

1 アルミニウム電解コンデンサの概要

1-1 コンデンサの原理

コンデンサの原理は図1-1のような原理図で表わす事ができます。誘電体の両面に金属電極を対向させ、この両極間に電圧を印加すると電圧に比例した電荷が蓄えられます。

$$Q = C \cdot V$$

Q : 電気量 (C)
V : 電圧 (V)
C : 静電容量 (F)

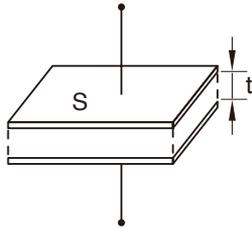


図1-1

Cをコンデンサの静電容量と呼び、Cは電極面積 (S[m²])、電極間距離 (t[m])、誘電体の比誘電率 (ε)により次式で表わされます。

$$C[F] = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{t}$$

ε₀ : 真空の誘電率 (=8.85×10⁻¹²F/m)

表1-1にコンデンサによく用いられる誘電体の比誘電率を示します。なお、コンデンサの名前は主に誘電体の材料によって決められる場合が多く、例えばアルミニウム電解コンデンサ、タンタルコンデンサ等です。

表 (1-1)

誘電体	比誘電率	誘電体	比誘電率
アルミニウム酸化皮膜	7~8	磁器 (セラミック)	10~120
マイラー	3.2	ポリスチレン	2.5
マイカ	6~8	タンタル酸化皮膜	10~20

アルミニウム酸化皮膜の比誘電率は7~8であり、より大きな静電容量を得るためには電極面積Sを大きくするか、tを小さくすれば良いことになります。アルミニウム電解コンデンサが小形ながら大きな静電容量が得られるのは、電気化学エッチングによって電極を粗面化し、電極面積を大きくすることが可能で、かつ誘電体の厚さが非常に薄いためです。アルミニウム電解コンデンサの構造図を図1-2に示します。

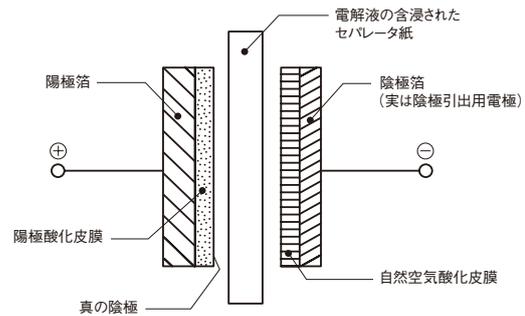
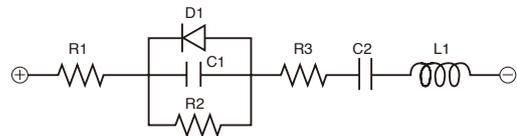


図1-2

1-2 等価回路

アルミニウム電解コンデンサを等価回路によって表わすと、下記ようになります。



- R1 : 端子、電極の抵抗
- R2 : 陽極酸化皮膜の欠損による絶縁抵抗
- R3 : 陽極酸化皮膜と電解液の抵抗
- D1 : 陽極箔の酸化物半導体
- C1 : 陽極箔の容量
- C2 : 陰極箔の容量
- L1 : 端子、電極等により生じるインダクタンス

2 寿命推定について

2-1 寿命推定の考え方

2-1-1 リプル電流を含まない場合の寿命推定 (リプル電流が十分小さい場合)

一般にアルミニウム電解コンデンサの寿命は使用される周囲温度と深い関係があり、アレニウス則に近似します。

$$L = L_0 \cdot 2^{\left(\frac{T_0 - T}{10}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

L : 温度 T における寿命
L₀ : 温度 T₀ における寿命

2-1-2 リプル電流を含む場合の寿命推定

リプル電流が流れる事により、コンデンサの内部損失 (ESR) で発熱するため寿命に影響します。

この発生する熱量は

$$P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2) \quad \text{I : リプル電流 (A・rms)} \\ \text{R : ESR (}\Omega\text{)}$$

このときのコンデンサの温度上昇は

$$\Delta T = \frac{I^2 \cdot R}{A \cdot H} \dots\dots\dots (3)$$

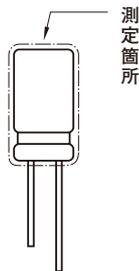
ΔT : コンデンサ中心部の温度上昇 (deg)
I : リプル電流 (A・rms)
R : ESR (Ω)
A : コンデンサの表面積 (cm²)
H : 放熱係数
(約 1.5 ~ 2.0 × 10⁻³W/cm²・°C)

(3)式はコンデンサの温度上昇について、印加リプル電流の2乗、ESRに比例し、表面積に反比例する事を示します。

従って、リプル電流の大小により発熱量が決まり、寿命に影響します。

ΔT の値はコンデンサの種類、ご使用条件等により異なりますが、一般的には、 $\Delta T < 5^\circ\text{C}$ とするのが望ましい使い方です。

リプルによる温度上昇の測定箇所を下図に示します。



コンデンサの温度上昇から、中心部の温度上昇を実際に測定することは困難のため下表に表面温度上昇による換算表を示します。

(表 2-1, 換算表)

ケースφ	~ 10	12.5 ~ 16	18
中心 / 表面	1.1	1.2	1.25

弊社での実験より

①周囲温度・リプルによる温度上昇を考慮した寿命推定式
(1)式を変換して

$$L = L_d \cdot 2^{\left(\frac{T_0 - T}{10}\right)} \cdot K^{\left(\frac{-\Delta T}{10}\right)} \dots\dots\dots (4)$$

L_d : カテゴリ上限温度における DC ライフでの寿命 (h)
K : リプル加速係数 (許容リプル電流以下 : 2)
T₀ : カテゴリ上限温度 (°C)
T : 使用時の周囲温度 (°C)
 ΔT : コンデンサの中心部温度上昇 (deg)

②保証寿命 (カテゴリ上限温度における定格リプル電流重畳時)を基にした寿命推定式
(4)式を変換して

$$L = L_r \cdot 2^{\left(\frac{T_0 - T}{10}\right)} \cdot K^{\left(\frac{\Delta T_0 - \Delta T}{10}\right)} \dots\dots\dots (5)$$

L_r : 保証寿命 (カテゴリ上限温度における定格リプル電流印加での寿命) [h]
 ΔT_0 : カテゴリ上限温度における定格リプル電流印加時のコンデンサの中心部温度上昇 (deg)

③周囲温度・リプル電流を考慮した寿命推定式
式(3)を使って、式(5)を I, I₀, ΔT_0 の式に変換すると下記式が得られます。

$$L = L_r \cdot 2^{\left(\frac{T_0 - T}{10}\right)} \cdot K^{\left\{1 - \left(\frac{I}{I_0}\right)^2\right\}} \cdot \frac{\Delta T_0}{10} \dots\dots\dots (6)$$

I₀ : カテゴリ上限温度における定格リプル電流 (A・rms)
I : 印加リプル電流 (A・rms)

式(5)または(6)を用いて推定寿命を計算する場合、各保証温度毎の ΔT_0 は下記の値を使用します。

アルミニウム 電解コンデンサ	85°C品	: 10deg
	105~135°C品	: 5deg
	150°C品	: 3deg
導電性高分子ハイブリッド アルミニウム 電解コンデンサ	105°C品	: 15deg
	125°C品	: 10deg
	135°C品	: 10deg
	150°C品	: 5deg

寿命推定式は、原則として周囲温度が+40°Cからカテゴリ上限温度までの温度範囲に適用されます。

(+40°C以下の温度条件は一律 +40°C扱いとします。)

推定寿命時間は、封口材の劣化面から、15年程度を上限の目安とします。

また上記式(4)(5)(6)で算出される計算結果は保証値ではありませんのでご注意ください。

2-2 寿命推定の実例

[考え方]

(6) 式の寿命推定式によってコンデンサの保証時間 L_r (カテゴリ上限温度 T_0 、定格リップル電流 I_0) を、実使用条件下 (温度 T 、リップル電流 I) での動作時間 L に換算することができます。

あるコンデンサが実使用を想定したミッションプロファイル (温度、電流、動作時間が複数条件組み合わせたもの) に適用できるかどうか検討する際には、(6) 式を用いて各プロファイル条件ごとに L を算出し、 L の合計値に対する実動作時間 L_c の合計値の割合 (寿命消費率 L_{et}) が 100% 以内であればそのコンデンサはプロファイル条件に適用可能と推定できます。

(計算結果は保証値ではありませんので、プロファイル適用に関しては十分にテストの上ご判断願います。)

[計算例]

RKC シリーズ 80V1600 μ F (データ A) がミッションプロファイル (データ B) に適用可能であるか計算します。

データ A (試料及び基本データ)

品名	: 80V 1600 μ F ϕ 18 x 40L RKC シリーズ
T_0	= 135°C
ΔT_0	= 5deg
I_0	= 3.82Arms at 135°C, 100kHz
L_r	= 2000 時間 at 135°C
(保証時間)	

データ B (ミッションプロファイル)

	周囲温度 T	リップル電流 I (100kHz)	動作時間 L_c
Condition1	80°C	2.00Arms	5000h
Condition2	120°C	3.00Arms	3000h
Condition3	40°C	0.00Arms	123400h

[Condition1]

$T_0=135^\circ\text{C}$, $I_0=3.82\text{Arms}$, $L_r=2000\text{h}$, $\Delta T_0=5\text{degC}$ を使って L_1 (80°C, 2.00Arms) を算出すると

$$L_1 = 2000 \times \left[2^{\frac{(135-80)}{10}} \times 2^{\frac{1-(2.00/3.82)^2}{5} \times (5/10)} \right] = 116400[\text{h}]$$

L_1 に対する実動作時間 $L_{c1}=5000\text{h}$ の寿命消費率 L_{et1} は

$$L_{et1} = 100 \times (L_{c1}/L_1) = 100 \times (5000/116400) = 4.30[\%]$$

[Condition2]

$T_0=135^\circ\text{C}$, $I_0=3.82\text{Arms}$, $L_r=2000\text{h}$, $\Delta T_0=5\text{degC}$ を使って L_2 (120°C, 3.00Arms) を算出すると

$$L_2 = 2000 \times \left[2^{\frac{(135-120)}{10}} \times 2^{\frac{1-(3.00/3.82)^2}{5} \times (5/10)} \right] = 6461[\text{h}]$$

L_2 に対する実動作時間 $L_{c2}=3000\text{h}$ の寿命消費率 L_{et2} は

$$L_{et2} = 100 \times (L_{c2}/L_2) = 100 \times (3000/6461) = 46.4[\%]$$

[Condition3]

$T_0=135^\circ\text{C}$, $I_0=3.82\text{Arms}$, $L_r=2000\text{h}$, $\Delta T_0=5\text{degC}$ を使って L_3 (40°C, 0.00Arms) を算出すると

$$L_3 = 2000 \times \left[2^{\frac{(135-40)}{10}} \times 2^{\frac{1-(0.00/3.82)^2}{5} \times (5/10)} \right] = 2048000[\text{h}]$$

L_3 に対する実動作時間 $L_{c3}=123400\text{h}$ の寿命消費率 L_{et3} は

$$L_{et3} = 100 \times (L_{c3}/L_3) = 100 \times (123400/2048000) = 6.03[\%]$$

よって各プロファイルの寿命消費率の合計値 L_{et_all} は

$$L_{et_all} = L_{et1} + L_{et2} + L_{et3} = 4.30[\%] + 46.4[\%] + 6.03[\%] = 56.8[\%]$$

となり 100% 以内なので RKC シリーズ 80V1600 μ F は左記のミッションプロファイルが適用可能と推定されます。

3 再起電圧について

アルミニウム電解コンデンサを充電し放電後更に端子間を短絡させた後、解放しておく、しばらくして両方の端子間の電圧が再び上昇する現象が生じます。この場合の電圧を再起電圧といいます。この現象が生じるメカニズムは、次のとおりです。

誘電体に電圧が印加されると、誘電作用によって誘電体の内部に電気的変化が生じ、誘電体表面に印加された電圧と正負反対に帯電します。この現象を分極作用といいます。

この分極作用により、電圧を印加した後、端子電圧が0になるまで放電し、端子間を開放しておく、端子間に電位が現れて再起電圧を生じます。

再起電圧は、両端子開放後約10～20日位がピークになりそれ以降徐々に低下します。再起電圧は、大形品(基板自立形)ほど大きくなる傾向にあります。

再起電圧が発生後、両端子間を短絡させるとスパークのため、組立ラインで作業する人に恐怖感を与えたり、回路の低電圧駆動素子(CPU、メモリー等)が破壊される危険があります。その防止方法は、ご使用前に100～1k Ω 程度の抵抗器で放電していただくか、製造側でアルミニウム箔等を端子間にかぶせる等により端子間を短絡状態にして出荷することが考えられます。対応につきましては、ご相談ください。

5 高信頼化の設計・開発ポイント

5-1 陰極箔の自然腐食抑制

高信頼性品は陰極箔の自然腐食を抑制するために不活性化処理を施しました。図3-1は、その効果をFRA^(注)による交流インピーダンス法で分極抵抗を調査した結果であり、従来品に比べ腐食抑制されている事が分かります。

(注)FRA：周波数特性分析器

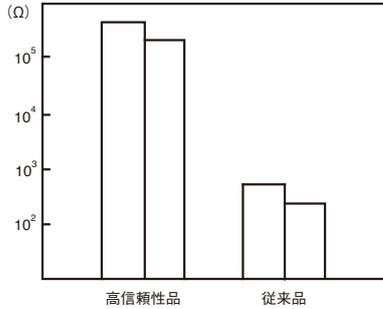


図3-1 交流インピーダンス法での抵抗成分

5-2 電解液の溶媒のドライアップ性

溶媒の透過性についてコンデンサの重量変化でみると、図3-2のようになります。

高信頼性品は高温長寿命を達成するため、低比抵抗を得やすいが非常に透過しやすいアミド系溶媒の代りに、透過しにくいラクトン系溶媒を主成分として使用しています。

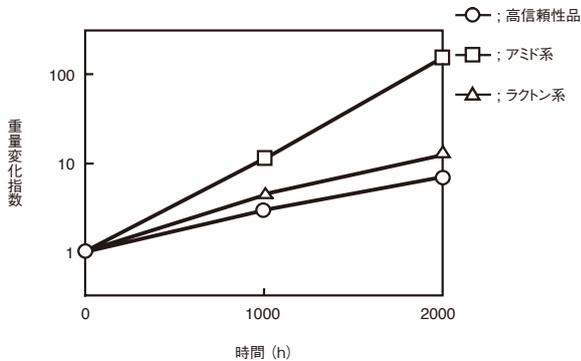


図3-2 電解液の重量変化

5-3 封口材の気密性

高信頼性品は封口材の気密性を向上させるため、架橋密度の最適化を検討し、図3-3に示すように従来材質より大幅に透過量を低減した改良材質を選択し、ドライアップの抑制を図っています。

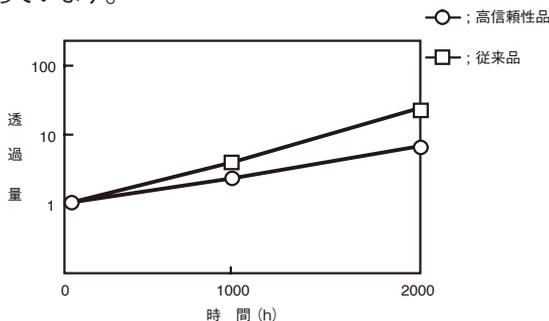


図3-3 封口材の気密性

5-4 電解液の長期安定性

電解液の温度に対する長期安定性は、電解コンデンサのESRの長期安定性を左右する重要な因子です。図3-4は、電解液の比抵抗について従来例との比較を示したものです。高信頼性品の電解液が非常に長期安定性に優れている事が分かります。

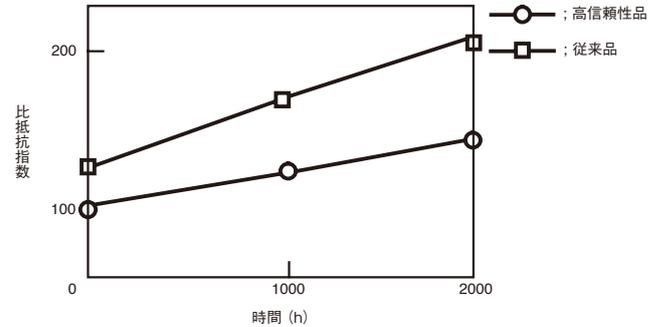


図3-4 比抵抗指数

5-5 陽極箔の誘電体形成電圧

高信頼性品はコンデンサ内部のガス発生を抑制して長寿命化を図るため、電極箔の誘電体形成電圧を、図3-5のように従来品より高くとり1.5~2倍にしております。

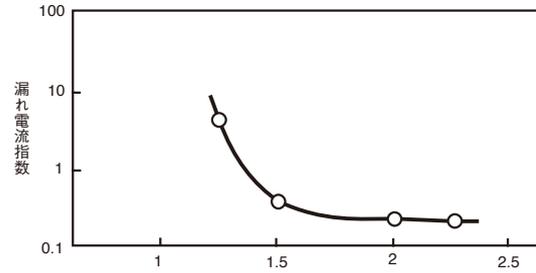


図3-5 電圧比

5-6 極箔の低ESR化

電解コンデンサのESRの低減を図るため陽極箔の化成技術改良を加え、図3-6に示すように、従来に比べ低ESRの電極箔を開発しました。

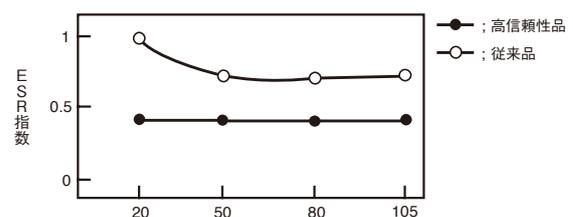


図3-6 陽極箔のESR指数