

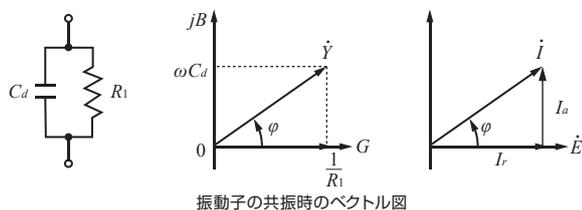
## 圧電セラミックスご使用のためのしおり

### ■電気系と機械系の関係

電気系	電圧	電流	電荷	電気抵抗	インダクタンス	静電容量	インピーダンス	アドミタンス
	$V$	$I$	$Q$	$R$	$L$	$C$	$Z$	$Y$
機械系	力	速度	変位	機械抵抗	質量	コンプライアンス	機械インピーダンス	機械アドミタンス
	$f$	$v$	$u$	$r$	$m$	$s_n$	$Z_m$	$Y_m$

### ■インピーダンスマッチング

圧電セラミックス素子の振動子は、共振点で容量性のインピーダンスを持っていますので、そのまま発振器から電力を送り込んで効率のよいドライブができません。電力を有効に供給するためには、振動子の容量性リアクタンスと絶対値の等しい誘導性リアクタンス(チョークコイル)を振動子と並列または直列に入れて、リアクタンス分を打ち消す必要があります。

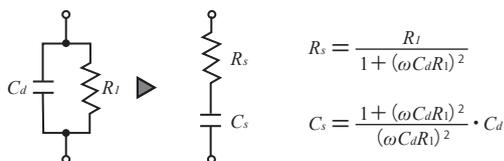


振動子の共振時のベクトル図

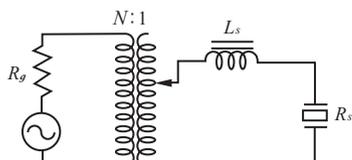
$L_1$ 、 $C_1$ 、 $R_1$ 、 $C_d$ で構成される振動子の共振点付近の等価回路においては、 $C_1$ と $L_1$ が打ち消されますので $C_d$ と $R_1$ のみの図示並列回路になります。このとき振動子の容量性リアクタンスは $1/\omega C_d$ となりますが、この絶対値と等しい誘導性リアクタンス $\omega L_p$ を並列に入れることで $1/\omega C_d$ を打ち消して振動子のインピーダンスを $R_1$ のみとします。さらに、発振器の出力抵抗を $R_o$ とすれば、 $R_o=R_1$ にすることで最も効率のよいドライブをすることができます。その簡単な方法は、巻線比 $N:1$ の出力トランスで $R_o=N^2R_1$ となるように巻線比を調整します。

なお、 $R_1$ は振動子の機械的負荷に対応していますので、負荷の大きさが変われば $R_1$ の値も変化します。例えば、同じ水負荷でも浸け方やキャパシテーションの有無などで大幅に変化しますので、実際の使用条件に近づけて実測して置く必要があります。

また、並列等価回路は $R_s-C_s$ 直列回路に直すこともできます。この場合も、絶対値が $1/\omega C_s$ と等しいチョークコイル $L_s$ を直列に入れることで、 $C_s$ を打ち消すことができます。



振動子の直列等価変換



振動子のインピーダンスマッチング回路例

### ■力 $F$ に対する出力の計算方法

外部から力 $F$ を与えて電荷 $Q$ または電圧 $V$ を発生させるという使い方は、機械-電気変換としての応用になりますが、圧電セラミックスで発生する全電荷量 $Q$ は、その寸法や圧電定数 $d_{33}$ や静電容量 $C_d$ などの比例定数を介して、加えられた力 $F$ に対応します。

$$Q = C_d \cdot V = F \cdot d_{33}$$

このときの出力電圧 $V$ は、圧電定数 $g_{33}$ や圧電セラミックス素子の厚さ $t$ および断面積 $A$ から、つぎのような関係となります。

$$V = F \cdot d_{33} / C_d = F \cdot g_{33} \cdot t / A$$

圧電素子に発生する電荷 $Q$ は、力 $F$ の大きさに対応しているために、力 $F$ が一定ならば電荷 $Q$ も一定です。しかし、一種のコンデンサーとも見なせる圧電素子の絶縁抵抗の値は有限なため、発生した電荷 $Q$ は、

$$q = Q e^{-t/C_d R} \quad q: \text{実際の見掛け電荷}$$

に応じて放電してしまいます。このために、圧電素子を圧力センサなどに応用した場合は、静的な感度を持たないことに注意を要します。なお、力 $F$ は、質量 $m$ 、加速度 $a$ 、振幅 $u$ 、角周波数 $\omega$ との関係から

$$F = m \cdot a = m \cdot u \cdot \omega^2 = m \cdot u \cdot (2\pi f)^2$$

のように交替的に展開することもできます。

### ■入力電圧 $V$ に対する変位量の計算方法

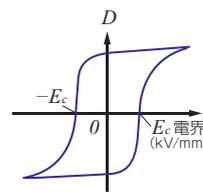
電圧を与えて歪みを生じさせる使い方は、電気入力-機械出力の応用として、超音波機器のように交流で駆動するものと、直流または低周波の交流で駆動するものがありますが、無負荷時の変位 $u$ および発生力 $F$ はつぎのように解されます。

$$\begin{aligned} u &= V \cdot d_{33} & V: \text{入力電圧, } d_{33}: \text{圧電定数} \\ F &= u / s_n & s_n, s_{33}^E: \text{コンプライアンス} \\ s_n &= s_{33}^E \cdot t / A & t, A: \text{厚さ, 面積} \end{aligned}$$

### ■抗電力

圧電素子は直流高電圧で分極処理を施し、内部の自発分極の向きに方向性を与え、残留分極を持たせることにより圧電性を得ていますが、分極方向とは逆向きに電圧をかけて残留分極がゼロになる電界を抗電力 $E_c$ といいます。

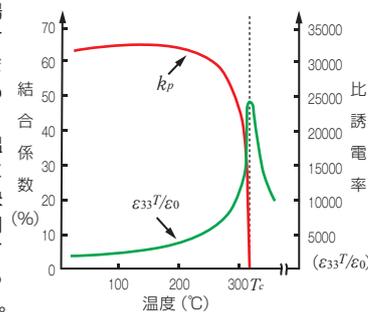
抗電力 $E_c$ の値は圧電素子の材質によっても異なり、実際の使用に際しては、残留分極を助長する方向、すなわち圧電素子のプラス表示側にプラス電圧を印加する場合は問題ありませんが、プラス表示側にマイナスの高電圧を印加する場合は注意を要します。残留分極の消失特性は、電圧、時間、温度などの関数となるため、そのときの条件によって異なりますが、圧電素子の電極間厚みに対して数十から数百V/mmの電界が限界となります。



圧電セラミックの抗電力

### ■最高使用温度

分極処理された圧電素子の諸特性は、低温側では目立った変化もなく安定ですが、高温側では結晶変態点(キュリー点)が存在するため、使用温度範囲に限界がでてきます。キュリー点では誘電率が無限大に増大するために結晶が不安定となり、結晶構造が相転移しますが、そのとき自発分極と残留分極が共に消失するため圧電性も失われます。その後キュリー点以下に冷却された場合、自発分極は復元しますが残留分極は消失したままとなるため、結局圧電性も失われたままとなります。残留分極の消失の程度は温度や時間あるいは材質によって異なるため一概に決められませんが、連続使用でも問題ない温度としてキュリー点の二分の一から三分の一が目安となります。



圧電セラミック(C-6系)の高温特性

## ■ 常温時の物理定数

密度 ( $\rho$ )	7.3~7.7×10 <sup>3</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]
線膨張率 ( $\alpha$ )	5~10×10 <sup>-6</sup> [1/°C]
比熱 ( $C$ )	500~700 [J/kg·°C]
熱伝導率 ( $k$ )	1~1.5 [W/m·°C]
電気抵抗率	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup> [Ω·m]
圧縮強度	5~7×10 <sup>8</sup> [N/m <sup>2</sup> ]
引張強度	0.6~1×10 <sup>8</sup> [N/m <sup>2</sup> ]
抗折強度	0.6~1×10 <sup>8</sup> [N/m <sup>2</sup> ]
ビッカース硬度 ( H V )	350~450
棒の縦波音速 ( $v$ )	2800~3600 [m/s]

チタン酸ジルコン酸鉛[Pb(Zr·Ti)O<sub>3</sub>]の常温時の物理定数

## 実装上の注意点

圧電セラミックスの素子を実装する際の注意点は電極の取り扱いです。

電極の多くは高温焼付けの銀電極と化学めっきのニッケル電極です。

銀電極は膜厚 8μm、密着強度 20N/mm<sup>2</sup>、鉛筆硬度 3~5B ほど、ニッケル電極は膜厚 3μm、密着強度 10N/mm<sup>2</sup>、鉛筆硬度 3H ほどで実用に支障ありませんが、はんだ付けや接着方法、化学的状態で強度劣化や表面の変質を生じますので注意を要します。

### ■ 電極へのはんだ付け方法

例えば Alunit LFM48 はんだを使用し、こて先温度 270°C 以下、はんだ点の大きさを最小限に、3秒以内の短時間で作業することが推奨されます。

### ■ 接着方法

接着面を脱脂処理しエポキシ系接着剤を適量塗布して、温度~80°C位で圧着しながら硬化させます。

加熱~冷却時に帯電しますのでサイズの大きい素子は電極間を短絡しておくことが推奨されます。

### ■ 電極の耐薬品性・耐環境性

銀やニッケルは酸や硫化物、ハロゲン化合物と化合しますので化学的状態には注意を要します。

それらを下表に示します。

状態	銀電極	ニッケル電極
空気中	酸素中で加熱しても酸化しない。オゾン中では黒色の過酸化銀 Ag <sub>2</sub> O <sub>2</sub> になります。	空気、湿気に酸化されにくい。
酸性溶液	硫酸、熱濃硫酸に溶け AgNO <sub>3</sub> 、Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> になります。	硫酸、硝酸などに溶け NiSO <sub>4</sub> 、Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O になります。
アルカリ溶液	銀は不溶だが電極に含むガラス質を侵すため銀膜剥離を生じます。	影響ありません。
硫化物	硫黄、硫化水素で黒色の Ag <sub>2</sub> S になります。	化合して NiS になります。
ハロゲン化合物	化合し AgCl、AgBr、AgI になります。	化合し NiCl <sub>2</sub> になります。
その他	高湿度中の直流電界長時間印加はシルバーマイグレーション(銀結晶成長短絡現象)を生じます。防湿処置推奨。	高湿度中での使用には防湿処置を施すことが推奨されます。
保管	高温多湿下を避け密閉状態が望まれます。輪ゴムやウレタンフォームなどの同梱を避けてください。	高温多湿下を避け密閉状態が望まれます。