



Title	木炭蓄電器に用いる過電圧防止回路
Author(s)	福間, 眞澄; 福島, 志斗; 飯塚, 育生 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2019, 28(1), p. 26-34
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/76115">https://doi.org/10.18910/76115</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 木炭蓄電器に用いる過電圧防止回路

福間 眞澄<sup>1</sup>, 福島 志斗<sup>1</sup>, 飯塚 育生<sup>1</sup>, 高橋 信雄<sup>1</sup>, 吉野 勝美<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 松江工業高等専門学校 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4

<sup>2</sup> 島根県産業技術センター 〒690-0816 島根県松江市北陵町 1

## Overvoltage Prevention Circuit for Charcoal EDLC

Masumi FUKUMA<sup>1</sup>, Yukito FUKUSHIMA<sup>1</sup>, Ikuo IIZUKA<sup>1</sup>, Nobuo TAKAHASHI<sup>1</sup> and  
Katsumi YOSHINO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NIT, Matsue College of Technology

14-4 Nishi-ikuma-cho, Matsue, Shimane, Japan 690-8510

<sup>2</sup>Shimane Institute for Industrial Technology

1 Hokuryo-cho, Matsue, Shimane, 690-0816, Japan

An electric double layer capacitor (EDLC) is a capacitor that uses an electric double layer generated at the interface between an electrode and an electrolyte. The EDLC has lower energy density than secondary batteries, but has features such as rapid charge and discharge and reduced deterioration due to charge and discharge. The authors are developing a charcoal EDLC that uses activated carbon activated by charcoal and a water electrolyte. To increase the capacity, it is necessary to connect EDLC cells (cells) in series and parallel. In the case of series connection, if the shared voltage is not uniform, the electrolysis voltage of the water electrolyte (1.23 V) may be exceeded, and the cell may deteriorate. When cells are connected in series, an overvoltage prevention circuit is required so as not to exceed a predetermined shared voltage (1.0 V) even if the electrostatic capacity is different. It is reported the results of a prototype of an overvoltage prevention circuit for the charcoal EDLC.

キーワード：キャパシタ，木炭，水酸化カリウム，電気二重層，水の電気分解，過電圧防止回路

### 1. はじめに

電気二重層キャパシタ (EDLC) は、電極と電解液界面に生じる電気二重層を利用した蓄電器である。EDLC は、リチウムイオン二次電池と比較するとエネルギー密度は小さいが、急速充放電が可能であること、充放電による劣化が小さいなどの特長もある<sup>(1)</sup>。筆者らは、木炭をアルカリ賦活<sup>(5)</sup>した活性炭と水系電解液を材料にして、安価な蓄電器の開発を進めている<sup>(2)</sup>。

筆者らは、開発した EDLC を太陽電池と組み合わせ数年前から屋外照明や Wi-Fi 電源として利用してきた<sup>(3)</sup>。EDLC は化学反応を利用しないことから充放電による劣化はほとんどないと考えていた。しかし、試作した屋外照明において蓄電容

量が低下する EDLC があることがわかった<sup>(4)</sup>。

本論文では、その蓄電容量が低下する原因の調査とその対策として試作した保護回路（過電圧防止回路）の動作について報告する。

### 2. EDLC の劣化

#### 2.1 木炭 EDLC

EDLC に蓄えられるエネルギーは  $1/2 \cdot CV^2$  で表される。ここで、 $C$ ：静電容量、 $V$ ：印加電圧である。 $C$  を大きくするためには、電解液中のイオンをより高密度に電極表面に吸着する必要がある。このため EDLC の電極には、表面積が大きく、抵抗が小さいことが求められる。

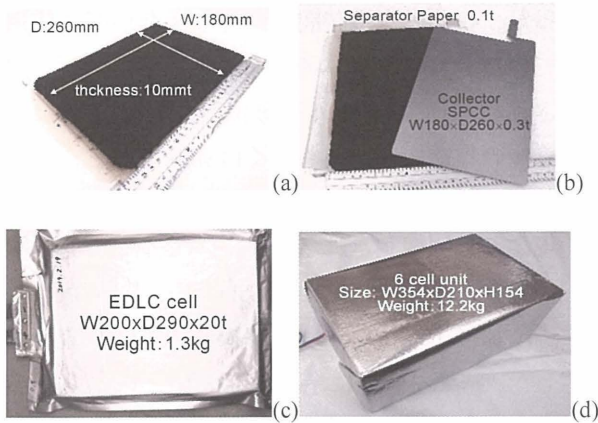


図1 木炭蓄電器の製作工程[(a)活性炭電極, (b)集電極, 活性炭電極, セパレータ, (c)EDLCセル, (d)EDLCユニット]

Fig.1 Charcoal EDLC assembly process [(a) Activated electrode (b)Collector, Activated Electrode, Separator (c)EDLC cell, (d)EDLC unit (6 Cell) ]

筆者らは市販の木炭（インドネシア産）を粉砕し、アルカリ賦活し、EDLC 電極に使用する活性炭を製作した<sup>(4,5)</sup>。アルカリ賦活の工程は以下の通りである。木炭を粒径 1mm 以下に粉砕し、水酸化カリウム（KOH）水溶液を含浸させた後、ガス置換炉にて、 $N_2$  雰囲気中、約 1000℃で、一定時間加熱した。炭化や賦活の条件（KOH 含浸量、 $N_2$  流量、温度、時間等）については、EDLC の C が最大となる条件で行っている。

EDLC は上記の方法で作製した活性炭、電解液（濃度 34%の KOH 水溶液）、集電極[鉄板（SPCC、厚さ：0.3 mm）]、セパレータ（日本高度紙 VL-100）、及びアルミガスバリア〔（A4 サイズ）容器〕から次のように組み立てている。図 1 は、B5 サイズの EDLC セルを作製する工程を示している。金型もしくはプラスチック型を利用して加圧成型により活性炭電極を作製する[図 1(a)]。その後、集電極となる鉄板を重ね全体をセパレータで包むことで、分極性電極を作製する[図 1(b)]。同じ工程で分極性電極を 2 枚作製し、対向させ、ガスバリアで包むことで EDLC セルを作製する[図 1(c)]。6 枚の EDLC セルを木箱に収納して EDLC ユニットを構成した[図 1(d)]。

## 2.2 木炭 EDLC を利用した屋外照明

試作した EDLC を利用した屋外照明は、LED 照明（アイエール電器、BH-DC12V-27LW、6W）、PV モジュール（YMT ENERGY、MSP60W12V、60W、600 mm×600 mm）、4 つの EDLC ユニット（6.0V、50～80Wh）、および制御回路で構成した<sup>(3)</sup>。

製作した屋外照明を図 2 に示す。照明の点灯時間は、PV モジュールの端子電圧を利用して制御し、PV モジュールの出力電圧が 4.8V を下回った場合に LED が点灯し、点灯後 10 時間または EDLC の電圧が 2.0V 以下になった場合に LED を消灯するように設定した。LED 照明は地上から 2.4m の位置にある。PV モジュールは、地面より 30° 傾けて設置できるように架台を設けた。

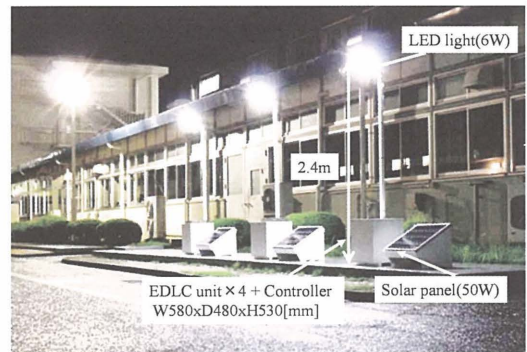


図2 木炭 EDLC を利用した LED 照明（2015 年 10 月）  
Fig.2 LED lighting using a charcoal EDLC (2015.10)

屋外照明の試験は、2015 年 9 月 8 日から松江工業高等専門学校内（島根県松江市西生馬町）の敷地に設置して開始した。設置した照明の動作は、PV モジュールの出力電圧と EDLC の端子電圧、照明灯への供給電圧をデータロガー（GRAPHTEC、GL100+GS-4VT）により 10 秒間隔で測定することで確認をした。2015 年 10 月 4 日（晴時々曇）に測定した結果を図 3 に示す。設置した屋外照明は、日射量の少ない日の出から 3 時間 30 分程度で満充電に達し、日没後に照明を 10 時間点灯することが確認できた。実証試験前に EDLC の蓄電容量を計測した際、4 つのユニットの EDLC が有する蓄電容量は 55.1Wh であり、6W の LED 照明で 9 時間程度の点灯にとどまるはずである。しかし、実際には定格 6W の LED 照明の消費電力を計測すると 3.7W 程度であった。

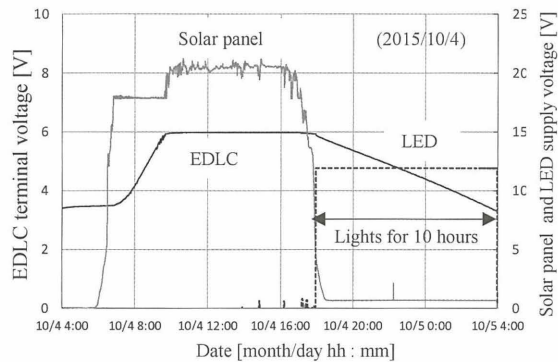


図3 設置直後のLED照明動作状態 (2015年10月4日)  
Fig.3 Operation status in immediately after installation (2015/10/4)

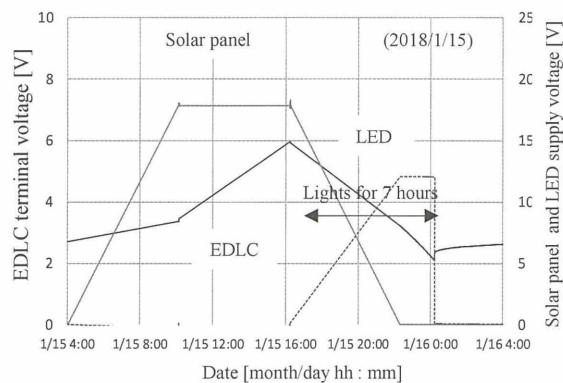


図4 設置から2年4ヶ月経過後のLED照明動作状態 (2018年1月15日)  
Fig.4 Operation status of after long time operation (2018/1/15)

2015年に屋外照明を設置してから2年4ヵ月間、毎日充放電を繰り返して使用した際の屋外照明の動作を確認した。以前と同様に各部の電圧をデータロガーにより計測して動作の確認を行った。計測は、2018年1月15日(曇時々晴)に行った。結果を図4に示す。長期の動作をし続けた屋外照明は、日照の影響により充電に時間を要しているものの夜間には7時間の点灯となっていた。設置当初は10時間の点灯が確認できたが、2年4ヶ月後には点灯時間は7時間に減少した。

### 2.3 EDLCの劣化要因

設置した屋外照明に利用したEDLCの劣化要因についていくつかの調査を行った。同様の劣化現象が発生したEDLCの解体調査および再現実験を

行った。夜間の点灯時間の短くなった照明に使用していたEDLCを解体調査すると以下の状態が観測された。①EDLCセルの破損、②電解液の漏れ、③陰極の集電極の黒錆もしくは赤錆である。

これらの現象は、EDLCセルへの過電圧印加時の現象として観測される。EDLCセルへの充電電圧(印加電圧)を0.9Vから0.1Vずつ上昇させて、電圧印加後10分から40分経過時の充電電流を測定した。結果を図5に示す。印加電圧が1.1Vを超えると充電電流は急増している。1.7Vで8時間充電後、充放電特性から静電容量と内部抵抗を測定すると、過電圧印加前に0.121Ωであった内部抵抗が0.172Ωに増加していることがわかった。静電容量については、充放電波形から大きな変化は観測されていない(蓄電容量としては減少している)。また、解体して調査したところ図6のように陰極集電極の内側が黒色(黒錆)に変化していることを確認した。

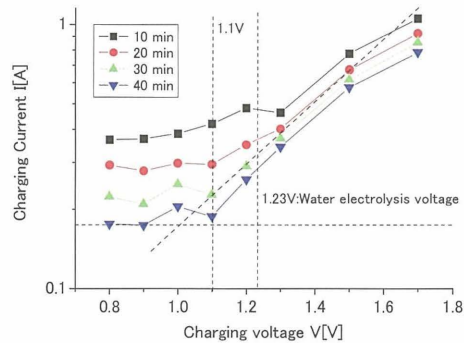


図5 充電電圧(過電圧)に対する充電電流の時間変化  
Fig.5 Charging current under charging voltage (over voltage) with charging time as parameters

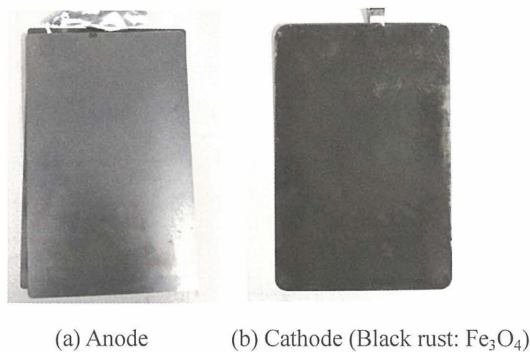


図6 過電圧印加による集電極(内面)の変化  
Fig.6 Collector electrode (inside) after overvoltage application (SPCC, B5-size, Charging voltage: 1.7V, Charging time: 8 hour)



これらの結果から、EDLC の劣化現象として、EDLC の直列接続時の分担電圧の不揃い<sup>(6)</sup>が関係する EDLC セルへの過電圧の印加による電解液の電気分解が考えられた<sup>(7)</sup>。強アルカリ水溶液中での鉄の腐食現象についても調査結果が報告されている<sup>(8)</sup>。KOH 水溶液中に鉄板 (Fe) を電極として挿入し、電圧を印加すると  $K^+$  と  $OH^-$  がそれぞれ対向する電極に移動し、電極表面に電気二重層を形成する。ここで、電気分解電圧 (1.23V) を超える電圧が印加されると、陰極では水素イオン  $H^+$  が発生すると考えられる。Fe と  $H^+$  では、Fe のイオン化傾向が高い<sup>(5)</sup>ため Fe が電解液中に溶け出し、Fe の腐食が起こる。陽極では  $O^+$  が発生すると考えられるが、 $OH^-$  の存在により Fe の酸化は起こらないと考えている。これが図 6 に示す集電極として利用している鉄板の腐食現象ではないかと考えられる。この腐食は EDLC の内部抵抗の増大を引き起こし、結果として、蓄電容量の減少を引き起こす。この電気分解現象は、温度にも依存していることが知られている<sup>(9)</sup>。今後は、EDLC セルでの電気分解現象について、温度特性についても調査する必要がある。

これらの結果を基に解体調査の観察結果を考えると以下になる。①EDLC セルの破損については、電気分解によるガス (水素と酸素ガス) の発生により、容器内の圧力が上昇し、破裂による破損が発生した。②電解液の漏れは①の破損によるものであると考えられる。③陰極の集電極の黒錆もしくは赤錆の発生は、電解液の電気分解現象によるものと考えられる。

3. 過電圧保護回路

3.1 過電圧対策

前節の EDLC の劣化現象についての考察から、対策として、EDLC セルにかかる電圧を電気分解による電流の急増が認められる 1.1V よりも低く制限することが考えられる。具体的には EDLC ユニット内に保護回路 (PC : Protection circuit, 過電圧防止回路) を設置することがその対策の一つとして考えられる<sup>(10)</sup>。PC の電源としては基本的に EDLC セルが充電中であるので、EDLC セル自体

の電力を利用するものとした。このようにすることで、これまで開発した充放電のための制御回路をそのまま利用できると考えられた。

3.2 過電圧防止回路

図 7(a) と (b) に、それぞれ今回試作した過電圧保護回路のブロック図と基板を示す。図中  $P_{i+1}$  と  $P_i$  を EDLC セルの端子とする。PC の動作を以下に示す。

(1) 回路中のコンパレータの電源は以下のようにした。 $P_{i+1}$  と  $P_i$  端子間の電圧を 2 個のチャージポンプにより 4 倍に昇圧させる。昇圧後、レギュレーターで 3.0V にして、更にチャージポンプにより 2 倍し、6V の電源を作製する。この電源によりコンパレータを動作させる。

(2)  $P_{i+1}$  と  $P_i$  端子間の電圧を 2 倍した電圧と設定電圧 (1.0 V) をコンパレータにより比較して、FET を動作させる。

(3) FET の動作により、適切な放電抵抗  $R$  を  $P_{i+1}$  と  $P_i$  端子間に接続し、 $P_{i+1}$  と  $P_i$  端子間の電圧を設定電圧 (1.0) 以上にならないようにする。

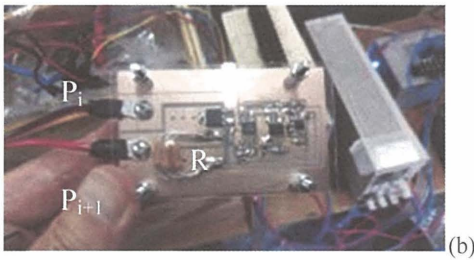
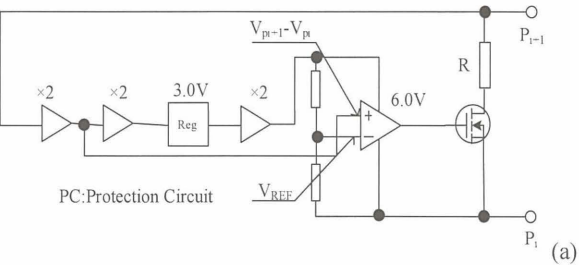


図 7 過電圧防止回路 (PC:保護回路)

Fig.7 PC: Overvoltage protection circuit

[(a) Block diagram of PC, (b) Circuit of PC]

3.3 PC の動作確認 1

PC が目的の動作を確認するとともに、充電電流の最大値と PC の放電抵抗  $R$  との関

係の調査を行った。EDLC ユニット (箱) は、2.1 節で示したように静電容量が約 25kF の EDLC セルを 6 個収納している。

ここでは 2.2 節で示した 4 つの EDLC ユニット (4 箱) を用意して、1 つの EDLC ユニット内のセルを順番に 2 セルずつ並列接続して、4 箱を利用して 12 個の EDLC とした。図 8(a) に示すように、それぞれの EDLC (2 セル並列) に PC を付加して直列に接続 (C1,C2,...C12) した。測定回路を図 8(a) に示す。充放電は、安定化電源 (松定 KX-1002, 容量 10A) と電子負荷 (BK-PRECISION,8540) を定電流負荷として使用した。安定化電源を 11.8V に設定し、8 時間充電/16 時間放電 (定電流負荷 2.0A) を PIC マイコンとリレーを用いた制御器を自作し利用した。各 EDLC の端子電圧はデータロガー (GRAPHTEC, GL220,20ch,1M $\Omega$ ) により測定し記録した。

PC の R を 0.33 $\Omega$ 、充電電流の最大値を 2.5A とした場合の試験結果を図 8(c) に示す。EDLC の端子電圧のいくつかは、PC の設定電圧である 1.0V を超えないように正確に制限していることがわかる。EDLC セルの静電容量の違いにより、直列接続時の分担電圧が一定とはならず EDLC の端子電圧が 1.0V に達しないものがある。

これらの結果から PC の目的である過電圧防止の機能が動作していることがわかる。実験中には EDLC セルの膨らみなどはなく電解液の電気分解は発生していないと考えられる。次に、PC の R、充電電圧は同じとして、充電電流の最大値を 3.0A にした場合の結果を図 8(d) に示す。最初のサイクルで、EDLC の 4 番目の端子電圧が設定電圧の 1.0V を間欠的に超えていることがわかる。

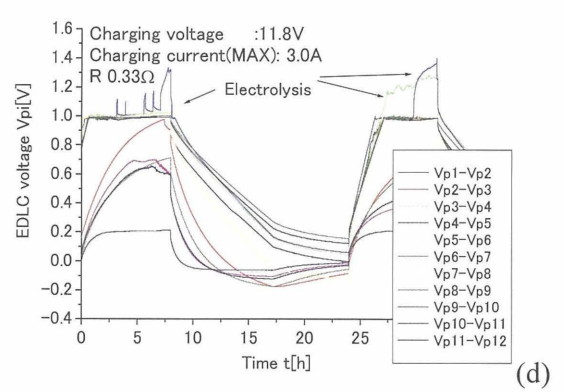
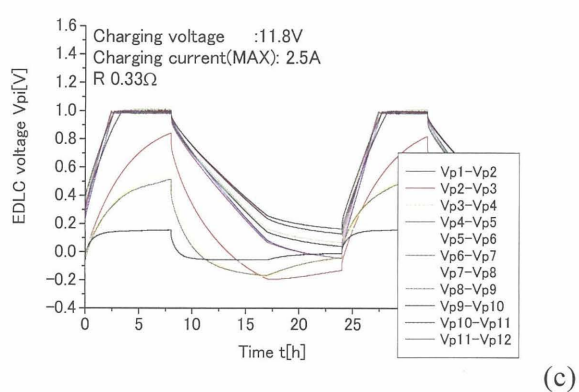
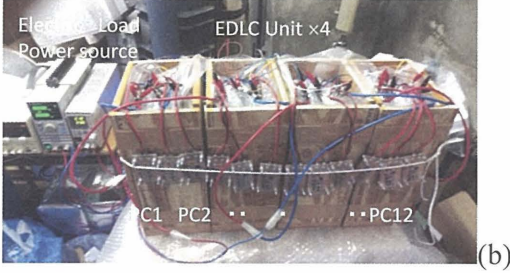
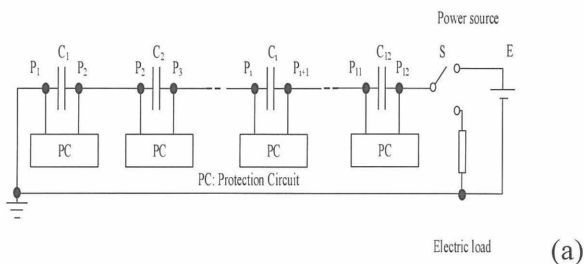


図 8 PC 回路の放電抵抗と最大充電電流の関係  
Fig.8 Discharge load R in PC and maximum charge current  
[(a) Test circuit, (b) Photograph of test circuit and EDLC, (c) EDLC terminal voltage in maximum charging current 2.5A, R of PC:0.33 $\Omega$ , (d) EDLC terminal voltage in maximum charging current 3.0A, R of PC :0.33 $\Omega$ ]

また、2 サイクルでは、3 番目と 4 番目の EDLC の端子電圧が設定値 1.0V を超え、1.4V まで達していることがわかる。この実験中 3 番目と 4 番目の EDLC にはセルの膨らみが観測された。この実験から充電電流を 3.0A とすると PC は目的の過電圧防止の機能を果たせなかった。この点については、以下の関係があると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{放電抵抗 } R \times \text{最大充電電流} &< \text{設定電圧} & (1) \\ 0.33\Omega \times 2.5A (= 0.82V) &< 1.0V & [\text{図 8(c)}] & (2) \\ 0.33\Omega \times 3.0A (=1.0V) &= 1.0V & [\text{図 8(d)}] & (3) \end{aligned}$$



最初の実験では、充電電流の最大値が 2.5A であったために、放電抵抗 R と充電電流の最大値の積が 0.82V と設定電圧 1.0V よりも低くなっている〔(2) 式は(1)式を満足〕。このため EDLC は充電電流を R に流しながらも過電圧を抑制するための自己放電が可能であったと考えられる。しかし、充電電流の最大値を 3.0A とすると、放電抵抗と充電電流の積が 1.0V と設定電圧 1.0V と同じとなったため上記(1)の関係を満足しない。このため EDLC の過電圧を抑制するための自己放電が不可能となったため、端子電圧が上昇し、電解液の電気分解が発生したと考えられる。この結果から PC を使用する場合には、充電電流の最大値を上記(1)式の関係を考慮した設定する必要があることがわかった。上記(1)の関係を大きな充電電流でも満たすためには PC の R は小さい方がよいことになる。実験により PC の R を 0.1Ωまで下げることが可能であることがわかった。

### 3.4 PC の動作確認 2

前節から試作した PC は目的の機能を果たしていることがわかった。しかし、直列接続する EDLC の静電容量に大きく違いがある場合には、分担電圧の均一化を図ることは十分にできていない。このことを確認するために次の実験を行った。PC を利用し、分担電圧を揃える方法として、直列接続する EDLC の容量を可能な範囲で揃えることが考えられる。1 つの EDLC ユニット（箱）を利用して、前節と同様の実験を行った。EDLC ユニットの EDLC セルの数は 6 枚である。

最初に、この 6 セルを順番に 2 セルずつ並列接続して、3 つの EDLC (C1:1-2,C2:3-4,C3:5-6) を構成し、PC を各 EDLC に接続し、充放電波形を測定した。充放電には、安定化電源 (TEXIO PA16-313, 0-30V,6A) と抵抗負荷 3Ω (摺動抵抗器) を利用した。充電電圧は 2.8V、充電電流の最大値は 1.5A である。図 9(a) はその結果である。1 つの EDLC (C2:3-4) が十分に充電されていないことがわかる。

次に、同一の EDLC ユニット内の 6 セルを直列に接続し、2.8V を印加し、分担電圧の大きさを測定して、これに応じて、図 9(d) のようにセルの並列

の組み合わせを変更した (C1:1-5,C2:3-4,C3:2-6)。先の実験と同様に、充放電波形を測定した。図 9(c) は、その結果である。図 9(a) の結果と比較すると C2 の分担電圧も揃ってきていることがわかる。

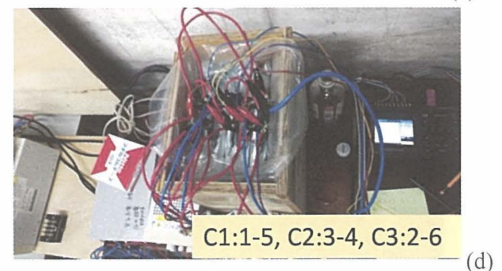
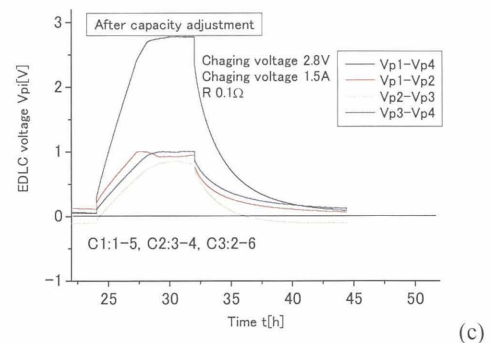
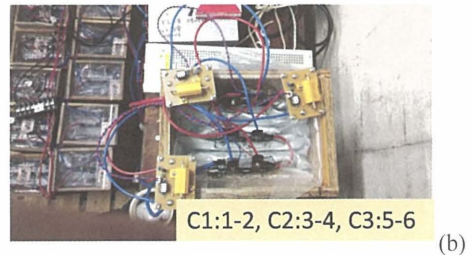
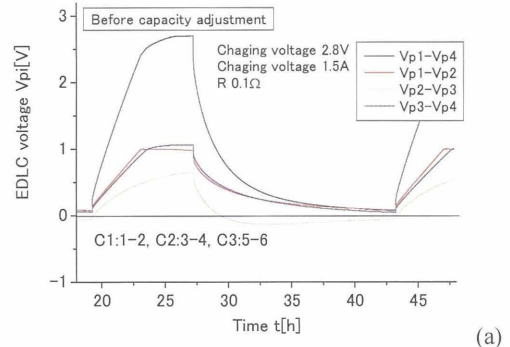


図 9 直列接続された EDLC の静電容量不揃いと PC 動作  
Fig.9 Balance of capacitance of EDLC connected in series and operation of PC [(a) Not adjust the capacitance balance of EDLCs connected in series, (b) Photograph of test circuit of (a), (c) Adjust the capacitance balance of EDLCs connected in series, (d) Photograph of test circuit of (c) ]

3.5 PC の動作確認 3

静電容量の大きい EDLC に PC を接続した場合の動作を確認した。1 つの EDLC ユニット (箱) には、6 つの EDLC セルが収納されている。EDLC ユニット内の EDLC セルをすべて並列接続して、PC を接続し、14 個の EDLC ユニットの直列接続 (EDLC unit×14 Line1) して、充放電波形を測定した。

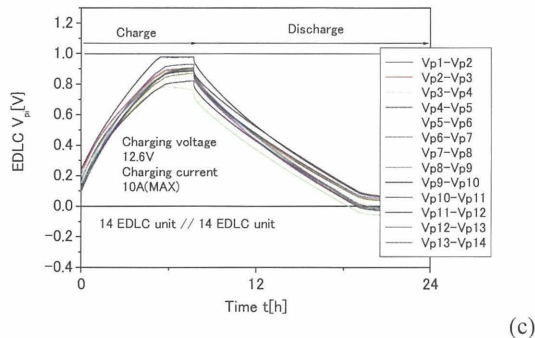
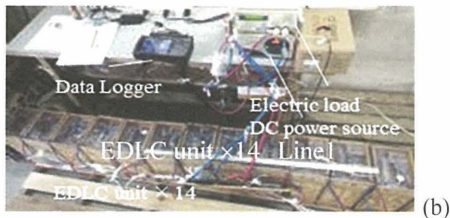
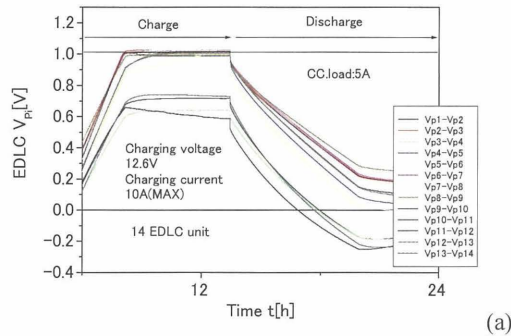


図 10 大容量 EDLC の静電容量不揃いと PC 動作  
Fig.10 Operation of overvoltage protection circuit in large-capacity EDLC connected in series [(a) Not adjust the capacitance balance of EDLCs connected in series, (b) Photograph of test circuit of (a) , (c) Adjust the capacitance balance of EDLCs connected in series (d) Photograph of test circuit of (c) ]

充放電は、安定化電源 (TEXIO PSF-400L,400W, 40A) と電子負荷 (ティアンドシーテクニカル社, 3710A) を利用した。PC の R は  $0.1\Omega$  とした。〈3.3〉節では、抵抗の容量が小さく、発熱による抵抗値の上昇が影響していたので、 $0.1\Omega$  の場合には、20W の抵抗を使用した。ここでは、〈3.3〉節の (1) 式の条件で実験を行った。充電電圧と充電電流の最大値はそれぞれ 12.6V と 10A とした。放電負荷は 5A の定電流負荷とした。

最初に、ユニット間の静電容量の調節を行わない EDLC の結果を図 10(a) に示す。PC の動作は、設定電圧の 1.0V で確実に動作していることがわかる。静電容量の大きい EDLC ユニットでは分担電圧はおよそ 0.7V までに充電されている。

次に、14 個の EDLC ユニットの静電容量をある程度揃えた 14 個の EDLC ユニット直列 EDLC (EDLC unit×14 Line2) を製作した。ここでは、EDLC unit×14 Line1 と EDLC unit×14 Line2 は並列に接続し、同様に実験を行った。結果を図 10(c) に示す。直列に接続された各 EDLC ユニットの分担電圧はかなり揃っていることがわかる。これらの結果から 1 つの EDLC ユニットに 1 個の PC を設置することで過電圧防止機能を持つ EDLC も実現できることがわかった。

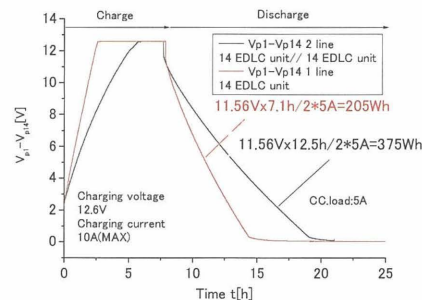


図 11 大容量 EDLC における PC の動作  
Fig.11 PC operation in large capacity EDLC

図 11 は上記の実験の EDLC 全体の充放電波形である。図中の赤線は 14 ユニットの直列接続 (EDLC unit×14 Line1) 単独の充放電波形である。図中の黒線は EDLC unit×14 Line1 と EDLC unit×14 Line2 を並列接続した場合の充放電波形である。放電は 5A の定電流負荷であるので、放電開始か



らの EDLC の端子電圧波形の面積を求めて 5A を乗じたものが放電電力量となる。EDLC unit×14 Line1 単独の場合の放電電力は 205Wh であった。EDLC unit×14 Line1 と EDLC unit×14 Line2 を並列に接続した場合には、375Wh と約 2 倍となっていることがわかる。PC を各 EDLC ユニットに接続することにより繰り返し充放電を行っても、特性の変化や EDLC ユニット内の EDLC セルの膨らみ等は観測されていない。

以上の結果から、PC を利用することで、より大容量で、かつ高電圧で利用できる EDLC も実現可能と考えている。

#### 4. まとめ

木炭を利用した蓄電器 (EDLC) を屋外照明に利用した場合の劣化について調査を行った。その結果、劣化原因は、セルにかかる過電圧 (電解液の電気分解電圧以上の電圧) 印加によるものであると考えられた。直列接続を行った EDLC セルの分担電圧は、各セルの静電容量の不均一性や放電時の残留電荷等によって不揃いとなる。この分担電圧の不揃いは、直列接続された EDLC セルの劣化を引き起こす可能性を増大させる。

この調査結果から、EDLC の分担電圧 (EDLC セルに印加される電圧) を設定電圧 (1.0V) 以下に制限する保護回路 (過電圧防止回路) を試作し、実際に木炭と水酸化カリウム水溶液を使用した EDLC に利用し、その動作を確認した。

最後に、本研究の一部は JST 西日本豪雨復興支援 (A-STEP 機能検証フェーズタイプ, 課題番号: VP30418088531) の支援を受けて行われた。

#### 参考文献

- (1) 西野敦,直井勝彦: “電気化学キャパシタの開発と応用”, CMC テクニカルライブラリー, 初版第 1 刷発行, pp.3-5 (1998)
- (2) 福間眞澄, 岡田信志, 福島志斗, 高橋信雄, 内田孝幸, 小川仁一, 吉野勝美, “木炭 EDLC を用いた 1kWh 級蓄電器”, 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌), Vol.137, No.3, pp.186-187 (2016.3)
- (3) 福島志斗, 福間眞澄, 岸田悟, 李相錫, 吉野勝美, “木炭 EDLC を用いた屋外照明用電源装置”, 電気設備学会論文誌, 38 巻, 3 号, pp.17-22 (2018)
- (4) M.Fukuma, Y.Fukushima, H.Imaoka, K.Yoshino, “1kWh Class Power Storage System using Charcoal EDLC”, 電気材料技術雑誌, 第 26 巻, 第 1 号, pp.47-57 (2017)
- (5) 林昌彦, 川島由香, “活性炭ハンドブック”, 丸善, ISBN978-4-621-08313-0, pp.152-157 (2011)
- (6) 福間眞澄, 福島志斗, 吾郷匠実, 有田聖矢, 今岡洋人, 吉野勝美, “木炭を利用した水系電解液 EDLC の分担電圧”, 平成 30 年電気学会全国大会講演論文集, Vol.2, p.84 (2018.3)
- (7) 電気化学協会編, “新しい電気化学”, 培風館, 第 10 刷発行, pp.243-246 (1992)
- (8) 太田健一, “濃厚アルカリ水溶液中での鉄の腐食”, Boushoku Gijyutu, Vol.33, pp.297-298 (1984)
- (9) 電気化学協会編, “新しい電気化学”, 培風館, 初版第 10 刷発行, pp.85-88 (1992)
- (10) 岡村廸夫, 木下繁則, “電気二重層キャパシタ <EDLC> の特性と上手な使い方”, 日刊工業新聞社, 初版第 1 刷発行 pp.126-130 (2010)

(2019 年 9 月 24 日 受理)

## 著者略歴



福岡 眞澄

1985年3月 豊橋技術科学大学大学院研究科修士課程修了。同年4月住友電気工業(株)入社。1990年9月松江工業高等専門学校電気工学科講師。1994年7月同助教授,2002年4月同

教授,現在に至る。博士(工学)。主として,電気絶縁材料の空間電荷分布測定の研究に従事。2008年より木綿・木炭を用いたEDLCの研究に従事。静電気学会会員。



福島 志斗

2005年3月松江工業高等専門学校・専攻科 電子情報システム工学専攻修了。同年4月出雲科学館職員。2006年4月松江工業高等専門学校学生課技術室技術職員。2016年4月実践教育

支援センター技術専門職員,現在に至る。主に,EDLCの制御回路に関する研究に従事。



飯塚 育生

1952年生。1980年大阪大学大学院博士課程了(工学博士)。同年三菱電機株式会社入社。1988年松江工業高等専門学校助教授,1998年同教授,2018年同非常勤講師。通信工学分野

の回路設計教育に従事。2016年同校名誉教授。



高橋 信雄

1952年生。1975年大阪大学工学部産業機械工学科卒業。1976年松江工業高等専門学校生産機械工学科助手,2002年同校電子制御工学科教授。メカトロニクス,パワーエレクトロニクス

に関する研究に従事,2016年同校名誉教授。



吉野 勝美

1964年大阪大学工学部電気工学科卒業 1969年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程終了後,大阪大学工学部助手,講師,助教授を経て,1988年より大阪大学工学部電子工学科

教授,2005年大阪大学名誉教授,2007年島根県産業技術センター所長。その間,ハーン・マイトナー原子核研究所(ベルリン)客員研究員,東北大学教授併任,大阪大学低温センター長などを歴任。工学博士。応用物理学会賞,大阪科学賞,電気学会業績賞,日本液晶学会業績賞,功績賞,高分子学会高分子科学功績賞,日本液晶学会名誉会員,IEEEフェロー,応用物理学会フェロー,電子情報通信学会フェロー,電気学会フェローなどを受賞。電気学会副会長,日本液晶学会会長など歴任。