科のうち機械システム学科と知能情報システム学科の2学科のみとなった。さらに2008年度には、機械システム学科と知能情報システム学科が改組により機械情報システム学科となったため、

「物理学実験」を開講する学科はわずかに1学科まで減ってしまったが、2017年度に実施された機械情報システム学科の情報通信工学科への改組の際に科目名称を「基礎物理学実験」と変更したものの、現在まで継続して開講されている。

2015年度に開設されたエンジニアリングデザイン学科では「工学部における設計・デザインの専門教育に必要な数学・物理・化学・英語・日本語の基礎を学び、十分な基礎学力を身に着ける」<sup>3)</sup>ことをカリキュラムポリシーとして掲げた。それは、たとえモノづくりがデジタル化してもモノ

を造形するには、設計し、材料を加工するという工程は変わることがなく、物理学の知識も化学の知識が必須であることは変わらないためである。そして、物理学も化学も座学で学ぶだけではなく、実験を通じて学ぶことも重要である。そこで、「物理学実験」と「化学実験」の両方をカリキュラムに入れることを検討した。しかし、学科開設科目数の制限や実験を担当できる教員数など様々な要因から、1科目15回の授業で「物理学実験」と「化学実験」の両方を実施する科目「物理・化学実験」が開講されることとなった。

表2-1に「物理・化学実験」の各回の実験テーマを示す。全15回のうち、量の取り扱い方やグラフの描き方など実験の基礎となるテーマをそれぞれ1回ずつ、化学系のテーマを5回、物理学系のテーマを4回、そして「ものづくり」の体験としてラジオ製作を3回実施し、最後の1回で実験を通して学んだことを基に「科学とは何か」について考えさせるを行っている。本稿では「物理・化学実験」のテーマ毎の取り組みについてまとめていく。

## 2. 有効数字

本実験科目にかかわらず、実験ではいろいろな測定器により様々な物理量の実験データを取得する。測定値は種々の要因によりばらつきを含むわけであるから、繰り返し測定し、多くの場合は平均値を計算するが、そのばらつきによりこの平均値には一定程度の不確かさが含まれている。つまり、その不確かさのために電卓で得られた値をそのまま表現することは意味を持たない。ばらつきの程度で信用できる測定値の平均値のとるべき桁の範囲が決まる。このことは裏を返すと、物理学を含む科学は物事を白黒はっきりさせる手段ではなく、一定の不確かさを含んでいることを前提にしていることを学生が学ぶことでもある。

有効数字の概念は、すべての実験で得られる測定値に適用すべきものであるから、一等初めに学生に伝えねばならない。そこで、授業第1回目の授業や実験の進め方のガイダンス終了後、早速実施している。なお、授業は実験ではなく資料による思考実験として実施している。

まず、物差しの最小目盛から被測定物の長さの測定値の読み方を学習し、読み取った数値の有効数字を意味のある桁数として表現する方法を理

表 2-1 各回の実験テーマ

	テーマ
第1回	ガイダンス・有効数字の取り扱い
第2回	グラフの描き方
第3回	金属の比熱
第4回	水の比熱
第5回	沸点上昇
第6回	ボルタ電池
第7回	電気分解
第8回	単振り子
第9回	斜面上の運動
第10回	屈折の法則
第11回	屈折率の光電的測定
第12回	ラジオの製作Ⅰ
第13回	ラジオの製作Ⅱ
第14回	ラジオの製作Ⅲ
第15回	科学とは？

解する。その後、測定値を指数表記し、さらに正規化することで、有効数字の桁数の科学的な表現方法を学ぶ。ここまで理解できれば、平均値の算出に代表される四則演算の計算方法の習得に移る。四則演算の計算事例を説明するとともに、それらにまつわる演習問題を実施する。解答後は全員で答え合わせをし、その場で不明点のないようにする。

その後続く13回の実験で、有効数字の概念は正しく構築されていくと期待されるが、現実にはその概念継続が困難な場合が見受けられる。実験授業に限らないが、知識の断片化が生じていることが多いと考えられる。理系的学問は積み上げ型であるから、毎回の授業ごとに、あるいはレポート採点のたびに、有効数字の取り扱いに留意するように指導している。

## 3. グラフの描き方

グラフの描き方では、方眼グラフの使い方だけではなく、片対数グラフや両対数グラフの使い方についても学ぶ。物理学実験や化学実験にとどまらず、工学系で実験をする際に、グラフを描く能力は必須と言っても過言ではない。

はじめに、グラフ用紙内でのプロット領域の枠の配置の仕方や目盛の振り方からはじめ、軸ラベルやキャプションの付け方、縦軸の量と横軸の量の関係を表す近似直線（もしくは曲線）をひくことなど、わかりやすいグラフを描くための知識に

つけて学修した上で、方眼グラフ、片対数グラフ、両対数グラフの順で実際にいくつかのグラフを描いていく。特に、片対数グラフや両対数グラフは、大学に入ってから使用される機会がほとんど無いため、軸の対数目盛について詳しく説明した上で、 $y=2^x$  や  $y=x^3$  などのような解析的(数学的)なグラフを描かせることで、片対数グラフや両対数グラフを使うことに慣れさせる。

このテーマでもう一つ学ぶべきことは、測定点と近似直線(もしくは曲線)の違いである。そこで、二つの量の関係をグラフに表したときに直線となるような模擬実験の結果を与え、グラフを描かせ、得られた直線の傾きなどを求めさせる課題を実施している。

まず、方眼グラフを用いる課題は、フックの法則をテーマとし、その詳細は以下のとおりである。鉛直に吊り下げたばねに錘を吊るしてばねの伸びを測定するという模擬実験で、おもりの重さとばねの伸びの測定結果を与える。おもりの重さを  $W$ 、ばねの伸びを  $x$  とすると、おもりに作用する力のつりあいとして、

$$W = kx \quad (3-1)$$

が成り立つので、おもりの重さを縦軸、ばねの伸びを横軸にとり、模擬実験の測定結果をグラフに表すと、(3-1)式で表される近似直線が得られる。そこで、そのグラフの直線の傾きからばね定数  $k$  を求めさせる。

次に、片対数グラフを用いる課題は、放射性元素の減衰曲線をテーマとし、その詳細は以下の通りである。放射性元素 $^{222}\text{Rn}$ を放置し経過時間とその個数を観測したという模擬実験で、経過時間と $^{222}\text{Rn}$ の個数の観測結果を与える。経過時間を  $t$ 、時間  $t$  における $^{222}\text{Rn}$ の個数を  $N$ 、観測開始時の $^{222}\text{Rn}$ の個数を  $N_0$ 、崩壊定数を  $\lambda$  とすると、

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \alpha^t$$

が成り立つ。この式の両辺の常用対数をとると、

$$\log_{10} N = \log_{10} N_0 + (\log_{10} \alpha)t \quad (3-2)$$

が得られる。原子の個数を縦軸、経過時間を横軸にとり、模擬実験の観測結果をグラフに表すと、(3-2)式で表される近似直線が得られる。そこで、そのグラフの直線の傾きから定数  $\alpha (=1/e^\lambda)$  を、縦軸との切片から観測開始時の $^{222}\text{Rn}$ の個数  $N_0$  を求めさせる。

最後に、両対数グラフを用いる課題は、ケプラーの第3法則をテーマとし、その詳細は以下のとおりである。太陽系の惑星の公転周期と平均公転半径を観測したという模擬実験で、公転周期と平均公転半径の観測結果を与える。公転周期  $T$ 、平均公転半径を  $r$  とすると、

$$T = ar^b$$

が成り立つ。この式の両辺の常用対数をとると、

$$\log_{10} T = \log_{10} a + b \log_{10} r \quad (3-3)$$

が得られる。公転周期を縦軸、平均公転半径を横軸にとり、観測結果をグラフに表すと、(3-3)式で表される近似直線が得られる。そこで、その直線の傾きから定数  $b (=3/2)$  を、縦軸との切片から比例定数  $a (=1)$  を求めさせる。

実際に研究等の場合、近似直線(もしくは曲線)を求めるには、最小二乗法などを用いて、数学的に求めていくことになるが、このテーマの中にそこまで盛り込むと、1回の授業内に収めることができない。そこで、このテーマでは、目分量で近似直線をひき、近似直線上の2点を読み取って近似直線の傾き等を求めるように指導している。しかし、実際に近似直線の傾きを求めさせると、多くの学生が2点の測定点を用いて傾きを計算してしまい、なかなか理解が浸透しないという現実がある。

グラフの描き方は、工学部で開講していた「物理学実験」でも実施しており、長きにわたり実施しているテーマの一つである。そのため、受講する学生の様子の変化も見取れる。例えば、1回の授業で方眼グラフを1枚、片対数グラフを3枚、両対数グラフを3枚の計7枚を描くことになるが、授業内で仕上げる事が出来るグラフの枚数がだんだん減ってきている。以前は、授業時間内に7枚中5枚を描いていた学生が多くいたが、近頃は7枚中3枚を描くのがやっとという学生も少なくない。また、錘の重さとばねの伸びの模擬実験では、錘の重さとばねの伸びの測定結果は、それぞれg重とcmを単位として表されているため、それらをNとmに単位換算した上で、ばね定数を求めることになる。しかし、単位換算について丁寧に説明したにも関わらず、この単位換算が出来ない学生も増えている。さらに、放射性元素の減衰曲線やケプラーの第3法則の模擬実験で傾きなどを求める際に常用対数を求めたり、対数の真

数を求めたりする計算を行うが、それらを苦手とする学生が増えている。

グラフを描くことや単位換算、対数の計算など工学部の学生には是非とも有してもらいたい能力であるが、これらのことが身につけていない学生が増えてきているように感じる。工学系の知識は積み重ねであるので、基礎的な知識を身につける機会を与える場であることもこのテーマの意義の一つだと考えられる。

#### 4. 化学系実験

表2-1に示すように、化学系実験は第3回から第7回の5回行っており、それらの概要を記述する。

##### 4-1. 金属の比熱<sup>4)</sup>

金属の比熱を測定し、温度や熱について理解を深め、実験をとおして測定の誤差を考えることを目的としている。

比熱とは、物体の単位の質量 (1g) 当たり1°Cだけ温度上昇させるのに必要な熱量として定義される。比熱は物質に固有な値である (水の比熱は1cal/g・K)。質量  $m$  [g] の物体に  $\Delta Q$  [cal] の熱を与えて、温度を  $\Delta T$  [°C] だけ上昇させたとすると、熱量 ( $\Delta Q$ ) は温度 ( $\Delta T$ ) と質量 ( $m$ ) に比例する。比例定数  $c$  を用いて式で表わすと、熱量=比熱×質量×温度であるから、

$$\Delta Q = cm\Delta T \quad (4-1)$$

となる。比例定数  $c$  [cal/g・K] は比熱である。

本実験では、「混合法」を用いて実験データから室温付近の金属ブロックの比熱を求める。比熱を求める金属ブロック (以下ブロック) のはじめの温度を  $T_0$  とする。これを温度  $t_0$  ( $T_0 > t_0$ ) の水に入れ、良く攪拌し、水とブロックを最終的に同一の温度にする。

水およびブロックの質量を  $m$ 、 $M$  とし、この過程における水およびブロックが周囲とやりとりする熱が無視でき、ブロックのもつ熱がすべて水に与えられるものとする。両方の温度  $t$  が等しくなったとき、ブロックが水に与えた熱と水がブロックからもらった熱は等しいので、(4-1)式より(4-2)式が成り立つ。ただし  $c$  および  $c_0$  はそれぞれブロックおよび水の比熱である。

$$Mc(T_0 - t) = mc_0(t - t_0) \quad (4-2)$$

したがって求める比熱  $c$  は

$$c = \frac{m(t - t_0)}{M(T_0 - t)} c_0 \quad (4-3)$$

となる。

具体的な実験方法を次に示す。

- ① 1グループ2, 3名に分ける。
- ② 比熱を求めたい鉄, アルミニウム, 黄銅のブロックからグループで1つ選ばせる。
- ③ ブロック用の温度計を基準 (正しい温度表示) とし水温用温度計を補正するため, 使用する2本温度計を同じ場所にしばらく放置しておく, 温度計の温度標示が互いに違っていたら, 各温度計の標示値を記録しておく。
- ④ メスシリンダーで100mlの水を計り, ビーカーに入れる。水温用温度計で水温を測る。
- ⑤ ブロックにブロック用の温度計をとりつけてブロックを加熱する。72°Cぐらいになったら加熱を止め, 70°Cに下がるのを待つ。
- ⑥ ブロックの温度が70°Cになったと同時にブロックをビーカーの水に投入する。投入と同時に20秒ごとに2本の温度計の温度を読み取り記録する。この間, 終始ブロックと水を攪拌しつづける。
- ⑦ ブロックと水の温度は時間的に変化しなくなるまで測定をつづける。

実験結果をグラフ化し, 前述した「混合法」を用いて測定したブロックの比熱を求める。

今まで行ってきた授業では, ほとんどの学生が実験の手順や作業, 結果のグラフ化や比熱の計算は, 特に問題なかった。しかしながら, 得られた結果からの考察が無いまたは不十分である学生が多かった。

##### 4-2. 水の比熱<sup>4)</sup>

エネルギー測定が最も正確にできる電気的な方法を用いて, 水の比熱を求めることが目的である。

一定量の水 (質量  $m$  [g]) の中に入れた電熱コイルに一定の電圧  $V$  [V] で,  $I$  [A] の一定の電流を  $t$  秒間流し, この電気的エネルギーの全部を水に供給し, 水の温度が  $\Delta\theta$  [°C] だけ上昇したとすると, 水の比熱  $c$  [J/g・K] は,

$$c = \frac{VIt}{m\Delta\theta} \quad (4-4)$$

で与えられる。実際には, 水は容器に入れておかなければならない。そうすると水だけでなく容器

の温度も水と一緒に変化する。水を入れる容器を水熱量計と呼び、銅製が用いられる。

ある物体に一定の熱量を与えた時の温度上昇と同じ温度上昇がその熱量によって生じるような水の質量をその物体の水当量という。銅の水当量は、その質量の約0.09倍である。したがって、熱量計の質量を $m_a$ とすると、(4-4)式の $m$ の代わりに $m+0.09m_a$ を用いて、

$$c = \frac{VIt}{(m+0.09m_a)\Delta\theta} \quad (4-5)$$

が成立する。

具体的な実験方法を次に示す。

- ① 1グループ2, 3名に分ける。
- ② 電源、摺動抵抗器、電流計、電圧計および水熱量計を配線する。
- ③ 電圧計および電流計のレンジを最初10Vおよび10A程度にしておき、短時間だけ電流を流す。
- ④ 摺動抵抗器を調整して、2A程度の電流を流し、消費電力が4W程度になるよう電流と電圧を調整する。
- ⑤ 水熱量計と攪拌棒の質量を測定する。
- ⑥ 熱量計に水を入れ、水の質量を測定する。
- ⑦ 通電前の水の温度を測定する。
- ⑧ 攪拌棒をかき混ぜながら2分間隔で10分間水の温度を測定する。
- ⑨ 電熱コイルに通電を開始する。この開始時刻を $t_1$ とする。水をかき混ぜながら2分間隔で10分間水の温度を測定する。10分経ったらスイッチを切る。この時刻を $t_2$ とする。
- ⑩ スwitchを切ったからも、水をかき混ぜながら今度は1分間隔で10分間、水の温度を測定する。

実験結果の整理として、水の温度の時間変化をグラフ化させる。通電前、通電中および通電後のデータを直線とみなし、ソフトを用いて最小二乗法から、通電前と通電後の直線を延長し、 $(t_1+t_2)/2$ の時の各延長線の温度をそれぞれ $\theta_1$ および $\theta_2$ として、 $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ を計算させる。(4-5)式に得られた実験値を代入させ、水の比熱を求めさせる。

今までに行ってきた実験から、得られた水の比熱は、公称値(約 $4.2\text{J/g}\cdot\text{K}$ )よりも高い値になる。なぜ、そうなるのかの原因を考察することがこの実験の重要な一つである。

考察事項として、水熱量計に銅を用いる要因、水熱量計を発泡スチロールのような断熱材で囲って実験をした場合の利点と欠点を調べる事である。

今まで行ってきた授業では、ほとんどの学生が実験の手順や作業、結果のグラフ化や比熱の計算は、特に問題なく行っていた。しかしながら、配布したプリントに配線図が書いてあるにも関わらず、電源、摺動抵抗器、電流計、電圧計および水熱量計の配線の方法がわからない学生が殆どであった。また電流計は直列に、電圧計は並列に配線することすら理解していない学生が多かった。

#### 4-3. 沸点上昇<sup>5), 6)</sup>

塩化ナトリウム水溶液およびグルコース(ブドウ糖)水溶液の沸点を調べ、各沸点上昇度を求め、各実測値および計算値を比較考察することを目的としている。

実験試料として、塩化ナトリウム(以下、NaCl)およびグルコース(以下、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )を用いているのは、人体に無害であるため取り扱いが安全であること、NaClは電解質であり、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ は非電解質であることから、同じモル濃度であっても、理論どおりNaClの沸点上昇度が $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ のその2倍になるかを確かめるためである。

計算から求める沸点上昇度 $\Delta t_c$  [°C]とすると、非電解質の場合、

$$\Delta t_c = K \times m / M \times 1000 / W \quad (4-6)$$

電解質の場合、

$$\Delta t_c = K \times m / M \times 1000 / W \times i \quad (4-7)$$

ここで、

$K$  : モル沸点上昇 [°C·kg/mol],

$M$  : 溶質の分子量,  $m$  : 溶質の質量 [g],

$W$  : 溶媒の質量 [g],

$i$  : ファントホッフ係数

ファントホッフ係数 $i$ とは、電解質が電離したときのイオンの個数である。NaClは $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の2つのイオンに電離するため、 $i=2$ となる。

また、実験結果から得られる沸点上昇度 $\Delta t_m$  [°C]とすると、

$$\Delta t_m = t - t_0 \quad (4-8)$$

ここで、

$t$  : ブドウ糖水溶液または、

NaCl水溶液の沸点[°C],

$t_0$  : 水の沸点[°C]

具体的な実験方法を次に示す。

- ① 1グループ2, 3名に分ける。
- ② 電気ポットのお湯をガラス製500mlビーカーで300ml計量する。
- ③ お湯の入ったビーカーを600Wに設定したヒーターの上にのせ、水が沸騰するまで待つ。
- ④ 沸騰を待つ間に、プラスチック製ビーカーを電子天秤にのせ「0g設定」後、NaClを試薬びんから薬さじを用いて、「19.5g」秤量する。
- ⑤ 水が沸騰（水面が揺れ、気泡が多く出る）後、デジタル温度計をオンにして、水温を測り（温度が安定するまで待つ）、記録する。
- ⑥ 水が突発的に跳ねて危険なので、秤量したNaClを少しずつ沸騰水に入れ、溶けるまで攪拌棒を用いて、攪拌する。
- ⑦ NaCl水溶液が沸騰後、デジタル温度計にて、その温度を測り（温度が安定するまで待つ）、記録する。
- ⑧ やけどをしないように慎重に、NaCl水溶液を洗面所に捨て、水洗後、また②および③の順で作業を行う。
- ⑨ 水の沸騰を待つ間に、プラスチック製ビーカーを電子天秤にのせ「0g設定」後、ブドウ糖を試薬びんから薬さじを用いて、「60.1g」秤量する。
- ⑩ NaClをブドウ糖に変えて、⑤～⑧の作業を行う。

これらの実験を再度行い、実験結果から得られた各沸点上昇度 $\Delta t_m$ を(4-8)式より求め、2回の結果の平均値をNaClおよびブドウ糖水溶液の $\Delta t_m$ とした。また、NaClおよびブドウ糖水溶液の $\Delta t_m$ の値および $\Delta t_m$ と $\Delta t_c$ の値を比較し考察させた。

今まで行ってきた授業では、ほとんどの学生が実験の手順や作業、実験結果のまとめは、特に問題なく真剣に取り組んでいた。しかしながら、得られた結果からの考察が不十分である学生が多かった。

#### 4-4. ボルタ電池<sup>5)</sup>

イオン化傾向を用いた最も基本的な電池である「ボルタ電池」の仕組みについて理解し、その現象について考察することが目的である。

電池とは、金属ごとにイオンへのなりやすさ

(イオン化傾向)を利用して、金属同士の電子のやり取りから電気を作り出す装置である。電池の負極では、原子が電子を放出して、陽イオンになる「酸化反応」が起こり、正極では、陽イオンが電子を受け取って金属になる「還元反応」が起こることで電流を取り出している。

イオン化傾向を以下に示す。

K > Ca > Na > Mg > Al > **Zn** > **Fe** > Ni > Sn > Pb > (**H<sub>2</sub>**) > **Cu** > Hg > Ag > Pt > Au

ボルタ電池とは、イタリアの物理学者アレッサンドロ・ボルタによって1800年に発明された最も基本的な電池である。負極に亜鉛板を正極に銅板を用い、電解液には硫酸を用いる。負極の亜鉛は、硫酸に含まれる水素イオンより金属のイオン化傾向が大きいため電子を失って2価の陽イオンとなる( $Zn^{2+}$ )。電子は導線を伝わって銅板に流れ、水素イオン( $2H^+$ )と反応して水素( $H_2$ )となって放出される。

ボルタ電池の反応式は、次のように表される。

負極： $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$  (酸化反応)

正極： $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$  (還元反応)

具体的な実験方法を次に示す。

- ① 1グループ2, 3名に分ける。
- ② 亜鉛板と銅板をプラスチック製透明容器の蓋に取り付ける。
- ③ 本実験では、硫酸の代わりに研究室に数本保管したあった塩酸を用いた。希塩酸水溶液を容器からビーカーに適量入れ、ビーカーからメスシリンダーを用いて150ml計量する。
- ④ メスシリンダーに入れた150mlの希塩酸水溶液をプラスチック製容器に入れ蓋をする。
- ⑤ 乾電池に電子オルゴールの銅線を付け、音が鳴ること（銅線の電極）を確かめる。
- ⑥ 電子オルゴールの銅線を亜鉛板および銅板に取付け、音が鳴ることを確認する。
- ⑦ 電子オルゴール音が鳴ることを確認後、テスターを用いて電圧を測定し、記録する。
- ⑧ 電極の組み合わせを「銅板と鉄板」および「亜鉛板と鉄板」に変えて、②～⑦（⑥は除く）の操作を行う。
- ⑨ 電極を「亜鉛板と銅板」の組み合わせとして、電子オルゴールを数個電極に繋ぎ、電圧を測定後、30分放置した後に電極付近の様子を観察する。また、再度電圧を測定する。

⑩ 過酸化水素水を電解液(希塩酸水溶液)に10ml入れて電極付近の様子を再度観察し、電圧を測定する。

オルゴールでは、音が蚊の鳴くような音しか聞こえないため、実験で組み立てたボルタ電池で得られる電圧以下の電圧で回転するプロペラを用い、回転するかどうかを確かめた。

注意点として、希塩酸水溶液といっても強酸のため、目に入ったり、吸い込んだりすると危険であることから、希塩酸水溶液を取扱うときは、学生に、必ず保護メガネ、マスクおよびゴム手袋を付けることを徹底した。

実験結果の整理として、電極の組み合わせ(「亜鉛板と銅板」、「鉄板と銅板」、「鉄板と亜鉛板」と電圧の関係を表にさせた。また、両電極付近の様子を観察させ、起こっている現象を記録させた。

さらに、過酸化水素水添加後の電極付近の変化を観察させ、電圧を記録し値の変化を調べさせた。

電極に用いた金属材料のイオン化傾向と電圧の関係について考察させた。また、両電極(亜鉛板および銅板)付近の観察結果から、起こっている現象、過酸化水素水を添加することで生じた変化が起こった原因について調べさせた。さらに、燃料電池や太陽電池の仕組みについて調べさせた。

今まで行ってきた授業では、ほとんどの学生が実験の手順や作業、実験結果のまとめは、特に問題なく真剣に取り組んでいた。また、すべての学生が、希塩酸水溶液を取扱うときは、きちんと保護メガネ、マスクおよびゴム手袋を付けることを徹底していた。

時間が経過すると、分極のためプロペラの回転速度が低下したが、減極剤である過酸化水素水を電解液に入れた時に、プロペラが激しく回転する現象を観察して感動していた。

考察事項もわかりやすいのか、きちんと調べて考察する学生が多かった。

#### 4-5. 電気分解<sup>5)</sup>

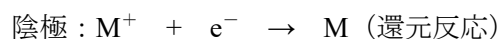
「水や塩酸の電気分解」の実験を通して「電気分解」の仕組みについて理解し、その現象について考察することを目的としている。

電池は、「化学反応(酸化・還元反応)が起こる」→「電子が移動する」→「電気を取り出す」仕組みであるが、電気分解は、「電気を流す」→「電子

が移動する」→「化学反応(酸化・還元反応)を起こす」仕組みであり、電池とは逆の流れとなる。

電池の時と同じく、電解質の水溶液に2本の電極を入れ、それを導線でつなげる。電池の時と違うところは、導線の途中に直流電源を取り付けることである。こうすることで直流電源から電子が流れ、両極で酸化・還元反応が起こる。この操作を「電気分解」という。

電源の負極と接続した電極が陰極、電源の正極と接続した電極が陽極である。電子は、電池の負極から出て、陽極に戻る。つまり、負極から出た電子が陰極に移動するので、陰極では電子を受け取る反応(還元反応)が起こる。一方、電池の正極には電子が流れ込んでくるので、陽極から電子が放出される反応(酸化反応)が起こる。



実験は、「水の電気分解」と「塩酸の電気分解」を行った。まず、「水の電気分解」の具体的な実験方法を次に示す。

- ① 1グループ2, 3名に分ける。
- ② 電気分解装置の上の2つの穴にゴム栓をしっかりはめる。
- ③ 電気分解装置の後ろの穴から、ロートをを用いで水道水100mlを入れ、ゴム栓で塞いだ穴から水が漏れないことを確認する。
- ④ 水をすべて捨て、代わりに水酸化ナトリウム水溶液100mlを電気分解装置の後ろの穴から、ロートを用いてゆっくり入れる。
- ⑤ 水酸化ナトリウム水溶液を充填後、前面が下を向くように一度倒し、再び立てて前面槽に電解液を満たす。空気が入っている場合は、再度同じ操作を繰り返し、空気を完全に抜く。
- ⑥ 電気分解装置の接続用電極と電源装置をみの虫付きリード線で接続する。
- ⑦ 電源装置により電圧6Vをかける。
- ⑧ 一極側から発生した気体が電気分解装置の目盛の「4」付近まで溜まったところで電流を流すのをやめ、両極から発生した気体の体積比を目盛から読み取る。
- ⑨ 一極側から発生した水素と+極側から発生した酸素の体積割合が約2:1の比になることを確認する。
- ⑩ 一極側のゴム栓を取りマッチの火を近づけた

ときの現象を記録する。また、+極側のゴム栓を取り線香の火を近づけたときの現象も記録する。

- ⑪ ②～⑩の操作をもう一度行い、再現実験を行う。

実験結果の整理として、-極側から発生した水素と+極側から発生した酸素の体積の変化を観察し、割合が約2:1の比になるまでの時間を記録させた。また、-極側のゴム栓を取りマッチの火を近づけたときの現象や+極側のゴム栓を取り線香の火を近づけたときの現象も記録させた。

次に「塩酸の電気分解」の具体的な実験方法を示す。

- ① 電気分解装置の上の2つの穴にゴム栓をしっかりはめる。
- ② 電気分解装置の後ろの穴から、ロートを用以て水道水100mlを入れ、ゴム栓で塞いだ穴から水が漏れないことを確認する。
- ③ 水をすべて捨て、代わりに塩酸水溶液100mlを電気分解装置の後ろの穴から、ロートを用以てゆっくり入れる。
- ④ 塩酸水溶液を充填後、前面が下を向くように一度倒し、再び立てて前面槽に電解液を満たす。
- ⑤ 空気が入っている場合は、再度同じ操作を繰り返し、空気を完全に抜く。
- ⑥ 電気分解装置の接続用電極と電源装置をみの虫付きリード線で接続する。
- ⑦ 電源装置により電圧6Vをかける。
- ⑧ -極側から発生した気体が電気分解装置の目盛の「4」付近まで溜まったところで電流を流すことをやめ、両極から発生した気体の体積比を目盛から読み取る。
- ⑨ -極側から発生した水素と+極側から発生した酸素の体積割合を確認する。
- ⑩ -極側のゴム栓を取りマッチの火を近づけたときの現象を記録する。また、+極側のゴム栓を取り水で湿らせたリトマス紙を近づけたときの現象も記録する。
- ⑪ ①～⑩の操作をもう一度行い、再現実験を行う。

実験結果の整理として、-極側から発生した水素と+極側から発生した酸素の変化を観察し、その割合を記録させる。また、-極側のゴム栓を取

りマッチの火を近づけたときの現象、+極側のゴム栓を取り水で湿らせたリトマス紙を近づけたときの現象も記録させる。

「水の電気分解」の考察として、電解液を水ではなく、水酸化ナトリウム水溶液を用いた理由、通電中に+極（陽極）および-極（陰極）で起きている現象について化学反応式を用いて説明すること、-極（陰極）で発生する水素と+極（陽極）で発生する酸素の体積割合が2:1になる理由について化学反応式を用いて説明することを調べさせた。

「塩素の電気分解」の考察として、通電中に+極（陽極）および-極（陰極）で起きている現象について化学反応式を用いて説明すること、通電中に+極（陽極）で発生する塩素がほとんど気体として溜まらない理由について調べさせた。

また、電気分解が工業的にどのようなところで用いられているかについても調べさせた。

今まで行ってきた授業では、ほとんどの学生が実験の手順や作業、実験結果の記録は楽しんで取り組んでいた。また、すべての学生が、水酸化ナトリウム水溶液や希塩酸水溶液を取り扱うときは、きちんと保護メガネ、マスクおよびゴム手袋を付けることを徹底していた。

考察事項もわかりやすいのか、きちんと調べて考察する学生が多かった。

## 5. 物理学系実験－重力加速度－

重力加速度は力学分野では避けては通れない物理量である。座学の授業等では、重力の大きさ  $mg$  の計算や、運動方程式を用いて物体の運動を理解する場合に与えられるなど、いずれにしても単に  $9.8\text{m/s}^2$  として学生は記憶していることが多い。円周率の値も同様であるが、学生は重力加速度の大きさをどこかで誰かが決めた値と了解している場面に出くわすことは決してまれではない。したがって、重力加速度の大きさを求める、と説明すると怪訝な顔をする学生は多い。

重力加速度の大きさは、単振り子の周期を測定する実験と、台車の斜面上の運動による位置と時間の関係を測定する実験で、2回にわたってその値を求めるよう構成している。それらについて概要を記述する。

### 5-1. 単振り子の周期の測定

重力加速度の大きさを直接求めるテーマとは



せず、「1周期1秒の振り子時計の糸の長さ $L$ 」を  
求めるテーマとなっている。まず初めに、学生に  
は実験の方法を説明する。使用する測定装置を図  
5-1に示す。絹糸を接着した直径12.5mmの鉄球を  
振り子として用い、実験スタンドに装着する。絹  
糸を含む鉄球の重心までの長さ(以下、糸の長さ)  
を $L$ として10~50cmで変化させ、図5-1に示すス  
トップウォッチで振り子の10周期を3回測定し、  
平均値を算出し、1周期に換算したのち測定値と  
する。また、振り子の等時性により、振幅の値を  
糸の長さ $L$ の1/10程度とするよう伝達する。糸の  
長さ $L$ の1/10程度の振幅は振り子の振れ角6°程度  
に相当する。

その後、単振り子の運動方程式をたて、振れ角  
を小さくした場合の近似を用いた微分方程式を  
解くことにより、単振り子の周期が(5-1)式とし  
て得られることをテキストにより説明する。振り  
子の振れ角 $\theta$ が6°程度であると $\theta$ と $\sin\theta$ との差  
が $\sin\theta$ の値の約0.2%となり、本実験では、この程  
度を等時性の成立する範囲としている。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (5-1)$$

ここまで説明したのち、有効数字に留意するよ  
うに伝え、2乃至3人の班で実験し、終了後は平  
均値等算出してから、横軸を糸の長さ $L$ 、縦軸を  
周期 $T$ としてグラフを描く。グラフ作成後、全員  
で議論する。即ち、作成したグラフがどのような  
関数形になっていて、また、1周期1秒の振り子  
時計の糸の長さ $L$ をどのように求めるかを考え  
るわけである。(5-1)式によれば、周期は糸の長さ  
 $L$ の平方根のみに依存することは明白であるが、

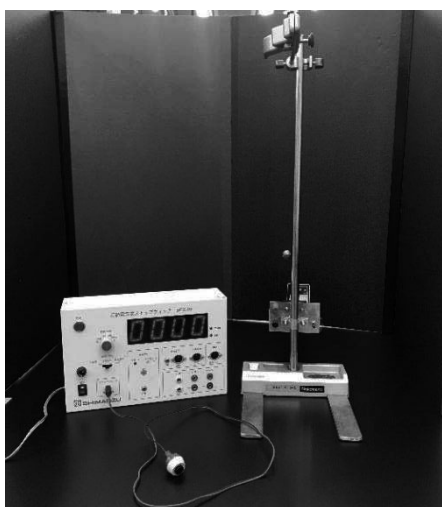


図 5-1 単振り子の実験装置

学生にとっては、式そのものとグラフが形成する  
変化の様子との概念を一致させるのは困難なよ  
うである。グラフは原点を入れてデータが6点し  
かないため、最も確からしい変化の様子を自在定  
規による線として描かせるが、この時に、線の引  
き方に恣意性が生じるため、1周期1秒の振り子  
時計の糸の長さ $L$ は人依存であり、正確には決め  
られないことを伝える。その後、傾きさえ決めて  
しまえば直線が最も恣意性のない線の引き方だ  
であることを伝え、(5-1)式の両辺を2乗して変形  
させた直線のグラフへと学生を導く。(もちろん、  
データ6点からのみでどのように直線の傾きを  
決めるかには線を引く者の恣意性は存在する。)こ  
の際、表5-1に示すデータ表には説明されてい  
ない周期の2乗の欄があり、意味も分からずにこ  
れを算出していたことに学生は気づくことにな  
る。その結果として、横軸を糸の長さ $L$ 、縦軸を  
周期 $T$ の2乗としてグラフを描くことで、1周期  
1秒の振り子時計の糸の長さ $L$ を正確に決める  
というプロセスである。

さらに、(5-1)式より、1周期1秒の振り子時計  
の糸の長さ $L$ から重力加速度の大きさを算出し、  
実験室の緯度による正規重力式を用いた重力加  
速度の大きさと比較することができる。

重力加速度の大きさの算出では、(5-2)式によ  
うに(5-1)式の両辺の対数を取り、その結果、  
 $\log T$ が $\log L$ に比例することを用い、糸の長さ $L$   
を1cmへ外挿しその時の周期を求める方法を用い  
る場合もある。

$$\log T = \log \frac{2\pi}{\sqrt{g}} + \frac{1}{2} \log L \quad (5-2)$$

いずれにしても、グラフ上で直線化して値を読  
み取ることが主眼となっている。進度の早い学生  
の場合には、糸の長さ $L$ と縦軸を周期 $T$ の2乗の  
値から最小二乗法を用いて最も確からしい直線  
を求め、1周期1秒の振り子時計の精密な糸の長  
さ $L$ へと導く場合もあるが、最小二乗法の理解は  
難易度が高く、なかなか実施できない。

表 5-1 振り子の糸の長さ $L$ を変えたときの  
周期 $T$ の測定結果を記入する表

$T$ [s]	1回目		2回目		3回目		$\langle T \rangle$ [s]	$\langle T^2 \rangle$ [s]
$L$ [cm]	$T_{10}$ [s]	$T$ [s]	$T_{10}$ [s]	$T$ [s]	$T_{10}$ [s]	$T$ [s]		
10								
20								
30								
40								
50								

## 5-2. 台車の斜面上の運動による位置と時間の関係

まず初めに、学生には実験の方法を説明する。使用する装置は頻用される記録タイマーによる力学台車である。使用する測定装置を図5-2に示す。

記録テープの打点と時間(打点は0.02s毎)から、表5-2のように打点間の時刻の平均の速度を算出し、それを図5-3に示す速度と時間の関係のグラフに描く。このグラフの傾きから加速度 $a$ を求め、さらに、斜面の水平面からの傾き $\theta$ を測定することで重力加速度の大きさ $g$ を(5-3)式を用いて算出するというプロセスである。

$$g = \frac{a}{\sin \theta} \quad (5-3)$$

ここで(5-3)式を導出するプロセスは難解ではなく、高等学校基礎物理の範囲であり、台車の加速度や重力加速度の大きさを求めるのに大きな困難性は伴わない。しかし、斜面の水平面からの傾き $\theta$ の求め方には困難性を伴うことが多い。図5-2によれば、斜面の最下部の机に接した点から、斜面を机から離す治具と斜面の交点の机からの距離を測定すれば、 $\sin \theta$ は容易に計算できる。しかし、多くの学生は、斜面の最下部の机に接していない点を含む上面の全長と斜面を机から離す治具そのものの長さを測定し計算することで $\sin \theta$ とする。これでは、斜面の厚みと治具の鉛直からの傾きにより正確な $\sin \theta$ の値は得られない。前述したように、断片化した知識の事実への統合の未熟さが生む結果である。



図 5-2 力学台車の実験装置

表 5-2 打点時刻と位置の測定結果を記入する表

時刻 [s]	距離 [cm]	速度 [m/s]
0.00	0.90	.....
0.05	.....	0.199
0.10	2.89	.....
0.15	.....	0.302
0.20	5.91	.....
0.25	.....	0.421
0.30	10.12	.....
0.35	.....	0.526
0.40	15.38	.....
0.45	.....	0.653
0.50	21.91	.....
0.55	.....	0.756
0.60	29.47	.....
0.65	.....	0.876
0.70	38.23	.....
0.75	.....	0.974
0.80	47.97	.....
0.85	.....	1.104
0.90	59.01	.....
0.95	.....	1.371
1.00	72.72	.....

## 6. 物理学系実験—光の屈折—

「屈折の法則」と「屈折率の光電的測定」では光の屈折をテーマに実験を行う。共にガラス等の屈折率を求める実験であるが、そこに至るアプローチが異なる。

### 6-1. 屈折の法則

「屈折の法則」では、スネルの法則とプトレマイオスの式を用いて屈折率 $n$ (厳密には空気に対する相対屈折率)を求めさせる。例えば、図6-1のように、空気中で屈折率 $n$ の半円レンズに光を入射したとき、その光の入射角を $i$ と屈折角を $r$ とすると、スネルの法則により、

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

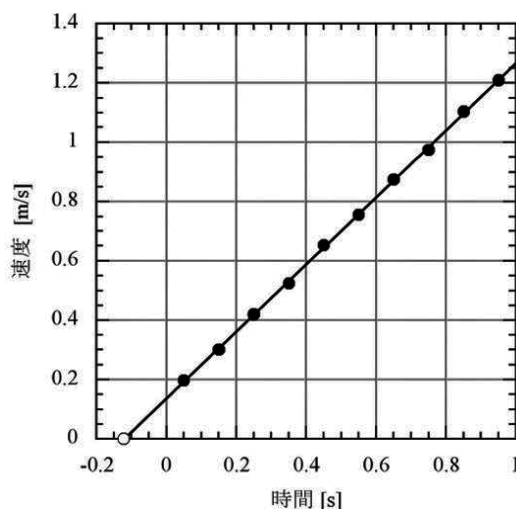


図 5-3 力学台車の速度と時間の関係

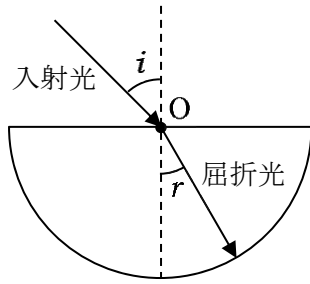


図 6-1 半円レンズと光の屈折

が成り立つ。一方、プトレマイオスの式では、

$$n = \frac{i}{r}$$

が成り立つ。プトレマイオスの式は、古代ローマにおける発見であり、現代では、光の屈折はスネルの法則に則ることが知られているが、この二つの相違点を考えさせるのは、科学的思考を養う上で有意義だと考える。

図6-2に「屈折の法則」で使用する実験装置を示す。このように、製図板の上に、A4サイズの丸型グラフを製図テープで固定し、角度の基準となる垂直な線2本をネームペンで引く。そして、丸型グラフの中心と半円レンズの中心Oが一致するように、半円レンズを設置する。

使用するレーザー光源装置は、波長 645 nm ~ 660 nm の赤色レーザー光を発振する。実験では、入射光が半円レンズの中心Oを通るように赤色レーザー光を照射する。このとき、入射角*i*を5°, 10°, 20°, 30°, …, 80°と変更し、それぞれの場合の屈折角*r*を丸型グラフから読み取る。その測定結果の  $\sin r$  と  $\sin i$  の関係および *r* と *i* の関係を、方眼グラフを用いてグラフに表す。そのとき、横軸に  $\sin i$  もしくは *i* を、縦軸に  $\sin r$  もしくは *r* をとることで、 $\sin r$  と  $\sin i$  の関係および *r* と *i* の関係を一つのグラフに表すことができる。そのために、入射角*i*と屈折角*r*は弧度法で考えさ

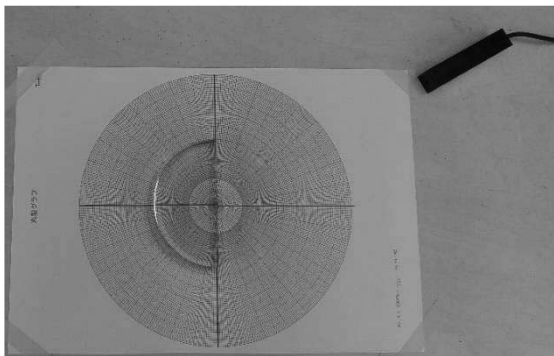


図 6-2 屈折の法則の実験装置

せる。

図6-3に測定結果の一例を示す。グラフに表した  $\sin r$  と  $\sin i$  の関係は直線で表せ、その傾きが屈折率*n*を与える。一方、*r* と *i* の関係は直線で表すことができない。ただし、入射角*i*が小さい部分では一致する傾向にある。そこで、*r* と *i* の関係と  $\sin r$  と  $\sin i$  の関係が、なぜ小さい部分では一致し、次第にずれていくのかを考察させる。また、この実験は、ガラス製の半円レンズとアクリル製の半円レンズの二つをそれぞれ測定するので、ガラスとアクリルを屈折率という観点から比較することができる。

## 6-2. 屈折率の光電的測定

また、「屈折率の光電的測定」では、フレネルの式を用いて屈折率*n*を求めさせる。光を屈折率が異なる物質の境界面に入射すると、一部は反射し、一部は透過する。例えば、空気中で屈折率*n*のガラスに、光を境界面に垂直に入射させたとき、フレネルの式により、その境界面での電場の振幅透過率*ρ*が次のように与えられる。

$$\rho = \frac{1-n}{1+n}$$

光のエネルギーは電場の振幅の二乗に比例するため、光のエネルギー反射率*R*は、

$$R = |\rho|^2 = \left( \frac{1-n}{1+n} \right)^2$$

となる。よって、エネルギー透過率*T*は、

$$T = 1 - R = \frac{4n}{(1+n)^2}$$

となることがわかる。1枚のガラスを透過するとき、空気とガラスの境界面を2度透過することに注意すると、*m*枚のガラスを透過する光のエネルギー透過率*T<sub>m</sub>*は、次のようになる。

$$T_m = \left[ \frac{4n}{(1+n)^2} \right]^{2m}$$

図6-4に「屈折率の光電的測定」で用いる実験装置を示す。光源としては、白熱電球を用いる。ガラス板ホルダーにスライドガラスを置き、そのスライドガラスを透過した光をフォトランジスターで光電流に変換して、そのエネルギーを測定する。白熱電球、ガラスホルダー、フォトランジスターを1台ずつ光学台の上に並べて使用する。スライドガラスの枚数を1枚から7枚までの

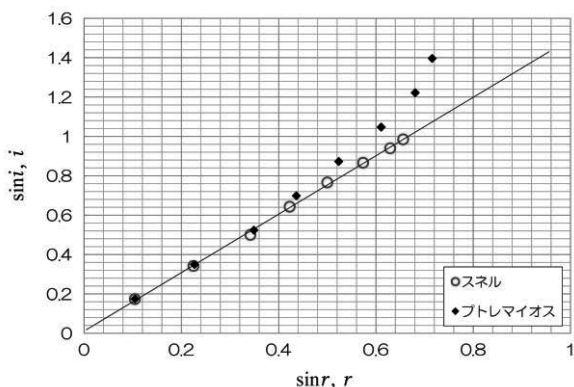


図 6-3 屈折の法則の測定結果の例

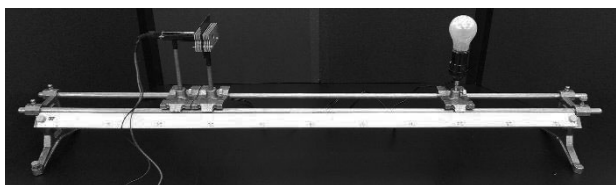


図 6-4 屈折率の光電的測定の実験装置

間で1枚ずつ増減させながら、各枚数での光電流を計4回ずつ測定し、その平均値を使用する。図6-5に測定結果の一例を示す。

0枚での光電流を  $I_0$ 、 $m$ 枚での光電流を  $I_m$  ( $m=1, 2, \dots, 7$ ) とすると、スライドガラスを透過する光のエネルギー透過率  $T_m$  は、 $T_m = I_m / I_0$  で与えられるので、スライドガラスの枚数  $m$  と、それを透過した光電流  $I_m$  の間には、

$$\log I_m = \log I_0 - 2m \log \frac{(n+1)^2}{4n}$$

という関係があることが得られる。そこで、横軸を  $m$ 、縦軸を  $I_m$  として、片対数グラフに  $I_m$  と  $m$  の関係をグラフに表すと、図6-5のように、傾きが  $-2 \log[(n+1)^2 / 4n]$  で与えられる右下がりの直線が得られる。そこで、このグラフの直線の傾きか

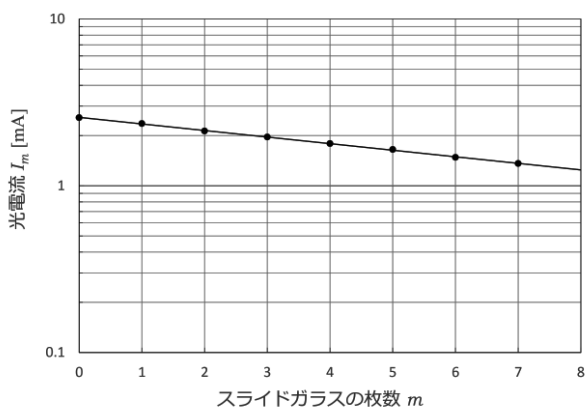


図 6-5 屈折率の光電的測定の測定結果の例

らスライドガラスの屈折率を求めることができる。

学生にとっては、片対数グラフの使用に加え、自然対数の計算や、解の公式を用いた二次方程式の求解など不慣れな計算があるため、測定後のデータ処理に苦戦している学生の様子が見受けられる。特に、自然対数と常用対数を間違えて計算したために全く違う解を求めてしまい、最初から計算をやり直す学生が毎年現れる。

なお、この実験で使用しているスライドガラスは、松波硝子工業製であり、屈折率の公称値が公開されている。したがって、自らの測定結果の精度を知ることができ、考察につなげることができる。

## 7. ラジオの製作

モノづくりの事例は種々あるが、本実験を含み、工学部情報通信工学科科目「基礎物理学実験」と農学部理科教員養成プログラム科目「物理学実験」でも共通のテーマとして「ラジオの製作」を実施している。使用するキットは2SC1815を使用した1石レフレックスラジオ<sup>7)</sup>で、1石で高周波増幅と低周波増幅を行えて感度がよい。素子としての部品点数は2SC1815やゲルマニウムダイオード、抵抗、コンデンサ、コイルなど13点で多くなく、これらの素子を5Pのラグ板に半田付けして組み立てる。ラグ板やバリコン、電源用トグルスイッチはプラケースに取り付けるが、プラケースにはドリルで穴開け加工をした後、やすり加工を行う。図7-1に完成したラジオを示す。

ラジオの製作で重視している点は、自分で工具を用いて、加工し、はんだ付けし、最終的に放送を聞くことができるようになることで、自らの手によるモノづくりの喜びを知ることにある。加工では多くの工具を用いる経験を得られ、特に、プ

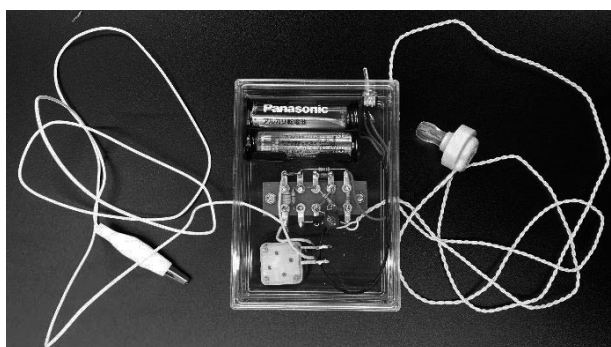


図 7-1 作製した1石レフレックスラジオ

ラケースの穴あけではドリルを押し力加減や、適切なやすりの選択など、初体験の学生にはなかなかハードルは高い。はんだ付けを中学校で経験している学生も多いが、それ以来数年ぶりである。また、放送を聞くにはアンテナが重要であることを初めて知るようである。この時、どのようなアンテナだと効率が良いか、電離層反射をする電波であるため時刻による電波の到達度がどのように変化するか、などを知ることは、学生にとって初めての経験であろう。ラジオの変調方式は電気工学の深い内容であるので軽く触れる程度にしてある。

毎年数名が、放送が全く聞こえないと訴えてくるが、教員がよく観察すると極性のある部品について極性を無視してはんだ付けしている例がほとんどである。実体配線図も配布してあるが、注意が行き届かない学生も多い。また、素子をはんだ付けした後、ラグ版の裏側から飛び出した素子の足を切らずにそのままにしている学生も少なくない。当然接触して回路構成をなしていないわけであり、回路という概念の欠如である。通常の座学による授業において、電気回路の充実性を増すことが課題であると考えられる。

レポートの評価ではどのような放送局を、いつ、どのようなアンテナで受信できたかなどの項目の充実度で判断している。ラジオの原理はあまり知らなくとも、やはり自分で作製したラジオで放送を受信することは興味深く感じている学生が多い。科学や技術の発端は理論を知ってからというよりは、実体験がトリガーになることはよく言われていることであるが、学生はその状況を体現して見せてくれる。

## 8. 「科学とは何か？」

いわゆる「ニセ科学」と称される事例を取り上げ、直感的に「おかしい」と感じられるか否かを学生に問う。その後、科学史の概要を説明し、ガリレオやニュートンから発する近代科学の普遍性について議論する。そして、将来工学や理科教育を担う学生が、現代における様々な問題に対面したときに、客観的・合理的に問題を解決していくことの重要性を、本実験科目で学んだことで理解したか否かを再度問う。断片化した知識の統合が最重要であることを確認する。

## 9. まとめ

ここまで述べてきたように、わずか15回の授業の中で、座学で学んだ物理学や化学の知識の確認や、実験の方法や科学的思考など実験・研究の素養を獲得できるように様々な工夫を凝らしながら、科目「物理・化学実験」を実施している。なお、2020年度カリキュラムからは科目名称を「自然科学実験」と改めて、より教育効果の高い実験科目となるように模索しながらこれからも継続していく。

## 参考文献

- 1) 新村出 編:広辞苑 第7版, 岩波書店, (2018).
- 2) 河合塾 Kei-net : <https://www.keinet.ne.jp/>
- 3) 玉川大学 : 2018 学生要覧(2018)
- 4) D. H. Everett (玉虫伶太・佐藤弦 訳) : 入門化学熱力学, 東京化学同人, (1991)
- 5) 芝原寛泰・斉藤正治 : 大学への橋渡し 一般化学, 化学同人, (2009)
- 6) 宇野正明 : 高校の化学が根本からわかる本 [理論化学編], 中経出版, (2009)
- 7) シャンテック電子 K-012 1石レフレックスラジオキット(2SC1815) : [http://www.shamtecdenshi.jp/catalog/index1\\_K-012.html](http://www.shamtecdenshi.jp/catalog/index1_K-012.html)

---

2021年12月25日原稿受付, 2022年1月7日採録決定  
Received, December 25th, 2021; accepted,  
January 7th, 2022