©2012/04/11 Sifoen

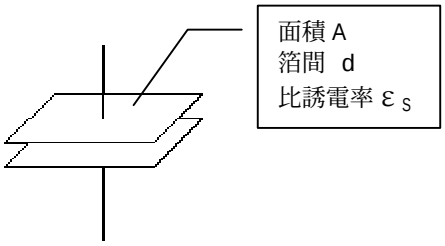
アルミ電解コンデンサの特徴と使い方

1.基本構造
2.アルミニュウム電極の実際
3.アルミ電解コンデンサの製造工程
4.異型形状の得失
5.電解液の種類(四級塩電解液)
6.電解コンデンサの主要特性
7. アルミ電解コンデンサの使用上の注意事項
8. 安全規格と設計ディレーティング

注) コンデンサには「凝縮」のイメージがありますので最近は用語としては使われていませんが、アルミ電解コンデンサ、等の古くからのものはコンデンサの方が通りが良いのでここでも「コンデンサ」としています。
しかし、本来は「キャパシタ」と表記すべきものだとご理解ください。

1.基本構造

二枚の電極をお互いに触れないように対向させるとキャパシタンスを構成できる。このキャパシタンスの容量値をCとすれば



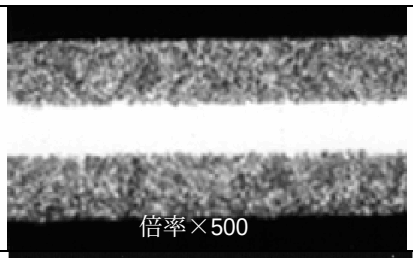
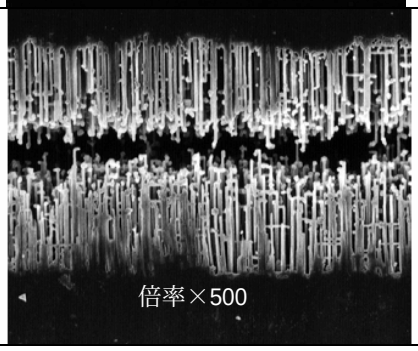
$$C = \frac{\varepsilon_0 \times \varepsilon_S \times A}{d}$$ となります。

ここで ε_0 は真空の誘電率で、8.85418782×10^{-12}(F/m)です。
電極間に挿入するものは当然、絶縁物である必要があり、その場合は、物質を誘電体と呼び、物性値として比誘電率 ε_S があります。誘電体の語源は「電界を誘うもの」であり、当然、誘電体の比誘電率 ε_S は1より大きく、真空に対する誘電率の拡大率とも言えるものです。従って、
$\varepsilon_0 \times \varepsilon_S$ が実際の誘電率となります。
式から、容量値をあげようとすれば、ε_S や A を大きくするか、又は d を小さくするしかない事は容易に分かります。

アルミ電解コンデンサはこの誘電体として酸化アルミニュウムを用いているのでアルミ電解コンデンサと呼ばれています。酸化アルミニュウムは ε_S が 7～10 であり、また耐電圧性や生産性にも優れているので広く用いられています。

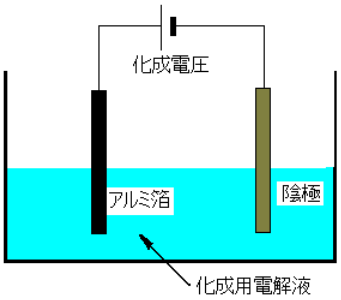
2.アルミニュウム電極の実際

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(粗し)、表面積を拡大しています。

	断面図	作り方	特徴
低圧用箔		交流電解を主体として細かな海綿状エッチングを行い、面積を主として拡大している。	面積拡大率 80～100 倍
高圧用箔		直流電解を主体としたトンネル状のエッチングで酸化皮膜を厚くできる構造にしている。	面積拡大率 20～40 倍

陰極箔は、耐圧を要求されませんので、低圧用箔と同じく、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。ただし酸化処理はしません。

この様に作られた箔の表面に硼酸アンモニウム、リン酸アンモニウム、アジピン酸アンモニウム等の水溶液中で陽極酸化を行い、実際の誘電体となる酸化アルミニュウムを形成させます。
{アルミ箔を正極にし、電解液中の水分(H_2O)の酸素イオンを析出}
尚、直流電解電圧を特に化成電圧と称しています。

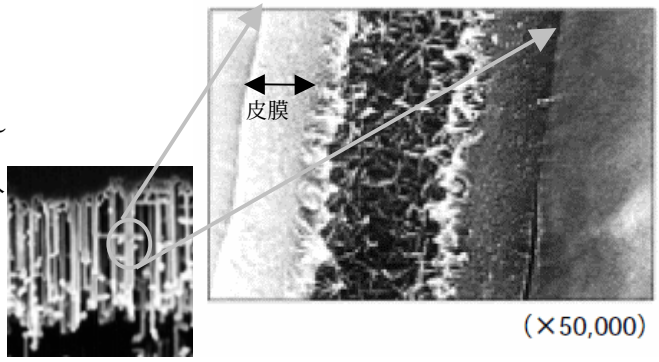


20V化成皮膜　100V化成皮膜　250V化成皮膜

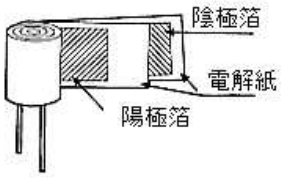
誘電体（アルミニウム酸化皮膜）断面写真（プレーン箔表面に誘電体を生成したもの）

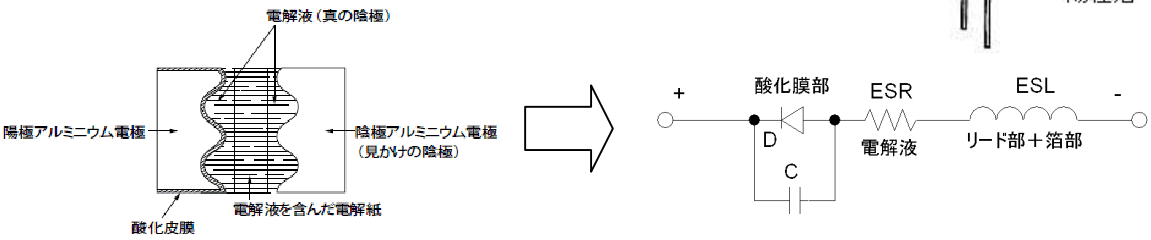
上記の写真はわかりやすくエッチングをしていないアルミ箔の表面に酸化膜を形成したものであり、誘電体の厚みは、化成電圧(直流電解電圧)にほぼ比例し1V当たりおよそ$1.0\sim1.5\times10^{-9}$mです。

尚、右の図は高圧用箔のピット内部に形成された酸化膜の概要です。
表面の毛様なものは水和皮膜と呼ばれている部分です。



この様にして化成された陽極箔と陰極箔を互いに接触しないように絶縁性の電解紙で挟んで円筒状に巻き取ります。
従って電解コンデンサの等価回路は次の様になります。



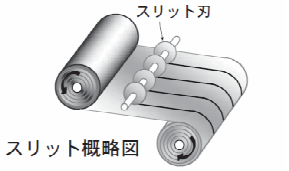
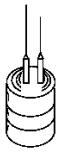
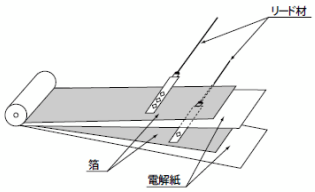
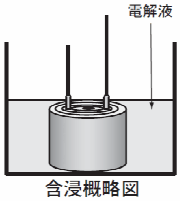
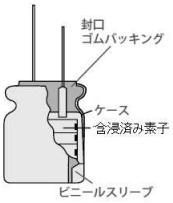


尚、電解紙の役目は電解液の保持と、構造材としての役目があり、適度なスキマが、薄く(数ミクロン)、ムラなく、均一に、漉(す)かれていることが大事であり、コピー紙とは似て非なるものです。箔は内製出来ても電解紙を内製しているメーカーは無く、日本国内でも数社しか生産できないキーパーツです。
電解紙の主原料はクラフト紙の場合は木材繊維、マニラ紙の場合は麻繊維です。

この構造図から誘電体(酸化膜)に直接接触しているのは電解液であり、この観点から「真の陰極」とも呼ばれることがありますが、電解液のままでは使用できませんので陰極まで電荷を導いて外部へ取り出します。これがリードの負極となり、「見かけの陰極」とも呼ばれています。

尚、等価回路図でも表記しているように、酸化アルミニュウムは一種の半導体であり、ダイオードと考えることができます。従って、逆方向へ電圧を印加すると、耐圧はダイオードの順方向分しか発生しませんので耐圧はほとんどありません (陰極箔には酸化膜がない) 。
従って、アルミ電解コンデンサは極性を有する有極性部品なのです。
尚、アルミ電解コンデンサの一種に両 (無) 極性と表記されるコンデンサがありますが、これは陰極にも陽極箔を用いたものであり、一時的な逆電圧に耐えることができますが、酸化膜中の電界形成速度や、電解液の ESR の観点から、常時、交流を印加できるわけではありません。特別な保証品でないと交流には使えないと考えて下さい。

3.アルミ電解コンデンサの製造工程
陽極箔や陰極箔の製造については既に述べましたのでそれ以後の工程について記します。

工程	投入材料	作業内容	
裁断	陽極箔/陰極箔/電解紙	コンデンサのケースサイズごとに規定の幅寸法に裁断する	 スリット概略図
カシメ、巻取り	固定テープ／リード端子	両極箔間に電解紙を挿入し円筒形の素子に巻取る。(同時に電極リード材を両極に接続する。) 	
含浸	電解液	素子に電解液を含浸させる。 電解液はシリーズ毎に異なる。 (含浸性向上のため減圧する場合もある)	 含浸概略図
組立･仕上げ	ケース ゴム封止材 (端子付きラバーベーク板) 外装材	含浸済素子、ケース、封口材を組立てる。封口材には、ゴムパッキング、端子付ラバーベーク板、端子付モールド樹脂板等が用いられる。 組立後の製品に外装材を被覆する	
再化成 (エージング)		高温下で直流電圧を印加して、酸化皮膜の修復を行う	耐圧不良やショート不良の事前摘出ができる
2 次加工	テーピング材	要求に合わせてテーピング加工やスナップイン、等のフォーミング加工を行う	*1
検査		仕様書との特性比較	*1

＊1:検査の後にテーピング、等の 2 次加工を行う場合は再度、検査を実施します。

4.異型形状の得失
以上の工程から分かるように本来の形状は円筒形であるが、ユーザーの要求によりいろいろな形状のものが派生している。しかし、異形状の物ほど体積効率は悪くなる傾向にある。

低背型:コンデンサの耐圧は本来、酸化膜の厚みで決まるものであるが、陽極箔と陰極箔が直接、触れ合わないように電解紙の幅は箔幅より広く取っている。 **=箔幅を狭くせざるを得ない。**	陽極箔→ 電解紙→ 陰極箔→ 電解紙→ 高さ寸法	幅のマージンは一定のため低背型は相対的にマージンの占有率が高くなる。 →体積効率は悪い
横型四角形型:円筒形状をプレスで四角形形状に変形させている		巻取り後にプレス加工を行うので、箔や電解紙がストレスに耐え得るよう緩く巻き取る→体積効率は悪い

5.電解液の種類(4 級塩電解液)

なぜ電解液を使うのか？　電解液の役割は、誘電体の細孔に浸透して、誘電体に接触することで、実質の陰極として機能する事と、もう1つの大きな役割に誘電体の修復機能がある。

誘電体である酸化皮膜に欠陥ができると、その部分から電気が流れコンデンサがショートしてしまう。
しかし、酸を含んでいる電解液を使うと、新たな誘電体（酸化膜）が形成され、皮膜の欠陥を修復することができる。（あくまでも部分的な修復で、大幅な損失はリカバーできません）

しかし、電解液によって誘電体が自己修復されることは、アルミ電解コンデンサの信頼性向上に役立っている事になる。

次によく使われる電解液の主剤と溶質（溶かすもの）を挙げる

		主として使われる成分
ベースとなる液体（主剤）		エチレングリコール/エチレングリコールモノメチルエーテル/モノメチルエーテル/γ-ブチロラクトン/N-メチルホルムアミド
溶かすもの（溶質）	酸（アニオン）	アジピン酸/マレイン酸/ベンゾイク酸/フタル酸/サリチル酸
	塩基（カチオン）	アンモニア/アンモニア水/トリエチルアミン/水酸化テトラメチルアンモニウム

アニオンにはホウ酸あるいはカルボン酸類などの弱酸が用いられ、コンデンサにかかる電圧によって酸の使い分けがなされている。使い分けされる理由は、酸成分が電解液の酸化皮膜形成能に密接に関係しているためである。従って、「万能の電解液はない」のが実情なのである。
カチオンは、電解液の pH を調整して、誘電体を安定化させる役割をもつ。
電解液に総合的に要求される性能としては

①高電気伝導率:電解液中のイオンの移動速度が速いこと。
②広い使用温度範囲:低温で凝固することなく、高温で劣化しにくいこと。
③低液漏れ性:電解液がコンデンサの外に漏れ出さないこと。
④適度な粘性をもち、セパレータ紙中に均一に保持されること。　　等である。

電解液の使い分けの一例。

タイプ	外 観	電気伝導率(mS/cm,30C)	溶質濃度(質量%)
汎用	黄褐色液状	約 13	25
長寿命対応	淡黄色～黄褐色液状	約 11	60
		約 4	60
低抵抗対応	黄褐色液状	約 14	35

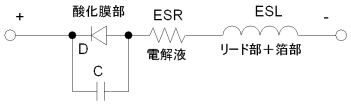
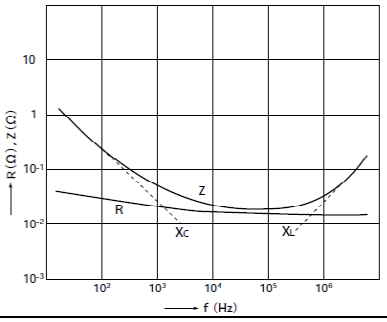
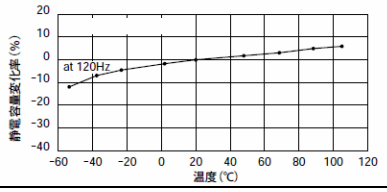
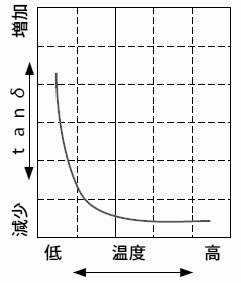
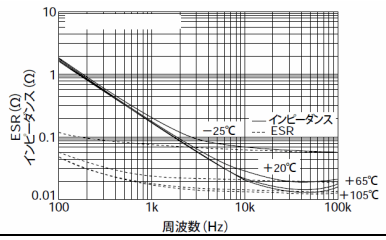
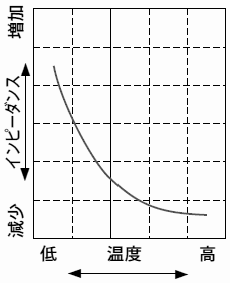
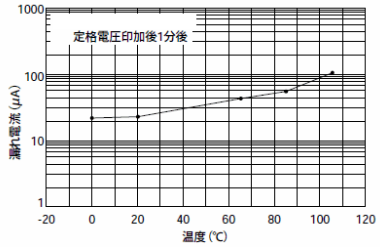
【四級塩電解コンデンサ問題】

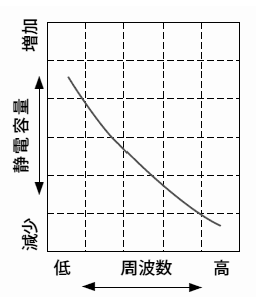
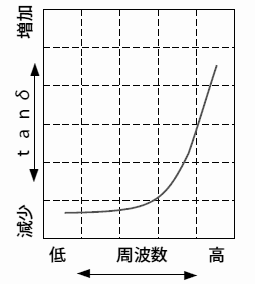
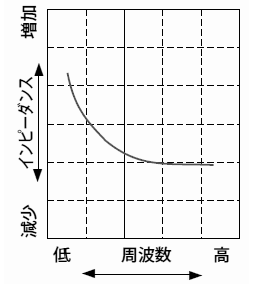
1990 年頃、電解液の溶質として四級アルキルアンモニウム塩を，溶媒としてブチロラクトンを使ったコンデンサが低 ESR 品や高温対応品としてよく利用されていた。

しかし、第四級アンモニウム塩のようなカチオンを用いた電解液は、コンデンサの陰極付近での電気化学反応で発生した OH^- 基を捕捉できず強アルカリ性となるため、シール性能の確保が難しいという問題があり、四級塩コンデンサが液漏れを引き起こすという事故が続出した。

この為、現在でも四級塩コンデンサについては，社内規定により使用を禁止するメーカーが多い。代替品としては，溶質をアミジン塩（四級イミダゾリニウム塩）に変更したコンデンサなどがある

6.電解コンデンサの主要特性

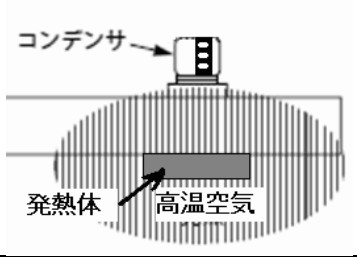
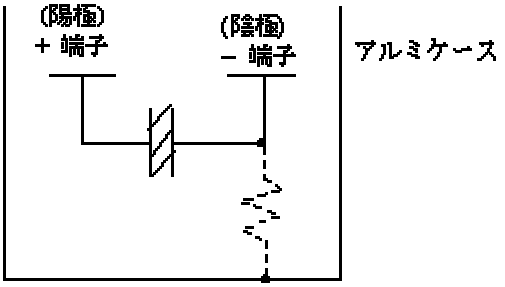
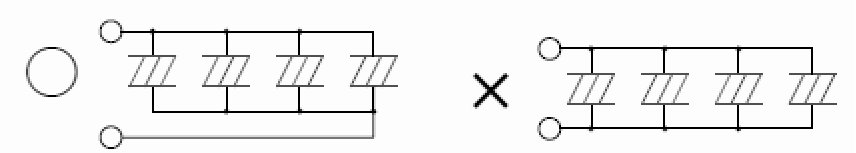
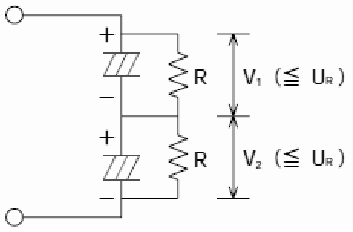
6.1 Z～周波数特性	 等価回路から C 成分と L 成分が共振した時に ESR が残るバスタブ状のインピーダンス特性を示す。 目的の周波数帯域で充分低インピーダンスになっている事を確認します。	
6.2 漏れ電流 (I_R)	漏れ電流の規格は室温で定格電圧を印加した時の、所定の時間後の値です。	漏れ電流値は温度、時間、印加電圧などに依存性を持っています。
6.3 温度特性	容量 低温で容量値が下がります。時定数回路では注意が必要です	
	tanδ 低温で抵抗分の増加にともない、tanδ や、ESR が低温で急激には悪くなります。 リップル電圧、位相回転、等に影響します。	
	ESR	
	インピーダンス 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、温度特性や周波数特性のグラフで表されます	
	漏れ電流 (I_R) 高温で漏れ電流は大きくなります。 $V \times I_R$ がコンデンサの損失ですから場合によっては熱暴走に至る事があります。 最高使用温度での確認が必要です。	

6.4 周波数特性	容量 高周波域で容量が減少します。 実使用領域への換算が必要です。	
	tanδ 特性 高周波域で損失角は増大します。 実使用領域への換算が必要です。	
	インピーダンス特性 C 成分が完全に 0 になっても ESR が残り、底打ち状態になります。さらにはリードや箔の L 成分が効いてくるのでさらなる高周波域では再度インピーダンスが上昇します。 実使用領域への換算が必要です。	

7.アルミ電解コンデンサの使用上の注意事項

アルミ電解コンデンサは化学薬品を使用した繊細な部品であり、使用中もゴム封孔板を介して電解液がかすかに出入りする、所謂呼吸をしていますので使用方法は普通の電子部品よりシビアです。

直流用アルミニウム電解コンデンサは、有極性	極性を逆にして使用すると異常電流が流れ、回路が短絡したり、コンデンサが破壊する事があります。 コンデンサの極性を確認してから取り付けて下さい。		
直流用**両極性**アルミ電解コンデンサは交流回路には使用できない	極性の不安定、不明確な回路用です。 交流回路では過大リプル電流が流れたことと同じ状況となるため、内部で急激なガス発生があるとともに発熱し、内圧上昇で圧力弁作動や封口部からの電解液漏れ、また最悪の場合には爆発や発火に至る場合があります。		
急激な充放電回路での使用について	急激な充放電を繰り返す回路に使用すると、コンデンサの内部発熱により、特性劣化や破壊に至る事があります。このような回路には、急充放電回路用コンデンサがあります。 溶接機、フォトフラッシュ、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などは注意が必要です。		
圧力弁付きコンデンサ	圧力弁は、コンデンサに過電圧、逆電圧等の異常な負荷がかかった際に、内圧の上昇による爆発を防止するためにケース等の一部を薄くして弁機能をもたせたものです。　注）開弁時に電解液が噴出します。 圧力弁の作動時に支障のないよう圧力弁の上部に空隙を設けて下さい。又、開弁後の空間距離や、電解液の噴出にも配慮が必要です。 上部空隙は指定がない場合、次の目安を参考にしてください。単位：mm 又、配線板側に弁が来る場合はガス抜き穴が必要です。		
	直径 φ18以下 2㎜以上	直径 φ20～35 3㎜以上	直径 φ40㎜以上 5㎜以上

カテゴリ温度（使用温度）による特性の変化について	電解コンデンサの特性は、温度によって変化します。この変化は一時的なものであり、温度が常温に戻れば回復します。（劣化は除く） なお、保証以上の温度での使用では漏れ電流が増加し破壊する場合があります。 実使用状態での機器内の発熱体からの放射熱、リプル電流による自己発熱等も含めたコンデンサの実使用温度に注意下さい。
周辺の発熱部品	アルミ電解コンデンサは液体を用いていますので温度（蒸発・気化）が寿命を左右します 特に、実際の使用条件においてコンデンサの下方に発熱体が来るケースでは思わぬ短寿命になる場合があります。 
周波数による特性の変化について	電解コンデンサの特性は、使用周波数によって変化します。カタログ、等の曲線を参考に、実使用領域の周波数帯での特性を換算して設計して下さい。
コンデンサのケースと陰極端子は絶縁されていません。 チューブラ型を除いて接続もされていません。	電解コンデンサのケースと陰極端子は、電解液によって不定の抵抗で接続されています。 チューブラー型の場合は、直にマイナス側に接続されている様子を目で確かめることができますが、縦形の場合は、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(又は電解質)の不安定な抵抗分で接続されています(右図)。そして、樹脂の被覆チューブは絶縁目的のものではありませんから、他の部品等に接触しないような配慮がいります。  場合によっては電解液の発熱からコンデンサがパンクする事もあります。
外装スリーブについて 外装スリーブは絶縁物ではありません	コンデンサに被覆している外装スリーブは、有機溶剤等に浸漬後高温にさらされると亀裂等を生じることがありますので注意下さい。一般のアルミ電解コンデンサの外装スリーブはポリ塩化ビニルを使用しておりますが、これは表示を目的としたものであり電気的絶縁の機能を有しておりません。
配線板の穴ピッチを合わす。	プリント配線板の穴ピッチは、コンデンサのリードピッチに合わせて設定下さい。リードピッチと穴ピッチが異なりますと、リード線にストレスがかかり、ショート、断線、漏れ電流の増大等の原因となりますので注意下さい。
両面配線配線板について	電解コンデンサを両面配線配線板で使用の場合、配線パターンがコンデンサの取り付け部にかからぬよう注意下さい。アルミケースが内側にカシメられているのでスリーブの破れ部からショートする危険があります。 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下さい。
コンデンサの複数接続について	コンデンサを2個以上並列に接続する場合は、コンデンサ間の電流バランスを崩し、一部のコンデンサに過リプル電流が流れる場合がありますので、回路設計においては等長配線に充分配慮し、過リプル電流が流れないようにして下さい。  導電性高分子コンデンサとアルミニウム電解コンデンサを並列接続する倍場合、等はバランスが取りにくくなります。
	コンデンサを2個以上直列に接続する場合は、コンデンサに加わる電圧のバランスも考慮して、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下さい。そして、この時過電圧が印可されないように、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下さい。 並列抵抗は漏れ電流の10倍以上を流すように計算して下さい。 

再起電圧について	アルミニウム電解コンデンサを充電し放電後更に端子間を短絡させた後、解放しておくと、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。再起電圧が発生した場合、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。導体でショートさせると大電流による箔へのダメージが残ります
ボンド固定	 全周を固定すると、オープン不良（駆動用電解液の滞留によるコンデンサ端子の腐蝕断線）になる可能性があります。 ・コンデンサの封口部（端子側）の全面をふさがない ・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 ・配線板とコンデンサの封口部間にフラックス残渣及び汚れを残さない ・洗浄剤などを徹底乾燥させる ・使用条件はメーカーの事前確認を取ること、等の配慮が必要です。
配線板洗浄	オープン（ハロゲンの浸入による腐蝕断線）不良の可能性があります。 コンデンサは、ハロゲン系溶剤などでは洗浄できません。 メーカー指定の洗浄液、条件でも、洗浄後は、十分な水洗いを行い、コンデンサをプリント回路板とともに最高使用温度以下の熱風で充分乾燥させて下さい。乾燥が不十分な場合、スリーブの二次収縮、座板の膨らみ等の外観上の不具合を起こす場合があります。洗浄後は密封容器で保管しないで下さい。
実装	スナップイン形コンデンサは、その配線板に密着するまで押し込んで取り付けて下さい。（挿入穴径を指定径で開けた場合） 自動機のリード線クリンチ固定強さは、強すぎないようにして下さい。 自動機及び装着機の吸着具、製品チェッカー、等の衝撃力に注意して下さい。 手作業でクリンチはしない
	落下したコンデンサは、使用しない
ハンダ付け	ゴムを使っているので端子部以外にフラックスが付着しないようにして下さい。 コンデンサのスリーブが直接配線板のパターンに接触したり、他部品のリード線等金具部に接触しますと収縮したり割れることがあります。ケースは不定電位ですので思わぬ障害になる時があります はんだ付けした後、 コンデンサ本体を傾けたり、倒したり又はひねったりしない コンデンサを把手がわりにつかんでプリント回路板を移動しない コンデンサに物をぶつけない。 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回路板、又は他の部品などが当たらないようにする(異常放電の可能性あり)
アルミニウム電解コンデンサの放置による変化について	アルミニウム電解コンデンサは、未通電が長期に及んだ場合、漏れ電流が増加する性質があります。特に周囲温度が高い程、この傾向は著しくなります。尚、電圧印加により漏れ電流は減少しますので必要に応じて電圧印加処理を行って下さい。 常温で2年以上（高温ではより短期間）経過している場合は、考慮が必要。 また、機器の設計時には初期電流の増加の影響を考慮し、必要に応じて保護回路を併設して下さい。
特異な使用環境について	ハロゲン（化合物）ガス濃度の高い環境におかれるとプリント配線板の洗浄時と同様に腐食が発生することがあります。電子機器類を海外に輸出する場合、ハロゲン（化合物）ガスで燻蒸処理をする場合がありますので、この場合も注意ください。
環境について	アルミ電解コンデンサは化学薬品による繊細な部品であり、ゴム封孔板を介して呼吸していますので使用環境に対しては普通の電子部品よりシビアです。 水がかかる環境、高温高湿になる環境及び結露状態になる環境 油がかかる環境及び油成分がガス状に充満している環境 塩水が掛かる箇所、高温高湿になる箇所及び結露状態になる箇所 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 直射日光、オゾン、紫外線および放射線が照射される環境 酸性及びアルカリ性溶剤がかかる環境 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 等はメーカーの事前確認を得て下さい。

8.安全規格と設計ディレーティング

安全規格上の注意事項

○アルミ電解コンデンサの使用上の注意事項でも述べましたが、弁を有するタイプは異常時に開弁動作をします。この時、電解液が高温高圧の圧力によってエアロゾル状に噴出します。
タイミング的には稀ですが、この噴出時に箔が切れ、スパークするケースがあり、タイミングの重なりで着火、燃焼するケースがあります。再現性が乏しいので安全規格の試験時に発生すると対策に苦慮しますので、できる限り、開弁はさせない方が良いでしょう。

○開弁後、弁と周辺部品との要求距離を満足している事を要求されます。
従って、メーカーの指定距離＋αを確保する必要があります。

○電解液は導電性です。噴出した電解液が安全規格上の絶対距離要求箇所にかかると、不合格になります。
どうしてもレイアウトが変更できない場合は、不燃性の（≠難燃性）カバーでガスを導く工夫が必要です。

○電解液の噴出が発煙とみなされる場合が稀にありますので事前に確認が必要です。

○開弁時の破裂音についても事前に確認が必要です。

設計ディレーティング【寿命】

アルミ電解コンデンサはその内部に液体を内蔵しており、それによって機能を発揮しています。
液体ですので蒸発してしまえば、機能を消失し、コンデンサとして働くことができません。その為、アルミ電解コンデンサの寿命は電解液の温度の影響を強く受けます。この様子を表した法則が「アレニウス則」、あるいは「10℃2 倍則」と呼ばれる次の式になります。

$$Lx = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_x}{10}} \qquad (1)$$

ここで

L_0：規定温度 T_0 での保証寿命時間(Hr)
L_x：実測温度 T_x での予測寿命時間
しかし、T_x が低ければ無限に寿命が伸びるものではなく、アレニウスの近似式から逸脱するので下限温度は 40℃を目安に計算して下さい。
又、L_0 はカタログ値と実力値が大幅に違う場合があるので、どうしてもと言う場合はメーカーに実力値を問い合わせて下さい。また、この寿命計算式はあくまでも予測値であり、保証値でないことをご理解下さい。
（寿命保証するには、寿命末期まで確認した(=尽きた)ものしか出荷できない矛盾を生じてしまうからです）

液温に影響する因子として
・コンデンサ周囲温度 T_x
・コンデンサ自己温度上昇 ΔT_X　　の 2 つがあり、電解液の液温は2つを合算したものになります。

コンデンサ周囲温度の説明は省略し、コンデンサ自己温度上昇 ΔT_X について説明します。
自己温度上昇の因子として、更にリーク電流とリップル電流の 2 つに分類できますが、影響度合いから、リーク電流成分を無視して、リップル電流による発熱について考えます。
リップル電流による発熱は ESR の抵抗成分によるものですが、この抵抗成分が周波数特性を持つため、次の様に成分毎に計算します。しかし、SW 電源等では周波数成分は 120Hz と、発振周波数成分が支配的になるため、実質的にはこの 2 つに限定しても良いかと思います。(波形確認必要)

$$Ir = \sqrt{\left(\frac{ir_{120}}{F_{120}}\right)^2 + \left(\frac{ir_{sw}}{F_{sw}}\right)^2} \qquad (2)$$

ここで、ir_{**}：リップル電流の各周波数成分　　F_{**}：リップル電流の周波数別補正係数　とする。
この様にして求めた実効電流を次の(3)式で中心部の温度上昇 ΔT_X に換算します。

$$\Delta T_X = \Delta T_0 \times \left(\frac{Ir}{I_0}\right)^2 \qquad (3)$$

ΔT_0 ：定格リップル電流時の自己温度上昇(製品固有値　多くは 5K)
Ir：(2)式でのリップル電流値　　I_0：カテゴリー上限温度での定格リップル電流
この様にして求めた温度上昇は「5℃2 倍則」として寿命に影響します。

寿命予測計算

アルミ電解コンデンサとしての用途はDC連続印加でリップルを流さない時定数用途や、リップルを流す平滑用途に分ける事ができ、コンデンサもそれぞれ保証の条件が異なっています。予測式もそれぞれ異なってきます。入手した資料がどちらのケースになるのかは事前に確認して下さい。

1)リップルを流さない用途（主として汎用品、要確認）

$$Lx = L_0 \times 2^{(\frac{T_x - T_0}{10})} \times 2^{(\frac{-\Delta T_x}{5})} \qquad (4)$$

注)リップル電流(=自己発熱)=0 で保証されているので流すと寿命が縮む

2)リップル電流を流す用途（主として高周波品、電源回路用途）

$$Lx = L_0 \times 2^{(\frac{T_x - T_0}{10})} \times 2^{(\frac{\Delta T_0 - \Delta T_x}{5})} \qquad (5)$$

注)リップル電流を流す条件で保証されているので流さなければ寿命が伸びる。

計算するのが面倒であれば前提条件はありますが、下記のサイトで計算をしてくれます。
http://www2.panasonic.co.jp/aec/life/al_calc.html

＊寿命設計における留意点

この様にして求めた予測寿命が尽きた時、機器としてどういう振る舞いをするかをよく考えて下さい。
最も安全に寿命を全うするシーケンスを明確にし、確認する事が寿命計算の前に必要なのです。

アルミ電解コンデンサはこの他にも、電解液の液漏れ（=パターン腐食）にも注意を払う必要があり、シビアに使わないと寿命を全うできない部品なのです。

設計ディレーティング【設計裕度】

アルミ電解コンデンサを使う場合、各特性に対する設計裕度が必要になります。各特性それぞれ100%までは使えません。
下記の設計裕度は私個人の基準ですので、あくまでも参考とし、必要に応じて各自で基準を作成ください。
この基準で事故が発生しても私は責任を取れませんし、取る謂れもありません。

項目	判定項目	判定値	条件/コメント
耐圧	最大電圧	<80%×定格電圧	繰り返し印加時
サージ電圧 (非繰り返し)	ピーク電圧	<80%×サージ保証電圧	印加時間は累積で判断
	印加時間	印加時間<80%	
リップル電流	電流値(rms)	最高使用温度は保証値以下であること。 要求寿命を満たすこと*1	寿命は年間平均温度で算出
使用環境温度	Tx(℃)		

＊1:要求寿命について、マージンを取るか否かは各自の判断です。計算値は保証値ではなく、予測値です。

参考資料

アルミニウム電解コンデンサの概要 http://www.nichicon.co.jp/lib/aluminum.pdf
アルミ電解コンデンサ用電解液 http://www.sanyo-chemical.co.jp/tech_info/pdf/jpn/pk91.pdf
コンデンサと駆動用電解液成分例 http://www.elna.co.jp/capacitor/alumi/principle.html
アルミ電解コンデンサテクニカルガイド http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf/ABA0000/ABA0000PJ145.pdf
コンデンサの注意事項 http://www.elna.co.jp/capacitor/alumi/attention/detail.html
http://www.elna.co.jp/capacitor/alumi/attention/index.html
及び、各種公開資料