

1. アルミニウム電解コンデンサの概要

1-1 アルミニウム電解コンデンサの原理

アルミニウム電解コンデンサは、陽極用高純度アルミニウム箔表面に形成された酸化皮膜を誘電体として、陰極用アルミニウム箔、電解液、コンデンサ紙（電解紙）から構成されます。

酸化皮膜は電解酸化（化成）によって形成され、極めて薄く整流性を持ちます。また高純度アルミニウム箔を粗面化（エッチング）し、実効表面積を拡大することによって、小形大容量で軽量のコンデンサが得られます。

実際のコンデンサは前述しました様に、陽極および陰極電極にはアルミニウム箔（陽極箔および陰極箔）を用い、両箔間に電解紙を挟み（箔が2層と電解紙が2層となる）これを巻き取り電解液を含浸させた構造となっています。構成を（図 1-1）に示します。

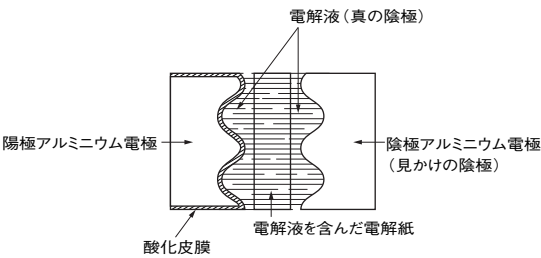


図 1-1

酸化皮膜は整流性を持つため、上記モデル図では有極性コンデンサとなりますが、陽極側、陰極側の双方に酸化皮膜を形成した電極を用いると両極性コンデンサになります。

また、ここでは電解紙に電解液を含浸させるアルミニウム非固体電解コンデンサについて述べましたが、固体電解質を用いた導電性高分子アルミニウム固体電解コンデンサもあります。

1-2 静電容量

アルミニウム電解コンデンサは平行板コンデンサと同様静電容量は次式で求められます。

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

ここで、 ϵ は誘電体の比誘電率、 S は誘電体の表面積 (m^2)、 d は誘電体の厚さ (m) を示します。

静電容量 C を大きくするためには、比誘電率 ϵ が大きいこと、表面積 S が大きいこと、誘電体の厚み d が薄いことが条件となります。

各種コンデンサの誘電体の比誘電率 ϵ と誘電体厚み d を比較すると（表 1-1）のようになります。

アルミニウム電解コンデンサの誘電体は、単位厚みあたりの耐電圧が高いこと、またコンデンサの定格電圧に応じた厚みを形成できることより、他のコンデンサに比べて厚み d 値を薄く出来ます。

さらに、アルミニウム箔表面をエッチングすることにより、見掛け上の面積に比べ、実効面積が、低圧用で 80 ～ 100 倍、中高压用で 30 ～ 50 倍に拡大できますので、見掛け面積当りの容量値は他のコンデンサより大きくなります。

アルミニウム電極は、高純度アルミニウム箔を塩化物水溶液中で直流、交流またはその交互および重畳によって、電気化学的にエッチングし、表面積を拡大しています。低圧用陽極箔は、交流電解を主体として細かな海綿状エッチング（写真 1-1）、中高压用陽極箔は、直流電解を主体としたトンネルエッチング（写真 1-2）が主流となっています。陰極箔は、交流電解を主体としたエッチングをして表面積を拡大します。

表 1-1 各種コンデンサの誘電体と誘電体最小厚み

コンデンサの種類	誘電体	比誘電率 ϵ	誘電体厚み d (m)
アルミニウム電解コンデンサ	酸化アルミニウム	7 ～ 10	$1.3 \times 10^{-9} / \text{V} \sim 1.5 \times 10^{-9} / \text{V}$
フィルムコンデンサ (金属蒸着)	ポリエステルフィルム	3.2	$0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$
タンタル電解コンデンサ	酸化タンタル	24	$1.0 \times 10^{-9} / \text{V} \sim 1.5 \times 10^{-9} / \text{V}$
セラミックコンデンサ (磁器) (高誘電率)	チタン酸バリウム	500 ～ 20,000	$2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$
セラミックコンデンサ (磁器) (温度補償用)	酸化チタン	15 ～ 250	$2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$

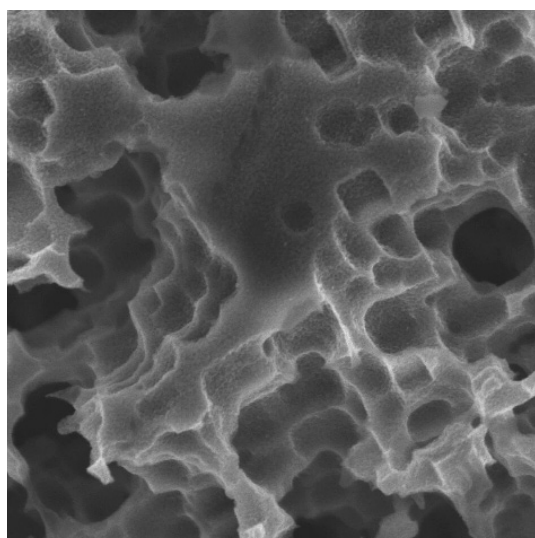
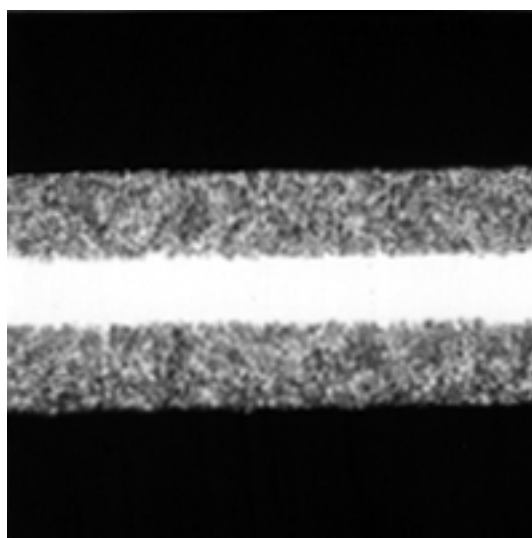


表 面



断 面

写真 1-1 低圧用エッチング箔の表面・断面写真

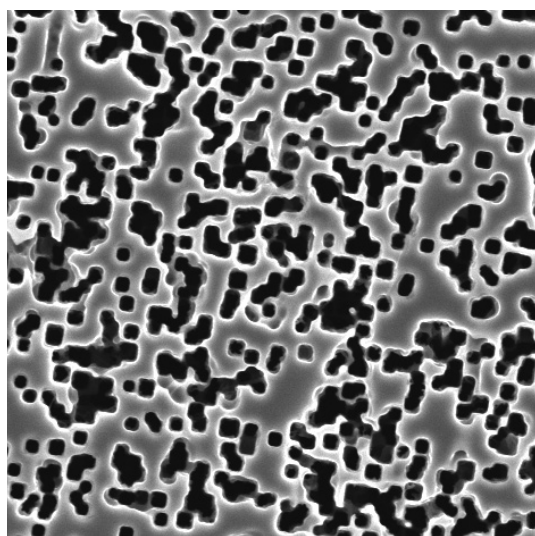
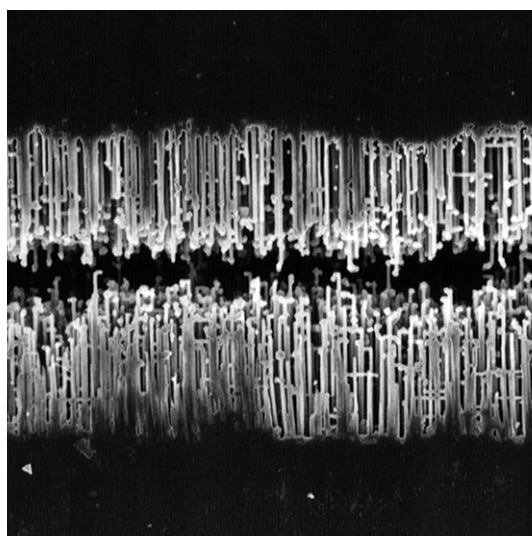


表 面



断 面 (レプリカ)

写真 1-2 中高圧用エッチング箔の表面・断面写真

1-3 誘電体(アルミニウム酸化皮膜)

エッチングした高純度アルミニウム箔を硼酸-アンモニア等の水溶液中で陽極酸化を行い、箔の表面にアルミニウム酸化皮膜を形成させます。このアルミニウム酸化皮膜がアルミニウム電解コンデンサの誘電体となります。陽極酸化を行うとき箔に印加する直流電圧を化成電圧と呼びます。

誘電体の厚みは、化成電圧にほぼ比例し1V当たりおよそ $1.3 \times 10^{-9} \sim 1.5 \times 10^{-9}$ mです。

エッチングしていない箔(プレーン箔)表面上に形成した誘電体(アルミニウム酸化皮膜)の拡大写真を(写真 1-3)に示します。

誘電体(アルミニウム酸化皮膜)の生成反応は下記で表されます。

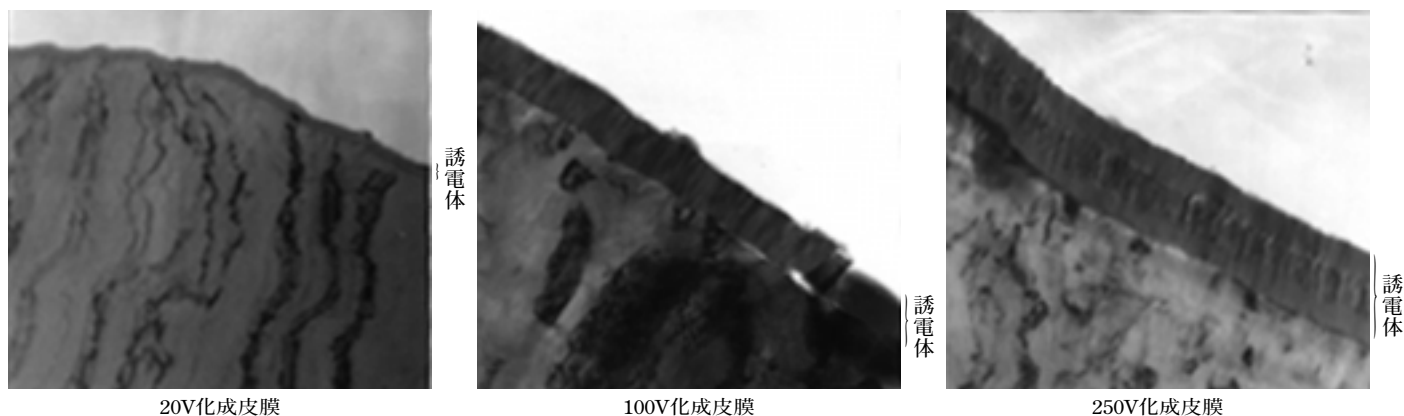
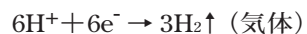
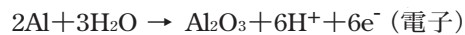


写真 1-3 誘電体(アルミニウム酸化皮膜)断面写真(プレーン箔表面に誘電体を生成したもの)

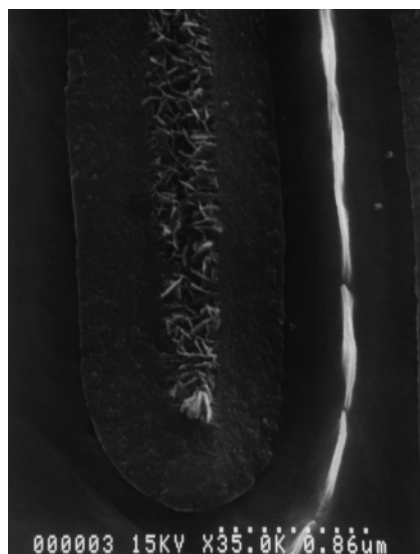


写真 1-4 中高压化成箔の断面写真
(ピットに生成された酸化皮膜の状態)

1-4 電解液の働き

陽極箔と陰極箔を対向させ、両極箔間に電解紙をはさみ込んで円筒状に巻き込んだものを素子と呼びます。電解紙は絶縁物ですので、陽極箔上のアルミニウム酸化皮膜と電解紙を誘電体としたコンデンサになっていますが、この状態では静電容量はわずかです。

この素子に電解液を含ませる(以下、含浸という)と、電解液によって陽極箔表面と陰極箔表面が電気的につながり、陽極箔表面のアルミニウム酸化皮膜を誘電体とした大きな静電容量を持ったコンデンサが得られます。すなわち、電解液は真の陰極の役目を果たしています。次にこの電解液に要求される基本的な特性を上げてみます。

- (1)電気伝導性を持つこと。
- (2)陽極箔表面の誘電体に欠陥部分があればそれを修復する能力を持つこと。すなわち化成性を持つこと。
- (3)陽極箔、陰極箔、封口材料などに対して化学的に安定であること。
- (4)含浸性が良好なこと。
- (5)蒸気圧が低いこと。

この電解液の特性が、アルミニウム電解コンデンサの諸特性に大きくかわかり、コンデンサの定格、温度範囲、用途に応じて適切なものを選択しています。

1-5 製造方法

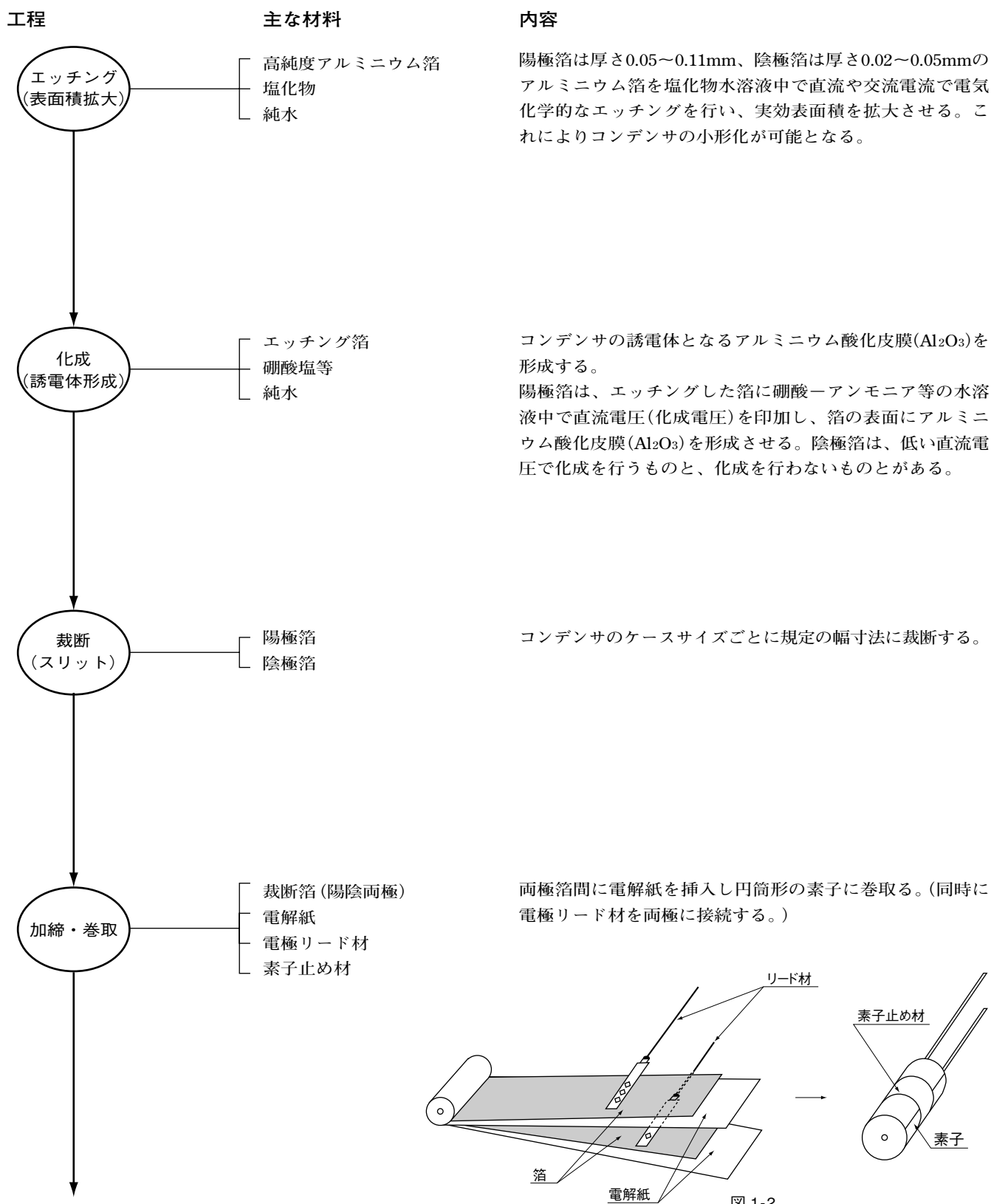
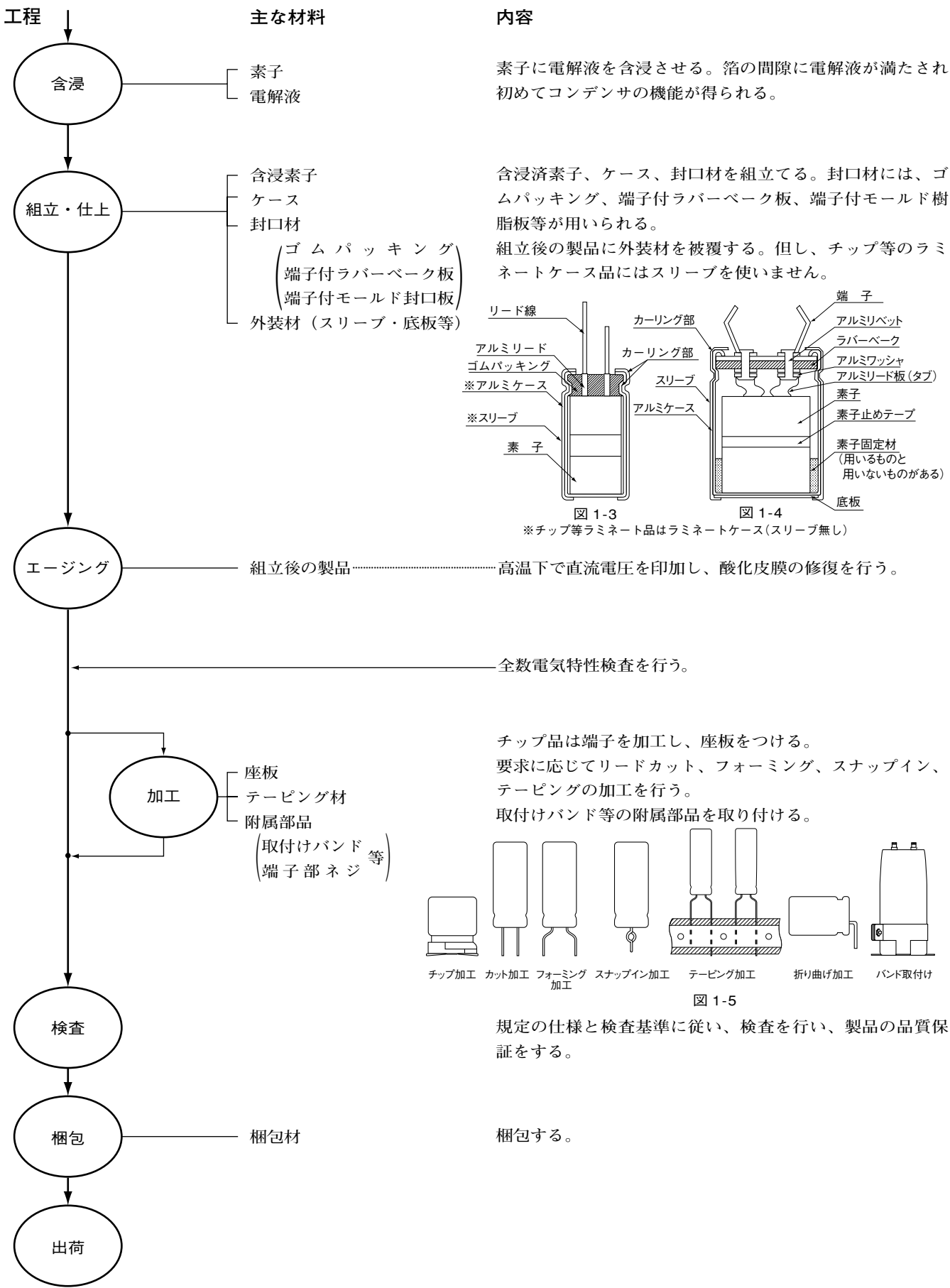


図 1-2



1-6 電気的特性

1-6-1 静電容量

陽極箔誘電体部の静電容量(Ca)は、前述の(式 1-1)から

$$Ca = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\epsilon S}{d} \text{ (F)}$$

となります。

また、陰極は低い化成電圧で形成した酸化皮膜、または放置中に生成した自然酸化皮膜(通常1V以下の化成電圧相当)を誘電体とする静電容量(Cc)を持っています。アルミニウム電解コンデンサの構造上CaとCcが直列接続になっていますので、コンデンサの静電容量(C)は、

$$C = \frac{Ca \times Cc}{Ca + Cc}$$

となります。

静電容量の許容差は、±20%(M)品が標準ですが、特殊用途用として±10%(K)品等も製造しています。静電容量は、測定周波数および測定温度により変化しますので、測定は周波数120Hz、温度20℃を基準としています。

1-6-2 等価直列抵抗(R) 損失(tanδ) インピーダンス(Z)

アルミニウム電解コンデンサの等価回路を次に示します。なお等価直列抵抗はESRとも呼称します。

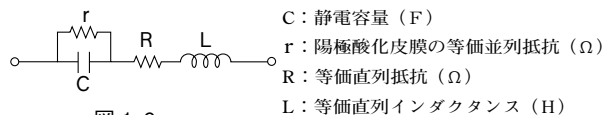


図 1-6

ここで低周波(50Hz~1kHz)では等価直列インダクタンスLによるリアクタンス(X_L)は極く小さいため零とみると以下の関係になります。

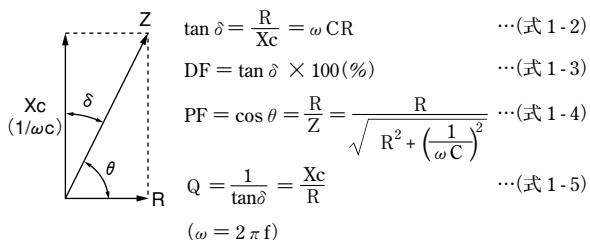


図 1-7

またインピーダンスは

$$Z = \frac{1}{j\omega C} + j\omega L + R \text{ で表われ、その絶対値は}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \text{ となります。}$$

測定周波数との関係をモデルカーブ(図 1-8)に示します。インダクタンスLは電極箔の巻回部、引き出しリード部が主であり、等価直列抵抗Rは電極箔の抵抗、電解質の抵抗、引出しリードの抵抗および各部接続抵抗によるものであります。

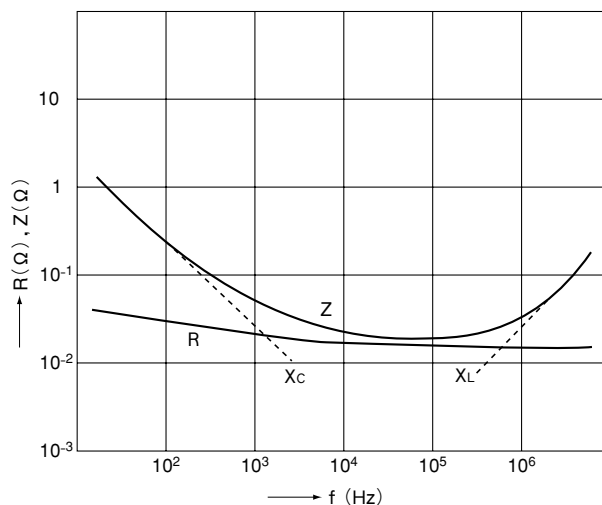


図 1-8

1-6-3 漏れ電流

アルミニウム電解コンデンサの漏れ電流の要因には

- 1) 誘電体(アルミニウム酸化皮膜)の分極歪みによるもの
- 2) 誘電体の溶解、生成に起因するもの
- 3) 誘電体に湿気吸着によるもの
- 4) 塩素分、鉄粉などの不純物の存在による誘電体の破壊

などがあると言われています。基本材料、製造方法を選ぶことでその値を低減することは可能ですが、なくすることはできません。

また漏れ電流値は温度、時間、印加電圧などに依存性を持っています。

漏れ電流の規格は室温で定格電圧を印加し、所定の時間後の許容上限値で決められています。コンデンサの用途によっては、温度依存性、経時安定性などの観点で適切なものを選定することが必要です。

1-6-4 温度特性について

アルミニウム電解コンデンサは、電解液を使用しています。この電解液の物性(電気伝導度、粘度など)は比較的顕著な温度特性を持っています。電気伝導度は温度が高くなると、大きく、温度が下がると小さくなります。このためアルミニウム電解コンデンサは他のコンデンサに比べて温度による電気特性の変化が大きくなります。温度と静電容量・ $\tan \delta$ ・等価直列抵抗(ESR)・インピーダンスおよび漏れ電流の関係を以下に示します。

1) 静電容量

静電容量は、温度が高くなると増加し、温度が下がると減少します。温度と静電容量の関係を(図 1-9)に示します。

2) $\tan \delta$ 、等価直列抵抗(ESR)、インピーダンス

$\tan \delta$ 、等価直列抵抗(ESR)、インピーダンスは、温度および周波数によって変化します。温度と周波数による変化を(図 1-10～図 1-11)に示します。

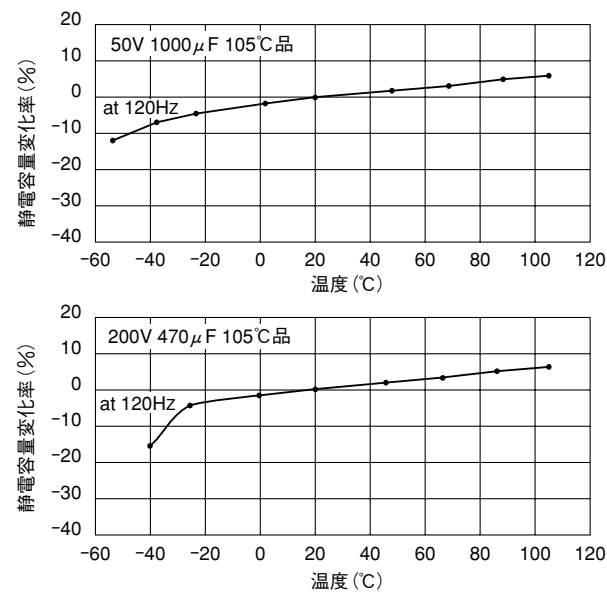


図 1-9 静電容量の温度特性

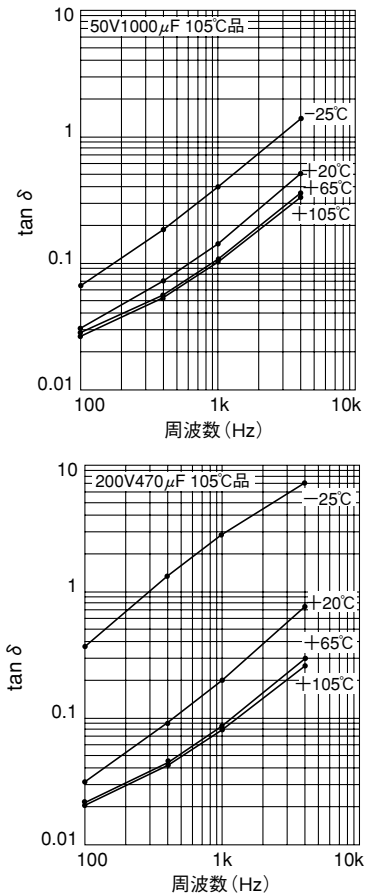


図 1-10 $\tan \delta$ の周波数特性

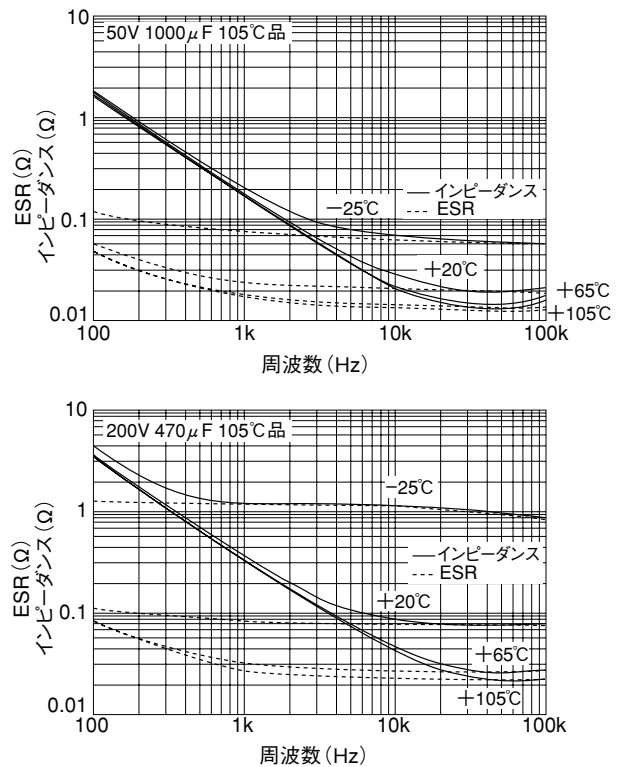


図 1-11 インピーダンス、ESRの周波数特性

3) インピーダンス比

20℃のインピーダンスと各温度のインピーダンスの割合をインピーダンス比と言います。温度に対するESR値および静電容量値の変化が少ないほどインピーダンス比は小さくなります。特に低温での性能の良否を120Hzでのインピーダンス比を用いて表します。

4) 漏れ電流

漏れ電流は温度が高くなると大きくなり、温度が下がると小さくなります。温度と漏れ電流の関係を(図 1-12)に示します。

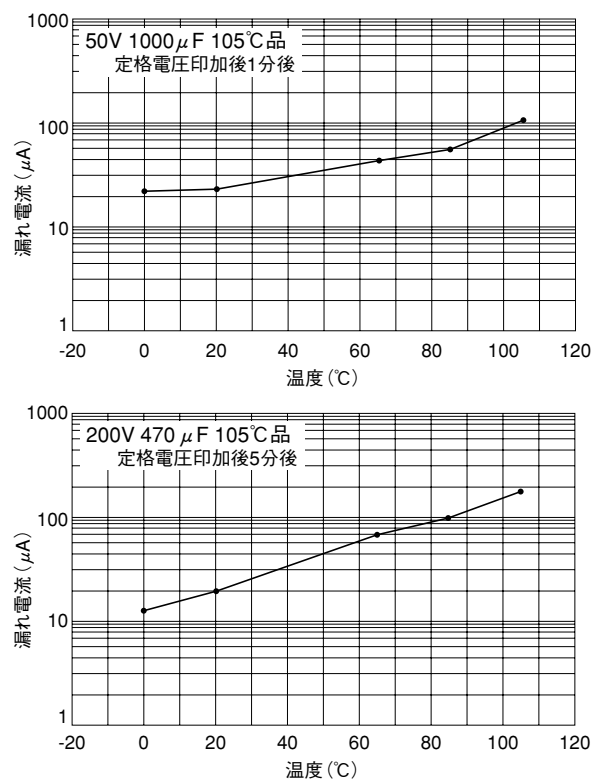


図 1-12 漏れ電流の温度特性

2. アルミニウム電解コンデンサのご使用上の注意事項

2-1 ご使用上の注意事項

アルミニウム電解コンデンサは故障時に最悪の場合、破裂、発火、発煙、ショート、オープンなどに至る場合がありますので、十分注意して使用してください。

2-1-1 回路設計上の注意事項

(1) 使用環境および取付け環境を確認の上、コンデンサのカタログまたは、仕様書、図面納入申請書(以下納入仕様書という)に規定したコンデンサの定格性能の範囲内としてください。

(2) 使用温度および使用リプル電流は、カタログまたは、納入仕様書の規定の範囲内としてください。

① カテゴリ上限温度(最高使用温度)を超える温度で使用しないでください。

② 過電流(定格リプル電流を超える電流)を流さないでください。

(3) 回路設計するとき、機器の寿命に合ったコンデンサを選定してください。

(4) コンデンサは有極性です。逆電圧または、交流電圧が掛からないかを確認してください。
極性が反転する回路には両極性コンデンサをお選びください。ただし両極性コンデンサも、交流回路には使用できません。

(5) 急激な充放電を繰り返す回路には、使用条件に対応したコンデンサを選定ください。

急激な充放電を繰り返す回路としては、溶接機、フォトフラッシュなどがあります。また、回路電圧が大きく変動する、サーボモータなどの回転機器の制御回路でも、急激な充放電が繰り返されます。

急激な充放電が繰り返される回路に使用されるコンデンサについては、ご相談ください。

(6) コンデンサに過電圧(定格電圧を超える電圧)が掛からないかを確認してください。

① 直流電圧にリプル電圧(交流成分)を重ねたときのピーク値が定格電圧を超えないようにしてください。

② コンデンサを2個以上直列に接続する場合、個々のコンデンサにかかる電圧が定格電圧以下になるようにしてください。なお、このとき漏れ電流を考慮した分圧抵抗器を各コンデンサと並列に入れてください。

(7) コンデンサは次の間で回路的に完全に隔離してください。

(コンデンサのアルミケースと陰極端子間は、

ケース内側の自然酸化皮膜と電解液の不安定な抵抗分で接続されています。)

① ケースと陰極端子および陽極端子並びに回路パターン間。

② 基板自立形のブラंक端子と他の陽極および陰極端子並びに回路パターン間。

③ 両極性コンデンサの両端子とケース

(8) コンデンサの外装スリーブは絶縁が保証されていません。絶縁機能が必要な箇所には使用しないでください。スリーブに絶縁機能が必要な場合は、ご相談ください。

(9) コンデンサは次の環境で使用すると故障する場合があります。

① 周囲環境(耐候性)条件

(a) 直接、水がかかる環境、高温高湿になる環境および結露状態になる環境

(b) 直接、油がかかる環境および油成分がガス状に充満している環境

(c) 直接、塩水がかかる環境および塩分が充満している環境

(d) 有毒ガス(硫化水素、亜硫酸、亜硝酸、塩素、臭素、臭化メチル、アンモニアなど)が充満する環境

(e) 直射日光、オゾン、紫外線および放射線が照射される環境

(f) 酸性およびアルカリ性溶剤がかかる環境

② 振動または衝撃条件が納入仕様書の規定範囲を超える過酷な環境

(10) コンデンサをプリント配線板に取り付けるとき、事前に次の内容を確認の上、設計してください。

① コンデンサの端子間隔にプリント配線板の穴間隔を合わせてください。

② コンデンサの圧力弁部の上に配線や回路パターンがこない設計にしてください。

③ コンデンサの圧力弁部の上は、納入仕様書に規定のない限り、次の間隔を開けてください。

製品直径	間 隔
～φ16mm	2mm 以上
φ18～φ35mm	3mm 以上
φ40mm 以上	5mm 以上

④ プリント配線板側にコンデンサの圧力弁が付く場合は、圧力弁の位置に合わせて、圧力弁作動時のガス抜き穴を開けてください。

⑤ ネジ端子形の封口部は上向きとしてください。また横に寝かせる場合には、圧力弁部を上側とするか、陽極端子を上側にしてください。

- (11) コンデンサの封口部の下にパターンがあると、万が一電解液の漏れが生じたとき、回路パターンを短絡させトラッキングまたはマイグレーションが発生する場合がありますので、コンデンサの封口部の下には回路パターンを配線しないでください。
- (12) コンデンサの周辺およびプリント配線板の裏面（実装されているコンデンサの基板を対称として、その反対面）への発熱部品の配置は避けてください。
- (13) チップコンデンサ用プリント配線板のランドパターンはカタログまたは、納入仕様書の推奨パターンを参照して回路設計してください。
- (14) 温度および周波数の変動によってコンデンサの電気的な特性が変化します。この変化分を確認の上、回路設計してください。
- (15) 両面のプリント配線板にコンデンサを取り付けるとき、コンデンサの下に余分なプリント配線板穴および表裏接続用貫通穴がこないように回路設計してください。
- (16) ネジ端子の締め付けおよびコンデンサ本体取り付け用ネジの締め付けトルクは、納入仕様書で規定された範囲内としてください。
- (17) コンデンサを2個以上並列に接続するとき、電流バランスを考慮してください。電流バラつきによって、過電流（定格リプル電流を超える電流）になり、ショートやオープンが発生する場合があります。（特に、導電性高分子アルミニウム固体電解コンデンサと一般のアルミニウム電解コンデンサを並列接続する場合、考慮が必要です。）
- (18) コンデンサを2個以上直列に接続するとき、電圧バランスを考慮して、コンデンサと並列に分圧抵抗器を挿入してください。また、片側がショートとなった場合、残りの片側に過電圧が印加される場合があります。
- (19) コンデンサを直・並列に接続するとき、電流バランスの崩れによって片側がショートに至り、もう片側が過電圧に至る場合があります。
- 発生（再起電圧）する場合があります。このとき約 $1k\Omega$ の抵抗器を通じて放電してください。
- (3) 2年以上保管のコンデンサは漏れ電流が増大している場合があります。このとき約 $1k\Omega$ の抵抗器を通して電圧処理してください。
- (4) コンデンサの定格（静電容量および電圧）を確認してから、取り付けてください。
- (5) コンデンサの極性を確認してから取り付けてください。
- (6) コンデンサは床などに落下させないでください。このとき落下したコンデンサは使用しないでください。
- (7) コンデンサ本体を変形させて取り付けないでください。
- (8) コンデンサの端子間隔とプリント配線板穴間隔とが合っていることを確認してから取り付けてください。
- (9) 基板自立形コンデンサは、その基板に密着する（浮いた状態にない）まで押し込んで取り付けてください。
- (10) 自動挿入機によってコンデンサのリード線をクリンチ固定する強さは、強すぎないようにしてください。
- (11) 自動挿入機および装着機の吸着具、製品チェッカーおよびセンタリング操作による衝撃力に注意してください。
- (12) はんだごてによるはんだ付け
- ① はんだ付け条件（温度、時間）は、納入仕様書に規定の範囲内としてください。
 - ② 端子間隔とプリント配線板穴間隔が不整合のため、リード線端子を加工する必要がある場合には、はんだ付けする前に、コンデンサ本体にストレスがかからないように加工してください。
 - ③ はんだごてによる手直しをするとき、一度はんだ付けしたコンデンサを取り外す必要がある場合には、コンデンサの端子にストレスがかからないように、はんだが十分溶融してから行ってください。
 - ④ はんだごての先がコンデンサの本体に触れないようにしてください。
- (13) フローはんだ付け
- ① コンデンサの本体をはんだの中に浸せきしてはんだ付けしないでください。プリント配

2-1-2 取り付け時の注意事項

- (1) セットに組み込んで通電したコンデンサは再使用しないでください。定期点検時の電気的性能を測定するために取り外したコンデンサを除いて、再使用はできません。
- (2) コンデンサには一旦放電しても端子間に電圧が

線板を介在させて、コンデンサのある反対側の裏面のみにはんだ付けしてください。

- ② はんだ付け条件(予備加熱、はんだ付け温度、端子浸せき時間)は、納入仕様書に規定した範囲内としてください。
- ③ 端子部以外にフラックスが付着しないようにしてください。
- ④ はんだ付けのとき、他の部品が倒れてコンデンサに接触しないようにしてください。

(14) リフローはんだ付け

- ① はんだ付け条件(予備加熱、はんだ温度、時間、リフロー回数)は、カタログおよび納入仕様書に規定した範囲内としてください。
- ② 赤外線ヒータを使用するとき、コンデンサの色や材料によって赤外線吸収率が異なるため、加熱の度合いに注意してください。

(15) ノンハロゲン系フラックスの中には、イオン性ハロゲン化合物は含まないものの、非イオン性ハロゲン化合物を大量に含んでいるものがあります。この化合物がコンデンサの中に侵入した場合には、電解液と化学反応して、洗浄した結果と同じような悪影響を及ぼす可能性があります。フラックスの中に、非イオン性ハロゲン化合物を含まないフラックスを採用してください。

(16) はんだ付け時やコンデンサ固定用の樹脂の硬化等でコンデンサを 150℃以上の雰囲気中に 2 分以上放置したり、もしくは高温ガス、熱線を直接コンデンサに当てたりすると、外装スリーブに収縮、膨張、亀裂を生ずる場合があります。

(17) プリント配線板にコンデンサをはんだ付けした後、コンデンサ本体を傾けたり、倒したり、またはひねったりしないでください。

(18) プリント配線板にコンデンサをはんだ付けした後、コンデンサを把手がわりにつかんでプリント配線板を移動しないでください。

(19) プリント配線板にコンデンサをはんだ付けした後、コンデンサに物をぶつけないでください。また、プリント配線板を重ねるときコンデンサにプリント配線板、または他の部品などが当たらないようにしてください。

(20) 洗浄・固定剤・コーティング剤
洗浄・固定剤・コーティング剤に関しては、2-10-2、-3 項に示します。

(21) 燻蒸処理について
燻蒸処理に関しては 2-10-4 項に示します。

2-1-3 セット使用中の注意

- (1) コンデンサの端子に直接触れると感電する恐れがあります。
- (2) コンデンサが高温になったり、コンデンサの異常時に圧力弁が作動すると、+ 100℃を超える高温蒸気が噴出するので、コンデンサへ手や顔などを近づけたり、蒸気がかかる場所に近づかないでください。火傷などの原因になります。
- (3) コンデンサの端子間を導電体でショートさせないでください。また、酸およびアルカリ水溶液などの導電性溶液をコンデンサにかけないでください。
- (4) コンデンサを取り付けたセットの設置環境が、次の環境でないことを確認してください。
 - ① 直接、水が掛かる箇所、高温高湿になる箇所および結露状態になる箇所
 - ② 直接、油が掛かる箇所および油成分がガス状に充満している箇所
 - ③ 直接、塩水が掛かる箇所、塩分が充満している箇所
 - ④ 酸性の有機ガス（硫化水素および亜硫酸、亜硝酸、塩素、臭素、臭化メチル）が充満している箇所
 - ⑤ アルカリ性の有毒ガス（アンモニアなど）が充満している箇所
 - ⑥ 酸性およびアルカリ性溶剤が掛かる箇所
 - ⑦ 結露する環境では、外装スリーブに収縮、膨張、亀裂を生ずる場合がありますので、ご使用にあたっては十分確認ください。なお、温度急変、高温高湿試験などで結露すると、同様のスリーブ異常が発生する場合があります。

2-1-4 保守点検

- (1) 産業用機器に使用されているコンデンサについては、定期点検をしてください。
点検項目は、次の内容を行ってください。
 - ① 外観: 圧力弁の作動、液漏れなどの著しい異常の有無。
 - ② 電氣的性能: 漏れ電流、静電容量、損失角の正接およびカタログまたは納入仕様書に規定した項目。

2-1-5 万一の場合

- (1) 一定サイズ以上のコンデンサは、異常な圧力を逃がすために圧力弁を有しています。セットの使用で、コンデンサの圧力弁が作動し、蒸気が見えたときは、セットのメイン電源を切るか、または電源コードのプラグをコンセントから抜いてください。なお、コンデンサの圧力弁から出る蒸気は、水素ガスと電解液が気化したものであり、燃焼による煙ではありません。

(2) コンデンサの圧力弁作動時には、+ 100℃を超える高温蒸気が噴出しますので、手や顔などを近づけたり、蒸気がかかる場所に近づいたりしないでください。火傷などの原因になります。噴出した蒸気が目に入ったり、吸い込んだりした場合には、直ちに水で目を洗ったり、うがいをしてください。コンデンサの電解液は、口に入れないでください。電解液が皮膚に付いたときは、石鹸で洗い流してください。

(3) コンデンサの圧力弁から蒸気が見えなくなっても、コンデンサは高温になっています。触れると火傷を起こす場合がありますので注意してください。

2-1-6 保管の条件

(1) コンデンサの保管は、室温で 5 ～ 35℃の温度、75% 以下の相対湿度を推奨します。

(2) 保管場所が、「3 項 セット使用中の注意(4)」に記載の環境でないことを確認してください。

2-2 故障

2-2-1 故障の定義

アルミニウム電解コンデンサの故障を定義する時、次の 2 つの形態が考えられます。

ショート・オープン等により完全にコンデンサの機能がなくなった場合、いわゆる破局故障 (Catastrophic Failure) がその 1 つであり、他の 1 つはコンデンサの特性がだんだん劣化して生ずる故障、いわゆる劣化故障 (Degradation) です。劣化故障は、設備や機器の使用目的により故障判定基準が異なってきます。従って、当社カタログまたは納入仕様書で定めた規格値を判定基準としております。

2-2-2 フィールドにおける故障モード

1) ショート

市場でのショートはまれですが、振動、衝撃等により電極間がショートする場合と、定格電圧以上の過電圧、過度なリプル電流、パルス電流等により、絶縁破壊して電極間ショートする場合があります。

2) オープン

・コンデンサをプリント配線板に取り付ける際に過度の力が加わった場合、使用中過度の振動・衝撃が加わった場合、端子やタブが断線するなど接触不安定状態となりオープン状態となります。

2-1-7 廃棄の場合

(1) コンデンサを廃棄する場合には、次のいずれかの方法を取ってください。

- ① コンデンサに穴を開けるか、または十分つぶしてから焼却してください。
- ② コンデンサを焼却しない場合は、専門の産業廃棄物処理業者に渡して、埋め立てなどの処理をしてください。

(2) コンデンサを廃棄（それに伴う基板からの取り外し）する際には放電されていることを確認してください。

以上、アルミニウム電解コンデンサの使用上の注意事項につきましては、EIAJ RCR - 2367B 2002 年 3 月発行「電子機器用固定アルミニウム電解コンデンサの使用上の注意事項ガイドライン」に準じておりますので、詳細につきましては、上記ガイドラインをご参照ください。

・プリント配線板を洗浄した際の洗浄剤やコンデンサ固定用の固定剤に含まれるハロゲン系物質がコンデンサ内に浸入するとリード線やタブが腐食断線し漏れ電流大となり、機器の動作に影響する場合があります。

・カテゴリ上限温度を超える高温中での使用、近くの発熱部品からの熱をプリント配線板のパターンを通じて受けたこと、長期間使用したこと等により封口部材が老化し、封口部の気密が保てなくなると、電解液が揮散しオープン状態となります。

・過度のリプル電流が加わるとコンデンサ内部の温度上昇により電解液がガス化し、封口部材を透過することにより電解液がドライアップしオープン状態となります。

3) 容量減少・損失大

逆電圧が継続して印加された場合、定格リプル電流以上の電流が継続して印加された場合、または過激な充放電で使用された場合、静電容量は減少し、損失は増加します。

4) 圧力弁の作動

逆電圧、過電圧、過リプル、交流が加わるとコンデンサ内部でガスが発生し内圧が上昇し圧力弁が作動する場合があります。

2-2-3 故障モードの原因分析

故障モードの原因分析図を (図 2-1) に示します。

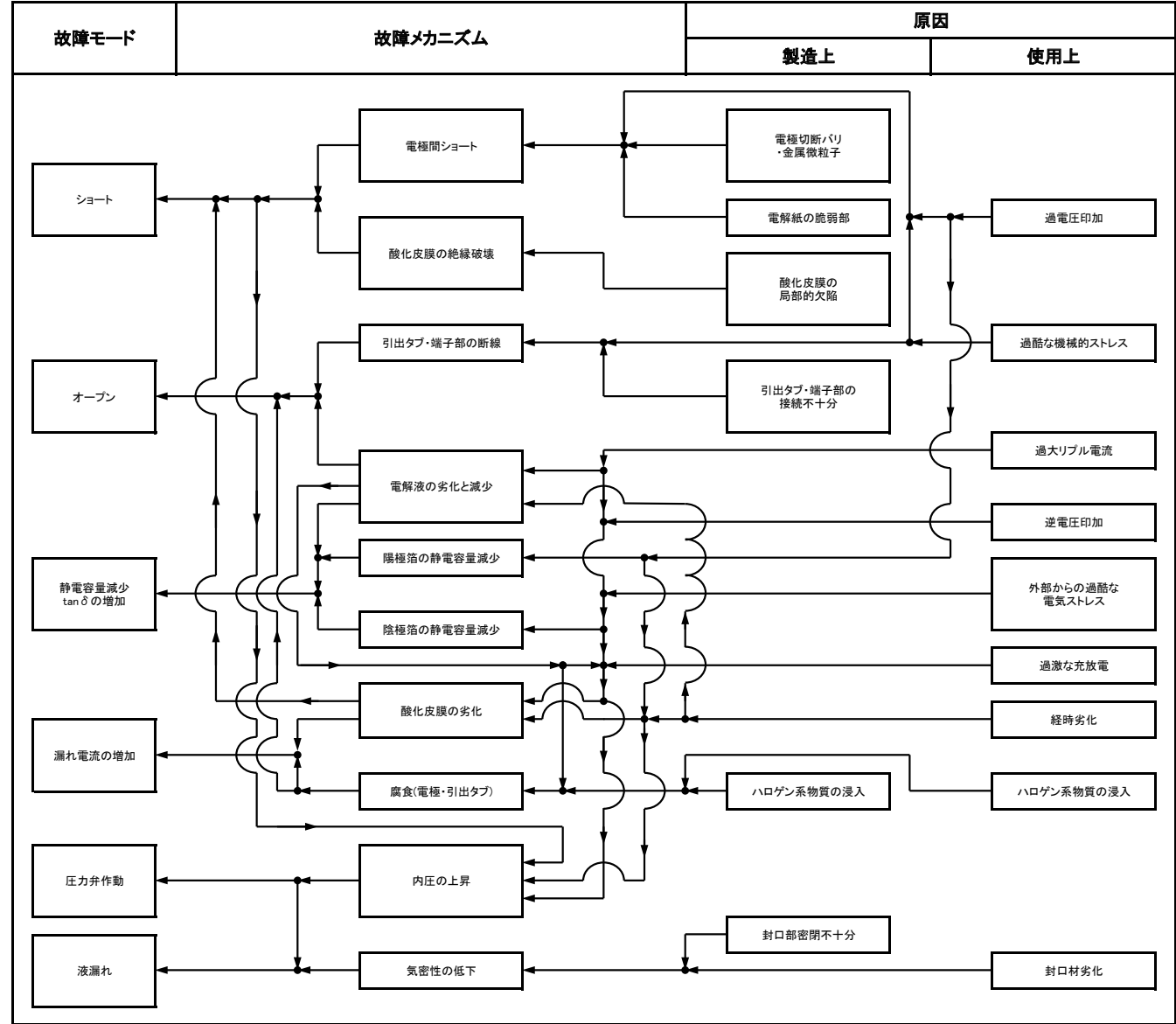


図 2-1 故障メカニズムの原因分析図

2-3 使用電圧と安全性

2-3-1 緒言

アルミニウム電解コンデンサに電圧を印加したときの、印加電圧と電流の関係を(図 2-2)に示します。(図 2-2)より、

- ・コンデンサの極性に対して、順方向に電圧を印加すると、漏れ電流は印加電圧が定格電圧を超えると急激に大きくなる。
- ・コンデンサの極性に対して、逆方向に電圧を印加すると低い電圧で大きな電流が流れる。

このような性質を持ったアルミニウム電解コンデンサを、

- 1) 極性を逆にして使用した場合
- 2) 定格電圧以上の電圧で使用した場合
- 3) 交流回路に使用した場合

の挙動およびアルミニウム電解コンデンサの安全性試験方法について以下に述べます。

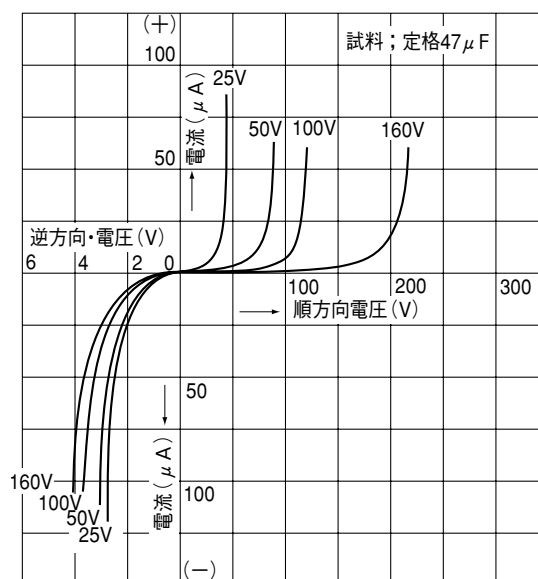


図 2-2 V-I 特性 (電圧-電流特性)

2-3-2 極性を逆にして使用した場合

印加する逆電圧の程度によって次のようになります。

- (1) 逆印加電圧が高いと大きな電流が流れます。逆印加電圧 V_c と、電流 I_c によるワット損失 ($W = V_c \times I_c$) により発熱します。発熱によってさらに電流は増加します。電流による発熱と、電解液の電気分解によって発生したガスによりコンデンサの内圧が上昇し短時間で圧力弁作動状態となります。
- (2) 逆印加電圧が低く、流れる電流が小さい場合には、印加した当初はワット損失によって発熱しますが電解液の化成性により、陰極アルミニウム箔表面に酸化皮膜が生成し、電流が減少していきます。逆電圧を印加したときの印加時間と静電容量変化を(図 2-3)に示します。陰極アルミニウム箔表面に酸化皮膜が形成されたことにより、陰極箔容量が減少したためです。また電解液の消費により、損失角の正接 ($\tan \delta$) は増加します。

アルミニウムは自然酸化皮膜により、通常 1V 程度の耐電圧を持っていますのでダイオードの逆耐電圧程度の逆電圧には耐えますが、それ以上の逆電圧が加わった状態で使っていると、徐々にコンデンサの内圧が上昇し圧力弁作動状態となりますので極性をよく確認してご使用ください。

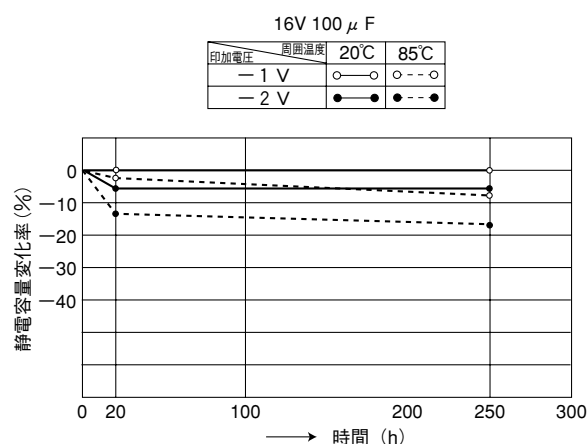


図 2-3 逆電圧印加による静電容量特性

2-3-3 定格電圧以上の電圧で使用した場合

(図 2-4) に示したように定格電圧を超える電圧を印加すると漏れ電流は急激に増加します。発熱によって誘電体の耐電圧が低下し、誘電体が絶縁破壊すると、急激に大きな電流が流れ短時間で内圧が上昇し圧力弁作動状態となります。圧力弁が作動すると開口した圧力弁部からガス化した電解液が激しく放出されます。コンデンサのエネルギーは電圧の2乗に比例する ($J = \frac{1}{2} CV^2$) ことから、印加電圧が高いほど圧力弁の作動状態は激しく、電極間がショートすることがあります。コンデンサの定格電圧以下の電圧でご使用ください。

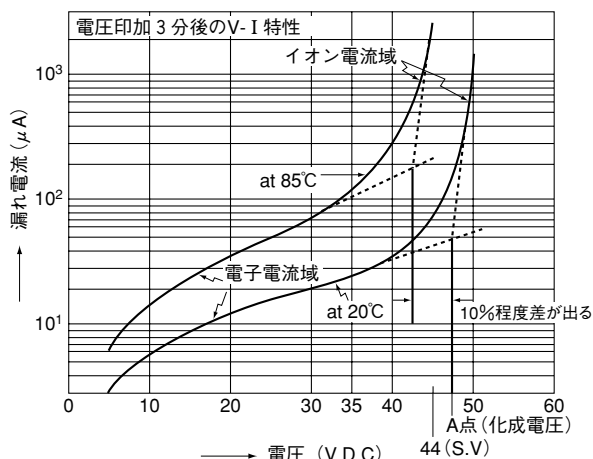


図 2-4 V-I 特性 (35V 定格品の例)

2-3-4 交流回路に使用した場合

コンデンサ C (F) に交流電圧 E (V) を印加すると $I = \omega CE$ (A) の電流が流れます。

(図 2-2 V-I 特性) に示したようにアルミニウム電解コンデンサは逆方向に対して耐電圧を持っておりません。したがってアルミニウム電解コンデンサを交流回路で使用すると、 $I = \omega CE$ で算出した値以上の電流が流れます。アルミニウム電解コンデンサの内部抵抗を R (Ω) とすると、電流によって $W = I^2 R$ (W) のワット損失により発熱します。アルミニウム電解コンデンサは内部抵抗が大きいため発熱も大きく、発熱によって電解液が蒸発しコンデンサの内圧が上昇し、圧力弁作動状態となります。なお、両極性アルミニウム電解コンデンサであっても連続交流回路には使用できません。

2-3-5 圧力弁構造について

アルミニウム電解コンデンサに何らかの要因で、過電圧・逆電圧・交流・過大なリプル電流が印加されたり、過酷な充放電条件または許容以上の高温で使用されたりするとコンデンサに流れる電流による発熱、電解液の蒸発、電解液の電気分解によるガス発生などによってコンデンサの内圧が上昇します。このような時に内圧を逃がす目的で圧力弁を設けています。

圧力弁構造は、大別して封口材の一部に設けたものとアルミニウムケースの一部に設けたものとに分けられます。

試験の方法 (例)

a 交流電圧法 (JIS C5101-1, 4.28.1 項)

- (1) (図 2-5) に示す回路において、供試コンデンサの定格静電容量値により直列抵抗 R を (表 2-1) より決める。

表 2-1

定格静電容量 (μF)	直列抵抗 (Ω)	定格静電容量 (μF)	直列抵抗 (Ω)
1以下	1000±100	100を超え1000以下	1±0.1
1を超え10以下	100±10	1000を超え10000以下	0.1±0.01
10を超え100以下	10±1	10000を超えるもの	(注1)

(注 1) 試験周波数でのインピーダンスの 1/2 に相当する抵抗値

- (2) 供試コンデンサを接続し、次に示す交流電圧を印加する。

定格電圧の 0.7 倍の電圧または、250Vrms のいずれか低い方の電圧、但し 30Arms 以上流れる時は、30Arms となる様、電圧を調節する。電源周波数は 50Hz もしくは 60Hz のいずれかとする。

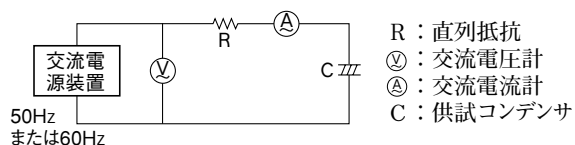


図 2-5

b 直流逆電圧法 (JIS C5101-1, 4.28.2 項)

- (1) (図 2-6) に示す回路において、供試コンデンサの公称外径寸法により直流電流を (表 2-2) より決める。

表 2-2

公称外径寸法 (mm)	直流電流 (A)
φ 22.4以下	1A一定
φ 22.4を超えるもの	10A一定

- (2) 直流電源に供試コンデンサを逆極性に接続し、(1) の電流を通電する。

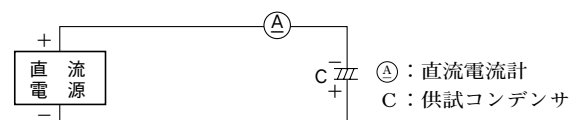


図 2-6

判定基準

上記の試験において下記の状態となれば合格とする。

- (1) 供試コンデンサの圧力弁が作動したとき、コンデンサから炎が出たり、素子や容器の一部が飛散したりして危険な状態にならないこと。
- (2) 試験電圧を印加して 30 分経過しても何等異常のない場合。

2-4 充放電

2-4-1 充放電による影響

有極性アルミニウム電解コンデンサを(図 2-7)のような充放電を繰り返す回路で使用した場合の現象について以下に示します。

(図 2-7)の回路において陽極箔容量 C_a 、陰極箔容量 C_c からなるアルミニウム電解コンデンサを電源電圧 V で充電すると、陽極箔の誘電体には $Q = C_a \times V$ (C :クーロン)の電荷が帯電する。次に放電抵抗を通じて放電すると陽極箔に帯電していた電荷は移動し陰極箔を充電する。陰極箔の誘電体が持っている耐電圧は低く、陽極から移動した電荷で陰極の耐電圧に達する。さらに電荷が移動し続けると陰極の誘電体表面と電解液の界面で電気化学反応が起こる。充放電を繰り返し行くと、電気化学反応により陰極箔の誘電体の上に誘電体が生成する。誘電体が生成すると陰極箔容量が次第に減少する。陰極容量の減少に伴ってコンデンサの静電容量も減少します。また酸化皮膜生成時に発生したガスはコンデンサの内部に溜まり内圧を上昇させ、充放電の条件によっては圧力弁作動状態となります。

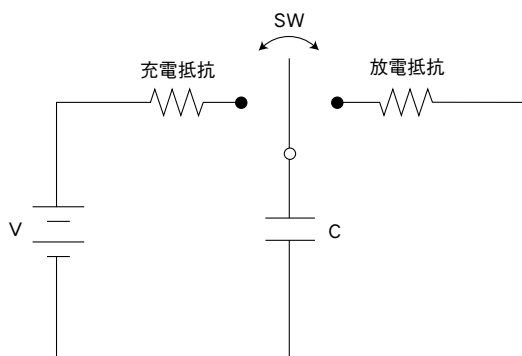


図 2-7

2-4-2 酸化皮膜の生成について

放電時に陰極箔に加わる電圧は以下ようになります。

充電時の陽極箔の電荷は、放電後は陽陰両極に同一電圧(電圧の方向が互いに逆であり、端子間は零電圧)になるまで電荷は移動します。

ここで陽極箔の持っている静電容量 (C_a)、陰極箔が初期に持っている静電容量 (C_c)、放電電圧 (V)、放電終了時の陽極・陰極箔に加わる電圧を (V_c) とすると、次式が成り立ちます。

$$C_a \times V = C_a \times V_c + C_c \times V_c$$

$$\therefore V_c = \frac{C_a}{C_a + C_c} \times V \dots\dots\dots (式 2-1)$$

以上のことより、充電と放電を繰り返す回路にアルミニウム電解コンデンサを使用する際は、充放電対策仕様のアルミニウム電解コンデンサをご使用いただくことが必要です。

2-4-3 充放電対策について

陰極箔への酸化皮膜生成を抑制する対策として主に、

- ①あらかじめ V_c 電圧以上の誘電体皮膜を形成した陰極箔を使用する。
- ②(式 2-1)より(式 2-2)を導くと、 V_c は C_c / C_a 、すなわち陽極箔と陰極箔の静電容量の比が大きいほど V_c は小さくなります。従って陽極箔容量に対して充分大きい容量の陰極箔を使用し、陰極箔の皮膜耐性よりも V_c が小さくなるようにする。

$$V_c = \frac{V}{1 + \frac{C_c}{C_a}} \dots\dots\dots (式 2-2)$$

があります。

充放電対策品と、未対策品の充放電試験結果の一例を(図 2-8)に示します。

- ・定格：63V 10000 μ F
- ・サイズ： $\phi 35 \times 50$ L
- ・充放電試験条件
 - 印加電圧：63V
 - 充電抵抗：2 Ω
 - 放電抵抗：100 Ω
 - 充放電サイクル：1秒充電、1秒放電を1サイクルとする
 - 温度：70°C

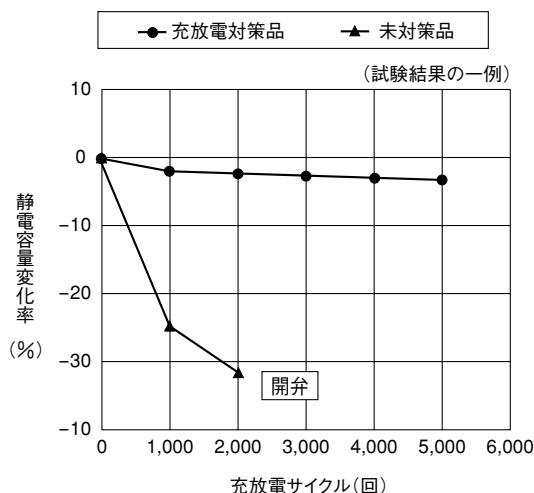


図 2-8

なお、AC サーボアンプ電源、インバータ電源など電圧変動の大きな回路に使用される場合は、高速充放電対応 LQS、LQR、LNC、LNU シリーズ品をご使用ください。

特殊素子構造を採用することで、充放電に対する耐性を高めています。(特許登録済)

2-5 シリーズ結線におけるバランス抵抗の選定方法

2-5-1 等価回路と漏れ電流の影響

アルミニウム電解コンデンサのシリーズ結線におけるバランス抵抗と漏れ抵抗との関係は等価回路的に(図2-9)のように示すことが出来ます。

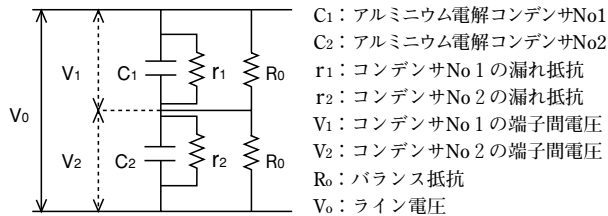


図 2-9

コンデンサ C_1, C_2 の漏れ電流をそれぞれ i_1, i_2 とすると

$$i_1 = \frac{V_1}{r_1}, i_2 = \frac{V_2}{r_2} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-3・式 2-4)}$$

$V_0 = V_1 + V_2$, 更に $V_1 - V_2 = R_0 \times (i_2 - i_1)$ より

$$R_0 = \frac{V_1 - V_2}{i_2 - i_1} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-5)}$$

となります。

2-5-2 アルミニウム電解コンデンサの漏れ電流について

基板自立形コンデンサの漏れ電流のバラツキは定格電圧を V (V)、定格静電容量を C (μ F)とすると常温(20℃)ではおおむね、

$$\begin{aligned}
 i_{\max} - i_{\min} &= \frac{\sqrt{C \times V}}{2} - \frac{\sqrt{C \times V}}{5} \\
 &= \sqrt{C \times V} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right) \\
 &= \frac{3}{10} \sqrt{C \times V} \quad \dots\dots\dots (\mu A) \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-6)}
 \end{aligned}$$

となります。

アルミニウム電解コンデンサの漏れ電流は温度が上がれば増加します。おおむね20℃の時の漏れ電流を1とすると65℃では2～3倍、85℃では3～5倍になります。その他にも漏れ電流は印加電圧、放置等によりバラツキを生じますので漏れ電流バラツキ係数を掛けて幾分余裕を持たせる必要があります。

2-5-3 バランス抵抗の設定例

基板自立形アルミニウム電解コンデンサ400V470 μ Fを周囲温度60℃中で2個直列にして使用する場合はバランス抵抗の算出方法について下記に示します。

常温に対する温度係数：2.0

電圧バランス率：10%

漏れ電流のバラツキ係数：1.4 とした場合。

電圧バランス

$$V_1 - V_2 = 400 \times 0.1 = 40 \text{ (V)}$$

漏れ電流のばらつき範囲

$$\begin{aligned}
 i_{\max} - i_{\min} &= \frac{3}{10} \sqrt{C \times V} \times 2 \times 1.4 \\
 &= \frac{3}{10} \sqrt{470 \times 400} \times 2 \times 1.4 \\
 &= 364 (\mu A)
 \end{aligned}$$

$$\therefore R_0 = \frac{40}{364 \times 10^{-6}} \approx 109000 \cdots 100k\Omega$$

なお、バランス抵抗を設定する際は、現在ご使用されている方法も考慮して決定される様にお願いいたします。

2-6 保存性能

アルミニウム電解コンデンサを無負荷のまま長期間放置すると、漏れ電流が増加する傾向があります。漏れ電流が増加する原因は、陽極箔の酸化皮膜が電解液と反応して、耐電圧の低下をきたすためですが、電圧を印加すると電解液の修復作用により元のレベルになります。漏れ電流が増加する度合いは、放置中の温度が高いほど大きくなりますので保管場所は、直射日光の当たらない常温、常湿の場所をお選びください。長期間保管した製品を使用する場合は、電圧処理を行なってください。電圧処理方法については、単品の場合約1k Ω の抵抗を通して定格電圧まで上昇させてから、そのまま30分程度印加してください。また、機器に組み込まれたものは、機器のエージングをお願いいたします。機器のエージングで、入力電圧および供給電源が調整できる場合には、低い値(定格の1/2位)に設定して、10分間程度慣らし動作を行って、その後徐々に高い値に設定し、所定の機能を確認しながら動作させてください。調整できない場合には、スイッチを入れてから、30分程度慣らし運転を行って、所定の機能が問題ないか確認してください。その後、一旦スイッチを切って、本格的な運転を行ってください。なお、通常の保存温度5～35℃において、2年以内の放置であれば電圧処理をせずにご使用いただけます。室温で保存した場合の製品特性変化の一例を(図2-10)に示します。

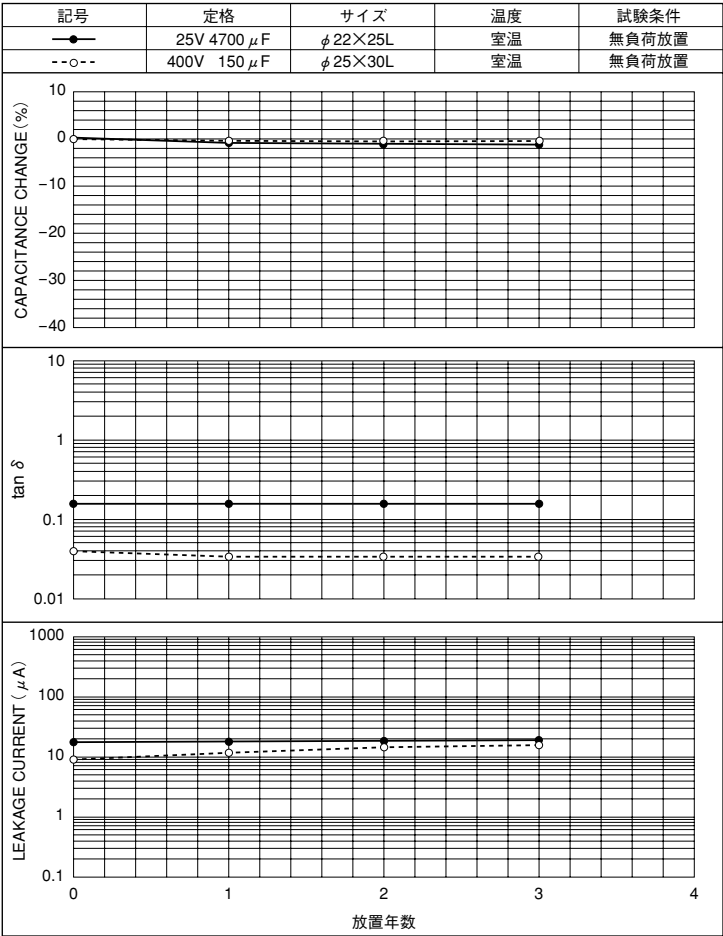


図 2-10

2-7 再起電圧

アルミニウム電解コンデンサは検査後放電して出荷しておりますが、一旦放電したにもかかわらず端子間に電圧が現れます。この電圧を再起電圧もしくは残留電圧と言います。コンデンサに電圧を印加すると誘電体の分極作用によって誘電体の表面に相対して＋に帯電します。次に端子間を短絡すると表面に帯電した電荷は放電し電荷を失いますが、端子間を解放すると、誘電体の内部に分極して残っていた双極子が再び分極し端子間電圧として現れます。これが再起電圧です。再起電圧は誘電体の厚さに関係しますので、定格電圧が高いほど高くなります。再起電圧が発生すると端子を回路に接続する際火花が発生し作業者を驚かせたり、他の低電圧駆動素子を破壊したりすることがあります。そのようなおそれがある場合は、ご使用される前に100Ω～1kΩ程度の抵抗を有する抵抗器をコンデンサの端子間に接触させ溜まった電荷を放電してからご使用されるようお願いいたします。なお、高電圧で高容量のコンデンサに対しては、アルミニウム箔や、導電性ゴムで端子間が短絡状態になるような梱包方法も考えられますのでご相談ください。

2-8 高所で使用する場合

山岳地、航空機等高地で使用する機器にアルミニウム電解コンデンサを使用する場合の注意事項について述べます。

高度が高くなると気圧は低下します。従ってコンデンサを高所で使用すると、大気の手圧がコンデンサの内圧より低くなります。アルミニウム電解コンデンサは構造上、高度10,000m程度までの大気では使用しても問題はありません。

しかし、高度が高くなると気温が低下します。アルミニウム電解コンデンサは温度が下がると、静電容量が減少し、損失は増加しますので温度に対する電子機器の動作確認をお願いいたします。

表 2-3 高度と気温、気圧の関係

高度 (m)	気温 (℃)	気圧 (hPa)
0	15.0	1013.3
2,000	2.0	795.0
4,000	- 11.0	616.4
6,000	- 24.0	471.8
8,000	- 37.0	356.0
10,000	- 50.0	264.4
20,000	- 56.5	54.7

なお、詳細についてはお問い合わせください。

2-9 寿命

2-9-1 緒言

保全を伴わない機器、部品の使用時間 (t) と故障率 (λ) の関係は (図 2-11) に示すような形態を示します。形態がバスタブ (西洋浴槽) に似ていることから「バスタブ曲線」と呼ばれています。アルミニウム電解コンデンサの故障もバスタブ形態となります。アルミニウム電解コンデンサの寿命試験結果を、ワイブル確率紙を用いて解析すると、(図 2-12) のように、形状パラメータ m が 1 より大きく、故障形態は摩耗故障であることを示しています。

機器を設計するに当たり、故障率又は寿命時間を用いますが、アルミニウム電解コンデンサの故障形態は長期の寿命試験結果より一般的には摩耗故障形となるため、故障率を寿命試験でとらえる時、同じ総試験時間でも試験時間と試験数の組み合わせによって得られる数字が大きく変わってしまいます。(例、100個 $\times$ 10³時間…故障数=0、10個 $\times$ 10⁴時間…故障数=10) 従って、アルミニウム電解コンデンサでは故障率ではなく寿命に至る時間 (実使用の場合、

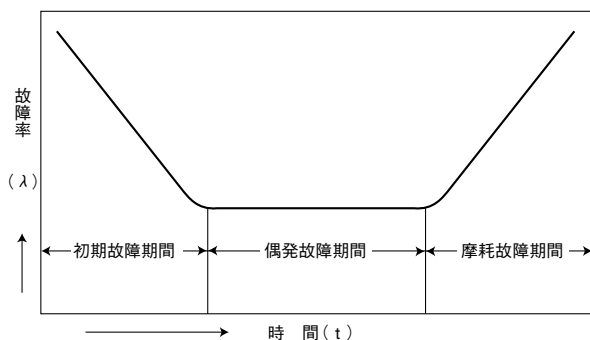


図 2-11 故障率曲線 (バスタブ曲線)

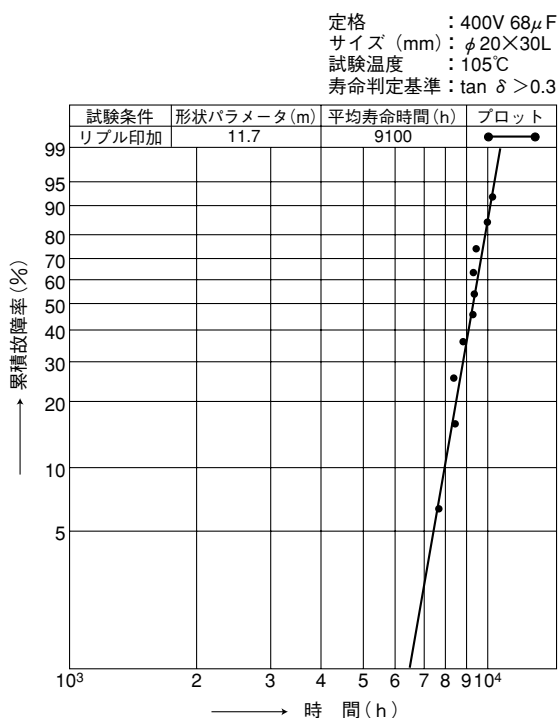


図 2-12 ワイブル確率紙による故障解析

推定寿命時間) で信頼性を考えることが一般的です。アルミニウム電解コンデンサの寿命に影響を与える主なファクターとして周囲温度による加速性 (F_T)、リプル電流による加速性 (F_R)、印加電圧による加速性 (F_U) があります。推定寿命は規定寿命 (カタログの耐久性) と F_T 、 F_R および F_U との積で算出します。アルミニウム電解コンデンサの寿命について以下に述べます。

2-9-2 評価方法

アルミニウム電解コンデンサは、静電容量変化率・損失角の正接 ($\tan \delta$)・漏れ電流が規定の値を超えたときおよび外観に著しい異常が発生した時を寿命に達したと判定しております。アルミニウム電解コンデンサの寿命に影響を与える要因は温度、湿度、振動、等色々ありますが特に温度による要因が大きく温度が高いほど寿命は短くなります。このことから寿命試験はコンデンサに決められているカテゴリ上限温度雰囲気中で直流電圧または直流電圧にリプル電流を重ねて評価します。試験結果の一例を (図2-13、2-14) に示します。

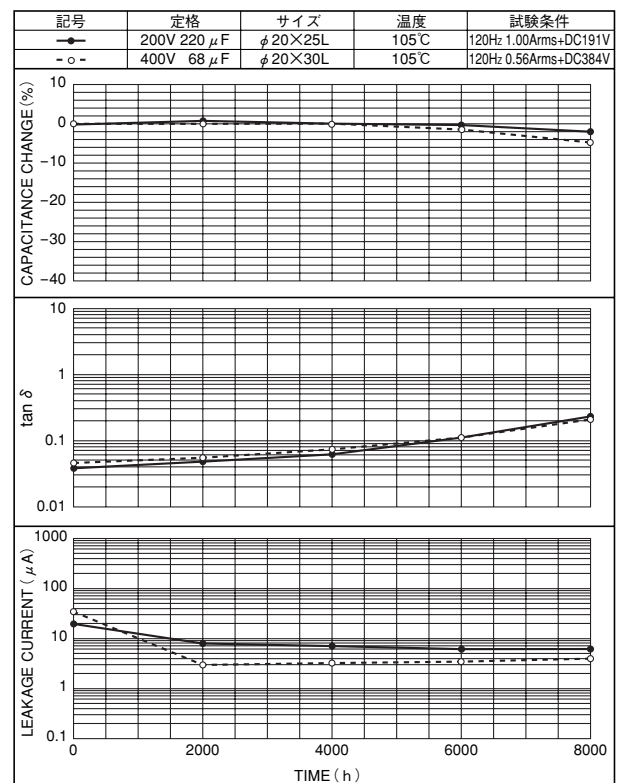


図 2-13 高温負荷寿命試験データ

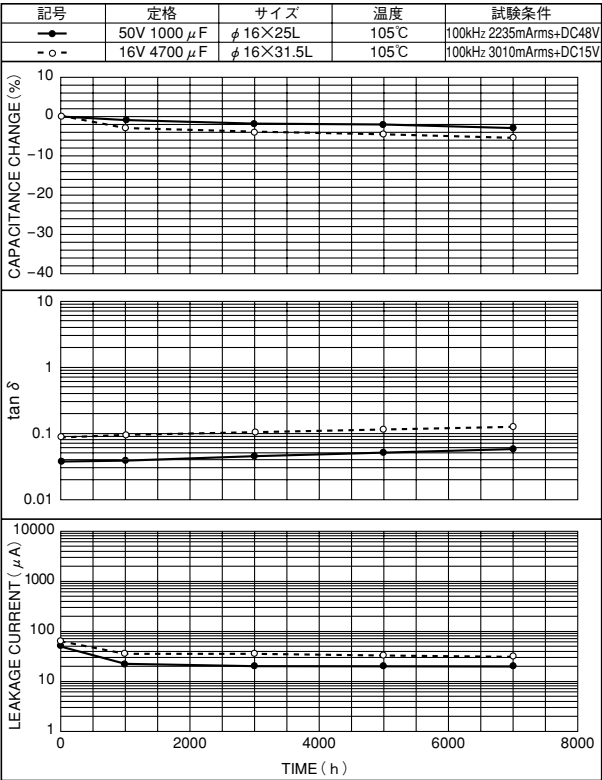


図 2-14 高温負荷寿命試験データ

2-9-3 周囲温度と寿命

コンデンサのカテゴリ上限温度以下（一般に40℃～カテゴリ上限温度の範囲以内）であればアレニウスの法則（熱エネルギーによる化学反応式）に従い温度が10℃低くなると寿命はおおよそ2倍になるといわれています。カテゴリ上限温度以下で使用情况の場合の使用温度と推定寿命に関する早見表を（図 2-15）に示します。

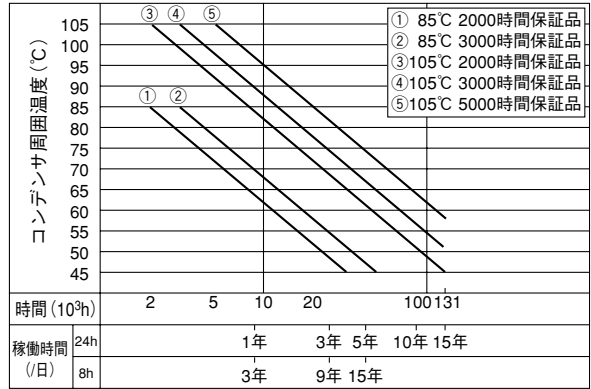


図 2-15 寿命推定早見表

2-9-4 印加電圧と寿命

アルミニウム電解コンデンサを定格電圧以下の電圧で使用した場合の電圧が寿命に及ぼす度合は、周囲温度およびリプル電流の寿命に及ぼす度合に比べて小さく、従って寿命を推定する際は印加電圧の寿命係数(Fu)は1としております。試験結果の一例を（図 2-16）に示します。

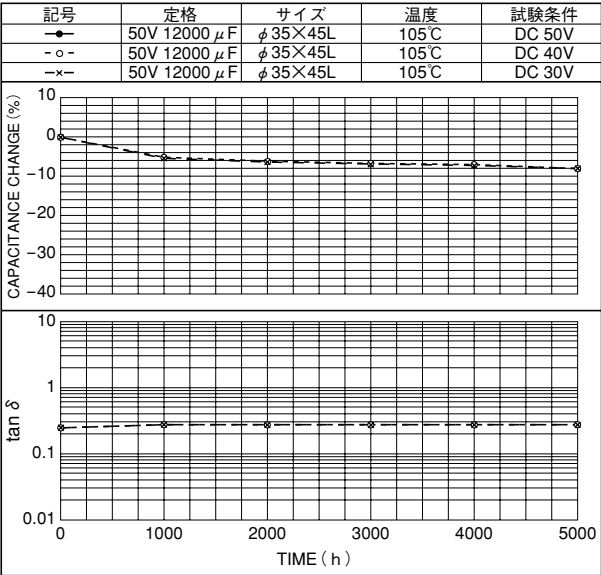


図 2-16 印加電圧を変えた場合の高温負荷特性

なお、パワーエレクトロニクス機器の電源平滑用に使用される高圧コンデンサにおいては、使用電圧を下げるとコンデンサの漏れ電流が低下し電解液の消費が少なくなり寿命が長くなる場合があります。詳細につきましてはお問い合わせください。

2-9-5 リプル電流と寿命

アルミニウム電解コンデンサは、フィルムコンデンサ等と比べると損失が大きく、リプル電流が流れるとワット損失による発熱が生じます。発熱はコンデンサの温度上昇を伴うため寿命に大きく影響を与えます。

1) リプル電流と発熱

直流電圧にリプル電流を重ねた時に、コンデンサに発生するワット損失は

$$W = W_{AC} + W_{DC}$$

$$W = I_{AC}^2 \times R_e + V_{DC} \times I_{DC} \quad \text{…………… (式 2-7)}$$

W：コンデンサによる消費電力(W)
 W_{AC} ：リプル電流によって発生するワット損失(W)
 W_{DC} ：直流分によるワット損失(W)
 I_{AC} ：リプル電流(A)
 R_e ：コンデンサの損失(等価直列抵抗)
 V_{DC} ：直流電圧(V)
 I_{DC} ：漏れ電流(A)

直流電圧が定格電圧以下であれば漏れ電流 I_{DC} は極めて小さく $W_{AC} \gg W_{DC}$ となることから、

$$W = I_{AC}^2 \times R_e \quad \text{…………… (式 2-8)}$$

となります。

ワット損失による内部発熱とコンデンサ表面からの放熱によって温度上昇が熱平衡に達すると

$$I_{AC}^2 \times R_e = \beta \times A \times \Delta t \quad \text{…………… (式 2-9)}$$

$$\Delta t = \frac{I_{AC}^2 \times R_e}{\beta \times A} \quad \text{…………… (式 2-10)}$$

β ：放熱定数($10^{-3} \text{ W}/^\circ\text{C cm}^2$)

A：表面積(cm^2)

製品のサイズが $\phi D \times L(\text{cm})$ の時

$$A = \frac{\pi}{4} D(D+4L) \quad \text{…………… (式 2-11)}$$

として求めたケース表面積(cm^2)

Δt ：リプル温度上昇($^\circ\text{C}$)

また内部抵抗 R_e 、静電容量C、損失角の正接($\tan \delta$)の関係が

$$R_e = \frac{\tan \delta}{\omega C} \quad \text{…………… (式 2-12)}$$

但し、 $\omega = 2\pi f$ より、…………… (式 2-13)

$$\Delta t = \frac{I_{AC}^2 \times R_e}{\beta \times A} = \frac{I_{AC}^2 \times \tan \delta}{\beta \times A \times \omega C}$$

となります。

コンデンサのサイズ別放熱定数および温度上昇乗数(素子中心温度上昇 Δt_c と表面温度上昇 Δt_s の比)を(表 2-4)に示します。

表 2-4

ケース径(mm)	5以下	6.3	8	10	12.5	16
β	2.18	2.16	2.13	2.10	2.05	2.00
α	1.0		0.94	0.90	0.85	0.80

18	20	22	25	30	35	40
1.96	1.93	1.88	1.84	1.75	1.66	1.58
0.77	0.75	0.74	0.71	0.67	0.64	0.62

α ：温度上昇乗数 $\alpha = \Delta t_s / \Delta t_c$

β ：放熱定数($10^{-3} \text{ W}/^\circ\text{C cm}^2$)

2) リプル電流の周波数補正係数について

アルミニウム電解コンデンサの等価直列抵抗 R_e は、周波数特性を持っています。周波数が高くなると等価直列抵抗は小さくなります。周波数 f_0 の時の等価直列抵抗を R_0 、周波数 f_x の時の等価直列抵抗が R_x の時、周波数 f_0 のリプル電流を流したときの温度上昇が同じとなる電流は、

$$I_0^2 \times R_0 = I_x^2 \times R_x$$

$$\therefore I_x = \sqrt{\frac{R_0}{R_x}} \times I_0 \quad \text{…………… (式 2-14)}$$

即ち、 $\sqrt{R_0/R_x}$ が周波数補正係数 K_f となる。周波数補正係数の一例を(表 2-5)に示します。

表 2-5 周波数補正係数の例(個別規格による)

・基板自立形コンデンサ(入力平滑用)

周波数 (Hz)	50	60	120	300	1k	10k	50k~
定格電圧(V)							
16~100	0.88	0.90	1.00	1.07	1.15	1.15	1.15
160~250	0.81	0.85	1.00	1.17	1.32	1.45	1.50
315~450	0.77	0.82	1.00	1.16	1.30	1.41	1.43

・リード線形コンデンサ(出力平滑用)

定格電圧 (V)	周波数 (Hz)	50	120	300	1k	10k~
6.3~100	(μF) 静電容量					
	~56	0.20	0.30	0.50	0.80	1.00
	68~330	0.55	0.65	0.75	0.85	1.00
	390~1000	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
	1200~	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00

3) リプル電流の温度補正係数

カテゴリ上限温度以下で使用する場合に、流すことができるリプル電流値は、素子中心部の温度上昇の制限値以下でご使用ください。なお、各温度における素子中心部の発熱の限界値について一例を(表 2-6)に示します。

表 2-6 各温度での素子中心温度上昇限界値の例
(定格電圧315V以上の基板自立形コンデンサ)

周囲温度(℃)	40	55	65	85	105
Δtc(℃)	30	30	25	15	5

4) リプル電流波形から実効電流を求める方法

スイッチング電源やインバータ電源およびアクティブフィルタ回路のように商用周波数成分とキャリア周波数成分が重畳されている場合の、観測した電流波形を、形状モデルに近似させて実効値を求める方法について下記に示します。

電流波形と実効値計算式を(表 2-7)に示します。

表 2-7 電流波形と実効値計算式

電流波形	実効値計算式
①	$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$
②	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{2T}}$
③	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{T}}$
④	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{3T}}$

入力平滑用コンデンサに流れる電流波形観測から商用周波数によるリプル電流分 I_L 、とキャリア周波数によるリプル電流分 I_H が重畳した(図 2-17)のような電流波形の実効値は周波数成分に分けて求めます。

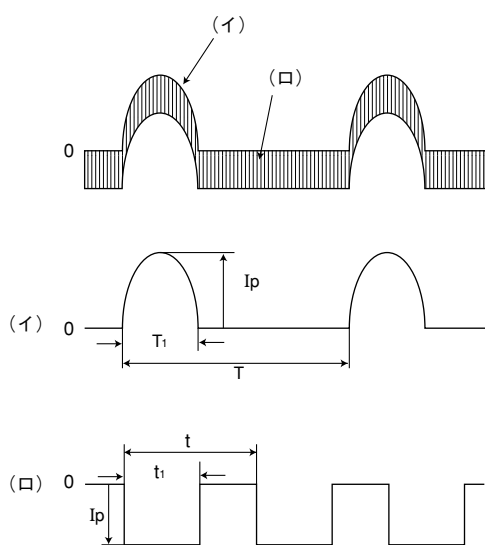


図 2-17

・低周波成分のリプル電流 I_L はモデル②と考えて

$$I_L = I_p \times \sqrt{\frac{T_1}{2T}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-15)}$$

・高周波成分のリプル電流 I_H はモデル③と考えて

$$I_H = I_p \times \sqrt{\frac{t_1}{t}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-16)}$$

となります。アルミニウム電解コンデンサの等価直列抵抗 R_e は、周波数特性を持っていますので規定の周波数と異なる場合には、規定の周波数に換算します。低周波成分の周波数補正係数を K_{fL} 、高周波成分の周波数補正係数を K_{fH} とすると規定の周波数に換算した合成リプル電流 I_n は、

$$I_n = \sqrt{\left(\frac{I_L}{K_{fL}}\right)^2 + \left(\frac{I_H}{K_{fH}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-17)}$$

となります。

5) リプル電流から温度上昇を推定する方法

ワット損失はリプル電流の 2 乗に比例することから、定格リプル電流 I_0 (A) を流したときの素子中心部の温度上昇を Δt_0 とすると、リプル電流 I_n (A) を流したときの温度上昇 Δt_n は

$$\Delta t_n = \left(\frac{I_n}{I_0}\right)^2 \times \Delta t_0 \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-18)}$$

として求めることが出来ます。105℃用基板自立形コンデンサの温度上昇 Δt_0 は約 5℃です。しかしアルミニウム電解コンデンサの等価直列抵抗 R_e は温度によって変化すること、リプル電流波形も実際には複雑で高調波成分を多く含んでいることから熱電対で実際に温度上昇を測定されることをお奨めいたします。

2-9-6 推定寿命について

アルミニウム電解コンデンサの推定寿命は、2-9-1 で示したように F_T 、 F_I および F_U の積で表します。大形アルミニウム電解コンデンサと小形アルミニウム電解コンデンサの算出方法を次に示します。なお、詳細はお問い合わせください。

(大形)

大形アルミニウム電解コンデンサの推定寿命算出式を(式2-19)に示します。なお、ネジ端子形アルミニウム電解コンデンサについては別途お問い合わせください。

$$L_n = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times 2^{1 - \frac{\Delta t_n}{K}} \quad \Delta t_n = \Delta t_0 \times \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \quad \dots \quad \text{(式 2-19)}$$

L_n : コンデンサの周囲温度 T_n (℃) でリプル電流

I_n (Arms) を印加したときの推定寿命時間 (h)

L_0 : カテゴリ上限温度 T_0 (℃) で定格リプル電流 I_m (Arms) を印加した時の寿命時間(h)

T_0 : コンデンサのカテゴリ上限温度 (℃)

T_n : コンデンサの周囲温度 (℃)

Δt_0 : 温度 T_0 (℃) で定格リプル電流 I_m (Arms) を印加したときのコンデンサの内部温度上昇 (℃)

Δt_n : 周囲温度 T_n (℃) でリプル電流 I_n (Arms) を印加した時のコンデンサの内部温度上昇 (℃)

K：リプル温度上昇加速係数 [以下の図参照：カテゴリ上限温度 T_0 (°C) 以下の温度の係数を適用]
 ※なお、基本式は原則として、周囲温度 T_n が +40°C からコンデンサのカテゴリ上限温度 T_0 までの範囲に適用。また、上式で求められる推定寿命は、一般には15年程度を上限の目安としております。

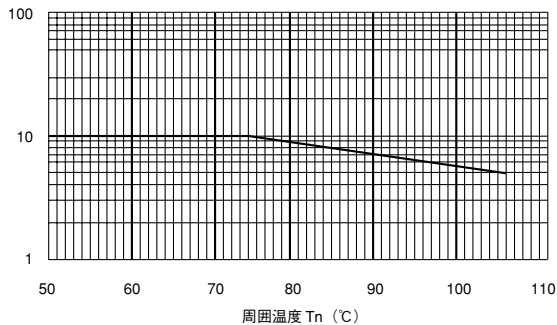


図 2-18 リプル温度上昇加速係数 K

(小形)

小形アルミニウム電解コンデンサの推定寿命算出式は、耐久性の規定によって2方法があります。それぞれの推定寿命算出式を(式2-20)および(式2-21)に示します。

- (1) 直流定格電圧印加品（耐久性で定格直流電圧を印加し、リプル電流を重畳しない）

$$L_n = L \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times \frac{1}{B_n} \quad \text{..... (式2-20)}$$

ここで

$$B_n = 2^{\alpha \times \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \times 2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)}}$$

- (2) リプル電流印加品（耐久性で直流電流を加え、リプル電流を重畳する）

$$L_n = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times 2^{\alpha \left\{ 1 - \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \times 2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)} \right\}} \quad \text{..... (式2-21)}$$

(式2-20)、(式2-21)において

$2^{\frac{T_0 - T_n}{10}}$ は T_n (°C) ≤ 40 の時: $2^{\frac{T_0 - 40}{10}}$ としてください。

$2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)}$ は T_n (°C) ≤ 50 の時: $2^{-\left(\frac{T_0 - 50}{30}\right)}$ としてください。

L_n ：周囲温度 T_n (°C) でリプル電流 I_n (Arms) を印加した時の寿命時間 (h)

L ：カテゴリ上限温度 T (°C) で定格直流電圧を印加した時の寿命時間 (h)

L_0 ：カテゴリ上限温度 T (°C) で定格リプル電流 I_m (Arms) を印加した時の寿命時間 (h)

T_0 ：コンデンサのカテゴリ上限温度 (°C)

T_n ：コンデンサの周囲温度 (°C)

I_m ：カテゴリ上限温度 T (°C) での定格リプル電流 (Arms)

I_m はカタログ記載の定格リプル電流の周波数補正係数を用いて、使用リプル電流と

同じ周波数の許容値を算出し、 I_m とする。

I_n ：周囲温度 T_n (°C) での使用リプル電流 (Arms)

B_n ：周囲温度 T_n (°C) で使用リプル電流 I_n (Arms) を印加時のリプル加速係数

α ：寿命定数

寿命定数についてはお問い合わせください。

備考

推定寿命の算出式は、高温下での寿命試験結果を基本とした実験式であり、算出された値は参考値としてお取り扱いください。また、予測寿命式で導かれた値は保証値ではありませんので、適用にあたっては、十分テストの上ご判断願います。なお、算出された寿命時間が15年を超える場合は15年とします。

2-10 ハロゲンの影響

2-10-1 緒言

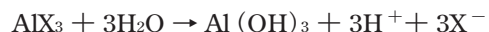
アルミニウム電解コンデンサの内部にハロゲン化合物が浸入すると

ハロゲン化合物の分解



ここで X^- : ハロゲンイオン

電蝕反応 $Al + 3X^- \rightarrow AlX_3 + 3e^-$



この電蝕反応の繰り返しによって漏れ電流が増加し、コンデンサの圧力弁の作動、オープン不良に至る場合があります。このためハロゲン系の洗浄剤や、基板への固定剤、コーティング剤の使用は望ましくなく、ご使用をさけてください。ここでは、推奨する基板洗浄方法および固定剤、コーティングを使用する場合の選定のお願いについて記します。なお、洗浄能力の関係でハロゲン系溶剤をやむをえず使用しなければならない場合のお願いを 2-10-3 項に記します。

2-10-2 洗浄

洗浄方法

対象：全品種、全定格

アルコール系洗浄剤

イソプロピルアルコール

水系洗浄剤

高級アルコール系

パインアルファ ST-100S (荒川化学工業)

ニューポール B-12 (三洋化成工業)

界面活性剤系

クリンスルー 750HS、750HN、750K、750J (花王)

洗浄条件：浸漬、超音波などの方法で洗浄時間の合計が 5 分以内とする。(洗浄液温度は 60℃ 以下)

洗浄後コンデンサを実装済プリント配線板とともに熱風で 10 分以上乾燥させてください。また、洗浄液がケースとスリーブ間に侵入した場合、熱風の温度が高すぎるとスリーブが軟化し、膨張することがありますので、熱風の温度はスリーブの軟化温度 (80℃) を超えないようにしてください。

なお、水すすぎ後の乾燥が不十分な場合は、スリーブの二次収縮、底板の膨らみなどの外観上の不具合を起こす場合がありますのでご注意ください。

また、洗浄剤の汚染管理 (電導度、pH、比重、水分量など) をしてください。洗浄後、洗浄液の雰囲気中または密閉容器での保管はしないでください。

なお、ジェット噴射洗浄の場合は、噴射の角度や強さによってスリーブが膨張することがあるためご注意ください。その

他洗浄方法によっては、製品表示消え、表示のにじみ等発生する場合があります。

HCFC 代替フロンは将来的に使用できなくなり、また、地球環境の見地からも洗浄剤としての使用は推奨致しません。

代替フロンで洗浄する必要がある場合は、下記の条件範囲で洗浄することができます。

対象：耐洗浄品 (カタログ記載)

洗浄剤：AK-225AES

洗浄条件：浸漬、蒸気、超音波、スプレーなどの方法で洗浄時間の合計が 5 分以内。ただし、面実装チップ品および超小形品の洗浄時間は 2 分以内。(溶剤温度 40℃ 以下)

注意条件：洗浄剤の汚染管理 (電導度、pH、比重、水分量など) をしてください。洗浄後、洗浄液の雰囲気中または密閉容器での保管はしないでください。

推奨洗浄方法と異なる洗浄剤、洗浄方法については必ずお問い合わせください。

2-10-3 固定剤、コーティング剤

(1) 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ください。

(2) 固定剤・コーティング剤を使用する前に、基板とコンデンサの封口部間にフラックス残渣、および汚れが残らないようにしてください。

(3) 固定剤・コーティング剤を使用する前に、洗浄剤などを乾燥させてください。

(4) 固定剤・コーティング剤を使用する場合は、コンデンサの封口部の全面をふさがないでください。

固定剤・コーティング剤は多種にわたりますので、ご使用にあたり詳細はお問い合わせください。

2-10-4 その他

燻蒸処理について

輸出時の防虫対策などで、臭化メチルなどのハロゲン化合物で燻蒸処理をする場合があります。

アルミニウム電解コンデンサおよびアルミニウム電解コンデンサを組込んだ機器を、直接燻蒸または燻蒸処理をした木材をパレットに使用した場合には、燻蒸剤に含まれるハロゲンによって、コンデンサ内部での腐食反応を起こすことがあります。

2-11 CR時定数

2-11-1 緒言

アルミニウム電解コンデンサを利用したタイマー回路、保持時間を検討する場合のCR時定数と使用上の注意事項について下記に示します。

$$V_c = V \times e^{-\frac{t}{CR_d}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-24)}$$

$$t_n = CR_d \ln \left(\frac{V}{V_n} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-25)}$$

ここで R_d ：放電抵抗(Ω)
 C ：コンデンサ容量(F)
 V ：電源電圧(V)

2-11-2 充電回路

(図 2-19)の回路において、電源電圧 V で抵抗 R を通してコンデンサ C を充電するときのコンデンサの端子電圧について考察します。(初期 $t=0$ の時、コンデンサの電荷は零とする。)

充電開始とともに、コンデンサの両端電圧は、(式 2-20)に従って上昇する。(式 2-22)より、規定の電圧 V_n に到達するまでの時間 t_n は、(式 2-23)となります。

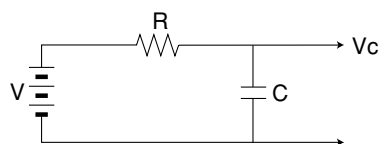


図 2-19

$$V_c = V(1 - e^{-\frac{t}{CR}}) \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-22)}$$

$$t_n = CR \ln \left(\frac{V}{V - V_n} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(式 2-23)}$$

ここで R ：直列抵抗(Ω)
 C ：コンデンサ容量(F)
 V ：電源電圧(V)

2-11-4 コンデンサの漏れ抵抗

コンデンサに直流電圧を印加すると、漏れ電流が流れます。特にアルミニウム電解コンデンサは他のコンデンサに比べて漏れ電流が大きく、また、温度、印加電圧、印加時間によって漏れ電流が変化します。等価回路で考えると、漏れ電流はコンデンサに並列に接続した抵抗(漏れ抵抗)と考えることができます。漏れ電流は充電時の電力損、放電時の自己放電となり2-11-2、2-11-3で示した理論式に対する誤差となります。充電時の時定数は理論式より大きく、放電時の時定数は小さくなります。

アルミニウム電解コンデンサを時定数回路に使用する場合は、電子機器の使用温度範囲において要求精度を満たすか十分に確認して選定いただくようお願いします。

2-11-3 放電回路

(図 2-20)の回路においてスイッチ SW を1側に倒しコンデンサ C を電源電圧 V まで充電した後、スイッチ SW を2側に倒し抵抗 R_d で放電した場合の放電時間(t)とコンデンサの端子電圧 V_c (V)の関係は(式 2-24)となります。(式 2-24)より、放電後コンデンサの端子電圧 V_c (V)が V_n (V)となるまでの時間 t_n (s)は、(式 2-25)のようになります。

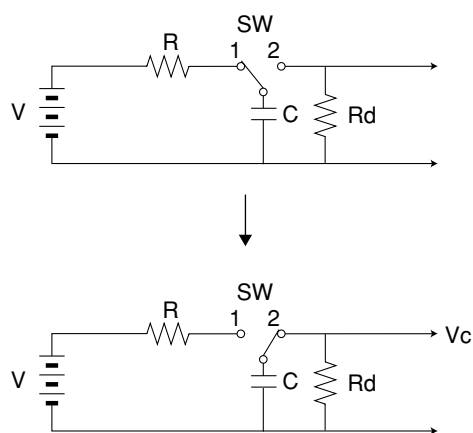


図 2-20

2-12 製品選定のポイント

2-12-1 緒言

アルミニウム電解コンデンサは電源の平滑回路用として最も一般的に用いられているコンデンサです。その理由は、他のコンデンサと比較して体積あたりの容量が大きいこと、容量あたりの価格が安いことによるものです。

電源市場では電子機器の小形軽量化、高効率化、高周波化、高信頼化、また最近では薄形化と生産の自動化の要求とあいまって表面実装化が進んでおります。さらに PL 法 (Product Liability = 製造物責任法) が施行され、今まで以上に安全性が重視されています。このため、電源に用いられるアルミニウム電解コンデンサに対しても小形・軽量・薄形・長寿命・チップ化、安全性が求められています。それらの内容をふまえアルミニウム電解コンデンサを上手にご使用いただくポイントについて、下記に示します。

2-12-2 アルミニウム電解コンデンサのシリーズと特長

(1) 電源入力平滑回路用

電源入力平滑用コンデンサは、ダイオードの後段に位置し、ダイオードで整流した脈流を平滑する役割を担っており、特に高リプル、高信頼性、および安全性が要求されます。基板自立形コンデンサのシリーズマトリクスを(表 2-8)に示します。

表 2-8 基板自立形コンデンサのシリーズマトリクス

形状	85℃品		105℃品			
	標準品	小形化品	標準品	小形化品	長寿命品	異常電圧対応品
標準品	LLS	LLG	LGU, LGN	LGG, LGL, LGM	LGY, LGX, LGR, LGZ	LAK, LAQ, LAS
薄形品	—	—	LGJ	LGJ ⁽¹⁵⁾	—	—

105℃用コンデンサでは、LGU シリーズを基準として、小形化の要求に対しては、LGG, LGL シリーズを、薄形化の要求に対しては LGJ シリーズをお奨めします。さらに高信頼性の要求に対しては、5000 時間保証小形化品の LGY, LGX シリーズ、10,000 時間保証の LGR シリーズをお奨めします。また、過電圧が加わったとき、その過電圧が一定範囲であればショート状態を起こさず弁作動する（発火の危険がない）仕様と構造を特長とする LAK, LAQ シリーズがあります。24 時間連続通電状態で用いられるファクシミリや複写機など情報通信機器用としてお奨め致します。

(2) 電源出力平滑用回路

出力平滑用コンデンサは、安定した出力電圧を得るために重要なコンデンサです。電源変換周波数が高まるなか高周波領域でインピーダンス、等価直列抵抗 (ESR) の低いコンデンサが必要となっています。また、小形のスイッチング電源、DC-DC コンバータ電源には、表面実装部品が多く用いられております。出力平滑用に用いられるリード線形アルミニウム電解コンデンサのシリーズマトリクスを(表 2-9)に、また表面実装タイプのシリーズマトリクスを(表 2-10)に示します。

表 2-9 リード線形コンデンサのシリーズマトリクス

形状	特長	標準品	105℃品	125℃超品	両極性品	低 Z 品
11mmL 品		UVK, URS	UVY, URZ	UBT, UBW, UBX, UBY	UVP	UPA, UPW

表 2-10 表面実装形コンデンサのシリーズマトリクス

形状	特長	標準品	105℃品	125℃超品	両極性品	低 Z 品	長寿命品
3.95mmL 品		UZR	UZG	—	—	—	—
4.5mmL 品		UZS	UZT	—	—	—	—
5.5mmL 品		UWX	UWT	—	UWP	UWF, UWG	—
5.8mmL 品		UUR	UUT	UUB	UUP	UCD, UCL, UCM, UCV	UUL
大サイズ品		UUG	UUJ, UCD	UUE, UCH, UCX, UCZ	UUN	—	UUJ

スイッチング電源の出力平滑回路用リード線形コンデンサとしては、UPW シリーズを基準として低インピーダンスで小形化の要求に対しては UPA シリーズをお奨めします。また表面実装品として UWT シリーズを標準に、低背化した UZT, UZG シリーズ、低インピーダンスの UCD シリーズ、また高電圧・大容量の UUX, UUJ シリーズなどを揃えています。

(3) 制御回路用

制御回路に用いられるコンデンサは、電子機器の小形化、高容量化、高密度実装化などから周囲温度が高くなり、発熱部品の近くに配置した為に故障を起こす場合があります。当社は制御回路用コンデンサとして、105℃仕様の UVY シリーズ（小形化品）、などを取りそろえております。

詳しくは当社最新のカatalogをご参照ください。

2-12-3 高密度実装と長寿命化の留意点

(1) 取り付け・配置

電子機器の小形化・高容量化、高密度実装化に伴い、コンデンサの周囲温度は高くなってきています。しかも連続運転されるものも多く、いちだんの高信頼性、長寿命化が求められています。アルミニウム電解コンデンサの寿命は、周囲温度が高くなるほど短くなります。アルミニウム電解コンデンサの長寿命化のために次のようなご配慮をお願いいたします。

- ①コンデンサの周辺およびプリント配線板の裏面（コンデンサの下）への発熱部品の配置は避けてください。
- ②放熱ファン等により、電子機器内部の熱を積極的に筐体外部へ放出してください。
- ③筐体に適当な穴を開け、電子機器内部の温度を下げると共に、穴から取り入れた外気でコンデンサが冷却されるように配置してください。
- ④特に両面回路基板を用いた電子機器で、パワーモジュール・発熱部品に近接して取り付けると、回路基板のパターンから高熱を受けるとの場合があります。消費電力の大きな電源に使用される場合にはご注意ください。
- ⑤電子機器の内部は上部ほど高温になっています。機器使用状態でコンデンサの取り付け位置はできるだけ下方にくるよう配置してください。特に立てて使用する電子機器の場合にご配慮ください。

2-12-4 突入電流と放電抵抗

コンデンサインプット形電源では、電源入力投入時にコンデンサを充電するピーク電流（突入電流）が流れます。突入電流は入力投入時のタイミングや回路方式によって異なりますが、定常電流の数十倍になることがあります。一日数回程度の繰り返しであれば問題ありませんが、頻繁に電源の投入・遮断を繰り返す場合、および投入時に発生する電磁ノイズが機器に支障をおよぼす場合には、入力側の回路にインダクタンス又はアクティブフィルタを追加されることをお勧めします。また電源を遮断した際自動的にコンデンサを放電する回路方式の場合には、1k Ω 以上の放電抵抗で放電されるようお願いいたします。

2-12-5 表面実装用(チップ形アルミニウム電解コンデンサ)

チップ形アルミニウム電解コンデンサは、リード線形コンデンサを表面実装用として、基板にリフローはんだ付けする際、安定性、はんだ付け性、耐熱性をよくするため、リード線を偏平加工し、熱に強い座板を取り付けた縦形チップタイプが主流です。

当社は縦形チップアルミニウム電解コンデンサとして、ケースサイズ ϕ 3, 4, 5, 6.3, 8, 10mmで定格電圧4V $\sim$ 500V 静電容量0.1 μ F $\sim$ 2200 μ Fと、ケースサイズ ϕ 12.5, 16, 18, 20mmで定格電圧6.3V $\sim$ 450V、静電容量3.3 μ F $\sim$ 10000 μ Fを取りそろえ広範囲をカバーしております。チップ形アルミニウム電解コンデンサの外観を(図 2-21)に示します。なお、詳細は当社カタログをご参照ください。

(表示例)

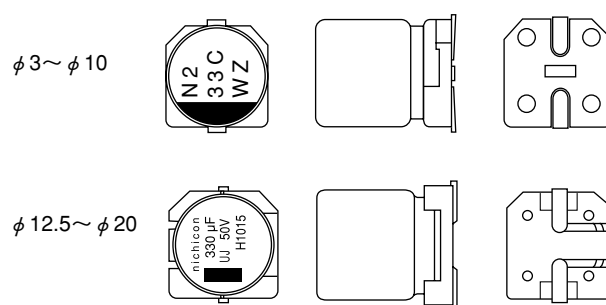


図 2-21