

2次元振動型マイクロジャイロの開発

小磯賢智*、別所芳則**

Development of 2-Dimensional Vibration Type Micro-Gyroscope

by Kenchi KOISO and Yoshinori BESSHO

We tried manufacture of a 2-dimensional vibration type micro-gyroscope. The weight of the gyroscope is a few g, and the thickness of it is a few mm. A traditional gyroscope has the common method of measuring the voltage difference of the quantity proportional to that momentum, and accuracy tends to worsen by this method. However, this handmade gyroscope can also know very small movement direction and magnitude by using Quartz for vibration and measuring that phase difference. For example, it can find the highly precise angular velocity exceeding the rotation angular velocity of the earth from an experimental result. Furthermore, cost performance is very superior.

Key words: Micro-gyroscope, Rate-gyroscope, Micro-computer

1. はじめに

姿勢センサーとしてのジャイロは、多くの場合ジャイロコマに代表されるようにコマのような安定した状態を必要とする姿勢制御や動体計測するためには欠かすことが出来ないものである。ジャイロ機能として安定な動作をさせるためには一定の振動リズムや回転運動が必要であり、それには昔から様々なものが工夫されてきた¹⁾。例えば振動型ジャイロであれば、材質として、温度依存のない恒弾性金属、単結晶材料、圧電セラミック、シリコンなどがある。また特徴として機械的に摩擦部分がないため寿命が長く、小型軽量で量産に向いている。その動作原理としては、運動する物体に角速度 ω が加わると、その運動に対し垂直方向にコリオリ力が発生することから、その力を何らの方法により電氣的に検出することができれば、ある物体がどちらの方向へ、どれくらい回転した

か、つまり角速度（振れ具合）がわかり、どれくらいズレが生じたのかを相対的な情報として得ることができる。他にもジャイロとして現在も使用されているものとしては機械式、光学式、流体式等のジャイロがある。小型ジャイロはすでに手ぶれ防止機能などを持つDVカメラ等の動作補償として組込まれており、他にも多くの民生品へ利用され、商品化されている。その多くはコストを重

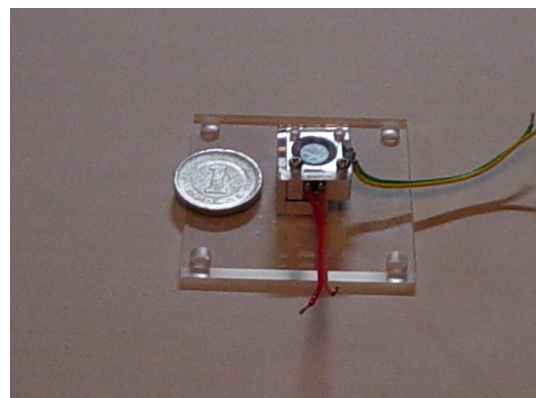


図1 マイクロジャイロ本体

*機械情報グループ

** (有)ベンチャーフォーラム三重

視するため、特定用途に絞ったある範囲内の応答性を持つものである。今回我々が開発したマイクロジャイロは、それらとは異なるアプローチで汎用性を持つものである。

2. 研究方法

2. 1 動作原理

我々はこれまでにマイクロメカニズムを利用した2次元描画システムの研究を行ってきた²⁾³⁾⁴⁾。そのメカニズムの応用によりジャイロとして機能することを新たに見いだした。試作したマイクロジャイロでその動作原理を説明する。

図1がマイクロジャイロ本体である。実際の大きさを示すために1円玉を置いている。

振動体の大きさは約6ミリである。図2に示すとおり細弾性線に微小磁石が取り付けられており、周囲は狭持体で取り囲む。全体の運動としてはジャイロ本体部はX軸方向に1次元運動をする。具体的には駆動用チップコイルにて交番磁界を発生させ、特定周波数にて振動させることで実現する。さらに検出用のコイルにてその信号変化をとらえる。つまりジャイロに軸方向を中心とした角速度 ω の回転運動が発生すると、振動方向に対し垂直方向にコリオリ力が発生し、元の円心運動が楕円運動になる。それを電気信号の差分として取りだし、安定したクォーツ信号と比較することで回転方向や角速度を計測することが可能となる⁵⁾。このジャイロは2次元振動の位相差から角速度を検出する仕組みから、2次元振動方式のレートジャイロと言える。

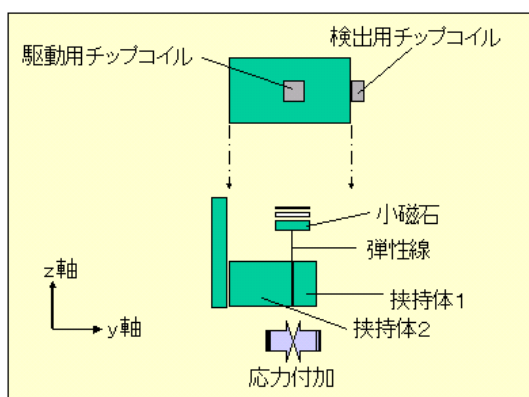


図2 ジャイロ駆動部

2. 2 一般の振動ジャイロとの違い

一般的な振動ジャイロの角速度検出はその運動性質上により、その振動体の振幅変化から検出し、

それをA/D変換して電圧変化として求めている。本研究では振動体の動作や材料にも違いはあるが、最も大きな違いとして、位相差から算出したデジタル信号として差分を出力できることである。たとえば周波数を十数MHzまで変化させることができれば、理論上で10万分の1レベルの精度で検出することも可能である。このレベルの精度では地球の自転速度($4.16 \times 10^{-3} \text{deg/s}$)をも十分に検出できることになる。また、回転方向は位相のシフト方向が全く異なることから容易に判別することができる。外観は十数ミリ角で重さ数グラムであるため、およそあらゆる機器や装置などに搭載することが可能であると思われる。駆動電力は5V、数十mAで、全体として0.1W程度の低消費電力である。

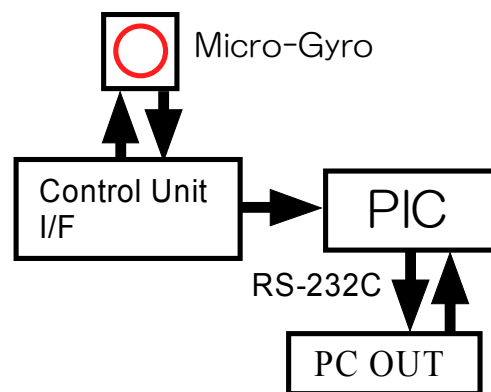


図3 全体ブロック図

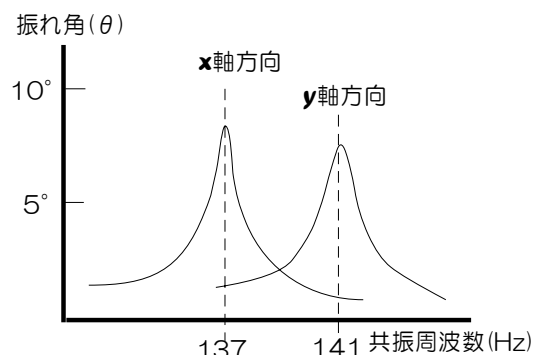


図4 振動子の周波数特性

2. 3 角速度検出法

2. 3. 1 振幅変化による方法

今回製作したマイクロジャイロの角速度を検出する全体構成を図3に示す。マイクロジャイロ本体の駆動及び検出信号を処理するためのロジック

I/Fユニットを構築し、ユニットからの信号をPICマイコンで受け、さらにPC間でデータフロー制御を行うことでジャイロからのデータをPCへ出力することができる。

図4は振動体の固有振動を示したものである。図のように共振周波数の違いにより振動方向が異なることが実験より分かった。つまりx軸方向へ励振させるにはおよそ137Hzの交番磁界を与えることで実現できる。

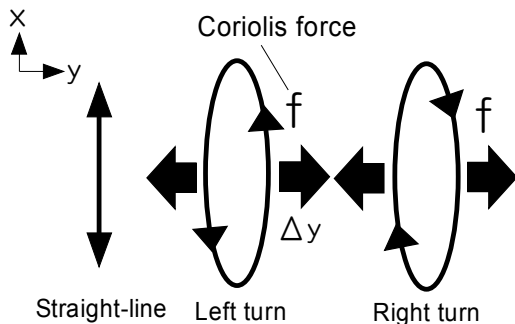


図5 コリオリ力概念図

コリオリ力 f は一般に図5のように1次元運動する物体へ右回りの回転運動を与えた場合は左に、左回りの回転を与えた場合には右に影響を及ぼす力のことである。その力は以下の数式で表される⁶⁾。

$$f = \pm 2km\omega v$$

(v :振動速度, m :質量, ω :角速度, k :比例定数)
つまり、振動体には物体の速度と重さに応じた Δy だけの力が生じ楕円を描くことになる。この Δy を電氣的に検出できれば、物体の角速度を求める

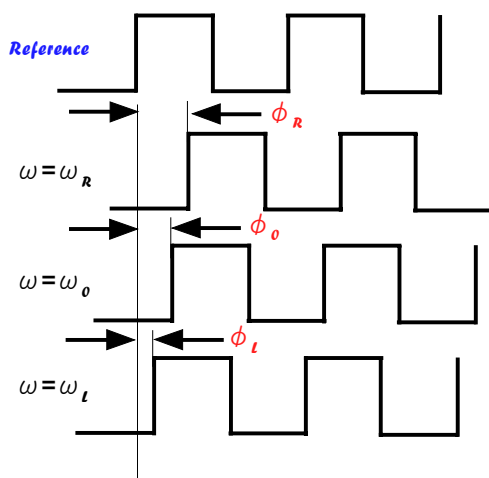


図6 ジャイロ位相検出法

ことができる。

しかしながら、この方法では角速度のスカラー量は求められても、その回転ベクトル方向まで検出することはできない。なぜなら右、左回転もどちらも Δy の差分は同じ検出量となるからである。つまりどちらに回転したのか判別することができない。

2. 3. 2 位相変化による方法

そこで振幅ではない位相変化による方法を考えた。図2における振動体に与える駆動信号をリファレンスとして用い、検出信号との位相差を見ることでこれを実現することができる。

図6に検出のしくみを示す。リファレンス信号が基準となり、位相差 ϕ は振れ角の方向により位相がずれる。たとえば ω_0 の場合を基準にすると右回転を与えた場合には位相が遅れる。つまり位相差が増大することで右回転していることを検出することができる。同様に左回転の場合は逆に位相が減少し、基準より位相が進むことになるため左回転であることがわかる。これはコリオリ力の発生によりジャイロ本体部の検出コイルに到達する差が生じるからである。

3. 結果と考察

製作したジャイロがどの程度の精度があるかを見るため図3の構成からPCにリアルタイムにデータを取り込み、その位相変化した一部をグラフ化したものを図7、図8に示す。測定法としてジャイロユニット本体を市販のパルスモータ駆動式の回転テーブルに載せ一定角速度の回転を与えて測定を行った。回転テーブルは性能として $\pm 1^\circ \sim 20^\circ / \text{sec}$ であり、今回は中間の $\pm 10^\circ / \text{sec}$ で計測を行った。

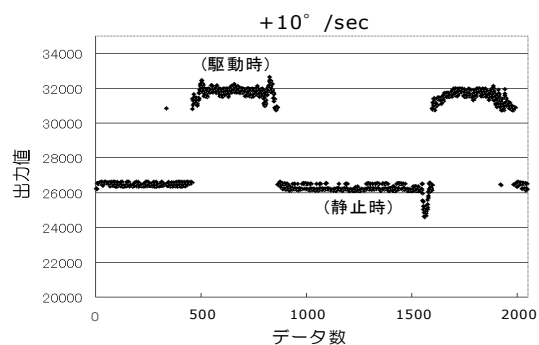


図7 右回転時

横軸はデータ取得時の測定数で時間軸に相当す

る。縦軸は位相軸であり、クロックから算出されたカウンタ値をPICマイコンにて出力された生データである。平滑処理していないため、一部のデータにノイズが見られる。

図から分かるように、右回転時には静止時より位相が遅れて上部へシフトしている。逆に左回転では位相は進み、下部へダウンしている。右回転の場合の感度としては位相差が約 5000 であるため、 $+10^{\circ}/\text{sec}$ の回転時では 1 カウントあたり $0.002^{\circ}/\text{sec}$ であると評価される。これは 2. 2 節で述べた地球の自転速度を上回る検出レベルの精度を持っていると言える。

しかしながら左右一定速にもかかわらず右回転と左回転での位相差にはヒステリシスがあることがわかる。左右回転によりその変化量が違うため、どちらも同じにするためには何らかの補正をする必要があり、おそらく弾性線自体の特性によるところが大きいと考えられる。

今のところ課題として以下のことが挙げられる。

- 1) 常時振動による弾性線の熱によるドリフト (共振周波数変化) の問題
- 2) 左右の位相差による補正方法について
- 3) 高精度な検出測定可能な実験室について

この中で 3) については本研究で開発したジャイロ機能の正確な検出評価をするためには、無振動環境での測定が必要であると考えている。

4. まとめ

独自の 2 次元振動型のレートジャイロ装置の試作を行い、その性能評価を行った。従来のジャイロ装置が用いている振幅変化による電圧検出法では

今回用いた正確なクォーツクロックを用いたりファレンスによる位相比較とその結果をリアルタイムで演算処理するマイコンとの連携動作にて、きわめて高精度に角速度の検出が可能であることが分かった。ジャイロ本体のコストも数百円程度であり、性能から考えれば、非常に高いコストパフォーマンスを持ったものと言えるだろう。

実用化に至るためには、これまで述べたような問題や接続される周辺ユニット装置の小型化などがある。一般にジャイロの検出精度がよくなることは逆を言えば、ノイズの多い環境では微小な変動などもすべて捕らえてしまうため、周りの雑音と混合され、それら雑音とターゲットの変化だけを区別してとらえることが困難になる。そのため変動の少ない場所か、変化の比較的大きな部位での使用などを考える必要がある。

参考文献

- 1) 宇野ほか：“メカトロニクス・センサ活用法”。CQ 出版社。p239-242 (2000)
- 2) 小磯、別所：“マイクロメカニズムを利用したレーザー描画システムの開発”。平成 13 年電気学会全国大会講演論文 [3]。p1077 (2001)
- 3) 別所、小磯：“マイクロメカニズムを利用したレーザー描画デバイスの開発”。平成 13 年電気学会全国大会講演論文 [3]。p1076 (2001)
- 4) 三重県、ベンチャーフォーラム三重：“レーザー投影装置”。特願 2003-34628
- 5) 三重県、ベンチャーフォーラム三重：“ジャイロ装置”。特願 2003-388908
- 6) 坂本ほか：“ジャイロ活用技術入門”。工業調査会。p25

一般的に高精度を期待することが困難である。