

# TCXO (温度補償型水晶発振器)

(1994年～現在)

温度補償型水晶発振器 (Temperature Compensated X'tal Oscillator : TCXO) とは、周波数安定度の中でも最も影響の大きい温度依存性について、温度補償回路を内蔵することにより、水晶振動子固有の周波数温度特性を補償して非常に平坦で安定した周波数を提供するように設計された水晶発振器である。

TCXO は広い温度差範囲の中でも決まった周波数を安定して出力するため、電子機器や通信機器の基準信号源として用いられている。

## 1. 製品適応分野

携帯電話、PHS、ナビゲーションシステム、GPS、ワイヤレスラン、衛星ラジオ

## 2. 適用分野の背景

1994年から携帯端末の売り切り制度が導入され、携帯電話の普及とTCXOの需要が大きく拡大した。当時、TCXOのサイズは0.4ccあったものが、今は携帯電話端末の高性能化、機能の多様化、小型化、軽量化に歩調を合わせ0.008ccまで小型化されて来た。図1にこれまでのTCXOの小型化の推移を示す。

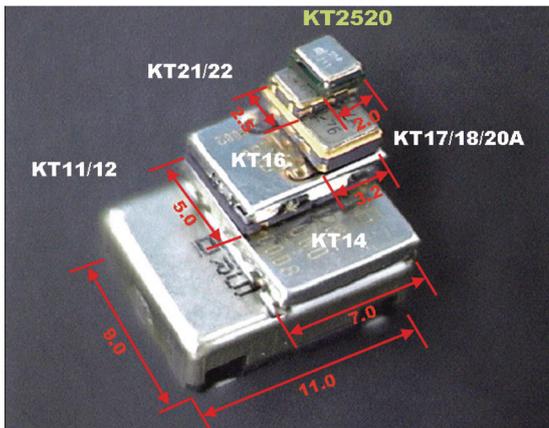


図1 TCXO サイズ変遷

携帯電話の多機能化、小型化に伴いTCXOも小型化が進んでいる。短辺の長さが次の開発品の長辺の長さになるような傾向で小型化は推移してきた。

## 3. TCXOの特徴と仕様

数百万のQ値を持つ水晶は、100程度のQ値を持つLC共振回路と比較すると、圧倒的な発振安定度を実現する。

TCXOの種類は「アナログタイプ」と「LSIタイプ<sup>注1)</sup>」の大きく二つに分けることができる。これはTCXOを構成する搭載部品ならびに温度補償方式により分類したものである。

アナログタイプ、LSIタイプとも、水晶振動子の逆温度特性の制御信号を用い、温度特性をキャンセルすることで、安定した周波数温度特性を得る。

アナログタイプは、サーミスタ、コンデンサ、抵抗、トランジスタ等の構成素子により、水晶温度特性を補償する。図2にアナログタイプの回路例を示す。

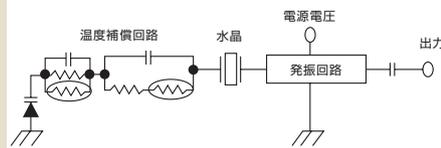


図2 アナログの回路例

抵抗、コンデンサ、サーミスタ、トランジスタで構成されている。水晶振動子の負荷容量を直接変化させ、発振周波数を可変して温度補償を行う。

LSIタイプは、記憶素子を持つワンチップLSIを使用し、水晶温度特性を補償する。図3にLSIタイプの回路ブロックを示す。

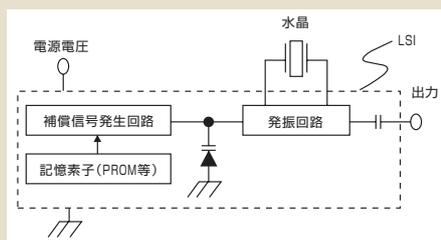


図3 LSIタイプの回路ブロック

温度補償信号、発振回路、記憶素子、温度センサを搭載した1チップのICを使用している。温度補償信号電圧をバリキャップに印加し、間接的に周波数を可変させ温度補償を行う。

アナログタイプのメリットは、低位相ノイズ特性、低消費電流である。デメリットは、構成素子が多いため小型化が困難であり、温度補償範囲も $-30 \sim 80^{\circ}\text{C}$ までとLSIタイプに比べて狭くなる。

LSIタイプのメリットは、構成素子がLSIと水晶振

見学可能：

京セラ ファインセラミック館  
京都府 京都市  
<http://www.kyocera.co.jp/honsya/ceramic/>

Key-words：水晶振動子、温度補償、発振器

注1

Large Scale Integration

動子のための小型化、薄型化が可能となることである。デメリットは、位相ノイズ<sup>注2</sup>特性が劣ること、設備費用が高く、製品価格が高価となる傾向にあることである。

現在の主流は小型化嗜好からか LSI タイプとなっているが、位相ノイズを重視する方式の場合、アナログタイプが採用されている。

表1 にアナログタイプと LSI タイプの標準電気的仕様を示す。

LSI タイプでは安定化電源が内蔵されているため、電源変動に対する発振周波数、出力振幅の変動は極めて少ない。

LSI タイプでは、周波数を制御するバリャブル・キャパシタンスに印加する制御電圧のノイズ成分と発振回路のノイズ成分により、アナログ方式より 10dBc/Hz (@1kHz オフセット) 程度の劣化が生じる。

**注2** 発振周波数近傍の信号出力に対するノイズ出力率。この特性により通信状態が左右される。

表1 アナログおよび LSI タイプの標準電気的仕様

アナログタイプと LSI タイプの比較。LSI タイプは、周波数偏差に優れているが、位相雑音はアナログタイプに劣る

項目	アナログタイプ	LSIタイプ
電源電圧(V)	2.7±0.1	2.6±0.3
出力周波数(MHz)	19.200,19.680,19.800,26.000	12.600,14.400,19.200,19.680,19.800,26.000
使用温度範囲(°C)	-30~+80°C	-30~+85°C
保存温度(°C)	-40~+85°C	-40~+85°C
周波数初期偏差(ppm) *1	±2.5(max)	±1.5(max)
周波数安定度(ppm) *2	±2.0/±2.5(max)	±2.0(max)
周波数経年変化(ppm/年)	±1.0(max)	±1.0(max)
出力電圧(Vp-p) *3	0.8(min)	0.8(min)
消費電流(mA)	1.2(max)	1.2(max)
高調波比(dBc)	-0.8(max)	-0.8(max)
電圧制御範囲(ppm) *4	例) ±8.0~±12.0	例) ±8.0~±12.0
位相ノイズ特性(dBc/Hz) *5	-145(max)	-135(max)

\*1 リフロー-2回含む

\*2 対温度範囲

\*3 CL=10kΩ//10pF

\*4 Vc=1.5±1.0V

\*5 1kHzオフセット, 出力周波数19.2MHz

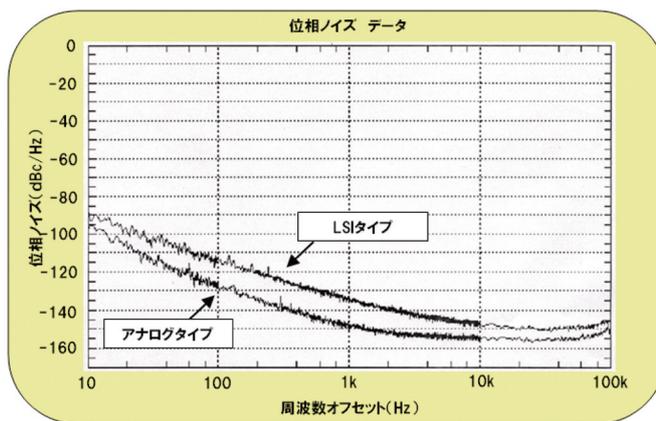


図4 アナログタイプと LSI タイプの位相ノイズ特性比較

CMOS を使用しないアナログタイプの特性が優れる。

#### 4. 製法

人工水晶はオートクレーブ<sup>注3)</sup> (図4-1) によりつくられる。人工水晶 (図4-2) をカットしたウエハを指定された形状に加工し電極を付けることにより、水晶振動子となる。図4-3はTCXOに搭載された水晶振動子。

カット角度によって特性が異なるが、周波数温度特性が良好であるATカット<sup>注4)</sup> (図4-4) を使用するのが一般的である。

#### 5. 将来展開

一時期の爆発的な成長率は低下した携帯電話だが、年齢層、国境を越えて、今でも年間10%程度の成長をしている。

さらに、カメラ機能、電子メール、TV観賞等の多機能化、高性能化、また、小型、軽量、薄型化も進んでいる。そのため、TCXOにも高性能化が要求される。

なお、さらなる小型化は、水晶サイズが既に限界のサイズにきているため、期待できないと推測されるため、水晶振動子製造プロセスの見直し、半導体プロセスの見直し、そしてTCXOを構成する部品点数の削減、高密度実装化、部材の素材まで立ち回り吟味する必要がある。具体的な要素技術として、基板の微細配線に伴うマイクロソルダリング技術や、今後確実に採用されるベアチップICのアッセンブル技術である。

[連絡先] 村木 洋一  
京セラキンセキ(株)・事業推進本部 デザインセンター  
〒201-8648 狛江市和泉本町1-8-1

注3 350℃, 1000気圧程度の高温高圧の人工水晶育成炉。

注4 (A Table cut)MHz帯でもっとも使用されているカット方向。温度特性は25度付近に変曲点をもつ3次曲線である。

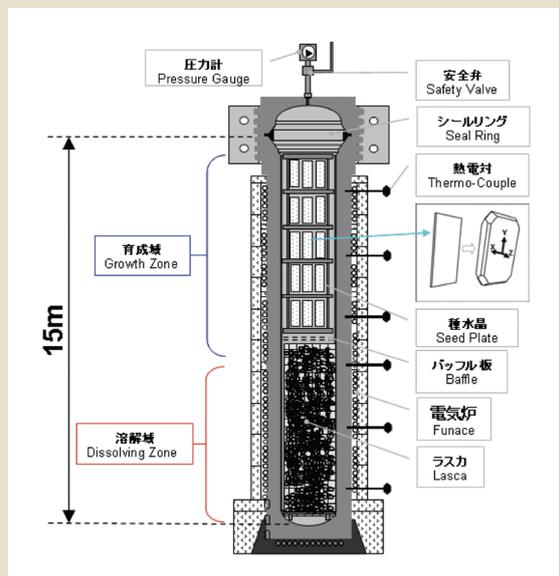


図4-1 オートクレーブ

350℃, 1000気圧程度の高温高圧の人工水晶育成炉。



図4-2 人工水晶

オートクレーブによって工業的につくられた水晶結晶。ラスカが水酸化ナトリウム溶液に溶け種水晶に再結晶することで高純度の人工水晶ができる。



図4-3 TCXO水晶搭載部

水晶をウエハ状にして電極を付けることで水晶振動子となる。

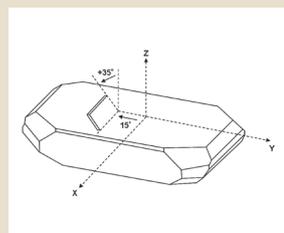


図4-4 ATカット(+35° 15°)

MHz帯でもっとも使用されているカット方向。温度特性は25度付近に変曲点をもつ3次曲線である。