

小学校第6学年理科 単元「電気の利用」で用いる 教材開発のための基礎研究

－手作り平行板コンデンサの製作及び性能評価－

吉岡 真志*・内田由美子**・佐々木英樹***・重松 宏武

A Basic Study for the Development of Teaching Materials Used in the Unit "Use of Electricity"
in Science for the Sixth Graders of Elementary School :

The production and performance assessment of the handmade parallel-plate condenser

YOSHIOKA Masashi*, UCHITA Yumiko**, SASAKI Hideki***, SHIGEMATSU Hirotake

(Received August 8, 2011)

キーワード：平行板コンデンサ、新学習指導要領、教材開発、実践、エネルギー

はじめに

平成23年度より全面実施される学習指導要領において、新たに「電気の利用」の単元が小学校第6学年理科に追加された。この単元では、電気を蓄える蓄電器(コンデンサ)、発光ダイオード(LED)、手回し発電機など、様々な器具の活用が新たに提案されている。我々はこれらの中でも、児童にとって馴染みのあまり無い蓄電器(コンデンサ)、特にその基礎となる平行板コンデンサに着目し、これを用いた教材の開発・製作を行い、さらに物理量を定量的に検討することによって教材の性能評価を行った。本稿においては、これら教材開発のための基礎研究に関する成果を報告する。

1. 学習指導要領の改訂

小学校学習指導要領¹⁾(以下、「新学習指導要領」という)が平成20年に改訂された。この新学習指導要領は平成21年から移行措置として一部を既に先行実施されており、平成23年度より全面実施されたものである。今回の改訂における大きな変更の一つに第6学年に「電気の利用」が新たに追加されたことが挙げられる。この「電気の利用」について、新学習指導要領には次のように書かれている。

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。

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。

各項目に関しては、さらに具体的な説明がなされているが、特に注目すべきことは項目「ア」に示した電気を蓄えるものとして、「例えば、コンデンサなどの蓄電器が考えられる。」と示したことである。このことは中学校理科の学習では扱われず、高等学校「物理Ⅱ」でのみで扱われたコンデンサに関する学習内容が、電気の「生成・変換」に加えて「充電」という事象理解を行なうために小学校に新たに導入されたことを意味する²⁾。

* 奈良教育大学大学院教育学研究科 ** 山口大学大学院教育学研究科 *** 山口市立宮野中学校

2. 手作り平行板コンデンサ教材の製作

日常的に使われているコンデンサには数多くの種類が存在し、その中でもフィルムコンデンサ、積層フィルムコンデンサ、アルミ電解コンデンサなどがよく用いられている。しかし、今回の新学習指導要領で扱われるコンデンサは電気容量0.1F~1000F以上という多くの電気を蓄えることが出来るが、2.3~5.5V程度の低い定格電圧である電気二重層コンデンサが利用される。これは、手回し発電機を用いた充電時に負荷を体感するため、さらには充電した電気を電球やLEDに放電するときの利用時間（長時間利用可能）や適用電圧（乾電池数個分相当）を考慮したものと予想される。電気二重層コンデンサは、従来のコンデンサで用いられている固有物質の誘電体は無く、電池の様に充放電に化学反応を利用したものでもない。電気二重層コンデンサは活性炭と電解液の界面に発生する電気二重層を動作原理として利用したコンデンサのため、極性を有しており、近年、家庭でよく用いられている「充電電池」と同じ感覚で取り扱えるものである³⁾。なお、実際は電気二重層コンデンサと充電電池の特性には多くの違いが存在するが、その説明はここでは割愛する。

小学生においては複雑な原理・構造理解は困難であり、学習内容はよりシンプルでわかりやすいことが重要である。ゆえに、実際用いる電気二重層コンデンサの説明より、「コンデンサ」が何であるか、さらには何が出来るかを理解させることがより重要と考える。その着想から、電極と絶縁体のみから構成される「平行板コンデンサ」を活用した教材の開発・製作を行った。ちなみに、この平行板コンデンサは高等学校「物理Ⅱ」において学習する範囲のため、校種を跨いだ事前学習もしくは興味付けでの学習の基礎にもなることが期待される。

2-1 山大ラッコ(ラミネート 平行板コンデンサ)の製作

平行板コンデンサの製作に関しては、多くの教員等によって既に製作・公開されている⁴⁾。しかし、これらは極板(アルミニウム箔)および、絶縁体(OHPシート)の密着度やずれに注意しながらの複雑な作業を伴う実施であり、小学生には不向きである。そのため原理を容易に理解でき、簡単に取り扱いできるものとして電極(極板)と絶縁体をラミネートし、一体にすることを試みた(付録1参照)。これにより、①:密着度が増し、簡単にコンデンサに電気を蓄えることが出来るようになり、さらに、②:3枚(極板2枚、絶縁体1枚)構成から取り扱いが簡単な1枚構成となった。このラミネートという新しい発想により、「早い(製作時間)、安い(材料費)、わかりやすい(原理)」という小学生にも理解しやすい教材を作製することができた。ちなみに、この教材に親しみをもって活用して欲しいという意味を込めて『山大ラッコ』と命名した(図1)。(補足:正式名には『山口大学・ラミネート平行板コンデンサ』だが、“ラ”と2つ(two)の”コ”を選び出しラッコとした)

なお、山大ラッコの物理的特性を定量的に評価するために、異なった面積の極板により構成されるものを10種類作製した。作製した山大ラッコの面積及び外観をそれぞれ表1、図2に示す。



図1 山大ラッコの構造の概略図 (A:ラミネート、B:極板(アルミニウム箔)、C:絶縁体(OHPシート))

表1 製作した山大ラッコの面積

番号	縦 [m]	横 [m]	面積 [m ²]
1	0.070	0.070	0.00490
2	0.100	0.100	0.01000
3	0.120	0.120	0.01440
4	0.140	0.140	0.01960
5	0.160	0.160	0.02560
6	0.180	0.180	0.03240
7	0.250	0.200	0.05000
8	0.300	0.250	0.07500
9	0.400	0.250	0.10000
10	0.450	0.285	0.12825



図2 面積を変えて製作した山大ラッコ

一般に、平行板コンデンサの特性は電気容量 C [F]で特徴付けられ、これは、極板面積 S [m²]、極板間隔 d [m]、極板間に挟まれている物体の誘電率 ϵ_r [Fm⁻¹] (山大ラッコではOHPシート)を用いて、

$$C = \epsilon_r \frac{S}{d} \quad (1)$$

と表される。(1)式は山大ラッコにおいても成立すべき関係式であり、次節以下、山大ラッコの特性について検討した結果を述べる。ただし、本稿では電気容量が小さいことより単位として C [nF]と ϵ_r [nFm⁻¹]を採用した。

2-2 山大ラッコの特性①(電気容量の直接測定)

山大ラッコの場合、上節で述べたように(1)式における ϵ_r はOHPシートの誘電率である。さらに、本体をラミネートしていることにより密着度は高いと考えることができ、極板間隔 d は、OHPシートの厚さ(0.1mm=0.1×10⁻³m)に相当する。つまり、 ϵ_r/d を比例定数として、電気容量 C は極板面積 S に比例していることが分かる($C=(\epsilon_r/d)S$)。この関係の成立を確認すべく、それぞれの山大ラッコの電気容量をMETEX社製デジタルマルチメーターM-4660を用いて直接測定を行なった。電極面積 S と電気容量 C との関係を図3に示す。ここで最小二乗法によるフィッティングにより $C=214.09S$ という関係式を得た。

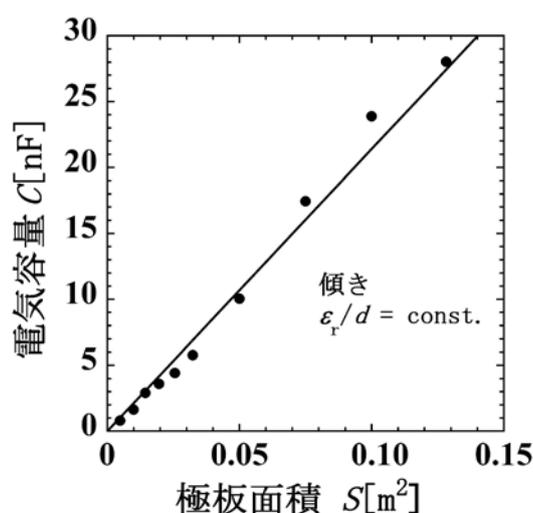


図3 極板面積 S と電気容量 C の関係

図3の結果から、電極面積 S と電気容量 C には比例関係が保たれていることがわかる。このことはおもりに使ったりして密着の度合いを気にしながら測定していた従来の教材に比べて非常に簡単で精度のよい教材ができたことを意味する。さらに、この精度を活用した定量的なコンデンサ学習への発展も期待される。な

お、電気容量とは極板に電荷をどのくらいためることができるのかということの数値化したものである。今回測定した中で一番面積の広い山大ラッコ番号10（表1参照）でさえ、その電気容量は約28nFと非常に小さい値であった。仮に10Fのものと同等の電気容量を得るためには、山大ラッコでは同様の条件で甲子園球場約1200個分という大きさの極板面積が必要になる（甲子園球場総面積約38,500m²）。小学校の教育現場では、このように身近な建物の面積と比較していかにコンデンサの性能が高いかを知ること興味付けの1つとして活用できるのではないだろうか。

2-3 山大ラッコの特性②(OHPシートの誘電率の計算)

図3で示した結果は極板面積に即した電気容量 C であり、その傾きは係数 ϵ_r/d に相当する。また、OHPシートはラミネートすることにより密着させており $d=0.1\times 10^{-3}\text{mm}$ と仮定できる。この仮定により(1)式と図3から得た値により求めたおのおの山大ラッコにおける誘電率を図4に示す。なお、グラフ上に図3のフィッティングより求めた $\epsilon_r (=0.021409\text{nFm}^{-1})$ を直線で示す。

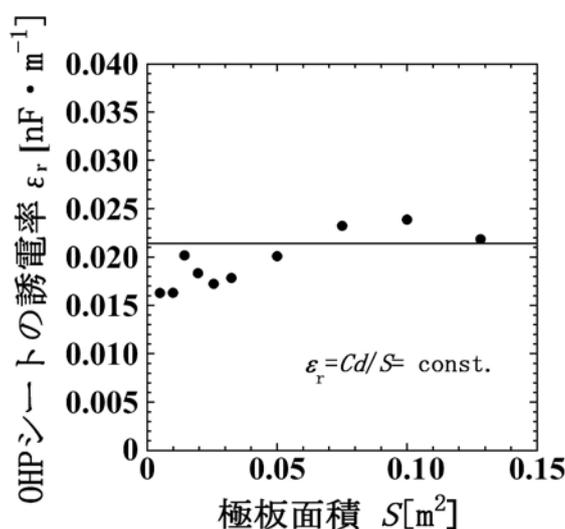


図4 極板面積 S とOHPシートの誘電率 ϵ_r の関係

求められた結果から誘電率 ϵ_r は $\pm 0.005119\text{nFm}^{-1}$ の誤差を持つ。この誤差はOHPシート自体の誘電率のばらつきではなく、多くの山大ラッコにおいて密着度のあまい部分が存在したことにより均一な d (極板間隔)として評価できないことが起因していると予想する。この点は電極であるアルミ箔の貼り方(表面の平らさ)やラミネートの仕方により密着度が増し、誤差がより小さくなるものと期待される。

以上により、(1)式を用いた電気容量 C と誘電率 ϵ_r の定量的評価から山大ラッコは平行板コンデンサの一般式を満たす物理量を示し、十分に蓄電をする教材として活用可能であるという結果を得た。

2-4 山大ラッコを用いた実験例

我々は小学校理科で活用する蓄電する教材の1つとして山大ラッコを提案した。本節ではその活用例として電池による充電、並びにLEDを用いた放電による実験例を示す。具体的には図5に示す回路により充放電を繰り返しコンデンサの特性の理解学習を行った。ここで、多くの電荷 Q (関係式 $Q=CV$: V はコンデンサにかかる電圧)を得るために充電に用いる乾電池は9V出力のものを採用した。また、最大面積の山大ラッコ(表1の10番)で、蓄電される電荷は計算から求められる予想量は $2.52\times 10^{-7}\text{C}$ であり、この量は少量のため回路に電気抵抗を組み込まなかった。

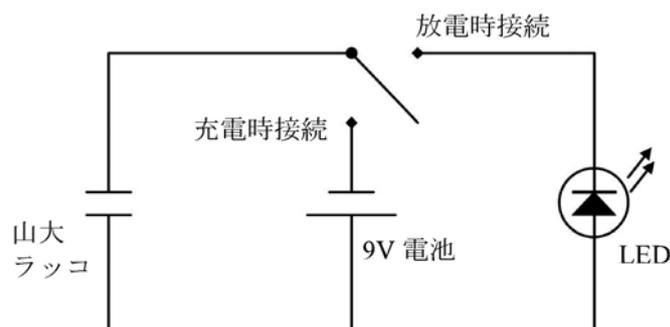


図5 山大理コのLED点灯実験の電気回路図
LEDはOPTOSUPPLY社製OSHR5111Aを採用

図5による実験結果として、満充電後の放電時にはLEDは1秒未満という短い点灯時間かつ照度も弱いものであった。この結果は蓄えられた電荷量（2-2節参照）を考えるとそれ相応の結果であるが、それより山大理コがきちんと充放電できるということが確認できたことを評価したい。つまり、コンデンサの特性を理解させるためには十分活用できる教材であることが証明された。

なお、9V電池の代わりに手回し発電機による充電も可能である。しかし、回転を止めた瞬間に手回し発電機に向かって放電を始めるために、回路の切り替えを短時間に行う必要が生じることから、取扱いが複雑になることを注意して欲しい。

3. 山大理コを活用した授業実践の導入例

山大理コを活用した小学校第6学年対象の授業実践の導入例を表2及び3に示す。児童たちが実感を伴った理解が深めることができるように、活動的な授業内容とした。本時案の主眼は、「手作り平行板コンデンサを作ることを通して、作り出した電気を蓄えることができることを理解する。」である。なお、単元構成表や本時案に関しては新教科書⁵⁾を参考にして作ったものであり、現場の子どもたちの状況によって変化することから、あくまでも一例として考えてほしい。現時点では、提案のみであるが、今後は実践することにより、さらに評価・改善していきたい。

表2 小学校第6学年理科「電気の利用」単元構成表

次	学習内容	主眼	指導上の留意点
1	電気を発電し、変換してみよう	手回し発電機を用いて発電しLEDを光らせたり、電子オルゴールを鳴らしたりできることを理解する。 電気エネルギーは様々なエネルギーに変換できることを理解する。	<ul style="list-style-type: none"> LEDには方向性があり、逆の方向ではLEDは光らないことを伝える。 手回し発電機のハンドルの回す向きによって、電流の流れる向きが変わることを説明する。
2 (本時)	電気を蓄えてみよう	手作り平行板コンデンサを作ることを通して、作り出した電気を蓄えることができることを理解する。	<ul style="list-style-type: none"> 手作り平行板コンデンサをつくることで電気を蓄えることを体験的にとらえることができるようにする。
3	電気と発熱	電熱線に電流を流し発熱する実験を通して、電熱線の発熱はその太さによって変わることを理解する。	<ul style="list-style-type: none"> 電熱線は太さのみを変え、長さを変えないなど、制御する条件を考えるようにする。 電熱線を直接手で触らないよう注意する。
4	実生活との関連	同電気量において豆電球やLEDの発光時間を比べることを通して、生活上では身近に電気の性質や働きを利用した様々な道具があることを知る。	<ul style="list-style-type: none"> 点灯時間の違いから消費電力の違いに気付かせるようにする。 実生活でLEDは様々な場面で使われていることを紹介する。

表3 本時案（授業の流れ）

学習内容・学習活動	指導上の留意点
1 コンデンサの説明	<ul style="list-style-type: none"> ・コンデンサはパソコンや家電製品などの中で利用されており、身近な場所に存在していることを説明する。 ・コンデンサには様々な種類があり、実生活上の用途に応じて使い分けられていることを説明する。
2 平行板コンデンサの説明	<ul style="list-style-type: none"> ・身近なものからもコンデンサが作れることを説明し、児童の意欲を高める。 ・平行板コンデンサは、アルミニウム箔に電気を蓄えることができることを説明する。
3 山大ラッコの作製	<ul style="list-style-type: none"> ・児童全員に山大ラッコの作り方を説明する。 ・手回し発電機を使い山大ラッコに電気を蓄えるには、手回し発電機を回しながらワニ口クリップを外さないと電流が逆流してしまうことを説明する。
4 LED点灯の実験	<ul style="list-style-type: none"> ・9V電池とLEDを直接つなぐと、過電圧でLEDが破損するので、直接つながないように注意する。 ・LEDは足の長い方を+極とつなげることを説明する。
5 まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・導線は直接アルミニウムに貼るように指示する。 ・コンデンサを使うと、電池や手回し発電機で発電した電気を蓄えて使うことができるということを説明する。

4. 現職教員への実践提案

本稿で紹介してきた山大ラッコは教師演示型教材ではなく児童一人一人の参加型教材を想定したものである。実際に教育現場でのカリキュラム上で活用でき、子どもたちに受け入れられる教材であるかどうかの検討のために現職教員対象の教員研修の1部として、山大ラッコの実践提案を行った。本章においては、この実践を通じて頂いた現職教員の声を元にさらなる改良に関する検討に関して述べる。具体的には表4で示す教員研修において実践を行った。これは、新学習指導要領の改訂に伴い、新しく学習内容に追加されることにより各地で行われている現職教員向けの研修会である。研修の様子を図6に示す。

表4 教員研修の概要

日時	平成22年8月12日（木） 13:30-16:30		
場所	出雲科学館(出雲市教育委員会)		
講義者	重松宏武	実験補助者	吉岡真志
題目	平行板コンデンサーの製作と実験 小学校理科6年生「電気の利用」		
参加者	小学校教員26名		
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・新単元「電気の利用」の概要 ・小学校、高等学校で扱われるコンデンサの概要 ・様々なコンデンサの紹介及び説明 ・山大ラッコの製作 ・手回し発電機の利用方法及び注意点 ・手回し発電機を使った発電による電気二重層コンデンサの充電時における負荷体験 		



図6 教員研修の様子

研修においては新学習指導要領に沿った様々な実践研修が行われたが、その1部として山大ラッコの作製及び実践提案を行った。研修後、以下の5項目についてアンケートを実施した。特に項目(3)と(5)は山大ラッコの実用評価として判断しうる情報のため、本稿ではこの内容に限定して紹介する(表5, 6及び図7, 8参照)。

- (1) 理科を教えることが得意か
- (2) 研修内容の理解度
- (3) 山大ラッコを実際に授業で実践したいか
- (4) 科学クラブ等のクラブ活動でも山大ラッコを使えるか
- (5) 小学生は山大ラッコに対して実感を伴った理解、興味関心を抱くか

表5 「山大ラッコを実際に授業で実践したいか」というアンケートの結果

項目	人数(人)	割合(%)
とても思う	7	27
まあまあ思う	14	54
どちらとも言えない	4	15
あまり思わない	0	0
全く思わない	0	0
無回答	1	4

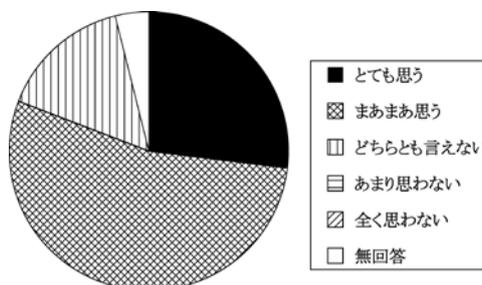


図7 表5の割合に関する円グラフ

表6 「小学生は山大ラッコに対して実感を伴った理解、興味関心を抱くか。」というアンケートの結果

項目	人数(人)	割合(%)
とても思う	1	4
まあまあ思う	12	46
どちらとも言えない	9	35
あまり思わない	1	4
全く思わない	0	0
無回答	3	11

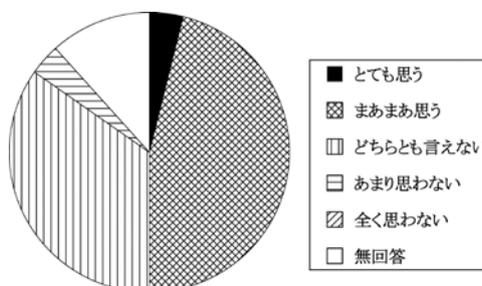


図8 表6の割合に関する円グラフ

これらのアンケートより、授業で実践したいと思った教員が約8割いたことは、山大ラッコの「早い(製作時間)、安い(材料費)、わかりやすい(原理)」という良さ、また、持ち運びなどの指導するときの利便性が実感出来たからだと推測する。しかし、一方で小学生が山大ラッコに対しての興味関心を抱くと思う

かという項目に対しては半数の教員が興味関心を持たないと回答している。これは、①：山大ラッコの大きさにしてはLEDの照度が思っているほどあまり大きくなかったことから、視覚に訴える教材と考えた場合、不適格であるから。②：作製者の技量により電荷がきちんと貯まる教材かどうかは左右され、成功を前提とした小学校の実験としては不向きであるという判断がなされたのではなかろうかと考える。これらの事は我々も反省すべき点であり、LEDの照度の性能向上（例えばより高輝度なOPTOSUPPLY社製OS5RAA5111P(75cd)を用いる）や製作の簡素化・再現性の向上に努めている。機会があれば、改良山大ラッコを用いた教員向け実践提案や児童対象の実験を行いたい。

おわりに

研究テーマであるコンデンサは小学校ではじめて導入され戸惑っている教員も多いと思われる。基礎原理を示した山大ラッコは児童の学習のみならず、教員向けの研修にも適しており、ぜひ活用して頂きたいと思う。また、今回の学習指導要領の改訂では、小学校にコンデンサが導入されたのにも関わらず、中学校では学習機会は無く、次は高等学校「物理Ⅱ」での学習となっている。小学校、中学校、高等学校と継続した学習（物理現象の定性的理解から定量的理解へ）をしていく上で、中学校理科におけるコンデンサの学習機会の設置を期待したい。そのときは、本稿で紹介した山大ラッコの特徴（体験的学習から定量的評価が可能）から全校種においてこの教材が実践に役立つことができれば幸いである。

謝辞

本研究を行うにあたり、出雲科学館での研修の世話役をしていただいた中山慎也教諭、同じく教員研修でアンケートに協力してくださいました教員の方々に深く感謝申し上げます。さらに、本論文で述べた活動の一部は（財）日本教育公務員弘済会（平成22-23年度）からの研究・事業助成により活動を行った。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 文部科学省：『小学校学習指導要領解説 理科編(平成20年8月)』，大日本図書株式会社，2008.
- 2) 重松宏武，内田由美子，吉岡真志，佐々木英樹，野村啓介，谷口将人，森山充，野々村佳代，高田慧，西山桂：「エネルギー生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発と実践－充電電池とコンデンサーの活用：手力ためる君とコンデンカー－」島根大学教育学部研究紀要，44，29-34，2010.
- 3) 佐々木英樹，重松宏武：「エネルギー変換の定量的理解に関する研究－中学校理科におけるコンデンサーを用いた授業のデザイナー－」山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要，31，59-70，2011.
- 4) 例えば、著者不詳：「コンデンサに関する実験教材の開発」平成18,19年度千葉県高等学校教科研究員研究報告書，理-1-1-理-1-12，2007. <http://www.chiba-c.ed.jp/shidou/k-kenkyu/h19.html>
- 5) 例えば、吉川弘之他：『わくわく理科6』，啓林館，130-145. 2010.

付録1 ラミネート平行板コンデンサ（山大ラッコ）の作り方

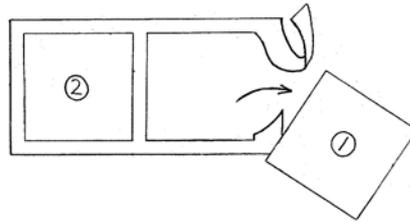
本稿で紹介した山大ラッコについて、材料及び作り方を紹介する。

1. 材料及び準備物

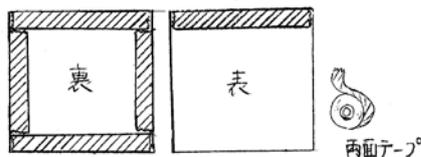
厚紙(0.4 mm厚)、両面テープ、アルミニウム箔、アルミテープ、OHPシート、9V電池、
カッターナイフ

2. 作り方

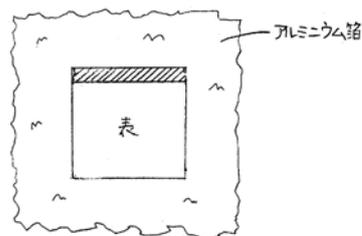
- ① 同じ面積になるように厚紙を2枚切る。例えば本文表1で示したものと同様なものを準備すれば良い。なお、以下に示す工程②～⑤は厚紙2枚両方に行う。



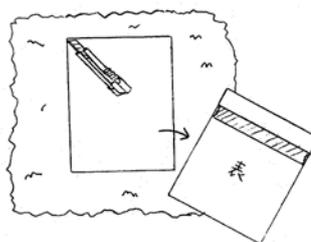
- ② 厚紙とアルミ箔の接着は両面テープを用いる。そのため工程①で切った厚紙の表面には1辺、裏面には4辺すべてに両面テープを貼る。



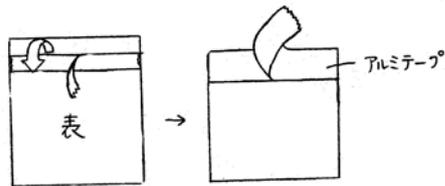
- ③ アルミニウム箔をしわができないように机に広げ、厚紙の裏面を接着する（4辺全て接着）。



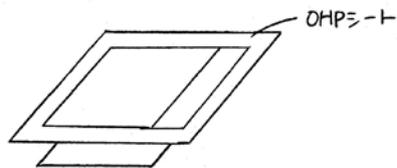
- ④ 表面に両面テープを付けた辺のアルミニウム箔だけ30 mm程度長めに残し、それ以外の辺のアルミニウム箔はすべてカッターナイフで切る。



- ⑤ 極板の完成：工程④で長めに残したアルミニウム箔を表面に折り返し、その上からアルミテープで補強する。これはミノムシクリップ付コードと配線するための補強です。



- ⑥ 平行板コンデンサの完成：出来上がった2枚の極板の間に各辺5mm程度面積を広くカットしたOHPシートを挟む。この時、電極間が短絡していないことを確認すること。



- ⑦ ラミネート平行板コンデンサ（山大ラッコ）の完成：できた平行板コンデンサのアルミテープ部分を露出させるようにラミネートする（アルミテープは電極として使用するため）。厚さがあるため、市販ラミネーターではなく、アイロンにより接着させても良い。

