

TECHNICAL NOTE

—— アルミ電解コンデンサの上手な使い方 ——

目次

1. アルミ電解コンデンサの概要
 - 1-1 アルミ電解コンデンサの基本モデル
 - 1-2 アルミ電解コンデンサの構造
 - 1-3 構成材料の特長
 - 1-4 製造工程
2. 基本性能
 - 2-1 基本的電気特性（静電容量、損失角の正接、漏れ電流）
 - 2-2 インピーダンスの周波数特性
3. 信頼性について
4. 故障モードについて
5. アルミ電解コンデンサの寿命について
 - 5-1 周囲温度と寿命
 - 5-2 印加電圧と寿命
 - 5-3 リプル電流と寿命
 - 5-4 充放電と寿命
 - 5-5 ラッシュ電流について
 - 5-6 異常電圧と寿命
6. ハロゲンの影響について
 - 6-1 フラックスの影響
 - 6-2 洗浄剤について
 - 6-3 固定剤、コーティング剤について
 - 6-4 燻蒸の影響について
7. 再起電圧について
8. 保管について
9. 使用回路別の製品選定のポイント
 - 9-1 スイッチングレギュレータ入力平滑用
 - 9-2 スイッチングレギュレータ出力平滑用
 - 9-3 インバータ主回路平滑用
 - 9-4 制御回路用
 - 9-5 フォトフラッシュ用

1. アルミ電解コンデンサの概要

1-1 アルミ電解コンデンサの基本モデル

受動部品であるコンデンサの中で、アルミ電解コンデンサはCV積あたりの体積が小さく、コストが他のコンデンサに比べ安いことを主な特長としています。

コンデンサの基本モデルはFig-1のように表され、コンデンサの静電容量Cは、(1)式で求められます。

$$C = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\epsilon_r S}{d} \text{ (F)} \dots\dots\dots(1)$$

- ϵ_r : 誘電体の比誘電率
- S : 対向電極の面積 (m²)
- d : 電極間距離=誘電体の厚み (m)

この(1)式より、 ϵ_r 、Sを大きく、dを小さくすれば、Cを大きく取れることがわかります。

アルミ電解コンデンサの誘電体となる酸化皮膜 (Al₂O₃) の ϵ_r は8~10で、他のコンデンサと比べ大きな値ではありません。しかし、電極であるアルミ箔の表面をエッチング処理することにより表面積を拡大し、また誘電体として耐電圧の高く薄い酸化皮膜を電気化学的処理により形成することができ、単位体積あたりのCV積が他のコンデンサと比べ大きくなっています。

実際のアルミ電解コンデンサの基本モデルは、Fig-2のようになります。コンデンサの電極と誘電体は

- 陽極 …アルミ箔
- 誘電体…陽極アルミ箔表面に電気化学的に生成された酸化皮膜 (Al₂O₃)

陰極 …真の陰極は電解液 (電解質)

となり、電解液を保持するための電解紙、陰極の引出し電極として用いるアルミ箔で一つの単位となります。

よって、通常のアルミ電解コンデンサは、構造的には非対称となり極性を持っています。対向する両電極箔に陽極アルミ箔を用いたものが両極性 (無極性) の製品となります。

1-2 アルミ電解コンデンサの構造

アルミ電解コンデンサの素子の基本構造は、Fig-3のように陽極アルミ箔/電解紙/陰極アルミ箔/電極端子 (内部端子、外部端子) を巻き込んだ物に、電解液を含浸させ、アルミケース、封口材で封止されています。

アルミ電解コンデンサは、製品の形状により、端子の引出し構造や封口材、封止構造が多少異なります。

代表的な事例をFig-4に示します。

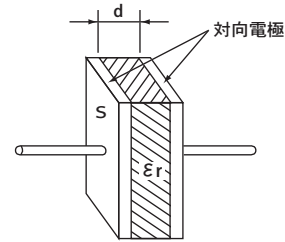
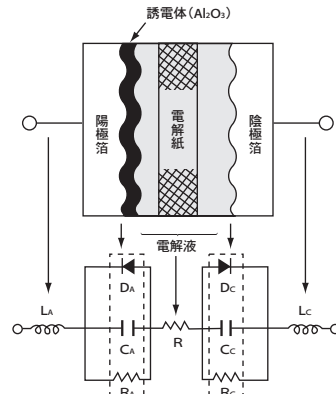


Fig-1 コンデンサの基本モデル



- C_A, C_C : 陽極、陰極箔の静電容量
- D_A, D_C : 陽極、陰極箔の酸化皮膜による整流作用
- L_A, L_C : +、-リードのインダクタンス
- R : 電解紙と電解液の抵抗
- R_A, R_C : 陽極、陰極箔の酸化皮膜の順方向内部抵抗

Fig-2 アルミ電解コンデンサの基本モデルと等価回路

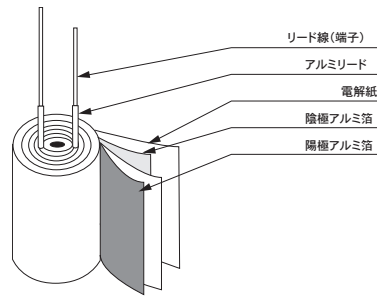


Fig-3 素子の基本構造

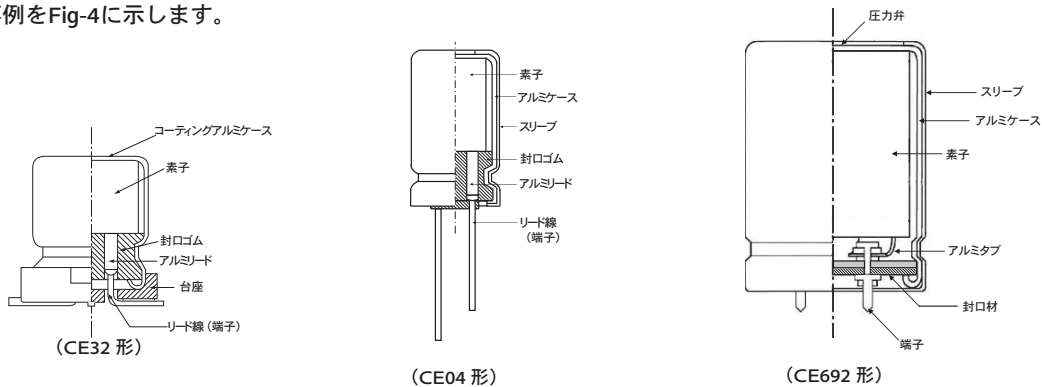


Fig-4 アルミ電解コンデンサの構造 (代表的形状の例)

1-3 構成材料の特長

アルミ電解コンデンサの主材料のアルミニウムは、アルミを陽極として、電解液中で電気をかけると表面に酸化皮膜 (Al_2O_3) が生成され、この酸化皮膜が誘電体として機能するコンデンサです。

酸化皮膜が形成されたアルミ箔はFig-5のように、電解液中では整流特性を持つ金属で、弁金属とされています。

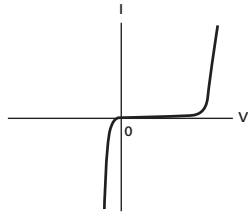


Fig-5 酸化アルミの V-I 特性

《陽極アルミ箔》

初めに、表面積拡大のために塩化物水溶液中で電気化学的にエッチング処理を行ないます。

次に、ホウ酸アンモニウムなどの水溶液中で定格電圧以上の電圧を印加 (化成処理) し、エッチングされたアルミ箔表面に電気化学的に誘電体となる酸化皮膜 (Al_2O_3) を形成します。この誘電体は、約 $1.1 \sim 1.5 \text{ nm/V}$ の非常に薄く緻密な皮膜であり、しかも高い絶縁性 ($10^8 \sim 10^9 \Omega/\text{m}$) を有しています。

酸化皮膜の厚さと耐圧は比例関係にあり、効率的な表面積拡大を図るために、定格電圧によってエッチングのピット形状を使い分けています。(Fig-6参照)

《陰極アルミ箔》

陽極アルミ箔と同様に表面はエッチング処理が施されていますが、一般的には、誘電体形成の処理 (化成処理) は行なっていません。このため、表面は自然酸化皮膜 (Al_2O_3) だけであり、耐圧は 0.5V 程度です。

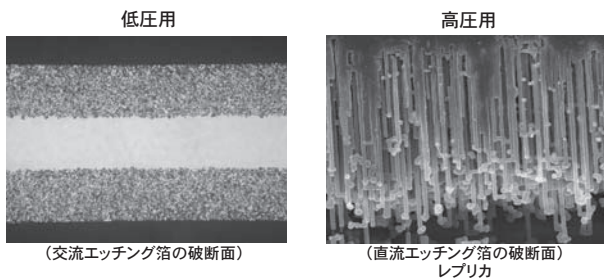


Fig-6 アルミエッチング箔断面の例 (SEM)

《電解液》

電解液はイオン伝導性の液体で、誘電体形成された箔表面に浸透し真の陰極の役割をします。陰極アルミ箔は、外部との接続のための集電電極の役目を果たしています。電解液はコンデンサの性能 (温度特性、周波数特性、寿命等) を決める重要な構成材料です。

《電解紙》

電解液を均一に保持し、かつ陽極箔と陰極箔の電極間距離を保つ機能を有します。

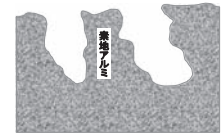
《ケース/封口材》

気密性保持のためアルミケースと、ゴムを主な材料とした封口材で封止されています。

1-4 製造工程

①エッチング (表面積拡大)

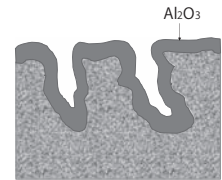
アルミ箔の表面積を拡大する工程をエッチング工程と言います。塩化物水溶液中で直流や交流電流で電気化学的にエッチング処理を行います。



エッチング模型図

②化成 (誘電体形成)

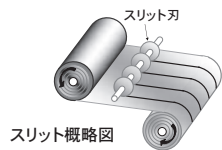
誘電体 (Al_2O_3) を形成する工程を化成工程と言います。化成箔は通常、陽極アルミ箔に用います。



化成模型図

③スリット

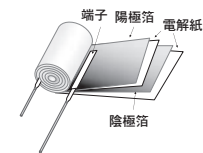
アルミ箔 (陽極と陰極)、電解紙を製品サイズ毎にスリットします。



スリット概略図

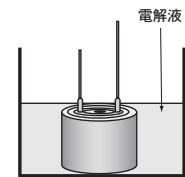
④巻込

陽極箔と陰極箔の間に電解紙を挿入して円筒形に巻き込みます。巻込工程において両アルミ箔に端子を引出すため、電極端子が接続されます。



⑤含浸

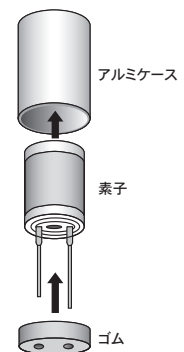
素子に陰極となる電解液を注入する工程を含浸と言います。電解液は誘電体の修復性も有しています。



含浸概略図

⑥封止

含浸された素子は気密性を保持するため、アルミケースと封口材 (ゴム、ゴム貼りベークなど) で封止します。



⑦エージング (再化成)

封止された製品に高温で電圧を印加する工程をエージングと言います。スリットや巻込などの工程で生じた箔の誘電体欠損部の修復を行ないます。

⑧全数検査, 包装

エージングされた製品は全数電気特性を検査し、包装 (チップ加工、端子加工、テーピング加工など) します。

⑨出荷検査

検査基準により出荷検査を行います。

⑩出荷

2. 基本性能

2-1 基本的電気特性

2-1-1 静電容量 (Cap…Capacitance)

電極の面積が大きいほど、静電容量（電気を貯める能力）は大きくなります。アルミ電解コンデンサの場合、静電容量は、20℃、120Hzを基準に0.5V程度の交流信号で測定されます。一般的に高温になると静電容量は大きくなり、低温になると小さくなる傾向にあります（Fig-7）。また周波数が高くなると静電容量は小さくなり、低くなると大きくなる傾向があります（Fig-8）。

2-1-2 損失角の正接 (tan δ …Dissipation Factor)

Fig-2の等価回路を簡略化すると、Fig-9になります。

等価直列抵抗R=0の理想コンデンサでは、Fig-10のδは0ですが、アルミ電解コンデンサは電解液の抵抗分・電解紙の抵抗分・その他の接触抵抗分等があるため等価直列抵抗値（R）が大きくなり、 $1/\omega C$ とRの関係はFig-10で表わされます。これを式で表すと、(2)式になります。

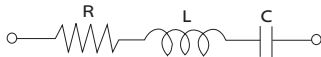


Fig-9 等価回路の簡略化

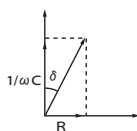


Fig-10 損失角の正接 (tan δ)

$$\tan \delta = \frac{R}{1/\omega C} = \omega CR \dots\dots\dots(2)$$

ω (オメガ) : $2\pi f$

π = 円周率、f : 周波数 (f=120Hz)

2-1-3 漏れ電流 (LC…Leakage Current)

アルミ電解コンデンサの特長として、電解液と接している誘電体である酸化皮膜は、DC電圧を印加することによって微小な電流が流れます。この微小電流を漏れ電流（LC）と言います。理想コンデンサでは漏れ電流は流れません（充電電流は別とする）。

この漏れ電流の時間変化は、Fig-12のようになります。このグラフより漏れ電流の値が時間の経過とともに小さくなり、安定していく事がわかります。従って漏れ電流の規格は、20℃で定格電圧を印加してから数分後の値で規定されています。漏れ電流は、温度が高くなると大きくなり、温度が低くなると小さくなります（Fig-13）。また、印加電圧に対しては、電圧を低くすると漏れ電流は小さくなる傾向にあります。

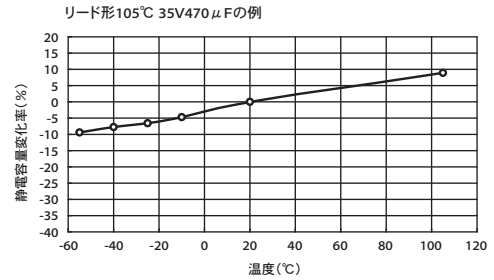


Fig-7 静電容量の温度特性

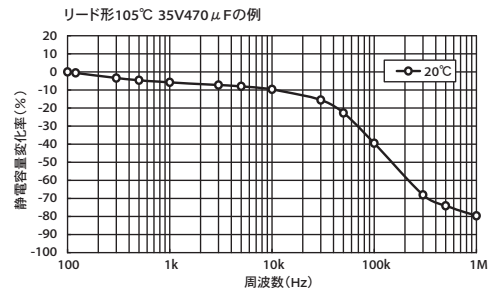


Fig-8 静電容量の周波数特性

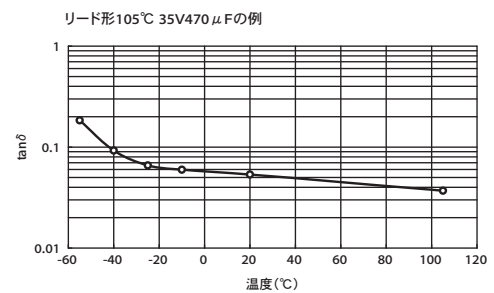


Fig-11 tan δ の温度特性

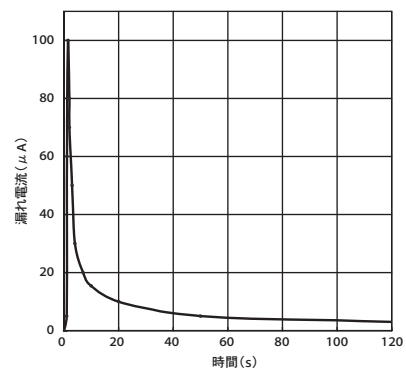


Fig-12 漏れ電流の時間変化

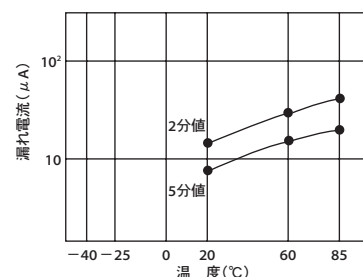


Fig-13 漏れ電流の温度特性

2-2 インピーダンスの周波数特性

コンデンサに印加する交流電圧の周波数を変化させると、交流電流を妨げる要因であるインピーダンス (Z) はFig-14のように変化します。この特性をインピーダンス-周波数特性と言います。

アルミ電解コンデンサの簡易的な等価回路はFig-9の通りで、インピーダンス-周波数特性をこの等価回路の成分 (C,R,L) ごとに分解したものがFig-14の破線です。このグラフから判るように、インピーダンス特性はC,R,Lの周波数特性を組み合わせた特性となっています。

$1/\omega C$ は、純粋な容量性リアクタンスで 45° の右下がりとなり、 ωL は、純粋な誘導性リアクタンスで 45° の右上がりとなります。Rは等価直列抵抗ESRで、周波数の低い領域では、周波数依存のある誘電体のロス分の影響が大きいため、右下がり傾向にありますが、周波数の高い領域では、周波数依存性のない電解液、電解紙の抵抗分が主体となるため、ほぼ一定の値となる傾向にあります。これを式で表すと、

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \dots\dots\dots(3)$$

となります。

アルミ電解コンデンサのインピーダンス特性は、R成分である電解液や電解紙の抵抗値に依存するため、Fig-15の実線のよう自己共振周波数でのZは比較的大きくなる傾向があります。また電解液の抵抗分は温度により変化し、インピーダンス特性は、Fig-16のように温度を高くすると小さくなり、温度を低くすると大きくなります。

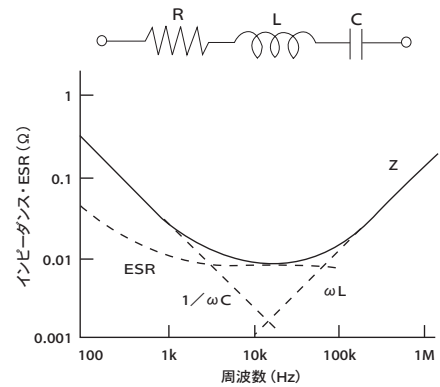


Fig-14 インピーダンス - 周波数特性の要素

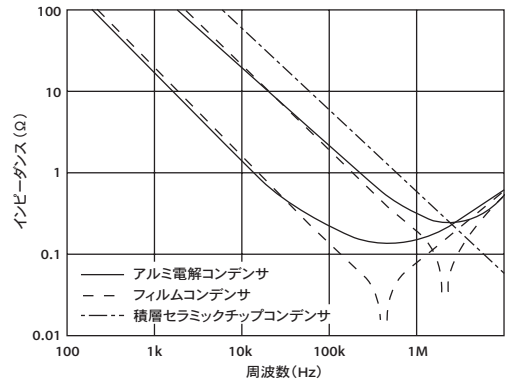


Fig-15 各コンデンサのインピーダンス - 周波数特性

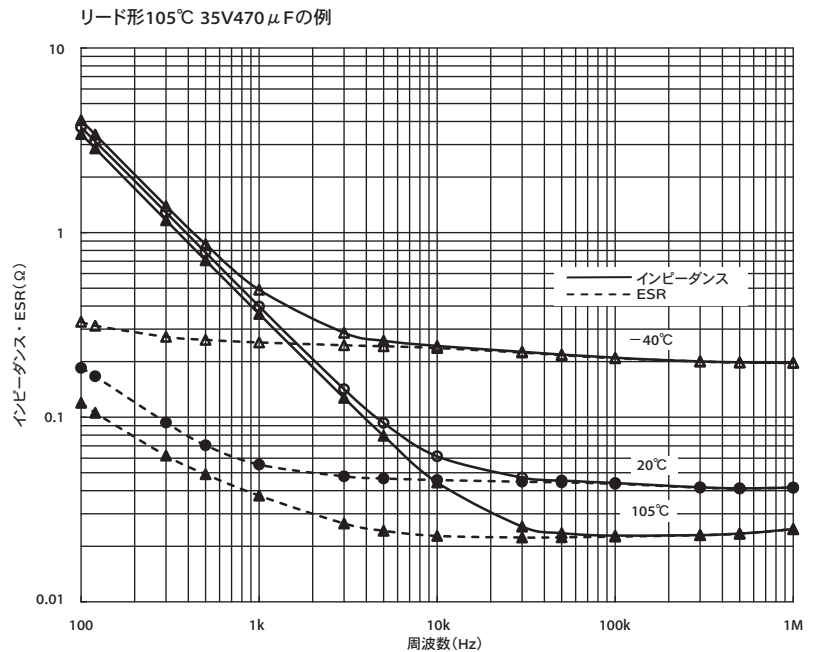


Fig-16 インピーダンス・ESRの周波数温度特性

3. 信頼性について

アルミ電解コンデンサを使用し機器を設計する場合、信頼性上、故障率と有効寿命に着目する必要があります。

アルミ電解コンデンサの故障率はFig-17バスタブ曲線に近似します。

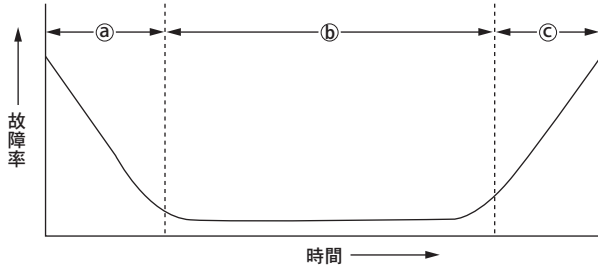


Fig-17 バスタブ曲線

- Ⓐ 初期故障期間
 使用開始後の比較的早い時期に設計、製造上の欠陥もしくは使用環境との不適合により生ずる故障期間です。アルミ電解コンデンサでは、製造工程においてデバッグされる不良で、製品が出荷される以前の故障です。
- Ⓑ 偶発故障期間
 故障の発生が低く安定しており、時間に無関係に故障が発生する期間です。アルミ電解コンデンサでは、半導体、タンタル固体電解コンデンサと比べてこの期間の破局故障が低いのが特長です。
- Ⓒ 摩耗故障期間
 特性が徐々に劣化して、時間とともに故障率が高くなる期間です。アルミ電解コンデンサは、製造を完了した時点から、含浸された電解液が封ゴムを透過し、時間とともに内部の電解液の蒸発が進み、静電容量または損失角の正接が規格値からはずれた段階で摩耗故障（寿命）に至ったと定義されます。摩耗故障に至るまでの期間が有効寿命となります。

アルミ電解コンデンサの故障形態は、破局故障と摩耗故障に分けられます。

《破局故障》

ショート、オープン等によりコンデンサの機能が完全に失われる故障形態です。

《摩耗故障》

特性が徐々に劣化して生ずる故障形態で、機器の使用目的により故障の判定基準が異なります。

判定基準は耐久性の項目

- ・静電容量の変化率
- ・損失角の正接
- ・漏れ電流

がシリーズごとに規定されています。

故障率の単位としては%/1000時間 (10^{-5} /時間) が最もよく用いられます。更に故障率の小さい高信頼性部品にはフィット(記号Fit) 10^{-9} 時間が使用されます。

アルミ電解コンデンサは、電気的特性が時間の経過と共に徐々に劣化し故障率が高くなる摩耗故障部品です。一般的に故障率(フィット)はトータルコンポーネントアワー(試料数×時間)で決まります。

アルミ電解コンデンサの場合、試料数が多くなった場合の故障率と、試験時間が長くなった場合の故障率では得られる値が等しくても、意味合いが異なります。従ってアルミ電解コンデンサの信頼性として故障率は馴染まず、電気的特性の判定基準に基いた寿命時間で信頼性を考慮する必要があります。

信頼性の尺度として使用される用語MTBF(平均故障間隔)とMTTF(故障までの平均時間)がありますが、アルミ電解コンデンサの場合は後者の修理しない系・機器・部品などに含まれるため、故障までの動作時間の平均値「MTTF□時間」で表します。

4. 故障モードについて

故障モードは、故障を誘発するいろいろな使用条件により異なります。(Fig-18)

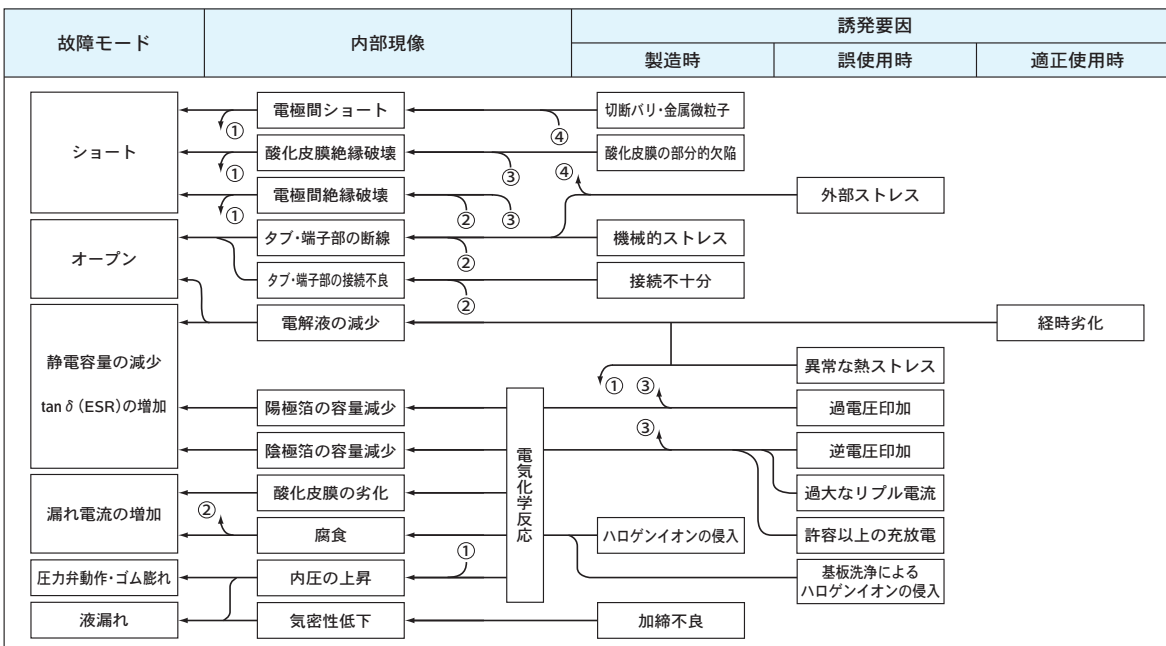


Fig-18 故障モード

5. アルミ電解コンデンサの寿命について

アルミ電解コンデンサの寿命は、使用条件により大きな影響をうけます。環境条件としては、温度、湿度、気圧、振動など、電気的条件下では、印加電圧、リプル電流、充放電などがあります。通常の平滑回路での使用では、温度とリプル電流による発熱が寿命を大きく決める要素となり、カタログまたは納入仕様書の中で、耐久性として表記しています。

また、高湿度、振動が連続的にかかる用途、充放電を頻繁に行う用途では、個々の条件での耐久性を考慮する必要があります。

5-1 周囲温度と寿命

アルミ電解コンデンサの寿命は、一般的に電解液が封口部を介し外部に蒸散する現象が支配的であり、静電容量の減少、損失角の正接の増大となって現れます。

電解液の蒸散速度と温度の関係は、アーレニウス則（(4)、(5)式）に従います。

$$k = A e^{\frac{-E}{RT}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\ln k = \left(\frac{-E}{RT} \right) + \ln A \dots\dots\dots(5)$$

- k : 反応速度定数
- A : 頻度因子
- E : 活性化エネルギー
- R : 気体定数 (8.31J/deg)
- T : 絶対温度 (K)

上記(5)式をアルミ電解コンデンサの寿命に当てはめると、(6)式となり、(7)式に変換されます。

$$\log \left(\frac{L_x}{L_o} \right) = \frac{E}{2.303R} \left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_o} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$\log L_x = \frac{E}{2.303R} \left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_o} \right) + \log L_o \dots\dots\dots(7)$$

- L_o : 温度T_oの時の寿命 (hours)
- L_x : 温度T_xの時の寿命 (hours)
- T_o : 製品のカテゴリ上限温度 (K)
- T_x : 実使用時の周囲温度 (K)

実際の寿命推定は、近似的に(8)式を用いています。

$$L_x = L_o \cdot Bt^{(T_o - T_x)/10} \dots\dots\dots(8)$$

- L_o : カテゴリ上限温度において、定格電圧印加または定格リプル電流重畳時の規定寿命 (hours)
(各製品の耐久性規定時間。)
- L_x : 実使用時の推定寿命 (hours)
- T_o : 製品のカテゴリ上限温度 (°C)
- T_x : 実使用時の周囲温度 (°C)
- Bt : 温度加速係数

ここで、温度加速係数Btは、60~95°Cでは約2となり10°C2倍則として用いられています。ただし、アーレニウス式(6)では絶対温度の逆数1/Tと寿命の対数との間に直線関係が成り立つため、厳密には10°C2倍則で近似しない温度範囲があります。(Fig-19)

特に105°Cを超える温度保証の製品の寿命推定は、温度加速係数Btを推定する温度範囲によって係数を変える必要があります。実際の寿命計算については別途お問い合わせ下さい。

また、低温側での寿命については、実際の評価データが無いことや長期間の耐久については、電解液の蒸散以外に封口材劣化など別の要素を考慮する必要が有るため、T_xは40°Cを下限とし、かつ15年を推定寿命の上限として下さい。

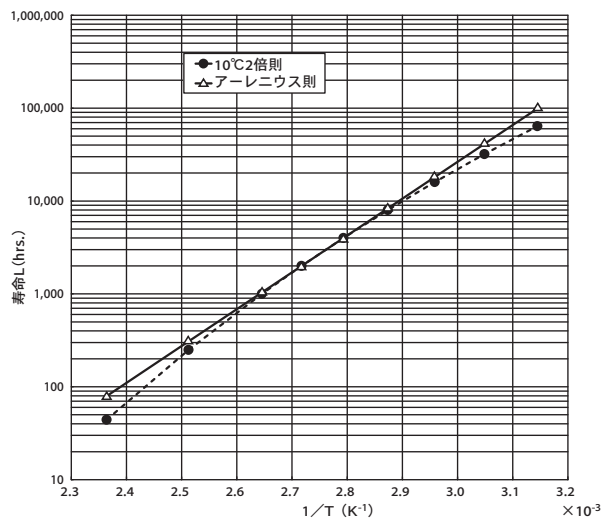


Fig-19 アーレニウス則と10°C2倍則の寿命計算結果

5-2 印加電圧と寿命

定格電圧以下で使用する場合、一般的には印加電圧による寿命の差は少なく、周囲温度やリプル電流による発熱の影響と比べると、印加電圧の寿命への影響は無視できるレベルです。(Fig-20)

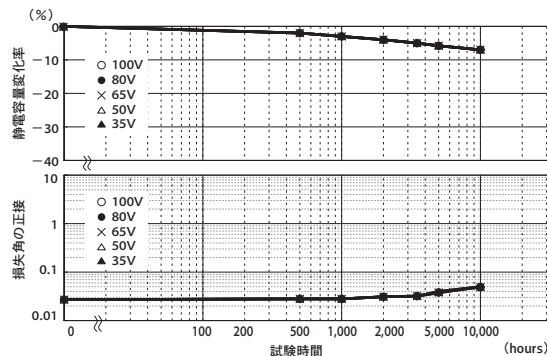


Fig-20 耐久性 (電圧パラメータ)

(注) 印加電圧による差異が少ないためプロットが重なっています。

ただし、サイズが大きく高耐圧の製品では、電解液の搭載量も多いため、温度による電解液の蒸散以外に、印加電圧による酸化皮膜の劣化の要素も無視できなくなります。

よって、定格電圧350Vdc以上の一部ネジ端子品では、印加電圧軽減による要素を寿命推定に盛り込んでいます。

5-3 リプル電流と寿命

アルミ電解コンデンサは他のコンデンサと比べ損失が大きいため、リプル電流により内部発熱します。リプル電流による発熱は温度上昇をとまなうため、寿命に大きな影響を与えます。

したがって製品ごとに定格リプル電流を設定しています。

5-3-1 リプル電流と発熱

リプル電流印加時における消費電力は次式で表されます。

$$W = I_R^2 R + V_L I_L \dots\dots\dots (9)$$

- W : 内部での消費電力
- I_R : リプル電流
- R : 内部抵抗 (等価直列抵抗)
- V : 印加電圧
- I_L : 漏れ電流

漏れ電流I_Lは最高使用温度で20℃の値の5~10倍程度に増加しますが、I_R ≫ I_Lであるため、(10)式となります。

$$W \approx I_R^2 R \dots\dots\dots (10)$$

発熱と放熱による温度が平衡に達する条件を求めると、

$$I_R^2 R = \beta A \Delta T \dots\dots\dots (11)$$

- β : 放熱定数
- A : ケース表面積 (m²)
- ΔT : リプル電流による自己温度上昇 (℃)

$$A = \frac{\pi}{4} D(D + 4L)$$

- D : ケースの直径 (m)
- L : ケースの長さ (m)

となり、自己温度上昇ΔTは(12)式となります。

$$\Delta T = \frac{I_R^2 R}{\beta A} \dots\dots\dots (12)$$

また、リプル電流が120Hzの場合の自己温度上昇は(12)式から(13)式として表されます。

$$\Delta T = \frac{I_R^2 R}{\beta A} = \frac{I_R^2 \tan \delta}{\beta A \omega C} \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{ここで } R = \frac{\tan \delta}{\omega C}$$

- tan δ : 120Hzにおける損失角の正接
- ω : 2πf (fは120Hz)
- C : 120Hzにおける静電容量 (F)

リプル電流によるおおよその自己温度上昇ΔTは(14)式でも算出可能です。

$$\Delta T = (I_x/I_o)^2 \times \Delta T_o \dots\dots\dots (14)$$

- I_o : カテゴリ上限温度での周波数補正された定格リプル電流 (Arms)
- I_x : 実使用時のリプル電流 (Arms)
- ΔT_o : 定格リプル電流重畳時の自己温度上昇 (℃) シリーズごとに異なります。別途お問い合わせ下さい。

周囲温度Txを下げることで定格リプル電流以上の電流を印加することが可能なシリーズがありますが、自己温度上昇ΔTが高くなるため寿命は短くなります。ΔTは各周囲温度ごとに定められた限界値がありますのでこれを越えないようにご使用下さい。また、素子中心温度の限界値は『Tx + ΔT限界値』です。各周囲温度でのΔT限界値の一例を下表に示します。

| | | |
|--------|-------|------|
| 周囲温度Tx | 85℃以下 | 105℃ |
| ΔT限界値 | 15℃ | 5℃ |

ΔT限界値はシリーズごとに異なりますので、別途お問い合わせ下さい。

5-3-2 リプル電流と周波数

通常、定格リプル電流値は120Hzまたは100kHzの正弦波の実効値で規格化されておりますが、等価直列抵抗ESRが周波

数特性をもつため、周波数によって許容できるリプル電流値が異なります。スイッチング電源のように、アルミ電解コンデンサに商用電源周波数成分とスイッチング周波数成分が重畳されるような場合、内部消費電力は、(15)式で示されます。

$$W = I_{f1}^2 R_{f1} + I_{f2}^2 R_{f2} + \dots\dots\dots I_{fn}^2 R_{fn} \dots\dots\dots (15)$$

- W : 消費電力
- I_{f1}, I_{f2}, …, I_{fn} : それぞれ周波数f₁, f₂, …, f_nにおけるリプル電流値 (Arms)
- R_{f1}, R_{f2}, …, R_{fn} : それぞれ周波数f₁, f₂, …, f_nにおける等価直列抵抗値 (Ω)

各周波数における周波数補正係数をF_nとし、foをリプル電流の基準となる周波数とすると、R_{fn} = R_{fo}/F_{fn}²の関係が成立するため、各周波数成分のリプル電流値を基準となる周波数のリプル電流実効値I_{fo}に換算するには(16)式を用います。

$$I_{fo} = \sqrt{(I_{f1}/F_{f1})^2 + (I_{f2}/F_{f2})^2 + \dots\dots\dots (I_{fn}/F_{fn})^2} \dots\dots\dots (16)$$

- I_{fo} : 基準となる周波数に換算したリプル電流値 (Arms)
- F_{f1}, F_{f2}, …, F_{fn} : それぞれ周波数f₁, f₂, …, f_nにおける周波数補正係数

なお等価直列抵抗は温度によって、βは基板装着状態によって値が変化します。より正確なΔTを求めるには、熱電対による実測を推奨します。

5-3-3 推定寿命式

周囲温度、リプル電流による自己温度上昇と印加電圧の影響を考慮した推定寿命式は、一般に(17)~(19)式で表されます。

●チップ形、リード形：定格電圧印加で耐久性を規定している場合

$$L_x = L_o \times 2^{\frac{T_o - T_x}{10}} \times 2^{\frac{-\Delta T}{5}} \dots\dots\dots (17)$$

●チップ形、リード形：定格リプル電流重畳で耐久性を規定している場合

$$L_x = L_r \times 2^{\frac{T_o - T_x}{10}} \times 2^{\frac{\Delta T_o - \Delta T}{5}} \dots\dots\dots (18)$$

●基板自立形、ネジ端子形の場合

$$L_x = L_r \times 2^{\frac{K_i(T_o - T_x)}{10}} \times 2^{\frac{\Delta T_o - \Delta T}{A}} \times K_v \dots\dots\dots (19)$$

- L_o : カテゴリ上限温度において、定格電圧印加時の規定寿命 (hours)
- L_r : カテゴリ上限温度において、定格リプル電流重畳時の規定寿命 (hours)
- L_x : 実使用時の推定寿命 (hours)
- T_o : 製品のカテゴリ上限温度 (℃)
- T_x : 実使用時の周囲温度 (℃) 40℃以下は、40℃として寿命推定して下さい。
- ΔT : リプル電流重畳による自己温度上昇 (℃)
- ※ΔT_o : 定格リプル電流重畳時の自己温度上昇 (℃)
- ※K_t : 周囲温度加速の補正係数
- ※K_v : 電圧軽減率 (基板自立形160V_{dc}未満、ネジ端子形350V_{dc}未満は1)
- ※A : リプル電流重畳による自己温度上昇加速係数 (使用条件によって異なります。)

※につきましては別途お問い合わせ下さい。

カテゴリ上限温度が125℃以上の製品の推定寿命式は、別途お問い合わせ下さい。

対象シリーズ：MXB, MHS, MVH, MHL, MHB, MHJ, MHK, GPA, GVA, GXF, GXL, GPD, GVD, GQB, GXA

推定寿命式で計算された結果は保証値ではありませんのでご注意ください。コンデンサ検討の際には機器の設計寿命に対し十分余裕のある物を選定して下さい。また、推定寿命式で計算された結果が15年を超える場合は、15年が上限となります。推定寿命15年以上をご検討される場合は、別途お問い合わせ下さい。

5-4 充放電と寿命

アルミ電解コンデンサへ電圧を印加すると陽極箔の誘電体に電荷が蓄積されます。放電抵抗を通じて放電した場合、陽極箔側に蓄積された電荷が陰極箔に移動します。この際、移動した電荷により陰極箔でアルミと電解液による化学反応（誘電体形成）が起きます。

このような充放電を繰り返した場合、化学反応が進行し陰極箔容量は減少しコンデンサの容量も減少していきます。また、発熱・ガスも伴います。充放電条件によっては、内圧が上昇し圧力弁作動または破壊に至る場合があります。アルミ電解コンデンサを以下の用途でご使用頂く際はご相談下さい。

- ・ 頻繁に電源のON/OFFする回路
- ・ 周期の早い急速充放電を繰り返す回路
- ・ 電圧変動の大きな充放電を繰り返す回路

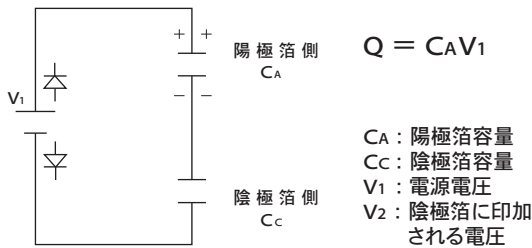


Fig-21 充電時の電荷の状態

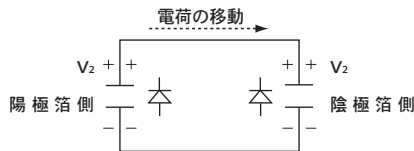


Fig-22 放電時の電荷の状態
(電源 V1 を外し、放電した状態)

$$Q = CA V_2 + CC V_2$$

よって、 $CA V_1 = CA V_2 + CC V_2$

$$V_2 = \frac{CA V_1}{CA + CC} \dots\dots\dots (20)$$

一般品と充放電用特殊品の比較データをFig23～25に示します。

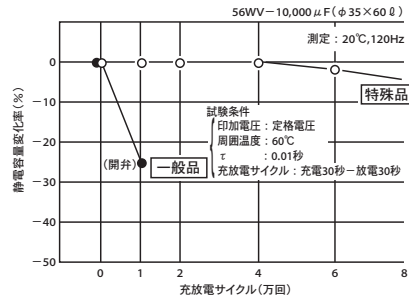


Fig-23 急充放電特性 (充放電回数の影響)

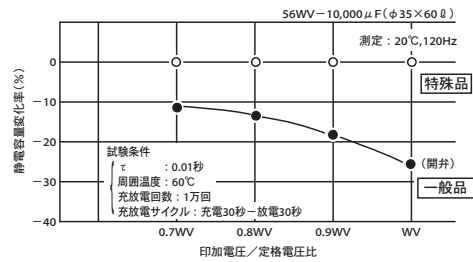


Fig-24 急充放電特性 (印加電圧の影響)

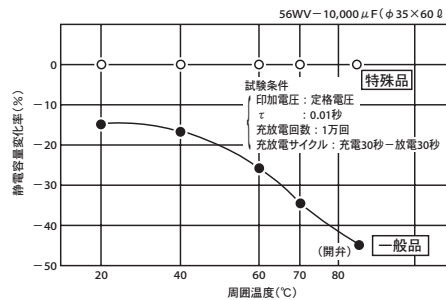


Fig-25 急充放電特性 (周囲温度の影響)

5-5 ラッシュ電流について

電源の起動時や溶接機の充電開始時に流れるラッシュ（突入）電流はmsec単位ですが、電流は通常使用時の10～1000倍になることがあります。一般に単発のラッシュ電流は、その時間内での発熱エネルギーが微小であるため、問題になりません。但し、頻繁な繰り返しを行う場合は過りプル電流重量と同様、素子の発熱が許容値を超えたり、外部端子の接続部やコンデンサ内部の引出しリードと箔の接続部で、異常発熱が起こることがあるため注意が必要です。

5-6 異常電圧と寿命

異常電圧の印加は発熱およびガス発生に伴う内圧上昇が生じ、圧力弁作動または破壊に至る場合があります。

5-6-1 過電圧の場合

定格電圧を超える過電圧を印加すると、陽極箔で化学反応（誘電体形成反応）が起きます。その際、漏れ電流が急激に増大することにより、発熱・ガス発生に伴う内圧上昇が生じます。

この反応は印加電圧・電流密度・環境温度によって加速され、圧力弁作動または破壊に至る場合があります。また、静電容量の減少、損失角の増加、漏れ電流の増加を伴い内部ショートとなる可能性があります。過電圧印加特性の一例はFig-26を参照下さい。

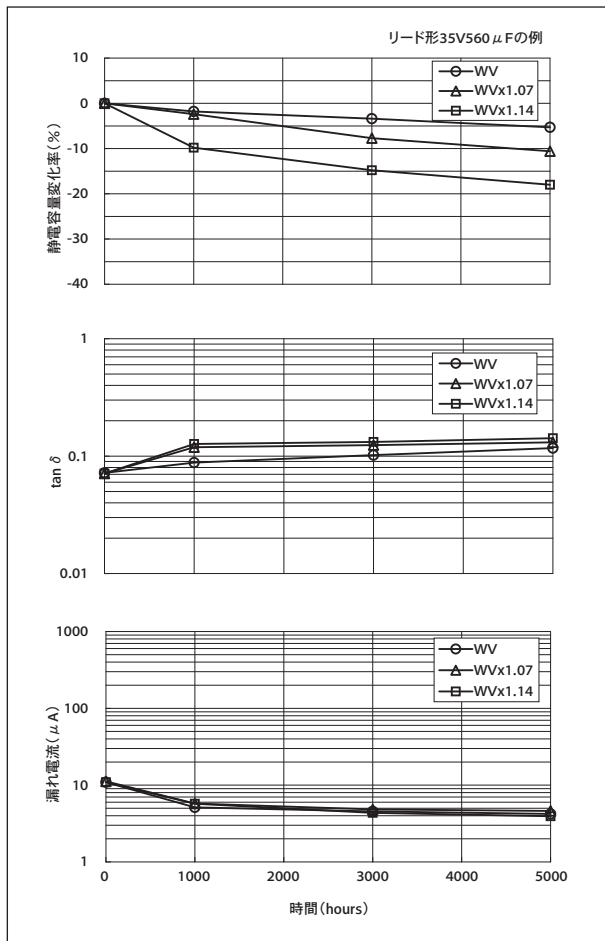


Fig-26 105°C過電圧印加特性

5-6-2 逆電圧の場合

逆電圧を印加すると、陰極箔で化学反応（誘電体形成反応）が起こり、過電圧の場合と同様に漏れ電流が増大し、発熱・ガス発生に伴う内圧上昇が生じます。

この反応は印加電圧・電流密度・環境温度によって加速され、静電容量の減少、損失角の増加、漏れ電流の増加を伴います。逆電圧印加特性の一例はFig-27を参照下さい。

印加される電圧が1V程度の場合でも、静電容量が減少します。逆電圧が2~3Vの場合は、静電容量の減少、損失角の増大、漏れ電流の増大により寿命は短くなり、更に逆電圧が高い場合は、圧力弁作動または破壊に至る場合があります。(Fig-27)

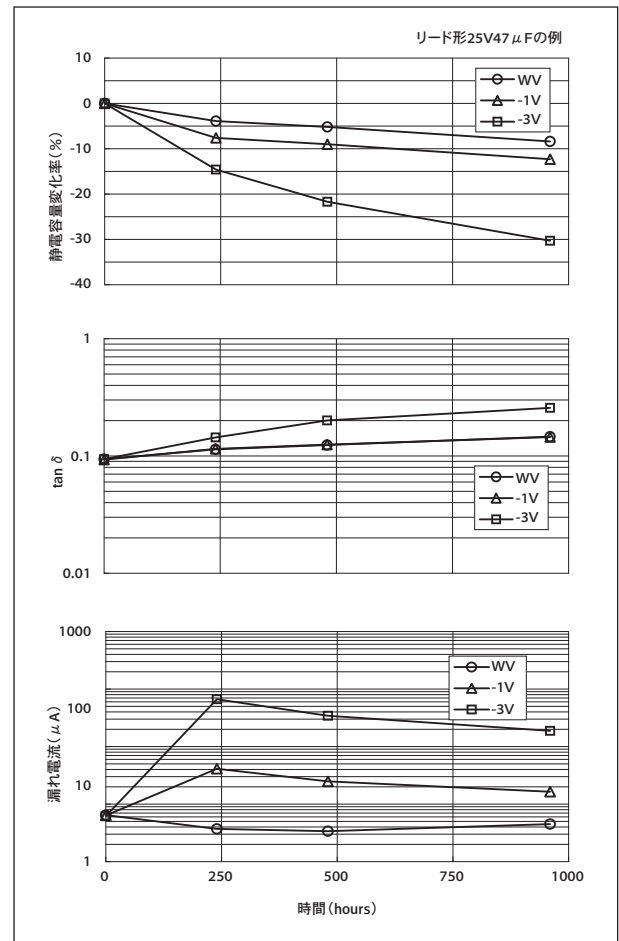


Fig-27 105°C逆電圧印加特性

5-6-3 交流回路への使用

アルミ電解コンデンサを交流回路に使用した場合、陰極に電位がかかること及び過大リップル電流が流れたことと同じ状況となるため、内部で発熱・ガス発生に伴う内圧上昇が生じ圧力弁作動や封口部からの電解液漏れ、最悪の場合、爆発や発火に至る場合があります。さらにコンデンサの破壊とともに可燃物（電解液と素子固定材など）が外部に飛散する場合があります、電氣的にショート状態に至ることもあります。交流回路には使用しないで下さい。

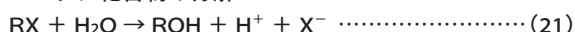
6. ハロゲンの影響について

アルミ電解コンデンサは使用している電解液、封口材料等により、程度の差はありますがハロゲンイオン（特に塩素、臭素イオン）に弱いため注意が必要です。

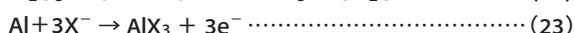
ハロゲン化合物などを含有するフラックス・溶剤（洗浄剤、固定剤、コーティング剤）・燻蒸剤を使用した場合、コンデンサの封口部を通してハロゲン化合物がコンデンサの中に浸透し以下のような腐食反応が起こります。この腐食反応によって漏れ電流の増加、圧力弁作動、オープンなどの不具合に至る場合があります。この腐食反応は、印加電圧および、温度が高いほど加速されます。

〔腐食反応〕

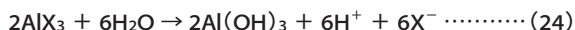
a) ハロゲン化合物の分解



b) 腐食反応



↓



RX：ハロゲン化合物

X⁻：ハロゲンイオン（Cl⁻、F⁻、Br⁻等）

コンデンサ素子中に浸透したハロゲン化合物は、(21)式で表示通り電解液と接触し加水分解してハロゲンイオンを遊離します。ハロゲンイオンは酸化アルミ及びアルミと反応してAlX₃を生成し（(22)、(23)式）、さらに、AlX₃は加水分解して水酸化アルミを生成します（(24)式）。(24)式で生成されたハロゲンイオンは（(22）～（24）式の反応を繰り返し腐食が進行します。

以下に、フラックスの使用、推奨洗浄剤、固定剤・コーティング剤の使用、燻蒸処理についての注意点を記します。

6-1 フラックスの影響

普通、フラックスは活性剤として、コンデンサに腐食を起こすイオン性ハロゲン化合物を配合していますが、最近では“ノンハロゲン”または“ハロゲンフリー”と称するフラックスの中に非イオン性ハロゲン化合物活性剤を配合する例が増えています。ノンハロゲンフラックスの中にはイオン性ハロゲンは含まないものの、非イオン性ハロゲン化合物が多量に含まれているものもあり、コンデンサに悪影響を与える可能性があります。

6-2 洗浄剤について

洗浄保証されたアルミ電解コンデンサを洗浄する際は、次の内容を確認して下さい。

- a. 洗浄剤の汚染管理（電導度、pH、比重、水分量など）をして下さい。
- b. 洗浄後、洗浄液の雰囲気中または密閉容器の中で保管しないで下さい。また、プリント配線板及び電解コンデンサに洗浄液が残留しないように（カテゴリ上限温度以下の）熱風で10分間以上十分に乾燥させて下さい。
一般のアルミ電解コンデンサはハロゲンイオンに弱く（特に塩素イオン）、使用している電解液、封口材料などにより程度の差はありますが、一定以上のハロゲンイオンが内部に侵入すると、使用中に腐食反応を起こし大幅な漏れ電流増加、発熱、圧力弁作動、オープンなどの破壊故障に至ります。
最近の地球環境問題（オゾン層破壊による地球の温暖化、環境破壊）により、従来使用されていたフロン113（フレオンなど）、トリクレン、1,1,1-トリクロロエタンに代わる次の新溶剤で洗浄される場合、許容洗浄条件の範囲内として下さい。

6-2-1 アルコール系

①高級アルコール系（新溶剤）

バイナルファST100S（荒川化学工業）

クリンスルー750H, 750HS, 750J（花王）

②IPA（イソプロピルアルコール）

〔対象製品〕

| 端子形状 | 対象シリーズ |
|-------|-----------------|
| チップ形 | 全シリーズ |
| リード形 | 全シリーズ |
| 基板自立形 | 全シリーズ(100Vdc以下) |

〔許容洗浄条件〕

温度60℃以下、10分間以内の液中浸漬または超音波洗浄とする。

〔注意事項〕

- a. 他の部品・基板でコンデンサ表面の表示部分がこすられない事。また、液中シャワー洗浄はコンデンサ表示部分に悪影響を与える可能性があります。
- b. 洗浄方法によって製品表示消え、表示のにじみ等が発生する場合があります。
- c. 最終洗浄工程に水洗浄を行った場合、乾燥工程でスリーブ膨れや収縮を生じる場合があります。
- d. 弱アルカリ性の溶剤（クリンスルー750HS、750J等）は、最終洗浄工程でアルカリ成分が残留しない条件管理が必要になります。
- e. 洗浄剤に対するフラックス濃度は2wt%以下で管理願います。
- f. IPA（イソプロピルアルコール）は、アルコールの洗浄性を上げるため、キシレン等を混ぜて洗浄される場合、コンデンサ封口部を膨潤させることがありますのでご注意下さい。
- g. 使用される洗浄剤やその条件によっては、スリーブ表面の光沢消失や白色化等の表面変化が発生する場合がありますのでご注意下さい。

6-2-2 HCFC代替フロン（フロン225）

AK225AES（旭硝子）

〔許容洗浄条件〕

許容洗浄条件としては浸漬、超音波のいずれかの方法で5分間以内（KREは2分間以内、SRMは3分以内）となります。HCFC代替フロンは地球環境問題の観点から推奨していません。

〔対象製品〕

| 端子形状 | 対象シリーズ |
|------|--|
| チップ形 | MVE(~63Vdc), MZS, MZL, MZR, MZJ, MZA, MVY(6.3 ~ 63Vdc), MZF, MZE, MZK, MLA, MLF, MLE, MLK, MVL, MVJ, MHS, MVH(~50Vdc), MHL, MHB, MHJ, MXB, MHK |
| リード形 | SRG, KRG, KMQ(~100Vdc), LZA, LXZ, LXV, LXV, LE, GPA, GVA, GXF, GXL, GPD, GVD, GQB, Lbv, LBG |

コンデンサを基板に密着してご使用される場合、コンデンサと基板面との間に洗浄液が残留する事がありますので、洗浄直後に50～85℃の熱風乾燥を10分間以上実施し、洗浄液が封口部に残らないようにして下さい。

6-2-3 その他の溶剤について

以下の洗浄剤で洗浄しないで下さい。コンデンサが次の不具合に至る場合があります。

- ・ハロゲン系 → 電解コンデンサの電蝕による故障
- ・アルカリ系 → アルミケースの腐食（溶解）
- ・テルペン系・石油系 → 封口ゴムの劣化
- ・キシレン・トルエン → 封口ゴムの劣化
- ・アセトン → 表示の消失

6-3 固定剤、コーティング剤について

アルミ電解コンデンサに対して、固定剤・コーティング剤を使用する際は、次の内容を確認して下さい。

- ハロゲン系溶剤などを含有する固定剤、コーティング剤は使用しないで下さい。
- プリント回路板とコンデンサ封口部との間にフラックス残渣及び汚れが残らないようにして下さい。
- 固定剤・コーティング剤を付着させる前に洗浄剤を乾燥させて下さい。また封口部の全面を塞がないで下さい。
- 熱硬化条件によっては、スリーブ膨れや収縮が生じる場合があります。固定剤・コーティング剤の熱硬化条件をご相談下さい。
- アルミ非固体電解コンデンサの封口部を完全に樹脂モールドした場合、コンデンサ内部の内圧を適度に逃すことができないため、危険な状態になることが考えられます。また、樹脂中にハロゲンイオンが多い場合、その成分が封口ゴムを通して内部に侵入し、不具合を発生させることがありますので、ご注意下さい。
- 固定剤、コーティング剤に使用されている溶剤の種類に

よってはスリーブ表面の光沢消失や白色化等の表面変化が発生する場合がありますので、ご注意下さい。

- 固定剤、コーティング剤にキシレン等の有機溶剤が含有されている場合があります。この溶剤は封口ゴムを劣化させる可能性があり、フラックス成分がコンデンサ内部へ侵入し易くなりますので、ご注意下さい。

6-4 燻蒸の影響について

電子機器類の輸出入に際し、臭化メチル等のハロゲン化合物で燻蒸処理が施される場合があります。この場合、アルミ電解コンデンサが臭化メチル等のハロゲン化合物に触れるとハロゲンイオンによる腐食反応を起こす危険性があります。

当社では輸出入に際して、燻蒸処理が不要となるように梱包方法等に配慮しています。お客様での電子機器製品、半製品及びアルミ電解コンデンサ単体の輸出入に際し、燻蒸処理の有無、梱包の最終形態等についてご注意下さい。(段ボール、ビニール等による梱包でも、燻蒸ガスが内部に侵入する危険性があります。)

7. 再起電圧について

アルミ電解コンデンサを充電し端子間を短絡させた後、開放しておくと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。この時の電圧を再起電圧と言います。この現象が生じる推定メカニズムは、次のように考えられます。

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て、誘電体表面に印加された電圧と正負反対に帯電します。(分極作用)

この分極作用には、非常に早く生じるものと、ゆっくり生じるものがあるため、電圧を印加した後、端子間の電圧が0になるまで放電し、端子間を開放しておくとしばらくして分極の遅いものの電位が端子間に現れて再起電圧を生じます。(Fig-28)

再起電圧の時間変化は、Fig-29の通りであり、両端子開放後約10~20日ぐらいがピークになりそれ以降徐々に低下してきます。また、大形品(ネジ端子形、基板自立形)ほど再起電力の値が大きくなる傾向があります。

再起電圧が発生後、不意に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CPU、メモリー等の低電圧駆動素子が破壊される危険性があります。その防止方法は、ご使用前に100~1kΩ程度の抵抗器で溜まっている電荷を放電して下さい。また弊社にて対応することも可能ですので、ご相談下さい。

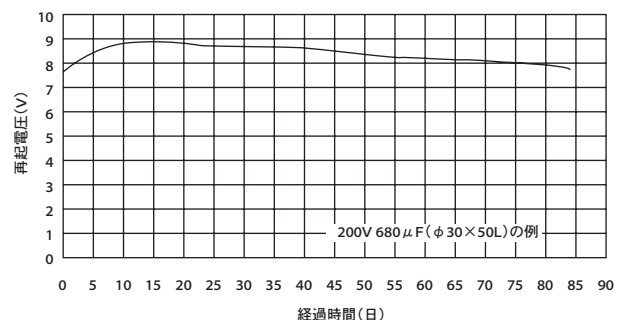
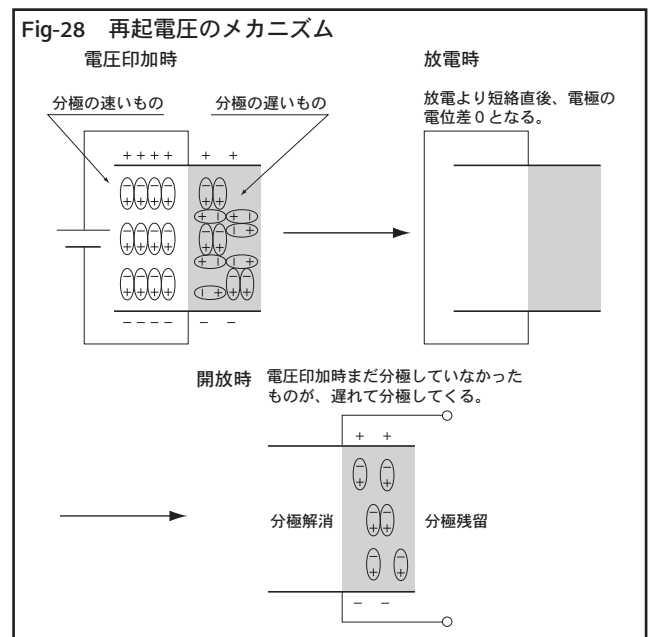


Fig-29 再起電圧の変化

8. 保管について

アルミ電解コンデンサの諸特性には温度依存性がありますので、温度が高くなる程劣化が激しく、漏れ電流、損失角の正接の増大、静電容量の減少の進行度が速くなります。また、湿度の高い場所に長時間放置されますと、リード線や端子が変色したり、はんだ付け性が悪くなる事があります。アルミ電解コンデンサの保管は、常温、常湿で直射日光の当たらない場所を選択して下さい。

高温（常温を越える温度）雰囲気中に長時間放置しておきますと、陽極箔の酸化皮膜と電解液が化学反応を起こし、耐電圧を低下させ、漏れ電流が増加する傾向にあります。このような製品に定格電圧を印加しますと、大きな漏れ電流による内部発熱で絶縁破壊を起こし、圧力弁作動に至る事があります。

長期間放置された製品は、電圧処理（注-1）を行ないますと、電解液により酸化皮膜が修復され、漏れ電流は放置前のレベルに戻りますので、電圧処理をお勧めします。漏れ電流の増加は製品の耐電圧により異なり、一般的に定格電圧が高いほど増大する傾向にあります。また放置期間が長くなると製品の寿命に影響を及ぼす可能性がありますので、機器の期待寿命は保管期間を考慮してご使用願います。

（注-1）電圧処理をする場合は、コンデンサに直列保護抵抗（約1kΩ）を介して、30～60分間定格電圧を印加して下さい。

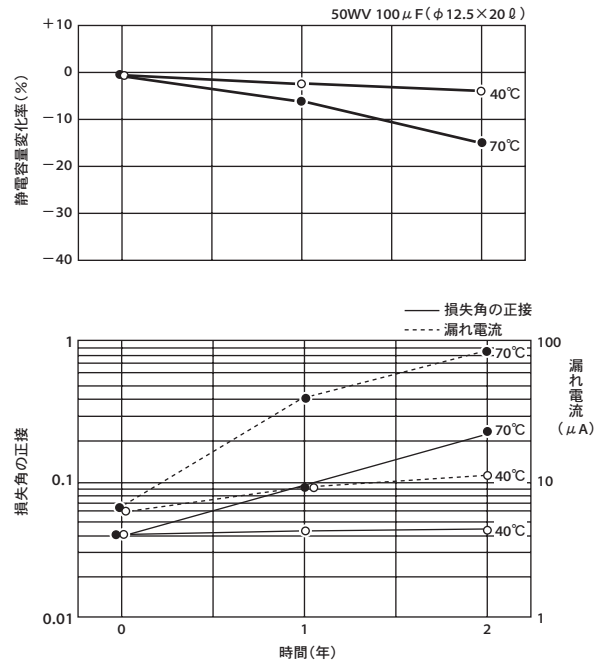


Fig-30 放置特性（温度パラメータ）

9. 使用用途別の製品選定のポイント

アルミ電解コンデンサは主に電源の平滑用としてご使用頂いていますが、用途によって選定のポイントがあります。それぞれに見合った特性を持つアルミ電解コンデンサを選定して下さい。以下に代表的な事例を紹介します。

9-1 スイッチングレギュレータ入力平滑用

入力平滑用コンデンサは整流回路の後に入って50Hz～120Hzの整流波形を平滑します。また後段のスイッチング回路へ直接電力を供給するため、スイッチング周波数のリップルも重畳されます。よって、リップル電流は、双方の周波数を考慮する必要があります。コンデンサのESRは周波数特性を持っており、リップル電流値が同じでも周波数によって発熱は異なります。

PFC電源や照明用バラストなどの場合、主に数十kHz～100kHzのリップル電流が重畳されるため、インピーダンス特性に注意して製品を選択する必要があります。

●スイッチングレギュレータ入力平滑用代表シリーズ

| 形状 | 85℃ | | 105℃ | | |
|-------|-----|------|------|---------|---------|
| | 標準品 | 長寿命品 | 標準品 | 小形品 | 長寿命品 |
| リード形 | — | — | KMQ | PAG | KXJ |
| 基板自立形 | SMQ | SMM | KMQ | KMS,KMR | LXS,LXM |

9-2 スイッチングレギュレータ出力平滑用

出力平滑用コンデンサは、100kHz前後のリップル電流が重畳されるため、高周波でのインピーダンス特性に優れた製品が用意されています。また、目的に応じて広温度タイプ、長寿命タイプの中から選択することが可能です。

広温度タイプの製品は、長寿命タイプと比較して耐久性保証時間は短くなりますが、温度による電気的特性の変化は安定しています。使用温度範囲が-55～105℃や-40～125℃のタイプがあります。長寿命タイプの製品は、低インピーダンス・長寿命に特化して開発した製品です。広温度タイプと比較して低インピーダンスで長寿命となりますが、製品群としては105℃タイプが上限です。また、温度による電気的特性の変化も大きくなります。

●スイッチングレギュレータ出力平滑用代表シリーズ

| タイプ | 105℃ | | 125℃ |
|--------|------|-----|------|
| | 標準品 | 低Z品 | 高温度品 |
| 広温度タイプ | LXY | LZA | GPA |
| 長寿命タイプ | KYB | KZN | — |

9-3 インバータ主回路平滑用

インバータ主回路平滑用コンデンサは、入力平滑用コンデンサと同様な使われ方となりますが、以下のポイントも考慮をお願いします。

AC400V入力の平滑回路に使用する場合、定格電圧350～400V_{dc}の製品を2個直列で使用することがあります。直列接続で使用した場合、過渡的には静電容量値に応じて、充電が完了した後は漏れ電流値に応じて、それぞれのコンデンサに印加される電圧が決定します。充電完了後の印加電圧が定格電圧を越えないようにするために、バランス抵抗をコンデンサと並列に接続して下さい。バランス抵抗選定方法についてはお問合せ下さい。

コンデンサを常時充放電で使用する場合は、バランス抵抗を接続しても、静電容量のバラツキによりそれぞれのコンデンサの充電電圧が決定しますので、電圧バランスを保つことが難しくなります。サーボアンプなどのように頻繁に回生による電圧変動が繰り返される場合は、充放電を考慮した推奨シリーズをご使用いただくか、個別に仕様の検討が必要となります。

●インバータ主回路平滑用代表シリーズ

| 形状 | 85℃ | | 105℃ | |
|-------|-----|---------|------|---------|
| | 標準品 | 長寿命品 | 標準品 | 長寿命品 |
| 基板自立形 | SMQ | SMM | KMQ | LXS,LXM |
| ネジ端子形 | RWE | RWF,RWH | KMH | LXA,LXR |

●サーボアンプ用代表シリーズ

| 形状 | 85℃ | 105℃ |
|-------|-------|------|
| | 基板自立形 | — |
| ネジ端子形 | RWV | — |