

目次

1. コンデンサの原理、基礎理論
2. コンデンサの種類
3. フィルムコンデンサの種類
4. 特性、性能
5. 製造工程と品質のポイント
6. 用途
7. 使用上の注意事項
8. 不具合の事例
9. 安全性、環境対応
10. 添付資料

1. コンデンサの原理、基礎理論

1-1 コンデンサとは

対向する導電体間に電圧を加えると、それらに挟まれた絶縁物質（または空間）が静電誘導作用により誘電分極を発生し、電荷が蓄積（充電）される。この充電及び蓄積電荷の放電作用を機能とする装置（部品）。

1-2 静電容量とエネルギー

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

$$Q = C V \quad \dots\dots\dots \text{式 2}$$

$$W = \frac{1}{2} C V^2 \quad \dots\dots\dots \text{式 3}$$

C : 静電容量 (F)
 ϵ_0 : 真空の誘電率
 8.854×10^{-12} (F/m)
 ϵ_r : 比誘電率
 S : 有効電極面積 (m²)
 d : 電極間距離 (m)
 Q : 電荷 (C)
 V : 電圧 (V)
 W : エネルギー (J)

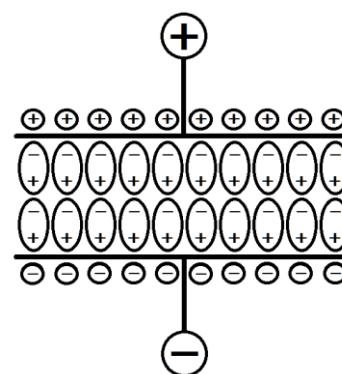


図 1 分極の概念図

2. コンデンサ(固定)の種類

2-1 誘電体による分類

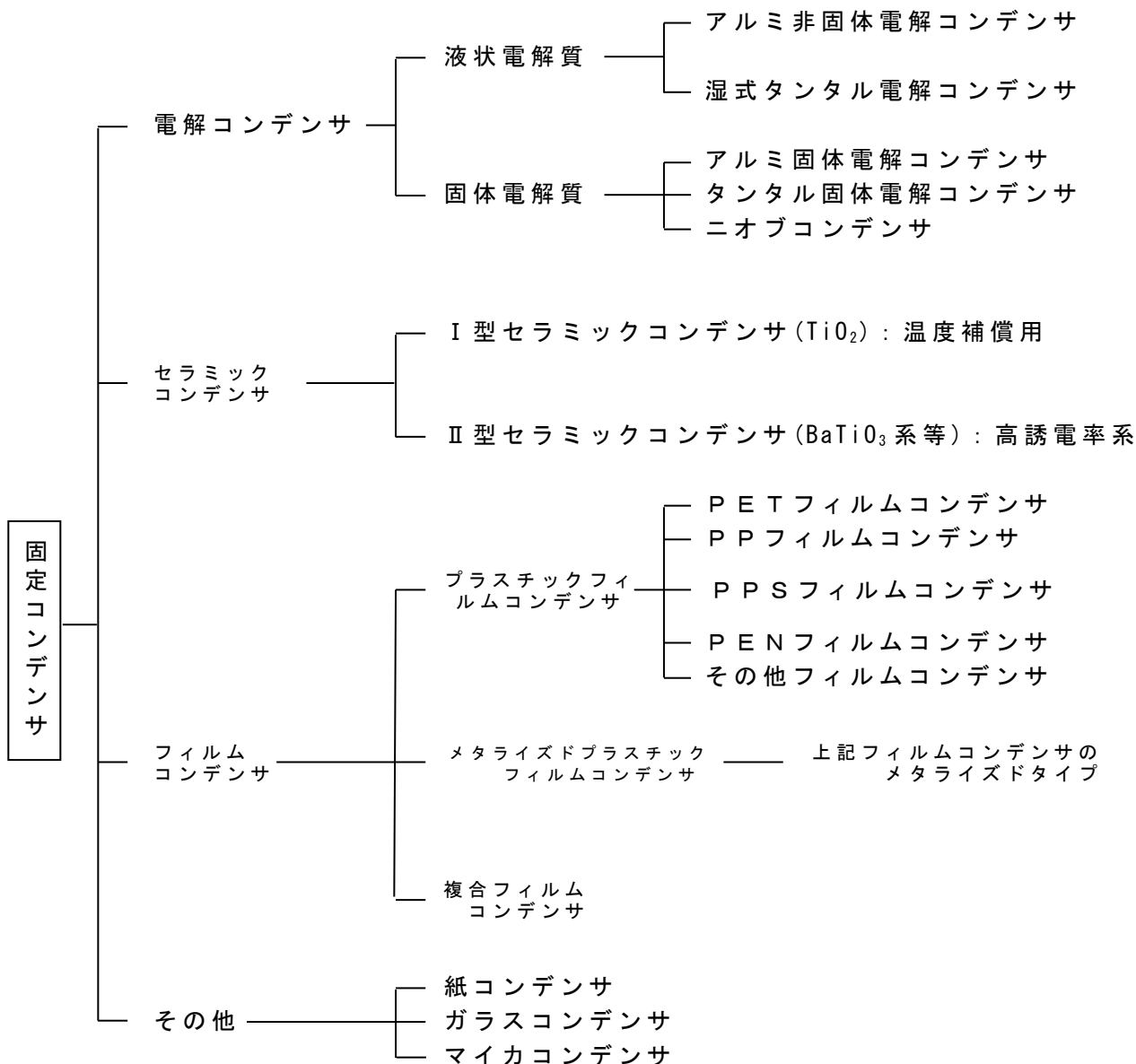


図 2 コンデンサの分類

2-2 各種コンデンサの特性比較(概略)

表 1 各種コンデンサの特性比較

種類 \ 特性	サイズ	周波数特性	温度特性	高電圧	大容量	寿命	容量単価
フィルム	×	◎	◎	◎	△	◎	×
アルミ非個体電解	○	×	×	○	◎	×	◎
アルミ個体電解	○	◎	○	△	◎	△	○
タンタル電解	○	○	△	×	○	△	○
積層セラミック	◎	△	○	◎	×	◎	×

優れる ← ◎○△× → 劣る

3. フィルムコンデンサの種類

3-1 誘電体による分類

表 2 誘電体による分類

誘電体名称	略称	備考
ポリエチレンテレフタレート	P E T	商品名「マイラー」(デュポン)が有名
ポリプロピレン	P P	—
ポリフェニレンスルフィド	P P S	—
ポリエチレンナフタレート	P E N	—
その他	—	—

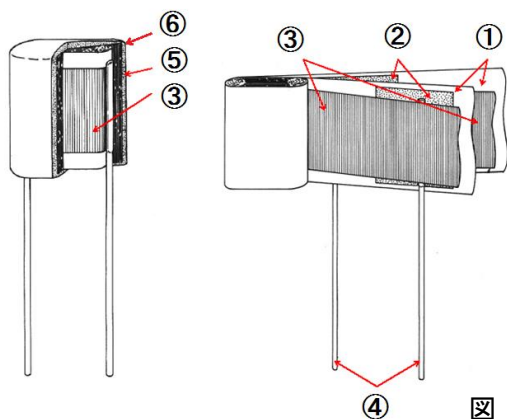
3-2 電極による分類

表 3 電極による分類

電極分類	材質
金属はく電極	アルミニウム、スズ、銅 など
蒸着電極	アルミニウム、亜鉛 など

3-3 素子構造による分類

1) はく電極タブ構造



2) 蒸着電極構造

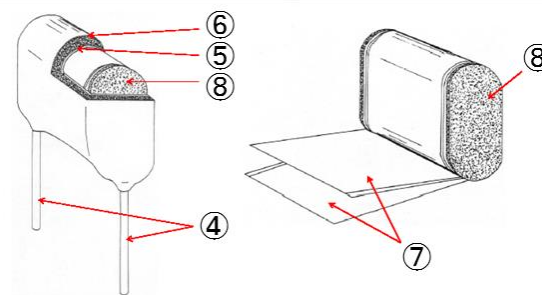


図 3 素子構造

- ① 誘電体フィルム
- ② 保護フィルム
- ③ アルミ箔
- ④ リード線

- ⑤ 下塗り樹脂
- ⑥ 外装樹脂
- ⑦ 蒸着フィルム(メタライズドフィルム)
- ⑧ 溶射金属電極(メタリコン)

3-4 外装による分類

樹脂ディップ
 テープラップ樹脂封口
 非金属ケース樹脂封口
 金属ケースハーメチックシール
 樹脂モールド
 簡易外装(表面実装用チップ)

4. 特性、性能

4-1 誘電体フィルムの物性

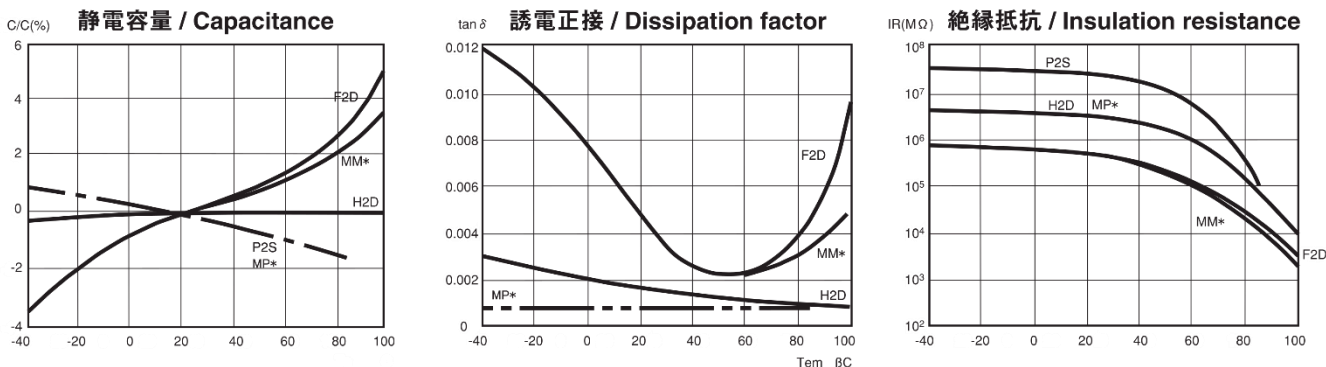
表 4 誘電体フィルムの物性

特 性	P E T	P P	P P S	P E N
厚さ (μm)	3.0 - 12	2.2 - 12	4.0 - 12	4.0 - 12
最高使用温度 (°C)	120 - 130	80 - 105	130 - 140	120 - 140
比誘電率 (1kHz@20°C)	3.2	2.2	3	2.9
誘電正接 (1kHz@20°C)	0.003	0.0002	0.0006	0.004
体積固有抵抗 (Ω cm)	>10 ¹⁸	>10 ¹⁷	>10 ¹⁷	>10 ¹⁷
吸水率 (%@75%RH)	0.4	<0.01	0.05	0.3
ガラス転移点 (°C)	69	0	92	121
A C破壊電圧 (kV/mm)	120 - 280	200 - 400	180	300

4-2 フィルムコンデンサの諸特性

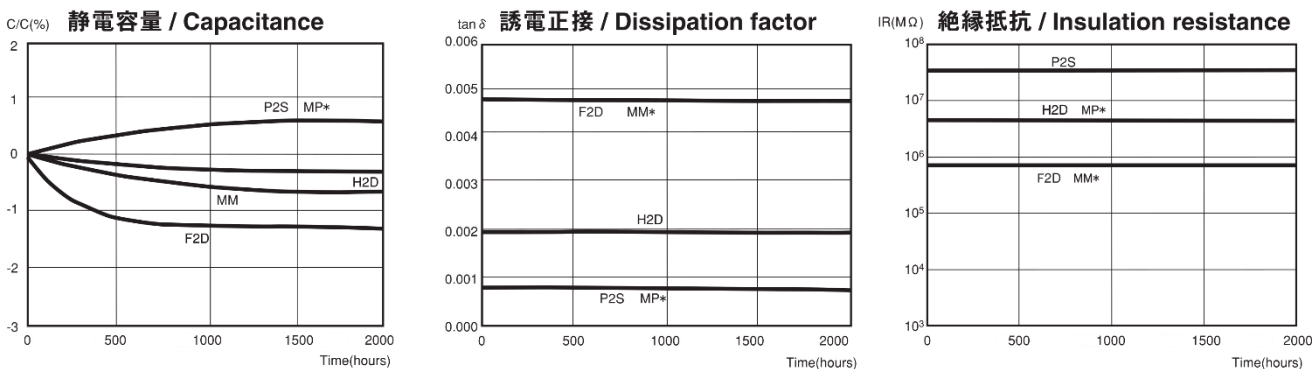
各種コンデンサ特性の代表例を以下に示します。試料はいずれも 0.1 μ F です。

◆温度特性 / TEMPERATURE CHARACTERISTICS



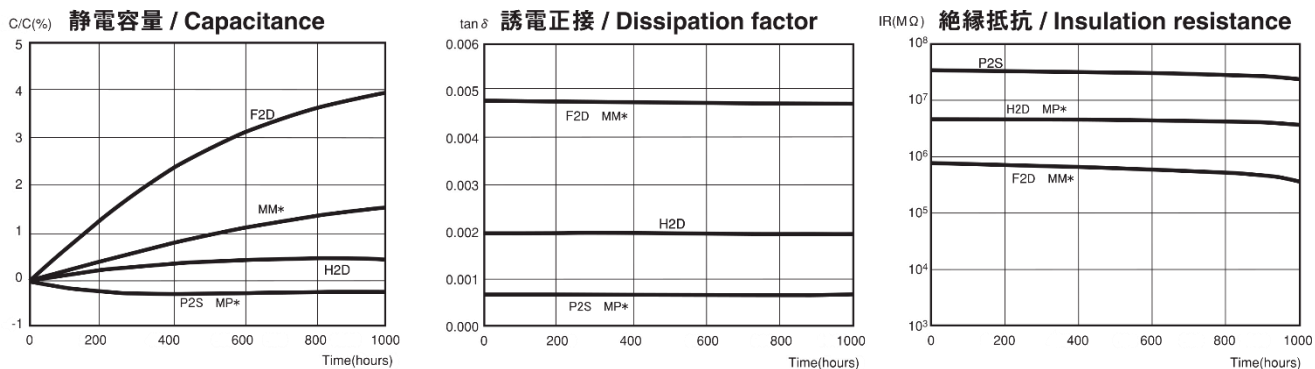
◆高温負荷 (定格電圧軽減なしで使用できる最高温度中、定格電圧 \times 1.25または1.4 (F2D,P2S,H2D) 倍印加)

HIGH TEMPERATURE LOADING (Temperature : 105°C or 85°C or 70°C, Test voltage : 140% or 125% of rated voltage)



◆耐湿負荷 (40°C、95%中、定格電圧印加)

MOISTURE RESISTANCE LOADING (Temperature : 40°C, Humidity : 95%, Test voltage : rated voltage)



◆周波数特性 / FREQUENCY CHARACTERISTICS

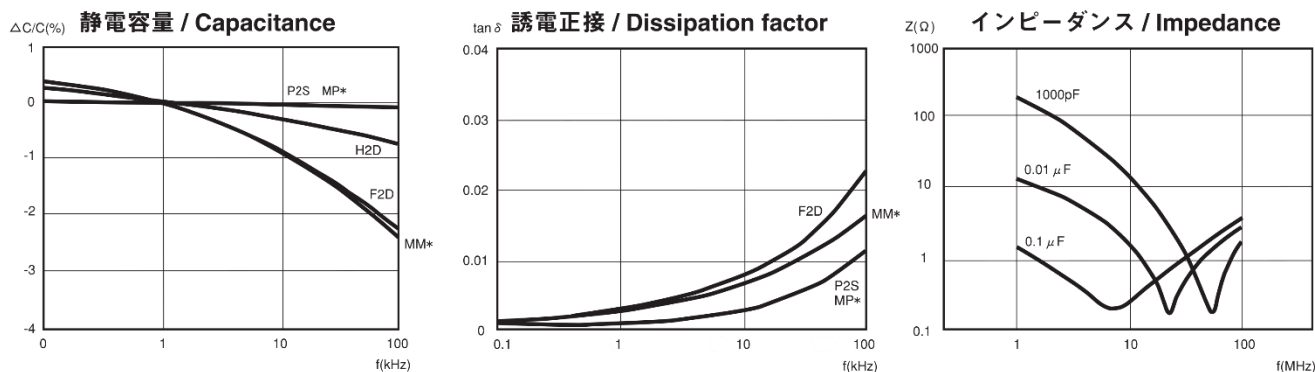


図 4 フィルムコンデンサの諸特性

4-3 各種フィルムの特長

表 5 誘電体フィルムの特長

項目	PET	PP	PPS	PEN
価格	◎	○	×	○
小型化	◎	○	○	◎
耐熱性	○	○	◎	◎
耐湿性	△	◎	○	△
耐溶剤性	○	○	○	○
温度特性	△	○	◎	△
低損失（低tanδ）	△	◎	○	△

優れる ← ◎○△× → 劣る

5. 製造工程と品質のポイント

（品種、工程別管理項目と影響特性）

5-1 はく電極タブ構造品

表 6 はく電極構造品の製造工程と管理項目

工程	管理項目	影響特性
巻取り	溶接強度	容量オープン はく切れによる容量小 溶接ばりによるショート
	巻ずれ	ショート
剥離剤塗布	塗布状態	はんだ付け
プレス	温度	ショート
	圧力	はく切れによる容量小
樹脂含浸	真空度	ポイドによる耐電圧低下
樹脂硬化	温度	tanδ大
	時間	tanδ大

5-2 蒸着電極構造品（リード線品）

表 7 蒸着電極構造品（リード線品）の製造工程と管理項目

工程	管理項目	影響特性
蒸着	蒸着状態	tan δ 大
巻取り	ずらし幅	容量オープン tan δ 大
	フィルム傷	tan δ 大
プレス	温度	I R、ショート
	圧力	I R、ショート
メタリコン	条件	tan δ 大 ショート
	厚み	tan δ 大（溶接時）
電圧処理	電圧	I R、容量オープン、tan δ 大
リード溶接	溶接状態	tan δ 大 容量オープン
剥離剤塗布	塗布状態	はんだ付け

5-3 蒸着電極構造品（パワーフィルムコンデンサ）

表 8 蒸着電極構造品（パワーフィルム）の製造工程と管理項目

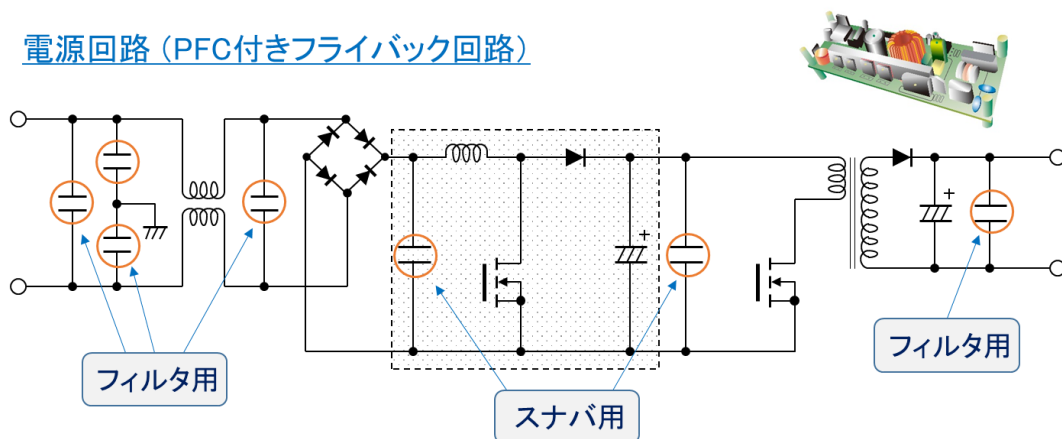
工程	管理項目	影響特性
蒸着	表 9 誘電体電極の種類と用途	
巻取り	ずらし幅	容量オープン tan δ 大
	フィルム傷	tan δ 大
プレス	温度	I R、ショート
	圧力	I R、ショート
メタリコン	条件	tan δ 大 ショート
	厚み	tan δ 大（はんだ付け時）
電圧処理	電圧	I R、容量オープン、tan δ 大
はんだ付け	はんだ状態	tan δ 大 容量オープン
樹脂詰め	樹脂状態	耐湿性能（ピンホール等）

6. 用途と特徴

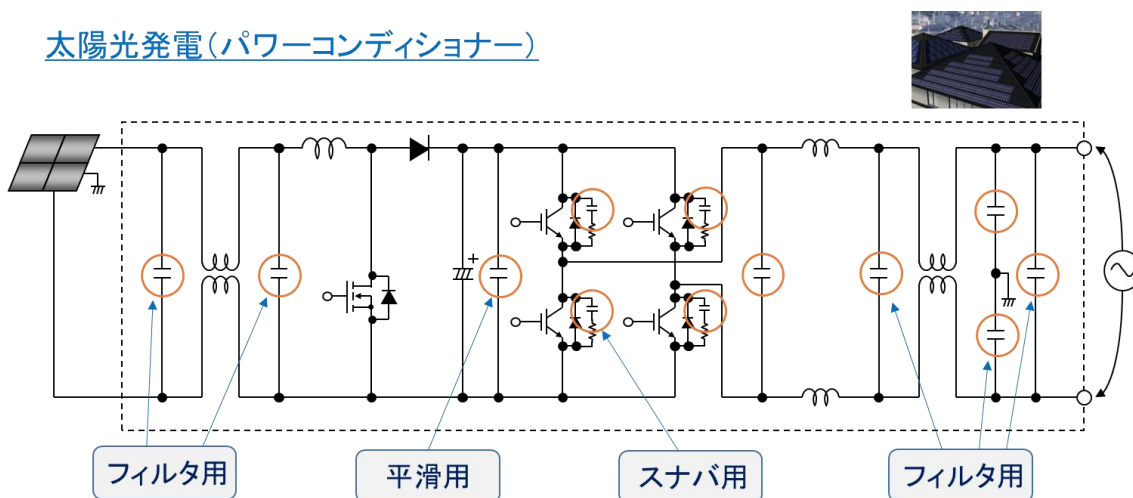
誘電体	電極	構造	ハイパス カップリング	電源 フィルタ	雑音防止	充放電	共振	積分 微分	時定数	発振	位相補正	平滑	スナバ
PET	箔	タブ	○			△		○	○	○	○		
		エクステンドホイール	○			○	○	○	○	○	○		
	蒸着	捲回 積層	○ ○	○	○	△ ○	○ ○						
PP	箔	タブ	○					○	○	○	○		
		エクステンドホイール	○			○	○	○	○	○	○		
PPS	箔	タブ	○					○	○	○	○		
		エクステンドホイール	○			○	○	○	○	○	○		
	蒸着	捲回 積層	○ ○			△ ○	○ ○						

△：専用に設計

電源回路 (PFC付きフライバック回路)



太陽光発電 (パワーコンディショナー)



車載インバータ回路 (走行用)

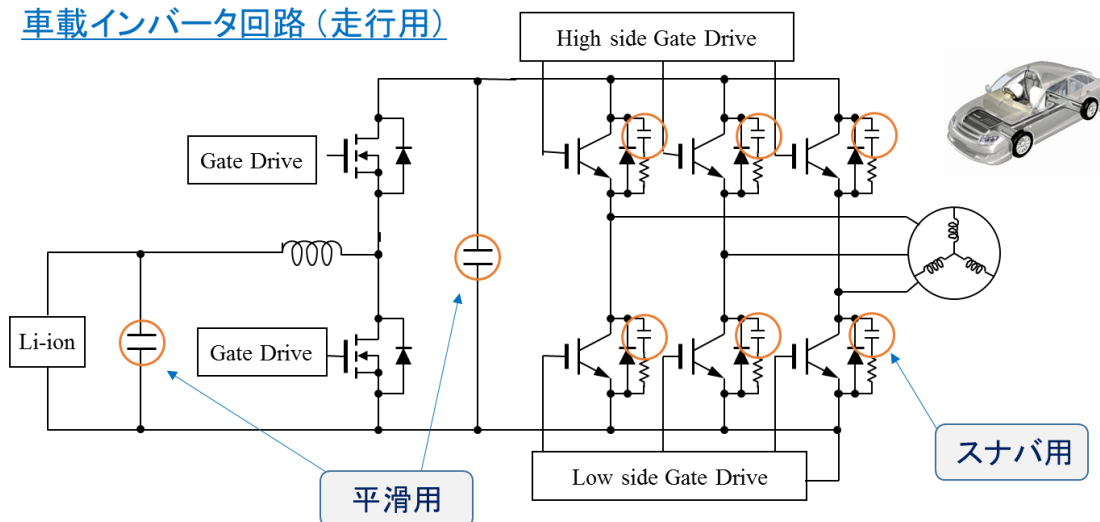
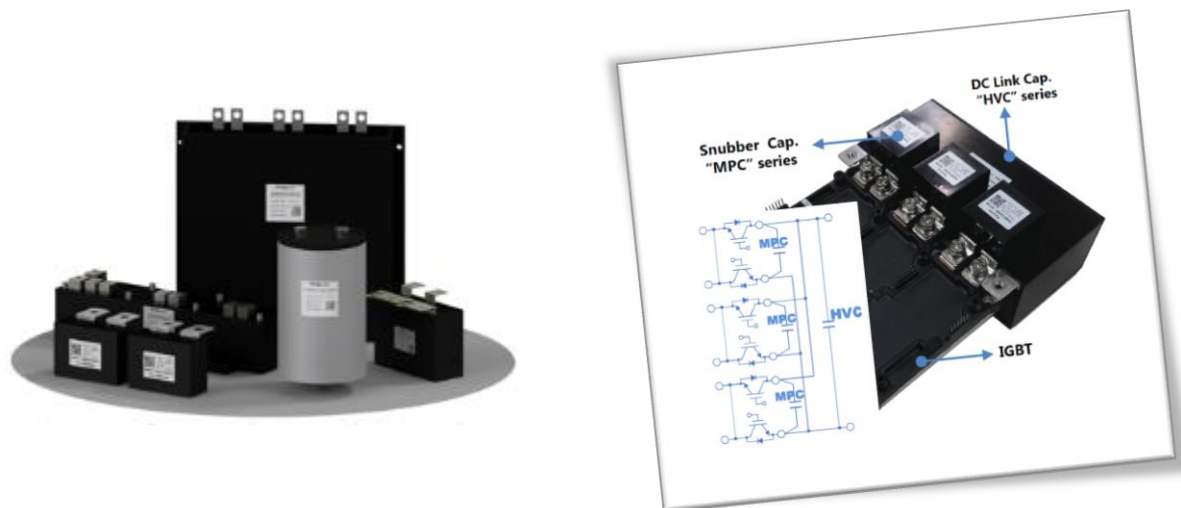


図 5 使用例

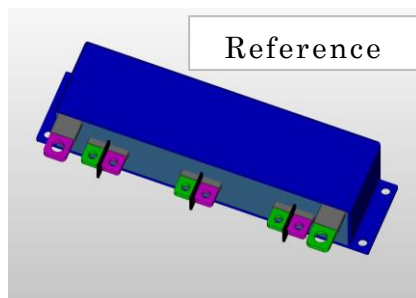
6-1 内蔵素子の最適化

コンデンサの内部素子には従来用いられてきたポリプロピレンで大電流に対応しています。また、市場の高耐熱の要望に応え、内部素子に高電圧 PMLCAP を採用して、125℃以上に対応したモジュールを開発中であり、ご要望に応じて最適な内部素子にて設計しています。

- ・大電流化 →内蔵素子：ポリプロピレンフィルムコンデンサ



- ・高耐熱化・超小型化 →内蔵素子：PMLCAP



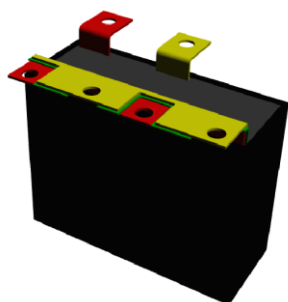
例) 800VDC/200 μ F/250Arms/0.28L
 エネルギー密度 225J/L
 動作温度範囲は-40~+125℃

図 6 使用例

6-2 最適設計

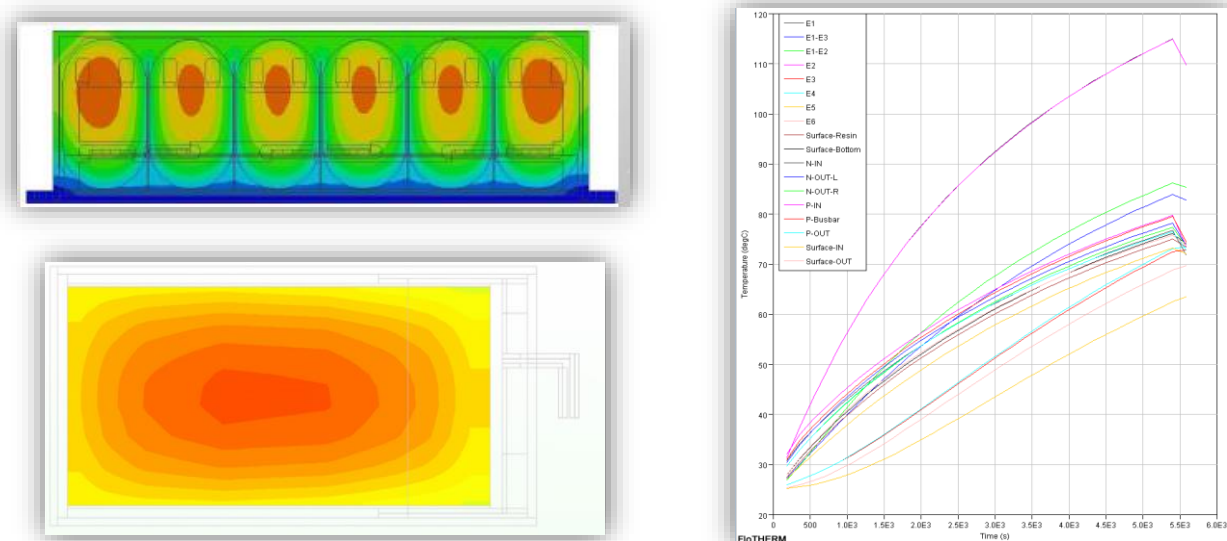
私たちはお客様のご要望に応えるため、電磁場、熱、構造のシミュレーションや実験を行い最適な製品設計をしています。

- ・低インダクタンス化



例) 450VDC/200 μ F/4.1nH at 10MHz

・ 熱環境シミュレーション



・ 製品強度/耐震シミュレーション

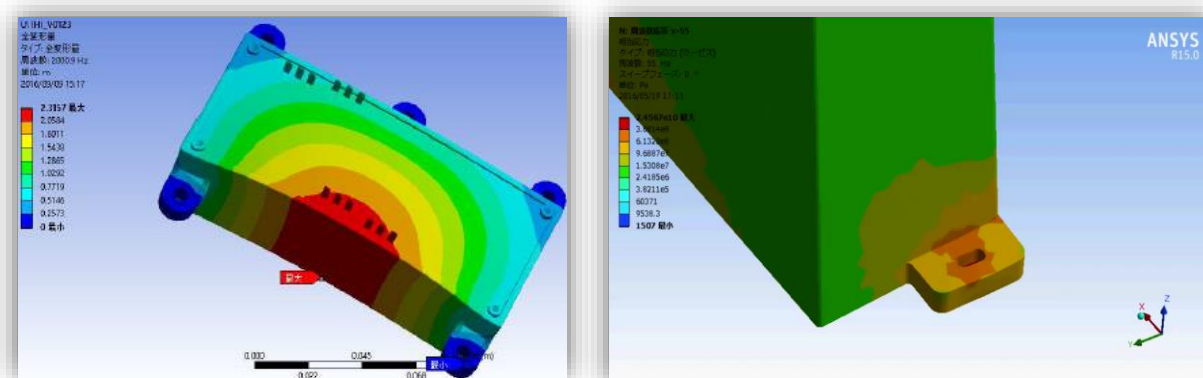


図 7 設計、シミュレーション例

7. 使用上の注意事項

フィルムコンデンサの使用上の注意に関しましては[こちら](#)をご覧ください。

8. 不具合事例

表 10 フィルムコンデンサの故障要因と故障モード

故障モード	故障要因	
	はく電極	蒸着電極
ショート	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過電圧, 高パルス電圧印加による誘電体フィルムの絶縁破壊 ・ 過電流による自己発熱 ・ 高温環境 ・ フィルムの吸湿 } → 誘電体フィルムの耐電圧低下による絶縁破壊	—
抵抗値を持ったショート (*) (**)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過電圧, 高パルス電圧印加による誘電体フィルムの絶縁破壊 ・ 過電流による自己発熱 ・ 高温環境 ・ フィルムの吸湿 } → 誘電体フィルムの耐電圧低下による絶縁破壊
オープン	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過電流による自己発熱 ・ 高温環境 } → 誘電体フィルムの熱収縮による接続不安定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高パルス電流により蒸着された電極金属とメタリコン金属との接続部分が瞬間的に発熱・飛散 ・ 過電流による自己発熱 ・ 高温環境 } → 誘電体フィルムの熱収縮による接続不安定 <ul style="list-style-type: none"> ・ 吸湿による蒸着金属の酸化により電極面積の減少 (容量減少→オープン方向)

*) メタライズドフィルム(蒸着金属電極タイプ)の場合、耐電圧を超えた(又は耐電圧が下がり見かけ上超えた状態の)電圧が印加されるとセルフヒーリングが連続発生し、その際の放電エネルギーによってフィルムが溶融・炭化するため、完全ショートとはならず、抵抗値をもったショートとなります。

**) 抵抗値をもったショートとなる際に、複数の要因が重なる場合や厳しい条件の場合には、発煙・発火することがあります。

・具体例

蒸着電極の製品が市場にて8年間稼働後オープンとなった。

→ 解析結果:蒸着金属がほとんど消失しており、高湿度環境下での使用が考えられます。

9. 安全性、環境対応

9-1 安全性

蒸着電極タイプの発煙，発火対策

- ・充放電試験と $\tan \delta$ 測定の高周波化によるスクリーニング精度の向上
- ・蒸着パターンへの保安機構付与による安全性の向上（電気機器用，雑音防止用）

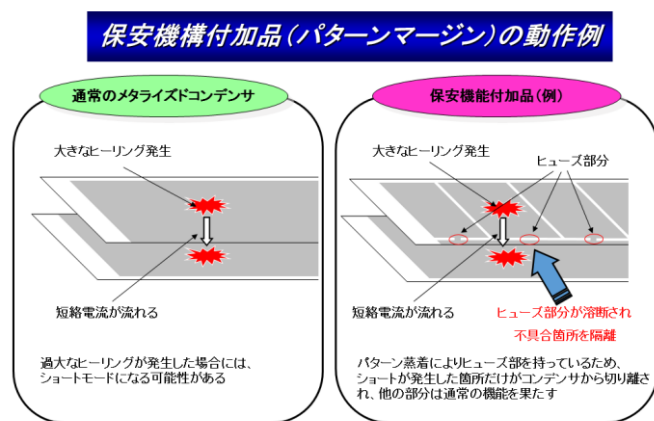


図 8 保安機構の構造と破壊モード

9-2 環境対応

フィルムコンデンサの環境対応については[こちら](#)をご覧ください。

10. 添付資料

10-1 コンデンサの寿命について

フィルムコンデンサは寿命の概念が無いとされている部品ですが、文献等には以下計算式が掲載されています。これら計算により算出される値は参考値であり、保証するものではありません。

(1) 故障率計算

フィルムコンデンサは構造上電解液が使われていないため、アルミ電解コンデンサのように摩耗故障による寿命という概念が存在せず、一般的には故障率で表すことが合理的とされています。故障率は温度と電圧による依存性があり、文献等には以下に示す関係式（式 4）により算出されるとありますが、これらによって算出される数値は推定値であり、これを保証するものではありません。

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left(\frac{V_{op}}{V_{ref}} \right)^{\gamma} \cdot 2^{\frac{T_{op} - T_{ref}}{10}} \quad \dots\dots\dots \text{式 4}$$

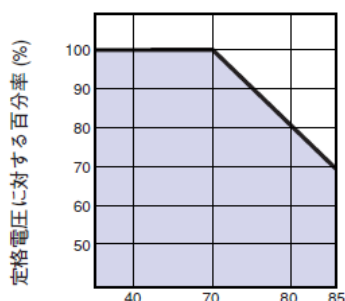
{	λ	： 使用条件での故障率	
	λ_0	： 信頼性試験条件下での故障率	
	V_{op}	： 使用電圧	(Vdc)
	V_{ref}	： 信頼性試験での印加電圧	(Vdc)
	γ	： 電圧係数	
	T_{op}	： 使用温度	(℃)
	T_{ref}	： 信頼性試験温度	(℃)

(2) フィルムコンデンサの寿命計算

フィルムコンデンサの寿命については、故障率の逆数により求められる平均故障時間 MTF を便宜上寿命としています。

(3) 使用温度による定格電圧軽減

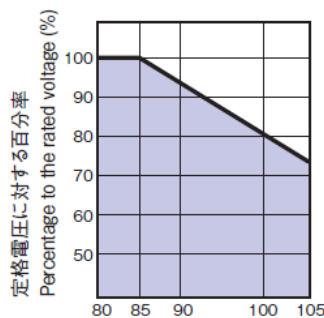
コンデンサを高温で使用すると熱劣化によりコンデンサ寿命が低下します。高温でのご使用の場合は下記グラフに従いまして使用電圧を軽減してください。



カテゴリ温度 t(°C)

図 9-1

適用品種 P2S



カテゴリ温度 Category temperature(°C)

図 9-2

適用品種

MPK, PCK, MMB, MMG, MMK, F2D

(4) リプル電流と寿命

コンデンサにリプル電流が印加された場合ジュール熱を発生します。この時のコンデンサの温度上昇は、式 7 で与えられます。

$$\Delta T = \frac{1}{\beta \cdot S} \cdot \frac{I^2 \cdot \tan \delta}{\omega \cdot C} \quad \dots \dots \dots \text{式 5}$$

{	ΔT : コンデンサの表面温度上昇 (°C)
	β : 放熱係数 (W/°C cm ²)
	S : コンデンサの表面積 (cm ²)
	ω : 角周波数 (= 2πf) (rad/s)
	C : コンデンサの静電容量 (μF)
	I : リプル電流 (Arms)
tanδ : コンデンサの誘電正接	

コンデンサの自己発熱が大きいと、劣化、損傷の危険がありますので、コンデンサの自己温度上昇は、ポリエステルコンデンサが15°C、ポリプロピレンコンデンサが10°C以下の範囲内でご使用ください。

高温—高周波での使用の場合は、直流電圧とは異なる電圧軽減率となります。これはリプル電流による発熱がアレニウスの10°C2倍則よりも条件的に厳しくなる為と、ポリエステルフィルムなどは温度により tan δが変化し、それにともない自己温度上昇が変化する為です。

(5) 各種電圧波形に対する許容電圧について

各種波形の許容電圧は、波形の種類、周波数によって異なります。各種波形における許容電圧は、各周波数の正弦波許容電圧に下記係数を乗じた範囲内とします。また、DCバイアス分を含む場合はDC定格電圧からバイアス電圧を引いた交流電圧を許容値とし、この電圧を各周波数、波形により軽減し、ご使用ください。

(電圧軽減曲線の電圧値が実効値で示されている場合には、許容電圧値を2√2倍した値が V_{p-p}の値となり、それに下記係数を乗じた値がその波形でのある周波数における許容電圧値 V_{p-p}となります。)

表 11 許容電圧係数

種類	1	2	3	4	5	6	7
波形							その他
係数	1.0	0.5	$0.5\sqrt{T/T_0}$	0.61	$0.5\sqrt{3T/2T_0}$	$0.5\sqrt{T/2T_0}$	0.5

10-2 セルフヒーリング(自己回復)について

セルフヒーリングとは、電極が誘電体上に非常に薄い金属(約 150~400 Å)にて蒸着されている為に、誘電体内の最弱点部において絶縁破壊があった場合でも、絶縁破壊の瞬間に流れる大電流によって弱点部の周辺だけが飛散し、コンデンサとしての機能までは喪失しない現象のことです。

セルフヒーリング性は蒸着抵抗が高く蒸着膜が薄いほど優れていますが、逆にメタリコンとの接続性及び高周波域でのESR増加を招くために、その設計には使用用途を十分検討する必要があります。

蒸着抵抗とAC破壊電圧

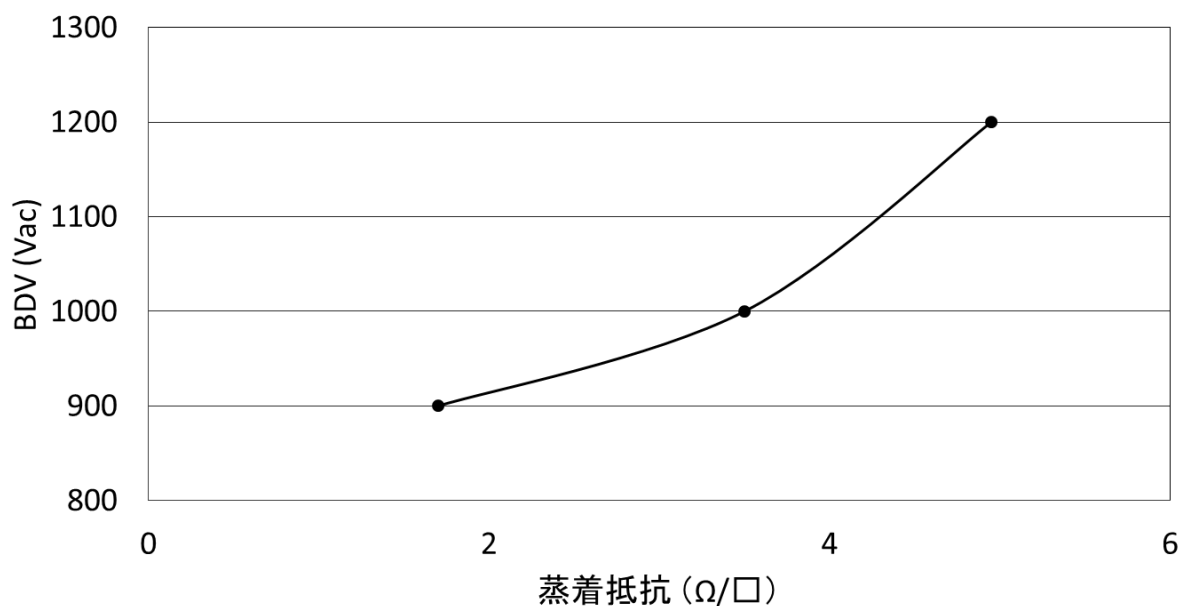


図 10 蒸着抵抗と AC 破壊電圧

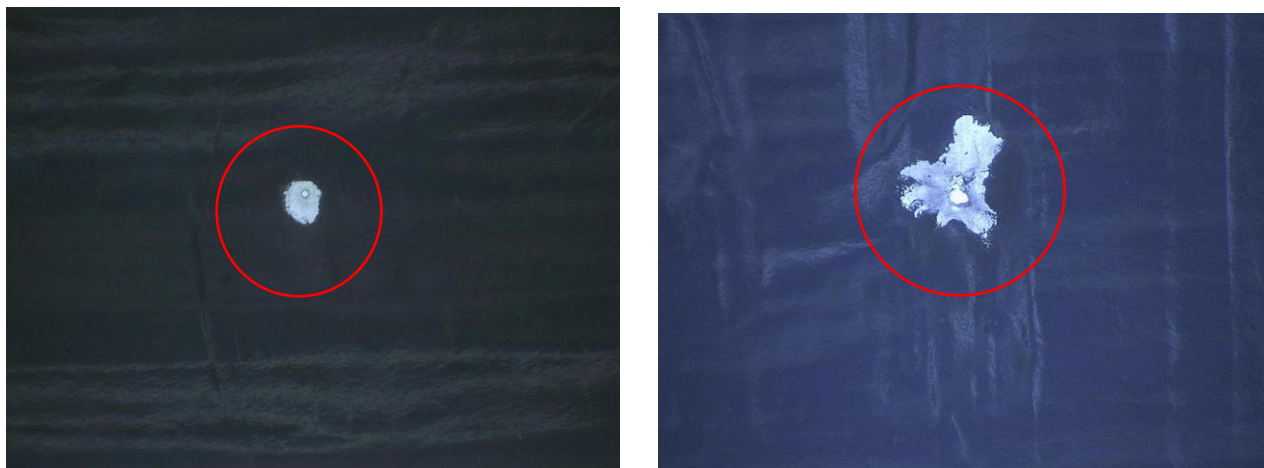


写真 1 セルフヒーリング状態

※セルフヒーリングはコンデンサの絶縁が回復することであり、消失した蒸着金属膜が塞がって回復することということではありません(絶縁欠陥部周辺の蒸着金属膜が局所的に開放されることにより絶縁が回復する)。

【参考文献】

- ・小野 勇:コンデンサ活用マニュアル 東京電機大学出版局 1975
- ・益田 他:デバイス・部品の選び方・使い方 日科技連出版社 1993
- ・電子デバイスデータブック 85 回路部品編 NEC 1985
- ・EIAJ RCR-2350D 電子機器固定プラスチックフィルムコンデンサ
使用上の注意事項ガイドライン 日本電子機会工業会 2012

【その他参考書】

CQ出版社発行の次の書籍など

- | | |
|------------------|------------------|
| ・波形で学ぶ電子部品の特性と実力 | ・わかる電子部品の基礎と活用法 |
| ・電子回路部品活用ハンドブック | ・わかる電子回路部品完全図鑑 |
| ・抵抗&コンデンサの適材適所 | ・受動部品の選び方と活用ノウハウ |