

レゴブロックで作る！ プロペラ電気自動車

あいちこうぎょうだいがく きゃくいんぎょうじゅ
愛知工業大学 客員教授

こくりつとよたこうぎょうこうとうせんもんがっこうもところちよう
国立豊田工業高等専門学校元校長

なごやだいがく めいよきょうじゅ
名古屋大学 名誉教授

たかい よしあき
高井 吉明

1. はじめに

皆さんはレゴブロックを知っていますね。いろいろなブロックを組み合わせて、いろいろな物を作ることができます。このレゴブロックとモータを使って、プロペラを回して走る電気自動車を作ります。完成したら図1のようになります。

この電気自動車には、このプロペラを回すのに、皆さんの小指より細いとて小さなモータを使います。そして、このモータを回すのに普通は乾電池をつなぎますが、今回は乾電池をつなぎません。この電気自動車を進ませるには乾電池が少し重すぎるのです。

この工作では、図2に示すような電気二重層コンデン



図1 プロペラ電気自動車

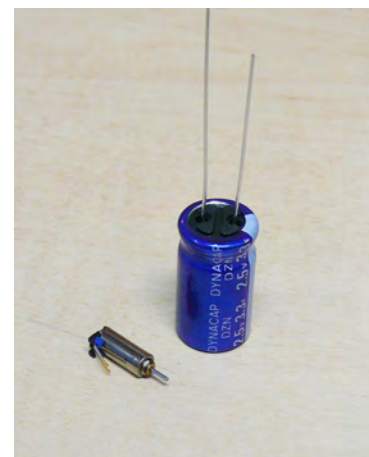


図2 モータと電気二重層コンデンサ

サ(スーパーキャパシタとかウルトラキャパシタと呼ばれています)という、軽くて、
小さく、しかもたくさんの電気をためることができる新しい部品を使います。

2. 準備するもの

材料

レゴブロック(直方体1個、立方体1個、ゴムタイヤ4個、タイヤホイール4個、
車軸2個)、単三乾電池2個、乾電池ボックス1個、モータ1個、電気二重層コンデン
サ(エルナー株式会社製DZN-2R5D335T 3F)1個、プロペラ1枚、保護用プロペラシー
ルド型紙1枚

道具

使う道具ははさみ、強力両面テープまたは両面テ
ープです。

3. 作り方

3-1. レゴブロックで車体を作ろう

直方体のブロックの端に立方体のブロックをはめ込み
ます。この立方体はモータの台になります(図3)。

次に、4本のタイヤホイールにゴムタイヤをかぶせます。

4本のタイヤを車軸にはめ込みます。図4のように2つの

車軸ブロックを直方体のブロックの前と後ろの端にはめ
込みます。

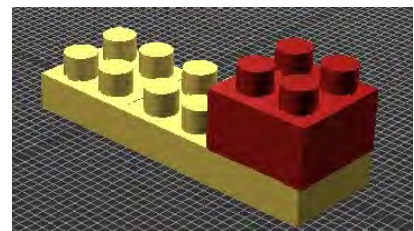


図3 レゴブロックで車体をつくりま

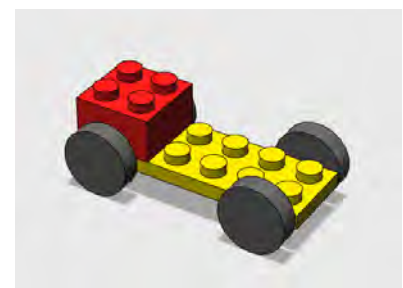


図4 タイヤをホイールにはめて車軸のレゴに差し込みます。最後にレゴの車体の前後に固定します。

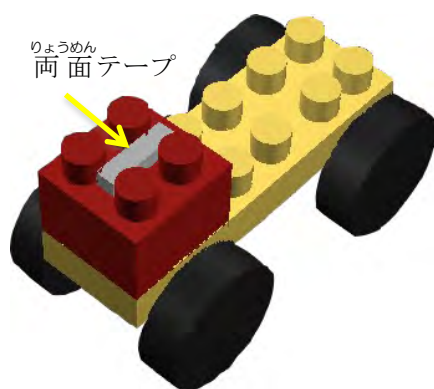
これで車体は完成です。

3-2. 自動車の組み立て

(1) モータの台

前に組み立てたモータの台に強力両面テープを貼り付けます。

その上にプロペラを刺したモータを、両面テープに貼り付けます(図5)。



(2) コンデンサの固定

コンデンサの底に両面テープを

2枚重ねて貼り付けます。それを車体に固定します。

図5 モータとコンデンサを固定

3-3. 保護用プロペラシールド

回転しているプロペラに触れると危険ですので、保護用シールドを作って固定します。まず、型紙をはさみで切り出します。両面テープで底の部分の端を固定して図6のような形のシールドを作ります。

次にそれをコンデンサの台の両側に両面テープ

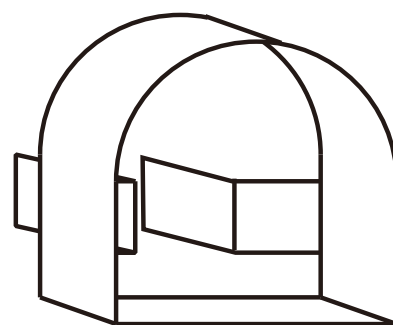


図6 保護用プロペラシールド

プで固定し、形を整えます。

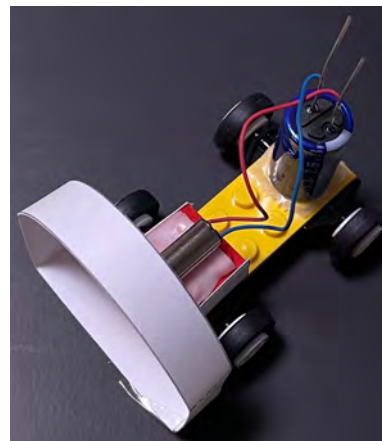


図7 シールド固定

4. さあ、走らせてみよう！

まず、プロペラの形を観察しましょう。プロペラの正面から見た時、その捻り方が後ろに風ができるような回転方向が時計回りか反時計回りか、どちらか確認しましょう。

プロペラ電気自動車を平らな机の上に置きます。最初に、乾電池ボックスに単三乾電池を入れます。そして乾電池ボックスのスイッチをオフにして乾電池ボックスのリード線を電気二重層コンデンサにつなぎます。この時、まず、赤いリード線が電気二重層コンデンサの長い足に、黒いリード線が電気二重層コンデンサの短い足と接触するようにします。つないだら、乾電池ボックスのスイッチをほんの一瞬だけオンにして、プロペラの回転方向を確認してください。風がプロペラの前にできるような回転方向であれば、リード線のつなぎ方を逆にします。

こうして、コンデンサへ電気を貯める（充電すると言います）極性（長い足にプラス？マイナス？）を決めたら、電気が貯まるまでプロペラ電気自動車の車体を動かさないように手で持ったまま、3つ程、数えましょう。その後、乾電池のリード線はずして、車体から手を離してみましょう。

プロペラ電気自動車が机の上を走り始めましたか？

プロペラの回転がゆっくりになり、止まってしまいましたか？

それはコンデンサの電気がなくなったためです。もう一度、乾電池のリード線をつないで、充電しましょう。1回充電するとどれくらい走るかな？

解説

モータと電気二重層コンデンサについて

モータというと、発電所や工場で音を立てて回っている大きなものや、模型自動車などのモータを想像しますが、モータ、マイクロモータと呼ばれるような直径数ミリという小さなモータもあります。小型にするため、色々な工夫がされています。

このような、超小型のモータは色々と身近なところで活躍しています。例えば、携帯電話です。携帯電話でマナーモードにしてあるとき、着信するとブルブル振動します。この携帯電話を振動させるのに、実は今回の工作で使ったモータが使われています。モータの軸に中心がずれたおもりをつけて回すとこのおもりが揺れるので携帯電話がぶるぶる振動するのです。

その他、マイクロモータはカメラのレンズを動かしたり、歯医者さんが歯を削るのに使う音が小さい改良されたドリルに組み込まれたりしている、小さな働き者です。

次に電気二重層コンデンサとはどんなものか説明します。一般にコンデンサあるいはキャパシタとも呼ばれるものは、電気を蓄える働きをするものです。電気を蓄えたコンデンサの電極間には電圧が発生します。同じように電圧が発生するものとしては電池があります。それらの違いを理解するために、まず、電池について考えてみましょう。

1791年にイタリアの医師であったルイージ・ガルバーニがガルバニ電池を発見しました。ガルバーニはカエル

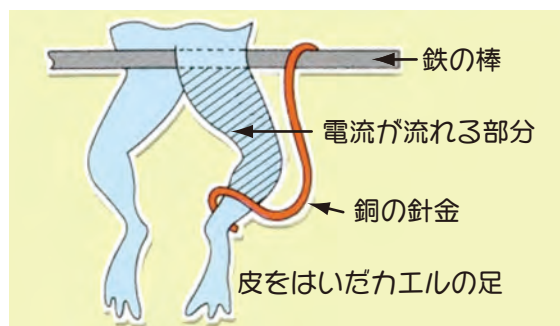


図8 カエルの足の実験

図9 ボルタの電堆



(いずれも情報処理推進機構の教育用画像素材集の図を一部修正)

の解剖をしていて2本のメスを入れたときにカエルの足がふるえるのを発見し、動物の中に電気が蓄えられると考えました。これは「動物電気説」と呼ばれています。

しかし、イタリアの科学者、アレッサンドロ・ボルタは、1800年に、ボルタの電池を発明し、ガルバーニの「動物電気説」は誤りであることを示しました。これは食塩水を染み込ませた厚紙を銅と亜鉛の間にはさんだものを何層にも重ねたもので、「ボルタの電堆」と呼ばれ、一定の時間、ずっと電気を発生させ、電球などつないだ回路に電流を流すことができるのです。

ボルタの電池の他にもダニエル電池や現代のマンガン乾電池につながる、ルクランシェ電池などいろいろな電池が発明されました。これらの実験から、片方の金属が食塩水などイオンを流す電解質に溶け出したとき、金属に残された電子によって電流が流れることが分かりました。このように、電池は金属が溶け出すという化学的な現象によって、ある時間、電流を流し続けることができるのです。

一方、オランダのライデン大学で発明されたライデン瓶は、電気を通さないガラス瓶の内側と外側に金属の薄い箔を貼りつけた形をしており、この二つの金属箔に電気を蓄えます。このため、蓄えた電気が無くなってしまえば、電流が流れなくなってしまいます。これが電池との大きな違いです。このような電気を蓄えるものをコンデンサあるいはキャパシタと呼びます。コンデンサには小さなセラミックコンデンサから比較的大きな電解コンデンサまで、いろいろな種類のものがあります。電気二重層コンデンサもそのようなコンデンサの一つですが、電池ではありません。そのため、小さくて、軽いのです。

特に、電気二重層コンデンサは同じ位の大きさの電解コンデンサの100万倍以上もたくさんの電気を蓄えることができる不思議なコンデンサです。その理由は、少し難しいので、この後にご説明いたします。おうちの方に読んで貰ってください。

先生や保護者の皆様に

1) 振動モータ

この工作で用いた振動モータは、実際には携帯電話のバイブレーション機能を実現するために用いられているものです。普通は、半円形のおもりをモータの軸につけて使いますが、ここでは、そのおもりは外してあります。このモータは直径 4mm と大変小さいのですが、我が国では、わずか 2mm の直径を持つ超小型精密モータも作られています。

このような超小型モータでは、大きなモータでは磁力線を束ねて通す役割をする鉄心を、回転する

回転子と固定された固定子に使いますが、小型、軽量にするため、固定した強力な円筒磁石の外側にそれを囲むように置かれた円筒形コイルを回転子として使い、鉄心を使いません。このような構造のモータはコアレスモータと呼ばれています。こうすることで小型で軽く、回転がスムーズになります。

なお、この振動モータは携帯電話などに組み込むことができるよう、小型に設計された直流モータで、つなぐ電池の極性を変えると回転が逆向きになります。

2) 電気二重層コンデンサ

コンデンサとかコンデンサと呼ばれる電気機器は、発電・送電に用いられる大型のものから、家電機器に用いられる小型のものまでありますが、その働きは電荷を蓄えることです。本文中では「電気」を蓄えるとか「電気」がなくなるという表現をしましたが、正確には、「電荷」を蓄える、「電荷」が消失するといえます。電荷とは、イオン、電子などが帯びている電気の量であり、単位はクーロン (C) で、電荷量とも言います。電子は負の電荷を持ち、 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ の電荷量を持っています。

このようなコンデンサは基本的には絶縁層を導体ではさんだ構造をしています。コンデンサに乾電池のような直流電源をつなぐと、陽極とつながった導体にはブラ

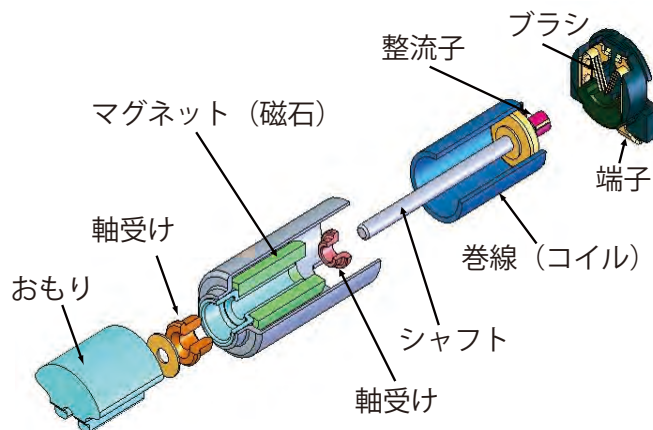


図 11 振動モータの構造固定された磁石の外側に回転するコイルが配置されている。
(ミネベア株式会社より提供されたイラストを一部修正)

ス電荷が、陰極につながった導体には同じ電荷量のマイナス電荷が蓄えられます。これら導体に蓄えられた電荷は、絶縁物を通ることができないので、乾電池を外しても理想的にはいつまでも保持されます。この状態では、コンデンサの導体間には、つないだ乾電池の電圧（正確には、起電力という）と同じ電圧が発生しています。

導体に蓄えられる電荷量 Q は次の式のように、コンデンサに加える電圧 V に比例します。

$$Q = CV$$

ここで C は比例係数ですが、これをコンデンサの静電容量と呼び、単位は F （ファラッド）で表します。静電容量は絶縁物の厚さ（両電極間の距離）に反比例しますので、絶縁物が薄いほど大きな静電容量となり、多くの電荷量を蓄えることができます。エレクトロニクスで使われる小型のコンデンサは $10^{-12}F$ （ pF ：ピコファラッド）程度のセラミックコンデンサから電源などに使われる $10^{-6}F$ （ μF ：マイクロファラッド）以上の電解コンデンサなどいろいろな種類のものがあります。

電気二重層コンデンサも電荷を蓄えるのですが、構造は少し違います。もともと、電解液（イオンを流す溶液）に導体を浸し、電圧をかけると電解液と導体の大変狭い（ nm ：ナノメートル程度）の界面において、電解液中のイオンと導体中の電荷が対向する形で整列する物理的現象（電気二重層）があり、これをコンデンサとして利用するものです。従って、図のように、正極、負極の両電極界面で電気二重層が発生するため、二つのコンデンサが電解液を介して直列につながっているようなものです。

電気二重層では正負電荷の距離が極めて小さく、そのため、大きな静電容量が得られます。しかし、一方で、両電極に加える電圧を大きくすると電解液の電気分解を引き起こしますので、水系電解液では $1V$ 、非水系電解液でも約 $3V$ 程度に制限され、普通のコンデンサのように大きな電圧を加えることができません。このような理由から、先端材料であるナノカーボンなどを使って電極導体の表面積を増やし、蓄える電荷量を大きくする試みが為されています。

一方、充電できる電池（二次電池）と比べると、充電回数は無制限で、何回充電

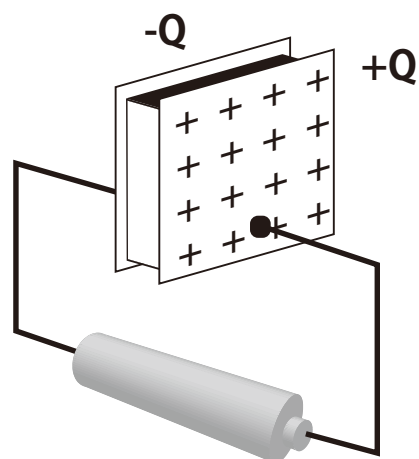


図 12 電池に繋がれた平行平板コンデンサのイメージ
図：絶縁物を挟んだ正極と負極にはそれぞれ $+Q$ 、 $-Q$ の電荷が帯電している。

して劣化しない、温度変化にも影響を受けにくい、小型、軽量という幾つかの特徴を持っています。このため、最近の電気自動車やハイブリッド自動車などでは、充電式電池の補助ブースター用として、あるいはコピー機の電源を入れた後の立ち上げ時間の短縮など、様々な応用が考えられています。

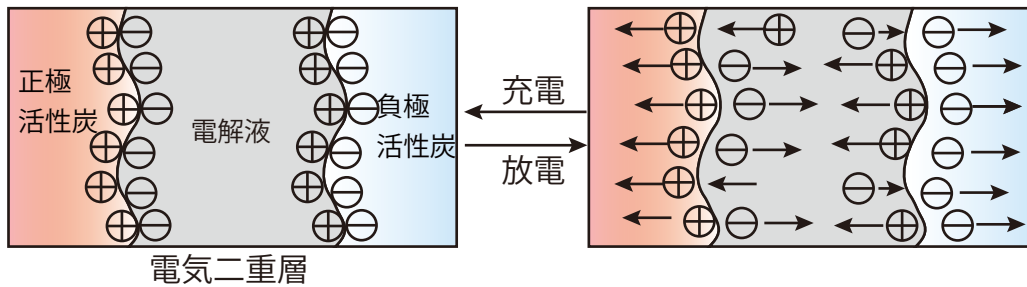


図 13 電気二重層コンデンサの正負電極付近で、反対極性の電荷が集まる（充電状態）、離れる（放電）様子。エルナー株式会社のHPより転載。
http://www.elna.co.jp/capacitor/double_layer/principle/index.html#anc02