

第2編 第3章 第4節

水晶ジャイロセンサ

エプソントヨコム

1. はじめに

本稿では、材料に水晶を使用したエプソントヨコムの水晶MEMSジャイロセンサについて、その概要を説明し、今後の展開について紹介する。

2. 水晶ジャイロセンサの紹介

当社が製品化したジャイロセンサの外観写真と、その製品仕様を図1に示す。製品の外形寸法は、 $5.0 \times 3.2 \times 1.3\text{mm}$ と世界最小サイズを達成している。これは、すでに市場にある製品と比較して約1/3以下の容積であり、質量も100mgrを切った非常に軽い製品である。

今回製品化した水晶ジャイロセンサの開発コンセプトを以下に説明する。今後、携帯電話などのモバイル用途に小型のジャイロセンサが使用されるという予測を立て、次の4点を必須の開発ターゲットとした。

小型薄型化、軽量化を達成すること（ $5.0 \times 3.2\text{mm}$ サイズが目標）

携帯機器に必要な低消費電流であること

車載や基幹系に必要な高信頼性であること

普及を加速させるためには低価格であること

今回製品化した水晶ジャイロセンサでは、これらの条件をバランス良く達成できたと考えている。

次に、水晶ジャイロセンサの特徴を以下に説明する。

材料である水晶は単結晶であり、特にその温度特性に秀でており、非常に高安定な物性を有している。水晶の温度係数は、セラミックのそれに比較すると1桁以上小さいことが知られている。

世界最小である $5.0 \times 3.2 \times 1.3\text{mm}$ という小型サイズを実現するため、ジャイロ素子の加工にフォトリソグラフィという微細エッチング加工を用いることで素子の小型化を実現した。ジャイロ素子のサイズは $2 \times 2\text{mm}$ で、3次的に複雑な形状をそのサイズの中に形成した¹⁾。

素子とICを内蔵したセラミックパッケージは、高真空に気密封止されている。また、ジャイロ素子を支持する支持構造は、ジャイロ素子の振動を安定的に維持する構造としており、耐衝撃性の高い構造を用いた²⁾。

発振回路や検出回路は、その周辺回路を含めて1チップ化されてセラミックパッケージ内に内蔵されている。ICについては、当社が得意とする低パワーICを新規に開発し、従来比60%の低消費電流を実現した³⁾。

0点ドリフトの温度特性を図2に示す。-20~90の広い温度範囲において、今回製品化した水晶ジャイロセンサの直線性が非常に優れていることがわかる。

また、図3に感度の温度特性を示す。感度についても

項目	仕様
外形寸法	$5.0 \times 3.2 \times 1.3\text{mm}$
質量	66mgr
動作温度範囲	-20 ~ 80
電源電圧	$3\text{V} \pm 0.3\text{V}$
感度	0.67mV/deg/s
基準出力 (V_{ref})	1350mV
静止時出力	1350mV
検出範囲	$\pm 100\text{deg/s}$
直線性	$\pm 5\%FS$
消費電流 (動作時)	1.7mA

図1 製品外観と製品仕様

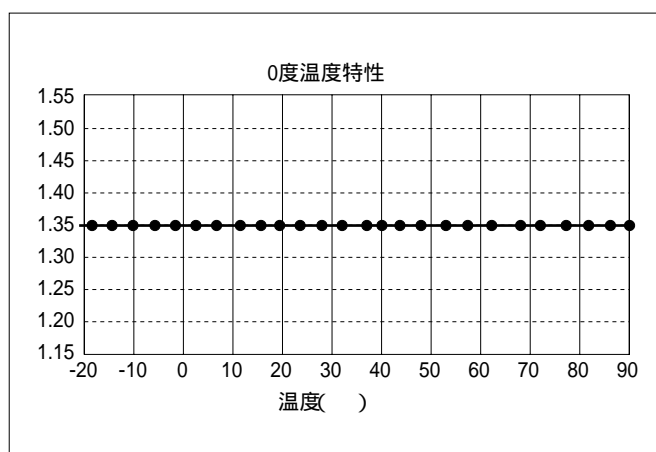


図2 0点ドリフトの温度特性

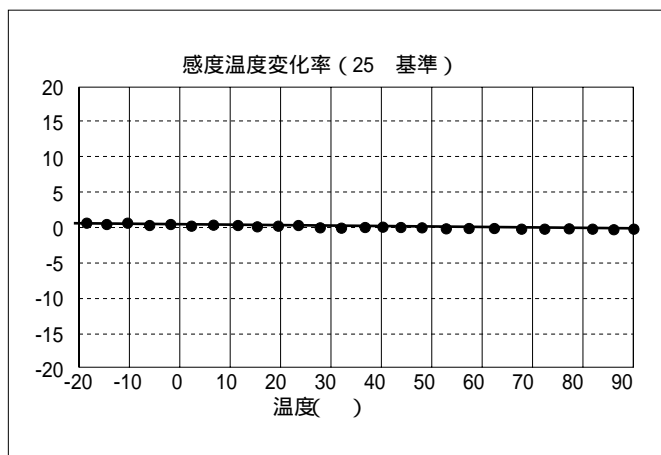


図3 感度の温度特性

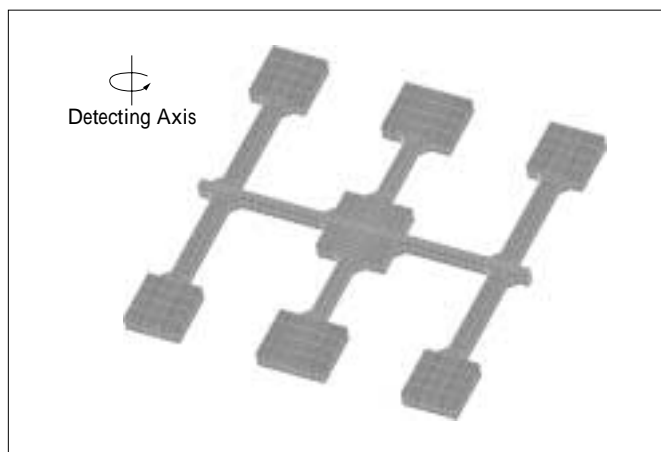


図4 WT型ジャイロ素子

同様に優れた直線性を有し、ばらつきがないことが確認できる。

3. 水晶ジャイロセンサの動作原理と特徴

本ジャイロセンサで一番代表的な素子形状について、以下に説明する。この素子は、その外形形状からWT型（T型の振動腕が2つ存在する）の振動子と呼んでいる。図4に示すように、両側の2本のT型をした振動腕が、中央の固定部で連結されている。

検出の軸は、図4に示す方向である。このT型の振動腕が屈曲振動をするモードが駆動振動モードである。センサ動作時には、常にこの振動が励起されている。そして、固定部から中央の上下に伸びた振動腕が検出の腕となる。定常的に振動しているジャイロ素子に角速度が印加されると、図5に示すような検出振動モードが励起され、駆動振動モードと検出振動モードが結合した振動を発生させる。

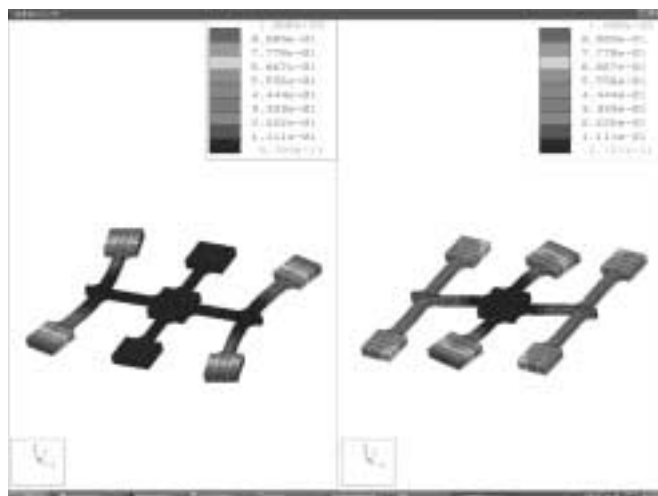


図5 駆動振動モード（左）と検出振動モード（右）

今回の製品化においては、素子の小型化を可能にした技術として、次の2項目が挙げられる。

各振動腕の先端に設けた、ハンマーヘッド（あるいはバランスヘッド）と呼ばれる質量付加のデザイン。

と同様に各振動腕に設けた溝構造。この溝構造は、厚み方向で表裏からシメトリックに形成されている。

は、質量バランス機能として効果を発揮し、は、圧電効果をより多く発生する機能として働く。

同一面内で振動する振動モードを選択したこと、また支持系の影響を受けない振動モードを選択したことにより、温度特性の良いジャイロ素子を実現できた。

4. 開発動向と新しいアプリケーション

水晶ジャイロセンサをはじめ、シリコンMEMSジャイロセンサやセラミックジャイロセンサなどの振動ジャイロセンサは、以下のキーワードを旗印に開発が行われている。また、市場もこれらを要求している。

- 小型薄型化、軽量化
- 多軸化（2軸、3軸）、1パッケージ化
- デジタル出力
- 複合センサ
- 低コスト

小型化という観点では、加速度センサを例にとると、ここ数年で需要が飛躍的に伸び、それとともにサプライヤーが数多く参入してきた。おそらく2008年には、3mm角以下のパッケージが主流になるのではないかと予想される。

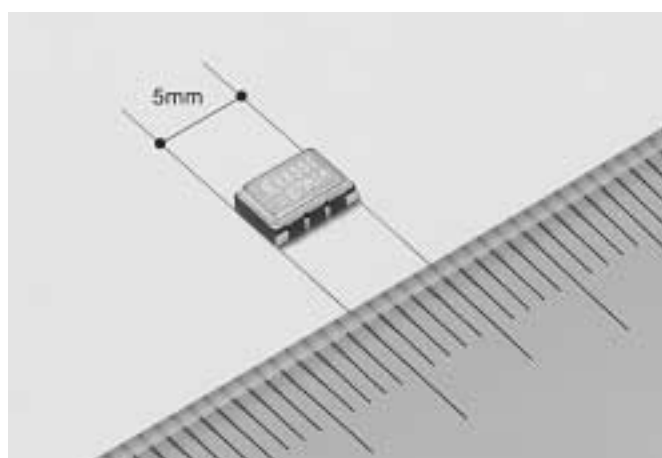


写真1 「XV-8000CB」の外観

また、水晶振動子のパッケージトレンドは、2005年度において、開発ベースで2016サイズあるいは1610サイズが最先端となっており、ジャイロセンサのパッケージもこれらに追従するものと思われる。

新しいアプリケーションとしては、大きく3つのジャンルに分けて示すことができる。まず、変位を検出するアプリケーションとしてモバイルナビ（マンナビ）、セキュリティ（例えばオートパイや荷物、あるいは住宅関係の盗難防止にジャイロセンサを使用する）、運動解析、健康器具、などである。

次に、安定性を維持するアプリケーションとしてRobot、掃除機、洗濯機、トラクター、宅配用のオートパイ、などが挙げられる。

また、新たなアプリケーションとして、体感ゲーム、携帯機器の入力、プロジェクタの操作、などが考えられる。

5. 高精度化と高付加価値化への取り組み

当社では、こうした新しいアプリケーションをサポートするためのジャイロセンサとして、高精度化や高付加価値化が要求されるカーナビゲーション向け市場に対して新たに2機種を商品化した。

5.1 DR（Dead Reckoning：推測航法）向けに最適な高精度ジャイロセンサ XV-8000CB

カーナビゲーションを中心とするGPSアプリケーションでは、さらなる高機能・高精度化が要求されている。トンネルや屋内駐車場の中などGPS信号を受信しにくい環境における、自車の位置検出精度の向上を図るDRの採用も高機能・高精度化の一環である。

このDR向けに最適で、システムの高性能化を実現で

表1 「XV-8000CB」の主な仕様

項目	仕様
電源電圧	4.75 ~ 5.25V
使用温度範囲	- 40 ~ 85
感度	25.0mV/deg/s
0点電圧	2.5V
0点電圧温度変化量	± 3.5%
検出範囲	± 60deg/s
外形寸法	5.0 × 3.2 × 1.3mm

きるジャイロセンサ「XV-8000CB」は、水晶を用いたジャイロ素子の優れた安定性に加え、QMEMS技術、低消費電力アナログ回路技術、パッケージング技術を駆使し、高精度でありながら世界最小サイズ（5.0 × 3.2 × 1.3mm）を実現した（写真1）。

世界的に有力なGPSチップセットメーカーの1つであるスイスu-bloxに認められ、同社のDR評価キット「AEK-4R」への搭載と同社製チップセットへの推奨部品として認定されるなど、数々のチップセットメーカーや、システム開発メーカー、カーナビゲーションに検討して頂いている。

超小型・薄型化を実現（5.0 × 3.2 × 1.3mm）

水晶ジャイロ素子と温度補償回路を内蔵し安定出力を実現

耐振動・耐衝撃特性に優れ、車載アプリケーションに最適

温度センサ出力端子によるシステムの温度補正に利用可能

気密封止構造による優れた耐環境性の実現

鉛フリー対応

5.2 傾斜したダッシュボードへの取り付けに対応した傾斜タイプ XV-8000LK

カーナビゲーションの測位手法であるDR向けに最適なジャイロセンサ「XV-8000」シリーズのラインナップとして、傾斜実装が可能な「XV-8000LK」を開発した（写真2）。XV-8000LKは、前述のXV-8000CBをベースに、よりユーザーの使い勝手を向上させた商品である。

インダッシュ型のカーナビゲーションでDRを行う上で、ダッシュボードの傾きにより傾いたジャイロセンサは、DRソフトウェアで補正することによりDRの精度を高めているが、ダッシュボードの傾きによっては、DR補正ソフトウェアでは十分に補正しきれない場合もあり、ジャイロセンサそのものの傾斜実装への市場要求があった。



写真2 「XV-8000LK」の外観

今回開発したXV-8000LKは、取り付け角度の自由度をさらに向上させるため、センサを傾斜させて実装した製品である。

傾斜角度は10度と20度の2タイプを用意し、これにより、DRソフトウェアの設定自由度を大幅に向上させることができる。

6. おわりに

当社では、今後、次世代の小型タイプとして、3.2 ×

表2 「XV-8000LK」の主な仕様

項目	仕様
電源電圧	4.75 ~ 5.25V
使用温度範囲	- 40 ~ 85
感度	25.0mV/deg/s
0点電圧	2.5V
0点電圧温度変化量	± 3.5%
検出範囲	± 60deg/s
外形寸法	6.0 × 4.8 × 3.3mm

2.5mmの開発を進めるなど、市場ニーズに即したジャイロセンサをリリースしていく予定である。

参考文献

- 1) T.Kikuchi et al. : Miniaturizing Quartz Vibratory Gyro Sensor with Hammer-Headed Arms、2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, Frequency Control 50th Anniversary Joint Conference、FC2-H-6 (2004.8)
- 2) 川内修、他 : 超小型SMD音叉型水晶振動子、第32回EMシンポジウム予稿集 (2003)
- 3) 小林祥宏 : 指先に載る振動ジャイロ・センサ 外形寸法は 5.0 × 3.2 × 1.3mm、日経エレクトロニクス、No.886 (2004.11.8) pp.119-130、10