

スイッチングレギュレータシリーズ

# 降圧コンバータに使用する積層セラミックコンデンサの留意点

積層セラミックコンデンサ（以降 MLCC）の大容量化により、電源の平滑コンデンサとして使用できるようになりました。しかし MLCC は、電解コンデンサなど他のコンデンサに対して、周波数特性や温度特性、直流電圧印加特性に違いがあります。適合しない MLCC を使用すると電源回路として目標の特性が得られなかったり、異常動作を引き起こしたりする可能性があります。このアプリケーションノートでは、MLCC の留意点について説明します。

## 積層セラミックコンデンサ（MLCC）の種類

MLCC は、温度補償用と高誘電率系に大きく 2 種類に分けられます。温度補償用は常誘電体に酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) やジルコン酸カルシウム (CaZrO<sub>3</sub>) を主原料としているため、比誘電率が 20~300 程度と小さく、静電容量が大きなコンデンサは実現できません。しかし、比誘電率が温度に対してほぼ直線的に変化するため、誘電体材料の組成を調整することにより温度係数を +100~-4700ppm/°C の範囲で制御できます。温度補償用のコンデンサは電源回路では、スナバ回路やソフトスタートなどの時定数回路に使用します。

高誘電率系は常誘電体に強誘電体であるチタン酸バリウム (BaTiO<sub>3</sub>) を主原料としているため、比誘電率が 1000~20000 と大きく、小型で大容量のコンデンサを実現できます。しかし、この材料は比誘電率が温度によって大きく変化しますので、時定数回路には使用する場合は注意が必要です。

これ以降は、電源回路の入出力コンデンサに使用する、高誘電率系コンデンサに焦点をしばって説明します。

## 周波数特性

MLCC は電解コンデンサなど他のコンデンサに比べて ESR（等価直列

抵抗）が大変小さくなっています。Figure1 に主なコンデンサの周波数特性を示します。電源回路では出力段に MLCC を使用することにより、出力のリプル電圧が小さくなることを期待できます。しかし古い設計の電源 IC では、超低 ESR の MLCC を使用することが想定されていないため、帰還回路の位相が高周波域で回転すぎて電源回路の動作が不安定になり、最悪では発振を引き起こします。どうしても MLCC を使用したい場合は、MLCC に直列に 10mΩ以上の低抵抗を接続して、周波数特性を悪くする必要があります。

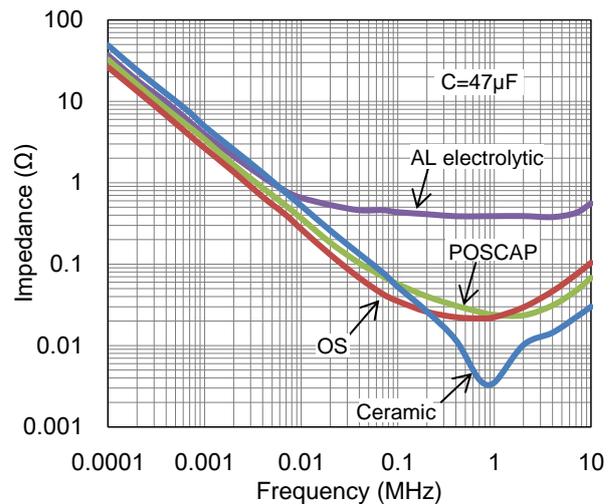


Figure 1. 主なコンデンサの周波数特性

項目	温度補償用	高誘電率系
常誘電体	酸化チタン (TiO <sub>2</sub> ) ジルコン酸カルシウム (CaZrO <sub>3</sub> )	チタン酸バリウム (BaTiO <sub>3</sub> )
比誘電率	20~300	1000~20000
温度特性	+100~-4700ppm/°C	+30~-82%
容量	≤ 0.1µF	≥ 68pF
電圧印加による容量変化	ほとんどない	あり
経時変化	ほとんどない	あり
主な用途	スナバ、時定数 高周波回路、オーディオ	電源の平滑、デカップリング

Table 1. 積層セラミックコンデンサの特徴

### 温度特性

大容量の高誘電率系 MLCC には様々な温度特性を持った製品があります。Table 2 と Figure 2 に代表的な温度特性を示します。特性カーブは製品毎に許容範囲内で様々な変化をします。温度特性は規格化されているため、コンデンサの型名を見ると温度特性が判断できます。

電源回路で使用する温度特性は、B、X5R、R、X7R、X8R 特性のように容量変化率が小さい ( $\pm 15\%$ ) 製品を推奨します。X7U、F、Y5V、Z5U、Z5V 特性は安価ですが、容量変化率が大きい ( $-82\%$ ) ため室温でしか動作しない電源になります。このような特性のコンデンサはトラブルの原因になりますので、電源回路には絶対使用しないでください。

使用する機器の動作温度範囲から判断して、B、X5R、R、X7R 特性の中から選択することを推奨します。

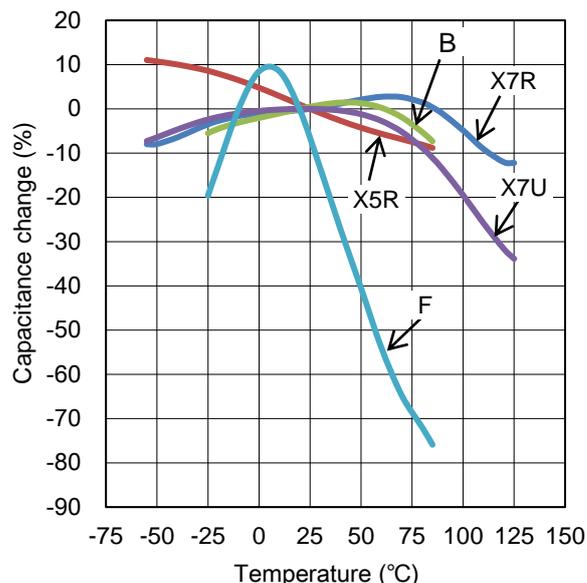


Figure 2. 高誘電率系 MLCC の主な温度特性

規格	特性	基準温度	温度範囲	静電容量変化率
JIS	B	20°C	-25 ~ +85°C	$\pm 10\%$
EIA	X5R	25°C	-55 ~ +85°C	$\pm 15\%$
	X5S			$\pm 22\%$
	X5T			+22%, -33%
	X6S		-55 ~ +105°C	$\pm 22\%$
	X6T			+22%, -33%
JIS	R	20°C	-55 ~ +125°C	$\pm 15\%$
EIA	X7R	25°C	-55 ~ +125°C	$\pm 15\%$
	X7S			$\pm 22\%$
	X7T			+22%, -33%
	X7U		-55 ~ +150°C	+22%, -56%
	X8R			$\pm 15\%$
JIS	F	20°C	-25 ~ +85°C	+30%, -80%
EIA	Y5V	25°C	-30 ~ +85°C	+22%, -82%
	Z5U		+10 ~ +85°C	+22%, -56%
	Z5V			+22%, -82%

Table 2. 高誘電率系 MLCC の主な温度特性

### 直流電圧印加特性

高誘電率系 MLCC に直流電圧を印加すると静電容量が変化します。これはこのコンデンサ特有のもので、電解コンデンサや温度補償用 MLCC など他のコンデンサでは起こりません。

村田製作所製の MLCC を例に直流電圧印加特性を見て行きます。Figure 3 は 10 $\mu$ F/10V (B 特性) で、寸法(L×W)が違うコンデンサの特性を示します。厚みは共に 0.95mm の製品です。寸法が小さい程、直流印加電圧による容量減少が大きくなる傾向が見られます。1608 サイズのコンデンサでは、耐圧が 10V あっても実際には 1V 程度でしか使えないことが判ります。実装面積を削減するために、サイズが小さなコンデンサに変更する場合は特性の変化に注意してください。

Figure 4 は 10 $\mu$ F/10V(B 特性)で、厚み T が違うコンデンサの特性を示します。寸法(L×W)は近い物を選択しています。厚み T が厚い程（体積が大きい程）、直流印加電圧による容量減少が小さい傾向が見られます。使用する機器の高さ制限で、コンデンサの厚みを薄くする場合は、特性の変化に注意してください。

Figure5 は耐圧が異なるコンデンサの特性を示します。コンデンサは共に 10 $\mu$ F(B 特性)、3216(1216)サイズ、厚み 1.80mm です。耐圧 16V の製品よりも耐圧 50V の製品の方は容量減少が大きくなっています。

このように、耐圧が高いコンデンサが必ずしも性能が高いとは限らない場合があります。MLCC を選ぶときは、安易に容量と耐圧の仕様だけを見て部品を選択すると、電源回路の特性が悪化するため、必ずメーカーから詳細データを取り寄せてください。

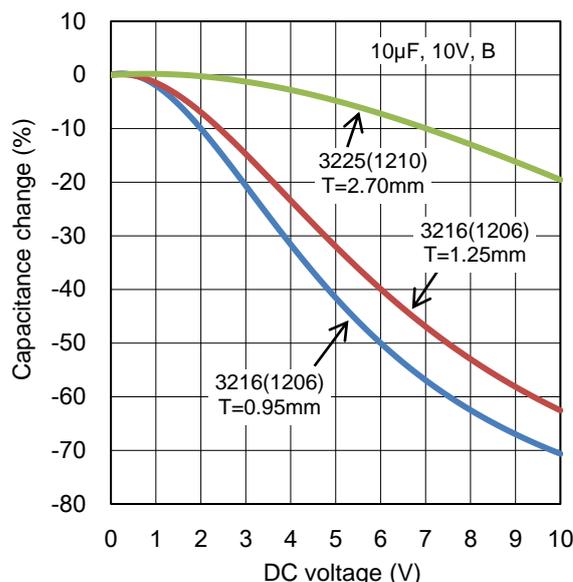


Figure 4. 直流電圧印加特性  
厚み T による違い

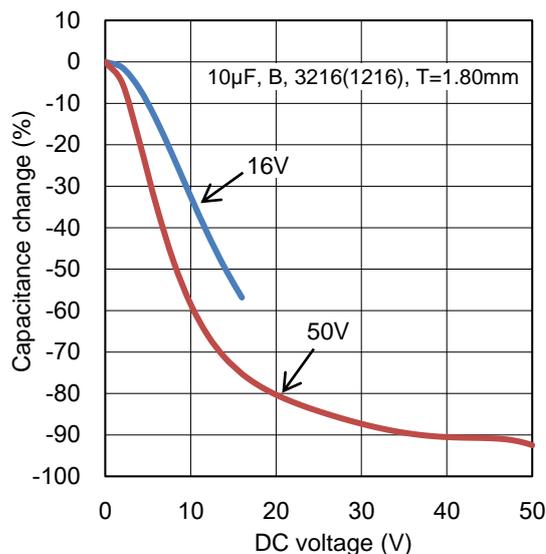


Figure 5. 直流電圧印加特性  
耐圧の違い

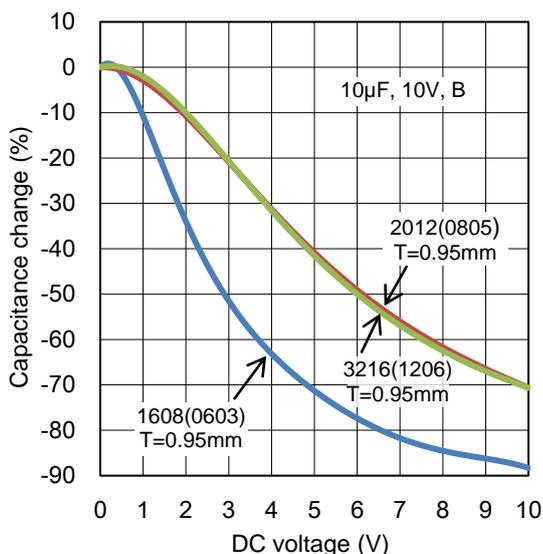


Figure 3. 直流電圧印加特性  
寸法(L×W)による違い

村田製作所の MLCC は、ホームページから SimSurfing という設計支援ツールで簡単に各種特性を確認することができます（2020年1月現在）。

### 経時変化

高誘電体系 MLCC は静電容量が時間と共に低下する性質を持っています。Figure 6 に経時変化の例を示します。半田付け後 24 時間経過した時点 zeroes をとして静電容量の変化を表しています。時間軸を対数表示した場合、静電容量は直線的に低下します。温度補償用 MCLL ではこのような経時変化はありません。

経時変化により静電容量が小さくなったコンデンサは、半田付け等でキュリー温度（約 125°C）以上に過熱されると、静電容量は回復します。そして、そのコンデンサがキュリー温度以下に冷えた時点から再び経時変化が始まります。

産業機器などの長期稼働機器では経時変化を見込んだ容量設計が必要になります。

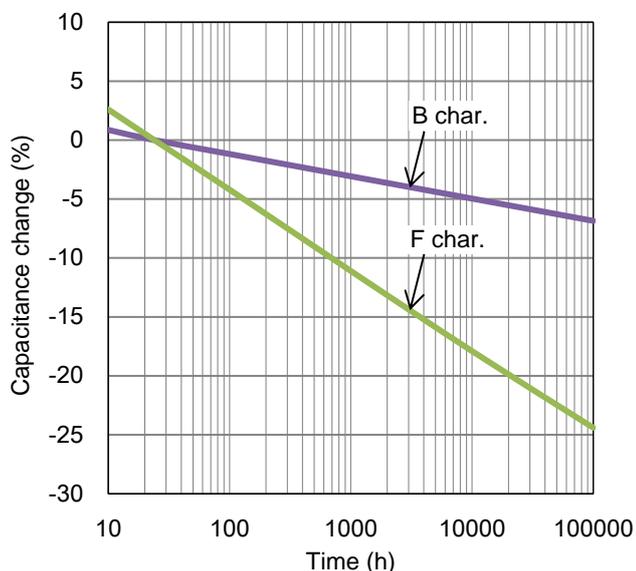


Figure 6. 高誘電体系 MLCC の経時変化例

### 発熱特性

コンデンサにリップル電流（交流電流）が流れると抵抗成分により熱が発生しコンデンサ自体が温度上昇しますが、MLCC は ESR（等価直列抵抗）が非常に小さいため、発熱量が小さく耐リップル性能に優れたコンデンサと言えます。多くの MLCC メーカーは表面温度の上昇を 20°C 以下で使用する事を推奨しています。

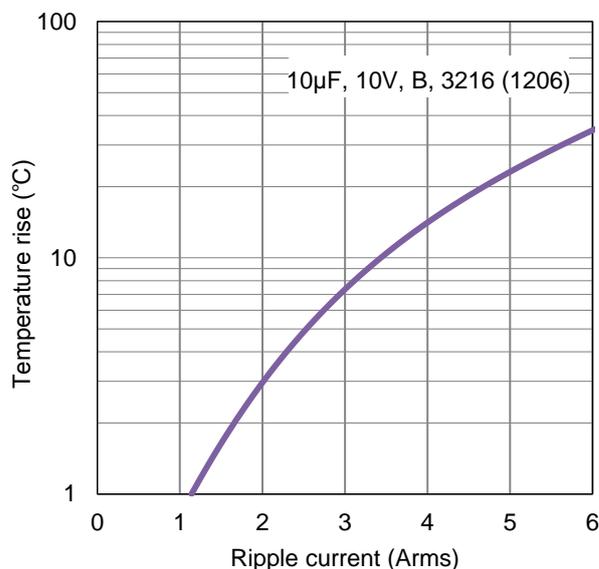
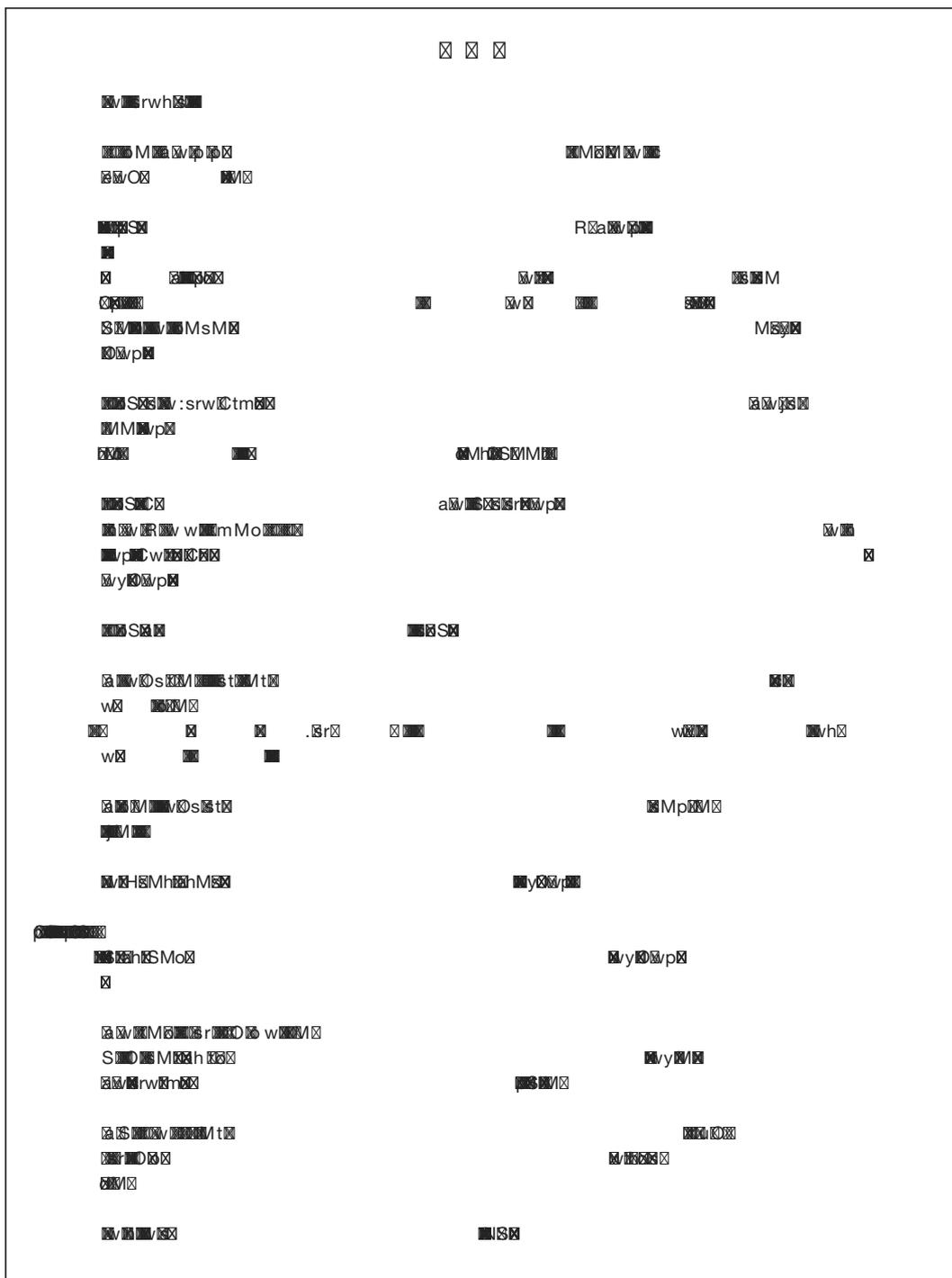


Figure 7. 高誘電体系 MLCC の自己発熱例



ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>