

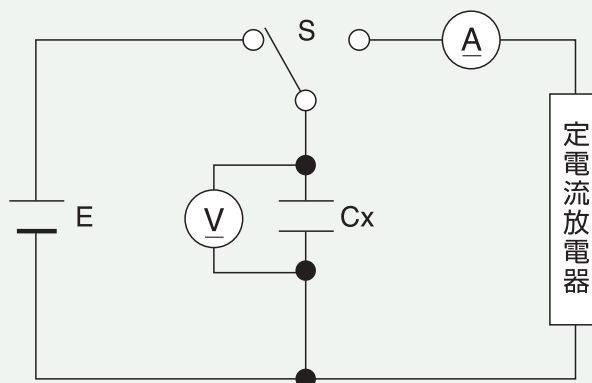
## ● 静電容量の測定方法

静電容量の測定にはいくつかの方法がありますが当社では定電流放電法を採用しています。コンデンサを定格電圧で充電し、30分間保持した後、定電流で放電し、電圧変化とその所要時間から求めます。静電容量の単位はファラッド(F)です。

測定回路

図1. 定電流放電法の測定回路図

E : 定電流定電圧電源  
 (A) : 直流電流計  
 (V) : 直流電圧計  
 S : 切り替えスイッチ  
 Cx : 供試コンデンサ



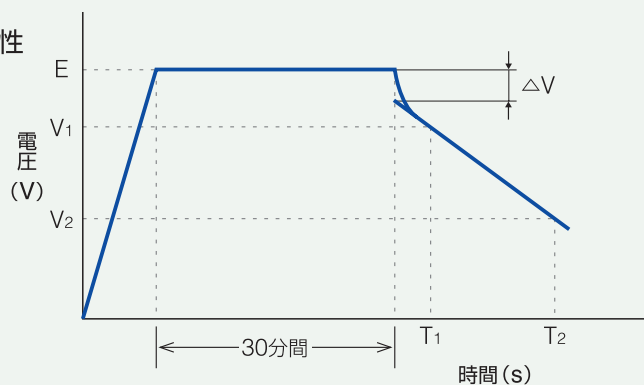
測定手順

- ① 定電流定電圧電源にて定電流で定格電圧まで充電します。
- ② 定格電圧到達後、定電圧充電に切り替え、30分間の補充電を行います。
- ③ 補充電終了後、スイッチを定電流放電器側にし、個別に定めた放電電流値（特に指定の無い場合は10mA/F）にて定電流放電します。
- ④ 放電時のコンデンサの端子電圧が図2に示すV<sub>1</sub>からV<sub>2</sub>に下がるまでの時間T<sub>1</sub>及びT<sub>2</sub>を測定し、次の(1)式より静電容量値を算出します。

$$C = I \times (T_2 - T_1) / (V_1 - V_2) \quad \dots (1) \text{ 式}$$

図2. コンデンサの充放電特性

C : 静電容量 [F]  
 E : 充電電圧 [V]  
 I : 放電電流 [A]  
 V<sub>1</sub> : 測定開始電圧 (0.8E) [V]  
 V<sub>2</sub> : 測定終了電圧 (0.4E) [V]  
 T<sub>1</sub> : V<sub>1</sub>となる放電開始からの時間 [s]  
 T<sub>2</sub> : V<sub>2</sub>となる放電開始からの時間 [s]



※当社では、V<sub>1</sub>=2.0 [V]、V<sub>2</sub>=1.0 [V]としておりますので、(1)式は以下のように表すことができます。

$$C = I \times (T_2 - T_1) \quad \dots (2) \text{ 式}$$

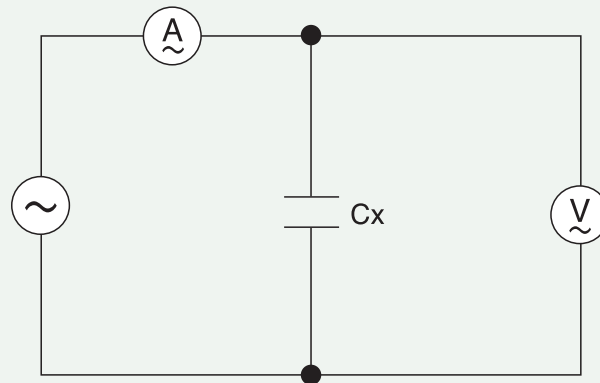
## ● 内部抵抗の測定方法

### 交流抵抗法

測定回路

図3. 交流抵抗法の測定回路

- ⊖: 発振器
- Ⓐ: 交流電流計
- Ⓥ: 交流電圧計
- Cx: 供試コンデンサ



測定方法

コンデンサの内部抵抗 $R_a$ は次の(3)式により算出します。

$$R_a = U / I \quad \dots (3) \text{ 式}$$

$R_a$ : 交流内部抵抗 [ $\Omega$ ]  
 $U$ : 交流電圧の実効値 [ $V_{rms}$ ]  
 $I$ : 交流電流の実効値 [ $A_{rms}$ ]

ここで、測定電圧の周波数は1kHzとし、交流電流は1mA～10mAとします。

### 直流抵抗法

測定方法

測定回路は図1と同じ回路を用い、定電流放電法にて静電容量を測定する際と同一手順で行います。コンデンサの直流内部抵抗は図2のコンデンサの充放電特性における $\Delta V$ の値と次の(4)式より求めることができます。

$$R_d = \Delta V / I \quad \dots (4) \text{ 式}$$

$R_d$ : 直流内部抵抗 [ $\Omega$ ]  
 $\Delta V$ : 降下電圧 (IRドロップ) [V]  
 $I$ : 放電電流 [A]

### ● 漏れ電流の測定方法

定電流充電 (定抵抗充電でも可) により、コンデンサの端子電圧が定格電圧に到達後、30分間定電圧にて補充電した際の電流値を便宜的に漏れ電流と規定します。

## ● エネルギー密度の計算

コンデンサに充電できるエネルギーは

$$W(Wh) = \frac{1}{2} CE^2 \times \frac{1}{3600}$$

単位体積あたり、あるいは単位重量あたりのエネルギーとして表したものをエネルギー密度といい、次式で求めます。

・体積1リットルあたりのエネルギー密度はMをコンデンサ体積(リットル)とし

$$Ed(Wh/L) = \frac{1}{2} CE^2 \times \frac{1}{3600} \times \frac{1}{M}$$

・重量1kgあたりのエネルギー密度はMをコンデンサ重量(kg)とし

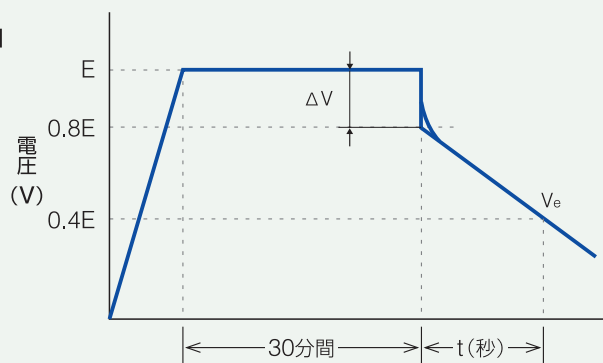
$$Ed(Wh/kg) = \frac{1}{2} CE^2 \times \frac{1}{3600} \times \frac{1}{M}$$

## ● パワー密度の計算

コンデンサから取り出すことができる電力をパワーといい、単位体積あたりまたは単位重量あたりをパワー密度といいます。パワー密度の求め方はいくつかの方法があり各社異なりますが、当社では直流内部抵抗(DCR)の測定方法により求めたRdを次式にあてはめて算出します。

・体積1リットルあたりのパワー密度はMをコンデンサ体積(リットル)とし

$$\begin{aligned} Pb(W/L) &= \frac{1}{2} (E - \Delta V + Ve) \times I / M \\ &= \frac{1}{2} (E - 0.2E + 0.4E) \times 0.2E / Rd / M \\ &= \frac{1}{2} \times 1.2E \times 0.2E / Rd / M \\ &= (0.12 \times E^2 / Rd) / M \end{aligned}$$



・重量1kgあたりのパワー密度はMをコンデンサ重量(kg)とし

$$\begin{aligned} Pd(W/kg) &= \frac{1}{2} (E - \Delta V + Ve) \times I / M \\ &= (0.12 \times E^2 / Rd) / M \end{aligned}$$

※パワー密度、エネルギー密度の算出方法はJEITA規格 EIAJ RCR-2370Cによる。

## ● 計算事例 1

### 電気二重層コンデンサで点灯するソーラー照明灯の例

12V 0.2A高輝度LEDを6時間点灯する場合を想定し計算します。  
電気二重層コンデンサは1段（並列接続のみで直列で昇圧しない）  
仕様で2.5V→1.0Vの電圧範囲で使用し、負荷側へは  
DC/DCコンバータで12Vに昇圧して出力します。

#### <条件>

- ・定格出力 : 12V 0.2A (2.4W)
- ・コンデンサ充電電圧 : 2.5V
- ・放電終止電圧 : 1.0V
- ・補償時間 : 6時間
- ・DC/DCコンバータ効率: 70% (平均効率)  
(自己放電による損失含む)

#### <必要エネルギー量>

総電力量  $W_L = 2.4 \text{ (W)} / 0.7 \times 6 \text{ (h)} \times 3600 \text{ (s)} = 74,057 \text{ (J)} \dots\dots ①$

放電電力量  $W_C = C / 2 \times (V_1^2 - V_2^2) \text{ (J)} \dots\dots\dots ②$

①、②より  $W_L = W_C$  とおき

$$C = 74,057 \times 2 / (2.5^2 - 1.0^2) \\ = 28,212 \text{ (F)}$$

ここでの電気二重層コンデンサの使われ方は小電流を長時間流す用途ですから、静電容量の大きい高エネルギー密度タイプから選定いたします。JDシリーズから静電容量4,000F、内部抵抗2mΩ、φ63.5×150L (mm) を選定しますと、

#### <使用本数>

$n = 28,212 / 4000 = 7.05$ 本 (切り上げて8本使用)

1直列8並列構成として蓄電容量C、内部抵抗DCRは

$$C = 4000 \times 8 = 32,000 \text{ F}$$

$$\text{DCR} = 0.002 \div 8 = 0.00025 \Omega$$

ここで放電開始時の降下電圧:  $E - V_1$  は

放電開始電流  $I_1$  とユニットの内部抵抗DCRとの積で表されますので

$$E - V_1 = I_1 \times \text{DCR} \dots\dots\dots ③$$

また放電開始電圧  $V_1$  と放電開始電流  $I_1$  の積が定格出力 2.4W となりますので

$$V_1 \times I_1 = 2.4 / 0.7 \dots\dots\dots ④$$

③、④より  $V_1$  の二次方程式を解いて

$$V_1^2 - E \times V_1 + 2.4 / 0.7 \times \text{DCR} = 0$$

$$V_1^2 - 2.5 \times V_1 + 0.000857 = 0$$

$$V_1 = (2.5 \pm \sqrt{2.5^2 - 4 \times 0.000857}) / 2$$

$$V_1 = 2.4997 \text{ V}, 0.000686 \quad 0.000686 \text{ V では成り立たないため}$$

$$V_1 = 2.4997 \text{ V}$$

①、②より

$$t = 32,000 / 2 \times (2.4997^2 - 1.0^2) / 2.4 \times 0.7$$

$$t = 24,493 \text{ (s)} = 6.80 \text{ (h)}$$

よってJDシリーズ2.5V 4000Fを選定しますと、8並列で必要点灯時間を満足することが確かめられました。

#### <ハイパワー密度タイプ JLシリーズの同サイズ品を選定した場合>

- ・セル耐電圧 : 2.5V
- ・セルサイズ : φ63.5×150L (mm)
- ・セル静電容量 : 2600F
- ・セル内部抵抗 : 0.001Ω

#### <使用本数>

$n = 28,212 / 2,600 = 10.85$ 本 (切り上げて11本使用)

コンデンサは1直列11並列構成として蓄電容量C、内部抵抗DCRは

$$C = 2600 \times 11 = 28,600 \text{ F}$$

$$\text{DCR} = 0.001 / 11 = 0.0000909 \Omega$$

③、④式を解いて

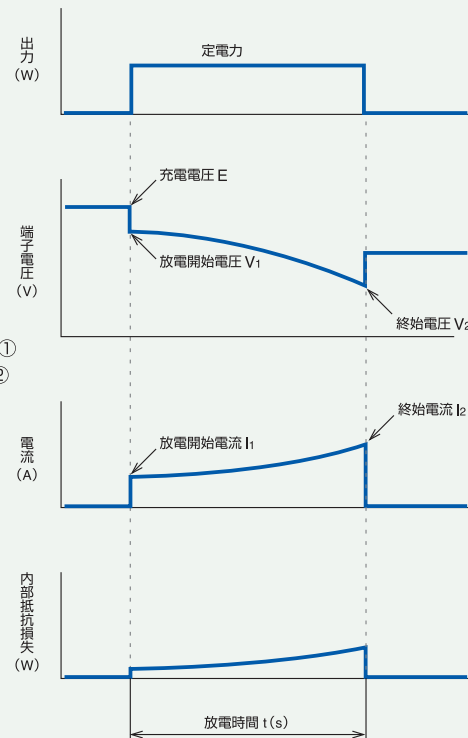
$$V_1 = 2.4999 \text{ V}$$

$$t = 28,600 / 2 \times (2.4999^2 - 1.0^2) / 2.4 \times 0.7$$

$$t = 21,895 \text{ (s)} = 6.08 \text{ (h)}$$

よってJLシリーズ2.5V 2600Fを選定しますと、6時間の点灯時間を満足するためには11並列必要となります。

小電流を長時間流す用途においては静電容量の大きい高エネルギー密度タイプJDシリーズが好適となります。



## ● 計算事例 2

### 瞬時電圧低下補償用として電気二重層コンデンサを用いた場合

950W定格出力の瞬時電圧低下補償装置に  
30Vの電気二重層コンデンサユニットを用いて  
6秒間の補償を行う場合を計算します。

#### <条件>

- ・定格出力 : 950W
- ・コンデンサ充電電圧 : 30V
- ・放電終止電圧 : 15V
- ・補償時間 : 6秒
- ・DC/DCコンバータ効率 : 80% (平均効率)  
(電圧均等化回路の損失を含む)

#### <コンデンサ選定>

JLシリーズ 2.5V 550F

- ・セル耐電圧 : 2.5V
- ・セルサイズ :  $\phi 35 \times 105L$  (mm)
- ・セル静電容量 : 550F
- ・DCR : 0.005 $\Omega$

平均セル電圧を2.2Vとし充電電圧30Vを満足するには $30/2.2 = 13.6$

コンデンサは14直列となります。

14直列1並列構成として蓄電容量C、内部抵抗DCRは

$$C = 550 / 14 = 39.2F$$

$$DCR = 0.005 \times 14 = 0.070\Omega$$

#### <補償時間の試算>

$$\text{補償電力量 } W_L = 950 / 0.8 \times t \text{ (J)} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{放電電力量 } W_C = C / 2 \times (V_1^2 - V_2^2) \text{ (J)} \dots\dots ②$$

$$\text{補償電力量} = \text{放電電力量とおき } W_L = W_C$$

$$E - V_1 = I_1 \times DCR \dots\dots\dots ③$$

$$V_1 \times I_1 = 950 / 0.8 \dots\dots\dots ④$$

③、④より $V_1$ の二次方程式を解いて

$$V_1^2 - E \times V_1 + 950 / 0.8 \times DCR = 0$$

$$V_1^2 - 30 \times V_1 + 83.1 = 0$$

$$V_1 = (30 \pm \sqrt{(30^2 - 4 \times 83.1)}) / 2$$

$$V_1 = 26.9V, 3.09V \quad 3.09V \text{では成り立たないため } V_1 = 26.9V$$

①、②より

$$t = 39.2 / 2 \times (26.9^2 - 15^2) / 950 \times 0.8$$

$$t = 8.22 \text{ (s)}$$

よって選定品14直列で必要補償時間6秒を満足します。

#### <高エネルギー密度タイプJDシリーズで同サイズ品を選定した場合>

- ・セル耐電圧 : 2.5V
- ・セルサイズ :  $\phi 35 \times 105L$  (mm)
- ・セル静電容量 : 800F
- ・DCR : 0.013 $\Omega$

コンデンサは14直列1並列構成として蓄電容量C、内部抵抗DCRは

$$C = 800 / 14 = 57.1F$$

$$DCR = 0.013 \times 14 = 0.182\Omega$$

③、④式を解いて

$$V_1 = 17.9V$$

$$t = 57.1 / 2 \times (17.9^2 - 15^2) / 950 \times 0.8$$

$$t = 2.29 \text{ (s)}$$

よってJDシリーズ2.5V 800Fでは、6秒補償を満足できません。

瞬時に大電流を必要とする用途には内部抵抗(DCR)が低いハイパワー密度タイプJLシリーズが好適となります。

