

論文

電気2重層コンデンサを用いた小電力供給回路の開発

三上和正*¹⁾ 小林丈士*²⁾ 平塚尚一*²⁾

New power supply circuit developed by using electrical double-layer-capacitors

Kazumasa MIKAMI, Takeshi KOBAYASHI and Shoichi HIRATSUKA

Abstract We developed new power supply circuits using electrical double layer capacitors (EDLC). To achieve this, we devised parallel monitoring measurement system of electrical properties. Charging and emitting characteristics of EDLC were measured using this system. The characteristics were compared with conventional batteries and we confirmed that the internal resistance of the EDLC was relatively low. Based on these results, new power supply circuits using EDLC were designed and evaluated by applying them to an electric bicycle and a solar cell system. In this way, the transient properties of the motor were improved. This indicates that future work will significantly improve the life of the batteries.

Keywords Electrical double-layer-capacitors(EDLC), Battery, Electric bicycle

1. はじめに

近年、電動自転車やビデオカメラ等の電源には、鉛(Pb)電池、ニッケルカドミウム(Ni-Cd)電池やリチウムイオン(Li-ion)電池等の2次電池が、多く使用されている。しかし、これら電池の寿命は短く、かつ主原料に重金属を含んでいるため、その廃棄物が環境問題にとって過大な負担となっている。さらに、太陽電池や燃料電池等のクリーンなエネルギーの活用が実用期に入り、環境に優しい新しい電池が求められている。

このような背景から、小型電子機器の小電力供給用において従来の電池に代わるものの1つとして、電気2重層コンデンサの活用が注目されている。このコンデンサは、その原理が従来の化学反応を利用した電池と異なり、物理現象に基づいていることから、充放電による劣化がほとんど無く長寿命(10年以上)、大電流放電や低温時(マイナス10℃以下)の電気的特性も良好、材料に固体活性炭を用いていることから環境負荷が少ないこと等を特長としている。しかし、従来のバッテリーと同様に使用するためには、形状が大きくなることや充放電時に電子回路が必要になる等、まだまだ課題が残されている。

本研究では、電気2重層コンデンサ(以後、電気2重層C)の活用法を目的に、市販品の一部について、その電気的特性を把握し、小電力の供給回路を試作・適用したので、その概要について報告する。

*¹⁾ 電子技術グループ(現城南地域中小企業振興センター)*²⁾ 電子技術グループ

2. 実験方法

2.1 電気2重層コンデンサの特性

2.1.1 電気2重層コンデンサの原理と特徴

電気2重層Cは、電極の材料として炭素とアルミ箔を用いており、その電気2重層Cの原理モデルを図1に示す。

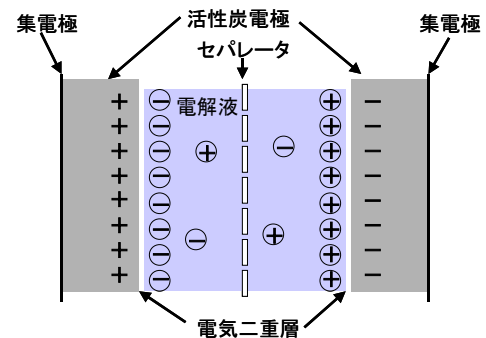


図1 電気2重層コンデンサのモデル

図1において両側から、集電極、活性炭電極、電解液、セパレータで構成されている。そして、セパレータは、ポリプロピレンやテフロン等が用いられており、電極間の距離が非常に短いため、電極が接触して短絡するのを防止する役目を果たしている。

また、電気2重層Cは固体(活性炭電極)と液体(電解液)のような異なる2つの相が接する面に電気が蓄えられるという「電気2重層」の現象を利用している。充電時は、電圧をかけると、それぞれの活性炭電極の表面にイオンが吸着され、プラス、マイナスの電気が蓄えら

れる。また、放電時は正負のイオンは電極から離れて中和状態に戻る。

一例として、幾つかの電気2重層Cの外観を図2及び図3に示す。



図2 電気2重層コンデンサ（下：単1乾電池）



図3 電気2重層コンデンサの例（各種）

電気2重層Cを電力供給源として活用する場合、その特徴を各種バッテリーと比較し表1に示す。特にサイクル寿命については、充放電の繰り返しによる電極への影響が無いいため、劣化が著しく少なく、数万～数十万回の使用が可能で、長寿命である。

表1 各種小電力源の比較

	電気2重層 コンデンサ	鉛蓄電池	ニッケル電池	リチウムイオン 電池
サイクル寿命	10万回以上	500回程度	300回程度	300回程度
使用温度範囲	-25~60℃	0~50℃	0~45℃	-20~50℃
充電時間	数秒	数時間	数時間	数時間
公害性	少ない	Pb使用	Cd使用	少ない
エネルギー密度	小	中	中	大
放電特性(電圧)	下がる	ほぼ一定	ほぼ一定	ほぼ一定

また電気的特性としては、低温時(-10℃以下)の容量劣化が少なく、他に大電流による充放電が可能なことや

メモリー効果がない等も特徴である。

大電流による充放電については、内部抵抗が極めて小さいことから過大電流による発熱が非常に少ないことで、特に短時間（瞬時を含む）による充電や放電が有利となる。実験では、この充放電特性のパラメータとなる内部抵抗値について、測定する。

このように、電気2重層Cは数々の特長を持っているが、現在は形状が大きく(10~30倍)、そしてまだ価格高になることが欠点となって、その普及拡大が遅れている。

2.1.2 特性測定システムの試作

2.1.1 記述の特性の他、電気2重層Cは、1セル当たりの端子電圧が低く、かつ過電圧の印加に対しての耐性が小さい。

電気的特性測定にあたり、コンデンサへの充放電時の蓄電量Qと静電容量C及び端子電圧Vとの関係は、

$$\text{①式 } Q = C \cdot V \text{ となる。}$$

また、充放電時の電流I、経過時間tとの関係は、

$$\text{②式 } Q = I \cdot t \text{ となる。}$$

端子電圧V及び静電容量Cは、式①と式②から求めることができ、電流を一定値とした充放電時に、端子電圧Vの変化は経過時間tに比例する。このことは、過充電状態になると端子電圧の上昇を招き、コンデンサの破壊に至ることもあることを示している。

従って、電気2重層Cを複数直列に接続して充電する場合、各素子間に過電圧防止回路（並列モニター）が必要となる。

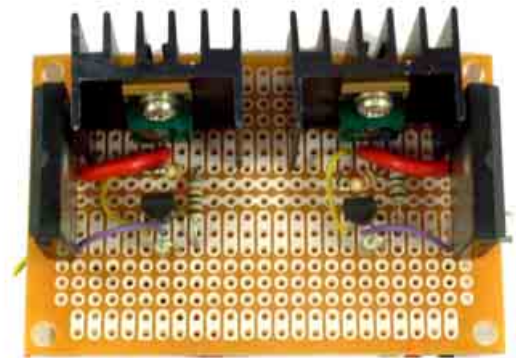


図4 並列モニター

本研究では、図4に示す並列モニターを複数作成し、それを用いて図5に示す特性測定システムを試作し、充放電特性等の電気的諸特性を測定する。

2.2 電気2重層コンデンサの活用法

2.2.1 電動自転車への応用

瞬時大電流放電特性の適用例として、10個の電気2重層C、バッテリー及び電子部品を用いた電流供給システム（図6参照）を考案し、モータ駆動制御装置を試作す

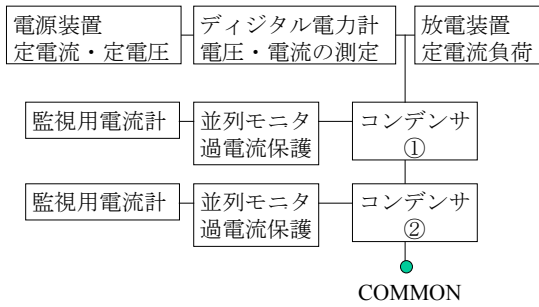


図5 特性測定システム

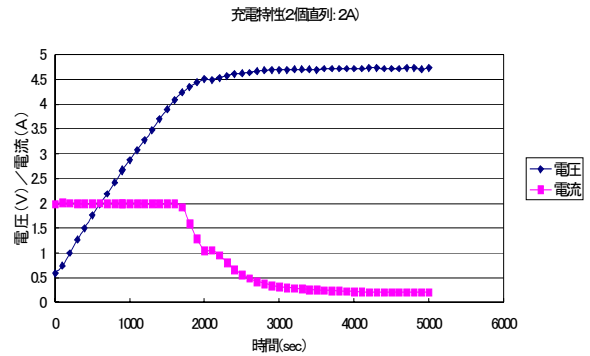


図7 充電特性

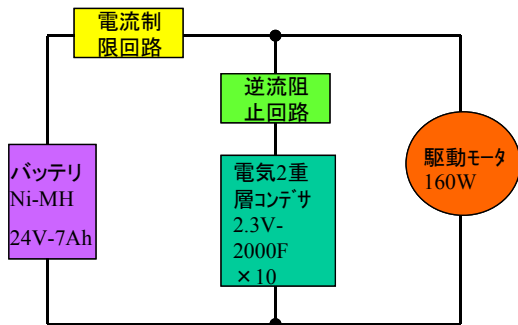


図6 電流供給システム

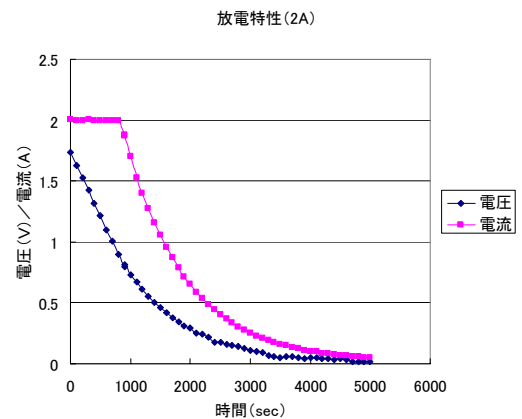


図8 放電特性

る。この装置を電動自転車に組み込み、電動自転車の始動特性等の改善を図る。

2.2.2 太陽電池を用いた小電力供給システム

電気2重層Cへの電力供給に太陽電池を用い、また放電時の端子電圧が蓄電量に比例して下がるため、これを補う電子回路(DC-DCコンバータを活用)を設計し、太陽電池を用いた小電力供給システムを試作する。

3. 結果

3.1 電气的特性

3.1.1 充電特性

図5の特性測定システムを試作して、電気2重層C(2.3V, 2000F, 2個直列)に充電電流2Aで充電した特性を図7に示す。図7より、端子電圧の上昇比2.0V/1000sを示しており、容量は1000Fとなる。また、端子電圧が4V程度までは2Aで充電されるが、それ以降は充電電流が減少する。

3.1.2 放電特性

図8に電気2重層C(2.3V, 2000F)の放電特性を示し、上記同様に放電電流2A時の端子電圧の降下比1.0V/1000sから容量は2000Fとなる。また、端子電圧が0.7V程度までは2Aで放電可能であるが、それ以降電流は減少する。

3.1.3 内部抵抗測定

以下の小型電力供給源について、各放電特性における

初期の降下電圧値と放電電流値から内部抵抗を求めたところ、次の結果が得られた。

- | | |
|--------------------------|-------|
| ①Ni-MH バッテリ (12V,1.6Ah) | 126mΩ |
| ②Ni-MH バッテリ (24V, 7Ah) | 177mΩ |
| ③鉛バッテリ (6V,4Ah) | 120mΩ |
| ④電気2重層C (2.3V,50F) M社製 | 70mΩ |
| ⑤電気2重層C (2.3V,120F) N社製 | 37mΩ |
| ⑥電気2重層C (2.3V,50F) S社製 | 67mΩ |
| ⑦電気2重層C (2.3V,2000F) M社製 | 2mΩ |

この結果より、電気2重層Cの内部抵抗値は、従来の小型電池に比較してきわめて小さいことが分かった。

3.2 電動自転車の駆動回路

図6のシステム概要に基づき、電動自転車用モータの電流供給回路(図9参照)を設計した。この回路は、バッテリーを主電源、キャパシタ(電気2重層C, 10個直列接続)を補助電源とし、モータMを駆動しており、電流制限回路にNTSC特性を有する電流サプレッサーを用いたことを特長とした。(特許出願³⁾)

図9において、バッテリーから電流制限(電流サプレッサー)を通して、モータMへ定常電流(約5A)を供給し、キャパシタから逆流阻止(ダイオード)を通して、モータ始動時の過大電流を供給した。また、バッテリーから充電回路を通して、常時、キャパシタへ充電する構成とした。そして、駆動制御装置(PWM制御)内のFET

を ON/OFF することによってモータの制御を行った。

本回路に於けるモータ始動時の電流分担特性を図 10 に示す。この特性は、横軸が時間 (ミリ秒)、縦軸が電流値 (A) を表し、モータの始動時に流れる過渡電流を、バッテリーより供給される電流と、キャパシタより供給される電流で示したもので、電流の分担供給の様子がわかる。

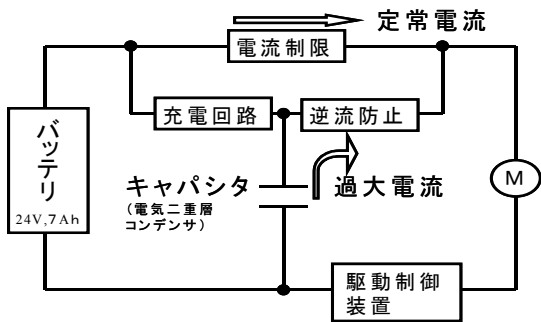


図 9 電流供給回路

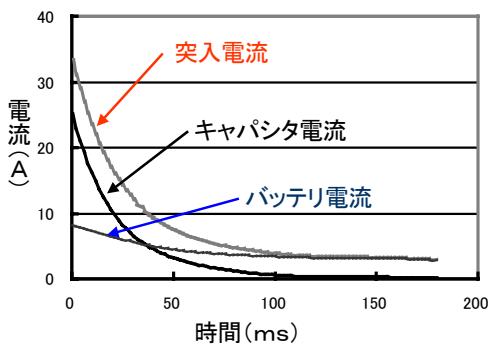


図 10 始動電流の分担特性

実際に本回路装置を搭載した電動自転車(図 11 参照)は、本装置をバッテリーの下部に取り付けデザインに配慮した。

3.3 太陽電池を用いた小電力供給システム

電力の供給源を太陽電池とし、蓄電池の機能を電気 2 重層 C に任せることで、小電力ではあるがメンテナンスフリーのシステム (図 12 参照) を開発した。

電動アシスト自転車



図 11 電流供給システムを搭載した電動自転車外観

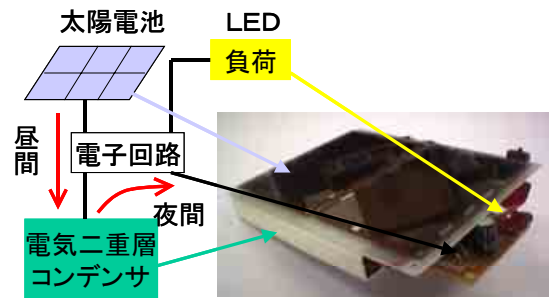


図 12 太陽電池による小電力供給システム

開発のシステムは、昼間に太陽電池からの発電力を電気 2 重層コンデンサに充電し、夜間に負荷 (LED の点灯) に放电させている。図中の電子回路は、充電時の逆放電を阻止し、放電時に DC-DC コンバータとして負荷に一定の電圧供給になるよう動作する。

4. まとめ

本研究は、小型電子機器用の電力源としてバッテリーに替わる「新しい電池」の一例となる電気 2 重層 C の特徴とその活用法を検討してきた。

特性測定システムの試作では、充電時に各素子の過電圧保護のため、試作の並列モニターにより、欠点となっていた耐電圧の低い電気 2 重層 C を実用電圧で使用することが可能となった。また、内部抵抗の測定結果より、電気 2 重層 C の方が従来のバッテリーに比べて非常に低い値となったことから、大電流の放出に有利であることが明確となった。

電動自転車への応用は、この利点を活用したもので、開発した始動電流供給回路により、モータ始動時の過渡電流だけを電気 2 重層 C から供給させることが出来た。このことは、バッテリーからの過大な電流を低減し、電極等の劣化を低減し、延命化が図れたことになる。

また、バッテリーの残量が減少したときにおいても、十分な過渡電流を供給できるため、スタート時のパワー不足を補えるなど、始動特性の改善が図れた。

今後は、開発した始動電流供給システムに電力回生機能等を付加し、より実用的な駆動装置の開発を目指す予定である。また、太陽電池を用いた小電力供給システムにおいても、非常口灯、交通案内灯および街路灯等への応用が期待される。

参考文献

- 1) 岡村迪夫:電気二重層キャパシタと蓄電システム, 日刊工業新聞社(1999).
- 2) 西野 敦, 直井勝彦:大容量キャパシタ技術と材料, シーエムシー(1998).
- 3) 三上和正, 小林丈士:特願 2003-116330