

# 電気二重層キャパシタのための急速充電器の開発

岡野内 悟\*

## Development of the Quick Charger for an Electric Double Layer Capacitor

Satoru OKANOUCI

### Abstract

We are trying to use electric double layer capacitor as the robots' power supply, to do the robot contest with the condition that electric quantity is almost constant. Development of a quick charger for electric double layer capacitor becomes a necessity to charge some capacitors in a short time before every game of robot contest. The quick charger that we developed this time charges a capacitor from a power supply device, monitoring the voltage of a capacitor to do not exceed the rating voltage using the PIC microcontroller equipped with A/D transformation. Charging situation is displayed in LCD and charging is completed in about 20 seconds. Average of charging current is 10 [A] and a contest robot can be driven about one minute with one time charging.

Key words: Electric double layer capacitor, Quick charger, Robot contest, PIC microcontroller

### 1. はじめに

今日、理工系の創造性を養う教育の一つとしてロボットコンテスト（略してロボコン）が各地で行われるようになってきている<sup>1)</sup>。本校でも1996年（平成8年）から、ロボット同好会を中心に毎年5月に校内ロボコンを行っている<sup>2)</sup>。これらのロボットコンテストでの勝敗や成績を左右する要素の一つとして、使用電力量の違いが考えられる。通常のロボットコンテストでは、電池や電源装置などの電源とモータや駆動装置などの動力の種類や数および競技時間を規定し、結果として使用可能な電力量を制限してきた。しかしながら、各ロボットの電圧や電気量のバラツキをなくすことが困難なことや、電力を浪費するタイプのロボットが結果として有利となることなど、コンテストの方法について多少の疑問を感じている。

近年、電気二重層キャパシタと呼ばれる従来のキャパシタ（コンデンサともいう）とは違った、大容量の蓄電素子が注目されている<sup>3)</sup>。電気二重層キャパシタは電池と比較して蓄電できる電気量が少

なく高価であるが、構造が簡単で何回も繰り返し充放電が可能であり、半永久的に使える。また、内部抵抗が小さく充電時の制約も少ないため、既存の2次電池では不可能な急速充電も可能である。この特性に注目し、電池の代わりに電気二重層キャパシタを電力源としてロボコンロボットなどを動かし、使用電気量を同じにしてコンテストを行うことを考えている<sup>4)</sup>。

本研究室では、これまで手回し発電や振動発電などの電圧が変動する電源から電気二重層キャパシタを充電することを想定し、キャパシタの定格電圧以下の定電圧充電を行っていた<sup>5)</sup>。そのため、充電に要する時間が長くなるという欠点があった。今回は商用電源から安定に電力を供給できる電源装置を用い、キャパシタの充電電圧を監視しながら充電を行うことで、既存2次電池用の急速充電器の充電速度を超えた、電気二重層キャパシタ用の急速充電器の開発を行う。

### 2. 電気二重層キャパシタと開発の方針

急速充電器の開発にあたって、まず使用する電気二重層キャパシタの特性と安全に使うための方法について検討し、方針を決定した。

## 2.1 使用する電気二重層キャパシタ

今回使用する電気二重層キャパシタは、エルナー社のDZ2R50107で定格電圧は2.5[V]、静電容量は100[F]である。一般の電子回路に使用するキャパシタ(コンデンサ)と比較して定格電圧は低いが、静電容量が格段に大きい。キャパシタを直列に接続すれば合成の定格電圧は上がるが、静電容量は下がる。電気二重層キャパシタの外観を写真1に示す。

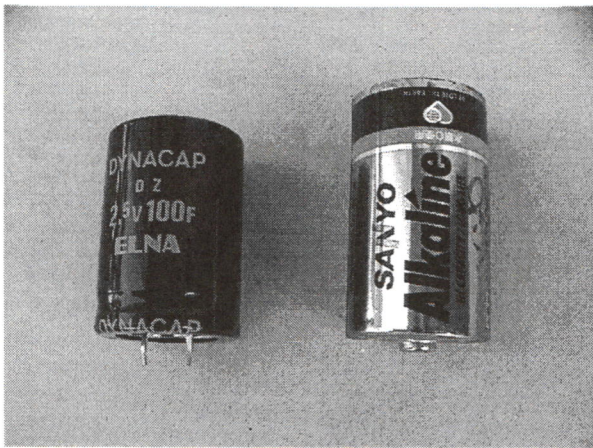


写真1 電気二重層キャパシタの外観

写真の左が電気二重層キャパシタ、右が大きさを比較するための単一型の乾電池である。直径や長さなどの寸法はほぼ同じであるが、重量は単一乾電池の半分以下である。この電気二重層キャパシタ1個を電源とし、田宮模型のギヤボックスを動かすことを想定する。これまでの実験で、キャパシタ電圧2.0[V]の状態から電圧が1.0[V]に低下するまでの1分間は、ギヤボックスを十分に動かせることが確認されている<sup>4)</sup>。校内ロボコンで使用しているニッケルカドミウム電池でギヤボックスを動かせる時間は40分程度であるから、電気二重層キャパシタで動かせる時間は格段に短い。しかしながら、1試合分の電気量としては問題ないと考えている。また、電気二重層キャパシタは内部抵抗が20[mΩ]と非常に小さいため、+極-極を短絡させると瞬間的に数十アンペアもの電流が流れ、非常に危険である。そのため、安全に扱えるような工夫が不可欠である。

## 2.2 電気二重層キャパシタ電源モジュール

電気二重層キャパシタを安全で扱いやすくするため、電気二重層キャパシタに次のような対策

を施し、電気二重層キャパシタ電源モジュールとして一つのパッケージにまとめる。

- ①電極部分を覆い、短絡を防止する
- ②充電時の+極-極の逆接続を防止する
- ③出力の最大電流を制限する
- ④残り電圧の目安を表示する

電気二重層キャパシタ電源モジュールの電子回路を図1に示す。

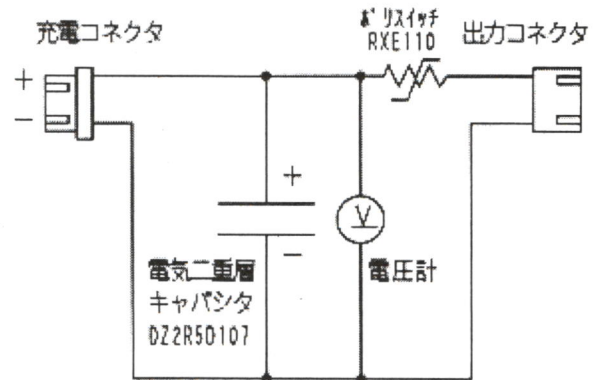


図1 電気二重層キャパシタ電源モジュールの電子回路

図の左側の充電コネクタから中央の電気二重層キャパシタに直接充電する。コネクタ形状を特殊なものにすることで+極-極の逆接続や短絡防止が行える。図の右側のコネクタがギヤボックスなどに電気を供給する出力コネクタである。出力で短絡が起きた場合の安全のため、途中にレイケム社のポリスイッチを入れ、最大電流を約2.2[A]に制限している。ポリスイッチは自動復帰可能な電流制限用の電子部品である。また、キャパシタに蓄えられている電気量の目安を表示するため、電圧計を取り付けている。製作した電気二重層キャパシタ電源モジュールの外観を写真2に示す。

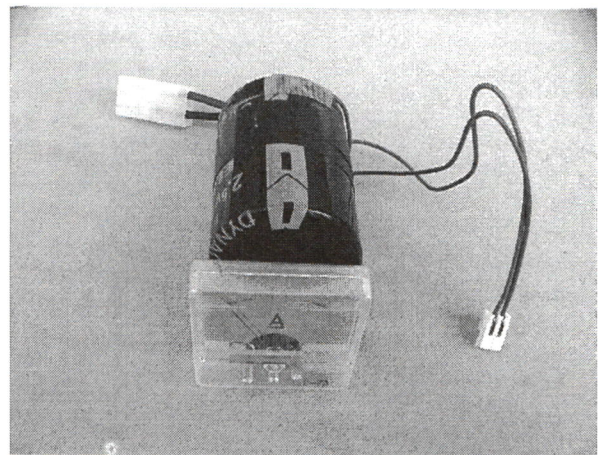


写真2 電気二重層キャパシタ電源モジュールの外観

写真の左側が充電コネクタ、右側が出力コネクタである。なお、ラジケータを電圧計として使用している。当然のことながら、短絡防止のため電極の金属部分は絶縁している。

2.3 開発の方針

本研究の目的は、安価で比較的入手が容易な部品を使って、短時間で安全に電気二重層キャパシタ電源モジュールを充電する装置を開発することである。そのため、次のような方針に従って設計を行う。

- ①手近にあった 5 [V] と 12 [V] を出力する電源装置を用いて充電する（公称電流 7 [A] と 1 [A]）
- ②充電の目標電圧は 2.0 [V] とする
- ③充電電圧を約 100 [ms] 毎に監視する
- ④充電電流は 20 [A] 以下とする
- ⑤充電の状況を表示し、操作を容易にする

安定に素早く充電するため、電圧 5.0 [V] の電源装置を使って充電する。電気二重層キャパシタの定格電圧が 2.5 [V] であるから、充電中にキャパシタの電圧が定格を超えないように充電の目標電圧を 2.0 [V] とした。充電目標電圧の約 2 倍の電圧を出力する電源装置を使って充電することで、高速充電が可能となる。ただし、充電中の電気二重層キャパシタの電圧が定格を常に超えないように 100 [ms] 毎に電圧を監視する。また、高速充電するためには電流は多い方がよいが、電流が大きすぎると電子部品が焼損する。使用する電子部品の耐電流から判断して、充電電流を 20 [A] 以下が適当と判断した。加えて、この装置を扱いやすくするため、液晶文字表示モジュール（LCD）に充電電圧などを表示したり、状況に応じて LED を点灯や点滅したりさせて使いやすくする。なお、充電の操作は、押しボタンを押すだけで、自動的に行えるようにする。

3. 急速充電器の製作

先の方針に基づき全体の構成について検討し、電子回路とプログラムの作成を行い、製作した。

3.1 急速充電器の電子回路

開発した急速充電器の電子回路を図 2 に示す。電気二重層キャパシタの充電電圧を監視し、充電電流を制御するには、A/D 変換を備え、プログラム可能なコントローラが必要である。今回はマイクロチップテクノロジー社のマイクロコントローラ（PIC マイコン）PIC16F877 を 20 [MHz] のセラロックで動作させて使用する<sup>6)7)</sup>。PIC マイコンのプログラムは、CCS 社の C 言語 PCW を使って作成す

る。PIC16F877 の A ポートを A/D 入力ポートとし、電気二重層キャパシタの電圧を AN0 から取り込む。また、B ポート全てを出力ポートとして液晶文字表示モジュール（LCD）を動かすために使用する。

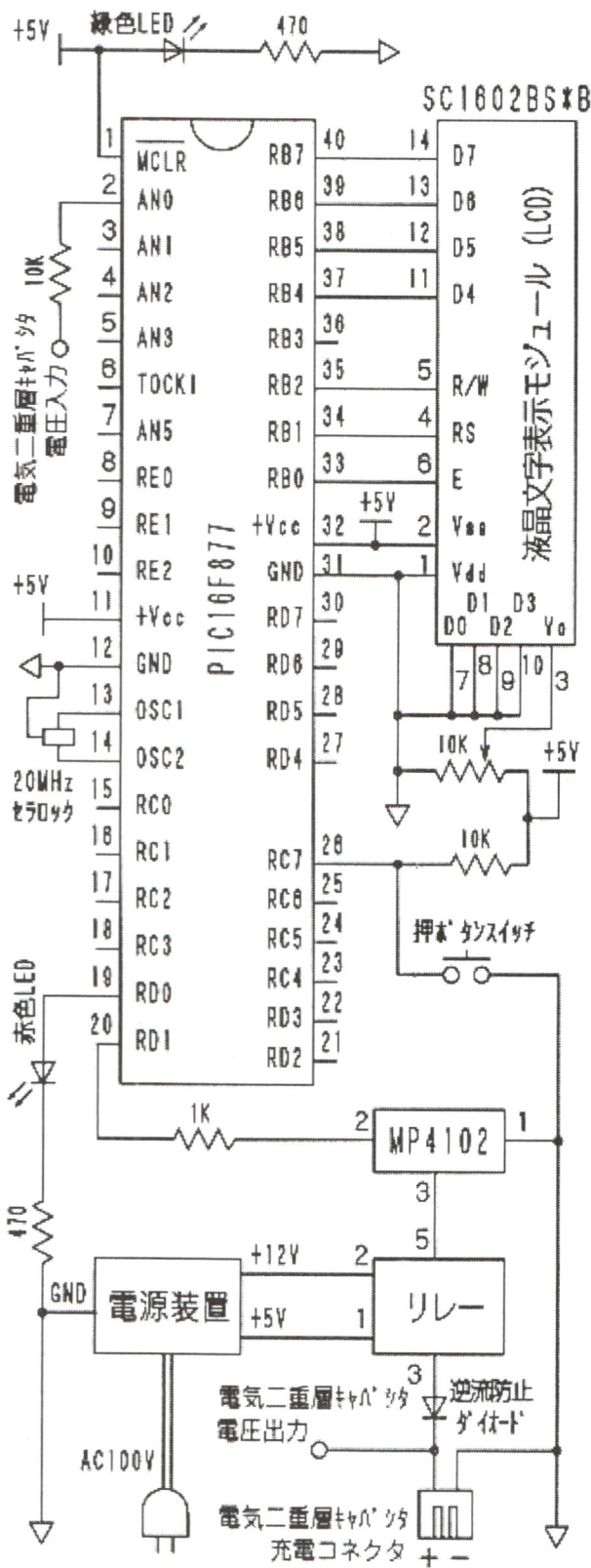


図 2 急速充電器の電子回路

液晶表示モジュールはSUNLIKE社のSC1602BS\*Bを用い、横16文字×上下2段に英数記号とカタカナを表示できる。液晶文字表示モジュールのコントラストは可変抵抗器のトリマを回転することで調整できる。また、PICマイコンに5[V]の電源電圧が供給されていれば、緑色のLED(発光ダイオード)が点灯する。充電をしている間はRDOポートのHighとLowを切り換え、赤色のLEDを点滅させる。充電は、PICマイコンのRD1ポートをHighにすることで東芝セミコンダクタ社のトランジスタモジュールMP4102を介してリレーをONし、電源装置GS-37Aから充電電流を供給する形で行われる。使用するリレーは、富士通コンポーネント社の車載電装用リレーFBR51ND12Wを用いる。このリレーは定格20[A]の大電流を12[V]の電源で制御する。リレー制御用の12[V]電源も電源装置から供給する。充電の開始と中断は押しボタンスイッチのON-OFF状態をRC7ポートから取り込みプログラムで判断して行う。なお、充電効率は多少低下するが、充電した電気二重層キャパシタから電源装置への逆流防止のため、ダイオードを介して充電する。

### 3. 2 製作した急速充電器

製作した急速充電器の本体を写真3に示す。

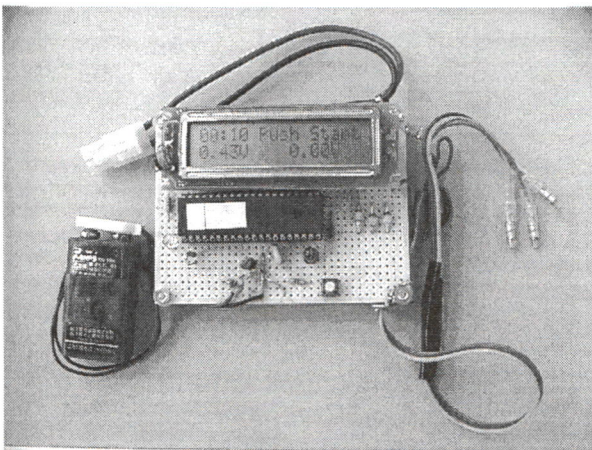


写真3 製作した急速充電器の本体

写真中央の基盤が電子回路図に従って作成した充電器の本体である。基盤中央部にある横長の黒いICがPIC16F877で、その上方が液晶文字表示モジュールである。制御用電源として写真左下の006P型のニッケルカドミウム電池7.2[V]を接続すると、液晶文字表示モジュールに現在の状態が表示される。リレーとトランジスタモジュールは液晶文字表示モジュールの裏側にある。また、基板上面にはLEDや押しボタンスイッチがある。電

気二重層キャパシタ電源モジュールは、上方から左へ伸びているケーブルの先のコネクタに接続する。ラジコン用の7.2[V]ニッケルカド電池パックのコネクタを使用しているが、電池パックのコネクタのオスとメスが逆になっているので誤って接続することはない。ボードの左へ伸びているケーブルは、電源装置に接続される。次に、急速充電器全体の構成を写真4に示す。

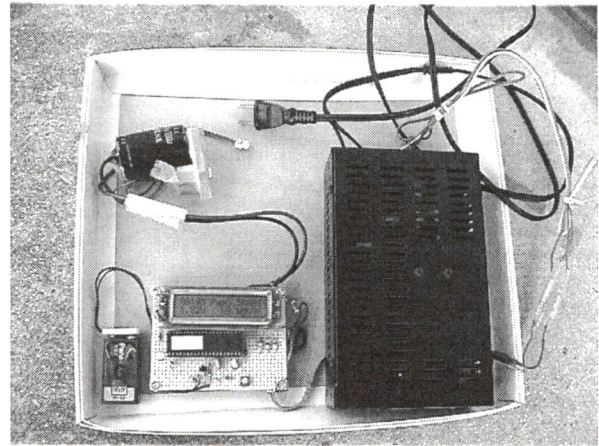


写真4 製作した急速充電器全体の構成

写真3の本体と制御用電源は、写真4の左下に位置する。本体基盤の右にある黒い箱が電源装置である。また、基盤の左上に電気二重層キャパシタモジュールが接続されている。

### 4. 使用手順と充電結果

この急速充電器の使用手順について説明し、実際に充電を行った結果について示す。

#### 4. 1 使用手順

開発した急速充電器の使用手順は次のとおりである。

①制御用電源(電圧5[V]から9[V])を接続する。  
 ---> 正常なら緑色LEDが点灯。液晶文字表示モジュールに現状を表示する。

[液晶文字表示モジュールの内容]

- ・充電した累積時間(上段の左)
- ・スイッチを押したときの動作(上段の右)
- ・現在の充電電圧(下段の左)
- ・0.5秒前と現在の電圧の変化(下段の右)

②電源装置と電気二重層キャパシタ電源モジュールをコネクタに接続する。

③押しボタンスイッチを押すと充電を開始する。  
 (既に充電が完了していれば、充電はしない)

---> 充電中は赤色LEDが点滅する。  
 充電電圧を監視しながら現状を液晶表示する。

充電電圧が 2.5 [V] になると充電を中止する。目標電圧より低いと、不足分を追加充電する。  
 ---> 充電が完了すると自動的に充電を止め、充電中を示す赤色 LED が消灯する。  
 ④充電が完了するまでは押しボタンスイッチを押す毎に、充電の中断と再開を繰り返す。

#### 4. 2 充電結果

製作した急速充電器の性能を確かめるために、実際に電気二重層キャパシタ電源モジュールを充電している間の充電電圧の変化を調べた。図 3 にその結果を示す。

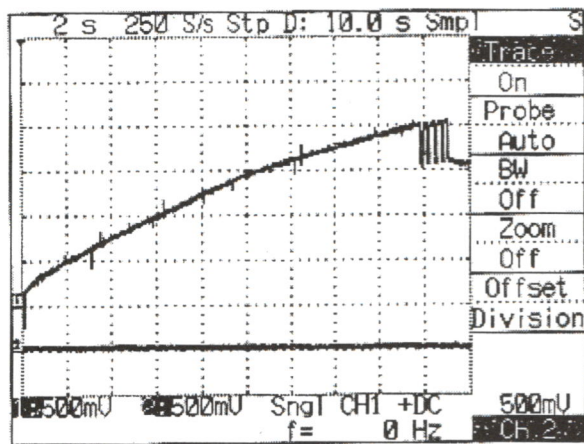


図 3 充電電圧の変化

横軸が充電時間で 1 目盛り 2 秒、縦軸が電圧で 1 目盛り 500 [mV] である。下から 1 目盛りの水平な線が GND の電圧で、その上の増加している曲線が充電電圧である。充電前は約 0.1 [V] であるが、5 [V] の電源装置に接続して充電が開始した瞬間、約 0.5 [V] 電圧が上昇し、充電が開始される。充電電圧は一次遅れ系に 5 [V] のステップ入力印加された形で電圧は推移するが、約 18 秒後に電気二重層キャパシタの定格電圧である 2.5 [V] に達し、一旦、充電を停止する。この時点で、充電されている電圧が目標とする充電電圧 2.0 [V] 以下ならば、定格を超えない範囲で追加充電を行う。その結果、充電開始から約 19 秒で充電が完了している。この間の電流は、次のようにして求められる。

充電時の電流を時間で積分すると電気量となり、電気量は静電容量と電圧の積という関係がある。この電気二重層キャパシタの静電容量は 100 [F] であるから、この曲線の傾きの 100 倍が電流の大きさを表している。よって、充電完了までの平均電流の値は、19 秒間に電圧が約 1.9 [V] 増加したと考えると  $100 [F] \times 1.9 [V] / 19 [\text{秒}] = 10 [A]$  となる。最大電流は曲線の傾きの最大値から計算して、約 20 [A] である。参考のためアナログの電

流計も接続し、実際の充電電流も測定しながらこの実験を行った。電流計の針は急速に跳ね上がり、およそ 13 [A] から徐々に減少し 9 [A] あたりで充電完了となった。この間、12.5 [A] あたりでの充電時間が長かった。電流計は早い変化についていけないことを考えると、計算値とほぼ一致していると考えられる。現在、ロボコンで使用しているニッケルカドミウム電池用の急速充電器の充電電流は 0.45 [A] である。市販されているニッケル水素電池用の急速充電器で充電電流の大きいものでも 1.5 [A] である。よって、今回開発した電気二重層キャパシタ急速充電器は通常の 2 次電池を充電する場合と比較して、10 倍近い急速充電を行っていることになる。

#### 5. おわりに

今回開発した急速充電器を使用すれば、電気二重層キャパシタ電源モジュールを約 20 秒で充電でき、この電源モジュールを使ってロボットを約 1 分間動かせる。短時間で充電できることから、電気二重層キャパシタ電源モジュールを 1 試合毎に試合前に充電して使用することで、使用電気量をほぼ同じにしてコンテストが行えると考えている。なお、現在の電気二重層キャパシタ電源モジュールは、電圧が 2.0 [V]、静電容量が 100 [F] と電力量が十分ではなく、用途が限定される。電気二重層キャパシタの構成法などを検討し、より高電圧で長時間利用できる電源モジュールの開発が望まれる。また、人の力で発電し、短時間で充電できる装置の開発も行いたい。

#### 参考文献

- 1) ロボコンマガジン、オーム社
- 2) 岡野内悟：ロボット同好会をとおしてのもの作り教育、高専教育、第 26 号、p459-464 (2003)
- 3) 岡村勉夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム第 2 版 (2001)、日刊工業新聞社
- 4) 豊饒光成、吉岡賛：電気二重層キャパシタを電源とする模型製作のための基礎研究、平成 14 年度卒業論文 (2002)
- 5) 砂田亮介：電気二重層キャパシタを用いた小型蓄電装置の試作、平成 13 年度卒業論文 (2001)
- 6) 小川晃：PIC ワンチップマイクロコントローラ応用編 (2000)、マイクロアプリケーションラボラトリー
- 7) 小川晃：PIC インタフェースハンドブック (2002)、マイクロアプリケーションラボラトリー

