

ナビゲーション向けデジタル出力ジャイロセンサ

ジャイロセンサの原理とデジタル出力ジャイロセンサ XV4001 シリーズの特長

【序文】

ジャイロセンサは単位時間当たりの回転量を示す角速度を計測します。角速度には計測する方向に応じて、ヨー(車を上から見たときの平面上での左右方向の回転)、ピッチ(車を前から見たときの上下方向の回転)、ロール(車を前から見たときの左右方向の回転)がありますが、自動車の走行路は基本的に平面が多く、平面上で左右に曲がる角度を求めるヨーの検出が最も多く使われています。現在のナビゲーションシステムの多くはジャイロセンサを搭載しており、トンネル内、屋内駐車場、ビルの谷間など、GPS(Global Positioning System)の信号を正しく受信できない場合 DR(Dead Reckoning)と呼ばれる推測航法で GPS による位置情報を補完する役割をしています。また最近ではセンサ信号を主体とし GPS を補完的に使用するシステム構成も多くみられます。このような DR では、ジャイロセンサが検出した角速度から求めた角度情報と、車速パルスによる距離情報を元に自車位置を推測し、より正確なナビゲーションシステムを実現しています。ナビゲーションシステムにて使用されるジャイロセンサは、静止時すなわち回転していない時の出力が特に重要となります。その理由として、角度は角速度信号を積分することで求めるため、静止時の出力変動は積算され、大きな角度誤差となってしまうからです。

またナビゲーションシステムは温度変化の激しい環境で使用されるため、ジャイロセンサの静止時出力信号の温度変化に対する安定性(温度特性)はとても重要なパラメータとなります。Epson では高安定な温度特性を実現する為に、水晶を素材にしたダブル T 型構造のセンサ素子と、それを駆動し、出力信号の増幅、信号をデジタル信号に変換する AD コンバータ、感度、静止時出力等の各種補正機能を担う IC をワンパッケージ化したデジタル出力ジャイロセンサを製造、販売しています。

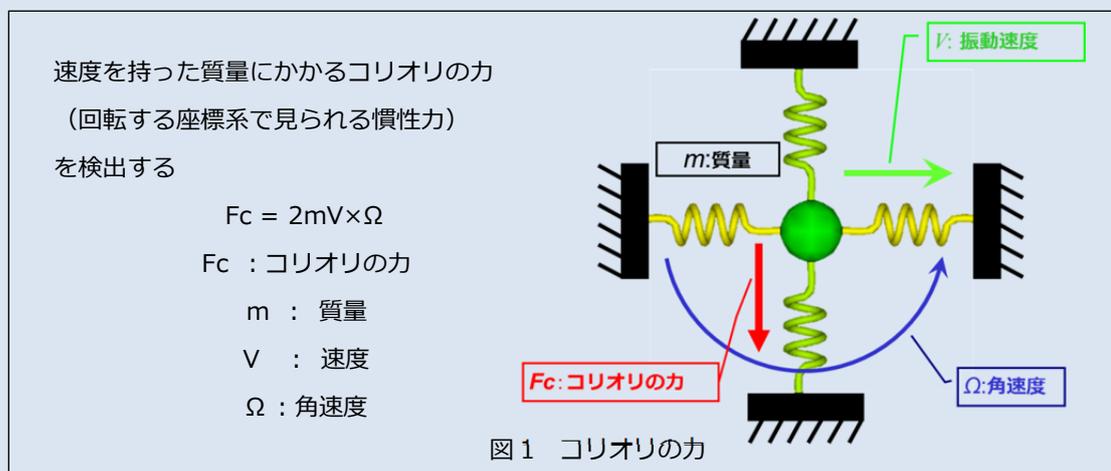
今回は Epson が持つセンサ技術とデジタル出力ジャイロセンサの温度特性、デジタルインターフェースについて解説します。

【ジャイロセンサの原理・構造】

1. 振動ジャイロセンサの原理(コリオリの力)

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します。Epson ではセンサ内部の振動を利用する振動ジャイロの原理を用いています。これは、センサの外から回転力が加わると、センサ内の振動する部位に垂直方向に発生する“コリオリの力”から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算出する方法です。

(コリオリの力とは、19 世紀にフランスの物理学者 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指します。図 1 参照)

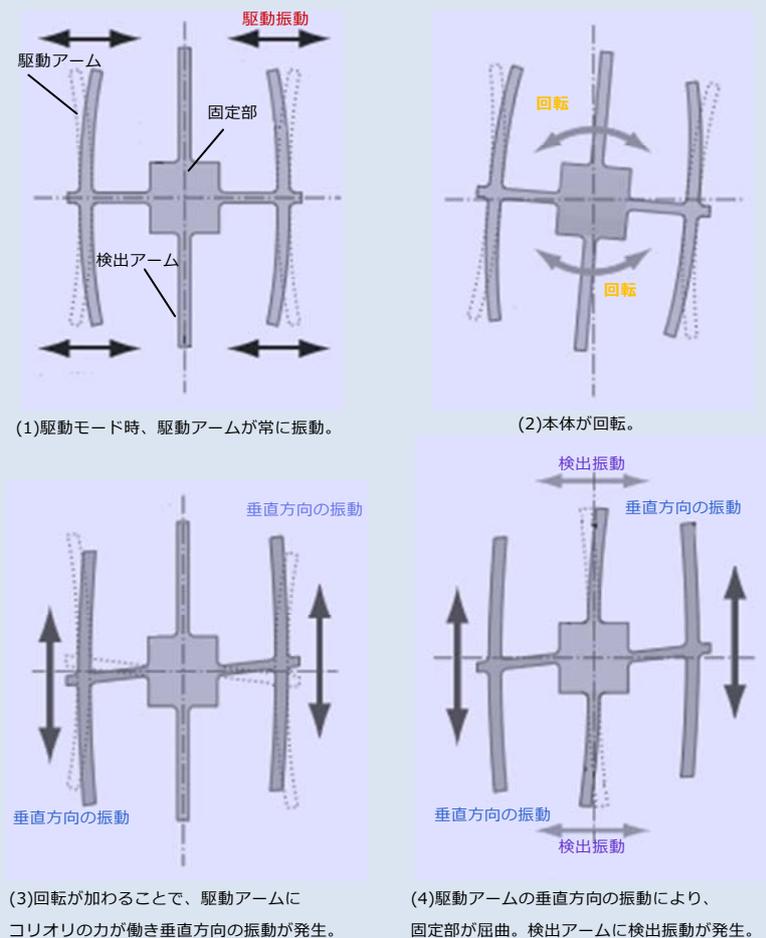


2. ジャイロセンサの原理(構造)

Epson 製ジャイロセンサでは、内部の振動部に水晶素材を使用し、T 型の水晶を並べた「ダブル T 型構造」を採用しています。ダブル T 型構造は左右対称であり、図 2 に示すような「駆動アーム」と「検出アーム」、中心にある「固定部」によって構成されています。

センサ動作時は駆動アームに交番振動電界をかけ、駆動アームを常時左右に振動させておくため、漏れ振動を打ち消し合って、中央に静止した検出アームを実現しています(図 2 の(1)、駆動アームの一方が左に動くと、もう一方は右に動き、左右の駆動アームは対称に動くため、中心にある固定部に力がかからず、検出アームは動かない)。このため安定したゼロ点の確保を可能としています。

次に、外からセンサに回転力が加わると、駆動アームは左右の動きを継続しながらもコリオリの力が働くため、垂直方向の振動が発生します(図 2 の(3))。これにより駆動アームの上下の振動は、片方が上に動いた時はもう一方は下に動き、駆動アームが上下に振動すると固定部にも回転する力が加わります。この固定部が回転することで、今まで静止していた検出アームは左右に振動を始めます。この検出アームの振動を、電荷の変化に置き換えることで、センサに加わった回転の角速度として検出しています。



検出アームの振動を電気信号に変換・出力

図 2 ジャイロセンサ原理構造

3. ジャイロセンサの信号処理(アナログ出力ジャイロセンサの信号処理)

ここでは基本的なジャイロセンサ(アナログ出力)の信号処理(図 3)を例に解説します。

①発振回路で、一定の電流を流して駆動アームを振動。

②外部から回転力(角速度 ω)を受け、コリオリの力が発生し、検出アームの振動を検出。

③検出した信号を増幅して、波形を補正。

④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、角速度を算出。

(検出アームの振動では、回転角 - 30 度(左向き 30 度)と 30 度(右向き 30 度)の回転では異なる位相の信号が出力されるので、これと駆動振動の波形を比較することにより、正確な角速度と回転方向が求められる)

⑤出力調整を行い、角速度に相当する電圧を出力。

以上のように、微小検出信号からコリオリ力信号を分離増幅して、角速度に比例した電圧を出力しております。

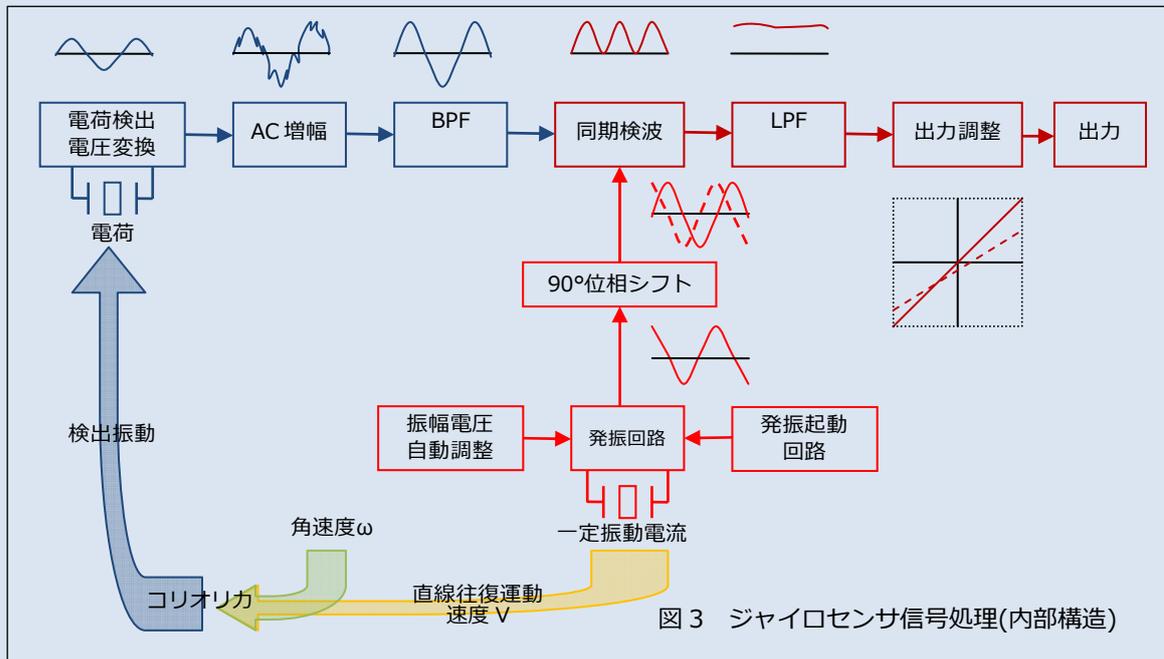


図 3 ジャイロセンサ信号処理(内部構造)

【デジタル出力ジャイロの機能・特長】

図 4 に本製品 XV4001 シリーズのブロック図を示し、機能および対応している 2 つのデジタルインターフェース (SPI(4-wire, 3-wire)、I2C) について説明致します。

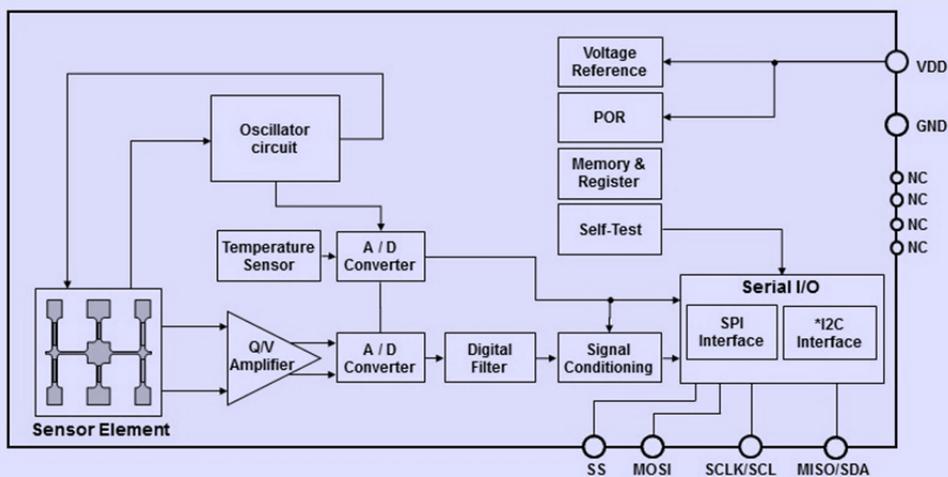


図 4 XV4001 シリーズ(デジタル出力ジャイロ)のブロック図

機能

- ・角速度出力：16bit、2の補数形式にて角速度データを出力。
- ・デジタルフィルタ： $f_c=10\text{Hz}$ のデジタルLPFを内蔵。
- ・温度センサ：11bit、2の補数形式にて温度データを出力。
- ・Power On Reset(POR)：POR回路を内蔵し、電源起動時にロジック回路の初期化に必要なPOR信号を出力。
- ・セルフテスト：セルフテスト回路を内蔵し、セルフテスト実施結果を通信レスポンス(DIAG)にて送信。

デジタルインターフェース

- ・SPI(4-wire, 3-wire)

最大 10MHz の通信周波数に対応し、通信品質を確保するために、コマンドエラー判定、チェックサム機能を盛り込んでいます。また、ジャイロセンサ自体が異常を検知するセルフテスト機能も搭載し、判定結果を角速度、または温度センサの出力フレームに乗せて送信します。この判定結果からセンサの異常有無を判断することが可能となります。

- ・I²C

最大 400kbit/s の Fast Mode に対応しています。スレーブアドレスは 1101000(サブアドレス 1101001)の設定となっています。(サブアドレスへの設定は工場出荷時の対応となります。)セルフテスト判定結果出力コマンドを発行することで、セルフテストの判定結果が得られます。

また図 5 にジャイロセンサとマイコンとの接続例を示します。

従来製品であるアナログ出力ジャイロセンサでは AD 変換器を介して信号をサンプリングする場合、エイリアシング(折返し雑音)が発生しないように、ジャイロセンサと AD 変換器の間に所望のフィルタ回路の挿入が必要でした。これに対し今回の XV4001 シリーズでは、デジタルインターフェースを採用しているため、ジャイロセンサ出力から AD 変換器を介すことなく、直接マイコン等のプロセッサに取り込むことが可能となり、さらに、複数のデバイスが同一の信号ラインに接続できるバス接続も可能なため、従来製品のアナログ出力ジャイロセンサと比較し、配線の引き回しも容易になっております。

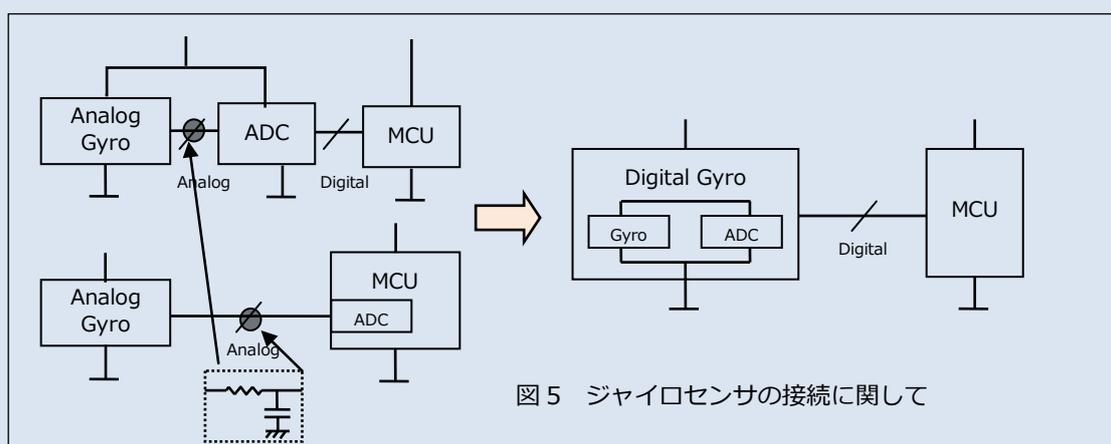


図 5 ジャイロセンサの接続に関して

【XV4001 シリーズジャイロセンサの特長(温度特性)】

ジャイロセンサに角速度が印加されていない状態(静止時)における出力は、当然のことながら変動しないことが望めます。特にナビゲーションシステムではジャイロセンサから出力される角速度を積分して使用するため、角速度出力の変動は位置精度の推定に大きな影響を与えます。角速度出力のバラツキには様々な要因がありますが、中でも温度変化による影響が一番顕著だと言われています。ここで温度補正ををかけていないジャイロセンサの静止時出力の温度特性例を図6に示します。

Epson 製ジャイロセンサはセンサ素子に水晶を使用しているため、温度補正ををかけていない状態であっても角速度の出力は小さな変動であることがわかります。しかしながら、温度特性の傾き方向や変動量にはそれぞれ個体差があります。ナビゲーションシステムにおいては、システム側でジャイロセンサの角速度出力の温度特性に補正をかけて使用する場合もありますが、すべての動作温度範囲において、個々の温度特性傾き方向や大きさのバラツキにおける温度補正を実現することは技術・コストの両面から困難なことから、ジャイロセンサ自体の角速度出力温度特性に対する高安定化要求は日々高まってきました。Epson ではこのような市場要求に答えるため、デジタル補正回路による静止時出力の高次温度補正を採用しました。

図7にデジタル補正回路による温度補正をおこなったEpson 製ジャイロセンサの静止時出力の温度特性図を示します。高次温度補正をかけることによって、 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲でバラツキも大幅に改善された安定した静止時角速度出力の温度特性を実現しております。

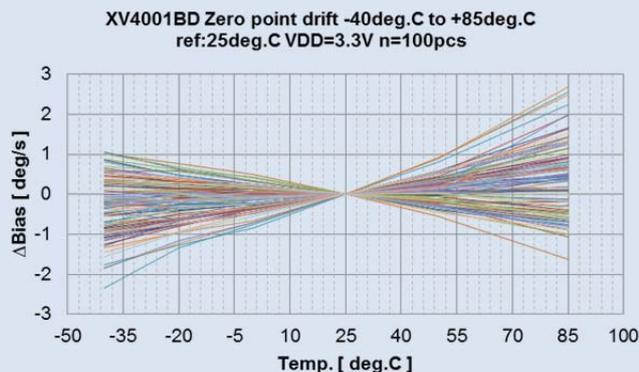


図6 温度補正前の静止時出力温度特性例

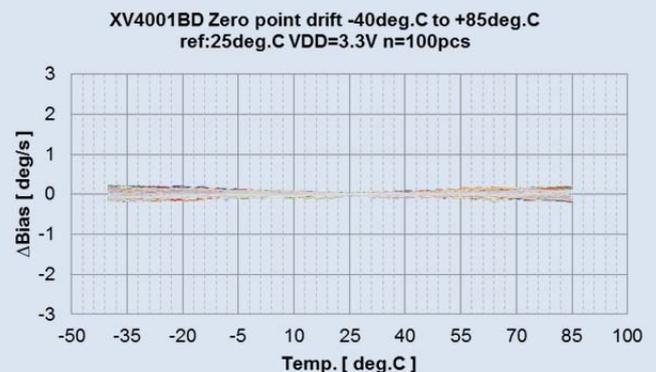


図7 温度補正後の静止時出力温度特性例

最後に XV4001 シリーズの特徴および概要を表1に示します。

XV4001 シリーズは、ナビゲーション用途に最適な安定した特性、マイコンとの接続性、対応インターフェース、および取り付け角度に対応したパッケージラインナップを持つ高性能なデジタル出力ジャイロセンサとして提供し、お客様の設計効率化・品質向上にも大きく貢献してまいります。

表1 XV4001 シリーズ概要

製品名	特徴	インターフェース方式	サイズ[mm] ^{*1}
XV4001BD	<ul style="list-style-type: none"> 動作温度範囲 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 電源電圧 $3.3\text{V}\pm 0.3\text{V}$ 感度 $370\text{LSB}\pm 1.5\%$ ($T_a=+25^{\circ}\text{C}$) 	SPI (4-wire, 3-wire)	BD/BC: $5.0\times 3.2\times 1.3\text{mm}$ (10pin)
XV4001BC	<ul style="list-style-type: none"> 角速度出力 $\pm 2^{\circ}/\text{s}$ (0LSB typ.) ($T_a=+25^{\circ}\text{C}$) 角速度出力温度特性 $\pm 1^{\circ}/\text{s}$ Typ. 	I ² C bus	
XV4001KD	<ul style="list-style-type: none"> 検出範囲 $\pm 70^{\circ}/\text{s}$ 周波数帯域幅 10Hz Typ. 消費電流 3.5mA Typ. 	SPI (4-wire, 3-wire)	KD/KC: $6.0\times 4.8\times 3.3\text{t}$ (8pin)
XV4001KC	<ul style="list-style-type: none"> 出力ノイズ $0.05^{\circ}/\text{s}$ RMS Typ. 温度センサ内蔵 セルフテスト機能内蔵 	I ² C bus	

^{*1}ナビゲーションの取り付け角度(0° 、 20°)に対応した製品として、BD/BC、KD/KCの2種類のパッケージをご用意