

目次

1. 概要	2
1-1 基本構成・構造	2
1-2 構成材料	3
2. 製造工程	6
3. 性能	9
3-1 静電容量	9
3-2 損失角の正接とインピーダンス	9
3-3 コンデンサ等価回路と ESR	11
3-4 漏れ電流	12
3-5 インピーダンス	13
3-6 温度特性	13
3-7 周波数特性	14
3-8 寿命特性	15
4. 故障モード	17
5. 寿命について	18
5-1 周囲温度と寿命	18
5-2 リプル電流と寿命	19
5-3 印加電圧と寿命	20
5-4 製品タイプごとの寿命計算式	21
5-5 寿命計算式の計算結果(期待寿命)について	22
6. 使用上の注意事項	23
6-1 使用上の注意事項	23
6-2 充放電使用	23
6-3 ラッシュ電流	25
6-4 過電圧印加	25
6-5 逆電圧印加	25
6-6 直列・並列接続	26
6-7 再起電圧	28
6-8 高所での使用	28
6-9 低温環境での使用	29
7. 製品選定のポイント	30

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

1. 概要

1-1 基本構成・構造

図 1 にアルミニウム電解コンデンサの基本構成を示します。

アルミニウムの表面に形成された酸化アルミニウムを誘電体とし、陽極箔と陰極箔との間に介在するセパレータ紙内に含浸した電解液を真の陰極としてコンデンサを形成したものです。

酸化アルミニウムは、アルミニウムを電解液中で陽極酸化する事(化成処理)により得られ、その厚さは非常に薄く、印加された電圧(化成電圧)に比例します。尚、本解説では、この陽極酸化によって形成された酸化アルミニウム被膜を酸化被膜と呼びます。

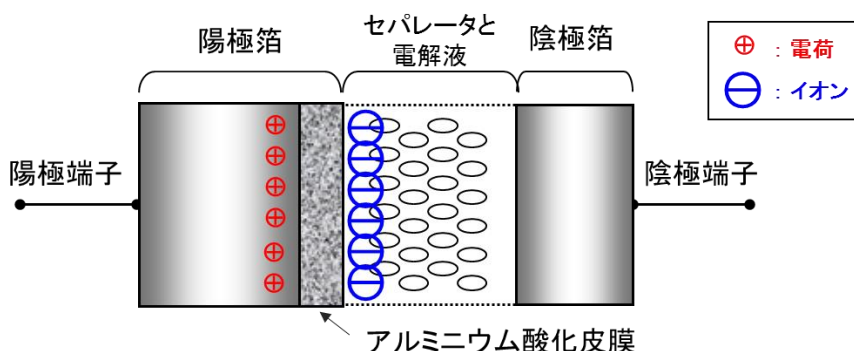


図 1 アルミニウム電解コンデンサの基本構成

- ・陽 極……陽極箔のアルミニウム地金部分
- ・陰 極……真の陰極は電解液
- ・誘電体……陽極箔上に生成させた酸化皮膜
- ・陰極箔は、外部端子と電解液が電氣的に接触する役割を果たします。一般の有極性コンデンサの陰極箔の化成処理は行いませんが、エッチング後空気中の酸素により酸化され自然酸化皮膜が形成されます。この自然酸化皮膜の耐圧は 1～2Vとされています。
- ・セパレータ紙は、両極箔の接触を防止すると同時に、電解液を保持する役割を持っています。

表面に形成された酸化皮膜は、アルミがプラス、電解液がマイナスになった時にのみ耐電圧を持ち、この逆の場合には数秒のうちに耐電圧を失ってしまう、いわゆる弁作用を示します。その結果、アルミニウム電解コンデンサには極性が存在するのです。

従って、両極箔とも酸化皮膜を形成させたものならば、無極性のアルミニウム電解コンデンサとなります。

アルミニウムの弁作用については、諸説があり現在でも様々な文献が出ていますが、水素イオン説が有力であろうと考えられています。これは、電解液をプラス、金属をマイナスにして電荷を加えると、皮膜表面に集まった水素イオンはそのイオン半径が極めて小さい為、アルミ酸化皮膜内を通り抜けて酸化皮膜と金属の間に達し、そこで放電して水素ガスとなります。この水素ガスの圧力により酸化物が本体から引きはがされ、そこに電解液が浸入して電流が流れ出します。この逆に電圧を印加した場合は、陰イオンが皮膜表面に集まります。しかし、陰イオンは水素イオンに比較し、イオン半径が大きく、酸化皮膜内を通り抜けることができない為に、耐電圧をもつというものです。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

アルミニウム電解コンデンサの素子は図 2 のように陽極箔・陰極箔・セパレータ紙を円筒形に巻いたものから電極端子を引き出した構造になっています。

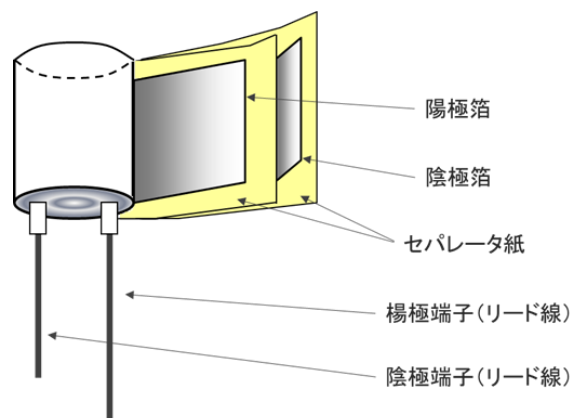


図 2 アルミニウム電解コンデンサ素子の構造

アルミニウム電解コンデンサは、上記素子に電解液を含浸させ、アルミケースと封口材で封止して製造しますが、製品形態により電極端子の引き出し構造や封止構造などが異なります。代表的な構造を図 3 に示します。表面実装形は、リード端子形のリード線を表面実装できるように加工し座板を覆った形状となっています。また、基板自立形は、素子からの電極引き出しがリード線ではなくアルミタブになっており、ツメ端子付きの封口板に接続し封止されています。

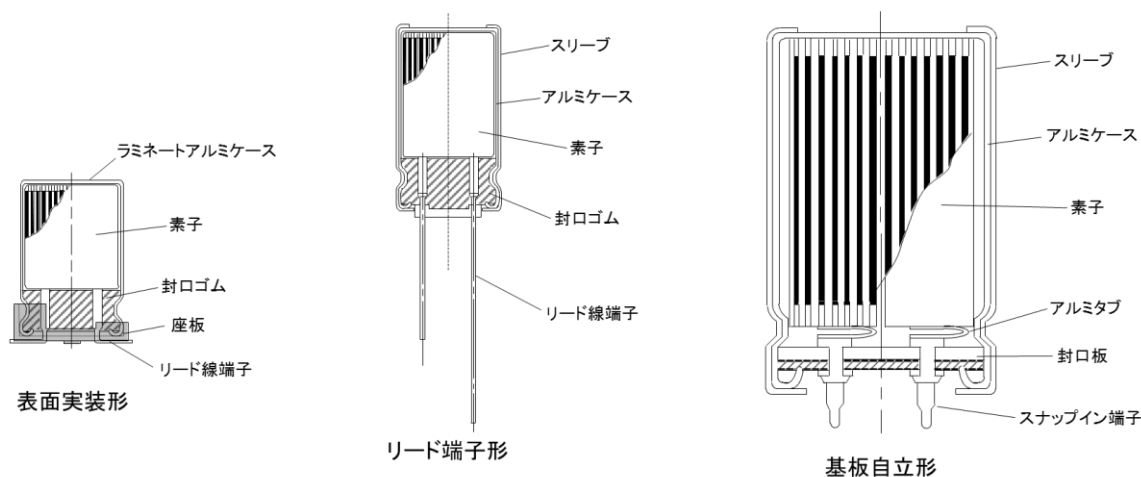


図 3 アルミニウム電解コンデンサの代表的な構造

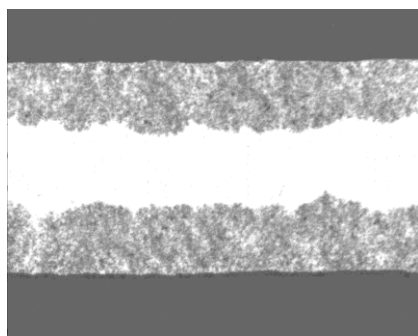
1-2 構成材料

アルミニウム電解コンデンサの主な構成材料について説明します。

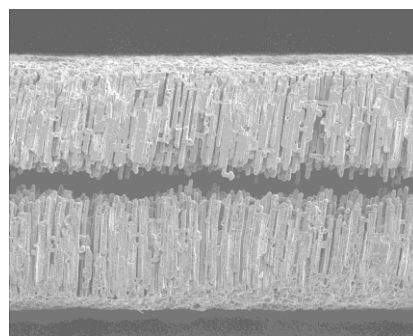
《電極箔》

電極箔には、一般に 20～120 μm の高純度 (99%以上) のアルミニウム箔を使用します。

大きな静電容量を得るために、電極箔表面積を増やすエッチングという電気化学的な粗面化処理を行います。このエッチングにより形成されるピットの形状は、面積効率を考慮して定格電圧により選択されます。すなわち、低圧用には交流エッチングによる多孔質なピット形状、高圧用には直流エッチングによるストレートなピット形状のものを用います。(写真 1)



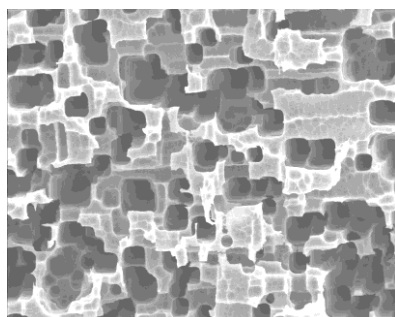
低圧



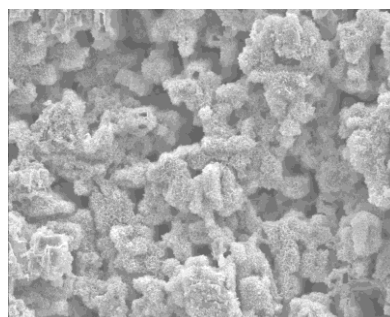
高圧(レプリカ)

写真1 エッチング箔断面の例

陽極用エッチング箔は、この後陽極酸化処理を施し箔表面に誘電体となる酸化アルミニウム皮膜を形成(化成)して、目的の耐電圧を得ます。(写真2)



エッチング済み



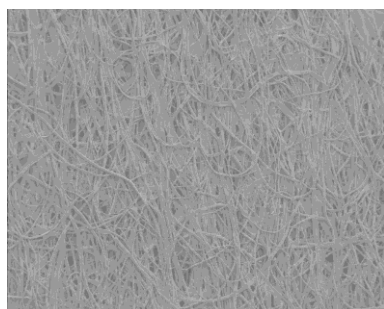
化成済み

写真2 高圧箔の表面拡大の例

《セパレータ紙》

セパレータ紙は主に天然セルロース繊維で構成され、厚さは、一般に $20\mu\text{m}$ から $90\mu\text{m}$ で、製品のインピーダンス、定格電圧に合わせて厚さと紙の種類を選定します。高い密度と厚い紙は、高い定格電圧の製品に使用される傾向にあり、低インピーダンス品の場合には、低密度紙が選択されます。

写真3に典型的な低圧用及び高圧用セパレータ紙の拡大写真を示します。低圧用は低インピーダンス(低ESR)化を目的に比較的細く丸い形状の繊維で構成されています。これに対し、高圧用は高い耐電圧を維持するために扁平な形状の繊維で構成されています。



低圧用



高圧用

写真3 セパレータ紙表面の例

《電解液》

電解液はイオン性物質を溶媒に溶解させた電気伝導を有する溶液であり、その特性が製品の耐電圧・温度特性・周波数特性・寿命特性に大きな影響を与えるため、重要な構成材料です。定格電圧・使用温度範囲・要求特性に応じて最適な電解液を選定します。

また、電解液は陽極酸化皮膜の欠陥部修復も担っており、この修復性能はセラミックコンデンサやフィルムコンデンサなどのコンデンサには見られない電解コンデンサの特長です。

《ケース・封口材》

電解液の乾燥や液漏れを防止するために、アルミケースと封口材で気密性を確保します。また、異常時のガス発生による内圧上昇に対応するため、ケースまたは封口材に安全弁（防爆弁）が設けられています。

封口材には、外部電極端子同士あるいはケース・外部電極端子間での短絡を防ぐ役目もあるため、絶縁性のゴムや樹脂が使われます。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

2. 製造工程

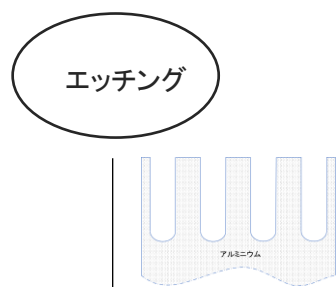


図 4

アルミニウム原箔にエッチング処理を行い、箔表面にピットを形成して表面積の拡大を行います。

エッチング処理は、塩化物水溶液中で直流電流又は交流電流を印加することでアルミ表面を選択的に溶解させるもので、低圧用では 60～150 倍、高圧用では 10～30 倍の面積拡大がなされます。

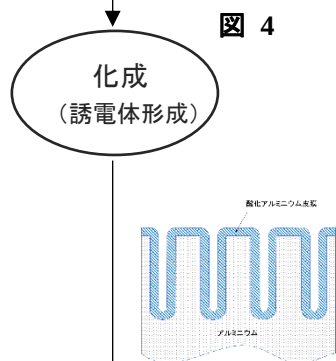


図 5

アルミニウム電解コンデンサの誘電体は、酸化アルミニウム (Al_2O_3) であり、エッチング箔上にこれらを形成するのが化成工程です。エッチングされたアルミ箔をホウ酸、リン酸等のアンモニウム水溶液中に浸漬して、エッチング箔をプラス、水溶液をマイナスにして電気を流すと、その電圧に比例した厚さを持つ酸化アルミニウム皮膜が表面に形成されます。この誘電体は、 $13 \text{ \AA/V} \sim 15 \text{ \AA/V}$ ($1.3 \text{ nm/V} \sim 1.5 \text{ nm/V}$) の非常に薄く緻密な皮膜で、しかも高い絶縁性をもっています。



化成された電極箔から個々の電解コンデンサを製造する為に、製品サイズ毎に設定されている箔幅にスリットを行います。



スリットされた陽極箔と陰極箔に引き出し電極となるリード線/タブをプレス・カシメし、セパレータ紙と共に円筒型に巻き取ります。セパレータ紙は、真の陰極として、また陽極の酸化皮膜修復液として作用する電解液を電極間に保持する機能と、陽極箔と陰極箔を一定距離で分離保持して電極間の耐圧維持、ショート防止を行う機能を併せ持っています。

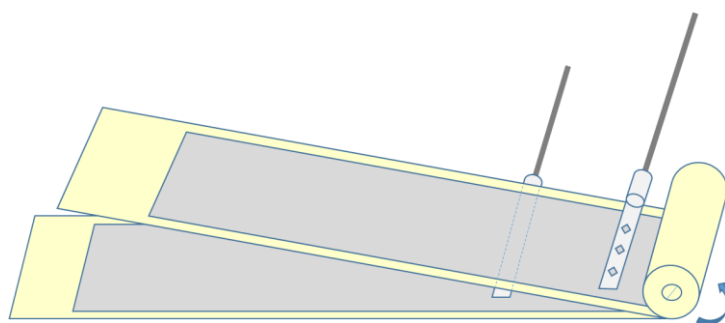
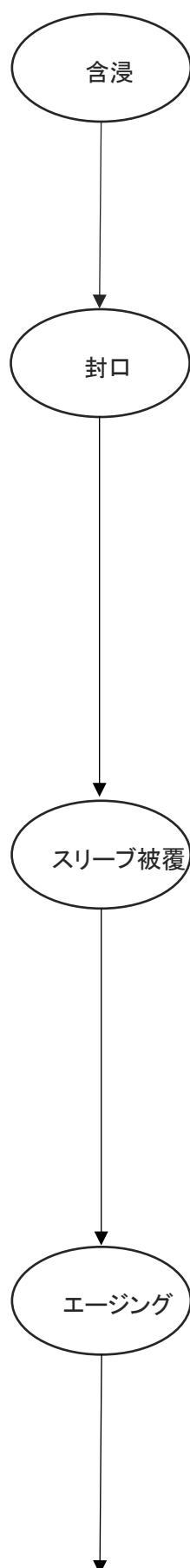


図 6

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります



巻取素子に陰極となる電解液を真空含浸、減圧含浸またはディップ含浸により注入します。

電解液は一般的にエチレングリコール等の多価アルコール類を主溶媒とし、これにアンモニウム塩等が溶質として使用され、誘電体の修復性を有すると共に、コンデンサの性能、寿命等に大きな影響を与えます。

含浸された素子にゴムパッキング/ゴム貼り端子板/モールド端子板のいずれかをつけて、アルミケースと共に封止します。

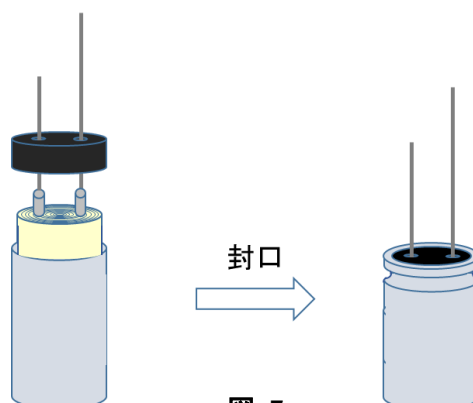


図 7

封口されたコンデンサに、スリーブ（熱収縮性チューブ）を被覆します。このスリーブは表示を目的としていますので、内部素子及びアルミケースとの絶縁が必要な場合には、絶縁を保証した材料を使用する必要があります。

表面実装形等のラミネートケース仕様品にはケースに直接印字するためスリーブを被覆しません。

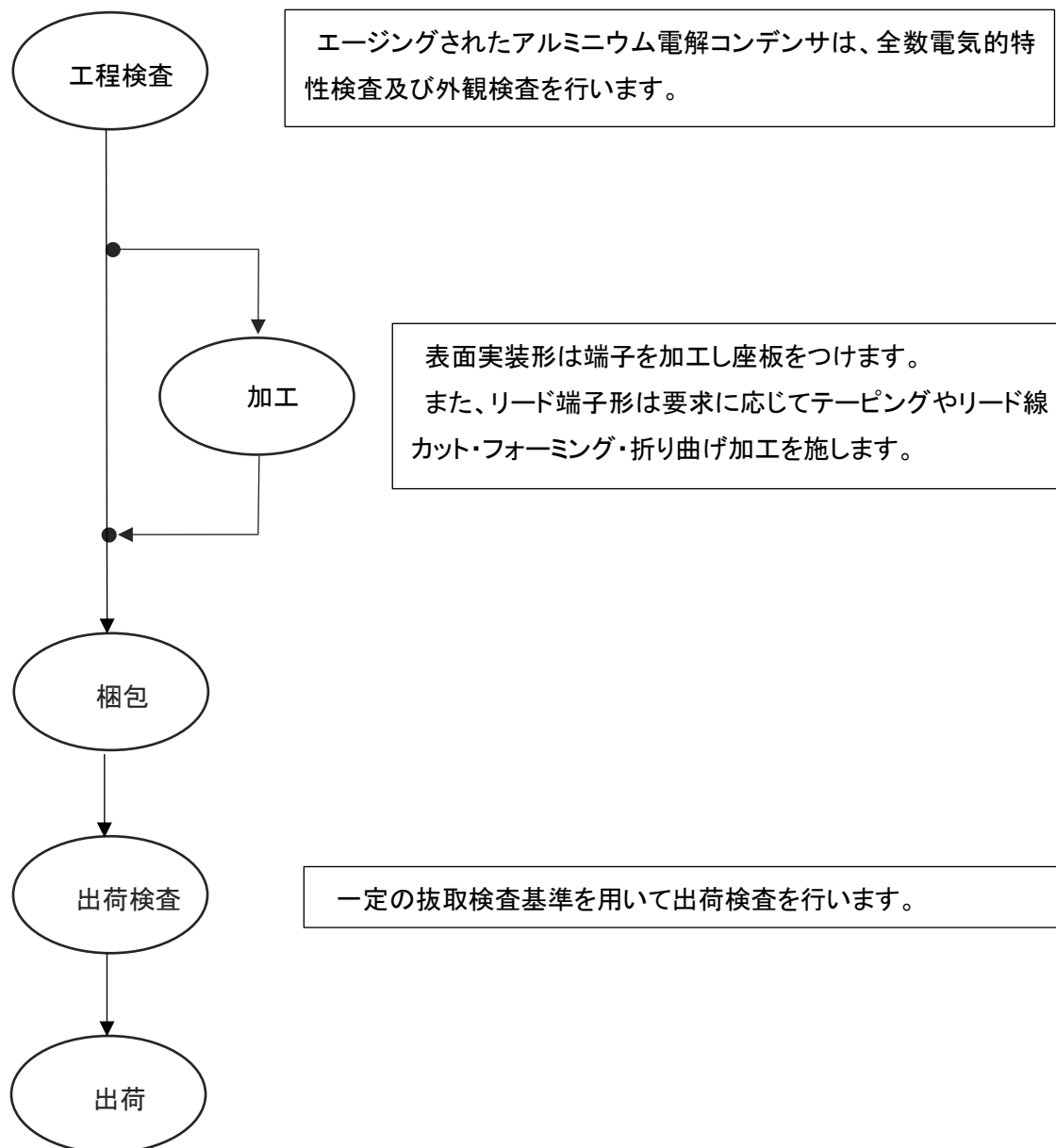


写真 4

アルミニウム電解コンデンサの誘電体である酸化皮膜は化成工程で形成されますが、スリット面や接続部はアルミ金属地金が出ており、又、巻取工程等でも酸化皮膜表面にクラックが入ることがあります。従って、コンデンサとして機能する為には、これらに再度酸化皮膜を形成する必要があります。高温中で一定の電圧を印加し電解液の皮膜修復作用を用いて、金属地金部分と酸化皮膜の弱い部分を再化成するこの工程をエージングと言います。このエージングによりコンデンサの漏れ電流を安定させると同時に、初期不良の除去といったデバッキングの効果も期待できます。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります



3. 性能

3-1 静電容量

コンデンサの静電容量は一般に式 1 によって表されます。

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \quad \text{式 1}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} C: & \text{静電容量 (F)} \\ \epsilon_0: & \text{真空の誘電率 (8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m})} \\ \epsilon_r: & \text{比誘電率} \\ S: & \text{電極対向面積 (m}^2\text{)} \\ d: & \text{電極間距離 (m)} \end{array} \right.$$

アルミニウム電解コンデンサにおいて、電極対向面積 S はエッチングにより拡面化された電極面積で低電圧用アルミニウム電解コンデンサでは見かけ上の面積の 60～150 倍となっています。

また、電極間距離 d は誘電体、即ち酸化皮膜の厚みに相当し、13～15Å/V でありその比誘電率 ϵ_r は、8.5～10 となります。

実際のアルミニウム電解コンデンサは図 1 に示したように陽極箔と陰極箔で構成されており、陰極箔にも自然酸化皮膜もしくは低い化成電圧で形成した酸化皮膜があり静電容量を有しますので、アルミニウム電解コンデンサの製品容量 C は陽極箔の静電容量 C_a と陰極箔の静電容量 C_c が直列に接続されていると考えて、式 2 のように計算されます。

$$C = \frac{C_a C_c}{C_a + C_c} \quad \text{式 2}$$

コンデンサに蓄積される電気量 Q (クーロン) は端子間電圧を V (ボルト) とすると、

$$Q = CV \quad \text{式 3}$$

となります。 Q (クーロン) の電気量を充電するのに必要な仕事 W (ジュール) は、式 4 の通りです。

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \quad \text{式 4}$$

3-2 損失角の正接とインピーダンス

理想的なコンデンサに正弦波交流電圧を印加すると、その電流は電圧に対して $\pi/2$ 進んだ位相で流れます。しかし、実際のコンデンサは $\pi/2$ より進み方が小さく $\pi/2 - \delta$ となります。この δ を損失角と呼びます。(図 8)

この損失角の正接 $\tan \delta$ は、インピーダンス素子であるコンデンサの損失の程度を表しており、コンデンサの性能の指標として使われています。また、 $\tan \delta$ は Q 値の逆数という関係になります。

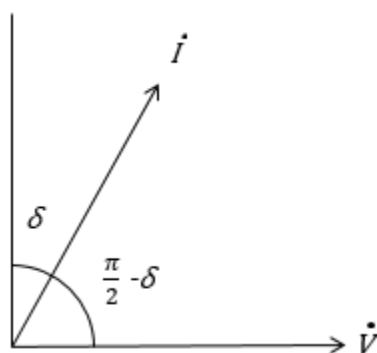


図 8 損失角

図 8 は、フェーザ表示(交流回路の電圧と電流を複素平面上に表したもの)にて、この損失角を説明したものです。ただし、長さが実効値(振幅の $1/\sqrt{2}$)のベクトルで電圧と電流が表されており、実際の電圧 $V(t)$ と電流 $I(t)$ と区別するため、 $\dot{V}$ 、 $\dot{I}$ とドットを付けて表示しています。

フェーザ表示で表された交流電圧と交流電流の関係を複素数で表したものがインピーダンスで、次のようになります。

$$\dot{V} = Z\dot{I} \quad \text{式 5}$$

静電容量 C とそれに直列接続された抵抗 R で構成された素子のインピーダンス Z は、次の式(複素数表示)で表されます。

$$Z = -j\frac{1}{\omega C} + R \quad \text{式 6}$$

ここで、 ω は交流電圧(交流電流)の角周波数で周波数 f [Hz] とは、次の関係にあります。

$$\omega = 2\pi f \quad \text{式 7}$$

式 6 を複素平面上で表したものが、図 9 で、 X_c は容量性リアクタンスでインピーダンスの虚部、 R は抵抗でインピーダンスの実部、 δ が損失角になります。

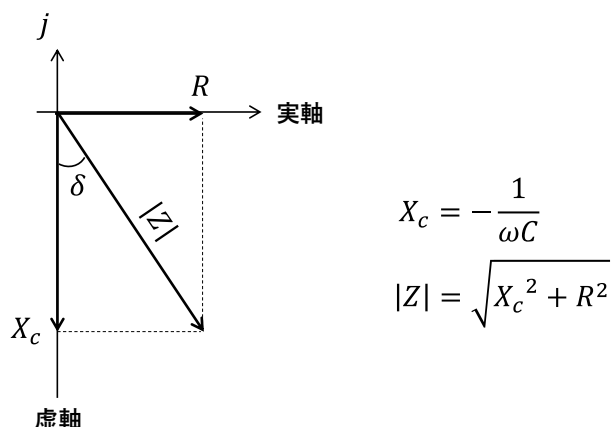


図 9 コンデンサのインピーダンスと損失角

図 9 からわかるように、損失角の正接 $\tan\delta$ と X_c 、 R は次の関係にあります。

$$\tan\delta = \frac{R}{X_c} = \omega CR = 2\pi fCR \quad \text{式 8}$$

3-3 コンデンサ等価回路と ESR

3-2 節で説明したように、コンデンサの交流インピーダンスの実部は抵抗成分(交流)を表しています。3.5 節で説明するように、コンデンサのインピーダンスは、図 10 のように静電容量 C 、抵抗成分 R 、寄生インダクタンス成分 L を直列接続した回路(3 素子モデル)で表現できます。

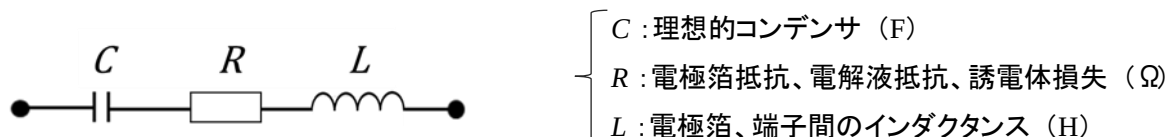


図 10 等価回路の模式図

この 3 素子モデルで表現した時の抵抗成分と寄生インダクタンスは、それぞれ等価直列抵抗 (ESR) と等価直列インダクタンス (ESL) と呼ばれています。実際のコンデンサの静電容量、ESR 及び ESL は、周波数、バイアス電圧や温度によって変化します。アルミ電解コンデンサのインピーダンスの温度特性については、3-6 節を参照ください。また、ESL は主にコンデンサの端子形状等によって決まるので、コンデンサが使用される温度周波数域で一定の値と扱ってよいものです。そこで、本節では、アルミ電解コンデンサの ESR について解説します。

アルミ電解コンデンサの ESR は、(i) 誘電体である酸化被膜の誘電損、(ii) 電解液と電解紙による抵抗分、(iii) 電極箔金属部や引き出しリード等のオーミック抵抗から構成されています。(i) の誘電損ですが、誘電体である酸化被膜の分極の応答の遅れに起因する損失です。この損失による抵抗成分は、コンデンサの容量性リアクタンスに比例する特性を持ち、周波数の逆数に比例します。従って、この抵抗成分は低周波域で主要な成分となるので、商用電源の平滑用アルミ電解コンデンサの定格リップル電流 (120Hz/100Hz で規定) や発熱推定において重要なものとなります。(ii) 電解液と電解紙による抵抗ですが、電解液の比抵抗は、金属に比べ非常に高くまた大きな温度依存性を有します。そのため、アルミ電解コンデンサのインピーダンス特性の温度変化も大きいものとなります。この抵抗成分は、(i) の誘電損が小さくなる周波数領域 (10kHz~) の ESR の値を決定します。スイッチング電源のキャリア周波数は、この周波数領域にあたるので、スイッチング電源の 2 次側平滑用のアルミ電解コンデンサ性能は、電解液によって決まると言えます。(iii) アルミ電解コンデンサを構成する導電部 (金属部) に起因するオーミック抵抗ですが、これは温度や周波数による変化が小さく一定値と考えることができます。よって、この抵抗が ESR において支配的になるのは、周波数 10kHz 以上でかつ比較的に温度が高い場合になります。(図 11)

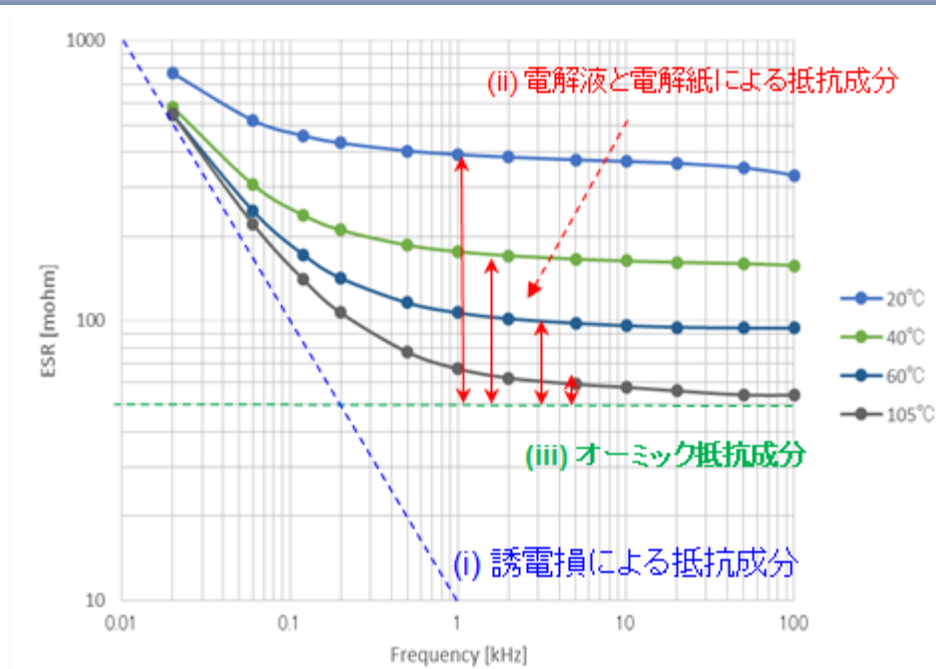


図 11 アルミ電解コンデンサの ESR 特性

3-4 漏れ電流

アルミニウム電解コンデンサに電圧を印加すると、最初はコンデンサの静電容量と直列抵抗で決まる大きな電流(充電電流)が流れますが、次第に電流が減少し、吸収電流の影響が無くなるまで充電すると、最終的には一定の電流(漏れ電流)へと収束します。(図 12)

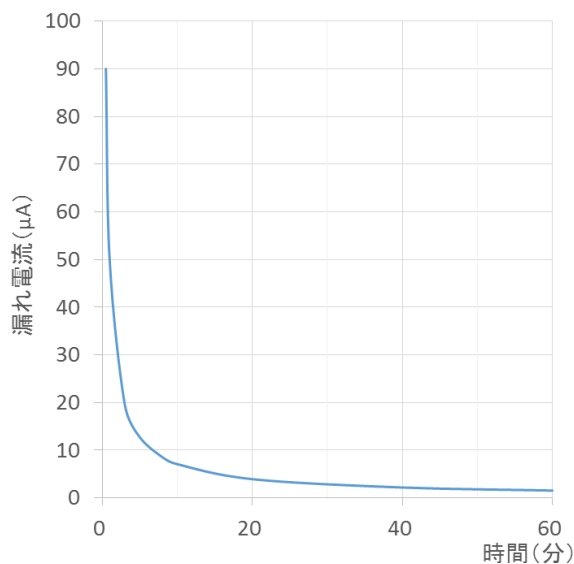


図 12 漏れ電流の経時変化

この僅かに流れる漏れ電流の要因としては、誘電体である酸化皮膜の欠陥部の存在や不純物等による誘電体の破壊、電解液成分による修復などが挙げられます。本来、漏れ電流とは、この収束した電流を指すのですが、収束までに時間が掛かりすぎるため、製品カタログでは便宜上、20℃環境で直流電圧を印加した後 1～5 分後(製品ごとに時間を規定)の電流を漏れ電流として規定しています。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

3-5 インピーダンス

コンデンサに交流電圧を印加した時に電流の流れを妨げる要因となるものをインピーダンス Z と言い、 $Z=1/j\omega C+j\omega L+R$ で表され、その大きさは式 9 で表されます。

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f \cdot L - \frac{1}{2\pi f \cdot C}\right)^2} \quad \text{式 9}$$

ただし、 R : ESR、 X_L : 誘導リアクタンス、 X_C : 容量リアクタンスです。

これを模式的に図示すれば図 13 の通りになります。即ち、低周波領域では X_C が、共振点付近では ESR が、また高周波領域では X_L がインピーダンスの支配的成分となります。

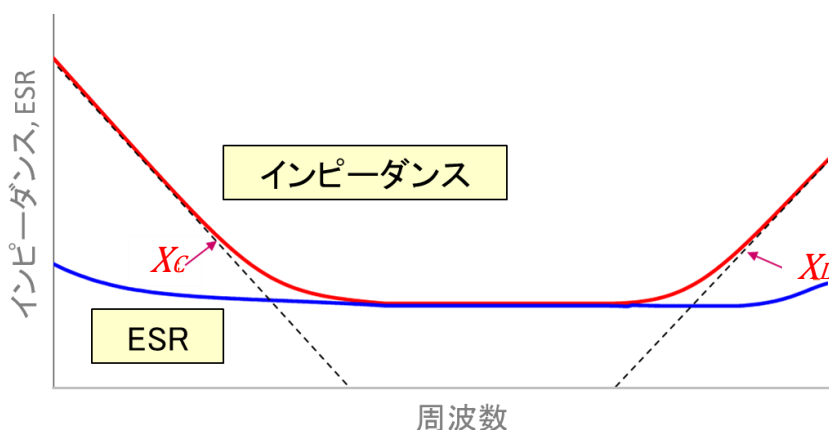


図 13 インピーダンス・ESR 周波数特性の模式図

3-6 温度特性

アルミニウム電解コンデンサの各特性には温度依存性があり、特に低温域において電解液の抵抗の増加により大幅な静電容量の減少、インピーダンス及び損失角の正接 ($\tan\delta$) の増加をみることがあります。また、漏れ電流は温度が高くなると大きくなります。図 14 に静電容量とインピーダンス、図 15 に損失角の正接 ($\tan\delta$)、図 16 に漏れ電流の温度変化の例をグラフで示します。

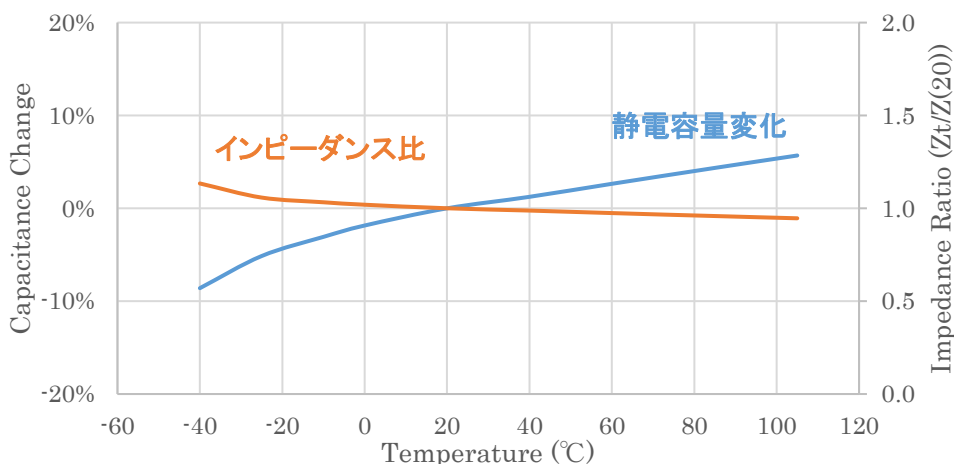


図 14 静電容量変化とインピーダンス比の温度特性の例 (20°Cを基準)

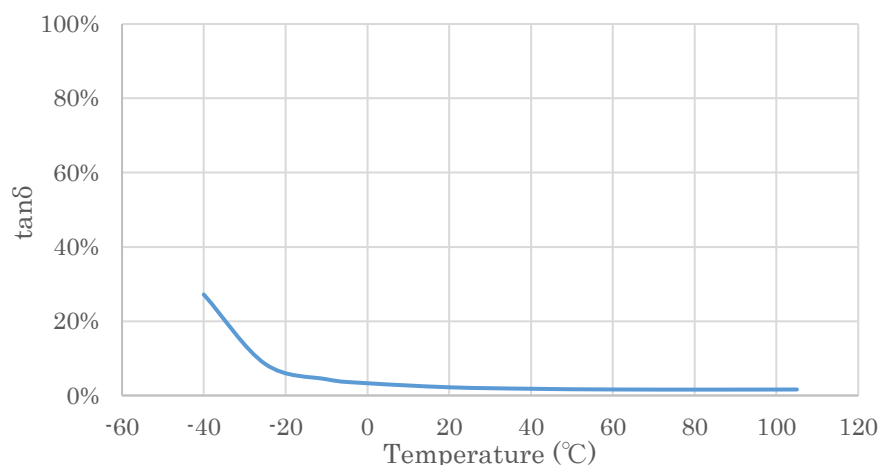


図 15 損失角の正接(tanδ)の温度特性の例

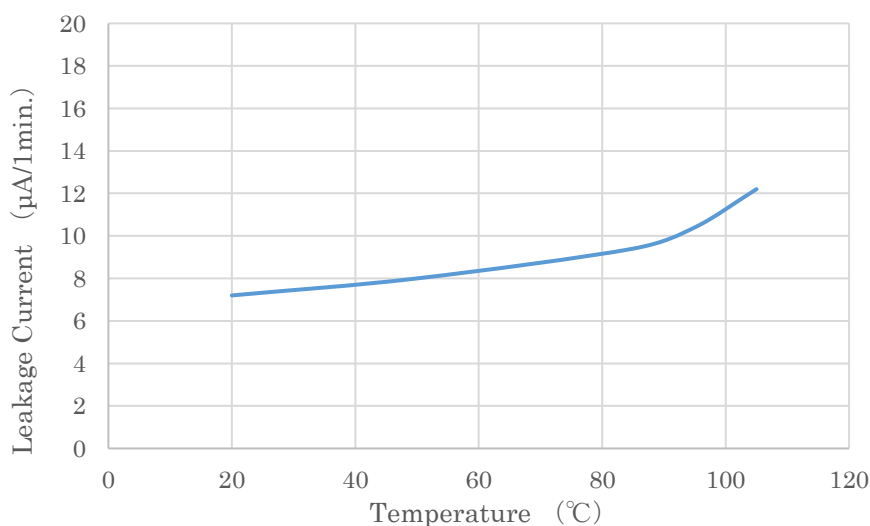


図 16 漏れ電流の温度特性の例

3-7 周波数特性

アルミニウム電解コンデンサの各特性には周波数依存性もあります。周波数が高くなるにつれ静電容量は減少する傾向を示します。インピーダンス特性及び等価直列抵抗(ESR)の変化は 3-5 節の図 13 に示した通りです。これらの変化率は製品により異なり、その原因として次の事項が考えられます。

- ①電極箔のエッチング形状
- ②誘電体としての酸化皮膜の性質
- ③電解液の特性
- ④コンデンサの構造

図 17 に静電容量の周波数特性の一例を示します。

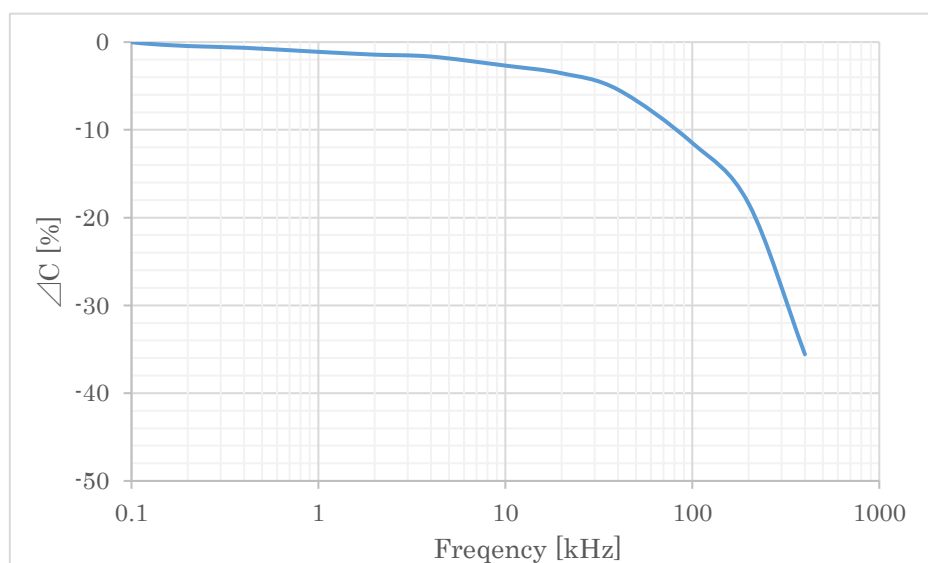


図 17 静電容量の周波数特性の例

3-8 寿命特性

アルミニウム電解コンデンサに直流電圧又は直流電圧にリプル電流を重畳した負荷電圧を長時間印加すると、静電容量の減少、損失角の正接 ($\tan\delta$) の増加がみられます。この変化量に一定の規格値を設け、製品寿命を規定しています。また、無負荷で長時間放置した場合も同様に静電容量の減少、損失角の正接 ($\tan\delta$) の増加がみられます。静電容量及び損失角の正接 ($\tan\delta$) の変化は、主として電解液の蒸発及び電解液成分の反応・分解による減少に起因し、特に高温中では、これが加速されます。

漏れ電流は、直流電圧の印加した寿命試験では、誘電体である酸化皮膜は電解液を消費しながら常に修復されているので、一定値に収束したまま殆ど変化しません。これに対し、無負荷放置では酸化皮膜の修復がないため漏れ電流の増加が見られる場合があります。

105°C中での定格電圧負荷試験 (Life 試験) 及び無負荷放置試験 (Shelf 試験) による各特性の変化の一例を図 18～図 20 に示します。

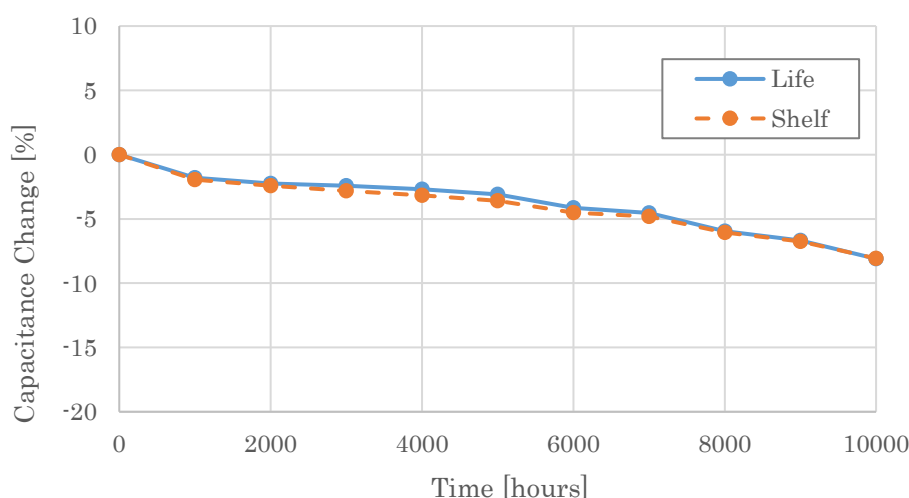


図 18 105°C寿命試験 静電容量の経時変化の例

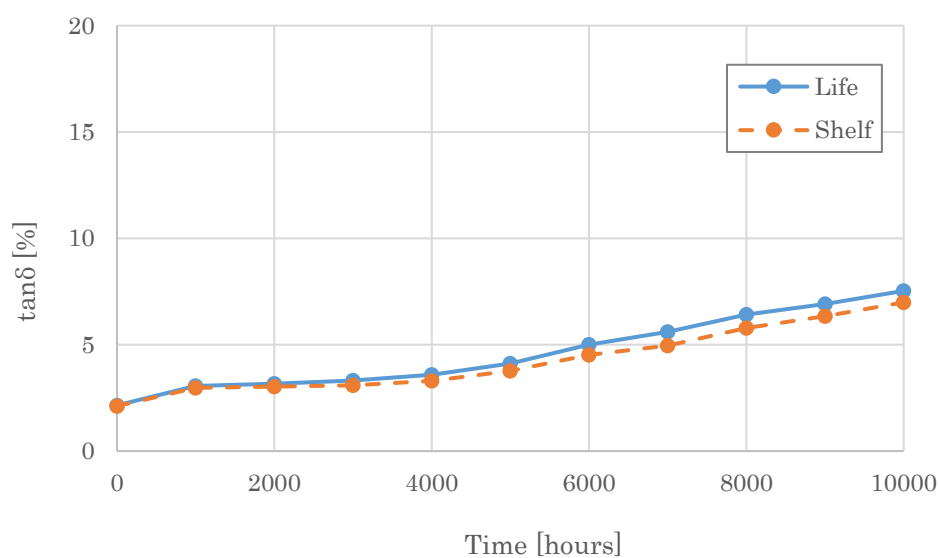


図 19 105°C寿命試験 損失角の正接(tanδ)の経時変化の例

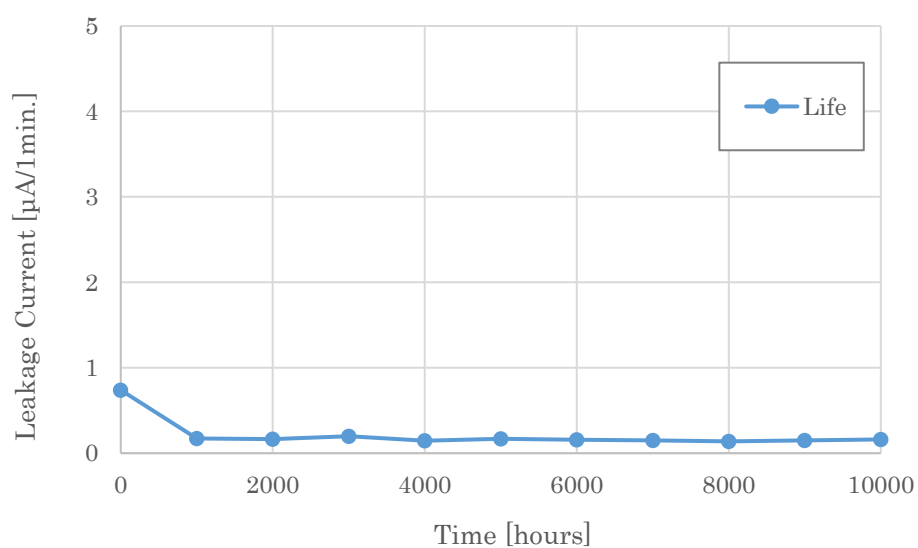


図 20 105°C寿命試験 漏れ電流の経時変化の例

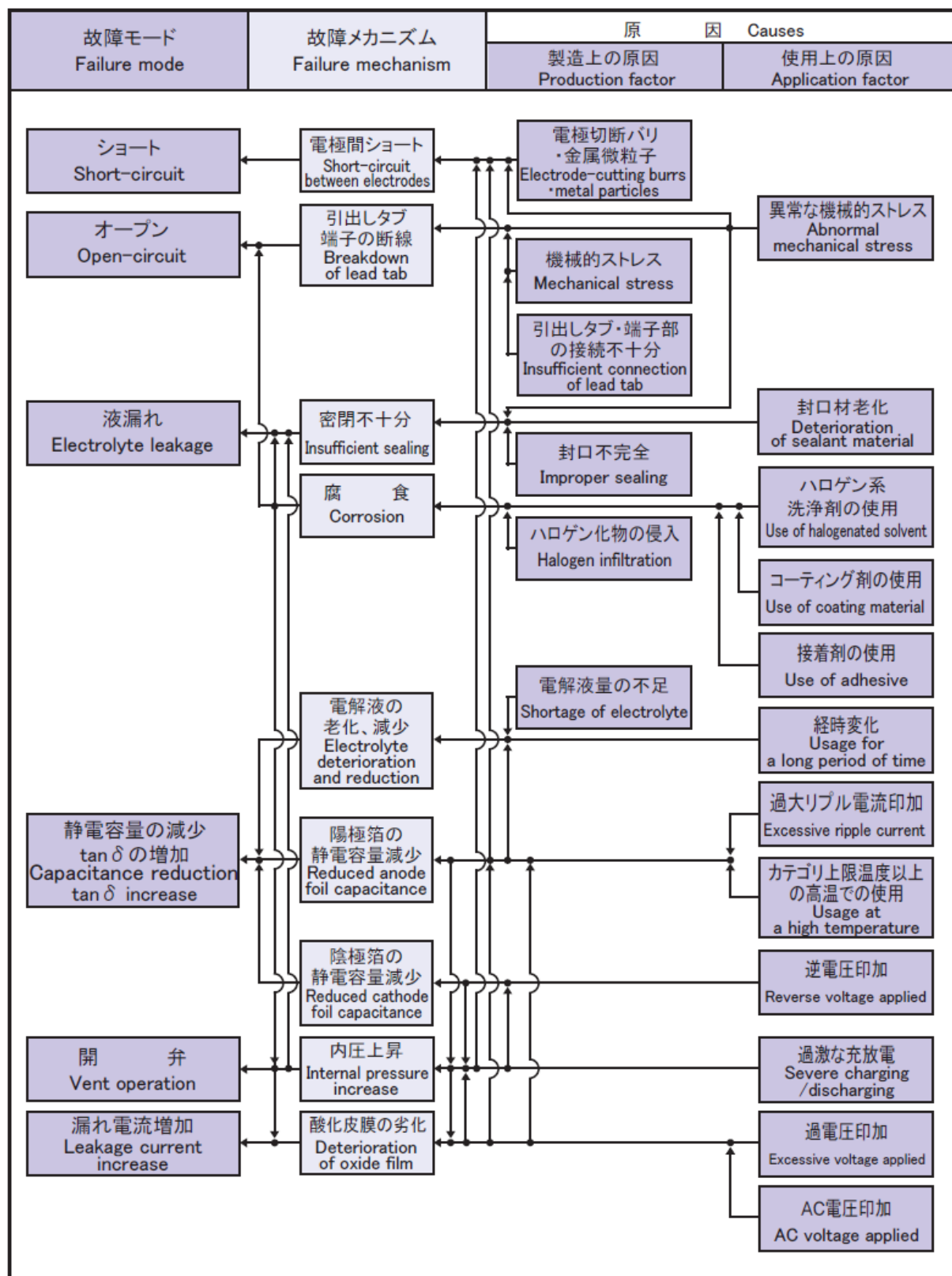
アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

4. 故障モード

代表的な故障モードとその要因については以下をご参照ください。

◆代表的な故障モードとその要因／TYPICAL FAILURE MODES AND THEIR FACTORS



5. 寿命について

アルミニウム電解コンデンサは、使用条件（環境条件や電氣的負荷等）によって大きな影響を受け、静電容量の減少や損失角の正接（ $\tan\delta$ ）の増大により寿命を迎えます。この特性劣化は一般的にコンデンサ素子内の電解液の減少によって引き起こされ、電解液が封止材へ溶け込み外界へ蒸散する拡散現象として説明されます。

5-1 周囲温度と寿命

アルミニウム電解コンデンサ寿命は温度依存性が高く、周囲温度と寿命の関係は使用温度が 10°C 下がる毎にその寿命が 2 倍になるという考え方（ $10^{\circ}\text{C}2$ 倍則）を基に式 10 で表されます。

$$L = L_0 2^{\frac{T_{\max} - T_a}{10}} \quad \text{式 10}$$

{	L	: 実使用時の寿命 (hours)
	L_0	: 耐久性規定温度での寿命 (hours)
	$T_{\max}$	: 最高使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)
	T_a	: 周囲温度 ($^{\circ}\text{C}$)

実際のアルミニウム電解コンデンサの寿命については、一般的に電解液の封止ゴム材からの蒸散が支配的要因であり、その速度（拡散係数）は、アレニウス則に一致することが確認されております。図 21 にアレニウス則と電解コンデンサの寿命計算に一般的に使われている“ $10^{\circ}\text{C}2$ 倍則”を、 105°C 寿命を基準として比較したものを示します。この図から分りますように、 $70^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ の領域でアレニウス則と“ $10^{\circ}\text{C}2$ 倍則”は良い一致を示しますが、 60°C 以下や 105°C を越える温度領域では、“ $10^{\circ}\text{C}2$ 倍則”との乖離が認められます。

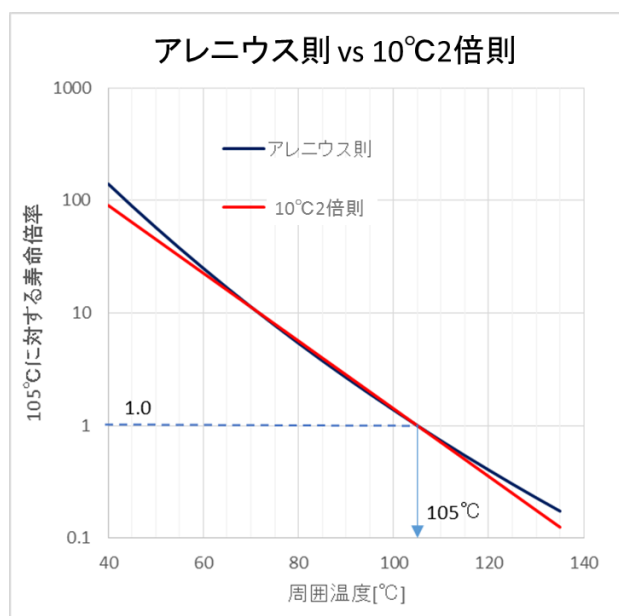


図 21 アレニウス則と $10^{\circ}\text{C}2$ 倍則の比較（ 105°C 寿命基準）

従いまして以下の節で述べる寿命計算式はカテゴリ温度上限が 105°C 以下の製品について主に適用されます。カテゴリ温度上限が 105°C を超える製品の寿命推定につきましては、別途お問い合わせをお願い致します。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

5-2 リプル電流と寿命

アルミニウム電解コンデンサは、他のコンデンサに比較し損失が大きく、リプル電流が印加された場合、ジュール熱を発生（自己発熱）します。この自己発熱によりコンデンサ内部（素子）の温度は、周囲温度またはコンデンサ表面温度より高い温度となります。また、このリプル電流による温度上昇は、アルミニウム電解コンデンサのドライアップが進むにつれコンデンサの抵抗成分も上昇するため、リプル電流による上昇温度に対する寿命加速は式 10 より大きい加速性を示します。

(1) コンデンサのリプル電流印加時におけるケース表面温度と素子中心温度について

リプル電流が印加された時のコンデンサの温度上昇は式 11 で表されます。

$$\Delta T_c = \frac{I^2 R}{\beta S} \quad \text{式 11}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Delta T_c & : \text{リプル電流によるコンデンサ表面の温度上昇 (}^\circ\text{C)} \\ I & : \text{リプル電流 (Arms)} \\ R & : \text{コンデンサの ESR (}\Omega\text{)} \\ S & : \text{コンデンサの表面積 (cm}^2\text{)} \\ \beta & : \text{放熱係数 (W/K}\cdot\text{cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

β の値は、ケース表面積が大きくなる程小さな値となる傾向を示し、近似的に式 12 で示されます。

$$\beta = 2.3 \times 10^{-3} \cdot S^{-0.2} \quad \text{式 12}$$

ここで、 β はケース表面温度を基準にした外気に対する自然対流下での放熱係数です。

(2) コンデンサのケース表面と素子中心部の温度勾配について

コンデンサの表面温度上昇と素子中心温度には温度差があり、その関係は式 13 によって表されます。

$$\Delta T_e = \alpha \Delta T_c = \Delta T_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^2 \quad \text{式 13}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Delta T_e & : \text{リプル電流による温度上昇(素子中心) (}^\circ\text{C)} \\ \alpha & : \text{表面温度と素子中心温度の温度差係数 (表 1、表 2)} \\ \Delta T_c & : \text{リプル電流によるコンデンサ表面の温度上昇 (}^\circ\text{C)} \\ \Delta T_0 & : \text{定格リプル電流設定時に規定したリプル発熱(}^\circ\text{C)} \cdots \text{注 1} \\ I & : \text{実使用時のリプル電流を規定されている周波数に換算した値 (Arms)} \cdots \text{注 2} \\ I_0 & : \text{定格リプル電流 (Arms)} \end{array} \right.$$

表 1 表面実装形、リード端子形の温度差係数

ケース外径 (mm)	$\phi 4 \sim \phi 8$	$\phi 10$ $\phi 12.5$	$\phi 14.5, \phi 16$ $\phi 18$
α	1.0	1.1	1.2

表 2 基板自立形の温度差係数

ケース外径 (mm)	φ20	φ22	φ25	φ30	φ35
α	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6

注 1: ΔT_0 はシリーズごとに設定されています。詳細はお問い合わせください。

注 2: リプル電流の各周波数における補正係数をシリーズごとに規定しています。実使用条件の周波数ごとのリプル電流実効値を測定し、製品カタログ記載の周波数係数で割ることで定格リプル電流を定義した周波数の実効値に換算できます。(式 14)

$$I = \sqrt{\sum_i (I_i / C_i)^2} \quad \text{式 14}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} I_i: & i \text{ 成分のリプル電流実効値} \\ C_i: & i \text{ 成分の周波数の周波数係数 (製品カタログのリプル電流補正係数参照)} \end{array} \right.$$

産業機器等においては、ファンによる強制空冷や水冷によるコンデンサ底面の冷却が行なわれております。そのような場合、コンデンサの熱等価回路モデルを用いて計算する必要があります。詳細はお問い合わせください。

(3) リプル温度上昇と寿命について

初期のリプル電流による発熱に対して、アルミニウム電解コンデンサの寿命がどのような加速性を持つか実験的に求め、このリプル電流による影響を加味して式 15 のように寿命を見積っています。また、リプル電流による寿命への影響度は、ドライアップ現象と同様に製品タイプ(サイズ)に依存するため、この効果を係数 k で表しています。

$$L = L_0 \times 2^{\left(\frac{\Delta T_0}{10-k\Delta T_0} - \frac{\Delta T_e}{10-k\Delta T_e}\right)} \quad \text{式 15}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} L: & \text{実使用時の寿命 (hours)} \\ L_0: & \text{定格リプル電流印加時の寿命 (hours)} \\ \Delta T_0: & \text{定格リプル電流印加時の素子中心の温度上昇 (°C)} \\ \Delta T_e: & \text{実使用時のリプル電流による素子中心の温度上昇 (°C)} \\ k: & 0.25(\text{表面実装形・リード端子形}), 0.17(\text{基板自立形}) \end{array} \right.$$

5-3 印加電圧と寿命

基板自立形のようにサイズが大きく電解液の保持量が多い製品では、電解液のドライアップだけでなく電圧印加時に流れる漏れ電流による電解液消費も寿命に影響を与えます。この効果を取り込んだ寿命計算式は式 16 のようになります。

$$L = L_0 \times \text{Min}[\kappa, 5(\kappa - 1)(1 - V/V_0) + 1] \quad \text{式 16}$$

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

- L : 電圧 V 印加時の寿命 (hours)
- L_0 : 定格電圧 V_0 印加時の寿命 (hours)
- V : コンデンサの実使用電圧 (V)
- V_0 : コンデンサの定格電圧 (V)
- κ : サイズ係数(表 3)

ここで、 $\text{Min}[A, B]$ は、 A, B のうち小さい数値をとることを意味します。

式 16 は、定格電圧の 80%以下で使用するとコンデンサ寿命が定格電圧印加に比べ κ 倍になることを意味します。この電圧依存性は、定格電圧が 160V 以上の基板自立形にのみ適用されます。一方、面実装形・リード端子形等の小さいサイズのものや定格電圧が 100V 以下のものには適用しておりません。これは、サイズの小さいものではドライアップ効果の方が大きいこと、低圧品では電圧依存性が認められないためです。

表3: サイズ係数 (κ)

適用シリーズ	製品長さ [mm]	サイズ係数 (κ)
USG, USH, USK, MXG, MXH, MXK, MXT, HXG, VXG, VXH, VXK, VXT, GXH, G XK, NXG, NXH, N XK, THC, THH, THK, HXH, HXK, KXF, SXG	20	1.75
	25	1.91
	30	2.12
	35	2.33
	40	2.54
	45	2.75
	50	2.95
	55	3.16
	60	3.37

※記載がないシリーズ及び製品長さの場合は、別途お問い合わせください。

5-4 製品タイプごとの寿命計算式

5-1 節から 5-3 節より、当社の寿命計算式は以下の通りとなります。

<表面実装形・リード端子形(耐久性規定温度 105℃以下)>

①定格リップル電流重量で耐久性を規定している製品

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{max}-T_a}{10}} \cdot 2^{\left(\frac{\Delta T_0}{10-0.25\Delta T_0} - \frac{\Delta T_e}{10-0.25\Delta T_e}\right)} \quad \text{式 17}$$

②DC 電圧印加で耐久性を規定している製品

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{max}-T_a}{10}} \cdot 2^{-\frac{\Delta T_e}{10-0.25\Delta T_e}} \quad \text{式 18}$$

- L : 推定寿命 (hours) T_a : 周囲温度(℃)
- L_0 : 規定寿命 (hours) ΔT_0 : 定格リップル電流印加時の素子中心の温度上昇(℃)
- T_{max} : カテゴリ上限温度(℃) ΔT_e : 実使用時のリップル電流による素子中心の温度上昇(℃)

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

※コンデンサ使用に際して下記に該当する場合は、別途お問い合わせください。

- ・リップル電流による温度上昇(ΔT_e)が 20°C を超える場合
- ・カテゴリ上限温度($T_{\max}$)が 105°C を超える製品

<基板自立形>

①定格電圧 100V 以下の製品

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{\max}-T_a}{10}} \cdot 2^{\left(\frac{\Delta T_0}{10-0.17\Delta T_0} - \frac{\Delta T_e}{10-0.17\Delta T_e}\right)} \quad \text{式 19}$$

②定格電圧 160V 以上の製品

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{T_{\max}-T_a}{10}} \cdot 2^{\left(\frac{\Delta T_0}{10-0.17\Delta T_0} - \frac{\Delta T_e}{10-0.17\Delta T_e}\right)} \times \text{Min}[\kappa, 5(\kappa - 1)(1 - V/V_0) + 1] \quad \text{式 20}$$

{	L :	推定寿命 (hours)
	L_0 :	規定寿命 (hours)
	$T_{\max}$:	カテゴリ上限温度 (°C)
	T_a :	周囲温度 (°C)
	ΔT_0 :	定格リップル電流印加時の素子中心の温度上昇 (°C)
	ΔT_e :	実使用時のリップル電流による素子中心の温度上昇 (°C)
	V :	コンデンサの実使用電圧 (V)
	V_0 :	コンデンサの定格電圧 (V)
	κ :	サイズ係数(表 3)

※コンデンサ使用に際して下記に該当する場合は、別途お問い合わせください。

- ・リップル電流による温度上昇(ΔT_e)が 30°C を超える場合
- ・HXG シリーズ及びカテゴリ上限温度($T_{\max}$)が 105°C を超える製品

5-5 寿命計算式の計算結果(期待寿命)について

寿命計算式により算出された値は、参考値であり保証値ではありませんのでご注意ください。また、コンデンサを検討される際には、機器の設計寿命に対し十分余裕を持った製品を選定してください。なお、寿命計算結果が 15 年を超える場合は、15 年が上限となります。それ以上の寿命を必要とされる場合は、別途お問い合わせください。

6. 使用上の注意事項

6-1 使用上の注意事項

アルミニウム電解コンデンサ使用上の基本的な注意事項については製品カタログの「アルミニウム電解コンデンサの使用上の注意事項」をご覧ください。

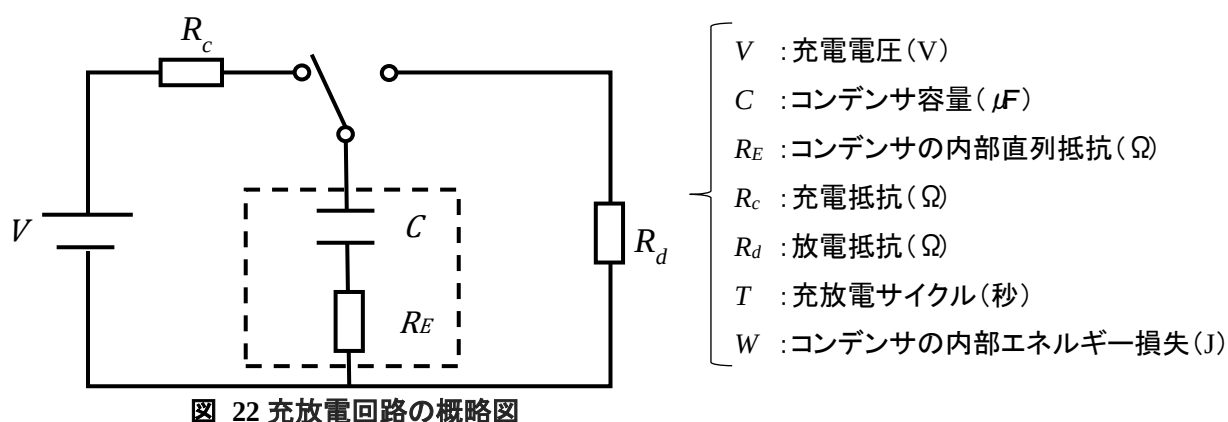
6-2 充放電使用

アルミニウム電解コンデンサは、充放電を行う回路に使用される場合、この充放電の繰り返しにより、特性の劣化が加速されます。充放電電圧が高く、放電抵抗が小さいほど、また、充放電サイクルが短く、周囲温度が高いほど劣化は加速されます。サーボアンプなど頻繁に回生が発生する機器や照明等大きなリプル電圧振幅を伴う機器において、充放電条件によっては圧力弁作動や破壊に至る場合があります。従って、使用条件を充分考慮した上で、コンデンサを選択し使用することが必要です。

充放電により、コンデンサの特性劣化や故障が発生する要因として、充放電電流による発熱や漏れ電流増大、陽極酸化皮膜の劣化・局所的な破壊、充放電による電解液の分解や陰極箔化成、それに伴うガス発生などが挙げられます。

① 充放電電流による発熱

カメラのストロボや溶接機など放電抵抗が小さく数Ω以下で頻繁に充放電を行う回路に使用されるコンデンサは、充放電電流が大きいことによる発熱が特性劣化の主要因となります。



アルミニウム電解コンデンサはその構造により図 22 に示す様に内部抵抗 R_E が存在します。内部抵抗は電解液抵抗、オーミック抵抗、酸化皮膜の誘電特性に起因します。そして充放電時のこの内部抵抗による損失 W は式 21 で示されます。

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \left(\frac{R_E}{R_E + R_c} + \frac{R_E}{R_E + R_d} \right) \frac{1}{T} \quad \text{式 21}$$

この損失による発熱でコンデンサの内部温度は上昇します。温度上昇は発熱量とコンデンサ表面からの放熱量が平衡状態になるまで進みます。

内部温度の上昇や頻繁に繰り返される大きな電界変化により、陽極箔の酸化皮膜の劣化が進行し、漏れ電流の増加、内部抵抗の増加など、コンデンサの特性劣化が加速されます。従いまして、充電抵抗や放電抵抗が小さく、頻繁な充放電を行う回路に使用するコンデンサは、発熱を小さくする為、内部抵抗を小さくし、寿命を

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

延ばす仕様を採ったコンデンサを用いることが必要となります。また、充放電電流が特に大きな場合は、陽極箔の酸化皮膜の誘電体損が特性劣化に大きな影響を与える要因となりますので、この様な場合は、内部抵抗を小さくすることに加えて、誘電体損の小さい仕様のコンデンサを用いる事が必要となります。

②充放電負荷による内圧上昇と容量減少のメカニズム

頻繁に ON/OFF を繰り返す回路に標準的なアルミニウム電解コンデンサを使用すると、コンデンサ内部でガス発生し内圧上昇をまねきます。これは、充電時に陰極箔表面でおきる電解液の電気分解と放電時に起こる陰極箔上への酸化皮膜の生成が原因と考えられます。

この現象は酸化被膜の整流性(有極性)に起因するものです。この整流性により、電極箔は金属側の電位が電解液の電位より高いときに耐圧(化成反応の起きる方向)を有しますが、その逆の電解液の電位が金属側より低いときは、電解液を電気分解する方向となり耐圧を有しません。そのため、アルミ電解コンデンサを充電すると陰極箔表面での電解液の電気分解を伴いながら、陽極箔にチャージされる電荷と陰極箔にチャージされる電荷が等しくない状態で平衡に達します。この状態を示したものが 図 23 (a) になります。

続いてこれが放電状態となった時、電荷が移動して中和されていきます。しかし、陽極箔に蓄えられる電荷が陰極箔より大きいため、放電を終了しても過剰な電荷が残り、電解紙部と両電極箔の金属部(短絡状態)との間に残留電圧 V_{res} があらわれます。(図 23 (b)) これは、陰極箔に対して順方向に電圧が印加された状態です。この電圧が陰極箔上の皮膜耐電圧を越えた場合、皮膜を通してガス発生を伴いながら電流が流れ、陰極表面に酸化皮膜が生成し陰極箔容量が減少します。その結果として、陽極箔と陰極箔の合成容量であるコンデンサの容量が減少します。

このように高いスループレートで変動幅の大きい電圧変動がアルミ電解コンデンサに印加されると、陰極箔上で起きる様々な電気化学反応によって、ガス発生や陰極箔の容量減少を引き起こします。従いまして、頻繁に充放電が繰り返されるような用途には、別途充放電対策を行ったコンデンサが必要になります。詳細については、弊社までお問合せ下さい。

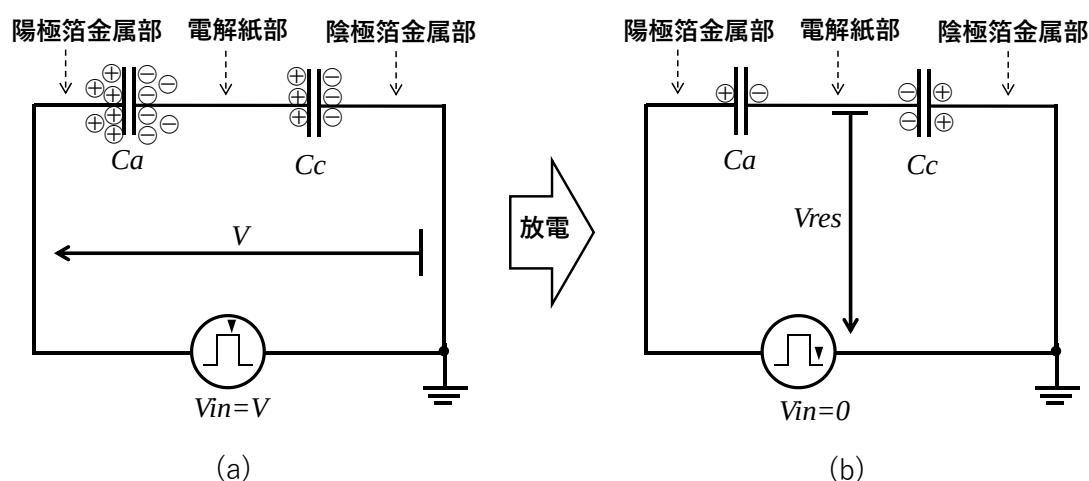


図 23 充放電時の電荷の移動

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

6-3 ラッシュ電流

ラッシュ電流(突入電流、始動電流)は、モーターを使用する機器や大容量の平滑コンデンサを有する機器などに電源を投入した際に一時的に流れる大電流のことで、その電流は定常状態の電流値に比べて非常に大きくなります。一般的にこのような始動時の大電流負荷は単発・短時間であるためコンデンサにとって問題にはなりません。頻繁に大電流負荷がコンデンサに掛かる回路の場合には、コンデンサの発熱が許容値を超えることや、内部電極と引き出し端子の接続部や外部端子との接続部において異常発熱することがありますので、注意が必要です。

また、車載電装機器においてもバッテリーと ECU(Electric Control Unit)との接続時に数百 A 程度のインラッシュ電流が、ECU の入力用に使用されているアルミ電解コンデンサに流れます。この電流ピーク値は、コンデンサのインピーダンス特性とハーネスのラインインピーダンスによってピーク電流値が決まります。その電流に対してコンデンサ内部の接続部の電流耐量が十分確保できるよう考慮する必要があります。

6-4 過電圧印加

コンデンサの定格電圧を超える電圧が印加された場合、電流が流れ、陽極の耐電圧が印加された電圧に見合うようになるまで酸化皮膜の形成が進み、コンデンサ容量の減少、 $\tan \delta$ (ESR)の上昇を生じます。また、この反応は発熱とガス発生を伴うため、内圧の上昇によるコンデンサの安全弁作動もしくは内部ショート破壊に至る場合があります。

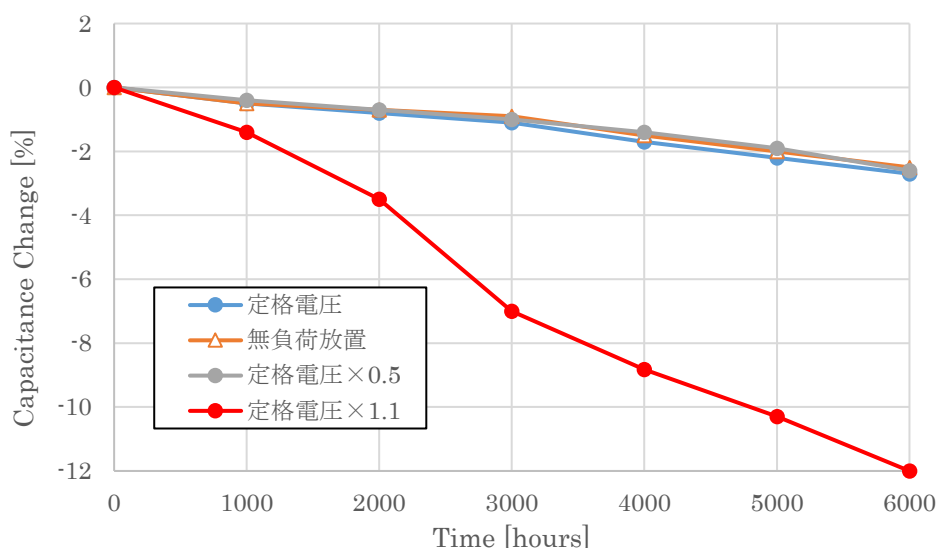


図 24 過電圧印加時の静電容量経時変化の例

6-5 逆電圧印加

アルミニウム電解コンデンサには極性があります。逆電圧が印加されると、電流が流れ、陰極の耐電圧が印加された電圧に見合うようになるまで酸化皮膜の形成が進み、コンデンサ容量の減少、 $\tan \delta$ (ESR)の増加、ガス発生を生じます。また、高い逆電圧が印加されると、ガス発生に伴う内圧の上昇によりコンデンサの安全弁が作動に至る場合があります。

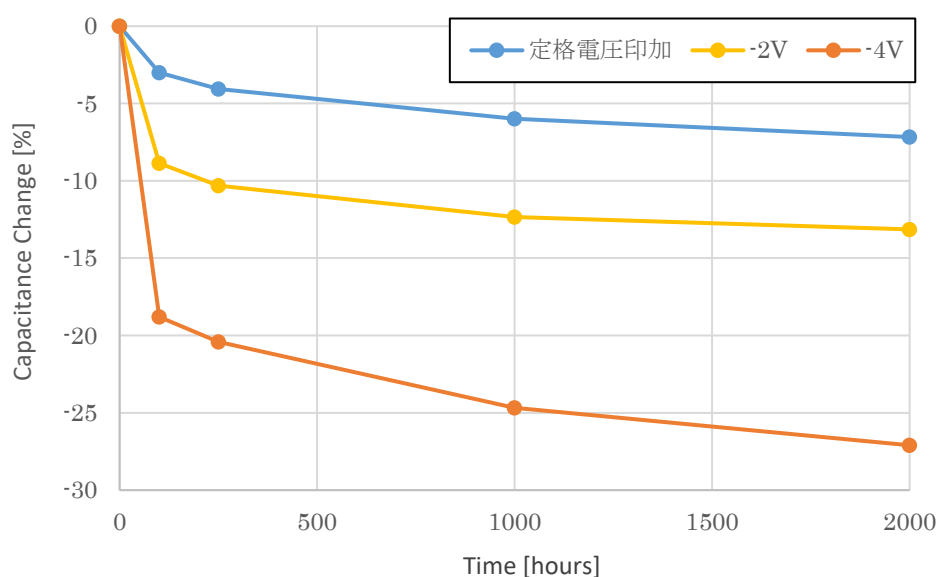


図 25 逆電圧印加時の静電容量経時変化の例

6-6 直列・並列接続

①コンデンサの直列接続について

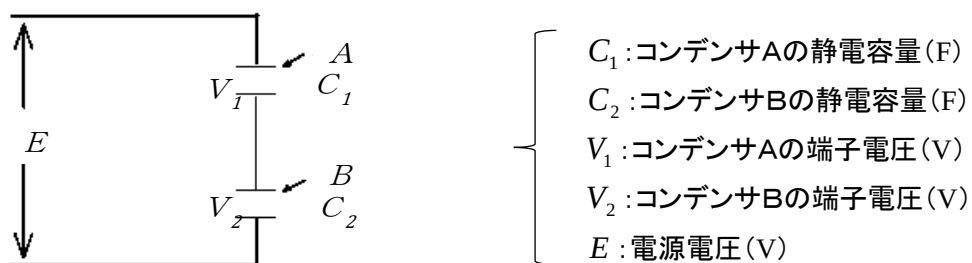


図 26 コンデンサの直列接続

コンデンサを直列接続する場合、充電時にはコンデンサの両端の電圧は、コンデンサの容量に対し、逆比例分配されて印加されます。

すなわち、

$$V_1 = E \times \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{式 22}$$

$$V_2 = E \times \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad \text{式 23}$$

$$E = V_1 + V_2 \quad \text{式 24}$$

のように電圧が分配されます。このため、静電容量のバラツキにより印加電圧にバラツキが生じ、場合によってはコンデンサへの印加電圧が定格電圧を超える事があります。この場合は、安全弁作動の原因となります。

充電が完了した場合においては、コンデンサの端子間電圧は、コンデンサの漏れ電流のバラツキにより変化し、

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

場合によってはコンデンサに過電圧が印加されることがあります。この場合も安全弁作動の原因となります。

端子間電圧のバラツキを防止する手段として、図 27 の様に電圧配分抵抗(バランス抵抗)を入れ、できるだけ容量値の等しいコンデンサを使用することにより、電圧アンバランスを少なくすることが出来ます。当社としては、同一製造ロットのコンデンサを使用することを推奨します。

電圧配分抵抗(R_b)は、式 25 を目安として決定してください。

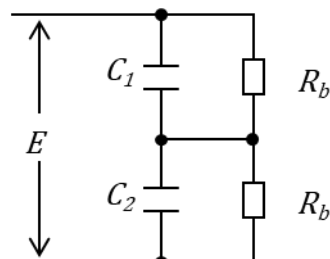


図 27 コンデンサの直列接続(バランス抵抗付き)

$$R_b = 2 \times \frac{V_0}{I_{leak}} \quad \text{式 25}$$

{

V_0 : 定格電圧 (V)
 I_{leak} : 漏れ電流 (A)
 R_b : バランス抵抗 (Ω)

注) 充放電負荷が大きい回路では、コンデンサの漏れ電流が経時的に増大することで電圧バランスがくずれ、バランス抵抗を設置していても片方のコンデンサに定格電圧を超える電圧が印加されて故障に至る場合がありますので、ご注意ください。

②コンデンサの並列接続について

コンデンサを並列接続する場合、図 28(a)のように接続すると個々のコンデンサの配線抵抗に差が生じるため、配線抵抗の小さいコンデンサに電流が優先的に流れて発熱が大きくなります。そうした場合、特定の位置(配線抵抗の低い場所)にあるコンデンサの特性劣化(容量減少、ESR 増大等)が促進されて故障に至り、製品の期待寿命を満足できない可能性があります。従って、並列接続の場合には図 28(b)のように等長配線となるような基板設計をお願い致します。

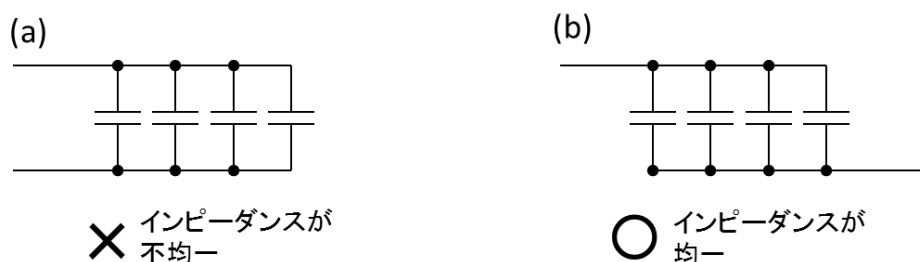


図 28 コンデンサの並列接続時の配線

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

6-7 再起電圧

アルミニウム電解コンデンサを充電し、端子間を短絡させた後に開放状態にしておくと、電圧が再び上昇する現象が起こります。この時の上昇した電圧を再起電圧といいます。この現象が発生するメカニズムは以下のように考えられています。

コンデンサは一般的に図 29 のように電極間に誘電体を挟む構成を持ち、アルミニウム電解コンデンサにおいてはアルミニウム表面の陽極酸化により生成させた酸化皮膜を誘電体としています。

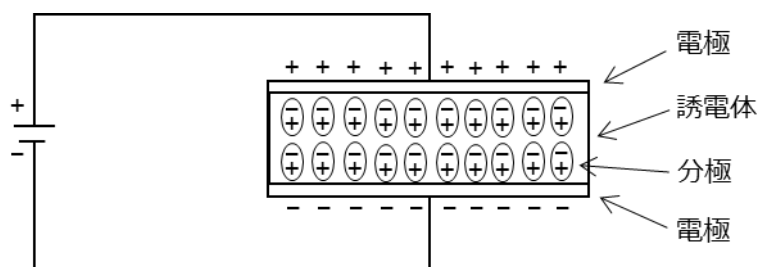


図 29 コンデンサ充電時の誘電体分極概略図

アルミ電解コンデンサに電圧が印加されると誘電体である酸化被膜に電界が生じます。この電界によって酸化被膜に分極が誘起され、これを誘電分極といいます。

アルミ電解コンデンサの酸化被膜で誘起される分極ですが、瞬時に応答できるイオン分極や電子分極の他に応答の遅い界面分極（空間電荷分極）が存在します。この界面分極は、酸化被膜内を移動できるが電気伝導に寄与しない正負のイオンが空間電荷を形成することから発生すると考えられます。また、この界面分極の緩和時間分布は広く、特に緩和時間の遅いものが再起電圧現象を引き起こします。

アルミ電解コンデンサに定格電圧程度電圧が印加されると、誘電体である酸化被膜に高い電界が発生し、各種分極（電子分極、イオン分極、界面分極）が誘起され、その高い電界強度に比例した分極モーメントで平衡に達します。その後、アルミ電解コンデンサの端子間を短絡放電し再度端子間を開放すると、放電に寄与できなかった緩和時間の遅い界面分極が、端子間開放後にゆっくりと緩和するためコンデンサ電極に自由に動ける電荷（自由電荷）が生じ、コンデンサ端子間に電圧（再起電圧）が発生します。

再起電圧の発生は、1～3 週間程度でピークとなりその後徐々に電圧が低下していきます。また、定格電圧の高い製品ほど再起電圧も高く、ネジ端子形や基板自立形といった大きいサイズのコンデンサほど、そのエネルギーも大きくなります。再起電圧の発生した状態で端子間を短絡させますとスパークが発生しますので、作業者に恐怖感を与えたりします。また、再起電圧を有したコンデンサの端子が回路上の低電圧パターンに触れると、低電圧駆動素子（CPU、メモリー等）を破壊する危険性があります。これを回避するため、ご使用前に 1kΩ程度の抵抗器を介して放電処理を行ってください。また、弊社にて再起電圧対策を施した梱包の対応も行っておりますので、ご相談ください。

6-8 高所での使用

山岳、航空機等の高所で使用される機器にアルミ電解コンデンサを使用する場合、外気圧の低下によりコンデンサ内部の圧力の方が相対的に高くなることが想定されますが、高度 10000m 程度までの大気中での使用についてはコンデンサの封止性能上問題はありません。また、真空下での使用に関しましても同様に封止性能上問題はありません。

アルミニウム電解コンデンサ テクニカルノート

記載内容は予告なく変更される場合があります

但し、高度が高くなるにつれて気温が低下しますので、アルミニウム電解コンデンサが低温で容量減少・ $\tan \delta$ (ESR) 増加する性質を持っていることを考慮に入れて機器の動作確認をお願い致します。参考までに高度と気温・気圧の関係を表 4 に示します。

表 4 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	794.9
4,000	-11.0	616.3
6,000	-24.0	471.7
8,000	-37.0	355.9
10,000	-50.0	264.3

また、高高度あるいは減圧・真空状態では、コンデンサから外気へ放熱が小さくなり(熱抵抗が上がり)ますので、カタログの許容電流値に一定のディレーティングを掛ける必要があります。詳細につきましては、お問い合わせください。

6-9 低温環境での使用

3-6 節にて説明したようにアルミ電解コンデンサは、低温量域において急激な静電容量減少と ESR の増大を示し高インピーダンスとなります。そのため、半導体スイッチ、インダクタとアルミ電解コンデンサで構成されるチョップパ回路を極低温領域で駆動させると、インダクタに蓄えられたエネルギーをアルミ電解コンデンサが受け取るモードで、コンデンサ端子間電圧にサージ電圧が発生します。昇圧チョップパ回路を用いた PFC (Power Factor Correction) 回路を極低温下で駆動させた際に、このサージ電圧によってスイッチング素子が破壊してしまうことがあります。従いまして、アルミ電解コンデンサを用いたチョップパ回路を極低温域で使用される際には、アルミ電解コンデンサの低温特性を考慮した検証(サージ電圧やノイズ評価等)をお願いします。

7. 製品選定のポイント

アルミニウム電解コンデンサは、他のコンデンサと比較して単位体積当りの静電容量が大きく容量単価が安い特長があり、主に電源の平滑用として使用されています。アルミニウム電解コンデンサには小形、高リプル電流、低インピーダンス(低 ESR)、長寿命、低背・細径、高温対応、過電圧対応、耐振動性など様々な特性を持った製品のラインアップがありますので、使用用途や要求性能に見合ったコンデンサの選定をお願い致します。

以下に代表的な用途に対する製品選定のポイントと推奨製品について示します。

①電源入力平滑回路用

電源入力平滑用コンデンサは、商用交流電源(50Hz/60Hz)を整流するダイオードの後段に位置し、ダイオードで全波/半波整流された脈流を平滑(直流化)する役割を担っており、小形・高容量、高許容リプル電流、高信頼性、安全性が求められます。スイッチング電源では、入力平滑用コンデンサに数十 kHz～数百 kHz のスイッチング周波数に応じたリプル電流も掛かるため、この周波数におけるインピーダンスの低さも重要なファクターです。また、インバータ平滑回路、特にサーボアンプのように充放電を繰り返す用途で使用する場合には、頻繁かつ大きな電圧変動に耐えられるような製品選定あるいは個別の設計仕様検討が必要になります。

表 5 入力平滑回路用推奨品

形状	85℃		105℃			125℃
	標準品	小形化品	標準品	小形化品	長寿命品	標準品
リード端子形	PK	—	PX	QXW, HXW	CXW, BXW, LXW, BXG	EXW
基板自立形	USG	USH, USK	MXG	MXH, MXK MXT	VXH, V XK, VXT, GXH, GXH, NXH, NXK	THH, THK

②電源出力平滑回路用

電源出力平滑用コンデンサは、出力電圧を安定化させるために重要な働きをしています。スイッチング電源の出力側コンデンサには、数十 kHz～数百 kHz のスイッチング周波数における高許容リプル電流、低インピーダンス(低 ESR)特性が求められます。また電源機器の設置場所や設計寿命により、コンデンサの低温対応・高温対応・長寿命特性が必要とされる場合や、機器の小型化・製造ライン自動化のために表面実装化が求められる場合もあります。

表 6 出力平滑回路用推奨品

形状	85℃	105℃			125℃
	標準品	標準品	低 Z(ESR)	長寿命品	低 Z(ESR)
表面実装形	—	—	TZV, TPV	TLV, TRV, TNV	THV, TGV TAV
リード端子形	PK	PX, YXJ, YXS	ZLH, ZLJ, ZLS, ZLQ, JXF		RXF, RXL

③制御回路用

制御回路用コンデンサは、入力用や出力用に比べて比較的小容量・小サイズ（低背）のものが用いられます。電子機器の高密度実装化により、発熱部品の近くに配置されるケースではコンデンサにも長寿命が求められます。

表 7 制御回路用推奨品

形状	105℃	
	低背品	長寿命品
表面実装形	TZV, TKV, TPV	TRV, TNV, TLV
リード端子形	—	YXM

④ストロボフラッシュ用

ストロボフラッシュ用コンデンサは、ストロボフラッシュ発光用途に特化した製品で体積当りのエネルギー密度を極限まで高めた設計を行っています。従いまして、ストロボフラッシュのメインコンデンサ以外の用途には使用できませんのでご注意ください。製品仕様等については、個別設計となりますので詳細はご相談ください。

ここで紹介した製品以外にも様々な用途に対応したシリーズをラインアップしておりますので、詳しくは当社製品カタログをご参照ください。また、当社ホームページ上で要求性能によるパラメータ検索（製品検索）も可能ですので、併せてご活用ください。