

## 定電流抵抗器の提案

### コンデンサーの実験あれこれ

新指導要領では小学校の理科の教材に、新たにコンデンサーが取り入れられました。昨今、大容量の「電気二重層コンデンサー」は、その性能向上と低価格化に伴い、二次電池に代わる小電力のバックアップ電源として急速に身近なものとなり、電気部品としての重要性が増しています。高等学校理科では、コンデンサーは物理の静電気および交流の単元で長く教材として扱われてきました。現行の教育課程ではまだ中学校理科には位置づけられていませんが、早晩中学校にも取り入れられるのではないかと思います。

さて、高等学校ではコンデンサーを扱う実験としては以下が定番としてあげられます。すぐれた先行研究もあります。<sup>1)</sup>

- ①ゼネコンを電源とした大容量コンデンサーの充放電特性の測定
- ②固定抵抗による大容量コンデンサーの放電特性の測定
- ③定電流電源による大容量コンデンサーの充放電特性の測定
- ④オシロスコープを用いたコンデンサーの交流応答の観察

最後の④を除けば、いずれも大容量コンデンサーを試料として用い、その充放電特性から、コンデンサーの式  $Q = CV$  や、接続公式を確認するものです。①～③はいずれも容量が 1F を越える電気二重層コンデンサーが比較的安価に入手できるようになって急速に現場に普及しました。

それぞれの実験の特徴を概観しておきましょう。

①は手回し発電機・ゼネコンを用いることで、充電という電氣的な「仕事」がハンドルの手応えとして実感できる点が優れており、何より手軽に行えますが、「電流計を目視しつつ電流を一定に保つようにゼネコンのハンドルを回す」という熟練を

要するため、半定量的な実験となります。

②は実験装置は単純ですが、電圧・電流の変化が指数関数的になるので、定量化のためには片対数グラフの指導が必要で、高校物理の範囲を超えるところがネックでした。

③は測定原理がわかりやすく、きれいな結果を導けますが、定電流電源という、現状では一般的でない器具を必要とするところから、あまり普及してきませんでした。

### 定電流電源のススメ

もう 30 年以上も前のことになりますが、筆者は、初任校の頃に、③の実験を生徒実験として実施していました。<sup>2)</sup> 当時は電気二重層コンデンサーもデジタルマルチメータも世に出ていない時代で、試料は数千  $\mu F$  の電解コンデンサーしかありませんでした。リーク電流を抑えるため、生徒用電圧計を高入力抵抗に改造したり、マイクロアンメータ付き定電流装置を班の数だけ自作したりして、大変苦労してこれを実現した記憶があります。その後、電気二重層コンデンサーとゼネコンの登場に伴い、次に赴任した学校からは①の生徒実験に切り替えて授業をしてきました。<sup>3)</sup>

しかし、それも昔の話。昨今は 1F を越える大容量の電気二重層コンデンサーが安価になったことと、高入力抵抗のデジタルマルチメータが学校にも普及したことで、③の実験も簡単に実現できるようになりました。電圧計の改造は不要、大容量になったので電流計も mA のレンジで十分です。唯一、定電流電源が普及していませんが、実は定電流装置だけなら FET (電界効果トランジスタ) を用いて比較的簡単に製作することができます。以下では、その構造と特性を簡単に紹介します。

## 定電流抵抗器の製作

ここで製作する図1の回路はFETの使用例としてはよく知られた、ごく基本的な定電流回路です。0.10~1.0F程度の電気二重層コンデンサーを試料とし、充電電圧5V以内で測定することを想定し、1~4mA程度の定電流が得られるようにパラメータを選びました。

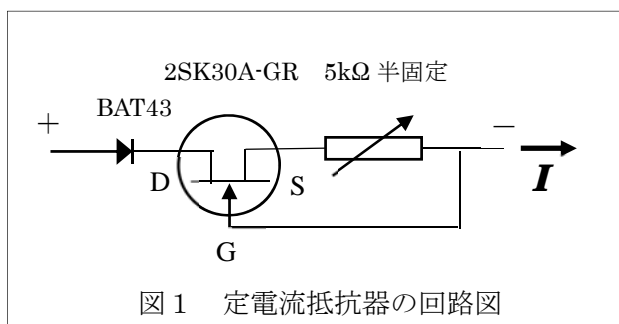


図2 定電流抵抗器の内部

使いやすさ、わかりやすさに配慮して、1円硬貨50枚入りのコインケースに実装して、抵抗器のような形状にしてみました。これを回路の中に抵抗のように接続すれば、自然に電流が一定になるというわけです。この装置を本論のタイトルのように「定電流抵抗器」と呼ぶことにします。

この装置の電流・電圧特性を図3に示します。半固定抵抗を小型ドライバで調整することで、約0.6~3.9mAの間で定電流を得ることができます。端子間電圧が2.5V以上であれば、電圧によらず極めて安定した定電流特性を示します。電圧の最大定格はFETのソース・ドレイン間の耐圧で決まり、使用した2SK30A-GRでは50Vです。

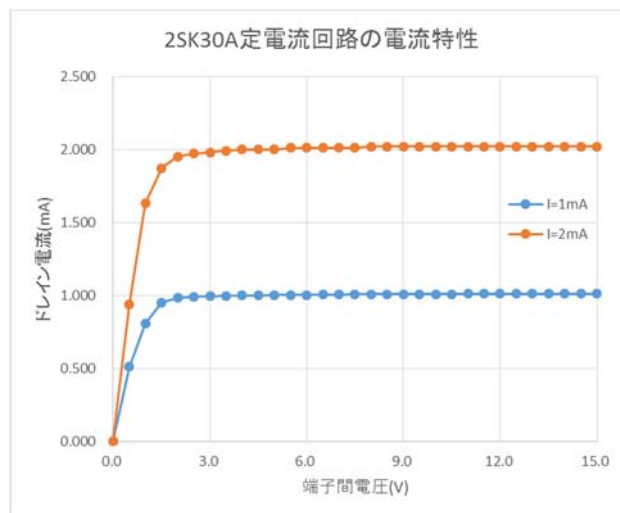


図3 定電流抵抗の電流・電圧特性

## コンデンサーの充放電実験

この定電流抵抗器を用いれば、図4のような簡単な実験装置でコンデンサーの充放電実験が生徒実験として行えます。他に必要となるのはデジタルマルチメータ(テスター)だけです。写真の実験例では、0.47F(耐圧5.5V)の電気二重層コンデンサーに短いバナナコードを半田付けして、マルチメータのプローブ端子に直接取り付け測定しています。お手持ちのマルチメータに合わせて、接続のしかたを適宜工夫するとよいでしょう。放電実験の場合は電池の部分を省略(短絡)するだけです。

測定に先立って定電流抵抗器の電流値を、測定に使用する電流値(例えば1mA、2mAなど)に調整しておきます。調整はデジタルマルチメータをmAレンジの電流計モードで使用し、電池、定電流抵抗器、デジタルマルチメータをすべて直列につな



図4 実験例

いで、図2の中央にある半固定抵抗を小型ドライバで回して所定の電流値になるようにします。一度設定すれば、途中で回路の接続を変更したりしても、その電流値はほとんど変化しません。1%程度の誤差範囲で安定しています。

図5、図6は図4の装置で測定した結果のグラフです。定電流による充放電なので、時間に比例したきれいな直線のグラフが得られます。コンデンサーの式  $Q = CV$  がストレートに確認できます。

測定時の電圧の範囲に関しては、コンデンサーの耐電圧の上限と、定電流抵抗器が正常に動作する、2.5V以上の端子間電圧という条件に配慮します。単三電池3本直列で約4.7Vの電源を用いる場合、充電実験はコンデンサーの極板間電圧が  $4.7 - 2.5 = 2.2V$  以内となるようにします。同じく放電実験では、端子間電圧が2.5V以上のところで測定を打ち切るようにします。

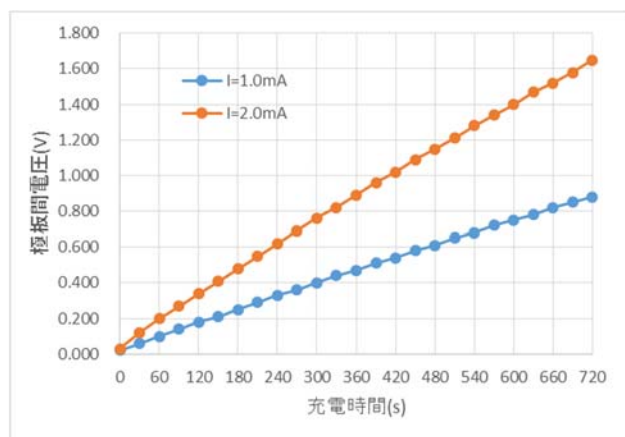


図5 コンデンサーの充電時の測定例

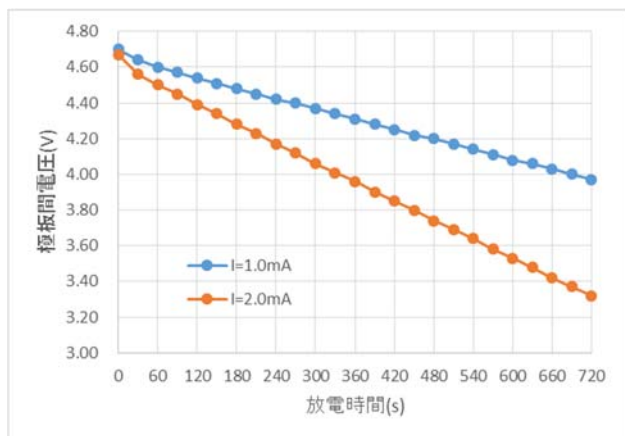


図6 コンデンサーの放電時の測定例

## その他の使い道

この定電流抵抗器は、安定した性能を示すので、コンデンサーの充放電実験以外にも、例えば固定抵抗を直列につないで、電圧降下の実験を行うこともできます。例えば1mAの定電流なら、1kΩの抵抗を接続すれば1V、2kΩなら2Vというように抵抗に比例して電位降下が起こることを端的に示せます。電流主体に回路を眺める視点を養うことが手軽にできるわけです。また、定電流抵抗器を複数使って、キルヒホッフの第一法則を直観的に示すこともできます。

## 一つだけ気になっていること

現時点で一つだけ気になっていることは、図5、図6の測定結果から計算すると、このコンデンサーの電気容量が、充電時約0.9F、放電時約1Fとなり、パッケージに表示されている電気容量0.47Fに一致しないことです。

一般に、電解コンデンサーや電気二重層コンデンサーは、表示値と実際の容量の誤差が大きいものですが、2倍という数字にはやや納得できないものがあります。手元の他のコンデンサー試料(1F、0.1Fなど)では、同様の測定でほぼリーズナブルな結果が得られているので、測定値の処理に誤りがあるわけではありません。秋葉原の千石電商で求めた0.47Fのコンデンサーですが、たまたまばらつきの大きい試料に当たったのかもしれませんが。今は、測定値の方を信じようと思います。

## 参考文献

- 1) 安田明「電気二重層コンデンサーを用いた実験」昭和58年度(第15回)東レ理科教育賞受賞作品集
- 2) 山本明利「生徒実験：コンデンサーの電気容量(湘南版)」  
[http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/hakuyo/library/physics/condenser\\_shonan.pdf](http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/hakuyo/library/physics/condenser_shonan.pdf)
- 3) 山本明利「生徒実験：コンデンサー(湘南台版)」  
[http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/hakuyo/library/physics/condenser\\_genecon.pdf](http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/hakuyo/library/physics/condenser_genecon.pdf)

※本研究の最新情報はこちらに掲載します。

[http://ypc.fan.coocan.jp/ypc/constant\\_current.htm](http://ypc.fan.coocan.jp/ypc/constant_current.htm)