

1 MEMSジャイロ・センサの 基礎知識

——リング型ジャイロ・センサの製造工程と インターフェース回路設計

北村 透

ここではMEMS (micro electro mechanical systems) 技術に応用したジャイロ (角速度) センサを取り上げる。ジャイロ・センサには動作原理や構造、駆動方式などによってさまざまな種類がある。ここでは外来ノイズに強いリング型の構造を持つ電磁駆動方式のジャイロ・センサについて、動作原理や製造プロセス、信頼性テストの方法を説明する。また、このジャイロ・センサをシステムに組み込む際のインターフェース回路を紹介する。

(編集部)

Si (シリコン) マイクロマシーニング技術を利用したMEMSセンサが安価に製造できるようになってきました。そのため、現在ではジャイロ・センサを利用した製品を目にする機会が増えています。ここでは、筆者の8年間にわたるMEMSジャイロ・センサのシステム開発の経験をもとに、回路設計者から見たMEMSデバイスとシステムの開発について説明します。

1 ジャイロ・センサの原理と構造

ジャイロ・センサとは、「角度あるいは角速度を検出す

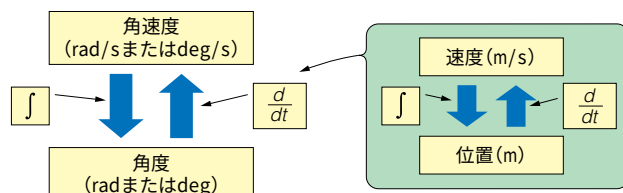


図1 角度と角速度の関係

角速度 (単位時間当たりの回転) を積分すると、角度が求まる。これは、直線運動における、速度と位置の関係と同じ。

注1: 角速度を英語で「アンギュラ・レート (angular rate)」と言うため、角速度センサのことを「レート・センサ」と呼ぶこともある。

るセンサ」です。こまの回転を用いた機械式ジャイロが一般的であった時代、ジャイロ・センサと言えば「角度」、とくに地球の自転軸を基準にした真北に対する角度を検出するセンサでした。しかし、安価な角速度センサが一般的となった現在では、角速度センサを含めて「ジャイロ・センサ (または単にジャイロ)」と呼んでいます^{注1}。

図1に、角度と角速度の関係を示します。図からわかるように、角速度を積分すると角度を計算することができます。反対に角度を微分すると角速度を求めることができます。これは、速度の積分が位置、位置の微分が速度であるのと同じ関係です。

● 動作原理は、「こま」、「光」、「コリオリ力」

角速度検出の原理には、大きく分けて次の三つがあり



写真1 こまの回転運動

回転体はその回転軸を保持するという性質を持っている。写真は、この性質を用いた「地球こま」。また、この性質はジャイロ・センサの原理の一つになっている。

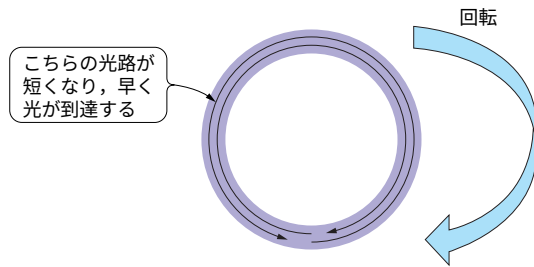


図2 サニャック効果

リング状の光路に時計方向と反時計方向の光を与え、回転を加えると、回転と反対方向の光路が短くなり、短時間で光が到達する。

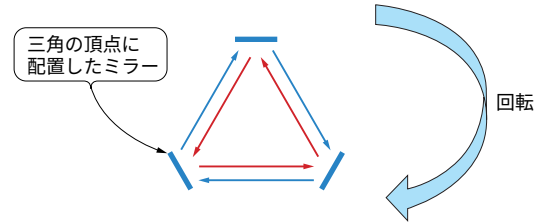


図3 リング・レーザ・ジャイロ

三角の頂点にミラーを配置して光路を形成したリング・レーザ・ジャイロを示す。サニャック効果を利用している。リング・レーザ・ジャイロは、ジャイロ・センサの中でもっとも精度が高い。

図4 コリオリ力

回転角速度を ω 、速度を V 、物体の質量を m とすると、回転座標系で運動する物体に働く力は $2mV\omega$ となる。また、この力は物体の運動軸と回転軸に直交する方向に働く。

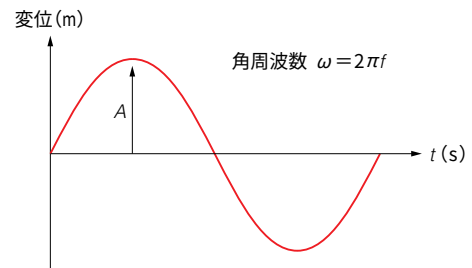
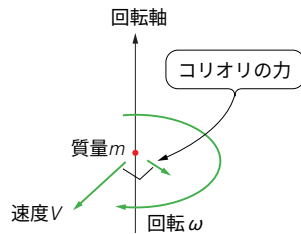


図5 振動周波数と速度

図に正弦波上で振動する物体の変位と時間の関係を示す。この信号は、 $F(t) = A \sin \omega t$ と表される。速度は変位の微分なので、速度 $V(t)$ は $V(t) = \omega A \cos \omega t$ となり、振動周波数に比例する。

ます。

1) こまの原理を利用

こまの原理は、おもに機械式ジャイロ・センサで用いられています(写真1)。しかし、小型化が難しく、機械磨耗の影響によって定期的な保守が不可欠である、といった欠点があります。現在、マイクロマシーニングで小さなプレートを浮動回転させるタイプのセンサが試作されています。

2) サニャック効果を利用

リング状に巻いた1組の光ファイバ(またはミラー)で構成した光路にレーザ光を入射し、円周方向に回転を与えると回転方向の光と反対方向の光の間に位相差が生じます。これを「サニャック効果」と言います(図2)。この原理を用いると、角速度を時間差に変換して検出できるため、安定かつ高精度に角速度を検出することができます。

リング・レーザ・ジャイロ(RLG: ring laser gyro)はジャイロ・センサの中でもっとも精度が高く、その安定度は0.01deg/h以下です(1deg/hは毎時1°の角速度)。飛行機の慣性航法装置などに利用されています。光路を形成するために、三角や四角の形にミラーを配置します(図3)。

光ファイバ・ジャイロ(FOG: fiber optic gyro)もサニャック効果を利用していますが、光路に光ファイバを用いています。リング状に巻いた光ファイバに回転信号を与えたときに発生するレーザ光の位相差を検出します。安定度は

リング・レーザ・ジャイロと比較するとやや落ち、1deg/h～10deg/h程度です。

3) コリオリ力を利用

MEMS技術を利用したジャイロは、ほとんどの場合、コリオリの力を利用しています。コリオリの力は、振動する物体を回転させると、物体の振動方向と回転軸のそれぞれに直交する方向に働く力です。例えば、図4のように、角速度 ω の回転座標系で運動する物体の質量が m 、速度が V とすると、この物体には $2mV\omega$ という力が働きます。MEMSジャイロ・センサは小型であるため、質量 m は小さな値をとりますが、機械的な共振周波数が高いため、速度 V を大きくすることができます(図5)。また、外来機械振動や衝撃などの運動ノイズ信号と比較して、機械的な共振周波数を高く保つことができます。

● 主な構造は「ビーム」、「音さ」、「プレート」、「リング」

MEMSジャイロ・センサはその構造から大きく次の四つの構造に分けることができます。

1) ビーム型

ビーム型は4角柱あるいは3角柱を振動させ、コリオリ力