

# アルミ電解コンデンサの陽極箔の絶縁性能の脆弱部の特定と

## 耐圧向上の実用化

### Identification of insulation breakdown point of aluminum electrolytic capacitor and practical application of improvement of breakdown voltage

株式会社 テクノクオリティー 渡部 利範\*

Toshinori Watbe

In the process of manufacturing an aluminum electrolytic capacitor, there is a re-chemical conversion step for repairing a defect portion of an oxide film of an anode foil. In this paper, it is clarified that the reforming voltage closely related to the formation voltage and the cut portion of the anode foil determine the dielectric breakdown voltage (withstand voltage) of the aluminum electrolytic.

#### 1. はじめに

アルミ電解コンデンサは、TV、パソコン、複写機等のあらゆる電気製品に多用され、電源回路や電子回路には不可欠な部品である。アルミ電解コンデンサの長寿命、小型化に関する研究は、精力的に行われている。製造工程の研究では、陽極箔の箔端部(切断面あるいはスリット部とも呼ぶ)や機械的ストレスが加わる部分では、誘電体である酸化被膜に欠陥が生ずると報告されている[1]。

著者は、過電圧によるアルミ電解コンデンサの発火メカニズムを解明した際、陽極箔の箔端部の酸化被膜(絶縁物)の脆弱さを指摘した[2]。

しかし、酸化被膜の絶縁破壊に関しては不明な点が多く残されている[3]。これまで、再化成時のエージング電圧に着目し、陽極箔の箔端部の絶縁破壊に関して報告された事例はない。本論文では、陽極箔の箔端部の酸化皮膜が絶縁性能として脆弱であり、アルミ電解コンデンサの絶縁破壊電圧値(耐電圧)を特定しているのではないかと

う想定の下に報告する。

#### 2. アルミ電解コンデンサの構造、基本特性

##### 2.1 製造工程

アルミ電解コンデンサの原理図と構造を図 2.1 に示す。陽極箔は、原箔のアルミニウム箔を化学的にエッチングし、電解液の中で電圧を印加する化成処理を施して酸化被膜が形成されて完成する。陽極箔と陰極箔はアルミ電解コンデンサの静電容量とサイズにあわせて切断される。両極箔と電解紙を重ねて巻き取り、両極箔の中央からアルミ引き出し端子をひきだし(図 2.2)、素子の外側をテープで固定する。巻き取った素子は、電解液に浸した後、アルミニウムケースに固定し封止する。逆電圧や過電圧時による内圧上昇によるアルミ電解コンデンサの爆発防止のためアルミケースに切り込み(防爆弁)が入れている。

陽極箔表面の酸化皮膜の欠陥部および切断した陽極箔の端部の未化成部を化成処理するため、

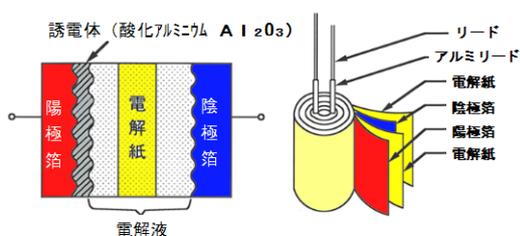
\* 株式会社 テクノクオリティー 代表取締役  
rie4337@nifty.com

〒359-0024 埼玉県所沢市下安松 1510-4-605

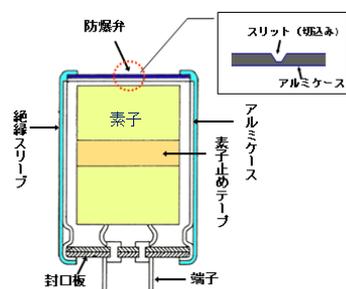
【キーワード: アルミ電解コンデンサ、陽極箔、箔端部、再化成、過電圧】

— 2017 年 7 月 —

組み立て後に、化成電圧値より 20%から 28%低い電圧を印加して再化成(図 2.3)を行う。再化成工程では、急激に印加電圧を上昇すると電解液が気化して素子が膨張し防爆弁が作動する可能性があるため、温度とエージング電圧値を段階的に変化させる。



(a) 原理図と素子構造



(b) アルミ電解コンデンサの内部構造

図2.1 アルミ電解コンデンサ

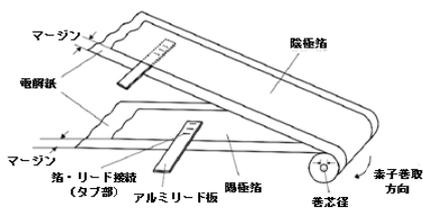


図2.2 アルミ電解コンデンサの巻取り工程

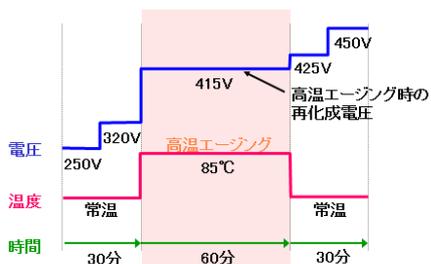


図 2.3 再化成の全工程例

## 2.2 アルミ電解コンデンサの V-I 特性

V-I 特性とは、試料に印加した DC 電圧 (V) と漏れ電流 (I) との関係进行を言う。アルミ電解コンデンサを DC 電源装置に接続して DC100V の電圧を印加して 1 分後の漏れ電流を測定する。新しい試料に DC200V を印加して漏れ電流を測定する。DC300V、DC400V、DC500V と測定を行った。製造会社が異なる試料 4 種類 (試料 A、試料 B、試料 C、試料 D) の V-I 特性をみると (図 2.4)、漏れ電流が急激に増加した領域は、いずれも DC400V から DC420V 近傍である。この電圧は各社の再化成時の高温エージングの電圧と同じであること確認できた。

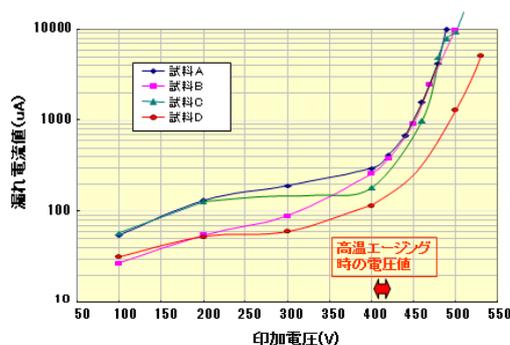


図2.4 V-I特性 定格 400V 220uF  
直径30mm×長さ35mm

## 3. 陽極箔の箔端部の全長と耐電圧値の関係

### 3.1 試料の準備

同一の製造会社、静電容量 (120 μF) と定格電圧 (DC400V) が同じでケースの直径が異なる試料 E (E1~E15) と F (F1~F15) をそれぞれ 15 個準備する (図 3.1)。試料の E、F は、設計仕様、製造工程、材料、陽極箔のロット等は同じである。

静電容量は、陽極箔の平面部の面積に比例する。試料 E の面積は  $\langle L \rangle \times 30\text{mm}$ 、試料 F は  $\langle L \times 3 \rangle \times 10\text{mm}$  である。試料 E と試料 F は同じ面積であるが、陽極箔の長さが異なる。

### 3.2 試験手順

試料 E1 を前述した DC 電源装置に接続し、DC565V を 5 分間印加して防爆弁の作動の有無を確認する。次に新たな試料 E2 に対しても 5 分間印加する。これを試料 E5 まで 5 個を繰り返す。

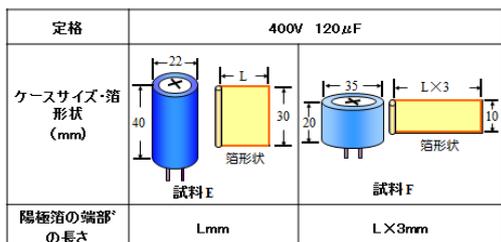


図 3.1 同一静電容量でケースの直径が異なる陽極箔の箔端部の長さの比較

次に電圧を DC570V に設定し試料 E6 に DC570V を印加する。電圧値を変えて試料 E15 まで行う。試料 5 個のうち 1 個でも防爆弁が作動した場合、その印加電圧値を絶縁破壊電圧とする (表 4.1)。同じ試験を、試料 F に対しても行う (表 4.2)。

### 3.3 結果および考察

試料 E の絶縁破壊電圧は DC575V であり、試料 F 絶縁破壊電圧は、DC565V である。試料 F の陽極箔の全長は試料 E の 3 倍であるから、試料 F の箔端部の酸化皮膜の脆弱部分の可能性が 3 倍と考えられる。

箔端部が長くなると脆弱な酸化被膜も増加する。そのため、試料 F は、試料 E に比べ絶縁破壊電圧が 10V 低い。試料 E と試料 F は同じロットの陽極箔を使用しており、違いは、陽極箔の長さだけであるので、陽極箔の端部の酸化被膜がアルミ電解コンデンサの絶縁破壊電圧値を特定している。

## 4. 対策方法の実証

### 4.1 サンプルの特定

定格値 (DC400V, 47µF, 105°C) とサイズ (18φm, 高さ 15mm) が同じで、異なる製造会社の試料群 (G, H, I) を準備した。次に図 4.1 のように再化成の電圧を上昇させた試料を新たに製

造した。

表 4.1 試料 E 過電圧を印加時の防爆弁作動の電圧値

試料:タイプE 定格電圧400V 120µF  
直径22mm, 長さ40mm

表示の例 ○: 防爆弁が作動しない, ×: 防爆弁が作動した

印加電圧	試料 1,6,11	試料 2,7,12	試料 3,8,13	試料 4,9,14	試料 5,10,15
565V	○ 1	○	○	○	○
570V	○ 6	○	○	○	○
575V	× 11	×	×	×	×

表 4.2 試料 F 過電圧を印加時の防爆弁作動の電圧値

試料:タイプF 定格電圧400V 120µF  
直径35mm×長さ20mm

表示の例 ○: 防爆弁が作動しない, ×: 防爆弁が作動した

印加電圧	試料 1,6,11	試料 2,7,12	試料 3,8,13	試料 4,9,14	試料 5,10,15
560V	○ 1	○	○	○	○
565V	× 6	×	○	○	○
570V	× 11	×	×	×	×

### 4.2 対策試料の再化成工程

試料群 G\* の再化成工程を示す (図 4.1)。60 分、85°C の高温エージングの工程において、電圧値を現行の DC415V から DC465V に上昇させた。

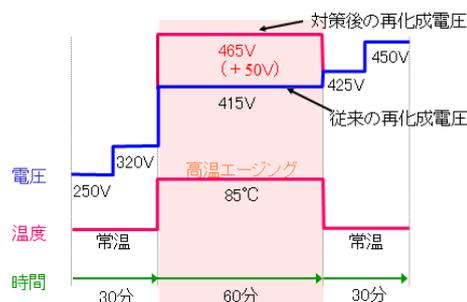


図 4.1 対策後の再化成の全工程

試料群 H と試料群 I も同様に再化成工程の高温

- 2017 年 7 月 -

エージングの電圧をそれぞれ現行の 415V を 465V (H\*)、現行の 420V から 460V (I\*) 上昇させた。

現行の試料群を G、H、I と表示し、再化成電圧を上昇させて製造した試料群を G\*、H\*、I\* と表示する。

検証目的は、保管条件を変化させてそれに伴う酸化被膜の絶縁劣化を比較することである。

(1) 恒温槽からナンバーリングした試料群 G から 1 個 (G1) を取り出して常温にて初めに DC 電圧 480V を印加する。5 分継続して防爆弁が作動しない場合、DC 電圧値を 5V アップして試料 G2 に 485V を印加する。弁作動が生じた電圧 (510V) の一つ前の電圧 505V を耐電圧値として記録する。表 4.3 における保管条件①とする。

(2) 試料群 G を 105°C、250 時間の恒温槽に放置後、常温で上記 (1) の DC 過電圧試験を行う。表 4.3 における保管条件②とする。試料群 G を 85°C、3 時間の恒温槽に放置後、常温で DC 過電圧試験を行う。表 4.3 における保管条件③とする。試料群 G を 105°C、250 時間の恒温槽に放置後、さらに 85°C、3 時間の恒温槽に放置後 DC 過電圧試験を行う。これを表 4.3 における保管条件④とする。以験を試料群 G\* についても行う。

同じ試験を現行品と試料群 H、H\*、I、I\* についても行い、それぞれ防爆弁の作動しない電圧値 (耐電圧値) を比較する。

表 4.3 試料群 G と試料群 G\* (400V 47  $\mu$ F)  
現行試料と対策試料の耐電圧値の比較

高温エージング 電圧値		保管条件	耐電圧値	
現行試料 G	対策試料 G*		現行試料 G	対策試料 G*
415V	460V (+45V)	①常温にて試験実施	505V	555V(+50V)
		②105°C、250時間放置	495V	530V(+35V)
		③85°C、3時間放置	495V	550V(+55V)
		④105°C、250時間+85°C、3時間放置	490V	525V(+35V)

#### 4.3 結果

試料群 G と G\*を比較する (表 4.3) と、再化成時の高温エージング電圧を 45V 上昇させることにより、試料群 G\*では、保管条件①では耐電圧が 50V (9.8%)、保管条件③では 55V (11.1%) 向上した。

表 4.4 に示すように試料群 H\*は、再化成時の高温エージング電圧値を 50V 上昇させることにより①の保管条件では耐電圧値は 30V (5.6%) 上昇した。しかし、③と④の保管条件の場合、10V (2%) の上昇に留まった。

表 4.4 試料群 H と試料群 H\* (400V 47  $\mu$ F)  
現行試料と対策試料の耐電圧値の比較

高温エージング 電圧値		保管条件	耐電圧値	
現行試料 H	対策試料 H*		現行試料 H	対策試料 H*
415V	465V (+50V)	①常温にて試験実施	535V	565V(+30V)
		②105°C、250時間放置	540V	560V(+20V)
		③85°C、3時間放置	510V	520V(+10V)
		④105°C、250時間+85°C、3時間放置	505V	515V(+10V)

表 4.5 試料群 I と試料群 I\* (400V 47  $\mu$ F)  
現行試料と対策試料の耐電圧値の比較

高温エージング 電圧値		保管条件	耐電圧値	
現行試料 I	対策試料 I*		現行試料 I	対策試料 I*
420V	460V (+40V)	①常温にて放置	525V	565V(+40V)
		②105°C、250時間放置	495V	555V(+60V)
		③85°C、3時間放置	490V	530V(+40V)
		④105°C、250時間+85°C、3時間放置	460V	525V(+65V)

試料群 I と試料群 I\*の試験条件①から④の耐電圧値を示す (表 4.5)。試料群 I\*は、高温エージング電圧値を 40V 上昇させ、①と③の保管条件の場合、耐電圧値の上昇は 40V (7.6%) であった。②の保管条件の場合、60V (12%) の上昇であった。

以上の結果より、保管温度に依らず、再化成時高温エージングの電圧を上昇させたことでアルミ電解コンデンサの耐電圧の向上に寄与することを明らかに出来た。

#### 4.4 耐電圧が向上した理由

アルミ電解コンデンサの耐電圧が向上した理由は、再化成時の高温エージングの電圧を上昇させたことで、箔端部の酸化被膜が、現行の試料より強化されたことが考えられる。現行品の陽極箔の箔端部（切断面）の中心部は、再化成処理により陽極箔の箔端部は、ある程度酸化されているが、中心部にアルミニウムの芯がまだ残っていることが確認できる（図 4.2～図 4.4 の上の写真）。

再化成時の高温エージングの電圧を上昇させた対策試料は、陽極箔の芯部を含む箔端部の全面に酸化皮膜が十分形成されている（図 4.2～図 4.5 の下部写真）。

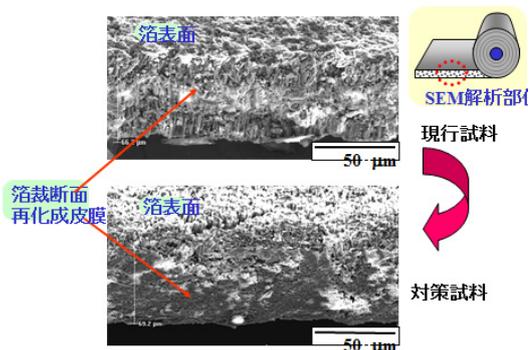


図 4.4 試料 I と試料 I\* の陽極箔の箔端部

#### 4.5 現行試料と対策試料の V—I 特性

4.4 の事実を V-I 特性で確認するため、試験試料に DC 電圧 (V) を印加して 1 分後のアルミ電解コンデンサの漏れ電流を測定した。対策試料 G\* は現行試料 G に比べ、高温エージング電圧値近傍の DC400V 以上で漏れ電流が小さい（図 4.5）。

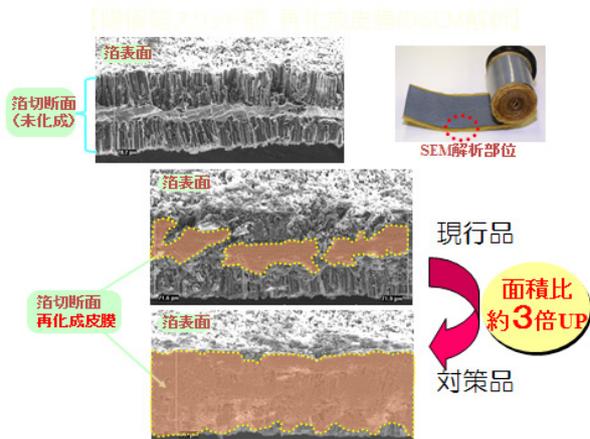


図 4.2 試料 G と試料 G\* の陽極箔の箔端部

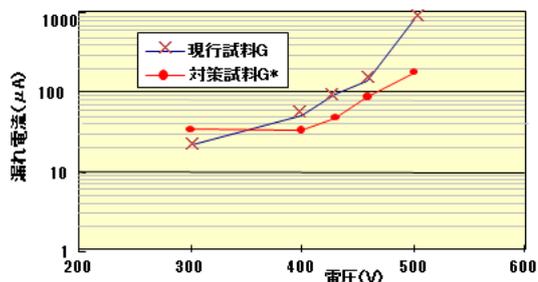


図 4.5 タイプ G とタイプ G\* (400V 47μF) 現行試料と対策試料の漏れ電流の比較

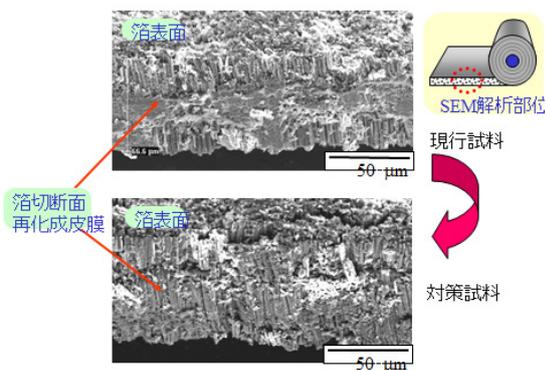


図 4.3 試料 H と試料 H\* の陽極箔の端部

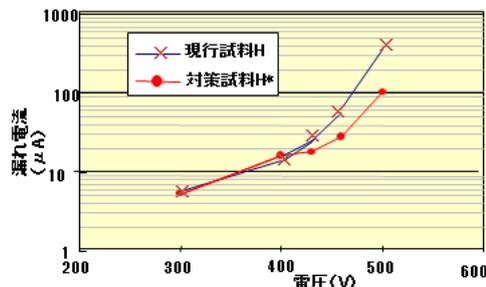


図 4.6 試料 H と試料タイプ H\* (400V 47μF) 現行試料と対策試料の漏れ電流の比較

同じように試料 H とタイプ H\* の場合、DC430V から現行試料と対策試料の漏れ電流の差が認めら

— 2017 年 7 月 —

れた (図 4.6)。同様に、タイプ I とタイプ I\* の場合、高温エージング電圧値近傍の DC460V 近傍から漏れ電流の差が確認できた (図 4.7)

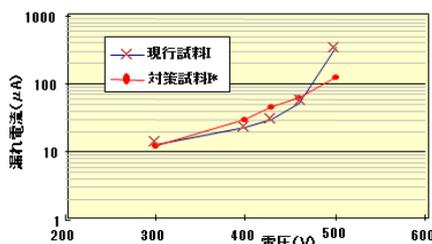


図4.7 タイプIとタイプI\*(400V 47 $\mu$ F) 現行試料と対策試料の漏れ電流の比較

## 5. まとめ

アルミ電解コンデンサの絶縁耐圧を向上させる方法として、陽極箔の再化成工程の高温エージング電圧値に着目して次の知見を得た。

- 1) 陽極箔の箔端部は、化成電圧より 20%から 28%低い電圧の再化成工程で酸化被膜が形成されるので、酸化被膜は脆弱であり箔端部の酸化被膜がアルミ電解コンデンサの絶縁破壊電圧値を特定している。
- 2) 箔端部の酸化被膜を形成する再化成時の高温エージング工程の電圧のみを約 10%上げることで、アルミ電解コンデンサの絶縁電圧値を数%から 11%増加できることを実証した。

## 6. 耐圧向上の成果と展開

著者は 5 年間に渡り、世界 18 か国 40 都市を訪問して一般家屋の電源品質状況 (過電圧、繰り返しサージ電圧、高調波等) を測定したことを報告した [4、5]。一般家屋のコンセントに侵入する過電圧等によるアルミ電解コンデンサの防爆弁作動の対策として、アルミ電解コンデンサの定格電圧をあげることが執られている (例、DC400V を DC450V に変更する)。

しかし、アルミ電解コンデンサの定格電圧をあげると陽極箔を DC450V 仕様にするため、サイズ (直径あるいは高さ) が大きくなり、かつコストもアップする。

そこで、(1) 定格電圧のサイズを維持して、再化成工程の高温エージング電圧値を上げることでアルミ電解コンデンサの過電圧による防爆弁の作動するリスクを減少させ、かつ (2) ショートしないアルミ電解コンデンサを採用して発火対策 [2] を同時に行う。

この二つの方法で一般家屋に侵入する特定国の公称電圧の約 20%~57%の過電圧、430Vp $\times$ 30  $\mu$ s の繰り返しサージ電圧、500Vp $\times$ 2ms 等のサージ電圧 [5] に対するアルミ電解コンデンサの安全性と信頼性の技術を確立して、複写機、プリンタ等の電子機器で実用化した。

これらの二つのアルミ電解コンデンサへの対策技術をさらに工夫して、産業機器、電気自動車等の車載等に展開されることを希望する。

## 参考文献

- [1] 神崎信義, 島谷涼一, 高橋 寛, 徳舛弘幸 (1990): “アルミ電解コンデンサにおける長寿命化とバリア皮膜”, 表面技術, Vol.41, pp.808-812.
- [2] 渡部利範, 藤原義親, 竹内学 (2003), “アルミ電解コンデンサの発火メカニズムと対策” 日本信頼性学会誌「信頼性」Vol.25, No.8,
- [3] 佐藤正志 (1995) “アルミニウム陽極酸化被膜の絶縁破壊に関する一考察 電学論 A, 115 巻 5 号, pp.457-458
- [4] 渡部利範, 2005 年度、電気設備学会全国大会 “世界 18 カ国における一般家屋の異常電圧の測定結果”, pp.29-32
- [5] 渡部利範, 2005 年、茨城大学大学院博士学位論文 “異常電圧環境下におけるバリスタとアルミ電解コンデンサの信頼性に関する研究”, pp.25-61