

「手づくりコンデンサ」の教材化に向けた基礎研究

Development of Teaching Materials Using “Handmade Capacitor”

吉田 瑞保*・櫻田 安志**・宮古 雄大*・長南 幸安*

Mizuho YOSHIDA*・Yasushi SAKURADA**・Yudai MIYAKO*・Yukiyasu CHOUNAN*

要 旨

学習指導要領が改訂され、小学校第6学年に「電気の利用」の内容が追加された。ここでは、電気を蓄えることを、コンデンサを利用して学習する。コンデンサは小学校で初めて扱う教材である。本研究は、コンデンサを身の回りにあるものを利用してつくり、その機能を明らかにし、教材化することが目的である。コンデンサを実際に作ることによって、その構造を理解し、ブラックボックスとも言える市販のコンデンサへの理解を深めることができる。ここでは、身の回りのものから、積層型のコンデンサをつくることができた。また、その機能の検証、教材化に向けた研究を行った。

Key Words：コンデンサ ものづくり 小学校理科 電気の利用

1. はじめに¹⁻⁴⁾

2008年3月に新学習指導要領が公示され、移行措置を経て、平成23年度から全面実施される。小学校学習指導要領における理科の目標には、「実感を伴った理解」という文言が加わり、「自然に親しみ、見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力と、自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・事象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う」とされた。小学校理科における学習指導要領の改善の基本方針は、

- ① 科学的な見方・考え方の育成
- ② 小・中・高等学校を通じた内容の構造化
- ③ 観察・実験の結果を整理し、考察する学習活動
- ④ 自然体験・科学的な体験の充実
- ⑤ 実社会・実生活との関連、環境教育の充実

である。この基本方針の観点から、小学校理科では、

次の内容の追加、移行統合による改訂が行われた。

- ①「A. 生物とその環境」「B. 物質とエネルギー」「C. 地球と宇宙」の3分野制から「A. 物質・エネルギー」「B. 生命・地球」の2分野制に改訂された。
- ②物と重さ、風やゴムの働き、身近な自然の観察、水の体積変化、人の体のつくりと運動、水中の小さな生物、川の上流、下流と川原の石、雲と天気の変化、てこの利用、電気の利用、主な臓器の存在、水の通り道、食べ物による生物の関係、月と太陽、の学習内容が追加された。
- ③天気による1日の気温変化が第5学年から第4学年に、電気の仕事が第6学年から第5学年に、てこの規則性が第5学年から第6学年にそれぞれ移行された。また、物の衝突が中学校に移行された。

本研究は、第6学年「電気の利用」に着目した。電気の利用について、学習指導要領には次のことが書かれている。

* 弘前大学教育学部理科教育講座
Department of Natural Science, Faculty of Education, Hirosaki University
** 弘前大学教育学部技術教育講座
Department of Technology, Faculty of Education, Hirosaki University

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持つことができるようにする。

- 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、電気の性質や働きを利用した道具があること。

電気を蓄えるものとしてコンデンサが挙げられている。また、生活との関連について、エネルギー資源の有効利用の観点から、電気の効率的な利用についてとらえるようにすることも挙げられている。

電気を蓄えるものとして挙げられたコンデンサは、これまでは高等学校で扱われてきており、小学校では初めて扱うことになる。

2. コンデンサ⁵⁾

コンデンサの構造には、巻き型のほかに、二枚の平行板からなる単板型、電極の軸の周りに誘電体の管を形成し、その外側にさらに電気伝導体の管を形成した構造の貫通型、電極の表面に酸化皮膜による誘電体層をつくり、電解液に浸した電解型、活性炭電極の表面に有機分子を吸着させて誘電体とした電気二重層型、電極と誘電体を重ね合わせた積層型がある。最後に挙げた積層型は電極と誘電体を重ね合わせるという、より簡単な構造である。

コンデンサの教材化については、以前から多くの研究者が行っており、プラスチックのコップを利用したものなどがある。これらに、共通していることは、電極となる導体とプラスチックなどの絶縁体が交互になる仕組みにしていることである。本研究でも、この仕組みを利用して積層型のコンデンサづくりを行った。

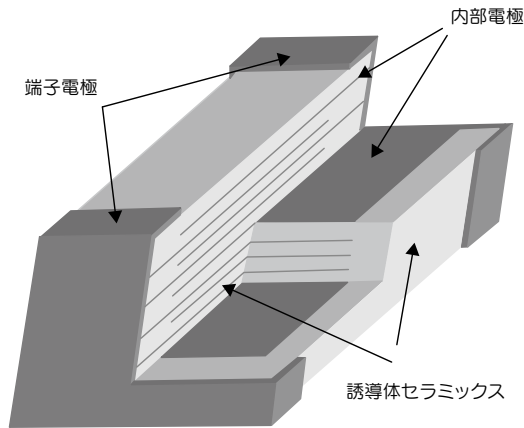
(1) 積層セラミックコンデンサ (MLCC) について⁶⁻⁸⁾

携帯電話やパソコンなどの電子機器の小型化、軽量化、高性能化の背景にはコンデンサの発展がある。コンデンサ市場において、MLCCの需要は群を抜いて多く、携帯電話では300個前後、パソコンやゲーム機では1000個以上も使用されている。

コンデンサにはセラミックコンデンサの他にも、アルミ電解コンデンサやタンタル電解コンデンサ、フィルムコンデンサなどがある。電気容量と定格電圧を比較するとセラミックコンデンサは性能が高いことが分かる。これは、セラミックはその材料の組み合わせにより、色々な種類のものであり、セラミックの誘電率が極めて高いために小型化できることが理由に挙げられる。セラミックコンデンサのうち、今日では9割が積層型となっており、今後の積層セラミックコンデンサ (MLCC) の市場拡大が期待される。現在では2009年10月に村田製作所から1005サイズ (1.0 mm×0.5 mm)、10 μ Fの積層セラミックコンデンサが商品化されている。これは、同容量の従来の1608サイズ (1.6 mm×0.8 mm) のコンデンサに比べ体積が75%も削減され、まさに、小型大容量化されており、小型のコンデンサの需要が急速に高まっていることが分かる。

MLCCは誘電体層と内部電極層が交互に積み重ねられ、並列に接続された構造からなっている (図1)。先にも述べたように、電気容量を大きくするためには、誘電材料の誘電率の向上だけでなく、誘電体層の薄層化、多層化が必要となる。誘電体層にはチタン酸バリウム (BaTiO_3)、内部電極層にはニッケル (Ni) が主に利用されている。本研究では、このMLCCをモデルに積層型手づくりコンデンサの研究を行った。

図1 積層セラミックコンデンサの構造



(2) 積層型手づくりコンデンサ^{9,10)}

①材料

材料は身近にあるものを利用して作ろうと考えた。また、積層型にすることから、電極、誘電体ともに薄いものが良いと考えた。そこで、電極にはアルミホイル、誘電体にはラップを使用した。コンデンサの極板間は誘電体で満たされている。これは、誘電体があると極板間の絶縁がよくなり、耐電圧を高めることができるからである。よって、より電気容量の大きいコンデンサをつくるためには、より比誘電率が高い誘電体物質を使用する必要がある。誘電体として使用するラップの中にも、その原材料はポリエチレン、ポリメチルペンテン、ポリ塩化ビニリデンなどがある。以下にそれぞれの比較を表に示した。

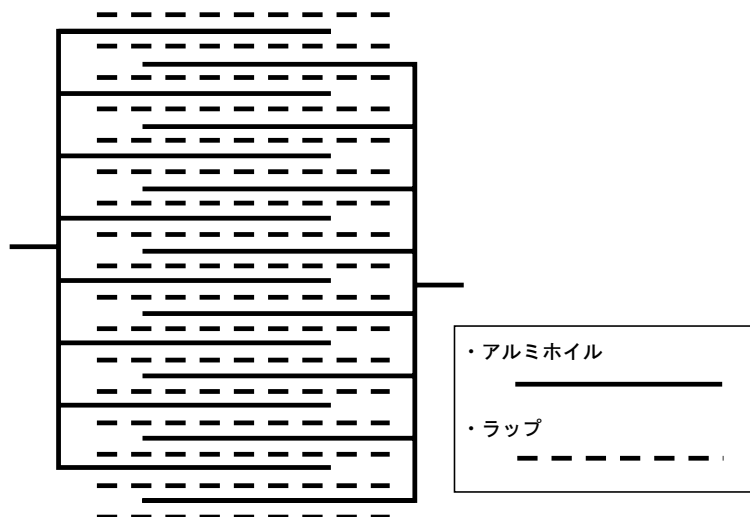
	PE	PMP	PVC	PVDC	PP+PE
比誘電率	2.3～2.4	2.1	2.8～3.6	3.5～5.0	2.2～2.6
厚さ[μm]	10	10	8	11	10

また、市販にはポリエチレン製のラップがより多く並べられていることから、本研究では、ポリエチレン製のラップを使用することとした。

②作り方

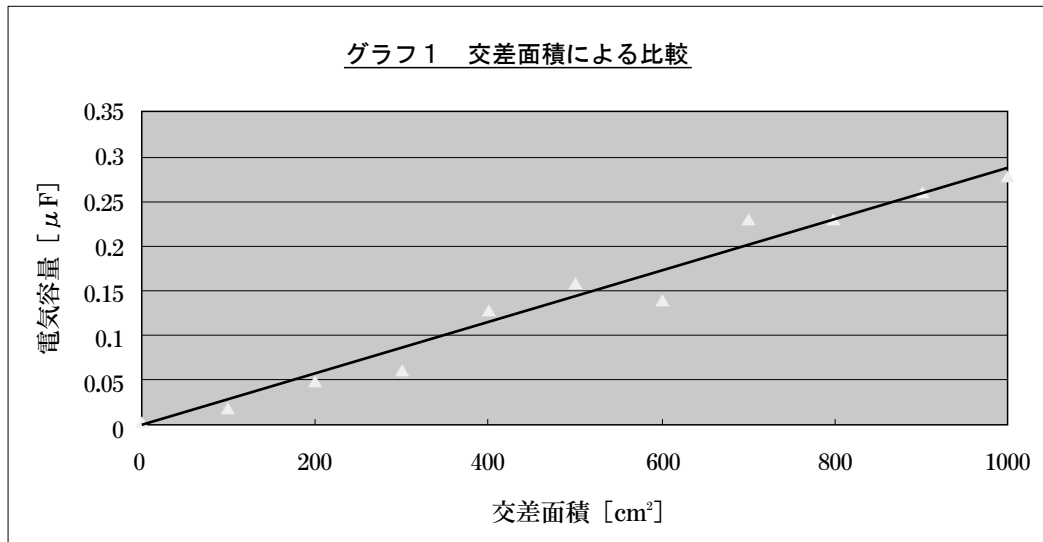
図2に示すとおり、アルミホイルとラップを交互に重ねて層にしていく。しかし、アルミホイルはそれぞれ極を持つので、異なる極となるアルミホイルが接触しないようにしなければならない。また、電気容量は極板間の厚さd[m]に反比例するので、アルミホイル、ラップがなるべく隙間を作らず、丸まらないようにした方が、電気容量が大きくなる。

図2 積層型手づくりコンデンサの構造

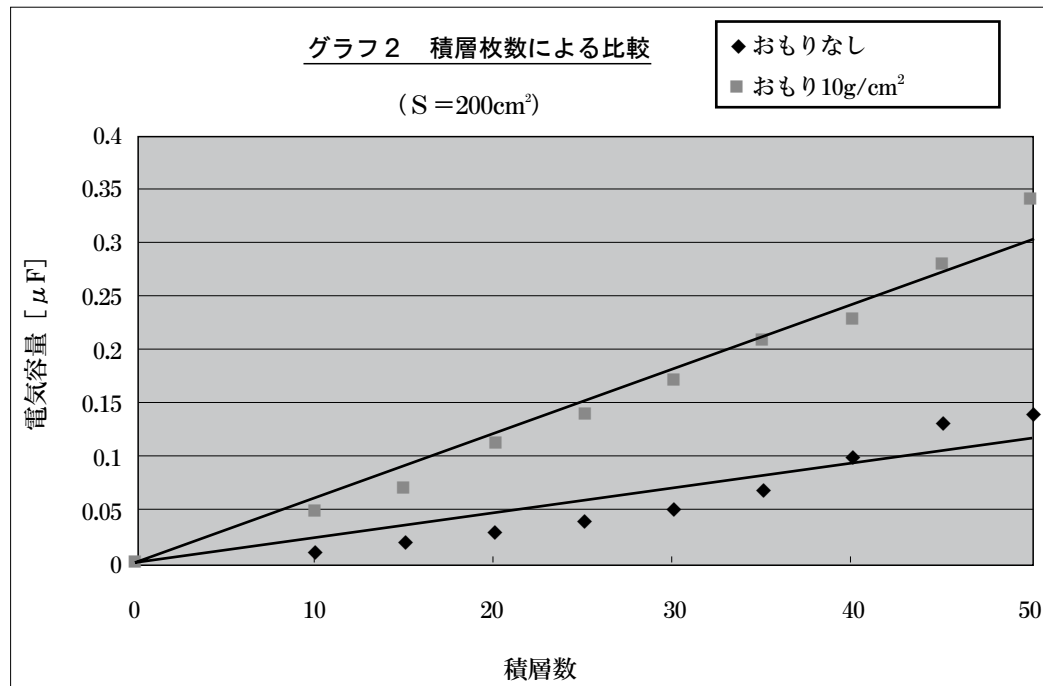


③結果

まず、面積による電気容量の比較である。積層数は10に固定し、交差面積を100 cm²から100 cm²ずつ変えて1000 cm²までの手づくりコンデンサを製作した。 $C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot S / d \cdot N$ より、電気容量は交差面積Sに比例する。グラフ1から分かるように、手づくりコンデンサでも電気容量は交差面積に比例して大きくなる。(積層数N=10 おもりの重さ10 g/cm²)

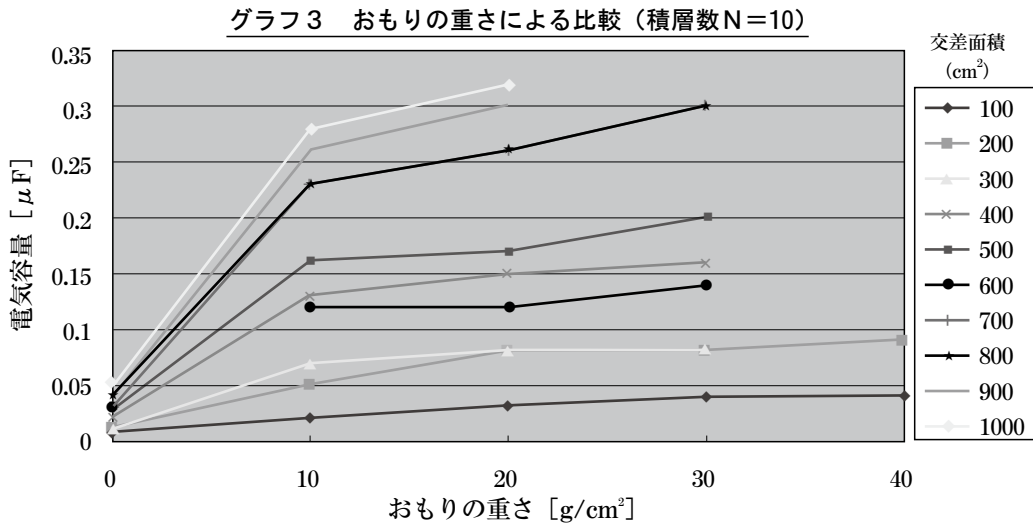


次に、積層数の変化による違いである。交差面積を一定にし (200 cm²)、積総数を5層ずつ増やしていった時の電気容量の変化を調べた。これについても、電気容量は積層数に比例して大きくなった。

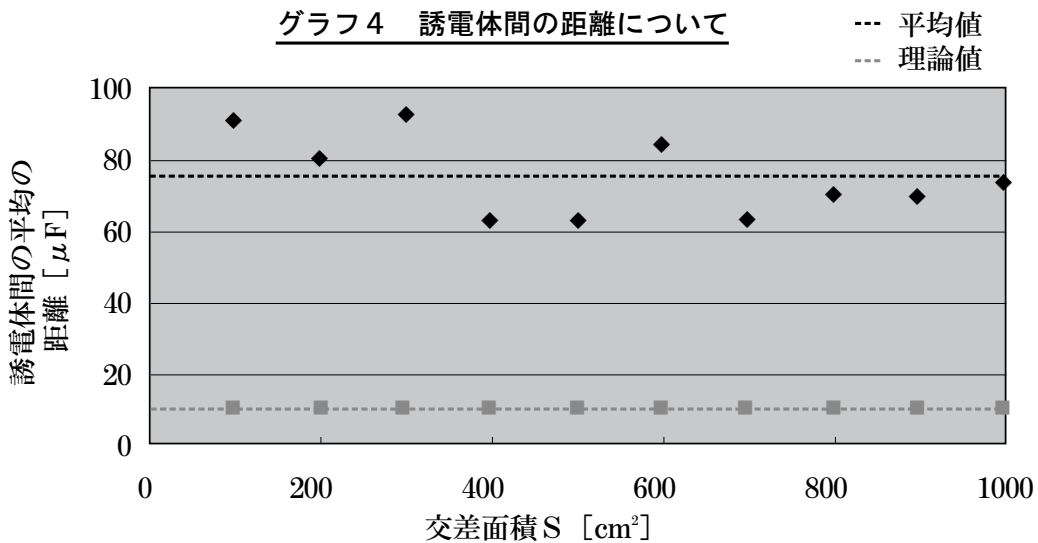


さらに、誘電体間の距離d[m]に反比例することから、誘電体間の距離を短くする必要がある。手づくりコンデンサの上におもりをのせることで、アルミホイルとラップをより密着させ、誘電体間の距離を短くした。グラフ2から、おもりをまったくのせない状態と10[g/cm²]のおもりをのせた場合での電気容量の差は大きいことが分かる。しかしグラフ3に示したように、10[g/cm²]以降、おもりの重さを増やしても、電気容量は少しずつしか増えず、だんだん変化が小さくなっていく。このことから、誘電体間の距離を短くするために、手づくりコンデンサの上

にある程度のおもりをのせた方がよいということが分かる。



これまで示した結果では、理論値との差が見られる。これは、アルミホイルとラップの隙間がどうしてもできてしまうことや均一におもりをのせることは難しいことが原因であると考えられる。理論値では、誘電体層の厚さを10[μm]としている。しかし、積層数10、おもりの重さ10[g/cm²]の時のそれぞれの面積の値から、誘電体層の平均の厚さを導き出すと、どの交差面積でも60[μm]以上の厚さが生じ、平均でも、75.4[μm]の厚さが生じる。



静電気の実験では、その場の湿度が大きく影響する。本研究でも、湿度を変えて実験を行ってみた。結果、本研究では湿度の影響はあまりないと言える。これは、湿度が高いと物体に静電気が帯電しにくくなるものの、コンデンサの静電容量は、変化しないからだと考える。

④考察

以上のことから、手づくりコンデンサでより大きな電気容量を得るためには、電極となるアルミホイルの交差面積を大きくし、積層数を増やし、コンデンサの上におもりをのせることで、誘電体間の距離を短くすることが必要である。また、市販のコンデンサに比べると、手づくりコンデンサの性能は極めて小さいが、コンデンサとしての性能は備えているので、教材として、利用することが可能であると考えられる。また、手づくりコンデンサでコンデンサの仕組みの複雑さに気づかせることで、身の回りに溢れている電子技術の素晴らしさに気づくことができる

のでないかと考える。

3. 教材化に向けて

この手づくりコンデンサはLEDを一瞬、点灯させることが可能であり、また、電子オルゴール（中村理工工業株式会社 電子メロディ）も一瞬ではあるが鳴らさせることができる。しかし、点灯が一瞬であることからより長くLEDを点灯させること、コンデンサづくりに、10層のものでも20分はかかり、構造が理解できないと作りづらいことから、より分かりやすく簡単につくることができるようにすること、新学習指導要領を踏まえ、他の学習との系統・関連を持たせることが必要であると考え。以上の課題について、さらに研究を行った。

① LED をより長く点灯させる^{11,12)}

LEDが一瞬しか点灯しない理由に、まず、電気量が小さいことが挙げられる。電気量 $Q[C]$ は、 $Q=CV$ で求められる。よって、電気量を大きくするには、電気容量 $C[F]$ と電圧 $V[V]$ を大きくすればよい。また、同じ材料で電気容量 C を大きくするには、交差面積（積層枚数）を大きくする。交差面積 $S=800\text{ cm}^2$ で、積層数 N を10層から100層にし、電圧は9V電池1個と9V電池2個を直列につないだもの点灯を比較した。

結果、積層枚数の多い方が強く光る。しかし、同じ積層枚数の中で電圧を変えてもあまり光に変化は見られない。

次に、回路の中に抵抗 $R[\Omega]$ を入れる。抵抗とコンデンサを含む回路（RC回路）で、コンデンサ放電時の電流 $I[A]$ と時間 $t[s]$ の関係は、

$$I = i_0 e^{-t/RC}$$

で表される。また、電荷 $q[C]$ と時間 $t[s]$ の関係も、

$$q = q_0 e^{-t/RC}$$

で表される。

$$\tau = RC$$

は、回路の時定数と呼ばれる。e は自然対数の底であるので、

$$e = 2.718\cdots$$

$e^{-t/RC}$ について、 $t = \tau$ の時、

$$e^{-t/RC} = e^{-1} = 1/2.718 = 0.37$$

つまりこれは、最初の時定数 τ の間に、電流は初期値 i_0 の37%まで、減少することを示しており、同様に、電荷についても、 $t = \tau$ の間に初期値 q_0 の37%まで減少する。回路に抵抗を入れ、電流 I と時間 t の関係を指数関数的にすることでLEDの点灯時間を長くすることができると考えられる。

〈理論値〉

$$\tau = RC$$

$$R = \tau / C$$

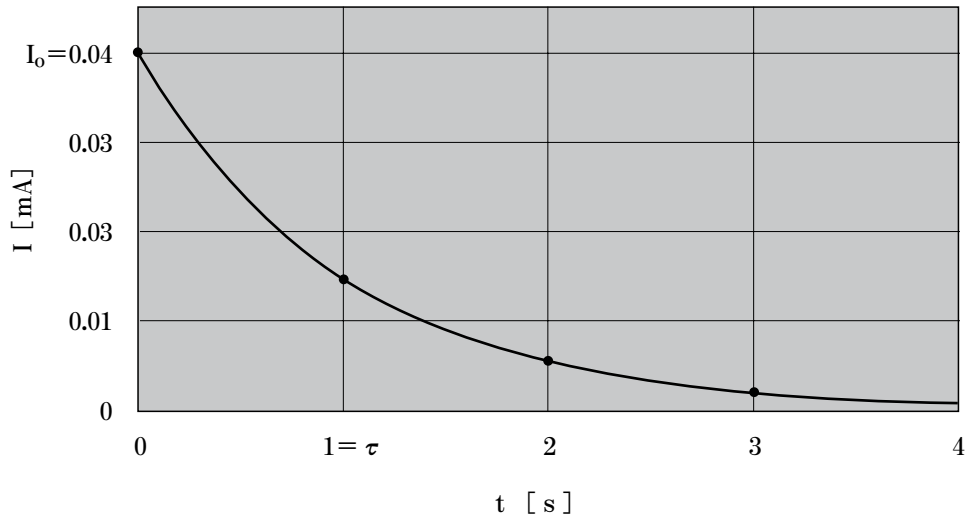
$C = 2.6[\mu F]$ の時、 $\tau = 1[s]$ とすると、

$$R = 1 / 0.61 \times 10^{-6} = 384[k\Omega]$$

電圧 $V_0 = 18[V]$ の時、 $I_0 = 0.04[mA]$

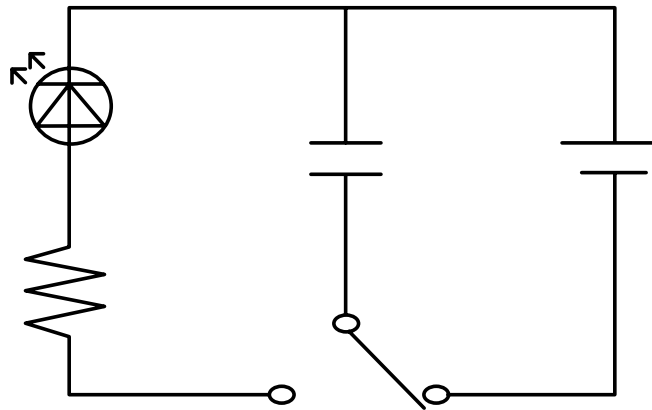
理論値をグラフで示す。

グラフ5 RC回路を流れる電流の時間的変化



回路は以下のように、つないだ。

図3



電気容量 $C = 2.6 [\mu F]$ のコンデンサに、 $390 [k \Omega]$ の抵抗 R を入れた時と、入れていない時の点灯時間を検証した。結果、抵抗を入れた方が、点灯時間が長くなった。しかし、LEDの明るさは暗くなった。抵抗を入れないときは、一瞬ではあるが、強く光る。このことから、点灯時間を長くするためには抵抗を入れたほうがよいことが分かる。子どもにとっての見やすさを考え、教材として利用する時にはその場で臨機応変に行うことが必要であると考える。

②簡単に作る方法の模索

ラップとアルミホイルを交互に重ねていくこと作業は、単純ではあるが、なかなか難しい。ラップがくっついてしまったり、丸まってしまったりする。また、電極であるアルミホイルの異なる電極が1箇所でも接してしまうと、コンデンサとして成り立たない。ラップよりもよい材料がないか模索した結果、ポリ袋がより適しているのではないかと考える。ポリ袋の原材料はポリエチレンであるため、比誘電率はラップと同様、2.3であり、厚さも変わらない。また、袋になっているので、異なる電極が接することをラップよりも妨げることができる。さらには、片付けにおいてラップは再利用が難しいが、ポリ袋ならば再利用が容易であり、コストもかからない。以上のことから、教材化において、材料にはアルミホイルとポリ袋を使用する方法がよいと考えられる。

誘電体にポリ袋を使い、手づくりコンデンサの製作を試みた結果、その電気容量は $0.038 [\mu F]$ で、同交差面積の誘電体がラップのものが $0.037 [\mu F]$ であり、同じ働きをすることが分かった。しかし、製作の過程で、時間を

かなり短縮でき、異なる電極が接しないようにすることも容易である。ゆえに、小学校での授業を想定し、誘電体にはポリ袋の利用が適していると考えられる。

③充電方法の模索

学習指導要領でも使用が薦められている手回し発電機を利用して充放電を行った。交差面積 $800[\text{cm}^2]$ 、積層数10、おもりの重さ $10[\text{g}/\text{cm}^2]$ のコンデンサを手回し発電機で充電し、LEDにつなぐ。しかし、なかなか点灯を確認することができなかった。この原因はコンデンサの電気容量が小さいため、手回し発電機でコンデンサに充電し、LEDに回路を変えるまでの間で、コンデンサにためられていた電気が手回し発電機に逆流する。よって、手回し発電機を使用する場合は二人で実験を行った方がよい。一人が手回し発電機を回し、もう一人が、回路の変更をすばやく行うことで逆流を防ぐことができ、手回し発電機でもLEDを点灯させることができる。

その他にも、光電池や塩ビ管を利用しても充電が可能である。新学習指導要領では、学習内容の系統・関連が重視されている。太陽電池や塩ビ管での充放電が可能であったことから、手づくりコンデンサを様々な場面で利用することが可能であると考えられる。

4. 総括

身の回りにあるものを利用して、コンデンサを作ることが可能である。このことから、手づくりコンデンサもものづくりの学習の一例に考えられる。手づくりコンデンサについて、改善の余地がまだあるように思う。まず、コンデンサの容量がまだ小さく、その働きも小さいということである。コストを抑えたままで、より容量の大きなコンデンサづくりへの改良が必要であると思う。次に、授業のどこにこの手づくりコンデンサを入れるかということである。より効果的な指導方法を模索していく必要があると考える。

参考文献

- (1) 吉田孝 編著 「小学校 新教育課程の解説と授業づくりのアイデア」学事出版 (2008)
- (2) 中教審答申「我が国の高等教育の将来像」3 中教審答申「幼稚園・小学校・中学校・高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」
- (4) 「小学校学習指導要領 理科編」文部科学省 (2008)
- (5) 齊藤晴男 兵藤申一 編 「高等学校 物理IB 改訂版」啓林館 (1997)
- (6) 一ノ瀬昇 山本孝 編著 「積層セラミックス技術のすべて」日刊工業新聞社 (2008)
- (7) 矢野経済研究所 「コンデンサ市場に関する調査結果2009」<http://www.yano.co.jp/press/pdf/554.pdf>
- (8) 株式会社 出雲村田製作所 HP <http://www.murata.co.jp/izumomurata/trend/performance.html>
- (9) 株式会社 旭化成ホームプロダクツ HP http://www.asahi-kasei.co.jp/saran/home/saran_h/saran_h.html
- (10) 「試薬・化学薬品総合カタログ 第23版」純正化学株式会社 (2007)
- (11) 石井千穎 監訳 「ライフサイエンス物理学」廣川書店 (1980)
- (12) D. ハリディ R. レスニック J. ウォーカー 原著者野崎光昭 監訳 「物理学の基礎3 電磁気学」培風館 (2002)
(2010. 2. 1 受理)