

投稿

携帯型手作り GM 管放射線測定器の 各部品のいろんな理科実験への活用

森 千鶴夫^{*1}, 早川 一精^{*2}, 佐合 穰^{*2}

Mori Chizuo Hayakawa Issei Sagou Yutaka

青山 隆彦^{*3}, 飯田 孝夫^{*3}, 五井 忍^{*4}

Aoyama Takahiko Iida Takao Goi Shinobu

1 はじめに

放射線測定器は、放射線測定以外の目的に使用することは一般には困難である。したがって、放射線測定の目的がなければ使用されることはほとんどない。しかし、筆者らが開発した携帯型手作り GM 管放射線測定器¹⁾ (以下、本測定器) は、各部品がプラスチックケースの中で露出しているのので、放射線以外のほかの理科実験への各部品の活用が可能である。

内蔵する部品を活用した幾つかの理科実験の例を挙げる。このような実験を通じて、各部品の働きをよりよく理解することができ、各部品

の活用実験のたびに、改めて本測定器の本来の目的である放射線実験を想起し、時々放射線実験を行うことにつながることを願っている。

2 手作り GM 管放射線測定器と活用部品

図 1 の左図に本測定器の回路図を示す。以下に述べる各理科実験で活用する部品のほとんどは本測定器に使用されている部品で、高電圧電源 (A) (回路図の中に記号で示す), GM 管 (B), LED (発光ダイオード) (C), 電源電池 (D), ブザー (E), 計数器 (F), 歩数計カウンタ (G), その他, 抵抗, コンデンサー, など

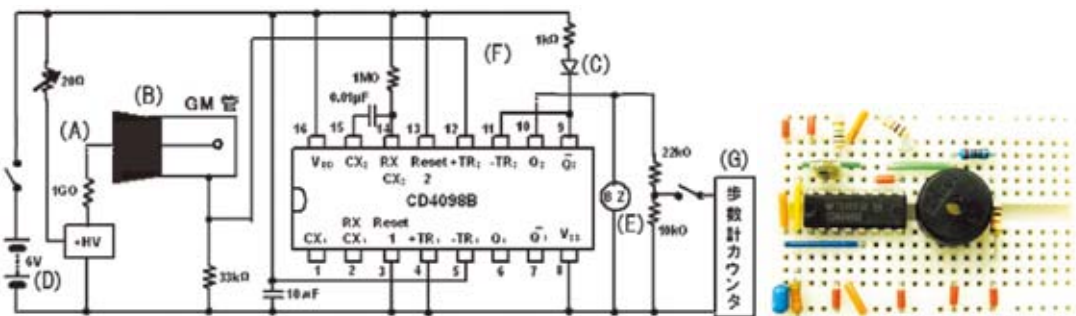


図 1 回路図 (左図) と活用部品 (A)~(G), 及びブレッドボード上の部品 (右図)

である。箔検電器を手作りして補助装置として使用すれば、一層実験の範囲が広がる。

図1の右図はブレッドボード上に配置した部品を示す。ブレッドボードの右端の空所に活用する部品を配置して理科実験に供する。

3 高電圧電源を活用する実験

3.1 紙の纏いと摩擦静電気実験

本測定器の部品の1つである高電圧電源は、出力電圧が+4.65 kVである。出力端子に1 GΩの高抵抗が直列に入っているため、手で触れても全く感じなく安全である。

図2の左に示すように、ポリエチレン製ストローの先端に付けたミノムシクリップで、ティッシュペーパーを細く切った纏いを挟んでいる。GM管の陽極から導線をミノムシクリップに導き、高電圧を掛けると、下に垂れていた纏いが開き、花びらのようになる。GM管が計数するたびに花びらが揺れる。これはGM管が計数するとGM管に放電電流が流れて、高電圧電源の出力端子に付けている1 GΩの高抵抗のために、GM管の陽極の電圧が一瞬、低下するからである。

図2の右上のように、塩化ビニールのパイプをテフロンシートで摩擦すると塩ビパイプは正に帯電し、これを纏いに近づけると、中右のように花びらは逃げて行く。逆に、塩ビパイプと摩擦したテフロンシートを纏いに近づけると花びらは近寄ってくる。これは、フッ素と塩素の最外殻の電子の結合エネルギーの相違によるもので、周期律表の7族の元素の特性の理解にも役立つ。

この実験は、纏いの下方に荷電電極を付けて、摩擦静電気を荷電することによっても行うことができるが、本測定器の高電圧を使用すれば容易で、かつ纏いを開くには数千Vの電圧が必要であることを理解することができる。

3.2 ローソクの炎や線香の煙の電荷

図3の左図に示すように、2枚のアルミ板の



図2 紙の纏いが開く (本文参照)



図3 左; 2枚のアルミ板の間にあるローソクの炎、中; 左側のアルミ板に4.65 kVの電圧を印加、右; 上の金属網に4.65 kVを印加

間にあるローソクの炎は真上に向かっている。中図は、左側のアルミ板に高電圧電源の電圧4.65 kVを印加した。ただし、この場合には1 GΩの電源の抵抗に100 MΩの抵抗を並列に入れている。この抵抗は数MΩでもよい。炎は右に向くので、正の電荷を有していることが分かる²⁾。右図のように、2枚の金属網の上の網に高電圧を印加すると炎は下を向く。線香の煙は図3の中とは反対に左を向くので、負の電荷を有していることが分かる。

4 LEDの発光特性の概略を知る実験

ブレッドボードの余部の場所に、図4の上左及び上右に示すように配線し(コンデンサーCは後で説明する)、電池の電圧Vを変えてスイッチを入れる(特別にスイッチを使う必要はなく、導線の端を電池の端子に触れるだけでよ

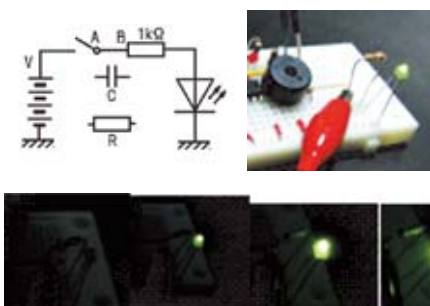


図4 上左および右は実験のための配線、下は室内電灯を消した状態で、左から1.5 V、3 V、4.5 V、6 Vを掛けた場合

い)と、1.5 VではLEDは点灯しないが、3 Vでは点灯する。4.5 V、6 Vと電圧Vを大きくするにつれて光は強くなる。LEDの両端の電圧は、LEDの色によって若干異なるが約1.9 Vである。各電圧において、1 kΩの抵抗とLEDに流れる電流を計算することができ、LEDに流れる電流によって光の強さが異なることが分かる。

AとBの間に図1にある10 μFのコンデンサーを入れて、V=6 Vの電圧を掛けるとLEDは一瞬だけ光る。しかし、次にもう一度6 Vを掛けても光らない。Cに並列に図1にあるR=1 MΩの抵抗を入れると、Cに貯まった電荷が数秒(時定数RC)で放電するので、その後6 Vを掛けるとLEDはまた光る。Rを330 kΩのように小さくすると、充電電荷が早く放電する。0.01 μFのコンデンサーを使うと1回目も光らない。充電電荷が足りないからである。直流や交流に対するコンデンサーや抵抗の性質を理解するのに役立つ。なお、1 MΩ×0.01 μFの組合せは、本測定器においてパルス幅を決めるために用いられている。

5 ブザーの発音特性の概略を知る実験

図5の上図にブザーCと電池電源Vを含む回路を示す。スイッチS₁を閉じると一瞬小さな音をする。電圧Vが大きいほど音は大きい。

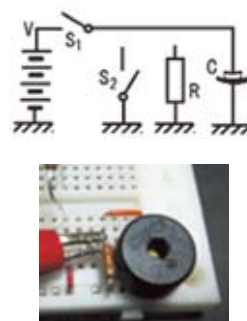


図5 ブザーの等価回路と発音のテスト

しかし、2回目にスイッチS₁を閉じても音はしない。

本測定器で使っているブザーは圧電ブザーで、電圧を加えると変形する圧電素子を使って音を出している。圧電素子は絶縁体なので、実質的にはコンデンサーCと同じである。静電容量をデジタルマルチメーターで測ってみると1.3 nFある。一度電圧を加えると素子に変形して、下の発音板が変形し音が出る。しかし、スイッチS₁を開いても、充電された電荷はそのままなので、素子の電圧はそのまま保たれ、発音板は変形したままである。したがって、再びスイッチS₁を閉じても素子には何の変化も起きない。しかし、もしCに並列に抵抗Rを付けると、Cに蓄えられている電荷は放電し、スイッチS₁を閉じるたびに音が出る。Rは本測定器にある330 kΩでも、1 MΩでもかまわない。

Rがないときに、S₂を付けて開いておき、S₁を閉じると音が出る。次に、S₁を開いてS₂を閉じる(Cの上部を導線で接地する)と音が出る。ブザーの電圧が瞬間的に0になったので、発音板の変形が元に戻り、音が出たのである。

6 計数器としての活用

商用100 V電源の周波数を計数することができる。

図6の上左のように、80 kΩ(1/4 W)の抵抗2個(この部品は本測定器に含まれていな

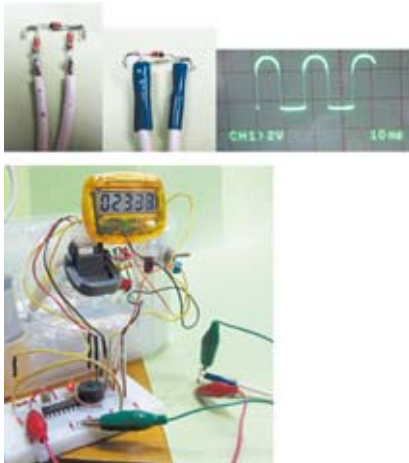


図6 商用電源周波数の測定

い)の間に、3.9 Vのツェナーダイオード(この部品も本測定器に含まれていない)を入れ、廃棄予定の家電製品の電源コードを切って、その先端に直列に付ける。両側の抵抗の部分を安全のためにビニールテープで巻き、100 Vの電源を入れると、図6の上右のようなパルス(波高約3.5 V)がツェナーダイオードの両端に発生する。これを図6の下図のように計数器に接続すると計数器が周波数を数える。出力パルスを2個の10 k Ω の抵抗で分圧すれば、万歩計(早い計数が可能なように改良した万歩計¹⁾)に直接入力しても計数できる。周波数は驚くほど正確であることが分かる。測定時間の誤差が問題であるかもしれない。

周波数が60 Hzの電力会社の目標値は、60 \pm 0.2 Hzだそうであるが、実際は \pm 0.03 Hzに収まっているようである。それでも、欧米のように他国との連携がないので負荷容量が小さく、誤差は大きいようである。

7 箔検電器を使い部品を一層活用する実験

7.1 箔検電器の作製

箔検電器は学校で理科実験の時に用いる市販のものを使用できればよいが、必ずしも使用で

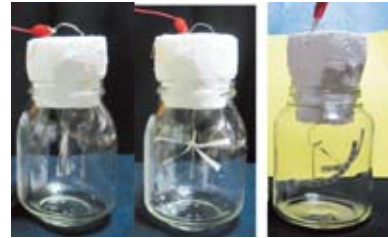


図7 ティッシュペーパーを使った箔検電器とアルミ箔を使った箔検電器(本文参照)

きるとは限らない。箔検電器を手作りすることはそれほど難しくはない²⁾。図2の纏いも一種の箔検電器である。

箔検電器を手作りする場合に、箔として何をを使うかはかなり問題である。市販の箔検電器は可撓性が大きい(たわみやすい)錫箔がよく用いられる。しかし、素人には取扱いがやや面倒である。ここでは、ティッシュペーパーを使った検電器を作って、高電圧電源を利用した実験を考えてみよう。図7の左図の検電器は、本体にコーヒーの空きビン、絶縁体にスチロールフォームを使っている。直径0.5 mmのステンレス線を曲げて電極とし、ティッシュペーパーを4 mm \times 4 cm程度に切って、電極の両側にセロテープで貼り付けたもので、電圧を印加していない。高電圧を掛けると図7の中図に示すように、花が開いたようになる。ティッシュペーパーは通常2枚から成っているのですが、その2枚が反発して4枚になっている。ティッシュペーパーは良導体ではないので、電荷が行きわたるのに時間が掛かり、動きに数秒の遅れがある。

図7の右図は、キャラメルハイソフトの包み紙を水に濡らして、紙とアルミ箔を分離した箔を使ったもので、簡単に手に入るアルミ箔の中では最も薄いと思われる。クッキングフォイルでもよい。アルミ箔は剛性が大きいので、箔をステンレス線の横棒に自由に回転できるように取り付けスムーズに開くようにした。箔の開き角を読み取るために、ガラス瓶の両面に目盛り紙を貼り付け、箔の先端を両方の目盛りを合わ

せて読み取るようにすれば、読取りの誤差は小さくなる。4.65 kV の高電圧を印加すれば、60 度程度の角度に開く。再現性はよく精度は高い。

7.2 紙の高抵抗の測定と静電容量の測定

紙製のファイルの表紙を切った紙（厚さ 0.5 mm，幅 2 mm，長さ 140 mm）の抵抗 R を測定する。手作りした GM 管の静電容量を手持ちのデジタルマルチメーターで測定したところ 2.5 pF であった。この GM 管の静電容量を基準値として活用する。図 8 の左図のように、紙と GM 管を箔検電器に並列につなぐ。箔検電器の下にアルミ箔を敷いてアースし、高電圧電源のアースにつなぐ。そして、高電圧 (V_0) の端子を箔検電器の上部の電極に触れると、瞬間的に箔は約 60 度を開く。この場合の等価回路を図 9 に示す。静電容量 C は GM 管の静電容量 C_G と箔検電器の静電容量 C_L の和であり、 $C=C_G+C_L$ となる。

したがって、電圧 V に関して式(1)が成り立つ。

$$V=V_0 \times \exp(-t/(R(C_G+C_L))) \quad (1)$$

ただし、 t は高電圧の端子を外してからの経過時間である。

また、箔の開き角度 θ と電圧 V （すなわち角

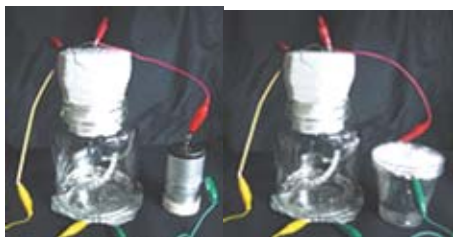


図 8 紙の高抵抗やコンデンサーの静電容量の測定

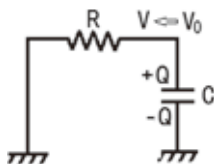


図 9 高抵抗の紙を接地した時の電氣的等価回路

度と電荷量 Q) は、ほぼ直線関係がある。

したがって、開き角 θ に関しても次の式が成り立つ。

$$\theta=\theta_0 \times \exp(-t/(R(C_G+C_L))) \quad (2)$$

角度 θ が θ_0 の 1/2 になる経過時間 $t_{1/2}$ を測れば、式(2) から式(3) が得られる。

$$\ln 2=t_{1/2}/(R(C_G+C_L)) \quad (3)$$

GM 管を並列につながない時の $t_{1/2}$ は 11 秒であった。したがって、式(3) から、式(4) が得られる。

$$R=11/(C_L \ln 2) \quad (4)$$

これを式(2) に代入する。GM 管をつないだ時の $t_{1/2}$ は 23 秒であった。したがって、式(2) から、 $C_L=2.3$ pF が得られる。ゆえに、式(4) から、 $R=6.9 \times 10^{12} \Omega$ が得られる。しかし、このような紙の抵抗は湿度によって大いに異なる。

図 7 の右側のように、3 個のポリプロピレンのカップの間にクッキングのアルミ箔を入れた手作りのコンデンサーを箔検電器に並列につないだ時の充電後の経過時間と箔の開き角の関係は式(2) と同様の式で示されるが、開き角が 1/2 になる時間 $t_{1/2}$ を求めると 180 秒であった。ただし、この時に使用した抵抗 R は $2 \times 10^{12} \Omega$ であったので、このコンデンサーの静電容量は 127 pF であることが分かる。ちなみに、このコンデンサーの静電容量をデジタルマルチメーターで測定したところ 159 pF であった。箔検電器による測定方法はおおむね正しいと言える。

箔検電器のような簡単で古典的な機器でもそれなりの値が得られることが分かる。なお、デジタルマルチメーターで測定できるならば、箔検電器を使った測定などは意味がないのではないかと考えられるが、このような測定方法は、コンデンサーの役割である電気をためる性質を直接理解するのに役立つ。

経過時間 $t_{1/2}$ は、放射性同位体の“半減期”と同じ考え方である。箔検電器は、カンテラの

マントル線源などの α 線強度の測定に使用できる²⁾。

8 放射線の透過と光の透過の実験

放射線の特徴的な性質の一つとして、“物をよく通り抜ける”性質がある、と言われる。

図10の(A)はラジウム線源からの放射線(β 線と γ 線)の透過特性を測定したものである。1枚の厚さが50 μm の半透明紙はほとんど吸収されずに透過している。しかし、1枚の厚さが5mmの亚克力樹脂の場合には、先ず β 線が吸収され、 γ 線はかなり透過しつつも、やはり吸収を受けている。

図10の(B)は、本測定器のLED(赤)の光を100円のフォトダイオード(2386KOA)で受けて測定したものである。薄い半透明紙によって強く吸収されているが、厚くて透明な亚克力樹脂の場合には、放射線よりもはるかによく透過している。何となく矛盾を感じるが、これは、原子爆弾の光は、さえぎる物がなければ百km遠くからでも見えるのに対して、放射性物質の拡散は別として放射線そのものは1~2kmで、ほとんど吸収されてしまうことに対応している。

9 まとめ

放射線実験に用いられる測定器は、通常は放射線測定にしか用いられない。しかし、筆者らが開発した携帯型のGM管放射線測定器には、いろいろな種類の特徴のある部品が使用されている。しかも各部品がプラスチックのケースの中で露出されているため、それらの、より一般的な理科実験への活用が容易である。このような実験を通じて、逆に本測定器の各部品の働きをより詳しく理解でき、かつ、放射線実験が極めて特殊な実験ではなく、ほかの理科実験と隣り合わせのものであることを理解するのに役立つと思われる。

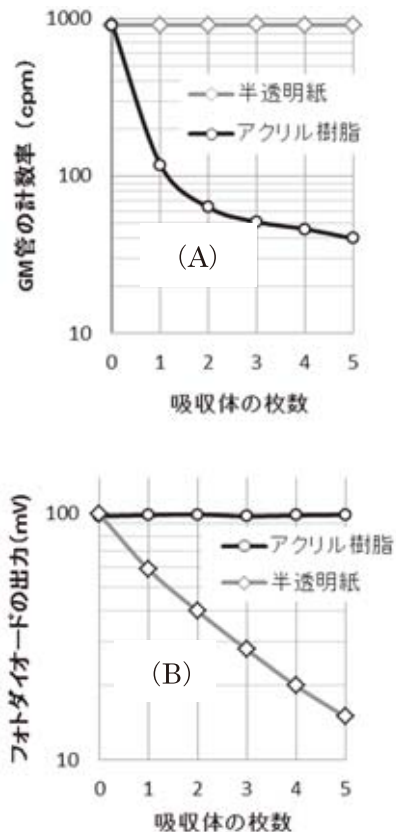


図10 (A) ラジウム線源からの放射線(β 線、 γ 線)の透過特性；半透明紙厚さ1枚50 μm 、亚克力樹脂厚さ1枚5mm、(B) 光の透過特性；LED(赤)の光をフォトダイオード(2386KOA)で測定

参考文献

- 1) 早川一精, 佐合穰, 青山隆彦, 飯田孝夫, 五井忍, 森千鶴夫, 携帯型手作りGM管放射線測定器, *Isotope News*, No.720, 46-50 (2014)
- 2) 森千鶴夫, 手作り箔検電器と放射線の測定, *Isotope News*, No.634, 17-22 (2007)
- 3) 森千鶴夫, 手作り箔検電器の教育的活用, 愛知工業大学研究報告, **49**, 159-162 (平成26年)

(*1 愛知工業大学,

*2 中部原子力懇談会,

*3 名古屋大学,

*4 春日井市立坂下中学校)