

# 車載用アプリケーション (各論センサ)

- 技術委員会監修 -

## 1. はじめに

自動車に使用されているセンサは、エンジン制御、トランスミッション制御、ブレーキ制御、ステアリング制御などの基本機能を支援するものや、サスペンション制御、ナビゲーション、空調制御などの快適な運転のために用いられるもの、衝突防止などの安全寄与するものなどがあり、極めて多種多様である。

自動車用センサの年間の市場規模は、昨今の国内生産台数をベースとした場合、約 1,800-1,900 億円程度と推測される。さらに今後は、安全・快適・環境関連のセンサを中心に車 1 台当たりの採用個数は増加傾向になると予測できる。また、快適な運転をサポートするカーナビゲーションについても、携帯型のカーナビゲーション(PND)商品で、従来はコストの関係からジャイロセンサを採用していない機種が殆どであったが、精度向上のために、圧力センサや角速度センサ(ここでは、ジャイロセンサと称する。)を使用する機種も登場した。以下に、自動車に用いられている代表的なセンサを示す。

### 【エンジン制御システム用センサ】

- エアフローメータ
- O<sub>2</sub> センサ
- スロットルポジションセンサ
- カムポジションセンサ
- ノックセンサ
- バキュームセンサ
- A/F センサ
- クランクポジションセンサ
- エンジン制御用温度センサ
- アクセルポジションセンサ

### 【シャシー制御システム用センサ】

- ステアリングセンサ
- 車輪速度センサ
- 油温センサ
- ハイトコントロールセンサ
- ヨーレートセンサ
- 電動パワーステアリング用トルクセンサ

### 【安全・快適制御システム用センサ】

- エアバッグ用センサ
- タイヤ空気圧センサ
- タッチセンサ
- オートライト用センサ
- レインセンサ
- アルコールインターロック用センサ
- 超音波センサ
- レーダーセンサ
- オートエアコン用センサ
- 液レベルセンサ
- 排出ガス検知センサ

### 【通信システム用センサ】

- ナビゲーションシステム用角速度センサ (ジャイロセンサ)

以前から、物体の動きを検知するセンサ(モーションセンサ)には Si-MEMS 型センサが多く用いられており、その用途の大半が車載用として用いられてきた。しかし、一部のセンサには小型で高安定な特性を持つ水晶を用いる動きがある。本章においては、水晶部材を用いた自動車用センサの代表的なものとしてジャイロセンサを解説する。

## 2. 自動車用ジャイロセンサの用途

ジャイロセンサは物体の回転を検出するもので、実際には角速度を電力信号に変換している。ジャイロはクルマの運転を支援する電子部品の一つとして用いられ、カーナビ用と車両制御用の 2 種類に分かれる。角速度は、計測する方向に応じて、ヨーやピッチ、ロールに分類され、それぞれの定義は、図1に示される。

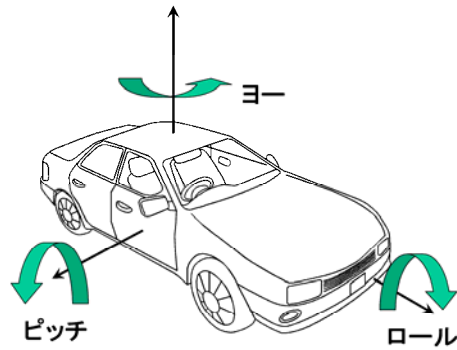


図1 自動車の回転軸名称

カーナビ用のジャイロセンサは、クルマの進行方向の変化を検出することで、現在地を特定する。トンネル内などGPSを受信できないエリアではジャイロセンサを用いることで、トンネルの左右の分岐点がある場合でも、どちらに進んだかを把握することが可能になる。現在のカーナビゲーションシステムの多くは、ヨーの1軸のみのジャイロセンサを備えている。一方で、価格を抑えた汎用タイプのPND(パーソナルナビゲーションデバイス)は従来GPSのみを搭載するものが主流であったが、精度向上のためにジャイロセンサの搭載が始まったばかりだ。日本国内市場では、ソニーが2007年11月に発売したPND「NV-U2」は、PNDとしては業界で初めてジャイロセンサを備えている。

一方、車両制御用のジャイロセンサは、荒れた道での車両の挙動を検出する用途に使う。車両が不安定な場合は、4輪に個別にブレーキをかけることで車両の挙動を安定させて、運転を支援する。

平面上で左右に曲がる角度を求めることで、操作性や快適性を向上する。凹凸のある道を走れば、前後の回転であるピッチや、左右方向の回転であるロールが多くなるため、立体的な回転も検知して回転を抑える必要性も高まる。これらの回転をジャイロで検出し、姿勢制御を行うわけである。一般には、コストを抑える為、ヨー方向のみを制御するが多い。

ジャイロセンサは、ESC(横滑り防装置)にも使われている(図2)。

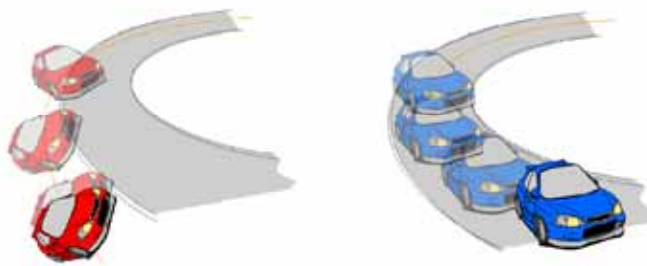


図2 ESC(横滑り防装置)の効果  
(左:防止装置無し 右:防止装置つき)

クルマのステアリングホイールの切れ角と、ヨーの値を比較することで、クルマの挙動が適正かどうかを判定する。ステアリングホイールを少ししか切っていないのに、大きなヨーレートが発生した場合などは、クルマの横滑りが発生したと検知する。最近では、横滑り防止装置を発展させ、積極的に車両の挙動を安定させるためのピークルスタビリーテ

イコントロールシステムが採用されるようになってきた。これは、ESCを応用し、4輪に個別に油圧ブレーキをかけることで車両の挙動を安定化させるものである。

### 3. 水晶ジャイロセンサ

ジャイロセンサの素子素材は水晶やセラミックス、シリコン、エリンバ等金属など多々あるが、その中で、水晶部材は、温度に対する安定性が高い、Q値が高くシャープな応答特性を示すためノイズに強いという特長がある。

水晶ジャイロセンサは、カーナビゲーションの測位手法であるDR(Dead Reckoning:推測航法)向けに、システムの高性能化と、超小型・薄型化が達成できる最適なソリューションである。戸外の環境に置かれる自動車では帰宅後、エンジンを切った地点と早朝にエンジンをかけた地点がナビ上ではずれてしまうことがある。これは環境温度の差により0点がずれてしまったことによる。(実際には、何らかの補正をかけていることが多い。)この点、水晶の出力は広い温度範囲において変動が少ないため、信号のドリフトが少なく、検出が安定している。従って、周辺の部品点数、補正回路の規模が小さく済む場合が多い。

水晶ジャイロセンサを構成するにあたり、水晶を用いたジャイロ素子の優れた安定性に加え、高度な水晶微細加工技術、低消費電力アナログ回路技術、高密度パッケージング技術が必要である。耐振動、耐衝撃特性に優れた構造を持つことも重要であり、これら市場要求を満たす水晶ジャイロセンサとしては、他の素材素子と比較しても小型の部類に入る製品も商品化されている(写真1)。

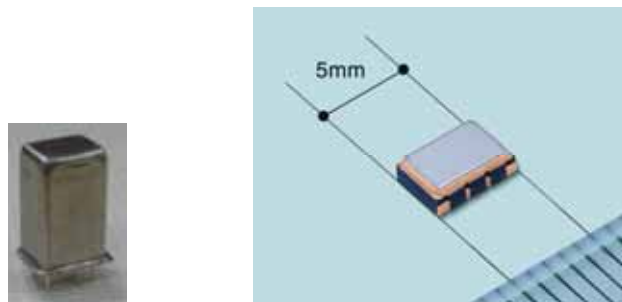


写真1 実用化された水晶ジャイロセンサ 2例

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おり、本製品の超小型・薄型構造はセットの高密度化に寄与し、設計自由度を向上させ、システムの高機能化に貢献すると考える。(表1)

表1 車載用ジャイロセンサ 仕様例

項目	仕様	単位
電源電圧	4.75 ~ 5.25	V
使用温度範囲	- 40 ~ + 85	
感度	25.0	mV/deg./sec
0点電圧	2.5	V
0点電圧温度変化量	± 3.5	%
検出範囲	± 60	deg./sec
外形寸法	5.0 × 3.2 × 1.3t 6.0 × 4.8 × 3.3t	mm

#### 4. ジャイロセンサの原理

ジャイロセンサは、センサ本体の回転量を電気信号に変換することで角速度として算出する。代表的なジャイロセンサの構造が、センサ内部の振動を利用する振動ジャイロと呼ばれるものである。センサに外から回転力が加わると、センサ内の振動する部位とは垂直方向に“コリオリの力”と呼ばれる力が発生する(図3)。

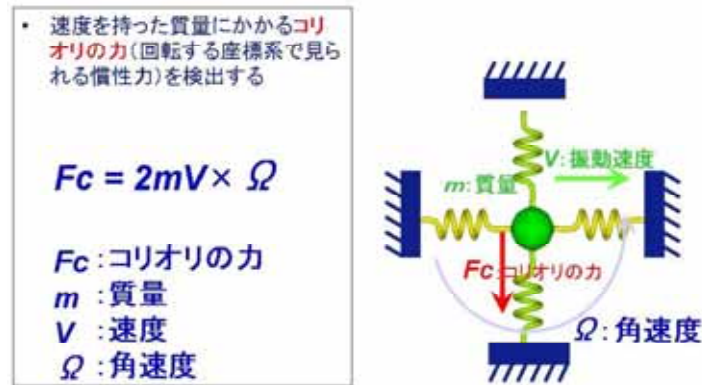


図3 コリオリの力

コリオリの力は、センサ内に新たな振動を発生させ、この振動から角速度を求める。

コリオリの力は、19世紀にフランスの物理学者コリオリ(Gaspard-Gustave de Coriolis)が提唱した物理量で、回転する座標系で作用する慣性力を示す。

では、水晶のセンサの検出はどう行うのであろうか？図4に音叉型振動子に対してコリオリ力がどう働くかを示している。

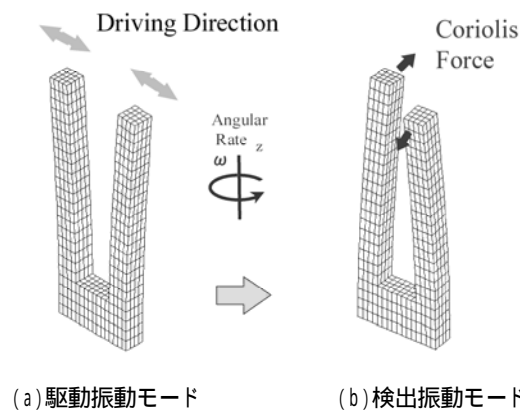
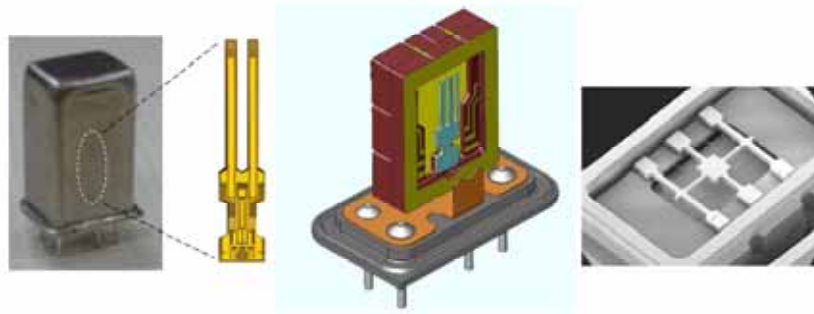


図4 音叉型振動子を用いた振動ジャイロ・センサの動作原理

回転していない場合は、(a)に示すように軸に対して対称な屈曲運動をしているが、矢印の軸周りに回転があると(b)に示すように、捩れ振動のような動きが発生する。この通常モードとは異なる捩れ振動の出力を測定することにより、角速度が求まる。

内部の振動部に水晶素材を使用しているジャイロセンサは、振動素子形状に様々なタイプがあるが、すべて前述した原理に基づいている。図5に今までに発表された3タイプの水晶ジャイロセンサを示した。



直接接合音叉型ジャイロ\*1  
(日本電波工業)

3脚音叉型振動ジャイロ  
(シチズンファインテックミヨタ)

ダブルTジャイロ  
(エプソントヨコム)

図5 いろいろな水晶ジャイロセンサの構造と原理

\* 1 写真提供: 日本電波工業(株)

ジャイロセンサの信号処理の流れは、次のようになる(図6)。

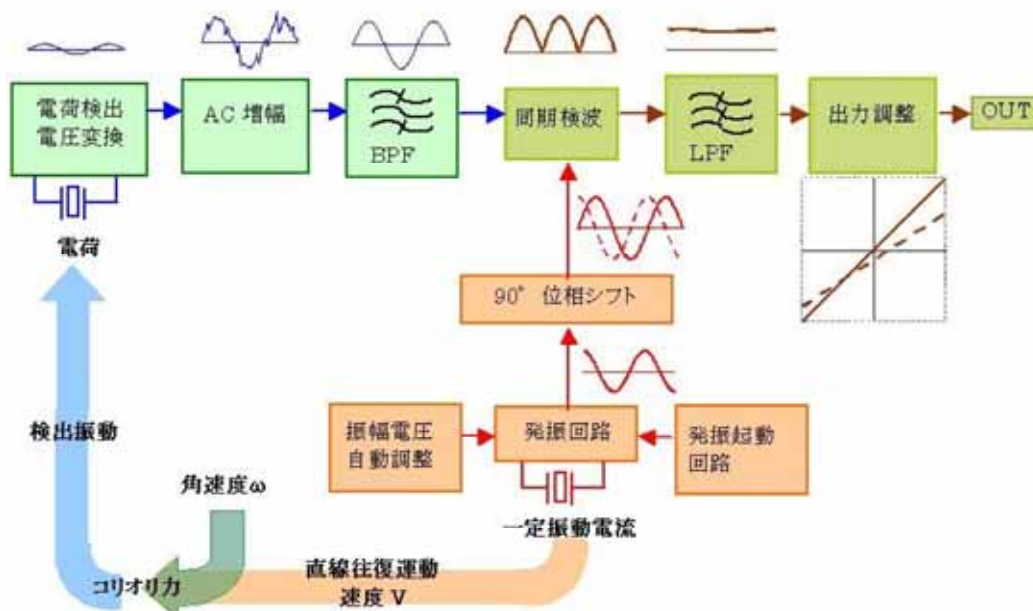


図6 センサの信号処理(センサ用LSI)

発振回路で、一定の電流を流して駆動アームを振動させる。

外部から回転力(角速度 $\omega$ )を受ける。

コリオリの力が発生する。

コリオリの力で検出アームの振動を検出する。

検出した信号を増幅して、波形を補正する。

駆動アームの振動位相を90度ずらしたものを、検出アームの振動波形と比較して、角速度を算出する。例えば、検出アームの振動では、回転角 $-30$ 度(左向き $30$ 度)と回転角 $+30$ 度(右向き $30$ 度)の回転は異なる位相の信号が出力される。これを駆動振動と波形を比較することで、正確な角速度と回転方向が求められる。

角速度を出力する。

## 5. おわりに

ジャイロセンサは今後、自動車の車両制御との結びつきを強めると考える。

例えば今後、カーナビに地図の立体表示が増えることで、地図データから登りや降り<sup>(くだ)</sup>を予測してエンジンやブレーキ操作を支援する機能も技術的には可能になる。ジャイロセンサを組み合わせることで、走行時の路面の傾斜を測定することで、GPSの位置特定機能をより高めることができる。

ジャイロセンサによる乗り心地の改善も挙げられる。車体のロールやピッチなどの揺れを検知することで、揺れを抑える動きも可能である。現在でも、ゴルフ場のカートや農工機、電動車椅子などに採用されている例があり、近い将来は乗用車への採用も見込まれている。

水晶振動子と同様に水晶ジャイロも小型化傾向にある。カーナビメーカーにとっても、センサを小型化することで、搭載は容易になる。一方、小型化することにより、ノイズ特性、感度特性が低下する恐れもあり、特性を維持するための十分な設計の最適化が必要となる。

優れた水晶の特性を活かし、常に最小・高性能な水晶デバイスの提供を実現できるよう、水晶デバイスメーカーは商品開発を進めている。この活動を通じて、水晶デバイスユーザの機能向上と性能向上、ユーザの使いやすさに貢献できることを切望している。

(エプソントヨコム株式会社 宮澤輝久)

## 参考文献

- (1) Takahiro Ohtsuka Takahiro Inoue Masahiro Yoshimatsu Hideryo Matsudo Masanobu Okazaki :“Development of an Ultra-Small Angular Rate Sensor Element with a Laminated Quartz Tuning Fork”, Proc. of IEEE Freq. Cont. Symp. pp 129-132 (2006)
- (2) 柳澤徹, 山本泉, 小峰伸一, 塩路明弘:“非対称三脚音叉型振動ジャイロの振動解析”, 日本時計学会学会誌 マイクロメカトロニクス, Vol47 No.2 p.23-30(2003)
- (3) T.Kikuchi, et al.,”Miniaturizing Quartz Vibratory Gyro Sensor with ammer-Headed Arms,” 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 50th Anniversary Joint Conference, FC2-H-6, Aug.2004.