

# 高精度リアルタイムクロックモジュール

## デジタル TCXO 内蔵リアルタイムクロックモジュールの特長

### 【序文】

私たちは日常生活の中で時間という概念を持って活動しています。電車の運行管理、入退場管理など多くのシステムやアプリケーションは時刻情報を基に稼働し、金融、株式の世界では時間によって多大な利益、損失まで左右します。このように時間、時刻は私たちの生活の中に欠かせないものとなっており、近年では身近な製品にも時刻機能が搭載され、搭載の無い製品を探すほうが難しいとまで言われています。また世の中にはより正確な時間を必要とするアプリケーションも数多く存在します(金融システム、セキュリティシステム、電力メーターなど...)。この「より正確な時間を得る」ためには、「精度の良い周波数を発振するデバイス」と「それを制御する IC」が必要不可欠となります。エプソンでは高精度、高安定な周波数を発振する水晶振動子と、それを制御するリアルタイムクロック IC をワンパッケージ化したモジュールを製造、販売しています。今回はエプソンが持つ高精度・低消費なリアルタイムクロックモジュールの特長(機能)と構造に関し解説します。

### 【エプソンリアルタイムクロックモジュールの特長】

リアルタイムクロックモジュールとは、水晶振動子(32.768kHz)とリアルタイムクロック IC(発振回路、時計機能、カレンダー機能、アラーム機能など)をワンパッケージ化したものです。エプソンでは水晶振動子およびリアルタイムクロック IC を自社で開発・製造しているため、高精度なリアルタイムクロックモジュール用に最適化された水晶振動子や、その振動子を最適な条件下で駆動するリアルタイムクロック IC を安定的に調達・供給することができます。さらにエプソンの半導体技術においては、世界初のクォーツ時計の実用化から、オリンピック公式計測時計やグランドセイコーに代表されるセイコーの高級ウォッチの心臓部の制御にいたるまで、非常に低パワーで高安定な水晶発振技術とそのノウハウがベースとなっています。

このように、水晶振動子とリアルタイムクロック IC を自社開発することによって、最適なマッチング設計を可能にし、互いのポテンシャルを最大限に引き出すことができるため、高い性能を発揮できる製品となります。それがエプソンリアルタイムクロックモジュールの特長です。

### 【時計用途に用いられる水晶振動子の周波数精度】

時計用途に用いられる低周波クロックにおいては、市場の要求(極めて低い消費電力で現在時刻の保有を可能にするなど)から音叉型水晶振動子を用いることが一般的となっています。

この音叉型水晶振動子は低消費電力で駆動する反面、周波数温度特性が図 1 に示すような二次曲線の特徴をもっています。従って、時計誤差の設計を行なう場合は、常温(+25℃)の周波数偏差のほかに、二次曲線の周波数温度特性偏差も加味する必要があります。

仮に一般的な音叉型水晶振動子を-40℃の環境下で1ヶ月間動作させ続けた場合、発振周波数偏差は-150[ $\times 10^{-6}$ ]程度となり、時計機能として6分(月差6分)以上の時刻遅れが生じる計算となります。そのため AT-cut などの周波数温度特性に優れた振動子を源振として使用したいと考えるかもしれません。しかし AT-cut の水晶振動子は

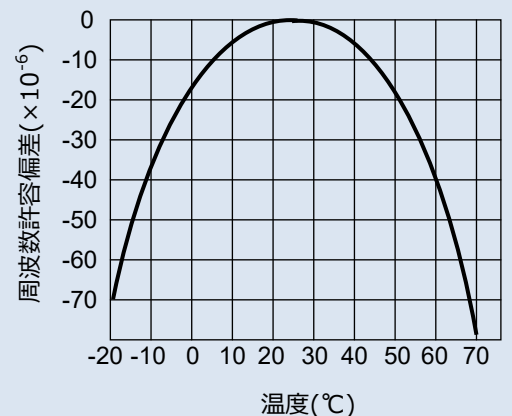


図 1 音叉型水晶振動子の周波数温度特性例

一般的に発振周波数が数 MHz 程度となるので、時計用途として目的の周波数まで発振回路で分周することになります。このとき発振回路で消費される電流値は音叉型水晶振動子を用いた場合の数百倍程度にも及びます。従いまして私たちは時計用途の源振として AT-cut 振動子を使うことは市場要求に合わないと考えております。

## 【デジタル TCXO による周波数精度補正方法】

音叉型水晶振動子は、図 1 で示したとおり周囲温度に対し発振周波数が変化する特性を持っており、時計精度を向上させるためにはこれを補正する技術が求められます。

そこでエプソンが採用しているデジタル TCXO 温度補償による周波数精度補正方法の概要を図 2 に示します。

これは一定周期毎に周囲温度情報をデジタル値に変換し、その温度に適した補正値をメモリーから呼び出して発振周波数を補正する方法になります。具体的な発振周波数の補正方式としては大きく分けて「容量緩急方式」、「論理緩急方式」の 2 種類があります。エプソンのリアルタイムクロックモジュールでは、主に「容量緩急方式」を用いております。

次のページにて補正方式に関し解説します。

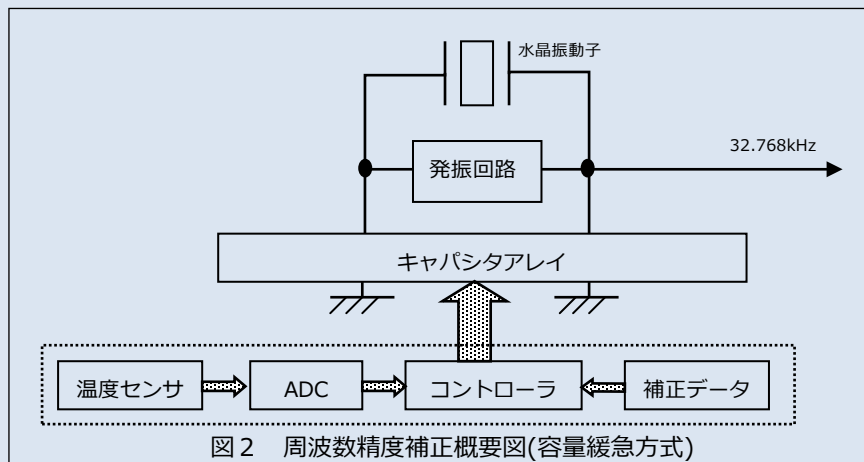


図 2 周波数精度補正概要図(容量緩急方式)

### <容量緩急方式>

容量緩急方式とは水晶発振周波数を可変させて補正を行う方式です。水晶振動子の発振負荷容量の増減によって発振周波数が変化する特性を利用し、周囲温度に対する周波数の変動を補正します。簡単な原理図を図 3 に示します。

図 3 の左側は音叉型水晶振動子の周波数温度特性、右側は負荷容量値により周波数が変化する容量緩急特性になります。具体的には周囲温度情報(①)から周波数変動量(②)を求め、その周波数変動量(②)に相当する負荷容量値の変化分(③)を導きだします。その温度に適した負荷容量の変化量を補正値として呼び出し、発振周波数を補正します。この方式では発振周波数そのものを補正しているため、リアルタイムクロックモジュールからの発振出力を高精度に補正された低周波のスリープクロックとして活用することが可能となります。

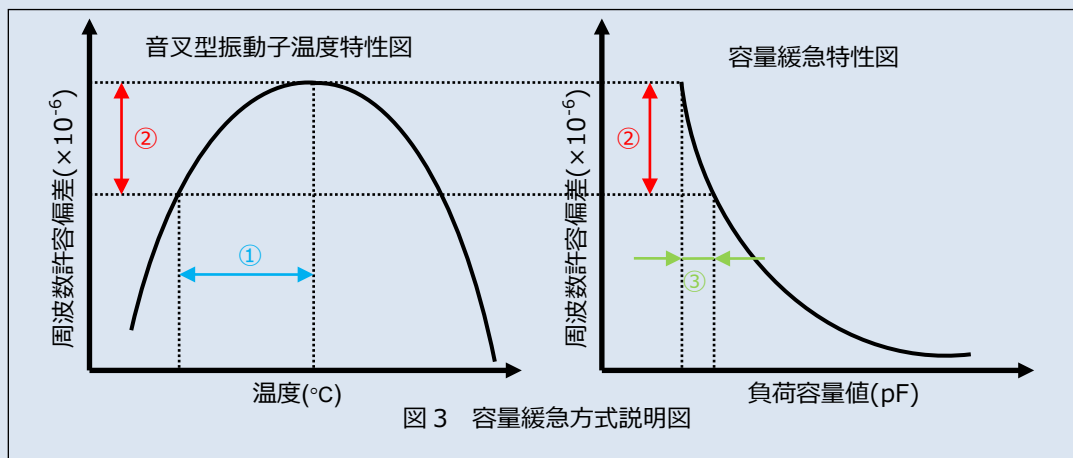


図 3 容量緩急方式説明図

### <論理緩急方式>

論理緩急方式とは水晶振動子の周波数を調整せずに発振させ、分周回路の一部でパルスを加減して補正する方式です。簡単な原理図を図4に示します。具体的には周囲温度情報①から周波数変動量②を求め、その周波数変動量②に相当する周波数を分周回路内で補正し出力します。

図4のように、通常、32768パルスで"1秒"の時間を生成するところを32767パルスで"1秒"信号を生成すれば1秒の周期を短くすることができます。例えば、この補正を毎秒1回実行した場合、約 $30.5 \times 10^{-6}$ の周波数補正量に相当します。1秒を生成するためのパルス数の調整と共にこの補正頻度を変更することで、発振回路部を変えることなく大きな補正を行うことができます。またこの方式ではロジック回路によって最終的に時計を動かす1秒信号が正確に出力されるように調整されるので、動作ペースが1秒で良い腕時計などのクロック源として広く用いられています。しかし、外部に取り出したクロック信号の周期が温度補正のタイミングでダイナミックに変動してしまうため、このクロックを用いたCPUは正確なタイミングで動作することができないという欠点があります。そのためこの方式を用いると周辺デバイスはその恩恵を十分に享受することができなくなります。

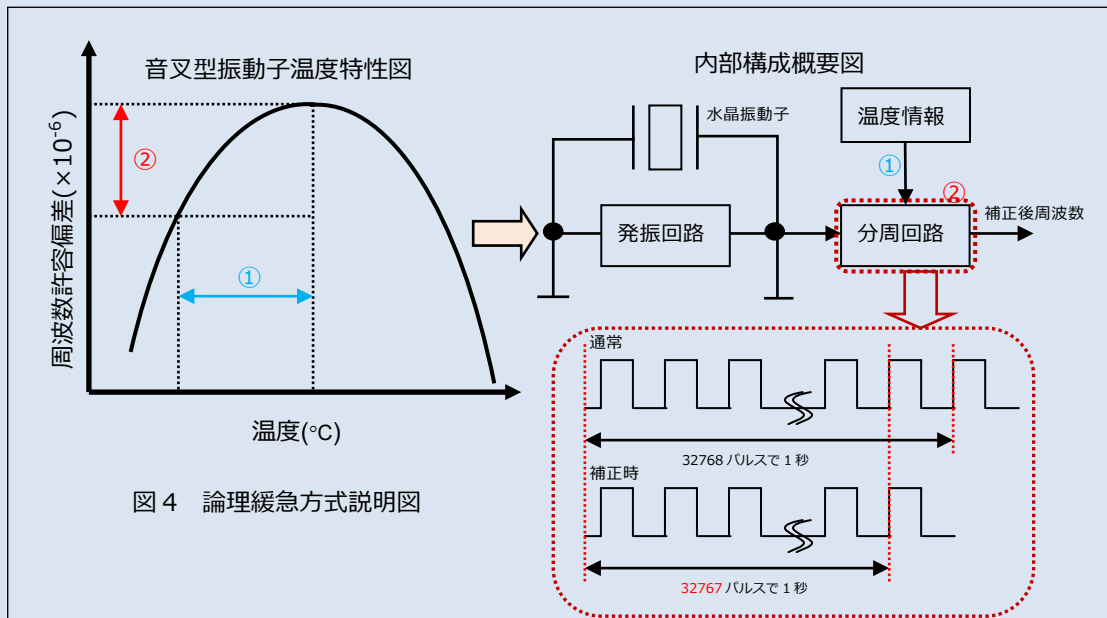


図4 論理緩急方式説明図

ここで、デジタル TCXO による周波数精度補正(容量緩急方式)をおこなったエプソン製リアルタイムクロックモジュールの周波数温度特性を図5に示します。

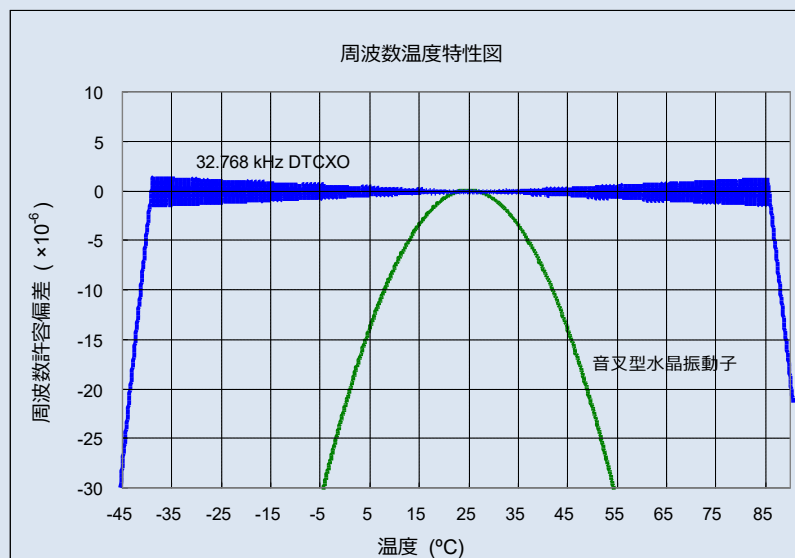


図5 DTCXOによる補正前後の周波数温度特性

音叉型水晶振動子の持つ温度特性(図5の緑色)と比較し、補正後の温度特性(図5の青色)は、広い温度範囲で安定した周波数特性が得られていることが確認でき、時計誤差も月差9秒相当(周波数精度で $\pm 3.4 \times 10^{-6}$ )という高精度、高安定なリアルタイムクロックモジュールの製品化を実現しております。

### 【エプソン製デジタル TCXO 内蔵リアルタイムクロックモジュール製品紹介】

デジタル TCXO による周波数補正を用いた優れた周波数精度を手に入れたエプソン製・高精度・高安定・低消費電流リアルタイムクロックモジュール製品の特長および概要を表1に示します。

表1 高精度・温度補償発振器(DTCXO)内蔵リアルタイムクロックモジュールの紹介

製品名	インターフェイス	バックアップ消費電流 Typ.(3V) [μA]	動作温度 Max.	機能	車載対応	サイズ [mm]
<a href="#">RX8901CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.24	+105℃	電源切替	-	CE : 3.2 x 2.5 x 1.0t
<a href="#">RX4901CE</a>	SPI			タイムスタンプ(32回)		
<a href="#">RX8804CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.35	+105℃	タイムスタンプ(1回)		
<a href="#">RX8900CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.7	+85℃	電源切替	AEC-Q100 準拠	
<a href="#">RA8000CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.3	+125℃	リセット出力		
<a href="#">RA4000CE</a>	SPI			タイムスタンプ(2回)		
<a href="#">RA8804CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.35	+105℃	タイムスタンプ(1回)	AEC-Q200 準拠	
<a href="#">RA8900CE</a>	I <sup>2</sup> C	0.7	+85℃	電源切替		

高い周波数安定性はもちろん、電源切替機能や車載対応などお客様の要求に応じた幅広いラインナップを用意しています。

以上のようにエプソンでは低消費電流に優れた音叉型水晶振動子製造技術と周波数温度特性を補正する回路技術によって、高精度・低消費なリアルタイムクロックモジュールを製品化し提供しております。また本製品は工場出荷時に周波数精度を調整・保証した上でお届けしておりますので、ご使用時に周波数チューニングを行なう必要が無くお客様の設計効率化・品質向上にも大きく貢献しております。