

高等学校 理科

高等学校理科における生徒の実感を伴った理解と
思考力を高めるための教材の開発
—身近な素材を使って製作したコンデンサーの活用を通して—

高校教育課 指導主事 小田桐 世 長

要 旨

高等学校「物理」で扱う電子素子の中で、生徒が具体的にイメージを実感しにくいものとしてコンデンサーがある。そのイメージを具体化する方法としては、コンデンサーの分解、製作などの実験が有効であると考えられる。本研究では、主に今まで報告されている身近な素材を使ったコンデンサーの製作方法を検証し、授業時間内に生徒がコンデンサーの役割を理解、製作できるように工夫し、またこのコンデンサーの製作と活用を通して生徒の実感を伴った理解と思考力を高めるための実験方法を提案する。

キーワード：高等学校 物理 コンデンサー 電気容量 思考力 実感

I 主題設定の理由

現行の学習指導要領では、高等学校「物理Ⅱ」においてコンデンサーについて詳しく扱う。しかし、履修する時期が3年の秋以降になることが多く、十分に理解を深めることは難しいのが現状である。たとえ、コンデンサーに関する問題を解くことができるようになっても、コンデンサーのことをあまりよく分かっていない生徒も少なくない。しかし、小学校新学習指導要領解説理科編では小学6年生の内容に、電気を蓄える装置として、コンデンサーが取り上げられており、今後は、早い時期からコンデンサーに触れる機会も増えてくることが予想される。これを機に、テーマをコンデンサーに絞り、具体的なイメージを実感でき、思考力を高めるための実験方法について考察するために本主題を設定することにした。

II 研究の目標

新学習指導要領改訂の基となった平成20年1月の中央教育審議会答申における理科の改善の基本方針中の(イ)には、「科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る方向で改善する」とある。この基本方針は、小・中・高等学校の理科教育に共通であることから、単に高等学校のみにとどまることなく、小・中学校におけるコンデンサーとその関連事項の取り扱いを、現行・新学習指導要領において比較するとともに、コンデンサーを題材にし、実感を伴った理解と思考力の向上を図るために、身近な素材を使ったコンデンサーの製作とそれを活用する実験方法を中心にまとめることを目指すものである。

III 研究の実際とその考察

1 小・中・高等学校での学習指導要領におけるコンデンサーの扱い

小・中・高等学校の新学習指導要領改訂の基となった平成20年1月の中央教育審議会答申における理科の改善の基本方針では、科学的な認識の定着を図り、科学的な見方や考え方を養うことができるよう改善を図ること、また科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る方向で改善することが示されている。このような状況から、今後の理科教育を更に充実させるためには、これまで以上に小・中学校での学習内容を知り連続性をもった指導が求められているといえる。

そこで、本研究では、小・中・高等学校における現行と新学習指導要領のコンデンサーが関連する電気分野の違いを比較しながら、まずはその内容を確認する。

本稿においては、以下、小学校学習指導要領解説理科編を小学校理科編、中学校学習指導要領解説理科編を中学校理科編、高等学校学習指導要領解説理科編理数編を高等学校理科編と表記する。

(1) 小学校

小学校の学習指導要領における電気分野の内容は、現行の「B 物質とエネルギー」から、新学習指導要領の「A 物質とエネルギー」に扱う場所が変更された。

第3学年から第5学年の電気分野においては、履修する内容が学年間で移動したのものもあるが、内容の大きな変更点はない。第6学年では、現行の内容が第5学年へ移動し、「電気の利用」ということで、手回し発電機などを使い、電気の利用の仕方を調べ、電気の性質や働きについての考えをもつことができるようにすることになっている。この「電気の利用」が新学習指導要領で新たに設定された内容で、

ア 電気は、つくりだしたり蓄えたりすることができること。

イ 電気は、光、音、熱などに変えることができること。

ウ 電熱線の発熱は、その太さによって変わること。

エ 身の回りには、電気の種類や働きを利用した道具があること。

を学習することとなっている。ここで、電気をつくりだすものとして、手回し発電機、電気を蓄える蓄電器の例としてコンデンサー（小学校理科編では「コンデンサ」と表記されているが、本稿では高等学校理科編で使われている「コンデンサー」と表記する。）が挙げられている。

(2) 中学校 第1分野

中学校では、現行・新学習指導要領の内容に大きな変更点はないが、電力量、電流が電子の流れであることと、直流と交流の違いが新たに追加されている。今回のテーマであるコンデンサーの記述は中学校では出てこないが、関連事項としては中学校理科編によると、現行・新ともに、静電気と電流は関係があることを見いだすことが表記されている。現行の中学校理科編では、静電気を貯め、これを用いて、短時間なら発光など電流により起こる現象と同じ現象が起こる実験を、新中学校理科編では、静電気によってネオン管などを短時間なら発光させられることなど、いずれも電流によって起こる現象と同じ現象が起こる実験を行い、静電気が電流と関係があることを見いださせる内容を取り扱っている。コンデンサーに関する記述はないが、静電気を貯める装置としての活用は可能である。

(3) 高等学校 「物理」

現行の学習指導要領ではコンデンサーは「物理Ⅰ」「物理Ⅱ」で、新学習指導要領では「物理」のみで取り扱われている。

| | |
|----|--|
| 現行 | <p>「物理Ⅰ」</p> <p>(1) 電気</p> <p>生活の中で用いられている電気や磁気の性質を観察、実験などを通して探究し、それらへの関心を高めるとともに、基本的な概念や法則を理解させ、電気の種類や日常生活とのかわりについて認識させる。</p> <p>「物理Ⅱ」</p> <p>(2) 電気と磁気</p> <p>電気や磁気に関する現象を観察、実験などを通して探究し、電気や磁気に関する基本的な概念や原理・法則を系統的に理解させ、それらを様々な電磁気現象に応用して考察できるようにする。</p> |
| 新 | <p>「物理」</p> <p>(3) 電気と磁気</p> <p>電気や磁気に関する現象を観察、実験などを通して探究し、電気と磁気に関する基本的な概念や原理・法則を系統的に理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて観察できるようにする。</p> <p>ア 電気と電流</p> <p>ウ コンデンサー</p> <p>コンデンサーの性質を理解すること。</p> |

現行高等学校理科編では、「物理Ⅰ」「(1)電気ーイ 電気に関する探究活動」において、例として、アルミホイルとポリエチレンの袋でコンデンサーを作り、コイルとダイオードを組み合わせることで共振回路を組み立て、実際にラジオ放送を受信する実験が取り上げられている。「物理Ⅱ」では「(2)電気と磁気ーア 電界と磁界ー(ア)電荷と電界」においてコンデンサーの基本的性質に触れることとあり、ここで初めてコンデンサーそのものの性質を扱うことになっている。

また、新高等学校理科編では、事例として、「手回し発電機による充電及び放電、平行板コンデンサーの電気容量を調べる実験などを行い、充電と放電、電気容量、空気中に置かれた平行板コンデンサーなどの基本的な性質を扱う。コンデンサーの接続における合成容量に触れ、また、電気容量と誘電体との関係にも触れることが考えられる」とある。手回し発電機による充電及び放電は小学校の新学習指導要領にもあるが、耐電圧に関する配慮が大切になると思われるため、後述する。

小・中・高等学校の現行と新学習指導要領の電気分野の内容を比較しながら内容を確認してきたが、高等学校において履修する科目「物理」では、コンデンサーそのものの性質に踏み込んだ学習をすることになっており、そこに至るまでは、深くは扱わず、利用にとどまった内容となっている。小・中学校でコンデンサーを利用することがあっても、やはりその仕組みはブラックボックス化されており、生徒からしてみれば、よく分からない装置という印象はぬぐえないと思われる。そこで高等学校ではその構造に切り込み、コンデンサーの構造を実感を伴って理解し、現象を考察することで、これまで実験してきたことが納得でき、理解が深まるものと思われる。

2 身近な素材を使ったコンデンサーの製作と電気容量の測定

コンデンサーの構造を実感を伴って理解するためには、身近な素材を使ってコンデンサーを製作してみることが一つの方法であると考えられる。そこで、今まで報告されている手作りコンデンサーが授業で活用可能か実際に製作してみて検証してみる。今回は金属板としてアルミホイルを利用し、絶縁体には4種類の素材を用いて製作した。なお、電気容量の測定にはsanwaのDIGITAL MULTIMETER PM3を用いた。

(1) 【タイプ1】電極：アルミホイル、絶縁体：トレーシングペーパー（厚さ10 μ m）

材 料：アルミホイル、トレーシングペーパー（厚さ10 μ m）

製作方法：アルミホイルにトレーシングペーパーを挟む

備 考：電極の重なり部分は25cm \times 30cm

使用したアルミホイルは、ホームセンターで販売している日常生活で使うもので幅25cmのものを使用した。

まず初めに、絶縁体として、薄い紙ということで思いついたトレーシングペーパーを用いて、最初の測定を行った。今回使用したトレーシングペーパーは薄口と表記があり、厚さは10 μ mであった。アルミホイルは幅がちょうど重なるようにし、重なっている部分の長さは30cmである。

ア 電気容量測定の手順、注意点

予備実験を行ったところ、測定のたびに数値が変わり安定しない。そこで、ある程度精度を高めるため次のようにして測定することとした。

(ア) コンデンサーを置く面の素材によっても、値が異なったため、今回は当センター物理実験室の実験台に直接載せて測定する。

(イ) 電極には直接マルチメーターの端子をつけず、電極を目玉クリップで挟み、目玉クリップとマルチメーターの端子をみの虫クリップのリード線で接続する。（図2）

(ウ) トレーシングペーパーと電極の数を増やし、並列に接続させたコンデンサーの合成容量を測定する際には、片側のすべての電極を目玉クリップで挟むようにする。

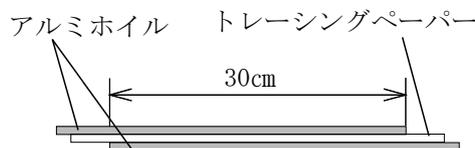


図1 基本構造

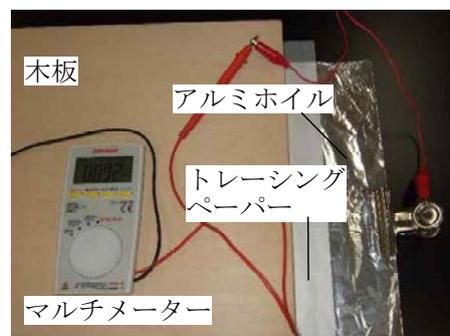


図2 マルチメーターとの接続

(エ) マルチメーターと接続する前に、値が安定するのを待って 0 点補正をした後に接続する。

(オ) 数値が十分安定するのを待って数値を記録する。

(カ) 数値は 2 回測定し、平均値を採用する。

(キ) 極板間の密着度が電気容量に影響すると考えられることから、一定の重さの重りを載せて測定する。(図 3)

今回は、木板(約 800 g)と力学台車用の重り 8 個(1 個 560 g) 合計約 5.3kg である。

(ク) 電極のアルミホイルの表面状態によっても、数値が異なるため、しわが寄った場合や、翌日に持ち越した場合は新しいアルミホイルを使用する。

イ コンデンサーの構造と表記方法について

(ア) 電極 2 枚で絶縁体を挟んだものを(マルチメーターの正極側の電極が 1 枚、負極側が 1 枚)「正 1 負 1」と表す。

(イ) 電極が 3 枚(正極側が 2 枚、負極側が 1 枚(図 4))のものを「正 2 負 1」と表す。

以下、同様な表記を行う。

電気容量の測定結果は次の通りである。

| | | |
|---------|---------|---------|
| 正 1 負 1 | 正 2 負 1 | 正 2 負 2 |
| 8.6 | 21.2 | 36.7 |

(単位: nF)

(2) 【タイプ 2】電極: アルミホイル, 絶縁体: ポリ袋(厚さ 10 μm, 30 μm)

材 料: アルミホイル, ポリ袋(厚さ 10 μm, 30 μm の袋)

製作方法: ポリ袋にアルミホイルを入れて、タイプ 1 と同様に重ね合わせる。

備 考: 電極の重なり部分は 25cm × 30cm, 極板間距離は 60 μm

ア 絶縁体にポリ袋を使用したコンデンサー

まずは、現行の高等学校理科編で紹介されていた、電極にアルミホイル、絶縁体にポリエチレン製の袋を用いたものを製作した。製作方法は、アルミホイルを袋の口から出るくらいの長さに切り、袋にそのアルミホイルを入れるというもので、これを重ね合わせれば完成である。ポリ袋の厚さは 10 μm である。電気容量の測定結果は次の通りである。

| | | |
|---------|---------|---------|
| 正 1 負 1 | 正 2 負 1 | 正 2 負 2 |
| 9.3 | 26.6 | 49.2 |

(単位: nF)

イ 絶縁体にクリアパックを使用したコンデンサー

上記のポリ袋を用いたものは、袋が薄いこともあり、腰が弱く扱いにくい。そこでポリプロピレン製で厚さ 30 μm の袋(FRONTIER 製の、商品名: クリアパック B 4 サイズ)を用いて製作した。(図 5, 6)

| | | |
|---------|---------|---------|
| 正 1 負 1 | 正 2 負 1 | 正 2 負 2 |
| 6.6 | 14 | 25 |

(単位: nF)

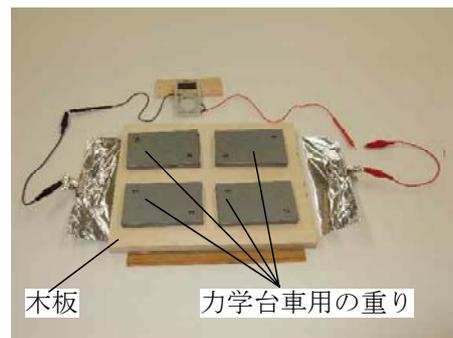


図 3 測定の様子



図 4 正 2 負 1 の構造



図 5 タイプ 2 の電極



図 6 タイプ 2 の全体像

(3) 【タイプ3】電極：アルミホイル，絶縁体：本のページ（ページ1枚の厚さ6 μ m）

材 料：アルミホイル，1ページの厚さ6 μ mの本

製作方法：本のページでアルミホイルを挟む。

備 考：電極の重なり部分は18cm \times 20cm

北海道立教育研究所附属理科教育センターの研究紀要（参考URL参照）で紹介されている方法に基づき，本の中程にアルミホイルを挟み，本のページを絶縁体とするコンデンサーを製作した。

図7，8のように，アルミホイルを本に挟み，コンデンサーを製作し，電気容量を測定した。ただし，本のページの大きさの制限から，電極の重なり部分は，幅18cm，長さ20cmと面積としては，タイプ1，2に比べると，ほぼ半分の大きさである。

| 正1負1 | 正2負1 | 正2負2 |
|------|------|------|
| 14 | 25 | 38 |

（単位：nF）



図7 タイプ3の構造



図8 タイプ3の測定の様子

(4) 【タイプ4】電極：アルミホイル，絶縁体：サランラップ（厚さ10 μ m）

材 料：アルミホイル（12m），サランラップ（旭化成ホームプロダクツ株式会社，厚さ10 μ m），印刷機のマスターの芯

製作方法：アルミホイルーサランラップーアルミホイルーサランラップの順に，マスターの芯に巻き付ける。

備 考：電極の重なり部分は12m \times 25cm

次に平成18年第5回啓林館「教育実践賞」において，審査員特別賞を受賞した研究で紹介されている，サランラップ（ポリ塩化ビニルデン，厚さ10 μ m）を絶縁体としたコンデンサーを製作した。（参考URL参照）

図9のように，印刷機用のマスターの芯にアルミホイルーサランラップーアルミホイルーサランラップの順に巻き付けてコンデンサーを製作し，電気容量を測定した。

ただし，タイプ1～3とは違って，電極等が円筒状に巻き付けられているため，電気容量の測定には，重りを使わず，そのままデジタルマルチメーターで測定した。完成した様子が図10であり，電気容量は次の通りである。

| 1本目 | 2本目 | 3本目 |
|-----|-----|-----|
| 0.9 | 0.8 | 1.8 |

（単位：nF）

1，2本目の電気容量が小さい理由は，巻き付けが緩く，極板間距離が大きくなったためと思われる。

製作に要した時間は1本あたり，2，3人がかりで15分～25分程度である。



図9 作製の様子（研修講座）



図10 完成の様子

3 製作したコンデンサーを活用した実験について

次に、製作したコンデンサーの活用例について、まとめる。

(1) 電気容量の公式の検証

コンデンサーに関する基本的な公式である、電気容量の公式 $C = \epsilon S / d$ (S : 電極が重なり合う面積, d : 極板間の距離, ϵ : 誘電率) の検証については、電極が重なり合う面積や、電極間の距離の調整のしやすさから、上記1～3のタイプで確認する。方法としては、面積 S を最初の1/2倍, 1/3倍にしたものと、距離 d を最初の2倍, 3倍にしたものの容量を測定し、電気容量の公式の検証のしやすさを比較する。

次の表の面積は電極が重なりあっている部分の面積、距離は極板間の距離(絶縁体の厚さ)で、2の測定時の面積と距離を1倍とし、残りは倍数で表している。また距離は、絶縁体に使用したものと同じものを挟み極板間距離を変えている。

また、授業での生徒実験を想定しているため、2で行ったような重りは使用しなかった。

【タイプ1】トレーシングペーパー

| | | | |
|----|-----|------|------|
| 面積 | 1倍 | 1/2倍 | 1/3倍 |
| 容量 | 1.1 | 0.76 | 0.41 |

(単位 : nF)

| | | | |
|----|-----|------|------|
| 距離 | 1倍 | 2倍 | 3倍 |
| 容量 | 1.2 | 0.91 | 0.84 |

(単位 : nF)

【タイプ2】ポリ袋

| | | | |
|----|-----|------|------|
| 面積 | 1倍 | 1/2倍 | 1/3倍 |
| 容量 | 1.9 | 0.86 | 0.59 |

(単位 : nF)

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 距離 | 1倍 | 2倍 | 3倍 |
| 容量 | 1.9 | 1.4 | 1.1 |

(単位 : nF)

【タイプ3】本

| | | | |
|----|-----|------|------|
| 面積 | 1倍 | 1/2倍 | 1/3倍 |
| 容量 | 6.3 | 3.3 | 1.9 |

(単位 : nF)

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 距離 | 1倍 | 2倍 | 3倍 |
| 容量 | 5.6 | 4.5 | 3.4 |

(単位 : nF)

これらのデータを見ると、電気容量が面積 S に比例することが容易に分かる。これに対して、距離 d が大きいほど電気容量が小さくなるという傾向は見ることができるが、距離 d に反比例するところまではどのタイプのものも数値に出ていない。

タイプ1とタイプ2を比べると、タイプ2が袋にアルミホイルが入っているため扱いやすい。実際の測定では、タイプ3の数値が安定しており、測定しやすい。また、タイプ4については、面積や距離を変更することは容易ではないので、数値測定には適さないが、コンデンサーを両手で強く握ることで、容量が増加し、極板間距離が小さくなることで、電気容量が増加することを定性的に実感することができる。生徒には、なぜ握ると電気容量が増加するのか考察させるテーマとしても利用できる。

(2) 興味・関心を高めるための演示実験例

高校生にもなると、ある程度、科学的な知識、常識が身に付いていて、それに反する現象を見たときに疑問を抱き、興味関心がわくと予想される。そのときに、自分がもう少し努力すれば、その理由を説明できるのではないかという思いに導くためにも、身近な素材で製作し、その構造が実感を伴って理解されているということが重要となる。

ここでは、コンデンサーは直流電流の場合には、充電が完了した後は電流を通さないが、交流電流は通し続ける性質があることを利用した演示実験を例として紹介する。

使用するコンデンサーは演示実験で扱いやすいタイプ2(クリアパックにアルミホイルを入れたもの)を用いる。

通常、生徒たちは、ポリ袋は電気を通さないという知識をもっており、一見すると、袋が電気を通したように見える現象は不思議な現象に感じられる。

まず、思いつくのは、交流電流で豆電球を点灯する実験である。タイプ2の正1負1のコンデンサーの電気容量は、重りで押さえなければ、約2nFであるので、50Hzの交流では非常にインピーダンスが大きくなり、豆電球を光らせるためには大きな電圧が必要であるため、手軽に行う演示実験には適さない。

しかし、音声信号が交流であることに着目した演示実験は手軽に行うことができる。用意するものはラジカセ（ステレオミニピンジャック付）とアンプ内蔵のパソコン用スピーカー、リード線等（みの虫クリップリード線とステレオミニプラグを接続したものと、みの虫クリップリード線とステレオミニプラグを接続したもの）である。パソコン用スピーカーは最近USB接続のものが多く、旧来のステレオミニプラグ端子のものをを用いる。

接続は、図11のようにラジカセに製作したリード線のミニプラグを差し込み、スピーカーのミニプラグを、製作したリード線のミニジャックに差し込む。みの虫クリップ二組をダイレクトに接続した場合は、当然電気信号が流れるため、スピーカーから音が出る。しかし、一組のみの虫クリップを外し（図11では中心部の黒のクリップ）、製作したコンデンサの電極にそれぞれ接続すると、それらの端子は絶縁されているので音が出ないように感じられるが、音声信号は交流であるためコンデンサーを通過し、スピーカーから音が出る。

通常、みの虫クリップと接続したミニプラグとピンジャックはモノラル仕様になるため、ステレオ仕様のスピーカーでは片側からしか音が出ない。インピーダンスが大きく、やや音量が小さくなるため、少しでも大きな音にしたいところである。そのために両側のスピーカーから音を出すためにはモノラルとステレオ変換アダプター等を利用してよいが、100円ショップで販売されているヘッドホン延長コードを利用して安価に製作することができる方法を紹介する。

・リード線等の製作方法

材料は、みの虫クリップのリード線の赤・黒 各1本、ヘッドホン延長コード（ステレオミニプラグ）である。

ア リード線と延長コードをすべて中央付近で切断する。
イ ストリッパー等で、リード線と延長コードの切り口の被覆を4cm程度切る。（図12）

ウ 延長コードのミニプラグ側の切り口には、更に3本の被覆に覆われた線が出ている。それは非常に細く、その被覆をむくことは困難であるが、ライター等の炎で、被覆を燃やしてしまうことで容易に芯線を露出させることができる。（火が燃え進むので適当なところで息を吹き付けて消す。）

エ テスターでA部とB部（図13）につながっている芯線を調べる。今回実験で用いたものは、緑の被覆の芯線がA部と赤の被覆の芯線がB部とつながっている。これら2本の芯線と赤のリード線の芯線をしっかりと寄り合わせる。残りの一本がC部とつながっていることになり、この芯線と、黒のリード線をしっかりと寄り合わせる。

オ テスターで、赤のみの虫クリップリード線がA、B部と導通し、C部と絶縁されていることと、黒のみの虫クリップリード線がC部と導通し、A、B部と絶縁されていることを確認したら、互いにショートしないことに気を付けてビニールテープを巻く。はんだ付けができればなお良いが、今回の実験では、これで十分である。（図14）

カ 同様に、延長コードのミニジャック側も同様に芯線を露出し、先ほどと、同じ色の組み合わせになるようリード線と寄り合わせ、導通、絶縁をチェックした後、ビニールテープを巻く。もしも、用意した延長コードの中芯に色の違いがない時は、エ、オで製作したリード線のプラグを、ミニジャックに差し込み、プラグ側の赤

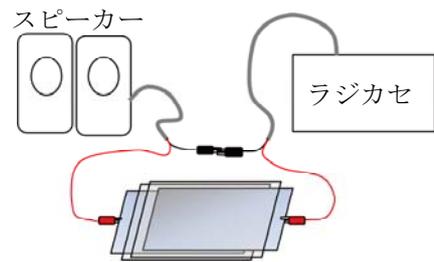


図11 接続の様子

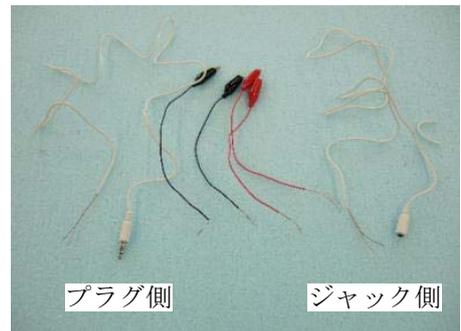


図12

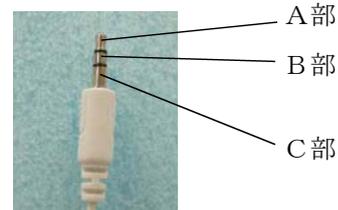


図13

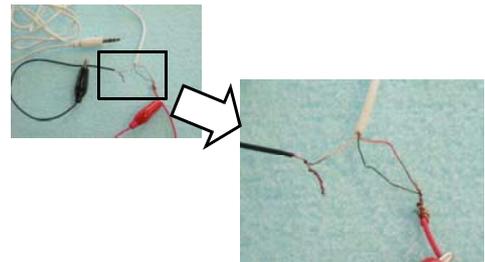


図14

みの虫と導通する二本の芯を、余っている赤のリード線の芯と寄り合わせればよい。

(3) その他の考えられる実験等

ア 充電によるLEDの発光実験

製作したコンデンサーを9Vの乾電池で充電した後、LEDをコンデンサーに接続し、発光を確認するには、どのくらいの電気容量が必要であるかを調べた。

タイプ1のコンデンサーで、重ね合わせる電極を多く（コンデンサーを並列に）し、容量を大きくしながら、発光が目視できる容量を確かめた。使用したLEDにはアーテック社の手回し発電機に付属しているものが小電流でも発光するためこれを用いた。比較のため、市販されている3.0V、20mAのLEDでも実験を行った。

電極数が正7負7の時、電気容量は約300nFであり、アーテック社のものは、わずかに発光した。部屋を暗くするとより明確に見える。

さらに、正20負20の時、電気容量は約1 μ Fとなり、明らかに発光しているのが目視できた。

必要な電気容量としては1 μ F程度が必要であるといえる。市販のLEDの場合はいずれも発光は確認できなかった。タイプ4の3本目(1.8 μ F)で実験したところ、アーテック、市販のLEDともに発光が確認できた。

重ね合わせる電極の数の多さから見ても、タイプ1、2は、この実験には適さない。製作には手間がかかるが、タイプ4の方がこの実験には適しているといえる。

イ バリコンとして使用

前述したが、現行の高等学校理科編では、「物理I」「(1)電気ーイ 電気に関する探究活動」において、事例として、アルミホイルとポリエチレンの袋でコンデンサーを作り、コイルとダイオードを組み合わせて共振回路を組み立て、実際にラジオ放送を受信する実験が取り上げられている。そこで市販されているAM放送用のバリコンの電気容量の領域を測定したところ、約0.01nFから0.3nFであった。タイプ2の正1負1では、木板と重りがない状態で測定すると電気容量が約2nFであり、重ね合わせる面積を調整することで十分対応可能である。

ウ ライデン瓶として使用

現行の中学校理科編では、事例として貯めた静電気をを用いて発光させるなどの実験を行い、静電気が電流と関係があることを見いださせることが挙げられている。この現象を再現する装置の一つがライデン瓶であるが、コンデンサーも同じ原理であり、利用することができる。電気容量が一番大きいタイプ4のコンデンサーを用いて実験を行った。塩化ビニルのパイプを猫皮で擦り、ライデン瓶の蓄電の操作を30回程度行い蓄電したが、LEDの発光は確認できなかった。しかし、増幅器付き検流計（ナリカGM-6000）を用いる次の実験(ア)、(イ)により、静電気が電流になることを確かめることができる。（図15）



図15

(ア) 図15のように、検流計とコンデンサーを接続し、一方の端子にアルミホイルを挟んだ。猫皮で擦り、帯電した塩化ビニルのパイプをアルミホイルに近づけると、パイプは負に帯電しており、アルミはくに近づけると検流計の針は正の側に振れる。

(イ) 10回くらい繰り返した後、端子同士を接続すると、瞬間的に逆向きに電流が流れる。

(4) 既製品のコンデンサーを用いた実験の注意点

前述したが、新小学校理科編では、電気をつくりだすものとしては手回し発電機、蓄えるものとしてコンデンサーが挙げられている。手回し発電機で発電した電気をコンデンサーに蓄え、電球やLEDを点灯させたり、モーターを回したりする実験が想定される。耐電圧の2倍ぐらいで、破裂することもあるともいわれているので、実際どの程度の電圧で破壊されるのか実験してみた。

使用したコンデンサーは、電気容量10F、耐電圧2.3Vの電解コンデンサーである。初期電流が大きくなりすぎないようにするため、乾電池で3V程度の充電を行ってから、安定化電源に接続し、徐々に電圧を上げた。

今回の実験では耐電圧の約4倍である9~10Vでガスを吹き出した。電圧を上げる速さが急激であるほど、図16のように激しくガスを吹き出した。電解コンデンサーの上部の刻み（図17）が安全弁になってお

り、そこからガスを逃がすことで、破裂を避ける構造になっているらしい。しかし、ガスが出る状況では非常に熱く、やけどに注意する必要があるのと、粗悪品や劣化したもの等では、必ずしも安全弁が機能するとは限らない。やはり、授業では耐電圧に十分注意することが必要である。

手回し発電機は、メーカーによって、最大出力が3V、5V、7V、12Vと様々ある。授業ではこれらの性能を十分に知り、高い電圧でコンデンサーを充電することがないように指導に留意する必要がある。

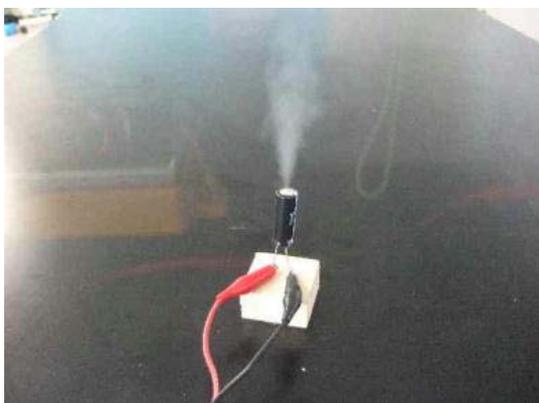


図16 ガスを吹き出したコンデンサー



図17 破壊後の上部

IV 研究のまとめ

高校生が具体的にイメージしにくいコンデンサーであるが、身近な素材を利用して自ら製作し、実験に活用することで実感を伴った理解につながると考えられる。授業での利用を考えると、作りやすさ、扱いやすさではタイプ2のクリアパックを使ったものが、電気容量の大きさと扱いやすさでは、タイプ4の円筒形のものが良いと思われる。電気容量の数値の安定度はタイプ3が一番良かった。交流の電流の性質を利用することで、生徒の常識に反する現象を演示することは、興味・関心を高める上で授業の導入部としては良い例ではないかと考える。

また、今回は扱わなかったが、コンデンサーの分解も理解を深める上で非常に有効であると考え。特にペーパーコンデンサーは大きさもある程度大きく分解しやすく、中の構造は、今回扱ったタイプ4の円筒形のものに巻き付けたサララップを、オイルをしみこませた紙に置き換えただけで、作りが同じものであるため、直感的に理解できる。時間が許せば、分解の後に、タイプ4の製作にとりかかると効果的であると思われる。

なお、既製品のコンデンサーを充電する際に、手回し発電機を利用する場合は、耐電圧を超えないよう、特に指導に留意する必要がある。

V 本研究における課題

本稿では音声信号を使った実験を紹介したが、交流電流で豆電球を点灯することなどが可能であれば、更に生徒の感性に訴える実験になると思われる。しかし、自作のコンデンサーには電気容量の制限があり、見た目にも明らかな実験装置はなかなか見つからない。今後も情報収集と開発に努めたい。

また、授業で生徒実験を扱うとなると、単純性や再現性が求められる。今後も、当センターで実施する講座などで取り上げ、受講者の感想や意見を基に改良に努め、実験シートを作成し学校現場において、手軽で確実に効果的な実験ができるようにサポートしていきたい。

<参考文献>

東京大学教養学部附属教養教育開発機構 兵頭俊夫 2007 『見て体験して物理がわかる 実験ガイドー 演示実験・生徒実験集一』 学術図書出版社

- 文 部 省 1999 『小学校学習指導要領解説 理科編（平成11年5月）』
文部科学省 2008 『小学校学習指導要領解説 理科編（平成20年6月）』
文 部 省 1999 『中学校学習指導要領解説 理科編（平成11年9月）』
文部科学省 2008 『中学校学習指導要領解説 理科編（平成20年7月）』
文 部 省 1999 『高等学校学習指導要領解説 理科編理数編（平成11年12月）』
文部科学省 2009 『高等学校学習指導要領解説 理科編理数編（平成21年7月）』

<参考URL>

伊藤新一郎 2010 「デジタルマルチメーターを用いた手づくりコンデンサーの電気容量の測定」『研究紀要（第22号）』北海道立教育研究所附属理科教育センター

http://exp.ricen.hokkaido-c.ed.jp/tobira/htdocs/?page_id=482(2011.1.24)

白川達章 2007 「手作りコンデンサーによる生徒実験～台所用品で電気の実験をしよう！～」
物理授業実践記録(啓林館)

<http://www.shinko-keirin.co.jp/kori/science/buturi/15.html>(2011.1.24)