

KISTEC 神奈川県立産業技術総合研究所

積層セラミックコンデンサのユーザー向けの 故障現象 & 解析手法および選定指針

2026/7/07
Tech-SAITO
代表 齋藤彰

齋藤彰のプロフィール

故障解析コンサルティング「テック・サイトウ」代表 a.saito@tech-saito.com
<http://tech-saito.com/tech-saito/>

経歴

大阪大学工学研究科応用化学専攻（修士）

京セラ株式会社にて

- ・ 構造用SiC, Si₃N₄材料開発

株式会社村田製作所にて

- ・ 磁性体材料開発
- ・ 故障解析技術開発
- ・ 誘電体材料劣化メカニズム解析
- ・ Snウイスカの発生メカニズム解析

その他の所属

日本信頼性学会

- ・ 正会員（元理事，関西支部顧問）
- ・ 故障物性研究会（実行委員）

JEITA

- ・ ウイスカ及び実装材料研究会副主査
～2023年11月



専門分野：青字：本日の主な講演内容

電子部品の故障解析全般

★誘電体の劣化メカニズム

★Snウイスカ（低温実装を含む）

★化学腐食

SEM/EDSによる高度解析技術

★：特に得意な分野

1. はじめに（品質の重要性）

- 1.1 品質事故事例
- 1.2 品質偏重の時代へ
- 1.3 故障原因を物理化学の世界へ

2. 積層セラミックコンデンサの特徴

- 2.1 BaTiO₃の誘電率発現のメカニズム
- 2.2 MLCCの誘電率の変化
(温度、電圧、経時変化)

3. MLCCに発生するクラックの検出・評価方法

- 3.1 クラックが発生するメカニズム
- 3.2 MLCCに発生する様々なクラック一覧
- 3.3 たわみクラック
- 3.4 水平クラック
- 3.5 マウントクラック（実装時）
- 3.6 外層に発生するクラック
- 3.7 WEB上の情報を鵜呑みにしない
- 3.8 はんだクラック（温度サイクル）
- 3.9 クラックの評価方法

4. BaTiO₃系MLCCの絶縁劣化による故障

- 4.1 絶縁低下の主要因いろいろ
- 4.2 酸素空孔による絶縁劣化のメカニズム
- 4.3 劣化速度の温度 & 電界強度依存性
- 4.4 絶縁劣化個所の故障解析技術

5. 腐食による故障

- 5.1 めっき腐食
- 5.2 はんだフラックス腐食
- 5.3 ECMとSnウイスカ

6. 寿命予測技術

- 6.1 ワイブルプロット

7. MLCCの小型化に伴う注意点と対策案

- 7.1 微小MLCCの実装での工夫
- 7.2 MLCC代替品選定での注意点

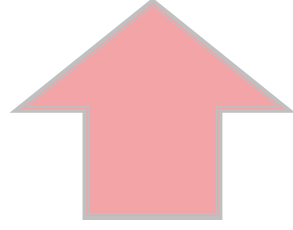
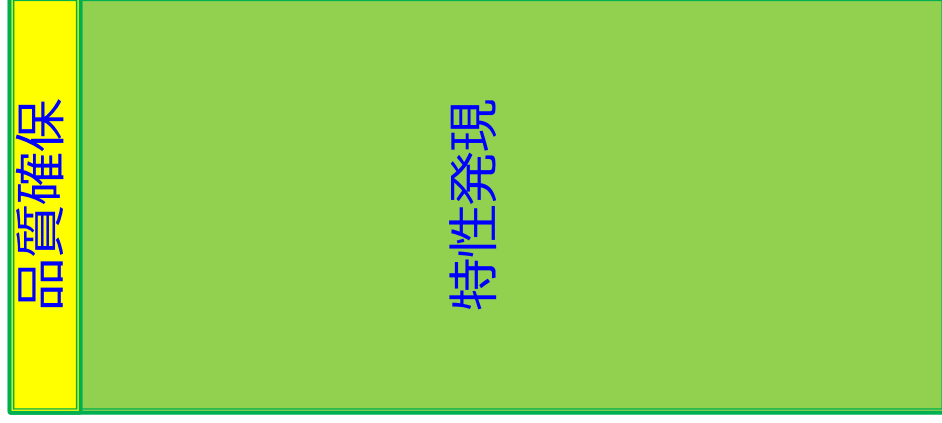
1. はじめに（品質の重要性）

1. はじめに（品質の重要性）

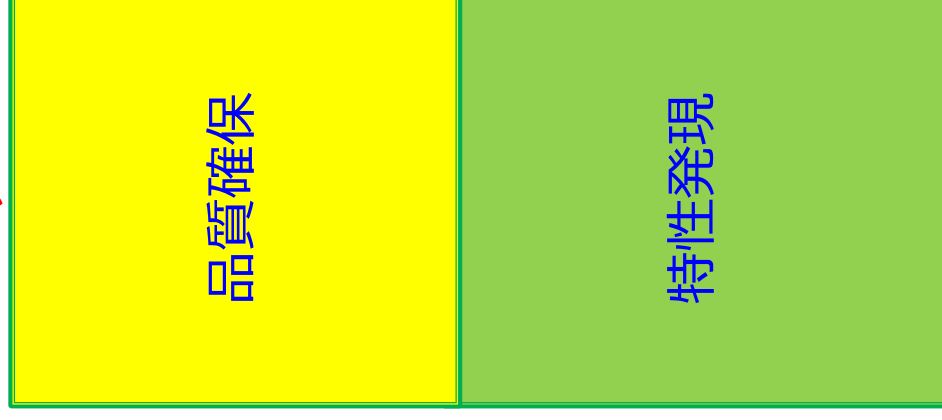
1.2 品質偏重の時代へ

品質重視 ⇒ 故障解析体制の構築

昔



今



該当製品の

- ・ DRの有効化
- ・ 製造や市場でのストレス予測
- ・ G/NG評価方法の開発
- ・ 故障解析技術の開発

人員不足は例えば、
40歳以上の技術者を
品質技術者として、
1年ぐらい再教育して
開発部隊に送り込む

多くの場合、品質が未達成で開発期間が延長になるのだから、
品質技術者を開発部隊に投入して、期間短縮を図る方がいい

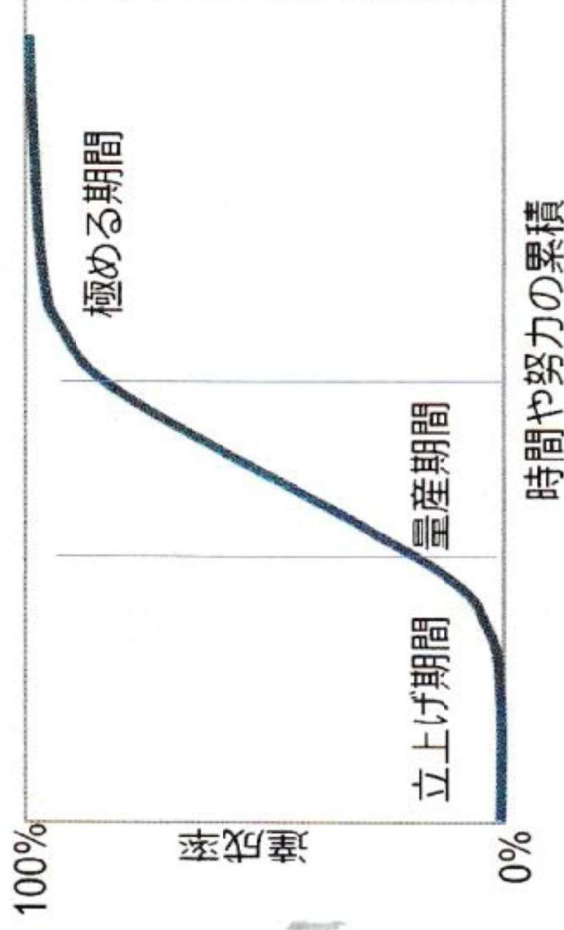
不具合（故障）解析の特徴と対応

特徴

- ・ 試料（故障品）数が少ない
- ・ 同一の原因かが不明
- ・ 情報量が少ない（特に市場クレーム）
- ・ 故障位置が不明（基板や部品内の位置）
- ・ 短期間でのメカニズム構築が必要
- ・ 再現試験が困難

対応

- ・ 良品との比較が基本
- ・ 過去事例・類似事例を調査（但し，捉われないこと）
- ・ 非破壊解析で原因を絞り込む
- ・ 故障個所の特定・露出がカギ
- ・ メカニズムの構築を繰り返す



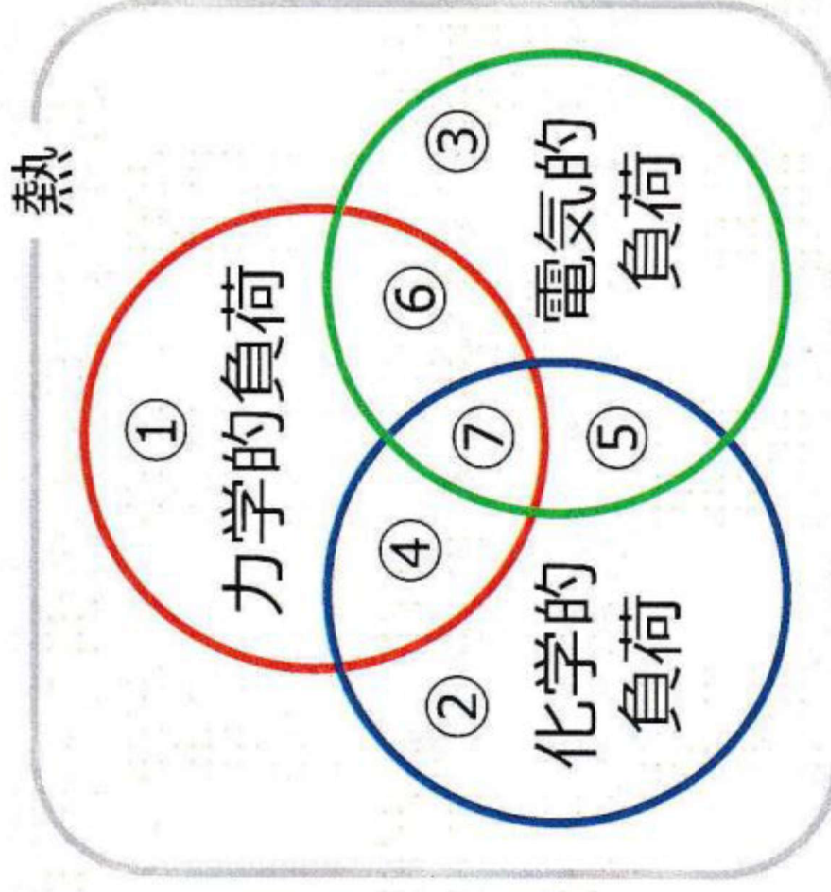
故障解析では結果が出る立上げ期間の終わりで，取り組みを終了する場合は多い。しかし，その後の量産期間が最も効率よくデータが得られるので，+αを蓄積しておくこと，類似現象に幅広く対応できる様になる。

1. はじめに（品質の重要性）

1.3 故障原因を物理化学の世界へ

故障原因を考える3つの視点

下図に示すように、電子部品や実装基板の故障の原因には、力学的負荷と化学的負荷と電気的負荷の3つの要素がある。熱はそれらを加速する場合が多い。各要素の影響の程度で、7つの領域に分類でき、発生する故障現象も限られてくる。



- ①クラック, 変形, Snウイスカ
- ②酸化, 硫化, 塩化, 吸湿
- ③絶縁劣化, 断線等
- ④応力腐食割れ
- ⑤ECMやCAF
- ⑥電歪, 磁歪
- ⑦電界応力腐食割れ

ECM : electro-chemical migration

CAF : conductive anodic filament

故障発生時に必要なこと

故障などトラブルが発生した際に必要なことを以下に示す。

故障の発生状況を示す

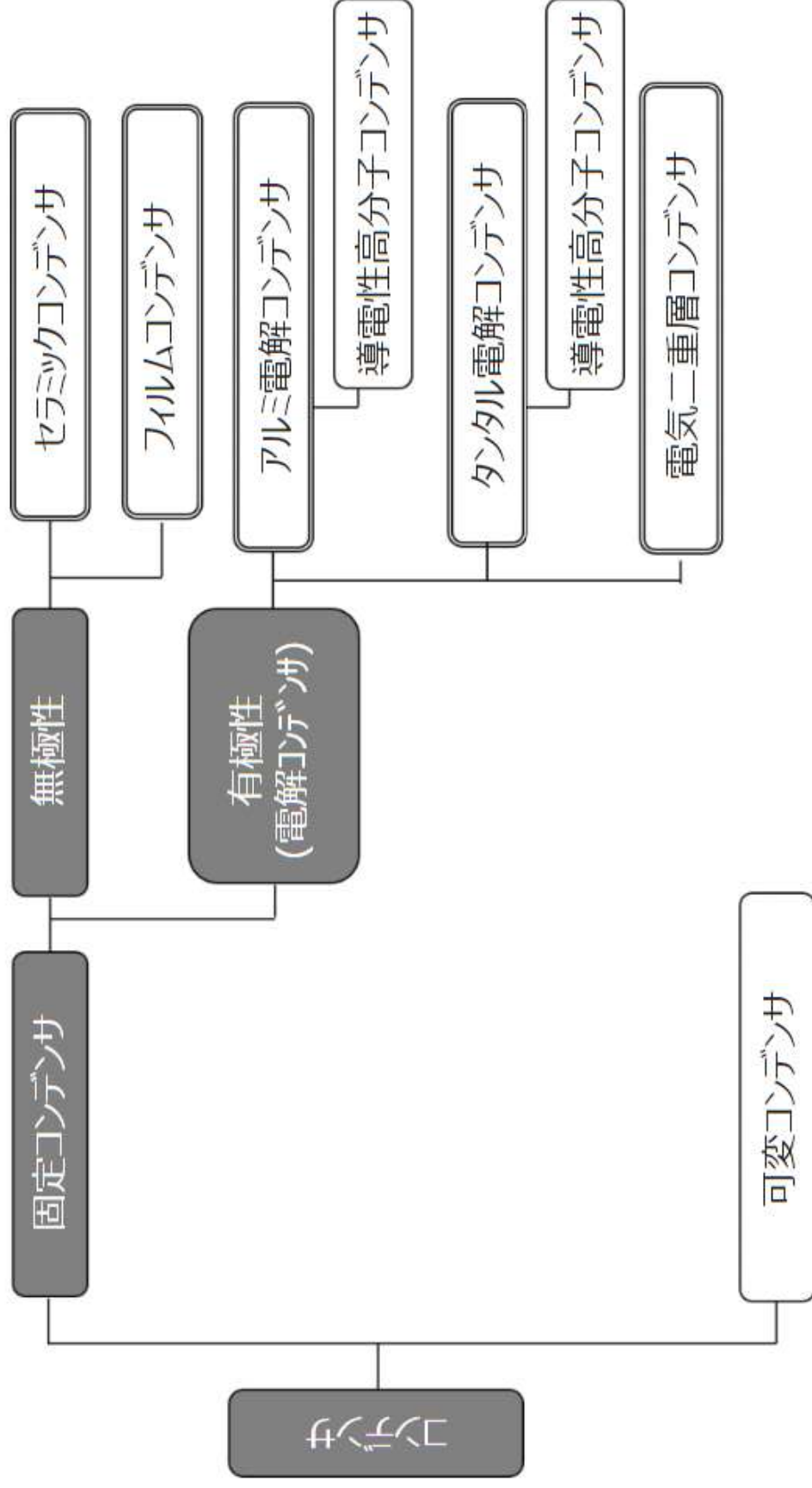
リニアブルな故障メカニズムを示す（できれば複数）

故障メカニズムの元となる信頼性の高い分析結果を示す

故障メカニズムに基づいた影響範囲と対策を示す

2. 積層セラミックコンデンサ (MLCC) の特徴

コンデンサの種類



Panasonic INDUSTRY HP

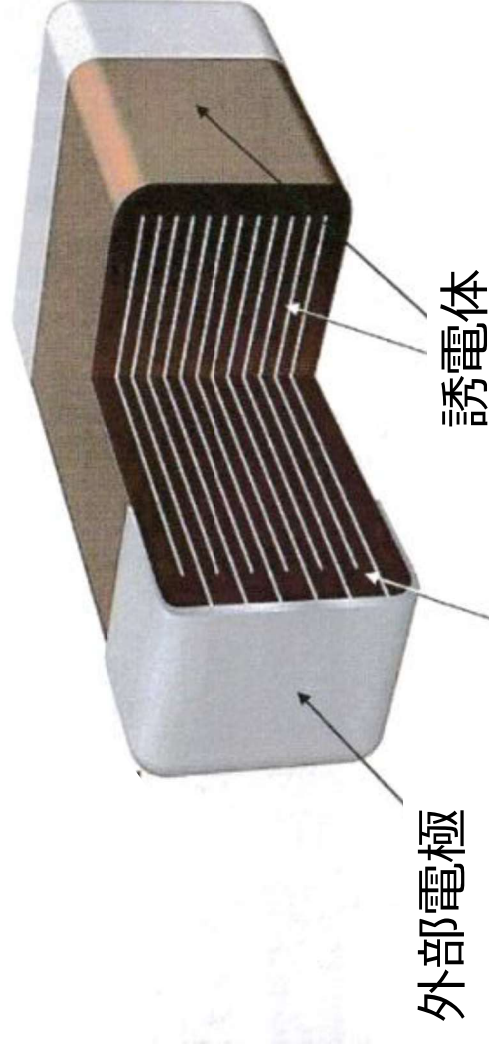
各種コンデンサの特徴

項目	※セラミック	フィルム	アルミ電解	タンタル電解	導電性高分子	電気二重層
高容量	△	×	○	○	△	◎
高電圧対応	○	◎	○	△	△	×
長寿命	◎	◎	△	○	○	△
温度特性	△	◎	△	○	◎	△
低ESR	◎	◎	×	△	○	×
極性	なし	なし	あり	あり	あり	あり
その他	DCバイアスによる 容量変化大	高精度 価格が安い	価格が高い 小形状が無い	故障時に発火 しやすい		
主要用途	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリング用 ・デカップリング用 ・平滑用 	<ul style="list-style-type: none"> ・電源ノイズ吸収用 ・放電回路用 ・共振用 ・力率改善用 	<ul style="list-style-type: none"> ・平滑用 ・デカップリング用 	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリング用 ・デカップリング用 	<ul style="list-style-type: none"> ・平滑用 ・デカップリング用 	<ul style="list-style-type: none"> ・バックアップ用

◎:大変良い ○:良い △:あまり良くない ×:悪い

Panasonic INDUSTRY HP

MLCCの構造と容量の変化



$$C = \epsilon_0 \epsilon_s \frac{n \cdot S}{t}$$

C: 容量

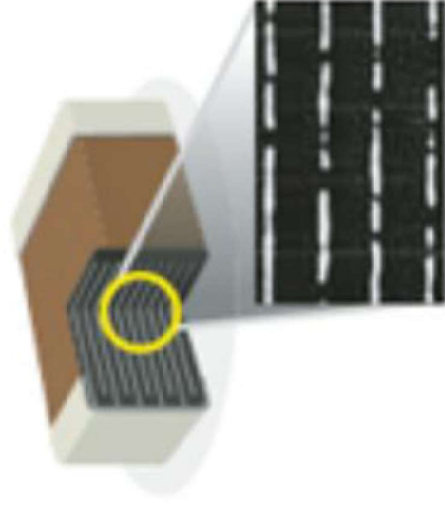
ϵ_0 : 真空中の誘電率

ϵ_s : 比誘電率

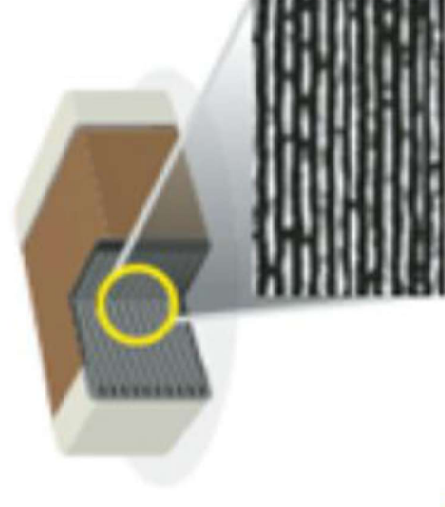
n: 積層数

S: 1層当たりの有効面積

t: 誘電体層の厚み



〈1980年代初頭〉



〈現在〉

静電容量は0.1 μ Fから
100 μ Fに大幅アップ

**静電容量は
1000倍になった!**

EDN Japan HP

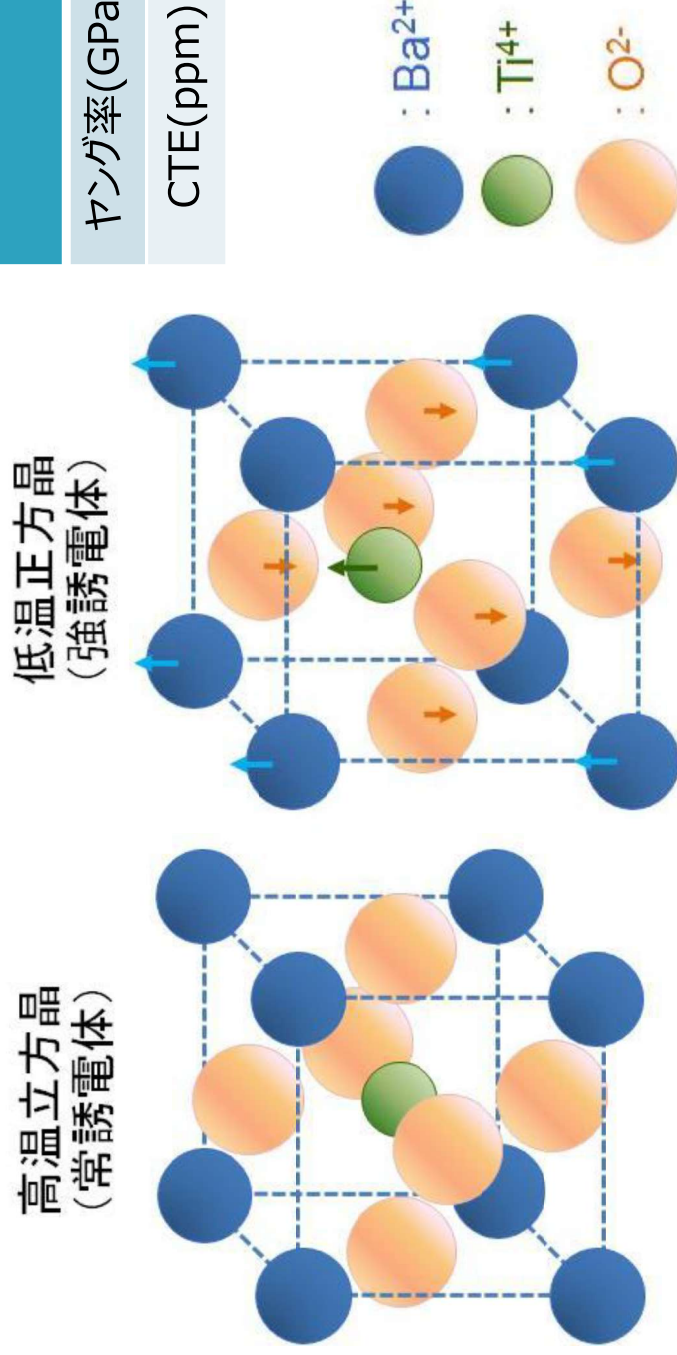
2. 積層セラミックコンデンサ (MLCC) の特徴

2.1 BaTiO₃の誘電率発現のメカニズム

BaTiO₃の誘電率発現メカニズムとヤング率

BaTiO₃は、高温では立方晶、室温付近では正方晶となり、**c軸**がa軸より1%程度長い構造になる。イオン半径が小さい**Ti⁴⁺**は、格子の中央から**c軸**方向に少しズレた個所が安定位置になる。このズレにより**双極子**が発生し、これが誘電率発現の原因である。加えて、**c軸**の方位が変化しやすく、ヤング率が小さい。電場をかける
と伸びる。

	BaTiO ₃	Cu	Ni
ヤング率(GPa)	100	110-125	200
CTE(ppm)	11	16.5	13.4



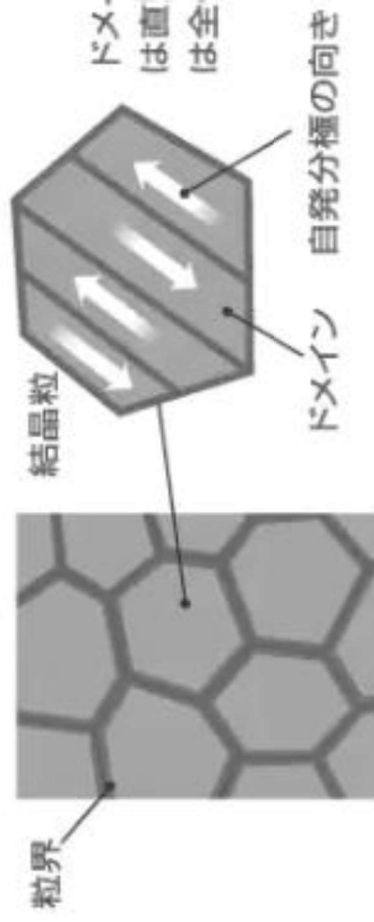
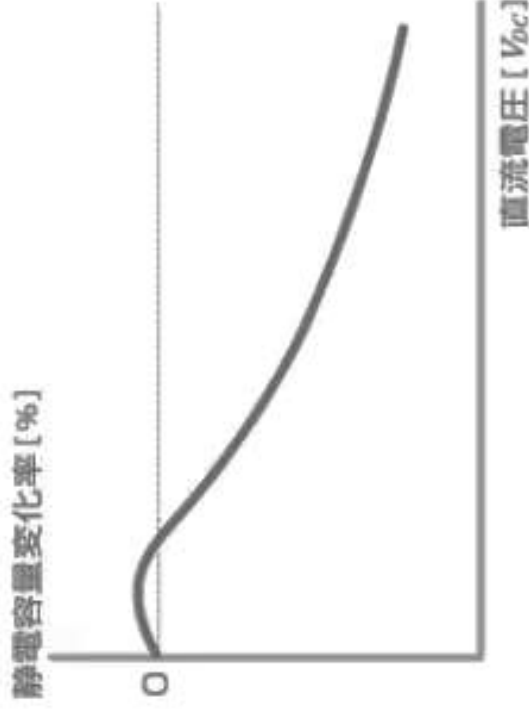
2. 積層セラミックコンデンサ (MLCC) の特徴

2.2 MLCCの誘電率の温度変化、 電圧依存性と経時変化

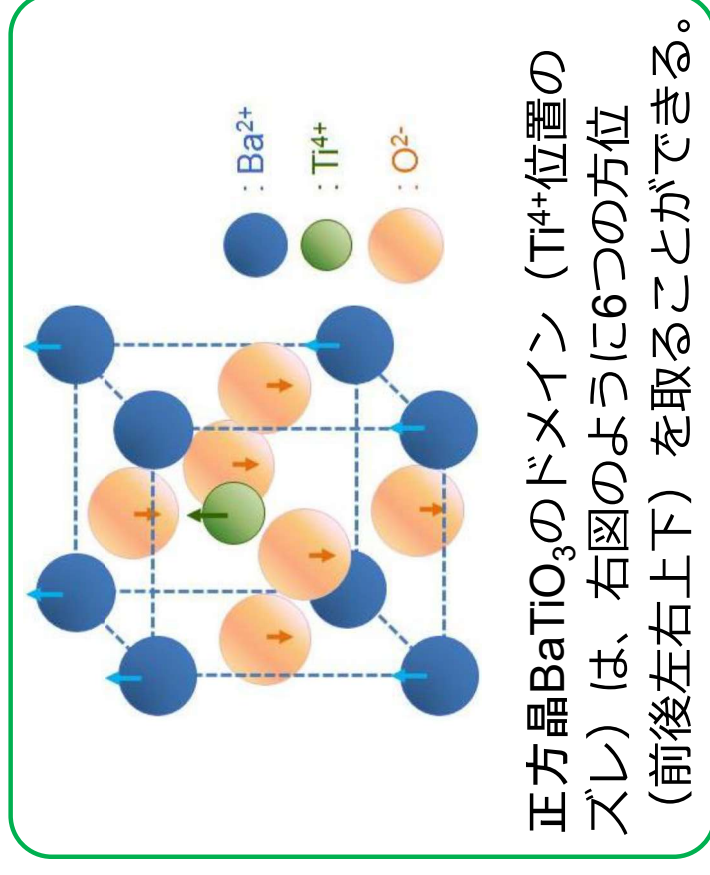
MLCCの静電容量のDCバイアス特性

直流電圧印加による静電容量の変化をDCバイアス特性といい、高誘電率系コンデンサにおいて顕著である。

BaTiO₃などの高誘電率化合物では、一つの粒子内に自発分極の揃った領域（ドメイン）が複数発生しているが、相互に打ち消しあい全体として分極を示さない。



誘電体セラミックスの多結晶構造



MLCCの温度特性規格

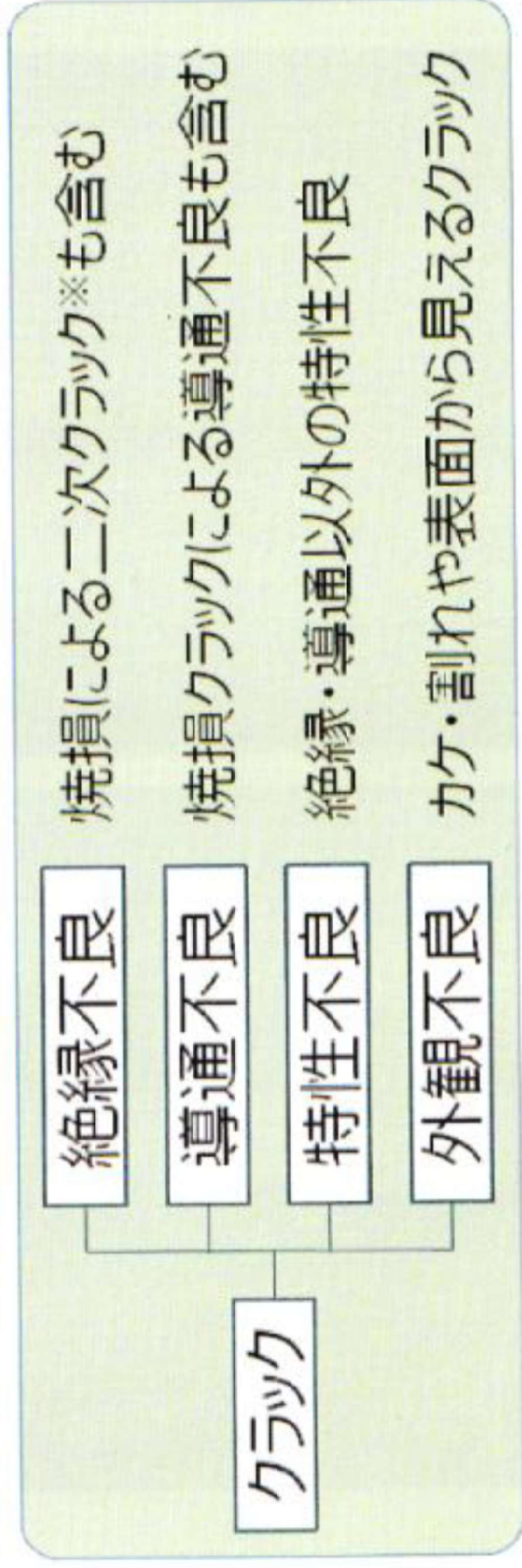
< 高誘電率系(種類2) >

規格	特性	温度範囲	静電容量変化率
JIS	JB(B)	-25~+85℃	±10%
	JF(F)	-25~+85℃	+30~-80%
EIA	X5R	-55~+85℃	±15%
	X6S	-55~+105℃	±22%
	X7R	-55~+125℃	±15%
	X7S	-55~+125℃	±22%
	X8R	-55~+150℃	±15%
	Y5V	-30~+85℃	+22~-82%

3. MLCCに発生するクラックの検出・評価方法

クラックの影響

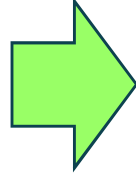
クラックを原因とする不良



※ クラックは不良の原因にも結果にもなり得る.

クラックの3つの特徴

1. 破壊の起点（破壊源）があり，その応力が最も大きい
2. クラックは進行方向に枝分かれする
3. 一気に割れるときは，クラックはまっすぐ進む



- ①クラックを検出する
- ②進行方向を判断する
- ③破壊源を特定する
- ④応力シミュレーションで解析する

